

참갈겨니 (Teleostei, Cypriniformes, Cyprinidae) 정자변형과 정자의 미세구조

김 구 환
대구보건대학

Ultrastructure of *Zacco koreanus* (Teleostei, Cypriniformes, Cyprinidae) Spermogenesis and Spermatozoa

Kgu Hwan Kim

Department of Radiologic Technology, Daegu Health College, Daegu 702-722, Korea

Spermogenesis in the *Zacco koreanus* is characterized by lateral development of flagellum, shallow nuclear fossa formation and with no nuclear rotation. These spermatozoa exhibit a spherical head containing a nucleus with the chromatin highly condensed and no acrosome. The midpiece is a small and a short cytoplasmic canal. Mitochondria are separated from the initial segment of the axoneme by cytoplasmic canal. The flagellum contains the classic axoneme structure (9+2) and has a vesicle in the initial region; it does not have axonemal fins. The presence of a vesicle in the initial region of flagella, a structure common in many Cypriniformes spermatozoa.

Key words : Fish, spermatid, sperm, spermogenesis, ultrastructure

서 론

참갈겨니 *Zacco koreanus*는 Kim 등 (2005)에 의하여 갈겨니 *Zacco temminckii*에서부터 최근에 구분된 종이다. 갈겨니 *Zacco temminckii*는 한국, 중국, 대만, 일본 등 동북아시아에 널리 분포해 있는 종이다 (김, 1997). 이 종은 외형이 비슷하여 1종으로 알려져 왔으나 한국산 *Z. temminckii*의 유전적 변이에 대한 연구에서 Mdh-1 유전자는 MM동형접합자와 MS이형접합자의 두 유전형을 가지고 있음이 발견되었고 A형 (MM), B형 (MS)로 구분된 바 있다 (Yang and Min, 1989). 이 두 형은 지리적 분포에서 남해안 일부에서 공서하나 A형은 태백산맥 동쪽

해안일대와 남해안의 일부지역, B형은 서해와 남해로 흐르는 하천의 내륙지역에 분포하는 것으로 보고하였다 (Yang and Min, 1989). 두 형의 개체군의 형태적 분석과 지리적 구분을 지적하며 독립된 종으로 추정하였고 (Kim et al., 2003) 이를 정리하여 A type-*Z. temminckii* (갈겨니), B type-*Z. koreanus* (참갈겨니)로 두 종을 구분하였다 (Kim et al., 2005). 한편 일본에서는 *Z. temminckii*와 *Z. sieboldii*로 구분한 바 있다 (Hosoya et al., 2003).

동물의 정자는 종에 따라 상이한 구조를 취하고 있지만 속해있는 분류군, 속, 과, 목에 따라 세포소기관들의 유사성이 잘 보존되어 있다 (Bacetti et al., 1984; Mattei, 1991; Jamieson, 1991; Hara and Okiyama, 1998; Gusmao-Pompiani et al., 2005). 이와 같은 정자구조의 특이성은 종을 구분하고 계통관계를 규명할 뿐 아니라 질병과 환경오염의 상태를 확인하는데도 유용한 자료로 활

*Corresponding author: guhwan@hanmail.net

용할 수 있다(Kenzo, 1993).

한편 갈겨니 정자의 구조에 관해서 성숙한 정자의 미세구조에 관한 보고를 하였으나(Kim *et al.*, 2006) 참갈겨니 *Z. koreanus* 정자와 정자변형과정에 관한 연구는 수행되지 않은 현실이다. 따라서 본 연구는 참갈겨니 *Z. koreanus* 정자변형과정과 성숙한 정자의 구조를 밝혀 인접분류군과의 관계를 규명하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 2005년의 4월부터 7월사이 번식시기에 경북 경산시 하양읍 금호강에서 채집한 성숙한 수컷 참갈겨니 (*Zacco koreanus*) 개체들이다. 채집된 재료는 살아있는 상태로 실험실로 운반하였고 해부 후 정소를 추출하였다. 정자구조 관찰을 위하여 위상차현미경, 투과전자현미경 및 주사전자현미경적 방법을 이용하였으며 그 세부내용은 다음과 같다.

위상차현미경 (Carl Zeiss Jenamed 2)을 활용하여 정자 전체의 길이를 측정하였다. 미세구조를 관찰하기 위한 투과전자현미경적 방법으로는 정소조직을 구분하여 1~2.5% glutaraldehyde, 4% paraformaldehyde (4°C phosphate buffer, pH 7.2) 용액에서 2시간 전고정하고, 고정된 정소조직을 완충용액 (4°C phosphate buffer, pH 7.2) 으로 10분간 3회 수세한 후 1% osmium tetroxide에서 후고정 하였다. 고정된 재료는 동일 완충용액으로 수 회 세척한 후, ethanol 농도상승순 (50% → 100%)으로 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 Epon 812 혼합액에 포매한 다음, 35°C, 45°C 및 60°C 순으로 vacuum dry-oven에서 중합반응 시켰다. 포매된 재료는 ultramicrotome (MTXL)으로 초박절편을 만들어 copper grid에 부착시킨후 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 투과전자현미경 (H-7500)으로 검경하였다. 정자의 외부 구조 관찰을 위한 주사전자현미경적 방법은 투과전자현미경적 방법과 동일한 전고정 과정을 거쳤고 완충용액과 ethanol로 수세한 다음 iso-amylacetate로 치환하여 임계점건조법으로 건조한 후 IB-5로 ion coating하여 주사전자현미경 (S-4100)으로 검경하였다.

결 과

1. 정세포변형과정 (spermiogenesis)

참갈겨니 *Zacco koreanus* 정소의 정자변형과정은 대부분의 경골어류에서와 같이 정세포의 생식상피의 낭포

에서 일어난다. 이들 낭포는 같은 발달단계의 생식세포로 구성되어있고 Sertoli 세포에 의해 둘러싸여 있었다.

초기정자세포의 핵은 구형이며 전자밀도가 낮은 염색질이 보이고 세포질의 한편에서는 중심립에서부터 편모가 돌출되기 시작하며 편모의 기부가 되는 말단부중심립 근처에는 골지체가 위치해 있었다 (Fig. 1A). 정세포의 핵은 점차 농축되어 가며 핵의 측면 부분은 함몰되어 핵외를 형성하고 형성된 핵외에는 중심립이 위치하며 편모는 세포질에서 돌출하여 계속 성장하고 있었다 (Fig. 1B). 중심립은 기부중심립과 말단부중심립 모두 관찰이 되며 두 중심립은 정자변형과정이 진행되면서 두 중심립이 핵외 근처로 이동한다. 따라서 말단부중심립에서 형성되는 편모도 함께 이동하며 편모는 cytoplasmic canal에 의해 세포질과 분리되어 있었다 (Fig. 1A-1C). 두 중심립간에는 섬유성 물질에 의하여 상호 연결되어 있으며 핵외와 중심립은 방사상 닻에 의하여 핵막과 상호 연결되어 있었다 (Fig. 1C, 1D).

핵외 산재되어있는 염색질의 농축은 세포질이 아래로 이동하는 것과 동시에 일어나며 이때에 수많은 공포들이 핵에서부터 빠져나와 세포질과 핵이 분리된 것 처럼 보였다 (Fig. 1B, 1C). 핵외는 세포중심에서 벗어나 있고 핵외 안에는 기부중심립이 위치해 있으나 말단부 중심립은 일부 벗어나 있었다 (Fig. 1B, 1C).

편모는 세포질과 분리되어 있으며 미토콘드리아가 편모주변으로 이동하여 있었다. 미토콘드리아는 구형으로 내막에 cristae가 풍부하고 전자밀도가 높은 기질로 구성되어 있었다 (Fig. 1E). 정자세포는 세포질교 (cytoplasmic bridges)에 의해 상호 연결되어 있으며 세포질교는 생식세포의 유사분열과 감수분열 과정에서 미완성의 세포질분리를 유지할 수 있도록 한다 (Fig. 1E).

정자세포의 변형이 진행되면서 세포소기관들과 세포질 물질은 핵의 반대편에 해당하는 부위로 이동고 핵은 점차 염색질이 농축되며 미토콘드리아는 중편부에 위치하여 있었다 (Fig. 1B, 1C, 1E, 1F). 정세포의 말기에는 세포질의 잔여물과 세포질교 (intercellular bridges)들이 없어지고 Sertoli 세포의 돌기들도 가늘어져 있고 정자들은 정세포의 빈공간으로 방출되고 있었다 (Fig. 1G).

2. 성숙한 정자 (mature spermatozoon)

참갈겨니 *Zacco koreanus* 정자의 성숙한 구조는 두부, 중편부, 미부로 구성되어 있으며 전장이 45 μm이다 (Fig. 2A, 2B). 두부에는 침체나 다른 세포소기관이 없고 세포막이 핵막과 밀착되어 있으며 두부의 직경은 2 μm이고 핵은 1.8 μm였다 (Fig. 2C). 핵은 매우 농축되어 있으며

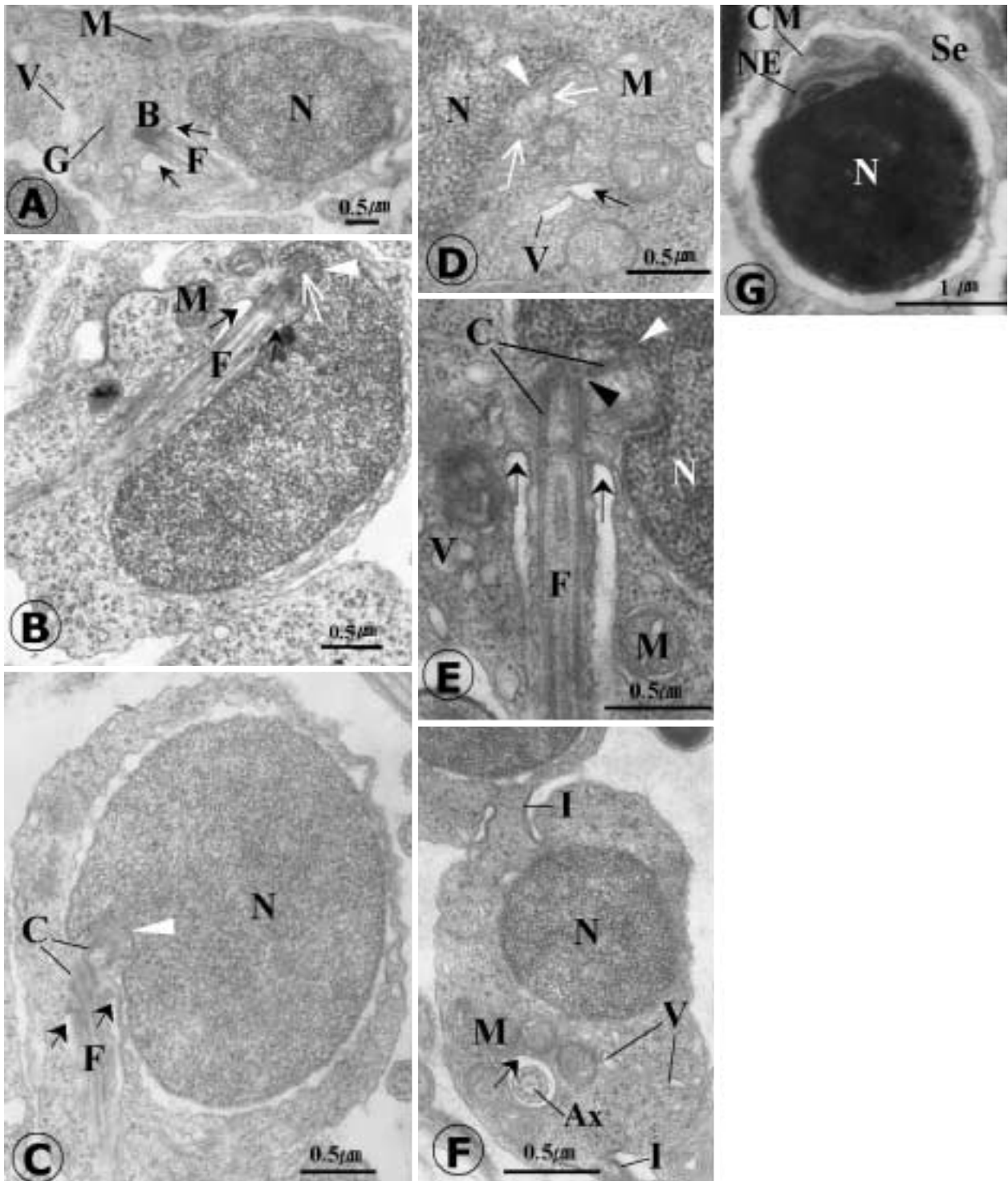


Fig. 1. Spermiogenesis of *Zacco koreanus* spermatid. Ax: axoneme; B: basal body; C: centriolar complex; CM: cell membrane; F: flagellum; G: Golgi complex; I: intercellular bridge; M: mitochondria; Mi: midpiece; N: nucleus; NE: nuclear envelope; Se: Sertoli's cell; V: vesicle; arrow: cytoplasmic canal; white arrow: connection fiber between centriole and nuclear envelope; arrowhead: intercentriolar connection; white arrowhead: nuclear fossa.

측면으로 핵이 얇게 함몰되어 형성된 핵외가 위치해 있었다 (Fig. 2C, 2D). 기부중심립은 핵외안에 위치해 있으

나 말단부중심립은 일부만 핵외에 걸쳐져 있었다 (Fig. 2E, 2F). 기부중심립과 말단부중심립사이의 각도는 120°

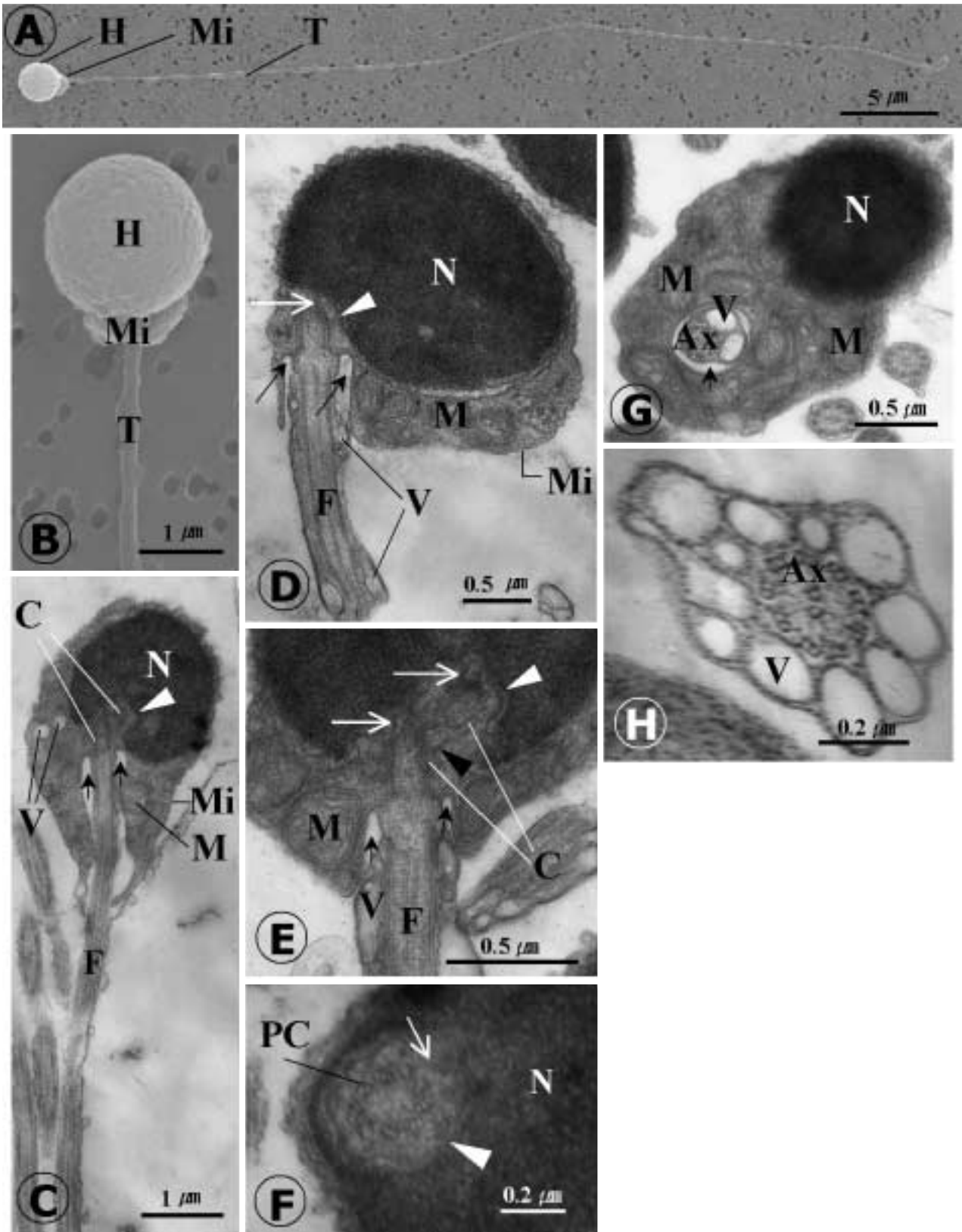


Fig. 2. Mature spermatozoon of *Zacco koreanus*. Ax: axonemine; C: centriole; F: flagellum; H: head; M: mitochondria; Mi: midpiece; N: nucleus; PC: proximal centriole; T: tail; V: vesicle; arrowhead: cytoplasmic canal; white arrow: connection fiber between centriole and nuclear enveloper; white arrowhead: nuclear fossa.

이고 말단부중심립이 핵에 대하여 접선방향으로 위치해 있어 전체적으로 볼 때 핵의 축에 대하여 편모가 약 120° 기울어져 있었다 (Fig. 2E). 중편부는 비대칭적 원통 구조로 cytoplasmic canal을 형성하여 편모와 세포질사이를 분리하고 있었다 (Fig. 2C, 2D). 중편의 세포질에는 6개 이상의 미토콘드리아가 2층으로 배열되어 편모를 둘러싸고 있었다 (Fig. 2D, 2E, 2G). 미토콘드리아의 기질은 일정한 전자밀도를 보여주고 있으며 내막계의 크리스테가 분명하게 나타나 있었다 (Fig. 2D, 2E).

정자의 편모는 9+2 미세소관으로 전형적인 편모구조를 하고 있으며 세포막과 편모사이에는 공포 (cytoplasmic vesicle)가 나타난다 (Fig. 2D, 2E, 2G, 2H). 이와 같은 공포는 편모의 기부에서 많이 관찰되나 Axonemal fin은 나타나지 않았다 (Fig. 2G, 2H).

고 찰

어류 정자의 구조는 매우 다양하여 단편모류와 쌍편모류, 모양과 크기, 세포소기관의 구조와 수 그리고 위치 등에서 종 특이성을 가진다 (Baccetti *et al.*, 1984; Mattei, 1991). 정자의 구조가 생식의 방법에 따라 영향을 받지만 정자형태가 결정되는 것에는 계통적 의미가 함축되어 있는 것이다 (Mattei and Mattei, 1974; Lahnsteiner and Patzner, 1990; Jamieson, 1991). 경골어류 정자의 형태적 특징은 종의 분류와 계통적 관련성을 규명하는데 유용한 특징으로 인정되고 있다 (Jamieson, 1991; Hara and Okiyama, 1998). 정자의 성숙한 구조와 정자 변형과정을 상호 관찰하고 종의 특징적 구조를 분석하는 것은 인접분류군과의 유연관계를 밝히는데 유용하다.

참갈겨니 *Zacco koreanus* 정세포의 변형과정과 성숙한 정자의 구조는 일반적인 형태에서 대부분 경골어류 정자와 유사하다. Mattei (1970)에 의하면 경골어류의 정자 변형과정은 2가지 Type으로 나타난다. Type I은 핵의 회전이 일어나고 두 중심립이 핵외안으로 들어가며 편모가 대칭적으로 위치해 있는 반면 Type II는 핵의 회전이 일어나지 않고 중심립은 핵외의 밖에 위치하며 편모가 비대칭적으로 자리잡고 있다. 이와 같은 분류에 따르면 참갈겨니 정세포 변형과정은 Type II와 유사하다고 할 수 있다. 그러나 기부중심립이 핵외의 형성초기부터 핵외 근처로 이동 하는 것은 Type II와는 일부 다른 양상을 보이고 있다. 경골어류중 체외수정을 하는 정자는 초기 정자세포시기에 편모가 핵의 측면에서 발생을 하며 편모의 축은 핵의 농축이 일어나기 전까지는 핵에 대하여 직각이거나 평행한 각도를 유지하고 있다 (Mat-

tei, 1970).

핵외안에 기부중심립이 위치해 있는 경우는 Cyprinidae (Baccetti *et al.*, 1984; Kim *et al.*, 1998)와 Cobitidae (김과 박, 1996; 박과 김, 1996)에서는 보고가 있으며 기부중심립은 가는 섬유에 의하여 핵막과 연결되어 있다. 이와 같은 구조는 Cypriniformes에서 지속적으로 관찰되는 구조이다. 정자 변형과정에서 나타나는 편모를 핵에 부착시키는 미세섬유는 종에 따라서 flagellar rootlet, electron dense material, bundle of microtubules 등 여러 가지 형태로 나타나며 (Grier, 1975; Todd, 1976; Lahnsteiner *et al.*, 1991) 대부분의 경골어류에서 편모를 핵에 부착하는 구조물이 보고되어 있다 (Mattei and Mattei, 1974; Todd, 1976; Lahnsteiner and Patzner, 1990). 참갈겨니 *Z. koreanus* 정세포의 정자 변형과정 초기에 두 중심립사이의 상호 연결은 미세섬유에 의하여 상호연결된 구조가 나타나는데 이와 같은 상호연결을 'intercentriolar lamellated body'로 불린다 (Grier, 1973). 중심립사이의 연결구조물로는 cap형태와 ring가 있어 상호연결을 돕는데 두 중심립간의 상호 연결구조의 형태는 계통학적으로 중요한 의미를 갖는다 (Grier *et al.*, 1978).

골지체에서 유래되는 침체의 전구물질은 무척추동물과 척추동물 그리고 포유동물의 정자 변형과정에서 일반적으로 관찰되고 있다 (Gwo and Gwo, 1993). 참갈겨니에서도 정자 변형과정에서도 골지체가 중심립 근처에서 나타나지만 침체나 관련된 구조물은 나타나지 않으며 정자 변형과정 후기에는 사라진다. 무침체는 다른 경골어류에서는 흔히 관찰된다 (Mattei, 1991; Lahnsteiner and Patzner, 1996). 그러나 경골어류의 일부 종, *Gambusia affinis*, *Lepadogaster lepadogaster*, *Oncorhynchus mykiss* (Mattei and Thiaw, 1992)에서 침체의 흔적들이 일부 관찰되기도 하지만 cyprinid에서는 보고된 바 없다. 경골어류에서 관찰되는 침체의 흔적은 대부분의 경우 파생형질 (plesiomorphic)인 것으로 알려져 있다 (Jamieson, 1991; Mattei, 1991).

정세포 초기단계의 염색질은 전자밀도가 높고 굵은 모래와 같은 입자들이 핵내에 불규칙적으로 산재해 있으나 핵의 농축이 계속되면서 염색질의 밀도는 더욱 짙어진다. 어류정자의 핵내 염색질은 전자밀도가 균일하게 나타나는 것과 이형질적인 것으로 구분할 수 있다. 전자 밀도가 균일하게 나타나는 것은 Cyprinidae (Baccetti *et al.*, 1984; Guan and Afzelus, 1991), Goodeidae (Grier *et al.*, 1978), Poeciliidae (Greir, 1975) Blenniidae (Lahnsteiner and Patzner, 1990)이고, 핵의 염색질이 균일하지 않은 것은 salmonids (Zirkin, 1975; Fribourgh, 1978;

Stein, 1981)에서 보고 되고 있다. 한편 *O. niloticus* (Lou and Takahashi, 1989), *Blennius pholis* (Silveira et al., 1990), *O. mykiss* (Mattei and Thiaw, 1992)에서는 정세포 변형과정중에 핵의 농축 방식이 바뀌는 것으로 보고 되었다. 이와 같이 핵의 염색질 농축 방식의 변화는 핵의 기본 단백질의 변형으로 추정하고 있다 (Iatrou and Dixon, 1978).

참갈겨니 정세포에서 발생하는 편모는 핵의 한쪽 면에서 발생하여 측면의 핵외로 이동한다. 또한 핵의 회전이 일어나지 않고 핵의 측면에서 위치한 편모가 계속 발생된다. 따라서 핵과 편모의 각도는 초기 발생때와 동일하다. 만약 핵의 회전이 완전하게 일어난다면 핵외는 핵의 중앙에 위치하고 편모는 핵외를 따라 중앙으로 이동하게 되며 핵과 편모의 각도는 수직을 유지하게 된다 (Gwo and Gwo, 1993).

중편부가 짧고 cytoplasmic canal 또한 길지 않은 구조는 경골어류에서 흔히 나타나는 구조이다 (Jamieson, 1991; Mattei, 1991). Cytoplasmic canal의 형성은 정자 변형과정중에 편모의 기부가 되는 중심립이 원형질막과 함께 핵외방향으로 이동하면서 만들어진다 (Mattei, 1970). 잉어류에서 관찰되는 짧은 중편에서 관찰되는 mitochondria는 편모를 둘러싸고 있으며 편모는 cytoplasmic canal에 의하여 분리되어 있다 (Baccetti et al., 1984; Lee and Kim, 1998). 이와 같은 특징은 잉어류 정자의 공통특징으로 사료된다.

갈겨니 *Z. temmincki* 정자의 편모에서 axonemal lateral fins이 있는 것으로 보고하였으나 (Kim et al., 2006), 참갈겨니 *Zacco koreanus* 편모에는 vesicle들이 세포막을 확장해서 나타나는 구조가 있으며 Axonemal fin과는 형태적으로 차이가 있다. Kim 등 (2006)이 갈겨니 *Z. temmincki* 정자에서 보고한 axonemal fins도 vesicle 구조와 매우 흡사하다. 이와 같은 vesicle 구조는 Characiformes에서는 편모뿐만 아니라 중편부에서도 나타나고 있다. Vesicle의 형태는 규칙적인 배열을 한 것 (Mattei et al., 1995)과 불규칙적인 배열을 한 것 (Quagio-Grassiotto et al., 2003) 등 여러 가지 형태로 나타나고 있다. 중편부의 규칙적 vesicle구조는 Siluriformes의 일부 종에서도 나타나고 있다 (Kwon et al., 1998; Lee and Kim, 2001; Quagio-Grassiotto et al., 2003). 잉어류에서는 vesicle들이 편모에서 지속적으로 관찰되고 있어 (Kim et al., 1998; Lee and Kim, 1998) 편모의 vesicle은 잉어류의 공통형질로 사료되며 vesicle의 위치에 관한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

편모의 Axonemal fin은 어류 정자의 계통을 구분에 중요한 형질이 활용되고 있다 (Mattei, 1991; Jamieson,

1991). 잉어류와 Characiformes에서는 axonemal fins이 나타나지 않으나 (Quagio-Grassiotto et al., 2003) 메기류의 일부에서는 관찰되고 있다 (Kwon et al., 1998; Lee and Kim, 2001). Jamieson (1991)은 잉어류와 Characiformes 그리고 일부 메기류에서 axonemal fins이 나타나지 않는 것을 apomorphic loss라 주장하였다.

적 요

참갈겨니 (*Zacco koreanus*) 정세포 변형과정과 성숙한 정자의 미세구조를 주사 및 투과 전자 현미경으로 관찰하였다. 참갈겨니 *Z. koreanus* 정세포변형과정은 수중형 Type II과 유사하나 기부중심립이 핵외안에 위치해 있는 점에서 일부 차이가 있었다. 또한 두 중심립은 섬유성 물질에 의하여 상호연결되어 있는데 이와 같은 구조는 잉어류에서 공통적으로 나타나고 있다. 편모에서 관찰되는 vesicle은 잉어류의 공통된 형질로 사료되며 Charciformes와 일부 Siluriformes에서도 관찰되고 있어 이들 분류군의 계통적 유연관계를 추정할 수 있는 구조적 특징으로 사료된다.

인 용 문 헌

- Baccetti, B., A.G. Burrini, G. Callaini, G. Gibertini, M. Mazzini and S. Zerunian. 1984. Fish germinal cells I. Comparative spermatology of seven cyprinid species. *Gamete Res.*, 1 : 373~396.
- Fribourgh, J.H. 1978. Morphology of the brook trout spermatozoon as determined by scanning and transmission electron microscopy. *Prog. Fish-Cult.*, 40 : 26~29.
- Grier, H.J. 1975. Spermiogenesis in the teleost *Gambusia affinis* with particular reference to the role played by microtubules. *Cell Tissue Res.*, 165 : 89~102.
- Grier, H.J. 1973. Ultrastructure of the testis in the teleost *Poecilia latipinna* spermiogenesis with reference to the intercentriolar lamellated body. *J. Ultrastruct. Res.*, 45 : 82~92.
- Grier, H.J., J.M. Fitzsimons and J.R. Linton. 1978. Structure and ultrastructure of the testis and sperm formation in goodeid teleosts. *J. Morphol.*, 156 : 419~438.
- Guan, T.L. and B.A. Afzelius. 1991. The spermatozoon of the Chinese bitterling, *Rhodeus sericeus sinensis* (Cyprinidae, Teleostei). *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, 23 : 351~356.
- Gusmao-Pompiani, P., C. Oliveria and I. Quagio-Grassiotto. 2005. Spermatozoa ultrastructure in Sciaenidae and

- Polynemidae (Teleostei: Perciformes) with some consideration on Percoidei spermatozoa ultrastructure. *Tissue Cell*, 37 : 177~191.
- Gwo, J.C. and H.H. Gwo. 1993. Spermatogenesis in the black porgy, *Acanthopagrus schegeli* (Teleostei: Perciformes: Sparidae). *Molecular. Reprod. Develop.*, 36 : 75~83.
- Hara, M. and M. Okiyama. 1998. An ultrastructural review of the spermatozoa of Japanese fishes. *Bull. Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo*, 33 : 1~138.
- Hosoya, K., H. Ashiwa, M. Watanabe, K. Mizuguchi and T. Okazaki. 2003. *Zacco sieboldii* a species distinct from *Zacco temminckii* (Cyprinidae). *Ichthyol. Res.*, 50 : 1~8.
- Iatrou, K. and G.H. Dixon. 1978. Protamine messenger RNA: Its life history during spermatogenesis in rainbow trout. *Fed. Proc.*, 37 : 2526~2533.
- Jamieson, B.G.M. 1991. Fish evolution and systematics: Evidence from spermatozoa. New York, Cambridge University Press, pp. 1~139
- Kenzo, U. 1993. Motility and morphology of sperm of the ayu, *Plecogloss altivelis* at different salinities. *Jap. J. Ichthyol.*, 40 : 273~278.
- Kim, I.S., J.Y. Park and M.K. Oh. 2003. Morphology and geographic variation of dark chub, *Zacco temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Proceedings of 58th Annual Meeting of Korean Association of Biological Sciences*, 7 : 128.
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya. 2005. A new species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 17 : 1~7.
- Kim, K.H., A.S. Kwon and Y.H. Lee. 1998. Spermatozoal ultrastructure and phylogenetic relationships of the subfamily Gobioninae (Cyprinidae, Teleostei) 2. Ultrastructure of the spermatozoa of the Korean gudgeon *Squalidus chankaensis tsuchigae*. *Korean J. Limnol.*, 31(3) : 159~164.
- Kim, Y.J., C.Y. Choi and I.S. Park. 2006. Ultrastructure of dark chub *Zacco temminckii* (Cyprinidae) spermatozoa. *J. Fish. Sci. Technol.*, 9(1) : 1~6.
- Kwon, A.S., K.H. Kim and Y.H. Lee. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in the catfish, *Silurus asotus* (Teleostei, Siluriformes, Siluridae). *Dev. Reprod.*, 2 : 75~80.
- Lahnsteiner, F. and R.A. Patzner. 1990. Spermiogenesis and structure of mature spermatozoa in blennioid fishes (Pisces, Blenniidae). *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, 22 : 565~576.
- Lahnsteiner, F. and R.A. Patzner. 1996. Fine structure of spermatozoa of three teleost fishes of the Mediterranean Sea: *Trachinus draco* (Trachinidae, Perciformes), *Uranoscopus scaber* (Uranoscopidae, Perciformes) and *Synodon saurus* (Synodontidae, Aulopiformes). *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, 28(3) : 197~303.
- Lee, Y.H. and K.H. Kim. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in *Pungtungia herzi*. *Dev. Reprod.*, 2 : 141~148.
- Lee, Y.H. and K.H. Kim. 2001. The ultrastructure of spermatozoa of the slender catfish *Silurus microdorsalis* (Teleostei, Siluriformes, Siluridae) with phylogenetic considerations. *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, 33 : 329~336.
- Lou, Y.H. and H. Takahashi. 1989. Spermiogenesis in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* with notes on a unique of nuclear chromatin condensation. *J. Morphol.*, 200 : 321~330.
- Mattei, X., B. Marchand and O.T. Thaiaw. 1995. Unusual midpiece in the spermatozoon of the teleost fish, *Citharus* sp. *J. Submicro. Cytol. Pathol.*, 27 : 189~191.
- Mattei, M. and O.T. Thiaw. 1992. Acrosome-like structure in the spermatozoa of teleost fishes. *Can. J. Zool.*, 71 : 883~888.
- Mattei, C. 1970. Spermiogeneses comparee des Poissons. In: B. Baccetti (ed.), *Comparative Spermatology*. Academic Press, New York, pp. 57~69.
- Mattei, C. and X. Mattei. 1974. Spermiogenesis and spermatozoa of the elopomorpha (teleost fish). In: B.A. Afzelius (ed.), *The functional anatomy of the spermatozoon*. Pergamon press, New York, pp. 211~221.
- Mattei, X. 1991. Spermatozoon ultrastructure and its systematic implications in fishes. *Can. J. Zool.*, 69 : 3038~3055.
- Quagio-GAssiotto, I., M.C. Gameiro, T. Schneider, L.R. Malabarba and C. Oliveira. 2003. Spermiogenesis and spermatozoa ultrastructure in five species of the Curimatidae with some considerations on spermatozoal ultrastructure in the Characiformes. *Neotropical Ichthyol.*, 1 : 35~45.
- Silveria, H., P. Rodrigues and C. Azevedo. 1990. Fine structure of the spermatogenesis of *Blennius pholis* (Pisces, Blenniidae). *J. Submicro. Cytol. Pathol.*, 22 : 103~108.
- Stein, H. 1981. Licht- und elektronenoptische Untersuchungen an der spermatozoen verschiedener süsswasserknochenfische (Teleostei). *Z. Angew. Zool.*, 68 : 183~198.
- Todd, R.E. 1976. Ultrastructure of the spermatozoa and spermiogenesis in New Zealand freshwater eels (Anguillidae). *Cell and Tissue Res.*, 171 : 221~232.
- Yang, S.Y. and M.S. Min. 1989. Evolutionary study on the dark chub (*Zacco temminckii*). I. Geographic distribution and seasonal variation of two allelomorphs of MDH. *Korean J. Zool.*, 2 : 232~241. (in Korean)

Zirkin, B.R. 1975. The ultrastructure of nuclear differentiation during spermiogenesis in the salmon. *J. Ultrastruct. Res.*, 50 : 174~184.

김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 (담수어류). 교육부, 국정교과서주식회사, pp. 268~270.

김익수 · 박종영. 1996. 한국산 줄종개 *Cobitis striata* (미꾸리과)의 정소 및 정자의 구조. *한어지*, 8 : 1~8.

박종영 · 김익수. 1996. 한국산 미꾸리과 Cobitidae (잉어목) 어류의 정자 미세구조. *한어지*, 8 : 74~83.

Received: September 27, 2006

Accepted: October 24, 2006