

## 홍바리, *Epinephelus fasciatus* 정자의 미세구조

김성훈, 이치훈, 송영보, 주해성, 김형배<sup>1</sup>, 이영돈\*

제주대학교 해양과환경연구소, <sup>1</sup>강원도립대학 해양생명과학과

## Ultrastructure of Blacktip Grouper, *Epinephelus fasciatus* Spermatozoa

Seong Hoon Kim, Chi Hoon Lee, Young Bo Song, Hea Sung Ju,  
Hyung Bae Kim<sup>1</sup>, Young Don Lee\*

Marine and Environmental Research Institute of Jeju National University, Jeju 695-965, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Bio-resources, Gangwon Provincial University, Gangneung 210-804, Korea

(Received April 23, 2012; Revised June 27, 2012; Accepted June 27, 2012)

### ABSTRACT

Ultrastructural characteristics of blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus* spermatozoa were investigated using transmission and scanning electron microscopy. The spermatozoa of *E. fasciatus* consisted of a spherical head part, a midpiece with cytoplasmic canal entrance and a flagellum with lateral fins. Internal ultrastructurally, the nucleus contains high electron dense chromatin having granular particles and has no acrosome. The centriolar complex lies outside of the nuclear fossa and it is connected by the osmophilic filaments. Also the osmophilic filaments connect between the centriolar complex and the nuclear membrane. The midpiece contains eight to nine spherical mitochondria, cytoplasmic canal and neck-laces. The flagellum has a typical 9+2 axonemal structure. The lateral fins contain vesicles and a typical 9+2 axonemal structure. Consequently this study contributes to comparative grouper spermatology and provide useful systematic taxonomic characters.

**Keywords :** *Epinephelus fasciatus*, Spermatozoa, Ultrastructure

### 서 론

어류 정자의 미세소관에 관한 미세구조적 특징은 계통 분류학적 형질, 진화학적 유연관계 그리고 번식 생물학적 배우자의 종 특이성을 연구하는 데 지표가 된다(Baccetti et al., 1984; Jamieson, 1991; Gwo et al., 1994, 2004, 2005; García-Díaz et al., 1999; Morisawa, 2001; Gusmão-Pompiani et al.,

2005; Maricchiolo et al., 2010). 바리과 해산어종은 양식산업적으로 유용한 어종이며, 전 세계적으로 159종이 조사 보고되고 있다(FAO, 1993). 이들 중 11종이 우리나라에 분포해 식하며(Kim et al., 2001), 11종 중에서 자바리(*Epinephelus bruneus*), 능성어(*E. septemfasciatus*), 붉바리(*E. akaara*) 그리고 홍바리(*E. fasciatus*) 등이 경제적으로 유용한 양식산업의 대상어종이다.

바리과 해산어 *Serranus cabrilla*, *S. scriba*, *E. malabaricus*

이 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업(과제번호: 109197-3, 홍바리 *Epinephelus fasciatus* 양식산업 최적화 기술개발)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

\* Correspondence should be addressed to Young Don Lee, Marine and Environmental Research Institute, Jeju National University, Jeju 695-965, Korea. Ph.: (064) 782-8922, Fax: (064) 782-8281, E-mail: leemri@jejunu.ac.kr

그리고 *Plectropomus leopardus* (Gwo et al., 1994; García-Díaz et al., 1999) 등 정자의 미세구조적 특징에 관한 연구 보고가 있으나, 우리나라에 서식하는 해산어 바리과 어류의 생식세포인 정자에 관한 미세구조적 연구는 미진한 실정이다. 이 연구는 제주연안에 서식하는 홍바리 *E. fasciatus* 정자 세포소기관의 미세구조적 형태와 바리과 어종 간 종 특이성을 탐색하기 위해 주사형 및 투과형 전자현미경으로 관찰하였다.

## 재료 및 방법

이 연구에 사용한 재료는 순환여과식 수조에서 사육중인 성숙한 어미 (전장,  $39.6 \pm 1.5$  cm, 체중,  $1.06 \pm 0.94$  kg)를 복부압박과 cannulation 방법으로 정소를 적출하였다. 주사형 및 투과형 전자현미경 관찰을 위한 시료는 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2) 완충용액인 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde에 4°C에서 2시간 전고정하였으며, 2% osmium tetroxide ( $\text{OsO}_4$ ) 고정액으로 4°C에서 2시간 후고정하였다. 시료는 ethanol 농도 상승순으로 탈수한 후 propylene oxide로 치환하여 epon-araldite 812 mixture에 포매하였다. 포매시료는 LKB ultramicrotome으로 70~80 nm 두께로 초박절편을 제작하여 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 70 KV 하에서 투과형 (JEM 100CX-2) 전자현미경으로 관찰하였다. 주사형 전자현미경 관찰을 위한 시료는 critical-point로 건조한 후 platinum으로 도금하여 주사형 (JSM-6700F, JEOL) 전자현미경으로 검정하였으며, 정자 세포소기관의 측정치는 평균과 표준편차로 나타내었다.

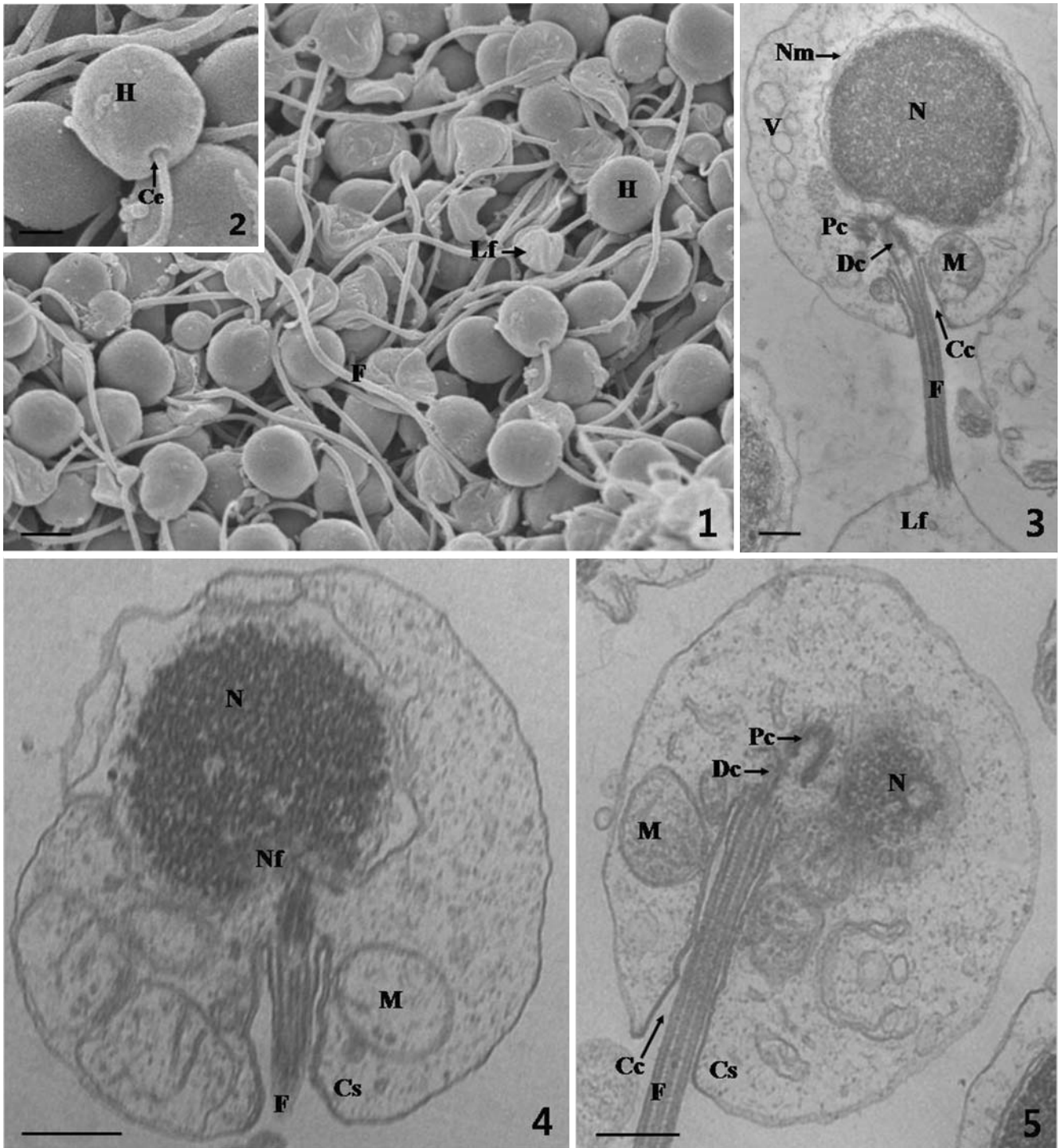
## 결과 및 고찰

주사형 전자현미경으로 관찰한 결과 홍바리 정자는 구형의 두부 (직경  $3.27 \pm 0.53$   $\mu\text{m}$ ), cytoplasmic sleeve와 고리형 빈 공간인 cytoplasmic canal의 입구 등을 포함한 중편부 그리고 1개의 편모에 lateral fins를 갖는 미부 등으로 구분된다 (Figs. 1 and 2). 투과형 전자현미경 관찰한 결과 홍바리 정자의 핵 (직경  $2.15 \pm 0.25$   $\mu\text{m}$ )은 구형이며, 이중막인 핵막을 갖는다. 핵질은 전자밀도가 높은 이질 염색질이 과립상으로 조밀하게 분포한다. 침체구조물은 존재하지 않으나 두부 세포질에는 막성의 vesicles이 관찰된다 (Fig. 3). 어류 정자의 핵 형태는 반구형, 역“U”자형, 역“V”자형 그리고 구형 등 다양하며, 이는 핵강(nuclear fossa), nuclear notch 그리고 centriole complex 등의 핵막으로 함몰정도에 기인한다 (Gwo et al., 1994, 2004, 2005; Gusmão-Pompiani et al., 2005; Maricchiolo et al., 2007, 2010). 또한 다양한 핵의 형태는 정자의

운동형태와 밀접한 연관성이 있다 (Jamieson, 1991; Lahnsteiner & Patzner, 1995). 홍바리 정자의 핵은 centriolar complex에서 기원하는 osmophilic filament로 centriolar complex와 서로 연결되어 있고, 또한 편모와 핵은 수직 (Fig. 4) 또는 평행 (Figs. 3 and 5)으로 놓여 있으며, 이 부위에는 핵막이 함몰되어 핵강(nuclear fossa)을 관찰할 수 있었다.

체외 수정종 어류 정자의 정자변형과정은 핵회전이 일어난 경우 Type I spermiogenesis와 핵회전이 일어나지 않은 경우 Type II spermiogenesis로 구분되며 (Mattei, 1970; Jamieson, 1991), Type II spermiogenesis는 농어목에서 일반적인 정자변형과정이다 (Jamieson, 1991; Mattei, 1991). 한편, 홍바리 정자의 핵 후방부 편모 선단부에는 proximal centriole과 distal centriole이 osmophilic filament로 연결되어 서로 수직으로 놓여 있다. 또한 distal centriole 하단부에는 osmophilic basal plate가 1개의 면 형태로 관찰되며 편모와 연결된다 (Figs. 3 and 6). 어류 정자의 centriolar complex는 서로 수평 또는 수직으로 위치하며 각각의 길이는 짧거나 긴 모양 등 종에 따라 다양하고, centriolar complex가 존재하지 않은 어종도 있다 (Mattei & Mattei, 1978, 1984; Baccetti et al., 1984; Gwo et al., 1992; Lahnsteiner & Patzner, 1997; Morisawa, 1999). 홍바리 정자의 proximal centriole과 distal centriole의 횡단면 미세구조는 각각 9개의 osmophilic spoke을 갖는 수레바퀴 형태로 “9+0”의 미세소관 축사구조이다 (Figs. 7 and 8).

어류 정자의 중편부에 존재하는 미토콘드리아의 수와 형태는 미세구조적으로 어종 간에 상이하다 (Baccetti et al., 1984; Mattei, 1991). 바리과 어류의 정자 중편부에 존재하는 미토콘드리아의 수는 어종 간에 상이하여 *E. malabaricus*는 구형 6개, *P. leopardus*는 구형 5개 또는 6개, *S. atricauda*는 구형 5개 그리고 *S. cabrilla*와 *S. scriba*는 각각 구형 4개 미토콘드리아가 존재한다 (Gwo et al., 1994; García-Díaz et al., 1999). 이 연구에서 홍바리 정자의 중편부는 cytoplasmic canal을 중심으로 편모 선단부와 구형의 8~9개 미토콘드리아 (직경  $0.74 \pm 0.09$   $\mu\text{m}$ )를 갖는다 (Figs. 8 and 9). 일반적으로 외부 수정종 어류 정자의 중편부에 존재하는 미토콘드리아는 정자 편모운동의 에너지원인 ATP 생성에 관여하며 (Christen et al., 1987; Cosson et al., 1999), 정자 운동의 지속성은 미토콘드리아의 수와 직경에 밀접한 상호 연관성이 있다는 보고가 있으나 (Baccetti et al., 1984), 최근 연구는 정자운동을 지속하는 데 필요한 에너지를 확인하는 데 있으며 (Mansour et al., 2003), 미토콘드리아의 ATP 생성정도는 정자의 유영속도 및 유영비율과는 상호관련성이 없다는 연구보고가 있다 (Burness et al., 2005). 어류정자의 중편부 미세구조적 특징 중 다른 하나는 편모 선단부를 중심으로 편모와 cytoplasmic sleeve 원형질막 사이에 좌우 2개의 빈공간인 cytoplasmic canal를 갖는다는 연구가 있다. 이런 구조



**Fig. 1.** A scanning electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoa. H, head; Lf, lateral fin; F, flagellum. Scale bar=2.0  $\mu$ m.

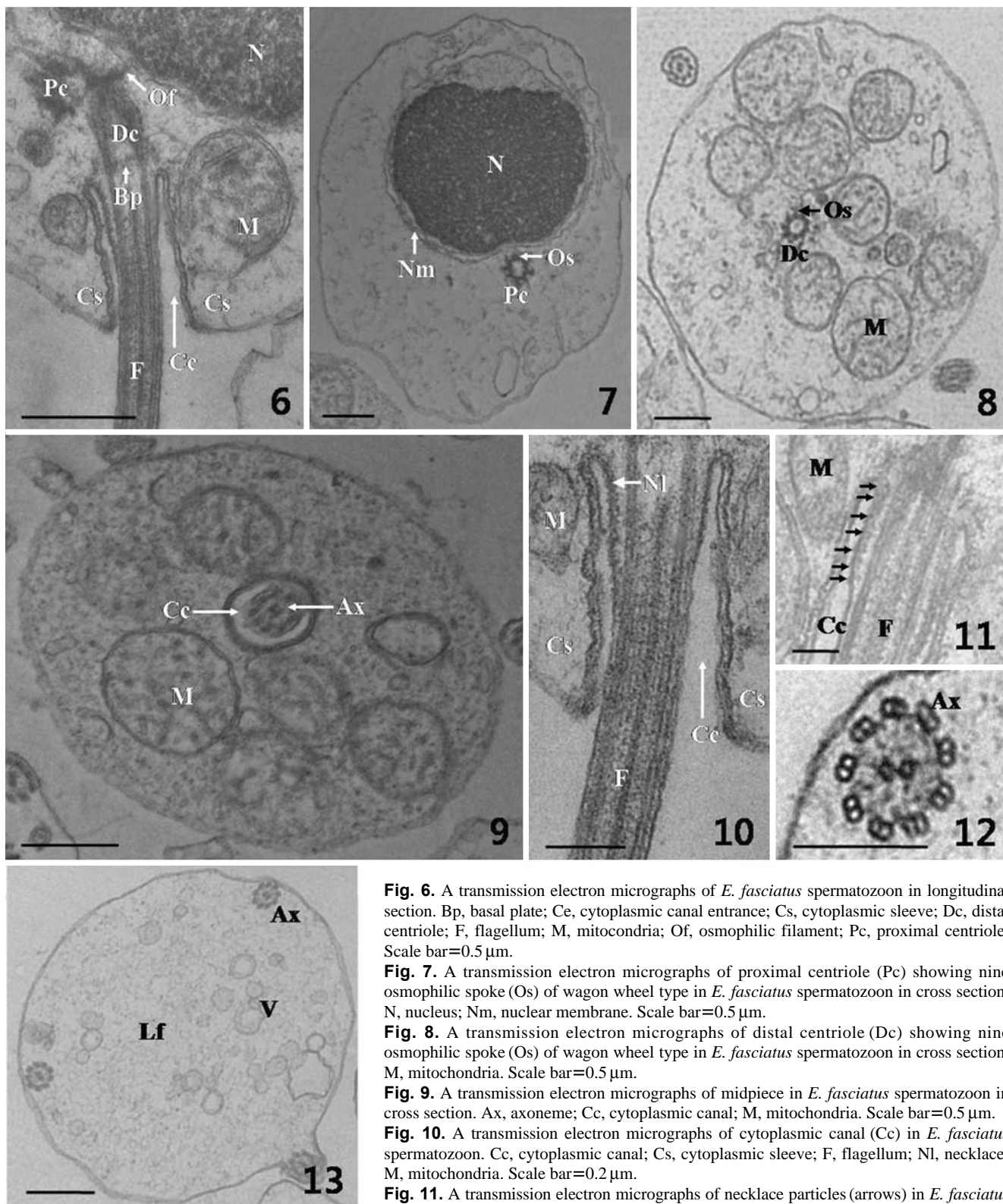
**Fig. 2.** A scanning electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoa. Ce, cytoplasmic canal entrance; H, head. Scale bar=1.0  $\mu$ m.

**Fig. 3.** A transmission electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoon in longitudinal section. Cc, cytoplasmic canal; Dc, distal centriole; F, flagellum; Lf, lateral fin; N, nucleus; Nm, nuclear membrane; Pc, proximal centriole; V, vesicle. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 4.** A transmission electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoon. Note the nucleus lies perpendicular to the flagellar axis. Cs, cytoplasmic sleeve; F, flagellum; M, mitochondria; N, nucleus; Nf, nuclear fossa. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 5.** A transmission electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoon. Note the nucleus lies parallel to the flagellar axis. Cc, cytoplasmic canal; Cs, cytoplasmic sleeve; Dc, distal centriole; F, flagellum; M, mitochondria; N, nucleus; Pc, proximal centriole. Scale bar=0.5  $\mu$ m.





**Fig. 6.** A transmission electron micrographs of *E. fasciatus* spermatozoon in longitudinal section. Bp, basal plate; Ce, cytoplasmic canal entrance; Cs, cytoplasmic sleeve; Dc, distal centriole; F, flagellum; M, mitochondria; Of, osmophilic filament; Pc, proximal centriole. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 7.** A transmission electron micrographs of proximal centriole (Pc) showing nine osmophilic spoke (Os) of wagon wheel type in *E. fasciatus* spermatozoon in cross section. N, nucleus; Nm, nuclear membrane. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 8.** A transmission electron micrographs of distal centriole (Dc) showing nine osmophilic spoke (Os) of wagon wheel type in *E. fasciatus* spermatozoon in cross section. M, mitochondria. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 9.** A transmission electron micrographs of midpiece in *E. fasciatus* spermatozoon in cross section. Ax, axoneme; Cc, cytoplasmic canal; M, mitochondria. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

**Fig. 10.** A transmission electron micrographs of cytoplasmic canal (Cc) in *E. fasciatus* spermatozoon. Cc, cytoplasmic canal; Cs, cytoplasmic sleeve; F, flagellum; Nl, necklace; M, mitochondria. Scale bar=0.2  $\mu$ m.

**Fig. 11.** A transmission electron micrographs of necklace particles (arrows) in *E. fasciatus* spermatozoon. Cc, cytoplasmic canal; F, flagellum; M, mitochondria. Scale bar=0.2  $\mu$ m.

**Fig. 12.** A transmission electron micrographs of axoneme (Ax) in *E. fasciatus* spermatozoa flagellum. Note the flagellum have a typical 9+2 axonemal structure. Scale bar=0.2  $\mu$ m.

**Fig. 13.** A transmission electron micrographs of lateral fin (Lf) in *E. fasciatus* spermatozoa flagellum. Ax, axoneme; V, vesicle. Scale bar=0.5  $\mu$ m.

는 어류정자의 일반적인 미세구조적 형태이며(Jamieson, 1991), 이는 척추동물과 무척추동물의 정자의 미세구조적 형태와는 상이하다(Guraya, 1987; Koch & Lambert, 1990). 또한 어류 cytoplasmic canal의 길이는 긴형, 중간형 그리고 짧은형 등 어종 간에 상이하다(Jamieson, 1991; Gwo et al., 1994; García-Díaz et al., 1999; Maricchiolo et al., 2002).

이 연구에서 홍바리 정자의 중편부는 미세구조적 횡단면과 종단면의 관찰 결과 편모선단부를 중심으로 cytoplasmic sleeve 원형질막 사이에 길이가  $0.91 \pm 0.27 \mu\text{m}$ 이며 너비가  $0.36 \pm 0.03 \mu\text{m}$ 인 좌우에 2개의 빈공간인 cytoplasmic canal 모양의 구조를 갖는다(Fig. 10). 이러한 바리과 어류 정자 중편부의 cytoplasmic canal 독특한 미세구조는 편모운동을 원활하게 유지하고, 진화학적인 관점에서 서식환경인 해수의 유입과 유출의 용이성을 위해 분화된 구조물이라고 판단된다. 특히 해산어 바리과 어종의 정자 중편부에 존재하는 cytoplasmic canal 내부 편모 선단부 원형질막에는 전자 밀도가 높은 구형의 입자를 갖는 necklace가 존재하며(Gwo et al., 1994, 2005; Maricchiolo et al., 2010), necklace는 편모 내로  $\text{Ca}^{2+}$ 이온의 유입으로 정자의 편모 운동과 막 투과성에 관여한다는 연구 보고가 있다(Dentler, 1990; Gwo et al., 1994). 이 연구에서 홍바리 정자의 necklace는 편모 선단부 cytoplasmic canal과 접하는 편모 원형질막에 전자밀도가 높은 7~8개의 구형 입자 형태로 존재하였다(Fig. 11). Cytoplasmic canal과 necklace의 생리학적 상호연관성 및 necklace의 기능에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

한편 어류 정자 미부는 어종 간에 상이하여 하나의 편모를 갖는 uniflagellate 정자, 2개의 편모를 갖는 biflagellate 정자 그리고 편모가 없는 aflagellate 정자 등으로 구분된다(Jamieson, 1991). 바리과 해산어종인 *E. malabaricus*, *P. leopardus*, *S. atricauda*, *S. cabrilla* 그리고 *S. scribe* 등의 정자 미부는 하나의 편모를 갖으며 미세구조적으로 전형적인 “9+2”의 측사구조이다(Gwo et al., 1994; García-Díaz et al., 1999). 홍바리 정자의 편모는 어류에서 일반적으로 관찰할 수 있는 1개의 편모를 갖는 uniflagellate 정자이며, 편모 횡단면의 미세구조는 1쌍의 중심 미세소관과 이를 둘러싸는 9쌍의 주변 미세소관으로 구성된 전형적인 “9+2”의 측사구조이었다(Fig. 12). 그러나 뱀장어, *Anguilla japonica*는 “9+0”의 미세소관 측사 구조(Colak and Yamamoto, 1974)이며, 티라피아는 “9+1”의 미세소관 측사구조(Bern and Avtalion, 1990)를 갖는다.

한편, 어류 정자의 편모에 존재하는 lateral fin은 체외 수정종 해산어 *Boops boops* (Mattei, 1970; Zaki et al., 2005; Jamieson, 2009)과 *Diplodus sargus* (Lahansteiner & Patzner, 1998) 그리고 *Pegellus erythrinus* (Assem, 2003; Maricchiolo et al., 2004)에서 보고된다. 또한 바리과 해산어종 *E. malabaricus*와 *P. leopardus*는 2개의 lateral fins를 갖지만(Gwo

et al., 1994), *S. atricauda*와 *S. cabrilla* 그리고 *S. scribe*에서는 lateral fin에 관한 보고가 없다(García-Díaz et al., 1999). 어류 정자 편모의 lateral fin은 정자의 운동 환경과 편모의 수 그리고 정자의 형태와는 관련이 없으나 정자의 운동성을 효율적으로 유지한다(Mattei, 1988). lateral fin은 척추동물의 정자 편모에는 볼 수 없으며, 소수 무척추동물에서 보고가 있다(Afzelius, 1978). 홍바리 정자 편모에는 크기와 모양이 다양한 lateral fin이 존재하며, lateral fin 내부에는 정자 편모의 횡단면 미세구조와 동일한 전형적인 “9+2”의 측사구조를 하며 막성의 vesicle 등이 관찰된다(Fig. 13).

이 연구결과 홍바리 정자의 미세소관은 바리과 어종 간에 형태가 상이하여 계통 분류학적인 형질로서 이용될 뿐만 아니라, 어류 정자 세포소기관의 구조적 기능 연구에 이용될 수 있다고 판단된다. 또한 cytoplasmic canal과 lateral fin 그리고 necklaces 등의 독특한 미세구조는 정자운동에 필요한 에너지를 편모 내로 유입하는 기능을 수행하는 세포소기관이라고 판단되나 정자의 세포소기관의 구조적 기능과 생리학적 기능에 대한 상호 연관성에 관한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- Assem SS: Reproductive biology, spermatogenesis and ultrastructure of the testes of the sparid fish, *Pagellus erythrinus*. J Egypt German Soc 42 : 231-251, 2003.
- Baccetti B, Burrini AG, Callaini G, Gilbertini G, Mazzini M, Zernian S: Fish germinal cells. I. Comparative spermatology of seven Cyprinid species. Gamete Res 10 : 373-396, 1984.
- Bern O, Avtalion RR: Some morphological aspects of fertilization in tilapias. J Fish Biol 36 : 375-381, 1990.
- Burness G, Moyes CD, Montgomery R: Motility, ATP levels and metabolic enzyme activity of sperm from bluegill (*Lepomis macrochirus*). Comp Biochem Physiol A 140 : 11-17, 2005.
- Christen R, Gatti JL, Billard R: Trout sperm motility. The transient movement of trout sperm motility is related to changes in concentrations of ATP following the activation of flagellar movement. Eur J Biochem 166 : 667-671, 1987.
- Colak A, Yamamoto K: An electron microscope study of spermiogenesis in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 25 : 1-5, 1974.
- Cosson J, Billard R, Cibert C, Dreanno C, Suquet M: Ionic factors regulating the motility of fish sperm. In: Gagnon C, ed, The Male Gamete: From Basic Science to Clinical Applications, pp. 161-186, Cache River Press, Vienna, IL, 1999.
- Dentler WL: Linkages between microtubules and membranes in cilia and flagella. In: Blood-good RA, ed, Ciliary and Flagella Membrane, pp. 31-64, Plenum Press, New York, 1990.
- FAO: FAO species catalogue Vol. 16. Groupers of the world. pp.

- 1-10, FAO Rome, 1993.
- García-Díaz MM, Lorenti MJ, Gonzales JA, Tuset VM: Comparative ultrastructure of spermatozoa of three marine teleosts of the genus *Serranus*: *Serranus atricauda*, *Serranus cabrilla* and *Serranus scriba*. J Submicr Cytol Pathol 31 : 503-508, 1999.
- Guraya SS: Biology of spermatogenesis and spermatozoa in mammals. Springer Verlag, Berlin, pp. 1-430, 1987.
- Gusmão-Pompiani P, Olivera C, Quagio-Grassiotto I: Spermatozoa ultrastructure in Sciaenidae and Polynemidae (Teleostei: Perciformes) with some consideration on Percoidei spermatozoa ultrastructure. Tissue Cell 37 : 177-191, 2005.
- Gwo JC, Chiu JY, Lin CY, Su Y, Yu SL: Spermatozoal ultrastructure of four Sparidae fishes: *Acanthopagrus berda*, *Acanthopagrus australis*, *Lagodon rhomboides* and *Archosargus probatocephalus*. Tissue Cell 37 : 109-115, 2005.
- Gwo JC, Gwo HH, Chang SL: The spermatozoon of the Japanese eel, *Anguilla japonica* (Teleostei, Anguilliformes, Anguillidae). J Submicr Cytol Pathol 24 : 571-574, 1992.
- Gwo JC, Gwo HH, Kao YS, Lin BH, Shih H: Spermatozoon ultrastructure of two species of *Epinephelus malabaricus* and *Plectropomus leopardus* (Teleostei, Perciformes, Serranidae) from Taiwan. J Submicr Cytol Pathol 26 : 131-136, 1994.
- Gwo JC, Kuo MC, Chiu JY, Cheng HY: Ultrastructure of *Pagrus major* and *Rhabdosargus sarba* (Perciformes: Sparidae: Sparinae). Tissue Cell 36 : 141-147, 2004.
- Jamieson BGM: Fish Evolution and Systematics. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-319, 1991.
- Jamieson BGM: Reproductive biology and phylogeny of fishes (Agnathans and Bony Fishes). Science Publishers, Enfield, NH, USA, pp. 1-788, 2009.
- Koch RA, Lambert CC: Ultrastructure of sperm spermiogenesis, and sperm-egg interactions in selected invertebrates and lower vertebrates which use external fertilization. J Electron Microscop Tech 16 : 115-154, 1990.
- Lahnsteiner F, Patzner RA: Fine structure of spermatozoa of four littoral teleosts, *Symphodus ocellatus*, *Coris julis*, *Thalassoma pavo* and *Chromis chromis*. J Submicr Cytol Pathol 29 : 477-485, 1997.
- Lahnsteiner F, Patzner RA: Sperm motility of the marine teleosts *Boops boops*, *Diplodus sargus*, *Mullus barbatus* and *Trachurus mediterraneus*. J Fish Biol 52 : 726-742, 1998.
- Mansour N, Lahnsteiner F, Berger B: Metabolism of intratesticular spermatozoa of a tropical teleost fish (*Clarias gariepinus*). Comp Biochem Physiol B 135 : 285-296, 2003.
- Maricchiolo G, Genovese L, Laurà R, Micale V, Muglia U: The ultrastructure of amberjack (*Seriola dumerilli*) sperm. Eur J Morphol 40 : 289-292, 2002.
- Maricchiolo G, Genovese L, Laurà R, Micale V, Muglia U: Fine structure of spermatozoa in pandora (*Pagellus erythrinus* Linnaeus, 1758) (Perciformes Sparidae). Histol Histopathol 19 : 1237-1240, 2004.
- Maricchiolo G, Genovese L, Laurà R, Micale V, Muglia U: Fine structure of gilthead sea bream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758) (Perciformes Sparidae). Histol Histopathol 22 : 79-83, 2007.
- Maricchiolo G, Laurà R, Genovese L, Guerrera MC, Micale V, Muglia U: Fine structure of spermatozoa in the blackspot sea bream *Pagellus bogaraveo* (Brünnich, 1768) with some considerations about the centriolar complex. Tissue Cell 42 : 88-96, 2010.
- Mattei C, Mattei X: La spermiogenese d'un poisson teleosteen (*Lepadogaster lepadogaster*). I-Lespermatide. Biologie Cellulaire 32 : 257-266, 1978.
- Mattei C, Mattei X: Spermatozoïdes biflagellés chez un poisson téléostéen de la famille Apogonidae. J Ultrastruct Res 88 : 223-228, 1984.
- Mattei X: Spermiogenèse compare des poissons. In: Baccetti B, ed, Comparative Spermatology, pp. 57-70, Academic Press, New York, 1970.
- Mattei X: Spermatozoon ultrastructure and its systematic implication in fish. Can J Zool 69 : 3038-3055, 1991.
- Morisawa S: Acrosome reaction in spermatozoa of the hagfish *Eptatretus burger* (Agnatha). Dev Growth Different 41 : 109-112, 1999.
- Morisawa S: Ultrastructural studies of late-stage spermatids and mature spermatozoa of the puffer fish, *Takifugu niphobles* (Tetraodonitiformes) and the effects of osmolality on spermatozoon structure. Tissue Cell 33 : 78-85, 2001.
- Zaki MI, Negm RK, El-Agamy A, Awad GS: Ultrastructure of male germ cells and character of spermatozoa in *Boops boops* (family Sparidae) in Alexandria Coast, Egypt. Egypt J Aquat Res 31 : 293-313, 2005.

#### < 국문초록 >

홍바리, *Epinephelus fasciatus* 정자의 미세구조적 특징을 주사형 및 투과형 전자현미경으로 관찰하였다. 홍바리 정자는 구형의 두부와 cytoplasmic sleeve와 고리형 cytoplasmic canal 입구 등으로 구성된 중편부 그리고 lateral fin을 갖는 1개의 편모로 구성된 미부로 구별된다. 정자의 핵은 구형이며, 첨체 구조물은 존재하지 않으나 이질 염색질이 과립상 덩어리 형태로 조밀하게 분포하였다. Proximal centriole과 distal centriole은 각각 수레바퀴형의 “9+0”의 축사구조를 보이며 서로 수직으로 osmophilic filaments 연결되어 있고, 핵막과도 연결되어 있었다. 중편부는 구형의 8~9개의 미토콘드리아를 포함하며, 빈공간인 cytoplasmic canal과 편모 원형질막에는 7~8개의 구형 입자를 갖는 necklace가 존재하였다. 미부는 1개의 편모를 갖고며 전형적인 “9+2”의 축사구조를 보였고, 편모에는 다양한 형태의 lateral fins을 관찰할 수 있었다. 홍바리 정자의 미세구조적 특징은 바리와 어류의 정자와 상이하여 계통분류학적 동정의 형질이 될 수 있을 뿐만 아니라 정자 세포소기관의 기능적 및 생리학적 연구에 이용될 수 있다고 판단된다.