

## 한국산 연어속 어류의 형태학적 연구 - II 초기 발육단계에 있어서의 연어, *Oncorhynchus keta*의 골격 발달

명 정 구 · 김 용 역\*

한국해양연구소 · 부산수산대학교 해양생물학과\*

1989년, 1990년 12월 강원도 양양군 남대천에서 체포한 연어로부터 수정난을 받아 양양내수면연구소와 한국해양연구소 부화, 사육실에서 사육한 연어의 골격 발달과정을 조사하였다.

1. 부화직후 전장 1.95~2.13cm의 자어는 두부에 부설골, 주상악골, 치골, 주새개골의 일부가 골화되어 있다.
2. 자어의 골격중 섭이활동, 호흡에 관련된 턱, 아가미 등 내장골이 먼저 골화하며 대부분의 골격은 3~4cm에서 골화가 완료된다.
3. 턱니, 인두치, 서골치, 구개골위의 이빨은 전장 3~4cm에서 급격히 증가한다.
4. 꼬리지느러미는 부화직후 개체에 이미 17개의 줄기가 골화되어 있으며 지느러미 중에서 가장 빨리 완성된다.

### 서 론

연어(*Oncorhynchus keta*)는 북태평양, 북극해에 서식하며 우리나라 동해안으로 회귀하여 오는 종으로 시마연어(*O. masou*), 무지개송어(*O. mykiss*)와 함께 연어과(Salmonidae) 연어속(*Oncorhynchus* spp.)에 속하는 어종이다(Dymond and Vladykov, 1934; 鄭, 1977)

연어는 길이가 1m에 달하는 대형어류이면서 모천회귀습성을 가지고 있어 오래전부터 주요 수산자원으로 취급되어 왔고, 산란 생태(Alderdice *et al.*, 1958; Kobayashi, 1968; Hashimoto, 1974; Shimizu, 1984), 강하치어의 형태(Davis and Olla, 1987), 회유(Sano, 1951; Irie, 1985 a, b) 등에 대한 많은 연구가 있다.

형태에 관한 연구로는 성어의 외부 형태, 구강 내의 이빨의 발달 상태나 내부 형태(Nomura, 1953, 1954), 비교 골격학적 연구(Norden, 1961; Hikita, 1962; Vladykov, 1962), 비늘의 형태(川嶋·鈴木, 1968; Kang, 1974) 등 분류 형질을 찾고 계통 판정을 위한 연구가 있으나 치어기의 형태연구는 상대성장(Kanno and Hamai, 1969), 비늘의 발달(Yamada, 1971; Kaeriyama, 1989), 강하치어의 형태(Okada and Nishiyama, 1970), 자치어의 형태 발달(명·김, 1993) 등이 있고, 초기발육단계에 있어서의 골격 발달에 대한 연구는 생태연구에서 단편적으로 보고된 것(Kaeriyama, 1989)외에는 찾아볼 수 없다.

본 연구는 연어의 초기 생활사에 있어서의 골격의 골화과정을 조사하였기에 보고하는 바이다.

본 연구를 수행함에 있어 친어 및 부화 사육에 협조해 준 국립 수산진흥원 양양내수면연구소 임직

본연구는 한국해양연구소 1991년도 기본연구과제인 "한국산 연어류의 형태·분류학적 연구" (BSPE 00254 - 420 - 3)의 일환으로 수행된 것임.

원 여러분, 한국해양연구소 생물공학연구실원, 자료 분석에 도움을 준 부산수산대학교 어류학 실험실원 여러분께 감사를 표한다.

### 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 1989년 12월, 1990년 12월 강원도 양양군 양양읍에 위치한 남대천에 회귀하여온 성숙한 연어로부터 수정난을 얻어 양양내수면연구소 실내 부화실과 한국해양연구소 수조실에서 부화 사육한 1.8~13.4cm범위인 연어 자, 치어였다.

친어 수컷과 암컷의 체장은 각각 50~65cm, 60~70cm 범위였으며, 수정난은 아트킨스식 부화조(293cm×34cm×33cm)에서 부화시켰으며 사육 기간 중 수온은 9.8~23.5℃였다. 표본은 부화후 2개월까지는 7일 간격으로, 그후는 20일 간격으로 10~60마리씩 무작위 추출하여 5% 포르말린에 고정한후 Hollister법(冲山, 1979)을 사용하여 alizarin red로 경골을 염색하여 골격의 골화과정을 관찰하였다. 관찰 및 스케치는 해부현미경(Olympus, SZH)과 drawing tube를 사용하였다.

### 결 과

두개골(頭蓋骨) 및 내장골(內臟骨) : 두부의 골격은 두개골(cranium)과 내장골(visceral skeleton)로 이루어지며, 연어의 초기 두부 골격 발달은 Fig. 1, 2에 나타낸 바와 같다.

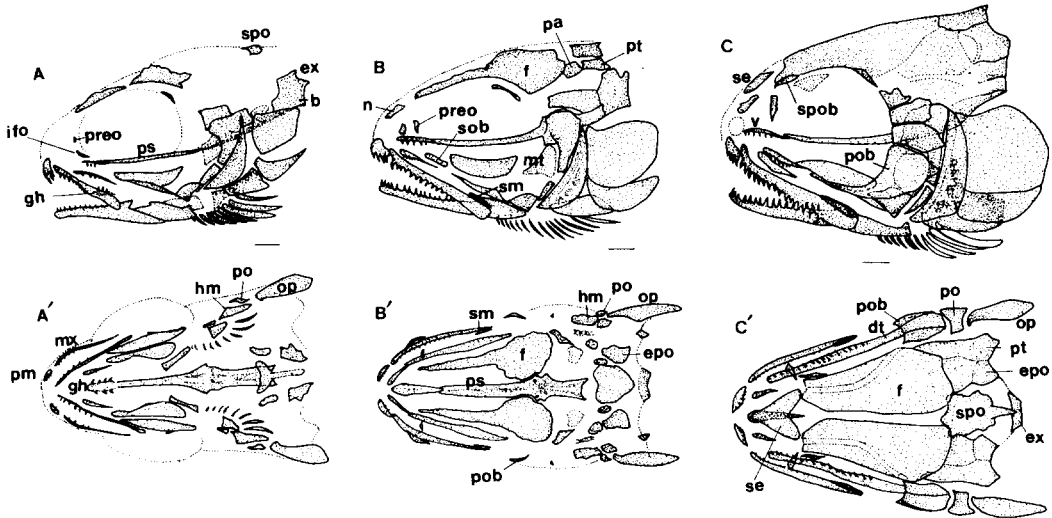


Fig. 1. Development of the cranium and visceral skeleton in *Oncorhynchus keta*. A-D: lateral view, A'-D': dorsal view. A. 2.13cm in total length, B. 2.42cm, C. 2.75cm, D. 3.20cm. an, angular; ar, articular; b, basioccipital; bs, branchiostegals; ch, ceratohyal; dt, dentary; ecp, ectopterygoid; eh, epihyal; enp, endopterygoid; f, frontal; hm, hyomandibular; io, interopercle; mt, metapterygoid; mx, maxillary; op, opercle; p, paratine; pm, premaxillary; po, preopercle; ps, parashenoid; q, quadrate; so, subopercle; spo, supraoccipital; sy, symplectic; v, vomer. Scale bar: 0.1mm.

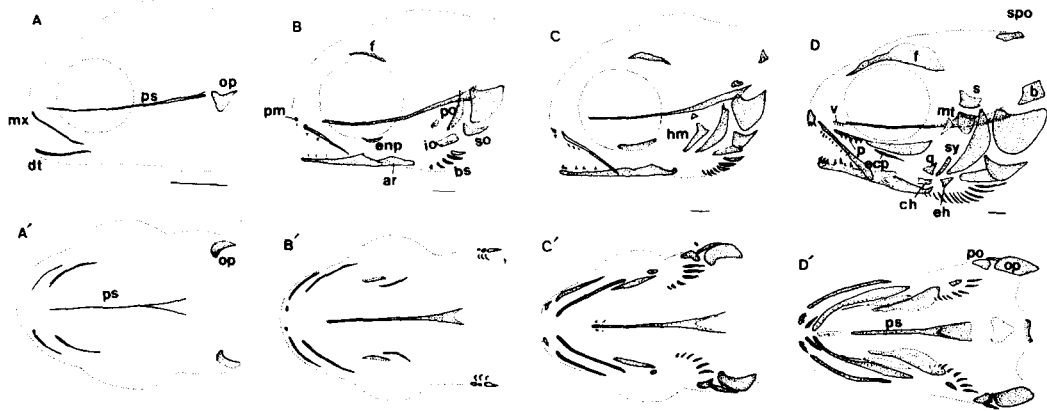


Fig. 2. Development of the cranium and visceral skeleton in *Oncorhynchus keta*. A-C: lateral view, A'-C':dorsal view. A. 3.50cm in total length, B. 3.80cm, C. 5.53cm. b. basioccipital: dt, dentary: epo, epiotic: f, frontal: gh, glossohyal: hm hyomandibular: mt, metapterygoid: mx, maxillary: n, nasal: op, opercle: pa, parietal: po, preopercle: pob, postorbital: preo, preorbital: ps, parasphenoid: pt, pterotic: se, supraethmoid: sm, supramaxillary: sob, suborbital: spo, supraoccipital: spob, supraorbital. Scale bar : 0.1mm.

부화직후 전장 1.95~2.13cm의 자어는 두부의 몇개 골격과 견대 및 꼬리지느러미 줄기 17개만이 골화되어 있다. 두부에는 가는 선모양의 부설골(parasphenoid), 주상악골(maxillary), 치골(dentary)이 골화하며, 새개부(opercular)에는 주새개골(opercle)만이 휘어진 반달모양으로 골화한다(Fig. 1, A).

전장 2.15~2.18cm의 자어에서는 관절골(articular)이 뒷부분부터 골화하며, 새개부에서는 실선모양의 전새개골(preopercle)이 나타나고, 설궁(hyoid arch)에 4개의 새조골(branchiostegals)이 골화된다. 전장 2.31cm 자어는 주상악골 앞에 점상의 전상악골(preopercle)이 골화되고, 눈 위쪽의 두개골 중에 최초로 액골(frontal)이 가는 실모양으로 골화되기 시작하며, 새개부에는 하새개골(subopercle)과 간새개골(interopercle)이 골화한다. 전장 2.42mm 개체에서는 두개골 중의 외후두골(exoccipital)이, 관절골 윗부분에 각골(angular)이 골화되며 설궁에는 인설골(glossohyal)이 골화되어 혀바닥 위의 이빨도 골화되어 나타나기 시작한다. 현수골(suspensorium)중에서는 최초로 내익상골(endopterygoid)과 설악골(hyomandibular)이 골화한다. 새조골은 5개로 증가한다(Fig. 1, B).

전장 2.75cm가 되면 현수골의 후익상골(metapterygoid)이 골화하며, 전장 2.80cm가 되면 현수골 중 방골(quadrate), 외익상골(ectopterygoid)과, 입천정부분의 이빨을 가진 구개골(palatine)과 서골(vomer)이 동시에 골화하기 시작하고 설궁의 각설골(ceratohyal)이 골화한다(Fig. 1, C).

전장이 3.02~3.20mm가 되면 두개골의 가장 뒤 위쪽에 위치한 상후두골(supraoccipital)의 골화가 시작되며, 이어서 전이골(prootic)과 제 1추골(atlas)과 이어지는 기저후두골(basioccipital)이 골화한다. 접속골(symplectic)이 현수골 중 마지막으로 골화하며, 설궁에는 미설골(urohyal), 하설골(hypohyal)에 이어 상설골(epihyal)이 골화한다(Fig. 1, D).

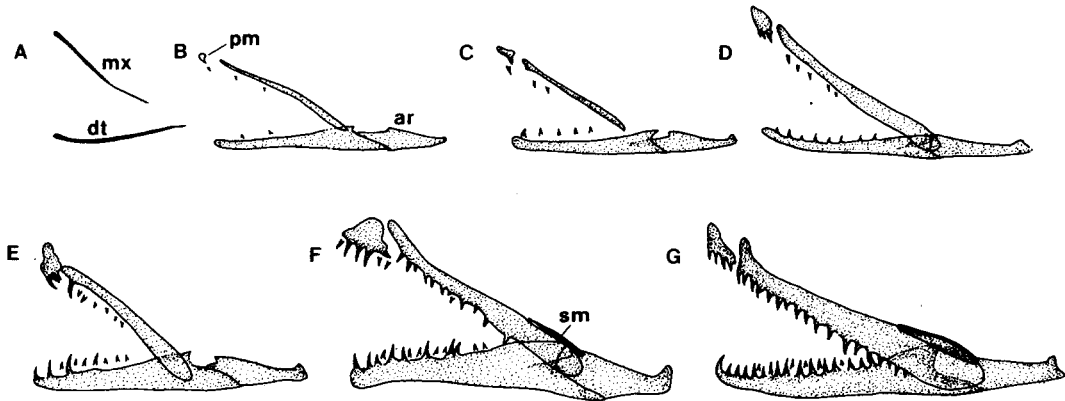


Fig. 3. Development of the jaws in *Oncorhynchus keta*. a. 1.95cm in total length, B. 2.42cm, C. 2.80cm, D. 3.00cm, E. 3.20cm F. 3.71cm, G. 5.53cm. ar, articular; dt, dentary; mx, maxillary; pm, premaxillary; sm, supramaxillary.

전장이 3.45~3.50cm가 되면 두개골의 익이골(pterotic), 비골(nasal), 익설골(alisphenoid)이 골화되기 시작하며 새조골은 13~15개가 모두 골화를 완료한다.

이 시기까지는 대부분의 내장골이 형태를 갖추기 시작하는데 비하여 두개골의 골격들은 부분적으로 골화하기 시작하며 전체적인 형태는 나타나지 않은 상태이다(Fig. 2, A).

전장이 3.6~3.8cm가 되면 설이골(sphenotic), 상이골(epiotic), 노정골(parietal)이 골화하기 시작하여 상사골(supraethmoid)을 제외한 대부분의 골격이 골화되어 있다. 또 이 시기에는 서골(vomer)의 이빨도 골화가 완료된다(Fig. 2, B). 전장이 5.53cm 개체는 두개골의 골편이 대부분 형태를 갖추어 두개골이 완성되어 있다(Fig. 2, C).

악골(顎骨) : 악골은 두부의 골격 중에서 두개골의 부설골, 새개부의 주새개골과 가장 먼저 발달하는 골격이다. 전장이 2cm 전후인 부화직후 자어는 가느다란 선 모양의 주상악골(maxillary)과 치골(dentary)이 골화된다(Fig. 3, A).

전장 2.18cm 개체에는 관절골(articular)이 치골의 뒷부분에 나타난다. 전장이 2.31cm가 되면 주상악골 앞쪽에 1개의 이빨을 가진 전상악골(premaxillary)이 골화되어 나타나며, 전장 2.42cm일 때에는 주상악골과 치골 위에 각각 2~3개, 4개의 날카로운 이빨이 출현하기 시작한다(Fig. 3, B).

전상악골의 이빨은 전장 2.31cm에 처음으로 나타나기 시작하며 전장 3~4cm 범위에서 급격히 그 수가 증가하여 전장이 3.67cm일 때 7개가 골화된다. 개체에 따라서 그 차이가 많으나 전장 4cm 이상으로 성장하면 거의 성어가 가진 형태의 이빨이 골화된다(Fig. 3, G).

주상악골의 이빨은 전장 2.42cm일때 2~3개가 최초로 나타나며 이빨들은 뾰족한 끝부터 골화하기 때문에 alizarin으로 경골만 단독 염색하여 관찰하면 주상악골과 분리되어 있는 것처럼 나타난다. 치골은 전장이 2.42cm에 4개의 이빨이 최초로 골화하기 시작하며 골화 순서의 독특한 패턴은 관찰되지 않으며 외열치가 크고 강하며 빨리 발달하고 안쪽으로 향한 내열치는 골화가 늦다(Fig. 3, E, F). 전장 3.7cm가 되면 상주상악골(supramaxillary)이 주상악골의 뒷부분 위에 실모양으로 골화되기 시작하여(Fig. 3, F), 전장 4~5cm사이에 골화가 완성된다. 주상악골과 치골 위에 이빨도 전상악골과 마찬가지로 3~4cm 범위에서 빠른 속도로 증가하는 경향을 나타낸다(Fig. 4).

연어의 구강 속에는 악골 외에 입천정부의 서골(vomer)과 구개골(paratine) 위에 이빨이 발달하

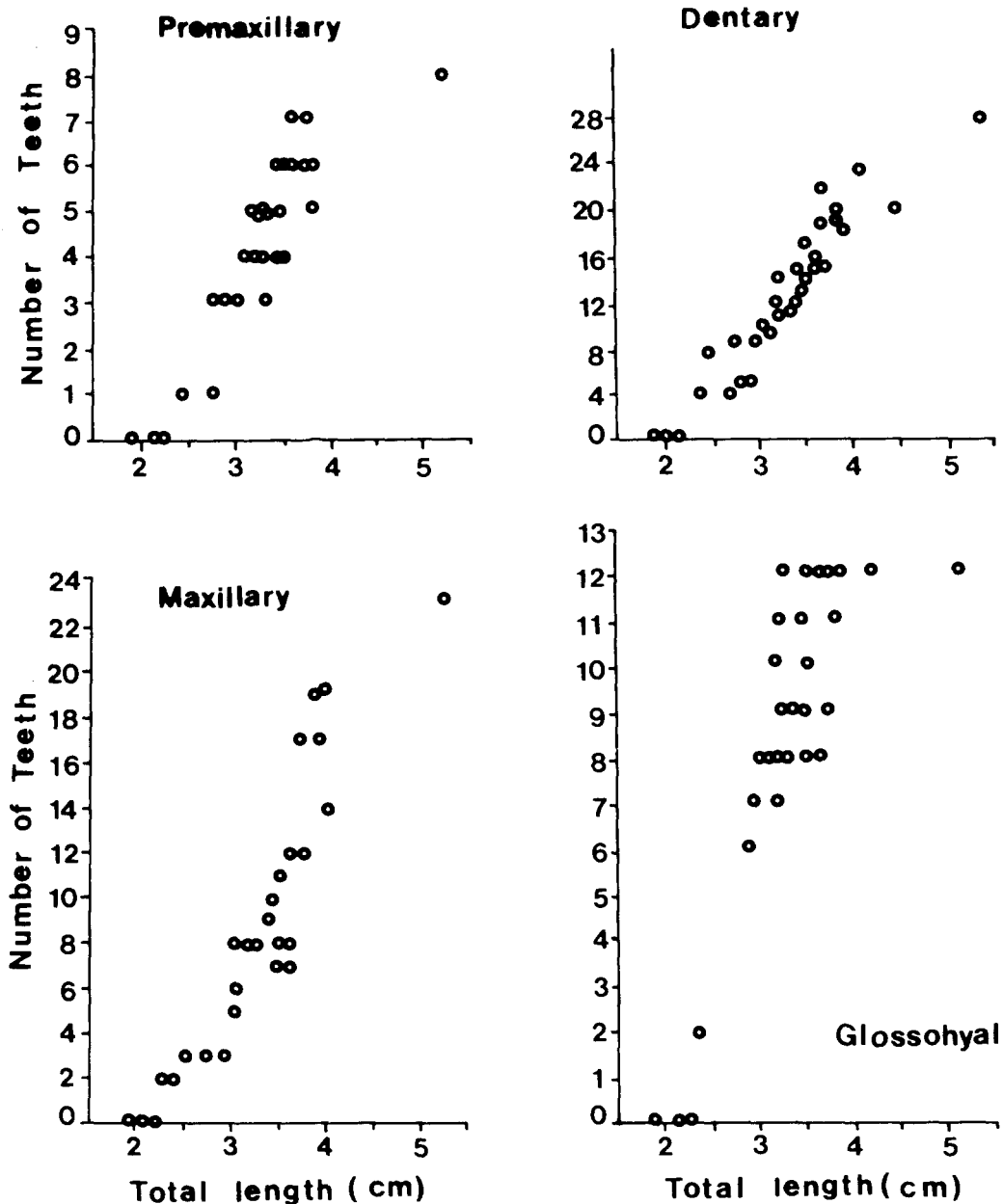


Fig. 4. Number of teeth on jaw bones and glossohyal by size groups in *O. keta*.

며, 혀바닥 위(인설골)에도 크고 날카로운 이빨이 발달한다. 구개골과 서골 위의 이빨은 전장이 2.8cm인 개체부터 2, 3개가 나타나기 시작하며 혀위의 이빨은 전장 2.42cm에 나타나기 시작한다. 이들 이빨의 발달은 Fig. 4, 5에서 보는 바와 같이 최초로 나타나는 시기는 조금씩 다르지만 악골의 이빨 발달과 마찬가지로 전장 3~4cm 범위에서 빠른 증가를 보인다.

인두골(咽頭骨) : 연어의 인두골은 설골의 골편들이 골화하기 전인 전장 2.42cm 개체에서 처음으

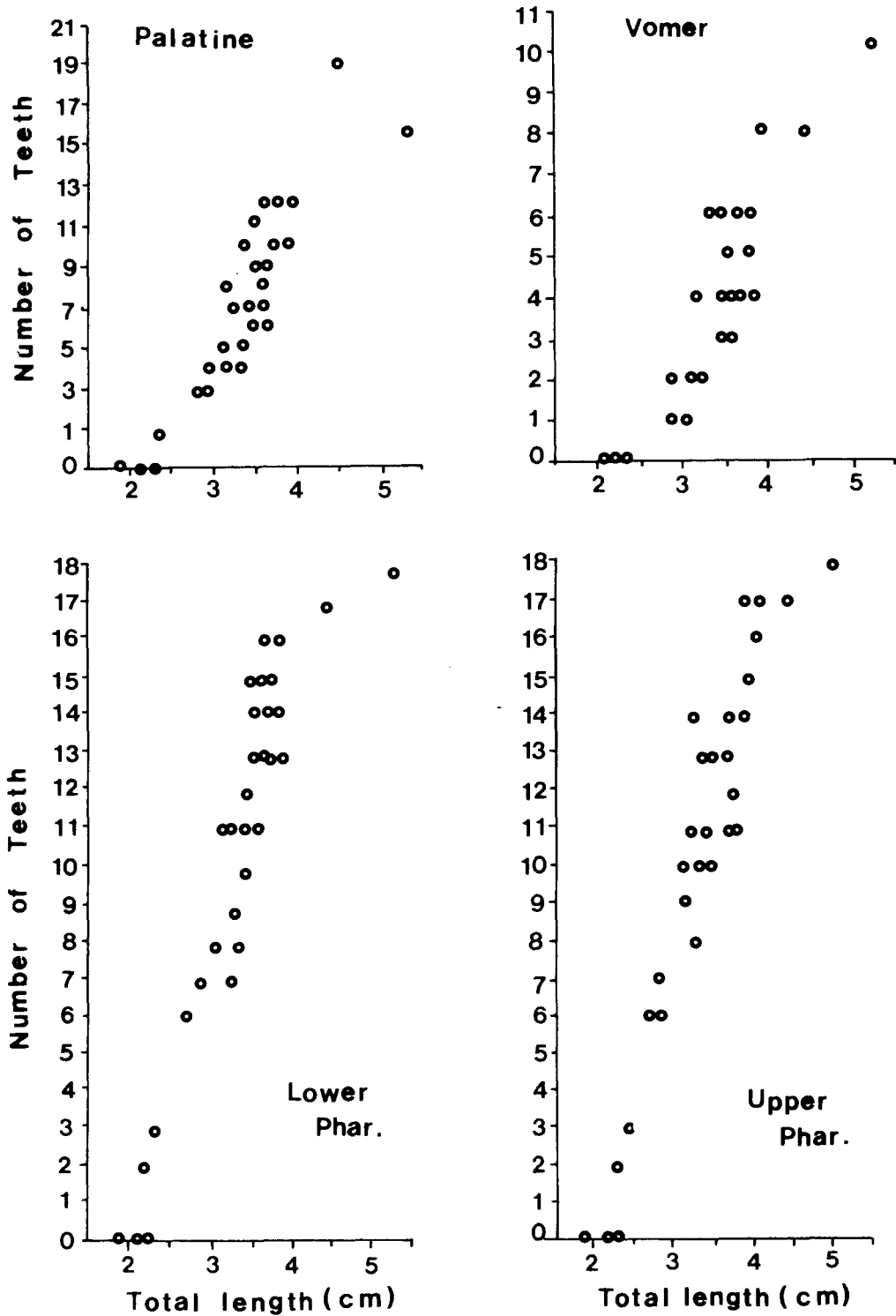


Fig. 5. Number of teeth on palatine, vomer and pharyngeal by size groups in *O. keta*.

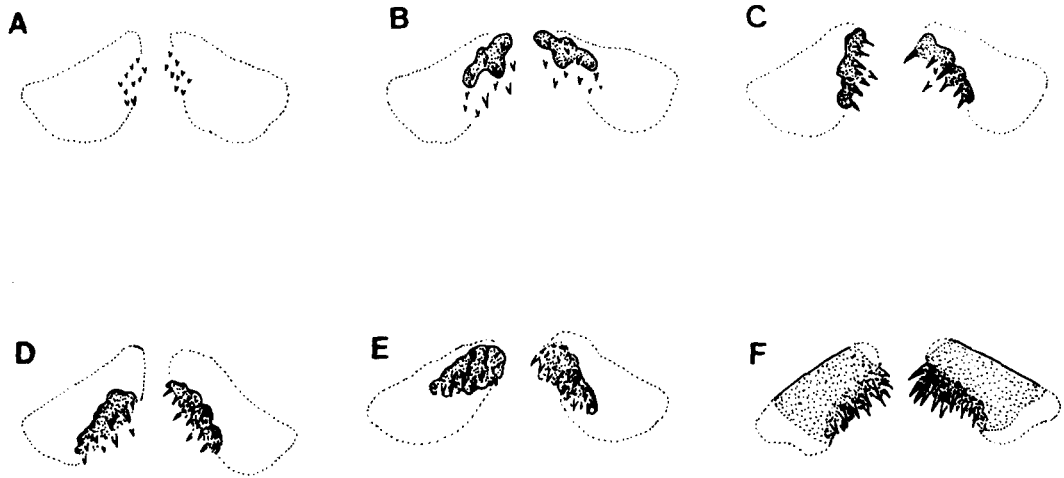


Fig. 6. Development of the upper pharyngeal teeth in *Oncorhynchus keta*. A. 2.75cm in total length, B. 2.90cm, C. 3.05cm, D. 3.20cm, E. 3.56cm, F. 3.78cm.

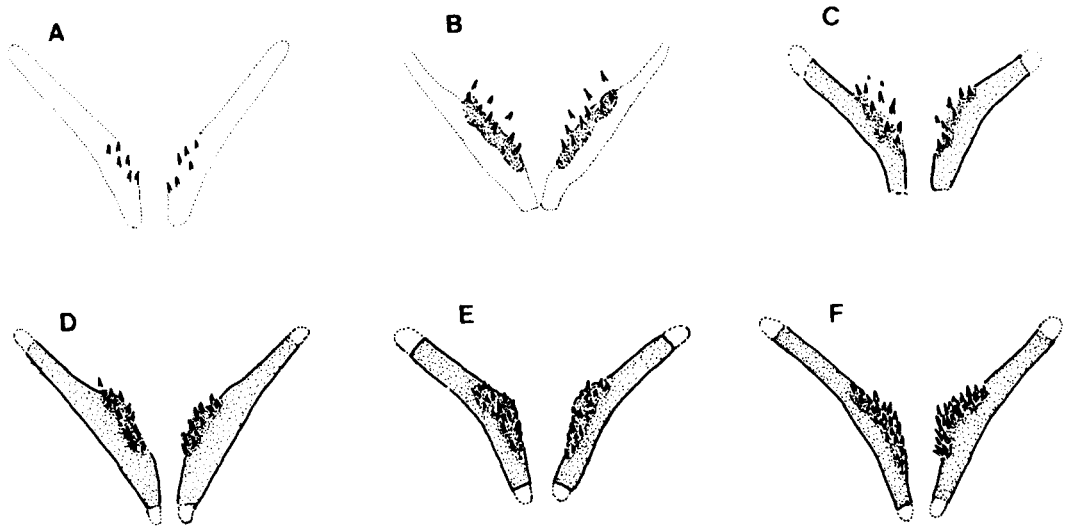


Fig. 7. Development of the lower pharyngeal teeth in *Oncorhynchus keta*. A. 2.75cm in total length, B. 2.90cm, C. 3.05cm, D. 3.20cm, e. 3.56cm, F. .3.78cm.

로 골화하기 시작한다. 골화는 상인두치(upper pharyngeal teeth)와 하인두치(lower pharyngeal teeth)들의 뾰족한 끝부분부터 시작되어 기부쪽으로 진행된다. 전장 2.75cm 개체에는 상, 하 인두치가 7~6개씩 뚜렷히 골화된다(Fig. 6, A; 7, A). 전장 2.90cm 개체에서는 각각 10, 9개의 상, 하 인두치 아래에 이빨을 지지하는 인두골이 판상으로 골화된다(Fig. 6, B; 7, B).

전장 3.05cm, 개체는 각새골(ceratobranchial bone)이 골화되며 하인두치가 위치한 5번째 새궁의 각새골의 형태를 갖추지만, 새궁의 위쪽에는 아직 상새골이 골화하지 않아 상인두골만 골화되어 있다(Fig. 6, C; 7, C). 그 후에는 상, 하 인두치의 수와 크기가 증가하며(Fig. 6, D; 7, D), 전장 3.78cm가 되면 상새골(epibranchial bone)이 골화되어 주걱 모양의 4번째 상새골 위에 상인두치

가 위치하게 된다. 이때의 상, 하 인두치의 이빨 수는 각각 13, 12개였다(Fig. 6, F; 7, F).

그 후는 성장함에 따라 상하 인두치의 크기가 증가할 뿐 이빨 수는 10~17개 범위로 큰 변화가 없다(Fig. 5).

안골(眼骨) : 연어의 눈 주위에는 전장 2.8cm에 안상골(supraorbital)이 가장 먼저 골화하며 전장 3.2cm에서 눈 아래의 안하골(suborbital 또는 infraorbital)이 골화된다(Fig 1, D). 전장 3.8cm가 되면 안후골(postorbital ; *Smith and Stearly*, 1989)이 나타나기 시작하여(Fig. 2, B), 전장 5.53cm에서는 4개의 뚜렷한 모양을 갖춘다(Fig. 2, C). 눈 앞에 위치한 안전골(preorbital)은 전장이 3.67cm에 나타난다.

척추골(脊椎骨) : 척추골은 두개골이나 내장골보다는 늦게 골화가 진행된다. 가장 먼저 골화되어 나타나는 골격은 늑골(rib)로 전장이 2.42cm인 개체에 앞에서부터 10개가 가는 실모양의 골격으로 나타나기 시작한다(Fig. 8, A). 전장 2.80cm가 되면 신경궁문(neural arch)과 혈도궁문(haemal arch)이 추체보다 앞서서 골화되기 시작하며 미골(尾骨)을 지지하는 마지막 2개의 신경궁문은 나타나 있지 않다. 전장 3.00cm가 되면 미추골(caudal vertebrae)의 혈관극(haemal spine)이 골화하기 시작하며, 34개의 늑골이 나타난다.

전장 3.20cm가 되면 복추골(abdominal vertebrae)에는 아직 신경극(neural spine)이 나타나지 않고, 미추골에는 신경극, 혈관극이 대부분 골화된다. 늑골은 38개로 증가하며 마지막 8개의 복추골에 측돌기(parapophysis)가 나타난다. 앞에서 2번째 추골의 추체로부터 9번째 추체까지 추체의 아래부분의 일부가 둥근 점모양으로 골화되기 시작한다. 미추골에서도 미골을 형성하는 4개의 추체와 끝에서 8번째부터 11번째까지의 미추골은 둥근 점모양으로 골화되기 시작한다(Fig. 8, B).

전장 3.45cm 개체에는 미추골에 혈관극, 신경극이 모두 생기며, 추체도 큰 원형으로 모두 골화되어 나타나고, 마지막 6개의 복추골의 신경극이 골화한다(Fig. 8, C).

전장 3.67~3.71cm 개체에서는 첫번째 추체를 제외한 모든 추체가 골화중에 있으며 골화 정도는 복추골이 미추골보다 빠르다. 또 혈도궁문을 형성한 맨 뒤 6개 복추골의 앞쪽 4개의 추체에 측돌기(parapophysis)가 생긴다. 전장 3.78cm의 연어에는 첫번째 추골의 추체가 나타나며 전체 추체의 중간부분은 긴 직사각형 모양으로 골화한다(Fig. 8, D). 그 후 성장함에 따라 추체는 점차 넓게 골화되고 복추골의 측돌기도 골화되어 전장 4.5cm일 때에는 23개의 측돌기가 나타나며 미추골 추체의 등, 배쪽의 앞뒤로 관절돌기(zygapophysis)가 발달한다. 전장 5.53cm 개체는 추체에 관절돌기가 잘 발달하고, 구멍과 줄무늬가 발달하여 성어의 추체와 비슷한 형태로 발달한다(Fig. 8, E).

미골(尾骨) : 꼬리지느러미는 변형된 몇 개의 추골과 골편으로 이루어진 미골(caudal skeleton)에 의하여 지지를 받는다. 부화 직후 전장 2cm전후의 연어 자어는 미골이 골화되지 않으며 17개 전후의 지느러미 줄기만 골화한다. 전장 2.31cm 개체에서 최초로 3개의 하미축골(hypural bone, h 3, h4, h5)이 막대기 모양으로 골화되기 시작하며 척색 윗부분에 실모양의 첫번째 미신경골(1st uroneural bone 또는 caudal bony plate)이 골화한다(Fig. 9, A).

2.42cm가 되면 첫번째 하미축골의 중간부분과 두번째부터 다섯번째까지의 5개의 하미축골이 골화되어 나타난다(Fig. 9, B). 전장 2.75cm에선 6개의 하미축골과 첫번째 하미축골 앞의 넓적한 모양의 혈관극이 골화되며 형태도 거의 갖추게 되고, 첫째 미신경골도 크게 발달한다. 전장 2.80cm 개체에선 7개의 하미축골이 모두 골화되어 나타나며 미골판 바로 위쪽에 첫번째 미신경골이 나타난다(Fig. 9, C). 전장이 3.00cm가 되면 두번째 미신경골이 나타나며 미골을 형성하는 신경극과 혈관극이 골화되고 미부봉상골을 포함한 4개의 추체가 골화되기 시작한다(Fig. 9, D).



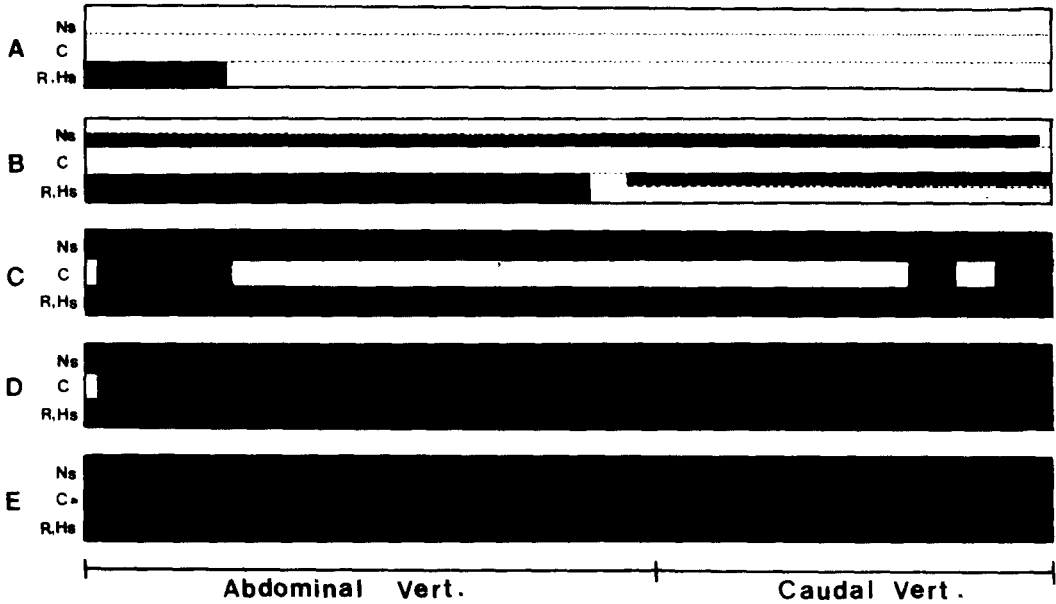


Fig. 8. Schematic diagram of osteogenesis of vertebrae of *Oncorhynchus keta*. A. 2.42cm, in total length. B. 2.80cm, C. 3.20cm, D. 3.2-3.7cm, E. 3.7-5.3cm, C, centrum; Hs, hemal spine; Ns, neural spine; R, rib.

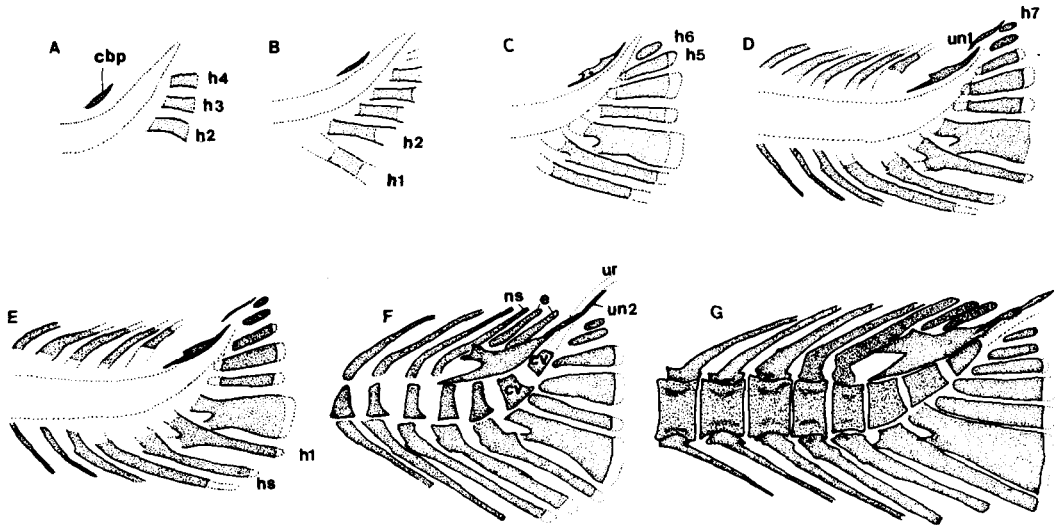


Fig. 9. Development of the caudal skeleton in *Oncorhynchus keta*. A. 2.31cm in total length. B. 2.42cm, C. 2.75cm, D. 3.00cm, e. 4.50cm, F. 5.53cm. cbp, caudal bone plate; cv, caudal vertebrae; e, epural; hs, hemal spine; h1-h7, hypural 1-7; ns, neural spine; un1-2, uroneural 1-2; ur, urostyle bone.

전장 3.45~3.50cm가 되면 마지막 신경극과 미신경골 사이에 2개의 상미측골(epural bone)이 나타나고 전장 4.5cm가 되면 골화 중인 추체를 제외한 전체 미골의 구성은 성어의 모습을 갖추게 되

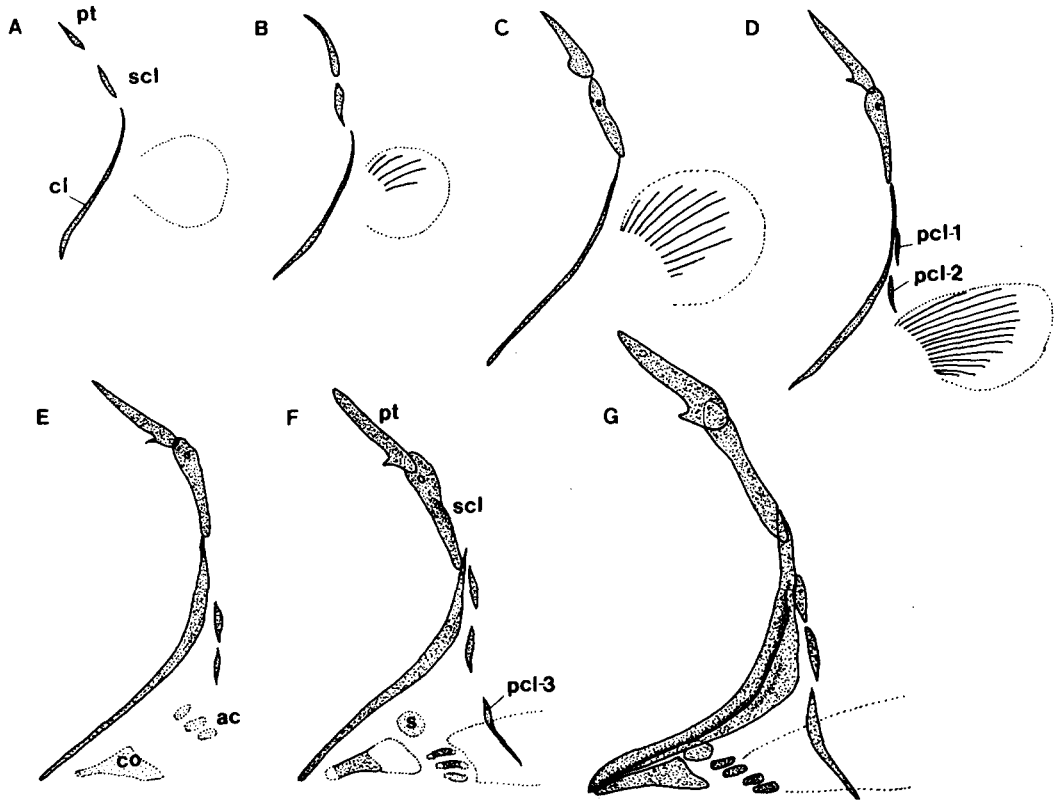


Fig. 10. Development of the shoulder girdle in *Oncorhynchus keta*. A. 1.95cm in total length, B. 2.42cm, C. 2.80cm, D. 3.20, E. 3.40cm, F. 3.54cm, G. 3.80cm. ac, actinost; co, coracoid; cl, cleithrum; pcl 1-3, post-cleithrum 1-3; pt, posttemporal; scl, supraclavicular.

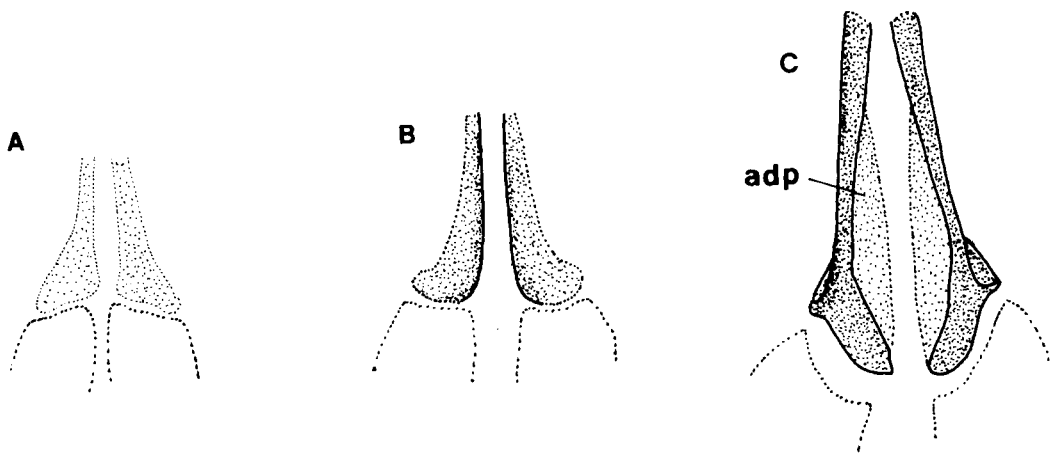


Fig. 11. Development of the pelvic girdle in *Oncorhynchus keta*. a. 3.67cm in total length, B. 4.50cm, C. 5.53cm, adp, antero-dorsal plate.

Table 1. Development of fin-ray and pterygiophore counts in larvae and juveniles of *Onchorhynchus keta* (n=30). TL:total length, Sec.:secondary

TL(cm)	Fin - Rays							Pterygiophores	
	Dorsal	Anal	Pectoral	Pelvic	Caudal			Dorsal	Anal
					Upper Sec.	Principal	Lower Sec.		
1.95	0	0	0	0	0	17	0	0	0
2.15	0	0	0	0	0	19	0	0	0
2.18	0	0	2	0	0	19	0	0	0
2.23	5	6	2	0	0	20	0	0	0
2.31	10	11	5	0	0	20	1	0	0
2.42	10	11	5	0	1	20	2	0	0
2.75	12	12	7	5	3	19	3	0	0
2.80	12	15	10	6	5	19	5	0	0
2.90	11	12	7	6	2	19	3	0	0
3.00	13	8	10	6	5	19	5	0	0
3.05	11	12	11	7	2	19	3	0	0
3.20	13	17	13	9	5	19	4	7	9
3.20	15	17	14	10	8	20	8	11	14
3.22	12	17	10	8	4	19	4	9	10
3.25	12	18	12	9	6	20	6	8	12
3.30	13	13	12	9	6	20	5	5	10
3.32	14	17	12	9	7	20	6	8	11
3.45	14	17	13	8	6	20	5	11	15
3.48	13	17	12	9	8	20	6	11	15
3.50	13	16	12	9	8	20	7	10	14
3.51	14	17	12	9	8	20	7	12	15
3.52	15	17	12	10	8	20	7	11	15
3.55	14	18	10	9	7	20	7	11	15
3.56	14	18	14	10	7	20	6	12	15
3.67	14	17	14	10	11	20	9	11	14
3.71	14	17	12	11	10	20	9	12	15
3.78	14	18	14	10	9	20	8	12	16
3.79	15	18	14	10	10	20	9	12	15
3.80	14	18	15	10	10	20	9	11	15
4.50	15	18	14	10	12	20	10	13	15

며(Fig. 9, E). 전장 5.53cm 개체에서 미골이 거의 성어의 형태를 갖춘다(Fig. 9, G).

견대골(肩帶骨) : 가슴지느러미를 지지하는 연어의 견대골(shoulder girdle)은 전장 1.95cm인 부화직후 자어에서 후측두골(post-temporal), 상쇄골(supracleithrum), 쇄골(cleithrum)이 가는 선으로 골화되기 시작한다(Fig. 10, A). 전장 2.31~2.42cm 개체는 쇄골이 조금 굵어지고 5개의 가슴지느러미 줄기가 나타나며, 2.8cm가 되면 후측두골의 돌기가 나타나고, 상쇄골도 넓어져 가운

데 구멍이 하나 생긴다(Fig. 10, C).

전장 3.2cm의 개체에는 쇄골 뒤에 2개의 후쇄골(post-cleithrum)이 골화한다(Fig. 10, D). 전장 3.45cm의 개체에선 오혜골(coracoid)이 아랫 부분부터 골화되기 시작하며, 3.50~3.56cm가 되면 가슴지느러미 줄기가 정수에 달하며, 견갑골(scapula)이 원형으로 골화되기 시작하고, 4개 중 3개의 사출골(actinost)과 세번째 후쇄골이 골화된다(Fig. 10, F).

전장 3.67~3.8cm에서 중호혜골(mesocoracoid)이 골화되고, 사출골이 4개로 모두 골화되고, 3개의 후쇄골은 전체가 골화되어 서로 접촉해 있는 형태로 나타난다(Fig. 10, G).

요대골(腰帶骨) : 배지느러미를 지지하는 요대골(pelvic girdle)은 지느러미를 지지하는 골격 중에서도 가장 늦게 골화되며 5개의 지느러미 줄기가 전장 2.75cm개체에서 먼저 골화하기 시작한 후, 전장 3.40~3.67cm개체에서 요대골이 골화하기 시작한다(Fig. 11, A). 전장 4.50cm에 전체적으로 골화되나(Fig. 11, B) 전장 5.5cm에서 전요대돌기(前腰帶突起, anterior pelvic process)와 전배판(前背板, antero-dorsal plate)이 골화되어 완전한 형태를 갖추게 된다(Fig. 11, C).

지느러미줄기 및 담기골(擔鰭骨) : 각 지느러미 줄기와 등, 뒷지느러미를 지지하는 담기골의 골화 과정은 Table 1에 나타내었다.

지느러미 중에서 가장 먼저 줄기가 골화되는 것은 꼬리지느러미이며 부화한 자어(전장 1.95~2.15cm)는 이미 17~19개의 꼬리지느러미줄기가 골화되어 있다. 전장 2.18cm일때 가슴지느러미에 2개의 줄기가 위에서부터 골화되기 시작하였으며, 이때 꼬리지느러미에는 19개의 주기조(主鰭條)가 정수에 달한다. 전장 2.23cm 개체에서 처음으로 등지느러미와 뒷지느러미 줄기가 각각 5, 6개씩 골화되어 나타난다. 등지느러미와 뒷지느러미 줄기는 개체 크기에 따라 조금씩 차이가 있으나 전장 3.2~3.5cm사이에 각각 12~15개, 16~18개로 정수에 달하게 된다.

가슴지느러미는 전장 2.18cm에 최초로 골화되기 시작하여 위에서 아래로 골화되면서 증가하여 3.2cm를 전후한 크기에서는 12~14개로 정수에 달한다. 배지느러미는 지느러미 중에서 가장 늦게 골화되며 전장 2.75cm에 최초로 5개의 줄기가 나타나고 그 후 빠른 증가를 보여 다른 지느러미와 마찬가지로 전장 3.2cm전후에서 8~10개로 정수에 달한다.

꼬리지느러미는 주기조가 전장 2.15cm에서 19~20개로 정수에 달한 이후 전장 2.31cm 개체부터는 부기조가 나타나기 시작하며 전체 줄기는 전장 3.5cm 전후에 완성된다. 또 등지느러미와 뒷지느러미의 담기골은 전장 3.2cm부터 골화되기 시작하여 3.4~3.5cm경에 각각 11~12, 14~15개로 정수에 달하였다.

## 고 찰

이상의 골격 골화 순서를 종합해 보면 Fig. 12에 나타낸 바와 같다. 갓 부화한 자어에선 대부분의 골격이 골화되지 않는 가운데 두부의 부설골, 주상악골, 치골, 주새개골과 견대골의 일부분이 골화하기 시작하였는데 이같은 결과는 부화자어의 골격이 연골만으로 이루어져 있다는 보고(Kaeriyama, 1989)와 차이를 나타내었다. 이같은 결과가 연어 개체군이 다른데에서 오는 것인지, 부화사육조건외 차이에서 오는 차이인지는 알 수가 없었고 앞으로 동일 조건하에서의 다른 개체군의 비교 발생실험이 필요하리라 생각되었다.

부화후 담수생활기가 짧은 연어는 연어류 중에서 가장 늦게 분화한 *O. gorbusha*, *O. nerka*와 그

BL (cm)	2	3	4	5
Cranium	parasphenoid frontal exoccipital	vomer	supraoccip. prootic basioccipital	sphenotic epiotic parietal pterotic nasal alisphenoid
Mandibular arch	maxillary dentary articular premaxillary angular		supramaxillary	
Suspensorium		endopterygoid hyomandibular metapterygoid quadrata ectopterygoid palatine	symplectic	
Opercular bones	opercle preopercle subopercle interopercle			
Hyoid arch		branchiostegals glossohyal ceratohyal urohyal hypohyal	epihyal	
Branchial arches		upper pharyngeal lower pharyngeal	pharyngobranchial ceratobranchial basibranchial epibranch. hypobranch.	
Vertebral column		rib haemal spine neural spine parapophysis centrum	epineural prezygapophysis, postzygapophysis (PRZ. POZ)	
Shoulder girdle	cleithrum posttemporal supracleithrum fin ray		postcleithrum coracoid actinost mesocoracoid scapula	
Pelvic girdle		fin rays	pelvic bone	
Dorsal fin	fin rays	interneural spine		
Anal fin	fin rays	interneural spine		
Caudal skeleton	hypural fin rays(main)	uroneural	epural	
Orbital region		supraorbital suborbital	postorbital preorbital	

Fig. 12. Sequence of ossification of *Oncorhynchus keta*. Tip of bony element indicates the length of specimen at which the initial ossification of each element was observed. Vertical line with arrow indicate the length at which the full complements are first ossified.

형태나 골격형질에서 유사한 그룹을 형성하고 있는데(Smith and Stearly, 1989), 골격 형질로서는 두개골의 서골, 부설골, 상사골, 악골중의 전상악골, 안골, 인설골 등이 계통분류학상 중요한 형질로 알려져 있다.

연어의 초기 발육 단계에 있어 이러한 골격등은 골화가 시작되는 시기가 다르고 특히 상사골과 같이 부화후 70일이 지난 전장 5cm전후의 스몰트기에 비로서 골화되기 시작하는 골편도 있어 이러한 골편이 초기 형태로서 각 종간의 관계를 규명하고자 할 경우에는 적어도 연어가 바다로 내려간 자연 상태의 표본이 필요하리라 생각되었다. 미골 중 마지막 신경극과 미부봉상골 사이에 위치한 상미측골은 종간 분류 형질로서뿐만 아니라 연어의 지역개체군의 특징을 가진 형질로 알려져 있는데(Vladykov, 1962) 이 뼈는 전장 3.4~3.5cm인 부상기에 골화되므로 상미측골 수에 의한 종 및 개체군 분류는 부상 후의 연어자어를 대상으로 조사 가능한 것으로 생각되었다.

연어를 비롯한 연어속 어류는 다른 경골 어류에 비하여 연골이 많고 그 구성이나 융합이 불완전한 부분이 많아 연골 어류와 경골 어류의 중간적 특성을 많이 갖고 있는데(Hikita, 1962), 초기 골화 과정에 있어서는 다른 경골 어류와 특별한 차이점을 찾아 볼 수 없었다. 그러나 연어의 부화 자어는 전장이 2cm전후로 다른 경골 어류에 비하여 대형임에도 불구하고 초기 골화 양식은 유사하였으며, 특히 자어기에서의 주둥이의 빠른 발달(stage I, II, 명·김, 1993)과 턱뼈의 빠른 골화는 다른 경골 어류에서와 유사하며(Takakazu, 1976; Mook, 1977; Myoung and Kim, 1984; Matsuoka, 1987), 이는 초기 생활사에 있어서 살아 남기위하여 먹이를 잡아먹기 위한 섭이 기관의 기능화에 따른 적응으로 생각된다.

연어의 골격 골화과정중 특이한 것으로는 척추골을 들 수 있는데 척추골이 두개골이나 내장골보다 늦게 골화하는 점, 제 2추골이 제 1추골보다 빨리 골화되는 점 등은 참돔, 주둥치, *P. maui*, 등(Takahazu, 1976; Myoung and Kim, 1984; 韓國海洋研究所, 1988)과 같으나 연어의 척추골은 추체보다 신경극 혈관극이 먼저 골화되는 특징을 가지고 있었다.

연어는 전장 3.2~3.5cm 범위의 부상기(명·김, 1993)가 유영에 관계되는 꼬리지느러미가 골화되고 두개골 중에서 먹이 섭취나 호흡에 관계되는 골격의 골화시거나 상, 하악골, 구개골, 서골, 인두골 위의 이빨 증가속도가 빨라지는 시기와 일치하고 있는 점 등으로 미루어 보아 다른 경골어류의 변태기에 해당한다고 볼 수 있다. 이와 같이 변태기에 해당하는 부상기에 성장 속도가 늦어지고 체형의 변화를 수반함과 동시에(명·김, 1993) 대부분 골격의 골화가 이루어지는 점은 다른 경골어류와 같지만, 연어의 경우 사망율이 가장 높은 시기인 위험기(critical period)가 연어가 스몰트화하여 바다로 내려간 후의 연안 생활기란 지적도 있어(Healy, 1982) 변태기와 위험기가 대개 일치하고 있는 다른 경골어류와는 차이를 나타내었다. 바다로 내려간 연어 스몰트가 바다에 연안 생활에 적응하는 시기의 크기는 전장 8cm전후로 이미 유어기(stage III, 명·김, 1993)에 달한 상태이므로 Healy(1982)가 지적한 위험기는 일반 경골어류 자어기의 위험기(田中, 1975)와는 다르다.

따라서 연어속 어류의 초기 생활사를 이해하고 이들의 진화 과정을 정확히 추정하기 위해서는 발육 단계에 따른 내, 외부 형태 변화 및 골화 과정을 해석하는데 있어 이들의 하천, 바다에서의 생활 양식과 생존을 위한 적응 생태를 고려한 연구가 필요하리라 생각되었다.

## 인용문헌

Alderdice, D. F., W. P. Wickett, and J. R. Brett. 1958. Some effects of temporary exposure to

- low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs. J. Fish. Res. Bd. Canada, 15(2) : 229-249.
- 川 和雄 · 領木 亨. 1968. 日本産サケ屬 2, 3種における鱗相の比較研究. 淡水年報, 18(1) : 49~59.
- Davis, M. W., and B. L. Olla. 1987. aggression and variation in growth of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) juveniles in seawater : effects of limited rations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44 : 192-192.
- Dymond, J. R., and V. D. Vladykov. 1934. The distribution and relationship of the salmonoid fishes of north America and north Asia. Proc. Fifth Pac. Sci. Congress(Canada). 3741-3750.
- 韓國海洋研究所. 1988. 高級魚種의 大量種苗生産 企業化 研究. 海洋研究報告. BSPG00053-174-3. 201p. 서울.
- Hashimoto, S. 1974. The effect of the water temperature on the development of chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum), eggs and sac fry. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Hatch. 28 : 37-43(in Japanese).
- Healy, M. C. 1982. Timing and relative intensity of size-selective mortality juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39 : 952-957.
- Hikita, T. 1962. Ecological and morphological studies of the genus *Oncorhynchus* (Salmonidae) with particular consideration on phylogeny. Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery, No. 17. 97pp.
- Irie, T. 1985a. Occurrence and distribution of offshore migrating juvenile chum salmon along the Pacific coast northern Japan. Bull. J. Soc. Sci. Fish., 51(5) : 749-754.
- . 1985b. The origins and migration routes of offshore migrating juvenile chum salmon along the Pacific coast of northern Japan. Bull. J. Soc. Sci. Fish. 51(7) : 1103-1107.
- 鄭文基. 1977. 韓國魚圖譜. 727p. 一志社, 서울.
- Kaeriyama, M. 1989. Comparative morphology and scale formation in four species of *Oncorhynchus* during early life. Japan. J. Ichthyol. 35(4) : 445-452.
- Kang, Y. J. 1974. A study on the racial classification of Asian chum, *Oncorhynchus keta* (Walbaum) based on scale characteristics. Bull. Korean Fish. Soc. 7(2) : 91-97.
- Kanno, Y., and I. Hamai. 1969. On relative growth of chum salmon fry *Oncorhynchus keta* Walbaum. Balbaum. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 20(2) : 75-81(in Japanese).
- Kobayashi, T. 1968. Some observation on the natural spawning ground of chum and pink salmon in Hokkaido. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Hatch. 22 : 7-13.
- Matsuoka, M. 1987. Development of the skeletal tissues and skeletal muscles in the sea bream. Bull. Seikai. Reg. Fish. Res. Lab. 65 : 1-114.
- Mook, D. 1977. Larval and osteological development of the sheepshead, *Archosargus probatocephalus* (Pisces: Sparidae). Copeia. 1977. (1) : 126-133.
- Myoung, J. G., and Y. U. Kim. 1984. Morphology of larvae and juveniles of *Leiognathus nuchalis* (Temminck et Schlegel). Bull. Nat. Fish. Univ. Pusan, 24(1) : 1-2(in Korean).
- 명정구 · 김용역. 1993. 한국산 연어속 어류의 형태학적 연구- I. 연어, *Oncorhynchus keta*의 난 발생 및 자치어의 형태. 한국어류학회지, 5(1) : 53-67.
- Nomura, M. 1953. On the taxonomic characters in the mouth cavity of salmonoid fishes. Jap. J. Ichthyol. 2 : 261-271(in Japanese).
- . 1954. On the taxonomic characters in the mouth cavity of salmonoid fishes. Jap. J. Ichthyol. 4 : 162-169(in Japanese).

- Norden, C. R. 1961. Comparative osteology of representative salmonid fishes with particular reference to the grayling (*Thymallus arcticus*) and its phylogeny. J. Fish. Res. Bd. Canada. 18(5) : 670-790.
- Okada, S., and T. Nishiyama, 1970. Notes on morphological differences between the juveniles of chum and pink salmon in shore waters. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 20(4) : 277-287.
- Sano, S. 1951. On the stock of salmon (*Oncorhynchus keta* walbaum) in the coastal waters of Japan and their homing instinct. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Hatch. 6(1, 2) : 1-10.
- Shimizu, I. 1984. Characteristics of water supplies in salmon hatcheries of Hokkaido. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Hatch. 38 : 57-77.
- Smith, G. R., and R. F. Stearly. 1989. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. Fisheries. 14(1) : 4-10.
- 田中 克. 1975. 稚魚の攝食と發育. p.122. 恒星社厚生閣, 東京.
- Takakazu, O. 1976. Early life history of the Gonostomatid fish, *Pollichthys mauii*, in the Oceanic region of southern Japan. Jap. J. Ichthyol. 23(1) : 43-54.
- Vladykov, V. D. 1962. Osteological studies on pacific salmon of the genus *Oncorhynchus*. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 136 : p172.
- Yamada, J. 1971. A fine structural aspect of the development of scales in the chum salmon fry. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 37(1) : 18-29



**Morphological study of *Oncorhynchus* spp.(Pisces : Salmonidae)  
in Korea – Ⅱ Osteological development of chum salmon,  
*Oncorhynchus keta* in alevin, fry and smolt stage**

Jung-Goo Myoung and Yong Uk Kim \*

Korea Ocean Research and Development Institute

Ansan, kyonggi-do 425-600, Korea

\*Department of Marine Biology, National fisheries University of Pusan

Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

Matured adults of chum salmon were collected from Namdae-chun River, Yangyand-gun, Kangwon-do, Korea in december of 1989 and 1990.

Artificial insemination was made in the field. Hatching and rearing were carried out in laboratories of the Yangyand Fisheries Institute and Korea Ocean Research and Development Institute :

Ossification of bones of alevin, fry and smolt were investigated:

1. The newly hatched alevins, 1.80 to 2.56mm in total length, were ossified partly on parasphenoid, maxillary, dentary and opercle bones.
2. The alevin stage, the visceral bones connected with feeding and respiratory function were ossified earlier than cranium and vertebra. At swim up stage, the fry attained 3 to 4cm in total length, most of bones except cranium were ossified.
3. Teeth on the jaw bones, palatine, vomer, upper and lower pharyngeal bones were increased conspicuously when the body length were ranged from 3 to 4cm.
4. Caudal fin of hatched larvae had already seventeen ossified rays and developed earlier than any other fins.