

무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 자어의 난황흡수 및 초기성장에 관한 연구

박인석 · 임재현 · 장창익*

군산대학교 해양자원육성학과 · 부경대학교 해양생산관리학과*

무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 난황자어의 부상기 이전까지의 부화일수에 따른 전장(TL)성장식은 $TLt = 2.7e^{-1.24 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.66$), 전중(TW)성장식은 $TWt = 1.8e^{-2.03 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.66$), 체세포중량(SW)성장식은 $SWt = 1.8e^{-5.41 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.83$)로 나타났다. 부화일수 경과에 따른 난황장, 난황고, 난황부피는 감소를 나타내는 직선식이었다. 전중-전장, 체세포중량-전장, 난황장-전장, 난황고-전장, 난황부피-전장, 난황중-전장, 난황중-전중, 난황중-난황고 및 난황중-난황장의 성장형질간의 상대성장식은 부화일 경과에 따라 난황흡수 경향을 반영하였다.

서 론

무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*는 미국 서부 태평양에 면하는 유역수계 원산으로 미국 동부, 유럽, 남미, 일본 및 우리나라를 비롯하여 현재는 열대권을 제외한 전세계 각처에 이식 사육되고 있는 냉수성 어종이다. 이 종은 연어과 어류(Salmonidae) 중에서도 사육이 용이하고 산란과 부화가 쉬우며 성장이 빨라 생물학적 실험 및 양식대상으로서 가치가 높다(Bardach *et al.*, 1972; 김, 1990).

이러한 무지개송어는 현재 우리나라에서도 활발히 양식되는 종임에도 불구하고 연어, *O. keta*와 마찬가지로 초기 난황자어(alevin)에 관한 연구(명·김, 1993; 장 등, 1995)를 제외하고는 부족한 실정이다. 무지개송어는 난황을 흡수후 부상시 성장속도와 체형의 변화를 수반하는 변태기를 거치므로 무지개송어의 난황흡수에 관한 연구는 어류에 있어 발생생물학적, 발생생리학적 가치가 높으며, 특히 양식산업에서 종묘의 안정적 생산이라는 측면에서 중요시 된다.

본 연구는 무지개송어 난황자어의 부상기까지의 초기성장에 관한 연구가 미흡한 점을 고려 무지

개송어 난황자어를 대상으로 부화일 경과에 따른 전장, 전중의 성장과 난황의 변화를 조사하였다. 아울러 무지개송어 난황자어의 난황흡수 양상을 조사하기 위하여 난황에서의 각 측정 항목 간, 그리고 난황에서의 각 측정 항목과 체성장 항목을 서로 연관시켜 상대성장을 조사하였다.

재료 및 방법

무지개송어, *O. mykiss*로부터 채란된 난을 아트킨스식 부화기에서 부화시켰으며 부화된 난황자어를 사육수는 $13 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 조건을 유지하며 부화 후 12일, 15일, 18일, 21일, 24일, 27일 및 30일에 무작위로 각각 50마리씩 표본하였다.

표본은 장 등(1995)의 방법에 의거 전장(total length : TL)은 cm단위로, 난황장(yolk length : YL)과 난황고(yolk height : YH)는 mm단위로 측정하였다. 난황부피(yolk volume : YV)는 $YV = (\pi/6) \times YL \times YH^2$ (Blaxter and Hempel, 1963)의 공식에 의해 계산하였다.

표본은 난황중의 측정을 용이하게 하기 위하여 중성포르말린으로 고정후 전자저울(A & D Co.,

Japan)을 사용하여 전중(total weight : TW)은 g 단위로 측정하였으며 난황중(yolk weight : YW)은 고정된 표본에서 난황만을 적출하여 g단위로 측정하였다. 체세포중량(somatic weight : SW)은 $SW = TW - YW$ 의 공식에 의해 계산하였다.

부화일 경과에 따른 TLt, TWt의 성장식은 Gompertz 성장식을 적용하였다(장, 1991 ; 김 · 장, 1994). TLt 성장에 따른 TW와 SW의 상대성장을 파악키위해 $TW - TL$, $SW - TL$ 의 관계식을 구하였다(장 등, 1995).

부화후 난황이 흡수되면서 난황의 형태와 무게가 변해가는 경향을 알아보기 위하여 부화일 경과에 따른 SWt, YLt, YHt 및 YVt의 변화를 조사하였으며 YL - TL, YH - TL, YV - TL의 상대성장을 각각 조사하였다. 부화일 경과에 따른 YWt 변화를 조사하였으며 YW - TL, YW - TW, YW - YH 및 YW - YL의 상대성장을 각각 조사하였다.

결과 및 고찰

부화직후를 포함하여 부화후 12일 부터 부화후 30일까지 3일 간격으로 측정된 무지개송어 자어의 평균전중과 난황장, 난황고, 난황중, 난황부피, 체세포중량의 결과는 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

부화직후 난황자어의 평균 전장은 1.50cm이었으나 부화후 30일에는 평균 전장이 2.67cm이었다. 부화일수 경과에 따른 성장식은 $TLt = 2.7e^{-1.24 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.66$)로 Gompertz모델에 유의하게($P < 0.05$)

적합되었고(Fig. 1 - A), 평균 전중 역시 전장성장과 유사한 형태를 보여 부화직후 평균 전중이 0.75g이었으나 부화후 30일에는 1.77g으로 성장하였으며 Gompertz모델에 유의하게($P < 0.05$) 적합되어 성장식은 $TWt = 1.8e^{-2.03 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.66$)이었다(Fig. 1 - B). 전중 - 전장의 상대 성장식은 $TW = 0.41TL^{1.49}$ ($r^2 = 1.00$, $P < 0.05$)로(Fig. 2 - A) 거의 직선의 상대성장을 나타내었고 일차원인 길이에 대한 전중의 상대성장의 지수(b)는 1.49로 거의 1차원대 1차원의 관계를 나타내어 무지개송어 전기자어의 체형 상대성장이 성어의 체형 상대성장인 지수 3승의 성장과는 현저하게 달랐다. 체세포중량 - 전장의 상대성장은 지수성장을 나타내며 $SW = 0.03TL^{4.43}$ ($r^2 = 0.89$)로 나타났었다(Fig. 2 - B).

전중에서 난황중을 제외한 체세포중량의 부화일수 경과에 따른 성장식은 $SWt = 1.8e^{-5.41 \cdot e^{-0.12t}}$ ($r^2 = 0.83$)로 Gompertz모델에 유의하게 적합되었

Table 1. Total length(TL) and total weight(TW) of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* from hatching to 30 days after hatching

Days after hatching	Measurement	
	TL(cm) Mean ± SD	TW(g) Mean ± SD
0	1.50 ± 0.002	0.75 ± 0.040
12	1.66 ± 0.009	0.90 ± 0.009
15	1.83 ± 0.011	0.98 ± 0.057
18	2.04 ± 0.010	1.21 ± 0.013
21	2.13 ± 0.015	1.27 ± 0.011
24	2.37 ± 0.018	1.48 ± 0.020
27	2.46 ± 0.014	1.57 ± 0.015
30	2.67 ± 0.020	1.77 ± 0.018

Table 2. Yolk - sac length(YL), yolk - sac height(YH), yolk - sac weight(YW), yolk - sac volume(YV) and somatic weight(SW) of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* from hatching to 30 days after hatching(mean ± SD)

Days after hatching	Measurement				
	YL(mm) Mean ± SD	YH(mm) Mean ± SD	YW(g) Mean ± SD	YV(mm ³) Mean ± SD	SW(g) Mean ± SD
0	8.77 ± 0.633	3.72 ± 0.077	0.65 ± 0.027	60.28 ± 3.179	0.10 ± 0.014
12	6.12 ± 0.385	3.63 ± 0.056	0.52 ± 0.022	42.79 ± 2.712	0.38 ± 0.014
15	5.91 ± 0.496	3.31 ± 0.076	0.40 ± 0.016	33.70 ± 2.571	0.40 ± 0.373
18	5.89 ± 0.612	3.30 ± 0.080	0.32 ± 0.016	28.27 ± 2.328	0.89 ± 0.005
21	5.66 ± 0.443	2.98 ± 0.072	0.30 ± 0.012	30.09 ± 1.799	0.43 ± 0.079
24	5.30 ± 0.620	2.51 ± 0.083	0.21 ± 0.016	18.18 ± 1.614	1.27 ± 0.006
27	5.15 ± 0.548	2.48 ± 0.074	0.10 ± 0.011	16.87 ± 1.660	1.47 ± 0.006
30	4.30 ± 0.748	2.12 ± 0.083	0.05 ± 0.013	10.03 ± 1.559	1.72 ± 0.007

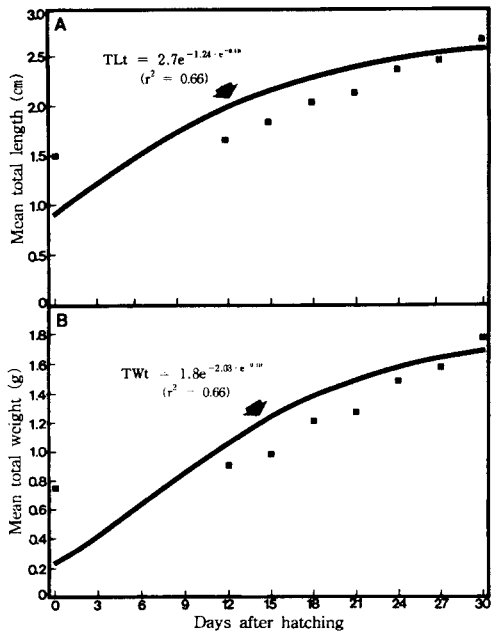


Fig. 1. Growth curves in total length (A) and total weight (B) of rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

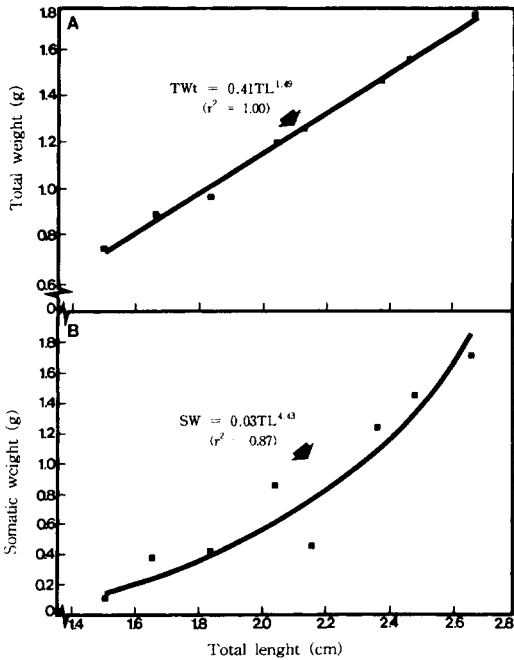


Fig. 2. Relationship between total length and total weight (A) and relationship between somatic weight and total length (B) for rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

다($P < 0.05$) (Fig. 3). 연어, *O. keta*에서의 결과와 마찬가지로 이러한 Gompertz성장식은 어류 성체의 성장에 주로 사용되는 von Bertalanffy식에 비해 S자 형의 곡선을 나타내는 어류 초기 성장에 주로 적합하며 성장속도를 나타내는 성장계수 K는 체세포중량, 전중, 전장의 순으로 높게 나타나(장 등, 1995) 부화후 다른 성장형질 보다는 난황흡수가 급격히 이루어짐을 알 수 있었다.

부화직후 난황자어의 평균 난황장과 평균 난황고는 각각 8.77mm와 3.72mm로, 난황부피는 60.3mm³로 나타났으며 부화후 30일의 난황자어 평균 난황장과 평균 난황고는 각각 4.30mm, 2.12mm로 감소되어 이에 따르는 난황부피는 10.03mm³로 감소되었다. 부화일 경과에 따른 평균 난황장의 감소식은 $YLt = 8.28 - 0.13t$ ($r^2 = 0.92$, $P < 0.05$)로 높은 결정계수를 갖는 직선식으로 나타났으며(Fig. 4 - A) 평균 난황고의 감소식은 $YHt = 4.04 - 0.06t$ ($r^2 = 0.85$, $P < 0.05$)로 그 감소경향이 평균 난황장의 감소에 비해 다소 낮게 나타났다. 부화일 경과에 따른 난황부피 감소식은 $YVt = 60.60 - 1.66t$ ($r^2 = 0.98$, $P < 0.05$)로 높은 결정계수를 갖는 직선식을 나타내었다(Fig. 4 - C). 무지개송어에서 부화일수 경과에 따른 난황장, 난황부피 감소식에서의 이러한 높은 결정계수는 역시 연어에서는 $r^2 = 0.95$ (난황장), $r^2 = 0.93$ (난황부피)로 나타난 바 있다(장 등, 1995).

부화일 경과에 따른 난황자어 전장 성장에 따라 난황크기는 감소를 나타내어 난황장 - 전장의 상

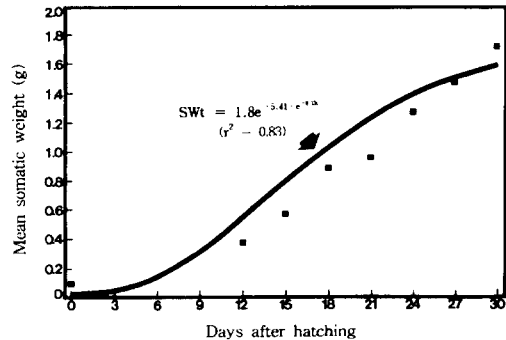


Fig. 3. Growth curve in somatic weight of rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

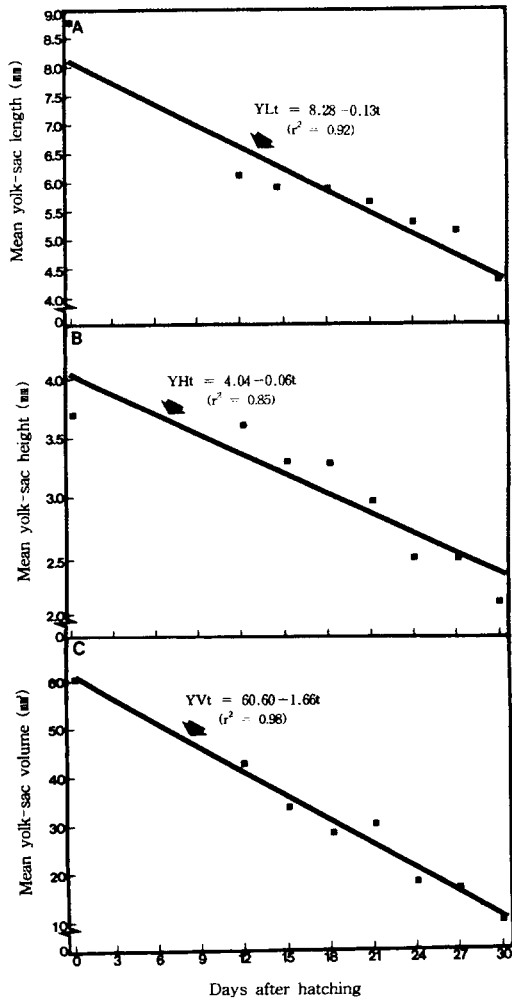


Fig. 4. Changes in yolk - sac length (A), yolk - sac height (B), and yolk - sac volume (C) of rainbowtrout alevin form hatching to 30 days after hatching.

대성장식은 $YL = 11.62 - 2.75TL$ ($r^2 = 0.74$, $P < 0.05$) (Fig. 5 - A), 난황고 - 전장의 상대성장식은 $YH = 5.95 - 1.41TL$ ($r^2 = 0.97$, $P < 0.05$)로 (Fig. 5 - B) 나타났으며 이에 따르는 난황부피 - 전장의 상대성장식은 $YV = 109.40 - 38.11TL$ ($r^2 = 0.93$, $P < 0.05$)로 (Fig. 5 - C) 전장 성장에 따른 난황부피의 감소를 나타내었다.

부화일 경과에 따른 평균 난황중은 난황부피의 감소와 마찬가지로 감소를 나타내어 부화 직후 0.65g이었으나 부화후 30일에는 0.05g으로 감소

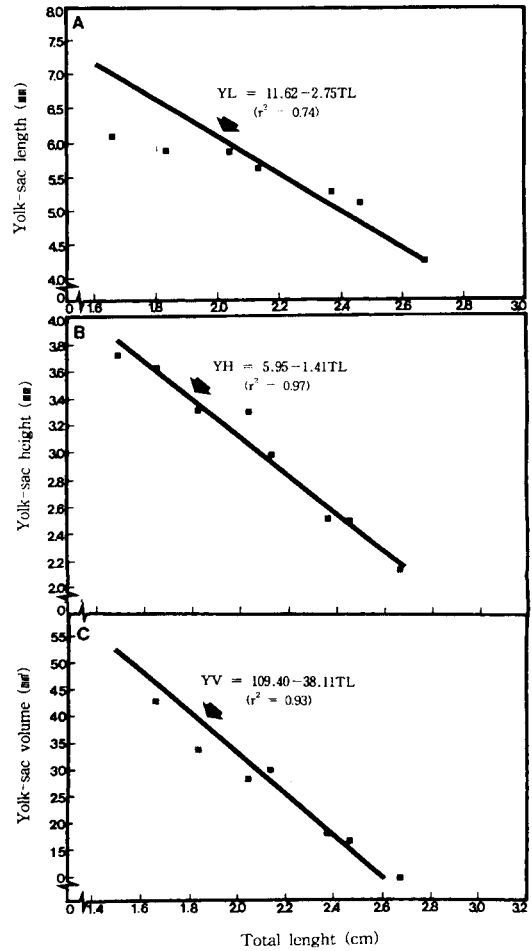


Fig. 5. Relationships between total length and yolk - sac length (A), total length and yolk - sac height (B), and total length and yolk - sac volume (C) for rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

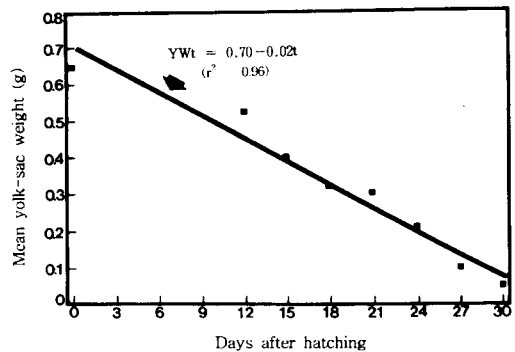


Fig. 6. Change in yolk - sac weight of rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

를 나타내었으며 그 감소식은 $YW_t = 0.70 - 0.02t$ ($r^2 = 0.96$, $P < 0.05$)로 높은 일치계수를 나타내는 직선식 이었다(Fig. 6). 이러한 난황부피와 난황중에서의 감소는 연어 난황자어에서와 마찬가지로 난황자어의 내생적영양(endogeneous feeding) 상태에서 난황감소 이후 부상기의 외생적영양(exo-

geneous feeding) 상태로의 전환을 반영한다(Brannon, 1972 ; Dill, 1969, 1977 ; 장 등, 1995). 난황중은 부화일 경과에 따른 전장성장, 전중성장과는 직선적인 역상대성장을 나타내어 난황중 - 전장은 $TW = 1.35 - 0.50TL$ ($r^2 = 0.98$, $P < 0.05$) (Fig. 7 - A), 난황중 - 전중은 $YW = 1.02 - 0.56TW$ ($r^2 =$

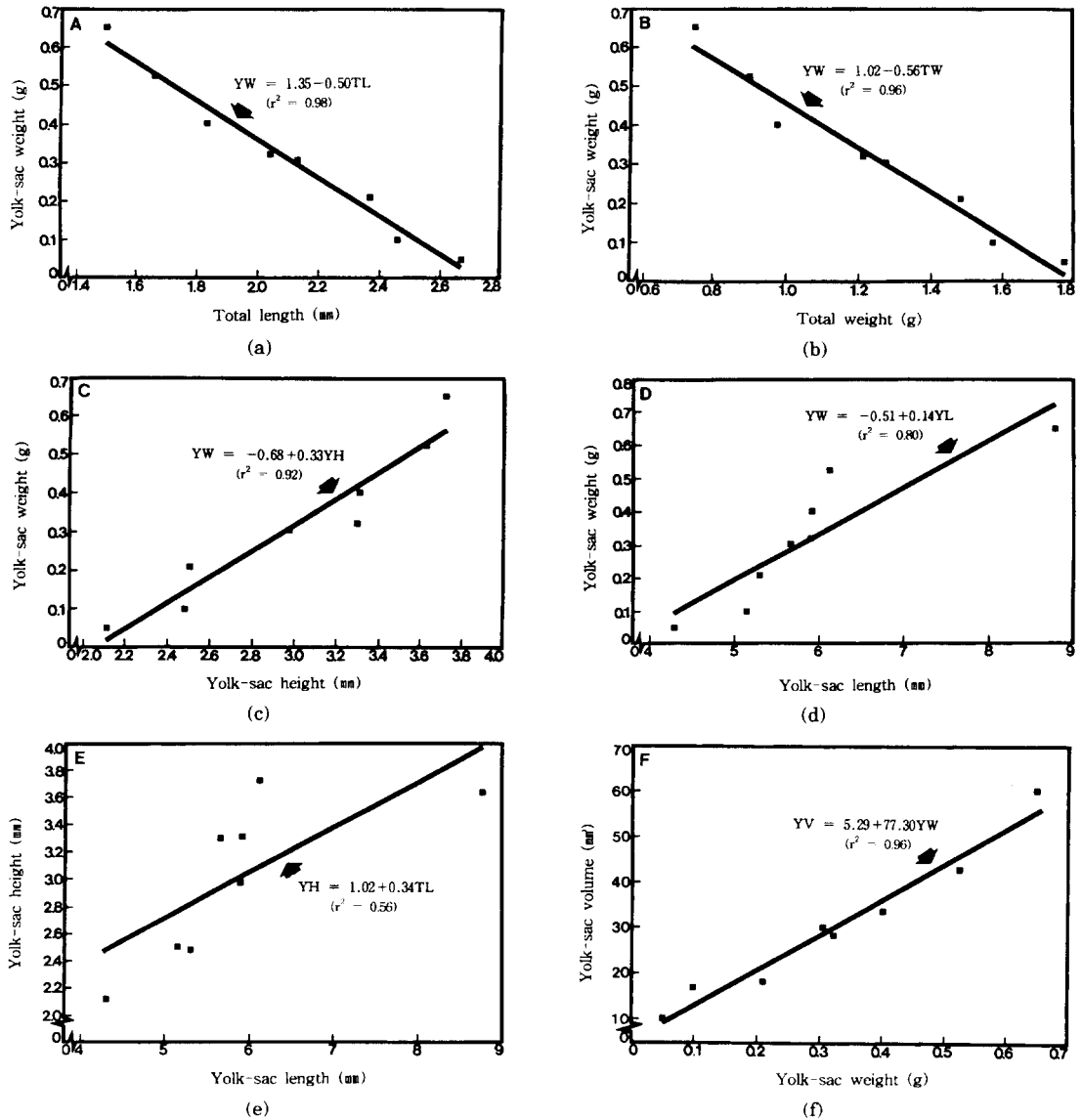


Fig. 7. Relationships between total length and yolk - sac weight (A), total weight and yolk - sac weight (B), yolk - sac height and yolk - sac weight (C), yolk - sac length and yolk - sac weight(D), yolk - sac length and yolk - sac height (E), and yolk - sac weight and yolk - sac volume(F) for rainbow trout alevin from hatching to 30 days after hatching.

인용문헌

0.96, $P < 0.05$) (Fig. 7 - B)을 각각 나타내었다. 어류 난황은 주로 단백질과 소량의 지질로 구성되어 있으며 난황자어에서의 이러한 성장은 난황으로부터 신진대사에 이용되는 에너지를 제외한 난황중과 체세포중량 간의 비율 즉 난황의 이용효율에 의해 주로 결정되어 진다(Blaxter, 1969).

부화일수 경과에 따른 난황중 감소에 의한 난황고, 난황장의 감소가 나타나 난황중 - 난황고의 상대성장은 $YW = -0.68 + 0.33YH$ ($r^2 = 0.92$, $P < 0.05$) (Fig. 7 - C), 난황중 - 난황장의 상대성장은 $YW = -0.51 + 0.14YL$ ($r^2 = 0.80$, $P < 0.05$) (Fig. 7 - D)으로 나타났다. 부화일수 경과에 따른 난황고 - 난황장, 난황부피 - 난황중의 상대성장 감소 형태는 역시 비선형을 나타내어 각각 $YH = -0.51 + 0.14YL$ ($r^2 = 0.56$, $P < 0.05$), $YV = 5.29 + 77.30YW$ ($r^2 = 0.96$, $P < 0.05$)를 나타내었다(Fig. 7 - E, F). 연어에서의 결과(장 등, 1995)와 마찬가지로 부화 후 부터 부상직전 까지의 초기에는 난황고의 감소율에 비해 난황장의 감소율이 크게 나타났으며 중기에는 난황고, 난황장의 감소율이 서로 비슷하다가 후기에는 초기의 양상을 나타내었다. 난황부피 - 난황중의 상대성장 양상도 난황고 - 난황장의 상대성장 양상을 동일하게 나타내었다.

Hayes and Armstrong(1943)은 대서양연어, *Salmo salar*의 부화후 120일까지의 성장은 semilogarithm을 나타낸다고 보고한 바 있으며 초기성장 각 단계에서 적절한 성장식이 요구되는 바(Blaxter, 1969), 무지개송어를 대상으로 부화후 30일 이후의 성장에 관한 연구가 필요시 된다. 초기 생활단계에서의 어류의 개체군 역학을 이해하기 위해서는 다양한 수온에서의 생존을 파악과 아울러 세부적인 측정항목에 대한 각 부위별 절대성장과 각 부위간 상대성장의 이해가 필요하며 다양한 수온에서의 난황흡수 완료에 요하는 부화후 경과일 수 등에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

김수암 · 장창익. 1994. 어류생태학. 서울프레스. 서울. 273 pp.

김인배. 1990. 한국송어양식 25주년 기념집. 한국송어양식협회. 245 pp.

명정구 · 김용익. 1993. 한국산 연어속 어류의 형태학적 연구 - I. 연어, *Oncorhynchus keta*의 난발생 및 자치어의 형태. 한국어류학회지. 5 : 53 - 67.

장창익. 1991. 수산자원 생태학. 우성문화사. 서울. 399 pp.

장창익 · 손명호 · 성기백 · 박인석. 1995. 연어, *Oncorhynchus keta* 전기자어의 난황흡수 및 초기성장. 한국수산학회지. 28 : 539 - 548.

Bardach, J. E., J. H. Ryther and W. O. McLareney. 1972. Aquaculture : The farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley - Interscience. pp. 369 - 449.

Blaxter, J. H. S. 1969. Development : eggs and larvae. pp. 177 - 252 in W. S. Hoar and D. J. Randall(eds). Fish Physiology. Academic Press, New York.

Blaxter, J. H. S. and G. Hempel. 1963. The influence of egg size on herring larvae(*Clupea harengus* L.). J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 28 : 211 ~ 240.

Brannon, E. L. 1972. Mechanisms controlling migration of sockeye salmon fry. Internat. Pacif. Salmon Fish. Comm. Bull. 21. 86 pp.

Dill, L. M. 1969. The sub - gravel behaviour of Pacific salmon larvae. pp. 89 - 99 in T. G. Northcote(ed). Symposium on Salmon and Trout in Streams, H. R. MacMillan Lectures in Fisheries, 1968, University of British Columbia, Vancouver.

Dill, P. A. 1977. Development behaviour in alevins of Atlantic salmon(*Salmo salar*) and rainbow trout (*S. gairdneri*). Anim. Behav. 25 : 116 - 121.

Hayes, F. R. and F. H. Armstrong. 1943. Growth of the salmon embryo. Can. J. Res., Sect. D. 21 : 19~33.

A Study on the Yolk Absorption and Early Growth in the Alevin of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*

In-Seok Park, Jae-Hyun Im and Chang-Ik Zhang*

Department of Marine Living Resources, Kunsan National University, Kunsan 573 - 360, Korea

*Department of Marine Production Management, Pukyong National University, Pusan 608 - 737, Korea

The growth of total length(TL), total weight(TW) and somatic weight(SW) of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* alevin at yolk absorption period was expressed by the Gompertz growth model as $TL_t = 2.7 \cdot 1.24 \cdot e^{-0.11t}$ ($r^2 = 0.66$), $TW_t = 1.8e^{-2.03 \cdot e^{-0.11t}}$ ($r^2 = 0.66$) and $SW_t = 1.8 \cdot 5.41 \cdot e^{-0.11t}$ ($r^2 = 0.83$) respectively. Yolk length, yolk height and yolk volume of rainbow trout decreased linearly. The relative growth of total weight - total length, somatic weight - total length, yolk length - total length, yolk height - total length, yolk volume - total length, yolk weight - total length, yolk weight - total weight, yolk weight - yolk height and yolk weight - yolk length at yolk absorption period revealed the pattern of yolk absorption in rainbow trout.