

## 사육환경과 연어치어 성장과의 관계에 관한 연구

성기백\* · 김주경

국립수산과학원 영동내수면연구소

### The Relationship Between Environmental Conditions and Growth of Chum Salmon Fingerlings

KI BAIK SEONG\* AND JU KYUNG KIM

Yeongdong Inland Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute,  
Gangwon 215-821, Korea

사육지별 치어의 수용마리수는 1,003~1,865천마리로 큰 차이를 나타냈고, 가랑이체장은 3.20~3.78 cm, 체중은 0.34~0.49 g의 크기를 나타냈다. 일일 평균 사육 수온은 사육 중반기인 1월에서 3월까지의 수온은 사육 초반기와 후반기에 비해 2~3 °C 정도 낮아 성장에 부적합한 수온을 보였다. pH는 2월 초순에서 중순은 6.0~6.3, 2월 하순은 6.5, 3월은 6.5~7.0을 나타냈다. 시간대별 용존산소의 변화는 오전 6시 이후 급격히 감소하였으며, 8~18시 사이에 최저값을 보였다. 18시 이후에는 급격히 증가하였고, 21시에서 06시까지의 최대값을 보였다. 시간대별 연어치어의 폐사율을 보면, 용존산소가 높은 야간보다 급격히 하강하는 오전 및 주간에 폐사율이 5배 이상 높았다. 연어치어의 성장에 영향을 미치는 환경 요인으로는 1일 치어 마리당 사료공급량, 사육지의 배수구 용존산소 및 사육수온이 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

Early growth of chum salmon was investigated in terms of rearing pond condition. The number of fingerling showed big differences by rearing pond 1,003,000~1,865,000. The fork length of fingerlings ranged from 3.20~3.78 cm and body weight ranged 0.34~0.49 g. Daily temperature of rearing water in January to March was 6~8 °C, which is inadequate for salmon growth. pH was 6.0~6.3 in early and mid February, 6.5 in late February and 6.5~7.0 in March. Dissolved oxygen concentration was lowest from 8 a.m. to 6 p.m. and increased after 6 p.m. The maximum value was seen from 9 p.m. to 6 a.m. The mortality of fingerlings was 5 times higher in the daytime than at night because of dissolved oxygen. Growth of fingerlings was affected by daily ration, concentration of dissolved oxygen and rearing temperature.

**Keywords:** Chum salmon, *Oncorhynchus keta*, Environmental conditions, Growth

### 서 론

연어(*Oncorhynchus keta*)는 연어과(*Salmonidae*) 연어속(*Oncorhynchus*)에 속하는 모천회귀성의 냉수성 어류로 북태평양 및 북극해와 이러한 해역으로 유입되는 하천에 널리 분포하고 있으며(Groot and Margolis, 1991), 북태평양에 서식하는 7종의 연어 중 우리나라 동해안에는 연어와 시마연어 2종이 회귀하고 있다(정, 1977; 성 등, 1992). 2종 가운데 우리나라에서는 주로 연어(*O. keta*)에 대해 치어 생산 방류사업을 실시하고 있다.

우리나라 동해안의 연어 소상량은 1988년부터 1만마리 이상 증가되어 1999년에는 하천에서 22,245마리가 포획되었으며, 해변에서는 114,156마리가 어획되었으나 2000년에는 동해안 전체적으로 회귀량이 예년의 20~35% 수준으로 격감하였다. 한편 방류량은

1990년 이후 1,000만마리 이상 최고 1,611만마리까지 증대시켜 왔으며, 방류 하천도 12개에서 1997년부터 강원도 고성군 남강과 전남 섬진강으로 확대하여 18개 하천으로 증가시켜왔다. 그러나 2000년에는 연어 회귀량의 격감에 따라 2001년 치어 방류량이 감소하였다.

최근 우리나라 동해안의 회귀연어의 생물학적 특성 및 회귀시기의 변동, 연안수온의 상승 등으로 연어치어의 종묘 생산 환경이 과거와는 매우 다른 조건에 놓이게 되었다. 따라서 회귀율의 향상과 건강한 연어 치어의 적기 방류를 위한 계획적인 사육의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

일본의 경우 연어 자원 증대 요인 중의 하나는 1960년대부터 시작된 방류 치어에 사료를 공급하여 치어의 대형화와 방류 시기의 적정화에 의한 회귀율의 향상이었다(Kobayashi, 1980; Mayama, 1985; 歸山 1986; Kaeriyama and Urawa, 1992). 치어를 대형화하고 적절한 시기에 방류하기 위해서는 일정기간 치어를 건강한 상태로 사육할 필요가 있다. 그러나 사육 수량이나 사육 면적이

\*Corresponding author: kbseong@nfrdi.re.kr

한정되어 있고 수량과 사육면적을 최대한 활용한 집약적인 사육이 이뤄지면 과도한 스트레스로 인해 세균성 질병 등의 어병이 발생하게 된다.

어류의 성장을 제한하는 환경 요인으로는 수온, 고기의 수용량, 주수량, 수질 등으로 알려져 있다(千葉, 1970).

본 연구의 목적은 연어치어를 방류하기 전까지 야외 사육지에서 건강한 상태로 사육하고 적절한 시기에 방류시키기 위한 기초자료와 치어 관리 조건을 확보하기 위하여 인공 수정, 부화시킨 연어 치어의 성장과 사육 환경조건의 변화를 비교, 분석하였다.

## 재료 및 방법

본 실험은 국립수산물과학원 영동내수면연구소에서 2004년 10~11월에 동해안의 남대천, 명파천, 북천 및 연곡천에 소상한 어미 연어를 포획, 인공 수정, 부화, 사육한 치어로 연어치어의 사육지는 가로 4.3 m, 길이 41.2 m, 수심은 주수구쪽이 0.40 m, 배수구쪽은 0.65 m의 직사각형 콘크리트로서, 6개의 사육지에 사육지당 100만~190만 마리의 난황 흡수후의 가랑이체장(Fork length, cm) 3.2~3.3 cm 연어 치어를 2004년 12월 27일부터 2005년 4월 17일까지 사육하였다.

성장도는 난황흡수 후 야외사육지로 이동한 직후부터 시작하여 30마리씩 10일 간격으로 가랑이체장은 0.1 cm 단위까지, 체중은 전자저울로 0.01 g 단위까지 측정하였다.

환경요인으로는 사육지의 수온(Minilog V 3.07), pH, 배수구 및 주수구의 용존산소(YSI 6300), 유속(Kenek LP-1100) 등을 조사하였다. 그리고 수중 폭기는 진공 미세 기포 시스템을 이용하였으며 이때 기포 크기는 0.25 mm이고 수중 분포도는  $8.6 \times 10^6$ 개/m<sup>3</sup>였다.

치어 성장과 환경과의 회귀관계를 구하였는데, 종속변수는 가랑이체장(Fork length, cm)으로 독립변수로는 사육기간, 수온, pH, 주수구 용존산소, 배수구 용존산소, 일일 개체당 사료 공급량, 초기사육 밀도로 하였다. 통계분석은 stepwise multiple regression을 이용하였다.

## 결 과

### 치어 사육 마리수 및 크기

사육지별 치어의 사육 마리수는 1,003~1,865천 마리이고, 가랑이체장은 3.20~3.78, 체중은 0.34~0.49 g의 크기를 나타냈다(Table 1).

### 사육환경

#### 사육 주수량 변화

2월 이전에는 사육지에 치어가 전부 사육되고 있어 주수량이 0.009 m<sup>3</sup>/sec 이하였으나, 2월 이후에는 1, 2 및 3번 사육지의 치

Table 2. Measurement of amount of inflow water on month

Month	Amount of inflow water (m <sup>3</sup> /sec)	
	Range	Average
Feb. 2 - Feb. 17		<0.009
Feb. 17 - Feb. 23	0.009 - 0.016	0.013
Feb. 23 - Mar. 4	0.015 - 0.017	0.016
Mar. 4 - Mar. 17	0.018 - 0.020	0.019

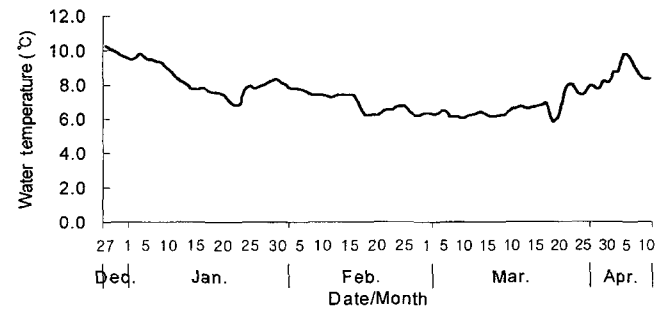


Fig. 1. Variation of water temperature in rearing period of chum salmon.

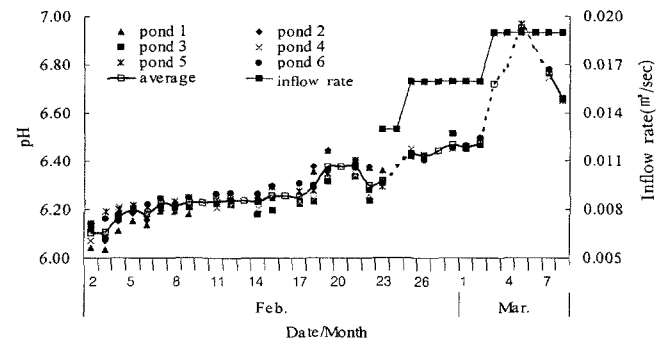


Fig. 2. Variation of pH in rearing period of chum salmon in each rearing pond.

어 방류 후 점차 개선되어 0.016 m<sup>3</sup>/sec이었다(Table 2).

#### 일일 평균 수온 변화

수온변화를 Fig. 1에 나타냈다. 연어 치어의 적정 사육 수온은 8~10°C인데, 12월 하순에서 1월 초순까지의 수온은 8~11°C였고, 1월 중순부터 3월 하순까지는 6~8°C였으며, 4월 초순은 다시 8~10°C로 높았다. 사육 중반기인 1월에서 3월까지의 수온은 사육 초반기와 후반기에 비해 2~3°C 정도 낮았다.

#### pH 변화

pH의 범위는 6.0~7.0으로 치어를 단계적으로 방류함에 따라 점차 상승하였는데, 2월 초순에서 중순은 6.0~6.3, 2월 하순은 6.5, 3월은 6.5~7.0을 나타냈다(Fig. 2).

Table 1. Number of individuals and size of fingerlings in each rearing pond

	Number of rearing pond					
	1	2	3	4	5	6
No. of Individuals (×1,000)	1,003	1,058	1,297	1,337	1,669	1,865
Fork length (cm)	3.78	3.33	3.25	3.20	3.30	3.26
Body weight (g)	0.49	0.37	0.38	0.34	0.38	0.34

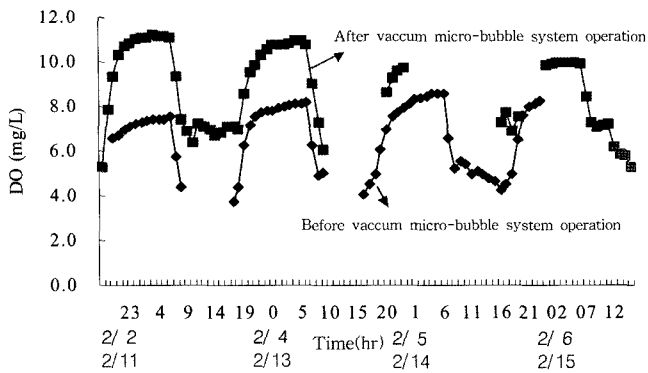


Fig. 3. The variations of DO concentration before and after Vaccum Micro- Bubble system operation in rearing period of chum salmon.

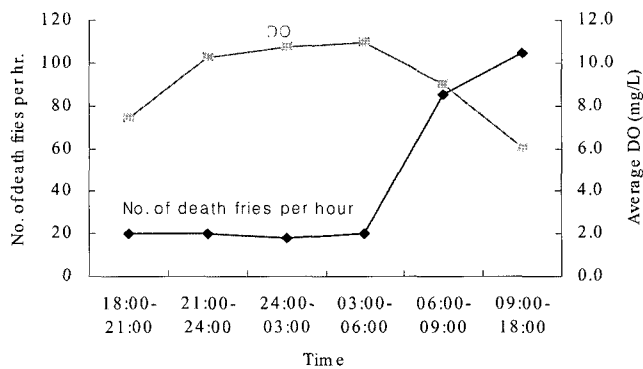


Fig. 4. Relationships of between number of death fingerlings per hour and average DO.

**용존산소 변화**

시간대별 용존산소의 변화는 오전 6시 이후 급격히 감소하여, 8~18시 사이에 최저값을 보인 후, 18시 이후에는 급격히 증가하였으며, 21시에서 06시 사이에 최대값을 보였다(Fig. 3). 용존산소 농도는 미세기포 장치의 가동 전에는 3.76~8.60 ppm이었으나, 가

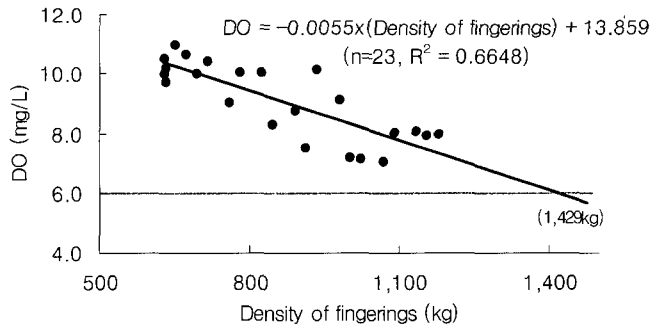


Fig. 5. The variations of DO concentration and the density of fingerlings during the rearing period.

동 후에는 5.27~11.20 ppm으로 높아졌다.

**시간대별 연어치어의 폐사율과 용존산소(DO)와의 관계**

시간대별 연어치어의 폐사율 조사 결과(Fig. 4)를 보면, 용존산소가 높은 야간보다 용존산소가 급격히 하강하는 오전 및 주간 폐사율이 5배 이상 높았다.

**사육기간 경과에 따른 치어 밀도와 용존산소(DO) 변화 관계**

연어 치어 밀도와 용존산소와의 회귀관계로부터 사육지의 치어 수용량이 1.4톤 이상이 되면 배수구의 평균 용존산소는 6 ppm 이하로 떨어져 연어치어 사육과 성장에 영향을 미쳤고, 용존산소의 주야간 차이도 5 ppm 이상 생겼다(Fig. 5). 연어 치어 밀도(DF)와 용존산소(DO)와의 관계식은 식 (1)과 같았다.

$$DO = -0.55 \times (DF) + 13.86 \quad (1)$$

**치어 성장과 환경과의 회귀관계**

이상의 자료를 단계별 회귀 분석한 결과 시간에 따른 연어치어의 성장에 영향을 미치는 환경 요인으로는 1일 치어 1마리당 사료공급량, 사육지의 배수구 용존산소 및 사육수온이 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 주수구 용존산소, pH, 엽분, 치어의 초

Table 3. Assessment of rearing density and feed intake amount of fingerlings of chum salmon

Rearing pond	Period of rearing	Density at releasing(kg)	Fork length(cm) at releasing (body weight, g)	Feed intake per ind.	Regression
1	Dec.27-Feb.23 (58days)	1,200	5.6(1.8)	0.70	BL=0.0329t+3.59 (n=300, R <sup>2</sup> =0.70)
2	Dec.31-Feb.23 (54days)	1,160	5.2(1.5)	0.56	BL=0.0365t+3.19 (n=299, R <sup>2</sup> =0.77)
3	Jan. 7-Mar. 4 (55days)	1,150	4.9(1.2)	0.50	BL=0.0297t+3.17 (n=400, R <sup>2</sup> =0.79)
4	Jan.17-Mar.17 (56days)	1,160	4.5(0.9)	0.47	BL=0.0251t+3.19 (n=400, R <sup>2</sup> =0.70)
5	Jan.27-Mar.17 (45days)	1,530	4.6(0.9)	0.32	BL=0.0279t+3.28 (n=400, R <sup>2</sup> =0.71)
6	Feb. 5-Apr.10 (62days)	1,770	4.8(1.0)	0.43	BL=0.0257t+3.34 (n=400, R <sup>2</sup> =0.72)

Table 4. Parameters of regression relationship of rearing condition and growth of fingerlings of chum salmon

Independent variable	Estimated value		F	F<p
	Estimated value	SE		
Intercept	2.0026	0.2449	66.88	<0.0001
Rearing period (t, day)	0.0357	0.0011	1018.83	<0.0001
Water temperature (°C)	0.0928	0.0268	11.95	<0.001
Outflow water DO	0.0234	0.0107	4.74	<0.05
Give a feed amount per day and individual (FD, g)	28.189	5.1620	29.82	<0.0001

기밀도 및 초기 치어의 크기는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 2월 2일부터 3월 13일 까지 사육한 연어치어 사육지의 용존산소와 치어의 밀도와와의 관계, 사육지 수온과 치어의 성장과의 관계는 역상관 관계를 보였다. 이를 기초로 기존 사육지의 조건하에서 사육 기간에 따른 연어치어의 적정 사육밀도와 사료량을 추정하였다 (Table 3).

상대 성장식은 식 (2)와 같으며, 식 (2)의 성장식으로부터 사육 기간에 따른 적정 방류크기(가랑이체장 5 cm, 체중 1.0 g)로 성장 시키기 위한 사료량과 초기 사육밀도 산정이 가능하였다(Table 4).

$$BL = 2.003 + 0.036t + 0.093WT + 0.023DO + 28.189 FD \quad (2)$$

## 고 찰

어류의 성장을 제한하는 환경 요인으로서 수온, 어류의 수용량, 주수량 수질(용존 염류의 조성농도, pH, 용존 가스 등)이 있는데(千葉, 1970) 본 연구에서는 치어의 사육시에 있어 용존 산소량, 치어의 사육량과 성장에 관해 조사하였다.

시간대별 연어치어의 폐사율을 보면, 용존산소가 높은 야간보다 용존산소가 급격히 하강하는 오전 및 주간에 폐사율이 5배 이상 높았으며, 이때의 사육지 배수부의 용존산소량은 치어 수용량이 1.4톤 이상이 되면 배수구의 평균 용존산소는 6 ppm 이하로 떨어져 연어치어 사육에 영향을 미쳤고, 용존산소의 주야간 차이도 5 ppm 이상 생겼다. Westers and Pratt(1977)는 연어과 어류를 집약적으로 사육할 경우 배수부의 용존산소량은 5-6 ppm 이상인 것이 좋다고 하였는데 금번 조사 결과와 동일하였다.

어류가 정상적으로 섭이하고 성장하여 건강한 생활을 하기 위하여 필요한 최소한의 수중 산소량을 건전임계치라고 부르며(板澤, 1970), 일반적으로 건전임계치는 활동성이 적은 잉어나 뱀장어에서는 2.9-4.3 ppm인데 반해 활동성이 높은 연어류는 5.0-6.4 ppm이다(野村, 1980). Wedemeyer *et al.*(1976)은 연어과 어류 등 활동성이 높은 어류는 5 ppm 이하에서 심각한 스트레스를 받는다고 했다. Herrmann *et al.*(1962)은 은연어에서는 4.5 ppm 이하에서, Brett and Blackburn(1981)은 은연어와 홍연어에서는 5 ppm 이하, 野村(1969)은 무지개송어가 5.7 ppm 이하에서 성장, 증중율 및 사료효율의 저하가 일어난다고 보고하고 있다.

따라서 주간동안에는 미세기포 장치 등 산소 공급 장치를 이용하여 용존산소량을 6 ppm 이상으로 유지 할 필요가 있다고 생각되고 이러한 폐사율이 단순히 용존산소의 감소에 의한 것인지는 더 많은 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

또한 배수부의 용존산소량을 연속적으로 관측한 결과 주간에 가장 낮고, 야간에는 상승하는 일변화가 나타났다.

사료공급이나 사람의 움직임에 의해서도 용존산소량이 저하하는 경향이 보였는데 이러한 결과는 Whitworth(1968)가 Brook 송어를 이용하여, 용존산소량의 일변화(10.6-5.3 ppm, 10.7-3.6 ppm, 10.7-3.5 ppm)가 클 경우와 용존산소량이 일정할 경우(11 ppm)의 성장을 조사한 결과 용존산소의 일변화는 성장의 감소를 가져오는 것으로 나타났는데, 이번 조사결과에서도 연어치어의 성장에 영향을 미치는 환경 요인으로 사육지의 배수구 용존산소가 5% 수준에서 유의한 것으로 나타나 결과가 동일하였다.

사육밀도는 어류의 성장에 영향을 미치고(Refstie, 1977; Papoustoglou *et al.*, 1987), 과도한 사육밀도는 생리적인 면(Fagerlund *et al.*, 1981)이나 회귀율(Martin and Wertheimer, 1989) 등에 영향을 미친다고 알려져 있어 건강한 치어를 생산하는데 있어서 중요한 요소의 하나이다. 금번 조사에서 치어 사육밀도가 높아짐에 따라 용존산소량이 부족하였는데, 일본 북해도의 경우(野川과 八木澤, 1994) 연어 치어 사육시의 기준은 적정 사육량이 1 kg/L/min일 때 사육밀도는 20 kg/m<sup>3</sup>이라고 제시했다. 우리 연구소의 치어 방류시의 크기가 평균 1 g이라고 했을 경우 그 때의 사육밀도는 11~21 kg/m<sup>3</sup> 이었다. 평균 주수량이 0.009 m<sup>3</sup>/sec 이하에서 0.016 m<sup>3</sup>/sec일 때, 적정 사육량이 1 kg/L/min를 기준으로 사육밀도를 계산하면, 540~1,140 kg 이었으나 사육지의 면적으로 밀도를 계산했을 때는 1,771 kg이 적정 사육량이었는데 이 수치로 볼 때 우리 연구소에서는 사육지 면적만 클 뿐, 연어 치어를 사육하는데 필요한 주수량이 절대 부족하다는 것을 알 수 있었고 향후 사육수량을 확보하는 것이 연어 치어의 성장이나 폐사율을 낮추는 최대 관건이라고 할 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(연어 자원증강 및 보존연구, RP-2007-FR-019)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

- 성기백, 문정웅, 김성철, 주태근, 1992. 산천어 양식기술개발시험. 수진 사업보고, 91호, 27-35.
- 정문기, 1977. 한국어류도감. 일지사, 서울, pp 727.
- 歸山雅秀, 1986. 사케의呼吸と循環, 恒星社 恒星閣. pp. 20-36.
- 野川秀樹, 八木澤 功, 1994. 사케稚魚의適正な飼育環境. 北海道サケ・マスふ化研報, 48: 31-39.
- 野村 稔, 1969. 流水池の生産力と注水量, 密度効果との關係について. 全國湖沼河川養殖研究會第26回養鱒部會要錄, 29-35.
- 野村 稔, 1980. 流水池の環境と魚類生産. 水産學シリーズ32. 淡水養魚と用水, 恒星社 恒星閣. pp. 64-83.
- 千葉健治, 1970. II. 魚類の生長に關する諸要因. II-1. 淡水養鱒池における環境とコイの生長. 日水誌, 36: 297-303.
- 板澤靖雄, 1970. 呼吸, 魚類生理, 恒星社 恒星閣. pp. 45-88.
- Brett, J.R., and J. M. Blackburn, 1981. Oxygen requirements for growth of young coho and sockeye salmon at 15. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 399-404.
- Fagerlund, U.H.M., J.R. McBride, and E.T. Stone, 1981. Stress-related effects on hatchery rearing density on coho salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 110: 644-649.
- Groot, C. and L. Margolis, 1991. Pacific Salmon Life Histories. Published in co-operation with the Government of Canada, Department of Fisheries and Oceans, pp. 233-250.
- Herrmann, R.B., C.E. Warren, and P. Doudoroff, 1962. Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile coho salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 91: 155-167.
- Kaeriyama, M., and S. Urawa, 1992. Future research by the Hok-

- kaido Salmon Hatchery for the proper maintenance of Japan salmonid stocks. National Research Institute of Far Sea Fisheries, Shimizu, Japan. pp. 57-62.
- Kobayashi, T., 1980. Salmon propagation in Japan. In salmon ranching. Academic Press, London. pp. 91-107.
- Martin, R., and A. Wertheimer, 1989. Adult production of chinook salmon reared at different densities and released as two smolt sizes. Prog. Fish-Cult., **51**: 194-200.
- Mayama, H., 1985. Technical innovations in chum salmon enhancement with special reference to fry condition and timing release. NOAA Tech. Rep. NMFS, **27**: 83-86.
- Papoutsoglou, S.E., E. Paparaskeva-Papoutsoglou, and M.N. Alexis, 1987. Effect of density on growth rate and production of rainbow trout over a full rearing period. Aquaculture, **66**: 9-17.
- Refstie, T., 1977. Effect of density on growth and survival of rainbow trout. Aquaculture, **11**: 329-334.
- Wedemeyer, G.A., F.P. Meyer, and L. Smith, 1976. Environmental stress and fish diseases. T.F.H. Publ., New Jersey. pp. 1-192.
- Westers, H., and K. M.Pratt, 1977. Rational design of hatcheries for intensive salmonid culture, based on metabolic characteristics. Prog. Fish-Cult., **39**: 157-165.
- Whitworth, W.R., 1968. Effects of diurnal fluctuations of dissolved oxygen on the growth of brook trout. J. Fish. Res. Board Can., **25**: 579-584.

---

2007년 3월 10일 원고접수

2007년 5월 10일 수정본 채택

담당편집위원: 이채성