



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학박사 학위논문

광주기 조절에 의한 무지개송어 연중
종묘생산 및 산업화



2009년 12월

부경대학교 일반대학원
해양산업공학 협동과정

함 준 식

이학박사 학위논문

광주기 조절에 의한 무지개송어 연중
종묘생산 및 산업화

지도교수 조 재 윤

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함



2009년 12월

부경대학교 대학원
해양산업공학과

함 준 식

함준식의 이학박사 학위논문을 인준함.

2009년 12월

주	심	농학박사	김	창	훈	(인)
위	원	농학박사	손	영	창	(인)
위	원	이학박사	박	영	철	(인)
위	원	이학박사	이	채	성	(인)
위	원	이학박사	조	재	윤	(인)

목 차

Abstract	iv
Table Legends	viii
Figure Legends	ix
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	7
1. 양식장 환경	7
1.1 양식장의 지역여건	7
1.2 수질분석 방법	7
1.3 양식장 유입수량	8
1.4 양식장 배출수 수질 및 처리	8
2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙	10
2.1 친어 생태	10
2.2 광주기 조절시험	10
2.3 광주기 조절에 의한 조직학적 조사	11
3. 치어 성장시험	13
3.1 치어 성장비교	13
3.2 생산량 비교	14
4. 통계처리	14

III. 결 과	15
1. 양식장의 환경	15
1.1 양식장 원수의 일반 수질 환경	15
1.2 양식장 원수의 영양염류	21
1.3 양식장 유입수량	21
1.4 양식장 배출수 수질 및 처리효율	27
2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙	31
2.1 친어 생태	31
2.2 생식소중량지수(GSI) 변화	31
2.3 포란량	36
2.4 광주기 조절에 의한 생식소중량지수 변화	36
2.5 광주기 조절에 의한 산란 유발	36
2.6 난발생, 부화율 및 부상률	37
2.7 광주기 조절에 의한 조직학적 조사	45
3. 치어 성장 시험	50
3.1 치어 사육기간의 환경	50
3.2 치어의 전장 변화	50
3.3 전장의 일간성장률	53
3.4 치어의 체중 변화	53
3.5 체중의 일간증중률	56
3.6 생존율	56
3.5 생산량 비교	56
IV. 종합 고찰	60
1. 양식장의 환경	60

2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙	65
3. 치어 성장 시험	69
 V. 요 약	74
감사의 글	77
참고문헌	82



Seed production of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* throughout the year by photoperiod manipulation

joon -sik Ham

*Department of UR Interdisciplinary Program of Fisheries and Oceanography
Graduate School, Pukyong National University*

Abstract

The present study compared the effects of artificial photoperiod manipulation on maturation, spawning and growth performance of fingerlings of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. For photoperiod manipulations, fish were divided into 3 groups in March and were treated different day light hours. The fish in the experiment 1 (Exp-1) group was treated under 20 hours of light condition (20L) per day, and that of Exp-2 and Exp-3 was 18L and 14L, respectively for the first 30 days. Then light hours were gradually reduced thereafter such as 13L in Exp-1 (20L-13L), 8L in both Exp-2 (18L-8L) and Exp-3 (14L-8L).

Photoperiod manipulation was effective on gonadosomatic index (GSI), early spawning and production density of fingerlings of this species. The photoperiod manipulation was also effective

but negatively on egg size, total weight of eggs per spawning, rates of eyed eggs, rates of hatching, rates of swim-up fry, and rates of survival of fingerlings.

Total length and body weight of the spawners under natural photoperiod were 53.59 ± 5.27 cm and 3.23 ± 0.29 kg for female and 47.61 ± 3.25 cm and 2.58 ± 0.17 kg for male, respectively. The GSI of the females were 10.20 ± 2.71 in January, 0.81 ± 0.38 in June, and 12.43 ± 3.12 in November, while those for males were 1.23 ± 0.40 in January, 0.71 ± 0.19 in May, and 4.29 ± 1.23 in October. The relationship between total length (TL) and fecundity (F) in ovulating females was $F = 171.91e^{0.0575TL}$ ($R^2 = 0.9317$), and the relationship between body weight (BW) and fecundity was $F = 1178.80e^{0.0004BW}$ ($R^2 = 0.9358$). This means that spawning female of 3 kg in BW have around 4,500 and that of 4 kg in BW have around 6,500 eggs, respectively.

The GSI of females treated all photoperiod treatments for 5 months increased from 6.54 in March to 4.53~14.6 in August. In contrast, the GSI of control female was 3.17 in August. Induced spawning of females in all 3 treatment groups (Exp-1, -2, and -3) were successfully done on Aug. 3 for Exp-1, on Aug. 25 for Exp-2, and on Sept. 13 for Exp-3. While the induced spawning of females in control group were occurred on Nov. 12.

Photoperiod manipulation negatively influenced on the egg size and total weight: eggs spawned by photoperiod manipulated female were ranged 4.4–4.7 mm in diameter and 64.3–71.8 g in total weight, while those of the control were 4.9 mm and 78.8 g, respectively ($p<0.05$). In general, egg qualities from the control group were superior compared to those from photoperiod manipulated fish. In the control fish the percentages of eyed embryos, hatched and floated alevins were 83.21%, 81.92% and 78.30%, respectively, whereas in the photoperiod manipulated fish they were 69.32–71.50%, 65.51–69.53% and 63.72–65.41%, respectively ($p<0.05$). Histological observations of gonads indicated that the photoperiod manipulation accelerated sexual maturation of brood fish from May, and this is quite different from that in control.

Water temperature, DO and pH in rearing tanks of fingerlings obtained from photoperiod manipulated fish were $12.15\pm0.6^{\circ}\text{C}$, 9.43 ± 0.5 mg/L and 7.76 ± 0.2 , respectively while those from the control fish were $10.01\pm0.4^{\circ}\text{C}$, 9.55 ± 0.7 mg/L and 7.81 ± 0.2 , respectively. Growth of the photoperiod manipulated group fingerlings were from 2.09 ± 0.12 cm to 7.38 ± 0.24 cm in total length for 77 days, while those of the control group fingerlings were from 2.09 ± 0.12 cm to 6.98 ± 0.25 cm. Growth in weight gain of the fingerlings in the photoperiod manipulated group were

grew from initial weight of 0.09 ± 0.01 g to 5.08 ± 0.16 g while those of the control group were grew up to 4.26 ± 0.12 g. These growth differences might be due to the temperature differences between two groups. Percentages of survival of the fingerlings produced in photoperiod manipulated and control groups were 96.1% and 97.8%, respectively at the day 21, and 85.2% and 88.0%, respectively at the day 77, end of the experiment.

Photoperiod manipulation was effective for fingerling culture in terms of bio-mass production (g/m^2). The production of the fingerlings obtained from photoperiod manipulated and control groups were $20,610 \text{ g}/\text{m}^2$ and $17,851 \text{ g}/\text{m}^2$, respectively.

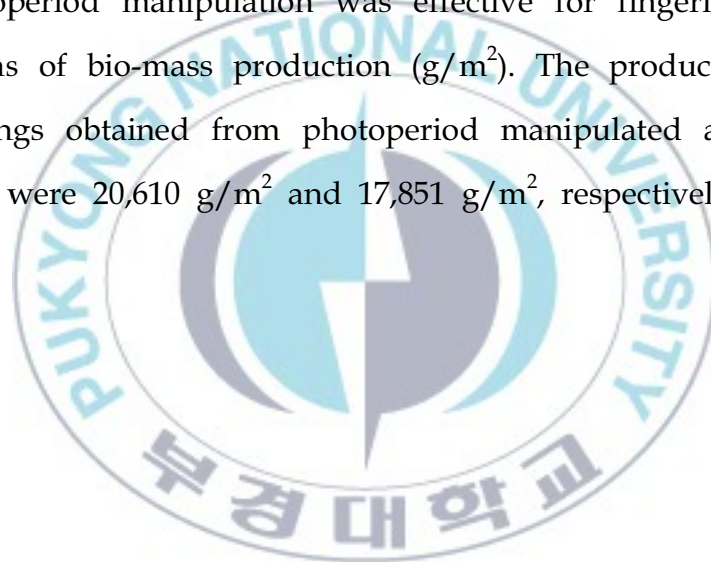


Table Legends

Table 1. General information of Wonbok rainbow trout farm where this experiments were conducted	9
Table 2. Results of water quality measurements in Wonbok rainbow trout farm from January 2007 to December 2008	17
Table 3. Comparison of water quality parameters between inlet and outlet water in Wonbok rainbow trout	22
Table 4. Comparison of water quality parameters between inlet and outlet water in Wonbok rainbow trout from	28
Table 5. Effects of feeding on the water quality parameters in outlet water discharge from Wonbok rainbow trout farm	30
Table 6. Biometry of the rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning in Wonbok rainbow trout farm	32
Table 7. Effect of photoperiod on stripping rate and egg quality of the rainbow trout	41
Table 8. Effect of photoperiod on egg development, hatching and swim-up rates of the rainbow trout	43
Table 9. Growth resultts of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days	59

Figure Legends

Fig. 1. Photoperiod manipulation schemes for the induction of year around spawning of rainbow trout. Control refers to natural photoperiod	12
Fig. 2. Monthly fluctuation of temperature of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January 2007 to December 2008	16
Fig. 3. Fluctuation of pH and dissolved oxygen (DO) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	18
Fig. 4. Fluctuation of biochemical oxygen demand (BOD) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	19
Fig. 5. Fluctuation of suspended solids (SS) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	20
Fig. 6. Fluctuation of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$) and nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	23
Fig. 7. Fluctuation of total nitrogen (T-N) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	24
Fig. 8. Fluctuation of biochemical total phosphorus (T-P) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008	25
Fig. 9. Monthly fluctuation of water quantity flow into Wonbok rainbow trout farm from January 2007 to December 2008	26

Fig. 10. Relationship between SS and other water quality parameters (BOD, T-N, T-P) in the outlet water discharged from Wonbok rainbow trout farm	29
Fig. 11. Relationship between total length and fork length of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	33
Fig. 12. Relationship between total length and body weight of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	34
Fig. 13. Monthly fluctuation of gonadosomatic indexes (GSI) of female (A) and male (B) of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	35
Fig. 14. Relationship between total length and fecundity of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	38
Fig. 15. Relationship between body weight and fecundity of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	39
Fig. 16. Changes of gonadosomatic indexes (GSI) by photoperiod manipulation of rainbow trout used in photoperiod	

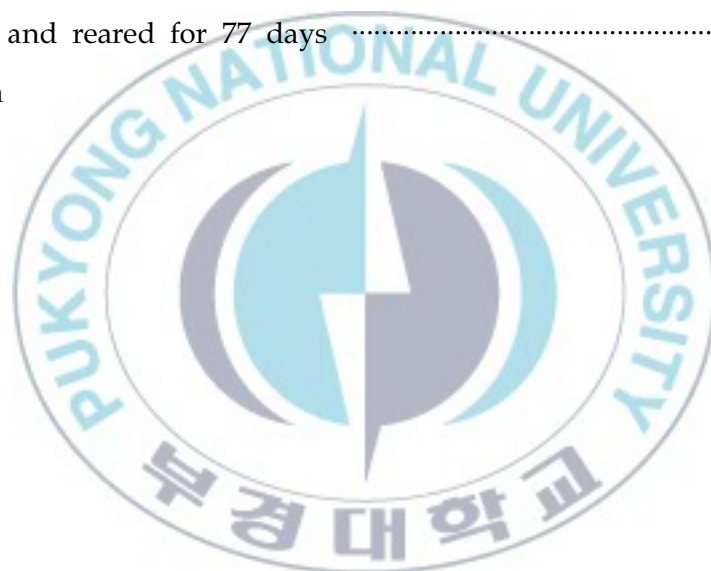
manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm	40
Fig. 17. Manipulation of illumination period for spawning induction of rainbow trout. Control refers to natural light. Arrows indicate the time of spawning	42
Fig. 18. Effect of photoperiod on egg development, hatching and swim-up rates of the rainbow trout	44
Fig. 19. Comparison of GSI between photoperiod-manipulated and control female rainbow trout	46
Fig. 20. Comparison of GSI between photoperiod-manipulated and control male rainbow trout	47
Fig. 21. Histological observation of gonadal development of photoperiod manipulated and control rainbow trout in March	48
Fig. 22. Histological observation of gonadal development of photoperiod manipulated and control rainbow trout in May	49
Fig. 23. Changes of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and pH in rearing tank for summer (A) and winter (B) 2008	51
Fig. 24. Growth comparisons of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish	52
Fig. 25. Comparisons of specific growth rate (SGR) of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish	54
Fig. 26. Weight gain comparisons of rainbow trout fingerlings produced	

from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish 55

Fig. 27. The variation of specific growth rate (SGR) in body weight of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days 57

Fig. 28. Survival rate of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days 58

sXasQSa



I. 서론

무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)는 연어목(Salmoniformes) 연어과(Salmonidae)에 속하는 냉수성어류로 북미의 멕시코 북부에서부터 알류산 열도에 이르는 동부 태평양연안과 캄차카반도 남부에서부터 시베리아 아무르강에 이르는 서태평양연안에서 서식하는 종이다(Behnke, 1992).

세계적으로 가장 먼저 부화장에서 인공부화에 이용된 무지개송어는 1870-1973년에 샌프란시스코만 지역에서 수집된 연안 계통이라고 믿어 사료되며(Needham and Behnke, 1962; Behnke, 1992), 현재 전 세계적으로 양식되고 있는 무지개송어는 아마도 맥클라우드 강에서 서식되던 계군이거나 샌프란시스코만의 지류에서 서식하던 스틸헤드 송어이거나 혹은 두 계군의 교잡종일 것으로 추정된다(Behnke, 1992).

무지개송어는 일생 동안 바다에 내려가지 않고 산간 계곡의 맑은 찬물에서만 서식하며, 수온 20℃ 전후까지 서식이 가능하다. 인공양식의 경우 수온은 9-17℃ 범위가 좋으며, 고수온이 장기간 지속되면 질병에 쉽게 감염되고, 저수온에서는 성장 정지 및 난 성숙이 불가능하게 된다(野村, 1970).

형태는 체측의 머리에서부터 미병부까지 주홍색 띠가 있고, 복부를 제외한 몸 전면에 많은 검은 점이 산재하는데 산란기에는 더욱 선명하다. 치어는 몸 표면에 8-12개의 반점(parr mark)이 있으나 성장함에 따라 차츰 불투명해지고, 만 1년 이상이 되면 완전히 소멸되고, 체측에 주홍색 무늬가 두부에서 미병부까지 이어진다(김과 박, 2002).

산란 연령은 2년생에서 5년생까지 가능하나 2세어의 경우 포란수가 적고 난경이 작으며, 발안율이 낮으므로 3년생부터 이용하는 것이 바람직하다. 암컷 한 마리가 3천-4천개의 알을 갖는데, 알의 크기는 직경이

5-6 mm로 크며, 알은 핑크빛이나 옅은 노랑색을 띠며 분리 침성란으로 바닥에 가라앉는다. 수정란은 수온 10℃에서 약 60일 만에 부화된다. 자어는 배에 큰 난황을 갖고 있으며 바닥에 누워서 난황을 모두 흡수한 자어는 부상하기 시작하며(부상기) 이때부터 유행하면서 먹이를 먹기 시작한다.

우리나라의 무지개송어 양식은 1965년 1월 3일 미국 캘리포니아주 Henrycline Schmidt씨로부터 Kamloop 송어 발안란 1만개를 도입하여 강원도 화천군 간동면 구만리 화천댐 하단부에서 부화시킨 것이 송어양식의 효시가 되었다(함, 1990). 그러나 화천댐(파라호)의 수온상태는 겨울에 3℃, 여름에는 20℃ 전후로서 겨울철 저수온으로 인하여 약 5개월간 성장이 불가능한 상태이며, 더욱이 장마철에는 1개월간 탁수의 침전으로 저층수 이용시에는 무지개송어 관리와 성장에 많은 지장을 초래하여 시험양식에 실패하게 되었다. 그러나 송어 양식사업은 1966년에는 용천수가 풍부한 평창군 상리에 강원도립양식장² 설립하여 풍부한 용천수를 이용하면서 1968년까지 미국 및 일본에서 발안란 81만개를 이식하였으며, 1968년에 처음 자체적으로 발안란을 생산하여 치어 30만(전장 7-8 cm)마리를 생산하여 하천 및 저수지에 방류한 실적이 있다(함, 2005).

무지개송어에 관한 연구는 외국에서 인공부화장의 환경(Piper et. al., 1982), 난질의 조성 및 평가(Craik and Harvey, 1984; Craik, 1985; Springate and Bromage, 1985; Bromage et al., 1992), 수정 후의 난황 구성과 발달(Kjorsvik, 1994; Brooks et al., 1997), 초기 성장 및 생존(Piper et. al., 1982; Brannon and Klontz, 1989), 초기사육(Needham and Behnke, 1962; Klontz, 1991), 성숙(Kwon et al., 1993; Mugiya and Tanahashi, 1998), 산란주기 및 광주기 조절(Brannon and Klontz, 1989; Taranger et al., 1998; Bromage et al., 2001), 양식장 환경수용력(Smith

and Piper, 1975; Westers and Pratt, 1977; Piper et. al., 1982; Colt et. al., 1991), 사료(Jayaram et al., 1992; Gomes et al., 1995), 생태 및 양식 (Gall and Crandell, 1992; Hershberger, 1992), 생산출하 (Klontz, 1991) 등 많은 연구가 있으며, 국내에서는 사육밀도와 수질환경(Yoon et al., 1995), 부화 및 자치어 성장(Baik et al., 2007) 등이 있으나 성성숙 및 광주기에 관한 연구는 아직 미진한 수준이다.

1983년 국내에서 처음으로 배합사료가 개발되어 소비문화의 확산으로 무지개송어 생산 증가를 가져오게 되었으며, 1983년 담수어류 유래 디스토마 보도, 1991년 에로모나스와 비브리오 패혈증 파동을 겪으면서도 1998년 최대 3,994톤으로 생산량의 절정을 이루었다(Baik et al., 2007). 그러나 2005년 10월 5일 담수어류에 사용하는 말라카이트 그린(Malachite green)파동으로 인한 소비위축으로 경제적으로 손실을 보게 되었으며 2006년에는 무지개송어 생산량이 1,878톤으로 급격한 감소 추세를 나타내었다.

1980년 초에는 무지개송어 양식업자가 10여명에 불과하던 것이 1990년 도에는 무려 317개소로 증가 되었으나, 1997년부터 시작된 경제 불황기 동안에 많은 양식장이 도산되었으며, 2005년에는 말라카이트 그린 사건으로 양식장 운영의 어려움으로 현재는 213개소 정도로 감소하였다.

무지개송어 양식에 있어서 가장 중요한 요인 중의 하나는 사육수이며, 사육수는 수원의 환경에 따라서 연중 수온변화가 심하게 나타나게 된다. 계곡수를 이용하는 양식장의 경우 계곡수의 일일 수온의 변화도 심하게 나타나므로 반드시 수온변화가 적은 지하수를 혼용하여 적정 수온을 유지하여야만 한다. 냉수성 어류양식장의 수원은 지하수와 용천수로서 일반적으로 기온의 변화에 늦게 영향을 받게 되어 연중 안정적인 수온을 유지할 수 있다.

석회암 지대의 경우 하천수가 가까운 지역의 경우 기온의 영향에 민감하여 여름의 고수온(20℃ 내외)과 저수온(5℃ 내외)으로 문제가 있으나, 지하수나 용천수는 겨울철에는 수온이 낮고 여름철에는 다소 높은 수온을 유지하지만 대체적으로 무지개송어 서식의 적수온대를 유지하고 있다. 우리나라 무지개송어 양식장은 주로 용천수를 가장 많이 이용하고 있으므로 양식장의 분포를 보면 강원도에 57%로 가장 많고, 경북 18%, 충북 15%로 전체의 90%를 점하고 있다.

어류의 생식 내분비는 환경요인이 지배하는데, 그 중에서 광주기와 수온이 가장 크게 관여한다고 알려져 있다(Vlaming, 1975; Asahina and Hanyu, 1983). 이들 환경요인 중에 광주기 조절로서 산란이 가능함이 송어(Hoover and Hubbard, 1937)에서 처음 조사된 이래, 넙치(伊島 等, 1986) 등 여러 어종에서 밝혀졌으며 수온 조절로 산란이 가능한 어종으로는 참돔(福小 等, 1986) 등에서 보고되었다.

Cho and Yang (1991)은 넙치를 대상으로 일조량 조절에서 11시간에서 14시간으로 장일 처리되는 시간에 성숙되어 산란이 시작되었으나, 高橋 等(1985)는 무지개송어를 2월 초순부터 80일간 20시간 장일 처리한 후 채란 종료시 까지 8시간으로 단일 처리하여 7월 중순에 채란하였다고 보고하였다. 일반적으로 산란기의 일조 조건하에서 산란기의 1-2개월 전의 수온에서 사육하면 성숙 축진이 가능하며 산란 최적수온으로 수온 변화 혹은 산란 환경의 설치로 산란 유도가 가능하다(Aida, 1991). 봄에 산란하는 어종인 금붕어에서는 장일조건 10-15℃ 쯤에서 1개월 정도 사육하면 성숙 축진이 가능하고, 20-25℃로 수온상승 및 산란 환경의 설치로 연중 산란 유도가 가능하다(羽生, 1982).

미국에서의 무지개송어는 보통 자연에서는 봄에 산란하지만 유전학적 선발 과정과 광주기 조절로 산란시기를 조절하고 있다. 캘리포니아에

서 초 겨울에 산란하는 특정 집단의 선발이 1930년대에는 3월이었으나 1940년에는 10월로 변경되었고 그 후 지속적인 연구로 8월중 연중 종란을 생산할 수 있었고 이것이 전 세계 양식 생산의 급격한 증가에 크게 기여하였다(Leitritz, 1963; Duston and Bromage, 1986).

일본에서도 1960년대부터 광주기 조절에 의한 무지개송어의 산란시기 조절에 대한 연구가 추진되어 1980년대에 전성기를 맞았으며(松島 等, 1972; Takashima and Yamada, 1984), 우리나라는 1983년 중반부터 민간 양식장에서 초보적으로 시도는 되었으나 자료는 미흡한 실정이다.

岩手(1981)에 의하면 일반적으로 가을 산란어인 무지개송어를 비롯한 연어과 어류에서는 일조시간 조절에 의해 성숙의 촉진 및 지연이 가능하다고 하였다. 따라서 성숙이 일장에 의해 영향을 받는 사실을 바탕으로 계획적 성숙을 조절하고, 임의 기간에 종묘를 얻을 수 있어 종묘생산이 연중 가능하게 되었다(Bromage et al., 2001).

우리나라의 냉수성 어류의 소비 패턴은 20세기 후반까지 단순한 식품 문화의 일환으로서 주로 찜감으로만 이용되어 소비가 극히 단조로운 상태였으나 최근에는 생활의 다변화와 소비의 패턴이 선진국 형태로 변화고 있다. 찜감으로 이용 시에는 개체당 체중이 800 g 전후에 국한되어 생산비의 부담이 가중되는 현상이 나타나기도 하였으나 요리 방법의 다양화와 송어 맨손 잡이 체험 확대 등으로 400–600 g 내외 크기의 소비가 점차 확대되고 있는 실정이다.

이러한 소비의 다양화로 인하여 동일한 크기가 연중 필요하게 되므로 이를 해결하기 위해서는 광주기 조절에 의한 무지개송어의 연중 종묘생산이 필수적이다. 또한 이를 통하여 무지개송어의 생산시기를 조절하여 홍수 출하에 따른 가격 폭락과 상승의 급격한 변화 없이 연중 안정적인 가격을 유지할 수 있다.

따라서 본 연구는 무지개송어의 일반적인 광주기 조절을 통하여 연중 산란하는 방법을 개발하여 양식 산업에 도움 될 수 있게 하기 위하여 시행하였다.



II. 재료 및 방법

1. 양식장의 환경

1.1. 양식장의 지역 여건

본 조사 양식장은 우리나라 무지개송어 양식장의 중심지인 강원도 평창군 미탄면에 위치한 원복양식장에서 실시하였다. 본 양식장은 영월군과 정선군 경계에 위치한 곳으로 석회 암반에서 나오는 용천수가 풍부하며, 수온이 9–13℃로 무지개송어 양식에 적수온을 유지하고 있다.

1.2. 수질분석 방법

환경 조사에서 수온은 2007년 1월부터 2008년 12월까지 2년간에 걸쳐 매월 1회씩 조사하였으며, pH, DO, BOD, SS 및 영양염류($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-P) 등은 2008년 1월부터 12월까지 매월 2회(1일, 16일)씩 조사하였다. 수온, 용존산소(DO) 및 pH는 YSI-600XLM (USA)으로 현장에서 10시 기준으로 측정하였다.

생물학적 산소요구량(BOD)은 시료를 20℃에서 5일간 보관하여 호기성 미생물에 의해 분해, 안정화 시키는데 소모되는 용존산소(DO)의 양을 측정하였다. 부유물질(SS)은 유리섬유여과지(GF/C, 47 mm, Whatman)를 이용하여 여과 후 105–110℃에서 건조 후 무게차를 이용하여 측정하였다.

영양염류는 500 ml 플라스틱 통으로 채수하여 실험실에서 스펙트로포토메터(GENESYS-5, USA)로 분석하여 흡광도를 농도로 환산하였다. 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)는 Indophenol법에 의해 비색 정량하였으며, 아질산

성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 Sulfanilamide-NED법에 의해 비색 정량하였다. 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 Cadmium reduction법에 의해 질산을 아질산으로 환원시킨 후 Sulfanilamide-NED법에 의해 비색 정량하였다. 총질소(T-N)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소의 합으로 구하였으며, 총인(T-P)은 Ascorbin acid법에 의해 비색 정량하였다(MOMAF, 2002).

1.3. 양식장 유입 수량

양식장에 유입 수량 조사는 2007년 1월부터 2008년 12월까지 2년간에 걸쳐 매월 1회씩 유속계(Kenek LP-1100, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 1분당 유입되는 수량 계산은 유속과 수로를 통과하는 면적을 환산하여 계산하였다.

1.4. 양식장 배출수 수질 및 처리

양식장의 침전 처리효과에 이용한 침전 시설은 Table 1과 양식장의 침전 시설 면적은 사육조($9,671 \text{ m}^2$)의 20.7%인 장방형 시설($2,000 \text{ m}^2$)로서 침전조 내 체류시간은 약 60분이다. 사육장에서 배출된 배출수가 침전조로 유입되기 전과 후의 환경조사는 2007년과 2008년에 5월부터 8월까지 12회 조사하였으며, 조사항목은 SS, BOD, T-N 및 T-P로 원수의 수질분석 방법과 동일하게 분석하였다. 침전조의 유입수와 유출수를 토대로 제거율 $[(\text{유입수의 값} - \text{유출수의 값}) \times 100 / \text{유입수의 값}]$ 을 산정하였다.

또한 양식장의 사료 공급 전과 후에 대한 침전조의 배출수 제거 효과를 조사하기 위하여 배출수의 시료 채수와 분석은 사료 공급 1시간 전(08:00)과 후(10:00), 사료 공급 후 수질의 안정이 이루어진 4시간 후(13:00)에 실시하였다. 양식장의 사료공급은 1일 2회(09:00, 15:00) 공급하였으며, 2008년 5월에 1회 조사하였다.

Table 1. General information of Wonbok rainbow trout farm where this experiments were conducted

Culture area (m ²)	Fish Production (ton/year)	Water usage (m ³ /day)	Sedimentation area (m ²)	Ratio of sedimentation area (%)
9,671	150	31,500	2,000	20.7

2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙

2.1. 친어 생태

무지개송어 양식장의 친어 생태를 파악하기 위하여 강원도 평창군 미탄면 원복양식장에서 사육하는 어미를 대상으로 생태조사를 실시하였다.

친어의 전장, 가랑이체장 및 체중 측정을 위해 마취제(MS-222, Sigma, USA)를 사용하여 마취시킨 후, 전장과 가랑이체장은 vernier caliper로 0.1 cm 단위로, 체중은 전자저울(CAS, MWII-300, Korea)을 이용하여 0.01 g 단위까지 측정하여 전장과 가랑이체장, 전장과 체중의 관계식을 구하였다.

생식소중량지수(GSI) 조사는 2008년 1월부터 12월까지 무지개송어 20마리씩을 매월 표본 채취하여 체중과 생식소 중량을 측정하였으며, GSI는 생식소중량(GW)을 체중(BW)으로 나눈 값의 백분율($GSI = GW \times 100 / BW$)로 사용하였다.

포란량 측정을 위해서 암컷의 어미를 공기 채란법으로 복부를 눌러 채란하였으며, 이때 혈액 및 점액을 제거하기 위하여 등조액으로 깨끗이 씻었다. 난경 및 난중량은 20개체의 난을 무작위 추출하여 난경은 vernier caliper로 0.1 mm까지, 난중량은 전자저울로 0.1 mg 단위까지 측정하였다. 포란량(F)은 전장(TL)에 대한 포란량과 체중(BW)에 대한 포란량을 $F = ae^{TL(BW)}$ 의 관계식으로 구하였다.

2.2. 광주기 조절 시험

광주기 조절 시험을 위하여 2008년 3월 1일에 3개의 시험 구별로 광주기를 조절하였으며, 대조구는 자연광을 이용하였다(Fig. 1). I 시험구의 광주기 조절은 20L/4D (20 light hours/4 dark hours)로 30일간과

17L/7D 30일간으로 조절한 후 13L/11D로 계속 유지하였으며, II 시험구는 18L/6D로 30일간, 15L/9D로 20일간 및 12L/12D 20일간으로 조절한 후 8L/16D로 계속 유지하였다. III 시험구는 14L/10D로 30일간과 11L/13D 20일간으로 조절한 후 8L/16D로 계속 유지하였으며, 대조구는 강릉지방 기상대 자료를 이용하였다. 광주기 시험용 수조는 30 m² (5x6 m)로 차광막을 덮어 40W 형광등 6개씩을 설치하였으며, 이때의 조도는 115 lux이었다.

광주기 시험구의 생식소중량지수(GSI)를 조사하기 위하여 광주기 조절 시설 이전(3월)과 시설 후인 5월 및 8월에 10마리씩 조사하여 생식소 중량 지수를 구하였으며, 대조구는 자연 산란용을 이용하였다. 또한 채란, 난경, 난중량은 포란량 측정시와 동일한 방법으로 측정하였으며, 발안율, 부화율 및 부상률은 초기사육장에서 사육하면서 발안 시기, 부화시기 및 부상시기를 Baik et al. (2007)의 방법에 따랐다.

2.3. 광주기 조절에 의한 조직학적 조사

무지개송어의 재생산에 대한 조직학적 변화를 알기 위하여 앞에서 광주기 조절 시험을 마친 I 시험구를 대상으로 2008년 12월 1일부터 2009년 1월 29일까지 60일간에 걸쳐 광주기를 20L/4D로 조절한 후 자연광으로 유지한 시험구와 자연광에만 의존한 대조구로 구분하였으며, 조직관찰을 위한 시료채취는 3월과 5월에 실시하였다. 시료처리는 생식소를 적출하여 무게를 측정한 후 즉시 Bouin액에 고정하고 파라핀블록을 제작하였다. 파라핀 절편(7-8 micrometer)은 슬라이드 글라스에 부착시킨 후, 일반적인 헤마톡실린-에오진 염색법으로 염색하고 광학현미경((Olympus CX31, Tokyo, Japan)로 관찰하고 사진 촬영하였다.

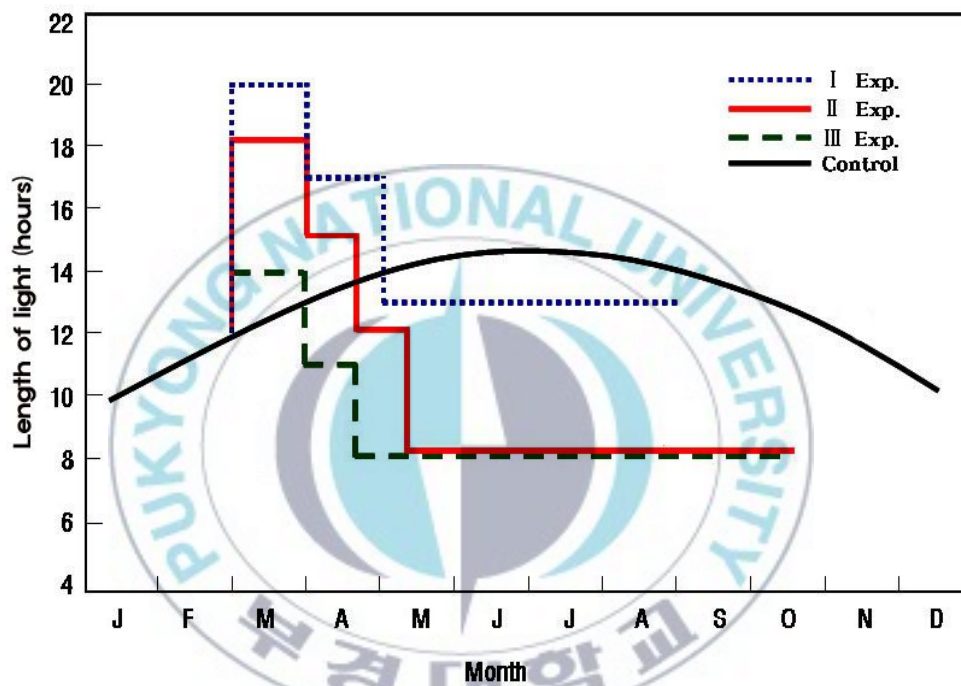


Fig. 1. Photoperiod manipulation schemes for the induction of year around spawning of rainbow trout. Control refers to natural photoperiod.

3. 치어성장 시험

3.1. 치어의 성장 비교

치어의 성장은 광주기에 의해 성숙 및 산란시킨 광주기 시험구(8월 3일 채란)와 자연 산란에 의한 대조구(11월 12일 채란)를 대상으로 시험하였으며, 시험기간은 광주기 시험구는 2008년 8월 3일부터 10월 19일까지(77일간), 대조구는 동년 11월 12일부터 2009년 1월 28일까지(77일간) 시험하였다. 사육 수조는 콘크리트 사각수조(280×600×30 cm) 2개에 부화된 치어를 1 m³당 16,000마리를 기준으로 각각 80,000마리씩 수용하여 성장 비교시험을 실시하였다.

사육용수는 2개 시험구 모두 용천수를 200 ml/sec로 공급하였으며, 먹이는 난황이 흡수되어 부상된 치어부터 배합사료를 공급하였다. 먹이 공급은 난황흡수가 거의 끝나는 부화 후 20일부터 매일 06시부터 18시까지 10회 조절로 자동 급이기로 공급하였으며, 그 이후는 9시부터 17시까지 5회 공급하였다.

성장도 조사는 부화 후 7일, 14일, 21일, 28일, 34일, 49일, 56일, 63일, 70일 및 77일째에 각 시험구별로 30마리씩 무작위 추출하여 MS-222로 마취시켜 전장과 체중을 정밀 측정하였다. 전장은 digital caliper (Mitutoyo, Japan)을 사용하여 0.01 cm까지, 체중은 디지털 저울(CAS, KSC-1313, Korea)을 사용하여 0.01 g 단위까지 측정하였다. 측정된 자료는 2개 사육 시험구별로 비교 분석하였으며, 전장의 일간 성장률과 체중의 일간 증중률은 다음과 같이 계산하였다.

전장의 일간 성장률 = $\text{LN}(\text{사육종료 시 전장}) - \text{LN}(\text{사육개시 시 전장}) \times 100/\text{일수}$

체중의 일간 증중률 = $\text{LN}(\text{사육종료 시 체중}) - \text{LN}(\text{사육개시 시 체중})$
 $\times 100/\text{일수}$

생존율은 매일 폐사어를 파악하여 성장도 조사 일에 합산하여 백분율 (%)로 환산하였으며, 사육 환경은 성장도 측정과 병행하여 수온, DO 및 pH를 YSI-600XLM으로 측정하였다.

3.2. 생산량 비교

부화 후 광주기 시험구와 비교구에 대한 치어의 최종 생산량은 성장시험을 위해 콘크리트 수조 16.8 m²(가로 2.8×세로 6.0 m)에 80,000마리를 수용하여 77일간 사육한 것을 토대로 하였다. 이때의 최초 수용량은 7,200 g이었으며, 최종 생산량은 광주기 시험구가 46,253 g, 대조구가 299,904 g으로서 단위면적당 생산량으로 환산하여 비교하였다.

4. 통계처리

실험결과는 ANOVA를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 양식장의 환경

1.1. 양식장 원수의 일반 수질 환경

용천수를 용수로 사용하는 양식장의 수온 변화를 2007년 1월부터 2008년 12월까지 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 수온은 2007년에 연평균 $11.15 \pm 0.87^{\circ}\text{C}$ 로서 겨울철인 1-2월에 10.9°C 였으나 9월이 13.2°C 로 가장 높았으며, 12월이 9.8°C 로 가장 낮았다. 2008년의 수온은 연평균 $10.94 \pm 1.47^{\circ}\text{C}$ 로서 1월이 9.9°C 였으나 9월이 13.0°C 로 가장 높았고, 11월이 9.5°C 로 가장 낮았다.

양식장 용수의 pH와 용존산소(DO) 변화를 2008년 1월부터 12월까지 조사한 결과는 Table 2 및 Fig. 3과 같다. pH는 7.60 ± 0.16 으로 3월 상순이 7.31로 가장 낮았으며, 11월 하순이 7.90으로 가장 높았으나 전체적으로 변화폭이 컸다. DO는 8.64 ± 0.74 mg/L로서 6월 상순이 7.46 mg/L으로 가장 낮았고, 8월 하순이 9.81 mg/L로 가장 높았으며, 연중 변화폭이 다소 컸다(Fig. 3).

양식장 용수의 생화학적 산소 요구량과 부유물질 변화를 조사한 결과는 Table 2 및 Fig. 4-5와 같다. 생화학적 산소요구량(BOD)은 0.904 ± 0.186 mg/L로 3월 하순이 1.27 mg/L로 가장 높았으며, 2월 하순이 0.56 mg/L로 가장 낮았다(Fig. 4). 부유물질(SS)은 0.586 ± 0.236 mg/L로서 2월 상순이 0.233 mg/L으로 가장 낮았고, 10월 하순이 0.980 mg/L로 가장 높았으며, 연중 변화폭이 심하였다(Fig. 5).

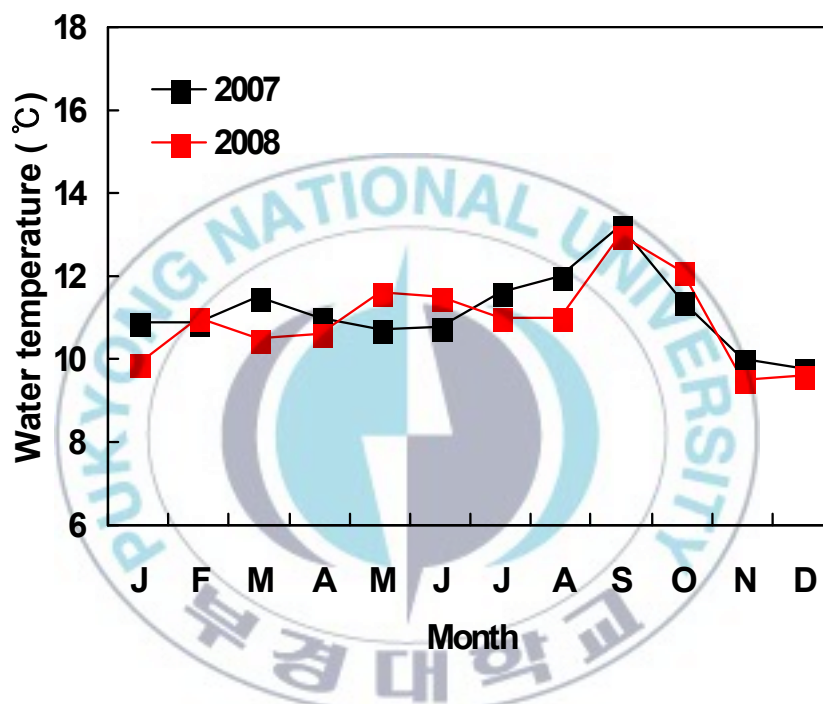


Fig. 2. Monthly fluctuation of temperature of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January 2007 to December 2008.

Table 2. Results of water quality measurements in Wonbok rainbow trout farm from January 2007 to December 2008

Day measured	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
Jan. 1	7.62	8.26	0.83	0.784
Jan.16	7.51	8.52	0.74	0.347
Feb. 1	7.43	8.32	0.86	0.233
Feb.16	7.32	8.29	0.56	0.421
Mar. 1	7.30	8.08	1.12	0.272
Mar.16	7.57	8.36	1.27	0.620
Apr. 1	7.54	9.26	0.95	0.075
Apr.16	7.49	8.03	0.66	0.507
May 1	7.71	7.49	1.03	0.803
May 16	7.84	7.45	1.13	0.670
Jun. 1	7.71	7.46	0.95	0.732
Jun.16	7.80	8.47	0.65	0.333
Jul. 1	7.78	9.81	0.98	0.240
Jul.16	7.57	9.80	0.86	0.973
Aug. 1	7.57	8.94	1.04	0.803
Aug.16	7.61	9.81	0.78	0.470
Sep. 1	7.39	9.24	0.93	0.515
Sep.16	7.66	8.22	0.65	0.813
Oct. 1	7.82	8.53	1.14	0.523
Oct.16	7.44	9.14	1.13	0.980
Nov. 1	7.55	8.43	0.97	0.307
Nov.16	7.90	8.42	0.77	0.932
Dec. 1	7.64	9.36	0.96	0.473
Dec.16	7.57	9.80	0.74	0.630
Average	7.60	8.64	0.904	0.586
SD	0.17	0.72	0.119	0.236

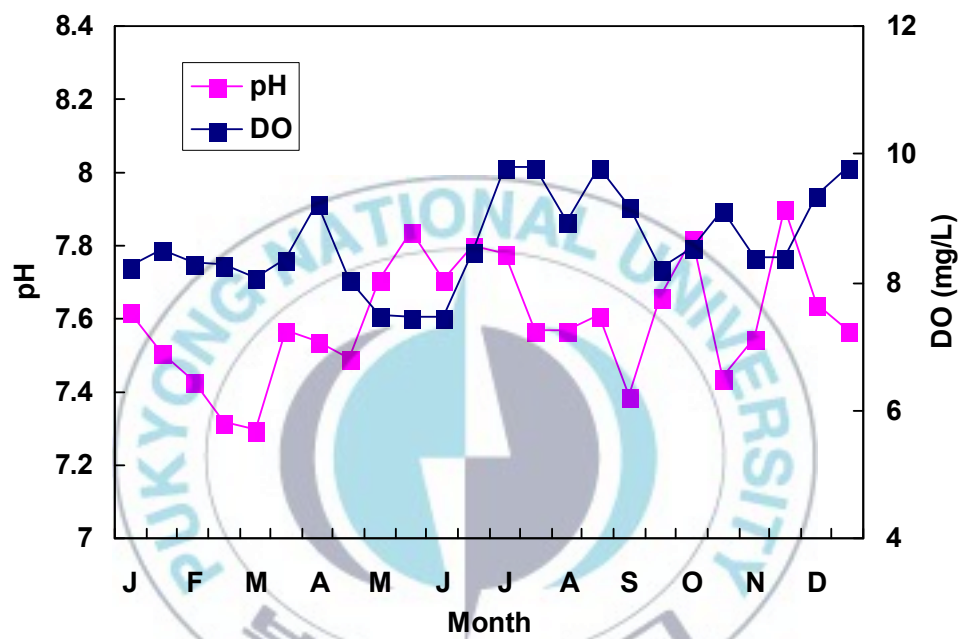


Fig. 3. Fluctuation of pH and dissolved oxygen (DO) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

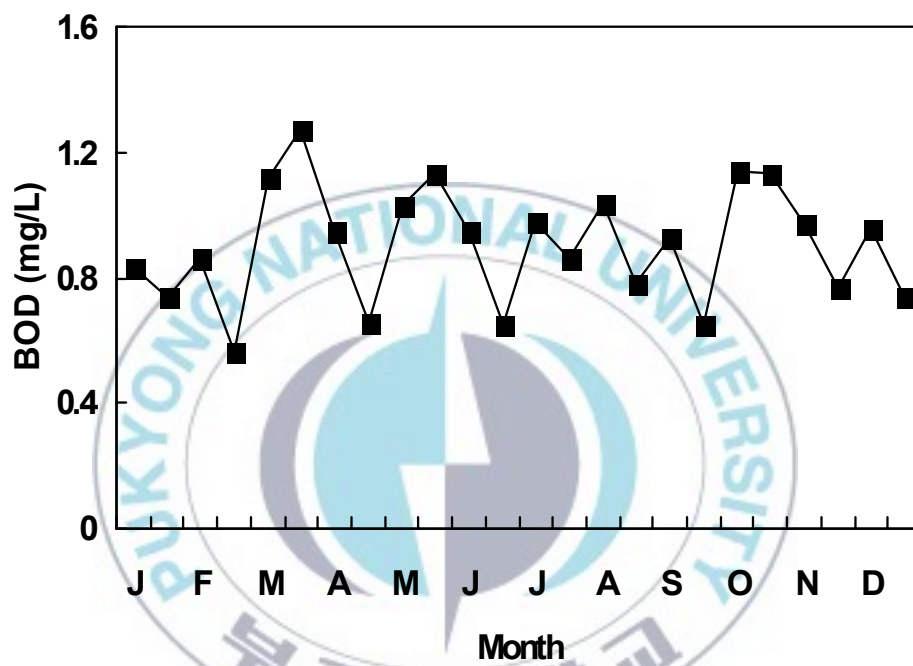


Fig. 4. Fluctuation of biochemical oxygen demand (BOD) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

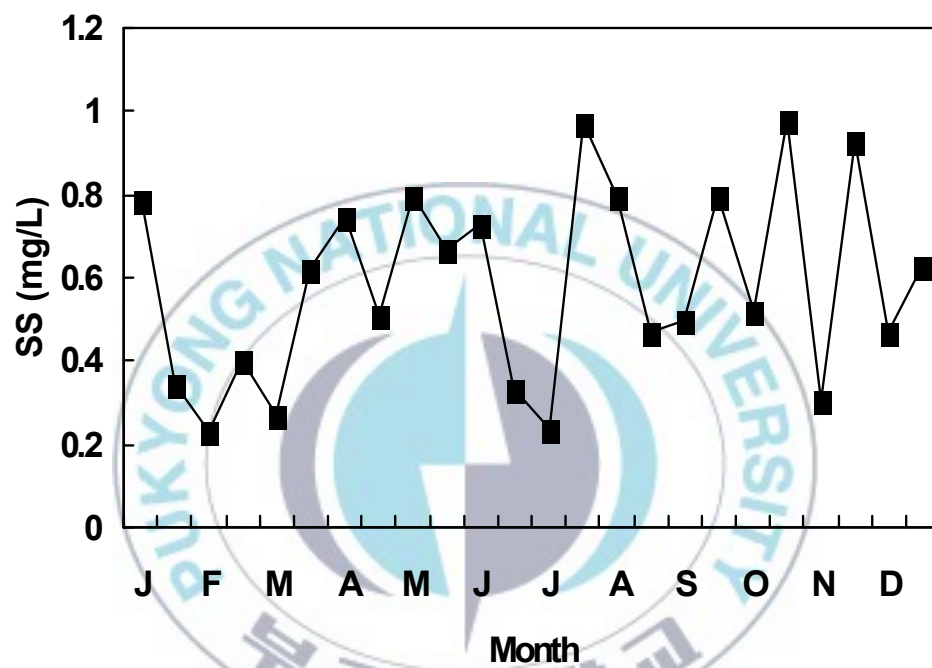


Fig. 5. Fluctuation of suspended solids (SS) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

1.2. 양식장 용수의 영양염류

양식장 용수의 영양염류에서 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$) 및 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)에 대한 수질환경은 Table 3 및 Fig. 6과 같다. 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)는 0.022 ± 0.007 mg/L로서 3월 하순과 4월 하순이 0.014 mg/L로 가장 낮았고, 7월 상순이 0.043 mg/L로 가장 높았으며, 연중 변화폭이 컸다. 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 0.006 ± 0.002 mg/L로 4월이 0.003 mg/L로 가장 낮았고, 2월이 0.012 mg/L로 가장 높았으며, 연중 변화폭이 컸다. 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 0.047 ± 0.013 mg/L로서 1월 하순과 3월 상순이 0.023 mg/L로 가장 낮았고, 8월 상순이 0.063 mg/L로 가장 높았으며, 연중 변화폭이 비교적 컸다.

영양염류의 총질소(T-N)와 총인(T-P)은 변화는 Table 3 및 Fig. 7-8과 같다. 총질소(T-N)는 0.075 ± 0.015 mg/L로 9월 상순이 0.085 mg/L로 가장 높았으며, 3월 상순이 0.044 mg/L로 가장 낮았다(Fig. 7). 총인(T-P)은 0.003 ± 0.002 mg/L로 7월 하순이 0.007 mg/L로 가장 높았으며, 가장 낮은 시기는 계절에 관계없이 0.001 mg/L로 나타났다(Fig. 8).

1.3. 양식장 유입 수량

양식장에 유입되는 용수의 수량은 Fig. 9와 같다. 2007년은 연중 평균 21.10 ± 6.73 ton/min.으로 1-2월은 12 ton/min. 이하이며, 6-7월에는 28-29 ton/min.으로 수량이 풍부하였다. 2008년에는 22.75 ± 7.82 ton/min.으로 1-2월에는 9 ton/min. 이하였고, 6-7월에는 30 ton/min. 정도로 수량이 풍부하였다.

Table 3. Comparison of water quality parameters between inlet and outlet water in Wonbok rainbow trout.

Day measured	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Jan. 1	0.029	0.005	0.043	0.077	0.006
Jan.16	0.021	0.007	0.023	0.051	0.005
Feb. 1	0.016	0.012	0.030	0.058	0.002
Feb.16	0.024	0.010	0.057	0.091	0.006
Mar. 1	0.016	0.005	0.023	0.044	0.001
Mar.16	0.014	0.004	0.044	0.062	0.004
Apr. 1	0.028	0.003	0.032	0.063	0.001
Apr.16	0.014	0.003	0.044	0.061	0.002
May 1	0.017	0.005	0.052	0.074	0.001
May 16	0.015	0.004	0.050	0.069	0.003
Jun. 1	0.028	0.008	0.061	0.097	0.001
Jun.16	0.027	0.006	0.051	0.084	0.001
Jul. 1	0.043	0.006	0.044	0.093	0.002
Jul.16	0.021	0.004	0.058	0.083	0.007
Aug. 1	0.032	0.003	0.036	0.071	0.003
Aug.16	0.026	0.005	0.060	0.091	0.002
Sep. 1	0.028	0.004	0.063	0.095	0.005
Sep.16	0.016	0.006	0.062	0.084	0.004
Oct. 1	0.021	0.007	0.057	0.085	0.001
Oct.16	0.015	0.010	0.061	0.086	0.003
Nov. 1	0.017	0.008	0.062	0.087	0.002
Nov.16	0.015	0.006	0.039	0.060	0.001
Dec. 1	0.018	0.006	0.037	0.061	0.003
Dec.16	0.029	0.009	0.045	0.083	0.001
Average	0.022	0.006	0.047	0.075	0.003
SD	0.007	0.002	0.004	0.013	0.001

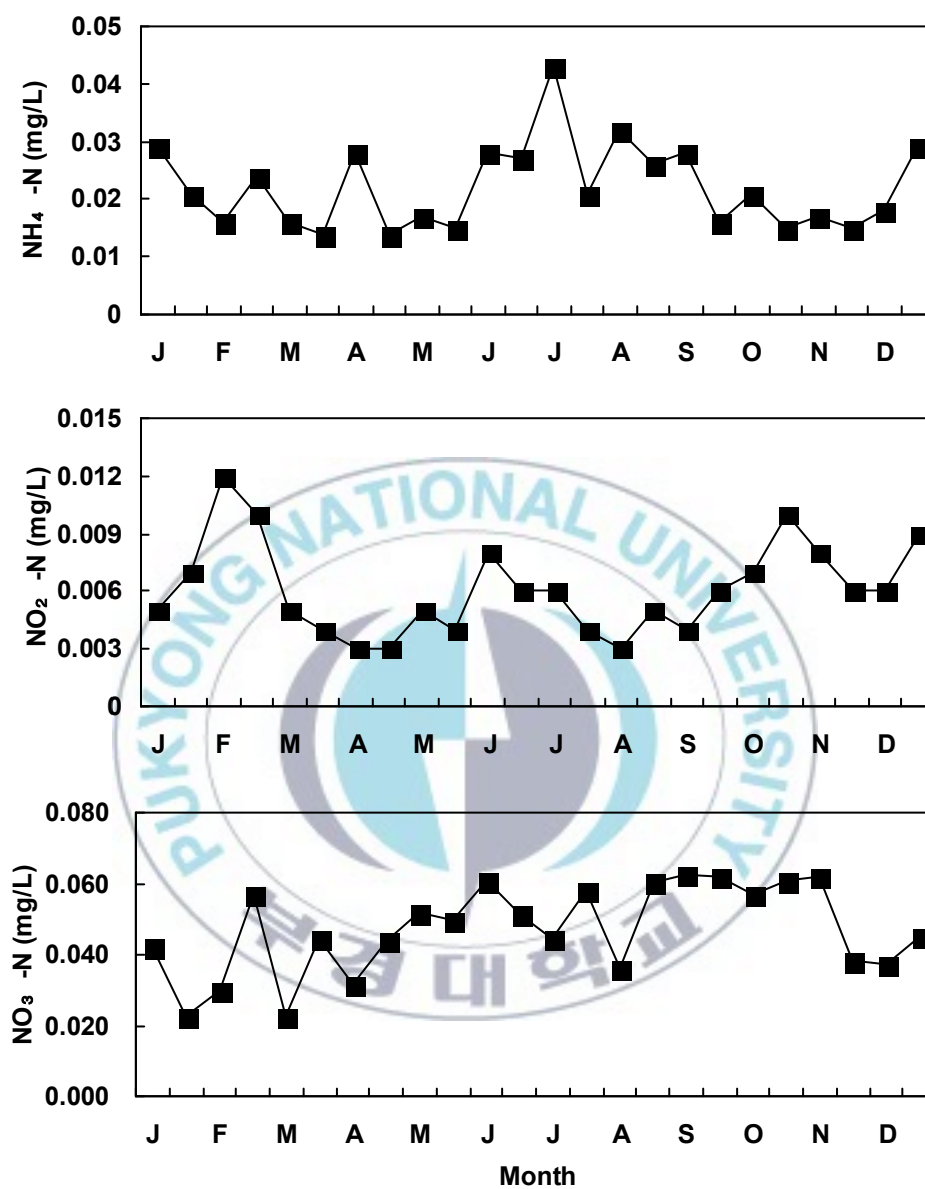


Fig. 6. Fluctuation of ammonia ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

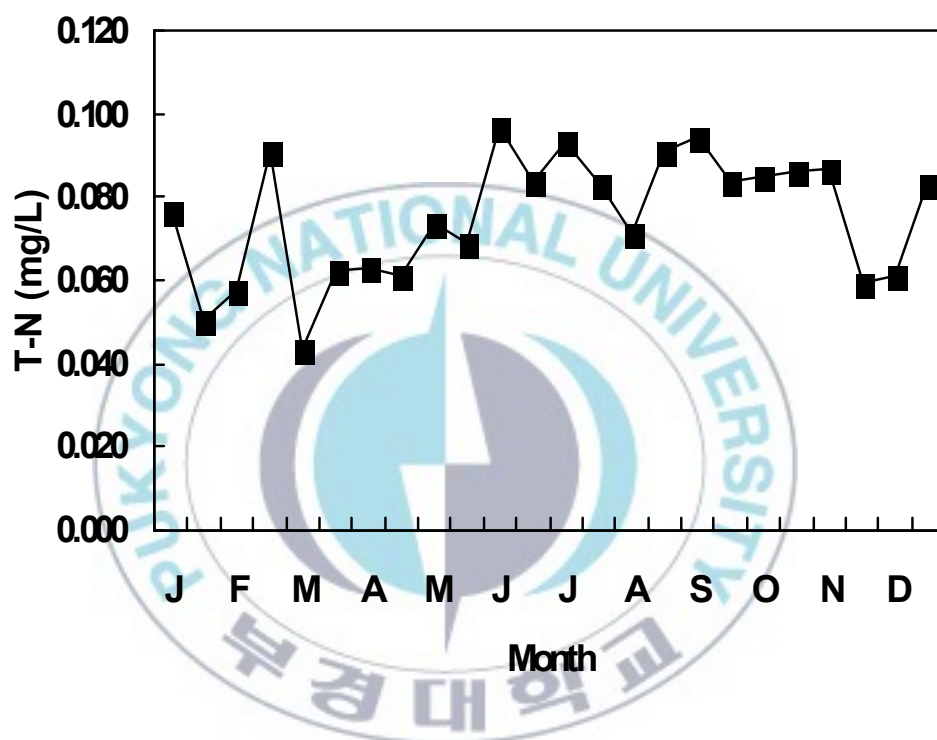


Fig. 7. Fluctuation of total nitrogen (T-N) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

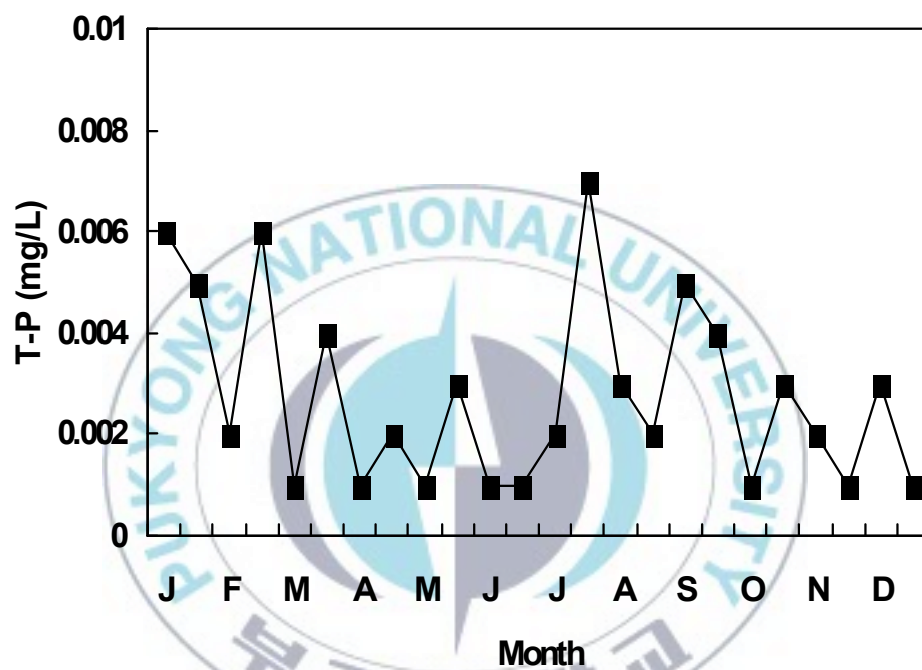


Fig. 8. Fluctuation of total phosphorus (T-P) of the culture water in Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

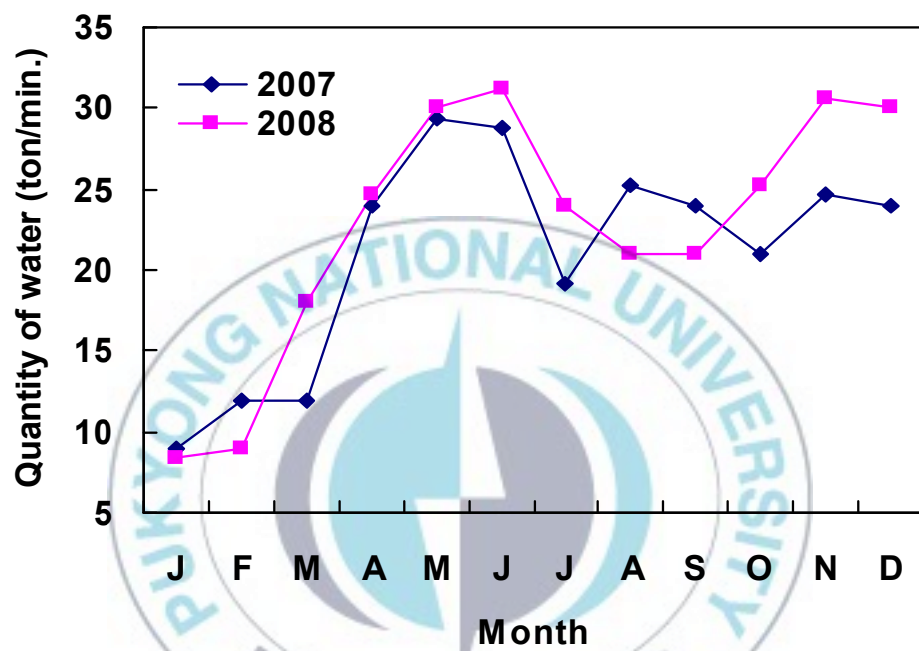


Fig. 9. Monthly fluctuation of water quantity flow into Wonbok rainbow trout farm from January to December 2008.

1.4. 양식장 배출수 및 처리효율

무지개송어 양식장에서 사육 후 배출 수에 의한 침전조의 처리 효율을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 양식장에서 배출된 배출수의 수질환경은 부유물질(SS)이 평균 5.69 ± 1.47 mg/L, BOD가 2.54 ± 0.85 mg/L 이며, T-N은 1.86 ± 0.51 mg/L, T-P은 0.21 ± 0.05 mg/L로 나타났다.

침전조에 처리된 후는 부유물질(SS), BOD, T-N 및 T-P는 각각 평균 4.63 ± 1.15 mg/L, 2.27 ± 0.57 mg/L, 1.62 ± 0.33 mg/L 및 0.19 ± 0.03 mg/L로 감소하여 제거율은 부유물질이 $18.63 \pm 1.24\%$ 로 가장 많이 제거되었으며, 다음은 TN이 $12.90 \pm 0.46\%$, BOD가 $10.63 \pm 0.65\%$, TP가 $9.57 \pm 0.04\%$ 순으로 효율이 높게 나타났다.

배출수의 부유물질에 대한 BOD, T-N 및 T-P의 상관관계는 Fig. 10과 같다. 생물학적 산소요구량, 총질소 및 총인의 농도는 부유물질과 정의 상관 관계를 보이고 있으며, 특히 BOD는 높은 상관 관계를 보였다.

사료를 공급하기 전, 후의 변화를 조사한 결과는 Table 5와 같다. 사료 공급하기 1시간 전(08시)의 수질 환경은 사료 공급 1시간 전의 부유물질이 침전조에서 제거율은 7.53%였으나, 사료 공급 1시간 후에는 28.54%로 급격하게 높아졌으며, 사료 공급 4시간 후에는 8.59%로 감소하였다. 또한 BOD, T-N 및 T-P의 변화에서도 사료 공급 1시간 전에는 제거율이 5.56–8.43%였으나, 사료 공급 1시간 후에는 15.18–20.80%로 제거율이 높았으며, 사료 공급 4시간 후에는 8.52–10.33%로 다소 감소하였다.

Table 4. Comparison of water quality parameters between inlet and outlet water in Wonbok rainbow trout farm

Items	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Inlet	5.69±1.47*	2.54±0.85	1.86±0.51	0.21±0.05
Outlet	4.63±1.15	2.27±0.57	1.62±0.33	0.19±0.03
Removal efficiency (%)	18.63±1.24	10.63±0.65	12.90±0.46	9.57±0.04

*Mean±SD.

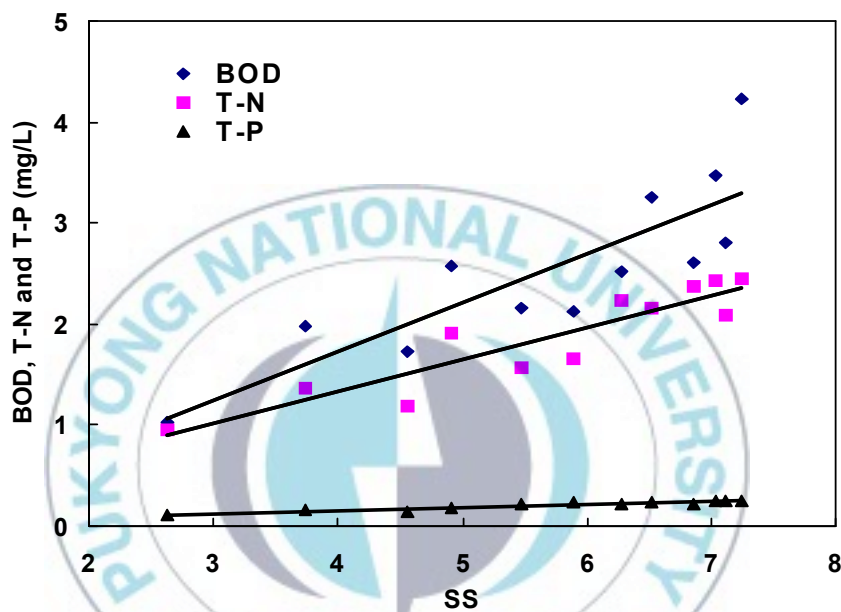


Fig. 10. Relationship between SS and other water quality parameters (BOD, T-N, T-P) in the outlet water discharged from Wonbok rainbow trout farm.

Table 5. Effects of feeding on the water quality parameters in outlet water discharge from Wonbok rainbow trout farm

Items	Before feeding			1 hour after feeding			4 hours after feeding		
	Inlet	Outlet	RE* (%)	Inlet	Outlet	RE* (%)	Inlet	Outlet	RE* (%)
SS (mg/L)	4.25	3.93	7.53	8.62	6.16	28.54	4.54	4.15	8.59
BOD (mg/L)	2.37	2.23	5.91	3.75	2.97	20.80	2.42	2.17	10.33
T-N (mg/L)	1.66	1.52	8.43	2.57	2.18	15.18	1.76	1.61	8.52
T-P (mg/L)	0.18	0.17	5.56	0.29	0.23	20.69	0.22	0.20	9.09

*RE: removal efficiency.

2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙

2.1. 친어 생태

무지개송어의 친어의 생태는 Table 6과 같다. 3-4년된 암컷의 전장, 가랑이체장 및 체중은 각각 53.59 ± 5.27 cm, 46.28 ± 3.73 cm, 3.23 ± 0.29 g이었으며, 2-3년된 수컷의 전장, 가랑이체장 및 체중은 각각 47.61 ± 3.25 cm, 42.17 ± 2.56 cm, 2.58 ± 0.17 g이었다.

무지개송어 친어의 전장과 가랑이체장에 대한 관계는 Fig. 11과 같다. 전장(TL)에 대한 가랑이체장(FL)의 관계는 $FL = 0.8760TL + 0.6586$ ($R^2 = 0.9722$)로 나타났으며, 전장 45 cm일 때 가랑이체장은 40 cm, 전장 50 cm일 때 가랑이체장은 44cm 그리고 전장 60 cm일 때 가랑이체장은 53 cm 정도였다.

전장과 체중에 대한 관계는 Fig. 12와 같다. 전장(TL)에 대한 체중(BW)의 관계는 $BW = 0.0644TL^{2.6564}$ ($R^2 = 0.9573$)로 전장 45 cm일때 가랑이체장은 1,500g, 전장 50 cm일때 가랑이체장은 2,000 g 그리고 전장 60 cm일 때 가랑이체장은 3,500 g으로 급증한 것으로 나타났다.

2.2. 생식소중량지수(GSI) 변화

무지개송어의 암컷과 수컷에 대한 생식소중량지수(GSI) 변화는 Fig. 13과 같다. 암컷은 1월에 $10.02 \pm 2.71\%$ 이었으나 6월에는 $0.81 \pm 0.38\%$ 까지 감소하였으며, 그 이후 다시 서서히 증가하여 9월에는 $6.89 \pm 1.40\%$ 이었고, 11월에는 $12.43 \pm 3.12\%$ 로 최고값을 나타낸 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 수컷은 1월에 $1.23 \pm 0.40\%$ 에서 5월에는 $0.71 \pm 0.19\%$ 로 최저를 나타낸 후 다시 증가하여 10월에 $4.92 \pm 1.23\%$ 로 가장 높았다.

Table 6. Biometry of the rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning in Wonbok rainbow trout farm

Sex	No. of individual	Total length (cm)	Fork length (cm)	Body weight (kg)	Ages (year)
Female	50	53.59±5.27*	46.28±3.74	3.23±0.29	3–4
Male	30	47.61±3.25	42.17±2.56	2.58±0.17	2–3

*Mean±SD.

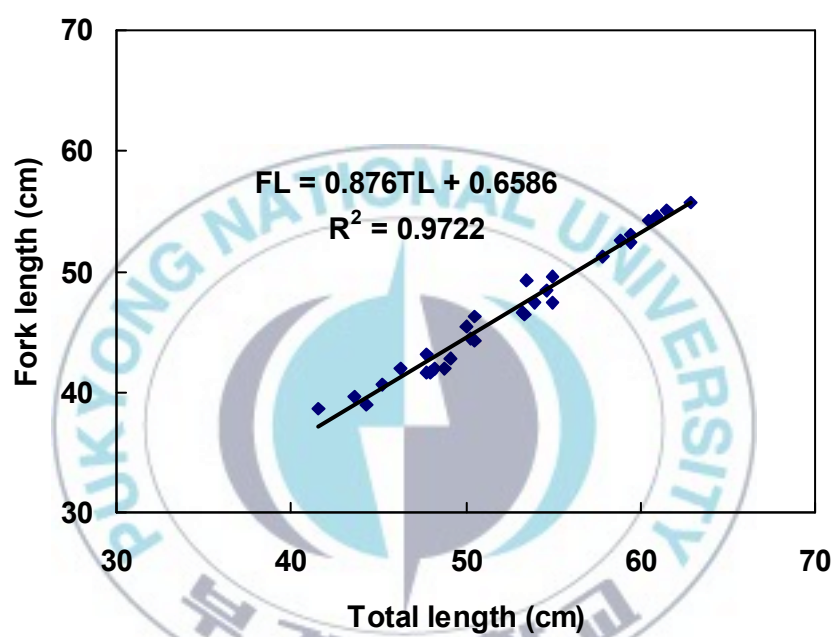


Fig. 11. Relationship between total length and fork length of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

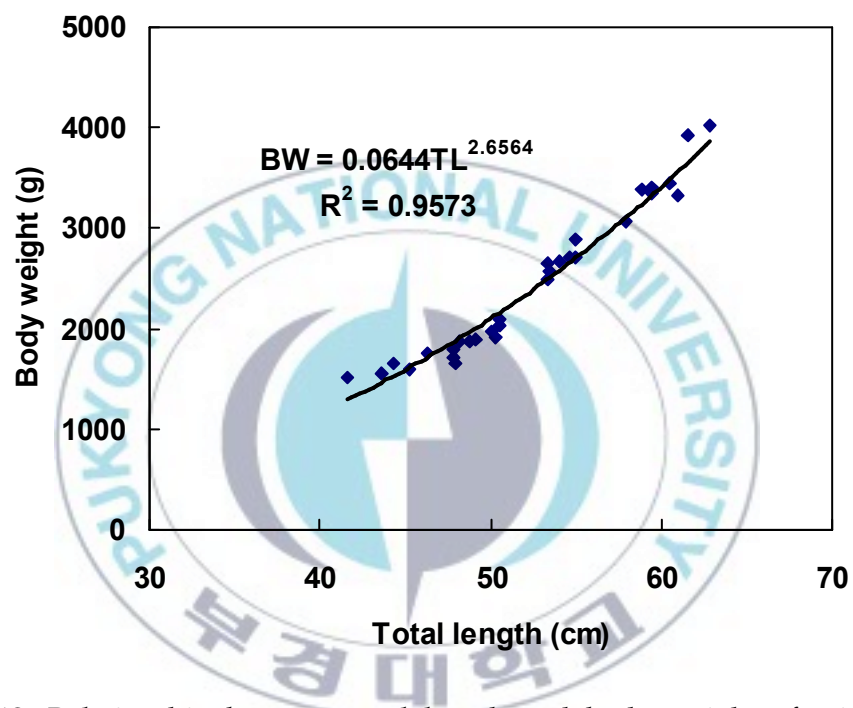


Fig. 12. Relationship between total length and body weight of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

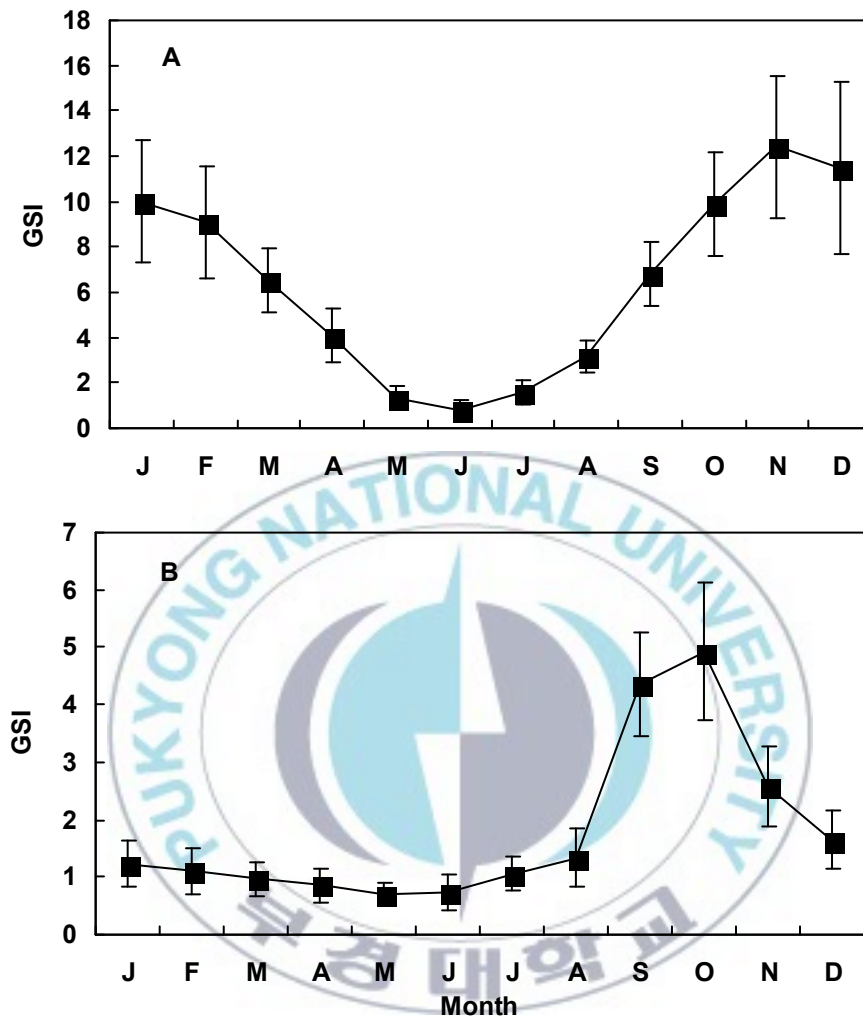


Fig. 13. Monthly fluctuation of gonadosomatic indexes (GSI) of female (A) and male (B) of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

2.3. 포란량

전장에 대한 포란량과의 관계는 Fig. 14와 같다. 전장(TL)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=171.91e^{0.05751L}$ ($R^2=0.9317$)로 전장 45 cm일 때 채란량은 2,200개, 전장 50 cm일 때는 3,000개 그리고 60 cm일 때는 5,500개 정도를 포란하였다.

체중에 대한 포란량과의 관계는 Fig. 15와 같다. 체중(BW)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=1178.80e^{0.0004BW}$ ($R^2=0.9358$)로 체중 3,000 g일 때 4,500개, 4,000 g일 때 6,500개를 포란한 것으로 나타났다.

2.4. 광주기 조절에 의한 생식소중량지수(GSI) 변화

광주기 조절 방법에 따른 생식소중량지수(GSI) 변화는 Fig. 16과 같다. 광주기 시험 시작한 3월에는 6.54%였으나, 5월에는 광주기 시험구에서 0.92–3.62% 범위였고, 대조구에서는 1.35%로 나타나 생식소중량지수가 감소하였다. 그 이후 8월에는 I 시험구, II 시험구, III 시험구에서 각각 10.9%, 14.6%, 4.53%로 GSI가 급증하였으며, 대조구는 3.17%로 아직 성숙도가 낮았다.

2.5. 광주기 조절에 의한 산란유발

광주기 조절에 의해 조기 성숙으로 산란을 유발시킨 결과는 Table 7과 같다. 광주기 조절 시험에서 일장을 20L에서 13L로 조절한 I 시험구는 8월 3일에 채란되었으며, 일장을 18L에서 8L로 조절한 II 시험구는 8월 25일에 채란되었다. 일장을 14L에서 8L로 조절한 III 시험구는 9월 13일에 채란되었고, 자연광을 이용한 대조구는 11월 12일에 채란되었다.

채란율은 I 시험구와 II 시험구에서 71.9–72.5%였으나 III 시험구는 78.1%, 대조구에서는 81.2%로 비교적 높았다($p<0.001$). 난경은 시험구에

서 4.4–4.7 mm 범위였으나 대조구는 4.9 mm로 시험구와 차이가 인정되었으며, 난중량은 I 시험구에서 64.3 g이었으나 II 시험구와 III 시험구에서는 각각 71.8 g, 68.2 g이었으며, 대조구는 78.8 g로 시험구와 중량의 유의적인 차이가 인정되었다($p<0.05$).

2.6. 난발생, 부화 및 부상률

광주기 조절 시험에 의한 난 발생, 부화 및 부상률을 조사한 결과는 Table 8 및 Fig. 18과 같다. 발안율은 광주기 I, II, III의 3개 시험구에서 69.32–71.50% 범위였으나 대조구에서는 83.21%로 시험구와 차이가 있었다. 부화율은 광주기 3개의 시험구에서 65.51–69.53% 범위였으나 대조구는 81.92%로 대조구가 높았으며, 부상률은 3개의 시험구에서 63.72–65.41% 범위였으나 대조구에서는 78.30%로 시험구와 유의차가 인정되었다($p<0.05$).

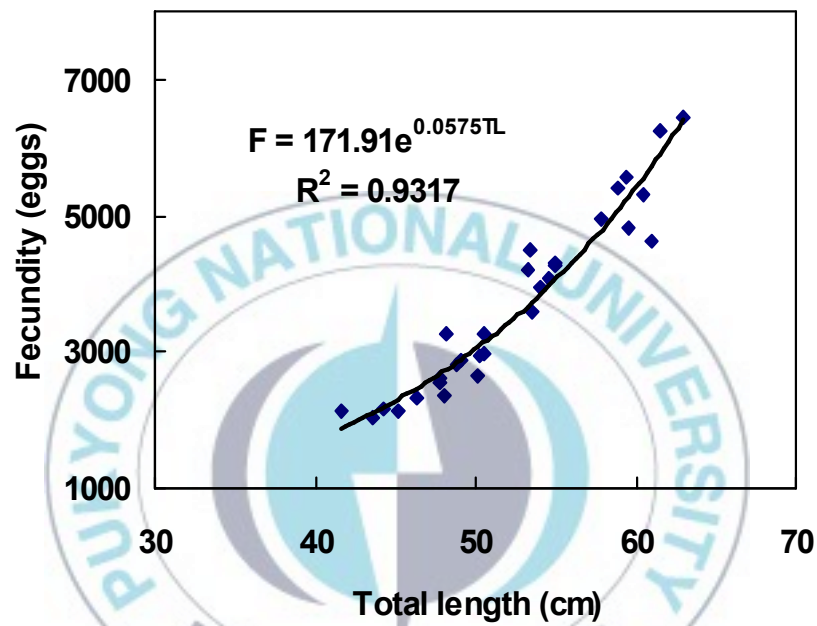


Fig. 14. Relationship between total length and fecundity of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

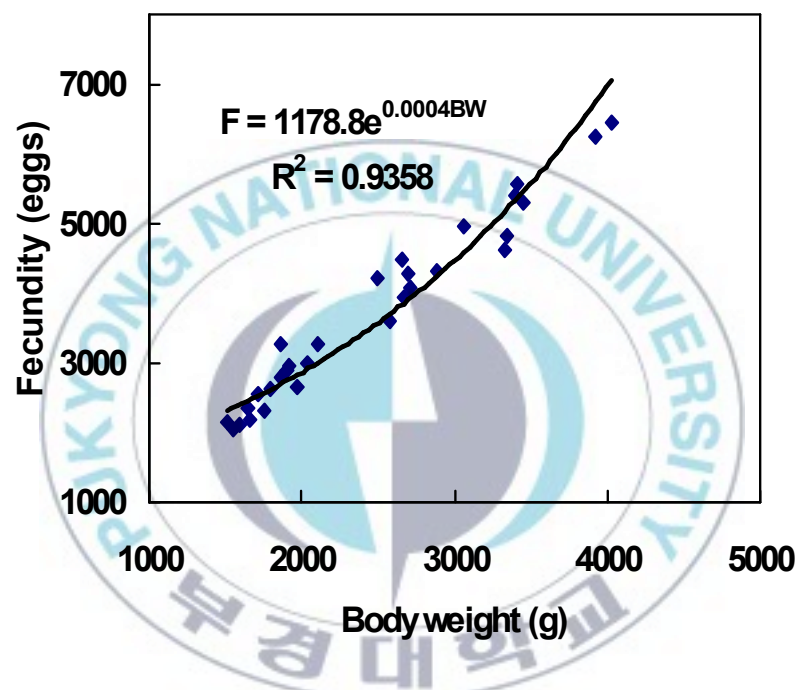


Fig. 15. Relationship between body weight and fecundity of rainbow trout brood fish used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

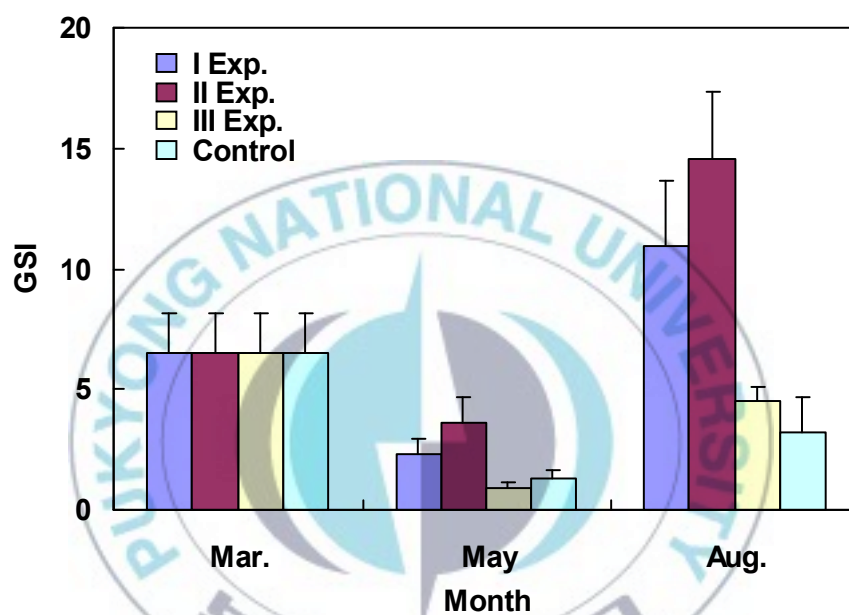


Fig. 16. Changes of gonadosomatic indexes (GSI) by photoperiod manipulation of rainbow trout used in photoperiod manipulation for year-round spawning experiment in Wonbok rainbow trout farm.

Table 7. Effect of photoperiod on stripping rate and egg quality of the rainbow trout

Manipulation	Stripped date	Stripped rate (%)	Egg diameter (mm)	Egg weight (g)
I Exp	Aug. 3	72.5±7.8 ^{a*}	4.4±0.2 ^a	64.3±4.2 ^a
II Exp	Aug. 25	71.9±5.3 ^a	4.7±0.3 ^{ab}	71.8±3.7 ^b
III Exp	Sep. 13	78.1±5.4 ^b	4.5±0.4 ^a	68.2±4.1 ^b
Control	Nov. 12	81.2±8.3 ^b	4.9±0.3 ^b	78.8±6.5 ^c

*Different superscripts in the same column are significantly different ($P<0.05$).

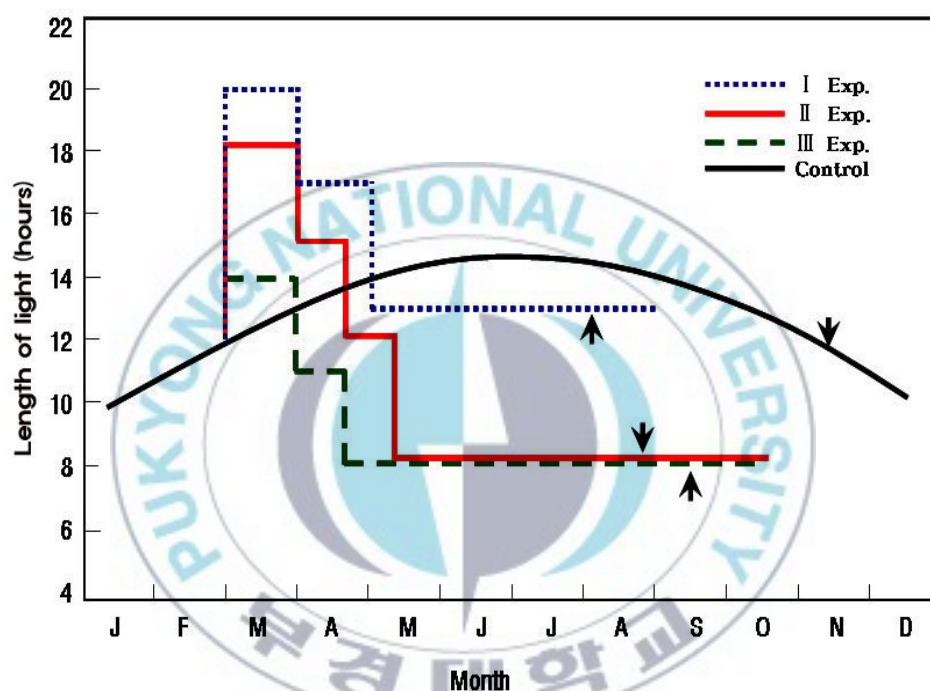


Fig. 17. Manipulation of photoperiod for spawning induction of rainbow trout. Control refers to natural light. Arrows indicate the time of spawning. The resulting spawning occurred from 3 August to 9 October for Exp-I, from 25 August to 21 October for Exp-II, from 13 September to 5 November for Exp-III, and from 12 November to 15 December for control.

Table 8. Effect of photoperiod on egg development, hatching and swim-up rates of the rainbow trout

Manipulation	Eyed egg rate (%)	Hatching rate (%)	Swim-up rate (%)
I Exp	69.65±3.5 ^{a*}	65.51±2.8 ^a	63.72±3.1 ^a
II Exp	71.50±3.8 ^a	69.53±3.1 ^{ab}	63.15±3.0 ^a
III Exp	69.32±4.2 ^a	66.84±2.9 ^a	65.41±4.2 ^a
Control	83.21±4.6 ^b	81.92±3.4 ^c	78.30±3.7 ^b

*Different superscripts in the same column are significantly different ($P<0.05$).

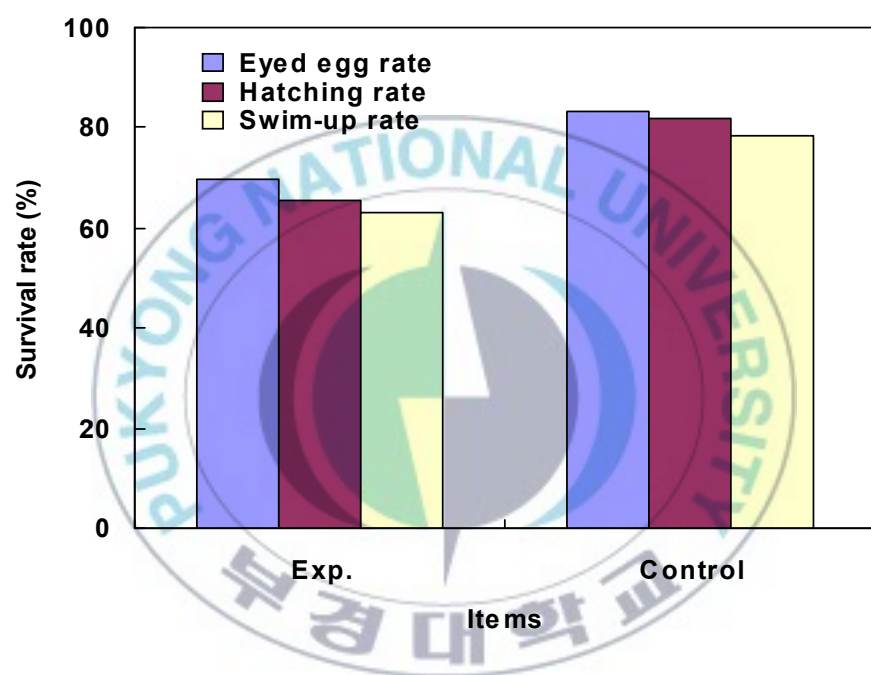


Fig. 18. Effect of photoperiod on egg development, hatching and swim-up rates of the rainbow trout.

2.7. 광주기 조절에 의한 조직학적 조사

무지개송어의 재생산에 대한 성숙 및 산란시기를 알기 위하여 2008년 12월부터 2009년 1월까지 광주기 조절한 시험구와 자연광을 이용한 대조구로 구분하였으며, 광주기 조절 후 2개월 및 4개월이 지난 3월과 5월에 조사한 GSI의 변화는 Fig. 19, 20과 같다. 암컷의 GSI 변화는 3월에 2이하로 시험구와 대조구에서 차이가 적었으나 5월에는 현저한 차이가 나타나 시험구는 산란이 임박하였음을 알 수 있었다(Fig. 19). 수컷에서도 3월에는 시험구와 대조구에서 차이가 없었으나 5월에는 큰 차이를 보였다(Fig. 20).

광주기 조절에 의한 조직학적으로 관찰한 결과는 Fig. 21, 22와 같다. 시험구의 생식소 발달은 대조구에 비하여 발달된 형태로 나타났다. 3월에는 대조구 난모세포는 아직 난황형성을 시작하지 않고 있으나, 시험구에서는 난황을 형성하는 난황형성기의 난모세포가 다수 관찰되었다(Fig. 21a,b). 한편, 정소는 모두 배우자세포의 발달이 관찰되었지만, 대조구에 비하여 시험구에서는 소성결합조직의 부피는 감소하고 정세포의 발달이 현저하게 나타났다(Fig. 21c,d). 5월에는 대조구에서도 난모세포의 난황축적이 관찰되었으며, 시험구에서는 최종성숙단계에 도달한 난모세포가 대부분으로 조사되었다(Fig. 22a,b). 5월의 정소조직은 대조구에서는 성숙한 배우자세포(정세포 및 정자)는 관찰되지 않았으며, 시험구에서는 정자가 관찰되었다(Fig. 22c,d).

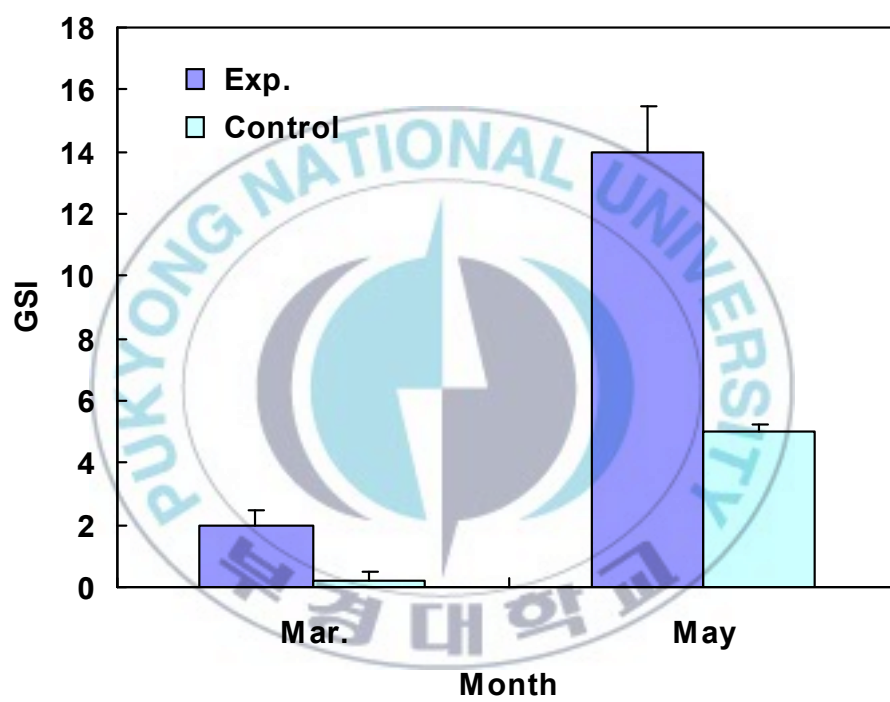


Fig. 19. Comparison of GSI between photoperiod manipulated and control female rainbow trout.

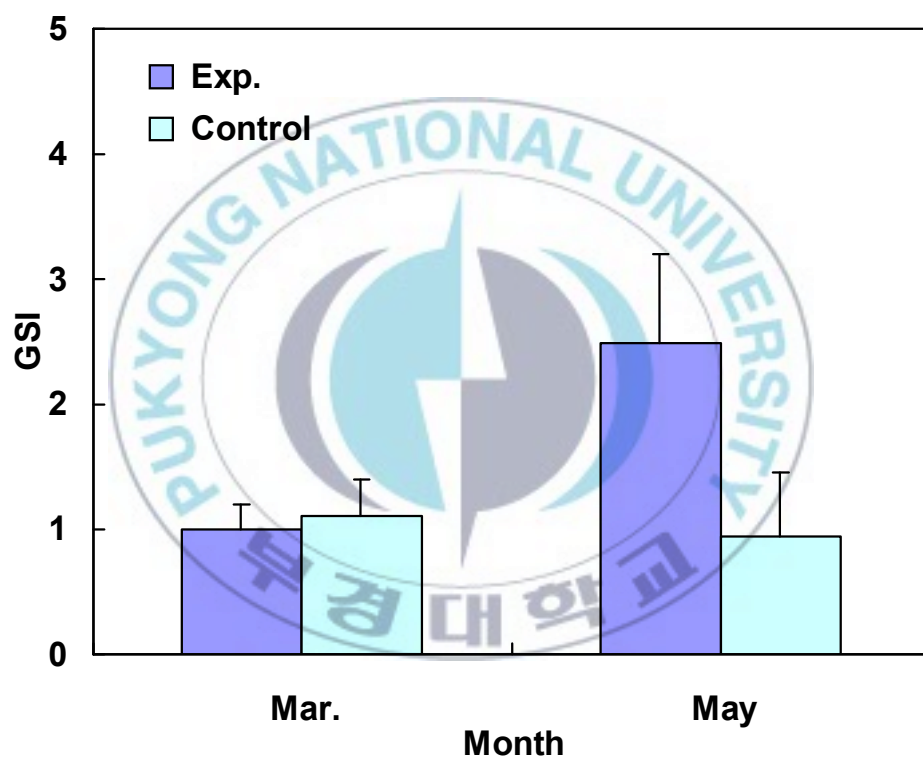


Fig. 20. Comparison of GSI between photoperiod manipulated and control male rainbow trout.

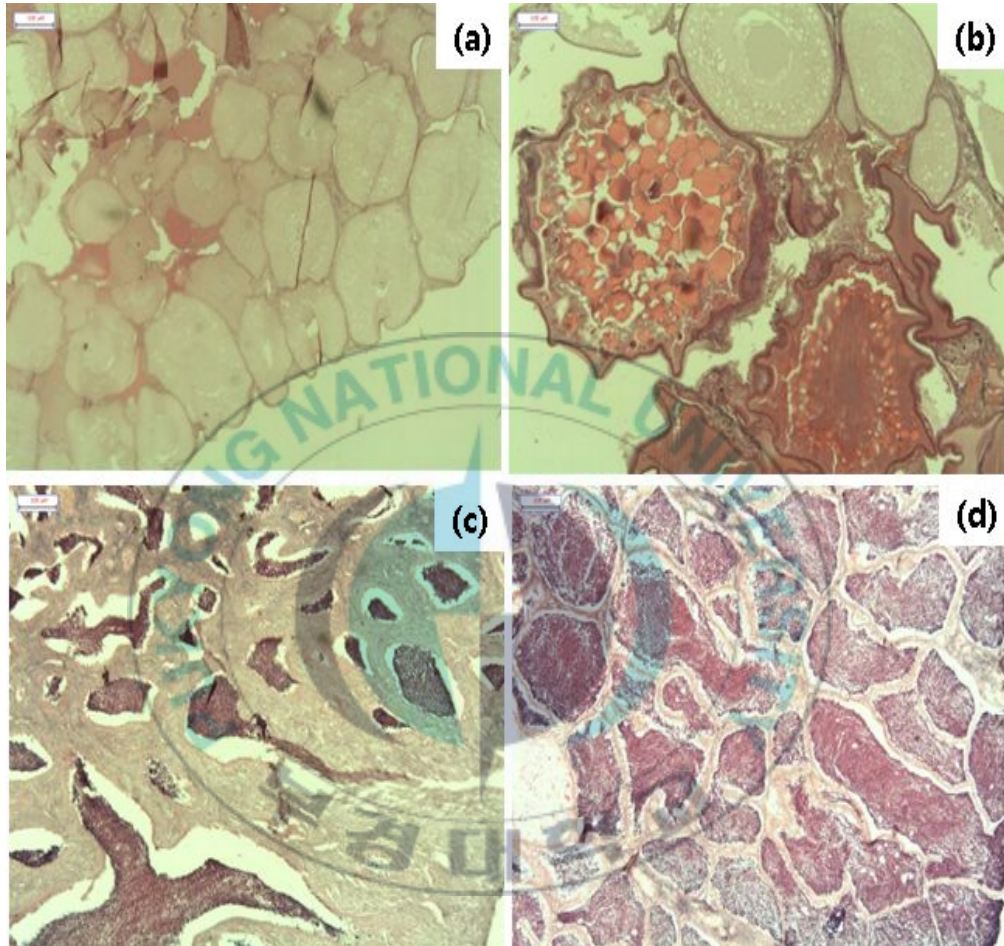


Fig. 21. Histological observation of gonadal development of photoperiod manipulated and control rainbow trout in March. a, Control female; b, photoperiod-manipulated female; c, Control male; d, photoperiod-manipulated male.

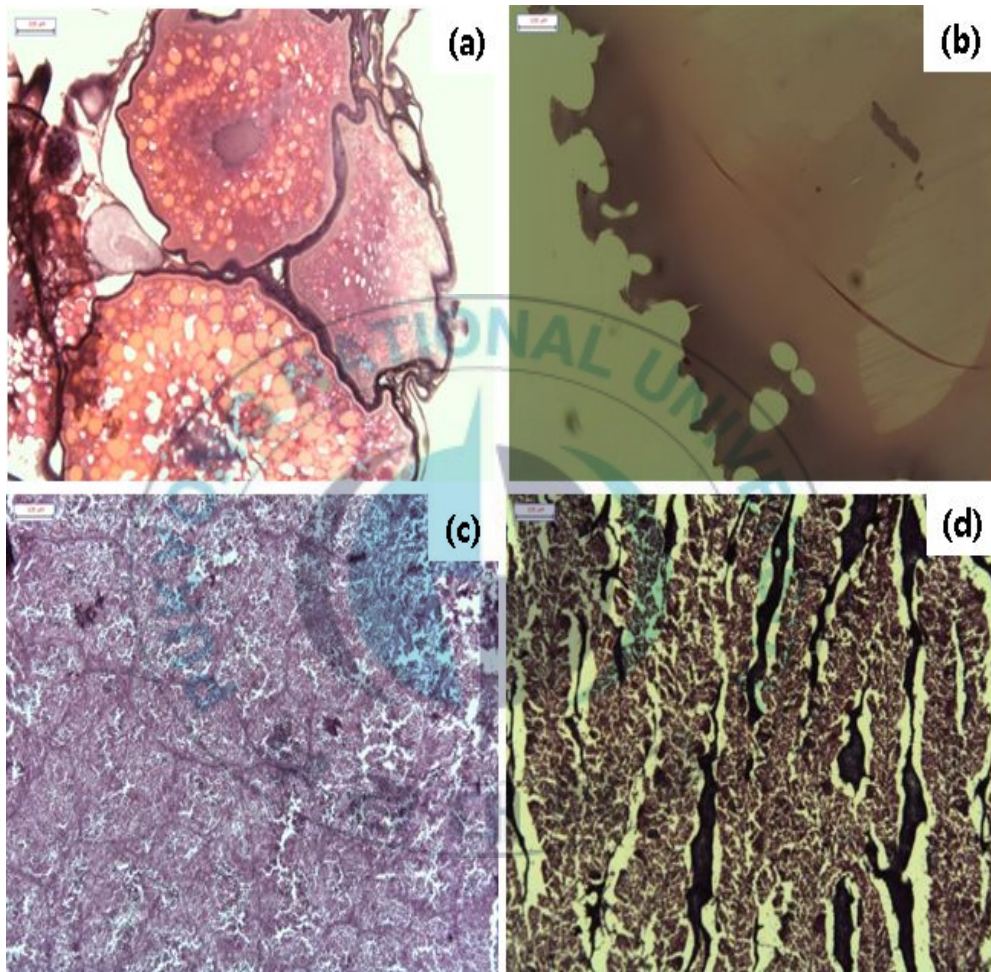


Fig. 22. Histological observation of gonadal development of photoperiod manipulated and control rainbow trout in May. a, Control female (at early vitellogenic stage); b, photoperiod-manipulated female (at maturing oocyte stage); c, Control male (at the intermediate stage); d, photoperiod-manipulated male.

3. 치어성장 시험

3.1. 치어 사육 기간의 환경

치어 사육 시험기간 중의 광주기 시험구와 대조구의 수온, DO 및 pH 등의 환경조사 결과는 Fig. 23과 같다. 광주기 시험구의 수온은 $12.15 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.43 \pm 0.5 \text{ mg/L}$ 였고, pH는 7.76 ± 0.2 이었으며, 대조구의 수온은 $10.01 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.55 \pm 0.7 \text{ mg/L}$ 였고, pH는 7.81 ± 0.2 이었다.

3.2. 치어의 전장 변화

부화 된 치어를 77일간 사육 시험한 결과 전장 성장 및 사육 경과일수(ED)에 따른 전장(TL)의 상관관계는 Fig. 24와 같다. 광주기 시험구의 부화시 크기는 전장 $2.09 \pm 0.12 \text{ cm}$ 였고, 14일째는 전장 $2.85 \pm 0.13 \text{ cm}$ 로 부상이 이루어지고 있었으며, 사육 21일째는 전장 $3.36 \pm 0.15 \text{ cm}$ 로 난황이 완전 흡수되어 먹이를 먹기 시작하였다. 이후 성장은 진전되어 34일째는 전장 $4.69 \pm 0.19 \text{ cm}$, 63일째는 전장 $6.31 \pm 0.21 \text{ cm}$ 로 성장하였으며, 최종 사육 77일째에는 $7.38 \pm 0.24 \text{ cm}$ 로 성장하였다.

대조구는 부화시 전장 $2.09 \pm 0.12 \text{ cm}$ 였으며, 14일째는 전장 $2.79 \pm 0.12 \text{ cm}$, 사육 21일째는 전장 $3.20 \pm 0.15 \text{ cm}$ 로 성장하였다. 이후 34일째는 전장 $4.31 \pm 0.18 \text{ cm}$, 63일째는 전장 $5.95 \pm 0.22 \text{ cm}$ 로 성장하였으며, 최종 사육 77일째에는 $6.98 \pm 0.25 \text{ cm}$ 로 성장하였다.

사육 경과일수(ED)에 따른 전장(TL)의 성장에서 광주기 시험구는 $TL = 0.5486ED + 1.35$ ($R^2 = 0.9954$, $p < 0.01$), 대조구 : $TL = 0.5081ED + 1.3442$ ($R^2 = 0.9953$, $p < 0.01$)로 표시되었다.

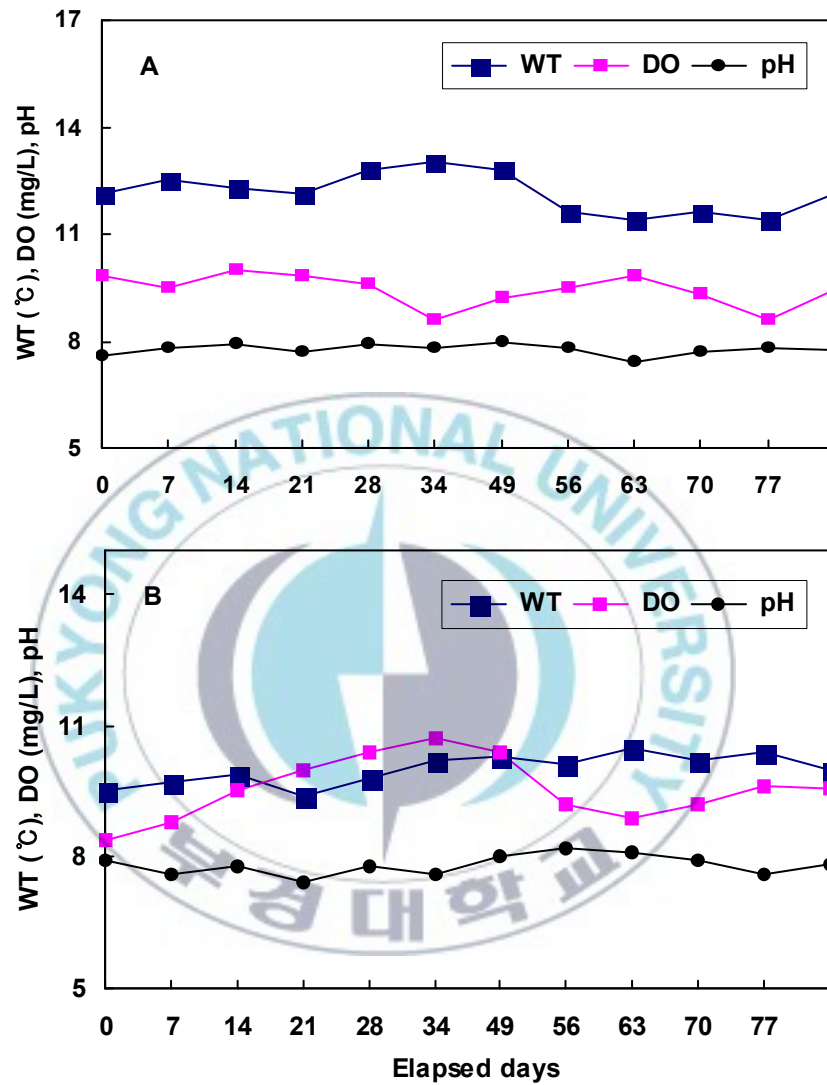


Fig. 23. Changes of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and pH in rearing tank for summer (A) and winter (B) 2008.

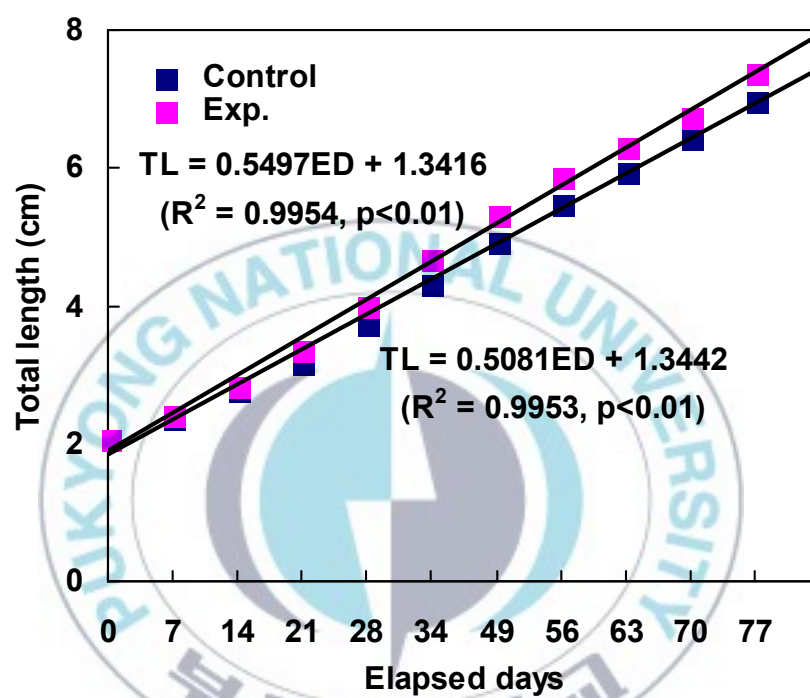


Fig. 24. Growth comparisons of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish.

3.3. 전장의 일간성장률

전장의 일간 성장률은 Fig. 25에서 보는 바와 같이 광주기 시험구는 7일째 2.04%, 14일째는 2.40%로 증가하였으며, 28일째 2.53%로 최대를 보였다. 그 이후 점차 감소하여 49일째는 1.83%, 63일째는 1.01%로 감소된 후 다시 증가하여 최종 사육 77일째는 1.32%로 나타났다.

대조구는 7일째 1.98%, 14일째는 2.15%로 증가하였으며, 28일째 2.23%로 최대를 보였다. 그 이후 49일째는 1.89%, 63일째는 1.15%로 감소하였으며, 최종 사육 77일째는 1.13%로 나타났다.

3.4. 치어의 체중 변화

체중 성장 및 사육 경과일수(ED)에 따른 체중(TW)의 성장식 Fig. 26과 같다. 광주기 시험구는 부화치어 1마리당 평균체중은 0.09 ± 0.01 g였으며, 14일째 0.26 ± 0.01 g, 34일째는 1.03 ± 0.03 g으로 증가하였다. 그 이후 56일째는 1.98 ± 0.06 g, 70일째는 3.66 ± 0.10 g으로 증가하였으며, 최종 사육 77일째는 5.08 ± 0.16 g으로 급증하였다.

대조구는 부화시 평균체중은 0.09 ± 0.01 g였으며, 14일째 0.25 ± 0.01 g, 34일째는 0.91 ± 0.03 g으로 증가하였다. 그 이후 56일째는 1.53 ± 0.05 g, 70일째는 2.97 ± 0.08 g으로 증가하였으며, 최종 사육 77일째는 4.26 ± 0.12 g으로 완만한 증가를 보였다.

사육 경과일수(ED)에 따른 체중(TW)의 관계에서 광주기 시험구는 $BW = 0.0784e^{0.3969ED}$ ($R^2 = 0.9846$, $p < 0.05$), 대조구는 $BW = 0.0783e^{0.3736ED}$ ($R^2 = 0.9881$, $p < 0.05$)로 급 증가를 보였다.

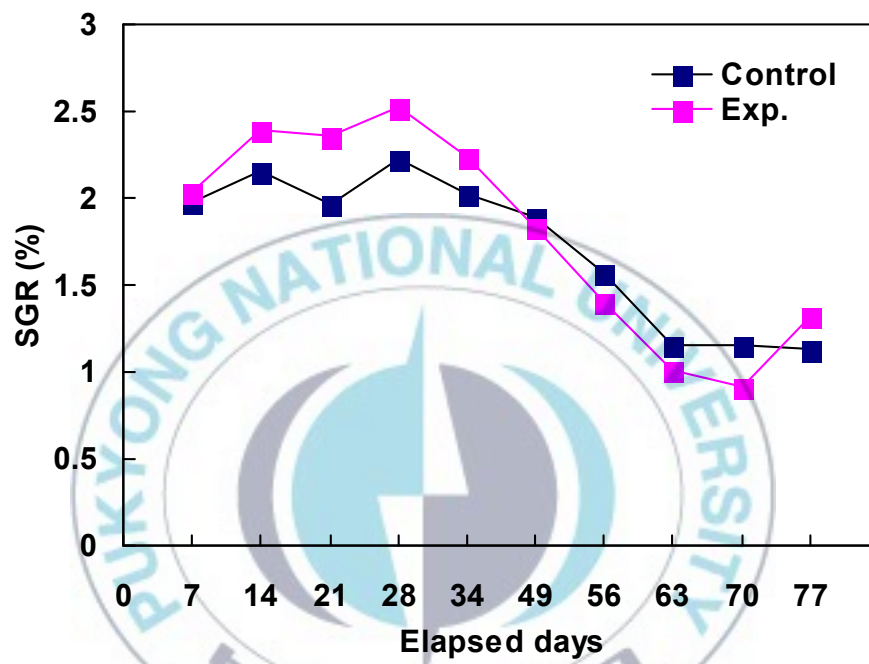


Fig. 25. Comparisons of specific growth rate (SGR) of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish.

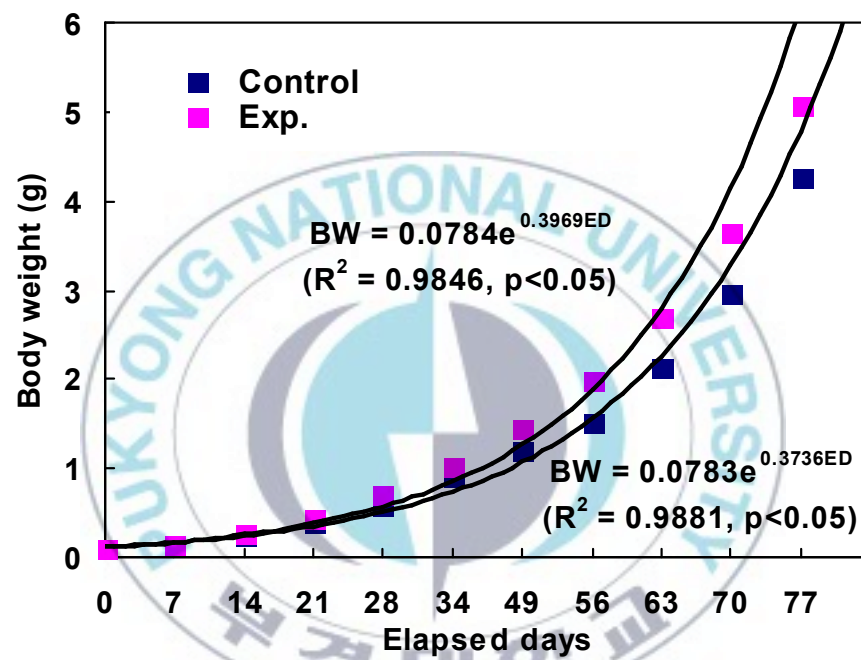


Fig. 26. Weight gain comparisons of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish.

3.5. 체중의 일간 증중률

체중의 일간 증중률은 Fig. 27과 같다. 광주기 시험구는 7일째 7.30%에서 14일째 7.86%로 최고를 보였으며, 34일째는 5.52%로 감소하였다.

그 이후 56일째는 4.45%, 70일째는 4.35%로 감소하다가 최종 사육 77일째는 4.68%로 다시 증가하는 경향을 보였다.

대조구는 7일에서 14일째까지 7.30%로 최고를 보였으며, 34일째는 6.19%로 감소하였다. 그 이후 56일째는 3.47%로 급격하게 감소하다가 70일째는 4.75%, 최종 사육 77일째는 5.15%로 다시 증가하는 경향을 보였다.

3.6. 생존율

사육 시험기간 중 생존율은 Fig. 28과 같다. 광주기 시험구는 21일째까지 96.1%로 높은 생존율을 보이다가 28일째는 92.6%, 49일째는 87.5%의 생존율을 보였다. 그 이후 56일째는 86.7%, 70일째는 95.9%였으며, 최종 사육 77일째는 85.2%의 생존율을 보였다.

대조구는 21일째까지 97.8%로 높은 생존율을 보이다가 28일째는 96.0%, 49일째는 91.7%의 생존율을 보였다. 그 이후 56일째는 90.7%, 70일째는 89.1%였으며, 최종 사육 77일째는 88.0%의 생존율을 보였다.

3.7. 생산량 비교

부화 후 광주기 시험구와 대조구에 대한 치어의 생산량을 조사하기 위하여 콘크리트 수조 16.8 m²(가로 2.8 m×세로 6.0 m)에 80천마리를 수용하여 77일간 사육한 결과는 Table 9와 같다. 광주기 시험구 및 대조구의 최초 수용량은 7,200 g이었으나 최종 생산량은 광주기 시험구는 346,253 g, 대조구는 299,904 g이었다. 또한 치어 단위면적당 생산량(g/m²)은 광주기 시험구가 20,610 g이었고, 대조구가 17,851 g을 생산하였다.

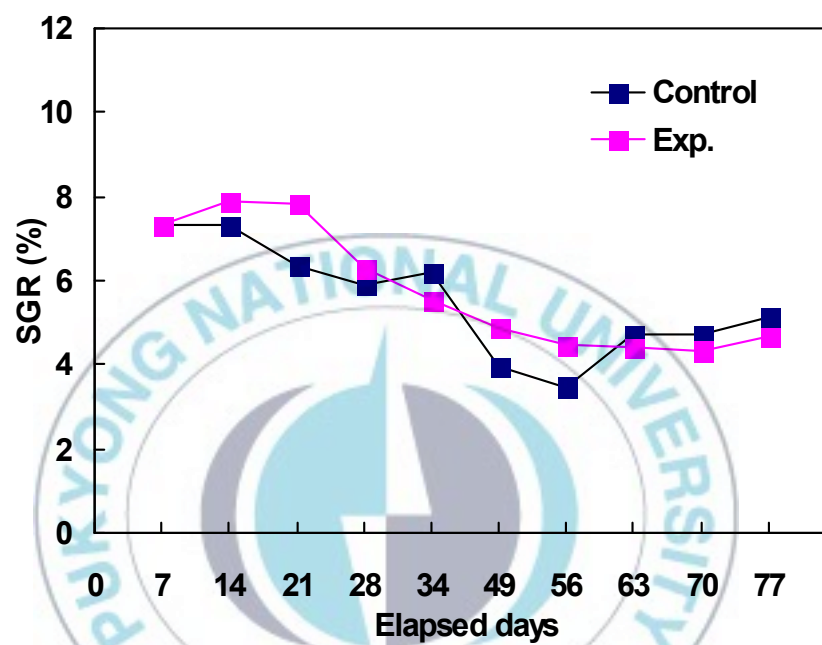


Fig. 27. The variation of specific growth rate (SGR) in body weight of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days.

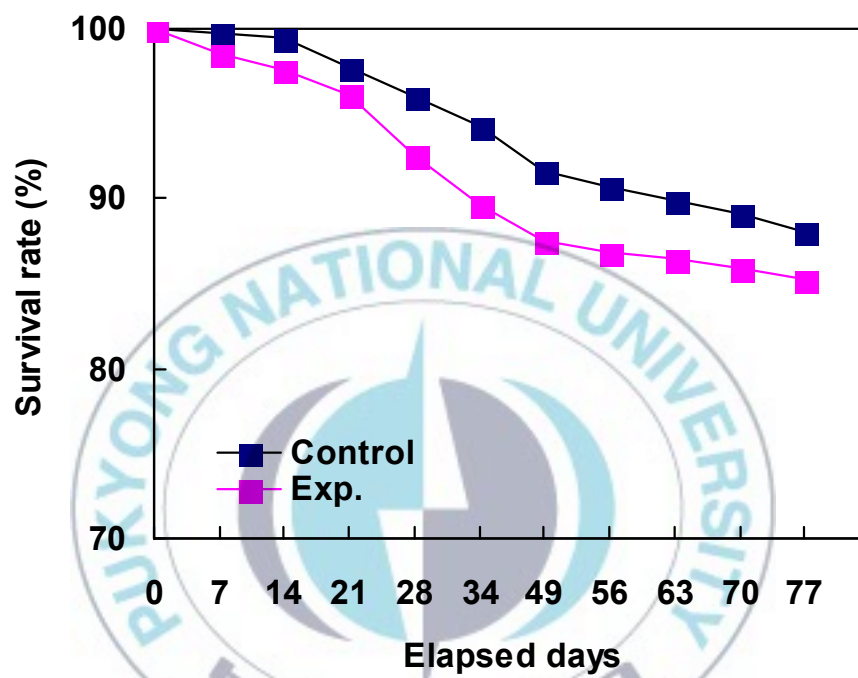


Fig. 28. Survival rate of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days.

Table. 9. Growth results Of rainbow trout fingerlings produced from photoperiod manipulated (Exp.) and control group brood fish and reared for 77 days.

Items	Control	Exp.
Animal stocked area (m ²)	16.8	16.8
Total no. of fish stocked	80,000	80,000
Individual mean body weight (g)±SD	0.09±0.01	0.09±0.01
Final total Individual	70,400	68,160
Final mean body weight (g)±SD	4.26±0.12 ^a	5.08±0.16 ^b
Final survival rate (%)	88.0 ^{ab}	85.2 ^a
Final total weight (g)	299,904	346,253
Final gross weight per unit (g/m ²)	17,851 ^a	20,610 ^b

IV. 고 찰

1. 양식장의 환경

어류의 성장을 제한하는 환경 요인으로서 수온, 어류의 수용량, 주수량 및 수질(DO, pH, 용존가스 등)이 있다(千葉, 1970). 野村 (1970)은 무지개송어의 부화 적수온은 7–13℃로서 이 범위를 다소 넘어서도 가능하지만 저온에서는 부화 일수가 길어지고, 고온에서는 발안율이 낮아지고 기형이 증가한다고 보고하였다.

본 조사지역의 양식장은 용천수가 풍부한 곳으로 2007년과 2008년의 수온은 각각 연평균 $11.15 \pm 0.87^{\circ}\text{C}$, $10.94 \pm 1.47^{\circ}\text{C}$ 로서 겨울철이 낮았고, 여름철이 높았지만 변화는 크지 않아 무지개송어 양식장으로서 좋은 수온 조건을 지니고 있는 것으로 나타났다.

또한 pH는 7.60 ± 0.16 범위였으며, DO는 8.64 ± 0.74 mg/L 범위로서 Huet (1975)와 Nepal et al. (2002)은 무지개송어 양식장의 pH는 6.5–8.0, 용존산소는 8 mg/L 이상이면 적당하다고 보고한 것과 잘 일치하였으며, 일본의 長野懸水産試験場에서 사용하는 용천수 수질은 pH 7.2–7.6, DO 8.88–11.05 mg/L로 나타났다는 Kohara et al. (1994)의 보고와 유사하였다.

무지개송어 양어에 사용하는 원수의 생화학적 산소요구량(BOD)에 대하여 Jo et al. (2005)는 지하수에서 0.43 mg/L이라 하였고, Kohara et al. (1994)는 長野懸水産試験場에서 사용하는 용천수에서 1.23–3.04 mg/L이라 보고하였다. 본 조사지의 용천수에서는 0.904 ± 0.186 mg/L로서 Kohara et al. (1994)이 보고한 용천수 보다는 낮았으나 지하수(Jo et al., 2005)의 BOD보다는 높은 것으로 나타났다.

부유물질(SS)은 본 조사에서는 0.586 ± 0.236 mg/L로 지하수 원수(Jo et

al., 2005)의 0.18 mg/L 보다는 높았으며, 다른 용천수(Kohara et al., 1994)의 0.6–4.2 mg/L 보다는 비교적 낮았다.

영양염류에 있어서 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)는 0.022 ± 0.007 mg/L로 Kohara et al. (1994)의 長野현 내수면시험장에서 사용하는 용천수의 0.06 – 0.67 mg/L와 비슷한 결과를 보였다. 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 0.006 ± 0.002 mg/L로 지하수(Jo et al., 2005)의 0.009 mg/L 보다 낮았으며, 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 0.047 ± 0.013 mg/L로 長野현 내수면 시험장에서 사용하는 용천수(Kohara et al., 1994)의 0.015–0.031 mg/L 보다는 다소 높았으나 지하수(Jo et al., 2005)의 1.57 mg/L 보다는 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 본 조사에서 총질소(T-N)는 0.075 ± 0.015 mg/L로 비교적 낮았으며, 총인(T-P)은 0.003 ± 0.002 mg/L로 지하수(Jo et al., 2005)의 0.15 mg/L 보다 낮았다.

우리나라의 무지개송어 양식장 수원은 지하 석회암반의 용천수로 평창, 정선, 영월, 제천지역이 대표적으로 많이 이용되고 있다. 본 조사에서 양식장에 유입되는 용수의 수량은 2007년과 2008년의 연중 평균 각각 21.10 ± 6.73 ton/min., 22.75 ± 7.82 ton/min.으로 갈수기인 겨울철에 10 ton/min. 정도이며, 수량이 많이 필요로 하는 여름철에는 30 ton/min. 정도로 수량이 풍부하였다.

무지개송어 생산량은 수량이 매분 1톤당 무지개송어 중량 2–3톤이 가능하지만 조건에 따라서는 그의 3배 정도의 생산량을 보인 예도 있다. 무지개송어 양식장의 경우 20–30톤 생산이 가능하지만 수량은 적어도 매분 10톤 이상을 확보해야 하므로, 본 시험지의 양식장에서는 겨울철 갈수기를 제외하고는 수량이 부족한 현상은 없는 것으로 나타났다.

野村(1965)의 보고에 의하면 양어용수로서 포화도 100%의 물은 75%의 물과 수온이 동일하다면 약 2배의 수용능력을 갖출 수 있다고 함으로써

겨울철에 폭기를 증가시키는 등 포화도를 높인다면 본 양식장에서는 용천수에 의한 생산성 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라 양식장의 배출수 처리의 현황은 수질환경보전법에 의하면 “사료찌꺼기, 배설물 기타 슬러지 등을 적정 처리하기 위하여 사육시설 면적의 20% 이상이고 깊이가 1-2 m인 침전시설을 설치하여야 한다”라고 규정하고 있다(환경부, 1999).

여과되지 않고 양식장으로부터 배출되는 유기물은 pH 저하 및 산성화를 유발하고, 수괴바닥에 침전되어 축적되어지면 바닥을 혐기성 상태로 만들어 정화능력을 상실하게 하거나 박테리아로부터 분해되면 적조생물 배양 등 좋지 않은 환경을 조장하게 된다. 그러므로 양식장 배출수는 배출 전 환경기준에 맞게 개선된 기술로 처리되어야 한다(Chen and Gu, 1993).

본 조사에서 무지개송어 양식장에서 배출된 배출수의 수질환경은 부유물질(SS)이 평균 5.69 ± 1.47 mg/L, BOD가 2.54 ± 0.85 mg/L 이며, T-N은 1.86 ± 0.51 mg/L, T-P은 0.21 ± 0.05 mg/L로 나타났다. 이는 환경부(2003)의 기준치 이내였으며, 전 등(1999)의 보고에 비하여 다소 낮은 편이었다. 또한 침전조에 처리 후의 제거율은 부유물질이 $18.63 \pm 1.24\%$, T-N이 $12.90 \pm 0.46\%$, BOD가 $10.63 \pm 0.65\%$, T-P가 $9.57 \pm 0.04\%$ 로 전 등(1999)의 유수식 양식장 결과와 비슷하였으나 드럼필터의 제거율에 비하여는 훨씬 낮은 효율을 보여 배출수 처리 방법에 따라 큰 차이를 보이고 있으므로 이에 대한 연구가 절실한 실정이다.

생물학적 산소요구량, 총질소, 총인 농도는 고형물질과 정의 상관관계로 나타나 부유물질을 제거함으로써 BOD, T-N와 T-P의 오염부하를 감소시킬 수 있는 것을 알 수 있으며, 다른 연구자(Liao and Mayo, 1974; Stech, 1991)와 비교할 때 본 양식장은 배출수 부유물질의 처리에 충분한

것으로 나타났다.

그러나 유수식 무지개송어 양식장에서 배출수의 수질은 사육방법 및 조사 방식에 따라 오차가 크다고 볼 수 있다. 즉 사료 공급 전과 후의 상황에 따라 상이하므로 이에 대한 연구가 구체적으로 이루어져야 한다. 전 등(2000)의 보고에 의하면 사료 공급전 부유물질이 침전조에서 침전 제거되는 비율은 약 7.4%였지만, 사료 공급 후에는 침전조로 유입되는 부유물질의 양이 2.4배로 많아지면서 침전 제거율도 48.2%로 증가하여 오염 부하량이 증가되면 처리 효과도 증가되었다고 보고함으로써 본 조사와 일치하였다.

암모니아는 수중에서 수화상태인 용존 NH_3 기체와 양이온인 NH_4^+ 로 존재하며, 정상적인 pH와 염분범위에서는 대부분이 양이온인 NH_4^+ 의 형태로 존재한다. 암모니아 배설 유형에 있어 사료 공급 직후 배설량은 급격하게 증가하고 이후 일정시간까지 서서히 증가한다(Kaushik and Gomes, 1988). 무지개송어가 사료 섭취 후 암모니아 배설 대사에 소요되는 시간은 Fauconneau and Arnal (1985)에 의하면, 사료 공급 후 2-4 시간 정도 소요되고, 다른 연구자들(Loughna and Goldspink, 1984; Houlihan et al., 1986)은 사료 공급 후 12-24시간 소요되는 것으로 밝히고 있다.

본 조사에서 사료 공급 1시간 후에는 T-N과 T-P가 높았던 반면 사료 공급 4시간 후에는 사료 공급 이전상태로 회복되는 것으로 보아 Fauconneau and Arnal (1985)와 Kaushik and Gomes (1988)의 보고와 잘 일치하고 있다.

사료에 의한 수질오염을 저감하기 위해서는 소화효율이 높은 사료와 육성어용 저오염 사료의 개발이 필요하며, 과도한 급이는 사료의 효율을 낮추고 남은 사료나 다량의 배설물은 자연환경에서 오염의 원인이 되

므로 항상 적정 사육밀도를 유지하여 사육환경을 개선함으로써 어류의 건강도를 높이는 것이 필요하다(환경부, 2003).

우리나라 양식장의 배출수에 대한 기준을 이행하고 있으나 실제 현장에서 일어나는 상황은 수면적을 기준으로 하고 있기 때문에 사용되는 수량과는 무관하게 되어 침전효과에는 일정한 성과를 기대할 수가 없다.

특히 유수식 양식장은 막대한 양의 물을 사용하며, 사용되는 물의 양도 각 양식장의 조건에 따라서 판이하게 다르다. 따라서 현재의 규정은 배출되는 폐수가 침전지에서 침전되는 실제 효과와는 무관하게 규정되어 있기 때문에 양식 산업과 자연환경 모두를 보호하지 못하고 있는 실정이므로 새로운 규제 방안이 대두되고 있다.

국외에서 배출수에 대한 규제는 유럽국가연합에서 볼 수 있다. 이에 대한 규제는 주로 배출수의 수질을 정하는 방법과 양식장의 사용 가능한 사료 양을 규제하는 방법이 있다(FES, 1992). 유럽국가연합에서는 양식장의 고형 오물 제거 방법으로 드럼스크린필터(Lawson, 1995)를 이용한 물리적인 여과가 주류를 이루고 있고, 미국에서는 흐르는 물의 원심력을 이용한 소형의 와류형 고형 오물 분리기(Svarovsky, 1977; Wheaton, 1977)도 사용하고 있다.

노르웨이의 대서양 연안에서는 바다에 설치한 가두리를 이용하여 세계에서 연어를 가장 많이 양식하고 있는데, 양식용 연어의 종묘는 육상의 수조에서 길러낸다. 따라서 이러한 육상 종묘 생산 시설과 유수식 양식장에서 대량으로 흘러나오는 물을 일단 드럼스크린 필터를 이용하여 찌꺼기를 분리시킨 후 마지막에 소형 침전조를 사용하는 경우가 있다. 그러므로 우리나라에서도 현재의 시설기준에서 농도 기준으로 전환하거나 오염물질을 수질 총량제로 규제하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

무지개송어 양식에서 친어는 우량 종묘를 확보하여 우수한 혈통을 유

지하기 위해 매우 중요하기 때문에 사육관리에 만전을 기하여야 한다. 우리나라 무지개송어 양식장에서는 우수한 종묘를 확보하기 위하여 성장이 우수한 개체를 선발 사육이 필요시 된다.

田代 (1961) 등은 무지개송어는 부화 후 1년째 전장 20 cm, 2년째 35 cm, 3년째 45 cm로 성장한다고 하였다. 본 조사에서는 3-4년생 암컷이 전장 53.59 ± 5.27 cm이었으며, 수컷은 2-3년생으로 전장 47.61 ± 3.25 cm보다 우수하였는데, 이는 친어용으로 선발 사육에 의한 차이라고 볼 수 있다.

체중 변화에 대하여 田代 等(1991)은 1년째 100 g, 2년째 400 g, 3년째 1,000 g으로 성장하며, 미국에서는 2년째에 4kg에 달하는 계통의 무지개송어도 있다고 하였다. 본 조사에서는 암컷(3-4년)이 3.23 ± 0.29 g, 수컷(2-3년)이 2.58 ± 0.17 g으로 보고한 일본 무지개송어 보다는 체중이 훨씬 무거웠다. 그러나 미국산 보다는 비교적 체중이 가벼웠는데, 이는 송어 품종이 다른데서 오는 차이라고 사료된다.

2. 광주기 조절에 의한 조기 성숙

무지개송어의 산란기는 봄(4-6월), 가을(10월-이듬해 3월)로 두 가지 형태가 있는데, 봄에 산란하는 것은 북미 대륙의 자연산이고, 가을·겨울에 산란하는 것은 인위적으로 도태시켜서 만든 집단이며(Hinshaw et al., 2004), 우리나라에 도입된 양식대상 품종은 모두 가을에 산란하는 어종이다.

성숙을 파악하는 데는 난세포 관찰(Ishida et al., 1961, 松山·松捕, 1982), 난경의 빈도분포나 생식소중량지수(GSI) 변화를 추적하는 방법도 널리 이용되고 있다(松山·松捕, 1982; 尾形, 1985). 加藤(1975)의 보고에 의하면 무지개송어의 성숙에 관하여 암컷이 그 해에 성숙하는지의 여부는 6월에 판별 가능하지만 산란수의 결정은 그것보다 상당히 후에 이루어진다고 하여 본 조사에서 6월에 GSI가 최저를 보인 후 그 이후 증가하

여 9월부터 급증함으로써 加藤(1975)와 비슷하였다.

加藤(1975)는 성숙이 진전되어 GSI가 높아지지만 수컷의 경우에는 암컷과는 다르게 성숙에 도달하는 2-3개월 전인 9월에 최고가 된다고 보고하였으나 본 조사에서는 10월에 최고를 보였으며, 9월에도 높은 수치를 보이므로 加藤(1975)와 큰 차이는 없는 것으로 보인다.

무지개송어의 포란량은 대형어가 될수록 난수가 많고(Islam et al., 1973; 加藤, 1975), 성숙 난수가 결정되는 시기 이전이 되면 친어의 대형화에 의해서도 산란수를 증가시킬 수 있다. 연구 보고 의하면 채란량은 체중 1 kg의 친어에서 2,500개, 1.5 kg에서 3,000개, 2 kg에서 3,500개라고 보고하였다.

본 조사에서 전장(TL)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=171.91e^{0.0575TL}$ ($R^2=0.9317$)로 전장 45 cm일 때 채란량은 2,200개, 전장 50 cm일 때는 3,000개 그리고 60 cm일 때는 5,500개 정도였으며, 체중(BW)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=1178.80e^{0.0004BW}$ ($R^2=0.9358$)로 체중 3,000 g일 때 4,500개, 4,000 g일 때 6,500개를 포란함으로써 종래의 보고 보다 포란량이 많은 것으로 나타났다.

이는 田代 等(1991)이 보고한 포란량이 동일 크기에서도 차이가 날 수 있지만 일반적으로 어체의 크기가 클수록 많아지게 되며, 연령보다는 어체의 크기에 의해 크게 지배된다고 보고한 것과 일치하였다.

어류의 조기 성숙 연구는 많이 있으며, 어류의 성 성숙과 산란에 관여하는 것은 호르몬뿐만 아니라 수온이나 광주기 같은 환경요인에 의해서도 영향을 미친다(Takashima and Yamada, 1984). 또한 어류를 대상으로 광주기 조절(Duston and Saunders, 1990; Holcombe, et al, 2000; Bromage et al., 2001) 및 무지개송어의 광주기 조절(Duston and Bromage, 1986; Randall et al., 1998; Davies and Bromage, 2002)에 대한 연구가 많다.

연어과 어류에서는 가을의 일조시간 단축에 의해 성숙이 촉진되며, 대부분의 잉어과 어류에서는 봄의 수온상승에 의해 성숙이 촉진된다. 생식선의 발달을 촉진, 억제하는 환경요인은 어종에 따라 다르지만 인위적인 수온, 광주기를 조절하는 것에 의해 성숙의 촉진, 억제 및 산란유도가 가능하다(會田, 2002).

본 조사에서 GSI는 광주기 시험 시작한 3월에는 6.54%였으나, 8월에는 4.53–14.6%로 급증하였으며, 자연광을 이용한 대조구는 3.17%(8월)로 아직 성숙도가 낮기 때문에 광주기 조절에 의해서 GSI가 빠르게 증가하였다고 판단된다.

무지개송어의 산란이 주로 11–12월이지만 광주기 조절에 의해 3–4개월 앞당겨 8–9월 채란한다(叶木, 1978; 池戸 等, 1981; 岩手, 1981). 광주기 조절 시험에서 일장을 20시간 조절한 시험구는 8월 3일에 채란되었고, 일장을 18시간 조절한 시험구는 8월 25일에 채란되었으나, 자연광을 이용한 대조구는 11월 12일에 채란됨으로써 광주기 조절에 의한 성숙효과가 큰 것으로 나타났다.

高橋 等(1984, 1985)의 보고에 의하면 무지개송어 및 은어에서 일정기간 장일조건에서 사육한 후 자연일장으로 처리하는 방법은 장일처리용의 조명기구를 설치하면 옥외에서도 여름 난이 생산된다는 보고와 잘 일치하였으며, 무지개송어의 광처리에 의한 조기화는 단일처리가 주류로 좋은 성적을 얻었지만 이 방법의 문제는 차광을 위한 시설이 필요하다는 보고가 있다(伏木, 1979).

어류에서 광주기 조절이나 호르몬 주사는 성숙을 유도하는 일반적인 방법이지만 난질 평가가 필요하다(Bonnet et al., 2007a,b). 본 조사에서 광주기 조절에 의한 난경은 4.4–4.7 mm였으나, 자연광에 의한 대조구는 4.9 mm였으며, 난중량은 광주기에서 64.3g–71.8 g였으나, 대조구는 78.8 g로 시

험구와 중량의 차이가 인정되었다($p<0.05$). 따라서 광주기 조절에 의한 난질(난경과 난중량)은 자연광에 의한 난질보다 작은 것으로 나타났다. 어류 난질의 대부분은 복잡한 어미 관리에 의하며, 난질은 유전적 배경, 난 조성 및 난경과 같은 난 자체 특성의 변화 관계가 있다(Craik and Harvey, 1984; Craik, 1985; Springate and Bromage, 1985; Su et al., 1997)는 보고와 같이 어미관리가 난질 평가에 중요한 영향을 미치므로 광주기 조절로 인한 조기 성숙 유도시에 영양 측면이나 기타 에너지 요인이 충분하게 고려되어야 할 것으로 판단된다.

무지개송어의 부화율은 野村(1970)의 보고에 의하면 발안란에서 부화까지 81.1–99.5%라 하였고, Brannon and Klontz (1989)는 약 75%, Horstgen et al. (1986)은 순계인 경우 약 67%, 잡종인 경우 69.5%라 하였으며, Ham (1996)은 연평균 13℃에서 자연 성숙한 개체를 선택하여 친어로 이용하였을 때 부화율은 약 70%라고 보고하였다.

광주기 조절 시험에서 발안율은 광주기 시험구에서 69.32–71.50%였으나, 대조구는 83.21%였으며, 부화율은 광주기 시험구에서 65.51–69.53%였으나, 대조구는 81.92%로 나타났다. 어류 난질은 정상적인 수정의 가능성이나 배체 발생에 의존하며, 유생 발달과 각 단계별 배체의 폐사율 역시 난질에 따라 영향을 미친다(Brooks et al., 1997). 따라서 광주기 조절에 의한 영향으로 자연산란된 대조구에 비하여 발안율과 부화율이 낮은 것으로 사료된다.

광주기 조절 시험을 마친 I 시험구를 대상으로 무지개송어의 재생산에 대한 조직학적 변화를 알기 위하여 2008년 12월 1일부터 60일간에 걸쳐 광주기를 20L/4D로 조절한 후 자연광으로 유지한 시험구와 자연광에만 의존한 대조구로 구분하여 GSI 변화 및 조직학적으로 관찰한 결과, 광주기 조절을 마친 후 2개월째인 3월의 GSI 변화는 광주기 조절 시험구와

대조구에서 차이가 적었으나 광주기 조절을 마친 후 4개월째인 5월의 GSI는 차이가 크게 나타나 광주기 조절에 의한 성숙효과가 있는 것으로 사료된다. 이는 자연광을 이용한 대조구의 GSI 변화는 加藤(1975)의 보고와 앞에서 조사한 Fig. 12와 잘 일치하여 광주기 조절로는 5월에 성숙이 되나 자연에서는 성숙이 이루어지지 않는 것으로 보인다.

한편 조직학적 관찰에서 대조구는 5월까지 퇴화단계를 보이고 있으나 광주기 조절구에서는 성숙난이 나타나고 있어 산란이 임박하였음을 알 수 있었으며, 5월에 광주기 시험구의 난모세포에서 관찰된 난황괴는 난황전구물질의 유입에 의한 것으로 판단되며(Tyler et al., 1991), 향후 뇌하수체의 생식선자극호르몬 및 생식소의 스테로이드 호르몬의 변화에 관한 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

따라서 광주기 조절에 의한 조기 성숙을 유도하여 채란할 경우 광주기 조절에 의한 에너지 소모를 고려한 우수한 먹이나 충분한 영양을 공급해 주어야 우량한 난을 얻을 수 있으며, 1차 광주기 조절에 의해 산란을 마친 후 재산란 시기를 알기 위하여 2차 광주기 조절로 조기 성숙 및 산란 효과가 있는 것으로 나타나 연중 산란에 의한 대량생산으로 무지개송어 양식 산업에 크게 도움이 될 것으로 기대한다.

3. 치어 성장 시험

무지개송어의 부화 적수온은 7–13℃ 범위이다. 이 범위를 다소 넘어서도 가능하지만 저온에서는 부화 일수가 길어지고, 고온에서는 발안율이 낮아지고 기형이 증가한다(野村, 1970). 본 연구에서는 시험 기간 동안 환경변화는 광주기 시험구는 수온은 $12.15 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.43 \pm 0.5 \text{ mg/L}$ 였고, pH는 7.76 ± 0.2 이었으며, 대조구의 수온은 $10.01 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.55 \pm 0.7 \text{ mg/L}$ 였고, pH는 7.81 ± 0.2 로서 치어 사육에 비교적 적합한 환경을 나타

내었다.

어류의 부화 치어가 최초 외부의 먹이를 먹는 것은 일반적으로 난황이 완전히 흡수되기 전에 이루어지며(Runa, 1985), 난황이 흡수되면서 외부로부터 먹이 섭취가 이루어져 정상적인 성장과 생존이 이루어진다(Runa, 1990). 또 어중에 따라서 난황이 흡수되는 시기가 다르므로(Kuo et al. 1973), 이에 따른 최초 먹이 공급시기를 결정하는 것도 매우 중요하다고 하였다. 본 연구의 먹이 공급은 난황이 70–80% 흡수된 상태인 부화 후 20일경부터 시작하였던 바 먹이섭취가 비교적 양호하였다.

Stickney (1979)는 어류의 성장률은 어종, 크기, 사육수온과 밀도 등에 따라 차이가 생길 수 있다고 보고 하였다. 무지개송어의 초기 성장에 관하여 홍 등(1998)은 평균 전장 2.5 cm에서 2개월만에 4.4 cm로 성장했다고 보고하였으며, Baik et al. (2007)은 전장 2.1 ± 0.3 cm에서 14일째 2.4 ± 0.5 cm로 성장하였고, 56일째는 4.0 ± 0.7 cm로 완만한 성장을 하였다고 보고하였다. Myoung (1992)은 연어에서 부화 된 자어의 평균 전장은 2.27 ± 0.19 cm, 부화 후 약 30일에 평균 전장 3.05 ± 0.17 cm 부화 후 60일에 평균 전장 3.74 ± 0.21 cm로 성장하였다고 보고하였다.

본 연구에서는 부화시 전장 2.09 ± 0.12 cm였으며, 14일째는 전장은 광주기 시험구 및 대조구는 각각 2.85 ± 0.13 cm, 2.79 ± 0.12 cm, 그리고 먹이를 먹기 시작하는 단계인 21일째에는 각각 3.36 ± 0.15 cm, 3.20 ± 0.15 cm로 성장하였다. 또한 63일째는 각각 6.31 ± 0.21 cm, 5.95 ± 0.22 cm, 77일째는 각각 7.38 ± 0.24 cm, 6.98 ± 0.25 cm로 성장하여 홍 등(1998) 및 Baik et al. (2007)의 보고에 비하여 성장이 양호한 것으로 나타났다.

이는 사육 용수가 용천수로서 거의 일정한 수온을 유지하고 있으며, 민간 양식장에서 오랫동안 사육 관리하는 기술이 향상되었기 때문으로 판단된다. 또한 광주기 시험구와 대조구에 대한 전장의 성장에서 광주기

시험구가 우수한 것으로 나타났는데, 광주기 시험구는 여름철인 8월에 채란을 하여 치어 관리를 함으로써 11월에 채란한 대조구보다 사육 수온에 의한 성장 차이로 여겨지며, 이 결과로 조기 채란이 성장 측면에서 유리한 조건을 지니므로 이에 대한 다각적인 연구가 필요하다고 사료된다.

어류에서 일간 성장률은 사육 초기에 증가하다가 그 이후에는 성장함에 따라 감소한다고 하였다(Tandler et al., 1989; 이, 1996). 무지개송어의 일간 성장률에서 Baik et al. (2007)은 사육 7일째 0.19%, 그 후는 0.11–0.13%로 보고하였다.

본 연구에서 광주기 시험구와 대조구는 7일부터 28일까지 각각 2.04–2.53%, 1.98–2.23%였으며, 그 이후는 1.01–1.83%, 1.13–1.89%로 점차 감소하여 Tandler et al. (1989)와 잘 일치하였다. 그러나 Baik et al. (2007)보다 일간 성장률이 양호하였으며, 광주기 시험구와 대조구에서는 광주기 시험구가 좋은 것으로 나타났다. 이는 적정 수온의 범위 내에서 수온이 높을수록 성장률이 높아지는 것은 Sockeye salmon, *O. nerka* (Brett, 1976) 및 Common sole, *Solea solea* (Fonds, 1979)와 잘 일치하였다.

체중 성장에 대하여 Leitritz (1963)은 무지개송어 전장 2.5cm 일때 체중 0.18 g이고, 전장 7.5 cm일때 체중은 5.1 g으로 된다고 보고하였으며, Baik et al. (2007)은 평균 체중은 사육 33일째 0.23 g, 사육 56일째 0.62 g라고 보고하였다. 본 연구에서 부화시 평균체중은 0.09 ± 0.01 g였던 것이 광주기 시험구와 비교구에서 14일째 체중은 각각 0.26 ± 0.01 g, 0.25 ± 0.01 g이었다. 56일째는 각각 1.98 ± 0.06 g, 1.53 ± 0.05 g이며, 77일째는 각각 5.08 ± 0.16 g, 4.26 ± 0.12 g으로 증가하여 Leitritz (1963)과 거의 일치하였으나, Baik et al. (2007)의 결과에 비하여 평균 체중 약 2배의 양호한 체중

성장을 보였다.

또 일간 증중률은 Baik et al. (2007)은 사육 56일째 3.8–4.5%라고 보고하였다. 본 연구에서 광주기 시험구는 7일에서 28일까지 7.30–7.86%의 일간 증중률을 보였으며, 그 이후는 4.35–5.52%로 감소하였다. 비교구는 7일에서 14일째까지 7.30%의 일간 증중률을 보였으며, 그 이후는 3.47–6.19%로 감소하였다.

생존율에 관하여 Klontz (1991)는 알에서 부화자어까지 생존율 88.3%, 부상기 자어까지 생존율 84.8%였으며, 수확시까지 생존율 63.0%였고, 출하시까지 생존율 59.8%라고 보고하였다. 또 Baik et al. (2007)은 알에서 부화자어까지 생존율 86.9% 사육 48일째 74.7%였고, 사육 56일째 64.5%였다고 보고하였다.

본 연구에서 광주기 시험구는 21일째까지 96.1%로 높은 생존율을 보이다가 49일째는 87.5%의 생존율을 보였으나, 최종 사육 77일째는 85.2%의 생존율을 보였다. 대조구는 21일째까지 97.8%로 높은 생존율을 보이다가 49일째는 91.7%의 생존율을 보였으며, 최종 사육 77일째는 88.0%의 생존율을 보였다. 이는 Klontz (1991)와 비슷한 생존율을 보였으며, 냉수성 어종인 산천어(Hong et al., 2001) 및 연어(Lee et al., 2001) 치어보다 높은 생존율을 보였다. 또한 여름에 채란하여 사육한 광주기 시험구의 생존율이 가을에 채란하여 사육한 대조구의 생존율 보다 비교적 낮았는데, 이는 광주기에 의한 산란어미의 스트레스 및 난질 평가에 대한 연구가 추진되어 연중 채란에 의한 우량 종묘를 확보할 수 있도록 다양한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

어체의 성장률에 대하여 Stickney (1979)는 어종, 크기, 사육수온과 밀도 등에 따라서 차이가 생길 수 있다고 보고 하였으며, Ham (1996)은 초기 방양 시 밀도는 콘크리트 탱크 0.1 kg/m³, 유리수조 0.7 kg/m³인 것

이 실험 종료시 각각 6.2 kg/m^3 과 18.9 kg/m^3 로 증가되어 밀도가 증가함에 따라 저밀도에 비해 고밀도 사육시 성장의 감소를 나타내었다고 보고하였으며, Baik et al. (2007)은 사육수조 2.5m^3 에 치어 56,240마리를 수용하여 56일 사육 시험한 결과 생존율 64.5%를 얻었다고 보고하였다. Nepal et al. (1998)의 보고에 의하면 무지개송어 치어는 적정 밀도를 유지할 경우 3개월에 20 kg/m^2 생산을 할 수 있으며, 70 g 정도 되는 것은 30 kg/m^2 생산이 가능하다고 보고하였다.

본 연구에서는 콘크리트 수조 16.8 m^2 에 치어 80,000마리를 수용하여 77일간 사육 후 광주기 시험구에서 68,160마리(생존율 85.2%), 대조구에서 70,400마리(생존율 88.0%)의 치어를 생산 하였는데 이 때 치어는 각각 평균 체중이 각각 5.08 g, 4.26 g였다. 최종 단위면적당 생산량(g/m^2)은 광주기 시험구가 20,610 g이었고, 비교구가 17,851 g으로써 광주기 시험구가 훨씬 양호하여 Nepal et al. (1998)의 보고와 일치하였으며, Baik et al. (2007) 보고에 비하여 좋은 성적을 얻었다.

이상의 결과로 볼 때 우리나라 무지개송어 양식을 위한 종묘생산은 주로 가을에 이루어지며, 동일한 시기에 수확하여 출하하기 때문에 판매가격 조절에 어려움을 겪고 있는 실정에 있는데, 광주기에 의한 산란 시기를 임의로 조절하면 연중 산란이 가능하다. 따라서 앞으로 광주기 조절에 의한 연중 산란시키는 기술 개발로 성장 수온이 양호한 시기와 판매시기를 맞추어 맞춤형 종묘생산이 가능하므로 무지개송어 양식 산업이 더욱 활성화될 수 있을 것으로 기대된다.

V. 요약

본 연구는 우리나라 무지개송어 광주기 조절에 의한 연중 산란으로 양식의 생산성을 향상시키기 위하여 생식주기를 파악하고, 광주기 조절에 의한 조기 성숙과 채란 효과를 구명하였으며, 광주기 처리에 의해 얻어진 수정란과 자연 어미에서 채란한 수정란을 비교 사육하여 생산성을 분석하기 위한 시험을 실시하였다. 또한 본 연구에서는 양식장 관리나 생물실험에서 어류의 성장에 직접적인 영향을 미치는 주요한 환경요소의 관련성을 부가적으로 조사하였다.

양식장에서 사육하는 무지개송어 친어의 암컷은 전장 및 체중이 각각 53.59 ± 5.27 cm, 3.23 ± 0.29 g이었으며, 수컷은 전장 및 체중이 각각 47.61 ± 3.25 cm, 2.58 ± 0.17 g이었다.

무지개송어의 생식소중량지수(GSI) 변화에서 암컷은 1월에 $10.02 \pm 2.71\%$ 이었으나 6월에는 $0.81 \pm 0.38\%$ 까지 감소하였으며, 그 이후 다시 서서히 증가하여 11월에는 $12.43 \pm 3.12\%$ 로 최고를 보였다. 수컷은 1월에 $1.23 \pm 0.40\%$ 에서 5월에는 $0.71 \pm 0.19\%$ 로 최저를 나타낸 후 다시 증가하여 10월에 $4.92 \pm 1.23\%$ 로 최고를 보였다.

전장(TL)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=171.91e^{0.0575TL}$ ($R^2=0.9317$)로 나타났다으며, 체중(BW)에 대한 포란량(F)의 관계는 $F=1178.80e^{0.0004BW}$ ($R^2=0.9358$)로 체중 3,000 g일 때 4,500개, 4,000 g일 때 6,500개를 포란한 것으로 나타났다.

광주기 조절 방법에 따른 생식소중량지수(GSI) 변화는 광주기 시험 시

작한 3월에는 6.54%였으나, 8월에는 광주기 시험구에서 4.53–14.6%로 생식소중량지수가 급증하였으며, 동년 8월에 대조구는 3.17%로 아직 성숙도가 낮았다.

광주기 조절 시험에서 일장을 20시간 조절한 I 시험구는 8월 3일에 채란되었으며, 일장을 18시간 조절한 II 시험구는 8월 25일에 채란되었다. 일장을 14시간 조절한 III 시험구는 9월 13일에 채란되었고, 자연광을 이용한 대조구는 11월 12일에 채란되어 광주기 조절에 의한 조기 성숙 및 채란이 가능하였다.

난경은 광주기 시험구에서 4.4–4.7 mm 범위였으나 대조구는 4.9 mm로 시험구와 차이가 인정되었으며, 난중량은 광주기 시험구에서 64.3–71.8 g이었으나 대조구는 78.8 g로 시험구와 중량의 차이가 인정되었다($p<0.05$).

광주기 조절 시험에 의한 발안율은 광주기 시험구에서 69.32–71.50% 범위였으나 대조구에서는 83.21%로 시험구와 차이가 있었다. 부화율은 광주기 시험구에서 65.51–69.53% 범위였으나 대조구는 81.92%로 대조구가 높았으며, 부상률은 시험구에서 63.72–65.41% 범위였으나 대조구에서는 78.30%로 시험구와 유의차가 인정되었다($p<0.05$).

무지개송어 재생산에 대한 GSI 변화 및 조직학적 관찰에서 3월에는 광주기 조절구와 대조구에서의 GSI와 조직학적으로 차이가 적었으나 5월에는 광주기 조절구가 대조구에 비하여 GSI가 현저한 차이를 보였으며, 조직학적 관찰에서도 성숙한 개체가 뚜렷하였다.

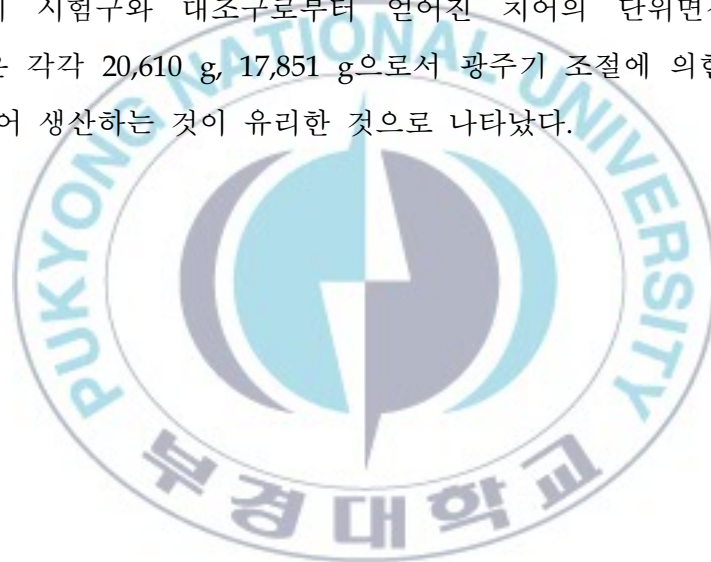
치어 사육 시험기간 중의 광주기 시험구와 대조구의 환경조사에서 광주기 시험구의 수온은 $12.15\pm 0.6^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.43\pm 0.5\text{mg/L}$ 였고, pH는 7.76 ± 0.2 이었으며, 대조구의 수온은 $10.01\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, DO는 $9.55\pm 0.7\text{mg/L}$ 였고, pH는 7.81 ± 0.2 이었다.

광주기 시험 및 대조구 어미로부터 산란된 치어의 성장시험에서 부화

시 크기 전장 2.09 ± 0.12 cm로부터 최종 사육 77일째에는 각각 7.38 ± 0.24 cm 및 6.98 ± 0.25 cm로 성장하여 광주기 시험구의 성장이 양호하였다. 평균체중은 0.09 ± 0.01 g였으나, 최종 사육 77일째는 시험구 및 대조구 각각 5.08 ± 0.16 g, 4.26 ± 0.12 g으로 광주기 시험구의 중량이 큰 것으로 나타났다.

사육 시험기간 중 생존율은 광주기 시험구와 대조구로부터 얻어진 치어는 21일째까지 각각 96.1% 및 97.8%, 최종 사육일 77일째는 85.2% 및 88.0% 생존하였다.

광주기 시험구와 대조구로부터 얻어진 치어의 단위면적당 생산량 (g/m^2)은 각각 20,610 g, 17,851 g으로서 광주기 조절에 의한 연중 채란으로 치어 생산하는 것이 유리한 것으로 나타났다.



감사의 글

1960년대 척박한 강원도는 매년 봄이면 춘궁기에 대다수의 道民이 굶주림 고통의 삶에서 방황 하던 시대, 청정 內水面의 水資源을 활용하여 도민에게 어족 단백질을 공급하기 위한 강원도 수산정책 사업 일환으로 '65. 1월 3일 미국에서 송어 종란(Kamloop rainbow trout) 1 만개를 이식하여 양식에 착수 한지 금년으로서 45주년을 맞이하고 있다.

본 논문을 정리 하는 동안 강원도 수산공무원('64년)으로 출발하여 송어 종란을 처음 관리하면서 온갖 시련을 겪었던 과거를 잠시나마 회상할 수 있는 시간을 갖게 되어 재삼 격세지감을 느끼게 한다.

학부 시절에는 엄궁에서 통학을 하면서 항상 지각생으로서 힘든 시절을 보내게 되었으며, 개척 분야에 몸담으면서 오랜 기간 산중 생활로 만학도가 되었으나 학부시절 지도하여 주신 故 정태영 故강제원 교수님과 김인배, 전세규, 유성규 교수님의 지도에 항상 감사함을 느끼게 한다.

한편 우리나라 송어양식 산업을 정착시키면서 지금까지 왕성하게 활동을 하고 계신 朴敬遠 전 강원도 지사님과 개척 당시 유용길, 이정길 계장님, 송어 양식 사업을 현재까지 경영 할 수 있도록 도움을 주신 최남수 전 평창 부 군수님과 강원도 수협도지부 관계자에게 진심으로 감사를 드린다.

석사 과정부터 지도하여 주신 조재윤 교수님과 홍성윤, 장영진, 허성범, 김창훈 교수님 이외 여러 교수님들에게 감사를 드리며, 본 논문에 많은 부분을 보완하여 주신 이채성 박사님, 손영창 교수님, 현장의 수질자료정리를 협조하여 주신 김병기 교수님과 박영철 박사님, 손진기, 정인학, 전중균 교수님께 감사를 드린다. 아울러 강원도립대학 실험실의 최정림 연구원과 강릉대학교 신지혜 조교의 도움이 있었기에 본 논문 정리를 마무리 할 수 있게 되어 감사하게 생각된다.

‘60년대 중반, 혹한기에 수입된 송어 종란을 교통이 불편한 산중 오지의 현장까지 수송 하느라고 무던히도 고생한 이주섭씨 (수산청 증식과), 산속의 현장에서 잠시나마 함께 고생한 남궁봉, 노용길씨, 항상 격려를 하여준 친구 김무상, 조길행 교수, 최종벽 수협강원도부회장, 故 박의하 교장과 우리나라 송어양식 산업이 지속적으로 발전 할 수 있도록 행정지원을 하여 주신 배평암 차관보께 고마움을 함께 전하며 ‘60년대 후반, 일본 研修시 송어양식 분야에 전념 할 수 있도록 물심양면으로 많은 도움을 주신 東京 韓國研究院 崔書勉 원장님과 東京水産大學 故 稻葉傳三郎 교수님, 강원대학교 조규송 교수님을 비롯하여 富永正雄, 土田項, 宇井光夫, 手家弘之 氏께 진심으로 감사를 드린다.

긴 세월 동안 어려움이 있을 때 마다 격려를 하여 준 권영익, 김남돈, 김상영, 전세준, 김길한 친구와 직장 동료이었던 엄중보, 兪玄在, 金炯連 氏에게 감사를 전하며 송어 해면 가두리 양식 현장에서 어려움을 마다하지 않고 수고하여 준 강남조 과장, 고광우 주임, 개척 당시 산중 현장에서 고생을 함께 하였던 함기식, 이경수 氏와 ‘60년대 강원도 송어양식 지도원 여러분의 노고에 늦게나마 고마움을 전한다.

황무지 개척 분야의 발전을 위하여 행정적으로 도움을 준 수산청, 강원도 환동해출장소, 평창군 관계자와 화천 산중에서 무척이나 고달픈 생

활이 계속 되던 시기에 따뜻한 보살핌을 베풀어 주신 현지 주민 故 李致殷 氏 老夫婦와 故 김장기 氏내외분 그리고 김유동 군의 가족에게 감사를 표한다.

끝으로 농업 계통을 선택한 동생의 진로를 수산양식 분야로 권유하여 오늘을 마무리 할 수 있도록 각별히 배려를 하여 주신 형님께(타계, 威根植 經희대, 經博) 이 논문을 바친다.

반세기 가까이 힘든 일을 마다 하지 않고 어려움을 함께한 가족, 부산행 새벽 열차를 이용하는 아빠의 도시락을 준비해 준 두 딸과 사위, 아들, 며느리에게 고마움을 전한다.

산 속의 양식장을 새롭게 변모 시켜준 부사장(威永植)을 비롯하여 직원들에게 고마움을 전하며, 개척 시기에 문헌과 사료를 구입 할 수 없어 힘든 고통을 견디지 못하여 방황하던 시기에 谷崎正生 氏(日本 長野현 내수면 시험장 장장)와 鎌田淡紅郎 氏(滋賀현 내수면 시험장 장장)는 소량의 인공사료와 문헌을 그리고 타계 하시기 전까지 무려 30여년간 세월 동안 타이프와 잉크로 쓴 많은 편지를 보내 주셨으며 처음 종란 이식 당시 수송 박스는 강원도 내수면 사업소에 보관 되고 있다.

개척시대, 험난한 역경을 극복 하는 와중에서도 수시로 정리한 다양한 기록의 발자취 들을 수록한 “한국송어양식기념사”를 2회에(’90년, ’05년)걸쳐서 발간 할 수 있게 되어 항상 감사의 마음을 간직하게 된다.

반세기 후 2065년 “한국 송어양식 100주년”을 맞이할 때 그 동안 소중한 귀중한 자료가 우리나라 송어양식 발전에 디딤돌이 되어 새로운 도약의 里程標로 烙印되면서 더욱 비약 할 수 있는 계기가 되기를 바라는 마음 간절하다.

A Letter of thanks

It has been passed almost 45 years since I started an exploitation project for Kamloop rainbow trout in order to improve the dietary life of Gang-won province in Korea by the way of producing fish protein through transplantation of trout eggs in the period of 1965th.

When most of people had severely suffered from poor shortage of food in their lives. I had started the cultivation project of "Kamloop rainbow trout" for the first time in Korea as a fishery official in Gang-won province after graduation from Busan fisheries college in 1964.

At that time, 10,000 eggs of Kamloop rainbow trout were donated to Gang-won province from America on 3rd. January in 1965.

I'm greatly proud of a self-confidence as a pioneer of the cultivation project because the amounts of these trout production in the inner region these days in Korea amounts to nearly 3,300 tons.

It would have been quite impossible for me to mask the cultivation project successful without the assistance of Mr. Tanisaki Masaiki and Mr. Kamata Tankurou, who had sent me not only a lot of an artificial feed, books and a letter about trout culturing, but also considerable amounts of assorted feed for trout culturing.

They helped me to cultivate the development project of Korea rainbow trout for nearly 30 years until the last days of their lives. I would like to thank with all my heart for their kindness contribution to development project of Korea rainbow trout. The project of trout culturing in Korea has come to a new development opportunity ever since it began 45 years ago. By the changing pattern of eating habits which has been to a new aspects. The consuming patterns for trout

have been changed from the previous ways of sample edibility into a new trend of food life together with sightseeing phenomenon.

It's quite advisable to develop several kinds of cookery pattern for trout on the occasion of nuclear family age. As a way of consuming promotion for trout, both catching the fishes with bare hands in winter and fishing on the event of local winter trout festival have been introduced these days at Pyeong-chang county which is regarded as a wonderful opportunity to accelerate the culturing industry for the trout living in the cold water.

On the other hand, it would be a proper trout culturing in the net cage of the sea at Go-hung county and results in a near future. We had been published the 25th and the 40th anniversary collection of articles on trout at first time in Koera.

I would like to thank greatly for the kindness and assistance to my elder brother who had encouraged me to enter into the field of fishery culturing and I also would like to thank with all my heart for Dr. Yamazaki Takayoshi, Mr. Tashiro Fumio, Mr. Ooto Hitoshi and Mr. Jeffries who helped it for Gang-won province a trout of culturing project for a long time.

Thank you.

3rd, Jan in 2010

New year

joon-sik Ham

참고문헌

- Aida, K., 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts, Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph, 16, 173-187.
- Asahina, K. and I. Hanyu, 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 49, 61-67.
- Baik, K. K., Y. H. Choi, J. C. LEE, I. S. Park, Y. K. Kim, D. Y. Kim and C. S. Lee, 2007, Studies on Seedling Production of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. Hatching rate, and early stage performance of USA strain rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Kor. J. Aquaculture, Vol. 20(2), 85-89.
- Behnke, R. J., 1992. Native trout of Western North America. American Fisheries Society Monograph 6, Bethesda. MD.
- Bonnet, E., A. Fostier and J. Bobe, 2007a. Microarray-based analysis of fish egg quality after natural or controlled ovulation. BMC Genomics, 8, 55.
- Bonnet, E., J. Montfort, D. Esquerre, K. Hugot, A. Fostier and J. Bobe, 2007b. Effect of photoperiod manipulation on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) egg quality: a genomic study. Aquaculture, 268, 13-22.
- Brannon, E. and G. Klontz, 1989. The idaho trout industry. The Northwest Environmental Journal, 5, 23-35.

- Brett, J. R., 1976. Scope for metabolism and growth of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, and some relative energetics. J. Fish. Res. Board. Can., 33, 307-313.
- Bromage, N., J. Jones, C. Randall, M. Thrush, B. Davies, J. Springate, J. Duston and G. Barker, 1992. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 100, 141-166.
- Bromage, N., M. Porter and C. Randall, 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. Aquaculture, 197, 63-98.
- Brooks, S., C. R. Tyler and J. P. Sumpter, 1997. Egg quality in fish: what makes a good egg ? Reviews in Fish Biology and Fisheries, 7, 387-416.
- Chen, Y. Q. and X. G. Gu, 1993. An ecological study of red tides in the East China Sea. In : Smayda, T. J., and Shimizu, Y. (Eds.). Toxic phytoplankton blooms in the sea. Proc. Fifth Int. Conf. On Toxic Marine Phytoplankton. Newport, Rhode Island, USA, pp. 217-221.
- Cho, Y. C. and S. G. Yang, 1991. Study on the early spawning inducement of bastard halibut, *Paralichthys olivaceus*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 45.
- Craik, J. and S. Harvey, 1984. Egg quality in rainbow trout: the relation between egg viability, selected aspects of egg composition, and time of stripping. Aquaculture, 40, 115-134.

- Craik, J. C. A., 1985. Egg quality and egg pigment content in salmonid fishes. *Aquaculture*, 47, 61-88.
- Colt, J. E., K. Orwicz and D. Brooks. 1991. Gas supersaturation in the American River California USA. *California Fish and Game*, 77(1), 41-50.
- Davies, B. and N. Bromage, 2002. The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 205, 183-200.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Duston, J. and N. Bromage, 1986. Photoperiodic mechanisms and rhythms of reproduction in the female rainbow trout. *Fish Physiol. Biochem.*, 2, 35-51.
- Duston, J. and R. L. Saunders, 1990. The entrainment role of photoperiod on hypoosmoregulatory and growth-related aspects of smolting in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Zool.*, 68, 707-715.
- Fauconneau, B. and M. Arnal, 1985. In vivo protein synthesis in different tissues and the whole body of rainbow trout *Salmo gairdneri* R. Influence of environmental temperature. *Comp. Biochem. Physiol.*, 82A, 179-187.
- FES, 1992. Fish farm effluents and their control in EC countries. *Federation of European Salmon and Trout Growers.*, 30 pp.
- Fonds, M., 1979. Laboratory observation on the influence of temperature and salinity on development of the eggs and growth of the

- larvae of *Solea solea*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1, 91-99.
- Gall, G. A. E. and P. A. Crandell, 1992. The rainbow trout. Aquaculture, 100, 1-10.
- Gomes, E. F., P. Rema and S. J. Kaushik, 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestibility and growth performance. Aquaculture, 130, 177-186.
- Ham, J. S., 1996. Growth performance of Donaldson and Idaho strains of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Ms. thesis, Nat'l. Fish. Univ., Pusan., 36pp (in Korean).
- Hershberger, W. K., 1992. Genetic variability in rainbow trout populations. Aquaculture, 100, 51-71.
- Hinshaw, J. M., G. Fornshell and R. Kinnunen, 2004. A profile of the aquaculture of trout in the united states. Mississippi State University under the terms of Agreement No. 01-IE-831-127.
- Holcombe, G. W., M. W. Pasha, K. M. Jensen, U. E. Tietge and G. T. Ankley, 2000. Effects of photoperiod manipulation on brook trout reproductive development, fecundity, and circulating sex steroid concentrations. North Am. J. Aquaculture, 62, 1-11.
- Hong, K. E., C. S. Lee, K. K. Baik, J. H. Lee, K. B. Seong and K. Y. Park, 2001. Artificial seed production and growth of masu salmon, *Oncorhynchus masou*. Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Ins't. Korea, 59, 131-139 (in Korean).
- Hoover, E. E. and H. F. Hubbard, 1937. Modification of the sexual cycle of trout control of light. Copeia, 4, 206-210.

- Horstgen-Schwark, G., H. Fricke and H. J. Lancholz, 1986. The effect of strain crossing on the production performance in rainbow trout. *Aquaculture*, 57, 141-152.
- Houlihan, D. F., D. N. McMillan and P. Laurent, 1986. Growth rates, protein synthesis and protein degradation rates in rainbow trout: effects of body size. *Physiol. Zool.*, 59, 482-493.
- Huet, M., 1975. Textbook of fish culture, Breeding and cultivation of fish. Fishing news (books), Surrey, England.
- Ishida, R., K. Takagi and S. Arita, 1961. Criteria for the differentiation of mature and immature forms of chum and sockeye salmon in northern seas, *Int. North Pacific Comm. Bull.*, 5, 27-47.
- Islam, M. A., Y. Nose and F. Yasuda, 1973. Egg characteristics and spawning season of rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries.*, 39(7), 741-751.
- Jayaram, M. G. and F. W. Beamish, 1992. Influence of dietary protein and lipid on nitrogen and energy losses in lake trout, *Salvelinus namaycush*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 2267-2272.
- Jo, J. Y., I. B. Kim, G. H. Seo, E. P. Kim and J. H. Park, 2005. Treatment of effluent from Inland flow-through aquaculture system. Ministry of Maritime Affairs & Fisheries (MOMAF), 163 pp.
- Kaushik, S. J. and E. F. Gomes, 1988. Effect of frequency of feeding on nitrogen and energy balance in rainbow trout under maintenance conditions. *Aquaculture*, 73, 207-216.
- Kjorsvik, E., 1994. Egg quality in wild and broodstock cod *Gadus morhua* L. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25, 22-25.

- Klontz, G. W., 1991. A manual for rainbow trout production on the family-owned farm. University of Idaho. Dept. of Fish & wildlife Resources. Moscow., ID.
- Kohara, M., T. Usui, J. Shiose, I. Sanjo, A. Motonishi and M. Yoshimizu, 1994. Effects on control of fish diseases by filtration and disinfection establishment with outer ultraviolet irradiation system of trout-rearing water. Bulletin of Nagano Prefectural Fisheries Experimental Station, No. 3, 19-25.
- Kuo, C. M., Z. H. Shehadch and K. K. Milisen, 1973. A preliminary report on the development, growth and survival of laboratory reared larvae of the grey mullet, *Mugil cephalus*. S. J. Fish. Biology, 5, 459-470.
- Kwon, H. C., S. Hayashi and Y. Mugiya, 1993. Vitellogenin induction by estradiol-17 β in primary hepatocyte culture in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Comp. Biochem. Physiol., 104B, 381-396.
- Lawson, T. 1995. Fundamentals of Aquaculture Engineering. Chapman & Hall., New York.
- Lee, C. H., 2007. Mass production of all-female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* for aquaculture industry. URIP of Fisheries and Oceanography graduate school, Pukyong National University, 56 pp (Ph. D. thesis).
- Lee, C. S., C. H. Kim, K. Y. Park, K. W. Hong and K. K. Baik, 2001. Growth, respiration and assimilation efficiency of fingerling of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. Bull. Natl. Fish. Res. Dev.

- Ins't. Korea, 59, 140-145 (in Korean).
- Leitritz, E., 1963. Trout and salmon culture (Hatchery methods). State of California, Dept. of Fish and Game. Fish Bulletin, No. 107.
- Liao, P. B., and R. D. Mayo. 1974. Intensified fish culture combining water recirculation with pollution abatement. *Aquaculture*, 3, 61-85.
- Loughna, P. T. and G. Goldspink, 1984. The effects of starvation upon protein turnover in red and white myotomal muscle of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 25, 223-230.
- MOMAF, 2002. Standard methods for marine environment. Ministry of Maritime Affairs & Fisheries, 1-330.
- Mugiya, Y. and A. Thanahashi, 1998. Inhibitory effects of Aluminium on vitellogenin induction by estradiol- β in the primary culture of hepatocytes in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 109, 37-43.
- Myoung, J. G., 1992. Morphological study of *Oncorhynchus* sp. in Korea. ph. D. thesis, Nat'l. Fish. Univ., Pusan, 141 pp (in Korean).
- Needham, P. R. and R. J. Behnke, 1962. The origin of hatchery rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.*, 24, 156-158.
- Nepal, A. P., S. R. Basnyat, G. P. Lamsal, P. L. Joshi and R. M. Mulmi, 2002. Economics of rainbow trout farming system in Nepal (by Nepal, A.P., S.R. Basnyat and A.P. Nepal). *Cold Water Fisheries in the Trans-Himalayan Countries*. FAO

Fisheies Technical Paper 431 pp.

- Nepal, A., T. Yamada and M. K. Kama, 1998. Determination of optimum stocking density of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Proceeding of present status of fisheries research, development and education in Nepal. Published by natural water fisheries development project (NWFDP), Nepal Agricultural Research Council (NARC) and JICA., pp. 7-9.
- Piper, R. G., I. B. McElwain, L. E. Orme, J. P. McCraren, L. G. Fowler and J. R. Leonard, 1982. Fish hatchery management. U. S. Department of the interior. Fish and wildlife service. Washington, D. C.
- Randall C. F., N. R. Bromage, J. Duston and U. Symes, 1998. Photoperiod-induced phaseshifts of the endogenous clock controlling reproduction in the rainbow trout: a circannual phase-response curve. J. Reprod. Fertil., 112, 399-405.
- Runa, K. J., 1985. Influence of egg on the growth, Onset of feeding, poin-of-no-return and survival of *Oreochromis mossambicus* fry. Aquaculture, 46, 119-131.
- Runa, K. J., 1990. Influence of incubation temperature on *Oreochromis niloticus* (L) eggs and fry II. Survival, growth and feeding of fry developing solely on their yolk reserves. Aquaculture, 87, 183-195.
- Smith, C. E. and R. G. Piper, 1975. Lesions associated with chronic exposure to ammonia. In: The Pathology of Fish. (eds: W. E. Rubelin and G. Migaki). Univ. of Wis. Press, Madison, pp.

497-514.

- Springate, J. R. C. and N. Bromage, 1985. Effects of egg size on early growth and survival in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, 47, 163-172.
- Stech, D., 1991. Build your own settling pond. *Northern Aquaculture*. Sept./Oct., 22-25.
- Stickney, R. R., 1979. Principle of warm water aquaculture. John Wiley & Sons., Inc., New York.
- Su, G., L. Liljedahl and G. Gall, 1997. Genetic and environmental variation of female reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 154, 115-124.
- Svarovsky, L. 1977. Hydrocyclones. In: Svarovsky, L. (Editor). *Solids-liquid Separation*, Butterworths, 333 pp.
- Takashima, F. and Y. Yamada, 1984. Control of maturation in masu salmon by manipulation of photoperiod. *Aquaculture*, 43, 243-257.
- Tandler A. M., M. Wilks, A. Levinson, L. Brickell, S. Christie, E. Avital and Y. Barr, 1989. Effects of environmental temperature on survival, growth and population structure in the mass rearing of the gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 78, 277-284.
- Taranger, G. L., C. Haux, S. O. Stefansson, B. T. Bjornsson, B.T., Walther and Hansen, 1998. Abrupt changes in photoperiod affect age at maturity, timing of ovulation and plasma testosterone and oestradiol-17 beta profiles in Atlantic salmon,

- Salmo salar*. Aquaculture, 162, 85-98.
- Tyler C. R., J. P. Sumpter, H. Kawauchi, and P. Swanson, 1991. Involvement of gonadotropin in the uptake of vitellogenin into vitellogenic oocytes of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Gen. Comp. Endocrinol., 84, 291-299.
- Vlaming, V. L., 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus crysoleucas*. Biol. Bull. (Woods Hole), 148, 402-415.
- 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.
- Wheaton, F. W. 1977. Aquaculture Engineering. Wiley-Interscience. New York., 708 pp.
- Yoon, J. M., H. Y. Park, K. N. Chang and T. S. Jun, 1995. Optimal stocking density and environmental factors of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in semi-closed recirculation system. Kor. J. Limnology, 28 (2), 183-189.
- 加藤禎一, 1975. ニジマスの成長と再生産諸形質の関係, 淡水研報. 25(2), 83-115.
- 高橋一孝・大森義忠・天野きみ子, 1984. 年2回産卵系ニジマスの採卵試験-III. 山梨魚苗セ事報, 32-62.
- 高橋一孝・大森義忠・天野きみ子, 1985. ニジマスの産卵期調節試験-IV. 山梨魚苗セ事報, 22-31.
- 尾形博, 1985. 生理活性物質研究の現状. 59年度水産増養殖研究推進會議要録, pp. 49-53.

- 伏木省三, 1979. アユ成熟への春期長日処理の効果に関する研究. 滋賀縣水試研究, 31, 1-15.
- 福小邦彦・藤村卓地・山本剛央, 1986. 加温循環式水槽によるママダイの親魚養成と早期採卵. 水産増殖, 34(2), 71-75.
- 松島又十郎・石川徹二・高橋 勉, 1972.
- ニジマスの産卵期調節研究, 静岡富士養鱒研報, 1, 1-11.
- 松山倫也・松捕修平, 1982. 組織學的觀察に基づく筑後川産兩側回遊型アユの成熟・産卵様式. 日水誌, 48(11), 1573-1580.
- 岩手縣, 1981. 光処理施設の有効利用について. 養鱒技協會要録, 6, 35-44.
- 野村 稔, 1965. 淡水養殖技術. 新水産學全集, 16, 恒星社厚生閣, 268-291.
- 野村 稔, 1970. ニジマス卵の孵化と溶存酸素量について. 第27回養鱒部會要録, 29-35.
- 羽生 功, 1982. 外部制御要因による成熟卵の制御. コイ科魚類・魚介類の成熟卵の制御. 日本水産學會扁, 恒星社厚生閣, 115-118.
- 伊島時郎・阿部登志勝・平川諒三郎・鳥島嘉明, 1986. 長日処理によるヒラメの早期採卵. 栽培技研, 15(1), 57-62.
- 田代文男・立川 瓦・鎌田淡紅郎・田村榮治・青江 弘・矢辺芳浩, 1991. 養魚講座 第10巻. ニジマス, 録書房, 28-70.
- 池戸 利・立川 亘・都竹仁一, 1981. ニジマスの育種に関する研究-I. 岐阜水試研報, 26, 7-10.
- 千葉健治, 1970. 魚類の生長に關與する諸要因. II-1. 淡水養鯉池における環境とコイの生長. 日水誌, 36, 297-303.
- 叶木彦治, 1978. 黒磯分場におけるニジマスの経年推移について. 栃木水試研報, 7, 67-74.
- 會田 勝美, 2002. 魚類生理學の基礎. 恒星社厚生閣, 215-232.

- 김익수 · 박종영, 2002. 한국의 민물고기. 교학사, pp. 274-290.
- 이정의, 1996. 장갱이, *Stichaeus grigorjewi*의 산란기와 종묘생산. 부산수산대학교 박사학위 논문, 187 pp.
- 전형주 · 김응오 · 이종윤 · 김범철, 2000. 중부지역 내수면 양식기술 개발 III. 양식장 배출수 처리 방법 연구. 국립수산과학원 내수면사업보고서, 25-36.
- 전형주 · 윤길하 · 김범철, 1999. 양식장 배출수 처리 방법 연구. 국립수산과학원 내수면사업보고서, 58-68.
- 함준식, 1990. 한국송어양식 25주년 기념집. 한국송어양식협의회. 미성사, 115-125.
- 함준식, 2005. 한국송어양식 변천사. 한국송어양식 40주년 기념집. 한국수산신문사, 54-59
- 홍관의 · 이채성 · 이진호 · 백국기 · 김찬섭, 1998. 우량품종 개량 및 생산 보급. 1998년도 내수면연구소 사업보고서. 국립수산과학원 내수면연구소, 155-161.
- 홍순택, 1995. 생산성 향상을 위한 담수어 양식의 육상 사육 시설. 어병연구회지, 제6권, 9-59.
- 환경부, 1999. 환경부고시, 제1999-143호.
- 환경부, 2003. 양식장 수질 관리 및 배출수 처리수질기준 설정 및 관리지침, 16 pp.