

## 태화강 내 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 방류에 따른 성장 모니터링

허준욱<sup>1\*</sup> · 윤지우<sup>2</sup> · 임한규<sup>2</sup>

<sup>1</sup>군산대학교 해양생명과학과

<sup>2</sup>목포대학교 해양수산자원학과

## Monitoring the Growth of Juvenile Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) Released to Taehwa River of Korea

Jun Wook Hur<sup>1\*</sup>, Ji Woo Yoon<sup>2</sup>, Han Kyu Lim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Aquaculture and Aquatic Sciences, Kunsan National University, Gunsan, Jeonbuk 54150, Korea

<sup>2</sup>Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Jeonnam 58554, Korea

### Corresponding Author

Jun Wook Hur

Department of Aquaculture and Aquatic

Sciences, Kunsan National University,

Gunsan, Jeonbuk 54150, Korea

E-mail : junwhur@kunsan.ac.kr

Received : December 02, 2021

Revised : December 02, 2021

Accepted : December 06, 2021

태화강에서 방류한 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 성장, 생존 및 어류상 등의 모니터링을 통한 생태학적 기초 자료를 확보하고자, 방류 후 연어 치어의 지점별 포획개체수, 성장 및 어류상 특성을 조사하였다. 태화강 상류로부터 총 4개 지점[선바위교(St.1), 구영교(St.2), 삼호교(St.3), 명춘대교(St.4)]에서 2년간 조사를 실시하였다. 2017년 연어 치어 방류 후 전장은 평균 10 mm, 체중은 평균 0.8 g의 증가를 나타내었다. 2018년 연어 치어 방류 후 평균 전장 10 mm, 체중 0.5 g의 증가를 나타내었다. 연어 치어를 포식할 수 있는 어식성 어류는 St.1에서 6종(동사리, 송어, 배스, 꺾지, 황어 및 고리), St.2에서 5종(동사리, 황어, 배스, 꺾지 및 고리), St.3에서 6종(큰가시고기, 가물치, 날망둑, 배스, 황어, 고리) 및 St.4는 8종(큰가시고기, 베토라치, 문철망둑, 날망둑, 풀망둑, 강준치, 점농어 및 황어)이 출현하였다. 본 연구결과 연어 치어는 체중의 증가보다 전장 및 체장의 성장에 집중하는 것으로 나타났다. 또한, 적정 방류지역은 포식생물의 서식이 적고 수심, 유속, 염분 등의 변화가 적은 St.1과 St.2 지점이 적절할 것으로 판단되며 방류 시기는 고리 및 배스 등의 포식어류의 먹이활동이 활발하지 않은 1월 초순 혹은 포식 활동이 적은 야간이나 새벽시간에 방류하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

To secure basic data by monitoring the growth of salmon (*Oncorhynchus keta*) released to the Taehwa River. After discharge, the characteristics of the young salmon distribution and migration rate habitat were investigated for two years. A total of 4 points [Sunbawi bridge (St.1), Gyeong bridge (St.2), Samho bridge (St.3), and Myeongchon bridge (St.4)] were investigated. The survey of 2017 indicating an increase of 10 mm in average length and 0.8 g in average weight, and the survey of 2018 indicating an increase of 10 mm in average length and 0.5 g in average weight. Among 39 species, 10 insectivorous and 12 omnivorous, are believed to compete with young salmon for food. 6, 5, 6 and 8 predatory fish species has emerged at each site, respectively. According to this study, it is believed that St.1 and St.2 points are more proper as discharge location of young salmon because these two points have less varied in depth, flow rate, salt concentration etc. In addition, it is thought that the night or dawn time in early January is the best discharge time of young salmon fish because predatory fish such as Korean piscivorous chub and bass etc. does not eat food actively at that time.

**Keywords:** Fish released(어류방류), Growth(성장), Optimal release zone(최적방류장소), Salmon(연어), *Oncorhynchus keta*(연어)

## 서론

연어(*Oncorhynchus keta*)는 냉수성 어류로 우리나라 동해안을 비롯하여 북한, 일본, 캄차카반도, 알래스카, 캐나다 및 쿠릴열도 연안까지 분포한다(Jung, 1977). 이 지역은 연어, 시마연어(*O. masou*), 곱사연어(*O. gorbusha*), 은연어(*O. kisutch*), 왕연어(*O. tshawytscha*), 홍연어(*O. nerka*), 아마고연어(*O. rhodurus*) 7종의 연어류가 서식한다(Groot and Margolis, 1991). 우리나라 해역과 하천에는 연어 및 시마연어가 서식하는 것으로 보고되고 있으며(Jung, 1977; Seong, 1998), 최근 동해안 하천, 낙동강 및 섬진강으로 소하회유(anadromous)하는 것으로 보고되어 연어 치어 방류량을 증가시키고 있다.

우리나라를 비롯한 미국, 캐나다, 러시아 및 일본 5개 국가에서는 자원을 관리하고 과학적인 연구를 시행하고 있으며, 자연적 및 인위적 종자생산을 통한 방류사업을 통해 연어자원 증강을 도모하고 있다.

산란을 위해 태어난 하천으로 돌아오는 모천회귀성(home migration)을 이용하여 우리나라에서도 어업자원으로 연어를 육성하기 위해 동해안과 남해안의 하천에서 연어 치어를 방류하고 있다. 국내 연어 인공부화 방류사업은 1913년 함경남도 고원에서 연어 부화장이 설립된 이후부터 인위적인 관리가 시작되었다. 이후 1925년 경상북도 영덕군 오십천의 강구어업조합에서 연어 인공 부화장을 설치하여 운영했으나, 1960년 사라호 태풍으로 시설이 완전 파괴되면서 오십천 연어 방류사업은 중단되었다. 1969년 강원도, 1970년 경상북도 및 경상남도의 내수면개발시험장에서 추진해 왔으며, 본격적인 사업은 1984년 국립수산진흥원 양양내수면연구소(현 한국수산자원관리공단 동해지사 내수면생명자원센터)가 건립되면서 연어의 자원증강과 관리는 물론 동해안의 어업이 가능하게 되어 중요 어업자원으로 각광 받게 되었다.

방류(강해성)된 연어 치어들은 하천과 연안 사이에서 1~2개월(30~50일) 서식하는 과정에서 은화(smoltification)가 진행된 후 바다로 내려가 베링해와 알래스카만까지 가서 살다가 3~5년만에 성숙하여 어미가 되어 산란을 위해 회귀한다(Zoo, 1990; Kim et al, 2007; Kwon et al, 2014).

최근 연어에 대한 국내 수요량이 증가하면서 2015년에 소비량이 160,000마리, 2017년 수입량이 10,000톤에 달하였다. 인공종자생산 기술의 발전을 통하여 2015년 연어 치어 2,000만 마리를 방류하였지만, 국내 연어 치어의 생리 및 생태적 서식 특성에 대한 자료는 미흡한 실정에 있다. 울산광역시에 흐르는 태화강은 2000년에 태화강의 수중보를 철거하고 수질정화사업을 실행하여, 연어 치어 760,000마리를 방류하였으며, 2017년까지 지속적으로 방류사업을 진행하였다. 연어 치어 방류효과의 영향으로 2003년 307마리 및 2014년 1,827마리의 성숙한 어미 연어가 회귀하여 지속적으로 증가하였지만, 2016년 123마리로 감소하여 태화강 연어의 보존을 위한 치어 방류와 어미 연어 회귀에 대한 생태학적 연

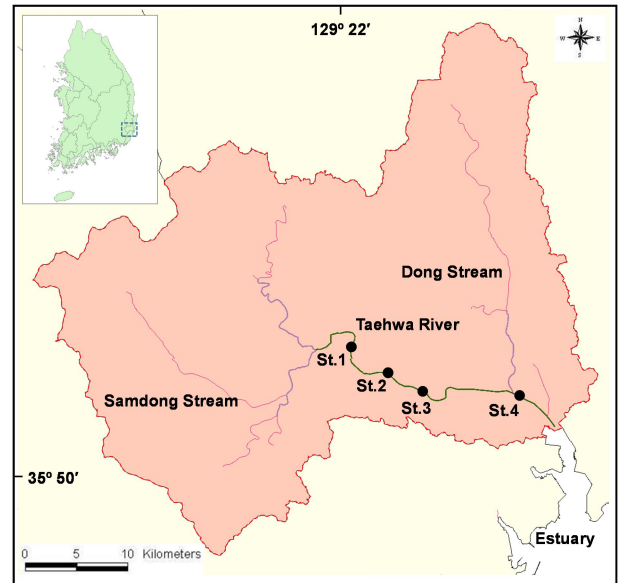


Fig. 1. Map showing the studied sites in Taehwa river. St.1: Seongbawi bridge, St.2: Guyeong bridge, St.3: Samho bridge, St.4: Myeongcheon bridge.

구 필요성이 대두되고 있다(FIRA, 2016). 또한 태화강 주변의 각종 시설 공사에 따른 환경 교란과 지구온난화에 따른 수온 상승 등의 영향으로 태화강으로 올라오는 어미 연어의 자원량이 감소하고 있다. 따라서 연어 치어의 방류에 따른 생존율을 높일 수 있는 방류 장소와 성장을 파악하기 위한 기초 생물학적 자료를 확보할 필요성이 있다.

본 연구는 울산광역시를 흐르는 태화강에서 연어 치어 방류에 따른 다른 공존하는 어류의 서식상태, 연어 치어를 포식할 수 있는 해적생물 및 자원의 증대효과를 모니터링하여, 연어 치어의 방류 후 생존 및 성장을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 시기

조사지점의 위치는 4개 지점에 대하여 조사를 실시하였으며 (Fig. 1), 각 지점명과 행정구역명 및 GPS 좌표는 St.1(선바위교, 울산시 울주군 범서읍 구영리 1073-25, N 35°34'41.65"/ E 129°14'18.35"), St.2(구영교, 울산시 울주군 범서읍 굴화리 678-1, N 35°33'40.68"/ E 129°14'59.40"), St.3(삼호교, 울산시 중구 다운동 486, N 35°33'15.77"/ E 129°16'25.73") 및 St.4(명촌대교, 울산시 북구 명촌동 449-6, N 35°32'50.73"/ E 129°21'25.88")이다.

연어 치어 방류는 2017년 3월 15일에 St.1에서 77,000마리 및 St.2에서 500,000마리로 총 577,000마리였다. 2018년 3월 7일에

St.1에서 10,000마리 및 St.2에서 300,000마리를 방류하였고 3월 24일에 St.1에서 50,000마리를 추가로 방류하여 총 360,000마리의 연어 치어를 방류하였다.

연어 치어 방류 전 조사는 투망(7×7 mm), 족대(4×4 mm) 및 하천형 일각망(유도망 길이 8 m, 4×4 mm)을 이용하여 어류상 및 자연산 연어 치어 출현 여부를 파악하였다. 사전 조사에서 채집한 연어는 자연산 연어로 구분하였으며, 2017년 3월 14~15일 및 2018년 3월 6~7일에 St.1~4 지점에서 사전 조사하였다. 연어 치어의 방류 이후, 2017년 3월 22~23일, 4월 3~4일, 25~26일, 5월 26~27일 및 2018년 3월 8~12일, 15~16일, 26~27일, 4월 22~23일에 연어 치어 출현 여부 및 어류상을 St.1~4 지점에서 모니터링하였다.

## 2. 하천환경 특성 조사 및 분석

하상 재료의 구분은 Woo (2001)와 Wentworth (1922)의 사립자 크기 등급에 따라 6단계로 분류하였다. 실트(silt, <0.062 mm), 모래(sand, 0.062~2.0 mm), 가는자갈(fine gravels, 2.0~16.0 mm), 굵은자갈(coarse gravels, 16.0~64.0 mm), 호박돌(cobbles, 64.0~256.0 mm) 및 전석(boulders, >256.0 mm)으로 분류되었다. 현장 조사 시 50×50 cm 방형구를 이용한 사진촬영 및 육안으로 분포를 확인하여 기록하였다.

조사지점의 하천 폭, 수면 폭, 수심 및 유속 등을 조사하기 위하여 하천의 횡단면(수면 폭)을 측정하였다. 수면 폭은 줄자 등으로 조사하고, 수심과 유속은 유속계(Flowatch, Swiss)를 사용하여 도섭법(하폭의 횡단면을 건너면서 직접 조사하는 방법)으로 조사하였다. 하천 한 단면의 수심 및 유속 조사수는 수면 폭에 따라 연속측선수를 조절하여 실시하였다. 미흡한 자료는 낙동강홍수통제소의 수문자료 실시간 수위자료(Nakdong River Flood Control Office, 2017, 2018)를 참고하였다. 기초수질은 다항목수질측정기(YSI ProDSS, USA)를 이용하여 수온(°C), 염분(psu), 용존산소(mg/l), 수소이온농도(pH) 및 전기전도도를 현장에서 직접 조사하였으며, 각 조사 지점별로 구분하여 측정하였다.

## 3. 시기 및 지점별 연어 치어의 이동 및 성장 조사

하천에서 이동하는 자연산 및 방류 연어 치어의 포획을 위하여 투망, 족대 및 하천형 일각망을 이용하였다. 투망은 조사지점당 20회 기준으로 하였고, 포획 수량이 적을 때 유동적으로 횡수를 늘렸다. 족대는 조사지점당 1시간 기준으로 조사하였으며, 포획 수량이 적을 때 유동적으로 조사 시간을 늘렸다. 하천형 삼각망은 조사지점에서 24시간 기준으로 채집하였다.

채집된 어류는 외부형질을 파악하기 위해 전장(total length, TL), 가랑이체장(fork length, FL), 체고(body depth, BD) 및 전중량(body weight, BW)을 측정하였다. 각 어체의 전장, 체장 및 체고는

vernier calipers를 이용하여 0.1 cm까지, 생체량은 전자저울을 이용하여 0.1 g까지 측정하였다. 측정한 값을 기초로 비만도(Condition Factor,  $CF=(BW/TL^3) \times 10^5$ ) (Anderson et al., 1996)와 길이-무게 상관관계(total length-weight relationship,  $TW=a \cdot TL^b$ ) (Froese, 2006)를 분석하였다.

## 4. 어린 연어 먹이경쟁 및 포식생물 조사 분석

조사지점의 어류상을 조사하여 자연산 어린 연어와 먹이경쟁의 가능성이 있는 생물과 어린 연어를 포식할 가능성이 있는 생물을 조사 및 분석하였다. 어린 연어의 주 먹이원을 분석한 결과는 한국수산자원관리공단(연어 추적·재포획 및 자원환경 조사, 2016)의 자료에 따르면 깔따구류(*Chironomus* spp.), 실지렁이(*Linnodrilus gotoi*) 및 요각아강(Copepoda)이 주 먹이원으로 나타났으며, 이를 토대로 어린 연어가 수서곤충을 먹이원으로 하는 것을 파악하였다. 따라서 조사지점에서 출현한 어종 중 충식성으로 분류된 종을 파악하고, 잡식성으로 분류되었지만 치어기에 수서곤충을 먹이원으로 하는 종을 파악하였다.

어린 연어를 포식할 가능성이 있는 육식성 어종과 잡식성 어종은 포획 즉시 개봉하여 위 내용물을 분석하였다. 위 내용물 중 어린 연어의 출현 여부 및 개체수를 파악하여 분석하였다. 어류의 동정은 Kim (2005) 및 Lee and Noh (2011)을 참고하였으며 Nelsen (1994)의 분류체계를 따랐다.

## 결 과

### 1. 하천환경 특성 조사 분석 결과

St.1 선바위교는 모래가 40%, 호박돌, 굵은자갈 및 가는자갈이 각각 20%씩 분포하였으며, St.2 구영교는 호박돌, 굵은자갈 및 모래가 각각 30%, 가는자갈이 10%였다. St.3 삼호교는 호박돌(20%), 굵은자갈(20%), 가는자갈(10%), 모래(30%) 및 점토(20%)의 비율로 조사되었으며, St.4 명촌대교는 모래 40%, 호박돌, 굵은자갈 및 점토가 각각 20%로 나타났다.

조사지점의 유속 범위는 0.1~0.2 m/s로 나타났고, 수심 범위는 0.4~1.4 m로 나타났다. 방류지점인 선바위교(St.1)의 평균유속은 0.2 m/s였으며, 평균수심은 0.4 m로 나타났다. 구영교(St.2)의 평균유속은 0.1 m/s, 평균수심은 0.6 m인 것으로 나타났다. 태화강의 유량측정결과를 이용하여 하상분포와 흐름의 평면적 특성을 살펴본 결과, 태화강은 유심부를 중심으로 흐름이 집중되는 것을 확인할 수 있었다. 최대 유속은 선바위교(St.1) 상류 좌안에서 0.6 m/s로 나타났다. St.3과 St.4는 하구역의 조석에 의해 염분변화를 나타냈으며, St.1과 St.2는 염분에 영향을 받지 않는 순수담수구역이었다.

2017년 수온은 3월 방류 당시 9.2~11.1°C이었으며, 연어가 마

**Table 1.** The list and individual numbers of collected fishes in Taehwa river of 2017~2018

Families and species	2017*					2018**					Total	RA (%)***
	Pre	1st	2nd	3rd	4th	Pre	1st	2nd	3rd	4th		
Cyprinidae												
<i>Cyprinus carpio</i>			3				1		2		6	0.11
<i>Hemibarbus labeo</i>	2	42	8	47	9	33	146	24	14	14	339	6.09
<i>Zacco koreanus</i>	6										6	0.11
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	7	4	1	17	18	33	32	2	11	6	131	2.35
<i>Carassius auratus</i>			2			2	9	3	1		17	0.31
<i>Squalidus japonicus Koreanus</i>			1								1	0.02
<i>Hemiculter eigenmanni</i>				1							1	0.02
<i>Zacco platypus</i>		1	3	11	25	166	144	95	22	59	526	9.45
<i>Erythroculter erythropterus</i>				1		5	10	15	10	12	53	0.95
<i>Pungtungia herzi</i>										1	1	0.02
<i>Sarcocheilichthys variegatus</i>							1				1	0.02
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>							4				4	0.07
<i>Tribolodon hakonensis</i>		36	1			2	64	45	21	24	193	3.47
Cobitidae												
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>							5	1		1	7	0.13
<i>Iksookimia longicorpa</i>								1			1	0.02
<i>Niwaella multifasciata</i>						1			5	2	8	0.14
Osmeridae												
<i>Hypomesus nipponensis</i>							12	4		12	28	0.50
<i>Plecoglossus altivelis</i>	715	2	34	1						5	757	13.61
Mugilidae												
<i>Mugil cephalus</i>	7	7	40	25		209	746	65	288	149	1,536	27.61
Hemiramphidae												
<i>Hyporhamphus sajori</i>								2	5	2	9	0.16
Gasterosteidae												
<i>Gasterosteus aculeatus</i>						2	20		2		24	0.43
Salmonidae												
<i>Oncorhynchus keta</i>	14	84	57				226	70	53		504	9.06
Centropomidae												
<i>Coreoperca herzi</i>			2	3		2	3	2		1	13	0.23

**Table 1.** The list and individual numbers of collected fishes in Taehwa river of 2017~2018 (Continued)

Families and species	2017*					2018**					Total	RA (%)***
	Pre	1st	2nd	3rd	4th	Pre	1st	2nd	3rd	4th		
Centrarchidae												
<i>Lepomis macrochirus</i>		1	2		2	15	35	22	10		87	1.56
<i>Micropterus salmoides</i>		13	4	44	18	1	13		1	3	97	1.74
Pleuronectidae												
<i>Kareius bicoloratus</i>							1				1	0.02
Salangidae												
<i>Neosalanx andersoni</i>						3					3	0.05
Moronidae												
<i>Lateolabrax japonicus</i>							1	9	2		12	0.22
<i>Lateolabrax maculatus</i>						1				17	18	0.32
Embiotocidae												
<i>Ditrema temminckii</i>					1					26	27	0.49
Dorosomatidae												
<i>Konosirus punctatus</i>						1	2		5	16	24	0.43
Syngnathidae												
<i>Syngnathus schlegeli</i>							1				1	0.02
Odontobutidae												
<i>Odontobutis platycephala</i>	1		1	1	1	8	12	4	4	1	33	0.59
Gobiidae												
<i>Chaenogobius castaneus</i>	2		2	1	33	32	131	24	32	3	260	4.67
<i>Favonigobius gymnauchen</i>						19					19	0.34
<i>Tridentiger obscurus</i>	7										7	0.13
<i>Tridentiger brevispinis</i>	12	58	16	15	31	13	12	4	25	18	204	3.67
<i>Rhinogobius brunneus</i>	2	1			25	14	39	3	20	11	115	2.07
<i>Tridentiger bifasciatus</i>									1		1	0.02
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	1	4	6	1	5						17	0.31
<i>Acanthogobius lactipes</i>	1	1	10								12	0.22
<i>Chaenogobius urotaenia</i>		7		2	5						14	0.25
<i>Acanthogobius flavimanus</i>						63	295	36	33	10	437	7.85
<i>Synechogobius hasta</i>										2	2	0.04
Gobiidae												
<i>Channa argus</i>						1					1	0.02

**Table 1.** The list and individual numbers of collected fishes in Taehwa river of 2017~2018 (Continued)

Families and species	2017*					2018**					Total	RA (%)***
	Pre	1st	2nd	3rd	4th	Pre	1st	2nd	3rd	4th		
Pholidae												
<i>Pholis nebulosa</i>		1		1			1	1	1		5	0.09
Terapontidae												
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>			1								1	0.02
Number of family	6	7	9	8	5	12	15	12	12	12	20	
Number of species	13	15	19	15	12	22	27	21	23	23	48	
Total individual	777	262	194	171	173	626	1,966	432	568	395	5,564	

\*2017: March 14~15 (Pre), March 22~23 (1st), April 3~4 (2nd), April 25~26 (3rd), April 26~27 (4th)

\*\*2018: March 6~7 (pre), March 8~12 (1st), March 15~16 (2nd), March 26~27 (3rd), April 22~23 (4th)

\*\*\*RA: relative abundance (%)

+: Korean endemic species

지막으로 출현한 4월 25일에 수온이 14.5~16.3°C를 나타내었다. 2018년 수온은 3월 방류 당시 8.8~8.9°C이었고, 연어가 마지막으로 출현한 4월 22일에 수온이 14.7~17.8°C를 나타내었다. 용존산소는 2017년에 조사기간 동안 5.3~8.4 mg/l의 범위를 나타내었고, 2018년에는 7.9~9.0 mg/l의 범위를 나타내었다. pH는 2017년 7.8~9.5, 2018년 8.4~9.5로 측정되었고, 염분은 2017년 0.11~22.8 psu, 2018년 0.1~24.9 psu의 범위를 나타내었다.

## 2. 조사시기별 어류상 변화

2017년과 2018년 태화강의 어류상은 각각 5회 조사를 실시하였으며, 태화강 4개소에서 방류 및 자연산 연어 치어를 모니터링한 결과는 Table 1과 같다. 2017년 어류조사는 St.1~St.4에서 총 11과 27종 1,577개체의 어류가 채집되었으며, 연어 치어는 3월 15일부터 4월 3일까지 총 155개체가 포획되었다. 잉어과 어류는 잉어 외 10종이 246개체(15.6%) 출현하였으며, 바다빙어과의 은어가 752개체(47.7%), 망둑어과의 날망둑 외 7종이 248개체(15.7%) 포획되었다. 출현종 중 우점종은 은어가 752개체(47.7%)로 가장 많았으며, 아우점종은 연어가 155개체(9.8%)로 나타났다. 다음으로 민물검정망둑이 132개체(8.4%), 누치 108개체(6.8%), 배스와 송어가 79개체(5.0%)를 차지하였다. 나머지 종은 5.0% 이하로 나타났다. 방류 전 조사에서는 총 6과 13종 777개체가 출현하였으며, 방류 후 1차 조사에서는 7과 15종 262개체, 2차에서는 9과 19종 194개체, 3차에서는 8과 15종 171개체, 4차에서는 5과 12종 173개체가 출현하였다. 사전 조사에서는 은어가 715개체(92.0%)로 가장 많이 출현하였으며, 방류 후 1차 조사에서는 연어가 84개체(17.6%)로 가장 많이 출현하였다. 연어는 방류 전 14마리가 채집되었으며, 방류 후 연어 치어는 141마리가 채집되었다. 1차 조사

및 2차 조사까지는 연어가 채집되었으나, 3차 조사를 실시한 4월 25일 이후 조사에서는 연어가 확인되지 않았다.

2018년 어류 조사 결과, St.1~St.4에서 총 18과 39종 3,987개체의 어류가 채집되었으며, 연어 치어는 3월 8일부터 3월 26일까지 총 349개체가 포획되었다. 잉어과 어류는 잉어 외 10종 1,033개체(25.9%) 출현하였으며, 송어과 송어가 1,457개체(36.5%), 망둑어과 날망둑 외 7종 840개체(21.1%) 포획되었다. 출현종 중 우점종은 송어가 1,457개체(36.5%)로 가장 많았으며, 아우점종은 피라미가 486개체(12.2%)로 나타났다. 다음으로는 문절망둑이 437개체(11.0%), 연어 349개체(8.8%), 누치 231개체(5.8%), 날망둑이 222개체(5.6%)를 차지하였다. 나머지 종은 5.0% 이하로 나타났다. 방류 전 조사에서는 총 12과 22종 626개체가 출현하였으며, 방류 후 1차 조사에서는 15과 27종 1,966개체, 2차에서는 12과 21종 432개체, 3차에서는 12과 23종 568개체, 4차에서는 12과 23종 395개체가 출현하였다. 사전 조사에서는 송어가 209개체(33.4%)로 가장 많이 출현하였으며, 방류 후 1차 조사에서도 송어가 746개체(37.1%)로 가장 많이 출현하였다. 방류 전 연어 치어는 채집되지 않았으며, 방류 후 연어 치어는 349개체가 채집되었다. 사전 조사에서 자연산 연어 치어는 채집되지 않았으나 1차 조사, 2차 조사 및 3차 조사까지는 채집되었으며, 4차 조사를 실시한 4월 22일 이후 조사에서는 확인되지 않았다.

2017~2018년 중 가장 많이 출현한 어류는 송어가 1,536개체 27.6%였으며, 아우점종은 은어가 757개체로 13.6%였다. 전체어류는 총 20과 48종 5,564개체였다.

## 3. 연어 치어의 시기별 성장

2017년 조사에서는 St.1에서 39개체, St.2에서 114개체 및 St.3

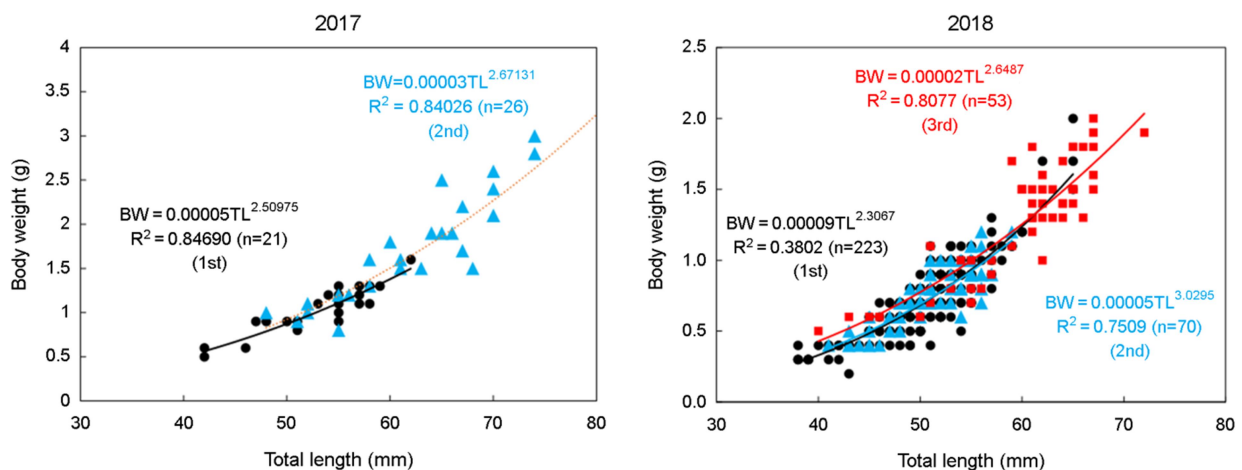
에서 2개체로 총 155개체의 어린 연어가 출현하였으며 St.4에서는 출현하지 않았다(Table 2). 2018년 조사에서는 St.2 구영교에서 121개체로 가장 많이 출현하였으며, St.1 29개체, St.3 80개체, St.4 119개체로 총 349개체의 연어가 출현하였다.

2017년 사전 조사에서 14개체의 자연산 연어 치어가 채집되었고, 전장  $45.2 \pm 6.1$  mm, 체중  $0.5 \pm 0.2$  g 및 비만도  $0.5 \pm 0.1$ 로 나타났다(Table 2). 방류 후 1차 조사에서는 84개체의 연어가 채집되었고, 전장  $53.3 \pm 5.2$  mm, 체중  $1.0 \pm 0.3$  g 및 비만도  $0.7 \pm 0.1$ 로 나타났다. 2차 조사에서 총 57개체의 연어가 출현하였고, 외부형질을 계측한 결과 전장  $63.8 \pm 8.3$  mm, 체중  $1.8 \pm 0.7$  g 및 비만도  $0.7 \pm 0.1$

로 나타났다. 사전 조사와 2차 조사(방류 후 20일)를 비교하면 전장은 평균 18.0 mm, 체중은 평균 1.3 g, 비만도는 평균 0.2가 증가하였으나 사전 조사와 2차 조사간 비만도의 유의한 차이가 나타나지 않았다. 2018년 조사에서는 St.1 선바위교에서 채집한 연어 치어의 외부형질을 계측한 결과, 1차 조사에서는 1,291개체의 연어가 채집되었고, 전장  $50.8 \pm 5.1$  mm 및 체중  $0.8 \pm 0.3$  g으로 나타났다. 2차 조사에서 총 85개체의 연어가 출현하였고, 전장  $51.3 \pm 4.1$  mm 체중  $0.8 \pm 0.2$  g으로 나타났다. 3차 조사에서는 총 52개체의 연어가 출현하였고, 전장  $60.0 \pm 6.7$  mm 체중  $1.3 \pm 0.4$  g으로 나타났다. 1차 조사와 3차 조사를 비교하면 전장은 평균 8.7 mm, 체

**Table 2.** Changes of growth and individual numbers of collected juvenile salmon in Taehwa river of 2017~2018

Measurement period	Individual					Total length (mm)	Folk length (mm)	Body depth (mm)	Body weight (g)	Condition factor	
	Total	St.1	St.2	St.3	St.4						
2017	Pre	14	13	1	0	0	45.2±6.1	39.5±6.4	7.1±1.4	0.5±0.2	0.5±0.1
	1st	84	19	63	2	0	53.3±5.2	46.2±5.2	9.0±1.4	1.0±0.3	0.7±0.1
	2nd	57	7	50	0	0	63.8±8.3	55.3±7.1	11.2±1.6	1.8±0.7	0.7±0.1
	3rd	0	0	0	0	0					
	4th	0	0	0	0	0					
2018	Pre	0	0	0	0	0	–	–	–	–	
	1st	226	27	88	48	63	50.8±5.1	48.6±5.2	7.5±1.1	0.8±0.3	0.6±0.1
	2nd	70	1	15	26	28	51.3±4.1	49.3±4.1	7.8±1.1	0.8±0.2	0.6±0.1
	3rd	53	1	18	6	28	60.0±6.7	56.1±6.8	9.3±1.3	1.3±0.4	0.6±0.1
	4th	0	0	0	0	0					



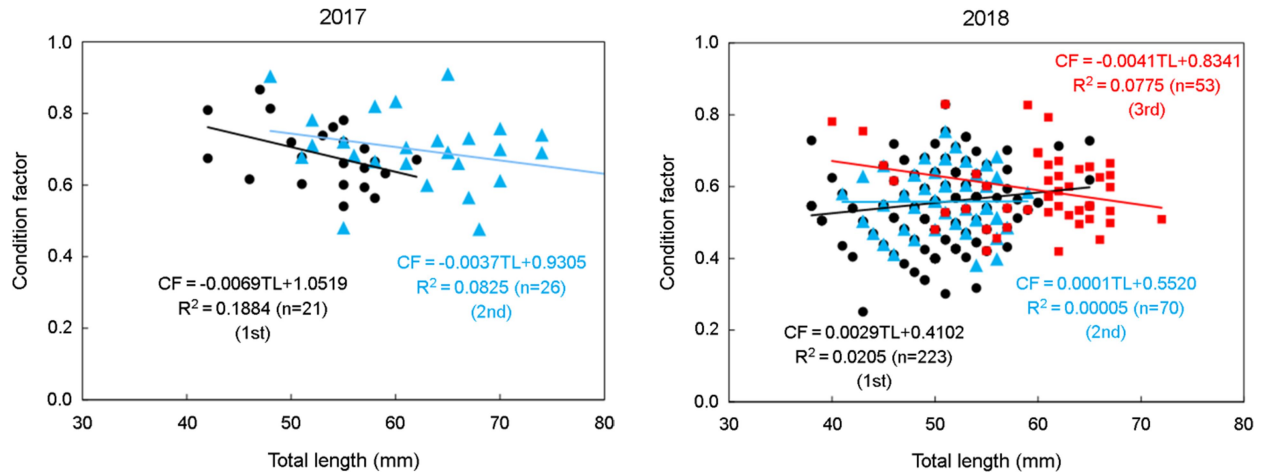
**Fig. 2.** Length-weight relationship of collected juvenile salmon in Taehwa river in 2017~2018. Each analysis of 2017 were proceeded at March 14~15 (A, pre-releasing), March 22~23 (B, 1st) and April 3~4 (C, 2nd). Each analysis of 2018 were proceeded at March 8~12 (D, 1st), March 15~16 (E, 2nd) and March 26~27 (F, 3rd).



중은 0.5 g이 증가하였으나 비만도는 1차, 2차 및 3차 조사에서 모두  $0.6 \pm 0.1$ 로 유지되었다. 이는 조사시기에 체중의 증가보다, 전

장과 체장의 성장에 집중하는 것으로 나타났다.

2017년 전장과 체중의 상대성장식은 1차  $BW=0.00005TL^{2.50975}$



**Fig. 3.** Condition factor of collected juvenile salmon in Taehwa river in 2017~2018. Each analysis of 2017 were proceeded at March 14~15 (A, pre-releasing), March 22~23 (B, 1st) and April 3~4 (C, 2nd). Each analysis of 2018 were proceeded at March 8~12 (D, 1st), March 15~16 (E, 2nd) and March 26~27 (F, 3rd).

**Table 3.** Food-habits of fishes collected at each site in Taehwa river

Food habits	St.1	RA (%)	St.2	RA (%)	St.3	RA (%)	St.4	RA (%)
Insective	<i>N. multifasciata</i> <i>T. brevispinis</i> <i>M. anguillicaudatus</i> <i>P. herzi</i> <i>R. brunneus</i> <i>P. altivelis</i>	5.3	<i>N. multifasciata</i> <i>T. brevispinis</i> <i>I. longicarpa</i> <i>M. anguillicaudatus</i> <i>R. brunneus</i> <i>P. altivelis</i>	9.4	<i>T. brevispinis</i> <i>H. nipponensis</i> <i>R. brunneus</i> <i>P. altivelis</i>	8.3	<i>T. brevispinis</i> <i>N. andersoni</i> <i>M. anguillicaudatus</i> <i>H. nipponensis</i> <i>K. punctatus</i> <i>P. altivelis</i>	14.6
Omnivory	<i>R. oxyrhynchus</i> <i>L. macrochirus</i> <i>Z. platypus</i> <i>H. laeo</i>	16.7	<i>R. oxyrhynchus</i> <i>L. macrochirus</i> <i>Z. platypus</i> <i>C. carpio</i> <i>H. laeo</i>	25.1	<i>Z. platypus</i> <i>H. laeo</i>	12.7	<i>K. bicoloratus</i> <i>T. bifasciatus</i> <i>F. gymnauchen</i> <i>H. sajori</i> <i>D. temminckii</i> <i>C. carpio</i> <i>C. auratus</i> <i>H. laeo</i>	9.2
Carnivore	<i>O. platycephala</i> <i>M. salmoides</i> <i>C. herzi</i> <i>T. hakonensis</i> <i>O. bidens</i>	7.9	<i>O. platycephala</i> <i>T. hakonensis</i> <i>M. salmoides</i> <i>C. herzi</i> <i>O. bidens</i>	22.8	<i>G. aculeatus</i> <i>C. argus</i> <i>C. castanea</i> <i>M. salmoides</i> <i>T. hakonensis</i> <i>O. bidens</i>	17.5	<i>G. aculeatus</i> <i>P. nebulosus</i> <i>A. flavimanus</i> <i>C. castanea</i> <i>S. hasta</i> <i>E. erythropterus</i> <i>L. japonicus</i> <i>L. maculatus</i> <i>T. hakonensis</i>	18.7

Relative abundance (%)



( $R^2=0.84690$ ), 2차  $BW=0.00003TL^{2.67131}$  ( $R^2=0.84690$ )이었으며, 2018년에는 1차  $BW=0.00009TL^{2.3067}$  ( $R^2=0.3802$ ), 3차  $BW=0.00002TL^{2.6487}$  ( $R^2=0.8077$ )이었다(Fig. 2). 비만도는 2017년 1차  $CF=0.0069TL+1.0519$  ( $R^2=0.1884$ ), 2차  $CF=0.0037TL+0.9305$  ( $R^2=0.0825$ )이었으며, 2018년 1차  $CF=0.0029TL+0.4102$  ( $R^2=0.0205$ ), 3차  $CF=0.0041TL+0.8341$  ( $R^2=0.0775$ )이었다(Fig. 3).

#### 4. 어린 연어 먹이경쟁 및 포식생물

어린 연어는 파리목(Diptera) 및 깔다구류(*Chironomus* spp.)가 가장 중요한 먹이생물이다(FIRA, 2016). 따라서 조사지점에서 출현한 어종 중 충식성으로 분류된 종을 파악하고, 잡식성이지만 치어 때 어린 연어와 같은 먹이원을 경쟁할 어종도 분류하였다(Table 3). 그 결과 충식성 및 잡식성으로 분류된 어종은 총 15종이고, 어린 연어와 먹이경쟁을 할 것으로 분류된 어종은 총 충식성 10종으로 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 수수미꾸리(*Cobitis multifasciata*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 은어(*Plecoglossus altivelis*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 등이 있고, 잡식성 중 어린 연어와 먹이경쟁을 할 것으로 여겨지는 것들을 분석한 결과, 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어(*Carassius carassius*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 피라미(*Zacco platypus*) 및 누치(*Hemibarbus labeo*) 등 총 11종이 출현하였다.

어린 연어를 포식하는 생물 조사는 포식 어종인 배스(*Micropterus salmoides*) 및 고리(*Opsariichthys bidens*)가 St.1~St.3까지 모두 출현하였고, 육식성 어종의 위 내용물을 분석한 결과 배스 및 고리의 위 내용물에 어린 연어가 포함이 되어있어 방류된 어린 연어에 대한 포식압이 높을 것으로 예상된다.

### 고 찰

방류한 연어 치어가 하천에서부터 연안까지 이동하기 위해서는 가장 안정적인 방류 장소, 방류량 및 하구로 이동할 때까지 걸리는 시간, 체중증가를 위한 먹이활동, 먹이경쟁 어종 등을 우선적으로 조사 및 분석할 필요가 있다. 본 연구는 국내 동해안에서 가을에 하천으로 올라가는 연어 어미로부터 수정란을 받아 어린 치어로 성장하여 보통 3월초에 하천에 방류를 실시하는데 이 시기에 방류에 따른 연어 치어의 생존, 먹이 및 하구까지의 이동 등에 대한 기초자료를 얻고자 수행한 것이다. 동해안 하천 중 태화강 하구는 공단지대가 발달하고 있어, 연어 치어를 방류 후 바다로 나가기 위한 조건이 다른 하천 양양 남대천 등과는 차이가 있다. 태화강은 하천 폭이 넓고, 수심이 깊은 지역이 많아 조류 및 치어를 포식할 수 있는 생물로부터는 보호될 수 있으나, 공단 등으로부터 나오는 오염 물질 등은 치어의 생존에 문제를 야기할 수 있다.

태화강의 전 지점에는 연어 치어를 포식하는 육식성 어종 및

잡식성 어종인 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 고리 및 배스 등의 어류가 많은 활동을 하고 있다. 그러나 많은 개체수의 포식성 어종을 연어 치어의 서식 때문에 포획하거나 먹이활동을 하지 못하게 하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 포식성 어류가 먹이활동을 시작하기 이전에 방류를 실시하여 포식생물들로부터 생존율을 높일 수 있는 시기를 선택해야 할 것이다. 연어 치어를 포식하는 고리의 경우, 여름철인 8월에 비해 겨울철인 1월에 개체수가 약 3배 정도 급격히 감소하여 누치, 고리 등의 어류가 월동을 위해 St.3(삼호교) 부근으로 이동함을 알 수 있었다(Kim and An, 2009). 따라서 방류시기를 조금 더 앞당길 수 있다면 고리 및 배스 등의 먹이활동이 왕성하지 않은 시기이므로 연어 치어의 생존율을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 대부분의 어류는 모두 시력을 이용하여 섭식하는 생물로 낮 시간에 많은 양의 먹이를 섭취하고 빛이 적거나 없는 야간에는 섭식활동을 하지 않으므로(Armstrong et al., 2003; Yamamoto et al., 2004) 빛의 영향이 없는 야간이나 새벽 시간에 연어 치어를 방류하는 것도 고려해 볼 필요성이 있다.

연어 치어 방류의 적정지역은 현재까지 방류를 진행해왔던 St.1(선바위교)과 St.2(구영교)가 적절할 것으로 판단된다. 상류까지 보가 건설되어 있지 않은 태화강의 특성상 St.3(삼호교)과 St.4(명촌대교)는 상대적으로 염분이 높고 누치나 고리와 같은 대형인 개체군이 하류 및 기수역에 해당되는 St.3 인근 수역에 대량으로 출현하였기(Kim et al., 2010) 때문에 포식생물들이 많이 서식하고 있는 St.3과 St.4는 연어 치어 방류 지역으로 적절하지 않을 것으로 판단된다.

각 지점에서는 방류한 연어 치어를 포식하는 어종으로 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 고리, 동사리(*Odontobutis platycephala*) 배스, 꼭저구(*Gymnogobius urotaenia*), 문절망둑(*Acanthogobius flavimanus*), 베도라치(*Pholis nebulosa*) 및 풀망둑(*Synechogobius hasta*) 등이 많은 출현을 하고 있어, 포식 어종의 구제를 통해 연어 치어의 생존율을 높일 수 있는 방법을 강구해야 한다. 2년간 4개 지점 조사에서 총 20과 48종의 어류가 출현하였는데 연어 치어를 포획할 수 있을 가능성이 있는 어종에 대하여 더 많은 개체와 종의 위 내용물 분석이 필요하겠다. 또한 이번 조사에는 연어 치어를 포식할 수 있는 어류에 중점을 맞춰 조사하였지만 추후 조사에서는 연어 치어를 포식할 가능성이 있는 조류(새 등), 양서류 및 파충류 등 다른 동물군의 조사도 필요할 것으로 판단된다.

지역에서 생물군집의 변화는 다양한 스트레스의 영향 또는 오염에 대한 종합적인 반응의 결과이며, 환경으로부터 받는 축적된 영향을 설명할 수 있는 현상으로 나타나게 된다. 또한 군집의 종 다양성은 종의 이질성(species heterogeneity)으로 높은 종 다양도는 유사한 종들이 매우 풍부하게 서식하고 있는 경우를 말한다. 종 다양도는 군집의 안정도에 대한 척도가 되기도 하며, 군집의 성숙도를 나타낸다. 또한 다양한 종이 나타나는 것은 종간의 상호

작용이 다양하기 때문이며, 그 결과 에너지의 이동, 먹이망(food web), 포식관계(relationship of predator), 경쟁(competition), 생태적 지위(ecological niche) 등을 포함한 개체군의 상호작용이 복잡하게 나타남을 의미한다. 그러므로 연어 치어의 방류 후보지역에 대한 군집 구조에 관한 좀 더 체계적인 연구가 요구된다.

러시아와 일본에서 수행된 연어 치어의 위 내용물 조사에서 연어 치어들은 갈따구의 유생 및 번데기, 하루살이 유생, 날도래목, 강도래목 유생들을 주로 섭취하는 것으로 나타났다(Frolenko, 1970; Kaeriyama, 1986). 연어의 치어는 하천 및 기수역에서 갈따구류 등을 섭취하는 충식성을 띠다가 바다로 이동하였을 때, 단각류를 선호하는 것으로 바뀌는 먹이 전환시기를 갖게 된다(Kang et al., 2007; Kwon et al., 2014). 바다로 이동한 연어과 어류의 치어들은 주로 표층에서 먹이활동을 하기 때문에 표층의 플랑크톤 조성에 따라 섭식 먹이생물이 다르게 나타난다고 보고된 바 있다(Kaga et al., 2012; Kwon et al., 2014). Kwon et al. (2014)의 연구에 따르면, 10시~15시 사이에 해양에서 채집된 연어가 요각류가 아닌 단각류인 *Hyperia galba*의 섭취가 많았는데, 이는 요각류는 주간 심층으로 이동하는 반면, *H. galba*는 표층으로 이동하기 때문이라고 보고하였다. 따라서, 태화강 인근 해역의 표층에 서식하는 플랑크톤의 분포 및 주야간 수직회유 현황과 주야간 별 연어의 위 내용물을 조사하여 먹이전환시기 및 시간대별 연어의 먹이 생물 변화를 조사할 필요가 있다.

Miyakoshi et al. (2007)의 연구에 따르면, 북해도 인근 동해안과 오후츠크해안의 표층수온이 8~13°C되는 4월말과 5월말에 각각 연어 치어를 방류하였는데, 태화강 지역에 방류한 연어 치어도 태화강 인근 해역의 표층수온이 8~13°C가 되는 3월초에 방류하였다. 이는 위도에 따른 해안의 표층수온 차이로 인해 북해도 지역의 연어 방류시기가 태화강 지역에 비해 느린 것으로 사료된다. 2년간의 연어 치어 조사 결과 자연산 연어 치어를 포함한 태화강의 연어 치어는 평균 14~17°C로 수온이 높아지기 시작하는 4월 초에 바다로 이동하는 것으로 추정되며, 하천에서 1~2개월 서식하는 과정에서 은화(smoltification)가 진행된 후 바다로 이동하는 것으로 나타났다(Kwon et al., 2014). 따라서 연어 치어가 연안으로 이동하는 시기에 맞춰 St.4 하류부터 연안까지의 조사 범위를 넓히는 것도 필요할 것으로 보인다. Kaeriyama (1998)의 연구에 따르면, 연어 치어의 전체 개체수 대비 방류산 연어 치어의 비율이 70~80%일 때 2.0~2.8%의 회귀율을 보인 반면, 90% 이상일 때, 회귀율이 4.1%까지 증가했다고 보고하였다. 그리고 평균 체중이 0.6~0.7 g인 연어 치어를 방류하였을 때, 회귀율이 2.0~3.2%으로 나타났으나, 평균 체중을 0.95 g로 증가시켜 방류하였을 때는 회귀율이 4%로 증가하였다. 즉, 방류산 연어 치어의 개체수와 평균체중은 회귀율과 각각 정비례 관계에 있다고 보고하였다(Kaeriyama, 1998). 따라서, 연어의 회귀율을 증가시키기 위해서는 방류 전 연어 치어의 개체수와 평균 체중을 증가시킬 수 있는 양식기법을 개발해야 할 것이다. 아울러, 연어 포식 어종의 명확한 동정을 위

해 연어 치어를 포식할 것으로 예상되는 어종의 위 내용물 검사를 분석해야 할 것이다. 방류산 및 자연산 연어가 적응하고 살아가기 위해서는 먹이생물과 포식생물이 중요한 역할을 하므로 이에 대한 수산자원의 보호 및 방류사업 등도 활발해져야 할 것으로 보인다. 또한 많은 포식생물이 서식하고 있는 태화강 특성상 배스 및 블루길 등 유해생물 퇴치작업도 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 논문은 한국수산자원공단 동해본부 내수면생명자원센터의 연어방류사업(2017~2018년)의 지원을 받아 수행되었다. 연구에 도움을 주신 울주군 태화강생태관 김나리님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- Anderson RO, Neumann RM. 1996. Length, weight, and associated structural indices. pp. 447-482 in B.R. Murphy and D.W. Willis, editors. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Armstrong JL, Boldt JL, Cross AD, Moss J, Davis ND, Myers KW, Walker RV, Beauchamp DA, Halderson LJ. 2003. Glovec research: food habits and feeding patterns of gulf of Alaska juvenile pink salmon, Jan 2003 Gulf of Alaska SI Meeting Posters, 1.
- FIRA. 2016. 2016 Recapture and Resource Environment Survey of Salmon. 155.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. J Appl Ichthyol 22: 241-253.
- Frolenko LA. 1970. Feeding of chum and pink salmon juveniles migrating downstream in the main spawning rivers of the northern coast of in the Sea of Okhotsk. zv. Tikhookean. nauchno Issled. Inst Rybn Khoz Okeanogra 71: 179-188.
- Groot C, Margolis L. 1991. Pacific salmon life histories. UBC Press, Vancouver, pp 564.
- Jung MK. 1977. The fishes of Korea. Il-Ji Sa, Seoul, pp 727.
- Kaeriyama M. 1986. Ecological study on early life of the chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum). Sci Rep Hokkaido Salmon Hatchery 40: 31-92.
- Kaeriyama M. 1998. Dynamics of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, populations released from Hokkaido, Japan. N Pac Anadr Fish Comm Bull No. 1. 90-102.
- Kaga T, Sato S, Azumaya Y, Davis N, Fukuwaka M. 2012. Lipid content of immature chum salmon (*Oncorhynchus keta*) affected by pink salmon (*O. gorbuscha*) abundance in the

- central Bering sea, NFAFC Technical Report 8: 87.
- Kang SK, Yang H, Lee CS, Choi SH. 2007. Stomach contents of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fingerlings in Namdae stream. J Korean Soc Ocean 12: 89-93.
- Kim IS. 2005. Illustrated book of Korea fisher, Kyohaksa, Seoul, 615.
- Kim JD, Yang H, Cho YC, Kim YC, Cho MY. 2010. Monitoring pathogens and characteristics of fish community in the Taehwa river. Korean J Environ Biol 28: 143-149.
- Kim SA, Kang SK, Seo HJ, Kim EJ, Kang MH. 2007. Climate variability and chum salmon production in the north pacific. J Korean Soc Ocean 12: 64-65.
- Kim YP, An KG. 2009. Characteristics of physico-chemical water quality characteristics in Taehwa river watershed and stream ecosystem health assessments by a multimetric fish model and community analysis. Korean J Limnol 43: 428-436.
- Kwon ON, Kim JK, Yoon MG, Kim DH, Hong KE. 2014. Marine prey selectivity of released juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during arly marine migration in Korean waters. J Fisher Mar Sci Edu 26: 421-429.
- Lee WO, Noh SY. 2011. Characteristics of Korean freshwater fish. JiSeongsas. Seoul. 432.
- Miyakoshi Y, Saitoh S, Matsuoka A, Takada M, Asami H, Fujiwara M, Nagata M. 2007. Comparison of release timing of hatchery-reared juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to spring coastal sea surface temperature during high and low survival period. GIS/Spatial Anal Fishery Aquat Sci 3: 227-240.
- Nakdong River Flood Control Office. 2017. Real-time observation system, <http://www.nakdongriver>.
- Nakdong River Flood Control Office. 2018. Real-time observation system, <http://www.nakdongriver>.
- Nelson JS. 1994. Fishes of the World 3rd. John Wiley and Sons, New York, USA. pp 600.
- Seong KB. 1998. Artificial propagation of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Korea. NPAFC Bulletin No. 1, 375-379.
- Wentworth CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J Geol 30: 377-392.
- Woo HS. 2001. River hydraulics, Changmoon Publishing Co., Ltd. pp 363.
- Yamamoto M, Makino H, Kobayashi J, Tominaga O. 2004. Food organism and feeding habits of larval and juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* at Ohama beach in Hiuchi-Nada, the central Seto inland sea. Jpn Fisher Sci 70: 1098-1105.
- Zoo TK. 1990. Status and prospects of Salmon enhancement program in Korea. 25th commemorative publication of Korean Salmon Farming, Misungsa, Seoul, 178-186.