

## 강원도 남대천에서 방류된 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 연안 분포 및 이동 특성

김두호 · 김주경<sup>1</sup> · 최종국 · 윤병선<sup>2</sup> · 오승용<sup>3\*</sup>

한국수산자원공단 동해생명센터, <sup>1</sup>한국수산자원공단 남해생명센터, <sup>2</sup>다한생태연구소, <sup>3</sup>한국해양과학기술원 해양생명자원연구부

## Coastal Distribution and Movement of Juvenile Chum Salmon *Oncorhynchus keta* Released in Namdaecheon, Gangwon-do, Korea

Doo Ho Kim, Ju Kyoung Kim<sup>1</sup>, Jong Kok Choi, Byoung Sun Yoon<sup>2</sup> and Sung-Yong Oh<sup>3\*</sup>

Aquatic Living Resources Center of East Sea, Korea Fisheries Resources Agency, Gangwon 25041, Republic of Korea

<sup>1</sup>Southern sea office, Korea Fisheries Resources Agency, Jeonnam 59753, Republic of Korea

<sup>2</sup>Dahan Ecological Research Institute, Gangwon 25417, Republic of Korea

<sup>3</sup>Marine Biotechnology & Bioresource Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

To analyze the distribution and migration patterns of chum salmon fry, survey was conducted four times from March to April 2020 using a surface water pair trawl in the coastal waters of Gangwon Province. The number of fry per unit area of chum salmon fry averaged 2,302 Inds./km<sup>2</sup> (1,625 to 2,984 Inds./km<sup>2</sup>). The number of fry per unit area, total length and condition factor of caught fry under water temperatures above 12°C significantly increased compared to those under below 12°C ( $P<0.05$ ). Analysis of the otolith markers showed that fry released in Namdaecheon and Wangpicheon moved north along the coast and were captured off the coast of Sokcho. The results of this study provide key information on the initial coastal recruitment, distribution, migration, and biological indicators of chum salmon fry released in the Namdaecheon area, and can be used to determine the timing of salmon release in the area.

Keywords: Chum salmon fry, Distribution characteristic, Migration, Otolith patterns

## 서 론

세계적으로 인구가 증가하면서 안전하고 영양가 있는 적절한 식량과 식재료 생산에 대한 관심이 높아지면서 수산자원은 식량으로서의 가치가 크게 증가하고 있다(Naylor et al., 2021; Ho et al., 2022). 우리나라에서 2016–2020년의 평균 연간 수산물 소비량은 66–68 kg에 이를 정도로 세계 최고 수준이며 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있다(Oh et al., 2013; Park, 2017; Jin et al., 2021). 특히 수산물 중에서 연어 소비량은 가파른 증가 추세를 보이고 있어 2000년대에는 1만 1천톤의 수입량에 불과했지만, 2020년에는 4만 3천톤으로 급격히 증가하였다 (Kim, 2018a; MOMAF, 2023). 또한 연어는 세계 10대 슈퍼 푸

드 중 유일한 어류로, 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 연어 소비가 증가 추세에 있으며, 국내에서 생산되는 연어류는 수입량의 10% 미만 수준으로 생산량이 매우 미비한 실정이다(Kim, 2018b; Ho et al., 2022).

특히 국내에서 생산되는 대부분의 연어류는 내수면에서 양식된 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)로 전체의 90.6%를 차지하며, 최근 식품으로 인기가 높은 연어(*Oncorhynchus keta*)와 송어(*Oncorhynchus masou*) 등은 국내 생산량의 9.4%에 지나지 않아 연어류의 수입은 지속적으로 증가될 것으로 예상된다(Lee et al., 2007). 우리나라의 연어(*O. keta*) 어획량은 1996–2000년까지 평균 14.1만마리로 어획량이 많았지만, 2001–2005년에는 평균 3.9만마리로 급격하게 감소하였고,

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 664. 3310 Fax: +82. 51. 955. 3981

E-mail address: syoh@kiost.ac.kr

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0540>

Korean J Fish Aquat Sci 58(5), 540-550, October 2025

Received 8 August 2025; Revised 9 September 2025; Accepted 12 September 2025

저자 직위: 김두호(연구원), 김주경(연구원), 최종국(연구원), 윤병선(연구원),

오승용(책임연구원)

2006–2010년에는 6.3만마리, 2011–2015년에는 8.8만마리로 점차 증가하는 경향을 보였지만 2016–2019년에는 7.2만마리, 2020–2023년에는 0.9만마리를 나타내어 감소하는 경향을 보이고 있다(Kim, 2024; Choi, 2025).

연어(*O. keta*)는 냉수성 어종으로 한국 동해안에 서식 및 회유하는 연어과 어류 중 가장 대표적인 종으로 자갈과 모래가 혼재된 곳에서 산란이 이루어진다(Shaklee et al., 1999; Kim et al., 2005). 자연상태의 연어는 부화까지 약 60일이 소요되며 (Groot and Margolis, 1991; Myoung and Kim, 1993; Zhang et al., 1995), 부화 후 저층에서 30–35일에 걸쳐 난황을 흡수한 후 표층으로 이동하여 먹이를 섭취하는 특성을 가지고 있다(Myoung and Kim, 1993; Zhang et al., 1995). 연어는 먹이섭취를 시작하고 30–50일 정도 하천생활을 하고 바다로 이동하며, 이 시기가 되면 몸체에 은색 광택소포가 발달하면서 갈색점 무늬가 사라지는 스몰트화(smoltification)가 진행되면서 해양환경에 적합하게 체형, 채색 및 아가미의 형태가 변화된다(Myoung and Kim, 1993; Zhang et al., 1995; Sundh et al., 2010).

연어 자원의 증대를 위해 방류된 연어 치어의 초기 생존율과 회귀율은 방류시기, 방류장소 및 방류량 그리고 하천과 연안 해역에서 섭취하는 먹이생물의 양적 및 질적 변동, 하천 및 해양 환경의 변화에 따라 달라진다(Fukuwaka and Suzuki, 2000; Kang et al., 2007; Kwon et al., 2014). 이와 같은 방류 연어의 초기 생존율, 성장 특성 및 방류 개체의 회귀 비율을 조사하기 위한 방법으로 이석 표지 방법을 사용하고 있다(Bardach et al., 1972; Eggers et al., 2004; Quinn, 2005).

우리나라는 발안란 시기에 수온 자극을 통해 표지하는 방법을 사용하고 있으며, 한국수산자원공단 동해생명자원센터, 경북 민물고기연구소, 태화강생태관 등의 기관에서는 고유의 패턴을 표지하여 연어 치어를 방류하고 있다(Lee et al., 2007). 연어류 자원에 대한 국제적 협의 기관인 북태평양소하성어류위원회 (North Pacific Anadromous Fish Commission, NPAFC)는 연어 이석의 표지정보를 매년 등록하도록 하여 이석의 패턴 분석을 통해 방류년도와 방류 국가를 판별하고 있지만(Kim, 2007; Lee et al., 2007), 아직까지 우리나라에서는 이석 표지 정보를 바탕으로 한 방류 효과를 조사한 연구는 이루어진 바가 없다.

최근 연어 치어가 가장 많이 방류되는 남대천의 하천 수온과 동해 연안의 수온 변동에 의해 연어의 초기 가입 특성, 먹이생물, 초기 생존율 등의 변화로 연어 치어의 초기 생존율이 감소하여 어미 연어의 회귀율에 큰 영향을 미치고 있는 실정이다(Fukuwaka and Suzuki, 2000; Lee et al., 2007; Kim, 2024). 따라서 본 연구에서는 연어 치어 방류 효과를 높이기 위한 방류시기 선정을 위해 강원도 양양군 남대천 인근의 연안 해역에서 표층 쌍끌이어선을 이용하여 하천에서 연안 해역으로 가입하는 연어 치어의 표지 개체 비율, 이동 특성 및 초기 성장 특성 등 생물학적 특성 변동과 가입량의 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 조사 정점 및 방법

연어 치어는 NPAFC에서 부여받은 패턴(즉, 3-3-4H)을 발안란 시기에 표지하여 남대천에서 2020년 2월 20일과 3월 10일에 각각 200만마리와 310만마리, 총 510만마리(평균 무게 0.9–1.0 g)를 방류하였다. 방류 연어의 연안 지역 조사는 하천에서 연안 해역으로 가입되는 시기를 고려(Kang et al., 2007)하여 2020년 3월 30일(1차), 4월 7일(2차), 4월 16일(3차) 그리고 4월 20일(4차)에 실시하였다. 조사 위치는 강원도 속초 및 양양 연안 해역의 총 6개 정점으로, 속초시 청호동(정점 1), 양양군 물치항(정점 2), 낙산항(정점 3), 남대천(정점 4), 수산항(정점 5), 동호리(정점 6) 연안이다(Table 1, Fig. 1). 연어 포획방법은 각 정점 별로 연안 해역을 따라 이동하면서 표층에서 수심 5 m까지 채집이 가능한 자체 제작한 쌍끌이그물을 사용하였다. 채집에 사용된 어구는 날개그물, 자루그물과 어포부로 구성되며, 전개했을 때의 최대 망폭은 가로 13 m, 망고는 4.5 m이었으며, 그물코 크기는 날개그물은 5 cm, 자루그물은 2 cm, 어포구 0.5 cm이었다. 어구 형태는 트롤과 유사하지만 그물 상층부에 부력을 높

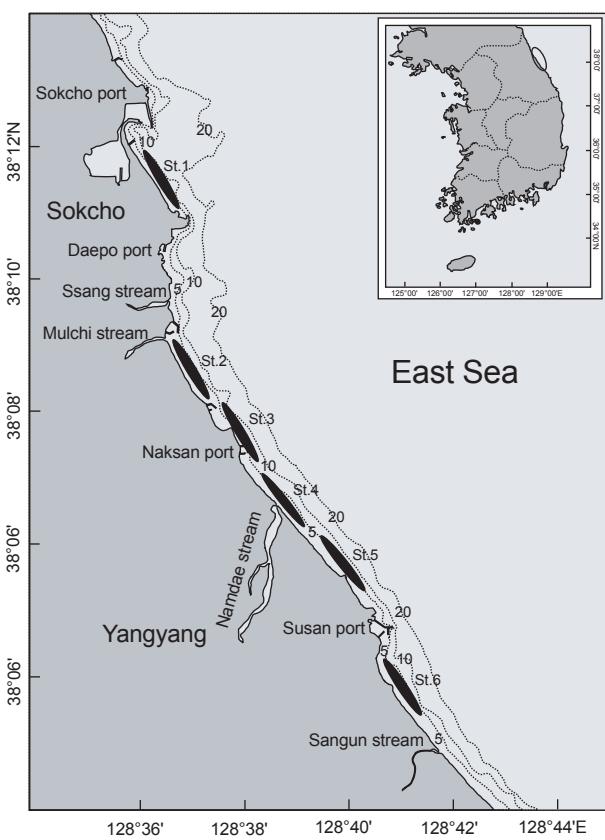


Fig. 1. The map showing sampling sites in the coastal waters of Gangwon province.



Fig. 2. A view of the nets deployed and hauled out to catch chum salmon *Oncorhynchus keta*.

여 그물을 전개하고 이동할 때에 그물의 상층부는 표면에 위치하고 저층부는 무게 추를 넣어 표층에서 4.5 m 아래까지 내려가도록 하였다(Fig. 2). 어구 예망은 속도 1-2노트(knot), 예망은 평균 40분을 실시하였으며, 예망 거리는 투망 후 10분 간격으로 선박의 GPS 장치를 이용하여 위·경도 좌표를 기록하여 계산하였다.

### 조사 해역의 수온

연어 치어가 연안 해역으로 가입하는 시기의 해수온 변화를 분석하기 위하여, 국립해양조사원에서 낙산해수욕장 인근에 설치(위도 38°07' 21"N, 경도 128°39' 02"E)한 해양관측부이의 3월 21일-4월 20일의 수온 자료(<https://www.nifs.go.kr/risa/main.risa>)를 분석하였다.

### 연어 치어의 생물학적 특성 및 이석패턴 분석

어획된 연어 치어는 전장(total length)은 0.1 cm, 체중은 0.01 g까지 측정하였다. 각 정점의 마리수와 생체량은 소해면적법(면적당 개체수=N/SA×q)을 사용하여 단위 면적당(Inds./km<sup>2</sup>)으로 환산하여 정량화하였으며, 어획효율(q)은 Prado (1990)의 방법으로 0.5를 적용하였다. 여기서 N은 마리 수, SA (swept area)는 소해면적, q는 어획효율을 각각 나타낸다.

연어 치어의 건강도를 판단하기 위한 비만도(condition factor)는 생체량과 전장을 반영한 식을 사용하여 산출하였다.

Table 1. The sampling sites in the coastal waters of Gangwon province

Station	Locations of the throw net		Locations of the hauling net	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
St.1	38°12'02.3"	128°36'01.1"	38°10'47.9"	128°37'04.1"
St.2	38°09'00.7"	128°36'46.8"	38°08'04.4"	128°37'29.9"
St.3	38°07'44.0"	128°37'51.3"	38°06'58.9"	128°38'26.8"
St.4	38°06'45.0"	128°38'42.0"	38°05'58.9"	128°39'30.4"
St.5	38°05'41.9"	128°39'46.5"	38°05'12.5"	128°40'22.3"
St.6	38°04'31.2"	128°40'46.8"	38°03'33.8"	128°41'10.3"

$$\text{비만도} = (\text{전중량}/\text{전장}^3) \times 100$$

조사 해역에서 출현한 연어 치어의 전장 분포를 분석하기 위하여 조사 시기별로 어획된 개체들을 0.5 cm 간격으로 전장을 구분하여 크기별 출현 빈도(%)를 분석하였으며, 출현 빈도가 높은 구간을 주모드로 구분하였다. 방류 연어의 표지 분석을 위해 머리 부분을 절개한 후 이석 표본을 확보한 뒤 표면의 이석낭과 이물질을 제거한 후 알코올로 세척하고 글리세린(glycerin)이 담긴 well plate에 개체별로 보관하였다. 표지는 이석에 형성된 일륜을 위상차현미경(Primaster 1; ZEISS, Oberkochen, Germany)으로 분석하였다. 이석의 일륜 관찰은 슬라이드글라스에 이석을 고정한 후 시상단을 사포를 사용하여 연마한 후 알루미늄 파우더(alumina powder)로 광택을 내었고, 거리측정 프로그램을 이용하여 핵에서 첫 패턴이 형성된 거리, 패턴과 패턴 사이의 거리 등을 측정하여 형성된 패턴을 검증하는 작업을 실시하였다.

하천에 방류한 연어 치어들이 연안에 가입 및 이동하는 특성을 분석하기 위하여, 1차-4차까지 조사된 정점들을 A구역(청초항-대포항 해역), B구역(쌍천-낙산항 해역), C구역(낙산항-수산항 해역) 그리고 D구역(수산항 남쪽 해역)으로 구분하여 구역별 연어 치어의 분포 밀도를 분석하였다.

### 통계처리

모든 자료는 통계 프로그램 SPSS 11.5 (SPSS INC., Chicago, IL, USA)를 사용하여 조사 시기별 수온의 차이와 각 정점에서 출현한 연어 치어의 생물학적 특성(전장, 생체량, 비만도)의 차이에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 유의한 차이가 있을 경우 Duncan's multiple range test로 95% 신뢰수준에서 평균간 유의성을 검증하였다.

### 결 과

#### 양양 해역의 수온의 변화

연어 치어의 가입이 이루어지는 남대천 하구가 위치한 낙산

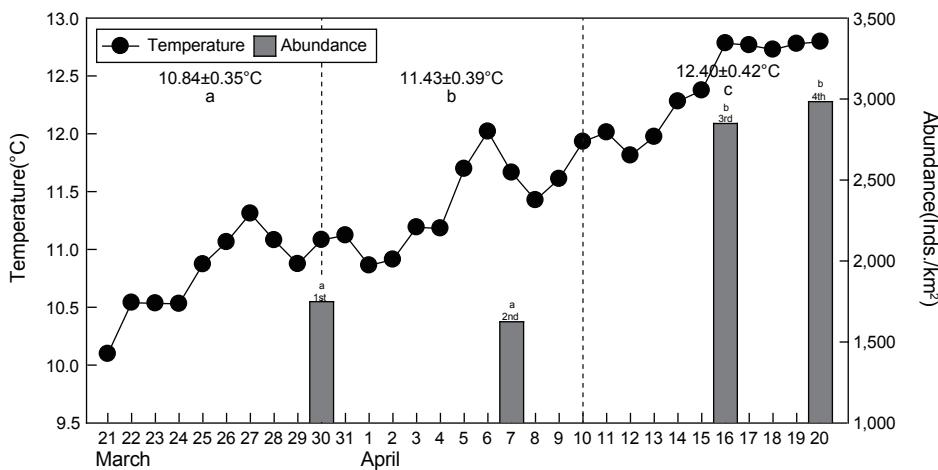


Fig. 3. Daily fluctuations in surface water temperature and the abundance by survey time. Values with different letter are significantly different ( $P<0.05$ ).

해수욕장 인근 해변의 수온을 분석한 결과, 3월 21–31일까지의 평균 표층 수온은  $10.84 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았고( $P<0.05$ ), 4월 1–10일까지의 평균 표층 수온은  $11.43 \pm 0.39^{\circ}\text{C}$ 로 상승하였다( $P<0.05$ ). 포획된 연어 치어의 단위 면적당 개체수가 높았던 4월 11–20일의 평균 표층 수온은  $12.40 \pm 0.42^{\circ}\text{C}$ 로 조사 기간 중에 수온이 가장 높은 특징을 보였다( $P<0.05$ , Fig. 3).

#### 연어 치어의 분포 및 가입 특성

1차 조사의 경우 6개의 정점에서 총 44개체가 어획되었으며, 단위 면적당 개체수(Inds./ $\text{km}^2$ )로 환산한 결과 6개의 정점에서 총 1,749개체/ $\text{km}^2$ 가 분포하였다. 서식 밀도는 정점 1과 정점 5에서 각각 55개체/ $\text{km}^2$ 와 59개체/ $\text{km}^2$ 로 나타나 가장 낮았으며, 정점 2에서는 801개체/ $\text{km}^2$ 로 가장 높았다(Fig. 4). 2차 조사에서는 6개의 정점에서 총 40개체가 어획되었고, 단위 면적당 개체수는 총 1,625개체/ $\text{km}^2$ 로 나타나 1차 조사와 유사한 서식 밀도를 보였다. 정점 3에서는 연어 치어가 어획되지 않았고, 정점 1( $76\text{개체}/\text{km}^2$ )에서 서식 밀도가 가장 낮았고 정점 4( $866\text{개체}/\text{km}^2$ )에서 가장 높았다. 3차 조사에서는 기상의 악화로 정점 1–5 (총 5개)의 정점에서만 조사가 수행되었으며, 총 87개체가 어획되었다. 단위 면적당 개체수는 총 2,849개체/ $\text{km}^2$ 로 1차와 2차 조사에 비해 서식 밀도가 증가하였다. 서식 밀도는 정점 5에서 가장 낮았고( $78\text{개체}/\text{km}^2$ ) 정점 4( $1,386\text{개체}/\text{km}^2$ )에서 가장 높았다. 4차 조사의 경우 총 6개의 정점에서 총 88개체가 어획되었으며 단위 면적당 개체수는 총 2,984개체/ $\text{km}^2$ 로 3차 조사와 유사한 경향을 보였다. 서식 밀도는 정점 6( $168\text{개체}/\text{km}^2$ )에서 가장 낮았고 정점 1( $801\text{개체}/\text{km}^2$ )과 정점 3( $864\text{개체}/\text{km}^2$ )에서 높게 나타났다. 조사 시기별 연어 치어의 연안 가입 특성은 3월 30일과 4월 7일에 각각 1,749개체/ $\text{km}^2$ 와 1,625개체/ $\text{km}^2$ 를 보였지만, 4월 16일과 20일에는 각각 2,849개체/ $\text{km}^2$ 와 2,984개체/ $\text{km}^2$ 로 증가하는 경향을 보였다.

#### 연어 치어의 생물학적 특성

##### 연어의 조사 시기별 전장

연안 추적조사에서 포획된 연어 치어의 평균 전장은 1차 및 2차 조사의 경우 각각  $5.4 \pm 1.2\text{ cm}$ 와  $5.8 \pm 0.8\text{ cm}$ 로 유의한 차이를 보이지 않았지만( $P>0.05$ ), 3차 조사와 4차 조사에서는 각각  $6.6 \pm 0.8\text{ cm}$ 와  $6.8 \pm 0.8\text{ cm}$ 로 증가하였다( $P<0.05$ ). 1차 조사에서 정점별 연어 치어의 평균 전장은 정점 5(즉,  $6.5 \pm 0.0\text{ cm}$ )로 가장 크게 나타났고, 정점 2( $5.1 \pm 0.6\text{ cm}$ )에서 가장 작았지만 유의한 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 2차 조사는 정점 1( $7.2 \pm 0.8\text{ cm}$ )에서 가장 크게 나타났고( $P<0.05$ ), 정점 2( $5.2 \pm 0.7\text{ cm}$ )에서 가장 작았다. 정점 3–6의 평균 전장은  $5.5$ – $6.1\text{ cm}$ 로 정점 2에 비해 컸지만( $P<0.05$ ), 정점 1에 비해서는 작았다( $P<0.05$ ). 3차 조사에서도 평균 전장은 정점 1( $7.6 \pm 0.6\text{ cm}$ )에서 가장 컸으며( $P<0.05$ ), 정점 3–5에서는 평균  $6.1$ – $6.5\text{ cm}$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 4차 조사의 경우 정점 1과 2에서 각각 평균 전장  $6.3 \pm 0.4\text{ cm}$ 와  $5.9 \pm 0.4\text{ cm}$ 로 작은 개체들이 분포했던 반면, 정점 3–6에서는 평균  $6.9$ – $7.2\text{ cm}$  범위의 크기의 큰 개체들이 분포하는 것으로 나타났다( $P<0.05$ , Fig. 5).

##### 연어 치어의 생체량 분포 특성

연안 추적조사에서 포획된 연어 치어의 평균 생체량은 1차 및 2차 조사의 경우 각각  $1.39 \pm 1.10\text{ g}$ 과  $1.33 \pm 0.68\text{ g}$ 로 유사했지만, 3차와 4차 조사에서는 각각  $1.78 \pm 0.69\text{ g}$ 과  $2.41 \pm 1.04\text{ g}$ 로 증가한 경향을 보였다( $P<0.05$ ). 1차 조사는 정점 6에서 평균  $2.04 \pm 1.61\text{ g}$ 로 가장 높은 생체량을 보였고 정점 2에서 평균  $0.90 \pm 0.32\text{ g}$ 로 가장 낮았지만 유의한 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 2차 조사는 평균 생체량은 정점 1에서  $2.32 \pm 0.73\text{ g}$ 로 가장 높았지만( $P<0.05$ ), 그 외의 정점들 간에는 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 3차 조사는 정점 4에서  $1.66 \pm 0.60\text{ g}$ 로 가장 낮았지

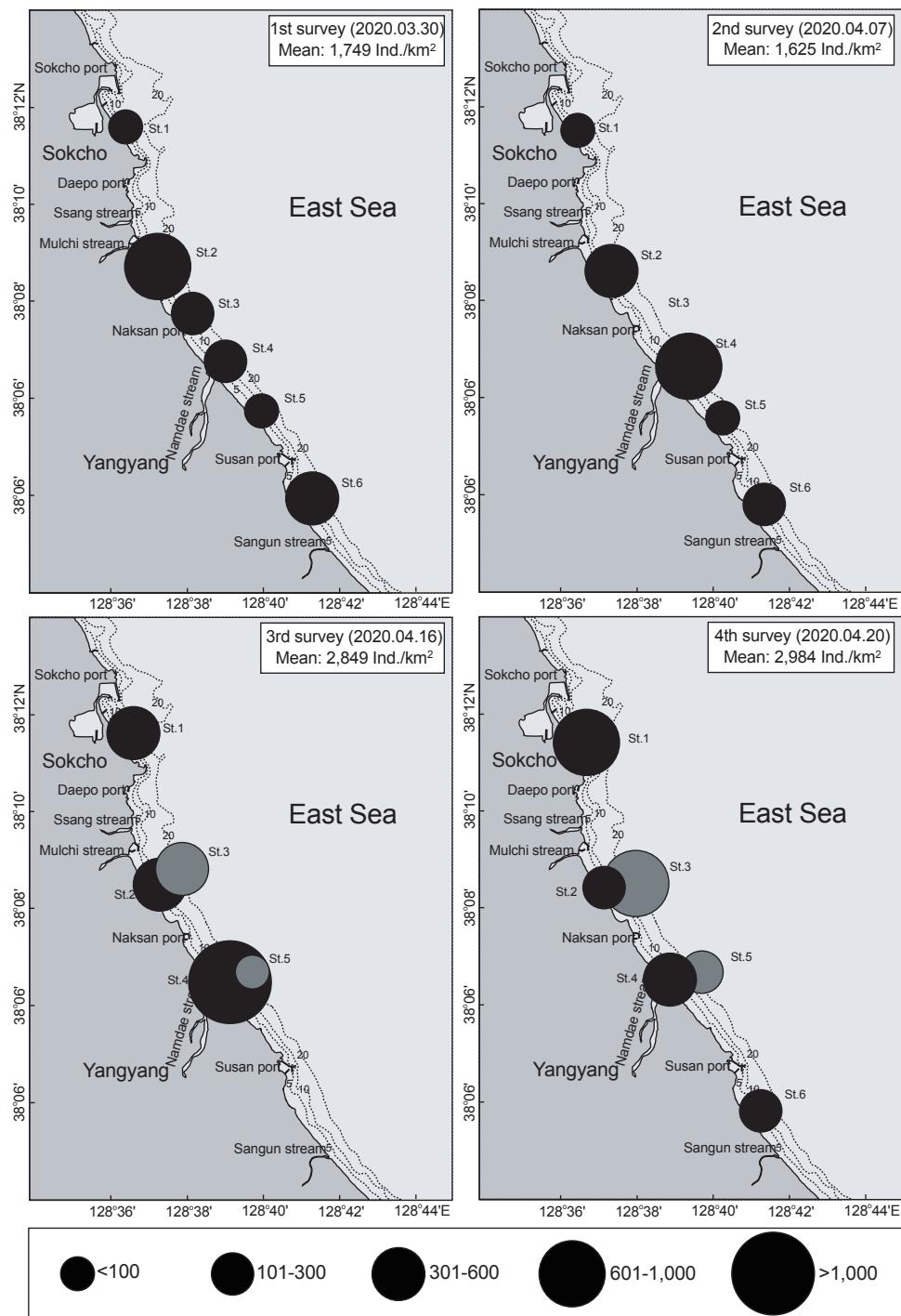


Fig. 4. Spatial distribution of abundance (Inds./km<sup>2</sup>) of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by survey time and stations.

만( $P<0.05$ ), 4차 조사에서는 생체량에서 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ , Fig. 6).

#### 연어 치어의 비만도

연안 추적조사에서 포획된 연어 치어의 비만도는 1차 조사

에서 평균  $0.76 \pm 0.06$ 로 가장 높았고, 2차와 3차 조사에서 각각  $0.65 \pm 0.04$ 와  $0.59 \pm 0.04$ 로 감소하였지만 4차 조사에서  $0.74 \pm 0.04$ 로 증가하였다( $P<0.05$ ). 조사 시기별로 연어 치어의 비만도는 1차 조사의 정점 6에서 평균  $0.80 \pm 0.06$ 로 가장 높았

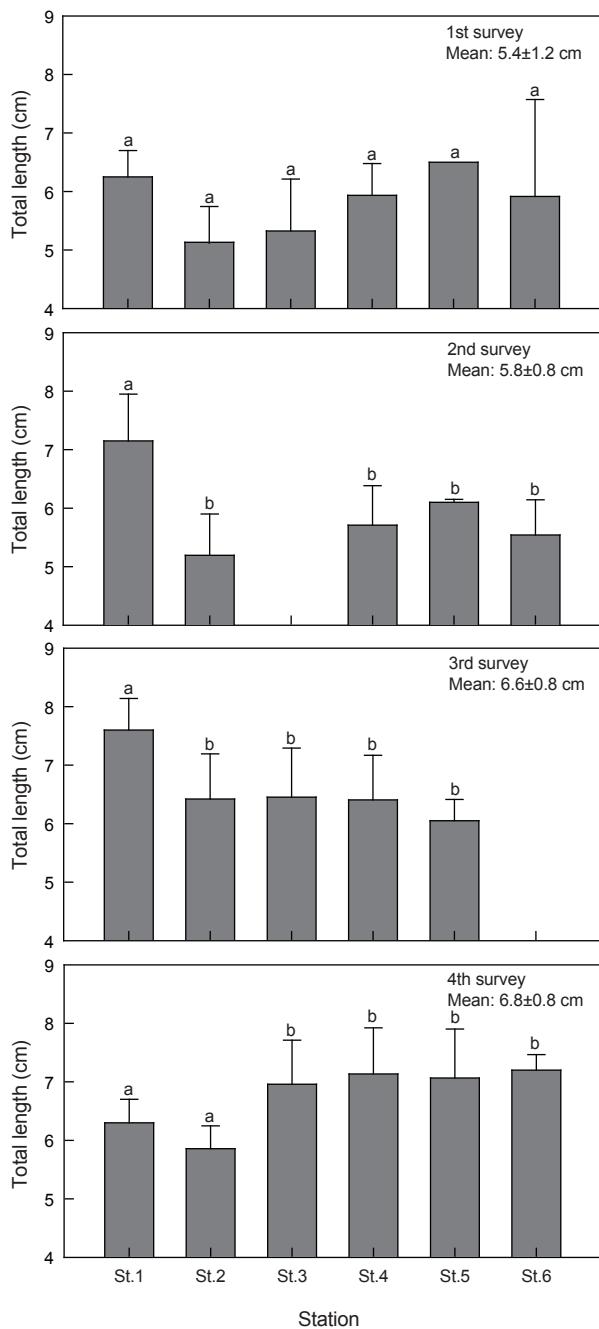


Fig. 5. The total length of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by survey time and stations. Values with different letter are significantly different ( $P<0.05$ ). In 2nd survey, chum salmon were not caught at St.3. Additionally, in the 4th survey, the survey at St. 6 could not be conducted due to worsening weather conditions.

고 정점 5에서 평균  $0.64 \pm 0.00$ 로 가장 낮았지만( $P<0.05$ ), 그 외의 정점들에서는 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 2차 조사와 3차 조사에서는 정점간 유의한 차이를 보이지 않았지만

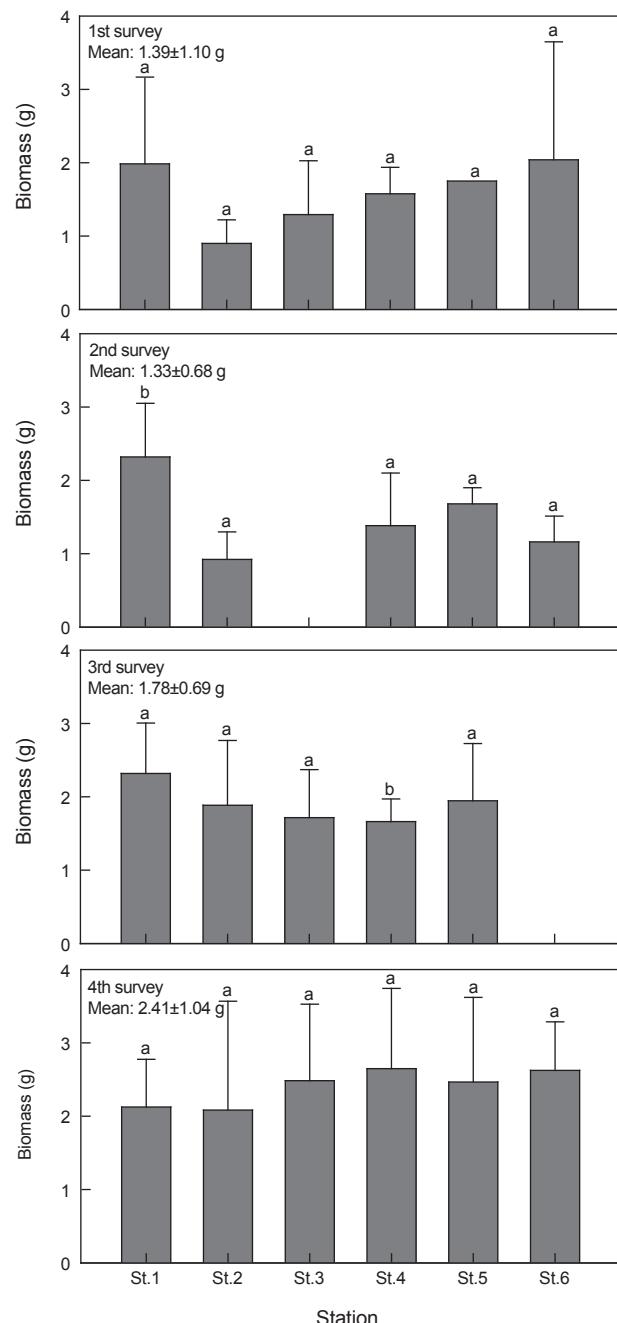


Fig. 6. The biomass of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by survey time and stations. Values with different letter are significantly different ( $P<0.05$ ). In 2nd survey, chum salmon were not caught at St.3. Additionally, in the 4th survey, the survey at St. 6 could not be conducted due to worsening weather conditions.

( $P>0.05$ ), 4차 조사에서 정점 5에서 평균  $0.77 \pm 0.02$ 로 비만도가 가장 높았지만 그 외의 정점들은 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.04$ , Fig. 7).

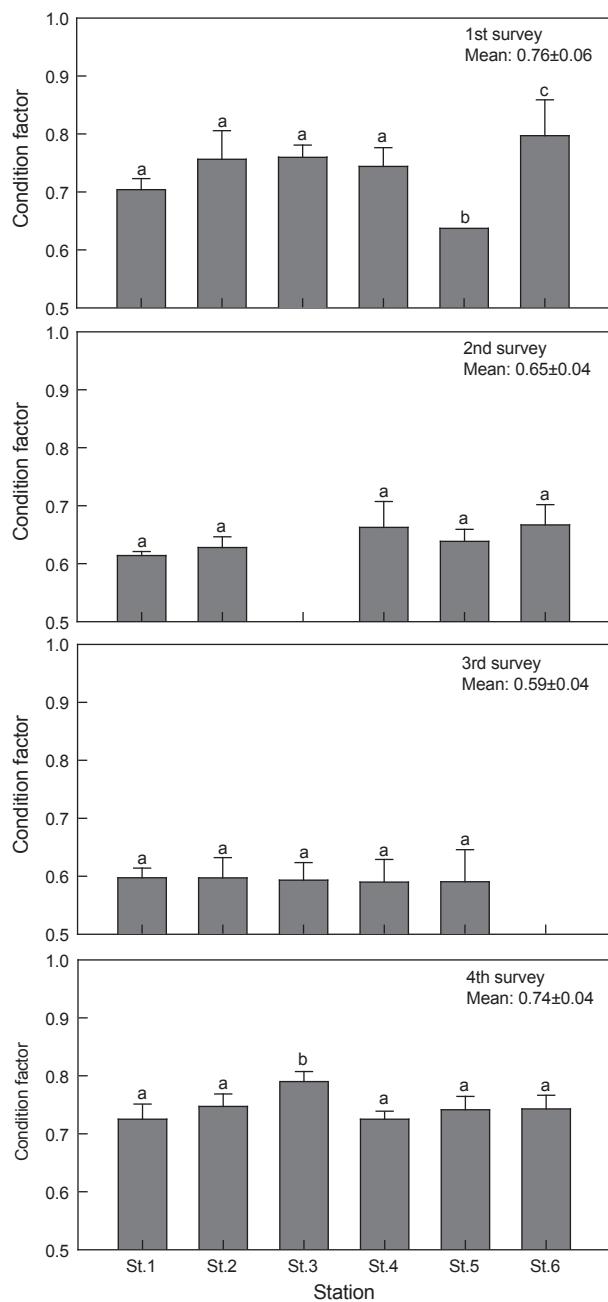


Fig. 7. The condition factor of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by survey time and stations. Values with different letter are significantly different ( $P < 0.05$ ). In 2nd survey, chum salmon were not caught at St.3. Additionally, in the 4th survey, the survey at St. 6 could not be conducted due to worsening weather conditions.

#### 연어 치어의 조사 시기별 전장 분포

연안 추적조사에서 어획된 연어 치어 259개체를 이용하여 전장의 분포를 분석한 결과, 평균 전장은 6.3 mm로 주모드는

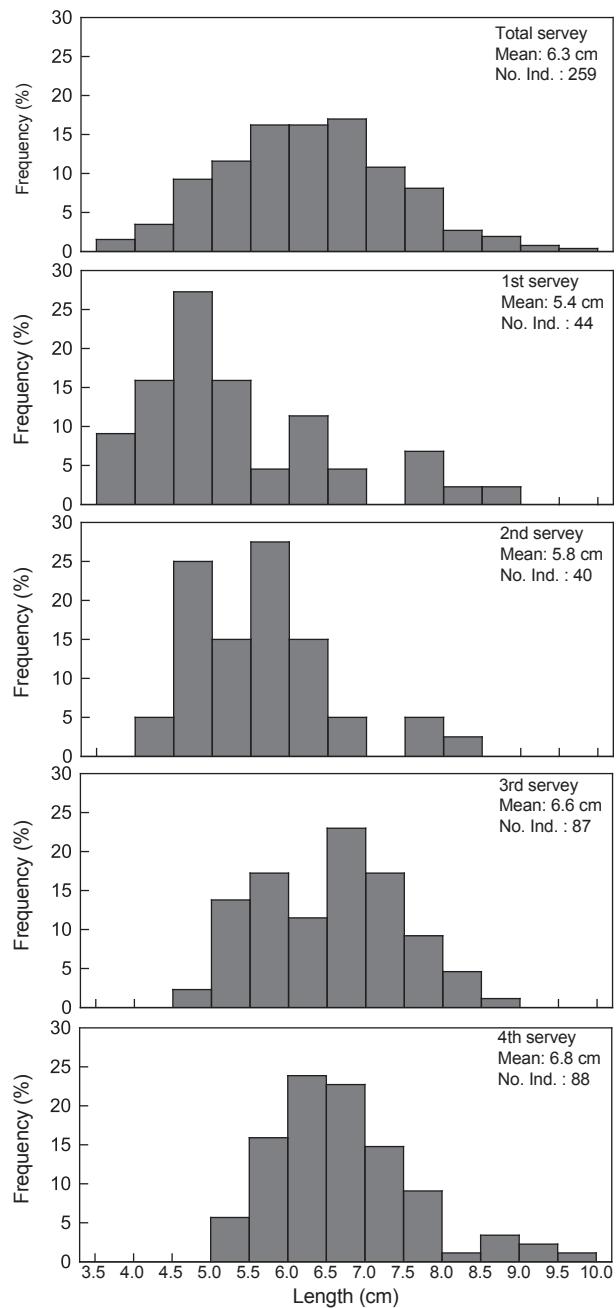


Fig. 8. Length frequency distribution of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by survey time.

5.5–7.0 mm에서 나타났다(Fig. 8). 1차 조사에서 어획된 총 44 개체의 평균 전장은 5.4 mm였고 주모드는 4.0–5.5 mm, 6.0–6.5 mm, 그리고 7.5–8.0 mm에서 나타났다. 2차 조사에서 어획된 총 40개체의 평균 전장은 5.8 mm이었고 주모드는 4.5–5.0 mm, 5.5–6.0 mm, 그리고 7.5–8.0 mm에서 나타났다. 3차 조사에서는 총 87개체가 어획되었으며, 평균 전장은 6.6 mm로

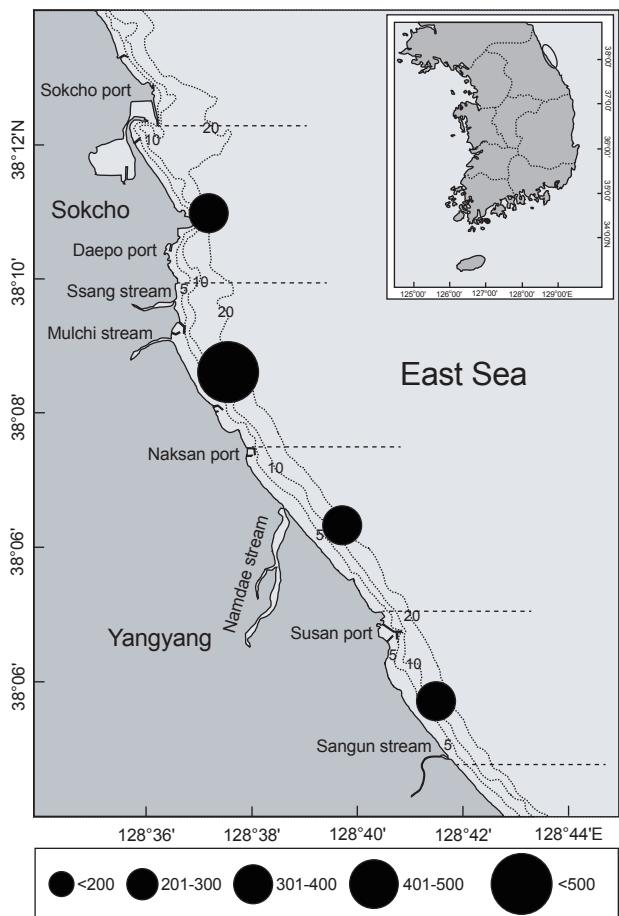


Fig. 9. Spatial distribution of abundance (inds./km<sup>2</sup>) of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* by sampling area.

크게 증가한 경향을 보였으며, 주모드는 2개로 5.0–6.0 mm와 6.5–7.5 mm에서 나타났다. 4차 조사에서는 총 88개체가 어획되었으며, 평균 전장은 6.8 mm로 주모드는 2개로 6.0–7.0 mm와 8.5–9.5 mm에서 나타났다.

#### 연어 치어의 이식 패턴 및 이동 특성

연어 치어의 이식에 표시된 암대와 투명대를 관찰하여 마킹된 패턴을 분석한 결과, 259개체 중에서 한국수산자원공단 동해생명자원센터에서 표지한 3-3-4H의 패턴을 가진 개체들은 총 26개체로 전체의 10.0%를 차지하였고, 경북민물고기연구센터에서 표지한 4n-4-2H 패턴의 2개체가 출현하여 전체의 0.8%를 차지하였다. 조사 시기별로 패턴을 가진 연어 치어의 분포를 살펴보면 1차 조사에서는 총 44개체 중에서 9개체(20.5%), 2차 조사에서는 총 40개체 중에서 3개체(7.4%)가 3-3-4H의 패턴을 보였다. 3차 조사에서는 총 87개체 중에서 7개체(8.0%)가 3-3-4H의 패턴을 보였고, 2개체(2.3%)가 4n-4-2H의 패턴을 보였다. 4차 조사에서는 총 88개체 중에서 7개체(8.0%)가 3-3-4H

의 패턴을 나타냈다.

해역별 연어 치어의 분포 밀도를 분석한 결과 A구역(청초항-대포항 해역)에서는 단위 면적당 개체수는 평균 326개체/km<sup>2</sup>, B구역(쌍천-낙산해역)에서는 평균 549개체/km<sup>2</sup>로 연어의 서식밀도가 가장 높게 나타났다( $P<0.05$ ). C구역(낙산-오산해역)에서는 출현한 연어는 평균 365개체/km<sup>2</sup>였는데, D구역(수산항 남쪽해역)에서는 평균 321개체/km<sup>2</sup>로 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ , Fig. 9).

#### 고찰

연어의 산란 및 부화는 8–12°C의 수온이 가장 적합한 것으로 알려져 있으며, 적산수온이 480–530°C(평균 500°C)가 되면 부화하며, 자연 상태에서는 수정 후 부화까지 약 60일이 소요되는 것으로 알려져 있다(Groot and Margolis, 1991; Myoung and Kim, 1993; Zhang et al., 1995). 부화된 난황 자어(alevins)는 평균 2.0 cm 전후로 광활성(photokinesis), 주지성(geotaxes)과 주류성(rheotaxis)의 특성을 가지고 있어 바닥으로 이동하여 자체의 난황을 30–35일간 완전히 흡수하는 내생적 영양(endogenous feeding) 단계를 거친다(Myoung and Kim, 1993; Zhang et al., 1995; Rumsey, 2022). 난황의 흡수가 끝난 연어 치어(juvenile chum salmon)는 저층에서 부상하여 유영활동을 시작하며 하천에서 약 80–100일 정도를 머무르다가 바다로 이동하는데, 하천에서 서식하는 동안 섭취하는 먹이생물의 양적 및 질적 변동은 연어의 초기 생존율과 회귀율에 영향을 미치게 된다(Kang et al., 2007; Kwon et al., 2014). 양양의 남대천에 방류된 연어 치어가 바다로 가입되는 시기에 실시한 조사 결과 1차 조사에서 1,749개체/km<sup>2</sup>, 2차 조사에서 1,625개체/km<sup>2</sup>, 3차 조사에서 2,849개체/km<sup>2</sup> 그리고 4차 조사에서 총 2,984개체/km<sup>2</sup>가 연안 해역에 분포하는 것으로 나타나 4월 초순부터 하천에서 연안 해역으로 가입되는 연어 치어의 개체수가 증가하는 양상을 보였다(Fig. 4). 연어 치어가 가입되는 시기에 양양 해역의 표층 수온은 3월에는 평균 10.6°C, 4월에는 12.1°C로 나타나(Fig. 3), 표층 수온이 약 12.0°C가 되면서 하천에서 연안 해역으로 가입되는 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 부화한 연어 치어가 하천에서 서식할 때의 적정 서식 수온은 10–12°C이며, 수온이 점진적으로 증가하면서 연안 해역으로 가입하여 15°C 이상이 되면 깊은 수심으로 이동하는 것으로 알려져 있다(Fukuwaka and Kaeriyama, 1994; Fukuwaka and Suzuki, 2000; Minegishi et al., 2019). 본 연구에서도 연안의 수온 12.0°C 이상에서 가입하는 개체수가 급격하게 증가하는 경향을 보였으며, 수온이 증가하면서 점차 북쪽에 위치한 정점들로 이동하는 경향을 보였다. 따라서 연어 치어의 초기 생존율과 해역 적응도를 높이기 위해서는 하천에서의 체류 기간을 고려하여 연안 가입 시기의 수온이 12–15°C의 범위가 될 수 있도록 방류시기의 조절이 필요한 것으로 판단된다. 연어 치어의 방류량이 가장 많은 강원도 속초와 양양 해역의 3–5월 사이의 표

총 수온은 최근 약 10°C 이상의 수온을 보이고 있으며, 본 연구 결과에서는 4월 중순 이후 수온이 12°C 이상을 보이고 연안 해역에서 연어 치어의 개체수가 증가하는 것으로 나타나 적정수온이 나타나는 시기를 고려하여 방류해야 할 것으로 생각된다.

연어 치어의 전장을 분석한 결과 1차 조사에서 평균 5.4 cm (1.39 g)와 2차 조사에서 5.8 cm (1.45 g)로 가입 초기에는 6.0 cm 이하의 개체들의 비율이 높았지만, 3차 조사에는 6.6 cm (1.78 g), 4차 조사에서는 6.8 cm (2.24 g)로 3차 조사 이후에는 6.0 cm 이상의 개체들의 비율이 높았다(Fig. 5). Homel and Roegner (2020)는 Columbia강과 연안 해역의 조사에서 강의 중류 지역에서는 5.5–6.0 cm 크기의 연어가 주로 분포하지만 스몰트화를 마친 개체들이 연안 해역에 가입했을 때에는 6.5–7.0 cm로 개체들의 크기가 증가하는 경향으로 본 조사와 유사한 결과를 보였다. 연어 치어의 전장 주모드는 1차 조사 4.0–5.5 cm와 6.0–6.5 cm, 2차 조사 4.5–5.0 cm, 5.5–6.0 cm 그리고 7.5–8.0 cm, 3차 조사 5.0–6.0 cm와 6.5–7.5 cm, 4차 조사 6.0–7.0 cm와 8.5–9.5 cm로 나타났다(Fig. 8). 조사 간격(8–9 일)과 주모드의 변동을 고려하면 채집된 연어 치어는 8–9일 동안 약 8–10 mm의 성장이 이루어져 일일 성장률은 1–1.3 mm/day로 나타났다. Orsi et al. (2000)에 따르면 연어 치어는 연안 해역에서 1–1.6 mm/day의 성장률을 보고하여 본 연구 1–3차의 성장률과 유사하였다. 하지만 3차 조사 이후의 전장 분포에서 나타난 성장률은 상대적으로 낮았는데, 성장률이 낮아진 것은 연안 해역에 가입된 연어 치어들이 수온의 상승과 성장에 따라 성장이 빠른 개체들이 깊은 수심으로 이동하였기 때문으로 생각된다(Minegishi et al., 2019; Fukuwaka and Suzuki, 2000; Orsi et al., 2000). 향후 방류된 연어 치어의 정확한 성장률 추정을 위한 연구는 다양한 수층에서 폭넓게 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

연어 치어의 전장과 생체량을 이용한 비만도 분석 결과, 1차 조사에서 비만도가 가장 높았고 2차와 3차 조사에서는 감소하는 경향을 보였지만 4차 조사에서 다시 상승하는 것으로 나타났다(Fig. 7). 연어 치어는 방류된 하천에서 적응하여 활발하게 먹이활동을 한 후에 연안으로 가입이 이루어지기 때문에 연안 가입 초기에는 영양상태가 좋아 비만도가 높게 나타나지만, 해양에서는 염분변화와 먹이적응을 거치면서 먹이 섭취율이 감소하여 비만도가 낮아질 수 있다. 일반적으로 어류는 수온 및 염분 등 환경요인이 변화하면 스트레스를 받아 일시적으로 먹이 활동이 감소하는 것으로 알려져 있다(Elliott, 1991; Hong et al., 2004; Ibarz et al., 2010). 연어 치어는 12°C 이하의 낮은 수온에서 먹이활동을 활발하게 하지 못해 위 내용물이 감소하고, 수온이 12–14°C로 상승하면 활발한 먹이활동이 이루어진다(Fukuwaka and Suzuki, 2000; Homel and Roegner, 2000). 본 조사에서도 수온이 12°C 이하인 1–2차 시기의 경우 낮은 먹이 섭취로 비만도가 낮아진 것으로 생각되며, 반면 수온이 12°C 이상으로 상승한 3차 조사 이후에는 연안 해역에 가입된 이후 연안

환경에 적응하여 활발한 먹이활동으로 비만도가 증가한 것으로 판단된다(Fukuwaka and Suzuki, 2000; Hong et al., 2004).

연어 이식에 3-3-4H 패턴을 가진 개체는 26개체, 4n-4-2H 패턴을 가진 개체는 2개체였는데, 패턴을 가진 개체의 비율은 1차 조사에서는 20.5%로 높았지만 2차–4차 조사에서는 7.4–10.3%의 비율로 낮아졌다. 표지된 연어 치어의 비율이 낮은 것은 하천에 방류된 연어 치어가 조사 시기보다 빠르게 연안 해역으로 이동하였거나 연안 표층 수온의 상승으로 4월 중순 이후에 연안 해역으로 가입된 개체들이 깊은 수심으로 빠르게 이동된 결과로 추정된다. 따라서 향후 하천에 방류한 연어 치어가 연안 해역으로 가입되는 시기보다 빠른 시기부터 모니터링 조사를 실시하고, 어획된 연어 치어 이식의 표지 패턴을 분석하여 초기 이동 특성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

연어 치어의 공간 분포 특성은 청초항-대포항 해역에서 평균 326개체/km<sup>2</sup>, 쌍천-낙산항 해역에서는 평균 549개체/km<sup>2</sup>, 낙산항-오산항 해역에서는 평균 365개체/km<sup>2</sup>, 수산항 남쪽 해역에서는 평균 321개체/km<sup>2</sup>인 것과 연어 치어의 방류가 낙산항의 남쪽에 위치한 남대천에서 이루어지는 것을 고려하면 연어 치어는 북쪽으로 이동하는 것으로 판단된다. 3차와 4차가 되면서 북쪽에 위치한 정점들에서 개체수가 감소하는 것은 크기가 성장하고 수온이 증가하면서 깊은 수심으로 이동하는 특성에 기인한 것으로 생각된다(Fukuwaka and Kaeriyama, 1994; Fukuwaka and Suzuki, 2000; Minegishi et al., 2019). 연어 치어가 연안 해역으로 가입된 이후에 북쪽으로 이동하는 것은 연어 치어의 이식에 표지된 패턴을 분석한 결과에서도 유사하게 나타났다. 연안 해역의 3차 조사(4월 16일)의 정점 1에서 포획된 개체들 중에서 경북민물고기연구센터에서 발안란 시기에 표지한 4n-4-2 패턴을 가지고 있는 개체들이 포함되어 있어 삼척에서 속초까지 이동한 것으로 확인되었다. 속초 연안 해역에서 포획된 개체들은 3월 2일에 삼척의 왕피천에서 방류한 개체들로 왕피천 하구역에서 본 조사 정점 1까지 연안 해역을 따라 이동한 거리는 지도상 약 172 km로, 방류 일을 기준으로 45일 동안의 이동거리를 일간 이동거리로 환산하면 3.8 km/day 이동한 것으로 나타났다. 방류된 개체들이 하천의 길이와 먹이 및 수온 조건에 따라 하천에 머무는 기간이 달라지길 하지만 일반적으로 하천에서 체류하는 기간인 20일(Kang et al., 2007)을 이동 일수에서 제외하고 연안 해역에서 속초까지 실질적으로 이동한 일수인 25일을 적용하면 일간 이동 속도는 6.9 km로 추정되었다. 이전 연구에 따르면 Simenstad et al. (1982)은 3.0–7.0 km/day, Bottom et al. (2008)은 9.0 km/day 이하, Morita et al. (2015)은 2.6–8.0 km/day 이동한다고 보고하고 있어 본 연구에서 추정한 일간 이동 속도인 6.9 km/day와 유사하였다. 연어 치어들의 이동속도는 연안의 해류 및 수온, 먹이생물의 분포, 해저지형 등 다양한 환경요인의 영향(Simenstad et al., 1982; Bottom et al., 2008)을 받기 때문에 정확한 이동 특성을 규명하기 위해서는 해양 환경, 먹이 분포 및 섭취 특성에 대한 추가적

인 조사와 더불어 장기적인 이동 특성에 대한 추가 조사가 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과로 볼 때 남대천에서 방류된 연어 치어는 수온이 10~12°C에서 하천에서 연안 해역으로 가입되는 개체수의 비율이 낮았지만 12°C 이상이 되면서 연안 해역으로 가입되는 개체수가 증가하는 것으로 나타났다. 남대천에서 연안 해역으로 가입된 연어 치어는 수심이 5~10 m인 연안 해역을 따라 북쪽으로 이동하면서 먹이 활동을 통해 약 7 cm로 성장하였다. 본 연구 결과는 남대천 지역에 방류된 연어 치어의 가입, 개체군 분포, 이동 특성과 성장 등에 대한 기초적인 정보를 제공하며, 향후 해당 지역의 연어 방류 시기와 자원평가에 활용할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 2025년도 한국수산자원공단 동해생명자원센터 수산종자자원관리사업(FIRA-RP-25-002)의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Bardach JE, Ryther JH and McLarney WO. 1972. Culture of the Pacific salmons (*Oncorhynchus* spp.). In: Aquaculture: The Farming and Husbandry of Freshwater and Marine Organisms. Wiley-Interscience, New York, NY, U.S.A., 450-502.
- Bottom DL, Anderson G, Baptista A, Burke J, Burla M, Bhuthimethi M, Campbell L, Casillas E, Hinton S, Jacobson K, Jay D, McNatt R, Moran P, Roegner GC, Simenstad CA, Stamatou V, Teel D and Zamon JE. 2008. Salmon Life Histories, Habitat, and Food Webs in the Columbia River Estuary: An Overview of Research Results, 2002-2006. Fish Ecology Division, NOAA Fisheries, Northwest Fisheries Science Center, Seattle, WA, U.S.A.
- Choi JK. 2025. Ecological and physiological studies for enhancing the productivity of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. M.S Thesis, Gangneung-Wonju National University, Gangwon, Korea.
- Eggers DM, Fukuwaka M, Irvone J and Karoenko V. 2004. Marine Ecosystems of the North Pacific. PICES Special Publication, Sidney, Canada, 230-259.
- Elliot JM. 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. Freshw Biol 25, 61-70. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1991.tb00473.x>.
- Fukuwaka M and Kaeriyama M. 1994. A back-calculation method for estimating individual growth of juvenile chum salmon by scale analysis. Sci Rep Hokkaido Salmon Hatchery 48, 1-9.
- Fukuwaka M and Suzuki T. 2000. Density-dependence of chum salmon in coastal waters of the Japan Sea. N Pac Anadr Fish Comm Bull 2, 75-81.
- Groot C and Margolis L. 1991. Pacific Salmon Histories. UBS Press, Vancouver, Canada, 564.
- Ho HC, Brodersen J, Gossner MM, Graham CH, Kaeser S, Chacko MR, Seehausen O, Zimmermann NE, Pellissier L and Altermatt F. 2022. Blue and green food webs respond differently to elevation and land use. Nat Commun 13, 6415. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34132-9>.
- Homel K and Roegner GC. 2020. Migration rates of hatchery chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry in the Columbia River estuary. Information reports number 2020-03. Oregon Department of Fish and Wildlife, Fish Division, Salem, OR, U.S.A.
- Hong KP, Kim PK, Jeon JK, Kim YH, Park YJ, Myoung JG and Kim JM. 2004. Serum stress responses during seawater acclimation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Ocean Polar Res 26, 433-438. <https://doi.org/10.4217/OPR.2004.26.3.433>.
- Ibarz A, Padrós F, Gallardo MÁ, Fernández-Borrás F, Blasco J and Tort L. 2010. Low-temperature challenges to gilthead sea bream culture: Review of old-induced alterations and Winter Syndrome. Rev Fish Biol Fish 20, 539-556.
- Jin YH, Ryu SH, Kwak JE, Kim RR, Choi YH, Lee MS and Hwang IS. 2021. Prevalence, virulence characteristics and antimicrobial resistance of *Listeria monocytogenes* isolated from salmon products. Korean J Food Sci Technol 53, 495-500. <http://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.4.495>.
- Kang SK, Yang H, Lee CS and Choi SH. 2007. Stomach contents of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fingerlings in Namdae stream. J Kor Soc Oceanogr 12, 86-93. <https://doi.org/10.7850/jkso.2007.12.2.086>.
- Kim BT. 2018a. An analysis of the consumer perception on imported fisheries products after implementation of FTAs: Focusing on main products. J Fish Bus Admn 30, 633-642.
- Kim BT. 2018b. An analysis of the impact of FTA tariff elimination on the export price of Norwegian fresh and chilled salmon to Korea. J Fish Bus Adm 49, 37-48. <https://doi.org/10.12939/FBA.2018.49.2.037>.
- Kim DH. 2024. Studies on the ecological and aquacultural physiology for complete aquaculture of chum salmon, *Oncorhynchus keta* of Korea. M.S Thesis, Gangneung-Wonju National University, Gangwon, Korea.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohaksa Press, Seoul, Korea, 615.
- Kim JH. 2007. Use of parasites for stock analysis of Salmonid fishes. J Korean Soc Oceanogr 12, 112-120. <https://doi.org/10.7850/jkso.2007.12.2.112>.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2025. Survey on the Status of Fish Culture. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Jun 09, 2025.
- Kwon ON, Kim JK, Yoon MG, Kim DH and Hong KE. 2014. Marine prey selectivity of released juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early marine migration in Ko-

- rean waters. J Fish Mar Sci Edu 26, 421-429. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.2.421>.
- Lee CS, Seong KB and Lee CH. 2007. History and status of the chum salmon enhancement program in Korea. J Korean Soc Oceanogr 12, 73-80. <https://doi.org/10.7850/jkso.2007.12.2.073>.
- Minegishi Y, Wong MKS, Kanbe T, Araki H, Kashiwabara T, Ijichi M, Kogure K and Hyodo S. 2019. Spatiotemporal distribution of juvenile chum salmon in Otsuchi Bay, Iwate, Japan, inferred from environmental DNA. PLoS ONE 14, e0222052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222052>.
- MOMAF (Ministry of Marine Affairs and Fisheries). 2023. Statistic Database for Fisheries Production. Retrieved from <https://www.fips.go.kr/p/S020702/> on Jan 3, 2023.
- Morita K, Ayumi N and Kikuchi M. 2015. River temperature drives salmon survivorship: is it determined prior to ocean entry?. R Soc Open Sci 2, 140312. <https://doi.org/10.1098/rsos.140312>.
- Myoung JG and Kim YU. 1993. Morphological study of *Oncorhynchus* spp. (Pisces: Salmonidae) in Korea-I, Egg development and morphology of alevin, fry and smolt of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. Korean J Ichthyol 5, 53-67.
- Naylor RL, Kishore A, Sumaila UR, Issifu I, Hunter BP, Belton B, Bush SR, Cao L, Gelcich S, Gephart GA, Golden CD, Jonell M, Koehn JZ, Little DC, Thilsted SH, Tigchelaar M and Crona B. 2021. Blue food demand across geographic and temporal scales. Nat Commun 12, 5413. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25516-4>.
- Oh HT, Lee WC, Song CM, Kim HC, Kim JB and Jung RH. 2013. The Norwegian model of fisheries bio-resources management. Kor J Fish Aquat Sci 46, 111-118.
- Orsi JA, Sturdevant MV, Murphy JM, Mortensen DG and Wing BL. 2000. Seasonal habitat use and early marine ecology of juvenile Pacific salmon in Southeastern Alaska. N Pac Anadr Fish Comm Bull 2, 111-122.
- Park YJ. 2017. The demand analysis of major domestic fishery product using almost ideal demand system. M. S. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Prado J. 1990. Fisherman's Workbook. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford, U.K., 192.
- Quinn TP. 2005. The behavior and ecology of Pacific salmon and trout. University of Washington Press, Seattle, WA, U.S.A., 378.
- Rumsey SM. 2022. Final Environmental Assessment for Chum Salmon Hatchery Programs in the Skagit River Basin. National Marine Fisheries Service, West Coast Region. Portland, OR, U.S.A.
- Shaklee JB, Beacham TD, Seeb L and White BA. 1999. Managing fisheries using genetic data: Case studies from four species of Pacific salmon. Fish Res 43, 45-78. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(99\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(99)00066-1).
- Simenstad CA, Fresh KL and Salo EO. 1982. The role of Puget sound and Washington coastal estuaries in the life history of Pacific salmon: An unappreciated function. In: Estuarine Comparisons. Kennedy VS, ed. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 343-364. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404070-0.50026-0>.
- Sundh H, Kvamme BO, Fridell F, Olsen RE, Ellis T, Taranger GL and Sundell K. 2010. Intestinal barrier function of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post smolts is reduced by common sea cage environments and suggested as a possible physiological welfare indicator. BMC Physiol 9, 22. <https://doi.org/10.1186/1472-6793-10-22>.
- Zhang CI, Sohn MH, Seong KB and Park IS. 1995. Yolk absorption and growth of chum salmon, *Oncorhynchus keta* alevin. J Korean Fish Soc 28, 539-548.