KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 59(5), 599-609, 2026

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 59(5),599-609,2026

체장–체중 관계 및 비만도 지수를 이용한 독도 연안 주요 어류의 성장 및 생리적 특성(2020–2024)

신의철 · 진수연 · 윤석진[1] · 서영일 · 김은호*

국립수산과학원 독도수산연구센터, [1]국립수산과학원 연근해자원과

Length–Weight Relationships and Condition Factors of Major Coastal Fish Species around Dokdo (2020–2024)

Ui Cheol Shin, Suyeon Jin, Seokjin Yoon[1], Young Il Seo and Eunho Kim*

Dokdo Fisheries Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37709, Republic of Korea
[1]Fisheries Resources and Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

The coastal waters of Dokdo are experiencing ongoing marine environmental change. This study evaluated the growth patterns and physiological condition of major fish species using the length–weight relationship (LWR) and condition factor (*K*). Fish were collected seasonally from 2020 to 2024 using trammel nets at four stations (20–50 m depth). Species represented by at least 30 individuals were included in the LWR analysis. Of the 19 species, 14 exhibited isometric growth. *Thamnaconus modestus*, *Pleurogrammus azonus*, and *Goniistius zonatus* exhibited positive allometric growth, whereas *Oplegnathus fasciatus* and *Evynnis tumifrons* exhibited negative allometric growth. Most species showed no significant seasonal or interannual variation in LWR, although *T. modestus* and *O. fasciatus* varied seasonally, and *T. modestus*, *O. fasciatus*, and *Sebastes pachycephalus* varied among years. Seasonal variation in *K* was observed in *T. modestus*, *O. fasciatus*, and *S. pachycephalus*, whereas all six analyzed species showed interannual variation without a consistent directional trend. Overall, LWR showed limited seasonal and interannual variation in most species, whereas *K* reflected seasonal physiological variation in several species. These findings provide baseline information for understanding fish ecology in the coastal waters of Dokdo.

Keywords: Length–weight relationship, Condition factor, Dokdo, Fish growth, Trammel net

서 론

독도는 동해의 한류와 난류가 교차하는 전선역에 위치하여 연안성 어종과 난류성 및 한류성 어종이 함께 출현하는 생물다양성이 높은 해역으로 알려져 있다(Myoung, 2002; Lee et al., 2010). 최근에는 기후 변화에 따른 수온 상승과 대마난류의 유입 강화 등 해양환경 변화가 지속적으로 보고되고 있으며, 이러한 변화는 어류의 분포뿐만 아니라 성장과 생리적 상태에도 영향을 미칠 가능성이 제기되고 있다(Shin et al., 2022; Han et al., 2023). 따라서 독도 연안 어류의 생태적 특성을 지속적으로 평가하는 것은 해양환경 변화의 영향을 이해하는 데 중요하다.

지금까지 독도 및 인접 해역에서는 어류의 종조성, 분포 및 군집구조에 관한 연구가 지속적으로 수행되어 왔으나(Lee et al., 2010; Chung et al., 2015), 개체 수준에서의 성장 패턴이나 생리적 상태를 평가한 연구는 제한적이다. 특히 울릉도 및 독도 해역에서 말쥐치(*Thamnaconus modestus*)와 띠볼락(*Sebastes zonatus*)을 대상으로 체장-체중 관계와 비만도 지수를 분석한 연구가 보고된 바 있으나(Park et al., 2023), 독도 연안 주요 어류를 대상으로 성장 패턴과 생리적 상태를 종합적으로 평가할 필요가 있다.

체장-체중 관계(length–weight relationship)는 어류의 체장 증가에 따른 체중 증가 양상을 바탕으로 성장 패턴을 평가하는 대표적인 생태학적 지표이다. 또한 비만도 지수(condition factor, *K*)는 개체의 영양 상태와 생리적 상태를 반영하는 지표

***Corresponding author:** Tel: +82. 54. 724. 1010 Fax: +82. 54. 724. 1088
E-mail address: kimeunho4@korea.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.2026.0599
Korean J Fish Aquat Sci 59(5), 599-609, October 2026
Received 22 July 2026; **Revised** 17 September 2026; **Accepted** 6 October 2026
저자 직위: 신의철(인턴연구원), 진수연(인턴연구원), 윤석진(해양수산연구사), 서영일(해양수산연구관), 김은호(해양수산연구사)

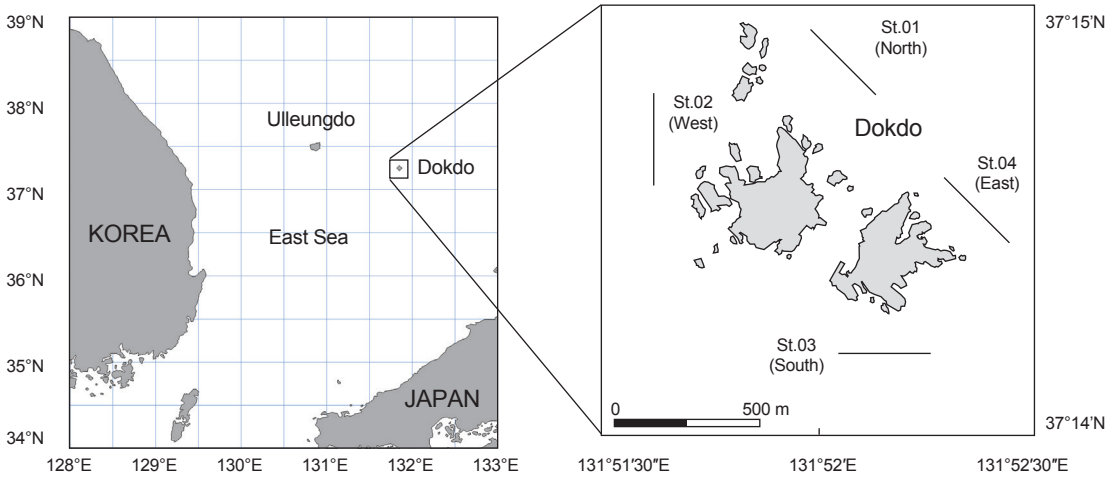


Fig. 1. Sampling stations in the coastal waters of Dokdo.

로, 계절에 따른 생리적 상태 변화를 평가하는 데 널리 활용된다(Froese, 2006). 따라서 이 두 지표를 함께 분석함으로써 어류의 성장 패턴과 생리적 상태를 상호 보완적으로 평가할 수 있는데, 체장-체중 관계와 비만도 지수는 환경 조건의 변화에 따라 변동할 수 있으며(Bagenal and Tesch, 1978; Chellappa et al., 1995), 해양환경 변화에 대한 개체 수준의 반응을 파악하는 데 유용한 정보를 제공한다.

본 연구에서는 독도 연안에서 출현한 주요 어류를 대상으로 성장 특성과 생리적 상태를 종합적으로 파악하기 위해 어류의 체장-체중 관계와 비만도 지수를 분석하였다. 또한, 각 지표가 제공하는 생태학적 정보의 차이를 확인하기 위해 두 지표의 계절 및 연도에 따른 변동 양상을 비교하였다. 본 연구 결과는 독도 연안에 출현하는 어류의 생태적 특성을 이해하고, 향후 장기적인 생태 모니터링을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

조사 해역 및 어류 채집

조사는 독도 연안 동·서·남·북 4개 정점(Fig. 1)에서 2020년부터 2024년까지 계절별로 수행하였다. 계절은 봄(5–6월), 여름(7–8월), 가을(10–11월), 겨울(2–3월)로 구분하였으며, 5년간 총 20회 조사하였다. 어류 채집에는 1폭당 길이 79.8 m, 높이 2.47 m (외망 망목 450 mm, 내망 망목 69 mm)의 삼중자망을 사용하였으며, 정점당 4폭씩 수심 20–50 m에 부설하여 24시간 이상 침지한 후 양망하였다. 채집한 어류는 최신 분류체계를 기준으로 종을 동정하였다. 볼락류(*Sebastes inermis* species complex)는 측선 유공비늘수와 새파수 등의 형태형질을 기준으로 *Sebastes ventricosus*로 동정하였으며(Kai and Nakabo, 2008), 국명은 Kang et al. (2025)의 『Dictionary of Korean Fish Names』에서 제시된 '청볼락'을 적용하였다. 체장(total length)은 0.1 cm까지, 체중(body weight)은 0.01 g까지 측정하였다. 본 연구는 독도 연안 주요 어종의 성장 특성과 생리적 상태를 종합적으로 평가하는 것을 목적으로 하였으므로, 충분한 표본수를 확보하기 위해 4개 정점에서 채집된 자료를 통합하여 분석하였다. 수온 자료는 어류 채집과 동일한 정점에서 conductivity–temperature–depth (CTD, SBE 9plus; Sea-Bird Scientific, Bellevue, WA, USA)를 이용하여 수심별로 측정하였다. 표층 수온은 조사 시기별 4개 정점의 평균값을 사용하였으며, 자망이 부설된 수심대를 반영하기 위해 각 정점의 20–50 m 수층 평균 수온을 산출한 후 4개 정점의 평균값을 분석에 이용하였다. 다만, 2024년 겨울 조사에서는 CTD 자료를 확보하지 못하여 해당 자료는 수온 분석에서 제외하였다.

체장–체중 관계 분석

어종별 체장-체중 관계는 다음의 식을 이용하여 분석하였다.

$$W=aL^b$$

여기서 W는 체중, L은 체장, log a는 회귀직선의 절편이며, b는 상대성장계수를 의미한다. 분석을 위해 체장과 체중 자료를 $\log_{10}$ 변환한 후 선형회귀분석을 수행하였다. 상대성장계수(b)의 값에 따라 b>3일 경우 체장 증가에 비해 체중이 빠르게 증가하는 양의 상대성장(positive allometric growth), b=3일 경우 체장과 체중이 동일한 비율로 증가하는 등변성장(isometric growth), b<3일 경우 체장 증가에 비해 체중 증가가 상대적으로 느린 음의 상대성장(negative allometric growth)으로 판정하였다(Karakulak et al., 2006).

비만도 지수(K) 분석

비만도 지수(K)는 Fulton's condition factor를 이용하여 개체의 영양 상태와 생리적 상태를 평가하기 위해 다음과 같이 계산

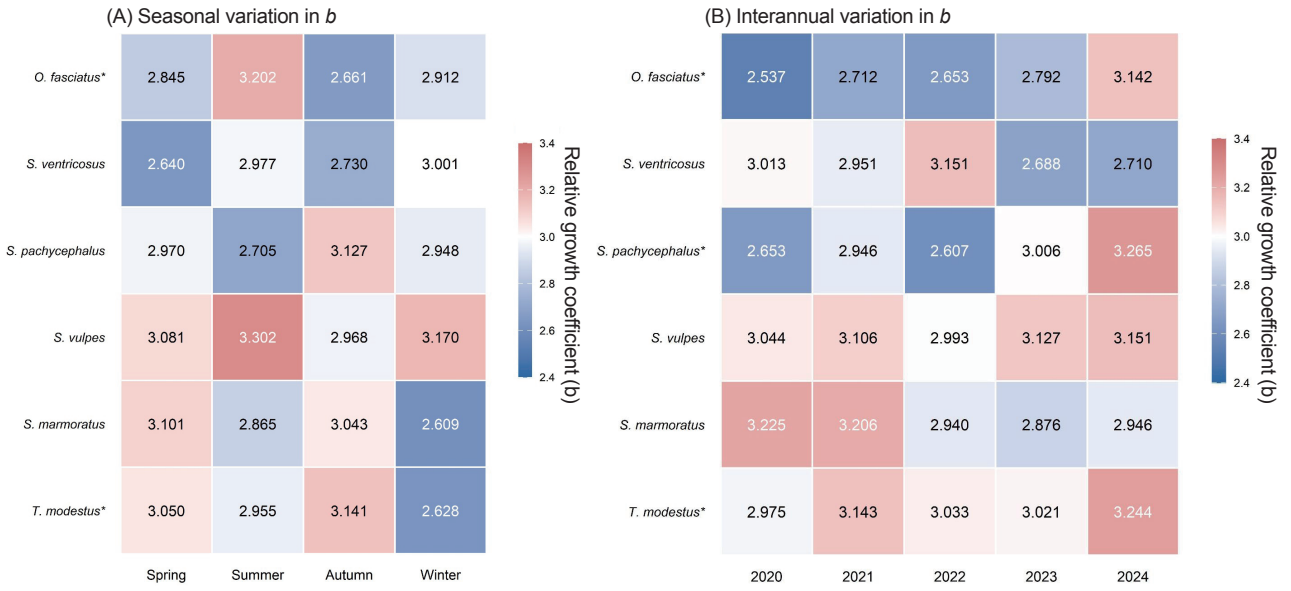


Fig. 2. Seasonal and interannual variation in relative growth coefficient (*b*) of six fish species (*Oplegnathus fasciatus*, *Sebastes ventricosus*, *Sebastes pachycephalus*, *Sebastes vulpes*, *Sebastiscus marmoratus*, and *Thamnaconus modestus*) collected around Dokdo during 2020–2024. (A) Seasonal variation in *b*. (B) Interannual variation in *b*. Colors in (A) and (B) represent the observed *b* values. Numbers within the cells indicate the observed values. An asterisk (*) indicates species showing significant seasonal or interannual variation.

하였다(Froese, 2006).

$$K=100\,W/L^3$$

여기서 K는 비만도 지수, W는 체중(g), L은 체장(cm)이다.

통계 분석

체장-체중 관계와 비만도 지수는 안정적인 분석을 위해 체장-체중 관계 분석에서 회귀계수 추정의 신뢰도를 확보하기 위한 최소 표본수(30개체)로 활용되는 기준을 따랐다(Froese, 2006). 계절과 연도 분석은 2계절 이상, 5개 연도 중 3개 연도 이상에서 각각 30개체 이상 확보된 자료를 대상으로 하였다. 그 결과 30개체 이상 확보된 19종 2,902개체를 대상으로 분석하였으며, 계절 및 연도에 따른 분석은 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*), 청볼락, 개볼락(*Sebastes pachycephalus*), 누루시볼락(*Sebastes vulpes*), 쏨뱅이(*Sebastiscus marmoratus*) 및 말쥐치(*T. modestus*)를 대상으로 수행하였다.

상대성장계수(*b*)가 3과 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해 *t*-test로 검정하였다. 계절 및 연도에 따른 상대성장계수(*b*)의 차이는 공분산분석(analysis of covariance)을 이용하여 그룹 간 비교하였다. 비만도 지수의 계절 및 연도별 차이와 수온의 연도별 차이는 일원분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 이용하여 검정하였으며, 유의한 차이가 나타난 경우 Tukey의 다중비교 검정을 통해 사후검정을 수행하였다. 모든 통계분석은 R software (ver. 4.5.0; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)를 이용하여 수행하였으며, 유의수준은 P<0.05로 설정하였다.

결 과

체장–체중 관계식

체장-체중 관계식에 의하면 어류 19종 중 14종이 등변성장하였다(Table 1). 말쥐치, 임연수어(*Pleurogrammus azonus*), 아홉동가리(*Goniistius zonatus*)에서는 양의 상대성장(*b*>3)이 확인되었으며, 돌돔과 붉돔(*Evynnis tumifrons*)은 음의 상대성장(*b*<3)을 보였다. 특히 아홉동가리(r^2=0.99), 전갱이(*Trachurus japonicus*; r^2=0.97), 말쥐치(r^2=0.96), 붉은쏨뱅이(*Sebastiscus tertius*; r^2=0.96)는 결정계수(r^2)가 높게 나타났다.

계절별 상대성장계수(*b*)의 변동 양상은 Fig. 2A에, 통계분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 청볼락, 개볼락, 누루시볼락 및 쏨뱅이에서 상대성장계수(*b*)는 계절 간 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 반면, 말쥐치와 돌돔은 계절에 따라 유의한 차이가 나타났다(P<0.05). 말쥐치는 겨울에 상대성장계수(*b*)가 2.628로 낮은 값을 보였으며, 봄(*b*=3.050)과 가을(*b*=3.141)에는 높은 값을 나타냈다. 돌돔은 여름에 상대성장계수(*b*)가 3.202로 높은 값을 보인 반면, 가을에는 2.661로 낮은 값을 나타냈다.

연도별 상대성장계수(*b*)의 변동 양상은 Fig. 2B에, 통계분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 청볼락, 누루시볼락, 쏨뱅이

Table 1. Length–weight relationship of 19 fish species collected from the coastal waters of Dokdo during 2020–2024

Species	*n*	Length (TL, cm)	Weight (BW, g)	*a*	95% CI of *a*	*b*	95% CI of *b*	r^2	P-value	Growth type	Condition factor (*K*±SD)
Pleurogrammus azonus	52	33.0–50.6	355.10–1,396.99	0.001	0.000–0.004	3.755	3.276–4.235	0.83	<0.05	Positive (+)	1.045±0.161
Goniistius zonatus	31	20.9–41.7	101.80–1,055.93	0.004	0.002–0.007	3.342	3.187–3.497	0.99	<0.05	Positive (+)	1.261±0.152
Thamnaconus modestus	491	14.0–38.0	30.34–912.58	0.011	0.009–0.013	3.070	3.015–3.124	0.96	<0.05	Positive (+)	1.384±0.172
Pseudolabrus sieboldi	74	15.0–24.8	53.63–241.70	0.011	0.006–0.018	3.127	2.951–3.303	0.95	0.16	Isometric	1.598±0.150
Sebastes vulpes	373	10.7–36.0	21.18–1,106.70	0.014	0.011–0.019	3.086	2.995–3.177	0.92	0.06	Isometric	1.864±0.231
Sebastes joyneri	172	15.8–26.4	46.33–315.90	0.012	0.007–0.021	3.086	2.901–3.271	0.86	0.36	Isometric	1.547±0.169
Hexagrammos otakii	102	21.8–43.2	123.81–1,209.19	0.009	0.005–0.016	3.084	2.934–3.233	0.94	0.27	Isometric	1.239±0.107
Sebastes nudus	38	15.6–24.5	81.13–325.86	0.017	0.006–0.054	3.066	2.682–3.450	0.88	0.73	Isometric	2.122±0.238
Sebastes thompsoni	96	15.0–26.8	47.80–310.45	0.013	0.008–0.023	3.060	2.878–3.241	0.92	0.52	Isometric	1.607±0.129
Sebastiscus tertius	38	19.0–35.5	125.31–803.06	0.016	0.008–0.031	3.044	2.825–3.263	0.96	0.68	Isometric	1.794±0.165
Girella leonina	50	21.5–40.0	137.55–1,014.48	0.013	0.006–0.029	3.032	2.793–3.272	0.93	0.79	Isometric	1.480±0.122
Stephanolepis cirrhifer	106	10.8–24.4	25.91–282.11	0.020	0.013–0.031	3.006	2.842–3.169	0.93	0.95	Isometric	2.052±0.242
Trachurus japonicus	56	16.3–32.0	35.41–273.99	0.008	0.005–0.013	2.994	2.845–3.142	0.97	0.93	Isometric	0.828±0.078
Sebastiscus marmoratus	314	16.0–28.1	74.73–399.33	0.019	0.014–0.028	2.976	2.864–3.088	0.90	0.68	Isometric	1.816±0.171
Sebastes pachycephalus	219	13.6–26.9	44.10–387.28	0.021	0.015–0.030	2.972	2.856–3.087	0.92	0.63	Isometric	1.979±0.218
Sebastes ventricosus	279	20.0–29.3	134.68–491.67	0.025	0.015–0.039	2.891	2.746–3.037	0.85	0.14	Isometric	1.742±0.170
Sebastes hubbsi	30	15.5–24.2	76.61–276.49	0.039	0.009–0.179	2.776	2.267–3.286	0.82	0.38	Isometric	2.012±0.209
Oplegnathus fasciatus	337	12.0–25.6	42.85–379.21	0.047	0.037–0.059	2.708	2.625–2.792	0.92	<0.05	Negative (-)	2.077±0.250
Evynnis tumifrons	44	21.0–26.7	173.47–341.74	0.083	0.023–0.302	2.500	2.095–2.905	0.79	<0.05	Negative (-)	1.706±0.119

TL, Total length; BW, Body weight; *a*, Coefficient of the length–weight relationship; *b*, Slope (relative growth coefficient); CI, Confidence interval; r^2, Coefficient of determination; *K*, Condition factor; SD, Standard deviation. P-values indicate the significance of deviation from isometric growth (*b*=3).

에서 상대성장계수(*b*)는 연도 간 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 반면, 말쥐치, 돌돔, 개볼락에서는 연도에 따라 유의한 차이가 나타났다(P<0.05). 말쥐치는 2021년(*b*=3.143)과 2024년(*b*=3.244)에 상대적으로 높은 값을 보인 반면, 2020년(*b*=2.975)에는 낮은 값을 나타냈다. 돌돔은 2024년(*b*=3.142)에 상대적으로 높은 값을 보였으며, 2020년부터 2023년까지는 상대성장계수(*b*)의 범위가 2.5–2.8로 나타났다. 개볼락은 2024년(*b*=3.265)에 가장 높은 값을 보였으며, 이전 연도에서는 상대적으로 낮은 값을 나타냈다.

비만도 지수(*K*)

어종별 평균 비만도 지수는 0.828–2.122의 범위였으며, 황

Table 2. Seasonal variation in the length–weight relationship of six fish species collected from the coastal waters of Dokdo during 2020–2024

Species	Season	*n*	Length (TL, cm)	*a*	*b*	r^2	Growth type	P-value
Oplegnathus fasciatus	Spring	22	14.4–25.5	0.032	2.845	0.88	Isometric	<0.05
	Summer	61	14.7–23.7	0.011	3.202	0.93	Isometric	
	Autumn	226	12.0–25.6	0.055	2.661	0.93	Negative (-)	
	Winter	28	13.5–25.5	0.025	2.912	0.97	Isometric	
Sebastes ventricosus	Spring	46	20.0–28.7	0.053	2.640	0.81	Negative (-)	0.28
	Summer	81	20.3–29.3	0.019	2.977	0.91	Isometric	
	Autumn	59	20.5–27.0	0.041	2.730	0.79	Isometric	
	Winter	93	20.5–28.9	0.017	3.001	0.81	Isometric	
Sebastes pachycephalus	Spring	81	13.8–24.5	0.021	2.970	0.92	Isometric	0.15
	Summer	53	15.4–25.6	0.050	2.705	0.92	Negative (-)	
	Autumn	36	13.6–26.9	0.013	3.127	0.91	Isometric	
	Winter	49	14.0–25.1	0.022	2.948	0.96	Isometric	
Sebastes vulpes	Spring	85	10.7–32.5	0.015	3.081	0.96	Isometric	0.17
	Summer	44	18.0–31.6	0.007	3.302	0.95	Positive (+)	
	Autumn	122	15.0–35.6	0.020	2.968	0.94	Isometric	
	Winter	122	15.6–36.0	0.011	3.170	0.86	Isometric	
Sebastiscus marmoratus	Spring	72	16.6–27.2	0.013	3.101	0.93	Isometric	0.08
	Summer	88	16.0–28.1	0.028	2.865	0.91	Isometric	
	Autumn	121	18.3–27.0	0.016	3.043	0.88	Isometric	
	Winter	33	18.0–26.2	0.061	2.609	0.83	Negative (-)	
Thamnaconus modestus	Spring	182	15.3–38.0	0.012	3.050	0.98	Isometric	<0.05
	Summer	121	19.7–37.0	0.015	2.955	0.96	Isometric	
	Autumn	149	14.0–34.2	0.008	3.141	0.96	Positive (+)	
	Winter	39	14.6–26.2	0.042	2.628	0.85	Negative (-)	

TL, Total length; *a*, Coefficient of the length–weight relationship; *b*, Slope (relative growth coefficient); r^2, Coefficient of determination; ANCOVA, Analysis of covariance. P-values indicate the results of ANCOVA for differences in *b* among seasons.

점개볼락(*Sebastes nudus*)이 2.122로 가장 높았고, 전갱이가 0.828로 가장 낮았다(Table 1).

계절별 비만도 지수의 변동 양상은 Fig. 3A에, 통계분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 말쥐치, 돌돔, 개볼락에서 유의한 차이가 나타났으며($P<0.05$), 누루시볼락, 청볼락, 쏨뱅이는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사후검정 결과, 말쥐치는 봄에 비만도 지수가 다른 계절보다 유의하게 높았으며, 개볼락은 여름에 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). 돌돔의 비만도 지수는 여름에 낮고 가을에 높게 나타났다.

연도별 비만도 지수의 변동 양상은 Fig. 3B에 제시하였으며, 통계분석 결과는 Table 5에 나타내었다. 분석한 6종 모두에서 연도 간 유의한 차이가 나타났으며($P<0.05$), 사후검정 결과 모든 어종에서 2024년이 포함된 연도 간 비교에서 유의한 차이가 확인되었다. 그러나 유의한 차이가 나타난 연도 간 조합과 변화 양상은 종마다 상이하였으며, 공통적인 증가 또는 감소의 경향성은 나타나지 않았다.

수온 변화

조사기간 동안 표층과 20–50 m 수층의 수온은 계절에 따라 차이를 보였다. 표층 수온은 여름에 가장 높고 겨울에 가장 낮았으며, 20–50 m 수층에서도 유사한 계절적 변동이 나타났으나 표층에 비해 변동 폭은 상대적으로 작았다(Fig. 4). 연도에 따른 수온 변화는 표층과 20–50 m 수층 모두에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(ANOVA, $P>0.05$).

고 찰

본 연구에서는 독도 주변 해역에 분포하는 19종 중 14종의 상대성장계수(*b*)가 3에 근접하여 등변성장이 우세하게 나타났다. 이는 독도 연안 주요 어류에서 체장이 증가할수록 체중이 유사한 비율로 증가하는 등변성장양식이 우세하였음을 보여준다.

일반적으로 어류의 체장-체중 관계에서 상대성장계수(*b*)는 2.5–3.5 범위에 분포하는 것으로 알려져 있는데(Froese, 2006),

Table 3. Interannual variation in the length–weight relationship of six fish species collected from the coastal waters of Dokdo during 2020–2024

Species	Year	*n*	Length (TL, cm)	*a*	*b*	r^2	Growth type	P-value
Oplegnathus fasciatus	2020	18	13.7–22.2	0.083	2.537	0.87	Negative (-)	<0.05
	2021	24	14.3–25.5	0.046	2.712	0.98	Negative (-)	
	2022	118	12.0–23.7	0.058	2.653	0.95	Negative (-)	
	2023	78	13.5–25.6	0.038	2.792	0.95	Negative (-)	
	2024	99	13.5–25.5	0.013	3.142	0.90	Isometric	
Sebastes ventricosus	2020	40	20.3–26.9	0.017	3.013	0.92	Isometric	0.13
	2021	74	20.3–29.3	0.021	2.951	0.90	Isometric	
	2022	70	20.7–27.8	0.011	3.151	0.84	Isometric	
	2023	51	20.5–28.9	0.048	2.688	0.86	Negative (-)	
	2024	44	20.0–28.7	0.040	2.710	0.85	Isometric	
Sebastes pachycephalus	2020	26	15.0–26.6	0.057	2.653	0.91	Negative (-)	<0.05
	2021	97	13.6–25.1	0.023	2.946	0.92	Isometric	
	2022	33	16.0–24.5	0.067	2.607	0.84	Isometric	
	2023	23	14.0–26.9	0.018	3.006	0.99	Isometric	
	2024	40	13.8–22.7	0.009	3.265	0.96	Isometric	
Sebastes vulpes	2020	76	10.7–36.0	0.016	3.044	0.94	Isometric	0.90
	2021	124	16.2–31.6	0.013	3.106	0.88	Isometric	
	2022	65	15.6–29.0	0.019	2.993	0.89	Isometric	
	2023	67	16.0–35.6	0.013	3.127	0.97	Isometric	
	2024	41	19.7–29.8	0.011	3.151	0.93	Isometric	
Sebastiscus marmoratus	2020	15	21.5–26.8	0.009	3.225	0.83	Isometric	0.54
	2021	30	16.6–26.2	0.010	3.206	0.89	Isometric	
	2022	131	16.0–28.0	0.022	2.940	0.91	Isometric	
	2023	43	18.3–27.2	0.026	2.876	0.90	Isometric	
	2024	95	18.6–28.1	0.021	2.946	0.89	Isometric	
Thamnaconus modestus	2020	147	14.6–32.8	0.015	2.975	0.92	Isometric	<0.05
	2021	57	16.0–37.5	0.009	3.143	0.97	Positive (+)	
	2022	164	15.5–37.0	0.012	3.033	0.96	Isometric	
	2023	67	14.0–38.0	0.013	3.021	0.98	Isometric	
	2024	56	14.7–36.6	0.006	3.244	0.98	Positive (+)	

TL, Total length; *a*, Coefficient of the length–weight relationship; *b*, Slope (relative growth coefficient); r^2, Coefficient of determination; ANCOVA, Analysis of covariance. P-values indicate the results of ANCOVA for differences in *b* among years.

본 연구에서도 18종이 해당 범위 내에 포함되었다(Table 1). 그러나 임연수어는 상대성장계수(*b*)가 3.755로 일반적인 범위를 벗어났다. Froese (2006)는 제한된 체장 범위, 특히 큰 개체 위주로 구성된 자료가 상대성장계수(*b*) 추정에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 실제로 기존 연구에서는 임연수어의 상대성장계수(*b*)가 일반적인 범위 내에 분포하는 것으로 보고되었으며(Kulik and Gerasimov, 2016), 본 연구에서 채집된 개체는 모두 체장 33.0–50.6 cm로 군성숙체장 이상의 크기였다(Lee et al., 2009; Takashima et al., 2016). 자망은 망목 크기에 따라 어획되는 개체의 크기가 선택되는 특성이 있으며(Reis and Pawson, 1999; Kim et al., 2025), 임연수어는 산란기에 성숙개체가 연안의 얕은 수심으로 이동하는 생태적 특성을 가진다(Lee et al., 2009). 따라서 본 연구에서 확보된 임연수어의 제한된 체장 범위에는 조사에 사용된 자망의 망목 선택성과 산란기 성숙개체의 연안 이동이 일부 영향을 미쳤을 가능성이 있으며, 이에 따라 본 연구에서 산출된 상대성장계수(*b*)는 조사에서 확보된 체장 범위 내에서 제한적으로 해석할 필요가 있다.

체장-체중 관계는 개체의 성장 패턴을 반영하는 지표로, 계절

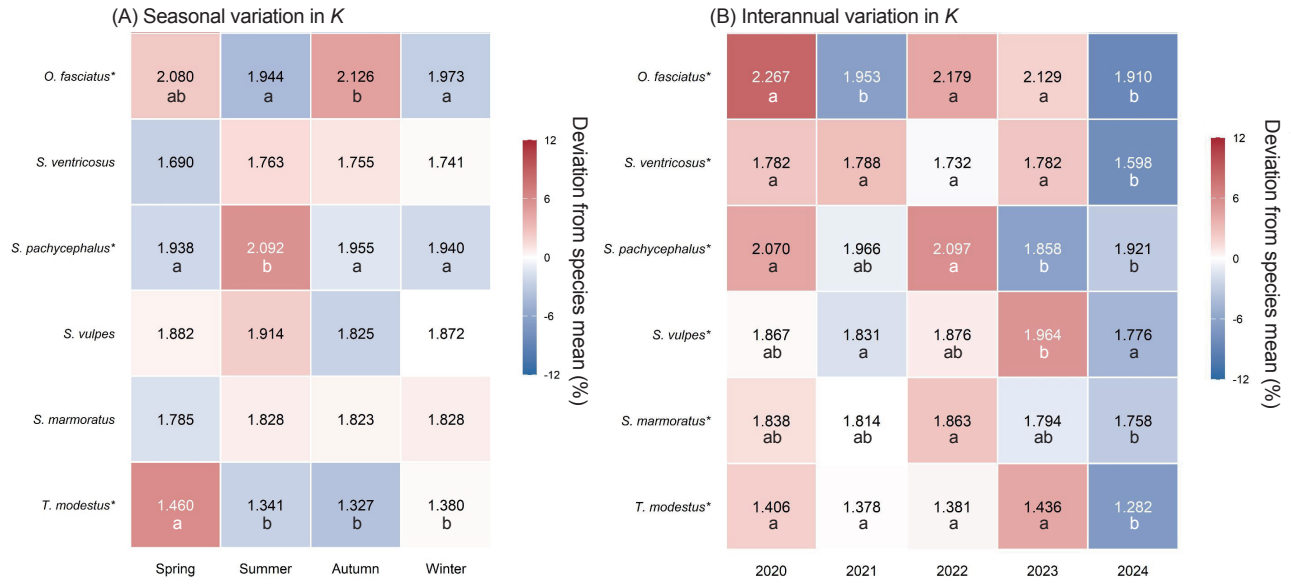


Fig. 3. Seasonal and interannual variation in condition factor (*K*) of six fish species (*Oplegnathus fasciatus*, *Sebastes ventricosus*, *Sebastes pachycephalus*, *Sebastes vulpes*, *Sebastiscus marmoratus*, and *Thamnaconus modestus*) collected around Dokdo during 2020–2024. (A) Seasonal variation in *K*. (B) Interannual variation in *K*. Colors in (A) and (B) represent the percentage deviation from the species-specific mean *K*. Numbers within the cells indicate the observed values. Different lowercase letters indicate significant differences among seasons or years (P<0.05). An asterisk (*) indicates species showing significant seasonal or interannual variation.

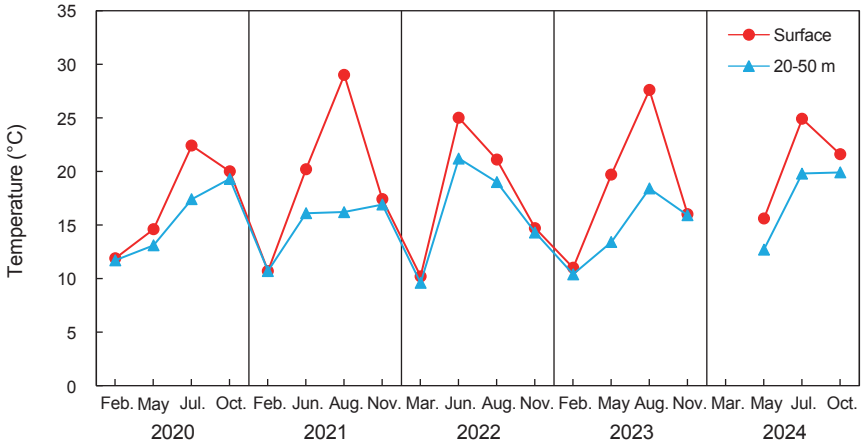


Fig. 4. Temporal changes in mean water temperature at the surface and 20–50 m depth in the coastal waters of Dokdo from 2020 to 2024. No conductivity–temperature–depth data were available for the winter survey in 2024.

에 따른 생리적 변화나 환경 조건의 영향을 받을 수 있는 것으로 알려져 있다(Froese, 2006; Galli and Norbis, 2016; Dinh et al., 2022). 그러나 본 연구에서는 청볼락, 개볼락, 누루시볼락, 쏨뱅이에서 계절에 따른 상대성장계수(*b*)의 유의한 차이가 나타나지 않아, 체장-체중 관계는 계절에 따라 비교적 일정한 경향을 보였다(Fig. 2A). 조사기간 동안 표층과 20–50 m 수층 평균 수온은 계절에 따라 변동하였으며, 20–50 m 수층의 평균 수온 변동 폭은 표층보다 상대적으로 작았다(Fig. 4). 따라서 어류가 이용하는 수심대의 수온 변동은 표층에서 관찰되는 변화보다 완화되어 나타났을 가능성이 있으며, 이러한 수층별 수온 특성은 체장-체중 관계가 비교적 일정하게 유지되는 데 기여했을 가능성이 있다.

반면, 돌돔과 말쥐치에서는 계절에 따른 상대성장계수(*b*)의 변동이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 2A). 돌돔은 여름에 상대성장

Table 4. Seasonal variation in the condition factor (*K*) of six fish species collected from the coastal waters of Dokdo during 2020–2024

Species	Season	*n*	Length (TL, cm)	Weight (BW, g)	Condition factor (*K*±SD)	P-value
Oplegnathus fasciatus	Spring	22	14.4–25.5	50.11–367.30	2.080±0.322^{ab}	<0.05
	Summer	61	14.7–23.7	63.81–240.45	1.944±0.173^{a}	
	Autumn	226	12.0–25.6	42.85–379.21	2.126±0.254^{b}	
	Winter	28	13.5–25.5	45.80–338.38	1.973±0.149^{a}	
Sebastes ventricosus	Spring	46	20.0–28.7	134.68–375.19	1.690±0.183	0.12
	Summer	81	20.3–29.3	144.12–477.74	1.763±0.136	
	Autumn	59	20.5–27.0	147.41–365.99	1.755±0.175	
	Winter	93	20.5–28.9	147.01–491.67	1.741±0.183	
Sebastes pachycephalus	Spring	81	13.8–24.5	44.35–291.07	1.938±0.201^{a}	<0.05
	Summer	53	15.4–25.6	79.45–284.31	2.092±0.187^{b}	
	Autumn	36	13.6–26.9	44.10–387.28	1.955±0.296^{a}	
	Winter	49	14.0–25.1	45.40–290.19	1.940±0.168^{a}	
Sebastes vulpes	Spring	85	10.7–32.5	21.18–804.81	1.882±0.208	0.10
	Summer	44	18.0–31.6	89.78–666.94	1.914±0.201	
	Autumn	122	15.0–35.6	68.14–994.25	1.825±0.178	
	Winter	122	15.6–36.0	73.01–1,106.70	1.872±0.292	
Sebastiscus marmoratus	Spring	72	16.6–27.2	85.58–348.02	1.785±0.150	0.37
	Summer	88	16.0–28.1	74.73–399.33	1.828±0.158	
	Autumn	121	18.3–27.0	106.76–385.50	1.823±0.181	
	Winter	33	18.0–26.2	119.65–319.20	1.828±0.206	
Thamnaconus modestus	Spring	182	15.3–38.0	39.51–912.58	1.460±0.146^{a}	<0.05
	Summer	121	19.7–37.0	94.95–707.66	1.341±0.109^{b}	
	Autumn	149	14.0–34.2	30.34–501.18	1.327±0.183^{b}	
	Winter	39	14.6–26.2	47.83–254.70	1.380±0.259^{b}	

TL, Total length; BW, Body weight; SD, Standard deviation. P-values indicate the results of one-way ANOVA among seasons. Different superscript letters within a species indicate significant differences among seasons (Tukey's test, P<0.05).

계수(*b*)가 가장 높게 나타났으며, 여름철 조사 시기(7–8월)에는 산란기(5–7월)와 산란 이후 시기가 포함되었다(Okiyama, 2014). 말쥐치는 겨울에 가장 낮은 상대성장계수(*b*)를 보인 반면, 봄부터 가을까지는 상대적으로 높은 값을 유지하였으며, 이러한 계절적 변동은 산란기(3–9월)와 대체로 일치하는 경향을 보였다(Nam et al., 2018). 이러한 결과는 산란과 관련된 생리적 변화가 상대성장계수(*b*)의 계절적 변동에 일부 반영된 결과로 판단된다. 다만 이러한 계절적 변동은 돌돔과 말쥐치에서만 확인되었으며, 독도 연안 어류의 일반적인 계절적 특성으로 해석하기보다는 종의 생태 및 생식 특성에 따른 반응으로 해석하는 것이 타당하겠다.

연도에 따른 상대성장계수(*b*)는 청볼락, 누루시볼락, 쏨뱅이에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 돌돔, 개볼락, 말쥐치에서만 연도 간 차이가 확인되었다(Fig. 2B). 돌돔과 개볼락에서는 표본수가 30개체 이하인 연도가 포함되어 있기에(Table 3), 연도별 변동에는 표본수 차이에 따른 추정치의 불확실성이 일부 반영되었을 가능성이 있다(Froese, 2006; Gim and Hyun, 2019). 체장-체중 관계는 시간의 경과에 따라 변동할 수 있으며(Galli and Norbis, 2016; Dinh et al., 2022), 본 연구의 5년간 조사자료는 조사기간 동안의 연도 간 변동을 파악하는 데 의미가 있다. 향후 지속적인 조사를 통해 장기간의 자료가 축적된다면 이러한 변동의 지속성과 변화 경향을 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 돌돔, 개볼락 및 말쥐치에서 계절에 따른 비만도 지수의 변동이 확인되었다(Fig. 3A). 말쥐치는 봄에 높은 비만도 지수를 보여 산란기(3–9월)와 시기적으로 일치하였다(Nam et al., 2018). 반면, 난태생 어종인 개볼락은 여름에 높은 비만도 지수를 보여 출산 이후 시기와 일치하였고(Han et al., 1996), 돌돔은 가을에 높은 비만도 지수를 보여 산란 이후 시기와 일치하였다(Shimada et al., 2009). 비만도 지수는 어류의 영양 상태 및 에너지 축적 수준을 반영하는 대표적인 생리적 지표로, 먹이 이용, 성장 단계, 환경 조건, 생식 활동 등 다양한 요인

Table 5. Interannual variation in the condition factor (*K*) of six fish species collected from the coastal waters of Dokdo during 2020–2024

Species	Year	*n*	Length (TL, cm)	Weight (BW, g)	Condition factor (*K*±SD)	P-value
Oplegnathus fasciatus	2020	18	13.7–22.2	50.11–195.72	2.267±0.328^{a}	<0.05
	2021	24	14.3–25.5	59.06–311.15	1.953±0.149^{b}	
	2022	118	12.0–23.7	42.85–275.67	2.179±0.248^{a}	
	2023	78	13.5–25.6	45.80–379.21	2.129±0.188^{a}	
	2024	99	13.5–25.5	46.20–367.30	1.910±0.189^{b}	
Sebastes ventricosus	2020	40	20.3–26.9	147.41–362.80	1.782±0.119^{a}	<0.05
	2021	74	20.3–29.3	158.57–491.67	1.788±0.137^{a}	
	2022	70	20.7–27.8	147.18–467.42	1.732±0.174^{a}	
	2023	51	20.5–28.9	144.12–424.33	1.782±0.180^{a}	
	2024	44	20.0–28.7	134.68–375.19	1.598±0.163^{b}	
Sebastes pachycephalus	2020	26	15.0–26.6	68.95–298.61	2.070±0.251^{a}	<0.05
	2021	97	13.6–25.1	44.10–290.19	1.966±0.222^{ab}	
	2022	33	16.0–24.5	89.27–291.07	2.097±0.230^{a}	
	2023	23	14.0–26.9	53.98–387.28	1.858±0.105^{b}	
	2024	40	13.8–22.7	44.35–239.05	1.921±0.155^{b}	
Sebastes vulpes	2020	76	10.7–36.0	21.18–1,106.70	1.867±0.233^{ab}	<0.05
	2021	124	16.2–31.6	72.34–666.94	1.831±0.254^{a}	
	2022	65	15.6–29.0	73.01–537.60	1.876±0.242^{ab}	
	2023	67	16.0–35.6	73.05–994.25	1.964±0.184^{b}	
	2024	41	19.7–29.8	132.36–497.09	1.776±0.130^{a}	
Sebastiscus marmoratus	2020	15	21.5–26.8	163.68–361.75	1.838±0.169^{ab}	<0.05
	2021	30	16.6–26.2	85.58–348.87	1.814±0.225^{ab}	
	2022	131	16.0–28.0	74.73–399.33	1.863±0.169^{a}	
	2023	43	18.3–27.2	106.76–339.74	1.794±0.164^{ab}	
	2024	95	18.6–28.1	111.62–375.83	1.758±0.140^{b}	
Thamnaconus modestus	2020	147	14.6–32.8	39.51–537.06	1.406±0.192^{a}	<0.05
	2021	57	16.0–37.5	47.09–720.54	1.378±0.175^{a}	
	2022	164	15.5–37.0	43.83–707.66	1.381±0.151^{a}	
	2023	67	14.0–38.0	30.34–811.01	1.436±0.139^{a}	
	2024	56	14.7–36.6	37.87–912.58	1.282±0.172^{b}	

TL, Total length; BW, Body weight; SD, Standard deviation. P-values indicate the results of one-way ANOVA among years. Different superscript letters within a species indicate significant differences among years (Tukey's test, P<0.05).

의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bagenal and Tesch, 1978; Weatherley and Gill, 1987; Chellappa et al., 1995). 일반적으로 산란 전에는 에너지가 축적되어 비만도 지수가 증가하고, 산란기에는 생식 활동에 따른 에너지 소모로 감소하며, 산란 또는 출산 이후에는 먹이활동을 통해 에너지 저장량이 회복되는 것으로 알려져 있다(Chellappa et al., 1995; Pauly et al., 2023). 이러한 결과는 일반적으로 알려진 산란 전후의 에너지 축적 및 소모 과정과 일치하였으며, 본 연구에서 확인된 계절별 비만도 지수의 변동 역시 생식에 따른 에너지 축적 및 소모 과정이 반영된 결과로 판단된다. 반면, 청볼락, 누루시볼락 및 쏨뱅이에서는 뚜렷한 계절적 변동이 확인되지 않았다. 이는 비만도 지수의 계절적 변동이 모든 종에서 동일하게 나타나는 것이 아니라, 종별 생식 전략과 생리적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서도 비만도 지수가 돌돔, 개볼락, 말쥐치의 계절적 생리 상태를 반영하는 데 유용한 지표임을 확인하였다.

연도에 따른 비만도 지수 분석에서는 모든 어종에서 비만도 지수의 변동이 확인되었으며(Fig. 3B), 개볼락을 제외한 어종에서는 2024년에 이전 연도보다 낮은 값을 보였다. 그러나 어종별 연도 간 변동 양상이 서로 달라 공통적인 증가 또는 감소 경

향은 확인되지 않았다. 이러한 결과를 통해 5년간의 조사기간 동안 독도 연안 주요 어종의 비만도 지수가 연도에 따라 변동하고 있음을 확인할 수 있었다. 향후 장기간의 자료가 축적된다면 이러한 연도별 변동의 지속성과 변화 경향을 보다 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

계절에 따른 체장-체중 관계와 비만도 지수의 변화를 함께 살펴본 결과, 말쥐치와 돌돔에서는 상대성장계수(*b*)와 비만도 지수 모두 유의한 차이가 나타난 반면, 개볼락에서는 비만도 지수에서만 유의한 차이가 나타났으며, 청볼락, 누루시볼락 및 쏨뱅이에서는 두 지표 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 비만도 지수는 개체의 체장 대비 상대적인 체중 상태를 나타내는 반면, 상대성장계수(*b*)는 체장 증가에 따른 체중 증가 양상을 나타내므로(Froese, 2006), 계절에 따른 체중 상태의 변화가 반드시 상대성장계수(*b*)의 변화로 이어지는 것은 아니다. 특히 산란 전후에는 생식과 관련된 에너지 상태 및 체중의 변화가 나타날 수 있으며(Chellappa et al., 1995; Pauly et al., 2023), 이러한 변화는 비만도 지수에 반영될 수 있다. 말쥐치에서는 상대성장계수(*b*)와 비만도 지수가 모두 계절적으로 변화하여 생식과 관련된 체중 상태의 변화가 두 지표에 함께 반영되었을 가능성이 있다. 반면, 돌돔에서는 여름에 상대성장계수(*b*)가 높고 비만도 지수는 낮았으며, 가을에는 상대성장계수(*b*)가 낮고 비만도 지수는 높아 두 지표의 변화 방향이 일치하지 않았다. 따라서 돌돔의 상대성장계수(*b*) 변동을 산란 전후의 단순한 체중 증감만으로 설명하기에는 한계가 있으며, 상대성장계수(*b*)에는 체장에 따른 체중 변화 정도나 계절별 체장 구성 등의 영향이 함께 반영되었을 가능성이 있다. 또한 개볼락에서는 비만도 지수만 계절적으로 변화하여 계절에 따른 체중 상태의 변화가 반드시 상대성장계수(*b*)의 변화로 이어지는 것은 아님을 보여주었다. 따라서 두 지표의 계절적 변동 양상은 어종에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 체장-체중 관계와 비만도 지수를 함께 고려함으로써 계절에 따른 성장 및 생리적 상태의 변화를 보다 종합적으로 평가할 수 있다.

본 연구는 독도 연안 주요 어종을 대상으로 체장-체중 관계와 비만도 지수를 함께 분석하여 성장 특성과 생리적 상태를 종합적으로 평가하였다. 그 결과, 체장-체중 관계는 청볼락, 누루시볼락, 쏨뱅이에서 계절 및 연도에 따른 변동이 제한적으로 나타난 반면, 비만도 지수는 돌돔, 개볼락, 말쥐치에서 산란 및 출산과 관련된 계절적 생리 상태를 보다 민감하게 반영하였다. 이러한 결과는 두 지표가 서로 다른 생태학적 정보를 제공하며, 함께 활용할 경우 독도 연안 어류의 생태적 특성을 보다 종합적으로 평가할 수 있음을 보여준다. 본 연구의 5년간 조사자료를 통해 독도 연안 주요 어종의 성장 및 생리적 특성에서 나타나는 연도간 차이를 확인하였으며, 향후 추가적인 표본 확보와 장기간의 자료 축적을 통해 이러한 변화의 장기적인 경향을 보다 명확하게 파악할 필요가 있다. 또한 다양한 환경요인과 연계한 분석을 통해 이러한 변동의 원인을 보다 체계적으로 규명할 필요가 있다. 따라서 본 연구 결과는 독도 연안 주요 어종의 성장 특성과 생리적 상태를 이해하기 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 향후 장기적인 생태 모니터링과 환경 변화 평가를 위한 기준자료로 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(독도 및 심해 생태계 수산자원조사, R2026005)의 지원으로 수행되었다.

References

Bagenal TB and Tesch FW. 1978. Age and growth. In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. 3rd ed. Bagenal TB, ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K., 101-136.

Chellappa S, Huntingford FA, Strang RHC and Thomson RY. 1995. Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback. J Fish Biol 47, 775-787. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1995.tb06002.x.

Chung SD, Cha HK, Lee JB, Lee HW and Yang JH. 2015. Species composition of the catches collected by trammel net in the coastal waters off Ulleungdo of Korea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 51, 567-575. https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.567.

Dinh QM, Nguyen THD, Nguyen TTK, Tran GV and Truong NT. 2022. Spatiotemporal variations in length–weight relationship, growth pattern and condition factor of *Periophthalmus variabilis* Eggert, 1935 in Vietnamese Mekong Delta. PeerJ 10, e12798. https://doi.org/10.7717/peerj.12798.

Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. J Appl Ichthyol 22, 241-253. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x.

Galli O and Norbis W. 2016. Length–weight relationships and condition factor of two sciaenid species *Micropogonias furnieri* and *Cynoscion guatucupa* from the Rio de la Plata and Uruguayan ocean coast, Southwestern Atlantic. Rev Biol Mar Oceanogr 51, 347-357. https://doi.org/10.4067/S0718-19572016000200012.

Gim JW and Hyun SY. 2019. Importance of considering year-to-year variability in length–weight relationship in a size-based fish stock assessment. Korean J Fish Aquat Sci 52, 719-724. https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0719.

Han IS, Lee JS and Jung HK. 2023. Long-term pattern changes of sea surface temperature during summer and winter due to climate change in the Korea waters. Fish Aquat Sci 26, 639-648. https://doi.org/10.47853/FAS.2023.e56.

Han KH, Kim YU and Kim CM. 1996. Description of egg and larvae of two species of rockfishes (Scorpaenidae: *Sebastes*) in Korean waters. Korean J Ichthyol 8, 1-9.

Kai Y and Nakabo T. 2008. Taxonomic review of the *Sebastes inermis* species complex (Scorpaeniformes: Scorpaenidae). Ichthyol Res 55, 238-259. https://doi.org/10.1007/s10228-007-0029-7.

Kang CB, Kim JK, Han KH and Myoung JG. 2025. Dictionary of Korean Fish Names. National Marine Biodiversity Institute of Korea, Seocheon, Korea, 896 pp.

Karakulak FS, Erk H and Bilgin B. 2006. Length–weight relationships for 47 coastal fish species from the northern Aegean Sea, Turkey. J Appl Ichthyol 22, 274-278. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00736.x.

Kim JH, Baek JI and Kim SH. 2025. Characteristics of catch selection according to mesh size for atka mackerel (*Pleurogrammus azonus*) gillnet in the coastal sea of Gangwon. J Korean Soc Fish Ocean Technol 61, 1-8. https://doi.org/10.3796/KSFOT.2025.61.1.001.

Kulik VV and Gerasimov NN. 2016. Length–weight and length–length relationships of 11 fish species from the Sea of Okhotsk. J Appl Ichthyol 32, 1326-1328. https://doi.org/10.1111/jai.13225.

Lee HW, Hong BK, Sohn MH, Chun YY, Lee DW, Choi YM and Hwang KS. 2010. Seasonal variation in species composition of fish collected by trammel net around Dokdo, East Sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 693-704. https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.693.

Lee SI, Yang JH, Yoon SC, Chun YY, Kim JB, Cha HK, Chang DS and Kim JW. 2009. Maturity and spawning of the Atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* (Jordan and Metz) in the East Sea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 633-641. https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.633.

Myoung JG. 2002. The fish fauna around Dokdo in the East Sea, Korea. Ocean Polar Res 24, 449-455. https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.4.449.

Nam KM, Yoo JT, Kim JW, Park JH and Baeck GW. 2018. Maturation and spawning of female black scraper, *Thamnaconus modestus* in the coastal waters off Middle East Sea, Korea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 54, 89-95. https://doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.1.089.

Okiyama M, ed. 2014. An Atlas of Early Stage Fishes in Japan. 2nd ed. Tokai University Press, Hadano, Japan, 1,639.

Park JM, Rho HS, Lee HG, Myoung SH, Jawad LA, Lee JH and Choi CG. 2023. First biometric relationship and seasonal condition factors of *Sebastes zonatus* Chen and Barsukov, 1976 and *Thamnaconus modestus* (Günther, 1877) inhabiting the waters of Ulleung-do and Dokdo. Korean J Ichthyol 35, 50-56. https://doi.org/10.35399/ISK.35.1.7.

Pauly D, Froese R, Liang C, Müller J and Sorensen P. 2023. Post-spawning growth acceleration in fish as a result of reduced live weight and thus, increased food conversion efficiency. Environ Biol Fishes 106, 2031-2043. https://doi.org/10.1007/s10641-023-01482-2.

Reis EG and Pawson MG. 1999. Fish morphology and estimating selectivity by gillnets. Fish Res 39, 263-273. https://doi.org/10.1016/S0165-7836(98)00199-4.

Shimada Y, Nokubi K, Yamamoto S, Murata O and Kumai H. 2009. Reproduction between *Oplegnathus fasciatus* and *O. punctatus*, and fertility of their interspecies. Fish Sci 75, 521-523. https://doi.org/10.1007/s12562-008-0029-1.

Shin HR, Lee JH, Kim CH, Yoon JH, Hirose N, Takikawa T and Cho K. 2022. Long-term variation in volume transport of the Tsushima warm current estimated from ADCP current measurement and sea level differences in the Korea/Tsushima Strait. J Mar Syst 232, 103750. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103750.

Takashima T, Okada N, Asami H, Hoshino N, Shida O and Miyashita K. 2016. Maturation process and reproductive biology of female arabesque greenling *Pleurogrammus azonus* in the Sea of Japan, off the west coast of Hokkaido. Fish Sci 82, 225-240. https://doi.org/10.1007/s12562-015-0951-y.

Weatherley AH and Gill HS. 1987. The Biology of Fish Growth. Academic Press, London, U.K., 443 pp.