

# 광양만 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*)의 서식처 이동에 의한 먹이원 변동 파악을 위한 안정동위원소 분석기법 적용

최보형<sup>1</sup> · 조현빈<sup>1</sup> · 박기연<sup>1</sup> · 곽인실<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 수산과학연구소, <sup>2</sup>전남대학교 해양융합과학과

**Isotopic Evidence for Ontogenetic Shift in Food Resource Utilization during the Migration of the Slipmouth *Leiognathus nuchalis* in Gwangyang Bay, Korea by Bohyung Choi<sup>1</sup>, Hyunbin Jo<sup>1</sup>, Kiyun Park<sup>1</sup> and Ihn-Sil Kwak<sup>1,2,\*</sup>** (<sup>1</sup>Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; <sup>2</sup>Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

**ABSTRACT** We investigated carbon and nitrogen isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) of the slipmouth *Leiognathus nuchalis* to reveal the effects of body size, feeding strategy and spatial distribution on the food resource utilization during the migration in the Seomjin estuary and Gwangyang Bay. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of *L. nuchalis* caught in the Seomjin estuary where the salinity is lower than 30 psu were much lower than those in the deep-bay area of Gwangyang Bay. Such a spatial heterogeneity in  $\delta^{13}\text{C}$  values of the *L. nuchalis* clearly indicates active feeding within the estuarine habitat. In contrast, the  $\delta^{15}\text{N}$  values of *L. nuchalis* showed a consistency among sites, indicating that this species occupies identical trophic level across the whole area. The slipmouth distributed throughout the bay area, reflecting its euryhaline characteristics. However, the distribution pattern appeared to be separated according to body size into smaller individuals in the low-saline estuary and larger ones in the deep bay. Overall results support the plastic feeding strategy of the slipmouth from zooplanktonic (estuarine habitat) to epibenthic (deep-bay habitat) feeder during the migration between estuarine to deep-bay habitats.

**Key words:** *Leiognathus nuchalis*, estuary, stable isotope, habitat properties

## 서 론

농어목, 주둥치과에 속하는 주둥치 *Leiognathus nuchalis*는 상업적 가치는 비교적 낮지만, 우리나라 남해안 대부분의 연안에서 높은 개체밀도를 보이고 있어 생태학적으로 중요한 어종이다. 남해안 주둥치의 섭식에 대한 연구로는 주둥치 후기자어의 먹이원 추적을 통한 섭식 특성연구(Cha and Park, 2001), 잘피밭에서 서식하는 주둥치 성어의 식성(Huh and Kwak, 1997), 가덕도 주변해역에서 출현한 주둥치의 위내용물 분석(Jeong *et al.*, 2015) 등이 보고되었다. 그러나 주둥치의 서식처 환경이 매우 다양한 반면, 서식처에 따른 먹이원의 조

성 차이에 대한 연구는 활발하게 이루어져 있지 않은 실정이다.

주둥치의 주요 서식처 중 광양만은 우리나라의 자연형 하구인 섬진강 하구가 인접하여 있어 다양한 육상기원의 물질이 유입되고 있으며, 광양제철을 비롯한 인근 산단의 영향권에 있는 지리적인 특성을 갖고 있고, 또한 연안에는 굴과 홍합을 비롯한 수산양식장이 위치하고 있으며, 다양한 어류의 주요 서식처로 알려져 있는 해역이다(Kwak *et al.*, 2012). 특히 주변 해역에 비해 염분이 낮은 섬진강 하구의 기수역에서도 주둥치의 출현이 보고되고 있다(Yoon *et al.*, 2017). 그러나 기수역에서 발견되는 주둥치의 회유에 관한 연구는 전무하며, 특히 기수역에서의 섭식 및 생태 특성에 대한 연구는 미비하다. 특히 어류의 이동성을 고려하였을 때, 주둥치의 섭식활동이 하구역에서 이루어지고 있지 않을 가능성 또한 존재한다. 따라서 기수역에서 발견되는 주둥치와 연안에서 발견되는 주둥치의 섭

저자 직위: 최보형(연구교수), 조현빈(연구교수), 박기연(연구교수), 곽인실(교수)

\*Corresponding author: Ihn-Sil Kwak Tel: 82-61-659-7148, Fax: 82-61-659-7149, E-mail: inkwak07@naver.com, iskwak@jnu.ac.kr

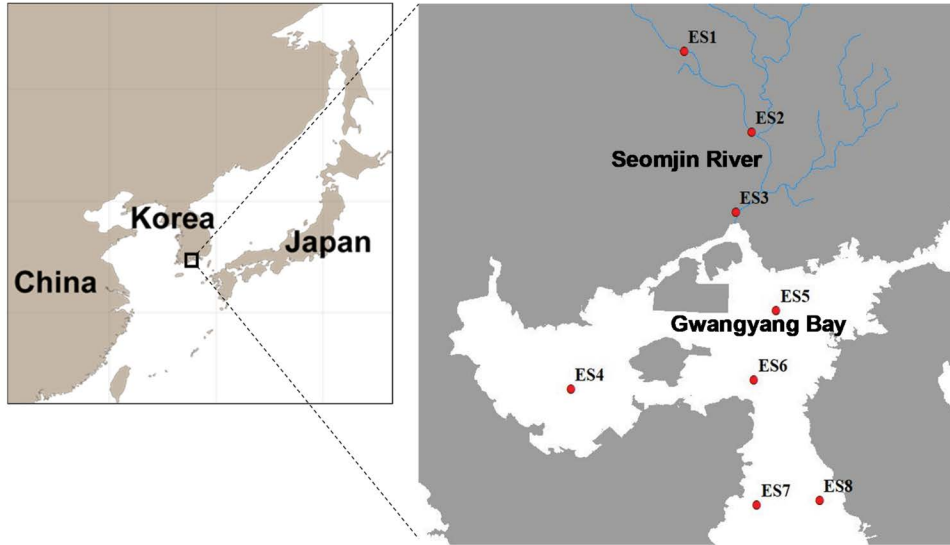


Fig. 1. Study sites.

식 및 생태 특성을 비교하여 특성을 규명하는 연구가 필요하다.

안정동위원소는 해양생물의 먹이망 구조를 파악하기 위한 연구에 널리 활용되고 있다(Kang *et al.*, 2016; Choi and Shin, 2018). 탄소 안정동위원소비( $\delta^{13}\text{C}$ )는 먹이원과 섭식자 간 차이가 적어 섭식생물의 먹이원을 추적하기 위한 연구에 주로 활용되며, 먹이원과 섭식자 간의 비교적 일정한 차이를 보이는 질소 안정동위원소비( $\delta^{15}\text{N}$ )는 생물의 영양단계를 산출하는데 활용가치가 높은 것으로 알려져 있다(Choi and Shin, 2018). 특히 생물체 내 상대적으로 장기간의 축적된 정보를 제공하는 안정동위원소 분석기법의 장점은 단시간의 정보를 제공하나, 상세한 먹이원 정보를 제공하는 위내용물 분석법과 병행한다면 먹이망을 연구하는 데 있어 좋은 해상력을 갖출 수 있게 한다(Jones and Waldron, 2003; Lugendo *et al.*, 2006). 또한 기초생산자가 나타내는 안정동위원소 비의 지리적 차이는 어류의 먹이원 추적뿐만 아니라 어류의 이동경로 추적(Suzuki *et al.*, 2008), 주요 서식처 및 수산물의 원산지 추적 등의 연구에도 널리 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2015). 따라서 주둥치의 서식처에 따른 안정동위원소 비의 차이나 변화는 이들의 이동성과 채집해역에서의 섭식활동 등에 대한 정보를 획득하기 위한 효과적인 연구방법이 될 수 있다.

본 연구에서는 탄소 및 질소 안정동위원소 분석기법을 활용하여 섬진강 하구를 포함한 광양만에서 채집된 주둥치의 서식처별 먹이원의 차이를 살펴보고자 하였다. 넓은 염분 분포에서 이동하는 주둥치의 서식처 간 먹이원에 대한 연구는 다양한 주연성 및 회유성 어류의 먹이원 특성에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 재료 및 방법

주둥치 채집은 2019년 5월 22일과 6월 12일에 하구역 3 정점인 ES-1, ES-2, ES-3과 광양만 연안 5 정점인 ES-4에서 ES-8까지 각각 실시하였으며, 각 정점에서 휴대용 다항목 측정기(YSI, Model 556MPS)를 이용하여 표층수의 수온, 염분과 pH를 측정하였다(Fig. 1). 하구역 ES-1~ES-3에서는 선외기를 이용하여 형망(망폭 1.5\*0.5 m, 망목 10 mm)으로 각 정점당 소해면적 926 m<sup>2</sup>에서 채집을 실시하였으며, 연안인 ES-4부터 ES-8에서는 저인망 어선을 이용하여 새우조망(망폭 8 m, 망목 30 mm)으로 각 정점당 2kt의 속도로 10분간 예망하여 소해면적 4,939 m<sup>2</sup>에서 채집을 실시하였다. 채집된 주둥치의 개체수와 체장, 체중을 측정 후, 안정동위원소 분석을 위해 정점당 3개체씩을 무작위로 추출하여 냉동상태로 실험실로 이동하여 전처리를 실시하였다.

탄소 및 질소 안정동위원소 분석을 위한 주둥치 시료는 각 정점당 무작위로 3개체씩을 선정하여 등 근육을 적출하여 분석을 실시하였으며, ES-1과 ES-8에서는 각각 1개체와 2개체에서 분석을 실시하였다. 적출된 주둥치의 등근육 시료는 동결 건조 후 막자사발로 균질화를 한 후, 튜캡에 약 1 mg을 담아 봉한 후 원소분석기와 연계된 안정동위원소 질량분석기(EA-IRMS, Isoprime, U.K.)를 이용하여 탄소 및 질소 안정동위원소 분석을 실시하였다. 일반적으로 탄소 안정동위원소 분석을 위한 시료는 지질 제거가 필요하다. 그러나 본 연구에서 안정동위원소 분석에 활용한 등근육 시료는 지질 함량이 매우 작아 이러한 과정을 생략하였다. 측정된 안정동위원소비는 ‘ $\delta$ ’ 값으로 산출하였으며, 산출식은 다음과 같다.

**Table 1.** Geographical information and physical characteristics of each study sites

Site	Latitude	Longitude	Temperature (°C)	Salinity (psu)	pH
ES-1	N 35°6.0236	E 127°42.0215	19.5	0.18	6.54
ES-2	N 35°2.3	E 127°46.2	20	9.26	7.6
ES-3	N 34°58.45	E 127°46.02	20.6	11.19	7.83
ES-4	N 34°51.17	E 127°39.45	22.2	30.43	8.24
ES-5	N 34°53.3	E 127°48.4	22.7	29.55	7.43
ES-6	N 34°52.9	E 127°47.9	22.3	27.39	8
ES-7	N 34°47.2	E 127°46.7	21.3	31.22	8.19
ES-8	N 34°45.7	E 127°49.5	20.7	31.23	8.14

**Table 2.** Population density and average values in total size and weight of *Leiognathus nuchalis* caught at each sampling sites

Site	Population density (inds/m <sup>2</sup> )	Total length (mm)	Total weight (g)
ES-1	0.001	80	6.89
ES-2	0.145	73.91±5.81	5.38±1.58
ES-3	0.134	74.01±6.56	5.07±1.81
ES-4	0.319	86.19±9.81	8.68±3.30
ES-5	0.063	88.13±5.79	9.49±2.24
ES-6	0.066	82.14±6.53	7.53±2.12
ES-7	0.063	87.62±8.23	10.50±3.09
ES-8	0.005	84.08±8.77	8.51±2.88

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000 (\text{‰}),$$

$$(R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}, {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}), \quad (\text{eq. 1})$$

VPDB (Vienna PeeDee Belemnite, IAEA)와 대기중 질소기체의 동위원소비를 탄소 및 질소 안정동위원소 계산을 위한 표준물질로써 각각 사용하였으며 시료의 분석 중 분석 오차를 확인하기 위한 표준물질은 국제 원자력기구(IAEA)에서 제공하는 CH-3 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $-24.72 \pm 0.1\text{‰}$ )와 N-1 ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $0.4 \pm 0.1\text{‰}$ )을 각각 5회 분석을 실시하였다. 분석 오차는  $\delta^{13}\text{C}$ 에서  $\pm 0.1\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 에서  $\pm 0.2\text{‰}$  이내로 확인되었다.

주둥치의 영양단계 산출은 질소 안정동위원소비를 활용하여 Vander zanden and Rasmussen (1999)에 의해 제안된 식을 사용하였다.

$$\text{영양단계 (Trophic Level, TL)} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / \text{TDF} + 1 \quad (\text{eq. 2})$$

위 식에서  $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ 는 Choi *et al.* (2017)에 의해 보고된 광양만의 퇴적물내 유기물의  $\delta^{15}\text{N}$  값(8‰)을 이용하였으며, TDF (trophic discrimination factor)는 3.4‰ (Vander zanden and

Rasmussen, 1999)을 사용하였다.

각 정점에서 채집된 주둥치의 안정동위원소비를 비교하기 위해 R (ver. 3.6.1)을 사용하여 oneway ANOVA (analysis of variance)를 실시하고 Tuckey와 Duncan method를 통해 사후 검증하였다.

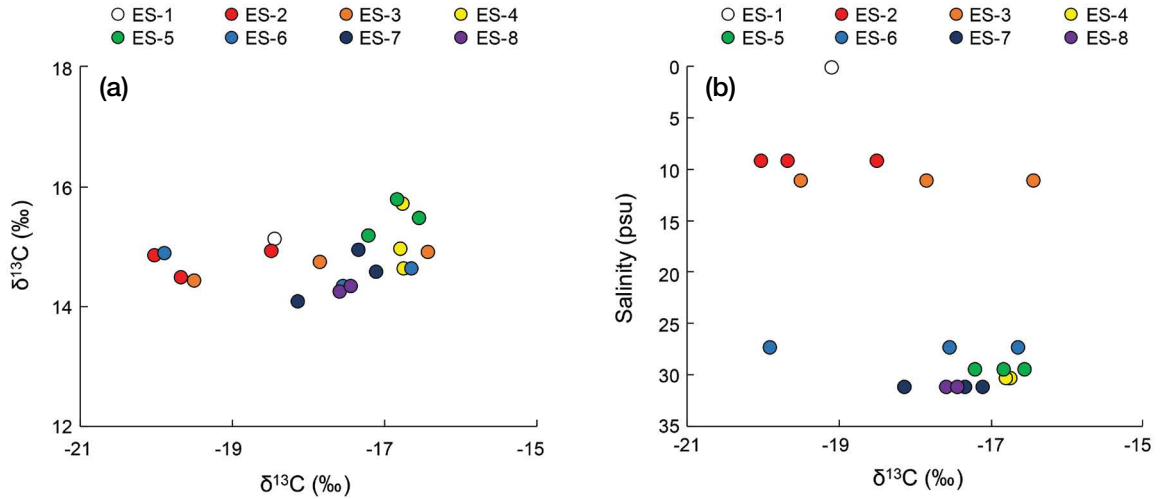
## 결 과

연구정점에서 분석된 표층수의 염분은 하구의 상류(ES-1, 0.2 psu)에서 하구(ES-2~ES-3, 9.3~11.2 psu)까지 뚜렷한 증가 경향을 보였으며, 광양만인 ES-4~ES-8에서는 27.4 psu (ES-6)에서 31.2 psu (ES-8)의 범위로 하구역과 뚜렷하게 구분이 되었다(Table 1). pH 또한 염분과 유사하게 연구정점의 최상류인 ES-1 (6.54)에서 가장 낮고, 섬진강에서 가장 먼 정점인 ES-7과 ES-8에서 각각 8.19와 8.14로 가장 높은 것으로 확인되었다.

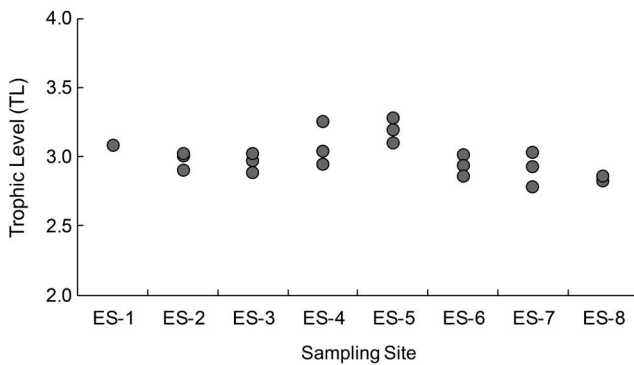
본 연구 정점 내 섬진강 하구역에 속하는 ES-1 (0.18 psu)에서 채집된 주둥치는 1마리(0.001 inds/m<sup>2</sup>)에 불과하였으나, ES-2 (0.145 inds/m<sup>2</sup>)와 ES-3 (0.134 inds/m<sup>2</sup>)에서의 개체 밀도는 광양만에서 가장 높은 개체밀도(0.319 inds/m<sup>2</sup>)를 보인 ES-4를 제외한 다른 정점에 비해 높은 것으로 확인되었다(Table 2). 다른 광양만 정점에서 주둥치의 개체밀도는 가장 외측인 ES-8 (0.134 inds/m<sup>2</sup>)에서 다소 작았으며, 다른 정점(ES-5~ES-7)에서는 유사한 것으로 나타났다.

각 정점에서 채집된 주둥치의 체장 및 체중은 매우 넓은 범위를 보이고 있었으나, 평균 체장 및 체중은 하구역 정점에서 채집된 개체군이 광양만 정점에서 채집된 개체군에 비해 비교적 작아 염분 분포와 유사한 경향을 보였다(Table 2).

본 연구에서 진행된 주둥치의  $\delta^{15}\text{N}$  값은 14.1‰에서 15.7‰의 범위로 채집된 정점과 분석된 개체에 따른 차이가 크지 않았으나,  $\delta^{13}\text{C}$  값의 범위는  $-20.0\text{‰}$ 에서  $-16.4\text{‰}$ 로  $\delta^{15}\text{N}$  값



**Fig. 2.** Dual plot of carbon and nitrogen isotope ratios in *Leiognathus nuchalis* sampled in Gwanyang Bay and Seomjin Estuary (a), and that of carbon isotope ratio of *Leiognathus nuchalis* and salinity of surface water, at each sampling sites (b).



**Fig. 3.** Trophic level of *Leiognathus nuchalis* estimated by nitrogen isotope ratio, sampled in Gwanyang Bay and Seomjin Estuary.

에 비해 다양하게 나타났다(Fig. 2a). 특히 ES-1 (-18.4‰), ES-2 (-19.4±0.8‰)와 같은 하구역에서 채집된 주둥치에서 낮은 탄소 δ<sup>13</sup>C 값이 나타났으며, 염분이 높은 ES-4 (-16.8±0.0‰), ES-5 (-16.9±0.3‰), ES-7 (-17.5±0.5‰), ES-8 (-17.5±0.1‰)에서 상대적으로 높은 값을 보였다(Fig. 2a). 또한, 하구역 입구인 ES-3 (-17.9±1.5‰)과 광양만에서 염분이 다소 낮은 것으로 나타난 ES-6 (-18.0±1.7‰)에서 채집된 주둥치의 δ<sup>13</sup>C 값은 하구역과 광양만의 중간 값을 보이고 있었으며, 다른 정점에 비해 개체 간 변화 폭이 큰 것으로 확인되었다(Fig. 2b). 정점 간 δ<sup>15</sup>N 값의 차이는 ES-5와 ES-8 사이에서 유의한 차이가 확인되었으며(p<0.01), δ<sup>13</sup>C 값은 ES-2와 ES-4에서 가장 큰 차이가 나타나는 것으로 확인되었다(p<0.05).

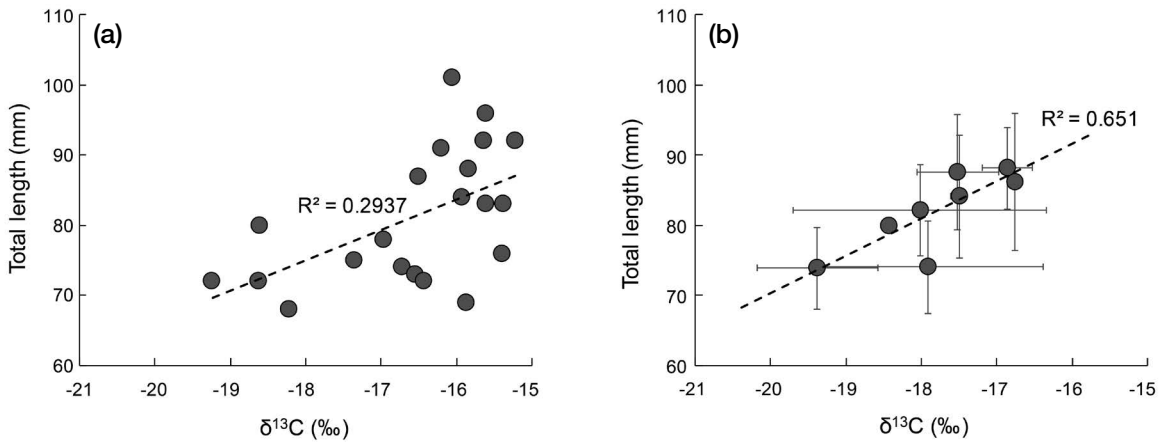
δ<sup>15</sup>N 값을 이용하여 계산한 주둥치의 영양단계는 2.8~3.3의 범위로, 육식성 어류에 속하며, 각 정점과 개체 간 차이는

크지 않은 것으로 확인되었다(Fig. 3).

## 고찰

본 연구에서 나타난 광양만의 염분 및 pH의 변화는 섬진강으로부터 유입되는 담수가 섬진강 하구 및 연안까지 영향을 미치고 있음을 의미하며, 이러한 경향은 일반적인 자연형 하구에서 나타나는 경향과도 일치한다(Meng *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2020). 따라서 본 연구에서 실시된 주둥치 시료의 채집 정점은 염분에 따라 하구역(ES-1, ES-2, 그리고 ES-3)과 광양만(ES-4~ES-8)으로 구분할 수 있었다.

주둥치의 주서식처는 수심이 얇은 연안으로 알려져 있으나, 담수역에서도 발견되고 있다(Yoon *et al.*, 2017). 본 연구 정점 중 섬진강에서 유입되는 담수의 영향으로 염분이 낮은 기수역에 해당하는 ES-2와 ES-3에서의 높은 개체밀도는 기수역 또한 주둥치의 중요한 서식처 중 하나임을 의미한다. 그러나 기존의 연구들은 주로 국내 연안을 대상으로 주둥치의 개체밀도 및 생태 특성에 대한 연구가 진행되어 기수역에서 주둥치의 생태 및 섭식 특성에 대한 이해가 부족하다. 본 연구에서 주둥치의 δ<sup>13</sup>C 값은 각 정점에서 주둥치가 섭식한 먹이원에 따른 차이를 보여주고 있다. 유기물의 탄소 안정동위원소비는 기초생산자가 사용하는 무기탄소에 의해 결정되며, 해양기원 기초생산자의 δ<sup>13</sup>C 값이 담수기원 기초생산자나 육상 식물에 비해 더 높은 것으로 알려져 있다(Caputi *et al.*, 2020). 예를 들어 Kang *et al.* (2020)에 의해 알려진 섬진강 하구에서 채집된 입자성 유기물의 δ<sup>13</sup>C 값은 -29.1‰에서 -21.1‰의 범위로, 수층의 염분에 따른 뚜렷한 차이가 나타났으며, 이는 담수기



**Fig. 4.** Relationship between  $\delta^{13}\text{C}$  of *Leiognathus nuchalis* and their length in (a) individual specimen for all sites, and in (b) average values at each sampling sites.

원 유기물과 해양기원 유기물의  $\delta^{13}\text{C}$  값의 차이에 기인한 것으로 설명하고 있다. 본 연구에서 나타난 하구역 정점과 광양만 정점에서 채집된 주둥치의  $\delta^{13}\text{C}$  값의 차이는 각 정점에서 유기물의  $\delta^{13}\text{C}$  값에 기인한 것으로, 이를 통해 각 정점에서 채집된 주둥치가 섭식 활동을 한 서식처의 특성을 유추할 수 있다. 특히 안정동위원소 회전율(isotopic turnover rate)은 생물의 크기에 비례하며, 일반적으로 어류의 안정동위원소비는 약 한달 이상의 섭식 활동에 대한 결과를 보여주고 있는 것으로 산정된다(Herzka, 2005). 따라서 본 연구에서 나타난 주둥치의  $\delta^{13}\text{C}$  값의 차이는 주둥치의 섭식 활동이 이루어진 서식처가 다를 것을 보여주었다. 또한 하구역의 입구인 ES-3에서  $\delta^{13}\text{C}$  값의 변화폭이 넓은 것은 주둥치의 이동이 이루어지는 섬진강 하구역에서 광양만에 대한 수리수질적 특성이 반영된 것으로 보인다. 이러한 경향은 광양만 정점인 ES-6에서도 뚜렷하게 나타났으며, 이는 섬진강과 광양만의 해류의 이동 및 물질 흐름에 대한 경향과 일치한다(Kim *et al.*, 2019).

주둥치의 평균 체장에서 정점 간 차이가 뚜렷하게 나타나 정점 간 먹이원의 탄소 안정동위원소비 차이에 기인하는 주둥치의  $\delta^{13}\text{C}$  값과도 좋은 상관성을 보였다(Fig. 4b). 즉 하구역에서 서식하는 주둥치의 크기가 대체적으로 작은 것이 반영되었으며, 광양만의 개체 크기는 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 반면, 주둥치의 개체 간 체장과  $\delta^{13}\text{C}$  간 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났는데(Fig. 4a), 이는 하구역에 서식하는 주둥치 개체의 크기가 작은 반면, 주둥치의 이동이 이루어지는 광양만에서 조사된 개체의 크기는 상대적으로 다양한 것이 영양을 미친 것으로 보인다. 따라서 크기가 큰 주둥치(80 mm 이상)의 서식처는 광양만으로 한정되지만, 크기가 작은 주둥치의 서식처는 섬진강 하구역에서부터 광양만 연안까지 분포함을 보여주었다. 결과적으로, 탄소 안정동위원소 분석을 통하여 광양만

에 서식하는 주둥치는 넓은 서식 반경을 가지고 있는 광염성 어종으로 각 개체의 서식처 이동이 비교적 자유로운 종임을 보여주었다.

섭식생물의 질소 안정동위원소비는 해당 서식처의 기초생산자의  $\delta^{15}\text{N}$  값과 섭식자의 영양단계에 의해 결정되는데 본 연구에서 나타난 정점 간 주둥치의  $\delta^{15}\text{N}$  값의 차이는 근소하여 이들의 영양단계가 유사한 것으로 나타났다. 예를 들어, 주둥치의 주먹이원이 저서무척추 동물로 알려져 있음을 고려하면 광양만 내 서식하는 주둥치의 영양단계( $3.0 \pm 0.1$ , Fig. 3)는 주둥치의 섭식 특성이 육식성이라는 기존의 연구 결과와 일치한다(Huh and Kwak, 1997; Jeong *et al.*, 2015). 기존 연구(Hur and Kwak, 1997; Jeong *et al.*, 2015)에서 주둥치의 크기에 따라 먹이원에 차이가 있음이 확인되었으나, 본 연구에서 조사된 주둥치의 정점별 평균 크기의 범위인  $73.9 \pm 5.8 \text{ mm} \sim 88.1 \pm 5.7 \text{ mm}$  내에서는 먹이원의 차이가 크지 않은 것으로 보고되었다. 따라서 본 연구에서 분석된 주둥치의 탄소 및 질소 안정동위원소비는 주둥치가 하구역과 해수역을 서식처로 이동 또는 이용하는 반면, 각 서식처에서 섭식하는 먹이생물은 차이가 거의 없음을 시사하였다.

본 연구에서는 안정동위원소 분석을 통해 광양만에 서식하는 주둥치가 광염성으로 넓은 서식범위를 가지고 있는 것으로 확인하였다. 기수역은 담수에서 유입되는 영양염에 의해 일차생산력이 높아, 다양한 주연성 및 회유성 어류에게 중요한 서식처로 간주되고 있는데(Lee *et al.*, 2012), 주둥치의 섭식활동이 기수역을 포함한 다양한 연안역에서 가능한 것을 안정동위원소 분석을 통하여 확인되었다. 특히 섬진강 하구에서 주둥치의 높은 개체밀도는 향후 기수역 서식어류의 생태 특성을 이해하는데 활용 가능할 것이다. 특히 주둥치와 같은 광염성의 다양한 서식처를 가지고 있는 어류에 대한 안정동위원소

분석기법의 활용은, 담수기원 유기물이 해양생물에 미치는 영향을 파악하고 서식처 특성 분석 연구에 널리 활용될 수 있을 것이다.

## 요 약

섬진강 하구와 광양만에 서식하는 주둥치의 서식처 및 섭식 특성을 비교하기 위해 탄소 및 질소 안정동위원소 분석을 실시하였다. 주둥치의 탄소안정동위원소비( $\delta^{13}\text{C}$ ) 값은 염분이 30 psu보다 낮은 섬진강 하구에서 채집된 개체에서 광양만에 비해 낮은 값이 나타났으며, 이는 섬진강 하구에서 채집된 주둥치가 해당 정점에서 섭식활동을 하고 있음을 의미한다. 이와 대조적으로, 채집된 주둥치의 질소안정동위원소비( $\delta^{15}\text{N}$ ) 값은 정점 간 큰 차이를 나타내지 않아, 이들이 각 서식처에서 유사한 영양위치를 점유하고 있다는 것을 나타내었다. 주둥치는 만 전체에 널리 분포하고 있어 광염성 어류의 특성을 잘 대변하는 것을 보였는데, 상대적으로 소형개체들이 하구역에서 채집되는 반면 대형 개체들이 광양만에 분포하여 크기에 따른 서식처 분리를 나타내었다. 결론적으로 본 연구에서 나타난 주둥치의  $\delta^{13}\text{C}$  값의 서식처 간 차이와  $\delta^{15}\text{N}$  값의 일관성은 섬진강 하구에서 유어기에 주로 동물플랑크톤을 섭이하는 반면, 광양만에서 성어기에 저서무척추동물물을 섭이하는 육식성 섭식 특성과 함께 이동 중 서식환경에 따른 먹이자원의 이용에서의 변이를 잘 나타내어 주었다. 본 연구결과는 또한 광염성 어류의 서식처 특성과 먹이 이용 패턴을 파악하기 위한 연구에 안정동위원소 분석기법의 유용성을 잘 보여주었다.

## 사 사

이 논문은 한국연구재단 중점연구사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2018-R1A6A1A-03024314).

## REFERENCES

- Caputi, S.S., G. Careddu, E. Calizza, F. Fiorentino, D. Maccapan, L. Rossi and M.L. Costantini. 2020. Changing isotopic food webs of two economically important fish in Mediterranean coastal lakes with different trophic status. *Appl. Sci.*, 12: 2756. <https://doi.org/10.3390/app10082756>.
- Cha, S.S. and K.J. Park. 2001. Food organisms and feeding selectivity of postlarvae of slimy (*Leiognathus nuchalis*) in Kwangyang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 34: 666-671.
- Choi, B. and K.H. Shin. 2018. Applications and prospects of stable isotope in aquatic ecology and environmental study. *Korean J. Ecol. Environ.*, 51: 96-104. <https://doi.org/10.11614/KSL.2018.51.1.096>.
- Choi, B., S.Y. Ha, J.S. Lee, Y. Chikaraishi, N. Ohkouchi and K.H. Shin. 2017. Trophic interaction among organisms in a seagrass meadow ecosystem as revealed by bulk  $\delta^{13}\text{C}$  and amino acid  $\delta^{15}\text{N}$  analyses. *Limnol. Oceanogr.*, 62: 1426-1435. <https://doi.org/10.1002/lno.10508>.
- Herzka, S.Z. 2005. Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 64: 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.02.006>.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997. Feeding habits of *Leiognathus nuchalis* in eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. *Korean J. Ichthyol.*, 9: 221-227.
- Jeong, J.M., J.M. Park, S.H. Huh, H.J. Kim and G.W. Baeck. 2015. Diet composition of spot nape ponyfish, *Leiognathus nuchalis* in the coastal waters of Gadeok-do. *Korean J. Ichthyol.*, 27: 33-38.
- Jones, J.I. and S. Waldron. 2003. Combined stable isotope and gut contents analysis of food webs in plant-dominated, shallow lakes. *Freshw. Biol.*, 48: 1396-1407. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01095.x>.
- Kang, S., B. Choi, Y. Han and K.H. Shin. 2016. Ecological importance of benthic microalgae in the intertidal mud flat of Yeongheung Island; Application of stable isotope analysis (SIA). *Korean J. Ecol. Environ.*, 49: 80-88. <https://doi.org/10.11614/KSL.2016.49.2.080>.
- Kang, S., J.H. Kim, J.S. Ryu and K.H. Shin. 2020. Dual carbon isotope ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{14}\text{C}$ ) characterization of particulate organic carbon in the Geum and Seomjin estuaries, South Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 150: 110719. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110719>.
- Kim, D.K., H. Jo, I. Han and I.S. Kwaw. 2019. Explicit characterization of spatial heterogeneity based on water quality, sediment contamination, and ichthyofauna in a riverine-to-coastal zone. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030409>.
- Kim, H., S. Kumar and K.H. Shin. 2015. Applicability of stable C and N isotope analysis in inferring the geographical origin and authentication of commercial fish (Mackerel, Yellow Croaker and Pollock). *Food Chem.*, 172: 523-527. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.058>.
- Kwak, S.N., S.H. Huh and H.W. Kim. 2012. Change in fish assemblage inhabiting around Dae Island in Kwangyang Bay, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 18: 175-184. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2012.18.3.175>.
- Lugendo, B.R., I. Nagelkerken, G. Vander Velde and Y.D. Mgaya. 2006. The importance of mangroves, mud and sand flats, and seagrass beds as feeding areas for juvenile fishes in Chwaka Bay, Zanzibar: gut content and stable isotope analyses. *J. Fish. Biol.*, 69: 1639-1661. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01231.x>.
- Meng, J., Z. Yu, Q. Yao, T.S. Bianchi, A. Paytan, B. Zhao, H. Pan

- and P. Yao. 2015. Distribution, mixing behavior, and transformation of dissolved inorganic phosphorus and suspended particulate phosphorus along a salinity gradient in the Changjiang Estuary. *Mar. Chem.*, 168: 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.09.016>.
- Suzuki, K.W., A. Kasai, T. Isoda, K. Nakayama and M. Tanaka. 2008. Distinctive stable isotope ratios in important zooplankton species in relation to estuarine salinity gradients: Potential tracer of fish migration. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 78: 541-550. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.01.014>.
- Vander zanden, M.J. and J.B. Rasmussen. 1999. Primary consumer  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80: 1395-1404.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, S.H. Park, E. Kim and M.H. Jang. 2017. Impact of estuary barrage construction on fish assemblages in the lower part of a river and the role of fishways as a passage. *Ocean Sci. J.*, 52: 147-164. <https://doi.org/10.1007/s12601-017-0015-6>.