

동해 중부 연안 환경 변화에 따른 명태 개체 크기 및 분포의 시공간적 변화

정해근 · 이충일¹ · 박현재¹ · 박주면^{2,*}

국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과, ¹강릉원주대학교 해양자원육성학과,
²한국해양과학기술원 동해연구소 독도전문연구센터

Influences of Oceanographic Features on Spatial and Temporal Distributions of Size Spectrum of Walleye Pollock, *Gadus chalcogrammus* Inhabiting Middle Eastern Coast of Korea by Hae Kun Jung, Chung Il Lee¹, Hyun Je Park¹ and Joo Myun Park^{2,*} (Fisheries Resources and Environment Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea; ¹Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea; ²Dokdo Research Center, East Sea Research Institute, Korean Institute of Ocean Science & Technology, Uljin 36315, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated the seasonal and inter-annual changes in vertical distribution and size spectrum of walleye pollock, *Gadus chalcogrammus* inhabiting middle eastern coast of Korea (hereafter pollock). Pollock was distributed between 50 m and 600 m depth range, and body size (total length) ranged from 16.6 cm to 81.5 cm. The trends of population body size were increased in autumn and winter and decreased in spring and summer. Vertical distribution of pollock showed depth-dependent patterns with distributing smaller individuals mainly in the upper layer (shallower depth), while larger fish in deeper habitats. Those patterns in vertical distribution of pollock population is probably due to be the results of energy-saving strategy, metabolic effects, and changes in prey selections according to pollock growth, derived from spatial and temporal changes in oceanic condition in habitat grounds. When water temperature in upper layer were increased and that of below thermocline depth became decreased in 2017, the ratio of smaller (< 35 cm) and larger (≥ 35 cm) individuals was biased toward larger fishes, extending their distribution into shallow depth, and consequently main fishing ground was formed in far from coastal area. In addition, the ratio of smaller individual distributing between 100~300 m was increased with decreasing temperature gradient between below thermocline and bottom layer. Changes in spatial and temporal distributions of pollock population likely be related with vertical and horizontal changes in oceanic conditions and, consequently food supplies.

Key words: Walleye pollock, *Gadus chalcogrammus*, depth-related distribution, water temperature, East Sea

서 론

명태 (*Gadus chalcogrammus*)는 분류학적으로 대구과 (Gadidae) 대구목 (Gadiformes)에 속하며, 동해를 포함한 북태평양

광역에 분포하는 수산자원 생물이다 (Pallas, 1814). 또한 전 세계적으로 Peruvian Anchoveta (*Engraulis ringens*)와 함께 높은 생산량을 기록하며 상업적으로 가치가 높은 생물자원이다 (FAO, 2018). 이러한 명태는 주로 50~500 m 수심에 서식하는 저서성 어류이며, 무척추동물, 갑각류, 저서성 어류 등을 주로 섭식한다 (Yamamura *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2007). 동해 연안에 서식하는 명태는 암컷 전장 39 cm, 수컷 35.3 cm 이상이 되면 성숙기관이 발달하여 산란능력이 생기고 (Lee *et*

저자 직위: 정해근(해양수산연구소), 이충일(교수), 박현재(교수), 박주면(선임연구원)

*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-54-780-5344, Fax: 82-54-780-5319, E-mail: joomyun.park@kiost.ac.kr

al., 2019) 겨울철 연안으로 이동하여 산란을 한다(Kang et al., 2013). 주 산란 시기는 연안 저층 수온이 3~5°C가 형성되는 12월부터 그 이듬해 3월까지이다(Park and Ok, 1986; Kang et al., 2013; Lee et al., 2019). 동해 중부 연안(middle eastern coast of Korea)에 서식하는 명태의 주 산란장은 원산만을 포함한 동한만(북한) 주변으로 알려져 있으며, 주로 겨울철에 산란장으로 회귀하고 이후 봄과 여름에 성육장으로 이동한다(Kang and Kim, 2015).

북태평양에 서식하는 명태의 어획량은 1980년대 후반 이후 급격히 감소하였으며(Noakes and Beamish, 2009) 이러한 명태의 자원량 변화는 남획과 같은 인간의 인위적인 활동에 의한 영향과 기후변화에 따른 서식처의 물리적 환경 변화의 영향을 동시에 받는다고 알려져 있다(Jung et al., 2017). 특히 서식처의 물리적 환경 변화는 명태의 섭식생태, 생존율 및 회유경로 변화와 같은 생태학적 특성에까지 그 영향이 전달되며, 자원량 변화를 초래하는 주요 인자로 작용한다(Funamoto, 2018). 우리나라 동해안 중부해역에 서식하는 명태 또한 1980년 후반 이후 급격히 자원량이 감소하였으며, 이러한 자원량 변화는 서식처의 물리적 환경 변화와 유의한 상관성을 가진다(Kang and Kim, 2015; Jung et al., 2017). 하지만 명태 서식처의 환경 변화가 명태 자원량에 미치는 영향 및 기작을 구명하기 위해서는 명태의 기본적인 생태학적 특성과 환경 변화에 따른 반응에 관한 연구가 수행되어야 한다.

명태를 주요 수산자원으로 활용하는 일본과 미국은 명태 자원의 지속적인 이용과 보전을 위해 생활사 기반의 자원량 변동 기작 및 원인 구명과 산란장 및 서식처의 물리적 환경 변화에 따른 생태학적 반응에 관한 연구를 지속적으로 수행해 왔다(Sakurai and Miyake, 1994; Funamoto, 2007; Funamoto et al., 2013). 또한 환경 변화에 따른 생태학적 반응과 기작 구명에 관한 연구를 위하여 생활사 단계를 난·자치어, 미성어 및 성어 단계로 구분하여 연구가 수행되었다(Funamoto, 2018). 반면 국내의 명태 연구는 주로 생태학적 특성에 관한 연구 보다는 수산자원으로서의 지속적인 활용과 이용을 위한 자원량 예측, 어장 탐색 등의 자원학적 측면의 연구를 주로 수행해 왔으며, 연구의 다양성 또한 낮은 수준이다. 1990년대에는 우리나라 명태 어업의 적정 어획 노력량 추정에 관한 연구가 수행되었으며(Lee, 1991), 2000년대에는 환경 변화와 명태 어획량 사이의 관계를 구명하는 연구가 수행되었다(Yang et al., 2008; Lee and Kim, 2010). 이후 명태 자원량이 1톤 미만을 기록하는 2010년대에는 주로 과거의 문헌을 이용한 명태 개체군 평가(Kim et al., 2017), 전장에 따른 체급 추정(Bang et al., 2018), 초기 생활사 시기의 환경 변화가 생존율에 미치는 영향의 연구(Yoo and Byun, 2015; Seo and Kwon, 2017)가 수행되었다. 이처럼 동해 중부 연안에 서식하는 명태의 기초 생태학적 특성과 서식처의 환경 변화에 따른 생태학적 반응에 관한 연구

는 미흡한 실정이며, 자원량 변화의 원인 구명과 향후 예측을 위해 생태학적 특성과 관련된 사전연구가 필요하다.

본 연구에서는 동해 중부 연안에 출현하는 명태 개체 크기의 계절 및 연간 변동 특성을 파악하고 서식처의 물리적 환경 변화에 따른 공간적인 분포 변화를 분석하였다. 특히, 명태의 주 어획시기인 겨울철 수주구조 변화에 따른 어장 형성의 수평 및 수직적인 공간 변화와 주요 원인을 구명하였다.

재료 및 방법

1. 명태 채집 및 출현 개체 크기 및 서식 수심 분석

우리나라 동해안 중부 연안에 서식하는 명태의 분포 특성을 조사하기 위해 강원도 고성군 아야진 주변 해역에 서식하는 명태를 2016년 1월부터 2018년 2월까지 연안자망어업을 이용해 채집하였다(Fig. 1). 고성 아야진항을 기점으로 주변 해역에서 조업하는 연안자망 어선은 총 30척이며, 총 톤(ton) 수는 137.13 톤, 평균 4.57 톤이었다. 어구는 투망 후 24시간 이내에 양망하였으며, 4월부터 9월까지의 홀자망, 10월부터 이듬해 3월까지의 삼중자망을 이용하였다. 명태 채집 시 양망 일자와 어구가 설치된 수심 및 위경도 좌표를 기록하였으며, 채집 후 즉시 -20°C 냉동고에 보관하였다. 채집된 명태는 실험실로 운반 후 전장(total length)은 0.1 cm 단위까지, 개체의 체중(body weight)은 0.01 g 단위까지 측정하였다. 이와 함께 어선 톤당 어획량(kg) 비율을 계산하여 월별 단위노력당 어획량

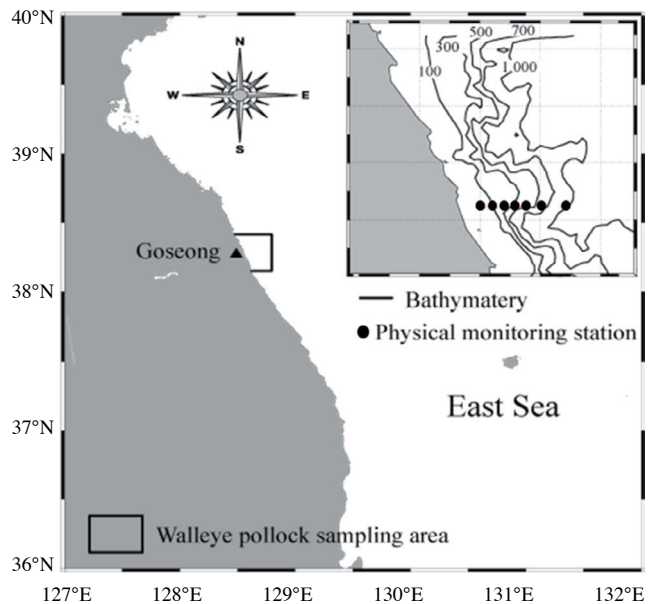


Fig. 1. Location of walleye pollock sampling area and water temperature monitoring stations in the middle eastern coast of Korea. Samples were collected within boxed area.

Table 1. Information of collected walleye pollock samples and fishing vessels

Year	2016				2017				2018
	Win. (Jan~Mar)	Spr. (Apr~Jun)	Sum. (Jul~Sep)	Aut. (Oct~Dec)	Win. (Jan~Mar)	Spr. (Apr~Jun)	Sum. (Jul~Sep)	Aut. (Oct~Dec)	Win. (Jan~Feb)
Number of vessels	18	15	13	22	20	18	15	26	24
Total tons (ton)	932.9	545.0	407.0	1,110.4	1,612.0	612.3	504.1	1,200.2	1,313.1
Averaged vessels tons (ton)	5.3	5.3	4.6	5.1	5.3	4.8	4.3	5.1	5.0
Fishing type (net)	Trammel	Gill	Gill	Trammel	Trammel	Gill	Gill	Trammel	Trammel
Mesh size (mm)	84.84	75.75	75.75	84.84	84.84	75.75	75.75	84.84	84.84
Total catches (kg)	69.2	19.1	19.7	70.4	118.9	28.5	29.3	64.1	111.0
Total Individuals	176	103	88	219	307	127	116	236	263

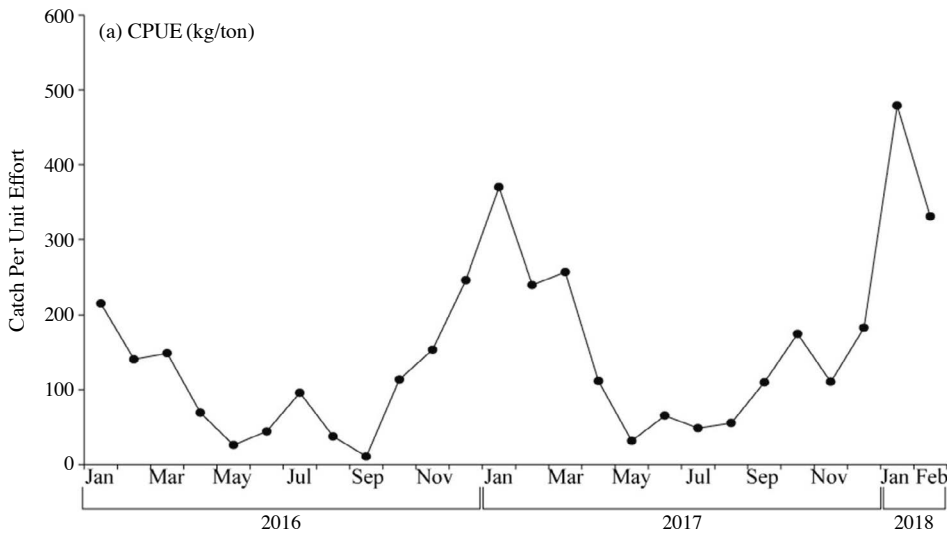


Fig. 2. Monthly changes in catch per unit effort (CPUE) of walleye pollock inhabiting middle eastern coast of Korea

(catch per unit effort, CPUE)을 산출하였다(Table 1).

명태 전장의 계절 및 연간 변화와 이에 따른 서식처의 공간적인 위치 변화를 분석하기 위해 명태의 전장을 25 cm 미만, 25~35 cm, 35~45 cm, 45 cm 이상 그룹으로 분류하였다. 서식 수심은 100 m 이하, 100~200 m, 200~300 m, 300~400 m 그리고 400 m 이상으로 분리하여 각 수심에 서식하는 개체의 크기 변화를 분석하였다. 이와 함께 주 어획 시기인 겨울철(Lee, 1991)에 채집된 명태를 대상으로 서식처의 물리적 환경 변화에 따른 공간적 위치와 개체군 크기의 연간 변화를 분석하였다.

2. 명태 서식처 물리환경 변동 특성

명태 주 어업 시기인 겨울철 환경의 연간 변화를 구명하기 위해 강원도 고성군 아야진 주변 해역의 1월과 3월 수온을 2016년부터 2018년까지 조사하였다(Fig. 1). 명태 어장이 형성되는 38.28°N를 중심으로 수심 40 m 연안(128.5833°E)부터

1000 m 이상 외양(128.7183°E)까지 총 7개의 정점을 선정하여 표층부터 수심 500 m까지 수층별 수온 변화를 관측하였으며, 연안역과 외양역 수온의 연간 변화를 분석하였다. 이와 함께 명태 서식처 수주(water column) 구조의 연간 변화를 분석하기 위해 7개의 정점에서 표층(1 m)부터 450 m까지 관측된 수온을 수심별로 평균값을 계산하였다.

결 과

1. 명태 크기와 분포 수심의 계절 변화

동해안 중부해역에서 채집된 명태의 단위노력당 어획량(CPUE kg/ton)은 4월부터 9월에 낮은 값을 기록하였으며(120 kg/ton) 이후 10월부터 급격히 증가(120 kg/ton 이상)하여 이듬해 3월까지 지속적으로 상승(250 kg/ton 이상)하는 계절변동

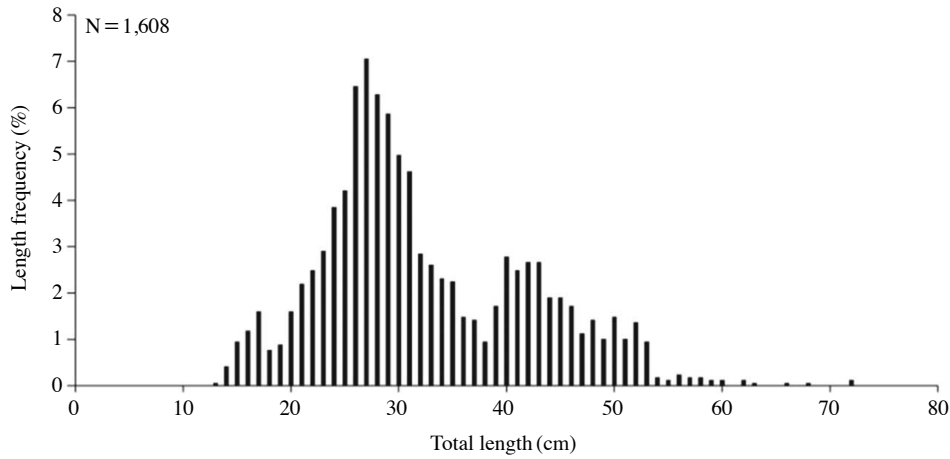


Fig. 3. Length-frequency distribution of walleye pollock inhabiting in middle eastern coast of Korea.

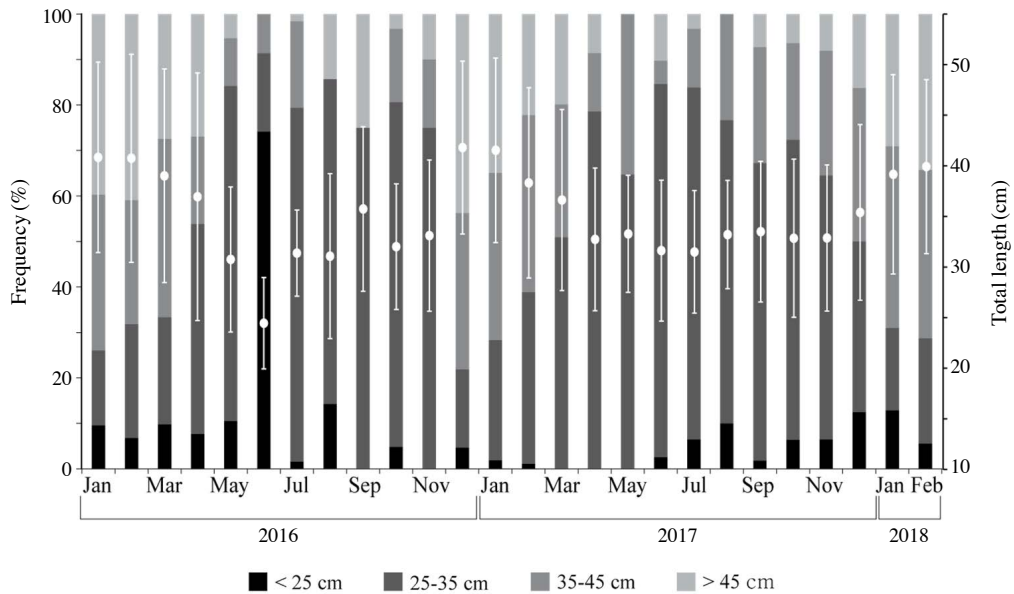


Fig. 4. Monthly variations to composition of size classes (left axis) and total length (right axis) of walleye pollock inhabiting in middle eastern coast of Korea.

특성을 나타낸다(Fig. 2). 이러한 단위노력당 어획량의 계절주기 변화는 시기별로 출현하는 개체의 크기와 관련 있다. 2016년 1월부터 2018년 2월까지 채집된 명태 개체의 전장은 16.6 cm~81.5 cm, 체중은 24.05 g~2677.19 g, 어획 수심은 50~600 m였다(Figs. 3, 4, 5). 명태 개체는 4개의 전장 그룹으로 분류되며, 25~35 cm 그룹이 차지하는 비율(45.5%)이 가장 높았다(Fig. 3). 이와 함께 35~45 cm 그룹이 차지하는 비율(27.2%)은 두 번째로 높았으며, 25 cm 미만 그룹은 8%, 45 cm 이상 그룹은 19.3%를 차지하였다.

명태의 크기는 가을과 겨울에 상대적으로 크며, 봄과 여름에 작은 계절변동 특성을 나타냈다(Fig. 4). 평균 전장은 1월

에 가장 크고(40.4 cm), 6월에 가장 작았으며(27.9 cm), 6월 이후 점차 증가하여 12월 평균 전장은 38.5 cm였다(Fig. 4). 월별 체장 비율을 살펴보면 상대적으로 개체 크기가 큰 35 cm 이상 명태의 비율은 1월부터 3월에 가장 높았으며, 반대로 35 cm 미만의 명태는 5월부터 8월 사이에 높은 비율을 차지하였다(Fig. 4).

동해 중부 연안에 서식하는 명태는 개체 크기에 따라 서식하는 수심이 달랐다. 수심 300 m 이하 영역에서는 주로 35 cm 미만 개체의 서식 비율이 높았으며, 반대로 300 m 이상 수심에서는 35 cm 미만 개체의 서식비율은 감소하고 35 cm 이상 개체의 서식비율은 증가하였다(Tables 2, 3, 4, 5). 이러한 명

Table 2. Seasonal changes in distributions <25 cm walleye pollock group in each depth range in middle eastern coast of Korea

Depth	25 cm			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
< 100 m	–	2.9%	2.3%	0.5%
100~200 m	43.2%	22.5%	8.3%	3.2%
200~300 m	13.6%	5.9%	4.5%	8.1%
300~400 m	9.1%	19.1%	37.1%	29.9%
> 400 m	34.1%	49.5%	47.7%	58.4%
Total individuals	44	48	10	26

Table 3. Seasonal changes in distributions 25~35 cm walleye pollock group in each depth range in middle eastern coast of Korea

Depth	25~35 cm			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
< 100 m	2.9%	19.4%	23.1%	2.8%
100~200 m	22.5%	20.1%	50.3%	8.5%
200~300 m	5.9%	12.7%	3.4%	32.5%
300~400 m	19.1%	20.9%	17.7%	37.4%
> 400 m	49.5%	26.9%	5.4%	18.7%
Total individuals	204	134	147	246

태 개체별 분포 특성은 개체 크기에 따른 계절주기의 변동성이 뚜렷하였다. 25 cm 미만 그룹은 100~200 m 수심에 서식하는 비율이 겨울철에 가장 높으며, 이후 봄, 여름, 가을에는 보다 깊은 수심으로 주 서식처를 변화하여 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 가장 높았다(Table 2). 이와 함께 100 m 미만 수심영역에 출현하는 비율은 봄과 여름철에 증가하고 가을과 겨울에 감소하는 계절주기 변동 특성을 나타내었다(Table 2). 25~35 cm 와 35~45 cm 개체 그룹은 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 겨울철에 가장 높으며 45% 이상을 기록하였다. 봄과 여름에는 400 m 이상 수심대에 서식하는 비율이 감소하고 200 m 미만 수심대에 서식하는 비율은 증가하였다. 이후 가을에는 다시 깊은 수심대로 이동하여 300 m 이상 수심에 서식하는 비율이 증가하였다(Tables 3, 4). 45 cm 이상 개체 그룹은 뚜렷한 계절 변동성을 나타내지 않으며 300 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 가장 높았다(Table 5).

2. 겨울철 명태의 개체군 크기와 분포의 연간 변화

겨울철 동해안 중부 연안에서 전장 25 cm 미만 명태 개체

Table 4. Seasonal changes in distributions 35~45 cm walleye pollock group in each depth range in middle eastern coast of Korea

Depth	35~45 cm			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
< 100 m	2.3%	10.3%	24.3%	1.9%
100~200 m	8.3%	31.0%	18.9%	12.0%
200~300 m	4.5%	6.9%	5.4%	19.4%
300~400 m	37.1%	24.1%	27.0%	33.3%
> 400 m	47.7%	27.6%	24.3%	33.3%
Total individuals	264	29	37	108

Table 5. Seasonal changes in distributions >45 cm walleye pollock group in each depth range in middle eastern coast of Korea

Depth	>45 cm			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
< 100 m	0.5%	–	–	–
100~200 m	3.2%	11.1%	40.0%	8.1%
200~300 m	8.1%	5.6%	–	11.3%
300~400 m	29.9%	16.7%	40.0%	22.6%
> 400 m	58.4%	66.7%	20.0%	58.1%
Total individuals	221	18	10	62

가 차지하는 비율은 2017년에 가장 낮았으며(1%), 2016년과 2018년에는 이보다 높은 8.9%와 9.9%를 기록하였다(Fig. 5). 2016년 25 cm 미만 그룹은 주로 400 m 보다 깊은 수심대에서 서식하는 비율이 높았다(80%). 개체수의 비율이 감소한 2017년은 100 m 보다 얕은 영역과 200~300 m 영역에서는 출현하지 않았으며, 이를 제외한 수심대에서는 고르게 분포하였다(Figs. 5, 6). 2018년에는 100~200 m 수심에 서식하는 비율이 가장 높았으며(65.4%), 200 m 보다 깊은 수심에 서식하는 비율은 34.6%를 기록하였다(Fig. 6).

25~35 cm 개체 그룹이 차지하는 비율은 2017년 38.4%를 기록하였으며, 2016년(20.8%)과 2018년(20.2%)에는 상대적으로 출현 비율이 낮았다(Fig. 5). 2016년 25~35 cm 개체 그룹은 주로 400 m 보다 깊은 수심에 서식하는 비율이 높았으며(65.7%), 100~200 m에 서식하는 비율이 두 번째로 높았다(22.9%) (Fig. 6). 이후 2017년에는 400 m 이상에서 서식하는 비율은 전년 대비 감소하였지만(4.4%), 100~200 m와 300~400 m 수심대에 서식하는 비율은 전년 대비 증가하였다(Fig. 6). 2018년에는 100 m 보다 얕은 수심과 200~300 m 수심에 출현하는 비율이 다른 두 해에 비해 높게 나타났으며,

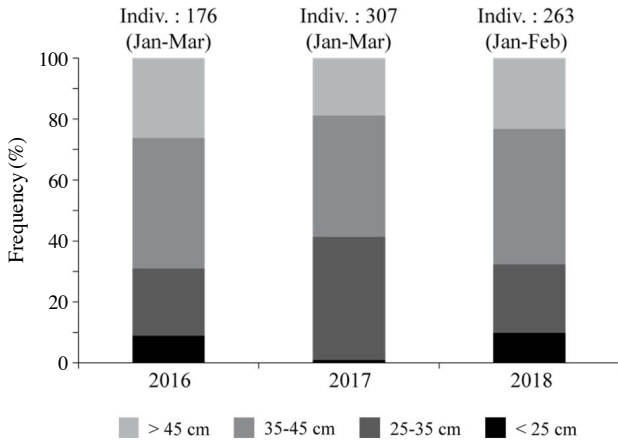


Fig. 5. Inter-annual variations in composition of size classes of wall-eye pollock caught from middle eastern coast of Korea during winter.

400 m 보다 깊은 수심에 서식하는 비율은 조사 기간 중 가장 낮았다(Fig. 6).

35~45 cm 그룹이 차지하는 비율은 2016년 33.9%, 2017년 34.8%, 2018년 38.8%를 기록하였으며, 다른 개체 그룹에 비해 연간 변동의 폭이 작았다(Fig. 5). 2016년 35~45 cm 그룹은 수심이 깊어짐에 따라 서식하는 비율이 높으며 수심 400 m 이상 수심에서 가장 높은 66.7%를 기록하였다(Fig. 6). 이후 2017년에는 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 전년 대비 감소하였으며, 100~200 m와 300~400 m 수심대에서 서식하는 비율은 증가하였다(Fig. 6). 2018년은 100 m 이하 수심대에서 서식하는 비율이 다른 두 해에 비해 높게 나타났으며, 반대로 400 m 이상 수심대에서 서식하는 비율은 가장 낮았다(Fig. 6).

45 cm 이상 명태 개체가 차지하는 비율은 2016년 36.3%, 2017년 25.8%, 2018년 31.2%를 기록하였으며(Fig. 5). 분포하는 수심대 중 400 m 이상 수심의 비율이 가장 높았다(Fig. 6). 2016년은 400 m 이상 수심에 서식하는 비율이 가장 높았으며, 개체수의 비율이 감소한 2017년에는 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율은 감소한 반면, 300~400 m 수심에 서식하는 비율은 전년 대비 증가하였다(Fig. 6). 2018년에는 400 m 이상 수심대에서 서식하는 비율은 다른 두 해에 비해 가장 낮았으며, 300~400 m 수심에 서식하는 비율은 전년 대비 증가하였다. 이와 함께 200 m 보다 얕은 수심에 서식하는 비율은 다른 두 해에 비해 높았다(Fig. 6).

겨울철 명태는 비교적 경사가 완만한 대륙붕의 저층 수심 100~700 m 이상 지역에 서식하였으며, 이러한 명태의 수평 분포는 뚜렷한 연간 변화를 나타내었다(Figs. 7, 8). 연간 개체 수 비율의 변동 폭이 가장 큰 35 cm 미만 그룹은 주로 저층 수심 100~300 m 지역에 서식하였다(Fig. 7). 하지만 개체수의 비율이 낮았던 2016년과 2018년은 주로 연안과 인접한 지역(저층 수심 300 m 이하)에 어장이 형성되었으며, 개체수의 비

율이 높았던 2017년에는 저층 수심 300 m 이상 지역에서 채집되는 비율이 증가하였다(Fig. 7).

35 cm 이상 개체 그룹의 어장 중심은 주로 저층 수심 100~300 m의 대륙붕 지역과 경사가 급한 대륙사면 부근 저층 수심 300~500 m 지역에 형성되었다(Fig. 8). 2016년에는 저층 수심 300~500 m 지역에 주로 분포하였으며, 2017년에는 주로 저층 수심 100~300 m에 분포 중심이 형성되었다(Fig. 8). 이후 2018년에는 저층 수심 300 m 이상 지역에서 어획되는 비율이 감소하고 주로 연안과 인접한 저층 수심 100 m 부근 분포하였다(Fig. 8).

3. 명태 서식처의 수주구조 연간 변동 특성

동해 중부의 연안 수온은 뚜렷한 연간 변화를 나타냈다. 2016년 상층부(50 m 이하) 수온은 6.1°C에서 8.6°C의 범위를 기록하였으며, 이후 2017년에는 급격히 상승하여 10°C에서 10.9°C 범위를 기록하였다(Fig. 9). 이후 2018년 상층부 수온은 다시 하강하여 4.3°C에서 7.3°C 범위를 기록하였다(Fig. 9). 수온약층 아래 수심대(100~300 m)의 수온은 상층부의 연간 변화와 반대의 경향을 나타냈다(Fig. 9). 2017년 상층부 수온은 급격히 증가하였으며 이와 함께 강한 성층구조가 형성되었다(Fig. 9). 반면 상층부 아래 수심영역의 평균 수온은 2016년 1.9°C, 2018년 2.1°C 보다 낮은 1.9°C를 기록하였다(Fig. 10). 이 결과 수온약층 아래 수심대(100 m)와 저층부(500 m) 사이의 수온 구배는 2017년에 감소하였으며, 상층부의 수온이 하강한 2016년과 2018년은 수심 100 m와 500 m 사이의 수온 구배는 증가하였다(Fig. 9).

동해 중부 연안 수온의 연직구조 변화와 함께 수평 분포 또한 뚜렷한 연간 변화를 나타냈다(Fig. 10). 특히 외양역(수심 200 m 이상)의 저층 수온은 2°C 이하를 지속적으로 유지하는 반면 연안역과 외양역 상층부 수온은 연간 변화의 폭이 컸다(Fig. 10). 2016년 연안역의 수온은 저층부 1.7°C, 상층부 9°C 범위를 기록하였으며, 5°C 이하 수온은 연안역 수심 50 m 부근에 형성되었다(Fig. 10). 2017년 상층부 수온의 상승과 함께 연안역의 저층 및 상층부 그리고 외양역 상층부 모두 5°C 이상의 수괴가 분포하였으며, 연안역의 저층부 수온은 4°C 상층부는 11°C를 기록하였다(Fig. 10). 이후 2018년 연안역 상층부 수온은 전년 대비 하강하였으며, 저층부는 1.3°C, 상층부는 6°C를 기록하였다(Fig. 10).

고 찰

명태는 성장에 따라 깊은 수심대로 서식처를 변화하며, 이러한 생태학적 특성은 북태평양 주요 계군에서도 뚜렷하게 나타난다. 알래스카 주변에 서식하는 명태 성어는 350 m 보다 깊

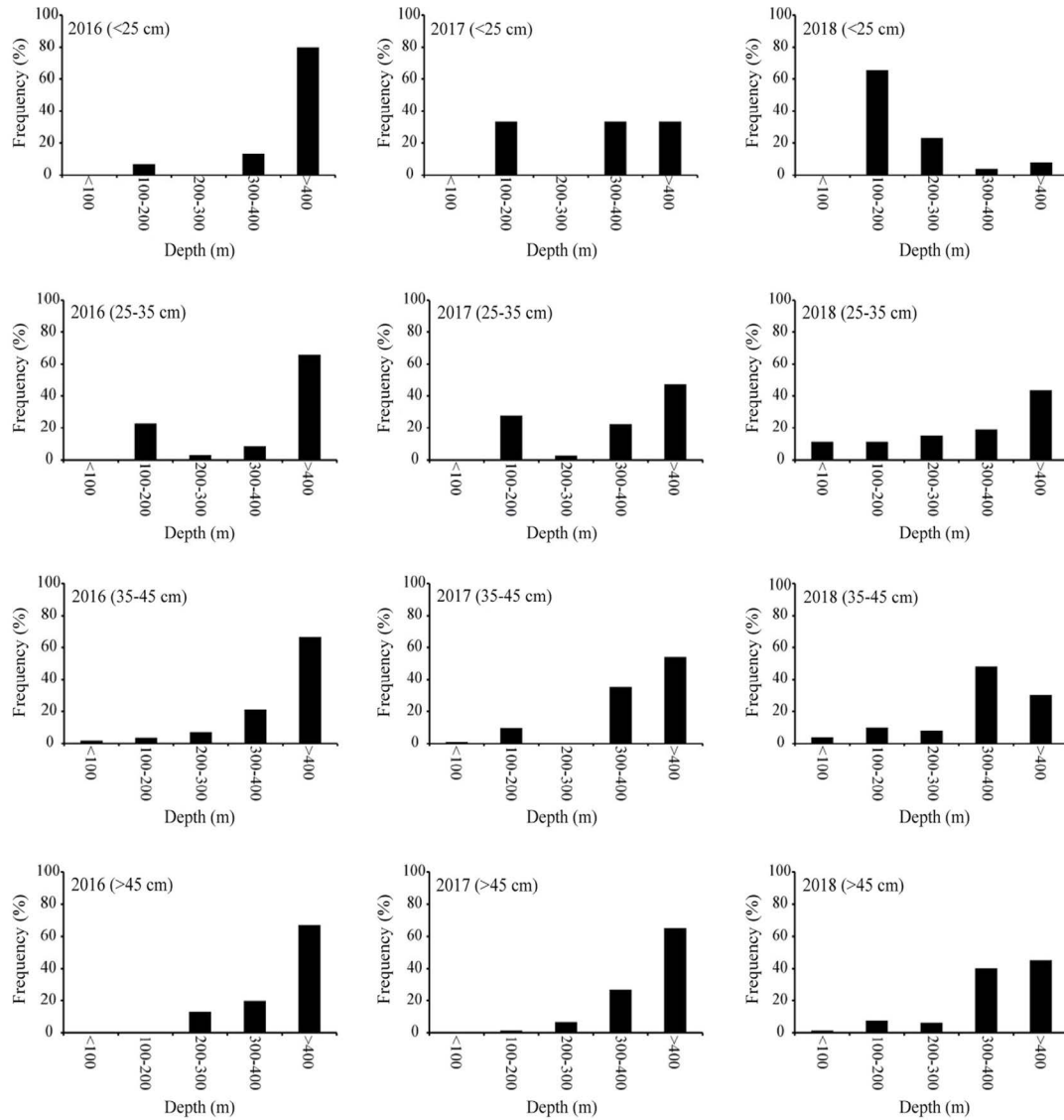


Fig. 6. Inter-annual and depth-dependent distributions walleye pollock length classes inhabiting middle eastern coast of Korea during winter.

은 수심대에 분포하고 미성어는 120~350 m, 그리고 자어 시기의 명태는 주로 120 m 보다 얕은 수심대에 분포한다(Csepp *et al.*, 2011). 이와 함께 일본 동부태평양계군(Yamamura *et al.*, 2002)과 베링해(Mito *et al.*, 1999)에 서식하는 명태 또한 성장에 따라 깊은 수심대로 서식처를 이동하는 특성을 나타냈다. 이러한 성장에 따른 서식 수심 변화는 명태의 성장단계별 선호하는 서식환경의 차이와 관련이 있다. 일본 홋카이도 주변에 서식하는 명태는 개체 크기에 따라 서식환경의 차이가 뚜렷하였으며, 성어는 2~6°C 범위에 서식하며, 미성어는 4~12°C 범위에서 서식하였다(Miyashita *et al.*, 2004). 상대적으로 작은 크기의 명태는 성장을 위해 높은 대사율에 적합한 물리 및 생물학적 환경을 선호하고, 크기가 큰 명태는 에너지 효율을 높이기 위해 낮은 대사율에 적합한 환경을 선호하

여 보다 수심이 깊고 수온이 낮은 영역을 선호한다(Yoshida, 1984; Smith *et al.*, 1986). 이러한 명태의 성장에 따른 선호하는 서식처의 물리적 환경 차이는 개체 크기 변화에 따른 생존 전략의 변화가 주요 원인으로 작용한다. 동해안 중부해역에 서식하는 명태 또한 성장에 따라 깊은 수심영역으로 서식처를 변화시킴으로써 성장에 따라 에너지 효율을 높이기 위해 적합한 환경 조건을 찾아 서식처를 이동하는 것으로 판단된다.

생존전략에 따른 서식처의 위치 변화와 함께 주 먹이원의 변화 또한 서식처의 위치 변화와 관련이 있다. 명태는 탐식성이 강한 어류이며, 해양생태계에서 포식자 역할을 한다(Yoshida, 1994; Kooka *et al.*, 1998). 성장에 따라 동물플랑크톤에서 저서동물로 주요 먹이원을 변화하며(Yamamura *et al.*, 2013), 이에 따른 영양학적 위치(Trophic level)가 변한다

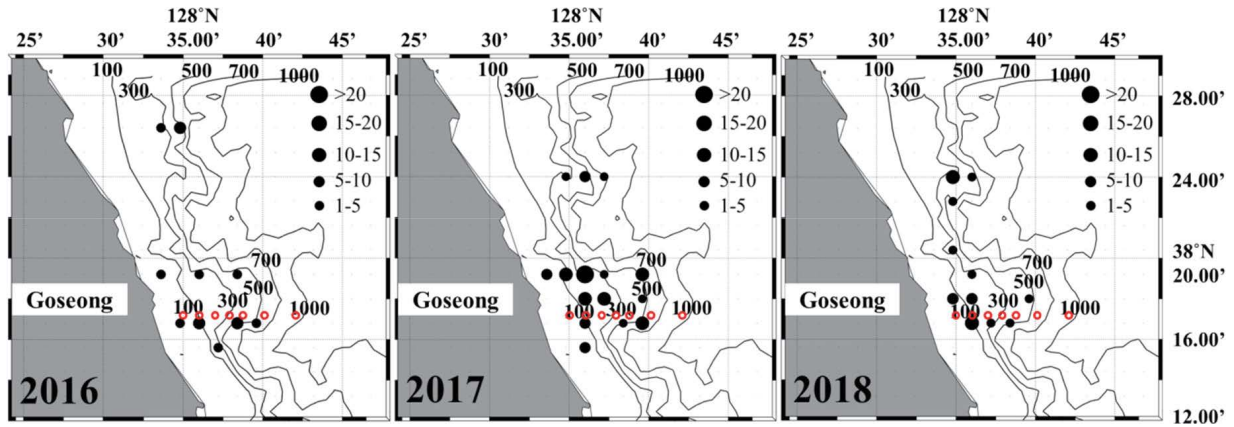


Fig. 7. Inter-annual changes in spatial distribution of smaller walleye pollock (<35 cm) in middle eastern coast of Korea during winter. Red-blank circles indicate stations of oceanographic observations.

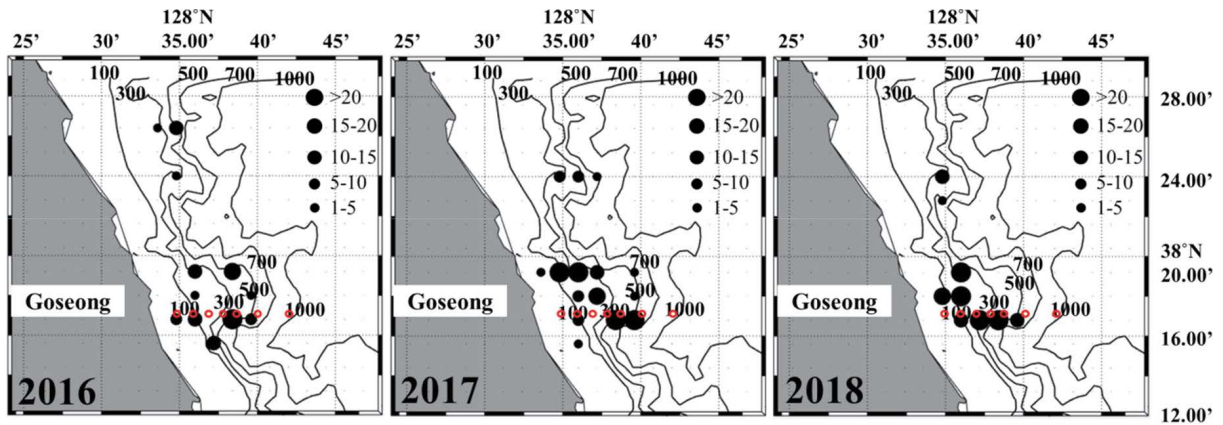


Fig. 8. Inter-annual changes in spatial distribution of larger walleye pollock (>35 cm) in middle eastern coast of Korea during winter. Red-blank circles indicate stations of oceanographic observations.

(Dwyer *et al.*, 1987; Yamamura *et al.*, 2013). 안정동위원소를 이용한 동해 중부 연안에 서식하는 명태의 영양학적 위치를 분석한 결과 성장에 따라 먹이사슬 내의 영양학적 위치가 증가하였다. 특히 40 cm 미만 개체는 상대적으로 영양단계가 낮은 동물플랑크톤을 주로 섭식하고, 40 cm 이상 개체는 저서성 어류 및 새우류의 섭식 비율이 높았다(Park *et al.*, 2018). 성장과 함께 깊은 수심대로 서식처를 이동하는 것은 섭식생태를 포함한 에너지 이용 전략의 변화와 관련 있는 것으로 판단된다. 즉, 잠재적 먹이 경쟁자가 적고, 명태에 의해 쉽게 포식될 수 있는 이동성이 약한 저서성 먹이생물이 주로 분포하는 깊은 수심영역에서 안정적인 포식 활동을 하기 위한 전략으로 볼 수 있다.

명태 서식처의 연간 변화는 물리적 환경에 영향을 받는다. 특히 저층 수온의 변화는 명태의 분포 변화에 영향을 미치는 주요 인자로 작용하였다. 연안역의 저층 수온이 상승한 시기의 어장 중심은 연안으로부터 떨어진 외양에 형성되었으며,

반대로 연안역의 저층 수온이 하강한 시기에는 연안과 인접한 지역에 출현이 집중되었다. 2017년 연안역 저층부는 한류성 생물인 명태의 서식에 적합한 환경이 형성되지 않았다. 반면 외양의 저층부 수온은 상층부와 달리 연간 수온 변화의 폭이 크지 않았으며, 100~300 m 수심의 수온은 상층부와는 반대로 하강하여 저층부와 수온약층 아래 수심영역 사이의 수온 구배는 약화되었다. 이 결과 수심이 깊은 외양역에 출현하는 비율이 증가하였으며, 100~300 m 수심대에서 어획되는 비율은 증가하고 100 m 미만 그리고 400 m 이상 수심에서 어획되는 비율은 반대로 감소하였다. 반면 2016년과 2018년 연안역 저층부의 수온은 명태 서식에 적합한 환경 구조가 형성되었다. 이 결과 연안과 인접한 100 m 이하 수심에서 어획되는 비율은 증가하였으며, 100~300 m 수심에서 어획되는 비율은 감소하였다.

수주구조 변화에 따른 서식처의 공간적인 위치 변화는 먹이생물의 분포와 관련 있다(Kooka *et al.*, 1998). 일본 홋카

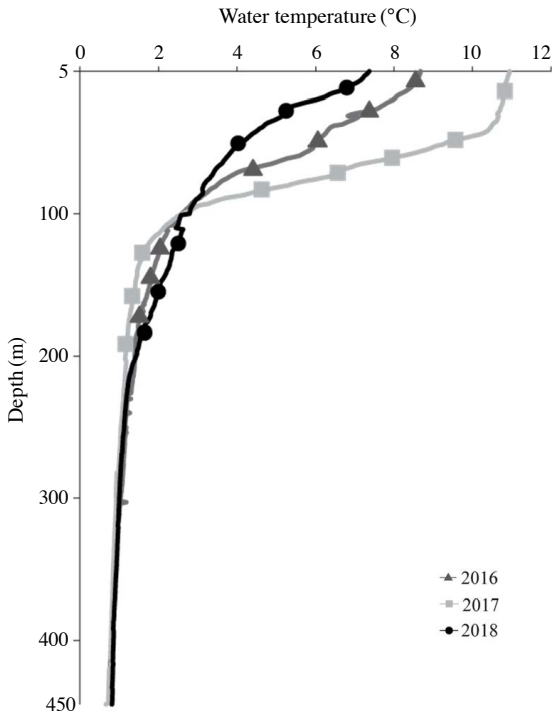


Fig. 9. Inter-annual changes in vertical structure of mean water temperature during winter (Jan. and Mar.) in middle eastern coast of Korea.

이도 주변에 서식하는 명태는 주로 난바다곤쟁이류 (Euphausiacea), 요각류 (Copepods), 오징어류 (Squids) 그리고 어류 (Mesopelagic fishes)를 섭식하며, 수심 200 m 이하 영역에 서식하는 작은 개체의 명태는 깊은 수심에 서식하는 큰 개체보다 난바다곤쟁이류의 섭식 비율이 높았다 (Yamanura *et al.*, 2002). 난바다곤쟁이류는 차가운 수온 영역대를 선호하는 한류성 생물이며 북태평양 광역에 분포한다 (Brinton *et al.*, 2000). 한류와 난류가 만나 전선을 형성하는 동해안 중부해역과 물리적 환경 특성이 유사한 일본 북부 태평양 해역에 서식하는 난바다곤쟁이류는 주간에는 주로 상층부에 분포하며, 야간에 깊은 수심대로 이동하는 연직 일주기 운동을 한다 (Kim *et al.*, 2018). 또한 오야시오 해류 (Oyashio Current)의 영향을 받는 해역에서는 주로 상층부에 분포하고 (Taki, 2008), 상층부의 수온이 높은 쿠로시오 해류 (Kuroshio Current)의 영향을 받는 해역에서는 상대적으로 수온이 낮은 450 m 수심에 분포한다 (Taki, 2008). 동해 연안에 서식하는 난바다곤쟁이류 또한 상대적으로 수온과 염분이 낮은 연안 대륙붕해역 수심 150 m 부근에 분포한다 (Kim *et al.*, 2018). 이러한 난바다곤쟁이류의 분포 위치는 명태의 분포 수심과 유사하며 (Miyashita *et al.*, 2004), 명태의 공간적인 위치 변화와 유의한 상관성을 갖는다 (Kooka *et al.*, 1998). 동해 중부 연안에 서식하는 명태 또한 난바다곤쟁이류를 주로 섭식하며, 특히 개체 크기가 상대

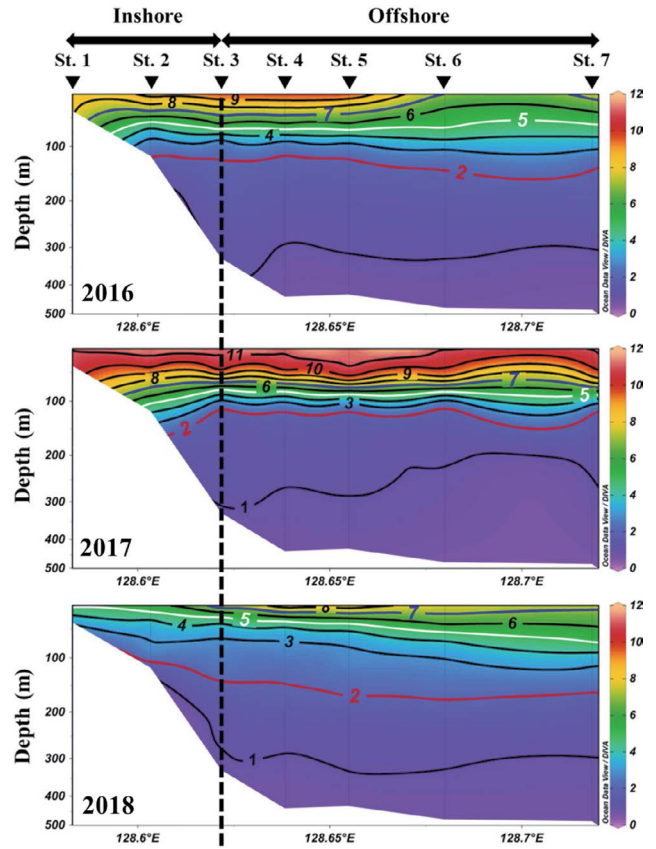


Fig. 10. Inter-annual changes in mean water column structures (i.e. water temperature) during winter (Jan. and Mar.) along the oceanographic observation line in middle eastern coast of Korea.

적으로 작은 35cm 미만 그룹에서 섭식 비율이 높다 (Park *et al.*, in progress). 2017년 서식처의 상층부 수온은 가장 높았으며, 반대로 100~300 m 수심의 수온은 가장 낮았다. 이와 함께 100~300 m 수심에 서식하는 35 cm 미만 개체의 비율은 증가하였으며, 이와 함께 난바다곤쟁이류의 섭식 비율도 증가하였다 (Park *et al.*, in progress). 이처럼 명태 개체의 연직적인 분포 변화는 서식처의 수주구조 변화에 영향을 받으며, 섭식생태에 까지 그 영향이 전달 될 수 있을 것이라 판단된다. 추후 명태의 섭식생태 분석을 통해 서식처의 물리환경 변화에 따른 분포 변화와 섭식생태와의 관계를 구명하여 환경 변화에 따른 명태 자원의 서식처 변화의 기작을 이해해야 할 것으로 판단된다.

수산자원생물의 개체 크기 변화는 회유와 성장 등과 같은 생태학적 특성 변화와 함께 어구 및 어법의 영향을 동시에 받는다. 특히 삼중자망 어법은 홀자망 어법에 비해 어획되는 종수가 다양하며, 미성어 개체의 어획비율이 높다 (Lee *et al.*, 2008). 본 연구에서는 명태 미성어의 출현 비율이 높은 봄과 여름철에는 홀자망을 이용하였으며, 성어의 어획 비율이 높은 가을과 겨울철에는 삼중자망 어법을 이용하였다. 삼중자망이

작은 개체의 어획비율이 높음에도 불구하고 본 연구에서는 홀자망을 사용한 봄과 여름철에 미성어 채집 비율이 높았다. 이 결과 본 연구에서 나타난 명태 개체 크기의 계절 변화는 어구 어법에 의한 영향보다는 회유와 성장과 같은 생태학적 특성 변화의 영향이 반영된 것이라 판단된다.

우리나라 동해에 서식하는 명태의 주 산란장은 북한 원산만으로 알려져 있으며, 봄과 여름은 산란장에서 부화된 미성어가 섭식과 성장을 위해 동해 중부 및 남부 해역으로 남하하는 시기이다. 이후 겨울철 성숙된 개체들은 산란을 위해 다시 원산만으로 북상한다(Oh *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 2015). 특히, 동해 중부해역의 상층부 수온이 높은 봄과 여름철에 35 cm 이하 개체가 차지하는 비율이 증가하는 계절 변동 특성을 보이며, 이러한 작은 개체의 계절 변동 경향은 동해 연안의 물리적 환경 특성과 관련 있다(Oh *et al.*, 2004). 우리나라 동해 연안의 상층부는 주로 대한해협을 통해 북상하는 고온, 고염의 수괴에 영향을 받는다(Cho and Kim, 2000; Kim *et al.*, 2018), 반면 상층부와는 달리 수온약층 아래 수심영역은 주변보다 수온과 염분이 낮고 용존산소가 높은 북한한류수의 영향을 받는다(Kim and Min, 2008). 이러한 북한한류수는 동계보다 하계에 더욱 세력이 우세하며, 연안의 100 m 등수심선을 따라 동해안 중부를 포함한 남부 해역까지 그 세력을 확장한다(Kim and Min, 2008). 이처럼 여름철 동해 연안의 수심 100 m 이하 수심영역은 명태 서식에 적합한 물리적 환경이 조성되며, 여름철 북한한류의 세력 확장과 함께 동한만 주변에서 부화된 미성어 명태는 섭식과 성장을 위해 동해 중부 및 남부 연안으로 남하하는 특성을 나타낸다(Oh *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 2015). 또한 개체 크기의 출현 비율과 서식하는 수심영역은 뚜렷한 연간 변화를 나타냈으며, 이러한 출현 시기 및 분포 수심의 변화는 서식처의 물리적 환경 변화와 이에 따른 명태의 회유 경로 및 시기, 먹이생물 분포와 같은 서식처의 물리, 생물학적 특성 변화의 영향이 작용한 것이라 판단된다.

요 약

본 연구는 동해 중부 연안에 서식하는 명태의 연직 분포와 개체 크기의 계절 및 연간 변화를 분석하였다. 2016년 1월부터 2018년 2월까지 채집된 명태 개체의 전장은 16.6 cm~81.5 cm 범위를 나타내었으며, 50~600 m 사이의 수심대에서 어획되었다. 이 중 25~35 cm 그룹이 차지하는 비율은 45.5%, 35~45 cm 그룹이 차지하는 비율은 27.2%를 나타내며 높은 비율을 차지하였다. 평균 전장은 1월에 가장 크고, 6월에 가장 작았으며, 6월 이후 점차 증가하는 계절주기 변동 특성을 나타내었다. 25 cm 미만 그룹은 100~200 m 수심에 서식하는 비율이 겨울철에 가장 높으며, 이후 봄, 여름, 가을에는 보다 깊

은 수심으로 주 서식처를 변화하여 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 40% 이상을 차지하였다. 25~35 cm와 35~45 cm 개체 그룹의 겨울철 연직 분포는 400 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 45% 이상을 기록하였으며, 봄과 여름에는 보다 얇은 수심영역으로 서식처를 변화하여 200 m 미만 수심에서 서식하는 비율이 증가하였다. 이후 가을부터는 다시 서식하는 수심대가 깊어져 300 m 이상 수심의 비율이 증가하였다. 45 cm 이상 개체 그룹은 뚜렷한 계절 변동성을 나타내지 않으며 300 m 이상 수심에서 서식하는 비율이 가장 높았다. 이러한 명태의 연직 분포는 서식처의 물리적 환경 변화에 영향을 받는다. 특히, 상층부의 수온이 상승하고 수온약층 아래 100~300 m 수심대의 수온이 하강한 시기에는 300 m 이상의 깊은 수심대에서 어획되는 비율은 감소한 반면, 수온이 하강한 100~300 m 수심대에서 어획되는 비율이 증가하였다.

사 사

본 연구는 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(장기해양생태 연구사업, MICT 기반 명태 수산자원 회복·관리 기술 개발)과 국립수산물품질관리원 수산시험연구사업(R2020026)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Adams, C.F., A.I. Pinchuk and K.O. Coyle. 2007. Seasonal changes in the diet composition and prey selection of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the northern Gulf of Alaska. *Fish. Res.*, 84: 378-389. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.11.032>.
- Bang, M., S. Kang, S. Kim and C.J. Jang. 2018. Changes in the biological characteristics of walleye pollock related to demographic changes in the East Sea during the late 20th century. *Mar. Coast. Fish.*, 10: 91-99.
- Brinton, E., M. Ohman, A. Townsend, M. Knight and A. Bridgeman. 2000. Euphausiids of the world ocean. World biodiversity database. Expert center for taxonomic identification, Amsterdam. Retrieved from <http://species-identification.org/species>.
- Csepp, D.J., J.J. Vollenweider and M.F. Sigler. 2011. Seasonal abundance and distribution of pelagic and demersal fishes in southeastern Alaska. *Fish. Res.*, 108: 307-320.
- Dwyer, D.A., K.M. Bailey and P.A. Livingston. 1987. Feeding habits and daily ration of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the eastern Bering Sea, with special reference to cannibalism. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 1972-1984.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. FAO yearbook: Fishery and Aquaculture Statistics. Rome, Italy.

- Funamoto, T. 2007. Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around northern Japan. *Fish. Oceanogr.*, 16: 515-525. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2007.00454.x>.
- Funamoto, T. 2018. Population dynamics of demersal fish focusing on walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*). In: Aoki, I., T. Yamakawa and A. Takasuka (eds.), *Fish population dynamics, monitoring, and management*. Springer, Japan, pp. 51-75.
- Funamoto, T., O. Yamamura, T. Kono, T. Hamatsu and A. Nishimura. 2013. Abiotic and biotic factors affecting recruitment variability of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fish. Oceanogr.*, 22: 193-206. <https://doi.org/10.1111/fog.12015>.
- Jo, M.J., J.J. Kim, J.H. Yang, C.S. Kim and S.K. Kang. 2019. Changes in the ecological characteristics of *Todarodes Pacificus* associated with long-term catch variations in jigging fishery. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 685-695. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0685>.
- Jung, H.K., S.M. Rahman, C.-K. Kang, S.-Y. Park, S.H. Lee, H.J. Park, H.-W. Kim and C.I. Lee. 2017. The influence of climate regime shifts on the marine environment and ecosystems in the East Asian Marginal Seas and their mechanisms. *Deep-Sea Res. Part II*, 143: 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.06.010>.
- Kang, S. and S. Kim. 2015. What caused the collapse of walleye pollock population in Korean waters? *KMI Int. J. Marit. Aff. Fish.*, 7: 43-58.
- Kang, S., J.H. Park and S. Kim. 2013. Size-class estimation of the number of walleye pollock *Theragra chalcogramma* caught in the southwestern East Sea during the 1970s-1990s. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 445-453.
- Kim, K., M.H. Sohn and S.-Y. Hyun. 2017. A life stage-based model for assessing the walleye pollock *Gadus chalcogrammus* population in the East Sea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 65-76. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0065>.
- Kim, P., I. Han, W. Oh, Y.-M. Choi, S. Yoon, H. Lee and K. Lee. 2018. Biomass estimate of euphausiids *Euphausia* sp. using the two-frequency difference method. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 305-312. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0305>.
- Kim, Y.H. and M.S. Min. 2008. Seasonal and interannual variability of the north Korean cold current in the East Sea reanalysis data. *Ocean Polar Res.*, 30: 21-31. <https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.1.021>.
- Kooka, K., T. Takatsu, Y. Kamei, T. Nakatani and T. Takahashi. 1998. Vertical distribution and prey of walleye pollock in the northern Japan Sea. *Fish. Sci.*, 64: 686-693. <https://doi.org/10.2331/fishsci.64.686>.
- Lee, C.I., M.H. Han, H.K. Jung, H.J. Park and J.M. Park. 2019. Spawning season, and factors influencing allometric growth pattern and body condition of walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the middle East Sea, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 31: 141-149. <https://doi.org/10.35399/ISK.31.3.3>.
- Lee, J. 1991. Estimation on optimum fishing effort of walleye pollock fishery in the east coast of Korea: based on the economic analysis between danish seine fishery and trawl fishery for walleye pollock. *J. Fish. Bus. Admin.*, 22: 75-99.
- Lee, S.I., S.J. Hwang, J.H. Yang and J.M. Shim. 2008. Seasonal variation in species composition of gill net and trammel net catches in the coastal waters off Wangdol-cho, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 20: 291-302.
- Lee, Y. and D.-Y. Kim. 2010. Measuring surface water temperature effects on the walleye pollock fishery production using a translog cost function approach. *Environ. Resour. Econ. Rev.*, 19: 897-914.
- Mito, K.-I., A. Nishimura and T. Yanagimoto. 1999. Ecology of groundfishes in the eastern Bering Sea, with emphasis on food habits. In: Loughlin, T.R. and K. Ohtani (eds.), *Dynamics of the Bering Sea*. University of Alaska Sea Grant, Fairbanks, U.S.A., pp. 537-580.
- Miyashita, K., K. Tetsumura, S. Honda, T. Oshima, R. Kawabe and K. Sasaki. 2004. Diel changes in vertical distribution patterns of zooplankton and walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan, estimated by the volume back scattering strength (Sv) difference method. *Fish. Oceanogr.*, 13: 99-110. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2004.00313.x>.
- Noakes, D.J. and R.J. Beamish. 2009. Synchrony of marine fish catches and climate and ocean regime shifts in the North Pacific Ocean. *Mar. Coast. Fish.*, 1: 155-168. <https://doi.org/10.1577/C08-001.1>.
- Oh, T., K. Sakuramoto and S. Lee. 2004. The relationship between spawning area water temperature and catch fluctuation of walleye pollock in the East Sea/Sea of Japan. *J. Korean Soc. Fish. Res.*, 6: 1-13.
- Park, H.J., T.H. Park, C.-I. Lee and C.-K. Kang. 2018. Ontogenetic shifts in diet and trophic position of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the western East Sea (Japan Sea) revealed by stable isotope and stomach content analyses. *Fish. Res.*, 204: 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.03.006>.
- Park, S.K. and Y.S. Ok. 1986. Bio-economic research in fishery resource management: walleye pollock. *Nongchon-gyungje*, 9: 59-68.
- Sakurai, Y. and H. Miyake. 1994. Effects of environmental changes on reproductive process of walleye pollock in the subarctic ocean (Background of HUBEC program around Funka Bay as a modeling area). *Umi no Kenkyu*, 3: 303-308. <https://doi.org/10.5928/kaiyou.3.303>.
- Seo, J.-Y. and O.-N. Kwon. 2017. Naturally collection and development until yolk absorption of domestic walleye pollock *Theragra chalcogramma* fertilized eggs and larvae. *J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc.*, 18: 49-54. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.49>.
- Smith, R., A. Paul and J. Paul. 1986. Effect of food intake and tem-

- perature on growth and conversion efficiency of juvenile walleye pollock (*Theragra chalcogramma* (Pallas)): a laboratory study. ICES J. Mar. Sci., 42: 241-253. <https://doi.org/10.1093/icesjms/42.3.241>.
- Taki, K. 2008. Vertical distribution and diel migration of euphausiids from Oyashio Current to Kuroshio area off northeastern Japan. Plankton Benthos Res., 3: 27-35. <https://doi.org/10.3800/pbr.3.27>.
- Yamamura, O., S. Honda, O. Shida and T. Hamatsu. 2002. Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: ontogenetic and seasonal variations. Mar. Ecol. Prog. Ser., 238: 187-198. <https://doi.org/10.3354/meps238187>.
- Yamamura, O., T. Funamoto, M. Chimura, S. Honda and T. Oshima. 2013. Interannual variation in diets of walleye pollock in the Doto area, in relation to climate variation. Mar. Ecol. Prog. Ser., 491: 221-234. <https://doi.org/10.3354/meps10445>.
- Yang, Y.-S., S.-K. Kang, S.-A. Kim and S.-S. Kim. 2008. Relationship between oxygen isotopic composition of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) otoliths and seawater temperature. Ocean Polar Res., 30: 249-258. <https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.3.249>.
- Yoo, H.-K., S.-G. Byun, J. Yamamoto and Y. Sakurai. 2015. The effect of warmer water temperature of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) larvae. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 21: 339-346. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.4.339>.
- Yoshida, H. 1984. Relationship between food-consumption and growth of adult walleye pollock *Theragra chalcogramma* in captivity. Nippon Suisan Gakk., 50: 763-769.
- Yoshida, H. 1994. Food and feeding habits of pelagic walleye pollock in the central Bering Sea in summer. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn., 45: 1-35.