

1970-1990년대 동해에서 어획된 명태(*Theragra chalcogramma*)의 체장에 따른 체급별 어획 마릿수 추정

강수경 · 박정호¹ · 김수암^{2*}

국립수산과학원 자원관리과, ¹국립수산과학원 동해수산연구소, ²부경대학교 자원생물학과

Size-class Estimation of the Number of Walleye Pollock *Theragra chalcogramma* Caught in the Southwestern East Sea during the 1970s-1990s

Sukyung Kang, Jung Ho Park¹ and Suam Kim^{2*}

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

¹ East Sea Fisheries Research Institute, National Research & Development Institute, Gangreung 210-861, Korea

²Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Walleye pollock *Theragra chalcogramma* fisheries in Korean waters have changed dramatically during the last three decades: the highest catches occurred in 1981, followed by continuous decreases through the 1990s, ending with a complete collapse of the population in the 2000s. The major spawning ground of walleye pollock is located in North Korean waters, and some juveniles (called *nogari* in Korean, <300 mm) migrate to the south for feeding and growth. Since the 1960s, Korean fishermen have often caught juveniles, and the weight (metric tons) of juvenile catch was recorded from 1975-1997. However, because the walleye pollock were not aged, the population age structure was not delineated. We developed a model to estimate the number of walleye pollock of each size class based on catch statistics of adults and juveniles, the catch proportion of each size class, and length and weight information on specimens collected by Danish-seine and drift-gill-net fisheries. The model results demonstrated that the recruitment size of walleye pollock was consistently within the 200-250mm size class, and the highest number of this size class occurred in 1981, although values greatly fluctuated interannually. The number of juvenile pollock was 10.4 times higher than that of adult pollock during 1975-1997. The total yield of juvenile pollock was 0.95 million tons, which was equivalent to about 68.2% of total pollock production. The number of juvenile pollock caught during the same period, however, was 16 billion, comprising about 91.2% of the total number caught. Such high fishing pressure on juvenile pollock is considered one of the main factors causing the collapse of the pollock population.

Key words: Walleye Pollock, Juvenile Pollock, East Sea, Korean Waters, Length-Frequency Distribution of Fish

서론

명태(*Theragra chalcogramma*)는 대구과(Family Gadidae) 어종으로 북태평양의 전 해안역에 광범위하게 서식하고 있다. 해양의 표층으로부터 수심 1,200 m가 넘는 곳까지 분포한다고 알려져 있으나(FishBase, 2013), 우리나라의 동해에서는 약 200-350 m에 분포한다(NFRDI, 2010). 이들은 냉수성 어종으로 수온 2-10°C에서 서식하며, 체장이 약 25 cm가 되는 2-3세 어가 되면 생식기관이 성숙되어 산란능력이 생기기 시작하고, 겨울이 되면 연안으로 이동하여 산란을 한다. 산란시기는 해역

마다 약간씩 다른데, 강원도 연안에서는 저층의 수온이 3-5°C인 12월부터 그 이듬해 3월까지 산란을 한다(Park and Ok, 1986). 성어가 산란을 하는 수층은 해역마다 다른데, 베링해에서는 비교적 얇은 수심에서 산란을 하지만, 알라스카만에서는 수심 200 m 보다 깊은 곳에서 산란을 한다(Kim, 1987; Kim, 1992a). 물 속에서 산란된 알은 바로 정자와 수정이 되며, 수정란은 대부분 표층을 향하여 떠 오른다. 떠 오르는 과정에서 이들은 부화하며, 부화된 자치어는 성장을 하면서 서서히 깊은 곳으로 이동한다(Kendall and Kim, 1989). 치어 시기를 경과한 미성어는 나이를 먹음에 따라 더 깊은 곳으로 내려가는 경향을 보

Article history;

Received 12 April 2013; Revised 31 July 2013; Accepted 15 August 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5923 Fax: +82. 51. 629. 5923

E-mail address: suamkim@pknu.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(4) 445-453, August 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0445>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

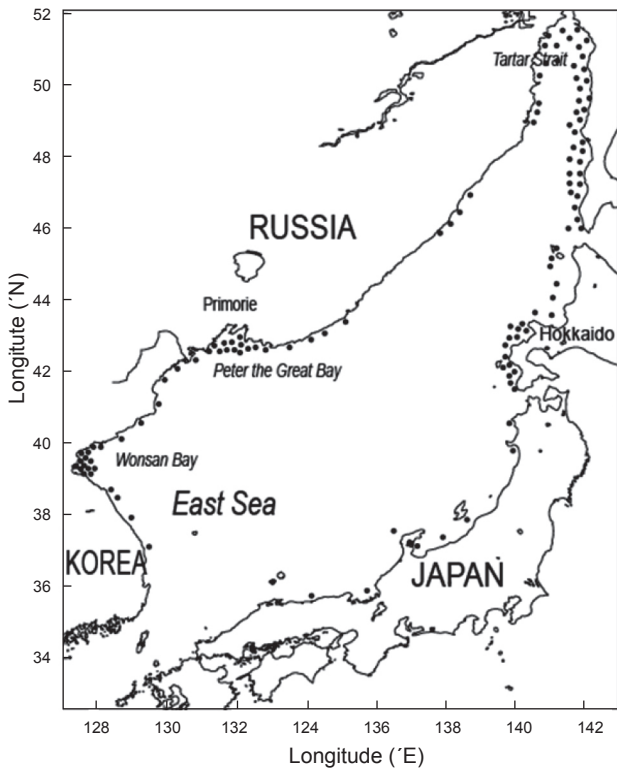


Fig. 1. Spawning areas of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the East Sea. Four major spawning stocks located in the Wonsan Bay, the Peter the Great Bay, Tartar Strait, and off the western Hokkaido, and several local stocks along the rim of the coast are indicated by dots [from Kim and Kang (1998)].

이며, 성어보다는 약간 얇은 수심에 위치하는 것으로 알려졌다 (Muigwa, 1989; Kim, 1992b).

세계식량기구(Food and Agriculture Organization, FAO)의 2005년 수산물 어획통계에 의하면, 페루멸치(anchoveta)가 가장 높은 어획을 보이고 있으며, 명태는 두 번째로 높은 생산을 기록하고 있다(FAO, 2007). 명태 생산량이 비교적 높았던 1980년대에는 전 세계 어획의 약 5%를 차지하여 페루멸치와 더불어 가장 생산량이 높은 어종이었다(Kim, 1990). 북태평양의 베링해, 오호츠크해, 홋카이도 부근 해역이 명태의 주 어획지로 간주되고 있으며, 우리나라에서는 원산만 부근으로 산란 회유하는 어군이 어업의 주 대상이었다. 명태가 우리나라 어업에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있었음에도 불구하고, 동해에 서식하는 명태가 정확하게 몇 개의 계군으로 구분되어 있는 지 아직 정밀하게 연구된 바 없다. 동해의 주변부인 러시아의 타타르 해협 부근과 프리모리에만 부근, 일본의 홋카이도 연안 해역, 그리고 원산만이 주요 산란장으로 알려져 있으나(Kim and Kang, 1998, Fig. 1), 일부 학자들은 동해의 일본 연안을 따라 존재하는 3개의 그룹과 한국 동해 연안에 존재하는 그룹으로 나누기도 한다(Oh et al., 2004). 또한, 1932년 이래의 표지방류 실험

결과, 한반도 근해에서 표지된 47,810 마리의 명태 중에서 13마리가 홋카이도 연안에서 발견되었으며, 홋카이도 연안에서 표지된 명태 중, 한 마리는 한반도 근해에서 포획된 것을 근거로 두 해역간의 명태 회유가 제안되기도 하였다(Gong and Zhang, 1983; Iwata, 1975). 일반적으로, 한반도 해역에서는 원산만에서 산란을 하며 동해안을 따라 남-북 방향으로 계절적 회유를 하는 계군과, 동해의 연안역과 심해를 동-서 방향으로 이동하는 계군으로 구분하기도 한다(Gong and Zhang, 1983; Oh et al., 2004). 하지만, 1970년대에서 1980년대에 걸쳐 남한에서의 어획량 증감이 북한 명태의 어획량 변동과 비슷한 형태를 보이는 것으로 보아(Kim and Kang, 1998), 남한 연안에 동-서 방향의 회유를 하는 지역 계군이 존재한다고 하더라도 전체 어획량에 영향을 줄 정도로 큰 계군은 아닌 것으로 판단된다.

우리나라에서의 명태 어업은 커다란 변화를 겪고 있다. 20세기 초반에는 한반도 북쪽 해역을 중심으로 명태 어업이 흥성하였으나, 중반에 들어와 해방과 전쟁의 소용돌이 속에서 어업이 부진하였다. 1970년대 초반부터 증가하기 시작한 명태 어획량은 1981년에 16만6천 톤을 기록하여 해방 이후 명태 어업의 최고 전성기를 맞이하였다(Fig. 2). 특히 한반도 근해에서는 명태의 주 서식처가 동해의 북부 해역이어서 명태의 어획량은 북한 수산어획량 생산의 거의 반을 차지할 정도로 컸으며(Kim and Kang, 1998), 우리나라의 동해어업에서도 1980년대 중반까지 중추적인 위치를 차지하고 있었다. 예를 들면, 남한에서는 1976-1985년 동안에 연평균 10.7만 톤의 명태를 어획하여, 동일한 시기의 동해 연근해 어획어업량 24.4만 톤의 약 44%가 명태로부터 생산되었다. 그러나 이렇게 번성하던 명태가 1980년대 후반에 이르러 갑자기 감소하기 시작하였다. 실제로, 동해 구기선저인망어업과 동해구트롤어업으로부터의 단위노력당 어획량(catch per unit effort: CPUE)은 1977년부터 감소상태

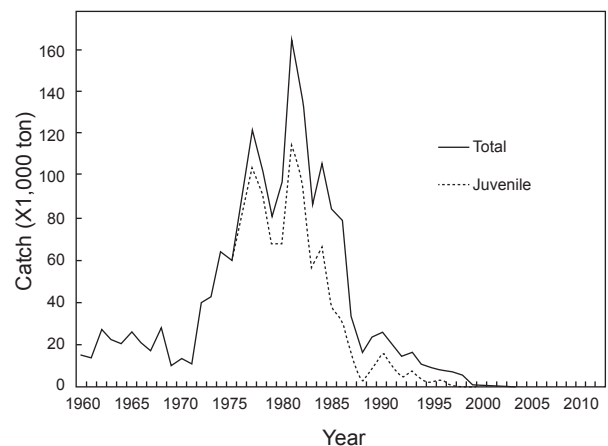


Fig. 2. Annual yields of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the southern part of the Korean Peninsula. Catch statistics (dotted line) between 1975 and 1997 indicate the portion of juvenile catches.

를 보이고 있어, 명태자원의 감소는 이미 1970년대 후반부터 시작된 것으로 보인다(Lee, 1991). 명태 어획은 1990년대에 미미한 기록을 보이다가 2000년대에는 완전히 자취를 감추었다.

명태자원이 1990년대에 들어와 갑작스럽게 감소한 현상은 많은 과학적 의문점을 불러 일으켰다. 우리나라 정부는 1971년 자원보호령을 개정하여 명태의 어획금지체장에 대한 조항을 삭제하여 노가리를 대상으로 하는 소형명태 어업을 합법화 하였고 (Kim, 1978), 1975년부터 1997년 동안에 성어인 명태와 소형명태(즉, 노가리)로 구분하여 명태 생산량을 이분화 하였다. 이 기간 동안에 수많은 노가리가 어획되었고, 심지어 1970년대 후반에는 노가리의 어획량이 전체 명태 어획량의 85-94%를 차지하여 명태자원의 남획이 이미 예견되었다. 또한 기후체제변환 (climate regime shift)이라고 불리는 환경변화에 의하여 한반도 수역이 갑작스럽게 따뜻해졌으며 해양생태계에도 큰 영향을 미쳤다(Seo et al., 2006; Kim et al., 2007). 동해의 온난화는 냉수성 어종인 명태의 서식환경에 불리하게 작용하였을 가능성이 크고, 수온변화에 따른 동해 생태계의 구조와 기능 변화는 생태계 먹이망(foodweb)의 변동을 통하여 명태의 가입에 영향을 주었으리라고 생각한다. 하지만 명태에 대한 생물학적, 자원학적 연구는 충분히 진행되지 못하여, 명태의 연령, 산란 등에 대한

기본적인 생물학적 정보를 포함하는 명태 논문도 많지 않을 뿐만 아니라, 얼마나 많은 수의 노가리가 어획되었는지에 대한 연구도 수행되지 않았다.

따라서 명태 자원의 경우도 수산자원 남획, 기후 온난화에 의한 명태의 적응능력 저하, 연안 오염에 의한 명태 보육장의 파괴, 해양생태계의 구조변화에 의한 가입군 감소 등과 같은 여러 가설이 산발적으로 제기되었다(Park and Ok, 1986; Lee and Kim, 2010). 하지만, 명태의 주 산란장과 주 서식처가 북한 해역에 위치하고 있으며, 어업자료조차 남북한이 공유하지 못하였으므로, 이러한 가설을 과학적인 방법으로 규명을 하지 못하였다. 본 논문은 이러한 여러 가설의 가능성에 대하여 과학적인 증거를 준비하는 과정에서 만들어졌다. 우리나라 동해 명태에 대한 생물학적, 생태학적 정보는 아직 학술지에 상세히 보고된 바 없으나, 본 연구진은 1970년대부터 행하여진 우리나라의 명태와 소형명태의 어업량 자료와 이들로부터 얻은 생물시료에 포함되어 있는 체장과 체중 자료를 분석하여, 얼마나 많은 노가리가 1975-1997년 사이에 어획되었는지 계산하는 방법을 개발하였다. 이 논문의 결과는 추후 체장기반 자원량 추정, 명태의 가입에 영향을 미치는 영향 규명 등의 연구에 활용될 수 있을 것이다.

Table 1. Biological parameters measured for walleye pollock *Theragra chalcogramma* collected from Danish seine and drift gill net fisheries during the mid 1960s through the early 1980s. Note that Danish seine targets only on small-size pollock, while drift gill net on large one. TL=total length, FL=fork length, BL=standard length, and BW=body weight

Sampling date (month/day/year)	Fishery	Sample number	TL	FL	BL	BW	Sex	Remark
11/21/1965	Danish seine	30	○		○	○	○	
11/28/1965	Danish seine	30	○		○	○	○	
12/11/1965	Danish seine	29	○		○	○	○	
11/12/1965	Danish seine	29	○		○	○	○	
01/30/1966	Danish seine	30	○		○	○	○	
03/21/1966	Danish seine	30	○		○	○	○	
03/06/1977	Danish seine	100	○	○		○	○	18 pollock > 300 mm
03/22/1977	Danish seine	100	○	○		○	○	35 pollock > 300 mm
02/24/1979	Danish seine	60	○	○	○	○	○	
Sampling date (month/day/year)	Fishery	Sample number	TL	FL	BL	BW	Sex	Remark
01/27/1982	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
02/18/1982	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	1 pollock < 300 mm
10/07/1982	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
11/16/1982	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
12/15/1982	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
01/28/1983	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
02/01/1983	Drift gill net	10	○	○	○	○	○	
02/25/1983	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
01/07/1984	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	1 pollock < 300 mm
02/01/1984	Drift gill net	90	○	○	○	○	○	
10/30/1984	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
11/23/1984	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	
12/04/1984	Drift gill net	100	○	○	○	○	○	

재료 및 방법

생물학적 시료

국립수산과학원의 연구자들은 여러 어업으로부터 어획된 명태를 임의로 채집하여 기본적인 생물학적 변수들을 측정하였다. 1960년대부터 수행된 명태시료 채취는 2000년대 초반까지 지속되었으며, 해마다 일정한 수는 아니지만, 동해구외끌이중형저인망어업(Danish seine, 통상 기선저인망어업이라고 불려 왔으므로, 본 논문에서는 기선저인망이라 칭한다), 연승(long-line), 자망(drift gill net) 등의 어업으로부터 10-170 마리의 명태를 수집하여 체장과 체중을 측정하고, 어떤 해에는 생식소의 성숙상태도 기록하였다. 어업 종류와 시대에 따라 어획된 명태의 체장이 다르게 나타났는데, 기선저인망으로부터 1960년대와 1970년대에 수집된 명태는 작은 명태가 주종을 이루었으며 (Fig. 3a), 1970년대 이후에 성행한 연승과 자망어업에서 채집된 명태는 주로 중형과 대형 크기였다(Fig. 3b). 본 연구에서는 1960년대에서 1970년대까지 명태 어업의 주축이었던 기선저인망어업과 1980년대 이후의 주 어업이었던 자망어업으로부터 수집된 자료를 사용하였다(Table 1). 연구자들이 명태의 체장을 측정할 때, 항상 같은 부분을 측정하지 않고, 상황에 따라 전장(total length TL), 가랑이체장(fork length, FL), 표준체장(standard length)을 모두 혹은 선별적으로 기록하였다. 본 논문에서는 수집된 자료 중에서 성장이 느린 늦가을-초봄(즉, 10

월부터 그 이듬해 3월)에 어획된 명태를 대상으로 1960년대에서 1970년대의 기선저인망어업에서 수집된 총 438마리의 명태 중 300 mm 미만의 노가리 385 마리와, 1980년대 초반 자망어업에서 수집한 1,200마리의 명태 중 300 mm 이상의 명태 성어 1,198 마리를 사용하여 체장에 따른 체급별 어획미수를 추정하는 방법을 개발하였다.

모델의 개발

체장 100-550 mm 사이의 명태를 50 mm 단위로 구분하여 각 체급별 명태의 어획미수를 추정하기 위하여 다음과 같은 가정이 필요하였다.

(1) TL, FL, BL 관계식은 시대에 따라 변함이 없으며, 성별에 따른 성장 차이도 통계적으로 유의하지 않다.

(2) 각 어업으로부터 취한 시료는 임의채집(random sampling) 되었으며(Park et al., 1978), 시료의 체급별 분포 빈도는 모집단 값을 대표한다. 따라서 수집된 자료를 이용하여 만든 체장-체중 관계식은 모집단의 체장-체중 관계식을 반영한다.

(3) 기선저인망과 자망으로부터 획득한 시료는 각각 노가리와 성어에 대한 정보를 대표하므로, 각 어업의 시료로부터 계산한 체급별 출현비율은 전체 어획량의 체급별 출현비율과 같다.

체장에 따른 체급별 어획미수는 아래와 같은 과정에 의하여 추정하였다.

1단계: FL 자료의 생산

대부분의 어획자료에서는 TL, FL, BL 중 하나만 기록하고 있는데, 1979년 2월에 기선저인망에서 채집된 60마리의 명태에 대해서는 세 가지의 체장을 모두 기록하였다. 명태의 체장-체중 관계식을 만들 때에 많이 사용되는 체장은 FL이므로, 1979년 자료를 이용하여 보정계수를 만들었다. 즉, 60마리의 TL, FL, BL 자료로부터 회귀분석(regression analysis)을 하니

$$FL = 0.623 + 0.9367 TL \quad (r^2 = 0.990)$$

$$FL = 0.2677 + 1.0623 BL \quad (r^2 = 0.986)$$

로 계산되어 어떤 특정 연도에 FL을 제외한 TL과 BL이 모두 측정되었을 때 상기 회귀식에서 변환된 두 FL을 더한 후 2로 나눈 값을 이용하였다. 성어의 경우는 명태 어획량이 최고에 이른 1980년대에 동해에서 가장 활발하였던 자망어업으로부터 어획된 명태 자료를 이용하였다. 자망 어업 자료는 1982-1984년 동안에 채집된 시료를 이용하였으며, 총 1198 개체수 모두 FL 정보를 가지고 있었다.

2단계: 체장-체중 관계식

기선저인망으로부터 수집된 385마리의 노가리와 자망으로부터 수집된 1,198마리를 합쳐, 총 1,583마리의 자료를 모아 체장 1 국립수산과학원의 현장일지에는 body length(BL)로 기록되고 있음.

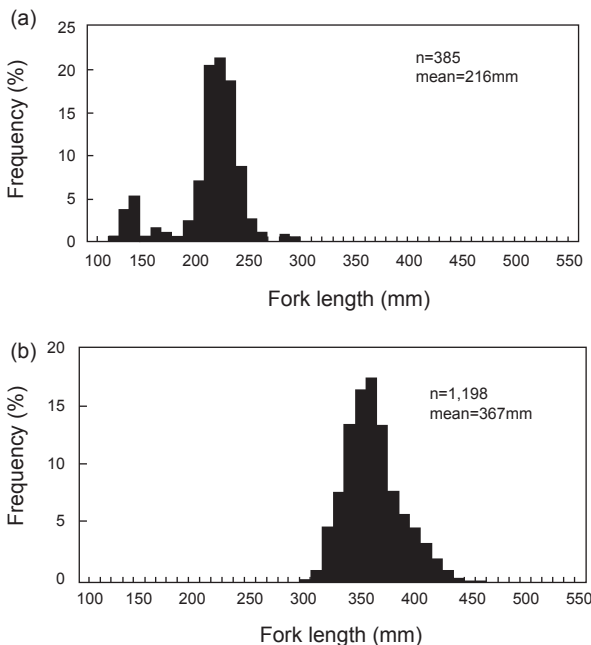


Fig. 3. Length-frequency of walleye pollock *Theragra chalcogramma* caught from (a) Danish seine in 1960s and 1970s and (b) drift gill net fisheries in the early 1980s.

(L)-체중(W) 관계식($W=aL^b$, a와 b는 상수)을 만들었다.

3단계: 체급별 체중 추정치와 출현비율

체장-체중 관계식으로부터 각 체급별 중간값에 대한 체중 추정치를 계산하고, 기선저인망과 자망어업으로부터 수집된 시료(즉, 각각 385마리와 1,198마리)로부터 50 mm 간격의 노가리(100-300 mm)와 명태 성어(300-550 mm)의 체급별 출현 비율을 계산하였다. 노가리와 성어의 체급별 체중 추정치와 체급별 출현비율을 각각 W_{1j} , W_{2j} 와 P_{1j} , P_{2j} 로 표기하였다.

4단계: 어획미수 계산

특정연도에 어획된 명태 마릿수(N)와 어획량(B)을 노가리와 명태 성어로 구분하여 각각 노가리 마릿수(N_1), 명태 성어 마릿수(N_2), 노가리 어획량(B_1), 명태 성어 어획량(B_2)이라고 한다. 따라서 특정연도의 명태 마릿수와 어획량은 각각 아래와 같다.

$$N = N_1 + N_2$$

$$B = B_1 + B_2$$

노가리와 명태 성어의 어획량, 체급별(j) 출현 비율을 이용하여 어획된 노가리와 명태 성어의 체급별 마릿수를 계산하였다. 즉, 특정연도에 어획된 노가리 어획량(B_1)은

$$B_1 = \sum (W_{1j} \times N_1 \times P_{1j}) = \sum (W_{1j} \times P_{1j}) \times N_1 = k N_1$$

[여기서 $k = \sum (W_{1j} \times P_{1j})$].

그러므로 $N_1 = B_1 / k$ 이므로 N_1 이 추정될 수 있다. 여기서 B_1 는 특정연도의 노가리 어획 중량단위를 gram으로 바꾼 것이다. 한편, 연도별로 어획된 총 노가리 마릿수(N_1)는 각 체급별 마릿수(N_{1j})의 합이므로, 위에서 계산된 전체 노가리 마릿수(N_1)에 각 체급의 출현비율(P_{1j})을 곱하여 체급별 마릿수(N_{1j})를 계산한다. 즉,

$$N_1 = \sum N_{1j} = \sum (N_1 \times P_{1j})$$

이므로, 노가리의 네 체급별(100-300 mm, 50 mm 간격) 마릿수(N_{1j})가 계산된다.

명태 성어의 마릿수(N_2)와 각 체급별 마릿수(N_{2j})도 위와 같은 방법으로 계산될 수 있으며, 명태 성어는 다섯 체급(300-550 mm, 50 mm 간격) 으로 나누어 계산되었다.

결 과

본 연구를 위하여 수집된 명태의 수효는 기선저인망으로부터 노가리 385 마리, 자망으로부터 성어 1,198 마리로 총 1,583 마리였다. 이들 자료를 합쳐 체중-체장 관계식을 추정하니,

$$W=0.0055 L^{3.011} (r^2=0.972, n=1583)$$

이었다(Fig. 4). 본 관계식을 만들기 위해 수집된 명태의 체장

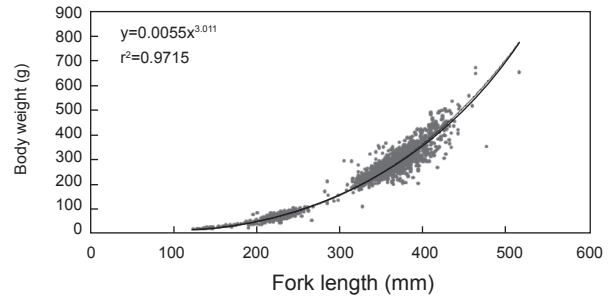


Fig. 4. Length-weight relationship on walleye pollock *Theragra chalcogramma* subsampled from Danish seine and drift gill net fisheries in Korean waters during the mid 1960 through the early 1980s.

(FL)과 체중 범위는 각각 124-515 mm와 10.9-672.0 g이었다. 100 mm 보다 작은 크기의 명태는 어획되지 않았으며, 300 mm 부근의 체장을 가진 명태는 적게 출현하였다. 350-400 mm 크기의 명태가 많이 수집되었고, 그보다 커질수록 채집된 수는 줄어들었으며, 550 mm보다 커다란 명태는 없었다. 수집된 명태의 체중은 다양하여, 어린 명태의 경우는 대부분 100 g 미만이었으며, 200-400 g을 차지하는 명태가 많았다. 수집된 명태 중에서 800 g보다 더 무거운 것은 없었다.

어획된 명태의 체장별 출현비율을 계산하기 위하여 체장을 50 mm 간격으로 구분하여 출현빈도를 조사하였다. 노가리는 300 mm 미만의 크기로 가정하였으므로 네 개의 체급으로 정리되었다. 가장 작은 노가리 체급인 100-150 mm의 명태가 출현하는 비율은 10.1%로 계산되었다(Table 2a). 노가리 중에서 가장 흔한 체급은 200-250 mm 체급이었으며, 총 노가리 출현빈도의 75.8%를 차지하였다. 그리고 150-200 mm, 250-300 mm 체급은 상대적으로 적은 각각 8.6%와 5.5%를 차지하였다. 노가리 중에서 가장 큰 체급인 250-300 mm 체급의 출현비율은 노가리 전체의 약 5-6%이므로, 200-250 mm 체장의 노가리가 실질적으로 어업에 가입(recruitment)하는 것으로 볼 수 있다. 성어의 경우, 가장 커다란 체장이 515 mm이었으므로, 5개의 체급으로 구분하였다. 가장 작은 체급인 300-350 mm의 체장을 가진 명태는 전체 성어의 28.8%였으며, 그 다음 체급인 350-400 mm 체급에서 전체 성어의 59.8%가 출현하였다(Table 2b). 이후 체장이 커질수록 출현비율이 감소하여, 가장 커다란 500-550 mm 체급에서는 0.1% 미만의 출현비율을 보이고 있다.

각 체급의 중간값을 체중-체장 관계식에 대입하여, 각 체급별 평균 체중을 계산하였다. 수집된 명태 중에서 가장 작은 체급인 100-150 mm 그룹은 평균적으로 11.0 g의 체중을 보이고 있으며, 노가리 중 가장 많은 수가 채집된 200-250 mm 체급의 평균 체중은 64.8 g이다. 가장 커다란 노가리 체급인 250-300 mm 체급의 평균 체중은 118.6 g을 보이고 있다. 성어의 체중은 약 200 g으로 시작하여 체장이 커지면서 체중이 급격히 증가하고 있는데, 가장 많은 성어가 채집된 350-400 mm 체급과 최고 크

Table 2. Estimated individual weight of walleye pollock *Theragra chalcogramma* at mid-length of each size-class, and the proportion of pollock at each size-class caught by (a) Danish seine and (b) drift gill net fisheries.

Size-class (Fork length, mm)	Mid-length (mm)	Estimated weight (g)	Proportion in sample
Danish seine			
100-150	125	11.0	0.101
150-200	175	30.4	0.086
200-250	225	64.8	0.758
250-300	275	118.6	0.055
Drift gill net fisheries			
300-350	325	196.2	0.288
350-400	375	301.8	0.598
400-450	425	440.0	0.109
450-500	475	615.0	0.004
500-550	525	831.3	0.001

기인 500-550 mm 체급의 평균 체중은 각각 301.8 g과 831.3 g 이었다(Table 2).

체급별 출현 비율과 명태 어획량 자료를 이용하여 체급별 어획된 명태 마릿수를 계산하였다. 가장 많이 어획된 연도는 1981년으로 총 21.2억 마리의 명태가 어획되었으며, 본 연구의 마지막 연도인 1997년에는 가장 적은 3,700만 마리가 어획되었다(Table 3). 어획미수가 가장 많은 체급은 200-250 mm 체급으로 1980년대 초반에는 7-15억 마리의 노가리가 어획되었으며, 1997년에는 약 1,200만 마리의 노가리가 어획되었다. 노가리 어획이 많았던 1970년대 후반부터 1980년대 전반부에는 노가리의 체급별 어획미수는 대체로 성어의 체급보다는 많았지만, 1980년대 중반부터 노가리의 수가 줄어들면서 350-400 mm의 체장을 가진 명태가 두번째로 많이 어획되는 경향이 나타났다. 예를 들면, 명태 어획량이 가장 많았던 1981년에는 노가리 19.5억 마리, 성어 1.7억 마리가 잡혀 총 21.2억 마리의 명태가 어획되었고 어느 체급의 노가리라도 성어 체급보다는 많았다. 그러나, 1985년부터는 350-400 mm 체급이 200-250 mm 체급에 이어 두 번째로 많이 어획되었고, 세 번째 체급은 100-150 mm 혹은 300-350 mm 체급이 차지하였다. 명태 어획량이 1988년에는 대폭 줄었다가 1990-1991년에 잠시 증가하였는데, 이 시기에는 200-250 mm 체급의 노가리가 60% 이상 어획되었다(Table 3).

명태 어업이 전성기인 1970년대 후반부터 1980년대 초반까지는 노가리에 대한 어획이 극심하였다. 연도별 어획량 통계와 본 논문에서 추정된 어획미수를 상대적 비율로 비교하면 명태 어업에서 노가리 생산이 차지하는 비중이 대단히 높은 것을 알 수 있다. 어획 중량의 경우, 1975-1979년에 85-94%가 노가리였지만(Fig. 5a), 이를 어획미수의 비율로 보면 97%가 넘는다(Fig. 5b). 실제로 노가리 어획통계가 수집된 1975-1997년 동안의 노가리 총 어획량은 95.4만 톤으로서 명태 총 생산량 139.9

만 톤의 약 68.2%를 차지하였다(Fig. 5c). 하지만 어획미수에 대한 절대값을 보면 총 어획미수 176억 마리 중 91.2%가 노가리를 알 수 있다(Table 3). 즉, 이 기간 동안에 어획된 노가리 어획미수는 성어 어획미수의 약 10.4배에 해당된다. 노가리의 어획비율은 1988년까지 점차 감소하다가 1990년대 초반에 잠시 증가하였다. 1980년대 후반에서 1990년대 초반까지 노가리와 성어의 어획 중량은 각각 50% 정도를 차지하고 있었으나, 어획미수는 노가리가 약 80%를 차지하고 있었다. 하지만, 이 시기의 어획량은 이미 명태어업 전성기의 약 15% 정도로 감소한 상태였다(Fig. 5c). 그 이후에 다시 명태 어획량이 감소하고, 노가리의 어획비율이 감소 경향으로 나타나, 1997년의 총 어획량은 약 7천 톤 정도로, 어획미수는 3700만 마리로 줄었다(Fig. 5a-d).

토 의

우리나라의 명태 어획통계자료를 분석하는데 조심하여야 할 점이 있다. 해방 이전에는 남한과 북한의 어획실적이 모두 포함된 것이며, 1945년 이후의 통계는 남한만의 명태 어획량이 기록되었기 때문이다. 또한, Figure 2에서 보는 것처럼, 1975-1997년 사이의 명태어업 자료는 명태 성어에 대한 어획과 소위 노가리라고 하는 소형명태로부터의 어획으로 구분되어 있다. 대부분의 노가리는 연령이 0-2세에 해당되는 작은 명태로서, 정확한 생물학적 정의는 없다. 아직 생식소가 완전 성숙된 상태는 아니면서, 상업적 어획은 가능한 크기이므로, 본 논문에서는 체장 300 mm 미만을 노가리로 간주하였으며, 1960년대-1970년대에는 동해 기선저인망의 주요 어업목표종이었다. 수산자원을 올바르게 관리하는 중요한 방안 중의 하나가 가입 연령의 현명한 선택이다. 동해 명태의 성숙체장은 340 mm이기 때문에(Park et al., 1979; NFRDI, 2010), 명태의 어획체장이 이것에 기준하여 만들어져야 개체군의 유지가 가능하다. 노가리가 명태의 미성어라는 사실은 1970년대 중반에 이미 학술적으로 밝혀졌음에도 불구하고(Huh, 1978), 우리나라에서는 명태의 포획금지체장이 설정되지 않았고, 노가리가 어획의 큰 부분을 차지하였다. 이러한 1970-1990년대의 수산자원관리방침의 부재는 노가리에 대한 어획을 허락하여 결과적으로 가입남획(recruitment overfishing)의 결과를 초래하였다. 1990년대에 들어서도 노가리와 성어에 대한 어획압력은 변함이 없었지만 가입되는 노가리의 수가 적어져서 성어의 어획비율이 상승하는 현상이 나타났다. 이러한 본 논문의 결과는 일반적으로 남획으로부터 발생하는 고령어의 감소현상이 우리나라의 명태어업에서는 현저하게 나타나지 않았다는 사실을 보여주고 있다.

본 논문에서 체장에 따른 체급별 명태 어획미수 추정 결과를 타 지역의 연구 사례와 비교하였을 때, 크게 다르지 않았다. 200 mm 미만의 노가리는 적은 수가 어획되었지만, 어업에 본격적으로 가입되었던 200-250 mm 체급의 어획미수가 항상 가장 많았고, 350 mm 이상 되는 체장에서는 커질수록 적은 수의 명태

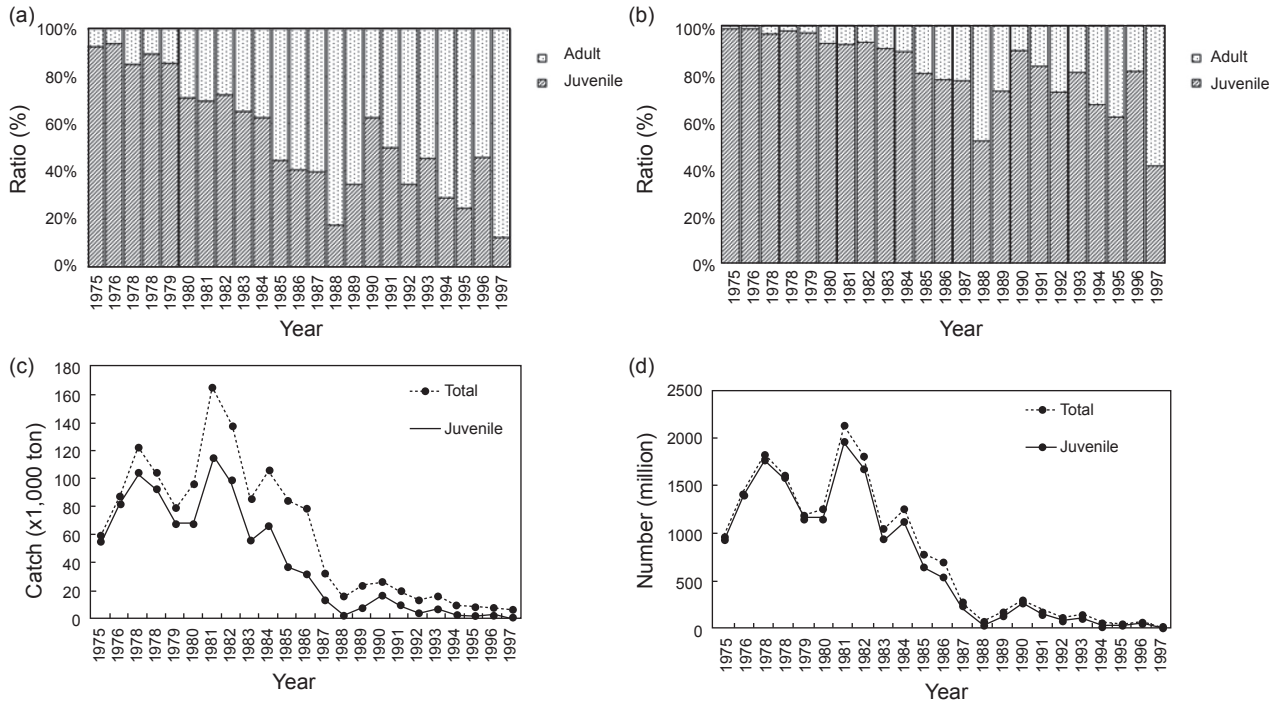


Fig. 5. Catch variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* adult and juvenile in Korean waters. (a) Relative catches in ton, (b) Relative catches in number, (c) Absolute catches in ton, and (d) Absolute catches in number.

가 어획되는 전형적인 체장빈도분포를 보여 수산자원 개체수의 체장 혹은 연령에 따른 역동성을 보여주고 있다(Fig. 6a). 한편, 베링해 생태계에 서식하는 명태자원의 어획량과 어획미수를 비교하였을 때, 동부베링해의 1982년도 어획량이 95.6만 톤이었을 때, 이들의 개체수는 100억-180억 마리였고(Ianelli et al., 2012), 동해 명태의 경우, 같은 해에 13.8만 톤이 어획되었고, 18억 마리의 어획미수를 기록하고 있다. 따라서 우리의 방법에 의한 어획미수의 추정 결과는 어느 정도 의미가 있는 것처럼 보인다. 하지만, 본 연구에서는 노가리와 성어 체급에 따른 고정된 어획 비율을 가정하였으므로 매년 체급별 출현비율이 일정할 수밖에 없었다. 이러한 가정은 안정연령분포(stable age distribution)를 가정하는 것이기에, 가입의 강도가 환경 변화에 의하여 결정된다는 수산어류의 가입원칙에 어긋난다. 본 연구의 또 다른 약점은 추정치에 대한 분산값의 추정이 불가능하였다는 것인데, 연도별 어획비율을 더욱 정확하게 재계산할 수 있는 근거를 찾을 수 있고, 분산값을 계산할 수 있는 이론을 전개할 수 있다면, 더욱 의미있는 어획미수의 추정이 될 것이다. 앞서 언급하였듯이 수산생물의 가입량은 초기발생시기의 환경변동 때문에 매년 일정하지 않다. 따라서 수산생물의 가입과 정 규명은 기후변동에 따른 어업예측과 더불어 수산자원 관리에 가장 필요한 사안 중의 하나이지만 생태계의 복잡성과 불확실성 때문에 설명할 수 없는 부분이 많다. 비교적 오랜 기간에 걸쳐 해양생태계 연구가 수행된 북동태평양 명태의 가입과정과

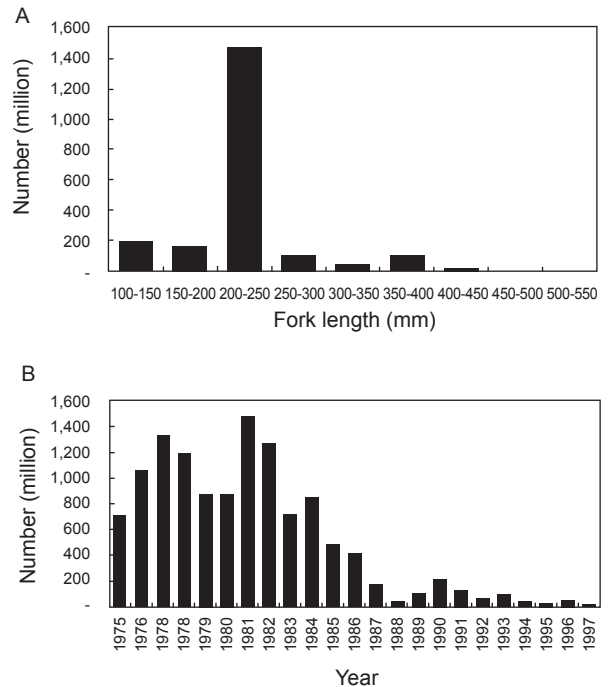


Fig. 6. Walleye pollock *Theragra chalcogramma* numbers estimated in size class and at recruitment size. (a) Length-frequency distribution of walleye pollock estimated in 1981, and (b) recruitment variability of walleye pollock in the southwestern East Sea assuming the recruitment size at 200-250 mm.

Table 3. Estimates of walleye pollock *Theragra chalcogramma* numbers caught at each size class, 1975-1997

	100-150 mm	150-200 mm	200-250 mm	250-300 mm	300-350 mm	350-400 mm	400-450 mm	450-500 mm	500-550 mm	Total
1975	94,395,694	79,873,280	706,757,506	50,828,451	4,535,533	9,412,875	1,722,188	65,732	13,146	947,604,406
1976	140,864,953	119,193,422	1,054,681,188	75,850,359	5,540,543	11,498,635	2,103,801	80,298	16,060	1,409,829,259
1977	177,910,341	150,539,519	1,332,046,652	95,797,876	18,565,716	38,530,587	7,049,591	269,068	53,814	1,820,763,162
1978	158,724,751	134,305,558	1,188,400,699	85,467,174	11,283,887	23,418,154	4,284,606	163,535	32,707	1,606,081,072
1979	116,294,294	98,402,864	870,716,254	62,620,005	11,704,473	24,291,022	4,444,307	169,630	33,926	1,188,676,775
1980	116,492,224	98,570,344	872,198,193	62,726,582	28,084,341	58,285,184	10,663,909	407,019	81,404	1,247,509,202
1981	197,169,301	166,835,562	1,476,241,945	106,168,085	50,233,528	104,252,771	19,074,180	728,022	145,604	2,120,848,999
1982	169,337,911	143,285,924	1,267,863,331	91,181,952	38,375,207	79,642,458	14,571,455	556,162	111,232	1,804,925,632
1983	96,008,144	81,237,660	718,830,205	51,696,693	29,612,836	61,457,364	11,244,294	429,172	85,834	1,050,602,202
1984	113,932,781	96,404,661	853,035,179	61,348,420	39,866,738	82,737,925	15,137,805	577,779	115,556	1,263,156,844
1985	64,922,848	54,934,717	486,089,012	34,958,456	46,452,252	96,405,253	17,638,391	673,221	134,644	802,208,796
1986	55,425,605	46,898,589	414,981,455	29,844,557	46,843,866	97,217,995	17,787,091	678,897	135,779	709,813,835
1987	23,132,252	19,573,444	173,195,320	12,455,828	20,142,163	41,802,287	7,648,184	291,915	58,383	298,299,776
1988	4,934,607	4,175,437	36,946,291	2,657,096	13,334,867	27,674,681	5,063,384	193,259	38,652	95,018,275
1989	14,385,800	12,172,583	107,708,914	7,746,189	15,770,469	32,729,436	5,988,207	228,558	45,712	196,775,846
1990	28,199,950	23,861,496	211,138,088	15,184,589	9,788,360	20,314,394	3,716,740	141,860	28,372	312,373,848
1991	17,260,888	14,605,367	129,235,366	9,294,324	10,094,059	20,948,830	3,832,817	146,291	29,258	205,447,199
1992	8,601,437	7,278,139	64,400,502	4,631,543	9,494,649	19,704,837	3,605,215	137,604	27,521	117,881,447
1993	12,911,540	10,925,149	96,671,018	6,952,368	9,034,103	18,749,037	3,430,341	130,929	26,186	158,830,670
1994	5,362,888	4,537,828	40,152,902	2,887,709	7,597,518	15,767,602	2,884,855	110,109	22,022	79,323,431
1995	3,859,641	3,265,850	28,897,825	2,078,268	6,896,208	14,312,131	2,618,560	99,945	19,989	62,048,418
1996	6,526,581	5,522,492	48,865,686	3,514,313	440,627	9,215,909	1,686,151	64,357	12,871	79,848,987
1997	1,552,729	1,313,848	11,625,562	836,085	6,366,730	13,213,271	2,417,512	92,271	18,454	37,436,462
Total	1,628,207,139	1,377,713,733	12,190,679,093	876,726,921	444,058,674	921,582,639	168,613,583	6,435,633	1,287,127	17,615,304,542

예측에 대해서도 아직 뚜렷한 정설이 없이 여러 가설이 대두되었으며(Bailey, 2000; Hollowed et al., 2001; Hunt et al., 2002), 우리나라에서는 명태 어획량 예측을 위한 최소 AIC (Akaike Information Criteria)를 이용한 시계열분석이 보고되었을 뿐이다(Park and Yoon, 1996). 가입 연령과 그에 따른 가입량 변동에 대한 자료가 미비되어 있는 현실에서 동해 명태의 가입과정을 밝히는 것은 불가능하다. 하지만 본 연구에서는 가입 체장의 연도별 변이(variability)를 제공함으로써(Fig. 6b), 가입변동 원인에 대한 단초를 제공하고자 한다. 가입 체장에 이른 20-25cm 체급의 노가리의 어획미수는 명태자원이 풍부하였던 1970년대 후반부터 1980년대 초반에도 커다란 변이를 보이고 있다. 가령, 1980년에 단지 8.7억 마리가 가입되었던 것에 비하여 그 다음 해에는 70% 증가한 14.8억 마리가 가입되었고, 이러한 경년변동(interannual variability)은 전 연구기간을 통하여 반복되어, 가입 다양성의 원인을 밝히는데 이용될 수 있다.

아직도 많은 생물학적 자료가 더 축적되어야 더욱 정밀한 연구 성과가 나타날 것이다. Park et al.(1978)에 의하여 만들어진 FL-TL 관계식 $FL = 0.457 + 0.956 TL$ 을 그래프로 그려보았을 때, 본 결과($FL = 0.623 + 0.9367 TL$)와 매우 유사하였으며, 그들의 $W = 0.00655 L^{2.988}$ 역시 우리 것 $W = 0.0055 L^{3.011}$ 과 크게 다르지 않았다. 하지만 본 연구팀이 이용한 자료의 양은 타 지역 명태 연구에 비하여 너무 적었으므로 성별에 따른 성장의 차이를 고려하지 못했고, 체장빈도분포 역시 세밀하지 못하였을

것이다. 특히 300 mm 부근 어류수가 적었으며, 대형 어류의 출현이 매우 드물었다. 연령과 포란수와 같은 중요한 생물학적 요인에 대한 분석을 시도하지 못했으므로, 향후 자료가 보완되거나 더욱 발굴된다면, 연구결과를 더욱 정밀하게 제시할 수 있을 것이다.

사 사

국립수산과학원에서 긴 세월 동안 자료를 수집해 주신 분들의 노고가 없었다면 본 연구는 완성될 수 없었을 것입니다. 익명의 그분들께 깊은 감사를 드립니다. 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- Bailey KM. 2000. Shifting control of recruitment of walleye pollock *Theragra chalcogramma* after a major climatic and ecosystem change. *Mar Ecol Prog Ser* 198, 215-224.
- FAO. 2007. *FAO yearbook, Fishery statistics: Capture production, 2005*. FAO Fisheries Series No. 75, FAO Statistics Series No. 194, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 539.
- FishBase. 2013. *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) Alaska pollock. Retrieved from <http://www.fishbase.org/summary/Theragra-chalcogramma.html> on July 4.

- Gong Y and Zhang CI. 1983. The walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) stock in Korean waters. INPFC Ground Fish Symposium, Paper No. P-2. 27.
- Hollowed AB, Hare SR and Wooster WS. 2001. Pacific basin climate variability and patterns of Northeast Pacific marine fish production. *Prog Oceanogr* 49, 257-282.
- Huh SH. 1978. Morphological comparison between adults and juveniles of Alaska Pollack, *Theragra chalcogramma* (Pallas) (Gadidae: Teleostomi), collected in Korean waters. Seoul National University, Master Thesis, Seoul, Korea.
- Hunt GL, Stabeno P, Walters G, Sinclair E, Brodeur RD, Napp JM and Bond NA. 2002. Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem. *Deep Sea Res II* 49, 5821-5853.
- Ianelli JN, Honkalehto T, Barbeaux S, Kotwicki S, Aydin K and Williamson N. 2012. Assessment of the walleye pollock stock in the Eastern Bering Sea. In: Stock assessment and fishery evaluation report for the groundfish resources of the Bering Sea/Aleutian Islands regions. North Pac Fish Mgmt Council, Anchorage, AK, section 1, 51-156.
- Iwata M. 1975. Population identification of walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, (PALLAS), in the vicinity of Japan. *Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Japan* 22, 193-258.
- Kendall AW Jr and Kim S. 1989. Buoyancy of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs in relation to water properties and movement in Shelikof Strait, Gulf of Alaska. *Can J Fish Aquat Sci Spec Pub* 108, 169-180.
- Kim S. 1987. Spawning behavior and the early life history of walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, in relation to oceanographic factors. Ph.D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle, Washington, USA.
- Kim S. 1990. Status of fishery and science of Bering Sea walleye Pollock: (I) History and importance of fisheries. *Ocean Res* 12, 117-128.
- Kim S. 1992a. Status of fishery and science of Bering Sea walleye Pollock: (II) Biological characteristics (Early life history). *Ocean Res* 14, 149-170.
- Kim S. 1992b. Status of fishery and science of Bering Sea walleye Pollock: (III) Biological characteristics (Adult). *Ocean Res* 14, 171-189.
- Kim YM. 1978. Stock assessment of small size fishes of Alaska pollack, *Theragra chalcogramma* (PALLAS), in the Eastern Sea of Korea. *Bull Fish Res Dev Agency* 19, 53-61.
- Kim S and Kang S. 1998. The status and research direction for fishery resources in the East Sea/Sea of Japan. *J Korean Soc Fish Res* 1, 44-58.
- Kim S, Zhang CI, Kim JY, Oh JH, Kang S and Lee JB. 2007. Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. *Ocean Sci J* 42, 179-192.
- Lee JU. 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. *Susan-gyungyoung-nongib* 22, 75-99.
- Lee Y and Kim DY. 2010. Measuring surface water temperature effects on the walleye pollock fishery production using a translog cost function approach. *Environmental and Resource Economics Rev* 19, 897-914.
- Muigwa NM. 1989. Vertical distribution pattern of prespawning and spawning pollock (*Theragra chalcogramma*) in Shelikof Strait. In: Proceedings of the International Symposium on the biology and management of walleye pollock. Nov. 14-16, 1988, Anchorage, USA. Alaska Sea Grant College Program, AK-SG-89-01, Univ. of Alaska, Fairbanks, Alaska, USA. 403-431.
- NFRDI. 2010. Ecology and fishing ground of fisheries resources in Korean waters. National Fisheries Research and Development Institute, Busan, Korea. 405.
- Oh TG, Sakuramoto K and Lee SG. 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 BH, Hue JB and Kim HK. 1978. Age and growth of Alaska pollack, *Theragra Chalcogramma*, in the Eastern Sea of Korea. *Bull Fish Res Dev Agency* 20, 33-42.
- Park BH, Hue JB and Kim HK. 1979. Spawning and maturity of Alaska pollack, *Theragra Chalcogramma* (PALLAS), in the Eastern Sea of Korea. *Bull Fish Res Dev Agency* 22, 33-38.
- Park SK and Ok YS. 1986. Bio-economic research in fishery resource management: walleye Pollock. *Nongchon-gyungje* 9, 59-68.
- Park HH and Yoon GD. 1996. Prediction of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, landings in Korea by time series analysis : AIC. *Bull Korean Soc Fish Tech* 32, 235-240.
- Seo H, Kim S, Seong K and Kang S. 2006. Variability in scale growth rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to climate changes in the late 1980s. *Prog in Oceanogr* 68, 205-216.