



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

**Comparison of biological characteristics of
Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) between the
East and the Yellow Sea, Korea**

제 주 대 학 교 대 학 원

해 양 생 명 과 학 과

이 경 환

2016년 2월

이학석사 학위논문

**Comparison of biological characteristics of
Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) between the
East and the Yellow Sea, Korea**

지도교수 정석근

제주대학교 대학원

해양생명과학과

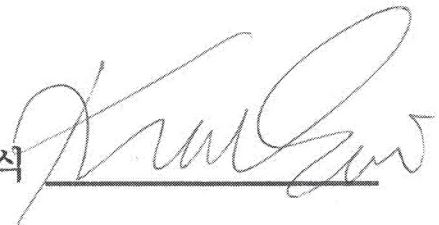
이경환

2016년 2월

이경환의 이학석사 석사학위 논문을 인준함

2015년 12월

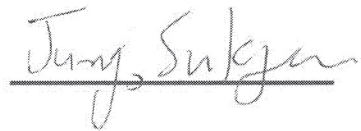
위원장 최광식



위원 이경준



위원 정석근



목 차

List of Figures.....	iv
List of Table.....	v
Abstract.....	vi
I. 머리말.....	1
1-1. 대구의 생물학적 특성과 자원변동	1
1-2. 수산자원 생태연구의 중요성.....	2
1-3. 과거 연구.....	3
1-4. 과거 연구의 한계.....	3
1-5. 연구 목적.....	4
II. 자료 및 방법.....	5
2-1. 자 료	5
2-1-1. 동 해.....	5
2-1-2. 황 해.....	6
2-2. 성 장	6
2-2-1. 체장-체중 관계	6
2-2-2. 체장-체중 관계 해석별 차이 비교.....	7
2-2-3. 본 버틀란피 성장식	7
2-2-4. 성장식 비교	10
2-2-4-1. Kimura's likelihood ratio 검정.....	10
2-2-4-2. Wald 검정.....	11

2-3. 개체군성숙	12
2-3-1. 로지스틱 성장식과 최소성숙체장(L_{50}).....	12
2-3-2. 최소성숙체장(L_{50}) 비교.....	13
2-3-2-1. 최소성숙체장(L_{50}) 분산추정.....	13
2-3-2-2. 성별 동해와 황해 최소성숙체장(L_{50}) 등분산 검정.....	14
2-3-2-3. t 검정을 이용한 최소성숙체장(L_{50}) 차이검정	15
2-3-3. 민감도 검사	16
III. 결 과	18
3-1. 성 장	18
3-1-1. 체장-체중 관계	18
3-1-2. 본 버틀란피 성장식	19
3-2. 성 숙	27
3-2-1. 로지스틱 회귀분석과 최소성숙체장(L_{50})	27
3-2-2. 최소성숙체장(L_{50}) 분산 도출.....	28
3-2-3. t 검정(L_{50})	28
3-2-4. 민감도 분석	29
IV. 고 찰	34
4-1. 결과 요약.....	34
4-1-1. 성 장	34
4-1-2. 성 숙.....	34
4-2. 과거 연구와 비교.....	35
4-3. 동해·남해·황해 대구의 성장이 차이가 나는 이유.....	37
4-3-1. 식 성	37
4-3-1-1. 대구 먹이특성	37
4-3-1-2. 성장에 따른 먹이변화.....	38
4-3-1-3. 계절에 따른 먹이변화.....	39

4-3-2. 해양 환경의 차이	39
4-4. 이번 연구의 문제점과 한계점	40
4-5. 앞으로 연구해야할 주제	40
4-6. 결 론	41
V. 참고문헌	45

List of Figures

Fig 1. Monthly changes in the marginal index of <i>Gadus macrocephalus</i> in the East Sea.	9
Fig 2. Length distribution of <i>Gadus macrocephalus</i> in the East and the Yellow Sea. (a) Female cod in the East Sea; (b) Male cod in the East Sea; (c) Female cod in the Yellow Sea; (d) Male cod in the Yellow Sea.	17
Fig 3. Length-weight relationship of <i>Gadus macrocephalus</i> in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.	21
Fig 4. von Bertalanffy growth curve of <i>Gadus macrocephalus</i> derived from ageaveraged length in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.	22
Fig 5. von Bertalanffy growth curve of <i>Gadus macrocephalus</i> derived from daily length in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.	23
Fig 6. The derived logistic curves and the estimated median maturity length for <i>Gadus macrocephalus</i> by sex in the East Sea and the Yellow Sea.	30
Fig 7. Comparison of length-weight relationship of the Yellow Sea cod (<i>Gadus macrocephalus</i>) between Chang <i>et al.</i> (1971) and the present study (male and female).	42
Fig 8. Comparison of length at age of <i>Gadus macrocephalus</i> in the Korea Strait (Choi and Gwak, 2011), the East Sea (the present study) and the Yellow Sea (Kim <i>et al.</i> (2010) and the present study, (a) Male; (b) Female.	43
Fig 9. Comparison of von Bertalanffy growth curves of <i>Gadus macrocephalus</i> in the East Sea, the Yellow Sea, the Gulf of Alaska and Bering Sea. (a) Male; (b) Femlae.	44

List of Table

Table 1. Kimura's likelihood ratio test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Male).....	24
Table 2. Kimura's likelihood ratio test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Female).....	25
Table 3. Wald test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Male).	26
Table 4. Wald test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Female).	26
Table 5. Variation of median maturity length (L_{50}) of male and female cod in the East and the Yellow Sea.....	31
Table 6. Result of equal variation test (F test) of median maturity length between the East and the Yellow Sea female cod.	31
Table 7. Result of t test of median maturity length between the East and the Yellow Sea female cod.....	32
Table 8. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the East Sea male cod.	32
Table 9. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the East Sea female cod.	33
Table 10. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the Yellow Sea female cod.....	33

Comparison of biological characteristics of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*)
between the East and the Yellow Sea, Korea

Kyung Hwan Lee

Department of Marine Life Sciences, Jeju National University

Abstract

I compared the biological characteristics of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) between the East and the Yellow Sea in Korea. A total of 261, 322 cod samples were collected in the East Sea from January to December 2003, January to February 2007, and 682 samples in the Yellow Sea from January to December 2007. Significant regional differences between the East and the Yellow Sea cod were detected in 1) relationship of total length and body weight 2) von Bertalanffy growth equation and 3) median maturity length. The probability of spawning by adult cod was estimated by logistic regression equation and median maturity length (L_{50}). The East Sea cod showed a higher growth rate than the Yellow Sea cod and female cod showed a higher growth rate than male cod. The Yellow Sea cod (male: 2.3 year, female: 2.6 year) were estimated to mature earlier than the East Sea cod (male: 3.9 year, female: 4 year) for the both sexes. I hypothesized that these differences in growth and maturation of cod are attributed to the regional differences in the marine environment between the East and the Yellow Sea. Further comparative studies on marine ecosystems of the two seas will validate this hypothesis.

Key words: Pacific cod, Length-body weight relationship, Growth equation,

Median maturity length

I. 머리말

1-1. 대구의 생물학적 특성과 자원변동

대구(大鯧)는 우리나라의 대표적인 상업적 어종 중 하나로써 우리나라 황해와 동해를 비롯한 베링해 및 미국 북서부 해역을 포함한 북태평양 해역에 광범위하게 서식하고 있다 (Cohen, 1990). 한류성 어종인 대구는 주로 수온 5-12 °C, 수심 10-550 m 북태평양 깊은 바다에 떼를 지어 사는 어류로 (Cohen, 1990) 11-2월 사이에 진해만으로 모여들어 산란하며 산란이 끝나면 다시 북쪽의 심해로 이동하는 산란회유를 한다 (Chyung, 1977; Park and Gwak, 2009; Cha *et al.*, 2007). 우리나라 대구는 동해와 황해의 2개 계군으로 구분해왔다. 황해 대구는 동해에 비해 크기가 작아 보통 38 cm 내외이고 동해 대구는 보통 68 cm 내외로 최소성숙 전장은 동해계가 수컷 58 cm, 암컷 62 cm이고 황해계는 수컷 32 cm, 암컷 38 cm 이다 (Seo *et al.*, 2007). 하지만 최근 연구된 Gwak and Nakayama (2011)과 Kim *et al.* (2010), Seo *et al.* (2010)의 유전적 분류 연구에 따르면 우리나라 대구는 동해, 황해, 동남해 3가지의 계군으로 나뉘며, 그 중 황해 대구는 남해 대구와 유전적으로 가까우나 동해 대구와는 뚜렷이 구분이 된다고 보고하였다. 우리나라 대구 어획량은 1990년대 초반부터 후반까지 어획량이 낮았으나, 2000년대부터 꾸준히 증가하기 시작하여 2003년 1,826톤에서 2013년 9,133톤으로 증가하는 경향을 보이고 있다 (MOF, 2014).

1-2. 수산자원 생태연구의 중요성

최근까지 수산자원의 평가와 관리는 환경은 고려하지 않고 개체군 수준에서 가입과 성장, 자연사망, 어획사망 등 네 요소만을 고려하는 개체군 역학적 분석결과에 의존하여 수행 되어져 왔다 (Zhang, 2006; Gulland, 1983). 이런 전통적인 수산자원평가 방법론에서는 환경요인은 장기적으로 일정하다고 가정하지만, 최근에는 지구온난화와 기후변화 등에 따라 이런 장기 평형 가정을 더 이상하기 힘들다고 보고 있다 (Haltuch et al., 2009). 더욱이 동해와 황해는 해양환경이 크게 다르기 때문에 이런 해석에 따른 환경 차이를 고려하지 않은 수산자원 평가에 따른 생물학적 기준점을 설정하여 대구를 관리한다면 큰 오류를 범할 수 있으므로 환경 차이와 장기적 변화를 고려한 평가와 관리 방안이 필요하다 (Cha and Jung, 2012).

1-3. 과거 연구

최근까지 우리나라 대구의 생물학적 연구는 동해(Seo *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2005; Cha *et al.*, 2007), 황해(Kim *et al.*, 2013), 남해(Choi and Gwak, 2011)로 나누어져 자치어를 포함하는 성숙과 산란연구가 진행 되었으며, Park and Gwak (2009), Lee *et al.* (2015), Yoon *et al.* (2012), Baeck *et al.* (2007)에 의한 대구의 식성 연구와 Kim *et al.* (2010), Seo *et al.* (2010), Gwak and Nakayama (2011)에 의하여 유전자 분석 연구가 진행 되었다. 이 외 Chung and Kim (1971)의 황해 대구 체장-체중 상관관계 연구 및 Gwak (2010)의 체장에 따른 포란수 연구, Jung *et al.* (2009)의 대구의 성장과 사망률, 포란수 변화 연구, Cha and Jung (2012)의 대구 자원의 가입당 생산 분석 연구, Hwang and Jung (2012)의 진해만 표지방류에 의한 대구 자원량 추정 연구, 그리고 NFRDI (2013)에 의해 대구 회유경로에 대한 연구가 있다.

1-4. 과거 연구의 한계

우리나라 대구 연구는 대부분 동해와 남해를 중심으로 연구 되었으며 황해 대구에 대한 연구는 부족한 상황이다. Park and Gwak (2009)이 연구한 해역별 위 내용물 비교, Seo *et al.* (2010)와 Kim *et al.* (2010)의 해역별 유전적 연구를 통하여 해역에 따른 식성과 유전자 분포 차이는 일부 평가되었지만 성장과 성숙 비교에 대한 연구는 전무한 상황이다.

1-5. 연구 목적

이 연구 목적은 동해와 황해 대구의 성장과 성숙을 계량적으로 비교하여, 차이가 난다면 그 원인이 무엇인지 고찰하며 수산자원의 해역별 성장과 성숙 비교 연구를 위한 분석 방법을 제시하여, 궁극적으로 해역별 해양생태계와 대구의 지역적 특성을 고려한 대구 수산자원관리방안을 마련하는데 기여하는 것이다.

II. 자료 및 방법

2-1. 자 료

2-1-1. 동 해

본 연구에 사용된 자료는 선행 연구자들이 수집하여 측정한 것이며, 동해 자료는 각 연구에 맞는 자료를 사용하기 위하여 두 연구자에 의해 수집된 자료를 이용 하였다. 체중-체장 관계와 성장 비교를 위한 동해 자료는 Lee *et al.* (2005)이 썼던 2003년 1월부터 12월까지 매월 동해안 강원도 주문진 연안과 양양군 연안에서 어획된 261개의 개체 자료를 사용하였으며, 이 자료는 암·수 구분 후 이석 길이 및 전장, 체장, 두장, 체고는 0.1 cm 단위, 체중은 0.1 g 단위, 생식소의 중량은 0.01 g 단위 까지 측정한 것이다. 성숙도는 육안 관찰로 5계급(미숙, 중숙, 완숙, 방란중, 방란후)로 구분 하였다. 추가적으로 최소 성숙체장 (L_{50}) 추정에 사용된 자료는 Cha *et al.* (2007)이 썼던 2007년 1월과 2월 우리나라 강원도 인근해역의 어선에 의해 어획된 322 개체 자료를 활용했는데, 이 자료는 암·수 구분 후 전장(TL) 0.1 cm 단위로, 체중(BW)과 생식소중량지수(GW)가 0.01 g 까지 측정된 자료로써 어체 측정시 육안 관찰로써 생식소 크기, 색조, 난의 투명상태, 난립의 크기 등을 기준하여, 미숙(immature), 중숙(maturing), 완숙(mature), 방후(spent)의 4단계로 생식소 성숙도를 구분한 것이다. 동해 대구 산란기는 Cha *et al.* (2007)이 추정한 12-1월로 가정하였다.

2-1-2. 황 해

성장과 성숙 분석에 사용된 황해 개체군의 자료는 Kim *et al.* (2013)이 쓴 2007년 1월부터 2월을 제외한 12월까지 우리나라 황해안 중부해역에서 어선에 의해 어획, 측정된 682개체 자료를 사용 하였다. 황해 대구군 자료는 암·수 구분 후 이석(otolith)의 길이와 전장(TL) 0.1 cm 단위, 체중(BW) 0.1 g 단위, 생식소 중량(GW)은 0.01 g 단위까지 측정한 것이다. 이 연구에서는 Kim *et al.* (2013)이 보고한 월 별 GSI 수치 변화와 추정 주산란기를 통하여 GSI 5 이상은 성숙, 5 미만은 미숙으로 구분 하였으며 주 산란기는 12-1월로 가정 하였다.

2-2. 성 장

2-2-1. 체장-체중 관계

해역별 대구의 체장-체중 관계 관계는 다음 식으로 도출하였다.

$$W_t = \alpha \cdot L_t^\beta$$

여기서 W_t 는 t시간의 체중 이며, L_t 는 t시간의 체장 그리고 α , β 는 상수로써 최소자승법을 이용한 회귀분석을 통하여 구할 수 있다.

2-2-2. 체장-체중 관계 해석별 차이 비교

성별 동·황해 체장-체중 비교는 도출된 회귀선의 기울기 차이를 이용하여 비교(ANCOVA) 하였으며, R통계 프로그램으로 검정하였다.

2-2-3. 본 버틀란피 성장식

각 개체의 나이는 이석 연륜으로 연령을 추정하였으며 매년 1월 1일을 부화일로 가정하였다. 윤문형성 기간에는 연령 추정에 1년의 오차가 날 수 있으므로 이석 Marginal index의 월별 분포 변화로부터 윤문 형성 시기를 추정하였고, 윤문형성 초기에 해당하는 시기의 자료는 제외하고 분석하였다. 황해는 Kim *et al.* (2013)의 보고에 따른 윤문 형성시기인 12-3월 자료를 제외 하였으며, 동해는 분석에 사용된 대구 자료의 윤문 길이 분석을 통하여 윤문이 발생하기 시작하는 11-3월을 윤문형성 시기로 추정 하여 제외 하였다 (Fig 1.). 본 버틀란피 방정식을 이용하여 해석별 대구 개체의 성장을 비교 하였으며 그 방정식은 다음과 같다.

$$L_t = L_\infty \cdot (1 - e^{-K \cdot (t-t_0)})$$

여기서 L_t 는 t시간대의 체장을 나타내며, L_∞ 는 해당 개체의 이론적 최대 체장, K는 성장계수, t_0 는 길이가 0일때의 시간을 의미한다. 본 연구는 Seo *et al.* (2007)에 의해 알려진 부화 직후 길이(L_0)를 이용하여 t_0 를 도출 하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$t_0 = \frac{1}{K} \cdot \log\left(1 - \frac{L_0}{L_\infty}\right)$$

도출된 t_0 를 이용하여 2개의 파라미터(L_∞ , K)로 이루어진 방정식으로 변형 후 성장을 비교하였다.

$$L_t = L_\infty \cdot \left(1 - e^{-K \cdot \left(t - \frac{1}{K} \cdot \log\left(1 - \frac{L_0}{L_\infty}\right)\right)}\right)$$

성장식 파라미터는 R통계 프로그램에서 최소자승법을 기반한 비선형회귀분석(nls)를 통하여 도출 하였다.

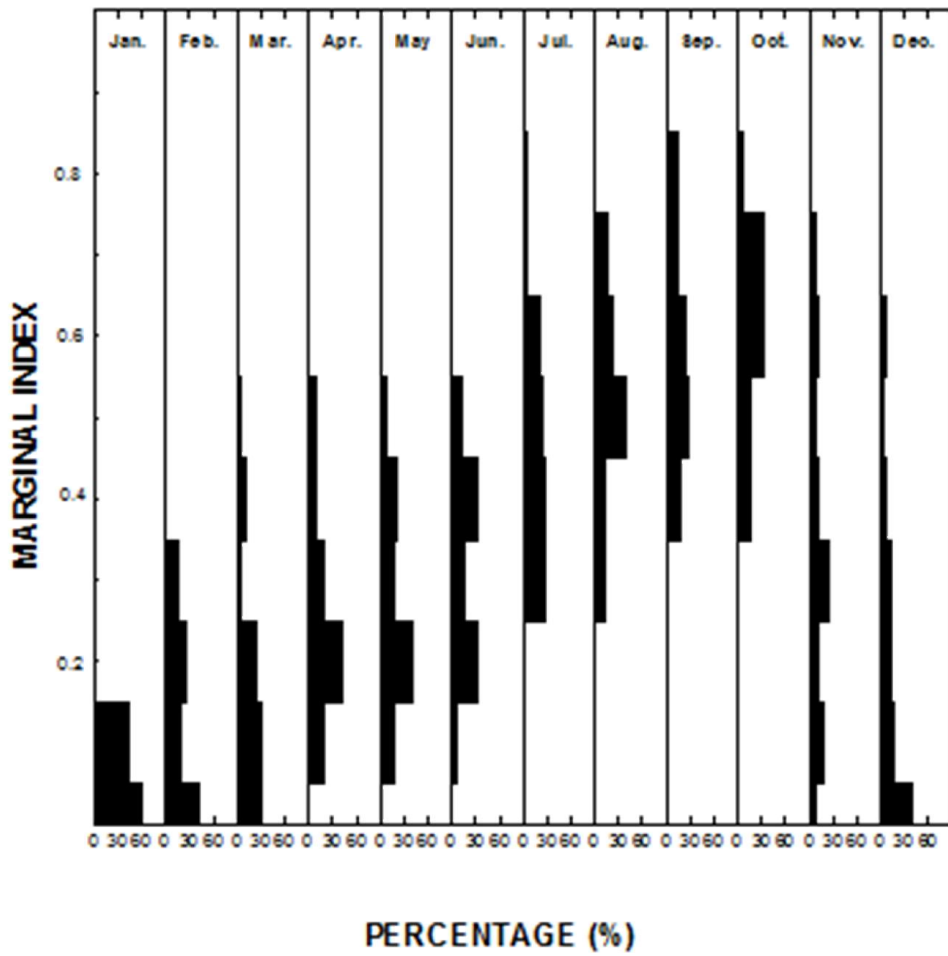


Fig 1. Monthly changes in the marginal index of *Gadus macrocephalus* in the East Sea.

2-2-4. 성장식 비교

본 버틀란피 성장식을 이용하여 도출한 해역별 암·수 성장식은 Kimura's likelihood ratio 검정과 Wald 검정을 이용하여 차이를 비교 하였다.

2-2-4-1. Kimura's likelihood ratio 검정

Kimura(1980)가 제안한 방법으로 두 개 이상의 독립적인 집단으로부터 도출된 본 버틀란피 성장식의 차이를 비교하기 위한 방법이다. 두 집단 비교시 각 연령별 평균의 자료와 최소자승법을 통하여 집단의 성장곡선이 그려지며 도출된 성장곡선을 카이제곱 검정을 통하여 비교 하였다. 카이제곱 값을 도출하는 식은 다음과 같다.

$$\chi_k^2 = -N \cdot \ln \left[\frac{RRS_{\Omega}}{RRS_{\omega}} \right]$$

여기서 K 는 비교하고자 하는 성장식의 총 자유도 이며 N 은 총 개체수, RRS_{Ω} 는 각 지역별 성장식에 따른 관측값과 기대값 차이(집단내 잔차, 동·황해 잔차의 합) 제곱의 합을 나타내며 RRS_{ω} 는 설정된 가설에 따른 전체 개체의 관측값과 기대값 차이(집단전체 잔차) 제곱의 합을 나타낸다. Kimura(1980)에 따른 검정 가설은 다음과 같다. ① $L_{\infty,1}/K_1/t_{0,1} = L_{\infty,2}/K_2/t_{0,2}$ ② $L_{\infty,1} = L_{\infty,2}$ ③ $K_1 = K_2$ ④ $t_{0,1} = t_{0,2}$ ⑤ $L_{\infty,1}/K_1 = L_{\infty,2}/K_2$ ⑥ $L_{\infty,1}/t_{0,1} = L_{\infty,2}/t_{0,2}$ ⑦ $K_1/t_{0,1} = K_2/t_{0,2}$ 의 귀무가설 검정을 통하여 성장곡선의 차이 여부가 결정되며, ①귀무가설 채택시 두 성장곡선은 동일 하다고 판정내릴 수 있다. 만약 ①의 귀무가설이 기각이 될 경우 ②-⑦의 귀무가설 검정을 통하여 결과를 해석한다. 본 연구에서는 문헌 조사에 의해 확인된

L_0 값을 통하여 도출한 t_0 값을 이용하였으므로 2개의 파라미터 비교 가설인 ① $L_{\infty,1}/t_{0,1} = L_{\infty,2}/t_{0,2}$ ② $L_{\infty,1}=L_{\infty,2}$ ③ $K_1=K_2$ 의 귀무가설에 대한 동·황해 대구 성장 차이를 검정 하였다.

2-2-4-2. Wald 검정

각 해역별 성장식 파라미터는 통상최소자승법(OLS)로 도출되며 도출된 파라미터의 값을 아래와 같이 가정하였을때 도출된 카이제곱값에 따라 두 성장 곡선의 동일성을 검정 하였다.

$$L_{\infty,1}=L_{\infty,2} / K_1=K_2$$

2-3. 개체군성숙

2-3-1. 로지스틱 성장식과 최소성숙체장(L_{50})

Cha *et al.* (2007)와 Kim *et al.* (2013)의 동해와 황해 대구 성숙 자료를 이용하여 체장에 따른 대구 성숙 확률을 다음 로지스틱 방정식을 이용하여 도출하였다.

$$P(x) = \frac{e^{\alpha+\beta x}}{1 + e^{\alpha+\beta x}}$$

여기서 $P(x)$ 는 체장이 x 일 때 개체의 성숙 확률을 나타내며 α 와 β 는 각각 직선회귀식에서 절편과 기울기이다. 각 해역별, 성별 개체의 최소성숙체장(L_{50})은 도출된 파라미터 α 와 β 를 이용하여 다음과 같이 계산한다 (Chen and Paloheimo, 1994).

$$L_{50} = -\frac{\alpha}{\beta}$$

여기서 파라미터는 R통계 프로그램 최소자승법을 기반한 일반화 선형 회귀분석 (glm)을 통하여 도출하였다.

2-3-2. 최소성숙체장(L_{50}) 비교

두 해역의 성별 최소성숙체장(L_{50})의 차이를 검정 하기 위하여 Loretta O'Brien (1999)이 제안한 절차에 따라 L_{50} 의 분산을 추정 후 등분산검사 과정을 통하여 적절한 t 검정을 선택 하여 해역별 최소성숙체장(L_{50}) 차이를 검정하였다.

2-3-2-1. 최소성숙체장(L_{50}) 분산추정

Ashton (1972)의 연구 방법에 따라 사용된 각 성별 자료는 5 cm 단위로 묶은 후 각 그룹당 실제 성숙과 미숙 개체의 수를 이용하여 다음의 식을 통하여 분산을 추정 하였다 (Fig 2.).

$$S^2(y) = \frac{1}{b^2} [S^2(a') + (y - \bar{x})^2 \cdot S^2(b)]$$

여기서 $S^2(y)$ 는 각 해역별 성별 예측된 L_{50} 의 분산 이며, b , $S^2(b)$, y 는 각 각 회귀분석을 통해 도출된 파라미터 b 의 표준편차, 도출하고자 하는 개체의 L_{50} 을 나타낸다. $S^2(a')$ 와 \bar{x} 는 아래의 식을 통하여 도출 하며 각 식에서의 n 과 P , Q , x 는 개체수와 그룹당 성숙률, 미성숙률, 그룹 대표값(중앙값)을 나타낸다.

$$S^2(a') = 1 / \sum nPQ \qquad \bar{x} = \sum nPQx / \sum nPQ$$

2-3-2-2. 성별 동해와 황해 최소성숙체장(L_{50}) 등분산 검정

추정된 각 해역별 성별 분산은 F 검정을 통하여 등분산 여부를 확인 하였으며 (Seong, 2007), 여기에 쓰인 F 값은 다음과 같다.

$$F = S_1^2/S_2^2$$

여기서 S_1^2 은 비교 대상 해역 개체 중 분산이 작은 해역의 값, S_2^2 은 분산이 큰 해역의 값을 나타낸다.

2-3-2-3. t 검정을 이용한 최소성숙체장(L_{50}) 차이검정

t 검정은 자료의 분포가 등분산과 이분산의 경우 각기 다른 공식을 사용하므로 등분산 검정이 필요하다. 앞선 검정에 따라 이분산으로 판정되었을 경우, 그 최소 성숙체장 차이 여부를 t 검정을 시행하였으며 t 값은 다음에 따라 도출하였다 (Seong, 2007).

$$t = \frac{L_{50,1} - L_{50,2}}{\sqrt{\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2}}$$

여기서 분자는 각 해역별 개체의 최소성숙체장(L_{50})을 의미하며 σ_1^2 , σ_2^2 는 각 대상 개체의 분산을 의미하고 n_1 , n_2 는 개체의 수를 의미한다. t 값의 유의성 여부를 판단하기 위한 자유도는 다음 공식의 역수로 도출 하였다 (Seong, 2007).

$$\frac{1}{df} = \frac{1}{df_1} \cdot \left(1 - \frac{w_1}{w}\right)^2 + \frac{1}{df_2} \cdot \left(1 - \frac{w_2}{w}\right)^2$$

df_1 과 df_2 는 각 각 해당그룹의 자유도를 나타내며 각 해당 그룹의 자유도는 $n_1 - 1$, $n_2 - 1$ 로 구해진다. $w_{1,2}$ 와 w 는 아래의 공식으로 유도했다 (Seong, 2007).

$$w_i: n_i/\sigma_i^2 \quad W: W_{group1} + W_{group2}$$

2-3-3. 민감도 검사

도출된 파라미터를 이용한 각 해역별 성별 로시스틱 회귀식을 이용하여 실제 자료를 적용, 예측 전과 후의 성숙개체 예측 확률을 추정 하였다.

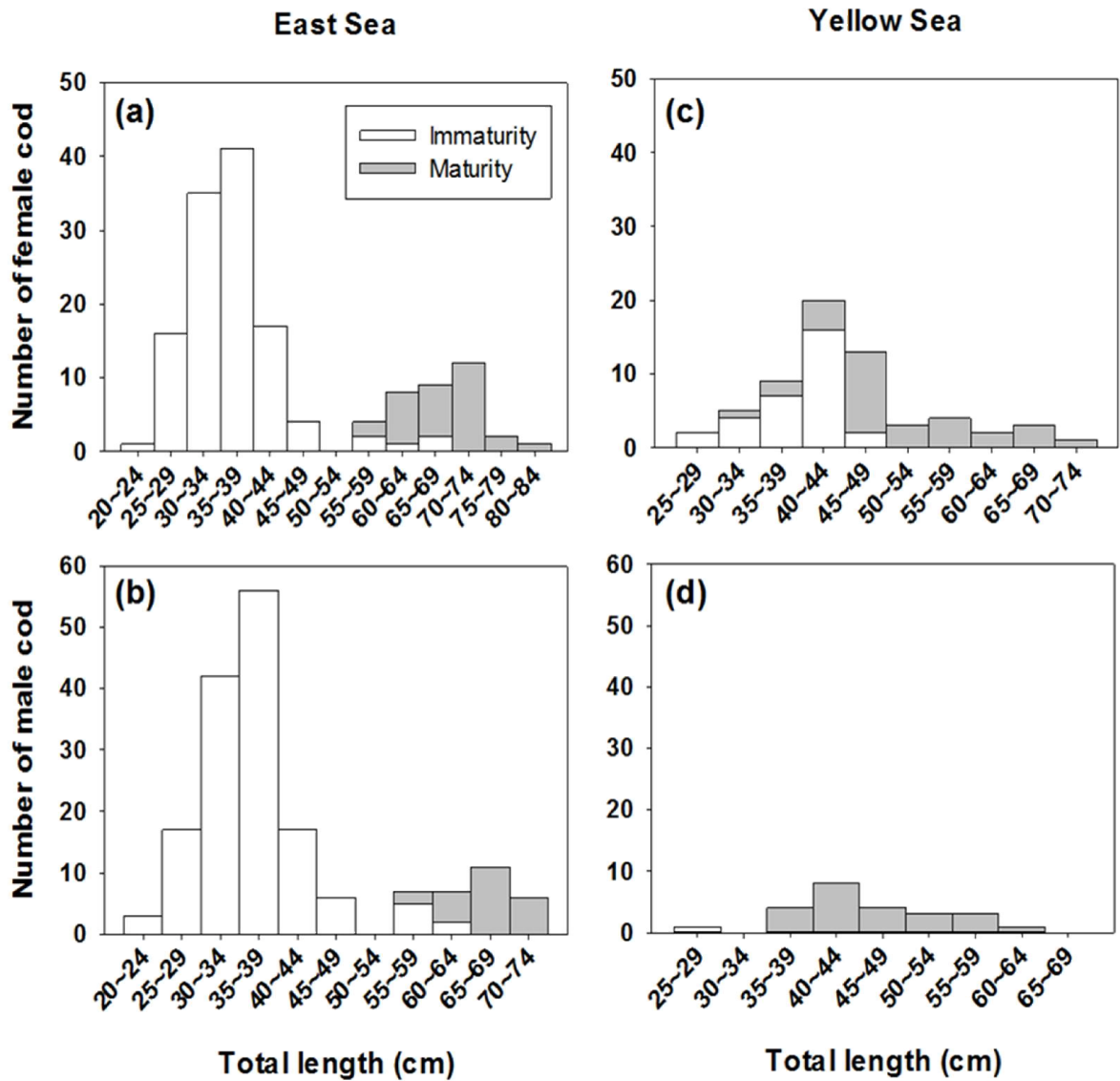


Fig 2. Length distribution of *Gadus macrocephalus* in the East and the Yellow Sea. (a) Female cod in the East Sea; (b) Male cod in the East Sea; (c) Female cod in the Yellow Sea; (d) Male cod in the Yellow Sea.

Ⅲ. 결 과

3-1. 성 장

3-1-1. 체장-체중 관계

동해와 황해의 성별 체장-체중 관계는 다음과 같이 나타났다 (Fig 3.).

동해수컷: $W = 0.0031 \cdot TL^{3.31}$ ($r^2 = 0.97$, $n=126$)

동해암컷: $W = 0.0014 \cdot TL^{3.5}$ ($r^2 = 0.97$, $n=135$)

황해수컷: $W = 0.018 \cdot TL^{2.87}$ ($r^2 = 0.904$, $n=325$)

황해암컷: $W = 0.012 \cdot TL^{2.97}$ ($r^2 = 0.967$, $n=357$)

해역별 체장-체중 관계식 기울기는 암·수 모두 차이가 났다 (ANCOVA, $P < 0.05$). 추정된 체장-체중 관계식을 통하여 해역별 대구의 체중 변화를 확인한 결과, 동해와 황해 수컷의 경우 체장 약 50 cm 까지의 추정 연령 1-2세의 초기 체중은 황해 대구가 동해 대구 보다 빠른 증가를 나타 내었지만 추정 연령 3세 부터 동해 대구의 체중이 황해 대구의 체중보다 무거워지며 체장 증가에 따라 동해와 황해 대구 체중 차이도 증가하는 것으로 나타났다. 암컷의 경우 약 60 cm 까지에 해당하는 1-3세 개체의 체중 증가는 황해가 동해 대구보다 높게 나타났으며, 추정 연령 4세부터 동해가 황해 대구 체중보다 무거워지며 체장 증가에 따라 동해와 황해 대구의 체중 차이는 더 커지는 것으로 나타났다 (Fig 3.).

3-1-2. 본 버틀란피 성장식

나이를 연 단위로 놓고, 연령별로 평균을 낸 체장 자료로 도출한 해역별 암·수의 대구 성장식은 다음과 같다 (Fig 4.).

$$\text{동해수컷}(n=78): L_t = 127.56 \cdot (1 - \exp^{-0.165 \cdot (t+0.019)})$$

$$\text{동해암컷}(n=87): L_t = 106.25 \cdot (1 - \exp^{-0.22 \cdot (t+0.018)})$$

$$\text{황해수컷}(n=235): L_t = 94.13 \cdot (1 - \exp^{-0.23 \cdot (t+0.019)})$$

$$\text{황해암컷}(n=238): L_t = 103.91 \cdot (1 - \exp^{-0.21 \cdot (t+0.019)})$$

나이를 일 단위까지 추정하여 도출한 해역별 암·수 대구 성장식은 다음과 같다 (Fig 5.).

$$\text{동해수컷}(n=78): L_t = 108.78 \cdot (1 - \exp^{-0.00056 \cdot (t+6.72)})$$

$$\text{동해암컷}(n=87): L_t = 108 \cdot (1 - \exp^{-0.00059 \cdot (t+6.45)})$$

$$\text{황해수컷}(n=235): L_t = 74.27 \cdot (1 - \exp^{-0.0008 \cdot (t+6.95)})$$

$$\text{황해암컷}(n=238): L_t = 108.23 \cdot (1 - \exp^{-0.00049 \cdot (t+7.81)})$$

Wald 검정과 Kimura's likelihood ratio 검정에 따라 두 해역의 대구 성장식을 비교한 결과 유의한 차이를 나타내었다 (Table 1-4, $P < 0.05$). 연령별 평균 체장을 이용한 Kimura's likelihood ratio 검정의 경우 운문형성 시기 연령측정 오류 뿐만 아니라 그룹당 서로 다른 가중치의 평균값을 이용하여 계산하기

때문에 이런 오류가 적은 일별 성장식을 통하여 해역별 암·수 성장의 차이를 비교해 보았다. 동해 개체가 황해 개체보다 전 연령에서 체장이 더 크며 두 해역 모두 수컷보다는 암컷이 더 큰 특징을 나타내었다 (Fig 5.).

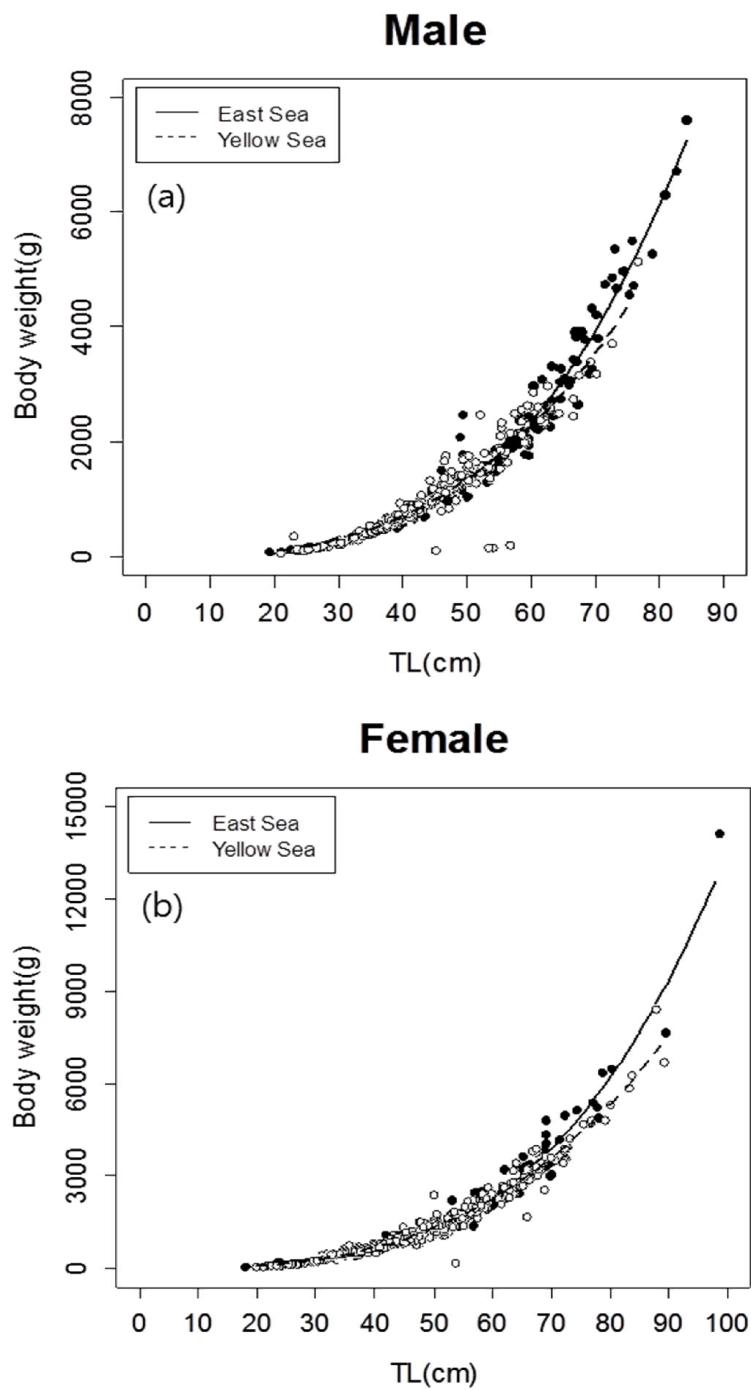


Fig 3. Length-weight relationship of *Gadus macrocephalus* in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.

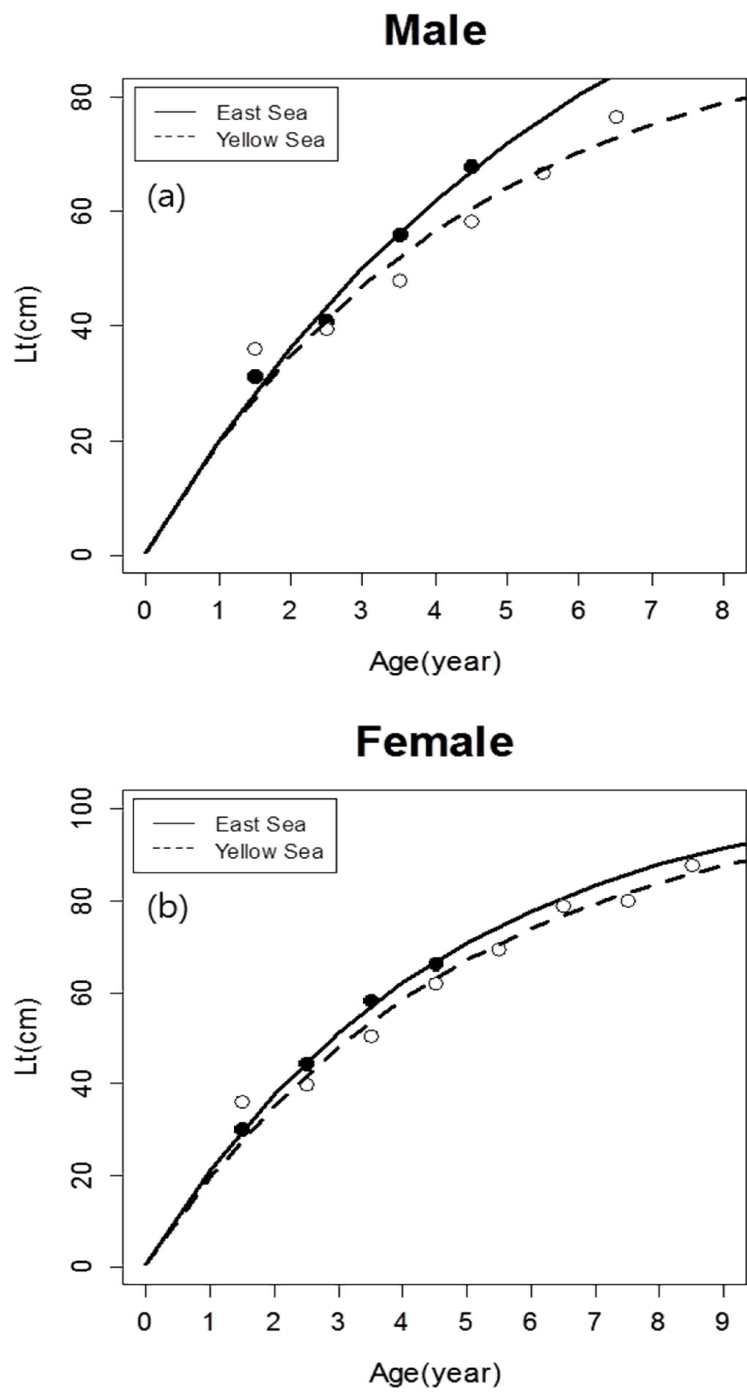


Fig 4. von Bertalanffy growth curve of *Gadus macrocephalus* derived from ageaveraged length in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.

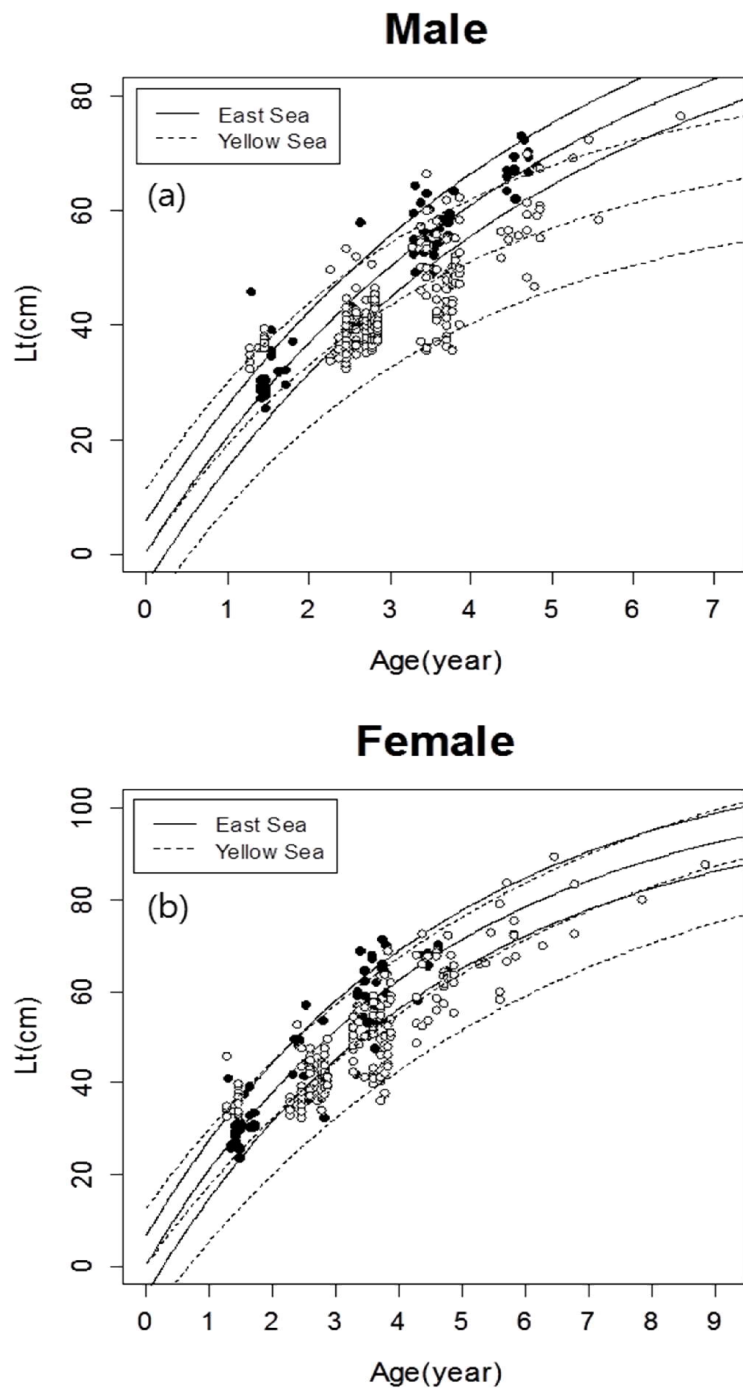


Fig 5. von Bertalanffy growth curve of *Gadus macrocephalus* derived from daily length in the East and the Yellow Sea. (a) Male; (b) Female.

Table 1. Kimura's likelihood ratio test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Male).

Hypothesis	Linear constraints	$L_{\infty,1}$	$L_{\infty,2}$	K_1	K_2	$t_{0,1}$	$t_{0,2}$	Residual sum of squares(E)	Residual sum of squares(Y)	X^2	P
H_0	None	127.56	94.13	0.17	0.23	-0.019	-0.019	-	-	-	-
H_1	$L_{\infty,1}=L_{\infty,2}$	100.04	100.04	0.23	0.2	-0.019	-0.019	21.51	112.88	18.32	<0.001
H_2	$K_1=K_2$	106.78	98.03	0.21	0.21	-0.019	-0.019	17.99	111.72	19.76	<0.001
H_3	$L_{\infty,1}=L_{\infty,2}$ $K_1=K_2$	92.02	92.02	0.25	0.25	-0.019	-0.019	45.91	122.38	12.99	0.0015 (<0.05)

Table 2. Kimura's likelihood ratio test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Female).

Hypothesis	Linear constraints	$L_{\infty,1}$	$L_{\infty,2}$	K_1	K_2	$t_{0,1}$	$t_{0,2}$	Residual sum of squares(E)	Residual sum of squares(Y)	X^2	P
H_0	None	106.25	103.91	0.22	0.21	-0.018	-0.019	-	-	-	-
H_1	$L_{\infty,1}=L_{\infty,2}$	104.05	104.05	0.23	0.21	-0.018	-0.019	1.86	93.13	47.2	<0.001
H_2	$K_1=K_2$	110.12	103.49	0.21	0.21	-0.018	-0.019	1.98	93.15	46.46	<0.001
H_3	$L_{\infty,1}=L_{\infty,2}$ $K_1=K_2$	99.62	99.62	0.23	0.23	-0.018	-0.019	14.25	102.68	25.25	<0.001

Table 3. Wald test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Male).

	East Sea	Yellow Sea	χ^2
L_{∞}	108.78	74.23	
K	0.21	0.29	P<0.0001

Table 4. Wald test of the growth equation between the East and the Yellow Sea cod (Female).

	East Sea	Yellow Sea	χ^2
L_{∞}	108	108.22	
K	0.22	0.18	P<0.0001

3-2. 성숙

3-2-1. 로지스틱 회귀분석과 최소성숙체장(L_{50})

로지스틱 회귀분석으로 도출한 해역별 대구 암·수의 성숙 확률 예측식은 다음과 같다 (Fig 6.).

$$\text{동해수컷: } P(x) = \frac{e^{-27.87+0.47x}}{1+e^{-27.87+0.47x}}$$

$$\text{동해암컷: } P(x) = \frac{e^{-17.82+0.31x}}{1+e^{-17.82+0.31x}}$$

$$\text{황해수컷: } P(x) = \frac{e^{-133.55+4.09x}}{1+e^{-133.55+4.09x}}$$

$$\text{황해암컷: } P(x) = \frac{e^{-13.5+0.31x}}{1+e^{-13.5+0.31x}}$$

해역별 길이에 따른 성적 성숙 체장은 동해수컷 58.82 cm, 암컷 58.27 cm, 황해수컷 32.66 cm, 암컷 44.02 cm로 나타났다 (Fig 6.). 해역별 상대적인 대구 성숙체장 비교시 암·수 모두 동해가 황해보다 큰 최소 성숙체장을 나타내었다.

3-2-2. 최소성숙체장(L_{50}) 분산 도출

Ashton (1972)의 분산 추정 방법과 R통계 프로그램을 이용하여 추정한 해역별, 성별 최소 성숙체장의 분산은 Table 5에 나타내었다. 동해 암컷의 경우 동해 수컷과 황해 암컷에 비교하여 분산이 더 컸다. 하지만 표준편차(동해 암컷 ± 2.17)로 확인한다면 동해 수컷(± 1.31)과 황해 암컷(± 1.4)과 비교하여 차이가 크지 않았다. 황해 수컷은 자료 부족으로 분산을 추정 할 수 없어 암컷에 국한하여 해역별 최소 성숙체장 차이를 비교하였다.

3-2-3. t 검정(L_{50})

F 검정 결과 동·황해 암컷 L_{50} 의 분산을 이분산으로 판정 내렸으며 (Table 6), 이분산 가정 t 검정을 이용하여 동해와 황해 대구 암컷의 L_{50} 차이를 검정하였다. 그 결과 암컷의 L_{50} 은 통계적으로 유의한 해역간 차이를 나타내었으며 동해가 황해보다 더 큰 체장에서 성숙을 하였다 (Table 7).

3-2-4. 민감도 분석

개발된 로지스틱 모델이 성숙과 미숙 개체를 얼마나 정확하게 구분하는지 민감도 분석을 통하여 평가하였다. 평가 결과 (Table 8-10) 해역별 성별 예측 성공율은 동해 수컷 95.83%, 암컷 96.66%, 황해 암컷 90.32% 였다. 따라서 암컷만을 비교해 보았을 때 동해 대구는 체장에 따른 성숙도 변화가 황해보가 더 뚜렷한것으로 나타났다.

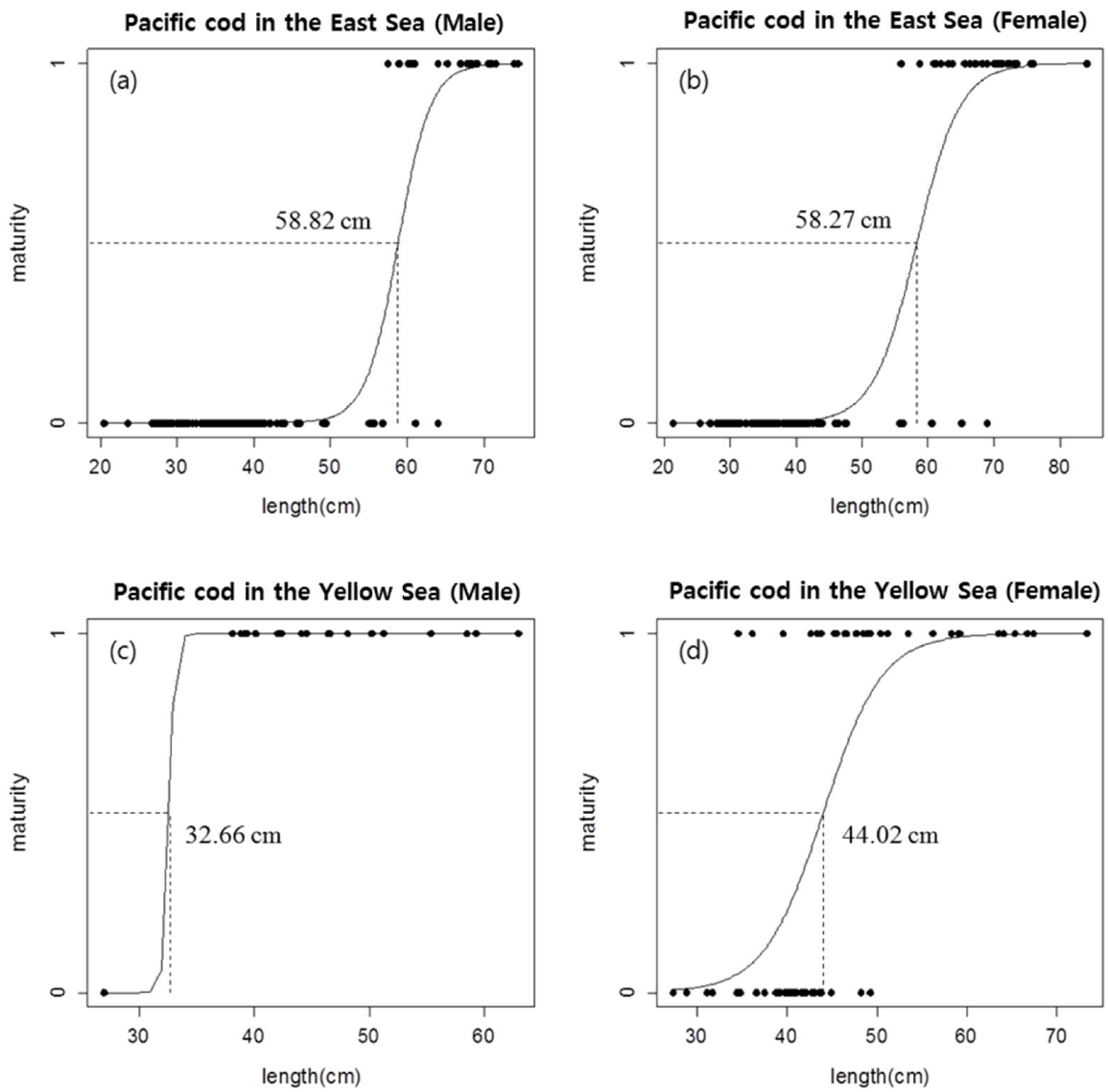


Fig 6. The derived logistic curves and the estimated median maturity length for *Gadus macrocephalus* by sex in the East Sea and the Yellow Sea.

Table 5. Variation of median maturity length (L_{50}) of male and female cod in the East and the Yellow Sea.

	East Sea		Yellow Sea	
	Male	Female	Male	Female
L_{50}	58.82 cm	58.27 cm	32.66 cm	44.02 cm
Var(L_{50})	1.73	4.69	-	1.97
Population	172	150	52	62

Table 6. Result of equal variation test (F test) of median maturity length between the East and the Yellow Sea female cod.

	East and Yellow Sea
$F_{0.05}$	0.4
P	0.0001
df	61 / 149

Table 7. Result of t test of median maturity length between the East and the Yellow Sea female cod.

Standard error (SE)	0.25
Degree of freedom (df)	171
t value	56.77
P value	< 0.0001

Table 8. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the East Sea male cod.

		Predicted	
		Mature	Immature
Observed	Mature	23 (95.83%)	1 (4.17%)
	Immature	2 (1.35%)	146 (98.65%)

Table 9. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the East Sea female cod.

		Predicted	
		Mature	Immature
Observed	Mature	30 (96.66%)	1 (3.23%)
	Immature	3 (2.52%)	116 (97.48%)

Table 10. Sensitivity analysis of the derived logistic equations for predicting maturity in the Yellow Sea female cod.

		Predicted	
		Mature	Immature
Observed	Mature	28 (90.32%)	3 (9.68%)
	Immature	7 (22.58%)	24 (77.42%)

IV. 고 찰

4-1. 결과 요약

4-1-1. 성 장

대구 암컷과 수컷의 체장-체중 관계에서 해역별 유의한 차이가 나타났고, 황해 보다는 동해가, 수컷보다 암컷이 체장 증가에 따른 체중 증가율이 높게 나타났다. 도출된 각각의 본 버틀란피 성장식을 Wald 검정과 Kimura's likelihood ratio 검정을 통하여 유의한 차이를 확인 하였다. 추정된 성장식을 통하여 대구 평균 연령인 8세 (Jung *et al.*, 2009) 까지의 체장 변화를 예측해 보면 동해가 황해보다 체장이 더 크며 수컷 보다는 암컷이 더 큰 특징을 나타내었다 (Fig 5.).

4-1-2. 성 숙

해역별 성숙 추정 연령은 동해 수컷 3.9세, 동해 암컷 4세, 황해 암컷 2.6세로 황해 대구가 더 빠른 성적 성숙을 나타내었다. 동해 대구는 4세부터 성숙시기로 추정된 다른 연구의 보고(NFRID, 2010)와 비교하여 비슷한 결과를 나타내었다. 동해와 황해 암컷의 최소성숙체장(L_{50})은 유의한 차이를 나타내며 동해 해역의 개체가 더 큰 체장에서 성숙이 이루어 지는 것으로 나타났다. 개발된 로지스틱 모델의 민감도 분석을 통하여 모델의 예측력을 평가한 결과 황해 보다 동해의 자료가 체장에 따른 성숙 구분이 뚜렷하다는 것을 확인 할 수 있다.

4-2. 과거 연구와 비교

Chang *et al.* (1971)이 보고한 우리나라 황해 대구 체중-체장 관계 연구를 통하여 대구 평균 연령 8세(Jung *et al.*, 2009) 까지의 황해 대구 체중-체장 관계를 비교 하였다 (Fig 7.). Chung *et al.* (1971)의 연구에 따른 황해 대구의 성장계수(K) 3.43 yr^{-1} 과 비교했을 때 본 연구에서는 성장계수가 전반적으로 낮은 황해 수컷 2.87 yr^{-1} , 암컷 2.97 yr^{-1} 로 나타났으며, 체장에 따른 체중의 증가율 차이는 약 30 cm 이후 큰 차이를 나타내었다. 이러한 이유는 Zhang (2010)이 보고한대로 대구는 초기에 성장이 빠르다가 자라면서 점점 느려지므로 성장이 빠른 1-2세 (16-33.9 cm)로 추정되는 초기 개체만을 이용한 Chung *et al.* (1971)에 비교해서 0-8세의 더 넓은 범위의 연령 개체를 이용한 이번 연구에서는 K가 더 낮게 나타난 것으로 본다. Choi and Gwak (2011)와 Kim *et al.* (2013)은 남해 대구의 이론적 최대 체장(L_{∞})은 수컷 141.5 cm, 암컷 127.5 cm로 성장계수는 0.089 yr^{-1} , 0.124 yr^{-1} , 황해 대구의 이론적 최대 체장(L_{∞})은 수컷 64.6 cm, 암컷 100 cm, 성장계수는 0.333 yr^{-1} , 0.164 yr^{-1} 로, 황해 대구가 이론적 최대 체장은 더 작게, 성장계수는 더 높게 평가되었다.

해역별로 도출된 성장식을 통하여 우리나라 대구의 평균 연령 8세 (Jung *et al.*, 2009) 까지의 연령별 체장 변화를 비교하여 보았다 (Fig 8.). 수컷과 암컷 모두 동해 개체가 대부분의 연령에서 남해나 황해보다 더 큰 연령별 체장을 나타내었다. Choi and Gwak (2011)가 남해에서, Kim *et al.* (2013)이 황해에서 평가한 대구의 연령별 체장을 비교하면, 5세를 기점으로 황해보다 남해에서 연령별 체장이 더 커지는 것으로 나타났으며, 그 차이는 연령이 늘어남에 따라 더 커졌다.

Park and Gwak (2009)의 식성 연구에 따르면 진해만 대구는 체장 45-50 cm, 황해 대구는 체장 40-45 cm에서 어식성으로 전환 된다고 보고하였으며, 남해와 황해의 어식성 전환 체장을 연령으로 환산 하면 남해는 약 3.5-4.5세, 황해는 약 3세 개체로 추정 되는데, 이 나이는 연령별 체장에서 해역간 차이가 유의하게 나기 직전에 해당한다. 따라서 어식성으로 전환연령 이후 해역별 먹이환경 차이로 이런 대구의 해역별 성장 차이가 나타나는 것으로 본다. Stark (2007)의 베링해와 알래스카만 암컷 개체군에 대한 성장과 성숙 연구 보고에 따르면 1-2월 생식소체중지수(GSI)가 높게 나타났으며 추정된 최소성숙 체장과 나이는 알래스카만 50.3 cm, 베링해 58 cm로 추정 연령은 약 4.4세와 약 4.9세로 보고 하였다. 본 연구에 따른 우리나라 대구와 비교시 주산란기의 경우 약 1개월 정도, 성숙 연령은 우리나라 대구가 더 빠른 것으로, 성숙 체장은 동해 대구와 비슷하거나 작은 것으로 나타났다 (Fig 9.).

4-3. 동해·남해·황해 대구의 성장이 차이가 나는 이유

4-3-1. 식 성

4-3-1-1. 대구 먹이특성

Yoon *et al.* (2012), Baeck *et al.* (2007) 그리고 Park and Gwak (2009)의 식성 연구에 따르면 진해만을 제외한 우리나라 해역별 대구의 먹이 중요도는 새우류, 어류, 두족류 순서로 보고 했으며 Lee *et al.* (2015)는 우리나라 남동부해역 대구 식성의 경우 어류가 주요 먹이이며, 다음으로 새우류, 두족류로 해역별 차이를 나타내었지만 이전 연구결과들과 대분류적인 주요 먹이생물이 유사하게 나타났기 때문에 이들 먹이 생물은 채집지역과 채집시기 등에 관계 없이 항상 중요한 먹이 생물로 판단된다고 보고하였다. Yamamura *et al.* (1993)와 Yang (2004)이 보고한 일본 홋카이도와 베링해 대구의 식성 연구 결과에 따르면 공통적으로 새우류를 주요 먹이생물로 보고하였으며, 이외에 조개류, 게류를 주로 먹는다고 보고 하였다. 또한, 우리나라 대구와 먹이 차이로 어류 중에서는 명태를 먹는 차이를 나타내었다. 이러한 해역별 먹이생물 차이는 각 해역의 먹이생물 환경에 따라 나타난 차이로 추측 된다. 이전에 시행된 연구(Yoon *et al.*, 2012; Baeck *et al.*, 2007; Park and Gwak, 2009; Lee *et al.*, 2015; Yamamura *et al.*, 1993; Yang, 2004) 결과에 따르면 해역별 대구는 체장이 증가하면서 각 먹이생물 비율이 변화하는 공통적인 특징을 나타내었으며, Baeck *et al.* (2007)과 Yoon *et al.* (2012)는 우리나라 대구는 계절별로 식성의 차이가 나타난다고 보고하였다.

4-3-1-2. 성장에 따른 먹이변화

Baeck *et al.* (2007)과 Yoon *et al.* (2012)는 남해와 동해의 대구 개체는 40 cm 이하의 체장에서 새우류가 주요 먹이생물이며, 40-45 cm 크기군에서부터 어류가 차지하는 비율이 높아지는 것으로 보고하였다. Park and Gwak (2009)는 우리나라 동해는 25-30 cm에서 어류를 먹이로 먹기 시작하며, 40-45 cm에서 어류가 차지하는 비율이 급격히 높아지는 것으로 보고 하였다. 또한 황해 대구는 20-25 cm 크기에서 어류 섭이가 나타났으며 40-45 cm 부터, 진해만 대구는 45-50 cm 부터 어류의 비율이 급격히 높아지는 것으로 보고하였다. Yamamura *et al.*(1993)과 Yang (2004)의 연구에 따른 홋카이도 해역 대구는 30 cm 이하에서 십각류의 비율이 가장 높았으나 30-40 cm 그룹에서 어류인 명태의 먹이 비율이 상승하기 시작하여 40 cm 이상의 개체의 경우 어류의 비율이 가장 높았으며, 베링해 대구는 60 cm 이하 체장에서 주로 십각류를 섭이 하였으며 그 이상의 체장에서 어류의 섭이가 증가하는 것으로 보고 되었다. 따라서 우리나라 대구와 홋카이도 해역 대구의 체장에 따른 섭식 특성은 비슷하며 위도가 높은 베링해 해역과는 어류 섭이 시작 체장에서 차이가 나는 것으로 나타났다.

4-3-1-3. 계절에 따른 먹이변화

Yoon *et al.* (2012)가 조사한 동해 대구 위 내용물의 계절 변화에 따르면 봄(4-6월)에는 새우류의 비율이 가장 높았으며 다음으로 두족류, 어류 순으로 나타났으며, 여름(7-9월)에는 두족류 다음으로 새우류, 어류 순으로 나타났다. 겨울(1-3월)에는 어류가 가장 높게 나타났으며 다음으로 새우류, 두족류 순으로 나타났다. Lee *et al.* (2015)의 남동부해 대구의 계절별 식성 연구에 따르면 주요 먹이로 보고한 어류는 계절별로 큰 차이를 보이지 않았지만 두족류와 새우류는 계절에 따라 차이가 났다. 어류는 좋아하는 먹이를 선택적으로 섭식하는 특성을 가지지만 먹이 환경의 변동에 따라 다른 먹이를 선택하므로(岩井, 2005) 서로다른 해역의 해양환경과 변동이 대구 성숙과 성장에 영향을 끼친 요인 중 하나로 추측할 수 있다.

4-3-2. 해양 환경의 차이

Jung *et al.* (2012)의 1966-2009년 까지의 수온의 변동과 1966-2011년 까지의 대구 어획량 자료를 통하여 수온의 변화와 대구 자원 변동의 관계를 보고하였다. 우리나라 해역 중 동해 100 m 수온의 변화가 대구 자원 변동과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다으며, 이러한 수온 변화가 1980년대의 낮은 대구 어획량의 원인 중 한가지로 추측하였다.

4-4. 이번 연구의 문제점과 한계점

자연에서 얻어지는 자료는 다양한 외적 요소들에 의해 영향을 받기 때문에 연구의 목적과 자료 수집설계 과정이 중요하다. 이러한 이유로 연구 목적에 맞지 않는 자료를 통하여 도출된 성숙과 성장 비교 연구는 분석 과정에서 문제점이 발생 할 수 있다. 본 연구에서 성장과 성숙 비교 연구는 동·황해 대구 개체의 성장을 잘 나타내었지만 황해 수컷 대구의 최소 성숙체장(L_{50}) 추정 연령이 다른 해역과 다소 차이가 많이 나는 문제점을 나타내었다. 이러한 이유는 본 연구에 사용된 자료의 경우 수집된 자료를 이용하여 분석 하였으며 이에 따라 본 연구 분석에 필요로 하는 자료의 부족에서 나타난 결과로 해석 할 수 있다. 따라서, 황해 대구의 충분한 산란기 자료를 이용하여 최소 성숙체장(L_{50}) 추정과 동해 해역 개체와의 추가적인 비교 연구가 필요 하다.

4-5. 앞으로 연구해야할 주제

Gwak *et al.* (2011)과 Kim *et al.* (2010)의 유전자 연구를 통하여 우리나라 계군은 크게 3개의 계군으로 나뉜다고 보고 되었다. 하지만 이번 연구는 밝혀진 3개의 계군 중 두 해역인 동해와 황해의 계군을 비교한 연구로 남해 계군을 포함한 통계적 비교 연구가 필요 하며 동해와 황해의 환경적 생태적 비교 연구와 대한해협을 통한 황해와 동해 계군의 유전학적 연결 연구가 필요하다.

4-6. 결 론

본 연구와 같이 경제적 비용이 높은 어종을 대상으로 하는 경우 분석을 위한 충분한 개체 수집이 어려우며 (Ueda Y. *et al.*, 2004), 대량으로 어획이 이루어지는 어종과 비교하여 개체 채집이 힘든 단점을 가지고 있다. 따라서 이번 연구는 채집되어 수집된 자료 내에서 해역별 대구의 성장과 성숙의 차이를 확인해 보았다. 본 연구에 의해 나타난 성숙 연령과 이에 따른 추정 체장은 동해와 황해의 대구 자원 관리에 기준이 되는 수치를 제공 할 수 있다. 이번 연구에 있어 황해 해역의 추가적인 대구 산란기 자료를 이용한 최소성숙체장(L_{50})연구가 필요하지만 본 연구에서 진행된 과정은 대구 이외의 다른 어종의 성장과 성숙 평가에 이용 될 수 있으며, 평가 대상 어종별 자원관리를 위한 중요한 자료를 제공 할 것으로 기대한다.

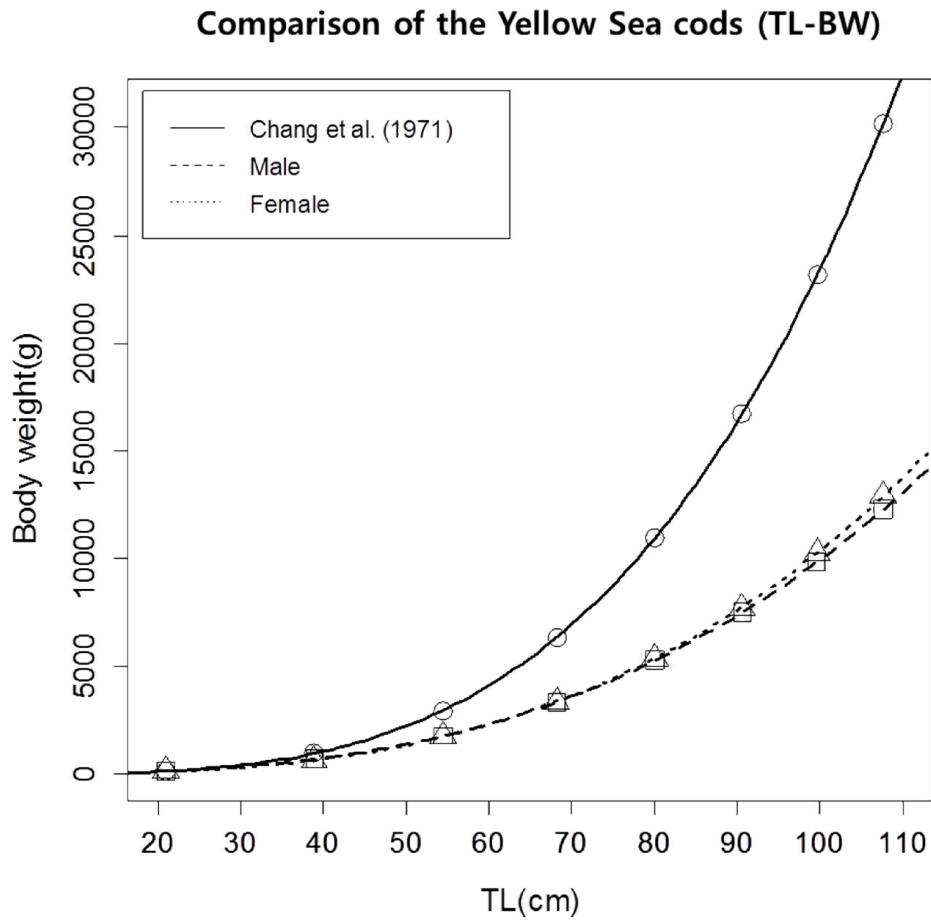


Fig 7. Comparison of length-weight relationship of the Yellow Sea cod (*Gadus macrocephalus*) between Chang *et al.* (1971) and the present study (male and female).

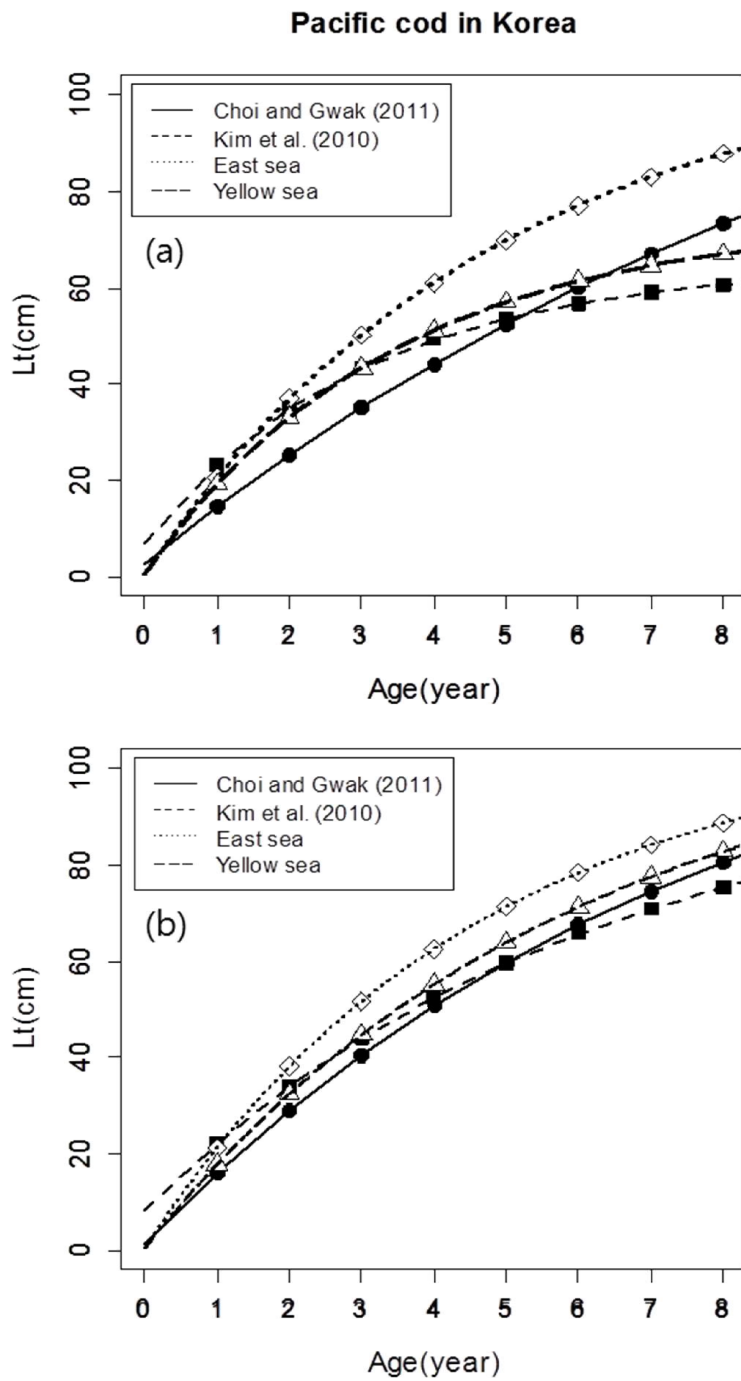


Fig 8. Comparison of length at age of *Gadus macrocephalus* in the Korea Strait (Choi and Gwak, 2011), the East Sea (the present study) and the Yellow Sea (Kim *et al.* (2010) and the present study, (a) Male; (b) Female.

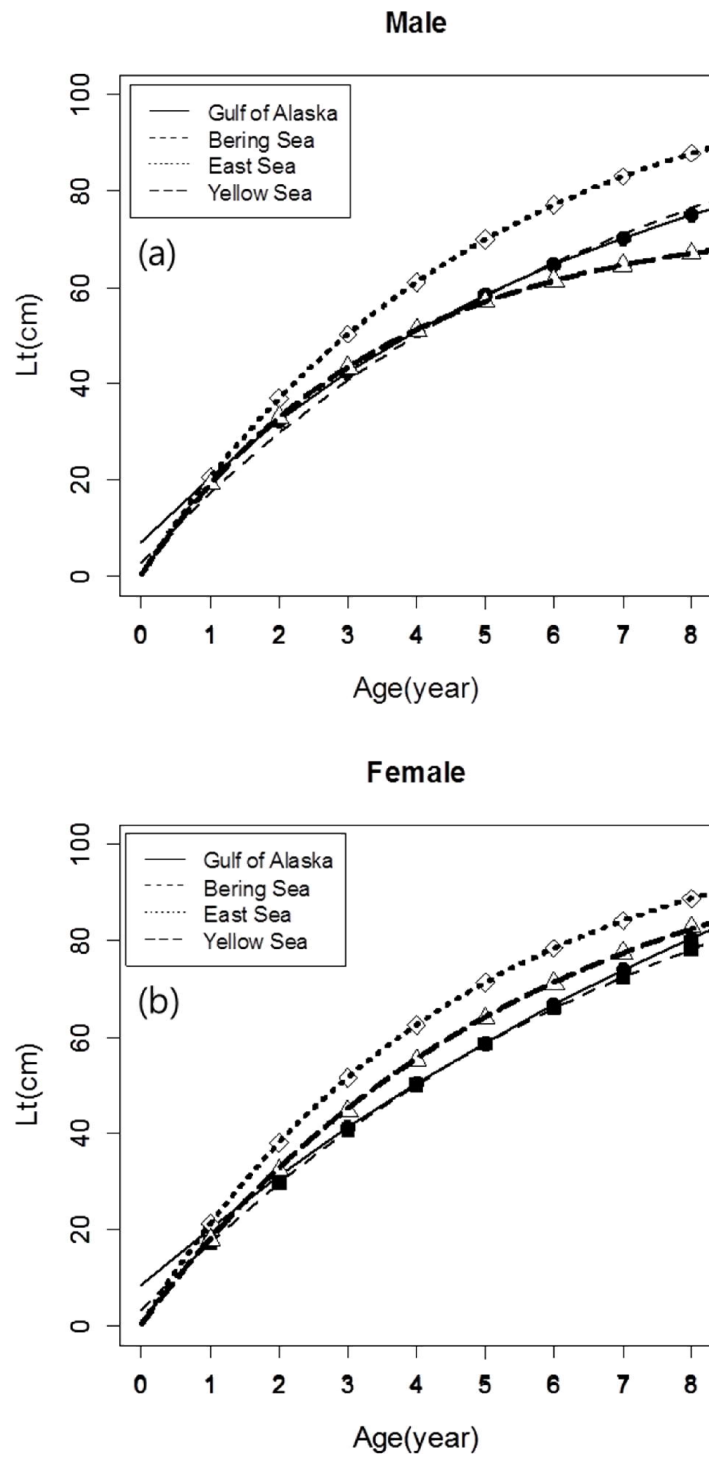


Fig 9. Comparison of von Bertalanffy growth curves of *Gadus macrocephalus* in the East Sea, the Yellow Sea, the Gulf of Alaska and Bering Sea. (a) Male; (b) Femlae.

V. 참고문헌

- Baeck, G.W., Huh, S.H., Park, J.M., Paek, S.C., 2007. Feeding Habits of Pacific Cod(*Gadus macrocephalus*) in the Coastal Waters off Gadeok-do, Korea. Korean J, Ichthyol 19(4), 318-323.
- Cha, H.K., Lee, S.I., Yoon, S.C., Kim, Y.S., Chung, Y.Y., Chang, D.S., Yang, J.H., 2007. Maturation and spawning of the Pacific Cod, *Gaus macrocephalus* TILESIIUS in East Sea of Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech 45(4), 320-328.
- Cha, H.K., Jung, S.G., 2012. Simulation-based Yield-per-recruit Analysis of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Southeastern Korean Coastal Waters. Korean journal of fisheries and aquatic sciences 45(5), 493-498.
- Chen, Y., Paloheimo, J.E., 1994. Estimating fish length and age at 50% maturity using a logistic type model. Aquatic Sciences 56(3),
- Choi, B.E., Gwak, W.S., 2011. Age Determination and Growth Pattern of Pacific Cod *Gadus macrocephalus*(Tilesius, 1810) in Jinhae Bay Korea. Korean J, Ichthyol 23(4), 269-277.
- Chung, T.Y., Kim, Y.U., 1971. Length-weight relationship of *Gadus macrocephalus* Tilesius of the Yellow Sea. J. Kor. Fish. Soc. 4(3,4).
- Chyung, M.G., 1977. The Fishes of Korea. Ilji Publ., Seoul, 727.
- Cohen, D., Inada, T. Iwamoto, T., Scialabba, N., 1990. Gadiform Fishes of the World(Order Gadiformes). An Annotated and Illustrated Catalogue of Cods, Hakes, Grenadiers and Other Gadiform Fishes Known To Date. FAO, Rome.

Gwak, W.S., 2010. Fecundity of Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in Jinhae Bay During Spawning Period. Korean J, Ichthyol 22(2), 121-125.

Gwak, W.S., Nakayama K., 2011. Genetic variation and population structure of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in Korean waters revealed by mtDNA and msDNA markers. Fish Sci 77, 945-952.

Haddon, M., 2001. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman&Hall/CRC, 223-233.

Haltuch, M.A., Punt, A.E., Dorn, M.W., 2009. Evaluating the estimation of fishery management reference points in a variable environment. Fisheries Research 100, 42-56.

Hwang, K.S., Choi, I., Jung, S., 2012. Estimating the abundance and fishing mortality of Pacific Cod *Gadus macrocephalus* during the spawning season in Jinhae Bay, Korea, using a mark-recapture method. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45, 499-506.

Jung, H.K., Lee, C.I., Han, M.H., Lee, J.H., P, D.H., Kim, D.S., 2012. Long-term variation in commercial fisheries and water temperature in Korea water. The Korean Society of Marine Environment & Safety 361-363.

Jung, S.G., Choi, I.S., Jin, H.S., Lee, D.W., Cha, H.K., Kim, Y.H., Lee, J.Y., 2009. Size-dependent mortality formulation for isochronal fish species based on their fecundity: An example of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the eastern coastal areas of Korea. Fisheries Research 97, 77-85.

Kim, H.Y., Kim, S.H., Im, Y.J., Hwang, H.J., Huh, S.J., 2013. Growth characteristic of Pacific Cod, *Gadus macrocephalus* in the West Sea of Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech 49(3), 261-269.

Kim, J. Y., Moon, C. H., Yoon, M. G., Kang, C. K., Kim, K. R., Na, T. H., Choy, E. J., Lee, C. I., 2012. Stock Identification of *Todarodes* in Northwest Pacific., *J. Kor. Soc. Oce* 17(4), 292-302.

Kim, M.J., An, H.S., Choi, K.H., 2010. Genetic characteristics of Pacific Cod populations in Korea based on microsatellite markers. *Fish Sci* 76, 595-603.

Lee, C.S., Hur, Y.H., Lee, J.Y., Kim, W.K., Hong, S.H., Hwang, S.J., Choi, S.H., 2005. Maturity and Spawning of Pacific Cod(*Gadus macrocephalus*) in the East Sea. *J. Kor. Fish. Soc.* 38(4), 245-250.

Lee, J.H., Kim, J.N., Park, J.S., Park, T., Nam, K.M., 2015. Feeding Habits of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in Southeast Sea of Korea. *Korean J. Ichthyol* 27(2), 142-148.

O'Brien, L., 1999. Factors Influencing the Rate of Sexual Maturity and the Effect on Spawning Stock for Georges Bank and Gulf of Maine Atlantic Cod *Gadus morhua* Stocks. *J. Northw. Atl. Fish.* 25, 179-203.

Park, C.Y., Gwak, W.S., 2009. Comparison of Stomach Contents of Pacific Cod(*Gadus macrocephalus*) in Korean Coastal Waters. *Korean J. Ichthyol* 21(1), 28-37.

Seo, Y.I., Kim, J.I., Oh, T.Y., Lee, S.K., Park, J.H., Kim, H.Y., Cho, E.S., 2010. The Pulation Structure of the Pacific Cod(*Gadus macrocephalus Tilesius*) Based on Mitochondrial DNA Sequences. *Journal of Life Science* 20(3), 336-344.

Seo, Y.S., Park, M.E., Kim, J.G., Lee, S.U., 2007. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea population). *Journal of Korean Fisheries Society* 40, 380-386.

Seong, T.J., 2007. 현대 기초통계학의 이해와 적용. 교육과학사, 298-302.

Stark, J.W., 2007. Geographic and seasonal variations in maturation and growth of female Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the Gulf of Alaska and Bering Sea. Fish. Bull. 105, 396-407.

Ueda, Y., Kanno, Y., Matsuishi, T., 2004. Weight-based virtual population analysis of Pacific cod *Gadus macrocephalus* off the Pacific coast of southern Hokkaido, Japan. Fish Sci 70, 829-838.

Yang, M., 2004. Diet changes of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Pavlof Bay associated with climate changes in the Gulf of Alaska between 1980 and 1995. Fish. Bull. 102, 400-405.

Yamamura, O., Watanabe, K., Shimazaki, K., 1993. Feeding habits of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, off Eastern Hokkaido, North Japan. NIPR Symp. Polar Biol., 6, 44-54.

Yoon, S.C., Yang, J.H., Park, J.H., Choi, Y.M., Park, J.H., Lee, D.W., 2012. Feeding Habits of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* in the Coastal Waters off Jumunjin, Gangwondo of Korea. Korean journal of fisheries and aquatic sciences 45(4), 379-386.

Zhang, C.I., 2006. A study on the ecosystem-based management system for fisheries resources in Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech 42(4), 240-258.

Zhang, C.I., 2012. Marine Fisheries Resource Ecology. Pukyong National University Press, 211.

岩井 保. 2005. 魚入門. 恒星社恒星閣, 東京, 219.

감사의 글

논문이 완성 되기까지 많은 충고와 조언으로 부족한 저를 이끌어 주신 정석근 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 논문이 완성됨에 있어 부족한 부분을 조언 해주신 최광식 교수님, 이경준 교수님께 감사드립니다. 그리고 재학기간 동안 많은 가르침을 주신 박상률 교수님, 이영돈 교수님, 김기영 교수님께 감사의 말씀을 전해 드립니다. 또한, 석사과정 동안 옆에서 많은 가르침과 용기를 주신 변종석 교수님, 자료 분석을 위한 통계적 방법을 조언해 주신 최일수 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

학부를 마치고 부족한 저를 대학원 진학까지 이끌어 주신 조영근 교수님, 이 윤 박사님, 김인옥 박사님, 강한승 박사님께 감사드립니다.

수산학 실험실이 없었으면 본 논문 또한 잘 마무리 할 수 있었습니다. 제주도 생활 적응과 논문 시작에 많은 충고와 조언, 방향을 잡아주신 하승목 선배, 실험실 및 사회 선배로써 많은 조언을 해주신 고혜웅 선배, 광재환 선배, 홍석범 선배께 감사드립니다.

연구자로서 잘못된 자세와 부족한 부분을 조언 해주신 김상일 선배를 비롯한 최선경 선배, 김민지께 감사드립니다.

응원해준 친구들! 상인, 동연, 경호, 철욱, 정민 그리고 지연이, 한주 그 외 많은 친구들에게 감사드립니다.

마지막으로, 끝까지 저를 믿고 응원해 주신 부모님, 그리고 동생 경훈이 진심으로 감사드립니다.

다시 한번 도움을 주신 모든 분들께 감사 드리며, 석사 졸업은 학문의 끝이 아닌 새로운 시작점 이라고 생각합니다. 앞으로 부족한 부분은 채워나가고 지금 보다 발전할 수 있도록 노력하는 사람이 되겠습니다. 감사합니다.