

# 수온환경변화에 따른 생물분포와 어업피해결정을 위한 임계환경변화량이론의 재조명<sup>†</sup>

강용주 · 김기수<sup>\*</sup>

한국해양수산연구원, <sup>1</sup>부경대학교 국제통상학부

## Biological Distribution by Water Temperature and Refocus on the Theory of Critical Environmental Variation Quantum

Young-Joo Kang and Ki-Soo Kim<sup>1\*</sup>

*Marine Com, Namgu Suyeong 237, Busan, 608-807, Korea*

<sup>1</sup>*Division of International Commerce, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea*

### Abstract

The study attempts to show that the theory of critical environmental variation quantum(CEVQ) has a sound logical basis and empirical support. It is well known that the theory of critical environmental variation quantum is derived from the theory of biological probability distribution function and the central limit theorem(CLT) in statistics.

The study uses the case study of fisheries damages compensation caused by the public marine construction undertaken in the area do Anjeong Bay in the city of Tongyeong for empirical test of theory of CEVQ. The results shows that the CEVQ theory performs a good job in measuring quantitatively fisheries damages caused by outflow of cold water due to the operation of LNG company since 2002.

Therefore the study proves that the CEVQ theory is a good theory having internal consistency and empirical applicability.

Keywords : Critical environmental variation quantum(CEVQ) theory, Sound logical basis and empirical support, Anjeong Bay in the city of Tongyeong

접수 : 2014년 3월 20일    최종심사 : 2014년 5월 8일    게재확정 : 2014년 5월 13일

<sup>†</sup> 본 논문은 2013년도 부경대학교 자율창의학술연구비 지원사업으로 수행된 연구임.

\*Corresponding author : 051-629-5757, kimks@pknu.ac.kr

## I. 서론 및 문제제기

강용주 · 김기수 외 3인이 2004년 발표한 임계 환경변화량 이론(이하 동 이론)은 그동안 다양한 공공사업으로 인한 어업피해를 조사함에 있어서 어업피해범위와 피해정도를 결정하는 이론으로 유용하게 활용되어 왔다. 하지만 이렇게 동 이론은 일반적으로 바람직한 이론의 요건인 현실설명력과 적용력을 갖고 있음에도 불구하고 공익사업부서의 어업보상 담당자들로부터는 물론이고 일부 전문가집단으로부터 문제제기가 있어 왔다. 특별히 이들로부터의 주된 비판은 임계환경변화량을 넘어서는 해양환경요인들의 변화가 어업생산에 영향을 미친다는 구체적인 실증자료가 제시되지 않고 있다는 것이었다.

주지하다시피 동 이론의 핵심적인 아이디어는, 해양생물의 군집은 수온, 유속, 부유사 등과 같은 해양환경요인들이 통상의 자연적 변동범위를 넘어서는 경우, 새로운 적응을 하고 그 결과로 생물생산에 영향이 발생한다는 것이다. 이러한 직관은 해양학의 기초상식을 가진 자라면 누구나 수긍할 수 있다고 할 것이다. 문제는 이러한 해양환경요인의 자연변동을 넘어서는 변화가 생물군집과 어업생산에 미치는 영향은 단 시간 내에 측정될 수 없고 수십 년간의 관찰결과가 요구된다는 것이다. 하지만 이론의 논리적 타당성이 분명하므로 적절한 방법으로 관찰자료를 일정기간 지속적으로 수집한다면 충분히 입증 가능하다고 사료된다. 그럼에도 불구하고 해양환경요인의 변화가 임계환경변화량을 넘어섬에 따른 어업생산변화를 바로 실증해내지 못한다 하여 자의적인 이론으로 폄하하는 것은 비판을 위한 비판에 지나지 않는다고 할 것이다. 왜냐하면 앞서 언급한 바와 같이 동 이론은 실험실의 생물검정으로는 입증될 수 없고 오직 중장기적이고 지속적인 현장 측정을 통해 규명될 수 있을 뿐 아니라, 본 저자들 외의 여타 조사자들이 채택한 피해범위 및 피해정도의 산출 방법도 마

찬가지의 한계를 지니고 있기 때문이다.

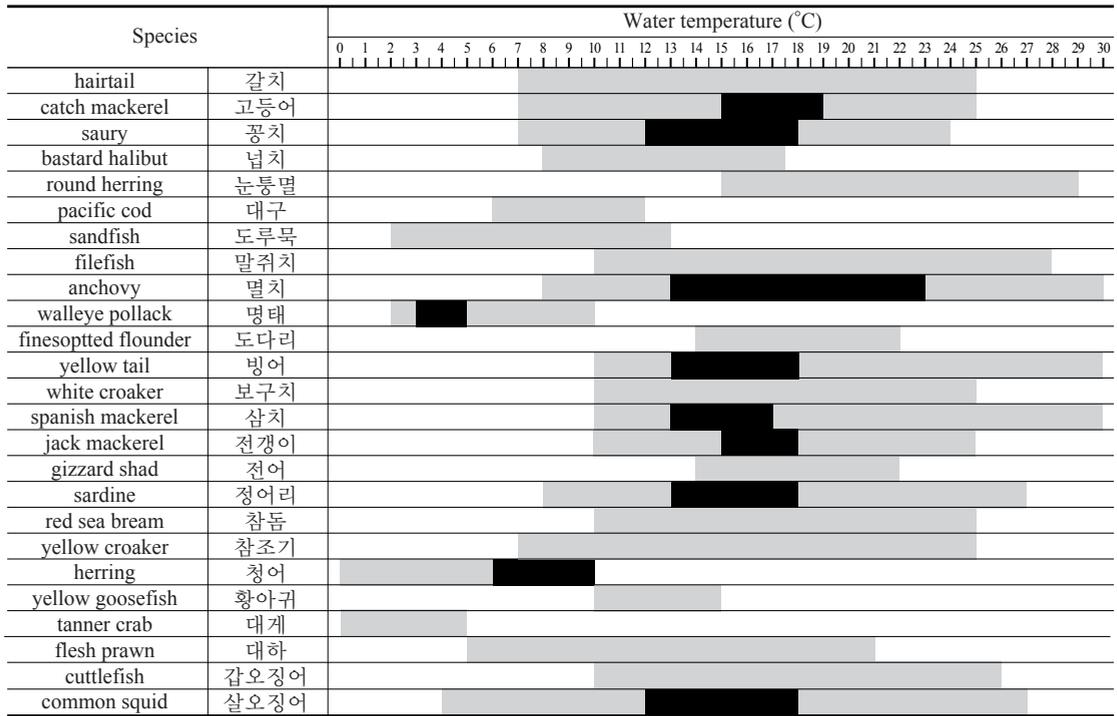
하지만 본 저자들은 비록 제한적이거나 사례 분석을 통하여 동 이론이 검증되지 아니한 자의적 성격의 이론이라는 주장에 대응하기 위하여 본 연구를 시도하였다. 즉 2000년 경상남도 통영시의 안정만에 LNG 통영생산기지가 들어선 이후 냉배수로 인한 수온환경의 변화가 인근 연안 어업자들의 어업생산에 미치는 영향에 대한 실증분석을 통해 동 이론의 타당성을 입증해내고자 한다.

본 논문은 총 V장으로 구성되며, 제Ⅱ장에서는 수온환경과 생물분포에 대해 언급하고, 제Ⅲ장에서는 수온환경변화와 어업생산에 대해 서술하였다. 다음 제Ⅳ장에서는 사례분석과 임계환경변화량이론의 재조명을 통해 수온이라는 해양환경요인의 변화가 인근 연안어업자들의 어업생산에 미친 영향을 살펴보고, 제Ⅴ장에서 결론을 서술하였다.

## Ⅱ. 수온환경과 생물분포

### 1. 서식수온 스펙트럼

어류는 저마다 고유한 서식 수온대가 있고, 그 중에는 최적 수온대가 있음을 알 수 있다. 이 수온대의 위치에 따라 한대성(냉온성) 또는 온대성(온수성), 그리고 그 폭에 따라 광온성 또는 협온성이라고 어류를 생태학적으로 각각 분류한다. 참고로 우리나라의 연근해에 분포하는 어류의 서식수온 스펙트럼을 확인하여 제시하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 우리나라 연근해에 분포하는 어류도 저마다 고유한 서식수온 스펙트럼을 가지고 있음을 알 수 있다. 굳이 서식수온과 관련하여 생태적으로 분류한다면, 대구, 도루묵, 명태, 청어 및 대게는 한대성 어종이고 그 밖의 어류는 온대성에 속한다고 할 수 있을 것이다.



□ : Living water temperature, ■ : Optimum living water temperature

Source : Ecology and fishing grounds of Korean major coastal fisheries, National Fisheries Research and Development Institute, Ministry of Oceans and Fisheries, 2005.

Fig. 1. Living water temperature spectrum by species to support Korean major coastal fisheries.

2. 산란수온 스펙트럼

일반적으로 어류는 1년 중 특정한 계절에 특정한 장소에서 산란을 한다. 산란기와 산란장은 생물종이 차세대를 최대한으로 그리고 안전하게 남기기 위해 장구한 지사적(地史的) 세월의 진화 과정을 통해서 획득한 그 종의 고유한 특성이다. 산란기와 산란장을 택함에 있어서 가장 중요한 요인이 수온이다. 따라서 어류는 저마다 고유한 산란수온 스펙트럼을 가지고 있다. 이를 보여주는 것이 Fig. 2이다. 물론 이 산란수온 스펙트럼은 서식수온 스펙트럼 안에 있다고 할 것이다.

3. 회유

저마다 고유한 서식 및 산란수온 스펙트럼을

가지고 있는 어류는 성육단계(성육단계라 함은 수정란, 자어, 치어, 미성어 및 성어에 이르는 한 세대의 형태적, 생리적 및 생태적 변화의 일련의 과정을 가리킴)와 생활주기(생활주기라 함은 1년을 주기로 하여 산란기, 색이기<索餌期>, 월동기<越冬期>가 반복되는 것을 가리킴)에 따라 바뀌는 생리적 요구와 수온 환경의 계절적 변화에 적응하기 위해 살기에 알맞은 수온 환경을 찾아 무리를 지어 일정한 방향으로 한정된 범위 내에서 이동을 계절적으로 반복한다. 이 이동이 회유이다. 물론 회유의 경로와 시기는 그 종의 고유한 특성이다. 다음의 Fig. 3은 하나의 보기로서 우리나라 고등어의 회유도를 나타낸다.



#### 4. 생물의 수온환경과 임계환경변화량이론

지구상의 어느 지역도 온도는 일정하지가 않고 시시각각 변하게 마련이다. 각 지역의 온도 환경의 특성을 이루는 요소에는 온도의 연평균, 연교차 및 상하한의 세 가지를 들 수 있다. 극지방 또는 열대지방처럼 자연 상태에서 온도의 상한 및 하한치가 극단적인 경우를 제외하고, 우리나라와 같이 온대역에 속하는 곳에서 온도가 생물에 영향을 미치는 요소는 연평균치 및 연교차라 할 수 있다. 연평균치는 온도 환경의 위치를 나타내고 연교차는 변동의 범위를 나타낸다 할 것이다.

어느 지역의 온도를 결정하는 주요 요인은 위도이다. 지구에는 태양으로부터 끊임없이 태양의 복사열이 입사한다. 복사열의 입사량은 지구가 구면체이고 회전축이 기울어져 있는 두 가지 원인으로 위도와 계절에 따라 바뀌게 된다. 그러나 각 위도의 태양 복사열은 계절적으로 바뀌지만 그 변화가 거의 안정되어 있다. 태양 열복사의 입사량이 안정되어 있기 때문에 각 지역의 온도 환경은 안정을 유지한다. 이 안정은 고정적인 것이 아니라 동적인 것이다. 그리고 바다의 온도 환경은 열복사에 더하여 해류의 영향을 크게 받는다. 우리나라 연근해에는 한류와 난류가 교차하며, 한류와 난류의 세력은 계절에 따라 달라진다.

이와 같은 수온의 계절적 소장(消長)에 적응하여 해양생물은 종마다 고유한 서식수온 스펙트럼을 가지게 된다. 그래서 어류를 가지고 말하면 연평균치와 관련하여 난수성 어류 및 냉수성 어류로 구분하고, 연교차와 관련하여 광온성 어류와 협온성 어류로 구분할 수 있다.

각 해역에는 다양한 생물이 서로 불가분의 관계를 가지고 서식한다. 제각기 고유한 서식수온 스펙트럼을 가지는 생물들이 동일한 해역에 공존한다는 것은 이들 생물이 그 해역의 온도 환경에 공동 적응을 할 수 있기 때문이다. 말하자면 그 해역에 공존하는 생물들의 모임(이 모임을

생물군집이라 함)은 전체로서 그 해역의 온도 환경을 자신들의 생존에 적합하게 동화하고 있고, 온도 환경이 바뀌면 이에 모두가 제각기 고유한 반응의 과정을 거쳐 새로운 생물군집을 구성하게 된다. 이런 의미에서 본 저자들은 생태계를 환경과 생물이 통합된 하나의 '유기체' 라고 표현할 수 있다고 주장하는 바이다.

자연 상태의 안정된 온도 환경에서 종마다 고유한 서식수온 스펙트럼을 가진 생물군집으로 구성된 생태계는 냉배수(또는 온배수)로 인해 온도 환경이 변화하면 이 변화에 적응할 수 있는 서식수온 스펙트럼을 가진 다른 생물 군집으로 재구성되면서 새로운 생태계로 바뀌게 된다. 바로 이 변화가 어업생산에 피해를 야기한다는 것이 본 저자들의 주장이다.

### Ⅲ. 수온환경변화와 어업생산

#### 1. 어획수온 스펙트럼

회유가 서식 및 산란 수온 스펙트럼과 관련되면서 어장형성에 깊은 관계를 가진다면 어획수온 스펙트럼도 존재할 것이다. Fig. 4의 일련의 그림은 우리나라 주요 어업자원의 어획수온 스펙트럼을 보여준다. Fig. 4는 앞서 Fig. 1에서 해당 정보를 저자가 분석하여 작성한 것이다. 갈치, 전갱이 및 참조기를 제외한 대부분 어종의 어획수온 스펙트럼은 정규분포를 적합시킬 수가 있었다. 갈치, 전갱이 및 참조기의 경우, 정규성에서 약간 벗어나는 것은 우리나라가 중국과 일본의 전관수역에 입어를 하지 못하기 때문에 이들 어업자원집단의 전체에 대한 어장과 어획수온이 일부 파악되지 않은 데에 기인하는 것으로 사료된다. 그런데 여기서 어획수온 스펙트럼에도 어획적수온대가 존재함에 주목할 필요가 있다.

#### 2. 수온환경의 변화와 어업생산<sup>1)</sup>

수온변화가 어떻게 어업생산에 영향을 주는

1) 강용주 · 김기수 외 3인(2004)의 내용 일부를 일부 보완하여 인용함.

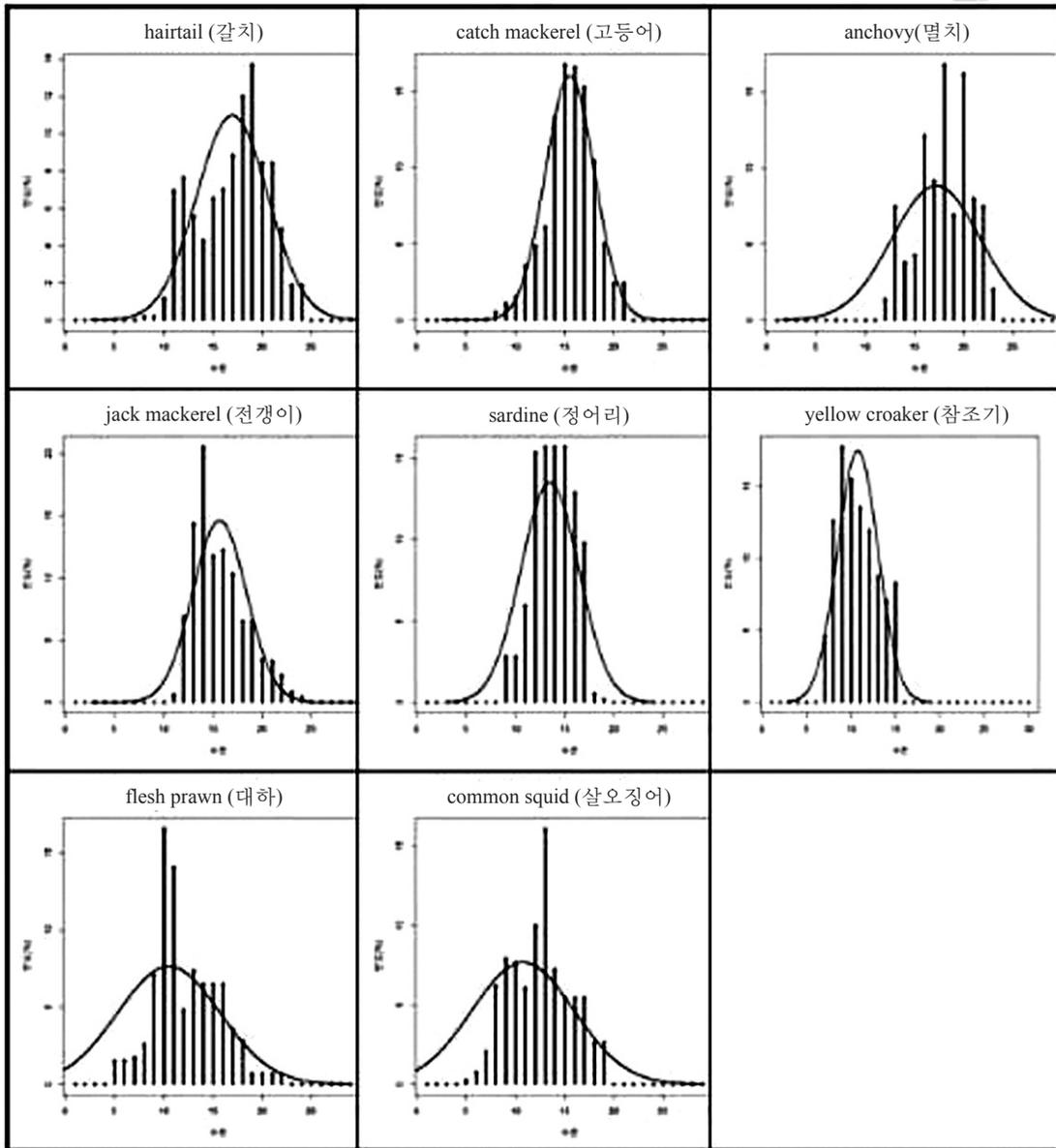


Fig. 4. Fishing water temperature spectrum by species to support Korean major coastal fisheries.

가는 앞서 저자들의 임계환경변화량이론으로 간략히 설명하면 다음과 같다(이하 저자들의 2004년 논문에서 일부 인용함).

공공사업으로 인해 환경이 변화하면(그 변화의 정도를  $d$ 라 하기로 함), 요인  $X$ (예를 들면 여기서는 수온)의 표본평균  $\bar{X}$ (사업해역의 평균수

온)의 확률밀도함수는 그 위치가  $\mu + d$ (여기서 만일 공익사업으로 인해 이 해역의 평균수온이 온배수의 영향으로 상승하게 되면 평균수온은 증가가 있게 되고, 냉배수 영향으로 평균수온이 하강하게 되면 감소가 발생한다)만큼 이동하므로, 두 개의 확률밀도함수  $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 과  $AN(\mu,$

$+d, \sigma^2/n$ )를 생각할 수 있다. 여기서 사업실시 이전의 정규확률밀도함수  $\bar{X}$ 의  $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 에서 어업생산의 대부분을 차지하는 범위를  $\mu \pm k\sigma/\sqrt{n}$ 라 하면, 이 범위의 면적이 사업실시 이후의 정규확률밀도함수  $AN(\mu+d, \sigma^2/n)$ 에서는 감소한다 (Fig. 5). 이 범위는 정규확률밀도함수  $AN(\mu+d, \sigma^2/n)$ 에서도 종전의 개체군이 적응하고 있었던 환경으로서 생물생산이 중단되지 않고 지속되는 어업생산 존속영역이다. 어업생산 존속영역은 환경변화량이 증가함에 따라 감소한다.

환경변화율  $\varepsilon$ (환경변화율이라 함은, 수온을 예로 들면 수온의 표준오차에 대한 수온변화량의 비로서  $\varepsilon = \frac{d}{\sigma/\sqrt{n}}$  과 같이 정의함)에 대응하는 어업생산 존속영역의 면적  $\lambda_\varepsilon$ 는  $k\sigma/\sqrt{n}$ 와  $d$  간의 대소 관계에 따라 다음과 같이 계산된다.

첫째로,  $d \leq k\sigma/\sqrt{n}$  즉  $\varepsilon \leq k$ 에서는

$$\lambda_\varepsilon = \int_{-k-\varepsilon}^{k-\varepsilon} f(z)dz = \int_0^{k+\varepsilon} f(z)dz + \int_0^{k-\varepsilon} f(z)dz \quad (1)$$

둘째로,  $d > k\sigma/\sqrt{n}$  즉  $\varepsilon > k$ 에서는

$$\lambda_\varepsilon = \int_{-k-\varepsilon}^{k-\varepsilon} f(z)dz = \int_0^{k+\varepsilon} f(z)dz - \int_0^{\varepsilon-k} f(z)dz \quad (2)$$

이다.

본 이론은 어업생산 존속영역의 면적에 근거하여 환경변화율  $\varepsilon$ 에 대응하는 어업생산감소율  $\delta_\varepsilon$ 를 다음과 같이 정의한다.

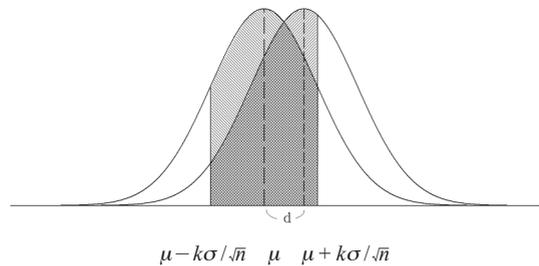
$$\delta_\varepsilon = \frac{\int_{-k}^k f(z)dz - \lambda_\varepsilon}{\int_{-k}^k f(z)dz} \quad (3)$$

여기서 생각해보아야 할 것은 표본평균  $\bar{X}$ 의 분포에서 전체어업생산량을 평가하는 범위와 관련하여  $k$ 를 결정하는 문제이다. 식 (3)에서 본 이론은  $k=2$ 를 적용하기로 한다.

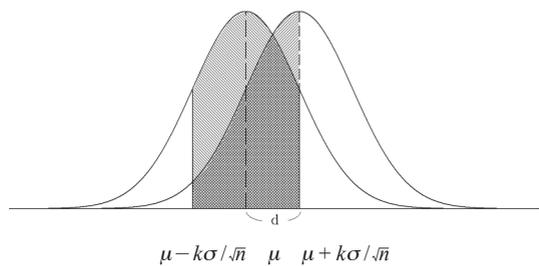
정규확률밀도함수에서 변수의 변역은  $[-\infty \sim +\infty]$ 이다. 그러나 현실적으로 사업해역에서 표본평균의 범위에는 경계가 있다. 본 이론은  $k$ 를 1, 2 및 3으로 하여 환경변화율과 어업생산감소율 간의 관계를 검토하면,  $k=1$ 의 경우에는

경미한 환경변화에 대해 어업생산감소율이 높게 평가되고,  $k=3$ 에서는 환경변화가 상당히 커야 어업생산감소율이 감지된다.  $k=1$ 을 택하면 피해범위가 넓게 설정되고 어업생산감소율이 높게 평가되어 어업인에게 일방적으로 유리하다.  $k=3$ 을 택하면 피해범위가 좁게 설정되고 어업생산감소율이 낮게 평가되어 사업자에게 일방적으로 유리하다. 본 논문은 이해 당사자간에 형평성을 확보하는 데는  $k=2$ 가 적절한 것으로 판단한다.  $N(\mu, \sigma^2/n)$ 에서  $\mu \pm 2\sigma/\sqrt{n}$ 를 벗어

$d < k\sigma/\sqrt{n}$  (즉,  $\varepsilon < k$ )의 경우



$d = k\sigma/\sqrt{n}$  (즉,  $\varepsilon = k$ )의 경우



$d < k\sigma/\sqrt{n}$  (즉,  $\varepsilon > k$ )의 경우

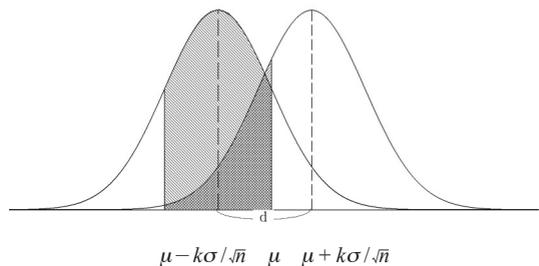


Fig. 5. Change of feasible fisheries production zone by the variation of critical environmental variation quantum.

나는 범위의 주변환경은 비정상적이다. 그러므로 이 범위에서의 생물생산은 안정적이고 지속적으로 유지되지 못하며, 전체생물생산에서 차지하는 비중은 무시하여도 무리가 없다고 사료된다.

#### IV. 사례분석과 임계환경변화량이론의 재조명

##### 1. 사례선정의 배경

본 저자들의 임계환경변화량이론의 실증을 위하여 사례분석의 대상으로 선택한 것은 안정국가산업단지개발사업에 따른 어업피해조사이다<sup>2)</sup>. 이 사업은 1997년 1월부터 2002년 12월 기간 동안 경남 통영시 광도면 안정리에서 실시되었다. 경상대학교 해양산업연구소는 1999년 12월부터 2001년 4월까지 사업해역에서 조업을 하고 있는 어업을 대상으로 안정공단조성으로 인한 어업피해의 조사를 수행한 바 있다. 그리고 동 조사의 최종보고서에는 안정공단조성 이전의 조사대상어업의 연평균어업생산량이 제시되고 있다. 그런데 동일한 해역과 어업을 조사대상으로 놓고 약 10년이 경과한 시점인 2008년 10월부터 2010년 5월까지 부경대학교 해양과학공동연구소가 조사를 실시하였다<sup>3)</sup>. 부경대학교가 수행한 조사의 핵심피해요인은 바로 통영생산기지운영에 따른 냉배수이었으며, 이로 인한 피해범위와 피해정도를 본 저자들이 개발한 임계환경변화량이론을 적용하여 도출한 바 있다.

따라서 본 사례는 약 10년이라는 시차를 두고 동일한 해역과 동일한 어업을 대상으로 어업생산성조사가 수행된 보기 드문 경우라 할 수 있다. 더군다나 그 10년간 동해역에서 발생한 주요한 해양환경변화요인은 바로 통영생산기지운영에 따른 냉배수로 인한 수온변화가 핵심사항이었

다. 통상 그간 발전소를 운영하게 되면 온배수가 발생하게 되는 바, 이 경우 발전소는 온배수에 따른 어업피해를 인정하고 피해보상을 항상 실시해온 것을 감안한다면 동일한 맥락에서 냉배수로 인한 어업피해도 불가피하다고 사료된다. 즉 냉배수로 인한 수온환경의 변화는 저자들의 임계환경변화량이론에 의거, 그 지역의 어업생물의 어획수온스펙트럼을 이동시켜 어획감소가 불가피하게 발생할 수밖에 없다는 것이다. 그러므로 본 사례는 저자들의 임계환경변화량이론의 실증을 위한 비교적 유용한 자료를 제공할 수 있다고 판단된다.

##### 2. 임계환경변화량이론의 적용과 실증

###### 1) 냉배수에 따른 어획수온스펙트럼의 이동

임계환경변화량이론에 따르면 냉배수로 인해서 수온 환경이 변함에 따라 어획수온 스펙트럼이 낮은 방향으로 이동할 때(온배수의 경우에는 어획수온 스펙트럼이 높은 방향으로 이동), “어획감소를 나타내는 부분(Fig. 6에서 빗금 부분)”은 바로 채워지지 않을 뿐 아니라 설사 채워지더라도 그 내용물(종 조성)이 바뀌게 되어 어업자가

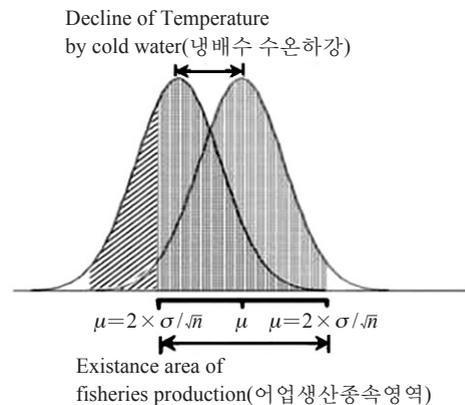


Fig. 6. Change of feasible fisheries production zone.

2) 안정국가산업단지개발사업의 개요는 경상대학교 해양산업연구소(2001)의 안정국가산업단지 개발사업에 따른 어업피해조사연구용역 최종보고서를 참조 바람.

3) 부경대학교측이 행한 조사 결과에 대해서는 부경대학교 해양과학공동연구소에 문의 바람.

즉각적으로 적응하지 못하고 어려움에 빠지게 되어 어업생산의 감소가 불가피하게 된다는 것이다.

2) 어업생산성 감소의 실증

냉배수 이전과 이후에 동일한 어업물건(즉, 어선어업의 경우는 동일인이 동일 선박을 운영하는 경우)에 대해, 냉배수 이전의 어업생산성과 냉배수 이후의 어업생산성을 비교하면 다음의 Table 1에 의해 입증될 것이다. Table 1에서 어선어업은 냉배수 이후의 평균연간어획량이 냉배수 이전에 비해 평균치가 매우 낮은 값을 보임을 알 수 있다. 그리고 이 차이는 통계학적으로 유의(有意)한 것으로, 이는 Fig. 6의 빗금 친 영역이 즉각적으로 그리고 완전히는 채워지지 않으며 그 결과로 어업의 생산성이 감소했음을 의미한다. 한편, 양식어업도 평균연간어획량이 냉배수 이후가 이전에 비해 낮은 값을 보이고 있으나, 이 차이에 대해서는 통계학적 검정을 실시할 수가 없었다. 왜냐하면 양식어업의 경우에는 양대

학이 어업생산성을 어장별로 등급화하고 동일 등급의 어장에는 동일한 값을 일률적으로 적용하여 평균연간어획량을 산출하였기 때문이다.

단 여기서 어선어업의 생산성은 kg/년/척으로 나타내고, 양식어업의 생산성은 kg/년/ha으로 나타낸다.

다음으로, 부경대학교가 산출한 냉배수 이후의 어업생산성에 본 저자의 임계환경변화량이론으로 추정된 어업생산감소율을 적용하여 냉배수 이전의 어업생산성을 역산해 본다. 그리고 이 역산치(逆算値)를 냉배수 이전의 경상대가 산출한 어업생산성의 실사치(實査値)와 비교하여 보자. Table 2에서 어선어업의 평균연간어획량의 평균치를 비교하면, 부경대의 역산치가 평균 3,954.79kg/년/척, 경상대의 실사치가 3,874.38kg/년/척으로 부경대의 역산치와 경상대의 실사치 간에는 약 2% 정도의 미미한 차이가 있으며, 이 정도의 차이는 통계학적으로 유의(有意)하지 않다. 이는 저자들의 임계환경변화량이론에 의해 도출된 어업생산감소율이 조사

Table 1. The comparison of annual average fishery catch between before and after of cold water outflow

Fishery	Period	Investigator	Annual average Catch of fish		Sample Size			
			Mean	S.D.		Equal Variance	Paired Test	Wilcoxon
Vessel fishing	Before	KSNU	3,874.38	1,329.50	325	$F=0.484$ ( $p < 0.0000$ )	$t = -11.68$ ( $p < 0.0000$ )	$p < 0.0000$
	After	PKNU	3,019.79	924.83	325			
Cultivating fishery	Before	KSNU	15,022.95	-	39	-	-	-
	After	PKNU	9,884.62	-	39			

KSNU : Kyeongsang National University, PKNU : Pukyung National University

Table 2. Comparison of annual average fishery catch between investigating and reverse calculating figures

Fishery	Estimated figure	Investigator	Annual average Catch of fish		Sample Size			
			Mean	S.D.		Equal Variance	Paired Test	Wilcoxon
Vessel fishing	Investigation	KSNU	3,874.38	1,329.50	325	$F=0.899$ ( $p < 0.337$ )	$t=0.985$ ( $p < 0.3253$ )	$p < 0.7721$
	Calculation	PKNU	3,954.79	1,260.37	325			
Cultivating fishery	Investigation	KSNU	15,022.95	-	39	-	-	-
	Calculation	PKNU	16,637.54	-	39			

KSNU : Kyeongsang National University, PKNU : Pukyung National University

Table 3. The comparison of biota between before and after outflow of cold water

Section		Zoobenthos (저서동물)	Necton (유영동물)
Overall appearance	classification	149 taxa	72 species
Common appearance	classification	14 taxa	7 species
	ratio(%)	individual number	20.26
		biomass	—
Only appearance of year 2001 (time before outflow of cold water)	classification	58 taxa	10 species
	ratio(%)	individual number	81.24
		biomass	—
Only appearance of year 2010 (the time after outflow of cold water)	classification	77 taxa	55 species
	ratio(%)	individual number	78.24
		biomass	—

해역에서 냉배수에 의한 어업생산 감소정도를 현실적으로 반영하고 있다는 것을 의미한다고 할 것이다. 한편, 양식어업도 평균연간어획량의 평균치를 비교하면 부경대의 역산치와 경상대의 실사치 간에는 약간의 차이가 있지만 이 차이에 대해서는 통계학적 검정을 실시할 수가 없었으며, 그 이유는 상술한 바와 같다.

### 3) 종 조성 변화의 실증

생물이 저마다 고유한 수온스펙트럼을 가지고 있음은 실례를 들어 상술한 바 있다. 이 수온스펙트럼을 생각하면 수온 환경의 변화가 생물상의 변화를 유발함은 당연하며, 새롭게 조성되는 생물상은 이전에 비해 달라지게 된다. 이를 경상대와 부경대의 조사자료를 비교 분석하여 실증하고자 한다<sup>4)</sup>.

Table 3은 생물상을 저서동물상(底棲動物相)과 유영동물상(遊泳動物相)으로 구분하여 나타낸 것이다. 여기서 저서동물이라 함은 바다의 바닥에 서식하는 동물을 가리키고 유영동물은 바다의 물덩어리에 사는 동물을 가리킨다.

#### (1) 저서동물상

표본의 크기가 약간 다르지만 양 대학은 동일

한 종류의 van Veen grab을 사용하여 저서동물을 채집한 후, 총 149개의 분류군을 관찰하였다. 생물을 구별하는 기본 단위는 종(種)이나, 종을 동정(同定)하는 것이 어려운 생물이 일부 있다. 이런 생물은 종보다 상위에 있는 속(屬), 목(目), 과(科) 등의 범주에서 분류된다. 이런 이유로 Table 3에서 생물의 다양성을 종수(種數)가 아니라 분류군 수로 나타낸 것이다. 총 149개의 분류군에서 경상대의 2001년 조사와 부경대의 2010년 조사에서 공통으로 출현한 분류군 수가 14개에 불과하다. 말하자면 냉배수 이후에 공통 출현 생물 종류가 전체 출현 생물 종류의 9%에 불과할 정도로 해양생태계가 변하였음을 알 수 있다.

상술하면 총 출현 149개 분류군 중에서 경상대가 조사한 2001년에만 출현한 것이 58개, 부경대가 조사한 2010년에만 출현한 것이 77개이다. 이와 같이 조사 해역에서 사라지는 한편 새로 나타난 생물을 개체수 비율로 따지면 전자가 81%, 후자가 78%에 이르고 있다.

양 대학의 조사에서 공통 출현한 14개 분류군 중에서 종의 단위까지 분류된 12개 생물에 대해서 조성비를 분석해보면 Table 4에 제시된 바와 같다. 구성비가 증가한 것은 5개 종(침보석요정

4) 상세한 내용은 전계서 경상대학교(2001)와 부경대학교(2008)를 참조할 것.

Table 4. Significance test of difference of ratios in common appearance species

Species	Ratio		Confidence interval		p-val	Significance test
	2001	2010	min	max		
<i>Armandialac eolata</i> 침보석요정갯지렁이	0.002	0.046	-0.066	-0.022	0.0000	△*
<i>Chone teres</i> 빛꽃갯지렁이	0.009	0.155	-0.183	-0.109	0.0000	△*
<i>Cirrifomina tentaculate</i> 명주실타래갯지렁이	0.005	0.012	-0.020	0.006	0.2773	△
<i>Korea maldanidae</i> 한국대나무갯지렁이	0.007	0.041	-0.056	-0.013	0.0000	△*
<i>Diopatra sugokai</i> 털보집갯지렁이	0.023	0.005	0.005	0.032	0.0317	▽*
<i>Lumbrineris heteropoda</i> 긴다리송곳갯지렁이	0.152	0.017	0.108	0.162	0.0000	▽*
<i>Lumbrineris japonica</i> 참송곳갯지렁이	0.061	0.126	-0.101	-0.027	0.0001	△*
<i>Nephtys caeca</i> 북방백금갯지렁이	0.018	0.002	0.004	0.027	0.0383	▽*
<i>Notomastus latericeus</i> 가는버들갯지렁이	0.020	0.002	0.006	0.029	0.0241	▽*
<i>Perinereis nuntia</i> 눈썹참갯지렁이	0.431	0.005	0.393	0.459	0.0000	▽*
<i>Phlyo fimbriatus</i> 아시아고깔갯지렁이	0.007	0.005	-0.008	0.012	0.9145	▽
<i>Praxillella affinis</i> 꼬리대나무갯지렁이	0.007	0.002	-0.004	0.013	0.5072	▽

갯지렁이, 빛꽃갯지렁이, 명주실타래갯지렁이, 한국대나무갯지렁이, 참송곳갯지렁이)인데, 이 중에서 명주실타래갯지렁이를 제외한 4개종은 구성비의 증가가 통계학적으로 유의하다. 그리고 구성비가 감소한 것은 7개 종(털보집갯지렁이, 긴다리송곳갯지렁이, 북방백금갯지렁이, 가는버들갯지렁이, 눈썹참갯지렁이, 아시아고깔갯지렁이, 꼬리대나무갯지렁이)인데, 이 중에서 아시아고깔갯지렁이와 꼬리대나무갯지렁이를 제외한 5개종은 구성비의 감소가 유의하다. 다시 말하면, 12개 종 중에서 2001년과 2010년 사이에 유의한 변화를 하지 않은 것이 3종(명주실타래갯지렁이, 아시아고깔갯지렁이, 꼬리대나무갯지렁이)에 불과하고, 나머지 9종은 유의한 변화를 한 것임을 알 수 있다.

## (2) 유영동물상

유영동물은 총 75종이 관찰되었으며, 이 경우는 저서동물과 달리 종을 동정(同定)하는 것이 용이하여 유영동물은 종의 단위까지 분류하였다. 양 대학의 채집물 중에는 불가사리, 계 등 저서동물이 포함되어 있었지만 이들 생물은 유영동물이 아니기 때문에 일단 분석에서 제외하였다. 총 72종에서 경상대의 2001년 조사와 부경대의 2010년 조사에서 공통으로 출현한 종 수가 7개에 불과하고, 경상대가 조사한 2001년에만 출현한 것이 10종, 부경대가 조사한 2010년에만 출현한 것이 55종이다. 일견 엄청난 변화가 일어난 것으로 해석될 수 있지만 유감스럽게도 두 대학이 유영동물을 채집하는데 사용한 어구가 전혀 다르기 때문에 유영동물상에 근거하여 생태계

의 변화는 논의하기가 불가하다<sup>5)</sup>.

4) 연안어업의 어획물조성 및 어획물가치변화에 대한 실증

(1) 어획물 조성

두 대학의 조사는 어업실태조사를 통해 파악된 연안어업의 어획물조성을 제시하고 있으며, 이것을 정리한 것이 Table 5이다. Table 5에 의하면, 냉배수 이전에는 기타수산물로 분류된 어종(16.67%)을 제외하고 19종의 어획물이 잡혔으나 냉배수 이후에는 18종으로 변화하였음을 알 수 있다. 이 18종은 냉배수 이전에도 잡혔던 8개 어종과 냉배수 이후에 새롭게 잡힌 10개 어종으로 구성되어 있다. 그리고 조성비를 살펴보면, 냉배

수 이전과 이후에 모두 잡힌 8개 어종은 냉배수 이전에는 전체 어획물 가운데 60%를 차지하였으나, 냉배수 이후에는 전체 어획물 중 47%만 차지하고 나머지 53%가 새로운 어종으로 변화하였음을 알 수 있다. 또한 이 8개 어종도 13% 감소하였다.

이제 Table 6에서 제시된 두 조사시점 모두 잡힌 어종의 비중을 살펴보면, 노래미와 게류의 경우 그 비중이 각각 11%, 5%정도 증가하였으나, 붕장어와 전어의 경우는 각각 10%, 20% 감소하였음을 알 수 있다.

이와 같이 어획물의 내용이 냉배수 이전과 이후가 달라지고 있는 외에 Table 7을 통해 특이한

Table 5. Change of the composition ratio of organisms between before and after of outflow of cold water

Section	2001(before outflow of cold water)	2010(after outflow of cold water)
Appearance in only one investigation year	12(39.57%)	11(53.01%)
Appearance in two investigation years	8(60.43%)	8(46.99%)
Overall	20(100.00%)	19(100.00%)

Table 6. Change of the composition ratio of common fisheries in catch of both years (%)

Species	2001 (before outflow of cold water)	2010 (after outflow of cold water)	Change
<i>Hexagrammos agramus</i> 노래미	8.17	19.04	10.87
<i>Lateolabrax japonicus</i> 농어	0.54	1.19	0.66
<i>Periophthalmus cantonensis</i> 말뚝망둥어	0.56	1.04	0.49
<i>Sebastes inermis</i> 블락	3.02	3.00	-0.02
<i>Conger myriaster</i> 붕장어	18.10	8.62	-9.48
<i>Mugil cephalus</i> 송어	2.87	2.31	-0.56
<i>Konosirus punctatus</i> 전어	22.88	2.55	-20.33
crabs 게류	4.31	9.24	4.93

5) 경상대는 저인망(底引網)을, 부경대는 정치망(定置網)을 사용하였기 때문에 전자는 저어류(底魚類)가 후자는 부어류(浮魚類)가 채집될 확률이 더 높다는 이러한 편의(偏倚)가 양측의 유영동물상에 반영될 가능성이 높기 때문임.

Table 7. Composition ratio of fisheries in catch of vessel fisheries before and after outflow of cold water

Species	2001 (before outflow of cold water)	2010 (after outflow of cold water)	Remarks
flounders 가자미류		31.25	
<i>Trichiurus lepturus</i> 갈치	0.3775		
<i>Acanthopagrus schlegeli</i> 감성돔	4.005		
<i>Liparis tanakae</i> 꼼치		1.39	
<i>Cololabis saira</i> 꽁치	1.2175		
<i>Hexagrammos agrammus</i> 노래미	8.1675	19.04	
<i>Lateolabrax japonicus</i> 농어	0.535	1.19	
<i>Pleuronichthys cornatua</i> 도다리	17.3		
<i>Gadus macrocephalus</i> 대구		2.99	subarctic species
damselfishes 돔류		2.81	
<i>Periophthalmus cantonensis</i> 말뚝망둥어	0.555	1.04	
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	2.6125		
<i>Liparis tessellatus</i> 물메기	0.49		
gunnels 배도라치류		1.71	
takifugu 복어류		0.85	
<i>Seriola quinqueradiata</i> 방어	0.3		
<i>Sebastes inermis</i> 볼락	3.0225	3.00	
<i>Conger myriaster</i> 붕장어	18.095	8.62	
<i>Scomberomorus niphonius</i> 삼치	0.4675		
<i>Mugil cephalus</i> 송어	2.8725	2.31	
<i>Konosirus punctatus</i> 전어	22.8775	2.55	
<i>Clupea pallasii</i> 청어		2.23	subarctic species
other fishes 기타 어류		1.91	
crabs 게류	4.3125	9.24	
<i>Octopus minor</i> 낙지	1.1875		
<i>Paroctopus vulgaris</i> 문어	0.26		
cephalopods 두족류		3.13	
tritonshorns 고동류	0.6725		
<i>Crassostrea gigas</i> 참굴			
<i>Oratosquilla oratoria</i> 갯가재		2.97	
<i>Halocynthia roretzi</i> 우렁쟁이			
holothuroids 해삼류			
other invertebrates 기타 무척추		1.77	
other marine products 기타 수산물	10.6725		

점을 지적하고자 한다. 즉 냉배수 이전에는 조사 해역에 전혀 또는 거의 잡히지 않던 청어와 대구가 냉배수 이후에는 어획되기 시작한 점이다. 이들 어류는 주지하는 바와 같이 순전히 한대성 어

류이다. 대구는 냉배수 이전의 과거에도 진해만에서 포획된 예가 있지만 청어는 냉배수 이전의 과거에 진해만에서 출현한 기록이 없는 바, 이들 어종이 상당한 비중으로 어획되기 시작한 것이

Table 8. Comparison of fisheries value in catch of vessel fisheries before and after of outflow of cold water

Species	2001		2010		Remarks
	Ratio (%)	Price (won/kg)	Ratio (%)	Price (won/kg)	
flounders 가자미류		4,339	31.25	6,096	
<i>Trichiurus lepturus</i> 갈치	0.3775	3,212		6,274	
<i>Acanthopagrus schlegeli</i> 감성돔	4.005	22,556		12,012	
<i>Liparis tanakae</i> 꼽치			1.39	4,419	
<i>Cololabis saira</i> 꽁치	1.2175	2,054		2,141	
<i>Hexagrammos agrammus</i> 노래미	8.1675	3,586	19.04	9,013	
<i>Lateolabrax japonicus</i> 농어	0.535	13,268	1.19	9,851	
<i>Pleuronichthys cornatua</i> 도다리	17.3	4,339			
<i>Gadus macrocephalus</i> 대구		4,058	2.99	4,405	
damsel fishes 돔류		7,399	2.81	4,966	
<i>Periophthalmus cantonensis</i> 말뚝망둥어	0.555	1,171	1.04	3,469	
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	2.6125	1,076		1,613	
<i>Liparis tessellatus</i> 물메기	0.49	2,683			consignment price of 2001
gunnels 배도라치류			1.71	9,851	
takifugu 복어류		9,145	0.85	7,145	
<i>Seriola quinqueradiata</i> 방어	0.3	2,667		2,726	
<i>Sebastes inermis</i> 볼락	3.0225	7,505	3	7,932	
<i>Conger myriaster</i> 봉장어	18.095	6,443	8.62	7,636	
<i>Scomberomorus niphonius</i> 삼치	0.4675	2,615		3,525	
<i>Mugil cephalus</i> 숭어	2.8725	3,498	2.31	5,037	
<i>Konosirus punctatus</i> 전어	22.8775	1,594	2.55	3,497	
<i>Clupea pallasii</i> 청어		1,099	2.23	978	
other fishes 기타 어류		1,216	1.91	2,084	
crabs 게류	4.3125	4,190	9.24	5,737	
<i>Octopus minor</i> 낙지	1.1875	13,707		19,658	
<i>Paroctopus vulgaris</i> 문어	0.26	8,162		12,847	
cephalopods 두족류			3.13	4,659	other mollusks
tritonshorns 고동류	0.6725	3,717			trumpet shell
<i>Crassostrea gigas</i> 참굴		426		532	
<i>Oratosquilla oratoria</i> 갯가재			2.97	4,347	other crustaceans
<i>Halocynthia roretzi</i> 우렁쟁이		1,871		3,508	
holothuroids 해삼류		11,014		12,576	
other invertebrates 기타 무척추			1.77	4,659	other mollusks
other marine productus 기타 수산물	10.6725	8,509		13,312	
Average price	Catching year	-	-	6,387	
	Year of 2001	-	5,279	-	4,301

냉배수와는 무관하다고는 볼 수 없을 것으로 판단된다.

(2) 어획물의 가치

Table 8은 Table 7의 어획물 구성에 의거하여 냉배수 이전과 이후의 연안어업의 어획물의 1kg 당 판매단가를 비교한 것이다<sup>6)</sup>. 그리고 2001년 판매단가와 2010년 판매단가의 실질가격 비교를 위해서는 2001년과 2010년 사이의 물가상승 즉 인플레이션 효과를 제거한 후 비교할 필요가 있다. 이를 위해서 통계청의 신선어패류 소비자물가지수의 지수를 이용하여 2010년 판매단가를 2001년 가격으로 환원하여 이를 2001년 판매단가와 비교하였다<sup>7)</sup>.

그 결과, 2010년 연안어업의 어획물의 kg당 실질판매단가는 4,301원으로, 이는 2001년 판매단가인 5,279원의 약 81%에 해당된다. 즉 연안어업의 어획물 판매단가를 통해 살펴본 냉배수 이전과 이후의 어획물의 실질가치 역시 하락하였음을 잘 알 수 있다. 이는 어획물의 구성이 변하면서 저가어의 구성비가 증가하였음을 의미한다고 볼 수 있을 것이다.

V. 결 론

이상에서 상술한 사례분석을 통하여 우리는 냉배수로 인한 수온이라는 어장환경요인의 변화가 연안어업의 생산성 감소라는 양적인 측면과 어획물 조성이라는 질적인 변화를 초래하여 어업경영악화를 초래하고 있음을 알 수 있다. 이를 임계환경변화량이론에 의거하면 다음과 같이 설명될 수 있다.

냉배수로 어획수온 스펙트럼이 낮은 수온 쪽으로 이동하면 이동하는 정도에 따라 최적수온대의 변화에 의한 어획감소영역이 생기고, 이 영

역은 단시간에는 채워지지 않을 뿐 아니라 설사 부분적으로 채워진다고 하더라도 어획물의 조성이 바뀌어, 종래와는 다른 모습의 어업이 어민들에게 강요되게 된다. 물론 이 경우, 어업자들이 어획감소부분을 메우기 위하여 냉배수의 피해 영향이 미치지 않는 수역으로 조업 구역을 이동할 경우도 있을 수 있다. 하지만 조업 구역의 확대 내지 이동은 어업의 허가구역이 광범위한 근해어업의 경우에서는 논의될 수 있을 것이다. 그러나 대부분이 3톤 전후로 항해능력에 한계가 있는 소형 선박으로 조업하는 연안어업은 어민이 거주하는 항포구로부터 반경 10여 km를 벗어나서 조업하기에는 어업경영상의 문제가 있게 된다. 또한 설사 조업 구역을 바꾼다 하더라도 새로운 조업 구역은 이미 다른 항포구에서 출어하는 어선이 활용하고 있을 것이다. 만약 냉배수로 피해를 입은 어선이 인근해역으로 새로운 어장을 개척한다면 새 어장에서 수용능력의 한계로 기존의 연안어업과의 조업 경쟁이 치열해질 것이고, 냉배수의 피해 영향이 직접적으로 미치지 않는 곳에서 조업하는 어업의 적당 연안어획량은 감소할 것이다. 이럴 경우 냉배수와는 무관하다 할지라도 이에 따른 또 다른 피해가 발생할 것임은 자명하다 할 것이다.

결론적으로 임계환경변화량이론은 제Ⅱ장에서 제시된 바와 같이 이론의 도출과정이 객관적이고 과학적일 뿐 아니라 수온환경변화의 정도에 맞추어 어업생산감소율을 공식에 의해 정량적으로 계산할 수 있는 내적 정합성을 갖추고 있는 이론이 아닐 수 없다. 더군다나 제Ⅳ장의 사례분석을 통하여 현실설명력과 적용력을 아울러 갖추고 있는 외적적합성까지 구비하고 있는 유용한 이론임을 알 수 있다.

6) 제시된 각 어종별 어획물 판매단가는 수협계통판매통계정보의 해당 연도별 평균판매가격을 적용하였고 거기에 제시되어 있지 아니한 일부 어종에 대해서는 산지위판경락정보통계자료에서 가격자료를 적용함.

7) 2001년 물가지수=67.345, 2010년 물가지수=100

REFERENCES

- Kang, Y. J. and Kim, K. S. (2006), "The Case Study on the Application of the Standard Method for the Estimation of Range and Degree of Fisheries Damages Caused by Warm Water Drained by Generating Plants," *The Journal of Fisheries Business Administration*, 37 (1), 73 – 93.
- Kang, Y. J., Kim, K. S., Zang, C. I., Park, C. K. and Lee, J. S. (2004), "A New Statistical Approach for the Estimation of Range and Degree of Fisheries Damages Caused by Public Undertaking," *The Journal of Fisheries Business Administration*, 35 (1), 117 – 132.
- Kenneth, E. F. Watt. (1968), 「Ecology and Resource Management」 McGRAW-HILL.
- National Federation of Fisheries Cooperatives (2013), Suhyup Fisheries Statistics Website <http://fifis.kr/>.
- National Fisheries Research & Development Institute (2005), 「Ecology and fishing grounds of Korean major coastal fisheries」.
- The Institute of Marine Science, Gyeongsang National University (2004), 「The final report of fisheries damages caused undertaking of Anjeong national industrial complex」.