

공공사업으로 인한 어업피해 범위와 피해정도 추정의 새로운 통계학적 접근

강용주* · 김기수** · 장창익* · 박청길*** · 이종섭****

A New Statistical Approach for the Estimation of Range and Degree of Fisheries Damages Caused by Public Undertaking

Kang, Y. J. · Kim, K. S. · Zhang, C. I. · Park, C. K. and Lee, J. S.

< 목 차 >

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론 및 문제제기</p> <p>II. 환경변화에 따른 생물분포의 통계 이론</p> <p>1. 정상상태의 생물분포</p> <p>2. 공공사업으로 인한 환경변화의 의미</p> <p>3. 공공사업으로 인한 환경변화량 및 환경변화율</p> <p>4. 공공사업으로 인한 어업생산감소율</p> | <p>III. 피해범위와 피해정도의 추정</p> <p>1. 임계환경변화량 및 임계환경변화율</p> <p>2. 피해범위와 피해정도</p> <p>3. 모수의 추정</p> <p>IV. 추정의 제문제</p> <p>V. 요약 및 향후과제</p> <p>참고문헌</p> <p>Abstract</p> |
|---|---|

I. 서론 및 문제제기

어업에 피해를 주는 공공사업은 발전소건설, 항만건설, 간척공사, 하구둑건설, 공단 조성 등 다양하다. 이들 공공사업은 해면매립, 해저준설, 방조제 및 방파제 축조 등 대

접수 : 2004년 1월 2일 게재확정 : 2004년 5월 8일

↑ 본 연구 논문을 읽고 유익한 논평을 해주신 부경대학교 자연과학대학 수리과학부 통계학전공의 이성백 교수에게 감사의 뜻을 표하고자 한다. 그의 여러 가지 제언은 본 논문의 이론적 기초를 보완하는데 큰 도움이 되었음을 밝혀둔다.

* 부경대학교 수산과학대학 교수

** 부경대학교 경영대학 교수

*** 부경대학교 환경해양대학 교수

**** 부경대학교 공과대학 교수

규모 해상토목공사를 수반한다. 우리나라에서 공공사업에 따른 어업피해조사는 400건을 넘는다. 그동안 어업피해 조사에서 피해 인자로 취급된 것은 부니(SS), 온배수, 담수, 수질악화, 퇴적환경변화, 해수유동변화, 소음 등이다(해양수산부, 2001).

공공사업은 환경을 지배하는 요인의 작용에 변화를 가져와 사업해역에서 조업하는 각종 어업에 피해를 주게 된다. 피해의 평가는 공공사업을 실시하면서 반드시 거치는 과정이다. 피해를 평가하는 데는 두 가지 문제가 제기된다. 두 가지라 함은 피해범위와 피해정도의 추정이다.

피해범위의 설정 및 피해정도의 추정, 즉 어업생산감소율의 산출과 관련하여 기존의 연구보고서는 다음과 같은 몇 가지 문제를 내포하고 있다. 첫째는 피해범위의 설정과 어업생산감소율의 산출에 학술적 이론근거의 제시가 없다는 것이다. 예로 발전소의 온배수에 의한 수온상승의 경우에 임계환경변화량은 1°C 이다. 이에 관해 과학적 타당성이 입증된 연구가 없다. 그럼에도 불구하고 1°C 를 적용하는 것은 사업시행자의 과업지시 때문인 것으로 사료된다. 작금에 우려하고 있는 지구온난화는 1°C 에 못미치는 온도상승을 문제로 삼고 있다. 수온상승이 인위적이고 지속적이라 한다면 1°C 미만의 수온상승이 발전소주변의 어장생태계에 미치는 영향은 무시될 수 없는 것으로 판단된다.

둘째는 조사해역의 환경변동을 고려하지 않고 타해역의 임계환경변화량을 그대로 조사해역에 적용하는 점이다. 이에 관한 예로서 부니토의 경우에 전반적인 경향을 보면 임계환경변화량이 서해가 높고 동해가 낮은바 이는 당연한 것으로 사료된다. 광활한 갯벌이 전개되고 조석간만의 차가 큰 서해에서 부유물질은 농도가 높고, 변동폭도 매우 크다. 같은 생물종도 서해에서는 부니에 대한 인내의 한계가 넓고 동해에서는 그 반대가 된다. 부니에 관한 한, 서해산 생물은 변동폭이 큰 환경에 적응하고 동해산 생물은 변동폭이 작은 환경에 적응한 것들이다. 하지만 기존의 연구보고서에는 이를 무시한 채 타해역의 기준을 일률적으로 조사해역에 그대로 적용 피해범위를 획정한 우를 범하여 왔다.

셋째는 생물검정실험에 한계가 있는 점이다. 생물검정은 사업실시 이전과 이후의 환경을 모방한 대조구와 실험구를 실험실에 설치하여 주요생물의 생리반응을 검사하는 것이다. 그리고, 환경변화와 생리반응을 대조하여 피해의 범위와 정도를 추정한다. 그러나, 환경변화의 구배를 감안하여 피해요인별로 처리수준을 설정한 실험구를 설치하기 어려운 문제, 검정생물의 확보 및 장기사육에 한계가 있는 문제, 환경변화에 대한 생물의 반응이 지체하여 나타나는 문제, 현장에서 생물이 처한 환경을 실험구에서 완벽하게 재현하지 못하는 문제 등으로 생물검정결과를 적용하여 피해의 범위와 정도를 도출하기는 사실상 불가능하다. 무생물적 요소와 생물적 요소가 불가분의 관계를 가지고 상

호작용하며 안정적이고 자기영속적으로 유지되는 것이 어장생태계이다. 생물상호간만이 아니라 생물적 요소와 무생물적 요소 상호간에도 영향을 미친다. 그럼에도 불구하고 다수의 생물 중에서 극소수의 일부 생물에 특정 피해인자가 미치는 생리학적 영향만을 단시간의 실험으로 관찰하여 피해를 산출하려는 시도 자체가 무리이다. 대부분의 피해 조사에서 생리검증실험이 실시되었지만 실험결과가 피해범위의 설정과 피해정도의 산출로 연결되지 않고 있는 것은 생물검증의 한계때문인 것으로 사료된다.

이상과 같은 제문제들로 인하여 그동안 피해범위를 획정하고 피해정도를 산출하는데에는 여러 가지 기준과 방법이 제시되어 왔다. 서울대학교 해양연구소(1996)는 영일만신항 건설사업에 따른 피해조사에서 사업해역의 20년(1975년~1994년) 동안의 연평균수온의 절대평균편차가 평균치의 약 5%이라는 점에 근거하여, 5% 이상의 인위적인 변화는 피해를 일으키는 것으로 해석하고 피해범위를 정하였다. 이 방법은 종전의 조사와 달리 사업해역의 환경변동폭을 기준으로 하였다는 점에서 주목된다. 이 조사에서 변화율 5%는 통계학적으로는 변동계수에 가깝다. 수온에 대해서 설정한 기준 5%를 사업해역의 부니토와 유속의 평균치에 적용하여 피해범위가 설정되었다. 이는 수온, 부니토 및 유속의 변동계수가 동일하다는 것을 가정하고 있다. 그러나, 이 가정은 전혀 검증되지 않았다. 그리고, 직접피해구역의 수온변동폭에 대한 간접피해구역의 수온변동폭의 백분율로 간접피해구역의 어업피해율이 계산되었는데 이 방법은 납득하기 어렵다. 왜냐하면 직접피해구역은 환경변화에 근거한 어업취소구역이 아니라 관련법규에 의한 어로금지구역이기 때문이다.

한편 한국해양연구소(1992)가 설정한 기준은 피해범위를 정하는 데 널리 채택되고 있다(한국해양연구소, 1993, 1995 : 군산대학교 해양개발연구소, 1997). 그러나, 이 기준은 과학적 근거가 논리적으로 명확하게 제시되어 있지 않다. 그런데, 이 기준도 최초로 적용된 해역의 환경요인의 평균치와 변동폭에 의해 해석하면 자연상태의 변동폭의 평균을 약간 상회하며 평균치의 약 5%에 상당함이 지적된 바 있고(박청길, 2001), 항만건설사업에 따른 피해조사의 지침에서 기준으로 채택되었다. 최근에는 서울대학교 해양연구소의 방법과 한국해양연구소의 기준에 흥미를 가지면서 무비판적으로 이를 채택하고 있다(부경대학교 수산과학연구소, 2002).

환경은 생물의 번식과정, 성장과정 및 사망과정에 영향을 미침으로써 어업생산을 좌우한다. 부산신항 건설사업에 따른 피해조사에서 부경대학교 해양과학공동연구소(1999)는 생물검정에 의해 확인된 기초생산력의 감소율을 근거로 하여 추정된 수산생물의 성장감소율을 어업생산방정식에 적용해 어업생산감소율을 추정하였다. 이는 기존의 방법에 비해 독특하다. 그러나, 환경변화가 수산생물의 성장과정에만 유의한 영향을 미치는 특수한 상황에서 적용한 것이다. 생물검정은 수산생물의 번식, 성장 및

사망과정이 공공사업으로 인해 변화하는 정도를 추정하여야 함에도 불구하고 작금의 생물검정은 수산생물의 폐사율만을 실험하고 있다. 해양수산부(2001)는 어업의 종류에 따라 어업생산방정식을 제시하고 어업생산방정식의 번식, 성장 및 사망과정 관련 모수가 사업실시 이후에 변화하는 정도를 추정하는 생물검정을 제안하고 있다. 그러나, 이를 채택하여 생물검정을 실시하는 예가 아직 확인되지 않는다.

하지만 상기와 같은 기존의 조사에서 적용된 기준과 방법은 이론적 엄밀성이 미흡할 뿐 아니라 그 근거가 명확하지 않다. 본 논문은 어업피해의 범위와 정도를 평가하는 기존의 방법에 상술한 바와 같은 문제가 있음을 인식하고 대안으로서 사업실시 이전의 환경변동폭에 대해 사업으로 인한 환경변화량을 비교하여 피해범위를 설정하고 어업생산감소율을 산출하는 방법을 제시하였다. 즉 환경변화에 따른 생물분포의 통계학적 이론에 근거한 기준과 방법을 이용하여 어업피해범위와 정도추정방안을 제시함으로써 어업피해조사의 표준화에 기여하고자 한다.

Ⅱ. 환경변화에 따른 생물분포의 통계이론

1. 정상상태의 생물분포

宇田(1940)은 일본근해의 주요어종에 대해 적수온 스펙트럼을 작성하고 수온에 대한 어류의 집군상태를 정규확률밀도함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다고 하였다.

$$N = N_0 e^{-\frac{(X - X_0)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{식 1}$$

여기서 σ 는 표준편차, X 는 수온, X_0 는 곡선의 모드에서의 수온, N_0 는 물고기 개체수, N 는 곡선의 최대치이다.

宇田(1940)에 의하면 식 1의 σ 는 어류의 개체군별로 특정된 고유치이다. $N_0 \pm \sigma$ 의 범위는 전 개체의 약 68.3%가 분포하며, $N_0 \pm 2\sigma$ 의 범위는 전 개체의 약 95.4%가 분포하고, $N_0 \pm 3\sigma$ 의 범위는 전 개체의 약 99.7%가 분포한다. 수온의 경우 σ 가 작으면 협온성이 되며 σ 가 크면 광온성이 된다. 염분의 경우에는 σ 가 작으면 협염성이 되며 σ 가 크면 광염성이다. 그리고, X_0 가 높으면 온수성이 되고 낮으면 냉수성이다. 이는 생물의 분포를 좌우하는 요소가 평균과 표준편차의 두 가지임을 의미한다.

어느 해역에서 환경요인 X 의 평균 μ 와 표준편차 σ 는 각각 X 의 중심의 위치와 변동의 정도를 나타낸다. 요인 X 에 대한 생물의 분포가 반드시 식 1과 같은 확률밀도함수를 따르는지는 알 수가 없으나, 생물이 어떠한 분포를 하던, 표본평균 \bar{X} 의 분포는 중심극한의 정리에 의하여 평균이 μ 이고 분산이 σ^2/n 인 접근적 정규분포를 따른다. 즉,

$$\bar{X} \sim AN(\mu, \frac{\sigma^2}{n}) \quad \text{식 2}$$

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim AN(0,1) \quad \text{식 3}$$

2. 공공사업으로 인한 환경변화의 의미

환경요인 X 가 공공사업으로 인해 d 만큼 변화하였다고 하자. 본 논문은 이 변화를 사업으로 인한 환경변화량으로 인식하며 이는 인위적이고 지속적이며 확정적인 것으로 해석한다. 그렇다면 식 1에 제시한 분포는 모양은 바뀌지 않고 위치만 바뀌는 것으로 볼 수 있다. 즉, σ 는 변하지 않고 평균만 $\mu+d$ 로 바뀐다.

해양환경은 사업이 실시되기 이전에도 끊임없이 평형점 μ 로부터 섭동(攝動)을 하고 있었다. 이 섭동은 시간이 경과함에 따라 수렴진동하면서 본래의 평형점으로 복귀하는 과정을 반복한다. 이러한 현상은 정상적인 것이다.

사업으로 인한 환경변화량은 인위적이며 지속적이고 일정하므로 사업실시 이후에 생태계가 도달하는 평형상태의 위치는 μ 가 아니고 $\mu+d$ 가 된다. 평형상태의 위치의 변동은 요인 X 의 1차원공간에서 개체군의 주변집단으로 하여금 적응하지 않은 환경에 지속적으로 노출시켜 조만간에 종전의 어업을 지탱한 생산을 지속하지 못하게 할 것이다.

따라서, 본 논문은 사업해역에서 요인 X 의 표본평균의 변화에 주목한다. 사업해역에서 요인 X 의 표본평균은 사업실시 이전에는 $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 의 분포를 하고 사업실시 이후에는 $AN(\mu+d, \sigma^2/n)$ 의 분포를 따른다.

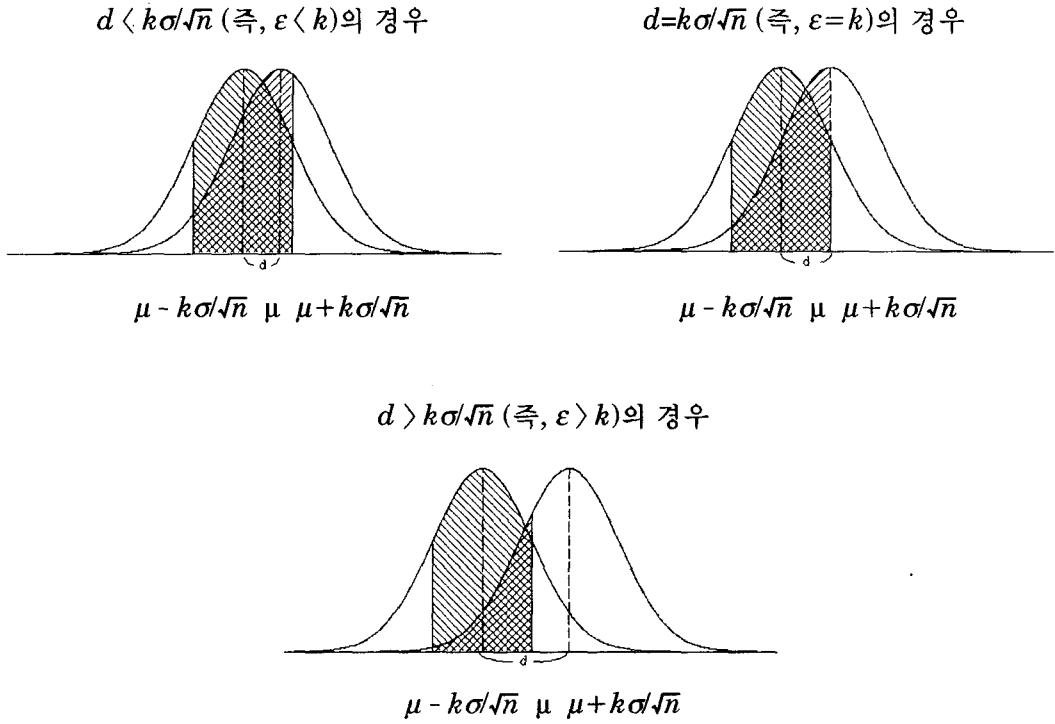
3. 공공사업으로 인한 환경변화량 및 환경변화율

사업해역에서 환경요인 X 의 환경변화량 d 는 사업장에서 가장 크고 이로부터 멀어질수록 감소한다. 본 논문은 환경변화량 d 에 대응하는 환경변화 ε 을 다음과 같이 정의한다.

$$\varepsilon = \frac{d}{\sigma/\sqrt{n}} \quad \text{식 4}$$

4. 공공사업으로 인한 어업생산감소율

공공사업으로 인해 환경이 변화하면 요인 X 의 표본평균 \bar{X} 의 확률밀도함수는 그 위치가 $\mu+d$ 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 어업



〈 그림 1 〉 환경변화량 d (또는 환경변화율 ϵ)에 따른 어업생산존속영역의 변화 (빛금부분)

생산의 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(그림 1). 이 범위는 정규확률밀도함수 $AN(\mu+d, \sigma^2/n)$ 에서도 종전의 개체군이 적용하고 있었던 환경으로서 생물생산이 중단되지 않고 지속되는 어업생산 존속영역이다. 어업생산 존속영역은 환경변화량 d 가 증가함에 따라 감소한다.

환경변화율 ϵ 에 대응하는 어업생산 존속영역의 면적 λ_ϵ 는 $k\sigma/\sqrt{n}$ 와 d 간의 대소관계에 따라 다음과 같이 계산된다.

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

$$\lambda_\epsilon = \int_{-k-\epsilon}^{k-\epsilon} f(z) dz = \int_0^{k+\epsilon} f(z) dz + \int_0^{k-\epsilon} f(z) dz \quad \text{식 5}$$

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

$$\lambda_\epsilon = \int_{-k-\epsilon}^{k-\epsilon} f(z) dz = \int_0^{k+\epsilon} f(z) dz - \int_0^{\epsilon-k} f(z) dz \quad \text{식 6}$$

이다.

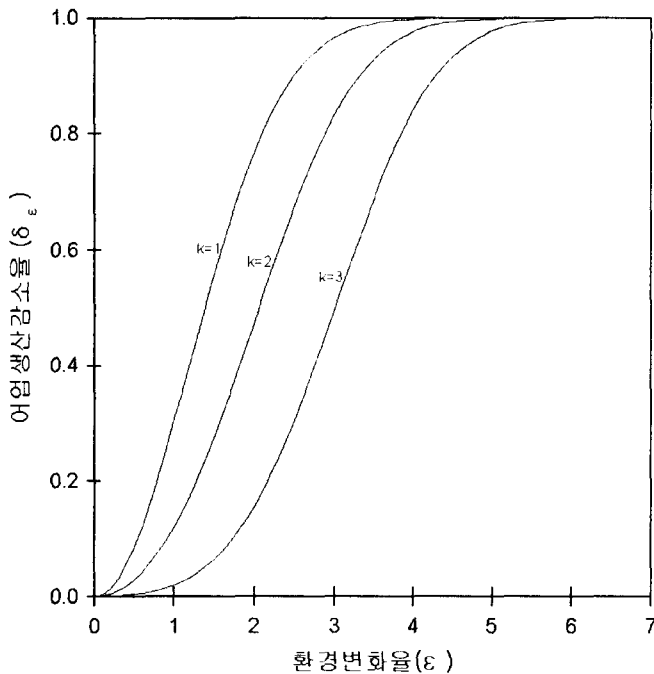
본 논문은 어업생산 존속영역의 면적에 근거하여 환경변화율 ϵ 에 대응하는 어업생산

감소율 δ_ϵ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\delta_\epsilon = \frac{\int_{-k}^k f(z) dz - \lambda_\epsilon}{\int_{-k}^k f(z) dz} \quad \text{식 7}$$

여기서 생각해보아야 할 것은 표본평균 \bar{X} 의 분포에서 전체어업생산량을 평가하는 범위와 관련하여 k 를 결정하는 문제이다. 식 7에서 본 논문은 $k=2$ 를 적용하기로 한다.

정규확률밀도함수는 변수의 변역은 $[-\infty \sim +\infty]$ 이다. 그러나, 현실적으로 사업해역에서 표본평균의 범위에는 경계가 있다. 본 논문은 k 를 1, 2 및 3으로 하여 환경변화율과 어업생산감소율 간의 관계를 검토하였다(그림 2). $k=1$ 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 벗어나는 범위의 주변환경은 비정상적이다. 그러므로, 이 범위



<그림 2> k 의 변화에 따른 환경변화율(ϵ)과 어업생산감소율(δ_ϵ)간의 관계

에서의 생물생산은 안정적이고 지속적으로 유지되지 못하며, 전체 생물생산에서 차지하는 비중은 무시하여도 무리가 없다고 사료된다.

Ⅲ. 피해범위와 피해정도의 추정

〈표 1〉 주요 공공사업별 임계환경변화량

환경요인	임계환경변화량	적용해역	관련 공공 사업	문헌
수온	1°C	충남 당진군	당진화력발전소 건설	한국해양연구소(1994)
		충남 당진군	당진화력발전소 건설	한국전력공사(1997)
		충남 태안군	태안화력발전소 건설	한국해양연구소(1995)
		경북 울진군	울진원자력발전소 건설	한국해양연구원 · 부경대학교(2002)
		전남 영광군	영광원자력발전소 건설	한국전력공사 영광원자력본부(1998)
		경남 사천시	삼천포화력발전소 건설	부경대학교 해양과학공동연구소(2001)
		경남 하동군	하동화력발전소 건설	부경대학교 해양과학공동연구소(2000)
부니토	10mg/L	충남 홍성군	홍보지구농업종합개발사업	군산대학교 해양개발연구소(1992)
	5mg/L	인천 영종도	인천국제공항 건설	한국해양연구소(1992)
		경기 화성군	화옹지구간척사업	한국해양연구소(1993)
		전북 군산시	새만금종합개발	군산대학교 해양개발연구소(1997)
	2mg/L	충남 태안군	태안화력발전소 건설	한국해양연구소(1995)
	1mg/L	인천 송도	인천 LNG 인수기지 건설	부산수산대학교 기초과학연구소(1994)
		경기 화성군	화옹지구 우정단지 간척사업	부경대학교 해양과학공동연구소(1998)
		부산 가덕도	부산신항 건설	부경대학교 해양과학공동연구소(1999)
		경남 고성군	마동지구 농촌용수개발	부경대학교 해양과학공동연구소(2001)
	0.5mg/L	경남 사천시	서포~용현사천대교가설공사	부경대학교 수산과학연구소(2000)
5% (0.2mg/L)	경북 포항시	영일만신항 건설	서울대학교 해양연구소(1996)	
유속	10cm/sec (대조기)	경기 화성군	화옹지구 우정단지 간척사업	부경대학교 해양과학공동연구소(1998)
	5cm/sec	인천 영종도	인천국제공항 건설	한국해양연구소(1992)
		경기 화성군	화옹지구간척사업	한국해양연구소(1993)
		충남 태안군	태안화력발전소 건설	한국해양연구소(1995)
		전북 군산시	새만금종합개발	군산대학교 해양개발연구소(1997)
		경남 고성군	마동지구 농촌용수개발	부경대학교 해양과학공동연구소(2001)
	5% (0.5cm/sec)	경북 포항시	영일만신항 건설	서울대학교 해양연구소(1996)
염분	1.0‰	경기 화성군	화옹지구 우정단지 간척사업	부경대학교 해양과학공동연구소(1998)
		경남 고성군	마동지구 농촌용수개발	부경대학교 해양과학공동연구소(2001)
	4.0‰	충남 홍성군	홍보지구농업종합개발사업	군산대학교 해양개발연구소(1992)
퇴적	1.0cm/yr	인천 영종도	인천국제공항 건설	한국해양연구소(1992)
		경기 화성군	화옹지구간척사업	한국해양연구소(1993)
COD	0.1 ppm	경기 화성군	화옹지구 우정단지 간척사업	부경대학교 해양과학공동연구소(1998)

1. 임계환경변화량 및 임계환경변화율

< 표 2 > 환경 요인별 환경변화량에 따른 어업생산감소율

환경 요인	환경변화량	어업생산 감소율 (%)	적용해역	관련공공사업	문헌
수온	1~2° C	정착 생물 30 유영 생물 20	충남 태안군	태안화전건설	한국해양연구소(1995)
	2° C <	정착 생물 50 유영 생물 30			
유속	5~10 cm/sec	정착 생물 30 유영 생물 20	인천 영종도 충남 태안군 전북 군산시	인천공항건설 태안화전건설 새만금종합개발	한국해양연구소(1992) 한국해양연구소(1995) 군산대해양개발연(1997)
	10 cm/sec <	정착 생물 40 유영 생물 30			
	창·낙조 10~15 cm/sec	정착 생물 20 유영 생물 - -	인천 영종도	인천공항건설	한국해양연구소(1992)
	창·낙조 15 cm/sec <	정착 생물 30 유영 생물 20			
부니토	2~5 mg/L	정착 생물 10 유영 생물 10	충남 태안군	태안화전건설	한국해양연구소(1995)
	5 mg/L <	정착 생물 30 유영 생물 30			
	5~10 mg/L	정착 생물 10 유영 생물 10	인천 영종도 전북 군산시	인천공항건설 새만금종합개발	한국해양연구소(1992) 군산대해양개발연(1997)
	10~15 mg/L	정착 생물 30 유영 생물 30			
	10~25 mg/L	패류 32.5	충남 홍성군	홍보지구 농업종합개발	군산대해양개발연(1992)
	20~25 mg/L	패류 32.5			
	20~35 mg/L	패류 49.0			
30~35 mg/L	패류 49.0				
퇴적	1.0~2.0 cm/yr	정착 생물 30 유영 생물 30	인천 영종도 전북 군산시	인천공항건설 새만금종합개발	한국해양연구소(1992) 군산대해양개발연(1997)
	2.0 cm/yr <	정착 생물 50 유영 생물 50			
염분	4 ~ 20 %	패류 36.3	충남 홍성군	홍보지구 농업종합개발	군산대해양개발연(1992)
	6 ~ 8 %	패류 36.3			
	8 ~ 20 %	패류 36.3			
	8 ~ 28 %	패류 13.8			
준설 매립		정착 생물 100 유영 생물 100	인천 영종도 충남 태안군 전북 군산시	인천공항건설 태안화전건설 새만금종합개발	한국해양연구소(1992) 한국해양연구소(1995) 군산대해양개발연(1997)
소음	40 ~ 60 dB	정착 생물 - - 유영 생물 30	충남 태안군	태안화전건설	한국해양연구소(1995)
	60 dB <	정착 생물 50 유영 생물 50			

공공사업으로 인한 어업생산감소가 경미하면 어업자는 어업경영방식을 개선하거나 공공사업으로 직접 또는 간접의 혜택을 받는 것이 도움이 되어 이를 극복할 수 있을 것이다. 그러나, 환경변화가 어느 정도를 넘어서면 그렇게 할 수 없다. 여기서 어업자가 극복할 수 없을 정도로 어업생산감소를 초래하는 최소의 환경변화량을, 즉 임계환경변화량이라 정의할 수 있을 것이다.

그런데 이상과 같은 임계환경변화량과 어업생산감소율은 한국해양연구소(1992)가 인천국제공항건설에 따른 피해조사를 실시하면서 처음으로 제시되었다. <표 1>과 <표 2>는 지난 20여년간 피해조사에서 설정된 임계환경변화량과 어업생산감소율을 확인한 것이다. 모든 보고서를 입수하여 검토하지는 못하였지만 <표 1>과 <표 2>는 피해조사에서 임계환경변화량과 어업생산감소율을 분명하게 제시한 경우만을 예시한 것이다.

하지만 앞서 언급한 바와 같이 이들 기준은 아무런 이론적 논리적 타당성을 갖지 못한채 무비판적으로 인용·확산되어 왔다 할 것이다. 따라서 본 논문은 여기서 어업자가 극복할 수 없을 정도로 어업생산감소를 초래하는 최소의 환경변화량, 즉 임계환경변화량 d_c 라 정의하고 이에 대응하는 임계환경변화율 ε_c 를 다음과 같이 설정한다.

여기서 임계환경변화량을 $d_c = \sigma/\sqrt{n}$ 로 설정한 이유는 표본평균 \bar{X} 의 분포 $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 곡선이 $\mu + \sigma/\sqrt{n}$ 와 $\mu - \sigma/\sqrt{n}$ 에서 변곡점이라는 점에 주목한다. μ 보다 낮은 쪽에서는 확률밀도의 증가율의 변화율이 $-\sigma/\sqrt{n}$ 에서 0이 되며, μ 보다 큰 쪽에서는 확률밀도의 감소율의 변화율이 $+\sigma/\sqrt{n}$ 에서 0이 된다. 즉 이를 생물분포의 측면에서 볼 때 $\mu \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 의 범위는 안정분포범위인 것으로 해석된다. 본 논문은 환경변화량이 사업실시 이전의 안정분포범위를 벗어나면서부터 피해가 현재화하는 것으로 판단한 것이다.

$$d_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{식 8}$$

$$\varepsilon_c = 1 \quad \text{식 9}$$

2. 피해범위와 피해정도

환경변화량은 사업장에서 가장 크고, 이로부터 멀어질수록 작아진다. 사업이 실시되기 이전에서도 환경이 평형점을 중심으로 상하로 변동하고 있었음을 감안하면 사업으로 인한 경미한 환경변화는 어업생산에 피해를 주지 않는다. 그러나, 환경변화가 어느 수준을 넘게 되면 어업피해를 유발하게 된다. 따라서, 피해범위는 환경변화량이 임계환경변화량을 초과하는 범위가 될 것이며, 임계환경변화량 d_c 에 해당하는 등량선을 경계로 하여 내측의 해역이 됨은 자명하다.

그리고, 피해정도는 식 7로 산출되는 어업생산감소율에 의해 평가된다.

3. 모수의 추정

본 논문이 전개하는 이론을 적용하여 피해의 정도를 평가하기 위해서는 세 가지의 모수 μ , σ 및 d 를 결정하여야 한다.

모수 μ 는 불편추정량 \bar{X} 를 사용하고, σ 는 σ^2 의 불편추정량 s^2 의 제곱근 s 를 이용한다. 여기서, \bar{X} 와 s^2 은 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{식 10}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \quad \text{식 11}$$

환경은 연도와 계절과 조석에 따라 변동을 한다. 따라서, 표본 X_1, X_2, \dots, X_n 은 공공사업이 착수된 해의 직전년도를 기준으로 하여 소급기산한 적어도 3개년에 걸쳐 4계절 및 창조와 낙조의 조석주기를 모두 동일한 가중치를 사용하여 추정하는 것이 원칙이다. 적어도 3개년의 자료를 산입하는 것은 수산업법시행령 제62조에 어업피해보상을 실시함에 있어서 보상의 원인이 되는 어업처분일이 속하는 연도의 전년도를 기준으로 하여 소급기산한 3개년의 어획량을 연평균하여 손실보상액을 산출하도록 정해져 있기 때문이다.

그런데, 해당년도에 추정자료가 없을 경우가 있다. 이 경우에는 최근년도의 자료를 사용하여도 무방하다. 이는 사업이 실시되어도 요인 X 의 표본평균의 확률밀도함수의 모양이 변하지 않는 것으로 가정하기 때문이다. 또한, 추정치 자료가 없거나, 여건상 추정이 불가능하거나 불완전할 경우도 발생한다. 이 경우에 조사해역에서 최대치(MAX)와 최소치(MIN)에 관한 기록이 있거나 추정이 가능하다면 다음의 식에 의해 \bar{X} 와 s 를 개산(概算)한다.

$$\bar{X} \approx \frac{(MAX + MIN)}{2} \quad \text{식 12}$$

$$s \approx \frac{(MAX - MIN)}{i} \quad \text{식 13}$$

식 13에서 $i=3 \sim 6.5$ 의 값을 선택할 수 있다(Sokal and Rohlf, 1981).

그리고, 환경변화량 d 는 수치해석에 의한 시뮬레이션으로 추정한다(이종섭, 1998).

IV. 추정의 제문제

본 논문이 제시하는 방법의 이론적 근거를 전개하는 과정에서 몇 가지 문제가 제기될 수 있다. 첫째는 환경요인 X 의 표본평균의 분포가 $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 의 정규분포를 한다는 논리이다. 본 논문에서는 요인 X 에 대한 생물의 분포가 어떠한 확률밀도함수를 따르던 관계없이 표본평균의 분포는 정규분포를 한다고 판단하였는바, 이는 통계학의 중심극한의 정리에 근거한 것이다. 표본의 크기가 어느 정도 크면 표본평균 \bar{X} 의 정규분포성은 성립된다. 이 경우 통상적으로 표본의 관찰치수는 30이상이어야 한다.

둘째는 X 의 분포가 아니라 표본평균 \bar{X} 의 분포를 근거로 정한 점이다. 이 문제는 환경변화량 d 와 관련된다. 환경변화량 d 는 수치시물레이션에서 채택하는 결정론적 수리모델에 의해 계산된 평균치이다. 이 점에서 환경변화량 d 를 X 의 분포가 아니라 표본평균 \bar{X} 의 분포공간에서 논하는 것이 합당한 것으로 사료된다.

셋째는 사업실시 이전과 이후의 요인 X 의 분포에서 σ^2 을 동일한 것으로 가정한 점이다. 이는 상술한 바와 같이 환경변화량 d 를 인위적이며 그리고 지속적이고 확정적으로 환경에 부가되는 것으로 해석한 당연한 결과이다.

그리고 본 논문의 제안을 실제로 적용함에 있어서 유의하여야 할 점도 있다고 본다. 기존의 조사를 보면 피해구역을 환경변화의 정도에 따라 몇 개의 단계로 구분한다. 그리고, 동일단계의 해역에서 조업하는 어업에 대해서는 동일한 어업생산감소율을 일률적으로 적용한다. 그런데, 인접하는 단계의 경계 가까이에서 조업하는 어업이 어느 단계의 피해구역에 포함되느냐에 따라 인접어업간에 불연속적으로 큰 격차를 보이는 어업생산감소율이 산출된다. 본 논문이 제안하는 방법은 환경변화량을 연속변수로 취급하므로 어장의 중심(重心)을 확인하고 중심에서의 환경변화량을 적용하여 피해를 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

그리고 임계환경변화량을 설정하는 것과 같은 논리로 어업이 불가능한 환경변화량을 설정할 수 있다. 수산업법시행령 제62조는 공공사업으로 인한 수익감소의 정도에 의해 어업처분을 결정하게 되어 있다¹⁾. 하지만 본 논문은 어업취소처분의 환경변화량을 설정하지 않기로 한다.

또한 공공사업의 피해인자에는 한시적인 것이 있고, 영구적인 것이 있다. 한시적인 피해인자의 영향은 공사가 완료되었다고 하여 종료되는 것이 아니라 생물개체군의 구조가 공사실시 이전의 상태로 복원되기까지 잔존하므로 이 부분을 어업생산감소율에 산입하여야 할 것으로 사료된다²⁾.

끝으로 표준오차는 표준편차에 비례하고 표본크기의 제곱근에 반비례함으로써 표본의 크기를 의도적으로 크게 하여 표준오차를 작게 하고 임계환경변화량을 낮추려

1) 어업취소처분의 조건에 대해서는 정형찬(1998) 및 김기수 · 강용주(1998)를 참조할 것.

2) 이와 관련해서는 강용주 · 김기수 · 유명숙(2001) 및 박주석 · 강용주 · 장창익(2003)을 참조할 것.

〈 표 3 〉 신뢰계수(1 - α)와 표준오차의 허용한도(E)에 따른 표본의 크기(n)

표준오차 허용한도(E)	신뢰계수(1 - α)		비고
	95%	99%	
1%	19,208	33,179	
5%	769	1,328	
10%	193	332	
15%	86	148	
20%	49	83	
25%	31	54	
30%	22	37	
35%	16	28	
40%	13	21	

한다면 조사가 엄정하게 행해진다고 할 수 없을 것이다. 이러한 작위(作爲)의 소지를 제거하기 위해 적정표본의 크기를 제시하기로 한다. 대표본에서 계산한 표준편차(s)는 근사적으로 $AN(\sigma, \sigma^2/2n)$ 의 분포를 한다. 즉, $\frac{(S - \sigma)}{\sigma\sqrt{2n}}$ 는 $N(0, 1)$ 의 표준정규분포를 하므로 신뢰계수를 $1 - \alpha$ 로 하고 표본오차의 허용한도 $|\frac{s - \sigma}{\sigma}| = E$ 로 한다면 다음의 식에 의해 적절한 표본 크기가 결정된다.

$$n = \frac{1}{2} \left(\frac{z_\alpha}{|(s - \sigma)/\sigma|} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{z_\alpha}{E} \right)^2 \quad \text{식 14}$$

여기서, z_α 는 $a = \int_{z_\alpha}^{\infty} f(z) dz$ 에 의해 결정된다.

식 14에서 표본크기는 신뢰계수와 표본오차의 허용한도 E에 의해 결정된다(표 3). 본 논문은 신뢰계수와 표본오차의 허용한도를 각각 99%와 20%로 설정하는 경우(즉, $z_\alpha = 2.576$, $E = 0.20$)와 각각 95%와 10%로 설정하는 경우(즉, $z_\alpha = 1.960$, $E = 0.10$)를 생각하여 $n = 90 \sim 200$ 으로 한다면 무난한 것으로 본다.

식 13에 의해 표준편차를 개산했을 경우에 표준오차를 구하는 데 필요한 표본 크기는 i에 따라 결정됨을 유의하여야 한다. i=3, 4, 5, 6 및 6.5에 대해 각각 $n = 10, 30, 100, 500$ 및 1000이 대응한다(Sokal and Rohlf, 1981). 그리고, 식 13에서 최대치와 최소치가 평균이라면 식 13에 의해 구한 것은 표준오차로 취급되어야 할 것이다.

V. 요약 및 향후과제

본 논문은 환경요인 X에 대한 생물의 분포가 어떠한 확률밀도함수를 따르던 관계없이 표본평균 \bar{X} 는 평균이 μ 이고 분산이 σ^2/n 인 점근적 정규분포를 한다는 통계학의 중심극한정리로부터 출발하고 있다. 즉, 공공사업으로 인한 환경변화량 d는 인위적인

것이고 지속적이며 확정적인 것이라는 전제하에 X 의 표본평균의 확률분포는 사업 실시 이전과 이후에 각각 $AN(\mu, \sigma^2/n)$ 과 $AN(\mu+d, \sigma^2/n)$ 임을 생각할 수 있다. 따라서 사업 실시 이전에 어업생산의 대부분을 차지하는 범위 $\mu \pm 2\sigma/\sqrt{n}$ 의 위치가 사업 실시 이후에는 d 만큼 달라짐으로써 $\mu \pm 2\sigma/\sqrt{n}$ 의 범위에 해당되는 면적이 감소하는 비율 δ_c 을 어업생산감소율로 하였다. 그리고 최소의 어업생산감소를 초래하는 임계환경변화량 d_c 을 σ/\sqrt{n} 로 하여 어업피해범위를 설정하는 것을 제안하고 있다.

그런데 공공사업이 실시되면 복수의 환경요인이 어업에 피해를 주는 것이 보통이다. 피해를 종합적으로 평가할 때, 요인별 어업생산감소율을 합산하거나(군산대학교 해양개발연구소, 1997), 산술평균을 구하기도 한다(군산대학교 해양개발연구소, 1992). 산술평균으로 종합적인 어업생산감소율을 산출하는 것은 요인 중에서 가장 수치가 높은 어업생산감소율을 적용하는 것보다 옳지 않는 것으로 사료된다. 단순합산은 요인간의 독립성이 완전할 경우에만 성립한다. 그러하지 않을 경우에는 요인간의 공분산 효과를 배제하여 어업생산감소율이 중복합산되지 않도록 하여야 한다. 예로서 해수의 비중은 연안에서 수온과 염분에 의해 결정되며 해양생물의 수정, 수정란의 활성, 유생의 생존 등을 좌우한다. 그러므로 수온 또는 염분에 비중을 요인으로 추가하여서는 안될 것이다. 요인 상호간의 독립성을 검정하기는 현실적으로 어렵다. 요인 A와 B를 설정하여 산출된 어업생산감소율을 각각 δ_a 와 δ_b 라 한다면 종합적인 어업생산감소율은 $\delta_a + \delta_b - \delta_a \times \delta_b$ 로 할 것을 제안한다(장창익, 1998).

피해를 평가하는 이상적인 방법은 환경요인을 별개로 취급하기보다는 생물생산에 영향을 미치는 n 개의 요인의 분포를 n 차원공간에서 검토하는 다변량해석의 기법을 적용하여 환경변화량과 어업생산감소율을 산출하는 것일 것이다. 이 방법의 개발에 대해서는 향후의 연구에 맡기고자 한다.

참고문헌

- 군산대학교 해양개발연구소. 홍보지구농업종합개발사업에 따른 어업피해조사보고서(최종보고서). 1992.
- 군산대학교 해양개발연구소. 새만금종합개발사업에 따른 면허어업 등의 평균연간어획량, 피해 정도에 대한 조사. 1997.
- 부산수산대학 해양과학연구소. 경상북도 월성군 양남면 나아리 지선 제1종공동어장(9호)의 5건에 대한 향후 10년간의 년도별 순이익 산출에 관한 용역계약보고서. 1976.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 화옹지구 우정단지 간척사업에 따른 어업피해범위 · 정도 조사. 1998.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 부산신항 건설사업에 따른 어업피해조사. 1999.
- 부경대학교 수산과학연구소. 서포~용현간 사천대교 가설공사 어업피해조사 보고서. 2000.

- 부경대학교 해양과학공동연구소. 하동화력발전소 가동 및 건설공사로 인한 해양영향조사. 2000.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 마동지구 농촌용수 개발사업을 위한 공유수면 매립에 따른 피해영향조사 보고서. 2001.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 삼천포화력 건설 및 가동으로 인한 해양영향조사 보고서. 2001.
- 부경대학교 수산과학연구소. 마창대교 건설사업으로 인한 어업피해조사 최종보고서. 2002.
- 서울대학교 해양연구소. 포항 영일만신항 건설에 따른 어업권 보상피해조사 보고서. 1996.
- 한국전력공사. 당진화력 공유수면(추가)매립으로 인한 피해영향조사 최종 보고서. 1997.
- 한국해양연구소. 首都圈 新國際空港 建設로 인한 漁業權 被害 影響調查 및 補償額 算定. 1992.
- 한국해양연구소. 華廳地區 干拓埋立에 따른 漁業被害調查研究 補完報告書. 1993.
- 한국해양연구소. 당진화력발전소 건설에 따른 어업피해조사 연구보고서. 1994.
- 한국해양연구소. 泰安火力發電所 建設에 따른 被害影響範圍調查와 被害漁業權 및 漁船損失補償額 算出. 1995.
- 한국해양연구원 · 부경대학교. 울진원전 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 및 어업피해조사. 2002.
- 해양수산부. 항만공사관련 어업권 피해조사 표준기준 제정을 위한 연구. 2001.
- 강용주 · 김기수 · 유명숙. 일정기간 누적된 어업피해의 사후적 피해를 추정모형에 관한 연구 : 정착성 어업을 중심으로. 수산경영론집, 2001. 32(2) : 23 - 50.
- 김기수 · 강용주. 어업손실평가의 제문제 심포지움 보고서. 1998.
- 김종관. 어업손실평가의 제문제 심포지움 보고서. 1998.
- 박주석 · 강용주 · 장창익. 부니에 의한 천해어장의 어업생산 감소량 추정방법. 한국수산학회지 36권(4). 2003. pp402 - 408
- 박철석. 어업손실평가의 제문제 심포지움 보고서. 1998.
- 박청길. 어업손실평가 표준화연구 **Workshop** 요약집. 2001.
- 이종섭. 물리해양변화와 해양수질변화 예측 수치시뮬레이션. 어업손실평가의 제문제 심포지움 보고서, 1998. 9 - 23.
- 장창익. 고정항로 어선어업 손해배상 감정평가서. 1998. pp 81
- 정형찬. 어업손실평가의 제문제 심포지움 보고서. 1998.
- 宇田道隆. 魚群集散の原理. 植物と動物 VIII 8~9, 1940. 1379 - 1532.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1981. Biometry.

A New Statistical Approach for the Estimation of Range and Degree of Fisheries Damages Caused by Public Undertaking

Kang, Y. J. · Kim, K. S. · Zhang, C. I. · Park, C. K. and Lee, J. S.

Abstract

This study attempts to suggest a new approach of the estimation of range and degree of fisheries damages caused by a large scale of reclamation undertaken in coastal area using the central limit theorem(CLT) in statistics.

The key result of the study is the introduction of the new concept of critical variation of environmental factor(d_c). The study defines d_c as a standard deviation of the sample mean(\bar{X}) of environmental factor(X), in other words, $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. The inner bound of d_c could be the area of fisheries damages caused by public coastal undertaking.

The study also defines the decreasing rate of fisheries production(δ_c), in other words, degree of fisheries damages, as the rate of change in the distribution of sample mean(\bar{X}), caused by the continuous and constant variation of environmental factor. Therefore δ_c can be easily calculated by the use of table of the standardized normal distribution.

Key words : Statistical Approach, Range and Degree of Fisheries Damages, Critical Variation of Environmental Factor