

## 원자력발전소의 온배수 배출량을 고려한 어업생산감소율 추정 모델

장창익·이성일<sup>1</sup>·이종희\*

부경대학교 해양생산시스템관리학부, <sup>1</sup>국립수산과학원 동해수산연구소

## A Quantitative Model for Estimating Fishery Production Damages as a Result of Thermal Effluents from Nuclear Power Plants

Chang Ik Zhang, Sung Il Lee<sup>1</sup>, Jong Hee Lee\*

*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea*

<sup>1</sup>*East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and  
Development Institute, Gangneung 210-861, Korea*

A quantitative model was developed in order to estimate fishery production damage due to anthropogenically induced environmental changes. The model is described in the following equation,

$Y_D = \frac{\phi_D}{\phi_G} [Y_0 \cdot (t_p - t_0) - \frac{Y_0}{\phi_G} (1 - e^{-\phi_D(t_p - t_0)})]$ , where,  $Y_D$  is annual amount of fishery production by nuclear power

plant.  $\phi_D$  and  $\phi_G$  are instantaneous decreasing coefficient of fishery production by nuclear power plant and instantaneous decreasing coefficient of gross fishery production, respectively.  $Y_0$  is annual mean fishery production without damages.  $t_p$  is the present time, and  $t_0$  is the starting time of damages. The model was applied to fishing grounds near a nuclear power plant on the east coast of Korea. Since fishery production damages have become bigger with increasing emission of thermal effluents from generators activities in the power plant, this factor has also been considered as,  $\delta_{Di} = \delta_D \left( \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{W_T} \right)$ , where,  $\delta_{Di}$  is the cumulative damage rate in fishery production from generators,  $\delta_D$  is the total cumulative damage rate in fishery production,  $W_i$  is the emission amount of thermal effluents by generator  $i$ , and  $n$  is the number of generators in the nuclear power plant. This model can be used to conduct initial estimates of fishery production damages, before more detailed assessments are undertaken.

Key words: Quantitative Model, Damages, Fisheries Production, Thermal Effluent, Nuclear Power Plant

### 서 론

우리나라는 1970년 이후 산업화가 진행되면서 항만, 발전소, 공단, 주거 및 농업 용도의 토지수요가 급증하자 연안의 공익사업을 위한 공유수면의 매립 및 간척, 각종 건설공사 등으로 인하여 어업피해가 발생해 왔다. 이로 인해 발생하는 어업생산 손실이 막대하여 전국 각지에서 수산업계를 중심으로 지역사회의 중요한 문제가 되어 왔다. 이러한 어업피해에 대한 손실평가는 공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률 시행규칙 제44조와 수산업법 시행령 제55조 및 별표 3의 규정에 의해 산출하도록 명시하고 있다. 또한 수산업법 제79조 3항에서는 사전에 보상을 하지 아니하면 손실에 영향을 미치는 행위나 공사에 착수할 수 없다고 명시하고 있다. 종래의 공공사업의 경우 공사시행 이전에 환경영향평가를 먼저 실시하여 피해대상 어업권이 대략적으로 결정된 후 사전협의를 통해 공사시작과 더불어 어업피해조사가 병행

실시되는 경우가 일반적이다 (Kang et al., 2001). 그러나 피해보상이 이루어지고 난 후이나 또는 피해보상액의 추정치에 대해 인정을 하지 않아서 어업피해조사가 재실시 되는 경우가 종종 발생하게 되는데, 이와 같이 피해가 진행된 이후의 피해조사에 있어서는 어업피해를 산정에 보다 객관적이고 논리적인 접근방식이 요구된다.

대규모의 공공사업은 주된 사업지역이 해양이나 연안이 아니더라도 인근어장의 어업생산에 직·간접적으로 피해를 주게 된다. 공공사업은 환경을 좌우하는 인자들의 변화를 가져와 사업지역을 포함한 주변해역에 서식하는 생물들에게 영향을 미치게 되며, 이 들 사이의 영향을 파악하여 어업생산감소율을 추정하게 된다 (Kang et al., 2004). 어업생산에 피해를 주는 주된 인자들은 부니 (SS), 수질악화, 퇴적환경변화, 해수유동변화, 소음 및 온배수 등으로, 이들이 어느 범위까지 얼마만큼의 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다.

현재 공공사업이 수산자원에 미치는 영향에 관한 연구로는 Kim et al. (2001) 등의 해조류에 대한 영향, Kang et al. (1997)의 연안매립에 의한 피해보상 방법 연구, Chang and Chin (1978)

\*Corresponding author: francis@pknu.ac.kr

의 패류에 대한 부니의 생리학적 연구, 그리고 Yoo and Shin (1996)의 유류유출에 의한 수산자원의 피해평가 연구 등이 수행되었다. 수산자원의 생산량 감소에 대한 개체군 역학적 및 정량적 평가 방법에 관한 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 인위적인 환경변화에 의한 다양한 원인으로 인하여 영향을 받게 되는 어업생산 감소량을 파악하기 위한 이전 연구들로는 Kang et al., (2004)은 어업피해 범위와 피해정도에 대한 새로운 통계학적 접근을 시도하였으며, Kim and Kang (2000)은 연안 어업의 어업피해를 추정모형을 개발하여 어업피해결과에 따른 어업처분결정을 내릴 수 있는 객관적인 기준을 마련하였다. Kang et al., (2001)에 의한 일정한 원인에 의한 지속적인 피해를 입은 어장에 대한 누적 피해를 추정 모델에 관한 연구, Park et al., (2003)에 의한 천해어장에서 부니가 패류에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 방법, Kang and Zhang (2003)에 의한 부니가 저서생태계에 미치는 영향에 주목하여 전복생산에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 방법 등에 관한 연구들이 진행되어 왔다.

어업생산에 영향을 주는 다양한 인자들 중에서, 최근 원자력발전소의 온배수에 의한 어업생산량 감소가 문제화되면서 이러한 영향에 의한 어업피해율을 산정할 경우 객관적이고 정량적인 평가 방법의 필요성이 야기되고 있다. 특히, 우리나라의 경우 신규발전소에 대한 추가적인 부지 확보의 어려움으로 인해 기존호기 인근에 신규호기가 추가 건설되었다. 국내에서는 4개의 원자력발전소가 있으며, 각 발전소마다 4-6호기의 발전기가 동시에 건설되어 운영되고 있다. 발전소 인근해역의 상당한 규모의 온배수 방출이 예상되고 있으며, 후속발전기가 추가로 가동됨에 따른 온배수의 피해범위는 확장될 수 있다 (Kim, 1999). 온배수가 흐르는 배수로 또는 부면해수와 섞이는 해역은 수온의 시-공간적인 변동 폭이 크고 해류 등의 물리적인 영향을 받아 복잡한 환경조건을 이루게 되면서 해양생태계의 변화를 야기한다 (Langford, 1990). 이러한 대규모 발전단지의 형성은 상당한 규모의 온배수가 방출로 인한 영향으로 해수온도를 상승시켜 해양생태계 및 서식생물상에 심각한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

본 연구에서는 인위적인 생태계 훼손으로 인해 피해를 입은 어장에서 피해 진행 이후에 피해조사를 해야 하는 경우에 대해 어업피해율과 피해량을 피해요인별로 정량적으로 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 특히, 여러 피해요인들 중에서 원자력발전소 주변 해역의 온배수 배출량을 고려한 어업생산감소율 추정 모델을 제시하였다.

**자료 및 방법**

본 연구에서는 인위적인 어장훼손시 발생하는 여러 가지 피해요인으로 인해 피해를 입은 어장에서 어업피해율을 피해요인별로 정량적으로 평가할 수 있는 모델을 제시하고자 한다. Kang et al., (2001)에 의한 평균연간생산량감소율 ( $\delta$ )을 구하는 방법을 기초로 하여, 어획량의 자료의 유무에 관계없이 여러 어업생산량 감소 원인 중에서 원자력발전소 가동에 따른 온배수 배출량을 고려한 생산량 감소의 정도를 나타내는

척도로서 평균연간생산량감소율을 산출할 수 있도록 하였다.

**모델 1. 어획량이 있는 경우 평균연간생산량감소율 ( $\delta$ ) 추정법**

원자력발전소의 첫 발전기가 가동을 시작한 이후로부터 현재까지 온배수의 배출에 따른 원자력발전소 주변해역에는 어업피해가 발생하게 된다. 현재시점에서 피해이전의 자원량은 현장실사에 의한 평가가 불가능하다. 현장실사에 의해 확인 가능한 것은 현재시점의 자원량 뿐이다. 그러나 총순간자원량감소계수 ( $\gamma_g$ )가 구해진다면, 각 어업권에 대해 현재시점 ( $t_p$ )의 자원량 ( $B_p$ )으로부터 피해발생 직전시점 ( $t_0$ )의 자원량 ( $B_0$ )을 아래의 식 (1)에 의해 역추정할 수 있다.

$$B_0 = B_p \cdot e^{\gamma_g(t_p - t_0)} \tag{1}$$

피해시점의 자원량이란 식 (1)에 의해 역추정된 피해발생 직전시점의 자원량을 의미한다. 피해시점의 평균연간생산량 ( $Y$ )은  $Y=FB$ 이므로, 순간어획사망계수  $F$ 가 매년 일정하다면, 총순간생산량감소계수는 총순간자원량감소계수와 같은  $\emptyset$   $G = \gamma_g$ 로 나타내며, 아래의 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$Y_0 = Y_p \cdot e^{\phi_G(t_p - t_0)} \tag{2}$$

여기서,  $Y_0$ 는 피해발생 직전시점의 평균연간생산량,  $Y_p$ 는 현재시점의 평균연간생산량이다.

식 (1)에 의해 현재시점의 자원량에서 피해발생시점 즉, 피해시점의 자원량을 구하기 위해서는 현재시점의 자원량과 총순간자원량감소계수가 먼저 추정되어야 하는데, 현재시점의 자원량은 현장조사를 통해 추정이 가능하나 총순간자원량감소계수의 추정은 간단하지가 않다.

원자력발전소의 영향해역 내에 있는 어장의 자원량이 감소되었다면, 그 자원량 감소의 원인이 단지 원자력발전소의 발전기 가동 때문이라고는 말할 수 없다. 해당 해역의 수산자원은 원자력발전소 발전기 가동에 의한 감소뿐만 아니라, 해양오염 및 남획에 의한 생태계의 생산력 감소가 동시에 나타났다고 보는 것이 타당할 것이다. 원자력발전소에 의한 순간자원량감소계수를  $\gamma_d$  해양오염 및 남획에 의한 생태계 생산력 저하에 대한 순간자원량감소계수를  $\gamma_f$ 라 하면, 총순간자원량감소계수  $\gamma_g$ 는 아래의 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma_g = \gamma_d + \gamma_f \tag{3}$$

그러면, 총순간생산량감소계수 ( $\emptyset_G$ )는 원자력발전소에 의한 순간생산량감소계수를  $\emptyset_D$ , 해양오염 및 남획에 의한 생태계 생산력 저하에 대한 순간생산량감소계수를  $\emptyset_F$ 라 하면, 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_G = \phi_D + \phi_F \tag{4}$$

피해어장에 대한 어획량은 없으나, 과거의 생산량 (혹은 자원량, 밀도)과 현재생산량 (혹은 자원량, 밀도)의 비교분석이나 혹은 환경조사와 생물검정 실험으로 구한 어장면적별 생산량감소율 ( $\delta_{Di}$ )의 자료가 이용가능하다면, 아래의 식으로 어장별 누적생산량감소율 ( $\delta_D$ )을 계산할 수 있다.

$$\delta_D = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \delta_{Di}}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (5)$$

여기서,  $S_i$ 는 어장별 전체어장수가  $n$ 개일 때, 각 수역  $i$ 의 면적이고,  $\delta_{Di}$ 는 수역  $i$ 의 단위면적당 생산량감소율이다.

원자력발전소의 발전기 가동일 ( $t_s$ )부터 현재시점 ( $t_p$ )까지 원자력발전소에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_D$ )는 아래의 식 (6)에 의해 추정된다 (Kang et al., 2001).

$$\phi_D = \frac{-\ln(1 - \delta_D)}{t_p - t_s} \quad (6)$$

여기서, 누적생산량감소율 ( $\delta_D$ )은 원자력발전소 가동일부터 현재시점까지 누적생산감소율이다.

광역생태계 생산력 저하에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_F$ )는 우리나라 연근해 어업의 생산량 변동을 사용하여 다음과 같은 방법으로 추정할 수 있다. 즉, 우리나라 연근해 일반해면 어업의  $t$ 년에 대한 단위노력당생산량을  $C_t$ 라 하고, 어떤 첫해의 단위노력당생산량을  $C_0$ 라 하면, 이들의 관계는 식 (7)으로 나타낼 수 있다. 따라서 식 (7)을 선형화시켜서 최소자승법으로 추정하거나 혹은 비선형회귀방법에 의해 생태계 생산력 저하에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_F$ )를 추정한다.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-\phi_F t} \quad (7)$$

피해발생 직전시점 ( $t_0$ )부터 현재시점 ( $t_p$ )까지 어업의 피해가 없다고 가정하면, 이 기간 동안 예상되는 어획량은 총기대어획량 ( $Y_S$ )으로 나타낼 수 있으며, Fig. 1에서 사각형  $Y_{00p}A$ 이다. 이를 수식으로 나타내면 아래의 식 (8)과 같다.

$$Y_S = (t_p - t_0) Y_0 \quad (8)$$

그러나, 피해발생 직전시점 ( $t_0$ )부터 현재시점 ( $t_p$ )까지의 총실제어획량 ( $Y_R$ )은 Fig. 1에서 사각형  $Y_{00p}C$ 이며, 이를 수식으로 나타내면 아래의 식 (9)과 같다.

$$Y_R = \int_{t_0}^{t_p} Y_0 \cdot e^{-\phi_C t} dt = \frac{Y_0}{-\phi_C} \cdot (e^{-\phi_C(t_p)} - e^{-\phi_C(t_0)})$$

$$= \frac{Y_0}{\phi_C} \cdot (1 - e^{-\phi_C(t_p - t_0)}) \quad (9)$$

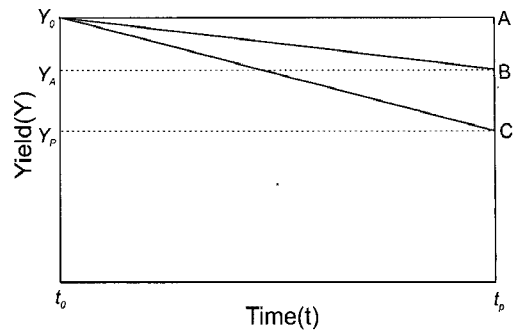


Fig. 1. A graphic explanation for estimating damages in fisheries production.  $t_0$  is the starting time of damages,  $t_p$  is the present time,  $Y_0$  is annual mean fisheries production at  $t_0$ ,  $Y_0A$  is the total expected production,  $Y_0B$  is the total production decreased by ecosystem changes other than damages by nuclear power plants,  $Y_0C$  is the actual production decreased by natural ecosystem changes and damages by nuclear power plants.

피해기간동안의 총어획감소량 ( $Y_G$ )은 총기대어획량 ( $Y_S$ )에서 총실제어획량 ( $Y_R$ )을 뺀 값으로, Fig. 1에서  $Y_0CA$  부분이며, 이를 수식으로 나타내면 아래의 식 (10)과 같다.

$$Y_G = Y_S - Y_R = Y_0 \cdot (t_p - t_0) - \int_{t_0}^{t_p} Y_0 \cdot e^{-\phi_C(t-t_0)} dt$$

$$= Y_0 \cdot (t_p - t_0) - \frac{Y_0}{\phi_C} (1 - e^{-\phi_C(t_p - t_0)}) \quad (10)$$

총어획감소량은 광역생태계 생산력 저하에 의한 감소부분과 원자력발전소에 의한 감소부분으로 구분할 수 있다. 이 중 광역생태계 생산력 저하에 의한 어획감소량 ( $Y_F$ )은 Fig. 1에서  $Y_0BA$  부분이며, 식 (10)를 사용하여 아래의 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_F = \frac{\phi_F}{\phi_C} [Y_0 \cdot (t_p - t_0) - \frac{Y_0}{\phi_C} (1 - e^{-\phi_C(t_p - t_0)})] \quad (11)$$

또한, 피해기간 동안 원자력발전소에 의한 어획감소량 ( $Y_D$ )은 Fig. 1에서 빗금친  $Y_0CB$  부분이며, 아래의 식 (12)과 같다.

$$Y_D = \frac{\phi_D}{\phi_C} [Y_0 \cdot (t_p - t_0) - \frac{Y_0}{\phi_C} (1 - e^{-\phi_C(t_p - t_0)})] \quad (12)$$

원자력발전소에 의한 평균순간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ )은 피해기간동안 원자력발전소에 의한 어획감소량 ( $Y_D$ )을 총기대어획량 ( $Y_S$ )으로 나눈 값으로, 아래의 식 (13)로부터 추정할 수 있다.

$$\bar{\delta} = \frac{Y_D}{Y_S} \quad (13)$$

모델 2. 어획량이 없는 경우 평균연간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ ) 추정법

원자력발전소에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_D$ )는 식 (5)로부터 구한  $\delta_D$ 를 식 (6)에 대입하여 구하고, 생태계 생산력 저하에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_F$ )는 식 (7)에 의해 구하며, 총순간생산량감소계수 ( $\phi_G$ )는 식 (4)를 사용하여 계산가능하다.

피해기간 내의 어업별 평균연간어획량을 알 수 없을 경우의 평균연간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ )은 식 (8)과 식 (12)을 사용하여 아래의 식 (14)로부터 추정할 수 있다.

$$\bar{\delta} = \frac{\phi_D}{\phi_G} - \frac{1}{\phi_G(t_p - t_0)} \left[ \frac{\phi_D}{\phi_G} (1 - e^{-\phi_G(t_p - t_0)}) \right] \quad (14)$$

모델 3. 온배수 배출량을 고려한 평균연간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ ) 추정법

원자력발전소의 새로운 입지 선정에 난관을 겪고 있는 우리나라에서는 기존의 부지에 다수기를 건설하고 있는 실정이다. 이들 후속기가 추가로 가동될 때 배출되는 온배수에 의해서 더 많은 피해를 입게 된다 (Kim, 1999). 그러므로 원자력발전소 주변의 어업생산량이 온배수 배출량에 비례하여 피해를 입는다고 가정할 수 있다. 여기서는 원자력발전소를 기준으로 하여 총 4개호기의 발전기가 가동됨을 기준으로 하였다.

각 발전기의 온배수 배출량의 총합인 총온배수 배출량 ( $W_T$ )은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$W_T = \sum_{i=0}^n W_i \quad (15)$$

여기서,  $W_i$ 는  $i$ 호기 온배수 배출량이고,  $n$ 은 발전소의 발전기 수이며,  $W_0$ 는 시운전에 따른 온배수 배출량이다.

온배수에 의한 누적생산감소율은 배출되는 온배수량에 비례한다고 가정하였으므로, 총 4개의 발전기가 추가 가동하여 온배수 배출량이 변동하는 시기를 기준으로 5개의 구간으로 나눌 수 있다. 어장별로 최초어업개시시기가 다르므로 각 어장이 어느 구간에 속하는지에 따라 누적생산감소율이 달라진다. 각 발전기의 가동과 동시에 온배수가 배출되는 것으로 가정하여 5개의 구간으로 구분하였다 (Fig. 2).

구간 1. 시운전부터 1호기 가동직전  $\delta_{D_0} = \delta_D \left( \frac{W_0}{W_T} \right)$

구간 2. 1호기 가동 후부터 2호기 가동직전  $\delta_{D_1} = \delta_D \left( \frac{W_0 + W_1}{W_T} \right)$

구간 3. 2호기 가동 후부터 3호기 가동직전  $\delta_{D_2} = \delta_D \left( \frac{W_0 + W_1 + W_2}{W_T} \right)$

구간 4. 3호기 가동 후부터 4호기 가동직전

$$\delta_{D_3} = \delta_D \left( \frac{W_0 + W_1 + W_2 + W_3}{W_T} \right)$$

구간 5. 4호기 가동 후부터 현시점

$$\delta_{D_4} = \delta_D \left( \frac{W_0 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{W_T} \right)$$

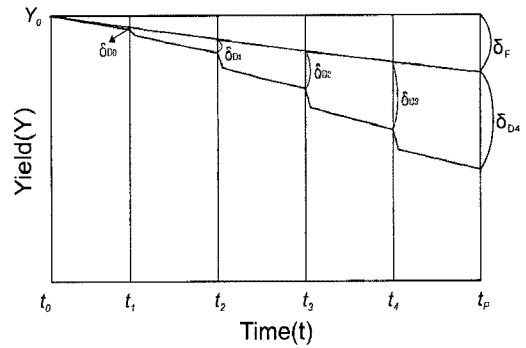


Fig. 2. A graphic explanation for estimating damages in fisheries production by considering thermal effluents with operating nuclear power generators.  $t_0$  is the starting time of damages,  $t_1$  is the operating time of the first generator,  $t_2$  is the operating time of the second generator,  $t_3$  is the operating time of the third generator,  $t_4$  is the operating time of the fourth generator,  $t_p$  is the present time,  $Y_0$  is annual mean fisheries production at  $t_0$ ,  $\delta_F$  is the damage rate by ecosystem changes other than damages by nuclear power plants,  $\delta_{D_0}$ ,  $\delta_{D_1}$ ,  $\delta_{D_2}$ ,  $\delta_{D_3}$  and  $\delta_{D_4}$  are damage rate by thermal effluents at  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ , and  $t_p$ .

5개의 구간별 누적생산감소율 ( $\delta_{D_i}$ )을 일반화하면 아래의 식과 같다.

$$\delta_{D_i} = \delta_D \left( \frac{\sum_{i=0}^n W_i}{W_T} \right) \quad (16)$$

여기서,  $\delta_{D_i}$ 는 식 (13)를 이용하여 구한 온배수를 고려하지 않은 어장별 누적생산감소율이다.

발전기 가동 시점에 따라 구해진 각 구간별 누적생산감소율 ( $\delta_{D_i}$ )을 이용하여 온배수에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_{Di}$ )를 아래와 같이 계산할 수 있다.

구간 1. 시운전부터 1호기 가동직전

$$\phi_{D_0} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_0})}{t_1 - t_0}$$

구간 2. 1호기 가동 후부터 2호기 가동직전

$$\phi_{D_1} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_1})}{t_2 - t_1}$$

구간 3. 2호기 가동 후부터 3호기 가동직전

$$\phi_{D_2} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_2})}{t_3 - t_2}$$

구간 4. 3호기 가동 후부터 4호기 가동직전

$$\phi_{D_3} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_3})}{t_4 - t_3}$$

구간 5. 4호기 가동 후부터 현시점

$$\phi_{D_4} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_4})}{t_p - t_4}$$

5개의 구간별 순간생산량감소계수 ( $\phi_{D_i}$ )를 일반화하면 아래의 식과 같다.

$$\phi_{D_i} = \frac{-\ln(1 - \delta_{D_i})}{t_{i+1} - t_i} \quad (17)$$

여기서,  $t_i$ 는  $i$ 호기 발전기 가동시점이며,  $t_0$ 는 시운전시점, 마지막 구간의  $t_{i+1}$ 은 현재시점이다.

총실제어획량 ( $Y_R$ )의 일반식은 식 (8)에서  $\phi_G$ 를  $\phi_r$ 와  $\phi_D$ 로 나누어 계산하여 구할 수 있다. 이 식에 사용되는 순간생산량감소계수 ( $\phi_{D_i}$ )는 발전기 가동 시점에 따라 어장별 피해개시시점 ( $t_s$ ) 또는 발전기가동시점 ( $t_0$ )으로부터 현시점까지의 구간별 기간으로 가중평균하여 구할 수 있다.

구간 1. 시운전 이후부터 1호기 가동 직전에 피해발생시 ( $t_0 \leq t_s < t_1$ )

$$\phi_{D^0} = \frac{\phi_{D_1}(t_p - t_4) + \phi_{D_2}(t_4 - t_3) + \phi_{D_3}(t_3 - t_2) + \phi_{D_4}(t_2 - t_1) + \phi_{D_5}(t_1 - t_0)}{t_p - t_s}$$

구간 2. 1호기 가동 이후부터 2호기 가동 직전에 피해발생시 ( $t_1 \leq t_s < t_2$ )

$$\phi_{D^1} = \frac{\phi_{D_1}(t_p - t_4) + \phi_{D_2}(t_4 - t_3) + \phi_{D_3}(t_3 - t_2) + \phi_{D_4}(t_2 - t_s)}{t_p - t_s}$$

구간 3. 2호기 가동 이후부터 3호기 가동 직전에 피해발생시 ( $t_2 \leq t_s < t_3$ )

$$\phi_{D^2} = \frac{\phi_{D_1}(t_p - t_4) + \phi_{D_2}(t_4 - t_3) + \phi_{D_3}(t_3 - t_s)}{t_p - t_s}$$

구간 4. 3호기 가동 이후부터 4호기 가동 직전에 피해발생시 ( $t_3 \leq t_s < t_4$ )

$$\phi_{D^3} = \frac{\phi_{D_1}(t_p - t_4) + \phi_{D_2}(t_4 - t_s)}{t_p - t_s}$$

구간 5. 4호기 가동 이후부터 현시점에 피해발생시 ( $t_s \geq t_4$ )  $\phi_{D_4} = \phi_D$ 이므로, 식 (17)에서 구한  $\phi_{D_i}$  값을 사용할 수 있다.

5개의 구간별 순간생산량감소계수 ( $\phi_{D_i}$ )를 일반화하면 아

래의 식과 같다.

$$\phi_{D^i} = \frac{\phi_{D_n}(t_p - t_n) + \sum_{k=i+1}^{n-1} \phi_{D_k}(t_{k+1} - t_k) + \phi_{D_i}(t_{i+1} - t_s)}{t_p - t_s} \quad (18)$$

여기서,  $n$ 은 최종 가동된 발전기의 수,  $t_p$ 는 현재시점이고,  $t_s$ 는 피해가 시작된 시점, 즉 어장별 피해개시시점이다. 시운전 이전에 어업을 시작한 경우는 피해시점이 시운전시점과 동일하다.

총실제어획량 ( $Y_R$ )의 일반식은 식 (8)에서 총순간생산량감소계수 ( $\phi_G$ )를 광역생태계 생산력 저하에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_F$ )와 원자력발전소에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_D$ )로 나누어 계산하여 구할 수 있다. 이 식에 사용되는 순간생산량감소계수 ( $\phi_D$ )는 위의 식 (18)에서 구한 온배수에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_{D_i}$ )이다. 광역생태계 생산력 저하에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_F$ )는 온배수 배출량을 고려하지 않은 경우와 동일하게 구할 수 있다. 따라서 위의 온배수에 의한 순간생산량감소계수를 구하는 5개의 구간에 대한  $\phi_{D_i}$ 를 사용해서 총실제어획량 ( $Y_R$ )을 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$Y_R = \int_{t_s}^{t_p} Y_0 e^{-(\phi_F + \phi_D)t} dt = \frac{Y_0}{\phi_F + \phi_D} (1 - e^{-(\phi_F + \phi_D)(t_p - t_s)}) \quad (19)$$

각 어장별 피해개시시점을  $t_s$ 라 하면, 총기대어획량 ( $Y_S$ )은 모델 1에서와 같이 식 (7)을 사용하여 계산할 수 있다.

피해기간동안의 총어획감소량 ( $Y_G$ )은 모델 1의 식 (9)에서와 같이 총기대어획량 ( $Y_S$ )에서 총실제어획량 ( $Y_R$ )을 뺀 값으로, Fig. 2에서 음영으로 나타낸 온배수에 의한 생산량 감소 부분과 광역생태계 생산력 저하로 인한 생산량 감소 부분을 합한 것이다. 따라서, 온배수로 인한 어획감소량 ( $Y_D$ )은 총어획감소량 중에서 온배수로 인한 생산량감소율을 고려하여 각 어장별로 식 (20)과 같이 구할 수 있다.

$$Y_D = Y_G \left( \frac{\phi_{D^i}}{\phi_G} \right) \quad (20)$$

각 어장별 평균생산감소율 ( $\bar{\delta}$ )은 온배수로 인한 어획감소량을 총기대어획량으로 나눈 값으로 구할 수 있다.

$$\bar{\delta} = \frac{Y_D}{Y_S} \quad (21)$$

모델 4. 어획량이 없는 경우 온배수배출량을 고려한 평균연간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ ) 추정법

어장별로 피해기간 내의 원자력발전소에 의한 평균연간생산량감소율은 원자력발전소에 의한 어획감소량 ( $Y_D$ )을 총기대어획량 ( $Y_S$ )으로 나눈 값이다. 그러나 이 식은 피해기간 내의

각 어장별 평균연간어획량을 알 수 없을 경우 평균연간생산감소율을 구할 수 없으므로, 모델 3에서와 동일한 방법으로 5가지의 경우에 대한  $\phi_D^i$ 를 구하여 식 (14)에 대입하여 아래의 식 (22)와 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{\delta} = \frac{\phi_D^i}{\phi_G} - \frac{1}{\phi_G(t_P - t_0)} \left[ \frac{\phi_D^i}{\phi_G} (1 - e^{-\phi_G(t_P - t_0)}) \right] \quad (22)$$

여기서,  $\phi_D^i$ 는 원자력발전소의 온배수 배출량을 고려한 순간생산량감소계수,  $\phi_G$ 는 총순간생산량감소계수,  $t_P$ 는 현재 시점이며,  $t_0$ 는 피해시점이다.

### 결 과

#### 모델 적용 어장 및 피해규모

본 연구에서는 어업피해가 발생한 어장에 대해 어업피해율을 산정할 때 어획량 자료가 있는 경우와 없는 경우, 그리고 온배수 배출량을 고려한 경우에 대한 각각의 어업생산량감소율 추정 모델을 제시하였다. 따라서 각 경우에 대한 어업생산량감소율 추정 결과를 비교·분석하기 위해 고리원자력발전소 인근 어장을 대상으로 적용하였으며, 온배수 배출량이 크게 변동하는 시기를 기준으로 산정하였다.

원자력발전소 주변해역의 어업생산량 및 어업생산량감소율은 원자력발전소의 규모와 발전기의 수에 따라 배출되는 온배수량에 비례한다고 가정할 수 있다. 그러므로, 원자력발전소 발전기의 시운전부터 총 4개의 발전기가 단계적으로 가동하여 현재 시점에 이르기까지의 온배수의 배출량이 변화하였음을 고려하면, 시간에 따른 어업생산감소율 변동은 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.  $t_0$ 는 원자력발전소의 시운전 시점,  $t_1$ 는 원자력발전소의 발전기 1호가 가동 시점,  $t_2$ 는 발전기 2호가 가동 시점,  $t_3$ 는 발전기 3호가 가동 시점,  $t_4$ 는 발전기 4호가 가동 시점이고,  $t_P$ 는 현재시점을 나타낸다.  $\delta_{D0}$ 는 광역생태계 생산력저하에 의한 생산량 감소부분이며,  $\delta_{D0}$ 부터  $\delta_{D4}$ 는 원자력발전소의 발전기가 단계적으로 가동될 때마다 달라지는 온배수에 의한 어업생산량 감소부분이다 (Fig. 2).

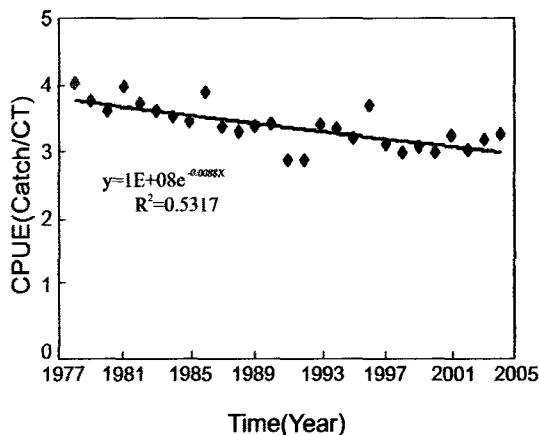


Fig. 3. Time series of CPUE by Korean fishery.

따라서 본 연구에서는 고리원자력발전소 발전기의 추가 건설 시기에 따라 5개의 구간을 기준으로 하여 인근 6개의 어장을 대상으로 각 모델에 의한 어업피해율을 산정하였다. 각 구간의 기준이 되는 고리원자력발전소의 발전기의 가동시기는 1호기가 1978년 4월 29일이었으며, 2호기가 1983년 7월 25일, 3호기가 1985년 9월 30일, 그리고 4호기가 1986년 4월 29일이었다. 원자력발전소가 건설되기 이전에 어업을 개시한 1개의 어장과 시운전부터 각 발전기가 추가 건설된 시기별로 어업을 개시한 5개의 어장을 선정하여 적용하였다. 원자력발전소 건설이전부터 어업을 실시한 경우는 피해시점과 원자력발전소 가동시점이 일치하지만, 원자력발전소 가동이후에 어업을 개시한 경우는 각 어장의 어업개시시점이 피해시점이 된다. 선정된 6개의 각 어장별 연간생산량은 10,000kg, 피해규모는 전 어장에 모두 동일하게 10%의 어업피해가 발생한 것으로 설정하였다. 모델 3과 4에서 발전기별 온배수 일일배출량은 1 m<sup>3</sup>/day, 그리고 시운전기간동안은 일일배출량의 절반인 0.5 m<sup>3</sup>/day으로 가정하였으며, 원자력발전소의 시운전시점을 정확히 알 수 없었으므로 첫 발전기기가 가동된 해의 1월 1일부터 시운전을 시작한 것으로 가정하였다.

#### 모델 적용 결과

Table 1은 4개의 모델을 사용하여 각 어장 (A-F)에 적용시킨 결과이다. 어장 A는 발전소가동일 이전에 어업을 시작하여 피해시점이 발전소가동일이며, 그 외의 어장은 각 어업의 최초어업개시일이 피해시점으로 설정되었다. 각 어장의 피해기간은 그 피해시점으로부터 현재시점까지 최장 27.5년에서 15.5년 사이였다. 모델 적용 해역의 누적생산량감소율 ( $\delta_D$ )은 6개의 어장 모두 피해규모를 10%로 가정하였으므로 0.1000이고, 광역생태계의 생산력 저하에 의한 순간생산량계수 ( $\phi_D$ )는 우리나라 일반해면어업의 어업생산량과 CPUE을 이용하여 0.0088로 추정되었으며 (Fig. 3), 본 논문에서 선정된 6개의 어장에 동일하게 적용하였다. 그리고 각 어장의 총순간생산량감소계수 ( $\phi_G$ )는 원자력발전소에 가동에 의한 순간생산량감소계수 ( $\phi_D$ )에 의해 변하고,  $\phi_D$ 는 어업의 피해기간에 따라 변하게 된다.

평균연간생산량감소율 ( $\bar{\delta}$ ) 추정 결과를 살펴보면 (Table 1), 모델 1과 2, 그리고 모델 3과 4에 의한 추정치는 어획량 자료의 유무와 상관없이 동일한 결과를 나타내었다. 모델 1과 2에 의해 계산된  $\phi_D$ 는 0.0038~0.0068/yr,  $\phi_G$ 는 0.0126~0.0156/yr의 범위를 나타냈다. 각 어장에서 현재시점의 연간생산량을 10,000kg/yr이라고 가정하고, 피해시점의 생산량을 계산해보면, 피해기간이 길수록 생산량이 많아지며, 원자력발전소와 생태계 변화에 의한 감소량도 많아지는 것으로 나타났다. 피해기간동안의 기대어획량은 최고 388,464kg에서 최소 196,853kg이었으며, 총어획감소량은 60,232~21,961kg 범위이었다. 원자력발전소에 의한 어획감소량은 18,289~9,584kg으로, 전체 감소량의 최소 30%에서 최대 44%를 차지하였다. 평균연간생산량감소율은 0.0471~0.0487/yr로 계산되었다 (Table 1). 모델 3과 4에 의해 계산된  $\phi_D$ 는 0.0038~0.0047/yr,  $\phi_G$ 는 0.0126~0.0135/yr의 범위를 나타내었다. Table 1에서와

Table 1. Calculations of model parameters for estimating damages in fishery production considering thermal effluents of nuclear power plants, which is applied for fishing grounds near a nuclear power plant on the east coastal of Korea

Model	Fishing ground	$t_0$ (YYYY.MM.DD)	Term of damage	$\delta_D$	$\phi_D$	$\phi_D^i$	$\phi_F$	$\phi_G$	$Y_P$	$Y_0$	$Y_S$	$Y_R$	$Y_G$	$Y_F$	$Y_D$	$\bar{\delta}$
1	A	1978.01.01	27.457	0.1000	0.0038	-	0.0088	0.0126	10,000	14,148	388,464	328,232	60,232	41,943	18,289	0.0471
	B	1978.01.16	27.416	0.1000	0.0038	-	0.0088	0.0126	10,000	14,143	387,742	327,678	60,065	41,807	18,257	0.0471
	C	1980.08.21	24.820	0.1000	0.0042	-	0.0088	0.0130	10,000	13,823	343,100	293,095	50,005	33,733	16,272	0.0474
	D	1984.02.23	21.314	0.1000	0.0049	-	0.0088	0.0137	10,000	13,403	285,677	247,639	38,038	24,356	13,682	0.0479
	E	1985.12.02	19.540	0.1000	0.0054	-	0.0088	0.0142	10,000	13,196	257,839	225,176	32,663	20,253	12,410	0.0481
	F	1989.12.30	15.463	0.1000	0.0068	-	0.0088	0.0156	10,000	12,731	196,853	174,892	21,961	12,377	9,584	0.0487
2	A	1978.01.01	27.457	0.1000	0.0038	-	0.0088	0.0126	-	-	-	-	-	-	-	0.0471
	B	1978.01.16	27.416	0.1000	0.0038	-	0.0088	0.0126	-	-	-	-	-	-	-	0.0471
	C	1980.08.21	24.820	0.1000	0.0042	-	0.0088	0.0130	-	-	-	-	-	-	-	0.0474
	D	1984.02.23	21.314	0.1000	0.0049	-	0.0088	0.0137	-	-	-	-	-	-	-	0.0479
	E	1985.12.02	19.540	0.1000	0.0054	-	0.0088	0.0142	-	-	-	-	-	-	-	0.0481
	F	1989.12.30	15.463	0.1000	0.0068	-	0.0088	0.0156	-	-	-	-	-	-	-	0.0487
3	A	1978.01.01	27.457	0.1000	-	0.0038	0.0088	0.0126	10,000	14,129	387,953	328,003	59,950	41,905	18,045	0.0465
	B	1978.01.16	27.416	0.1000	-	0.0038	0.0088	0.0126	10,000	14,124	387,224	327,446	59,778	41,769	18,009	0.0465
	C	1980.08.21	24.820	0.1000	-	0.0041	0.0088	0.0129	10,000	13,766	341,683	292,457	49,226	33,638	15,589	0.0456
	D	1984.02.23	21.314	0.1000	-	0.0045	0.0088	0.0133	10,000	13,286	283,175	246,501	36,675	24,210	12,464	0.0440
	E	1985.12.02	19.540	0.1000	-	0.0047	0.0088	0.0135	10,000	13,025	254,501	223,648	30,853	20,074	10,779	0.0424
	F	1989.12.30	15.463	0.1000	-	0.0047	0.0088	0.0135	10,000	12,323	190,556	171,967	18,589	12,107	6,481	0.0340
4	A	1978.01.01	27.457	0.1000	-	0.0038	0.0088	0.0126	-	-	-	-	-	-	-	0.0465
	B	1978.01.16	27.416	0.1000	-	0.0038	0.0088	0.0126	-	-	-	-	-	-	-	0.0465
	C	1980.08.21	24.820	0.1000	-	0.0041	0.0088	0.0129	-	-	-	-	-	-	-	0.0456
	D	1984.02.23	21.314	0.1000	-	0.0045	0.0088	0.0133	-	-	-	-	-	-	-	0.0440
	E	1985.12.02	19.540	0.1000	-	0.0047	0.0088	0.0135	-	-	-	-	-	-	-	0.0424
	F	1989.12.30	15.463	0.1000	-	0.0047	0.0088	0.0135	-	-	-	-	-	-	-	0.0340

$\delta_D$  : Total cumulative damage rate in fishery production  
 $\phi_D$  : Instantaneous decreasing coefficient of fishery production by nuclear power plant  
 $\phi_D^i$  : Instantaneous decreasing coefficient of fishery production by nuclear power plant with generator  $i$   
 $\phi_F$  : Instantaneous decreasing coefficient of fishery production by natural ecosystem changes  
 $\phi_G$  : Instantaneous decreasing coefficient of gross fishery production  
 $Y_P$  : Annual mean fishery production at present time  
 $Y_0$  : Annual mean fishery production without damages  
 $Y_S$  : Total expected production  
 $Y_R$  : Actual production decreased by natural ecosystem changes and damages by nuclear power plants  
 $Y_G$  : Total damage amount of fishery production by natural ecosystem changes and by nuclear power plant  
 $Y_F$  : Annual damage amount of fishery production by natural ecosystem changes  
 $Y_D$  : Annual damage amount of fishery production by nuclear power plant  
 $\bar{\delta}$  : Annual mean damage rate in fishery production

같이 현재시점의 연간생산량을 10,000kg/yr이라고 가정하고, 피해시점의 생산량을 계산해보면, 피해기간동안의 기대어획량은 최고 387,953kg에서 최소 190,556kg이었으며, 총어획감소량은 59,950~18,589kg 범위이었다. 원자력발전소에 의한 어획감소량은 18,045~6,481kg으로, 총어획감소량의 30~35%의 비율을 차지하였다. 이 모델에서의 평균연간생산량감소율은 0.0340~0.0465/yr로 계산되었다 (Table 1).

### 고찰

공익사업을 위한 대규모 공유수면의 매립·간척 등으로 인하여 어업피해가 발생한 경우 피해어업의 손실평가를 산출하도록 수산업법으로 정하고 있다. 이에 따른 어업손실보상의

경우 일반적으로 전문기관에서 어업피해조사가 먼저 이루어진 다음 피해정도에 따라 어업처분을 결정하고 이에 의거 적정보상액을 산정하여 피해어민들에게 보상해 주는 것이 그 동안의 관례였으며, 가장 바람직한 방법이다. 또는 공사 이전에 이루어지는 환경영향조사를 통해 피해조사 대상어민이 대략적으로 결정되고 이들과의 사전협의를 통하여 공사시작과 더불어 어업피해조사가 병행 실시되는 경우도 있다. 이 경우 정상상태의 3년간 어업생산량 자료로부터 평균연간생산량을 추정하여 평년수익액을 결정하고 어업피해보상액을 산정한다. 그러나 이와 달리 피해조사를 착수한 시점에 이미 피해가 현저하게 진행되어 피해발생시점의 조사 자료가 없는 경우가 종종 있으며, 이러한 경우에는 어업피해정도를 어떻게 판

단할 것인가가 중요한 문제가 된다. 본 연구는 세 가지 조사시점 가운데 피해발생 이후 피해조사를 해야 할 경우 현재시점에서 이용가능한 정보수준에 따라 어업피해율과 피해량을 추정하는 방법을 제시하였다.

자료 및 방법에서 4가지 경우에 대한 모델을 설명하였는데, 각 모델에 의한 결과를 비교해보면, 모델 1과 2, 그리고 모델 3과 4로부터 추정된 평균연간생산량감소율 ( $\delta$ )은 어획량 자료의 유·무와 상관없이 동일한 결과를 나타내어 크게 2개의 모델로 보아도 무방할 것으로 생각된다. Kang et al., (2001)은 현재의 환경 및 생물조사를 통해 도출된 현재시점의 생산량 수준을 바탕으로 피해발생시점의 생산수준을 역추정하여 누적된 피해정도를 산정하는 방법을 제시하였는데, 본 연구에서는 이 방법을 일부 수정하여 어획감소량을 산정하는 부분에서 광역생태계 생산력 저하에 의한 감소부분과 원자력발전소에 의한 감소부분을 연속함수의 형태로 모델 1을 개발하였다. 모델 2는 어획량자료의 유무와 관계없이 어업생산감소율을 구할 수 있도록 하였다. 모델 3과 4는 모델 1과 2에서 파생되었으며, 온배수 배출에 따른 피해율을 고려한 것으로 원자력발전소 주변해역의 피해보상 등과 같은 특수한 경우에 적용할 수 있다. 즉, 본 연구에서 제시한 바와 같이 정보의 유형 또는 수준에 따라 사용되는 모델이 다르지만, 피해율을 추정하기 위한 각 모델의 이론적 논리는 동일하다.

Kang et al., (2001)이 제시한 누적생산량감소율 및 어획감소량 추정방법에는 다음과 같은 논리적 및 수리적인 검토가 보완되어야 할 것으로 생각된다. 첫째, Kang et al., (2001)이 제시한 모델에 있어서 식 (3)의  $\gamma_d = \frac{-\ln(1-\delta)}{t_p - t_s}$ 에서  $\delta$ 를 착공시점 ( $t_s$ )에서 현재시점 ( $t_p$ )까지의 ‘평균연간생산량누적감소율’이라고 했는데, 이것은 ‘누적생산량감소율’이 되어야 할 것으로 생각된다. 왜냐하면 이것은 평균치가 아니라 하나의 추정된 간격을 (interval rate)이고, 또한 연간율이 아니라 ( $t_p - t_s$ ) 동안의 누적감소율이기 때문이다. 둘째, 대규모 공공사업의 시행 이전과 이후의 평균연간어획량 ( $Y$ ,  $Y'$ )을 구하는데 있어서, 어장단위면적당 연평형어획량 ( $Y_E$ )을 사용하는 것은 모순인 것으로 보인다. 즉, 공공사업의 시행으로 인해 매년 피해가 증가되는 것으로 간주하고 있기 때문에 평형어획량이라 정의할 수 없기 때문이다. 셋째, 식 (1)  $\delta = \psi + (\alpha - \psi) \cdot \delta_E$ 에서 대규모 공공사업의 시행으로 인한 피해는 실제로 생태계 악화와 더불어 공사시점부터 연속적으로 일어나고 있는 현실이므로 현재시점의 어장제한율 ( $\alpha$ )를 구하는 것은 의미가 없는 것으로 보인다. 그러나, 어장폐쇄조치율 ( $\psi$ )은 공사시점부터 대개 어장을 폐쇄하기 때문에 직접적인 피해율로 간주할 수 있다.  $Y_E$ 를 공공사업의 시행으로 인해 피해를 입은 생산량이라고 했으므로 이것으로 구한  $\delta_E$ 에 다시 피해를 입은 어장에 대한 어장제한율 ( $\alpha$ )을 곱해서  $\delta$ 를 구하는 것은 이중으로 어장피해를 고려한 것이다. 공공사업의 시행으로 인한 생산량 누적감소율은 Kang et al., (2001)의 식 (1)보다 본 논문의 식 (13)을 사용하여 추정하는 것이 더 타당할 것으로 생각된다.

만약 폐쇄어장이 있는 경우, 식 (13)을 아래의 식 (23)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_D = \psi + \frac{\sum S_i \delta_{Di}}{\sum S_i} \tag{23}$$

마지막으로, Kang et al., (2001)이 제시한 어획량 및 어획감소량 추정에 있어서 추정식을 무한등비급수의 합으로 나타내었는데, 이것은 만약 피해 년수가 적으면 오차가 클 수 있다. 즉, 예를 들어, 인위적인 생태계 훼손에 의한 피해시점 ( $t_0$ )에서 현재시점 ( $t_p$ )까지의 총실제어획량 ( $Y_R$ )은 Fig. 1에서 시간  $t_0$ 에서  $t_p$ 까지의 기간에 대한 어획량인  $Y_{tot,C}$ 의 면적이 될 것이다. 따라서, 곡선  $Y_0C$  아래의 면적은 단위시간 간격 내에 있을 수 있는 수많은 시간  $t$ 에 대해 이산함수를 이용한 합의 개념보다는 본 연구에서와 같이 연속함수를 이용하여 산출하는 것이 더욱 정확할 것으로 보인다.

최근 어민들의 권익 신장 및 의식이 크게 고취되어 기존의 어업손실평가에 대한 불복 소송이 계속 늘어나면서 재조사를 통한 새로운 어업피해 감정이 이루어지고 있는 경우가 종종 발생하고 있다. 이런 경우 대부분의 감정은 보상이 종료된 후 수년이 경과했거나 공사종료 후 상당기간이 경과한 시점에서 피해조사가 이루어져야 하므로 어업피해정도를 판단하는데 많은 한계점이 있었다.

본 연구에서는 피해진행 이후에 수행되는 피해조사에서 정보의 유형 및 수준에 따라 적용할 수 있는 간접적인 어업생산감소율 추정 모델을 개발하였으며, 이 모델을 사용하여 피해어장의 어업피해율과 피해량을 보다 객관적이고 논리적으로 구할 수 있는 방법들을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 방법들은 앞으로 이와 같이 특수한 경우의 어업피해조사를 수행하는데 유익한 방법으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- Chang SD and Chin P. 1978. Effect of suspended silt and clay on the mortality of some species of bivalves. Bull Kor Fish Soc 11, 227-231.
- Kang YJ, Kim KS and Ha KL. 1997. A study on the estimation method of compensation for restriction in licensed fisheries caused by a large scale coastal reclamation. J Fish Busin Admin 27, 71-83.
- Kang YJ and Zhang CI. 2003. A quantitative population dynamic model for estimating damages in fishery production in the benthic ecosystem of abalone culture grounds. J Kor Fish Soc 36, 409-416.
- Kang YJ, Kim KS, Zhang CI, Park CK and Lee JS. 2004. A new statistical approach for the estimation of range and degree of fisheries damages caused by public undertaking. J Fish Busin Admin 35, 117-132.



- Kang YJ, Kim KS and Yoo MS. 2001. A study on the model of measuring ex-post cumulative fisheries damages: Focused on the sedentary fisheries. *J Fish Busin Admin* 32, 23-50.
- Kim YH 1999. Effects of construction and operation of nuclear power plants on benthic marine algae. *Korean J Environ Biol* 17, 379-387.
- Kim JA, Cho KH and Lee HHM. 2001. Vegetation structure of the Kungae reclaimed wetland in a coastal lagoon of East Sea, Korea. *J Kor Ecol* 24, 27-34.
- Kim KS and Kang YJ. 2000. Economic models for evaluating fisheries damages and fisheries administrative measures for coastal fisheries. *J Fish Busin Admin* 31, 11-26.
- Kim YH. 1999. Effects of construction and operation of nuclear power plants on benthic marine algae. *Korean J Environ Biol* 17, 379-387.
- Langford TEL. 1990. Ecological effects of thermal discharges. Elsevier Applied Science, 468pp.
- Park JS, Kang YJ and Zhang CI. 2003. A quantitative method for estimating damages in fishery production due to artificial environmental deterioration in the tidal flat fishing grounds. *J Kor Fish Soc* 36, 402-408.
- Yoo SJ and Shin KS. 1996. Oilspill damage assessment of natural fisheries resources by ecological models. *J Kor Fish Soc* 29, 174-190.

---

2009년 4월 29일 접수

2009년 8월 3일 수정

2009년 10월 16일 수리