

# 농업환경정책 효과의 동태 분석

## 최적제어법의 응용

김 은 순\*

1. 서론
2. 환경정책 효과분석 모형
3. 환경정책 효과의 비교동태 분석
4. 요약 및 결론

### 1. 서론

농업은 환경보전적인 긍정적 측면을 갖는 반면 농업생산의 부산물로서 야기되는 환경오염은 농업의 지속적 성장을 저해하고 환경의 질을 저하시키는 부정적 측면을 갖고 있다. 특히 농업생산성 증가를 위한 과다한 화학비료 및 농약의 사용 그리고 가축사육두수의 증가에 따른 다량의 가축분뇨의 방출은 수질오염, 토양오염, 대기오염 등의 문제를 야기하여 사회후생을 저하시키며 장기적으로는 농업발전을 저해한다고 보고 있다.

앞으로의 농업의 발전방향은 단순한 농업 GNP의 극대화가 아니고 농업의 환경외부효과를 고려한 녹색 GNP를 극대화하는 환경조

화형 농업이 추진되어야 한다. 그런데 환경자원은 소유가 특정인에 제한되어 있지 않고 또한 환경의 외부효과의 비배제성 비경합성의 속성으로 인하여 정책적 개입이 결여된 상황에서는 환경의 개선은 기대하기 어렵다.

환경오염 및 정책의 효과분석에 관한 연구는 외국문헌의 경우 이미 1970년대부터 활발히 진행되어 왔는데, 주로 일반균형론적 접근에 의한 동태적 최적화 모형을 개발하여 환경오염의 외부불경제성의 동태적 영향을 분석하고 적정 오염규제 정책을 유도하고자 하였다. 이에 대한 연구는 많은 연구 중에서 Keeler 외(1971), Plourde(1972), Comolli(1977), Forster(1977), Tahvonen(1993)을 들 수 있다. 그러나 이들 연구는 이론적 개념적 연구에 국한되어 있다. 한편 농업에 있어서 환경오염정책의 효과 분석에 관한 외국의 연구는 대부분 특정지역에 있어서 특정작목의 경영성과분석에 제한되어 있다.

환경정책의 거시적 분석에 관한 국내 연구는 이정전(1984), 환경처(1991), 양봉민 외

\* 부연구위원

(1992), 홍금우(1993), 김일중(1993), 김홍균 외(1994) 등이 있다. 이정전(1984)은 산업연관표 분석에 의해 가능한 공해모델을 이론적으로 국내에 제시하는데 기여하였다고 본다. 양봉민 외(1992)와 환경처(1991)는 이정전에 의해 제시된 투입·산출 분석을 통하여 산업별 오염발생 계수 및 오염 영향력계수 등을 계측하고, 환경오염을 계량화하는데 크게 기여하였으며 아울러 적정 환경투자 규모를 추계하였다. 그러나 양봉민 외의 연구는 산업별·산업간 환경정책의 파급효과에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 홍금우(1993)는 환경오염의 외부효과를 정태적으로 분석하는데 그쳤다. 김일중(1993)은 최적제어법을 원용하여 정부가 소득세와 공채발행을 환경투자재원 조달의 정책변수로 동시에 사용하였을 때 균제상태 경로의 특성을 분석하였다. 김홍균 외(1994)는 개방경제하의 일반균형 성장모형의 개발을 통하여 환경오염과 투자의 효과를 이론적 및 실증적으로 분석하였다. 이상의 국내의 연구는 모두 농업환경정책을 그 구체적 대상으로 다루지 않았다는 공통점을 가지고 있다.

한편 국내문헌 중에서 농업정책의 파급영향 분석을 위한 모형에 관한 연구는 이정환 외(1982), 한두봉(1994), 조재환 외(1994) 등이 있다. 그러나 이들 연구의 공통점은 농업환경의 외부성에 관한 고려가 이루어지지 않았다는 점이며 따라서 농업환경정책의 효과를 분석하는데 제약이 있다.

본 논문에서는 농업부문 환경관련정책들의 수행에 앞서 수행가능한 정책수단들이 농업환경오염, 농업생산, 생산요소 수요, 녹색 GNP

등에 미치는 효과의 분석을 목적으로 단순화한 농업부문 최적화 동태모형을 개발한 다음 적정 농업환경정책의 선택조건과 대안적 농업환경정책의 증장기적 효과를 분석한다. 제2장에서는 농업관련 환경정책의 적절한 선택과 그 증장기적 효과 분석을 목적으로 하는 기초적인 모형의 개발을 위하여 최적제어법에 근거한 농업부문 성장모형이 개발된 다음, 환경의 외부효과가 감안된 경우에 사회적으로 최적한 자원의 배분조건을 검토한다. 제3장에서는 2장에서 개발된 모형을 이용하여 수행가능한 대안적 농업환경정책 수단으로서 오염배출세, 자재투입세, 산출세가 농업생산 및 환경오염 등에 미치는 효과를 비교동태분석(Caputo의 분석기법을 활용)하고 그 이론적 함의를 도출한다. 제4장에서는 요약 및 결론으로 끝을 맺는다.

## 2. 환경정책 효과분석 모형

### 2.1. 모형의 설정

#### 2.1.1. 농업부문 녹색GNP의 극대화

농업부문에 있어서 바람직한 발전방향은 농업생산과 환경과의 조화를 고려한 발전이어야 할 것이다. 농업부문 GNP의 극대화가 지표가 될 때 농업환경은 점차 열악해지고, 농업환경만을 강조할 때 농업성장이 크게 저해될 것이다. 따라서 이 두 가지 지표를 절충 또는 조화할 수 있는 사회적 지표로서 농업부문 녹색GNP(green GNP)의 개념이 도입된

다. 농업부문 녹색GNP는 농업부문 GNP에서 농업이 환경에 미치는 외부효과를 가감한 것으로 정의한다.

$$(1) GY(t) = [ Y(t) \cdot P^Y - C(t) ] + [ W(t) - D(t) ]$$

GY(t): t기의 농업부문 녹색GNP

Y(t) : t기의 농업부문 총산출

C(t) : t기의 농업부문 총생산비용

W(t) : t기에 농업이 환경에 미치는 외부경제 효과(positive externality)

D(t) : t기에 농업이 환경에 미치는 외부불경제효과(negative externality)

P<sup>Y</sup> : 농산물 가격

### 2.1.2. 농업총생산함수

농업생산요소는 토지·노동·자본 등 환경에 중립적인 생산요소와 비료·농약·대동물 등 오염물질배출 생산요소로 구분하였고 이들 생산요소는 전통적인 수확체감법칙이 적용된다고 본다. 한편 환경오염은 농업생산 자체를 저해하는 요소로서 취급되었다. 농업부문 총산출(Y)은 다음과 같이 정의한다.

$$(2) Y(t) = Y(A(t), X(t), K(t), E(t))$$

A(t) : t기의 토지·노동 등의 환경중립적 생산요소량,  $Y_A > 0, Y_{AA} < 0$

X(t) : t기의 비료·농약·대동물 등의 오염물질배출 생산요소량,  $Y_X > 0, Y_{XX} < 0$

K(t) : t기의 농업자본스톡(농업환경자본스톡 제외),  $Y_K > 0, Y_{KK} < 0$

E(t) : t기의 농업환경오염스톡,  $Y_E < 0$

### 2.1.3. 농업총생산비용

농업생산에 투하된 생산요소의 생산비용은 각각의 생산요소 투하량에 생산요소 단위비용을 곱하여 산출된다. 따라서 농업총생산비용은 이들 각각의 생산비용의 합으로서 계산된다.

$$(3) C(t) = C(X(t), A(t), K(t), Ke(t)) = P^X \cdot X(t) + P^A \cdot A(t) + P^K \cdot [K(t) + Ke(t)]$$

Ke(t) : t기의 농업환경자본스톡

여기서 P<sup>X</sup>, P<sup>A</sup>, P<sup>K</sup>는 각각 생산요소 X, A, K(또는 Ke)에 대한 단위비용을 나타낸다. 이때 P<sup>X</sup>는 비료·농약·대동물 단위비용의 벡터로서 해석될 수 있고 P<sup>A</sup>는 단위면적당 토지용역비와 노임률의 벡터로서, P<sup>K</sup>는 자본사용비용률로서 해석된다.

### 2.1.4. 농업의 환경외부효과

농업은 농업생산의 부산물로서 홍수예방, 대기정화, 녹색경관제공 등의 공익적 기능을 수반한다. 이를 농업환경의 외부경제효과라고 일컬어지는 것으로 이는 시장의 가치체계에 반영되지 아니하나 농민은 물론 국민전체의 효용을 증대시키는 효과를 가져온다. 이러한 농업의 공익적 기능(가치로 환산)<sup>1</sup>은 농

<sup>1</sup> 국내에서 농업의 공익적 기능을 가치로 환산하기 위한 노력은 가상가치평가법(CVM)에 의거하여 산발적으로 진행되어 왔다. 이에 대한 연구로는 윤여창 외(1993) 오세익 외(1995) 등이 있다. 한편 농경지의 손실에 따른 사회적 비용에 대한 계산은 지탱가능성 경제복지지표(ISEW) 개발을 위한 시도로서 오용선(1994)에 의하여 이루어졌다.

경지면적이 많을수록<sup>2</sup> 그리고 농업환경의 질이 높을수록 클 것이라고 보고 농업이 환경에 미치는 외부경제효과는 토지·노동(A)의 증가함수로서 농업오염스톡(E)의 감소함수로서 가정한다.

$$(4) W(t) = W(A(t), E(t))$$

$$W_A > 0, W_E < 0$$

한편 농업생산의 증대를 목적으로 사용되는 비료·농약·대동물 등은 생산의 증대를 가져오는 반면에 농업부문의 환경오염을 유발하는 주된 요소이다. 농업에 의하여 배출된 오염은 토양중 대기중 또는 수중에 집적되어 오랜동안 잔존하며 물·대기·토양 등의 자원을 훼손하고 이는 먹이사슬을 통해 현재 또는 미래의 소비자들의 건강을 위해하며 또한 생산성을 저해한다. 이를 환경오염의 사회적 비용 또는 외부불경제효과라고 일컬어진다. 먼저 농업부문에 의한 매기의 환경오염스톡의 순변화는 매기 농업부문에서 유출되는 환경오염배출량에서 자연의 환경정화능력을 제외한 부분만큼 증가한다. 여기서 농업부문에 의한 환경오염배출량은 비료·농약·대동물 등의 생산요소가 증가함에 따라 체증적으로 증가하고 반면에 환경의 개선을 위해 투자된 환경자본스톡이 증가할수록 감소한다고 가정한다.

$$(5) \dot{E}(t) = \partial E(t) / \partial t = l(X(t), Ke(t)) - \rho E(t)$$

$\dot{E}(t)$  : t기의 농업부문 환경오염스톡의 순변화

$l(t)$  : t기에 농업부문에서 배출된 환경오염량,  $l_x > 0, l_{xx} > 0, l_{ke} < 0$

여기서  $\rho$ 는 자연의 환경정화능력( $0 < \rho < 1$ )을 나타낸다. 식 (5)는 만약 농업부문에 의한 환경오염이 자연의 환경정화 능력만큼만 배출된다면 환경오염스톡은 증가하지 않게 되고 따라서 환경오염의 문제는 사라질 것을 암시한다. 그러나 실제로 생산에 의한 환경오염의 배출량은 자연의 정화능력을 상회하고 따라서 환경오염스톡은 점증하고 있으며 이로 인한 환경오염의 문제는 심화되고 있다.

다음으로 물·토양·대기 중에 집적된 환경오염의 사회적 비용의 계량화에는 직접적 방법과 간접적 방법이 있다. 직접적 방법은 환경오염에 따르는 재해가 발생할 때에 초래하는 건강장애비용 및 생산성 저해 등을 직접적으로 산출하는 방법으로 매우 많은 정보를 필요로 한다. 반면에 간접적 방법으로는 환경오염에 따르는 재해가 발생하기 이전 시점에서 그 재해를 예방하기 위해 오염을 처리하는 비용으로 대체하는 방법으로서 최소비용법으로 통용되어지고 있다. 본 논문에서는 환경오염의 사회적 비용을 최소비용법에 의거하여 계측하되 환경오염의 사회적 비용은 환경오염스톡(여기서는 환경오염처리량)이 증가할수록 체증적으로 증가한다(Dasgupta, 1982)는 점을 감안하여 다음과 같이 간단한 2차함수형태로 가정한다.

<sup>2</sup> 토지를 농지외의 산림 또는 야생지 등으로 전환할 경우 환경에 미치는 외부경제효과가 더 커질 수 있다는 異論이 있을 수 있으나 여기서는 농지가 단순히 폐경화되거나 공장지 등으로 전환되는 경우를 감안하고, 농지가 증가할수록 농업의 환경에 대한 외부효과도 증가한다고 가정한다.

- (6)  $D(t) = D(\theta \cdot E(t)) = e \cdot (\theta E(t))^2$
- $D(t)$ : t기의 환경오염의 사회적 비용 또는 환경오염물질 처리비용,  $D_E > 0, D_{EE} > 0$
- $\theta$ : 환경오염스톡처리비율
- $\theta E(t)$ : t기에 환경오염스톡처리량
- $e$ : 환경오염물질 단위당 처리비용

**2.1.5. 농업환경자본스톡**

농업부문에 대한 매기의 총투자량이 외생적으로 결정되면 그중의 일부분  $\alpha(t)$  ( $0 < \alpha < 1$ )은 농업부문의 환경정화 및 개선을 위하여 투자되고 나머지는 농업부문의 총자본형성을 위하여 투자된다고 가정한다.

- (7)  $\dot{K}e(t) = \partial Ke(t) / \partial t = \alpha(t) I - \delta Ke(t)$
- (8)  $\dot{K}(t) = \partial K(t) / \partial t = (1 - \alpha(t))I - \delta K(t)$

- $Ke(t)$ : t기의 농업환경자본스톡의 순변화
- $\dot{K}(t)$ : t기의 농업환경자본스톡을 제외한 농업부문 총자본스톡의 순변화
- $\alpha(t)$ : t기의 농업부문총투자 중 농업환경자본에 투자되는 비율
- $I$ : 농업부문에 대한 매기의 총투자량(외생 변수)
- $\sigma$ : 농업자본의 감가상각률

**2.2. 사회적 최적화 동태모형**

어느 농정(계획)기간  $[0, T]$ 에 농업부문에 있어서 사회적 최적의 실현을 위한 자원배분은 농업자본의 제약과 농업자원이 오염된 환경조건하에서 계획기간 동안에 (농업의 환경외부효과를 고려한) 농업부문 녹색GNP 흐름의 현재가치를 최대화하도록 자원을 적절히 배분함으로써 실현된다고 보고, 이를 앞에서 설정된 식들을 이용하여 모형으로 나타내면

다음과 같다.

[P]

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\{X(t), A(t), \alpha(t)\}} & \int_0^T e^{-\beta t} GY(t) dt \\ & = \int_0^T e^{-\beta t} \{Y(t) \cdot P^Y - C(t) + W(t) - D(t)\} dt \\ & = \int_0^T e^{-\beta t} \{Y(X(t), A(t), K(t), E(t)) \\ & \quad - [P^X \cdot X(t) + P^A \cdot A(t) + P^K \cdot (K(t) + Ke(t))] \\ & \quad + [W(A(t), E(t)) - e \cdot (\theta E(t))^2]\} dt \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{aligned} \dot{K}e(t) &= \alpha(t) I - \delta Ke(t) \\ \dot{K}(t) &= (1 - \alpha(t)) I - \delta K(t) \\ \dot{E}(t) &= \ell(X(t), Ke(t)) - \rho E(t) \\ Ke(0) &= Ke_0 \\ K(0) &= K_0 \\ E(0) &= E_0 \end{aligned}$$

여기서  $\beta$ 는 (1 - 할인율 또는 이자율)을 나타낸다. 한편  $\{X(t), A(t), \alpha(t)\}$ 는 매기의 결정변수이며,  $\{Ke(t), K(t), E(t)\}$ 는 매기의 상태변수를 나타내고,  $Ke_0, K_0, E_0$ 는 상태변수 각각의 초기치를 나타낸다.

다음은 문제 [P]를 현재가치 해밀토니안(The current value Hamiltonian)식으로 표기하면 다음과 같다(여기서 시간 t는 생략).

$$\begin{aligned} (9) \quad H^C(X, A, \alpha; K, Ke, E) &= \{P^Y \cdot Y(X, A, K, E) \\ & \quad - [P^X \cdot X + P^A \cdot A + P^K \cdot (K + Ke)] \\ & \quad + [W(A, E) - e \cdot (\theta E)^2]\} \\ & \quad + \lambda \{ \alpha I - \delta Ke \} \\ & \quad + \gamma \{ (1 - \alpha) I - \delta K \} \\ & \quad + \varepsilon \{ \ell(X, Ke) - \rho E \} \end{aligned}$$

여기서  $H^c(X, A, \alpha; K, Ke, E)$ 는 (현재가치) 해밀토니안 식을 나타내며,  $\lambda, \gamma, \varepsilon$ 는 각각  $Ke, K, E$ 에 대한 조상태변수(costate variables)로서  $\lambda (\lambda > 0)$ 는 농업환경자본스톡  $Ke$ 의 잠재가격을,  $\gamma (\gamma > 0)$ 는 농업부문총자본  $K$ 의 잠재가격을,  $-\varepsilon (\varepsilon < 0)$ 는 농업환경오염  $E$ 의 잠재비용을 의미한다. Pontriagin의 극대원칙(maximum principle)에 의한 최적해를 위한 필요조건은 다음과 같다.

$$(10) \partial H^c / \partial X: (P^Y \cdot Y_X - P^X)$$

$$+ \varepsilon \cdot \ell_X = 0$$

$$(11) \partial H^c / \partial A: (P^Y \cdot Y_A - P^A)$$

$$+ W_A = 0$$

$$(12) \partial H^c / \partial \alpha: \lambda I - \gamma I = 0$$

$$(13) \dot{\lambda} = \lambda \beta - \partial H^c / \partial Ke =$$

$$\lambda (\beta + \delta) - (\varepsilon \cdot \ell_{K_e} - P^K)$$

$$(14) \dot{\gamma} = \gamma \beta - \partial H^c / \partial K =$$

$$\gamma (\beta + \delta) - (P^Y \cdot Y_K - P^K)$$

$$(15) \dot{\varepsilon} = \varepsilon \beta - \partial H^c / \partial E = \varepsilon \beta$$

$$- P^Y \cdot Y_E + 2\varepsilon \theta E - (W_E - \varepsilon \rho)$$

$$(16) e^{-\beta T} \lambda(T) = 0, \quad e^{-\beta T} \gamma(T) = 0,$$

$$e^{-\beta T} \varepsilon(T) = 0$$

$$(17) \dot{Ke} = \alpha I - \delta Ke$$

$$(18) \dot{K} = (1 - \alpha)I - \delta K$$

$$(19) \dot{E} = \ell - \rho E$$

여기서 아래첨자( $X, A, \alpha, K, Ke, E$ )는 각각에 대한 편미분을 나타낸다. 모든시간  $t(0 \leq t \leq T)$ 에 대하여 이상의 조건식 (10)~(19)를 만족하는 해( $X^*, A^*, \alpha^*, K^*, Ke^*, E^*$ )가 사회적 최적(social optimal)을 실현한다. 이

상의 각각의 조건식은 다음과 같이 해석된다. 식(10)은 비료, 농약, 대동물 등의 환경오염유발요소에 대한 최적배분조건식으로서 이들 요소 한 단위의 사용에서 비롯되는 한계수입( $P^Y \cdot Y_X$ )이 이들 요소 한 단위 사용에 유발하는 요소비용에 환경오염배출의 사회적 비용을 합한 것( $P^X - \varepsilon \cdot \ell_X$ )과 같은 점에서 결정되어야 함을 의미한다. 만일 이들 생산요소의 환경에 대한 외부효과가 고려되어지지 않을 때(즉  $\varepsilon \ell_X = 0$ ), 식 (10)은  $P^Y \cdot Y_X = P^X$  ( $< P^X - \varepsilon \cdot \ell_X$ )를 나타내게 되며 따라서 비료, 농약, 대동물 등의 환경오염유발요소  $X$ 는 사회적 최적수준보다 많이 사용되어질 것이다.

그런데 환경오염의 사회적 잠재비용( $-\varepsilon$ )은 환경오염 단위당 최적한 오염세수준(즉 Pigouvian tax)을 나타낸다. 식(15)에 의하면 환경오염의 사회적 잠재비용은 사회적 할인율( $\beta$ )에 환경오염증가에 따른 농업생산의 감소효과( $P^Y \cdot Y_E < 0$ )와 환경오염이 농업생산외에 미치는 역기능( $2\varepsilon \theta E - (W_E - \varepsilon \rho)$ )을 합한 비율로 증가하는 것을 의미하는데, 이것은 환경오염의 사회적 잠재비용이 사회적 할인율보다 빠른 비율로 증가함으로써 시간이 감에 따라서 환경오염에 대한 사회적 회피가 체증한다는 것을 나타내고 있다. 여기서 환경오염이 농업생산외에 미치는 역기능( $2\varepsilon \theta E - (W_E - \varepsilon \rho)$ )은 환경오염의 증가에 따른 오염처리비용의 증가( $2\varepsilon \theta E$ )와 환경오염의 순증가(환경오염의 증가에서 자연정화분을 제외)에 따르는 환경 공익적 기능의 감소( $W_E - \varepsilon \rho$ )로 구분된다.

식(11)은 토지·노동 등의 환경에 중립적

인 생산요소에 대한 최적배분조건식으로서 이들 요소 한 단위 사용에 따르는 한계수입 ( $P^Y \cdot Y_A$ )은 이들 요소 한 단위 사용에 따라 유발하는 요소비용과 환경에 대한 공익적 기능의 차액( $P^A - W_A$ )과 같아지는 수준에서 결정되어야 함을 의미한다. 만일 환경에 대한 외부효과가 고려되어지지 않을 때(즉  $W_A=0$ ) 식(11)은  $P^Y \cdot Y_A = P^A (> P^A - W_A)$ 를 나타내게 되며 따라서 생산요소 A는 사회적 최적보다 적게 사용되어질 것이다. 즉 농업생산의 환경에 대한 공익적 기능이 고려되어지지 않을 때 농지의 폐경화·휴경화가 빠르게 진행될 것이고 이는 곧 사회적으로 최적의 자원배분이 되지 않음을 함축한다고 보겠다.

식 (12)에 의하면 농업부문에 대한 총투자 중 환경자본형성을 위한 투자비율  $\alpha$ 는 농업 자본의 잠재가치( $\gamma$ )와 농업환경자본의 잠재가치( $\lambda$ )가 일치하도록 결정되어야 한다는 것을 의미한다. 식(13)은 농업환경자본의 잠재가치( $\lambda$ )는 할인율과 자본의 감가상각율의 합( $\beta + \delta$ )에서 환경오염 정화를 위해 투자된 자본의 순편익( $\epsilon \cdot l_{ke} - P^K$ )의 변화율을 감한 비율로 증가됨을 의미한다. 그 증가율의 구체적 크기는 환경오염의 사회적 잠재비용 ( $-\epsilon$ )과 환경오염 정화를 위해 투자된 자본에 기인하는 환경오염배출 감축량( $l_{ke} < 0$ )의 크기에 달려있다. 이와 유사하게 식(14)는 농업자본의 잠재가치( $\gamma$ )는 할인율과 자본의 감가상각율의 합( $\beta + \delta$ )에서 자본사용의 순편익( $P^Y \cdot Y_K - P^K$ )의 변화율을 감한 비율로 증가됨을 의미한다. 그 증가율의 구체적 크기는 자본사용 순편익의 변화율의 크기에 달려 있다.

식 (16)은 계획기간 말기조건(transversality condition)을 나타내는 것으로 계획기간 말기에 있어서 자본과 오염의 현재가치화한 잠재가치(또는 잠재비용)가 영이 되도록 하는 것이 합리적이라는 것이다.

이상의 식(10)~(19)를 동시에 만족하는 해는 사회적으로 최적한 수준의 농업부문 녹색 GNP, 오염수준, 생산요소수요, 최적오염세 등을 실현한다. 그러나 현실적으로 이와 같은 사회적 최적의 실현은 어려울 것이다. 특히 사회적으로 최적한 오염세수준( $-\epsilon$ )은 식 (15)와 같은 방식으로 매순간 조정되어야 하는바 그 실행이 거의 불가능하다고 보겠다. 따라서 보다 수월하게 실행가능한 대안적 세제가 고려되어야 할 것이다.

### 3. 환경정책 효과의 비교동태 분석

#### 3.1. 대안적 정책

농업생산의 환경에 대한 외부효과와 내부화를 위하여는 적절한 환경정책이 채택되어야 한다. 환경오염은 농민은 물론 불특정 다수의 국민에게 피해를 주게 되며, 환경의 공익적 기능 또한 국민 전체의 후생을 증진시키는 역할을 하고 있다. 이처럼 환경의 외부효과는 공공재적 성격을 지니는 것으로서 정책의 개입없이 외부효과와 내부화를 기대할 수 없다. 즉 환경의 외부효과에 따른 시장실패는 적절한 정책의 개입에 의하여 조정되어질 수 있다.

환경의 외부불경제 효과에 대하여는 환경오염세의 부과를 통한 외부효과와 내부화가

가능하고 환경의 공익적 기능에 대하여는 생산자에 대한 직간접 보조를 통해 내부화가 가능하다(Baumol & Oates 1971). 환경오염세의 적정수준은 환경오염 한 단위가 사회에 미치는 피해 또는 환경오염의 사회적 잠재비용이라고 볼 수 있다. 그런데 식 (15)에서 볼 수 있듯이 환경오염의 사회적 잠재비용은 수시로 변동한다. 따라서 적정 환경오염세 수준 또한 계속 변동하여야 한다. 이러한 환경세의 부과는 행정절차상 많은 어려움과 많은 비용이 필요하다. 이러한 문제점을 해소할 수 있는 대안적 정책(세제)으로서 오염처리세의 부과(여기서는 환경오염처리 단위비용의 인상), 환경오염 유발자재에 대한 세금부과(이하 '투입자재세'로 칭함), 환경오염발생품목에 대한 세금부과(이하 '산출세'로 칭함) 등을 들 수 있다.

한편 환경의 공익적 기능에 대하여는 외부경제효과의 정확한 계량화를 통하여 적정수준의 직간접보조가 이루어져야 하나 이에 대한 정확한 계량화가 어려운 실정에서 대안적 정책으로서 생산자에 대한 일정 수준의 직접소득보조, 또는 생산자재 가격인하, 산출품목가격의 인상 등을 들 수 있다.

여기서 언급하여야 할 것은 이상의 대안적 정책들은 최선의 정책(best policy)이 아니어서 사회적 최적(social optimal)의 실현을 보장할 수 없다는 단점이 있으며 따라서 차선의 정책(second - best policy)으로서 사회적 최적에 근접하도록 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 대안적 정책으로서 오염처리세, 투입자재세, 산출세, 직접보조 등으로 국한한다. 본 모형 [P]에서 오염처리세는 오

염처리단위비용(e)의 인상으로, 투입자재세는 비료·농약·대동물 등 환경오염유발자재 단위비용( $P^X$ )의 인상으로, 산출세는 오염배출품목인 축산물 가격(본 모형에서는 단순히 산출물 가격  $P^Y$ )의 인하로 대체될 수 있다. 농업부문에 대한 직접보조(lump sum)는 새로운 정책 변수 s를 매기의 농업부문 녹색 GNP에 더함으로써 대체될 수 있고, 간접적 보조로는 환경중립적 요소(토지·노동)가격의 인하나 오염물질 비배출품목(예: 경종)의 가격인상으로 대신할 수 있다.

### 3.2. 정책 효과의 비교동태 분석

대안적 환경정책 변수들이 농업총생산·생산요소수요·환경오염 등에 미치는 질적효과(qualitative effects)를 비교동태 분석하기 위하여 Caputo (1990a, b)에 의한 dynamic primal-dual 방법론을 도입한다.

먼저 사회적 최적이 이루어진 상태에서 환경오염세 수준의 인상이 있다고 가정하자. 여기서 환경오염세 수준의 인상은 오염처리 단위비용(e)의 인상으로 가정한다. 이때  $J^*(e)$ 를 임의의 오염세 수준 e에 대하여 사회적 최적화모형[P]의 최적해가 얻어진 상태에서 극대화된 목적함수(the optimal value function)라고 정의한다.

$$\begin{aligned}
 (20) J^*(e) &= \int_0^T GY^*(t; e) e^{-\beta t} dt \\
 &= \int_0^T \{P^Y \cdot Y^*(t; e) - C^*(t; e) \\
 &\quad - D^*(t; e) + W^*(t; e)\} e^{-\beta t} dt \\
 &= \int_0^T \{P^Y \cdot Y[X^*(t; e), A^*(t; e), K^*(t; e), E^*(t; e)]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -[P^X \cdot X^*(t:e) + P^A \cdot A^*(t:e) \\
 & + P^K \cdot (K^*(t:e) + Ke^*(t:e))] \\
 & + [W(A^*(t:e), E^*(t:e)) \\
 & - e \cdot (\theta E^*(t:e))^2] e^{-\beta t} dt
 \end{aligned}$$

여기서  $[X^*(t:e), A^*(t:e), K^*(t:e), Ke^*(t:e), E^*(t:e)]$ 는 임의의  $e$ 에 대하여 모형 [P]의 최적해를 나타낸다. 식(20)에 Caputo (1990a,b)에 의한 Envelope Theorem을 적용하면 식(21)이 도출되고, Caputo(1990b)에 의한 곡선정리(Curvature Corollary)<sup>3</sup>를 적용하면 식(22)가 도출된다.

$$(21) J_e^*(e) = \partial J^*(e) / \partial e =$$

$$- \int_0^T e^{-\beta t} 2\theta E^*(t:e) dt < 0$$

$$(22) J_{ee}^*(e) = \partial J_e^*(e) / \partial e = - \int_0^T e^{-\beta t}$$

$$2\theta \partial E^*(t:e) / \partial e dt \geq 0$$

식 (21)의 경제적 함축성은 오염처리세의 인상은 전체 계획기간[0, T]에 있어서 현재가치화한 농업부문 녹색 GNP의 총화를 감소시키는 효과를 가져온다는 것을 나타내며, 식 (22)는 오염처리세가 인상될수록 전기간에 걸쳐서 보면 환경오염수준이 감소한다는 것을 나타낸다. 즉 식(21)~(22)는 사회적 최적 상태에서 오염처리세의 인상은 전기간에 걸쳐서 보면 환경오염수준의 감소를 가져오는 반면에 농업부문 녹색GNP 감소를 가져오는

<sup>3</sup> Caputo(1990b)의 곡선정리(Curvature Corollary)에 의하면, 정책변수의 벡터  $\Omega$ 가 모형 [P]의 목적함수에서 선형으로 나타나고 기타 다른 곳에는 나타나지 않을 때  $J^*(\Omega)$ 는  $\Omega$ 에 대하여 locally convex하다. 따라서  $J^*(\Omega)$ 의 Hessian 매트릭스  $J_{\Omega\Omega}^*(\Omega)$ 는 symmetric positive semi-definite하다.

tradeoff 관계가 있음을 입증하고 있다.

다음은 대안적 정책수단으로서 투입자재세 ( $P^X$ ), 산출세( $P^Y$ ), 직접보조(s)의 경우에 대하여 살펴본다. 이들 대안적 환경정책변수를 벡터  $\Omega$ 로서 표시하면 다음과 같다.

$$(23) \Omega = [P^Y, P^X, s]'$$

이때 앞의  $J^*(e)$ 에 대응하는 counterpart는 다음과 같이 내부화가 이루어지지 않은 상태에서 임의의 벡터  $\Omega$ 에 대하여 극대화된 목적함수  $JJ(\Omega)$ 가 된다.

$$\begin{aligned}
 (24) JJ(\Omega) &= \int_0^T \{P^Y \cdot Y^*(t:\Omega) - \\
 & C^*(t:\Omega)\} e^{-\beta t} dt \\
 &= \int_0^T \{P^Y \cdot Y[X^*(t:\Omega), \\
 & A^*(t:\Omega), K^*(t:\Omega), \\
 & E^*(t:\Omega)] \\
 & - [P^X \cdot X^*(t:\Omega) \\
 & + P^A \cdot A^*(t:\Omega) \\
 & + P^K \cdot (K^*(t:\Omega) \\
 & + Ke^*(t:\Omega))\} e^{-\beta t} dt
 \end{aligned}$$

식(24)에 Caputo에 의한 Envelope Theorem을 적용하면 식 (25)~(26)이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 (25) JJ_P^Y(\Omega) &= \partial JJ(\Omega) / \partial P^Y \\
 &= \int_0^T e^{-\beta t} Y^*(t:\Omega) dt > 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (26) JJ_P^X(\Omega) &= \partial JJ(\Omega) / \partial P^X \\
 &= - \int_0^T e^{-\beta t} X^*(t:\Omega) dt < 0
 \end{aligned}$$

식 (25)의 경제적 함축성은 산출세의 부과 ( $P^Y$ 의 인하)는 전체 계획기간 [0, T]에 있어

서 현재가치화한 농업부문 GNP의 총화를 감소시키는 효과를 가져오는데 이는 이 기간 동안에 농업 총산출의 총화의 감소와 일치한다는 것을 의미한다. 식 (26)은 비료·농약 등의 오염유발자재에 대한 투입자재세의 부과( $P^X$ 의 인상)는 현재가치화한 농업부문 GNP의 총화를 감소시키는 효과를 가져오는데 이는 중장기적으로 해당생산자재 수요의 총화의 감소와 같다는 것을 의미한다.

다음 정책변수벡터  $\Omega$ 가 목적함수에서 선형으로 나타나고 기타 다른 곳에는 나타나지 않으므로 Caputo(1990b)의 곡선정리를 응용하면 symmetric positive semi-definite 한  $JJ(\Omega)$ 의 Hessian 매트릭스  $JJ_{\Omega\Omega}(\Omega)$ 를 가지게 되고 이로부터 다음의 관계가 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (27) \quad & JJ_{P^Y P^Y}(\Omega) = \partial JJ_P^Y(\Omega) / \partial P^Y \\
 & = \int_0^T e^{-\beta t} (\partial Y^*(t; \Omega) / \partial P^Y) dt \geq 0 \\
 (28) \quad & JJ_{P^X P^X}(\Omega) = \partial JJ_P^X(\Omega) / \partial P^X \\
 & = - \int_0^T e^{-\beta t} (\partial X^*(t; \Omega) / \partial P^X) dt \geq 0 \\
 (29) \quad & JJ_{P^X P^Y}(\Omega) = - \int_0^T e^{-\beta t} (\partial X^*(t; \Omega) \\
 & / \partial P^Y) dt = \int_0^T e^{-\beta t} (\partial Y^*(t; \Omega) / \partial P^X) dt \\
 & = JJ_{P^Y P^X}(\Omega)
 \end{aligned}$$

식 (27)의 경제적 함축성은 산출세의 부과 ( $P^Y$ 의 인하)는 전체 계획기간  $[0, T]$  동안에 있어서 농업부문 총공급의 총화(현재로 할인됨)의 감소를 야기한다는 것을 의미하며 이는 산출세가 부과되지 않는 경우에 비하여 농업환경오염스톡이 감소된다는 것을 간접적으로 암시한다고 본다. 여기서 언급되어야 할 것은 산출세 부과시 계획기간 동안에 매기마다 생산의 감소를 의미하는 것(이는 정태분

석결과에 해당됨)이 아니고 어느 특정기에는 단기적으로 생산의 증가를 가져올 수도 있으나 전체계획기간에 걸쳐서 보면 농업생산이 감소하는 추세인 것을 나타낸다.

식 (28)은 비료·농약 등의 환경오염유발자재에 대한 투입자재세의 부과( $P^X$ 의 인상)는 전기간에 있어서 그 해당 자재수요의 총화의 감소를 야기한다는 것을 의미하며 이로 인해 투입자재세가 부과되지 않는 경우에 비하여 농업환경오염스톡이 감소된다는 것을 간접적으로 암시한다고 본다. 이 또한 일시적으로 세금부과 생산자재의 수요가 증가할 수 있음을 허용하되 중장기적으로 보면 세금부과된 자재의 수요가 감소추세인 것을 의미한다.

한편 식(29)는 대칭성 조건으로부터 얻어진 것으로 그 경제적 의미는 산출세의 부과가 전체 계획기간에 걸쳐서 오염발생 자재에 대한 수요의 총화의 감소에 미치는 효과는 오염발생 자재에 대한 투입세의 부과가 전기간동안의 농업총산출의 총화에 미치는 효과와 동일하다는 것을 나타낸다.

한편 농업부문에 대한 직접소득보조(s)는 본 모형의 구조에서 여타의 요인들과 아무런 연계(feedback)를 갖지 못함으로써 농업생산·생산요소수요·환경오염 어느 것에도 직접적인 영향을 주지 않는다. 그러나 간접적 보조형태로서 오염중립적 요소에 대한 단위비용의 인하(즉 -투입자재세) 또는 오염 비발생 품목가격의 인상(즉 -산출세)을 고려할 때 이들에 의한 효과는 투입자재세 또는 산출세의 경우와 반대되는 효과가 나타난다고 볼 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

농업은 환경보전적인 긍정적 측면을 갖는 반면 농업생산의 부산물로서 야기되는 환경오염은 농업의 지속적 성장을 저해하고 환경의 질을 저하시키는 부정적 측면을 갖고 있다. 따라서 농업의 지속적 발전과 농업환경보전의 병행을 위하여서 적절한 농업환경정책의 선택과 수립이 요구되는데, 환경정책의 수행에 앞서 수행 가능한 농업환경정책의 분석을 위한 기초적 연구가 필요하다고 본다. 본 연구는 농업환경의 외부효과의 내부화를 감안한 녹색GNP(green GNP)의 극대화를 목적으로 하는 동태적 농업부문 최적화모형을 개발한 다음, 환경에 미치는 외부효과가 감안된 경우에 사회적으로 최적한 자원의 배분조건을 검토하고 대안적 환경정책세의 중장기적 효과를 비교분석하였다. 분석된 결과는 다음과 같이 요약된다.

비료, 농약, 대동물 등의 환경오염유발요소에 대한 최적배분은 이들 요소 한 단위 사용에 따르는 한계수입이 요소사용에 따라 유발하는 한계요소비용과 환경오염의 사회적 잠재비용과 같은 점에서 결정되어야 한다. 만일 이들 생산요소가 환경에 미치는 외부불경제성이 고려되어지지 않을 때 사회적 최적수준보다 많이 사용되어 환경은 점차 황폐되어질 것이다.

토지·노동 등의 환경에 중립적인 생산요소에 대한 최적배분조건은 이들 요소 한 단위 사용으로 인한 한계수입과 이들 요소사용

이 환경에 미치는 공익적 잠재가치와의 합이 이들 요소 한 단위 사용에 따라 유발하는 한계요소비용과 같은 수준에서 결정되어야 한다. 만일 이들 요소의 환경에 미치는 외부경제성이 고려되어지지 않을 때 이들 생산요소는 사회적 최적수준보다 적게 사용되어질 것이고 이는 농지의 폐경화·휴경화가 사회적 최적수준보다 빠르게 진행되는 것을 의미한다.

환경오염의 사회적 잠재비용은 사회적 최적(social optimal)을 실현하는 환경오염세의 적정수준을 의미하는 것으로 사회적 할인율( $\beta$ )보다 빠른 비율로 증가하는 것으로 나타났는데 이것은 곧 시간이 감에 따라서 환경오염에 대한 사회적 회피가 체증하는 것을 의미한다.

이러한 환경오염의 사회적 잠재비용은 수시로 변동하고, 따라서 적정 환경오염세 수준 또한 수시로 변동되어야 하는데 이같은 최적환경세의 부과는 행정절차상 많은 어려움과 높은 비용을 필요로 한다. 이러한 문제점을 해소할 수 있는 대안적인 차선의 환경세로서는 환경오염처리 단위비용의 인상(또는 '오염처리세'), 환경오염 유발자재에 대한 세금부과(또는 '투입자재세'), 그리고 환경오염발생 품목에 대한 세금부과(또는 '산출세') 등을 들 수 있다.

대안적 환경정책세제(오염처리세, 산출세, 투입자재세)의 도입은 중장기적으로 농업부문 녹색 GNP의 감소를 초래하는 것으로 나타났다. 특히 산출세의 부과에 따르는 전체 계획기간에 있어서 현재가치화한 농업부문 GNP총화의 감소는 현재가치화한 농업총산출

흐름의 감소와 일치하고, 투입자재세의 부과에 따르는 현재가치화한 농업부문 GNP총화의 감소는 중장기 해당생산자재 수요의 총화의 감소와 일치하는 것으로 나타났다.

한편 대안적 환경정책세계의 도입은 중장기적으로 환경오염의 감소를 수반하는 것으로 해석된다. 오염처리세의 부과는 직접적으로 중장기적 환경오염의 감소를 가져오는 반면에, 산출세가 부과되는 경우는 전체 계획기간에 걸쳐서 농업생산총화의 감소를 가져오므로써, 투입자재세가 부과되는 경우는 전체 계획기간에 있어서 그 해당 자재수요의 감소를 초래함으로써 그 결과 환경오염을 감소시키는 간접효과가 있는 것으로 분석된다.

요컨대, 차선의 방법으로서의 대안적 환경세라고 할 수 있는 오염처리세, 산출세, 투입자재세 등의 부과는 공히 농업부문 녹색GNP의 감소와 환경오염의 감소를 수반하는 것으로 분석되었는데 이는 일반적인 기대와 일치한다고 본다. 그러나 사회적으로 최적한 환경오염세의 부과가 현실적으로 어려운 상황에서 오염처리세, 산출세, 투입자재세 등의 대안적 환경세의 도입을 통하여 사회적 최적 수준에 근접하는 농업부문 녹색GNP·환경오염을 도달하기 위하여는 어떠한 대안적 환경세가 가장 효율적인가에 대한 판단은 실증자료를 이용하여 각 대안적 환경세 수준에 대한 감응도 분석을 통하여 이루어질 수 있을 것이다. 한국농업에 대한 이러한 실증적 분석은 환경에 대한 자료의 정비와 함께 앞으로 이루어져야 할 과제로 남긴다.

## 참 고 문 헌

- 김은순. 1995. 「농업관련 환경정책 분석모형에 관한 기초연구」, 연구보고 R332, 한국농촌경제연구원.
- 김일중. 1993. 「一成長模型下에서의 최적환경투자와 자원조달」, 「환경경제연구」 2(1): 33.
- 김홍균, 남준우, 조장욱. 1994. 「2개국 일반균형 모형에서 본 환경오염과 투자의 후생 및 파급효과 분석」, 연구보고서 RE07, 한국환경기술개발원.
- 오세익, 김은순, 박현태. 1995. 「쌀농업의 환경보전효과에 관한 연구」, 연구보고 R321, 한국농촌경제연구원.
- 오용선. 1994. 「지탱 가능성 경제복지 지표를 이용한 한국의 경제성장에 대한 평가」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 윤여창, 이규석 외. 1993. 「농업이 환경에 미치는 공익적 기능평가」, 제1차년도보고서, 서울대학교 농업생명과학대, 농촌진흥청.
- 이정진. 1983. 「환경오염 억제와 국민경제에 미치는 영향의 계량화」, 서울대 「경제논집」 3: 105-119.
- 이정환, 현공남 외. 1982. 「농업부문 모형개발과 정책실험에 관한 연구」, 연구보고 52, 한국농촌경제연구원.
- 조재환, 성명환, 사공용. 1994. 「농업부문 총량지표 중장기 전망」, 연구보고 R314, 한국농촌경제연구원.
- 한두봉. 1994. 「경제여건 변화와 농업정책의 파급영향 분석을 위한 모형 개발」, 연구보고 275, 한국농촌경제연구원.
- 환경처. 1991. 2. 「환경오염유발 부담금제도에 관한 연구」.
- 홍금우. 1993. 「환경오염의 경제학적 분석과 그 대책에 관한 연구」, 「환경경제연구」 2(1): 53-72.
- Baumol, W. J. and W. E. Oates. 1971. "The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment," *Swedish Journal of*

- Economics* 73 : 42-54.
- Caputo, Michael R., 1990 a. "Comparative Dynamics via Envelope Methods in Variational Calculus," *Review of Economic Studies* 57-4 : 689-697.
- Caputo, Michael R., 1990 b. "How to do Comparative Dynamics on the Back of an Envelope in Optimal Control Theory," *Journal of Economic Dynamics and Control* 14 : 655-683.
- Comolli, P. M., 1977. "Pollution Control in a Simplified General-Equilibrium Model with Production Externalities," *Journal of Environmental Economics and Management* 4 : 289-304.
- Dasgupta, Partha, 1982, *The Control of Resources*, Harvard University Press, 1982.
- Forster, B. A., 1977. "Pollution Control in a Two-Sector Dynamic General Equilibrium Model," *Journal of Environmental Economics and Management* 4 : 305-312.
- Gim, Uhn-Soon, 1994. *Optimal Control of Nitrate Pollution in Groundwater : The Use of Taxation*, Ph.D. dissertation, University of Minnesota.
- Keeler, E., M. Spence and R. Zeckhauser, 1971. "The Optimal Control of Pollution," *Journal of Economic Theory* 4: 19-34.
- Plourde, C. G, 1972. "A Model of Waste Accumulation and Disposal," *Canadian Journal of Economics* 5(1) : 119-125.
- Tahvonen, O. and J. Kuuluvainen, 1993. "Economic Growth, Pollution, and Renewable Resources," *Journal of Environmental Economics and Management* 24 : 101-118.