

시비방법별 벼 재배에 따른 전과정평가 방법을 적용한 환경영향 평가

신중두* · 임동규 · 김건엽 · 박문희 · 고문환 · 엄기철

농업과학기술원

(2002년 12월 11일 접수, 2003년 1월 25일 수리)

Application of the Life Cycle Assessment Methodology to Rice Cultivation in Relation to Fertilization

Joung-Du Shin, Dong-Kyu Lim, Gun-Yeob Kim, Mun-Hee Park, Mun-Hwan Koh and Ki-Cheol Eom (National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT : The suitability of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to analyze the environmental impact of rice cultivation with different fertilizing systems is investigated. The first part of an LCA is an inventory of parameters used and emissions released due to the system under investigation. In the following step, the Life Cycle Impact Assessment, the inventory data were analyzed and aggregated in order to finally get one index representing the total environmental burden. For the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) the Eco-indicator 95 method has been chosen because this is well documented and regularly applied impact assessment method. The resulting index is called Eco-indicator value. The higher the Eco-indicator value the stronger is the total environmental impact of an analyzed fertilizing system. The rice field experiment conducted in middle parts of Korea was chosen as an example for the life cycle impact analysis. In this experiment the treatments were consisted of none fertilizer plot (NF), standard fertilizer plot (SF) applied chemical fertilizers based on soil chemical analysis before rice transplanting, and efflux fertilized plot (EF) applied with pig wastes fermented as the same rates of SF plot as basis on total nitrogen content. The obtained Eco-indicator values were clearly different among the treatments in the rice trial. The total Eco-indicator values for SF and EF have been observed 58 and 38% relative to the NF, respectively. For all the treatments the environmental effects of eutrophication contributed most to the total Eco-indicator value. The results appeared that the LCA methodology is basically suitable to assess the environmental impact associated with different fertilizer applications for rice cultivation. A comparative analysis of the fertilizing system's contribution to global warming and eutrophication is possible.

Key words: life cycle impact assessment, total Eco-indicator value, global warming, eutrophication, rice cultivation.

서 론

집약영농에 있어 무기태 질소비료의 사용이 농업 환경에 미치는 영향에 대하여 지속적인 논란이 되고 있다. 대부분 이에 대한 연구는 암모니아의 휘산, 온실가스 배출, 질산태 질소의 용탈^{1,2)} 등 농업환경에 영향을 미치는 특정한 부분에만 연구의 대상이 되어왔다. 그러나 농업생산활동에 의해 발생하는 전체적인 환경부하를 비교하거나 농업활동 전 과정을 검토하고 동시에 모든 환경요인들을 고려하여 농업활동에서 일어나는 전체 과정과 그 과정을 통해 일어나는 환경 영향에 대한 평가는 필수적이다. 전과정평가(Life Cycle Assessment)는

농업활동에 의해 환경으로 유출되는 유, 무기태 원소 및 환경 부하원을 입증하고, 정량화하여 환경영향을 평가하는 방법이다. 현재 대부분 전과정평가는 산업제품 및 공정과정에 응용되고 있지만, 나아가 농업부분에서도 이러한 평가 방법도 도입하고 있다. 본 연구에서는 농업활동으로부터 일어나는 전과정을 평가하고 이에 미치는 환경영향을 분석하여 전과정평가 방법들의 적합성을 검토하고자 하였다.

본 연구의 목적은 논에서 아산화질소 및 메탄 배출 저감 기술 개발³⁾과 가축분뇨 혐기 소화 후 폐액활용 기술⁵⁾ 시험으로부터 얻은 결과를 정리하여 전과정환경영향평가 방법을 이용한 환경영향에 있어서 차이점을 구명하기 위해 벼 재배에 대한 각기 다른 형태의 시비방법별 시험결과를 정리하여 수행하였다.

*연락처자:

Tel: +82-31-290-0206 Fax: +82-31-290-0277

E-mail: jdshin@rda.go.kr

재료 및 방법

Table 1. General field trial informations

Location	Seonghawn, Chenan City, Chungchngnam-Do, Korea
Year	2000
Cropvariety	Rice, Yilmi/bieo
Soil type	Silty loam
Date of transplanting	May 22, 2000
Date of harvesting	Oct. 10, 2000

Table 2. Amount of fertilization and yield of rice cultivation with different treatments (Unit : kg/ha)

Treatments	Application amount of fertilizing(N-P-K)	Grain yield
None-fertilizer (NF)	None	603.9
Standardized fertilizer (SF)	114-83-30 (based on values from soil chemical analysis before experiments)	775.8
Efflux fertilizer (EF)	8 ton/ha (adjusted Total-nitrogen content of Efflux to nitrogen application amount of SF plot.	796.3

전과정평가방법의 개념은 4가지 주요한 단계인 1) 평가목표 및 범위의 정의, 2) 전과정 평가 항목 설정, 3) 전과정환경영향평가, 4) 이용성으로 구성되어 있다.

평가 목표 및 범위의 정의

전과정평가방법의 첫 번째 구성요소는 분석의 평가목표 및 범위에 대한 정의로서 분석체계의 설명 과 구성범위를 포함하며, 더 나아가서 지구온난화와 수계부영양화 등 모든 환경영향에 관련된 각 고유단위(reference unit)를 전과정평가방법을 적용하기 위해서는 통합단위(functional unit)로 전환해 이용해야한다.

본 연구에 있어 분석목표는 벼 생산 체계와 관련된 여러 가지 시비방법의 선택에 따른 영향을 평가하고 정량화 하는 데 있다. 그리고 이러한 분석을 위해 2000년도 농업과학기술원에서 연구 수행한 결과에 근거를 두었으며, 포장시험에 따른 자세한 설명은 Table 1과 같다. 처리는 무비, 표준시비 및 액비처리구로 하였고, 그에 따른 시비량 및 수량은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

그리고 세 처리구에 대한 병해충방제 및 관개와 같은 요인들은 동일하게 관리하였으며, 환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 ha당 벼 재배면적을 기준으로 한 통합단위(functional unit)로 변환하여 평가하였다.

전과정 평가 항목(Life Cycle Inventory)

Table 3. Environmental impacts which are associated to rice cultivation with different treatments

Parameters	Value(kg/ha/yr)			Reference
	NF ^{a)}	SF ^{b)}	EF ^{c)}	
CO ₂	4,410.0	6,954.1	15,733.7	Kim ⁴⁾
CH ₄	192.0	321.7	741.4	Kim ⁴⁾
N ₂ O	0.2	0.4	0.5	Kim ⁴⁾
NO ₃ -N	2.0	2.5	2.4	Lim ⁵⁾
NH ₄ -N	6.5	8.7	7.5	Lim ⁵⁾
Total-N	1,211.3	1,323.8	1,252.5	Lim ⁵⁾
Total-P	2.6	83.0	49.7	Lim ⁵⁾

a) None-fertilizer, b) Standardized fertilizer, c) Efflux fertilizer.

전과정평가방법의 주요 단계는 ha당 벼 재배 과정에서 유출되는 모든 환경 오염물질들에 대한 평가요소를 설정하고 각 요소에 대한 농업용 자재 투입량과 산출량을 설정하여 정량화 하는 것을 의미하는데, 그러나 농업용 자재의 투입량과 산출량에 대한 평가의 정확성을 기하기는 어려운 실증이다. 예를 들어 포장으로부터 암모늄(NH₃), 질산염(NO₃) 등의 손실되는 물질들이 다양하므로 평가하기 어려우며, 종종 이러한 손실들이 전과정평가결과에 상당한 영향을 미치기 때문에 질소에 대한 평가는 아주 중요하다. 포장에서 암모니아 및 질산태 질소의 손실과 N₂O 등의 배출에 대한 정확한 실측치를 나타내기 위해 상당히 많은 비용과 노력이 요구된다. 한 장소에서 시험한 결과를 이용하여 전과정평가방법을 적용하는 것이 가장 좋은 방법이지만 이러한 것은 일반적으로 불가능하므로 많은 다른 시험에서 발생하는 온실가스 배출자료를 이용했다. 그러므로 전과정평가방법의 목적에 맞게 각기 다른 시험조건에 따른 평균 손실 비율을 선정하여 이용하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구의 체계적인 방법은 손실 비율에 영향을 미치는 중요한 요인들을 고려하여 합리적인 평가를 하기 위해 토양, 기후 및 재배 관리요인들 사이의 복잡한 상호작용을 단순화하여 도입하였다. 따라서 Table 3에 전과정평가방법에 따른 분석을 하기 위해 설정된 매개변수들(parameters)을 제시하였다. 그리고 이러한 각각의 매개변수들을 산정함에 있어 Table 3에 제시된 바와 같이 임과 김의 연구결과를 토대로 하여 연간 배출량과 토양중의 무기태 함량을 산출하여 이용하였다.

전과정환경영향평가(Life Cycle Impact Assessment)

산업부문에서 투입자재와 손실되는 물질과 관련하여 환경영향을 평가하는 몇 가지 전과정환경영향평가 방법들이 개발, 이용하여 보고된 바는 있다^{6,9)}. 그러므로 농업부문에서도 전과정환경영향평가를 해석하기 위해서 농업용 투입자재와 농업 생산활동에 의해 손실되는 유·배출물질과 관련하여 환경영향을 평가하는 것이 필수적이다. 따라서, 시비 방법에 대한 벼

재배에 있어 환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Eco-indicator method⁶⁾를 도입하게 되었고 이러한 방법은 구체화 되어 전과정평가연구에 종종 이용되고있다. 전과정환경영향 평가는 세부단계를 구성하는데, 첫 번째 등가용인(equivalence factors)들을 이용하여 환경에 영향을 미치는 종합적인 수치를 각 항목별로 Fig. 1에 제시하였다.

전과정평가의 이러한 단계를 분류·특성이라 일컬으며, 등가요인의 수치가 높으면 높을수록 각각의 환경영향에 대하여 유·배출의 기여도가 높은 것을 의미한다. 전과정환경영향평가방법의 다음 단계가 전과정평가의 결과를 더욱 확대 해석하기 위한 선택사항¹⁰⁾인 반면, ISO(International Organization for Standardization) 규정에 따른 전과정평가방법에 대한 의무적인 조치사항이다(ISO14042). 그 다음 단계로서 유럽의 환경효과의 전체 범위에 대한 분석체계의 기여도인 표준화(normalization)가 검토되었다. 예로서 지구온난화에 관한 표준화는 유럽에서 연구한 지구온난화 잠재성을 전체 지구온난화 잠재성수치로 나누어줌으로서 얻어지며, 좀더 정확성을 기하기 위해 유럽의 각기 다른 환경 문제에 대한 전반적인 범위를 매년 한사람이 유발시켜 이로 인한 환경에 미치는 영향으로 나타내었다(Table 4).

그러나 표준화는 되었으나 정량화 되지 않은 자료는 환경을 파괴하는 잠재적 영향에 관해서는 설명하지 못한다. 그러므로 부가적인 가중절차(weighting step)로서 환경영향에 대한 각기 다른 수준의 난이도를 고려하는 것이 필요하다. Eco-indicator 95 절차에 따르면 이러한 것은 각각의 표준화된 기여도(normalized effect value)에 각각의 다른 환경 영향에 대해 설정된 가중요인(weighting factor)을 곱해줌으로서 얻어지며, Eco-indicator 95 method는 다른 환경 영향에 대한 가중요인들을 나타내기 위해서 평가에 대한 목표도달 거리(distance to target)의 성분을 이용하였으며 목표도달 거리(distance to target)는 환경영향에 대한 현재 수준(current level)과 목표 수준(target level)사이의 비율을 의미한다. Eco-indicator 95 방법의 최종 목표는 환경영향의 피해를 최소화하는 것으로서, 예를 들어 매년 백만 명 거주자중 안개 끼는 기간에 사망한 한 명에 대해서 안개가 인간의 건강에 영향을 미쳤다고 볼 수 없으며, 생태계 파괴 5% 수준은 환경영향의

피해가 최소화 수준과 동일하다고 가정하는 것이다⁶⁾. 이러한 가정은 각각의 환경영향에 대한 목표수준의 기본골격으로서 Table 5에 Eco-indicator 95가 내포하고 있는 환경영향에 대한 가중치를 제시하고 있다.

이러한 가중절차의 결과는 각각의 환경영향에 대한 하나의 생태지표 지수(Eco-indicator value)이고 이러한 지수들은 중요하지 않기 때문에 이 지수들을 합산하여 총 환경 부하율로 나타내었다.

이용성

전과정평가의 마지막 단계로서, 전과정환경영향평가의 결과를 이용하여 비 재배시 시비방법에 따른 환경적인 역효과를 줄일 수 있는 가능성을 입증하는데 이용되었다.

결과 및 고찰

비 재배시 시비방법에 따른 무비구(NF), 표준시비구(SF)와 액비 처리구(EF)에서 유·배출에 관련된 항목과 토양중의 중

Table 4. Total emission rates for environmental effects in Europe (without former USSR, per person and year; adopted from Goedkoop, 1995)

Environmental Effects	Weighting factor	Criterion
Global warming	2.5	0.1°C per decade (5% ecosystem impairment)
Eutrophication	5.0	Rivers and lakes, impairment of aquatic ecosystem (5% ecosystem impairment)

Table 5. Weighting factors according to the Eco-indicator 95 methods (after Goedkoop, 1995)

Environmental effects	Unit	Normalization value	Uncertainty
Global warming	kg CO ₂ equ.	13,100.0	Small
Eutrophication	kg PO ₄ equ.	38.2	Moderate

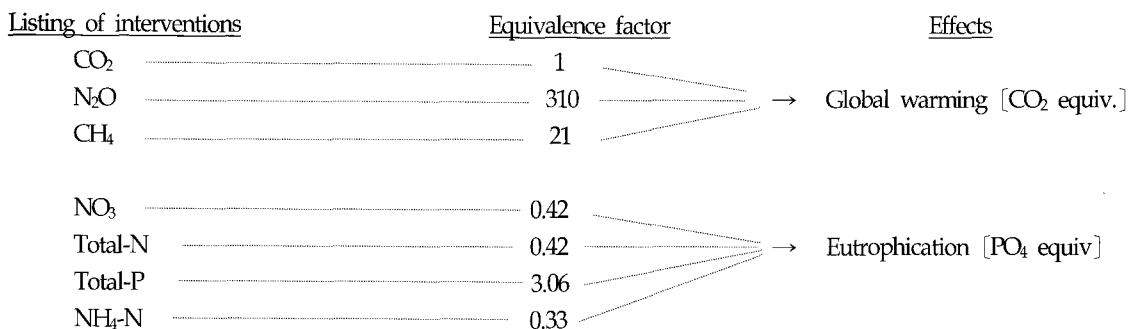


Fig. 1. Aggregation (classification and characterization) of emissions in the Eco-indicator 95 method.

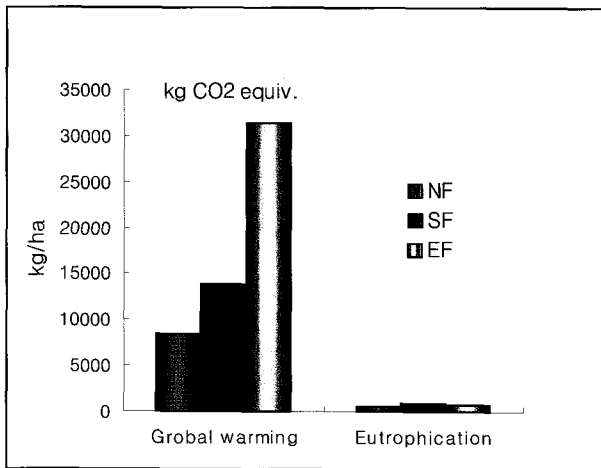


Fig. 2. Values for environmental effects related with fertilized systems.

요한 유·무기태 성분들에 대해 재배기간 동안의 누적 함량을 표 3에 나타내었다. 돈분발효 액비 처리구에서 메탄, N₂O 및 CO₂의 함량이 높게 나타났으며, 이러한 원인은 액비 시용으로 인한 유기물이 미생물 분해과정에서 발산되는 것으로 생각된다. 무기태 질소의 누적함량은 처리간에 큰 편차를 나타내지 않은 반면, 유효 인산의 함량은 처리간에 상당히 큰 차이를 보였는데 이것은 인산이 작기 동안 토양 중에서 이동이 일어나지 않고 단지 식물체 흡수에 의한 이동으로 가정하여 시험 전 토양의 유효 인산 함량 및 투입에 의한 인산 함량에 식물체 인산 흡수량을 고려하여 시험 전 토양중의 인산 함량으로 설정하였기 때문인 것으로 생각된다. 또한 전 질소 함량은 무처리구와 액비 처리구간에 유의차를 나타내지 않았지만 표준시비법 처리구에서 가장 높게 나타났다.

그러므로 전 과정 평가 항목을 설정하기 위하여, 환경 영향에 미치는 각각의 유·배출 항목에 대한 잠재성을 고려할 필요성이 있다. 예를 들어, CO₂ 1 kg에 비해 N₂O 1 kg이 320 배 높은 지구온난화에 대한 잠재력(Global Warming Potential)을 가지므로 전과정환경영향평가에서 등가요인들을 이용하여 지구온난화 및 수계의 부영양화와 같은 환경영향 평가에서 유·배출 점수(emission scores)를 산출하는데 이용하였다(Fig. 1). 본 시험에서는 각기 다른 시비체계 하에서의 벼 재배에 따른 환경에 미치는 영향을 지구온난화 및 수계 부영양화에 차원에서 평가하였으며, 시비방법에 따른 각각의 환경영향에 미치는 기여도는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다.

지구온난화에 대한 기여도가 수계의 부영양화 보다 매우 높게 나타났으며, 지구온난화에 대해서는 액비 처리구가, 수계 부영양화에 있어서는 표준시비구가 각각 가장 높은 것으로 나타났다. 그렇지만, 이러한 기여도는 여전히 시비체계에 대한 총 환경 영향에 대하여 뚜렷한 양상을 제공하지는 못한다. 예를 들어, 액비 처리구가 표준시비구에 비하여 지구온난화에 관한 수치가 2.2배 이상 높게 나타났지만, 수계의 부영양화에 있어서는 표준시비구가 액비처리구 보다 0.8배 높게

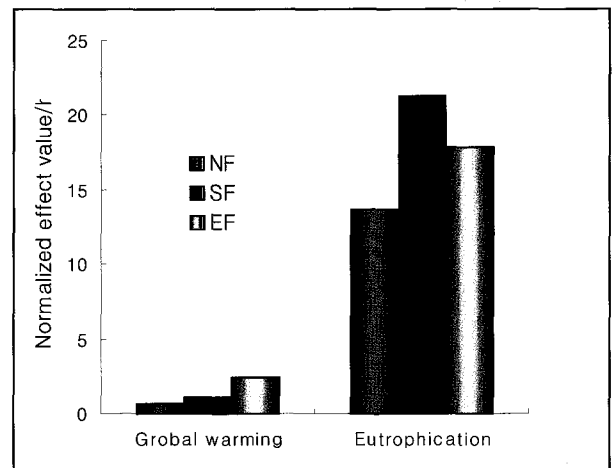


Fig. 3. Contributions of fertilizing system to environmental effects in rice paddy.

나타났다. 그러므로, 각각의 시비체계에 대한 환경영향 기여도를 매년 한사람 당 각각의 환경 영향 기여도로 나누어 나타내었다(Table 5). Fig. 3은 각 처리에 있어 ha당 벼 재배에 대한 표준화된 환경영향 기여도를 나타낸 것이다.

환경 영향에 대해 분석한 system에서 벼 재배 과정에서 유출되는 모든 환경 오염물질들은 수계의 부영양화에 대한 기여도가 지구온난화보다 훨씬 높은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 특히 토양중의 높은 전 질소 및 유효 인산 함량 때문인 것으로 여겨지며, 특히 부영양화에 관하여 Eco-indicator 95에 따른 수계 환경영향 평가는 잠재적으로 오염시키는 물질이 발생하는 장소를 고려하지 않은 현장정밀 연구(site-specific)가 아니라는 것이 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 소위 말하는 fate model이 전과정환경영향평가에 부합되어야 하며, 이러한 유·배출에 대한 fate model이 개발되어야 하는 것으로 사료된다. 그러므로 환경영향 표준화된 기여도를 가지고 여전히 환경에 악 영향을 미치는 다른 환경영향에 대한 잠재성을 결정하지는 못한다. 따라서 다음 단계로서, 표준화된 기여도에 가중치(weighing values)를 곱하여 주었지만(Table 5), 이러한 가중치는 여전히 과학적 논란이 되고 있다. ISO¹⁰⁾에 따르면 가중치는 지표로 사용되어서는 안 된다고 하였고, 특히 이러한 ISO 표준화에 대한 조항은 논란되고 있으며 논의의 여지가 되어왔다^{11,12)}. 그렇지만, 전과정평가의 가중치는 환경의 우위를 결정하는데 필수적이다. 전과정환경영향 평가방법에서 가중치를 취하지 않는다면, 전과정평가 기법 이용지는 서로 다른 환경에서 분석하여 얻은 자료에 각각의 가중치를 두어야 할 것이다. 일련의 포괄적인 가중요인들 대신에 환경영향 표준화된 기여도에 대한 가중치가 Eco-indicator 95 method에 이용됨으로서 각기 다른 환경영향에 대해 공평하게 통합을 가능하게 하므로, 비록 가중치가 ISO범주 내에서 허락되지 않는다 할지라도 본 연구에는 전과정평가의 결과를 도출하기 위하여 벼 재배에 따른 시비방법별로 환경의 우위를 평가하기 위해서 ISO범주 외의 것¹³⁾에 비중을 두었다.

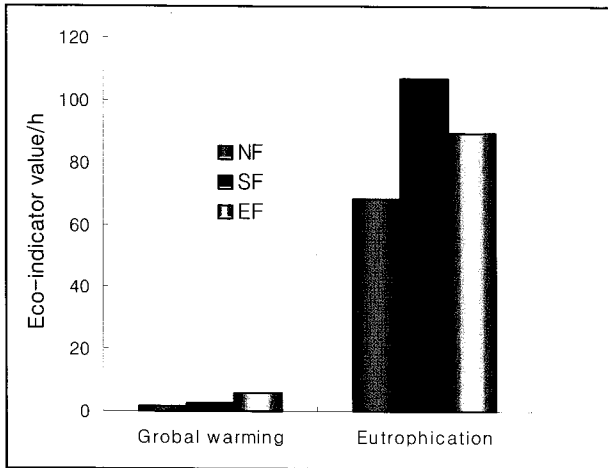


Fig. 4. Eco-indicator values per environmental effect for the different fertilizing systems with rice cultivation.

Fig. 4는 ISO범주 외의 것에 비중을 취한 후, 그 결과를 제시한 것이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 비 재배에 따른 모든 시비체제에 있어 수계의 부영양화에 대하여 높은 생태지표 지수가 나타났다. 수계의 부영양화의 수치는 화학비료 처리구에서 가장 높게 나타났으며, 이는 표준시비구의 높은 인산질 비료의 투입량 때문인 것으로 판단된다. 무비구와 표준시비구에 있어 지구온난화에 대한 생태지표 지수(Eco-indicator values)의 차이는 작았지만 액비 처리구는 표준시비구에 비하여 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

환경영향 범위에 대한 결과적인 생태지표 지수는 중요하지 않으므로, 시비방법에 대한 총 환경 부하를 나타내기 위하여 합산되었으며, 생태지표 지수가 높으면 높을수록, 환경에 악영향을 미치는 잠재성이 높다고 하겠다.

비 재배에 따른 시비체제에 대한 전반적인 환경영향평가는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다. 무비구가 가장 낮은 전체 기여도를 나타낸 반면, 표준시비와 액비처리구에 대한 수치는 각각 58%와 38%로 화학비료 처리구가 20%정도 높게 나타났다. 이러한 것은 주로 시비방법에 있어 수계의 높은 부영양화에 대한 잠재성 차이 때문인 것으로 생각된다.

요 약

Consoli¹⁴⁾가 설명한 것처럼 전과정평가의 개념 및 일반적인 정의에 따르면, 전과정평가는 농업생산에 관련된 환경영향을 평가하는데 부합하는 방법이라고 생각되며, 특별히 전과정평가방법인 Eco-indicator 95⁹⁾는 농업 체제에 대한 환경영향을 분석하는데 적절한 기법인 것으로 입증되었다.

Eco-indicator 95 method를 이용하여 지구온난화 및 수계 부영양화와 관련된 시비체제에 따른 비 재배에 대해 비교할 만한 분석체제를 이루었다. 그렇지만 본 연구에서 전과정평가 항목에 기록된 모든 관련 정보가 환경 영향에 고려되지 않았

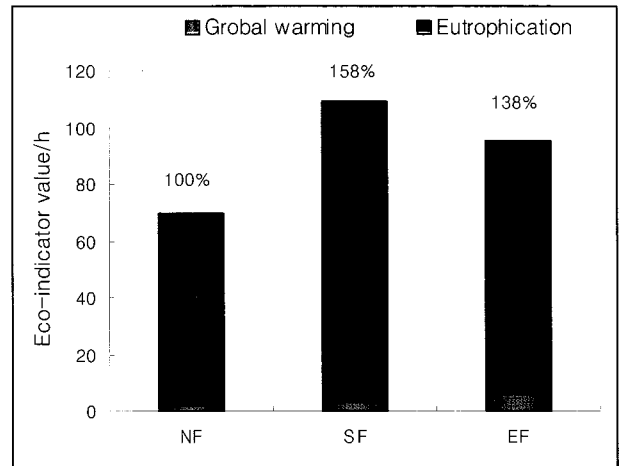


Fig. 5. Total Eco-indicator values for the fertilizing systems related to rice cultivation.

기 때문에 Eco-indicator 95 method를 농업생산 체계에 적용할 때 몇 가지 난제에 부딪힌다. Eco-indicator 95 method에 토양 및 자원의 이용과 같은 몇몇 중요한 환경적인 문제가 포함되지 않았으며, 이 방법의 다른 문제는 환경 평가를 위하여 현장 정밀연구가 수행되지 않았다는 것이다.

그렇지만 본 연구에서 얻어진 생태지표 지수를 이용하여 비 재배에 따른 시비방법 간의 차이점을 나타내기에 충분하다고 여겨지며, 가장 높은 생태지표 지수를 나타낸 화학비료를 사용한 구에서 가장 큰 환경영향이 관측되었고, 이러한 차이점은 주로 화학비료 투입에 의한 토양중의 높은 인산 함량의 축적 때문인 것으로 여겨진다. 분석한 시비체제는 특별히 지구온난화 보다는 수계의 부영양화의 환경적인 문제에 기여되는 것으로 나타났으므로 질소 사용비율 및 사용기술 이외에 액비 사용에 따른 양분 용탈이 수계 환경에 명확히 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Bach, M. and Becker, R. (1995) Regional differenzierte Abschätzung des Nitrateintrages aus diffusen Quellen in das Grounwasser-Untersuchung flir die bundesrepublik, Institute fur Landdeskultur, University of Gieben.
2. ECETOC (1994) European Chemical Industry Ecology & Toxicology Centre (ECETOC), Ammonia emissions to air in western Europe, Technical Report No. 62. ECETOC, Brussels.
3. Kroeze, C. (1994) Nitrous oxide(N₂O)-emission inventory and options for control in the netherlands. RJVM Report nr. 773001004, National Institute of Public Health and Environmental Protection(RIVM), Bilthoven.
4. 김건엽 (2000) 논에서 아산화 질소 및 메탄 배출 저감 기술 개발, 농과원 연구보고서.

5. 임동규 (2000) 가축분뇨 혐기 소화 후 폐액활용 기술, 농과원 연구보고서.
 6. Goedkoop, M. (1995) NOH report 9523. the Eco-Indicator 95. Final Report. Pre Consultants, Amersfoort.
 7. Heijungs, R. (1992a) Environmental Life Cycle Assessment of Products(Ed). Guide, October, 1992. centre of environmental Science, Leiden.
 8. Heijungs, R. (1992b) Environmental Life Cycle Assessment of Products(Ed). Backgrounds, October, 1992. centre of environmental Science, Leiden.
 9. Steen, B. and Ryding, S. O. (1993) The EPS-Enviro-Accounting method, An application of environmental accounting principles for evaluation and valuation of environmental impact in product design. AFR Report II. AFR, Stock-holm.
 10. ISO. (1998) International Organization for standardization (ISO), Draft International standard ISO/DIS 14042 : Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle impact assessment. ISO, Geneva.
 11. Hertwich, E. G. and Pease, W. S. (1998) Letters to the Editor : ISO14042 Restricts Use and Sevelopment of Impact Assessment. Int. J. LCA 3, 180-181.
 12. Marsmann, M., Ryding, S. O., Udo de Haes, H., Fava, J., Owens, W., Brady, K., Saur, K. and Schenck, R. (1999) Letters to the Editors : In Reply to Hertwich and Pease, Int. J. LCA 3 (4), 180-181, "ISO 1402 Restricts Use and Development of Impact Assessment" , Int. J. LCA 4, 65.
 13. Udo de Haes, H. A. and Jolliet, O. (1999) How does ISO/Dis 14042 on Life Cycle Impact Assessment accomodate current best available particle? Int. J. LCA 4, p.75-80.
 14. Consoli, F.(Ed.) (1993) Guidelines for Life Cycle Assessment : A 'Code of Practice'. Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC), Brussels.
-