한국환경농학회지 제18권 제4호(1999)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 18, No. 4, pp. 299~303

논 생태계 관리방법에 따른 에너지 수지

임경수, 안선희, 김정욱
서울대학교 환경대학원

Energy Balance in Various Management of Paddy Ecosystem

Kyoung-soo Lim, Sun-hee An, Jung-wk Kim *(Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University)*

ABSTRACT : A set of surveys was performed at Chungchongbuk-Do in 1997 in order to analyze energy related in rice production. Four cases in rice farming were surveyed : traditional farming, no chemical farming, duck farming, mud snail farming. The farmer in traditional farming has used chemical fertilizers and chemicals such as general farmers. The farmer in no chemical farming has used chemical fertilizers and manure but has not use chemicals. The farmer in duck farming has not used chemical fertilizers and chemicals but brought up duck in paddy. The farmer in mud snail has not used chemical fertilizers and chemicals but brought up mud snail in paddy. The animals in paddy as like duck and mud snail not only eat weeds and insect but also input fertile material by excretion. The results of energy analysis are as follows

1. In view of energy, the duck farming was the most efficient of four cases. The mud snail farming was less efficient than the duck farming, the traditional farming was less efficient than the mud snail farming, the no chemical farming was less efficient than the traditional farming.
2. Relatively to amount of product, non renewable energy was used more in traditional farming than other cases and renewable energy was used more in no chemical farming than other cases.
3. The reason of low energy efficiency in the no chemical farming was to input fertilizers and manure so much. So to input nutrients excessively in order not to use chemicals can make rice farming to be inefficient in a view of energy.
4. The farming to bring up animals in paddy was more sustainable than other cases because input of non renewable energy could be decreased. But in order to make it to be more sustainable, should be developed cultivation method to decrease input of non renewable direct energy such as fossil fuel and electricity .

Key words : Environmental Agriculture, Energy Efficiency, Relative Energy, Sustainability

서 론

자연생태계를 변형하여 생산물을 생산, 끊임없이 외부로 공급하는 농업생태계는 구성요소와 먹이사슬의 단순성으로 인해 불안정한 농업생태계를 유지하고 외부로 반출된 에너지를 보충하기 위해 태양에너지 외에 부가적인 에너지를 필요로 한다. 다양한 에너지와 연관되어 있는 농업활동은 지역의 기후, 토질 등의 자연조건 및 사용 가능한 에너지의 종류와 양을 결정하는 사회적 조건과 밀접한 관계를 가지기 때문에 농업에 투입하는 에너지의 종류와 양은 농업생태계마다 다르게 나타난다. 즉, 농업 생태계의 관리방법에 따라 에너지 투입의 양태는 달라진다. 산업화에 따라 자연조건에 영향을 받지 않고 생산량을 증가시키려는 농업기술은 화학비료, 농약, 기계, 화석연료 등의 상업적 에너지 투입량을 증가시켰고 이에 따라 1인당 경작면적, 노동생산성, 토지생산성은 증가하였지만 같은 에너지를 생산하기 위해 점점 더 많은 에너지를 투입하고 있다.[1)]

최근 들어 농업의 환경보전 기능을 유지하고 부정적인 영향을 최소화하려는 환경농업을 활성화하려는 노력이 이루어지면서 농업생태계에 대한 다양한 관리방법이 나타나고 있는데 에너지 수지는 농업생산에 필요한 에너지의 전체적인 투입량을 비교할 수 있을 뿐만 아니라 각 생산요소의 투입이 환경에 미치는 영향이나 지속가능성 등을 분석할 수 있기 때문에 환경농업이 가지는 친환경적 측면을 평가할 수 있는 유용한 수단이 될 수 있다.[2,3)]

본 연구는 충청북도 음성군 일대에서 환경농업방식을 포함하는 다양한 방식으로 쌀을 생산하고 있는 경작지를 대상으로 경작

활동과 관련된 에너지를 조사, 분석하여 에너지 측면에서 논 생태계의 관리방법을 비교하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 조사대상

1997년 충청북도 음성군 대소면 성본리, 금왕읍 유포리, 맹동면 봉현리의 4개 농가 4개 쌀 경작지를 대상으로 투입한 에너지와 산출한 에너지를 조사하였다. 4개 조사대상 경작지는 화학비료, 농약 등을 사용하는 일반적인 경작논(이하 일반논), 화학비료, 퇴비를 사용하지만 농약을 사용하지 않는 논(이하 무농약논), 농약과 화학비료를 사용하지 않고 논에 오리를 사육하는 논(이하 오리논), 농약과 화학비료를 사용하지 않고 논에 열대산 우렁이를 사육하는 논(이하 우렁이논)이다. 조사논의 주요한 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Input and Area of Surveyed Paddies

Paddy Name	Traditional Paddy	No Chemical Paddy	Duck Paddy	Mud Snail Paddy
Chemical Fertilizer	Input	Input	No Input	No Input
Manure	No Input	Input	No Input	No Input
Rice Straw	Input	No Input	Input	Input
Rice Bran	No Input	No Input	Input	Input
Insecticide	Input	No Input	Input*	No Input
Herbicide	Input	No Input	No Input	No Input
Animal	No Input	No Input	Duck Input	Mud Snail Input
Area	0.19 ha	0.30 ha	0.23 ha	0.30 ha

* Used only in pre-transplanting period.

조사시기 및 조사방법

1997년 3월부터 11월까지 쌀 경작과정에 관계되는 모든 물질과 에너지의 종류 및 양을 경작자와의 면담을 통해 조사하였다. 면담은 주 1회를 원칙으로 하였으나 경작자를 만날 수 없거나 경작과 관련한 작업이 많지 않은 경우에는 2주 간격이 생기기도 하였다. 대개 조사논마다 총 23회에서 25회의 면담이 이루어졌다. 조사항목과 항목에 따른 조사내용은 표 2와 같다.

분석방법

에너지 분석을 위해서는 쌀 경작과정에 관계한 모든 물질과 에너지를 동일한 단위의 에너지량으로 변환하는 환산계수가 필요하다. 직접 에너지의 경우는 에너지 등가표에 의해 환산계수를 구할 수 있고 간접에너지의 경우는 통계적 분석, 투입·산출 분석, 과정분석 등에 의해 산정하는데 D. Pimentel 등이 사용한 환산계수를 사용하였다.[4~11] 환산계수는 표 3과 같다.

Table 2. Items of Interview

Category		Item	Content
Input	Direct Energy	Labor	number and sex of worker, work time
		Fuel	kind, quantity
		Electricity	quantity
	Indirect Energy	Seed	quantity
		Fertilizer	kind, component, quantity
		Feed	kind, component, quantity
		Manure	quantity
		Rice Straw	quantity
		Rice Bran	quantity
		Chemicals	kind, quantity
		Machinery	kind, weight, operation time, expected life span
		Materials	kind, weight, raw material, expected life span
		Animal	kind, weight
Output	Product	Rice	quantity
		Rice Straw	quantity
		Rice Bran	quantity
		Animal	quantity

Table 3. Conversion Factor of Input and output

Category	Items	Unit	Conversion Factor (MJ/Unit)	Reference
Direct Energy	Labor	hr	0.8	1)
	Machinery	kg	142.7	2)
	Electricity	Hph	2.7	3)
	Gasoline	kg	43.2	1)
	Diesel	kg	48.7	1)
Indirect Energy	N-fertilizer	kg	88.2	1)
	P-fertilizer	kg	26.5	1)
	K-fertilizer	kg	10.5	1)
	Chemicals	kg	42.0	1)
	Seed	kg	14.4	4)
	Manure	kg	7.3	5)
	Rice Straw	kg	13.6	5)
	Rice Bran	kg	18.4	6)
	Feed	kg	3.5	7)
	Duck	kg	29.4	3)
	Mud Snail	kg	29.4	3)
	Material	kg	87.0	1)
	Rice	kg	14.2	8)

1) W. Dazhong and D.Pimentel, 1990, "Energy Flow in Agroecosystems of Northeast China", *Agroecology : Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*, Springer-Verlag, pp. 322-336.
2) C.A. Tsatsarelis, 1993, Energy Inputs and Outputs for Soft Winter Wheat Production in Greece, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 43, pp. 109-118.
3) R.C. Fluck and C.D. Baird, 1980, *Agricultural Energetics*, Avi Publishing Company ING, p 186.
4) S.Sharma, 1991, "Energy Budget Studies of Some Multiple Cropping Patterns in the Central Himalaya", *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, vol 36, pp. 199-206.
5) S.M. Pandya and M.D. Pedhadiya, 1993, "Energy Analysis of Indian Village Semi-Arid Ecosystem", *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, vol 45, pp. 157-175.
6) C. Rongjun, 1989, "Energy and Nutrient Flow Through Detritus Food Chains", *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, vol 27, pp. 205-215.
7) C. Vinten-Johansen, L.E. Lanyon and K.Q. Stephenson, 1990, "Reducing Energy Input to a Simulated Dairy Farm", *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, vol 31, pp. 225-242.
8) Kim, Eun-Mi, Woo, Soon-Ja, and Chee, Kew-Mahn, 1996, "A Study on Estimation of Metabolizable Energy Content in Cereal", Korean Journal of Nutrition, vol 29 (1), pp 50-58

Table 4. Category of Energy

Category	Items
Non renewable direct energy	Electricity, Fossil fuel
Non renewable indirect energy	Machinery, Material, Chemical fertilizer, Chemicals, Feed
Renewable direct energy	Labor
Renewable indirect energy	Seed, Manure, Straw, Bran, Animal

에너지 효율을 분석하기 위해 투입에너지와 산출에너지에 대해 투입·산출 분석을 하였고 투입에너지의 특성을 파악하기 위해 에너지의 종류를 <표 4>와 같이 재생 불가능한 직접에너지, 재생 가능한 간접에너지, 재생가능한 직접에너지, 재생가능한 간접에너지로 구분한 후 에너지 투입량을 단순하게 비교, 분석하면 농업생태계 마다 생산량이 서로 달라 같은 조건에서 비교가 이루어지지 않으므로 (식 1)과 같은 상대적 에너지를 계산하였다. 상대적 에너지는 투입하는 에너지를 생산한 쌀의 에너지로 나눈 것으로 일정한 쌀 에너지를 생산하기 위해 얼마만큼의 에너지가 투입되었는가를 나타내주는 무단위량이다.

$$\text{상대적 에너지} = \frac{\text{투입하는 에너지}}{\text{생산한 쌀 에너지}} \quad \text{--------} \ (\text{식 1})$$

결과 및 고찰

에너지 효율 분석

조사논의 쌀 경작에 투입한 에너지와 산출한 에너지를 표 5에 나타내었다. 가장 많은 에너지를 투입한 논은 22138.1 MJ/ha을 투입한 무농약논이며 일반논(12569.7 MJ/ha), 오리논(7772.5 MJ/ha), 우렁이논(7743.8 MJ/ha)의 순서였다. 산출한 에너지가 가장 많은 논은 쌀을 403.3 kg/ha를 생산하여 총 산출에너지 14083.3 MJ/ha를 산출한 오리논이었으며 일반논(12975.3 MJ/ha), 우렁이논(11770.7 MJ/ha), 무농약논(11247.5 MJ/ha)의 순서였다. 에너지 효율은 오리논이 1.8로 가장 높고 우렁이논(1.5), 일반논(1.0), 무농약논(0.5)의 순서였다. 생산물에서 가장 중요한 쌀 생산 에너지에 대한 에너지 효율도 총에너지 효율과 마찬가지로 오리논이 0.8로 가장 높고 우렁이논(0.7), 일반논(0.5), 무농약논(0.2)의 순서였다.

상대적 투입에너지 분석

투입에너지를 직접에너지와 간접에너지로 나누고 재생여부에 따라 다시 나눈 후 상대적 에너지를 계산하여 그림 1에 나타내었다. 상대적 에너지의 전체 투입량은 많은 에너지를 사용하여 적은 에너지를 산출한 무농약논이 4.4로 크고 적은 에너지를 투입하여 많은 에너지를 산출한 오리논이 1.3으로 가장 작다. 각기 다른 성격을 가진 에너지에 대한 상대적 에너지를 비교하면 쌀을 생산하기 위해서 투입한 에너지의 특성을 파악할 수 있다. <그림 1>에 따르면 일반논과 무농약논의 재생불가능한 에너지의 상대적 에너지는 1.7과 1.5로 오리논과 우렁이논의 0.56, 0.45보다 2-3배 가량 많았다. 이것은 일반논과 무농약논의 경우 오리논이나 우렁이논보다 쌀 생산을 화학비료, 농약, 기계, 화석연료와 같은 재생불가능한 에너지에 훨씬 많이 의존하고 있다는 것을 의미한다. 또한 같은 에너지를 생산하기 위해 무농약논이 재생가능한 에너지를 가장 많이 사용하고 있었고 일반논이 가장 적게 사용하고 있었다.

이상에서 첫째, 에너지 효율면에서 화학비료, 농약을 모두 사용하는 일반논과 농약을 사용하지 않는 무농약논이 동물을 사육하는 오리논이나 우렁이논보다 에너지 효율이 떨어졌다. 둘째, 무농약논은 농약은 사용하지 않지만 재생가능한 간접에너지인 퇴비를 많이 사용하였고 퇴비를 투여하기 위해 기계와 화석연료를 많이 사용하기 때문에 전체적인 에너지 투입량이 많아 에너지 효율이 가장 낮았다. 즉, 농약을 사용하지 않기 위한 과도한 영양분의 투입은 에너지 측면에서 비효율적인 경우가 생길 수 있음을 보여주었다. 셋째, 에너지 투입량과 투입한 에너지의 특성으로 볼 때 동물을 사육하는 오리논과 우렁이논의 경우 에너지 투입량도 적고 화학비료, 농약, 기계, 화석연료와 같은 재생불가능한 에너지의 투입이 적어 친환경적으로 쌀을 생산하고 있었다. 셋째, 오리논과 우렁이논의 경우 투입한 재생 불가능한 에너지의 대부분은 기계,

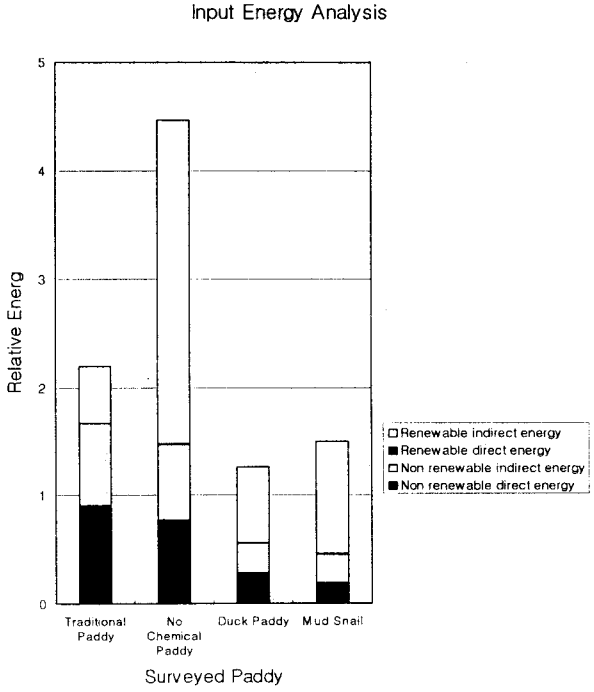

Fig.1. 다양한 관리방법을 사용한 논 생태계의 에너지 비교

Table 5. Energy Input and Output in Padddy

(Energy Unit : MJ/ha)

Item	Quantity Unit	Traditional Paddy		No chemical Paddy		Duck Paddy		Mud snail Paddy	
		Qunatity	Energy	Qunatity	Energy	Qunatity	Energy	Qunatity	Energy
Input Energy									
labor	hr	33.3	26.6	65.4	52.3	42.5	34.0	62.3	49.8
Machinery	kg	18.7	2668.5	12.9	1840.8	5.7	813.4	4.2	599.3
Electricity	hph	2.6	7.0	2.3	6.2	1.3	3.5	54.0	145.8
Gasoline	kg	3.7	159.1	3.7	159.1	1.9	81.7	4.3	184.9
Diesel	kg	96.5	4689.9	74.9	3640.1	29.8	1448.3	10.8	524.9
Material	kg	2.5	217.5	1.6	139.2	10.1	878.7	8.3	722.1
N Fertilizer	kg	12.1	1067.2	13.6	1199.5	0.0	0.0	0.0	0.0
P Fertilizer	kg	7.7	204.1	7.4	196.1	0.0	0.0	0.0	0.0
K Fertilizer	kg	20.1	211.1	11.1	116.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Chemicals	kg	8.0	336.0	0.0	0.0	0.5	21.0	0.0	0.0
Seed	kg	7.1	102.2	4.6	66.2	4.7	67.7	5.3	76.3
Manure	kg	0.0	0.0	2016.7	14721.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Rice Straw	kg	211.8	2880.5	0.0	0.0	211.8	2880.5	105.9	1440.2
Rice Bran	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	67.6	1243.8	200.0	3680.0
Feed	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	56.3	197.1	40.3	141.1
Duck	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	102.9	0.0	
Mud Snail	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	179.3
Total Input Energy		-	12569.7	-	22138.1	-	7772.5	-	7743.8
Output Energy									
Rice	kg	403.3	5722.8	349.6	4960.8	433.7	6154.2	363.0	5151.0
Rice Straw	kg	282.3	3839.3	244.7	3327.9	303.6	4129.0	254.1	3455.8
Rice Bran	kg	185.5	3413.2	160.8	2958.7	199.5	3670.8	167.0	3072.8
Anumal	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	129.4	3.1	91.1
Total Output Energy			12975.3		11247.5		14083.3	0.0	11770.7
Energy Efficiency (Rice)			0.5		0.2		0.8		0.7
Energy Efficiency (Tatal)			1.0		0.5		1.8		1.5

화석연료, 전기 등인데 이러한 친환경적 생산방식이 보다 환경적이고 지속가능하기 위해서는 이러한 재생 불가능한 직접 에너지를 줄일 수 방안이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

충청북도 일대에서 화학비료와 농약을 사용하는 일반적인 경작논(이하 일반논), 화학비료, 퇴비를 사용하지만 농약을 사용하지 않는 논(이하 무농약논), 농약과 화학비료를 사용하지 않고 논에 오리를 사육하는 논(이하 오리논), 농약과 화학비료를 사용하지 않고 논에 열대산 우렁이를 사육하는 논(이하 우렁이논)에 대해 에너지 분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 에너지 효율은 오리논(1.8)이 가장 높고 우렁이논(1.5), 일반논(1.0), 무농약논(0.5)의 순서이다. 생산량에 비해 상대적으로 재생 불가능한 에너지는 일반논과 무농약논이 오리논과 우렁이논보다 2-3배 많이 사용하였고 재생가능한 에너지는 무농약논이 가장 많이 사용하였다. 무농약논은 비료, 퇴비를 과도하게 사용하여 에너지 효율이 낮아졌다. 무농약 재배를 위한 과도한 영양분의 투입은 에너지 측면에서 비효율적일 수 있음을 보여주었다. 논에 동물을 사용하는 방식은 재생불가능한 에너지 투입을 줄일 수 있어서 다른 방식에 비해 친환경적이었다. 하지만 보다 환경적이고 지속가능하기 위해서는 재생 불가능한 에너지를 더 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. Giampiertro M. and Pimentel D. (1994) Energy Utilization, Encyclopedia of Agriculttural Science, vol. 2, pp. 63-76.
2. Kwang-Pyo Hong. etal. (1995) "Energy Efficiency of Different Farming Practices and Tillage Methods in Rice", *RDA. J. Agri. Sci.*, vol 37(2), pp 676-680.
3. Ho Jin Lee, etal. (1996) Low-Input and Energy Efficiency of Direct Seeding Method in Rice, Korean J. Crop Sci., vol 41(1), pp. 115-122.

4. Dazhong W. and Pimentel D. (1990) Energy Flow in Agroecosystems of Northeast China, Agroecology : Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture, Springer-Verlag, New york, pp. 322-336.
5. Tsatsarelis C.A. (1993) Energy Inputs and Outputs for Soft Winter Wheat Production in Greece, Agriculture Ecosystems and Environment, 43, pp. 109-118.
6. Fluck R.C. and Baird C.D. (1980) Agricultural Energetics, AVI Publishing Company INC., 6pp.
7. Sharma S. (1991) Energy Budget Studies of Some Multiple Cropping Patterns in the Central Himalaya, Agriculture Ecosystems and Environment, 36, pp. 199-206.
8. Pandya S.M. and Pedhadiya M.D. (1993) Energy Analysis of Indian Village Semi-Arid Ecosystem, Agriculture Ecosystems, and Environment, 45, pp. 157-175.
9. Rongjun C. (1989) Energy and Nutrient Flow Through Detritus Food Chains, Agriculture Ecosystems and Environment, 27, pp. 205-215.
10. Vinten-Johansen C., Lanyon L,E. and Stephenson K.Q. (1990) Reducing Energy Input to a Simulated Dairy Farm, Agriculture Ecosystems and Environment, 31, pp. 225-242.
11. Kim, Eun-Mi, Woo, Soon-Ja, and Chee, Kew-Mahn, (1996) A Study on Estimation of Mentabolizable Energy Content in Cereal, Korean Journal of Nutrition, vol 29 (1), pp. 50-58.