

우리나라 벼 생산과정에서의 에너지사용량 추정

Energy Consumption Pattern for Rice Production in Korea

김영중*
Y. J. Kim

SUMMARY

This study was conducted in order to figure out the energy consumption pattern in rice production system of Korea, with literature investigation focused on energy requirement in rice production system in worldwide. The investigation reveals that 24,994 MJ/ha was needed to produce 4,500kg of rice production or 5.55 MJ/kg was consumed. The major energy consumptions are resulted from the application of nitrogen fertilizer, fuel for farm machinery, and farm machinery embodied energy, which showed somewhat different energy consumption pattern than that of the developed country, like, U.S.A. Based on the machinery chosen in this investigation, it was found that 32.7% of the fuel energy, 2,431.8MJ, was consumed in drying operation, 32.2%, 2,402MJ, in tillage and land preparation, 25.8%, 1,923.6MJ in harvest. A linear relationship was found in preharvest energy input and output of rice production.

1. 서 언

한 나라의 에너지 사용수준과 형태는 그 나라의 생활수준과 산업발달정도의 지표가 된다. 농업생산에 필요한 기본 6대 요소는 토지, 물, 인력 또는 축력, 에너지(상업적 또는 비상업적), 작물 재배기술과 자본이다. 현대농업 내지는 전통적 농업에서 작물생산에 투입되는 상업적 에너지량은 작물의 수확량과 비례관계가 있다(Kiamco and Mcnnamy, 1979, Sarker et al. 1981). 비상업적 에너지는 태양광 또는 바람의 형태로 나타난다. 고도의 기계화된 옥수수 생산에서 90%의 에너지는 바이오매스의 형태로 태양에서 나오고 10%는 화석에너지, 인력노동력은 단지 0.2%를 차지한다(Pimentel, 1973). 에너지 효율은 에너

지 산출량과 에너지 투입량과의 비율로서 어떤 생산시스템을 평가하는데 있어서 가장 간단한 기준이다. 따라서 에너지 효율을 계산하므로써 어떤 작물의 에너지 이용효과를 비교해 볼 수 있다. 전체적 에너지 투입량과 생산량과의 관계 분석은 노동감소시간 및 경제성 분석을 중심으로 수행되어온 우리나라 농업기계화 연구에 에너지효율적 측면을 조명하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 그러나 우리나라에서는 농업생산에 관한 에너지 분석연구가 거의 수행되지 않았다고 사료된다.

본 연구의 목적은 농업생산에 투입되는 상업적에너지, 즉 석유연료, 관개수, 화학비료, 기계, 살충제, 제초제 등의 양을 우리나라 표준농가의 규모에서 표준작업방법을 기준으로 추정하는 것

* 농업기계화연구소

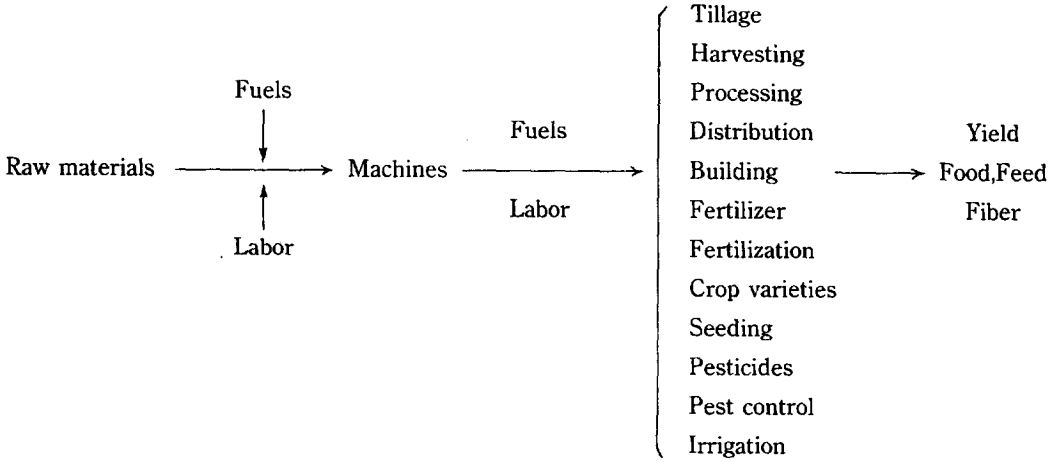


Figure 1. Flow of energy from fuels and labor during the manufacture, distribution, and culture of food and feed (Heichel, 1973)

이다. Figure 1은 농작물 생산에 소요되는 에너지 형태를 표시한다.

2. 에너지 소요량 결정방법

작물생산에 투입된 에너지는 크게 기계장비에너지와 기계를 움직이는 연료에너지, 노동력, 비료, 농약으로 분류된다. 기계장비에너지는 농작업에 소요된 기계장비의 생산, 유지(수리포함), 기계의 운송에너지로 표시된다. Table 1은 기계를 작동시키는데 소요되는 에너지로서 Pimentl et al.(1973)과 Loewer et al.(1977)이 제시한

Table 1. Energy constants by category

Category	Energy values (MJ/kg)
M.T. & R.	101
Fuel	47.3
Labor	2.28 MJ/man-h

M.T.& R. denotes manufacture, transport and repair. Source : Bridges and Smith(1979)

값이다. 우리나라에서는 각종 농업기계장비 및 연료, 비료, 농약을 생산하는데 소요되는 에너지 값에 대한 정보가 없기 때문에 문헌조사를 통하여 국제적으로 사용되는 값을 사용해야 한다고 사료된다.

Table 2. Various energy constants for agricultural production

Kind	Energy values (MJ/kg)
Labor	0.05hp/man or 2.36MJ/man.hr
Machinery	68.8
Fuel	47.3
Fertilizer	
Nitrogen	80.2
Phosphate	14
Potassium	9
Pesticides & Herbicides	100.2
Seed	16.8
Electricity	12.02 MJ/kwh

기계장비의 에너지는 보통 기계장비의 무게에 따라 정해진다 (Pimentel et al., 1980, Kiamco and McMennamy, 1979). 비료에너지는 주비료 성분(N,P,K)의 함량에 따라, 농약에너지는 농약의 활성성분의 양에 따라 정해진다. 이러한 에너지 상수는 문헌에 따라 조금씩 차이가 있다. Sarker et al.(1981)과 Kiamco 와 McMennamy(1979)는 기계생산 에너지상수를 68.8MJ/kg, 연료 에너지상수를 39.1MJ/kg로 상정하여 계산하였다. Table 2는 농업생산에 투입되는 상당에너지 값으로서 여러 연구자가 사용한 값이다.

3. 농업생산에 사용된 기계장비 에너지량 결정

포장에 사용되는 기계장비에너지는 (기계의 무게(kg)×상당에너지값)/(내구년한×평균사용면적)의 식에 의해 결정된다. 따라서 트랙터(22마력, 중량 957kg, 부담면적 20ha)를 이용하여 경운정지작업 (플라우 P45형식, 기체 102kg, 보습 1.2kg, 로타베이터 R140형식, 203kg)을 할 때 소요되는 기계에너지는 트랙터에너지+플라우에너지+로타베이터에너지 즉 (957+102+1.

Table 3. Equivalent energy values of various machines

Kind	Weight (kg)	Design life (years)	Field capacity (ha)	Input Quantity (kg/ha)
Tractor (22PS)	957	8	17.94	8.8
Plow	102			
Share	1.2			
Rotavator	203			
Trailer	740			
Transplanter (4 row)	160	6	7.09	3.75
Combine (3 row)	1480	7	14.29	14.79
Dryer (21M/T)	802	8	5.9	16.99
Sprayer (60A)	25.5	6	8.88	0.47
Seedler	13	6	6.35	0.34
Soil producer	45	6	6	1.25

* 기종선택은 자경, 비농사 중심으로 선택하였고 기계의 제작사는 표시하지 않았음

1. 기계장비 1kg 중량당 생산에너지는 68.8MJ로 가정
2. 작업면적은 연간평균작업면적임.
3. 건조기의 작업면적은 10a당 현미생산 450kg으로 계산하여 결정
4. 에너지상당량은 무게×기계에너지/(내구년한×연간작업면적)에 의해 계산

2+203)kg×68.8MJ/kg=86,987 MJ이 된다. 여기에서 22마력 트랙터의 부담면적이 20ha, 내구년한이 8년 이므로 매년 단위 ha에 투입되는 경운정지작업 기계에너지는 86,987MJ/(20×8)=543.6 MJ/ha가 된다. 이앙작업시 소요되는 에너지는 이앙기의 무게 (KP400형식, 내구년수 6년, 부담면적 15.7ha)는 160kg로서 이앙기에너지는 160kg×68.8 MJ/kg=11,018 MJ, 11,018 MJ/(15.7×6)=116.9 MJ/ha가 된다. 이상의 기계에너지를 표를 통해 나타내어 보면 Table 3과 같다.

4. 연료에너지 계산

단위면적에서 각종 농작업 기계장비를 사용할 때 소요되는 연료에너지는 작업시간 (hr/ha)×

연료소모량 (L/hr)×연료밀도(kg/L)×연료에너지(kcal/kg)에 의해 산정될수 있다. Table 4는 각 작업별 단위면적에서 소요되는 연료에너지 값을 나타낸다.

Figure 2는 연료에너지 소비행태를 작업별로

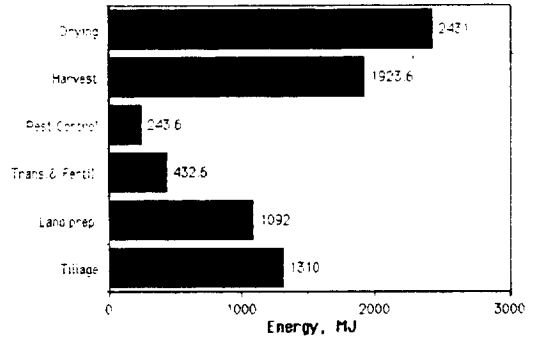


Fig 2. Fuel energy consumption pattern in rice production system

Table 4. Fuel energy values of various operations in rice production

Kind	Operation	Operation time (hr/ha)	Fuel consumption (L/hr)	Energy (MJ/ha)
Tractor	Tillage (plow)	5	5.54	1312
	Land Prep. (Rotavator)	4.17	5.54	1094
Trans-planter	Transplanting & Fertilizing	8.17	1.12	433
Sprayer	Pest control	0.33×5 times	3.15	246
Combine	Harvest	8.33	4.60	1924
Dryer	Drying	14.14	3.0	2,009
			2.5kw/hr (Electricity)	425

1. 작업시간 및 연료소모량은 "농업기계화 동향과 중점연구방향"(농업 기계화연구소, 1992)을 참조.
2. 이앙기는 이앙, 시비를 동시에 수행하는 축조시비장치를 부착하였음.
3. Table 4는 Table 3의 작업을 기준으로 산정되었음.
4. 건조시간은 함수율 20.5%의 벼가 15%로 도달할 때까지의 시간임(농업 기계검사연보, 1990)
5. 방제회수는 5회로 가정.

나누어 작성되었으며 연료에너지의 32.7%, 2,431.8 MJ는 건조작업, 32.2%, 2,402.4MJ는 경운 정지작업, 25.88%, 1,923.6MJ는 수확작업에 소비되었다는 것을 알 수 있다. 그러나 방제작업에는 전체 연료에너지의 3.28%, 243.6MJ이 사용되었다는 것을 알 수 있다.

5. 비료에너지

비료에너지는 단위 ha당 투입되는 질소, 인, 칼리의 에너지로서 벼 생력재배 새기술(농촌진흥청, 1991)에 나오는 값을 기준으로 하여 산정하였다. FAO의 보고에 의하면 질소 1kg을 생산하는데 소요되는 에너지는 문헌에 따라 61.7에서 79.8 MJ이다. 농약에너지는 제조제와 방제약을 총칭하고 그 사용량을 개개 농가에서 추적할 수 있는 방법이 마땅치 않아 1991년도 우리나라 수도작용 전체 농약판매량 10,095M/T를 전체수도작 면적 120만 ha로 나누어 산정하였다. 따라서 1991년도 전체농약사용량은 성분량으로 8.4 kg/ha이며 농약생산에너지는 100.23MJ/kg(Sarker et al., 1981)을 사용하였다.

Table 5. Equivalent energy values of fertilizers

Ingredient	Fertilizer (kg/ha)	Energy value (MJ/ha)
Nitrogen	110	8,820
Phosphate	70	978
Potassium	80	718

* 질소비료 생산에 소요되는 에너지는 80.2MJ/kg, 인비료는 14.03MJ/kg, 칼리비료는 9.02 MJ/kg로 계산(Sarker et al., 1981)

6. 전체에너지

Table 6은 우리나라 벼 표준재배시 소요되는 각종 에너지량과 미국, 필리핀에서의 벼생산에 소요되는 에너지량을 보여준다.

7. 고찰

우리나라 벼생산 농작업에서 에너지가 많이 소요되는 부문은 질소비료사용, 농업기계의 연료, 농업기계에너지 순서이다. 반면 농업선진국 미국의 벼생산 에너지 소비량은 농업기계의 연료, 관개, 질소사용의 순으로 되어있다(Table 6.). 노동투하시간은 우리나라 수도작 10a에 투입되는 노동시간 60.8hr(벼 생력재배기술, 1991)에서 시비노력(촉조시비기 사용)을 뺀 노동시간 56.8hr/10a을 10배 해준 값, 568hr를 ha당 노동시간으로 정했다. 비슷한 기계화작업구조를 가진 일본의 수도작에서 노동투하시간을 조사해본 값은 168.53hr(농작업편람, 1985)로서 많은 차이를 보이고 있다. 물론 일본에서는 물관리시간, 포장의 작업시간, 육묘관리시간이 포함되지 않았지만 검토되어야 될 과제라고 생각된다. 또한, 우리나라 기존 농업노동시간 산출이 10a를 기준으로 산정되어 외국의 ha당 노동시간과 비교 하는 데는 다소 문제가 있는 것으로 여겨진다.

우리나라 기계에너지량은 46.5kg으로 나타나 미국의 기계에너지 37.7kg 보다 많은 것으로 나타났다는데 이는 우리나라 농업규모가 영세적인데 비해서는 소유하고 있는 농업기계가 많다는 것을 의미한다고 하겠다. 에너지 투입량 대 산출량과의 관계는 5.55MJ/kg으로 미국의 7.06MJ/kg

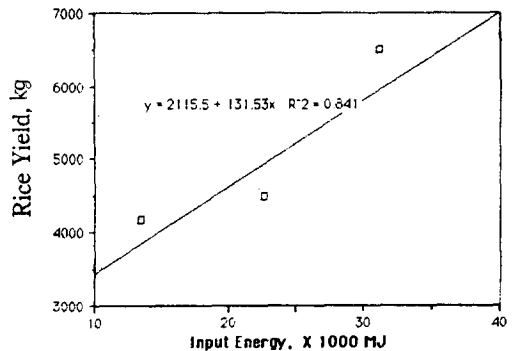


Fig 3. Energy input vs yield relationship in rice production

보다는 적고 필리핀의 3.69MJ/kg 보다 많은것으로 나타났다. Figure 3은 Table 6의 각국의 수확전 에너지투입량과 에너지산출량과의 관계를 나타낸 것으로 다음과 같은 회귀방정식으로 표시될 수 있다. $Y = 2115.5 + 131.53 X, R^2 = 0.841$, 여

기서 X는 수확전 에너지투입량, Y는 벼의 생산량이다. 이것은 Singh 과 Singh(1992)의 보고결과와 합치되는 것으로 사료되며 수확전 투입에너지량은 에너지산출량과 선형적 관계가 성립하는 것으로 볼 수 있다.

Table 6. Comparison of energy requirements in rice production between Korea, United States of America and Philipines

Item	Quan./ha	MJ/ha	Quan./ha	MJ/ha	Quan./ha	MJ/ha
	Korea		U.S.A. (California)		Philipines (Dry season)	
Input						
Labor	568hr		23.6		814.7hr	
Machinery	46.5kg	3,202	37.7	3,118	4.5kg	340
Fuel	157Lit	7,437	280.6Lit	13,149	131.3Lit	5,574
Nitrogen	110kg	8,820	132.3kg	8,168	88.0kg	5,433
Phosphate	70kg	978	56kg	705.6		
Potassium	80kg	718				
Pesticides	8.4kg	842	4.6kg	1,698	1.0kg	403
Seed	33.6kg	563	180.5kg	3,032	103.9kg	1,745
Electricity			29.7kwh	357		
Transportation			451.3kg	487		
Drying		2,434	6,969kg	5,850		
Irrigation			250cm	8,983	30cm	1,907
Others				441		
Total		24,995		45,994		15,404
Output						
Rice Yield	4,500kg	68,040	6,513kg	80,750	4,175kg	51,763
Energy input (MJ/kg)		5.55		7.06		3.69
MJ output/MJ input		2.72		1.76		3.36

1. 노동력은 벼생력재배기술(표준영농교본)(농촌진흥청, 1991) 참조
2. 미국, 필리핀 자료는 Handbook of Energy Utilization in Agriculture(Pimentel, 1980)에서 참조
3. 연료소비량은 우리나라 22마력 트랙터 평균사용시간 348시간(농업기계화연구소, 농업기계화동향과 중점연구방향)을 연간작업면적 17.94ha로 나눈값 19.4hr/ha를 기준으로 산정하였음. 여기서, 연료에너지는 건조작업에 소요되는 연료에너지를 포함하지 않았음.
4. 농약량은 우리나라 수도용 전체농약판매량을 우리나라 수도재배면적 120만ha로 나눈 값임.
5. 종자에너지는 kg당 16.8MJ로 계산(Kiamco and McMennamy, 1979)
6. 쌀의 열량에너지는 15.1MJ/kg으로 계산

8. 결론

본 연구에서 구명하고자 하는 바는 우리나라 표준농가에서 비 생산작업에서 에너지 사용형태 및 에너지소요량을 추정하는 것이다. 결과에 의하면 우리나라 비생산작업에 소요되는 전체에너지량은 24,994.2MJ로서 에너지소비 구성비율은 질소사용, 농업작업기계에너지, 농업기계에너지의 순서로 나타났으며 에너지산출량은 비, 4,500 kg, 68,040MJ로 나타났다. 에너지투입량 대 에너지산출량은 5.55MJ/kg으로 미국의 7.06MJ/kg 보다는 적고 필리핀의 3.69MJ/kg 보다 많은 것으로 나타났다. 연료에너지 중에서 에너지를 많이 소비하는 농작업은 건조, 경운정지, 수확작업의 순으로 나타났다. 수확전 에너지투입량과 에너지산출량, 비산출량, 과의 관계는 선형회귀방정식 $Y=2115.5+131.53X$, $R^2=0.841$, 여기서 X는 수확전 에너지투입량, Y는 비의 생산량, 으로 표시되며 이는 수확전 에너지량이 높을수록 수확량이 증가한다는 것을 보여준다.

참 고 문 헌

1. 국립농업자재검사소. 1990. 농업기계검사 연보. 국립농업자재검사소.
2. 국립농업자재검사소. 1991. 농업기계검사 연보. 국립농업자재검사소.
3. 농업기계화연구소. 1992. 농업기계화동향과 중점연구방향
4. 농업기계화연구소. 1992·1991년도 시험연구보고서. 농촌진흥청 농업기계화연구소.
5. 농촌진흥청. 1991. 비 생력재배 새기술. 전문지도사용 7. 농촌진흥청 기술보급국 미산지도과
6. 농촌진흥청. 1991. 비 생력재배기술. 표준영농교본-76. 농촌진흥청.
7. 일본농작업연구회. 1985. 신판 농작업편람. 농업통계협회
8. Agricultural Engineers Yearbook. 1972.

- ASAE. St. Joseph, MI.
9. Avlani, P.K. and W.J. Chancellor. 1977. Energy requirements for wheat production and use in California. Transactions of the ASAE : 429-437
10. Bridges, T.C. and E.M. Smith. 1979. A method for determining the total energy input for agricultural practices. Transactions of the ASAE : 781-784
11. Chancellor, W.J. 1978. The role of fuel and electrical energy in increasing production from traditionally based agriculture. Transactions of the ASAE : 1060-1067
12. Faidley, L. 1977. Energy requirements and efficiency for crop production. ASAE Paper. No. 77-5528.
13. Kiamco, L. and J. McMennamy. 1979. Reflection of the energy requirements of small rice farmers. AMA, Spring : 11-16
14. Larson, D.L. and D.D. Fangmeier. 1978. Energy in irrigated crop production. Transactions of the ASAE.: 1075-1080
15. Ozkan, H.E. and J.C. Frisby. 1981. Optimizing field machinery system energy consumption. Transactions of the ASAE 300
16. Pimentel, D and et al. 1973. Food production and the energy crisis. Science. November. 2 : 443-449
17. Pimentel, D. (eds) 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fl.
18. Sarker, R.I., A.T.M. Ziauddin and M. Hosain. 1981. Energy input-output relationship in traditional and mechanized rice cultivation in Bangladesh. AMA, Summer : 30-32
19. Singh, S. and G. Singh. 1992. Energy input vs crop yield relationship for four major crops of northern India. AMA. Vol. 23. No. 2 : 57-62