

미국 유기농법과 관행농업의 에너지 효율성 비교*

이명기, 김태훈

1. 서론

미국 펜실베이니아 지역 옥수수생산의 에너지 효율성 비교에서 유기농법은 약 5.8, 관행농법은 약 4.0으로 유기농법의 에너지 효율성이 더 높다.

저탄소 녹색성장이 국가 발전을 위한 새로운 비전으로 제시됨에 따라 농업에서도 에너지를 효율적으로 이용할 필요성이 높아졌다. 따라서 다양한 농법들의 에너지 효율성을 비교분석함으로써 보다 에너지를 효율적으로 이용하는 농법을 확대하는 것은 농업부문의 녹색성장을 위해 필요하다.

미국의 예에서 볼 때 유기농업은 농업생산에서의 화석에너지 투입량을 현저하게 줄여줄 뿐만 아니라 관행농업과 비교해볼 때 농업의 환경적 성과 측면 또한 개선시킨다. 유기 옥수수 생산에서 화석에너지 투입은 관행 옥수수 생산보다 31% 더 적게 투입되었고, 유기 콩 생산에서는 관행 콩 생산보다 17% 더 적게 투입되었다. 따라서 우리나라도 유기농법과 관행농법의 화석 에너지 투입량 및 에너지 효율성에 대한 비교분석을 통해 유기농법이 에너지 측면에서 가지는 장점을 밝힐 필요가 있다. 이러한 연구는 유기농업 확대를 위한 기초 정보를 활용될 수 있을 것이다.

* 본 내용은 미국 유기농 센터(The Organic Center)가 발간한 전망 보고서 및 데이터를 참고하여 한국농촌경제연구원 이명기 부연구위원, 김태훈 연구원이 요약 정리하였다(mklee@krei.re.kr, 02-3299-4166).

2. 미국 유기농법과 관행농업의 에너지 효율성

화석에너지 사용

미국의 푸드 시스템은 매년 약 19%의 화석에너지를 사용한다. 이중 약 7%는 농업 생산, 7%는 가공 및 포장, 나머지 5%는 유통과 소비자들의 음식준비에 사용된다. 만약 산림의 생산과 이용이 포함된다면, 식품, 섬유, 산림부문이 사용하는 화석에너지는 5%가 증가하여 총 24%에 육박하게 된다. 이는 자동차부문의 화석에너지 사용과 유사한 수치이다.

미국의 관행 곡물생산에 사용되는 총 화석에너지는 헥타르당 약 1,000리터이다. 이중 약 1/3은 화학비료, 1/3은 농기계, 그리고 나머지 1/3은 농약사용을 포함한 그 외 모든 투입활동이다. 유기농법에 의한 옥수수과 콩 생산의 에너지 사용을 관행농법과 비교한 선행연구들은 에너지 사용과 효율성 측면에서 가장 큰 차이를 나타낼 수 있는 투입요소로 질소비료 사용과 농약 사용을 제시하고 있다.

에너지 가격의 증가는 에너지 투입을 필요로 하는 농업의 생산비 증가와 이윤 감소를 초래하여 농업에 있어 큰 위협요인으로 작용한다. 이에 대한 대책으로써 기존의 관행농법에서 유기농법으로의 전환은 농업인들의 에너지 의존성을 감소시킬 수 있을 것이라는 논의가 활발하다. 관행농법과 유기농법은 모두 화석에너지와 태양에너지에 의존한다. 그러나 두 농법의 에너지 사용은 몇 가지 차이가 있다. 관행농법과 유기농법 하의 옥수수과 콩 생산의 분석을 통해 에너지 사용 및 효율성 차이를 비교해보고자 한다.

에너지 사용과 효율성 측정

세계 각 선진국의 농업에서는 상당한 양의 화석에너지가 농업 생산과정에 투입되고 있다. 미국은 평균적으로 약 2kcal의 화석에너지가 1kcal의 작물 생산량에 사용되고 있다. 농업 생산의 화석에너지에 대한 의존도가 높은 것은 식품산업이 농업 부문에 보다 많은 생산량을 요구함에 따라 농업 부문이 더 많은 에너지를 투입했기 때문이다. 이는 지난 반세기동안 농업 생산에서 에너지 사용과 효율성에 대한 관심의 부족을 반영하고 있다.

기본적으로 관행농법과 유기농법 모두 에너지 사용을 필요로 한다. 두 농법에 사용되는 투입물의 양을 에너지 단위인 “칼로리”로 변환한 후, 관행농법과 유기농법의 총에너지 투입량과 산출량의 비율로서 에너지 효율성을 측정한다. 칼로리(cal)의 정의는 1기압 하에서 14.5℃의 물 1그램을 15.5℃까지 올리는 데 필요한 열량이

관행농법과 유기농법에 사용되는 투입물의 양을 칼로리로 변환한 후, 총에너지 투입량과 산출량의 비율로서 에너지 효율성을 측정한다.

며 1칼로리는 4.186J이다.

관행 및 유기 옥수수 생산의 에너지 효율성

옥수수는 높은 생산량과 함께 다른 작물보다 높은 칼로리를 얻을 수 있는 작물이다. <표 1>과 <표 2>는 헥타르당 옥수수 8,700kg을 생산하기 위한 투입요소별 칼로리 환산 값과 투입 및 산출 비율을 통한 에너지 효율성을 나타내는 표이다. 각 농법당 옥수수 1kg은 약 3.58kcal의 식품 에너지를 낼 수 있다고 볼 때, 옥수수 8,700kg은 약 31,132kcal를 낼 수 있다. 유기 옥수수 생산은 헥타르당 총 5,377kcal의 에너지 투입이 필요하기 때문에 화석에너지 1kcal가 헥타르 당 약 5.8kcal에 해당하는 옥수수를 생산할 수 있다. 반면 관행 옥수수 생산은 헥타르당 총 7,795kcal의 에너지 투입이 필요하기 때문에 화석에너지 1kcal가 유기농법보다는 낮은 수준인 헥타르당 약 4.0kcal에 해당하는 옥수수를 생산할 수 있다.

표 1 미국의 살갈퀴를 이용한 유기 옥수수 생산의 헥타르당 평균 에너지 투입

투입물	수량	Kcal x 1,000
노동	15hrs	600
기계	55kg	1,018
경유	90L	1,026
휘발유	40L	405
인	48kg	200
칼륨	57kg	186
라임	1,120kg	315
옥수수 종자	21kg	520
살갈퀴 종자	14kg	930
전력	13.2kWh	34
수송	204kg	169
합계		5,377
옥수수 수확량 = 8,700kg/ha		31,132kcal 투입:산출 = 1:5.79

표 2 미국의 관행 옥수수 생산의 헥타르당 평균 에너지 투입

투입물	수량	Kcal x 1,000
노동	11.4hrs	462
기계	55kg	1,018
경유	88L	1,003
휘발유	40L	405
질소	153kg	2,448
인	65kg	270
칼륨	77kg	251
라임	1,120kg	315
옥수수 종자	21kg	520
제초제	6.2kg	620
살충제	2.8kg	280
전력	13.2kWh	34
수송	204kg	169
합계		7,795
옥수수 수확량 = 8,700kg/ha		31,132kcal 투입:산출 = 1:3.99

미국의 농법에 따른 옥수수 생산에 대한 에너지 효율성의 차이는 농법별 투입요소의 차이에 기인한다. 분석 결과 유기농법에서는 살갈퀴 이용이 약 32%의 노동시간을 증가시키지만, 관행농법의 화학비료와 농약 사용을 대체하기 때문에 살갈퀴 이용에 대한 칼로리 상쇄폭이 더 커 관행농법의 에너지 효율성이 더 낮은 것으로 분석된다. 따라서 유기농법은 관행농법의 헥타르당 투입요소 에너지량의 약 31%를 절감할 수 있다.

옥수수 생산에서 유기농법을 통한 헥타르당 31%의 투입요소 에너지 절감은 헥타르당 약 242 리터의 화석연료를 절감할 수 있다. 만약 미국의 유기 옥수수 생산 비율이 약 10%까지 증가한다면 미국 전체적으로 약 7.57억 리터에 해당하는 화석연료를 절약할 수 있다.

미국의 농법에 따른 옥수수 생산에 대한 에너지 효율성의 차이는 농법별 투입요소의 차이에 기인한다.

관행 및 유기 콩 생산의 에너지 효율성

콩은 옥수수와 함께 높은 식품 에너지를 발생시키는 작물이다. 각 농법당 콩 1kg은 약 3.6kcal의 식품 에너지를 낼 수 있다고 볼 때, 콩 2,668kg은 약 9,605kcal를 낼 수 있다. 유기 콩 생산은 헥타르당 총 2,501kcal의 에너지 투입이 필요하기 때문에

화석에너지 1kcal가 헥타르 당 약 3.84kcal에 해당하는 콩을 생산할 수 있다. 반면 관행 콩 생산은 헥타르당 총 3,013kcal의 에너지 투입이 필요하기 때문에 화석에너지 1kcal가 유기농법보다는 낮은 수준인 헥타르당 약 3.2kcal에 해당하는 콩을 생산할 수 있다. 따라서 만약 관행농법에서 유기농법으로의 전환이 이뤄진다면 헥타르당 콩 생산에 들어가는 에너지 투입량을 약 17% 절감할 수 있다.

콩 생산의 농법에 따른 에너지 효율성 차이는 작물의 특징과 농법별 투입요소의 차이에 기인한다. 유기농법에서 콩은 일생동안 필요한 질소량의 30~70%를 질소고정에 의하여 얻게 되므로 유기농법의 자원순환을 이용하면 별도의 질소질 화학비료 투입을 필요로 하지 않는다. 또한 관행농법과 비교해 볼 때 유기농법의 토양 침식은 현저하게 감소하는 것으로 나타나 질소, 인산, 칼리의 사용을 줄일 수 있고 관행농법과 비교해 볼 때 물 사용량을 줄일 수 있다. 반면 관행농법에서는 유기농법보다 많은 양의 질소, 인, 칼륨 등을 사용하기 때문에 토양 산성화를 야기할 수 있다.

콩 생산에서는 많은 양의 라임이 사용되는데, 이는 토양의 산도를 콩 성장에 적합한 pH 6이나 그 이상이 되도록 하기 위해서이다. 관행농법은 유기농법에 비해 많은 양의 라임을 투입하며, 관행농법의 에너지 효율성을 낮추는 요인들 중 하나이다.

표 3 미국의 유기 콩 생산의 헥타르당 평균 에너지 투입

투입물	수량	Kcal x 1,000
노동	9hrs	360
기계	22kg	360
경유	38.8L	442
휘발유	35.7L	270
인	24.2kg	100
칼륨	8.6kg	28
라임	1,229kg	338
종자	69.3kg	554
전력	4.8kWh	14
수송	135kg	35
합계		2,501
콩 수확량 = 2,668 kg/ha		9,605 kcal 투입:산출 1:3.84

표 4 미국의 관행 콩 생산의 헥타르당 평균 에너지 투입

투입물	수량	Kcal x 1,000
노동	7.1hrs	284
기계	20kg	360
경유	38.8L	442
휘발유	35.7L	270
액화석유가스	3.3L	25
질소	3.7kg	59
인	37.8kg	156
칼륨	14.8kg	48
라임	2240kg	616
종자	69.3kg	554
제초제	1.3kg	130
전력	10kWh	29
수송	154kg	40
합계		3,013
콩 수확량 = 2,668 kg/ha		9,605 kcal 투입:산출 1:3.19

농법별 옥수수과 콩의 에너지 효율성

<표 5>는 미국 펜실베이니아 지역의 옥수수와 콩에 대한 에너지 효율성 분석 결과를 종합한 것이다. 전체적으로 옥수수가 콩에 비해 에너지 효율성이 높으며 그 중 유기 옥수수 생산에 대한 에너지 효율성이 5.8로 가장 높게 나타났다.

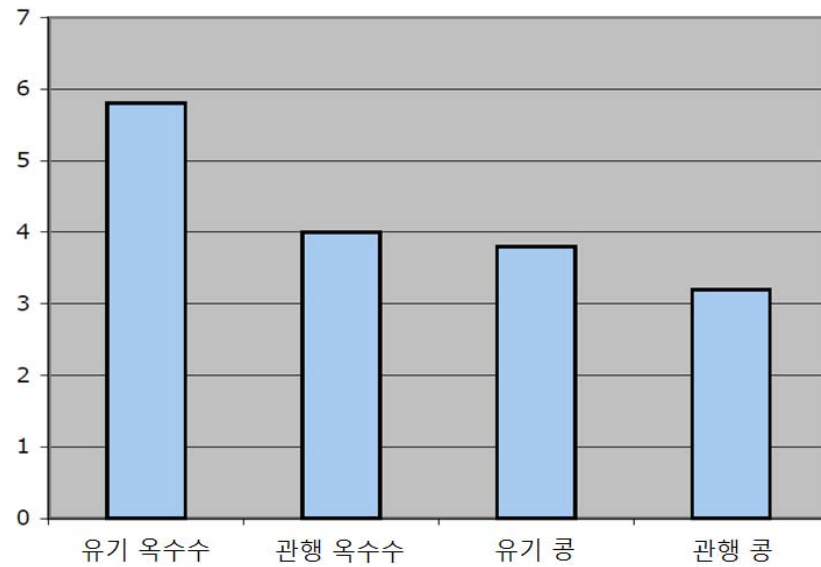
작물별로 살펴보면 옥수수는 유기농법이 같은 지역인 펜실베이니아 지역 내 관행 농법과 미국 전체 평균보다 더 에너지 효율적인 것으로 분석되었다. 콩의 경우 펜실베이니아 지역 내에서는 관행농법보다 에너지 효율성이 낮은 것으로 분석되었으나 미국 전체 콩 생산보다는 에너지 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 펜실베이니아 지역을 대상으로 작물별 유기농법과 미국 전체 평균의 에너지 효율성을 비교하면 <그림 1>과 같다. 물론 보다 정교한 분석을 위해서 펜실베이니아 지역의 특수성을 고려해야 할 필요가 있으나 전반적으로 관행농법보다 유기농법의 에너지 효율성이 더 높음을 짐작할 수 있다.

표 5 주요 농작물 생산에 필요한 화석 연료당 칼로리 전환 비율 비교

		수확량	노동	에너지	칼로리
작물	영농형태	t/ha	hrs/ha	kcal x 10 ⁶	산출/투입
옥수수	유기농법1	7.7	14	3.6	5.8
옥수수	관행농법2	7.4	12	5.2	5.1
옥수수	관행농법3	8.7	11.4	8.1	4.0
콩	관행농법4	2.7	12	2.1	4.6
콩	유기농법5	2.4	14	2.3	3.8
콩	관행농법6	2.7	7.1	3.7	3.2

- 1) 펜실베이니아 주의 20년간 2개 유기 옥수수 생산 농가 평균(Pimentel et al., 2005).
- 2) 펜실베이니아 주의 20년간 관행 옥수수 생산 평균(Pimentel et al., 2005).
- 3) 미국 옥수수 생산 평균 (Table 3).
- 4) 펜실베이니아 주의 20년간 관행 콩 생산 평균(Pimentel et al., 2005).
- 5) 펜실베이니아 주의 20년간 2개 유기 콩 생산 농가 평균(Pimentel et al., 2005).
- 6) 미국 콩 생산 평균 (Table 3).

그림 1 옥수수와 콩에 대한 영농 형태별 화학비료의 칼로리당 투입산출 비율



3. 결론

유기농법을 이용한 옥수수와 콩 생산에서는 화학비료와 농약은 사용되지 않았다. 관행농법과 비교해 볼 때 유기농법의 토양 침식은 현저하게 감소했다. 따라서 질소, 인산, 칼리의 사용을 줄일 수 있었고 관행농법과 비교해 볼 때 물 사용량을 줄일 수 있었다. 유기농법의 우수한 토양관리 효과는 관행농법보다 54% 더 높은 토양 유기물질 비율을 나타낸다. 따라서 가뭄이 있던 해의 유기 콩과 옥수수의 수확량은 관행 콩과 옥수수의 수확량보다 각각 옥수수 30%, 콩 50% 이상 증가하였다. 그리고 유기 옥수수 생산은 관행농법에 비해 180% 높은 태양에너지 흡수를 나타냈다.

유기농법은 농업생산에서의 화석에너지 투입량을 현저하게 줄여줄 뿐만 아니라 관행농법과 비교해볼 때 농업의 환경적 성과 측면 또한 개선시킨다. 유기 옥수수 생산에서 화석에너지 투입은 관행 옥수수 생산보다 31% 더 적게 투입되었고, 유기 콩 생산에서 에너지 화석에너지 투입은 관행 콩 생산보다 17% 가량 더 적게 투입되었다.

따라서 비록 옥수수와 콩 생산의 유기농법과 관행농법 간에 에너지 투입이 현격하게 차이가 있기 때문에, 관행농법에서 유기농법으로의 전환은 에너지 사용 절감과 에너지 효율성 제고의 효과가 있다.

유기농법은 농업생산에서의 화석에너지 투입량을 현저하게 줄여줄 뿐만 아니라 관행농법과 비교해볼 때 농업의 환경적 성과 측면도 개선시킨다.

참고자료

The Organic Center, Impacts_of_Organic_Farming_on_the_Efficiency_of_Energy_Use_in_Agriculture, 2006