

## 한반도의 자원순환형 친환경농업 발전 방향과 과제

김 창 길\* 권 태 진\*\*

### Keywords

양분수지(nutrient balance), 자원순환형 농업(resource cycling agriculture), 농업생태계(agricultural ecosystem), 자정능력(assimilative capacity), 작물양분요구량(plant uptake level), 양분유출(nutrient runoff)

### Abstract

The objectives of this paper are to analyze the nutrients balances of cultivated land in Korean peninsula and to suggest policy implications for establishing resource cycling environmental friendly agriculture. In order to establish the system, the action programs for moving nutrients of South Korea into North Korea should be developed. In addition, economic incentive programs should be strengthened to improve the efficiency of the systems. The Regional-Based Maximum Nutrients Loading System should be introduced and practicable adjustments should be also included to correspond to regional environmental capacities. Finally, the allocation of appropriate roles for stakeholder and cooperative systems should be established so that various policy programs can be directed to an effective development of resource cycling agriculture.

### 차례

1. 문제제기
2. 자원순환형 농업의 의미와 유형
3. 농업생태계의 물질순환 진단과 평가
4. 한반도 자원순환형 농업발전을 위한 과제
5. 결론

---

\* 한국농촌경제연구원 연구위원

\*\* 한국농촌경제연구원 선임연구위원

## 1. 문제제기

토양, 물, 공기 등과 같은 농업환경자원은 대체로 재생가능자원으로 지역적인 특성이 있고, 전체가 서로 긴밀하게 연결된 유기적인 결합체로서 농업생산의 환경을 형성하며 농업의 생산력을 결정한다. 농업환경자원의 악화는 농업생태계 및 농촌지역의 환경 질을 악화시킨다. 따라서 자연자원을 공급하고 폐기물을 정화하는 환경의 본원적 기능을 최대한 활용하는 자원순환형 농업은 농업환경자원의 지속가능한 이용과 보전 및 건전한 농업생태계 유지를 위해 필수적이라 할 수 있다.

역사적으로 전통적인 농업은 생태계의 원활한 자원순환을 기초로 자연과 조화를 이루어 온 환경친화적인 생명산업이었다. 그러나 전통적 농업은 생산성이 낮아 제한된 부존자원 여건에서 인구 증가에 따른 식량 필요량을 충족시키는 데 큰 어려움이 따랐다. 이런 점 때문에 현대농업은 주어진 제약조건하에서 생산성을 증대시키기 위해 새로운 재배기술과 품종개량, 비료와 농약 등 화학적 투입재 사용, 농후사료 및 사료첨가제 등 외부로부터 화학적 농자재와 에너지 투입량을 증가시켜왔다. 한편 전통농업의 대표적인 형태인 유축농업의 경우 가축분뇨는 경종부문의 양분 공급원으로 지력 유지·증진에 유력한 수단이었다. 그러나 수입 사료에 절대적으로 의존하는 우리나라의 집약적인 축산은 경종부문과 유리되어 자가 경영권 내에서 가축분뇨의 순환이용이 어려워져 농업생태계의 원활한 자원순환에 장애요인으로 작용하고 있다. 특히 쌀과 채소류 등 작물생산에 있어서 단기간에 생산성을 증대시키기 위해 양분요구량 이상의 과도한 화학비료를 투입함으로써 상당한 무기물이 토양에 축적·유출되어 호수와 하천 등 지표수 오염은 물론 질산태 질소로 인한 지하수 오염을 가중시키고 있다.

자연생태계에서는 동식물 간의 양분공급과 유기물 분해가 원활하게 이루어지고 분해된 유기물이 토양환원과 식물흡수 과정을 반복하면서 선순환적 자원순환이 이루어진다. 그러나 농업생태계는 생산물의 상당한 부분이 외부로 유출되고, 이를 보충하기 위해 상당한 양분이 투입되어야 하기 때문에 자연생태계에 비해 자원 이용량이 많은 뿐만 아니라 순환 속도도 빨라지게 된다. 따라서 농업생태계는 물질수지 측면에서 특별하게 농업환경자원을 관리하지 않으면 환경부하가 증가될 수밖에 없다. 이러한 맥락에서 경종-축산 부문의 유기적인 연계를 기초로 한 자원순환형 농업시스템 구축은 지속가능한 농업발전의 관건임은 물론 건전한 생태계 유지와 환경보전 등 농업의 다원적 기능 극대화를 위한 선결조건이라 할 수 있다.

자원순환형 농업시스템을 구축함에 있어 부문 간 연계 못지않게 중요한 것은 지역

간 물질수지 균형을 이루는 일이다. 남북한이 분단된 상황에서 양분 이동이 자유롭지 못하다 보니 남한은 양분 과잉 상태로 심각한 환경 문제에 직면해 있는 반면 북한은 양분 부족으로 농업 생산이 저위 수준을 탈피하지 못하고 있다. 만일 남북한 사이에 양분 이동이 가능해진다면 남한은 환경 문제를 해소하고 북한은 필요한 양분을 흡수하여 농업 생산을 증대시킴으로써 남북한 모두 이익을 얻게 될 것이다.

이런 맥락에서 이 논문에서는 자원순환형 농업의 의미와 농업생태계의 물질순환 구조 및 자원순환형 농업의 유형 등을 살펴보고, 농업생태계의 물질순환 실태를 진단하고 평가하였다. 특히 농경지의 물질수지 실태 파악을 위해서 한반도 전역을 대상으로 남한지역은 물론 북한지역 농경지에 대한 양분수지 분석을 시도하였다. 이러한 분석결과를 기초로 한반도 자원순환형 친환경농업 발전을 위한 기본방향과 향후 과제를 제시하였다.

## 2. 자원순환형 농업의 의미와 유형

### 2.1. 자원순환형 농업의 의미

자원순환형 농업(resource cycling agriculture)은 농축산물의 생산과정에서 발생하는 부산물(또는 폐기물)을 최대한 재활용하고 환경용량에서 수용할 수 있는 만큼의 폐기물을 농업계 외부로 배출함으로써 농업생태계에서 물질의 선순환이 이루어지는 농축산물의 생산 활동을 의미한다(김창길 외 7인, 2003). 농림부에서는 자연생태계의 물질순환에 초점을 맞추어 자연순환농업(natural cycling agriculture)이란 용어를 사용하고 있으나 자연생태계와 농업생태계가 큰 차이가 있다는 점에서 부조화된 용어로 판단된다.<sup>1</sup>

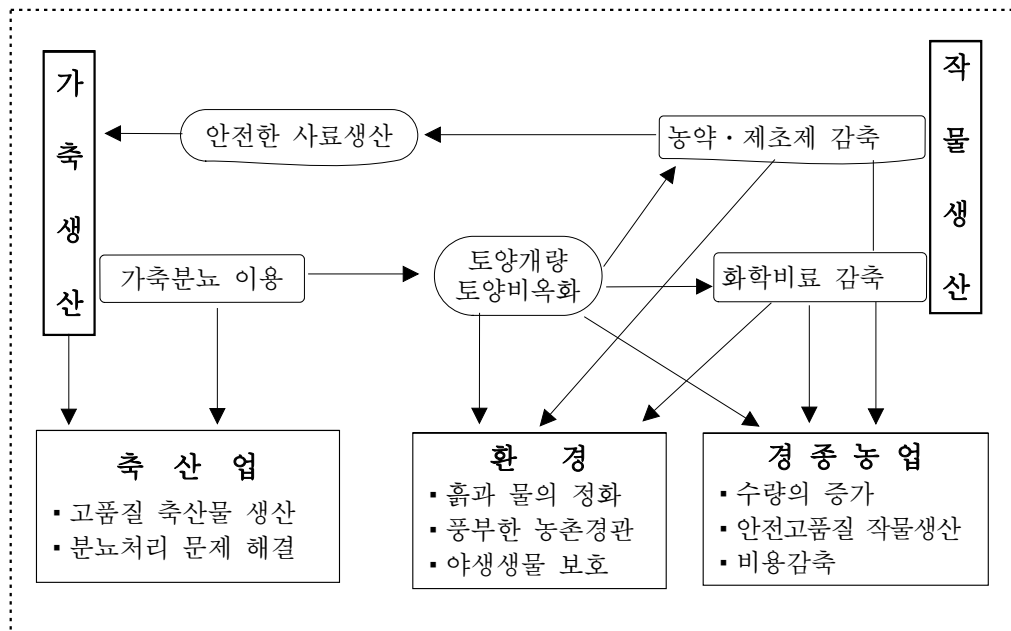
자연생태계(natural ecosystem)의 물질순환은 ‘식물흡수 → 유기물 분해 → 토양 → 식물흡수’의 과정이 반복되면서 선순환적인 자원순환 시스템이 지속적으로 이루어지

<sup>1</sup> 농림부에서는 ‘자원순환농업’이라는 용어 대신에 ‘자연순환농업’으로 사용하고 있다. 자연순환 농업의 개념을 “자연생태계의 영속적인 물질순환 기능을 활용하여 작물과 가축이 건강하게 자라게 하고 농축산물의 안전성과 품질을 높이고자 하는 농업”으로 규정하고 있다. 자연순환농업은 특정 농법에 국한시키지 않고 “자연계 물질순환의 균형”을 추구하는 모든 농업을 포함한다. 협의의 의미로는 가축분뇨 퇴·액비 등 유기질자원을 토양에 환원시켜 토양을 건전하게 유지·보전하면서 농업생산성을 확보하는 농업으로 규정하고 있다(이상철, 2006, pp.32-33).

기 때문에 시간적·공간적 범위에서 물질의 투입과 산출이 균형을 이루는 정상상태(steady state)가 유지된다. 이론적으로 물질수지가 균형상태가 되면 환경부하를 최소화할 수 있어 환경문제는 거의 발생하지 않는다. 반면 농업생태계(agricultural ecosystem)의 경우는 생산물의 일부가 농업계 외부로 유출되고 이를 보충하기 위해 화학비료 또는 유기질 비료 등의 양분이 외부로부터 투입되어야 하기 때문에 자연생태계에 비해 필요로 하는 양분의 양이 많을 뿐만 아니라 순환 속도도 빨라지게 된다. 특히 ‘고투입-고산출’의 생산성 증대를 추구하는 자본집약적인 농업시스템으로 변화되어 갈수록 인위적인 물질의 외부 투입량은 증가하게 되고 농업생태계의 물질순환 속도는 더욱 빨라지게 된다.

자원순환형 농업의 핵심은 경종과 축산부문의 유기적인 연계에 따라 시너지 효과를 발생시킨다는 점이다. 화학비료와 농약을 투입하지 않거나(유기재배) 상당히 감축하는(무농약 또는 저투입 재배) 친환경농업은 안전한 농산물 생산은 물론 생태계 보호와 환경보전에도 큰 기여를 하게 된다<그림 1>. 축산부분에서 발생한 가축분뇨가 적절하게 처리되는 경우 화학비료의 대체재로 활용됨으로써 토양개량과 토양비옥도를 높일 수 있다. 이처럼 경종-축산부문이 유기적으로 연계되는 경우 가축분뇨가 유용한 자원으로 재활용됨으로써 축산부문의 환경문제를 최소화할 수 있다. 따라서 두 부문 간의

그림 1. 경종-축산 연계 자원순환농업시스템의 상승효과



자료: 김창길(2005), p.23에서 인용

순환체계가 지속되는 경우 안전한 농축산물생산은 물론 토양개량, 화학비료 및 농약 사용량 감축에 따른 경제적인 효과 외에도 환경보전 등 농업의 다원적 기능을 극대화할 수 있다.

## 2.2. 농업생태계의 물질순환 구조

농업생태계의 물질순환 구조를 보면 농업 부문도 타부문과 마찬가지로 「자원투입 → 생산 → 소비」의 경제활동(economic activity)을 근간으로 하는 물질순환 구조로 이루어진다. 각 경제활동으로부터 잔여물(residuals)이 발생하고,<sup>2</sup> 이를 재활용하면 농업자원으로 다시 활용할 수 있고, 활용되지 않는 잔여물은 폐기물로 배출되지만 농업생태계의 자정능력(assimilative capacity) 범위 내에 있는 경우 다시 유용한 농업자원으로 활용할 수 있다. 그러나 폐기물 배출이 자정능력을 초과하는 경우 환경오염원으로 작용하여 생태계에 부정적 영향을 미친다.

농업생태계의 물질순환 과정을 도식화하면, <그림 2>에서 제시된 바와 같이 자연 자원은(resources, R) 채취(Extraction, E), 생산(production, P), 소비(consumption, C) 활동을 통해 인류에게 효용을 제공하지만 이 과정에서 잔여물(wastes, W)도 발생한다. 잔여물의 일부는 재활용(recycling, r)되고 나머지는 환경의 자정능력(assimilative capacity, A)에 의해 자연에 다시 흡수된다.<sup>3</sup> 여기서 자원순환형 농업시스템을 구축하여 농업환경자원이 적절하게 관리되는 경우(즉,  $W < A$ 인 경우로 발생한 폐기물이 자정능력 범위 내에서 수용되는 상황) 농업환경자원은 생산과 소비과정을 통해 식량·식품을 공급하는 물론 농촌의 쾌적성과 경관 등의 긍정적 어메니티(positive amenity)를 제공하게 됨으로써 농업의 다원적 기능이 발휘되도록 한다.

위에서 설명한 농업생태계의 물질균형 구조를 자연의 법칙 측면에서 살펴보면, 농업시스템의 작동과 관련하여 각 부문의 경제활동에서 발생하는 잔여물의 양은 투입한 자원의 양과 같다는 열역학 제1법칙(the first law of thermodynamics)으로 설명할 수 있다. 열역학 제1법칙에 의하면 물질은 창조되거나 파괴되지 않고 단지 다른 형태로 전환

<sup>2</sup> 경제활동의 부산물로 발생하는 잔여물(residuals)은 오염물질(pollutant)이나 폐기물(wastes)을 포함하는 보다 넓은 개념이다. 배출되는 잔여물이 모두 환경오염을 유발시킨다고 볼 수 없다. 보통 잔여물은 폐기물을 포괄하는 용어로 사용되나 여기서는 폐기물과 혼용하여 쓰기로 한다.

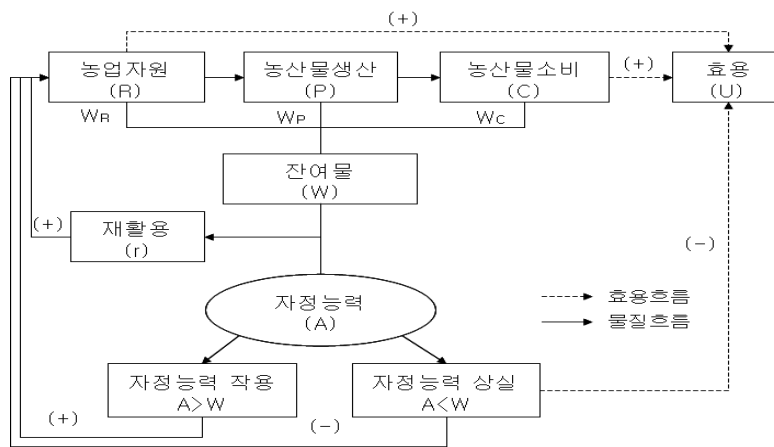
<sup>3</sup> 경제시스템과 환경간의 순환과정에 관한 보다 상세한 설명은 Pearce and Turner(1990), pp.35-41에 제시되어 있다.

될 뿐이므로 농업생산 활동에 사용된 자원은 궁극적으로 잔여물이라는 다른 형태로 전환되어 환경계로 배출하게 된다. 물질순환의 투입-산출을 정량적으로 나타낸 물질균형 방정식은 다음과 같다.

$$R = W = W_R + W_P + W_C \quad (1)$$

여기서  $W_R$ ,  $W_P$ ,  $W_C$ 는 각각 농업환경자원의 이용 과정, 농업생산 활동과정, 농산물의 소비과정에서 발생하는 폐기물을 나타낸다.

그림 2. 농업생태계의 물질순환 기본구조



위에서 제시된 식 (1)은 환경계에서 농업생태계로 유입되는 에너지 및 자원의 총량은 농업경제계에서 환경계로 유출되는 잔여물의 총량과 일치한다는 의미를 수리적으로 나타낸 것이다.<sup>4</sup> 현실적으로 보면 농업자원의 사용 과정에서 이용할 수 없는 에너지나 물질의 양은 잔여물로 환경에 배출되며, 잔여물이 환경의 자정능력을 초과하여 발생하는 경우 엔트로피(사용 불가능한 실체로 환경오염 상태를 나타냄)의 증가를 유발한다.<sup>5</sup> 이는 열역학 제2법칙(the second law of thermodynamic)인 엔트로피 증가의 법

4 환경경제학 측면에서 열역학 제1법칙은 환경계에서 유입되는 자연자원의 양이 많을수록 다시 환경계로 유출되는 잔여물의 양도 많아지고, 환경자정능력을 초과하는 잔여물 발생 가능성도 높아짐을 의미한다. 한편 생산 및 소비 과정에서 발생하는 잔여물의 재활용이 높아질수록 잔여물의 배출량을 감소시켜 환경부하를 감소시킬 수 있음을 나타내고 있다.

5 엔트로피(entropy)는 1868년 독일 물리학자 Rudolf Clausius에 의해 물리적 체계의 무질서 진화방향을 수학적 형태로 표현하기 위해 도입된 개념으로, 에너지(energy)와 회랍어인 변형

칙을 의미한다. 현실적으로 폐기물을 발생시키지 않는 완전한 경제활동은 거의 불가능하다. 즉, 농업생산 활동으로부터 발생한 폐기물 가운데 재활용되지 않는 부문은 엔트로피로 축적되어 농업생태계에서 유용하게 쓸 수 있는 농업환경자원의 공급을 줄임으로써 농업활동의 위축은 물론 부정적 어메니티(negative amenity)를 발생하여 효용수준을 하락시키는 결과를 초래하게 된다.

자원순환형 농업시스템은 엔트로피를 감축시키는 방법으로 자원 사용(R)과 생산 활동(P)을 줄이는 방안, 각 경제활동 부문의 잔여물(W)의 발생량을 줄이거나 재활용(r) 또는 재이용을 높이는 방안 등으로 요약할 수 있다. 농자재 사용과 생산량 감축은 비례적인 관련성을 가지고 있으며, 생산량 감축과 잔여물 감축도 직접적인 관련성을 가지고 있다. 농업생산 활동에서 발생하는 잔여물(W<sub>p</sub>)을 감축시키기 위해서는 생산에 필요한 비료나 농약 등의 투입량을 줄이거나 폐기물 발생이 낮은 투입요소로 대체하는 기술개발이 필요하다. 따라서 자원순환형 농업시스템의 골격은 「감축(Reduced)↔재활용(Recycled)↔재사용(Reuse)」의 3R을 기초로 하고 있다고 할 수 있다.

### 2.3. 자원순환형 농업의 유형

특정 공간영역의 범위에서 환경오염 부하정도를 파악하기 위해 물질의 유입(inflow)과 유출(outflow)을 체계화한 모형을 물질순환시스템이라 한다. 물질균형모형(materials balance model)은 물질순환을 기초로 환경과 경제활동의 상호관련성을 체계적으로 설명해주는 대표적인 모형으로 지역단위 자원순환형 농업시스템의 이론적 기초를 제공한다.<sup>6</sup>

농업생태계의 물질균형모형은 자연적·지리적·행정적 요소 등을 복합적으로 고려하여 구성되며 구체적으로는 자원순환을 기초로 한 지역내, 지역간 순환을 포괄하는 모형으로 설정할 수 있다. 지역단위 물질순환모형의 구축에 있어서 물질순환 시스템의 경계영역(boundary region) 설정범위에 따라 농가내 순환, 지역내 순환, 지역간 순환 등

(tropos)의 합성어이다. 엔트로피의 증가는 사용가능한 에너지가 감소함을 뜻한다. 엔트로피에 관한 상세한 설명은 Ayres(1999), 제메리 리프킨(2002), 室田 武, 多辺田 政弘(2002)에 잘 제시되어 있다.

<sup>6</sup> 물질균형모형(materials balance model)은 물질순환을 기초로 환경과 경제활동의 상호관련성을 설명해 주는 대표적인 모형으로 1970년대 초에 Kneese에 의해 체계화되었다(Kneese, Ayres and D'Arge, 1970).

세 가지 유형으로 대별할 수 있다<표 1>.

농가내 순환은 경지 내 볏짚과 왕겨 등 농산부산물을 경지로 환원하는 경지내 순환과, 윤작·혼작·녹비작물 등을 재배하는 작목간 순환, 농가의 음식물 쓰레기 등을 사료화 또는 퇴비화하는 개별 농가 내부에서의 농가구내 순환으로 대별할 수 있으며, 이러한 순환에는 개별복합농업, 유기·유축농업 등 포함될 수 있다.

지역내 순환은 경지와 초지 및 임야지 등 지목간 순환과 경종-축산을 연계한 농가간 순환으로 나눌 수 있고, 지역복합농업, 유기·유축 농업 등으로 특정화될 수 있다.

지역간 순환은 해당 지역간 경종과 축산 부문을 연계한 농업지역간 순환과 식품가공 슬러지를 퇴비화하는 농공간 순환, 농촌과 도시의 음식물 쓰레기 등 생활폐기물을 사료화·퇴비화하는 농촌-도시간 순환으로 대별되며, 이들 순환은 지역간 복합농업 및 순환농업으로 특정화할 수 있다.

표 1. 자원순환형 농업의 유형과 농법

순환의 유형	환경친화적 자원순환농법		농업형태
	서브 시스템		
농가내 순환	경지내 순환	볏짚, 왕겨 등 농산부산물의 경지환원	개별복합농업, 유기농업, 유축농업
	작목간 순환	윤작·혼작·녹비작물의 이용	
	농가구내 순환	생활쓰레기의 사료 또는 퇴비 이용	
지역내 순환	경지-지목간 순환	농산부산물·산야초의 이용 방목·휴경지(사료작물 재배)의 윤환 툽밥, 폐목재 등의 축분퇴비재료 활용	지역복합농업, 유기농업, 유축농업
	농가간 순환	경종-양축농가간 축분퇴비·볏짚교환 경종-양축농가간 액비화	개별농업, 개별축산업
지역간 순환	농업지역간순환	경종 - 축산 부문의 유기물교환	지역간 복합농업
	농공간 순환	식품산업 폐기물의 퇴비화 툽밥·우드칩 등의 이용	지역간 순환농업
	농촌-도시간 순환	농촌·도시 생활쓰레기의 사료화·퇴비화	

자료: 김창길, 강창용 (2002), p.10에서 인용.

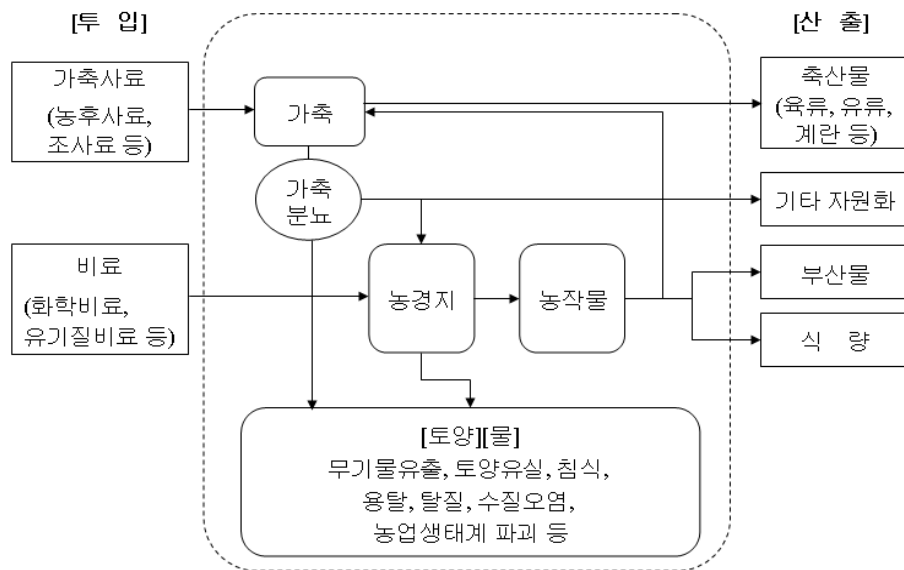


### 3. 농업생태계의 물질순환 진단과 평가

#### 3.1. 농업생태계의 물질순환 체계

농업활동은 식량 생산을 주목적으로 하며 작물 생산의 경우 비료와 농약 등이 투입되고, 고기·우유·계란 등 가축 생산의 경우는 사료와 약품 등이 투입된다. 작물과 가축의 생산성을 높이기 위해서는 고투입이 이루어지기 마련이며, 생산 활동에 기여하지 않는 자원이나 에너지는 농업계 밖으로 유출되어 환경오염원으로 작용하게 된다. 이러한 작물 및 가축 생산활동을 위한 투입(화학비료, 농약, 퇴비, 사료) 및 산출 수치(input-output balance)의 파악은 물질수지 흐름도(flow chart) 작성을 통해 효과적으로 접근할 수 있다<그림 3><sup>7</sup>

그림 3. 농업부문의 물질순환 투입-산출의 개념도



<sup>7</sup> 물질순환의 흐름도 방식은 작물·축종별 투입재 소요량, 양분이용량, 분뇨 발생량 등 발생 원 단위의 계측으로 투입산출(I/O)의 수치분석이 가능하며, 농업생산활동에 따른 기타 오염 물질(메탄가스, 아산화질소 등)의 발생량 추정도 가능하다.

물질순환 투입-산출의 개념도에서 제시된 점선은 지역 단위 농업생태계를 나타내며, 투입과 산출 두 부분으로 나누어 살펴볼 수 있다. 농업생태계 외부에서 투입되는 부분은 크게 가축 생산을 위한 농후사료, 일부 조사료 등을 들 수 있다. 양축농가의 가축사양에 있어 농후사료는 배합사료의 형태로 구입하여 사용하게 되며, 조사료는 농산 부산물이나 인근의 볏짚 등을 이용하므로 지역 단위 농업생태계 내에서 이루어진다. 투입된 농후사료에 의해 가축 생산이 이루어지면 이 과정에서 주산물인 고기, 우유, 달걀 등이 생산되어 외부로 나가고, 또한 부산물로 가축 분뇨가 발생한다. 발생된 가축 분뇨는 자원화 또는 정화처리 방식에 의해 적절하게 처리되기도 하지만, 만약 부적절하게 처리되는 경우 폐기, 방치, 투기, 야적, 무단 방류 등에 의해 농업생태계의 환경부하 요인으로 작용하게 된다. 가축 분뇨가 퇴비화와 액비화 등의 자원화 방식에 의해 농경지에 살포되는 경우 농경지에는 화학비료로 투입된 성분량과 가축 분뇨로부터 공급된 비료성분량이 함께 투입되게 되며, 작물은 이들 양분을 이용하여 식량과 조사료 등을 산출하게 된다. 작물은 생육 과정에서 필요로 하는 양분요구량 이상으로 과잉 투입되는 경우 흡수하지 못하고 무기물의 유출, 침출, 용탈, 휘산 등이 이루어지게 된다.<sup>8</sup> 이 과정에서 환경의 자정 능력을 초과한 과잉 양분은 지역 단위 농업생태계의 환경오염 부하 요인으로 작용하게 된다.

농업생태계의 물질순환 분석은 토양에서 양분물질이 여러 가지 화학적 형태로 존재하기 때문에 작물에 따른 양분이용율·흡수율 등을 고려해야 하며, 물질흐름의 양을 산정하는 경우 시간적 차원을 반영해야 한다. 농업생태계의 물질순환 분석 절차는 우선 농업생태계의 경계(boundary)를 결정한 후, 경계 범위 내에서 투입-산출되는 모든 물질흐름을 파악하며, 농업생태계의 하부생태계 구성요소를 결정하고 이들 요소간의 상호작용을 파악한다. 끝으로 물질흐름을 기초로 양분지표(질소, 인산 등 양분지표)를 선택하여 분석하는 과정으로 이루어진다.

환경부하량 산출에 있어서 발생량은 오염원으로부터 생성된 정화과정을 거치지 않은 양을 말하고, 정화량은 정화시설 또는 오염원에서 지천까지의 자연정화에 의한 양을 말하며, 배출량은 발생량에서 정화량을 제외한 양으로 지천에 도달하는 양을 의미한다. 경종부문의 발생량은 배출량이 되고, 축산 부문의 발생량은 분뇨발생 원단위(환경부 고시 제1999-110호, 1999. 7. 8)에 의해서 계측되며,<sup>9</sup> 가축분뇨의 비료 성분량은

<sup>8</sup> 질소와 인산 등 무기물의 유출(runoff)은 비료성분이 농경지 밖으로 흘러 나가거나 흘러 내보내는 것을 의미하고, 침출 또는 용탈(leaching)은 유실된 유기물이 하부로 운반되는 것을 지칭하며, 휘산(emission)은 질소비료의 암모니아 성분이 대기로 날라 가는 것을 의미한다.

<sup>9</sup> 축종별 가축분뇨의 발생원단위의 경우 한우의 성축 1두를 기준으로 1일 분뇨배출량 원단위를

축종별 비료 성분 함유율에 의해 산정된다(김창길·강창용, 2002).

작물별, 토양별 또는 지대별 적정시비량과 실제시비량의 차이는 농업환경으로의 유실량으로 이는 오염원 발생량으로 고려될 수 있다. 여기서 적정시비량 처방은 작물양분요구량을 충족시키고 과잉양분 축적에 따른 환경부하를 줄일 수 있는 추천시비량을 의미한다. 실제적으로, 단위 면적당 시비량은 양분요구량에서 실제공급량을 공제한 양을 비료의 이용률로 나누어 계산될 수 있다. 단위면적당 작물의 양분요구량(nutrient requirement or plant uptake level)은 토양의 종류, 지역특성, 시비량 및 품종 등에 따라 달라질 수 있다. 적정시비량의 산정은 양분의 균형공급과 양분축적 경감에 의한 환경오염을 방지하기 위한 기준으로 환경친화적 추천시비량으로 볼 수 있다. 표준시비량은 작물별, 지대별로 적량시험을 통하여 결정되며, 성분별 추천량에 관한 자료는 「작물별 시비처방 기준」(농업과학기술원, 1999)에서 제시되고 있다.<sup>10</sup>

## 3.2. 농업생태계의 물질수지 실태

### 가. 남한지역 농경지의 양분수지 실태

남한지역 농업생태계의 물질수지 분석에 앞서 농업여건을 진단(2005년 기준)해 보면 전체국토면적의 64.2%가 산림으로 구성되어 있고, 농경지는 18.3%인 182.4ha를 차지하며, 이중 논이 약 110.5만ha, 밭이 71.9만ha로 구성되어 있다. 농가호당 경지면적은 1.43ha(논 0.87ha, 밭 0.56ha), 국민 1인당 경지면적은 3.8a(논 2.3a, 밭 1.5a)로 매우 제약되어 있어 약 4,829만명의 인구부양을 위해서는 외부로부터의 상당한 화학적 투입재에 의존하는 집약적 영농형태가 불가피하다. 또한 축산의 경우 한육우 및 젖소가 약 201만 두, 돼지가 약 896만두, 닭이 약 1억 1천 수 등으로 이들 가축을 사육하기 위해 해외로부터 상당한 양의 사료수입이 이루어지고 있다.

---

보면 분은 10.1kg, 뇨가 4.5kg 발생하여 분뇨 발생량은 14.6kg이다. 또한 돼지의 경우 성돈 1마리당 1일 분뇨 발생량을 보면 분이 1.6kg, 뇨가 2.6kg로 분뇨 발생량은 4.2kg이며, 여기에 세정수로 4.4kg이 발생하여 축산폐수 배출 일당 원단위 총량은 8.6kg이 된다. 가축의 배출원 단위는 “오수·분뇨 및 축산폐수에 관한 법률” 시행령 제20조 3항 별표 5의 규정에 제시되어 있다.

<sup>10</sup> 지역별 자원순환형 농업시스템 구축을 위한 물질수지 진단을 위한 산정식은 지역단위 물지수지 진단을 위한 양분균형지표 도출에 관한 보다 상세한 설명은 김창길, 김태영(2004), 김창길 외 7인(2004)에 제시되어 있다.

2005년 말 기준 가축사육(소, 돼지, 닭의 사육두수 기준)으로부터의 분뇨발생량은 총 34,453천 톤에 달하며, 이중 분은 21,039천 톤으로 전체 발생량의 61.1% 정도를 차지하고, 노는 13,414천 톤으로 약 38.9%를 차지하는 것으로 추정된다. 가축분뇨 발생량을 비료성분량으로 환산하면 질소 21만 6,151톤, 인산 7만 4,385톤에 달한다<표 2>.

표 2. 남한지역 축종별 분뇨 발생량 및 비료성분 발생량(2005년)

구 분	사육두수 (천 두)	연간 분뇨 발생량(천 톤)			분뇨 비료 성분발생량(톤)		
		분	노	분뇨발생량	질소	인산	계
한 우	1,819	6,704	2,987	9,691	37,131	19,621	56,752
젓 소	479	4,300	1,923	6,222	17,716	4,877	22,593
돼 지	8,962	5,234	8,504	13,738	110,885	32,121	143,006
닭	109,628	4,802	0	4,802	50,418	17,766	68,184
계		21,039	13,414	34,453	216,151	74,385	290,535

축산부문에서 발생한 가축분뇨는 자원화(퇴비화·액비화) 89.6%, 정화처리 5.0%, 해양배출 4.2% 등으로 처리되고 있다. 이중 작물재배를 위한 양분반출량은 질소 22만 9천 톤, 인산 11만 3천 톤 등 총 34만 8천 톤에 달하는 것으로 추정된다<표 3>.11 한편 화학비료와 가축분뇨 자원화를 통해 농경지에 투입되는 총양분투입량은 질소 46만 5천 톤, 인산 22만 6천 톤으로 총 69만 톤에 달한다. 전체 양분투입량 가운데 작물에 의한 양분반출량을 제외한 양분초과량은 질소 23만 6천 톤, 인산 11만 2천 톤으로 총 34만 8천 톤 정도에 달해 양분 초과율은 질소 102.8%, 인산 99.3%로 평균 101.6%에 달하는 것으로 추정된다. 따라서 우리나라 양분수지는 질소수지가 122.5kg/ha, 인산수

표 3. 남한지역 양분수지 구조(2005년)

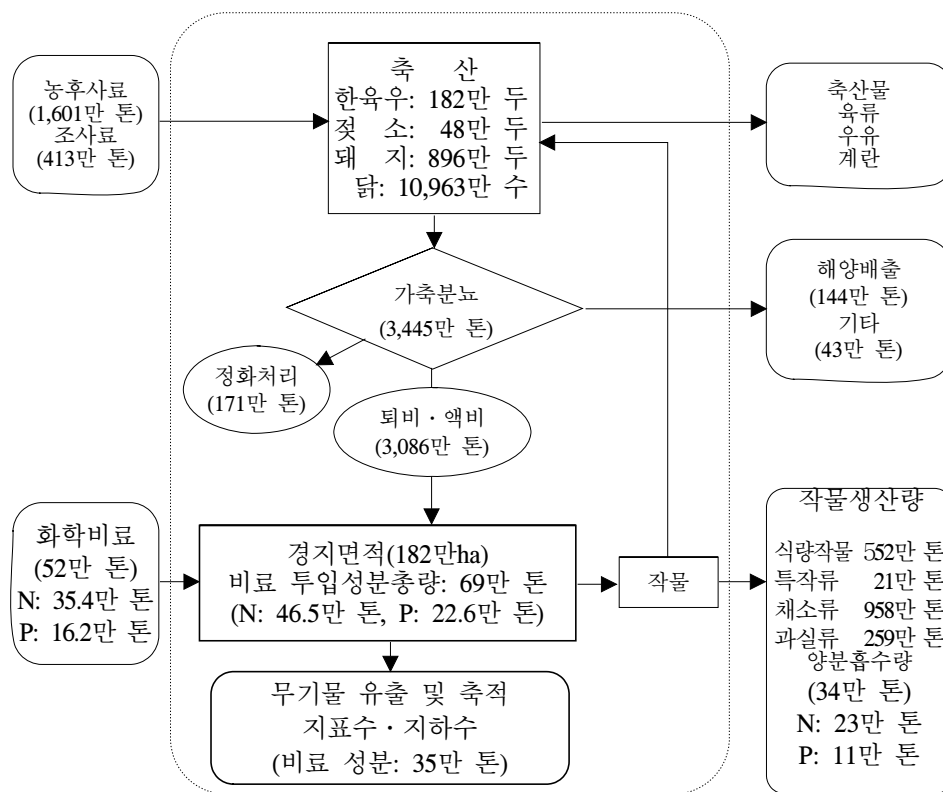
구 분		질소	인산	계/평균
양분 투입량(A)	화학비료 투입량(톤)	354,173	162,293	516,466
	가축분뇨 양분실제이용량(톤)	110,553	63,448	174,001
	소계	464,726	225,741	690,467
양분반출량(B), 톤		229,167	113,256	342,424
양분초과량(A-B), 톤		235,559	112,485	348,044
단위면적당 양분반출량(C), kg/ha		119.2	58.9	178.1
단위면적당 양분투입량(D)	화학비료 투입량, kg/ha	184.2	84.4	268.6
	가축분뇨 양분실제이용량, kg/ha	57.5	33	90.5
	소계	241.7	117.4	359.1
[양분수지] 단위면적당 양분초과량(D-C), kg/ha		122.5	58.5	181.0
단위면적당 양분초과율((D-C)/C), %		102.8	99.3	101.6

11 가축분뇨자원화에 있어 성분별 자원화 활용률은 질소 55~70%, 인산 90~100%, 칼리 90~100%를 적용하였다(USDA Soil Conservation Service. 1992).

지가 58.5kg/ha로 총 181kg/ha로 나타났다.

2005년의 경우 농업생태계에 투입되는 화학비료는 성분량 기준 총 52만 톤 정도 이고, 가축분뇨로부터 투입되는 양분총량은 약 17만 톤으로 총 양분투입량은 약 69만 톤에 달한다. 이중 작물생산을 통해 흡수되는 양을 제외하면 연간 약 35만 톤(질소 24만 톤, 인산 11만 톤)이 토양에 축적되거나 하천에 유출되어 환경부하를 가중시키는 것으로 추정된다<그림 4>.

그림 4. 남한지역 농업생태계의 물질순환 구조(2005년)



2005년 기준 도별 양분수지(양분투입량-양분반출량) 분석결과, 작물 양분요구량 대비 질소성분 초과량은 충남이 ha당 155kg으로 양분요구량을 136% 초과하여 가장 높게 나타났으며, 그 밖에 전북이 149kg(129%), 경기도 133kg(111%) 등의 순으로 높게 나타났다. 반면 제주도는 양분초과율이 42.5% 정도로 가장 낮게 나타났다. 한편 양분요구량 대비 인산성분 초과량은 강원도가 ha당 75kg으로 가장 높았으며, 다음으

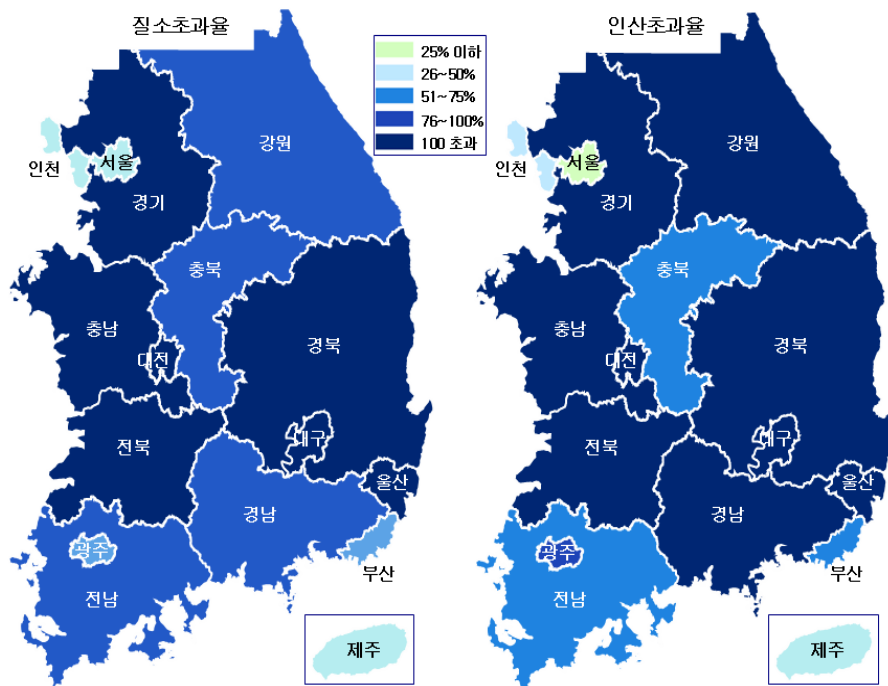
로 경기도 71kg, 경북 67kg, 충남 66kg 등의 순으로 나타났다<표 4, 그림 5>.

표 4. 남한지역의 도별 양분수지 분석 결과(2005년 기준)

구분	양분초과량(kg/ha)			양분초과율(%)		
	질소	인산	계	질소	인산	평균
경기도	133.9	70.7	204.6	111.3	124.3	115.5
강원도	128.7	74.6	203.3	95.2	118.0	102.5
충청북도	85.0	41.0	126.0	78.3	72.4	76.3
충청남도	154.9	65.6	220.5	136.0	125.6	132.8
전라북도	149.1	62.2	211.3	129.0	112.0	123.5
전라남도	117.7	42.4	160.1	97.3	75.1	90.2
경상북도	118.9	67.4	186.3	110.7	127.0	116.1
경상남도	99.6	60.4	160.0	83.0	107.1	90.7
제주도	72.4	49.6	122.0	42.5	33.9	38.5
전 국	122.5	58.5	181.0	102.8	99.3	101.6

주: 도별 양분수지는 2005년 기준 작물재배면적(국립농산물품질관리원, 2006), 성분별 화학비료 판매량(농협중앙회 제공), 가축사육두수(국립농산물품질관리원, 2006) 자료를 이용하여 분석함.

그림 5. 남한지역 농경지의 시도별 양분초과율 분포도



1990년 이후 남한지역 농경지의 양분초과율은 1990년에는 질소가 116.2%, 인산이 92.9% 이었으나 이후 지속적으로 감소하여 2001년에는 질소 82.1%, 인산 57.8%로 나타났다. 그러나 2001년 이후 점진적으로 증가하여 2002년 질소 88.5%, 인산 61.8%로 나타났고, 2005년에는 질소 102.8%, 인산 99.3%로 크게 증가한 것으로 나타났다.

표 5. 남한지역 농경지의 양분수지 변화 추이(1990-2005)

단위: kg/ha, %

연도	양분요구량1) (A)		총양분 (B)		공급량				[양분수지] 양분초과량 (A-B)		양분초과율(%) (A-B)/A	
	질소	인산	질소	인산	화학비료 공급량		가축분뇨 성분공급량		질소	인산	질소	인산
1990	112.1	56.4	242.3	108.8	211.9	90.5	30.4	18.2	130.2	52.4	116.2	92.9
1995	118.5	58.6	237.1	111.7	190.5	83.2	46.5	28.5	118.6	53.2	100.1	90.8
2000	120.5	59.7	240.4	102.8	189.4	73.8	51.0	29.0	119.9	43.1	99.5	72.2
2001	120.2	59.5	218.9	93.9	166.7	64.7	52.2	29.2	98.7	34.4	82.1	57.8
2002	118.3	59.1	223.0	95.6	168.3	65.0	54.7	30.6	104.7	36.5	88.5	61.8
2003	120.0	58.9	232.3	99.9	174.8	67.7	57.5	32.2	112.3	41.0	93.6	69.7
2004	121.5	59.4	249.9	106.1	191.8	73.1	58.1	33.0	128.5	46.7	105.8	78.6
2005	119.2	58.9	241.7	117.4	184.2	84.4	57.5	33.0	122.5	58.5	102.8	99.3

### 나. 남북한 농경지의 양분수지 비교

북한지역 농경지의 양분수지 실태를 분석하기 위해서는 농경지면적, 재배작목, 작물별 양분요구량, 화학비료 투입량, 축종별 사육두수, 가축분뇨처리 방식, 가축분뇨 양분손실 등에 관한 세부적인 자료가 필요하다.

2005년 기준 북한의 작물재배면적은 벼 58만ha, 옥수수 50만ha, 맥류 10만ha, 잡곡 6만ha, 두류 4만ha, 감자 20만ha, 채소 24만ha, 과수 20만ha, 뽕나무 6만ha 등 총 198만 ha 정도로 추산된다(권태진, 2006). 또한 가축사육두수는 한우 57만 두, 젖소 3만 두, 돼지 320만 두, 닭 2,100만 수로 추산하였다(FAO, <http://faostat.fao.org/>).

그러나 현실적으로 양분수지 산정을 위해 필요한 자료 확보에 어려움이 있어 몇 가지 가정조건하에서 분석이 이루어졌다.

첫째, 농경지는 논과 밭으로 대별하였고, 논은 척박한 농지의 양분요구량을 적용하였으며, 밭은 대표작물인 옥수수, 맥류, 잡곡, 두류 등 총 8개 작목의 척박한 농지 양분요구량의 가중 평균치를 적용하였다.

둘째, 가축분뇨와 관련해서는 분뇨 발생 원단위와 축종별 양분함유량은 남한에서 적용하는 기준을 적용하였다. 또한 가축분뇨처리는 모두 퇴비화 중심의 자원화방식으로 처리되는 것으로 가정하였다.

이러한 가정조건하에서 북한 농경지의 양분수지(2005년 기준)는 작물요구량의 경우 질소가 약 30만 4천 톤, 인산이 약 15만 5천 톤이나, 화학비료 소비량은 질소가 약 15만 4천 톤으로 충족도는 50.5%이며, 인산은 약 3만 7천 톤으로 충족도는 24.1%에 불과한 것으로 나타났다. 또 다른 양분공급원인 가축분뇨로부터의 양분이용량은 질소 약 3만 7천톤, 인산 2만 1천 톤으로 총 양분이용량은 질소가 약 20만 3천 톤, 인산 약 5만 9천 톤으로 양분초과율 30% 적용시의 양분부족량은 질소성분이 약 19만 2천톤, 인산성분이 약 14만 3천 톤으로 각각 양분부족율은 질소 33.2%, 인산 62%에 달하는 것으로 추정되었다<표 6>.

표 6. 북한지역의 농경지 양분수지 실태(2005년 기준)

구 분	단위	질소	인산	계/평균
작물양분요구량(A)	(톤)	304,087	155,280	459,367
화학비료 소비량(B)		153,524	37,421	190,945
가축분뇨 양분 발생량		61,335	21,135	82,471
가축분뇨 양분 실제이용량(C)		36,801	21,135	57,937
총양분이용량(B+C)		203,239	59,010	262,250
양분초과량(B+C-A)		-100,848	-96,269	-197,117
양분초과율 30% 적용시 양분초과량		-192,074	-142,853	-334,927
경지면적당 작물양분요구량	(kg/ha)	152.7	78.0	230.6
경지면적당 화학비료 소비량		83.6	19.0	102.6
경지면적당 총양분이용량		102.0	29.6	131.7
경지면적당 양분초과량(양분수지)		-50.6	-48.3	-99.0
양분초과율((B+C-A)/A)		(%)	-33.2	-62.0

주: 음(-)의 값은 양분이 부족함을 의미함.

남한과 북한의 농경지 양분수지를 비교해보면 <표 7>에 제시된 바와 같이 질소성분의 경우 남한은 약 16만 7천 톤의 잉여량이 발생하고, 북한은 약 19만 2천 톤의 양분부족량이 발생하여 남한의 잉여량 모두가 북한으로 이동하더라도 북한지역에서는 약 2만 5천 톤의 질소성분이 부족한 것으로 추정되었다. 인산성분은 남한지역의 경우 약 7만 8천 톤의 잉여량이 발생하나 북한지역은 약 14만 3천 톤이 부족하여 남한의 과잉인산량이 모두 북한으로 이동해도 약 6만 4천 톤의 부족량이 발생하여 북한의 인산 결핍도는 상당한 것으로 분석된다<그림 6>. 따라서 북한지역의 양분부족량은 한반도 농



경지의 물질수지 측면에서 보면 과잉양분량 발생지역인 남한에서 양분 결핍지역인 북한지역으로 양분을 이동시키면 물질수지의 불균형 문제가 해결됨으로써 한반도의 자원순환형 농업도 정착시킬 수 있을 것이다.

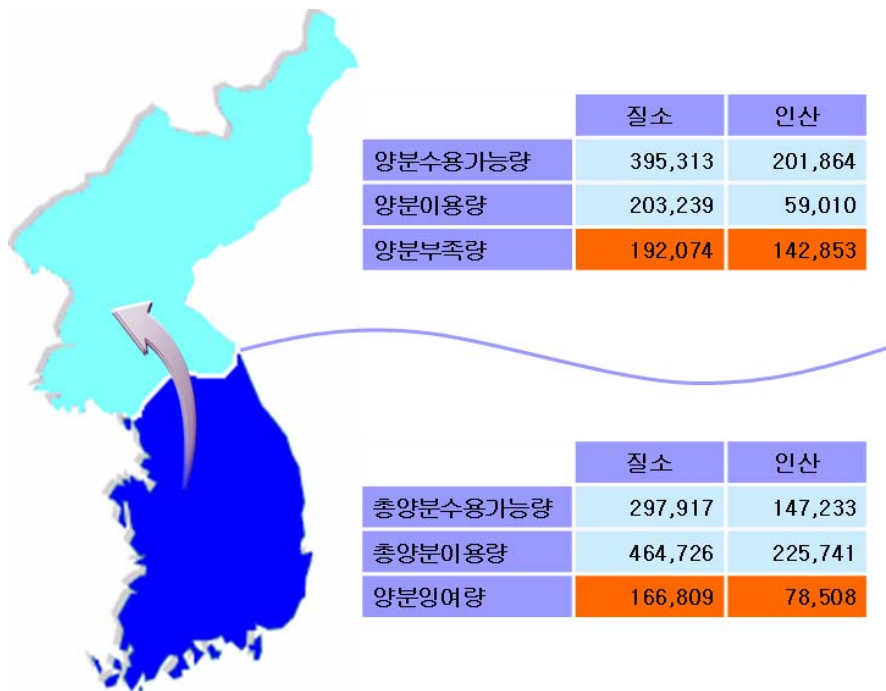
표 7. 남북한 농경지의 양분잉여량 및 부족량 추정

단위: 톤

구분	질소			인산		
	남한	북한	계	남한	북한	계
작물양분요구량(A)	229,167	304,087	533,254	113,256	155,280	268,536
총양분수용가능량(B=A×1.3)	297,917	395,313	693,230	147,233	201,864	349,096
화학비료 소비량(C)	354,173	166,438	520,611	162,293	37,875	200,168
가축분뇨 양분이용량(D)	110,553	36,801	147,354	63,448	21,135	84,583
총양분이용량(C+D)	464,726	203,239	667,965	225,741	59,010	284,751
양분잉여 또는 부족량(C+D-B)	166,809	-192,074 <sup>1)</sup>	-25,265	78,508	-142,853	-64,345

주 1) 음(-)의 값은 양분부족량을 의미함.

그림 6. 남북한 농경지의 물질수지에 따른 양분이동 체계



## 4. 한반도 자원순환형 농업 발전을 위한 과제

### 4.1. 자원순환형 농업 발전 위한 기본방향

자원순환형 농업 발전의 비전을 농업과 환경과의 조화를 통해 국민(현세대와 미래세대 포함)의 삶의 질 향상으로 설정하였다. 즉 환경친화적인 자원순환형 농업 발전을 통해 저비용으로 국토를 관리·보전함으로써 깨끗하고 아름다운 강산을 유지하고 국민에게 안전한 먹거리를 공급함으로써 농업을 국토관리 생명산업으로 정착시키는 것이다. 건실한 자원순환형 농업 정착을 위한 목표로 농업환경자원의 환경친화적인 관리를 통한 물질균형 달성, 생태계 보전, 농산물의 안전성 확보, 농가의 수익성 유지 등으로 설정할 수 있다. 이들 목표달성을 위해서는 정부의 지원, 환경규제 및 보상시스템 등 적절한 정책결합이 이루어져야 하며 적극적인 정책의지를 가지고 지속적으로 추진해야 할 것이다.

자원순환형 농업이 정착되기 위해서는 우선 농업부문의 환경문제에 대한 획기적인 인식의 대전환이 이루어져야 한다. 자원순환형 농업의 과제는 어떻게 하면 농축산 부문의 활동이 자연자원, 서식처, 생물학적 다양성, 경관 등을 손상시키지 않고 지속적인 수익성이 유지되면서 안전한 농산물을 생산하느냐 하는 데 있다. 따라서 건실한 자원순환형 농업체제로 전환하기 위한 기본방향을 크게 네 가지로 설정하였다.

첫째, 「감축(Reduced) ↔ 재활용(Recycled) ↔ 재사용(Reuse)」 등 3R을 기초로 기존의 농자재 의존형 친환경농업에서 지역의 농축산업 여건을 기초로 한 지역단위 자원순환형 농업시스템을 정착시키도록 해야 한다.

둘째, 자원순환형 농업체제로의 전환을 위한 정책적 지원, 환경규제와 규제에 대한 보상 수단 간에 적절한 결합이 이루어지도록 해야 한다. 남한지역의 양분과잉과 북한지역의 양분과소가 적절히 연계되어 한반도의 자원순환형농업 육성을 위한 다양한 프로그램이 개발되어야 한다.

셋째, 남한지역은 농업생산 측면에서 볼 때 ‘최대시스템’에서 환경용량을 고려한 ‘최적시스템’으로 전환해야 한다. 즉 최대생산을 통한 생산성 증대 중심에서 지역단위 농업환경 여건을 고려하여 환경친화적 최적생산 체제로 전환해야 한다.

넷째, 자원순환형 농업 추진과 관련된 주체인 「농업인-소비자-연구자-정책담당자」 간의 적절한 역할을 분담하여 추진해야 한다.

## 4.2. 자원순환형 농업 정착을 위한 과제

### 가. 농경지의 물질수지 진단을 위한 농업환경모형 개발

농업환경모형은 농업계의 자원순환 및 환경부하 분석을 위해 농업환경에 영향을 미치는 관련 변수간의 복잡한 관계를 단순화시켜 현상을 이해하려는 틀을 말한다. 지역단위 농업환경모형은 자연적·지리적·행정적 요소 등을 복합적으로 고려하여 구성된 모형으로 자원순환의 유형에 따라 앞장에서 제시된 바와 같이 농가내 순환, 지역내 순환, 지역간 순환 등의 모형을 설정할 수 있다.

지역단위 농업환경모형의 기본구조는 조건-상태-계획(C-S-P)의 3단계로 구성된다(김창길, 강창용, 2002). 조건(condition, C)은 지역의 입지적 특성과 농업환경자원 여건 등을 의미하며, 이 단계에서는 지역의 입지적 특성과 부존자원인 농업환경자원의 실태 파악이 이루어진다. 상태(state, S)는 지역별 농업생산 활동으로부터 발생하는 환경부하 상태를 의미하며, 환경부하 실태 분석을 위해 물질순환 체계의 투입-산출분석과 지역단위 환경용량의 추정이 이루어진다. 계획(plan, P)은 지역단위의 자원순환형 농업시스템 구축을 위한 계획을 수립하는 단계로 지역단위 농업환경의 문제점 분석을 기초로 한 해결방안 제시와 농업환경자원의 적절한 관리방안 제시가 이루어진다.

지역단위 농업환경모형을 구축하기 위해서는 우선 해당 지역의 농업환경과 연관이 있는 요인과 부문별 관련지표를 개발하여 지역단위 농업환경의 전체적인 특성과 지역단위 환경농업 여건을 파악해야 한다. 지역단위 농업환경모형의 체계화를 위한 지역적 특성을 파악하려면 인문사회경제, 자연지리, 토양, 영농활동 및 자원관리 부문에서 여러 가지 지표를 활용해야 한다.<sup>12</sup> 지역단위 농업환경모형의 실용화를 위해서는 물질순환의 투입과 산출에 관한 여러 가지 자료와 지표개발이 선행되어야 한다. 농업환경모형 개발과 관련하여 여러 분야에서 기초연구가 지속적으로 추진되고 있다. 지역단위 양분수지표는 지역단위 양분총량제 시행을 앞두고 지역양분산정시스템(Regional Nutrients Accounting System, ReNAS) 프로그램이 개발되었다.<sup>13</sup> 이밖에도 토양 정밀

<sup>12</sup> 지역단위 농업환경 여건 파악을 위한 부문별 요인과 지표개발에 관한 문헌검토 및 지표구성안에 대한 상세한 설명은 허장·정은미·김창길(2000), pp.9-27에 제시되어 있다.

<sup>13</sup> 지역양분산정시스템은 '지역단위 양분총량제' 시행초기에 이용자가 쉽게 접근할 수 있도록 엑셀 매크로를 이용하였고, 인터넷에 연결하여 웹 사이트에서 관계자만이 제한적으로 접근하여 관련정보를 보완하고 활용할 수 있도록 개발된 프로그램이다. 지역양분산정시스템에 관한 상세한 내용은 김창길, 김태영, 신용광(2005), pp.85-87에 제시되어 있다.

검정에 의한 지역별 토양 특성의 D/B화와 GIS화 그리고 지형과 영농 형태별 비점오염 발생 예측 모형 개발 등 지역단위 농업환경모형의 구축에 관한 연구가 농업과학기술원을 중심으로 활발하게 진행되고 있다.

#### 나. 교육·훈련 및 기술개발·보급

자원순환형 농업시스템 구축을 위해서는 관련주체의 인식전환을 기초로 한 자발적 참여와 동기부여가 중요하므로 주체별 효과적인 교육·훈련 프로그램의 개발 및 추진에 상당한 투자와 지원이 필요하다. 효과적인 교육과 훈련이 이루어지려면 시청각 자료와 자원순환형 농업 실천 매뉴얼과 같은 교육교재 개발과 교육담당 전문강사 육성 등을 통한 교육·훈련 인프라구축에 과감한 투자 확대가 필요하다.

기술적인 측면에서 건설한 자원순환형 농업시스템을 구축하려면 기초자원인 토양관리를 위해 농진청·시군 농업기술센터·농협 등 토양검정기관 간에 적절한 역할분담 체계를 확립하고 강화해야 한다. 토양검정결과를 지역별 토양특성에 맞도록 정밀하게 적용시킬 수 있는 합리적인 표준시비량 및 퇴비·액비 살포량 기준 마련과 기존 표준시비량을 지역별·지대별로 더욱 세분화한 이용 지침이 작성되어야 한다. 이와 아울러 경작농지에 대한 토양정보를 농업인이나 관련 연구자가 쉽게 접근하여 이용할 수 있도록 GIS 정밀토양정보 공유시스템의 조기구축과 인터넷을 통한 토양정보 컨설팅 지원 체계가 확립되어야 한다.

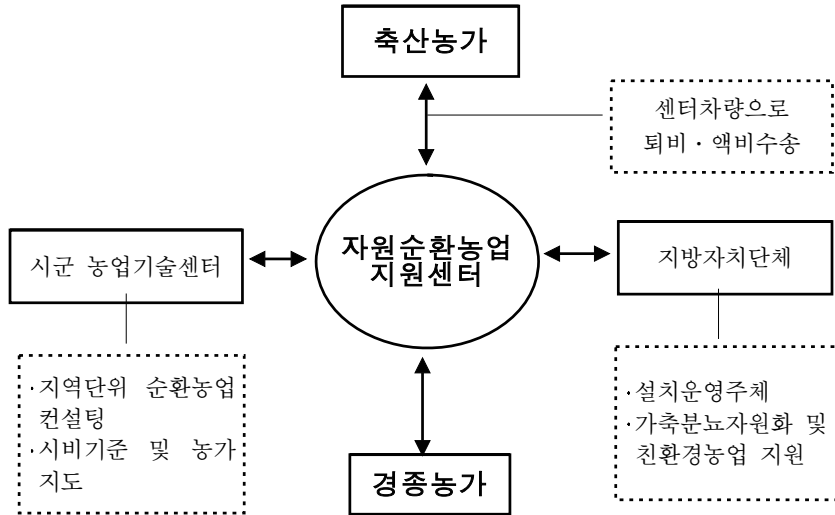
자원순환형 농업이 현장에서 제대로 이루어지려면 농촌현장에서 실제로 적용할 수 있는 맞춤형 최적관리방안(Best Management Practices, BMP)을 작성하여 농가에 보급해야 한다. 여기서 BMP는 지역단위 농업환경모형을 이용하여 지역별 환경부하 실태를 파악하고, 모형을 통한 농업환경의 진단 및 최적의 관리방안을 의미한다.

#### 다. 경종·축산의 유기적인 연계시스템 구축

지역단위의 자원순환형 시스템 구축을 확대하기 위해서는 지역별 경종농가·양축농가·농협 등이 협의체를 구성하여 축분퇴비 및 액비가 효과적으로 활용될 수 있도록 ‘지역순환농업 지원센터’의 설치가 필요하다. 현행 지역별 축분퇴비유통센터를 ‘지역순환농업 지원센터’로 개편하여 경종·축산농가의 효과적인 연계 및 양질의 퇴비 및 액비 수송·살포 등의 업무를 체계적으로 수행하도록 하는 것이 바람직하다<그림 7>.14 이를 위해서는 현재 축분퇴비유통센터가 잘 운영되는 곳을 대상으로 시도별 1~2개의

시범지역을 선정하여 추진하고 단계적으로 확대하면 정책성과를 극대화할 수 있을 것이다.

그림 7. 자원순환농업 지원센터의 경종-축산농가 연계방안



현실적으로 경종농가와 양축농가의 효과적인 연계를 위해서는 가축분뇨처리 민간업체를 참여시킬 수 있는 방안이 구축되어야 한다. 민간업체는 축산농가로부터 가축분뇨를 적절히 수거하고 발효시켜 경종농가가 이용할 수 있도록 살포하는 전체 과정의 작업을 담당하며, 이들 영업활동이 지속될 수 있도록 관련주체별로 소요비용을 분담해야 한다. 민간업체는 가축분뇨 및 액비 사용에 따른 경종농가의 위험을 어느 정도 부담하는 방안(예를 들면 작물수확량이 평년수준 대비 80% 이하로 감소하는 경우 피해분 보상)과 수량증대 등 경종농가의 경영성과가 나타나는 경우(평년 작황보다 10% 이상 증산시) 인센티브를 지급할 수 있는 방안이 함께 고려되어야 할 것이다. 민간업체의 경종-축산 연계 업무가 효과적으로 이루어지기 위해서는 가축분뇨를 살포할 자가 농지가 부족한 양축농가는 의무적으로 인근지역 또는 타 지역의 농지소유자나 분뇨처리업자

14 농림부는 2007년부터 가축분뇨의 퇴·액비 시범포 운영, 자원화를 통해 생산된 농산물의 안정적인 판로 확보를 통한 농가소득 제고 등을 정책목표로 하는 ‘자연순환농업활성화지원사업’ 추진계획을 발표하였다. 이 사업의 추진방향으로 경종과 축산이 함께하여 생태를 보전하는 자연순환농업 구현, 농·축협 및 영농조합법인 등 전문경영체를 자연순환농업의 핵심주체로 육성, 자연순환농업협약을 체결한 전문경영체에 우선 지원, 핵심주체를 통한 퇴·액비 이용 및 농산물 판로 확대 추진, 효율적인 사업추진을 위해 축산·경종 및 소비자와의 연계강화도모 등을 제시하고 있다.

와 분뇨처리 계약을 체결하도록 하는 가축분뇨처리계약제를 도입하여 운영하는 것이 바람직하다. 또한 가축분뇨의 적절한 처리를 위한 계약이 없는 경우에는 가축사육두수를 감축해야 하며, 이러한 제도는 실제로 네덜란드에서 추진되고 있는 제도로 가축 분뇨처리를 담당하고 있는 민간수송업자의 역할이 체계적으로 이루어질 수 있도록 하는 제도적 장치이다.

중장기적으로 가축분뇨의 효과적인 관리를 위해서는 가축등록제를 기초로 벨기에에서 운영하고 있는 가축분뇨은행(livestock manure bank)의 도입에 대한 심층적인 검토도 필요하다. 벨기에의 경우 가축분뇨은행은 양축농가의 신고 및 등록업무, 축분퇴비와 액비의 유통업무, 부과금 부과와 행정상 과태료 수급, 보상금 지불 업무, 통제와 감시업무, 허가권, 환경관리 업무 등을 담당하고 있다.

#### 라. 경제적 유인 및 환경규제 프로그램의 강화

현행 친환경농업직불제와 친환경농업지구조성사업 등 친환경농업육성 정책 프로그램과 연계하여 지역단위(또는 수계단위, 마을단위 등) 자원순환을 기초로 한 물질균형 달성 정도에 따라 기존 지원방식에 추가적인 인센티브를 부여하는 유인책이 필요하다. 또한 수계별·지역별로 환경부하 허용량을 초과하지 않는 범위에서 농업생산규모 및 농법 전환이 이루어질 수 있도록 환경친화적 상호준수 프로그램을 확대해야 할 것이다. 현재 친환경농축산업 육성을 위해 추진되고 있는 친환경농업직불제가 대표적인 상호준수 프로그램이며, 향후 친환경농업체제로 전환되기 위해서는 이들 프로그램의 적용대상 및 지원규모의 대폭적인 확대가 필요하다.

이밖에도 지역단위 환경용량을 유지하기 위해서 중장기적으로는 축산부문의 사육밀도규제와 가축사육권거래제 등의 도입에 관해서도 검토해야 할 것이다. 유럽에서는 축산폐수 문제의 해결방안으로 가축사육밀도를 제한하는 정책을 시행하고 있다. 가축사육권거래제는 오염배출권을 시장에서 거래할 수 있도록 고안된 배출권거래제와 유사하다. 이들 정책프로그램은 실제로 벨기에와 네덜란드에서 가축분뇨의 과잉발생 문제를 해결하기 위해 운용되고 있는 정책수단이다. 가축사육권쿼터제를 시행하고 있는 이들 국가에서는 양돈업자의 폐업(buy-out scheme)시 재정지원을 함으로써 양돈의 부정적 환경영향을 줄이기 위한 수단으로 활용하고 있다.

## 마. 지역단위 양분총량제도의 본격 추진

농경지에 과다하게 투입되는 양분을 감축하기 위한 실효성 있는 정책프로그램 마련을 위해 농림부와 환경부가 합동으로 구성된 「축산분뇨 관리·이용대책 추진기획단」(2004. 4. 9~9. 30)에서 ‘가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률’ 제정과 ‘지역별 양분총량제’를 제안하였다. 가축분뇨를 퇴비화·액비화 또는 바이오에너지화 등 자원화하여 지속가능한 축산업 및 자원순환형 농업의 발전과 축산부문의 환경보전을 실천하기 위해 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」 중 축산폐수 부분을 분리하여 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」(법률 제8010호, 2006년 9월 27일 제정)이 제정되었다. 이 법은 2007년 9월 28일부터 시행되고 있다.

지역별 양분총량제는 농림부와 환경부의 수차례 협의를 거쳐 2007년부터 도입키로 정부방침이 발표되었으나, 실행프로그램 준비 관계로 미루어지고 있다. 농경지에 투입되는 과잉양분을 효과적으로 관리하기 위해서는 화학비료 사용을 크게 줄이도록 유도하는 친환경농업 육성정책과 가축분뇨 관리수단으로 가축분뇨자원화와 축산폐수 정화처리 확대 정책도 중요하다. 새로운 정책프로그램으로 도입되는 지역단위 양분총량제는 기존의 정책패러다임과는 달리 과학적 토대위에서 지역별 농경지의 양분 투입과 처리를 종합적으로 파악하여 지역의 환경용량 범위에서 수용할 수 있는 총량 수준으로 관리하기 위한 제도이다. 이 제도는 시군 지방자치단체가 해당 지역의 환경용량에 맞게 양분투입량을 적절하게 관리할 수 있도록 유도하는 정책 프로그램이다. 우리나라의 지역단위 양분총량제는 유럽에서 시행되는 개별 농가별(경종농가 및 양축농가) 양분수치를 기초로 양분을 관리하는 양분관리정책 프로그램과는 달리 시군 지역을 기준으로 상당히 넓은 지역의 양분을 관리하는 정책이다.<sup>15</sup>

2007년 본격적인 정책 시행을 앞두고 새로운 제도 도입을 우려하는 견해가 제시되고 있어 정책집행이 당초계획보다 연기될 가능성이 있다. 우리나라의 잉여양분 문제를 좀 더 적극적으로 해결하는 차원에서 지역단위 양분총량제는 일반 환경 분야에서 시행되고 있는 수질오염총량제에 능동적으로 대처할 수 있음은 물론 우리나라 농축산업을 친환경농업체제로 전환하는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 평가된다.<sup>16</sup> 네덜란드와 덴마

<sup>15</sup> 지역단위 양분총량제는 가축사육두수 감축과 직접적으로 연계된 정책프로그램이 아니며 지역단위(시·군 행정구역 기준)에서 양분을 종합적으로 관리하는 정책수단이다. 즉, 양분공급이 과다한 지역에서 더 이상 늘어나지 않도록 점차적으로 줄이며, 양분수용이 가능한 지역에서는 양분과잉 지역으로부터 양분을 수용하여 궁극적으로는 양분균형 수준이 유지됨으로써 지속가능한 농업시스템을 구축하는 것이 기본적인 취지이다(김창길, 김태영, 신용광, 2005).

크 등 주요국가에서 경험한 바와 같이 과잉양분 문제를 전략적으로 다루지 않는 경우 비점오염원으로 농축산업의 생산 활동에 큰 제약이 수반됨을 타산지석으로 삼아야 할 것이다.

#### 바. 북한지역으로의 양분이동 프로그램 개발

양분수지 분석에서 제시된 바와 같이 북한지역 농경지는 양분부족 현상이 뚜렷하다. 주체농법과 화학비료 위주의 영농관행에 따라 토양비옥도가 저하되고 토양이 산성화 되는 결과가 초래되었기 때문이다. 북한 지역 농경지의 유기물 함량은 1.5% 내외로 남한 지역 농경지의 평균 유기물 함량 2.5%에 비하면 현저히 낮다. 작물 생산에 결정적 영향을 미치는 표토층 30cm를 형성하는 데 1만 년 이상 소요된다는 사실을 생각하면 토양에 대한 지속적인 양분 관리가 더욱 절실하다. 농경지의 양분부족 현상을 개선하기 위해서는 농경지에 유기질 비료 공급을 지속적으로 늘려야 한다. 그렇지만 북한 내의 유기질 비료 공급원은 제한적이므로 북한 자체의 노력만으로는 한계가 있다. 북한에서는 7~8월 동안 농촌 주민을 동원하여 대대적인 풀베기 운동을 전개하고 있지만 이것만 가지고서는 효과적인 유기물 시용이 어렵다. 따라서 토양의 유기물 함량을 늘리기 위해서는 외부에서 안정적인 유기질 비료 공급원을 확보하는 수밖에 없다. 현실적인 대안으로써 남한지역의 축산부문에 발생한 가축분뇨를 고성능의 유기질비료로 가공하여 북한지역 농경지로 이동하는 프로그램 개발을 생각할 수 있다(권태진, 2006). 이를 위해서는 가축분뇨를 이용한 유기질비료의 가치를 과학적으로 검증할 수 있는 근거자료를 확보하여 북한 당국을 이해시키는 노력이 선행되어야 할 것이다. 특히 북한지역의 경우 질소성분의 결핍도 문제가 되지만 인산성분이 결핍도가 더욱 심각하므로 가축분뇨(특히 돼지분뇨)를 활용한 고성능 유기질 비료의 공급이 효과적이라 판단된다.

지금까지 남한 지역에서 발생한 축분을 북한지역에 공급하기 위한 노력을 여러 차례 시도하였지만 축산폐기물 반입이라는 심리적 저항 때문에 번번이 실패하다가 최근 축분을 가공하여 만든 유기질 비료를 북한의 일부 지역에 공급하기 시작하였다. 축분 가

16 오염총량관리제도는 오염물질 관리를 위한 규제제도의 일종으로 지방자치단체가 수계의 환경용량을 기초로 오염물질 삭감에 관한 계획, 즉 오염총량관리 기본계획과 오염총량관리 시행계획을 수립하고 이를 근거로 지역개발계획을 수립하는 제도라고 할 수 있다. 이 제도는 환경친화적 유역관리를 위한 정책수단으로 2005년부터 추진되고 있다. 오염총량관리제의 기본방침은 오염총량관리목표, 총량관리대상 오염물질의 종류, 지역별·수계별 오염부하량 할당, 오염부하량의 산정방법 등이 포함된다.



공에 의한 유기질 비료를 사용할 경우 토양 오염을 유발시키지 않으면서 농경지의 양분부족 문제를 해소할 수 있고 중장기적으로는 토양의 물리적 특성까지 개선할 수 있다는 점을 북한 당국이 확인해야만 지속적인 사용이 가능하다.

축분을 이용한 유기질 비료의 본격적인 대북 지원을 실시하기 전에 먼저 시범사업을 통해 유기질 비료의 시용 효과를 검증하는 절차가 필요하다. 이미 2005년 남북농업협력 위원회에서 합의하였고, 2007년 정상회담 합의사항 이행을 위한 남북총리회담에서도 확인한 바 있듯이 남북한은 협동농장 공동영농사업을 통해 유기질 비료의 시용 효과를 검증할 수 있을 것이다. 이 과정에서 유기질 비료의 시용 효과를 확인한 다음 당국자 사이의 협력을 통해 유기질 비료의 공급을 자연스럽게 추진하는 것이 바람직하다.

북한 지역에 유기질 비료를 공급하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 남한 지역에서 축분을 이용하여 정제된 형태의 유기질 비료를 만든 다음 이를 북한에 제공하는 방법과 북한 지역에 액비 형태의 유기질 비료 제조 시설을 제공하고 그 원료인 축분을 남한이 제공하는 두 가지 방안이 제안되고 있다. 전자의 경우 가축분뇨라는 부정적 이미지를 해소하고 비료의 수송과 살포를 쉽게 하기 위해서는 중금속 등 오염 물질의 정제와 펠렛화 등 가축분뇨를 고성능 유기질 비료로 만들기 위한 기술개발이 선행되어야 할 것이다. 후자의 경우 북한이 축분의 반입에 따르는 부정적 견해를 해소시키고 수송비를 낮출 수 있는 방안을 찾는 것이 관건이다. 어떠한 경우이건 기술적 문제를 해결하는 것도 중요하지만 제조원가의 상승과 높은 수송비를 어떻게 해결할 것인지 대책을 마련하는 것은 더욱 중요하다. 중장기적으로는 남한 지역의 축산단지를 북한 지역으로 이전하고 그 지역을 중심으로 양분 수지균형을 이루는 방안을 찾는 것이 바람직할 것이다. 그렇지만 단기적으로는 대북 비료 지원 자금의 확보 등 경제적 문제의 해결 방안과 생산된 비료를 북한에 효과적으로 전달할 수 있는 방안을 찾는 것이 시급하다. 유기질 비료의 대북 지원에 필요한 자원은 가축분뇨를 발생시키는 축산농가의 부담금과 남북협력기금을 통해 확보할 수 있을 것이다.

제3의 대안으로써 가축분뇨를 이용하여 바이오가스를 생산하고 이를 에너지로 활용하고 이 과정에서 발생한 잔여 물질을 유기질 비료 생산에 사용하는 신재생에너지 프로젝트 추진전략이 제시되고 있다(이한희, 2008). 에너지 가격이 상승하고 있는 상황에서 1석3조의 효과를 거둘 수 있는 획기적인 방안이다. 그렇지만 이 방법은 에너지화를 위한 장치를 설치하는 데 많은 자본이 투하되어야 하는 등 아직은 경제성이 확보되지 못한 점이 단점으로 지적된다. 향후 기술적인 문제의 해결과 더불어 경제성을 확립할 수만 있다면 남북한 사이의 양분수지 균형을 이루면서 북한의 식량 생산을 증대시킬 수 있는 길이 열리게 될 것이다.

## 사. 주체별 역할분담 및 협력체제 구축

지역단위 자원순환형 농업시스템이 효과적으로 정착되기 위해서는 농업인, 소비자, 연구자, 관련기관 및 NGO 등의 적절한 역할 분담체제가 구축되어야 한다. 농업인은 생명산업의 핵심주체로 식량공급은 물론 농촌지역의 환경관리자라는 사명감을 가진 그린 경영체(비료·농약 사용량, 가축분뇨처리 상황을 기록하는 환경기장제 실시)의 중요한 역할을 수행해야 할 것이다. 소비자는 지역단위 환경보전 실천에 대한 농업인의 역할을 인정하고 주요한 역할에 대한 적절한 보상 및 공동분담을 해야 할 것이다. 연구자는 IT·BT·ET·NT 등의 최신기술을 지역단위 농업생산 현장에 적용하여 자원순환형 농업이 정착될 수 있도록 현장연구 및 연구결과의 정책연계 노력을 강화해야 할 것이다. 중앙정부는 지역별 자원순환형 농업 육성을 위한 중장기 계획의 수립·집행, 관련제도의 정비, 환경친화적 기술 및 청정기술 등 새로운 기술개발 및 예산 등을 지원하고, 지방자치단체는 지역주민이 공감할 수 있는 지역단위 친환경농업 육성계획의 수립 및 추진, 개발된 친환경 신기술을 농업인 등에게 보급하는 등 농업인 교육·홍보 및 지도 등을 담당해야 할 것이다. 또한 친환경농업단체 등 NGO는 친환경농법의 수용 및 실천에 관한 농업인 교육 및 적절한 정책추진에 대한 모니터링 역할을 수행해야 할 것이다.

지역단위별 자원순환 농업시스템 정착을 위한 관련주체의 역할분담과 아울러 협력체제가 구축되어야 한다. 지역단위별 환경보전에 대한 지식과 의식이 있는 지역주민이 주체가 되어 소비자, 정책담당자, 전문가 등이 참여하는 ‘지역순환농업추진위원회(가칭)’를 설치하여 충분한 토의와 의견수렴을 거쳐 지역주민이 공감할 수 있는 프로그램을 개발하고 추진해야 한다.

## 5. 결 론

건실한 자원순환형 농업의 정착은 지속가능한 농업발전을 위한 핵심적인 과제이다. 이를 위해서는 농업부문도 환경부하 최소화를 위해 농업자원의 사용량 감축(Reduction), 농축산 부산물 및 폐기물의 재활용(Recycle)과 재이용(Reuse) 등 3R을 기초로 한 농업생태계 물질순환의 선순환체계가 이루어져야 한다. 3R기초로 한 자원순환형 농업시스

템 구축은 우리나라 농업이 건실한 친환경농업체제로 전환하기 위한 핵심적인 요소이다. 생산측면에서 유기재배, 무농약재배 등의 친환경농법으로 전환한다고 하여 농업생태계의 선순환 체계가 확립되었다고 보기 어렵기 때문이다. 자원순환형 농업이 정착되면 지속가능한 농업을 정착시킴으로써 과잉양분 문제도 크게 개선될 수 있고, 지역별 환경부하 문제도 어느 정도 해결할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 우선 지역단위의 농업환경을 종합적으로 파악하여 진단하고 평가하기 위해 농가내 순환, 지역내 순환 및 지역간 순환 등 물질순환을 기초로 한 체계적인 농업환경모형이 개발되어야 한다. 특히 농업환경모형의 실용화를 위해서는 물질순환의 투입과 산출에 관한 여러 가지 자료와 지표개발이 선행되어야 한다. 이와 아울러 관련주체의 의식개혁과 자발적 참여 유도를 위한 교육·훈련 프로그램 추진을 위한 과감한 투자확대가 필요하고, 지역별 자원순환시스템 구축을 위한 기술개발 및 보급 등 인프라 구축이 선행되어야 한다.

현실적으로 자원순환형 농업시스템 구축의 관건은 경종과 축산부문이 유기적으로 연계된 지역단위 자원순환형 농업시스템 구축에 달려있다. 보다 효과적인 경종-축산 연계방안 모색을 위해서는 지역단위의 ‘자원순환농업 지원센터(가칭)’ 설치가 필요하고, 시군 지방자치단체와 농업기술센터 등과 같은 유관기관의 역할 외에도 민간업체가 시스템 운용의 주요한 운용주체로 참여할 수 있도록 여건조성이 이루어져야 할 것이다. 특히 농경지의 물질수지 측면에서 보면 남한지역의 경우 과잉양분 문제 해결을 위해서는 상당한 수준의 화학비료와 가축사육두수 감축이 필요하다. 그러나 이들 대안은 현실적으로 상당한 부담이 되기 때문에 북한지역으로의 양분이동을 위한 실효성 있는 정책 프로그램 개발은 환경관리 측면에서 남북한 모두에게 중요한 과제이다. 이밖에도 시스템의 효율성 및 효과성 제고를 위한 경제적 유인프로그램 및 환경규제 프로그램이 강화될 수 있는 조치가 마련되어야 할 것이다. 2007년부터 도입하기로 한 지역단위 양분총량제는 남한지역 농경지의 과잉양분 관리를 위한 특단의 조치로 신속히 추진될 수 있도록 적절한 조치가 이루어져야 한다.

건실한 자원순환형 친환경농업 발전 방안 모색을 위해 남한지역은 물론 북한지역의 물질수지 분석을 시도하였으나, 북한관련 자료의 제약으로 한반도의 양분 문제 해결책으로 주로 남한지역에 적용할 수 있는 정책프로그램과 북한지역으로 양분을 이동시킬 수 있는 프로그램을 제시하는 데 그쳤다. 향후 연구에서는 남한의 과잉양분과 북한의 과소양분 문제 해결에 실제로 적용할 수 있는 실효성 있는 정책프로그램 개발에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참고 문헌

- 권태진. 2006. “북한의 비료 수급 동향과 시사점.” 『KREI 북한농업동향』 8(21): 3-21.
- 김진수, 오광영. 2000. “농촌지역에서의 농업 유기물 흐름의 평가.” 『한국농공학회지』, 42(5): 114-124.
- 김창길. 2004. “친환경농업의 개념과 주요 실천과제.” 『농정연구』 9: 15-42.
- 김창길. 2005. “지역단위 자원순환형 농업시스템의 구축방향.” 『친환경농업연구』 7(2): 21-47.
- 김창길, 김태영. 2004. “지역단위 농업생태계의 물질균형 분석.” 『농업경제연구』 45(4): 191-222.
- 김창길 외 7인. 2004. 『친환경농업체제로의 전환을 위한 전략과 추진 방안』. 연구보고 R469. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김태영, 신용광. 2005. 『지역단위 양분총량제 도입 세부 시행방안 연구』. 연구보고 C2005-52. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김태영. 2006. “잉여양분의 효과적인 관리를 위한 지역단위 양분총량제 시행 방안.” 『농업경영·정책연구』 33(2): 326-350.
- 김형화 외 3인. 2005. 『북한의 축산 현황과 남북한 축산협력 방향』. 연구보고서 M66. 한국농촌경제연구원.
- 농림부. 2006. 『친환경농업육성 5개년 계획(2006~2010)』.
- 류순호, 노희명. 1996. 『한국의 지형 및 영농형태에 적합한 농업환경오염예측모형 개발』. 농촌진흥청.
- 류종원. 2006. “대북 비료지원의 문제점 - 유기질비료 지원으로 ‘북한 땅 살리기’ 운동 전개해야.” 『통일한국』, 268: 44-46.
- 박승우 외 8인. 2000. 『농업생태환경 모니터링 및 종합적 환경관리시스템 개발 사업』. ARPC 최종보고서. 농림부.
- 송주호, 김창길, 허덕, 임성진. 2004. 『가축 사육두수 총량제의 도입방안에 관한 연구』. 연구보고 R487. 한국농촌경제연구원.
- 유덕기 외. 2006. 『자연순환형 유기농업 표준모델 개발』. 2006농림기술개발사업 보고서. 농림부.
- 윤성이. 2003. “지역순환형 농업의 발전모델과 기술 및 경제적 문제점 고찰.” 『한국유기농업학회지』 11(2): 1-21.
- 이상철. 2006. “한국의 자연순환농업 현상과 과제.” 『자연순환형 농업시스템 구축방안』. 강원농수산포럼 제61차 정기세미나 결과보고서. 강원농수산포럼. pp.31-40.

- 이승헌, 최우정. 2002. “농업생태계의 특징과 지속가능 관리 방안.” 농업기반공사. 『농어촌과 환경』. 76: 100-112.
- 이한희, 2008. “한반도 신재생 에너지 개발 프로젝트 추진 방법 및 전략 수립.” 한반도 신재생에너지 개발 프로젝트를 위한 국제심포지엄. 2008. 1. 16. 삼성경제연구소, 경기개발연구원.
- 지인배. 2004. “북한의 축산과 남북 협력 방안.” 『KREI 북한농업동향』 6(2): 3-15.
- 허길행. 2002. “가축분뇨 발효액비화에 의한 농업부문 자연순환체계 복원연구.” 『농촌경제』. 23(3): 35-52.
- 홍성규, 송재욱. 2006. “충주지역 농경지의 양분수지 분석.” 『농업경영·정책연구』 33(4): 1127-1150.
- 허인희. 2005. 『친환경유기농과 한반도 농업의 방향』. 연세대학교 경제대학원 석사학위논문. 織田健次郎. 2004. “我が國における1980年代以降の窒素収支の変遷.” 農業環境技術研究所.
- 松本成夫. 1998. “農業生態界の物質循環.” 陽 悽行 編著. 『環境保全と農林業』. 朝昌書店.
- Ayres, Rober U. 1998. “Eco-thermodynamics: Economics and the Second Law.” *Ecological Economics* 26: 189-209.
- Dijk, Jan, Hans Leneman and Marianne van der Veen. 1996. “The Nutrient Flow Model for Dutch Agriculture: A Toll for Environment Policy Evaluation.” *Journal of Environmental Management*, 46: 43-55.
- Griffin, Ronald C. and Daniel W. Bromley. 1982. “Agricultural Runoff as a Nonpoint Externality: A Theoretical Development.” *American Journal of Agricultural Economics*, 64: 547-552.
- OECD. 1995. *Niche Markets as a Rural Development Strategy*. Paris.
- OECD. 1999. *Cultivating Rural Amenities: An Economic Development Perspective*. Paris.
- OECD. 2003. Handbook: OECD/EUROSTAT Gross Nitrogen Balances.
- OECD. 2004a. Instrument Mixes for Environmental Policy. COM/ENV/ EPOC/AGR/CA (2004)90.
- OECD. 2004b. Agriculture, Trade and Environment: The Arable Crops Sector. COM/AGR/CA/ENV/EPOC(2004)30.
- Oskam, A.J. et al. 1998. *Additional EU Policy Instrument for Plant Protection Products*, Wageningen Pers.
- Schroder, Hans. 1995. “Input Management of Nitrogen in Agriculture.” *Ecological Economics*, 13: 125-140.

- USDA Soil Conservation Service. *Agricultural Waste Management Field Handbook*. 1992
- van Eerd, M.M. and P.K.N. Fong. 1998. "The Monitoring of Nitrogen Surpluses from Agriculture." *Environmental Pollution*, 102: 227-233.
- Wossink, Ada. 2004. "The Dutch Nutrient Quota System: Past Experience and Lessons for the Future." in *OECD. Tradable Permits: Policy Evaluation, Design, and Reform*. Paris. pp.99-120.
- Zessner, Matthias and Christoph Lampert. 2002. "The Use of Regional Balances in Water Quality Management." *Urban Water*, 4: 73-83.

원고 접수일: 2008년 2월 18일
원고 심사일: 2008년 2월 25일
심사 완료일: 2008년 3월 28일