

지역단위의 물질순환과 친환경농업 발전 방향

김창길

한국농촌경제연구원

- I. 지역단위 물질순환 접근의 필요성
- II. 지역단위 물질순환 분석을 위한 농업환경모형
- III. 지역단위 농업환경부하 분석 방법
- IV. 지역단위 물질순환 분석 결과 - 양평군 사례를 중심으로
- V. 지역단위 자연순환형 친환경농업의 발전 방안
《참고문헌》

I. 지역단위 물질순환 접근의 필요성

- 현대 농업은 새로운 기술과 품종개량, 비료와 농약 등 화학적 투입재 사용 등 외부 에너지의 투입량을 증가시킴으로써 자연환경에 대한 의존성을 최소화하는 과정을 통해 높은 생산성 증대시키는 방향으로 발전
- ‘고투입-고산출’의 집약적 생산으로 인한 화학적 투입재의 과다 사용, 가축분뇨의 대량 발생과 부적절한 처리 등 지속적인 오염원 배출로 엔트로피가 축적됨으로서 농업생태계의 환경 문제를 심화시킴.
 - 작물생산 증대를 위해 양분요구량 이상의 과다한 화학비료 투입으로 상당한 무기물이 토양에 축적·유출됨으로써 토양 유기물 감소와 물리성을 악화시킴. 또한 농경지로부터 잉여양분의 유출은 지표수 오염 및 질산태 질소의 지하수 오염 등을 초래함.
 - 규모화·전문화 등 집약적 축산업의 확산으로 가축분뇨의 자가경영권내 순환이용이 어려워지고 있으며, 특히 절대량의 수입사료에 의존하는 우리나라의 집약적 가축생산 체계는 농업생태계의 원활한 순환의 장애요인으로 작용함.
- 집약적 농축산업 생산방식에서 파생되는 환경오염 문제는 생산체계와 기술 등에 의해 큰 영향을 받으나, 입지적·지역적 환경용량에 따른 자정능력에 따라 문제 해결을 위한 접근방식이 달라질 수 있음.
- 친환경농업의 건실한 발전을 위해서는 지역단위의 농업환경을 종합적으로 파악하여 진단하고 평가할 수 있는 물질순환을 기초로 한 체계적인 분석모형이 필요하며, 지역별 농업자원환경

- 의 자정용량을 기초로 종합 진단·관리할 수 있는 적절한 자원관리시스템의 도입이 필요하다.
- ※ 지역단위 친환경농업의 개념은 지역적 농업여건 및 환경적 특성을 고려한 친환경농업의 실천을 의미함. 현행 친환경농업육성법에서도 지역단위 친환경농업 실천계획 수립 및 추진을 강조하고 있음.)

II. 지역단위 물질순환 분석을 위한 농업환경모형

1. 농업환경모형의 개념

- 농업환경모형(Agri-Environmental Model)은 농업환경의 변화에 영향을 미치는 요소를 파악하고 그 작용방식, 영향의 정도와 범위 등을 일련의 변수간 관계 형태로 제시함으로써 복잡한 현상을 단순화하여 이해하려는 틀을 의미함.
- 지역단위 농업환경모형은 자연적·지리적·행정적 요소 등을 복합적으로 고려하여 구성된 모형으로, 구체적으로는 자연순환을 기초로 지역내, 지역간 순환을 포괄하는 모형으로 설정될 수 있음. 지역단위 농업환경모형의 구축에 있어서 물질순환계의 경계영역 설정범위에 따라 자연순환형 농업은 농가 내 순환, 지역 내 순환, 지역 간 순환으로 대별될 수 있음(<표 1> 참조).

<표 1> 자연순환의 유형과 환경친화적 농법 및 농업형태

	순환의 유형	환경친화적 순환농법	농업형태
	서브 시스템		
농가내 순환	경지내 순환	벗짚, 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·벗짚교환 경종-양축농가간 액비화	
지역간 순환	농업지역간순환	경종 - 축산 부문의 유기물교환	지역간 복합농업
	농공간 순환	식품산업 폐기물의 퇴비화 툽밥·우드칩 등의 이용	
	농촌-도시간 순환	농촌·도시 생활쓰레기의 사료화·퇴비화	

자료: 김창길·강창용(2002), p.10에서 인용.

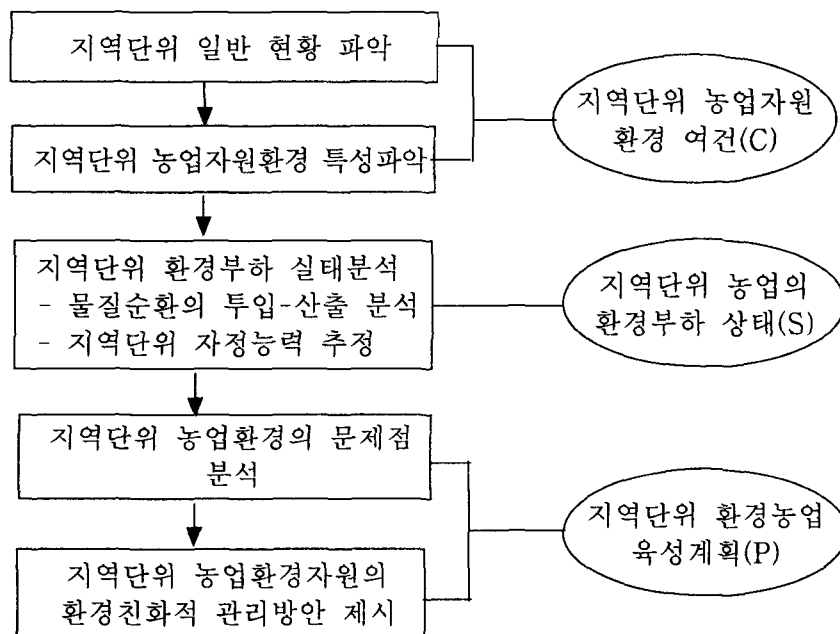
- 현실적으로 개별 농가 내부에서 물질순환이 완결되는 것은 매우 제한적이기 때문에 지역단위 농업환경모형에서는 물질순환의 세 유형을 모두 포함하되 주로 지역내 순환 및 지역간 순환이 주류를 이룬다고 볼 수 있음.

- 1) 친환경농업실천계획과 관련 친환경농업육성법 제7조에서 “시·도지사는 육성계획에 따라 친환경농업을 발전시키기 위한 시·도 실천계획을 수립·시행하여야”하며, 또한 “시장·군수는 시·도 실천계획에 따라 친환경농업을 발전시키기 위한 시·군 실천계획을 수립하여 시·도지사에게 제출하고 이를 적극 추진하여야 한다”라고 명시되어 있음.

2. 지역단위 농업환경모형의 기본구조

- 지역단위 농업환경모형의 기본구조는 C(조건)-S(상태)-P(계획)체계로 구성됨(<그림 1> 참조)
 - C(condition)는 지역의 입지적 특성과 농업환경자원 여건을 등을 의미함. 지역의 입지적 특성과 부존자원인 농업환경자원의 실태 파악이 이루어짐.
 - S(state)는 지역단위의 농업생산 활동으로부터 발생하는 환경부하 상태를 의미하며, 환경부하 실태 분석을 위해 물질순환 체계의 투입-산출분석과 지역단위 환경용량의 추정이 이루어짐.
 - P(plan)는 지역단위의 환경농업을 육성계획을 수립하는 단계로 지역단위 물질순환분석을 기초로 농업환경의 문제점 분석을 기초로 건설한 친환경농업 육성을 위한 농업환경자원의 적절한 관리방안이 제시됨.

<그림 1> 지역단위 농업환경모형 개발을 위한 C-S-P의 기본골격



3. 지역단위 농업환경 분석을 위한 주요 지표

- 지역단위 농업환경모형을 구축하기 위해서는 우선 해당 지역의 농업환경과 연관이 있는 요인과 부문별 관련지표를 개발하여 지역단위 농업환경의 전체적인 특성과 지역단위 환경농업 여건을 파악해야 함.
- 지역단위 농업환경모형의 체계화를 위한 지역적 특성 파악을 위해서는 인문사회경제, 자연지리, 토양, 영농활동 및 자원관리 부문에서 여러 가지 지표가 활용될 수 있음(<표 2> 참조).

<표 2> 지역단위 농업환경 분석을 위한 주요 지표

부 문	지역 특성 요인	관련 지표
인문사회 경제	인구부하 사회·경제구조 환경·토지이용 규제현황 공공지출	인구, 인구밀도, 농업인구 교육수준, 소득수준, 산업구조 규제의 유무, 정도 농업환경 부문 지출예산
자연지리	기후와 기상조건 입지 병충해, 기타 자연재해	기온, 강수량 농업지대(평야/중간/산간 등) 종류별 발생빈도, 피해상황
토 양	농업적성도 물리화학적 성질	토양적성등급, 전답토양의 유형 산도, 유기물, 유효인산
영농활동	작부체계 투입재 사용 경종 축산	운작, 작부체계 비료 사용량, 유기질비료 사용량 작물별 재배면적 및 생산량 축종별 사육두수, 가축분뇨처리
자원관리	농업자원관리정책 환경농업 실천	환경농업정책 프로그램 친환경농업 실천 농가 수

자료: 김창길·강창용(2002), p.13.

III. 지역단위 농업환경부하 분석 방법

1. 농업생태계 물질순환의 이론적 기초

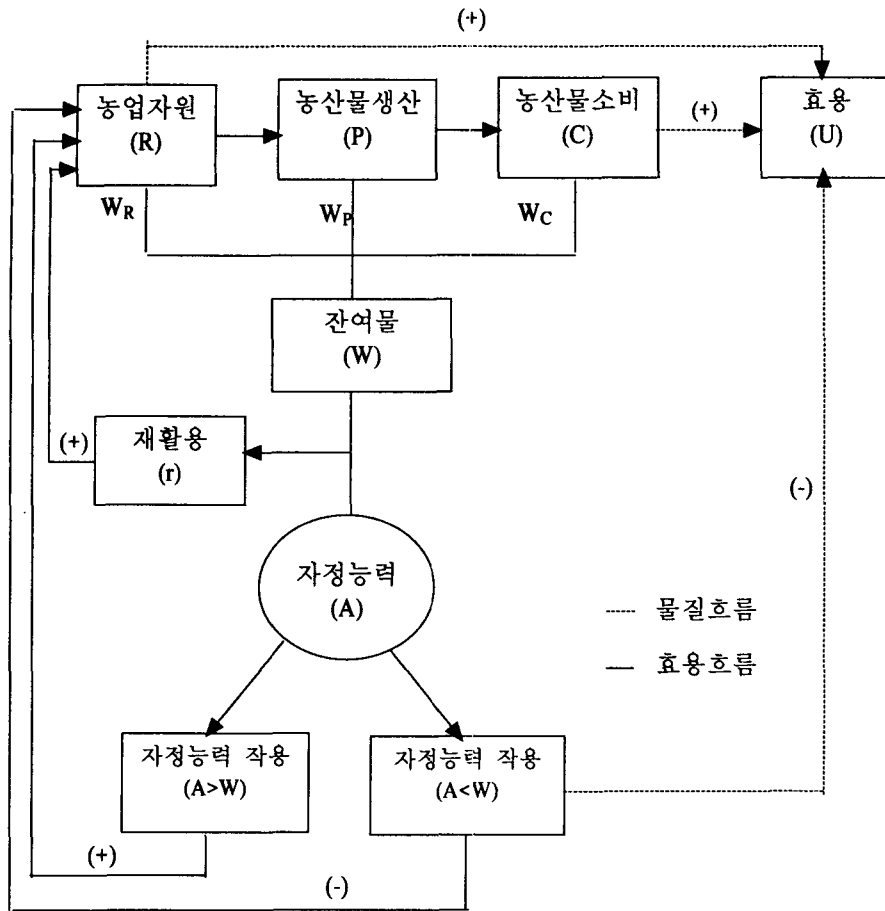
- 자연생태계에서 영양물질은 '식물흡수 → 유기물분해 → 토양 → 식물흡수'의 과정을 반복하면서 순환을 계속하기 때문에 일정한 시간적·공간적 범위에서는 양분의 투입과 유출이 균형을 이루면 정상상태(steady state)가 유지됨.
- 농업생태계(agro-ecosystem)는 생산물의 일부가 외부로 유출되고 이를 보충하기 위해 화학비료 또는 유기질 비료 등 영양물질을 투입하기 때문에 자연생태계에 비해 순환하는 영양물질의 양이 많을 뿐만 아니라 순환하는 속도도 빨라지며, 특히 생산성 증대를 위해 인위적 영양물질을 투입함으로써 순환속도는 더욱 빨라지게 됨.
- 농업생태계의 물질순환 분석에 있어서는 토양에서의 양분물질이 여러 가지 화학적 형태로 존재하기 때문에 작물에 따른 양분이용율·흡수율 등을 고려해야 하며, 물질흐름의 양을 산정하는 경우 시간적 차원을 고려해야 하며, 농업생태계의 물질순환 분석 절차는 다음과 같이 네 단계로 이루어짐.
 - ① 농업생태계의 경계를 결정하고 경계를 통해 투입·산출되는 물질흐름을 파악
 - ② 농업생태계내의 하부생태계, 구성요소를 결정하고 상호작용을 파악
 - ③ 농업생태계 내외의 물질흐름의 양을 산출
 - ④ 물질흐름을 기초로 양분지표(질소, 인산 등 양분지표)를 선택하여 생태계 분석

2. 지역단위 농업생태계의 물질순환 구조

- 지역단위 환경오염 부하 정도를 파악하기 위해 물질의 유입(inflow)과 유출(outflow)을 체계화한 모형을 물질순환 시스템이라 함. 물질균형모형(materials balance model)은 물질순환을 기초로 환경과 경제활동의 상호관련성을 체계적으로 설명해 주는 대표적인 모형(Kneese, Ayres and D'Arge, 1970)으로 지역단위 농업환경모형의 이론적 기초를 제공함.
- 지역단위 농업생태계의 물질순환 구조를 보면 농업 부문의 「자원투입 → 생산 → 소비」의 경제활동을 근간으로 하는 물질순환 구조는 각 경제활동으로부터 잔여물(residuals)이 발생하고,²⁾ 이를 재활용하면 다시 농업자원으로 활용할 수 있고, 활용되지 않는 잔여물은 폐기물로 배출되는데 지역단위 농업생태계의 자정능력(assimilative capacity) 범위 내에 있는 경우 다시 농업자원으로 쓰일 수 있으나, 자정능력을 초과하는 경우 환경오염원으로 작용하여 부정적 영향을 미침.
- 자원(resources, R)의 채취, 생산(production, P) 및 소비(consumption, C)의 모든 과정에서는 잔여물(wastes, W)이 발생하기 마련이며, 일부는 재활용(recycling, r)되고 일부는 환경의 자정능력(assimilative capacity, A)에 의해 흡수됨. 환경으로부터 추출한 농업자원은 생산과 소비과정을 거쳐 사람들에게 효용을 제공하게 됨(<그림 2> 참조).
- 물질수지의 관점에서 각 부문에서 발생하는 잔여물의 양은 투입된 자원의 양과 같다는 것이 열역학 제1법칙(the first law of thermodynamics)이임. 열역학 제1법칙에 의하면 물질은 창조되거나 파괴되지 않고 단지 다른 형태로 전환될 뿐이므로 농업생산활동에 사용된 자원은 궁극적으로 잔여물이라는 다른 형태로 전환되어 환경계로 배출하게 됨.
- 물질순환의 투입-산출을 정량적으로 나타낸 물질균형방정식은 $R = W = WR + WP + WC$ 로 나타낼 수 있으며, 이는 환경계로부터 경제계로 유입되는 에너지 및 자원의 총량은 경제계로부터 환경계로 유출되는 잔여물의 총량과 일치한다는 의미를 수리적으로 나타낸 것임.³⁾
- 현실적으로 보면 농업자원의 사용 과정에서 이용할 수 없는 에너지나 물질의 양은 잔여물로 환경에 배출되며, 잔여물이 환경의 자정능력을 초과하는 수준에서 발생하는 경우 엔트로피(사용 불가능한 실체로 오염 상태를 나타냄)의 증가를 가져옴. 열역학 제2법칙(the second law of thermodynamics)에 의해 재활용되지 않는 일정량의 잔여물 즉, 엔트로피가 증가하였다는 것은 농업생태계에서 유용하게 쓸 수 있는 농업환경자원의 공급을 줄임으로써 효용수준을 감축시키게 됨.

-
- 2) 경제활동의 부산물로 발생하는 잔여물(residuals)은 오염물질(pollutant)이나 폐기물(wastes)을 포함하는 보다 넓은 개념이다. 배출되는 모든 잔여물이 모두 환경오염을 유발시킨다고 볼 수 없음.
 - 3) 환경경제학 측면에서 열역학 제1법칙은 환경계로부터 유입되는 자연자원의 양이 많으면 많을수록 다시 환경계로 유출되는 잔여물의 양도 궁극적으로 많아진다는 점에서 환경의 자정능력을 초과하는 수준의 잔여물이 발생될 가능성이 높아진다는 점에서 환경오염 부하를 증가시킬 수 있다는 점을 시사해 줌. 또한 생산 및 소비 과정에서 발생하는 잔여물을 재활용할 경우 그만큼 잔여물의 배출량을 감소시켜 환경부하를 감소시킴.

<그림 2> 농업생태계의 물질순환 기본구조



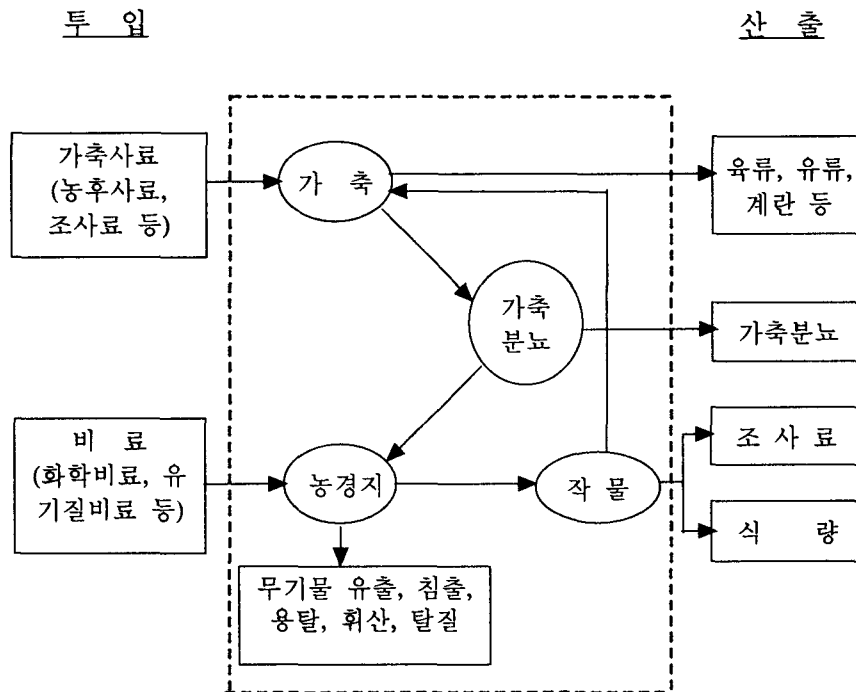
3. 지역단위 농업환경부하 분석 방법

1) 물질순환 흐름도 분석

- 작물 및 가축생산 활동을 위한 농자재(화학비료, 농약, 퇴비, 사료)의 투입 및 산출의 물질수지를 파악을 위한 흐름도(flow chart) 방식은 시각적이고 설득력이 높음(<그림 3> 참조). 흐름도 방식은 작물·축종별 투입재 소요량, 양분이용량, 분뇨 발생량 등 발생 원단위의 계측으로 투입산출(I/O)의 수치분석이 가능하며, 농업생산활동에 따른 기타 오염 물질(메탄가스, 아산화질소 등)의 발생량 추정도 가능함.
- 농업 부문의 물질순환 투입-산출의 개념도는 농업생태계 외부에서 투입되는 부문은 크게 가축생산을 위한 농후사료와 일부 조사료 등을 들 수 있음. 가축사양에 있어 농후사료는 배합사료의 형태로 구입하여 사용하게 되며, 조사료는 농산 부산물이나 인근의 볏짚 등을 이용하므로 지역 단위 농업생태계 내에서 이루어진다고 볼 수 있음. 작물생산을 위한 양분 공급원으로 화학비료와 유기질 비료가 외부에서 투입됨.
 - 가축분뇨가 퇴비화와 액비화 등에 의해 적절히 처리되는 경우 작물재배를 위한 양분 공급원으로 농경지에 살포되며, 이 경우 농경지에는 화학비료로 투입된 양분량과 가축분뇨로부터 공급된 비료 성분의 양분량이 투입됨.
 - 작물은 생육 과정에서 필요로 하는 양분요구량 이상으로 과잉 투입되는 경우 흡수하지 못하고 무

기물이 유출, 침출, 용탈, 휘산 등이 이루어지게 되며, 이 과정에서 환경의 자정 능력이 초과되는 경우 과잉 양분은 지역단위 농업생태계의 환경오염 부하요인으로 작용하게 됨.

<그림 3> 농업 부문의 물질순환 투입-산출의 개념도



2) 농업생산활동의 환경부하량 산출

- 환경부하량 산출에 있어서 발생량은 오염원으로부터 생성된 아무런 정화과정을 거치지 않은 양을 말하며, 정화량은 정화시설 또는 오염원에서 지천까지의 자연정화에 의한 양을 말함. 배출량은 발생량에서 정화량을 제외한 양으로 지천에 도달하는 양을 말함.
- 경종 부문의 발생량은 배출량이 되며, 축산 부문의 발생량은 분뇨발생 원단위(환경부 고시)에 의해서 계측되며, 가축분뇨의 비료 성분량은 축종별 비료 성분 함유율에 의해 산정됨.
- 축종별 가축분뇨의 발생원단위의 경우 한우의 성축 1두를 기준으로 1일 분뇨배출량 원단위를 보면 분은 10.1kg, 노가 4.5kg 발생하여 분뇨 발생량은 14.6kg임. 돼지의 경우 성돈 1마리당 1일 분뇨 발생량을 보면 분이 1.6kg, 노가 2.6kg로 분뇨 발생량은 4.2kg이며, 여기에 세정수로 4.4kg이 발생하여 축산폐수 총량은 8.6kg임.
- 작물별, 토양별 또는 지대별 적정시비량과 실제시비량의 차이가 농업환경으로의 손실량으로 이는 발생량으로 고려될 수 있음. 적정시비량의 처방은 양분의 균형공급과 양분축적 경감에 의한 환경오염을 방지하기 위한 기준으로 환경친화적 추천시비량으로 볼 수 있음.
- 실제적으로, 단위 면적당 시비량은 양분요구량에서 실제공급량을 공제한 양을 비료의 이용률로 나누어 계산될 수 있음. 또한 적정 시비량은 비료의 이용률에 따라 달라질 수 있으며, 비료이용률은 토양의 성질과 시용방법 등에 따라 상이하나, 화학비료의 성분별 이용률은 질소 30~60%, 인산 5~25%, 칼리 40~60% 등으로 제시되고 있음(농협중앙회, 1999).

IV. 지역단위 물질균형 분석 결과 - 양평군 사례를 중심으로

1. 농업자원환경 여건분석

- 양평군은 경기도 동부에 위치하며 북쪽으로는 가평군, 서쪽으로는 남양주시와 동쪽으로는 강원도 횡성군에 접하고 있으며, 남쪽으로는 여주군과 경계를 두고 있는 지역으로 특히 상수원 관리지역(상수원 보호구역, 특별대책지역 I·II 권역, 수변구역)임.⁴⁾
 - 군 전체면적의 70%가 팔당상수원 특별대책지역에 속하고 있음. 행정구역은 1개읍, 11개면, 255동리로 구성되어 있고, 총인구는 약 82,963명(2000년 기준)이고, 농가인구는 36%인 29,590명이 고, 인구밀도는 94명/km²(경기도 480명/km²)로 매우 낮은 편임.
 - 양평군의 연평균 기온은 11.6℃이며, 강수량은 960mm로 전국 평균치보다 모두 낮은 편이다. 2000년도의 평균강수량은 7월과 9월의 강수량이 크게 낮아 양평군의 통상적인 평균치인 1,400mm수준 보다 매우 낮은 수준으로 기록되고 있음.
 - 양평군은 우리나라에서 환경농업 육성에 있어 가장 선도적인 지방자치단체로 군 전체예산 1,687억원의 18.8%인 318억을 친환경농업 육성 부문에 배분하고 있음(<표 3> 참조).

<표 3> 양평군 사회경제 및 자연지리 지표(2000년 기준)

구 분		지표치	비중(%)	구 분		지표치
토지 (km ²)	총면적	878.3	100.0	기상	강수일수(일)	92
	농경지	140.1	15.7		서리일수(일)	65
	- 전	61.1	7.0		눈오는 일수(일)	16
	- 답	76.0	8.7		평균기온(℃)	11.6
	과수원	0.6	0.07		강수량(mm)	959.6
	목장용지	2.4	0.3	인구	총인구(명)	82,963
	임야	658.0	74.9		인구밀도(명/km ²)	94.5
	기타	80.2	9.1		농가인구(명)	29,590
예산 (억원)	예산총액	1,687	100.0	행정 구역	읍(개)	1
	환경농업	318	18.8		면(개)	11
					동리(개)	255

- 양평군의 영농활동과 관련된 투입-산출 현황을 보면, 농경지면적은 10,370ha(전국 경지면적의 0.6%, 경기도 경지면적의 4.9% 차지)이고, 이 가운데 논이 6,111ha로 59%를 차지하고, 밭은 4,259ha로 41%를 차지.
- 농가 호당 평균경지면적은 1.1ha로 전국평균 1.3ha보다 낮은 수준이며, 작물생산을 위한 비료공급량(성분량 기준)을 보면 질소가 1,595톤, 인산이 556톤, 칼리가 702톤으로 NPK 3대성분의 총량은 2,853톤이며, 이 밖에도 토양개량제 등 기타성분으로 3,466톤이 공급됨.

4) 상수원관리 지역은 크게 수도법에 의한 상수원보호구역, 환경정책기본법에 의한 특별대책지역 I·II권역, 한강수계법에 의한 수변구역, 산림법에 의한 제3종 수원함양 보안립지정 지역 등을 포함함.

- 양평균의 전체 농가 중 논벼 재배농가가 60% 정도를 차지하고, 축산농가는 8% 정도를 차지함.
- 양평균 논 토양의 지형별 분포를 보면 주로 곡간지가 74%를 차지하고, 평탄지는 22% 정도를 차지함. 논 토양의 유형별 분포를 보면 85% 이상이 사질답이며, 보통답은 7% 정도에 불과함.

2. 물질균형 순환체계 분석

- 비료사용량을 보면 군단위 농협지부에서 농협을 통해 공급되고 판매되는 양을 기초로 공급량과 재고량을 이용하여 실제 소비량을 추정할 수 있음. 성분별로 공급량은 질소 1,595톤, 인산 555톤, 칼리 702톤으로 총 2,852톤임. 질소의 재고율이 27.8%로 444톤이 재고량이므로 실제 판매량은 1,152톤, 인산은 재고율이 26.5% 147톤이 재고량이므로 408톤이 판매되고, 칼리는 26.1%인 183톤이 재고량이므로 실제 판매량은 519톤임. 실제 판매량은 총공급량 2,852톤에서 재고량인 773톤을 뺀 2,079톤임.
- 판매량을 농가가 구입하여 실제로 농지에 투입한 소비량으로 간주하면 경지면적 10,370ha를 기준으로 단보당 성분별 화학비료 투입량은 질소 11.1kg/10a, 인산 3.9kg/10a, 칼리 5.0kg/10a인 것으로 산정되어 NPK 총투입량은 20.0kg/10a로 추정
- 가축생산을 위해 외부에서 투입되는 농후사료 사용량은 공식적인 통계자료가 발표되고 있지 간접적인 방식을 적용하여 추정한 결과 한육우에서 11,268톤, 젓소가 22,842톤, 돼지 10,171톤, 닭 56,421톤으로 총 123,478톤으로 추정됨. 상당한량의 농후사료가 양평균 외부에서 들어옴에 따라 물질순환의 관점에서 환경부하 요인으로 작용
- 가축사육두수와 축종별 발생원단위를 이용하여 추정한 결과 가축분뇨 발생 총량은 268,404톤이고, 이중 축분이 189,053톤으로 70.4%를 차지하고, 가축뇨가 79,350톤으로 29.6%를 차지하는 것으로 추정됨. 양평균의 1일 가축분뇨 발생량은 평균 735톤이며, 이 중에 분이 518톤, 뇨가 217톤 발생되는 것으로 추정됨.
 - 축종별로 보면 한육우가 60,047톤으로 22.3%를 차지하고, 젓소가 62,785톤으로 23.4%, 돼지가 66,971톤으로 25.0%, 닭이 78,651톤으로 29.3%를 차지하는 것으로 추정됨.
 - 가축분뇨 총발생량을 비료 성분량으로 환산하면 질소 성분이 2,226톤, 인산 성분이 1,977톤, 칼리성분이 1,590톤으로 총 5,793톤으로 추정되어 화학비료 성분의 2배 이상에 상당하는 비료 성분량으로 추정됨.
- 양평균의 경우 논 6,054ha, 밭 3,693ha, 과수원 221ha 등 총 9,946ha의 경지에서 작물재배를 위해 소요되는 성분별 양분요구량은 질소 1,172톤, 인산 513톤, 칼리 702톤으로 총 2,388톤으로 추정됨. 경작지 단보당 양분요구량은 질소 11.8kg/10a, 인산 5.6kg/10a, 칼리 7.1kg/10a로 총 24.5kg/10a에 상당함.
 - 화학비료에만 의존하는 경우 작물의 양분공급량은 질소의 경우 98.3%, 인산 79.8%, 칼리 73.9% 정도만이 충족되므로 가축분뇨를 이용한 유기질 비료의 공급이 필요함.
 - 가축분뇨 발생량의 실제 양분이용률을 60%로 상정하여 가축분뇨의 실제양분 이용량을 추정하면 질소 1,336톤, 인산 1,186톤, 칼리 954톤으로 총 3,476 톤의 양분을 공급할 수 있는 것으로 추정됨.

- 양분요구량을 충족시키기 위해 화학비료 공급량과 가축분뇨로부터의 실제 양분공급량을 모두 고려하면 초과양분 공급량은 질소의 경우 112.2%, 인산 211.1%, 칼리 109.7% 등으로 추정됨(<표 4. 참조).

<표 4> 양평군의 작물 양분요구량 및 양분공급 구조

단위: 톤, %

구 분	질소	인산	칼리	계
작물재배 양분요구량(A)	1,172	513	702	2,388
화학비료 사용량(B)	1,152	409	519	2,080
가축분뇨 양분공급 가능량(C)	2,226	1,977	1,590	5,793
가축분뇨 실제활용가능량(D)	1,336	1,186	954	3,476
경지면적당 화학비료 성분 투입도(kg/10a)	11.9	4.2	5.4	21.6
양분수지-화학비료충족도(B/A)	98.3	79.8	73.9	87.1
양분수지-총양분공급도((B+D)/A)	212.2	311.1	209.7	232.7

자료: 김창길·강창용(2002), p.43.

- 물질순환의 투입과 산출 부문에 있어 관련 요소들의 추정자료를 기초로 양평군 지역단위의 농업생태계 물질순환 구조의 흐름도 작성할 수 있음(<그림 4> 참조).
- 작물생산을 위해 농업생태계 외부에서 질소 1,152톤, 인산 409톤, 칼리 519톤 등 총 2,080 톤의 화학비료 성분이 투입됨. 농경지(9,968ha)에서 재배되는 작물의 양분요구량을 충족시키기 위해 화학비료 외에도 가축분뇨의 퇴비화·액비화 등에 의한 양분공급으로 성분량 기준 질소가 2,488톤, 인산이 1,595톤, 칼리가 1,473톤 등 총 5,556톤에 상당하는 양분이 투입됨.
- 작물별 양분요구량을 적절하게 충족하고 비료흡수율을 40~60%를 가정하는 경우 약 2,222~3,354톤의 무기물이 토양에 축적되거나 농지로부터 유출되어 엔트로피를 증가시켜 환경부하 요인으로 작용함.

3. 양평군의 환경성과 분석

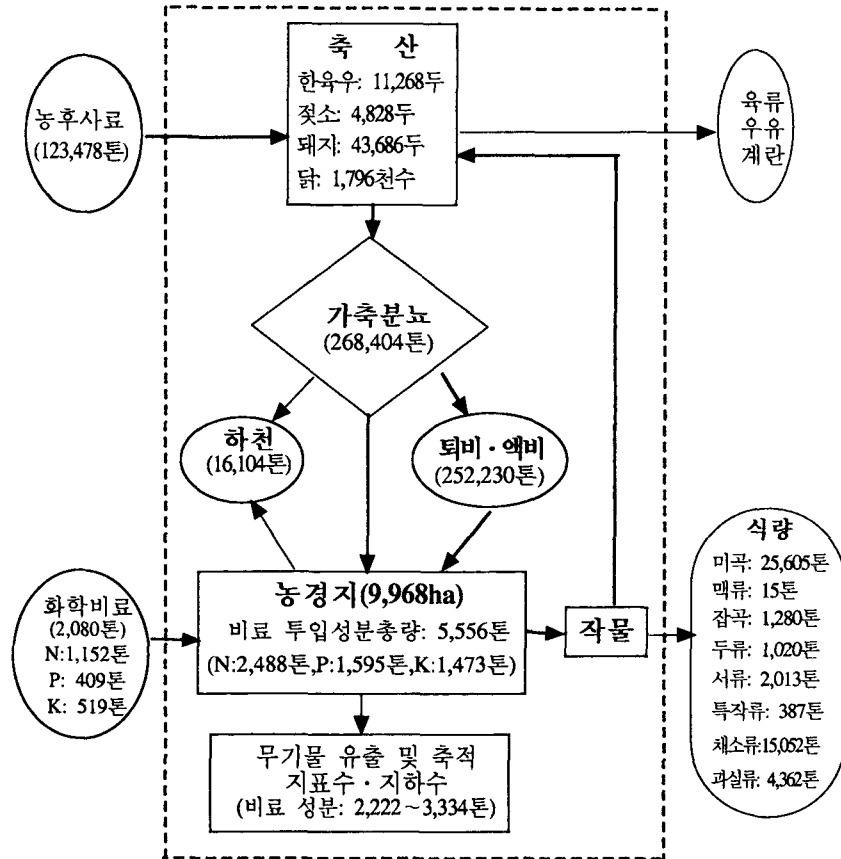
- 양평군은 농업생태계의 물질순환 모형에서 제시된 무기물 과다 투입에 따른 환경부하의 부정적 영향을 줄이기 위해 여러 가지 정책을 수립하여 추진하고 있음.⁵⁾
- 상수원 보호구역이라는 특수성으로 여러 가지 제약이 부과됨에 따라 친환경농업 육성의 필요성이 타 지역보다 절실하여 지역순환형 환경친화적 농업 시스템 구축을 위해 부단히 노력해 오고 있음. 1998년부터 “땅을 살리고, 물을 깨끗이 하고, 자연을 보호하여 인류를 지구상에서 살리기 위한 대사업”으로 「양평환경농업-21(YEAM-21)」을 추진하여 환경의 질적 개선 성과를 거두고 있음.⁶⁾

5) 양평군 전체를 환경친화적인 농업으로 정착시키기 위해 3단계(환경농업 기초확립단계(1998-99년), 환경농업보급단계(2000-02년), 환경농업정착단계(2003-05년)) 8개년 계획을 수립하여 단계적으로 추진해 오고 있음(양평군, 2001b).

6) 양평군의 「양평환경농업-21(YEAM-21)」의 Y는 Yangpyeong(양평), E는 Environment(자연환경), A는 Agriculture(농업), M은 Movement(사회적 운동)를 의미하며, 총체적으로 21세기 환경의 시대에 양평군의 깨끗한 자연환경과 청정농업을 유지·발전시킨다는 의미를 내포하고 있

- 양평군의 지역단위 친환경농업 시스템 구축과 관련된 대표적인 사안으로 친환경농업의 선도적 실천 및 전파를 위한 민간단체로 양평친환경농업인 연합회를 구성하여(5개 분야 1,355명) 자발적인 친환경농업 실천 운동으로 확산하였다는 점과 농업생산 전과정에 국제적인 환경농업경영 시스템을 도입키 위해 ISO14001을 취득하였음.⁷⁾

<그림 4> 양평군 농업생태계의 물질순환 구조(2000년 기준 시산)



- 양평군은 지역단위 자원순환 시스템 구축을 위해 경종 부문과 축산 부문의 유기적인 연계를 위해 축분퇴비 활성화를 위한 장려금 지급과 BMW(Bacteria, Mineral, and Water, BMW) 방식을 도입하여 운용하여 상당한 성과를 거두고 있음.

- 양평군의 지역단위 친환경농업 시스템 구축을 위한 노력으로 2000년도 농업센서스 자료에 의하면 양평군의 친환경농업 실천농가 비율은 40.9%로 전국적으로 가장 높은 비율

음(양평군, 2001b).

- 7) 양평군은 1999년 9월부터 4개월 동안의 준비과정을 거쳐 2000년 1월 3일 ISO14001 환경농업 경영 시스템 인증을 획득하였음. ISO14001 요건은 크게 일반사항, 환경방침, 계획, 이행 및 운영, 점검 및 시정조치, 경영자 검토 등으로 구성되며 환경경영 매뉴얼과 환경경영 규정을 마련해야 함. ISO14001 인증획득에는 약 3,500만원정도의 소요경비가 지출됨.

을 차지함(우리나라의 전체농가 가운데 친환경농업 실천농가의 비율은 4.4%를 차지함).

V. 지역단위 자연순환형 친환경농업의 발전 방안

1. 지역단위의 최적관리방안(BMP)의 작성·보급

- 지역단위 최적관리방안(Best Management Practices, BMP)은 지역단위 농업환경모형을 이용하여 지역별 환경부하 실태를 파악하고, 모형을 통한 농업환경의 진단 및 최적의 관리방안을 의미함.
 - BMP는 비점오염원(NPS)에 의해 초래되는 오염량을 환경목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로 농가단위에서 적절한 양분관리를 통해 환경부하를 낮추고 작물의 생산성을 높여 주는 방안으로 특정한 프로토콜이 있는 것이 아니고, 지역의 농업환경적 특성을 고려 해당 지역에 적합한 관리방안을 제시
 - BMP는 문제를 파악, 평가한 후 대체할 수 있는 영농방안을 조사하고, 농민이 자발적으로 참여, 검토한 후에 지역 특성에 맞는 방안을 결정하는 절차를 따름. 모든 비점오염원을 관리, 억제할 수 있는 단일 기술이나 또는 단일 BMP는 없으므로, BMP의 선정 및 이행은 억제하고자 하는 오염원의 종류와 양, 배출 형태, 부하 감소량, 특정지역의 기후, 지형 등을 포함하여 종합적으로 고려해야 함.
- 사례지역인 양평군의 환경부하 실태분석에서 제시된 바와 같이 화학비료와 가축분뇨 자원화에 의한 퇴비·액비 등에 의한 양분투입을 고려하는 경우 작물재배에 요구되는 양의 거의 두 배에 해당하는 NPK 성분이 투입되어 상당한 엔트로피 축적으로 환경부하를 가중시키고 있으므로 체계적이고 실효성 있는 최적자원관리방안이 개발되어야 함.
 - 양평군의 경우 팔당 상수원 지역으로 수질관리 차원에서 점 오염원 및 비점오염원 관리가 철저하게 이루어지고 있는 지역이다. 우선 최적관리방안 수립을 위해 12개 읍면별 수질오염도를 정확하게 조사·분석하여 오염문제의 정도를 진단해야 할 것임.
 - 오염원의 출처에 대한 분석을 통해 농업부문으로부터 발생한 비점오염원의 문제가 큰 비중을 차지하고 있다면 철저한 양분관리 대책이 수립되어야 함. 현재 추진되고 있는 종합양분관리(INM) 시스템이 보다 실효성 있게 적용될 수 있도록 화학비료와 축분퇴비 및 액비 투입에 대한 철저한 관리가 필요함.
 - 친환경농업 실천농가를 중심으로 작성한 영농기장을 활용하면 보다 실효성 있는 지역단위 최적 자원관리가 가능하게 될 것이며, 농가별 양분의 투입-산출에 관한 경영 컨설팅이 이루어 질 수 있도록 농업기술센터의 기능을 강화해야 할 것임.

2. 전과정분석(LCA)의 도입 및 확산

- 전과정분석(Life Cycle Assessment, LCA)은 제품의 생산에서 폐기까지, 즉 원료채취-생산-유통-사용-리사이클·폐기 등 전과정(Life cycle)에서 물질과 에너지의 흐름을 일관하여 계량하여 환경에 미치는 영향을 평가하는 방식을 말함.
 - LCA는 개념적으로 설계와 개선방법의 선택을 가르쳐 주는 사고과정이며, 방법론적으로는 환경 부하 혹은 배출에 관한 질적·양적 자료목록을 적성·평가하여 환경 성과를 개선시키기 위한 대

안을 검토하는 과정이라 할 수 있음.

- 특히 LCA는 전 과정에 대한 영향을 종합적으로 평가함으로써 환경에 대한 안정성 개념을 넘어 환경의 질을 고려하고, 환경기준 등 환경정책결정을 내릴 때 도움을 주는 장치임.
- 농산물생산에 있어서 전과정분석(Life Cycle Assessment, LCA)은 농업생산 활동의 환경부하를 최소화하기 위해 생산-유통 전 과정에 걸쳐 과학적으로 분석 평가하는 기법으로 농산물 생산의 전 과정에서 파생되는 환경정보를 소비자들에게 전달함으로써 환경의 외부효과를 내부화시키는 방법이기도 함.
- LCA의 운용방안으로 국제환경표준화 제도의 도입을 들 수 있으며, ISO 14000 시리즈는 환경부하를 최소화하는 농산물 생산기준을 설정하여 이를 인정해 줌으로써 소비자의 올바른 선택을 유도하고, 해당 지역 개별 농가로 하여금 자발적으로 환경개선에 기여하는 데 목적을 두고 있음.⁸⁾
 - 우리나라는 “환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률”에 의거 ISO 14000 인증제도를 운영하고 있음. ISO 14000 시리즈는 오염물질 배출후의 사후처리방법에 중점을 둔 기존의 친환경 농업정책과는 달리 오염물질 배출전의 사전예방 차원에서 농가의 관심과 노력을 촉구하는 환경정책의 한 수단임.
 - ISO 14001 환경경영 시스템 규격(구성요소)은 국제적으로 공인된 환경관리시스템(environmental management system, EMS) 기준으로, 농업부문에서는 양평군이 2000년초에 ISO 14001을 획득하여 지방자치단체의 친환경농업 육성사업을 선도하고 있으므로 타지역으로 확산될 수 있도록 적극적인 지원 필요

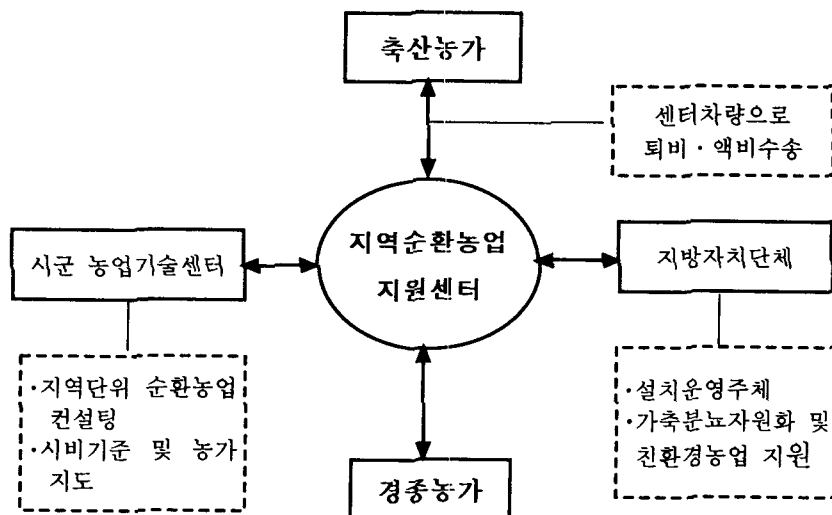
3. 지역단위 자연순환형 농업시스템 구축

- 작물 및 가축 생산 과정에서 발생한 부산물의 재활용과 지역적 환경용량 등을 고려 토양·양분·병해충·관개 등을 종합적으로 접근하는 지역단위 자연순환형 작물생산 및 가축생산 시스템 구축
 - 지역단위 자연순환농업 시스템은 작물·가축 생산 과정에서 최종적으로 발생한 부산물을 최대한 재활용함으로써 엔트로피 발생을 최소화하는 환경친화적인 농업생산방식임.
 - 주요 지역별 경종농가·양축농가·농협 등이 협의체를 구성, 축분퇴비 및 액비의 효율적 활용 시스템을 구축하고, 현행 지역별 축분퇴비유통센터를 “지역순환농업 지원센터”로 개편하여 경종-축산농가의 효과적인 연계 및 양질의 퇴비 및 액비 수송·살포 등의 업무를 체계적으로 수행해야 함.
- 양평군의 경우 경종-축산 부문의 연계를 위한 여러 가지 사업이 추진되고 있음. “유기축산 시범단지”를 정하여 경종과 축산의 효과적인 연계방안을 모색하는 것도 하나의 방안이 될 것이며, 현재 농가보급이 확대되어 가고 있는 BMW 사업도 지속적으로 잘 이루어지면 양축농가와 경종농가의 유기적인 연계 속에 지역단위에서 발생하는 엔트로피 발생을 최소화함으로써 환경친화적인 농업 및 축산업 정착시킬 수 있을 것임.

8) 국제표준화기구(International Standard Organization, ISO)는 국제환경규격표준화(ISO 14000 시리즈) 시도는 각 국가별로 이루어지고 있는 환경 관련 규격들을 통일하여 개별 경영체와 생산 공정, 그리고 최종 산출물이 환경보전에 충실하고 있음을 인증해 줌으로써 환경보전에 기여하고자 하는 국제적인 조직임.

- 사례 분석에서 제시된 바와 같이 한정된 농경지에 상당한 화학비료가 투하되고 가축분뇨가 자원화의 형태로 살포되고 있어 양분수지 측면에서 상당한 잉여양분이 발생하여 환경오염 부하 요인으로 작용하고 있음. 지역별 환경용량 범위 내에서 가축분뇨처리 용량을 고려한 적정 사육두수 할당제와 분뇨처리 능력 초과농가에 대한 사육두수 감축 유도 및 부담금 부과도 중장기적으로 검토해야 할 것임.

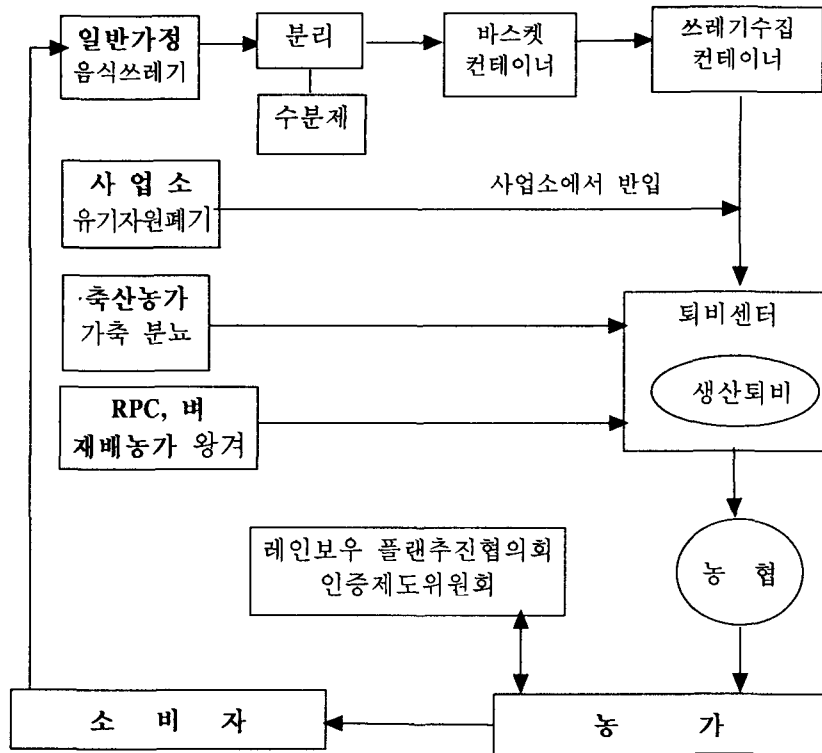
<그림 5> 지역순환농업지원센터의 경종-축산농가 연계방안



4. '레인보우 플랜'의 벤치마킹을 위한 시범사업 추진

- 재생 가능한 자원인 음식물 쓰레기나 가축배설물 등 유기성 자원의 자연순환 시스템 구축을 위해 일본의 지역내 유기자원 순환을 목표로 추진되고 있는 「레인보우 플랜」을 벤치마킹(<그림 6> 참조)을 위한 시범사업 추진 필요.
- 「레인보우 플랜」의 기본적인 구상은 농가와 소비자의 협력에 의하고 상호간 이해를 기초로 유기 자원의 재활용과 건강한 식생활 등 자연과 인간의 지속적인 관계를 유지하기 위한 지역순환 시스템을 의미함. 일본 야마가타(山形)현 나가이(長井)시에서 지역 주민의 가정과 농업을 연계한 실천계획의 별명으로 생활 및 농산 폐기물의 농업적 재활용을 통한 지역내 자연순환형 시스템을 구축하는 계획으로, 町·村을 연결하고 현재와 미래를 연결한다는 의미로 무지개 계획(Rainbow Plan)이라고 칭함.
- 「레인보우 플랜」은 1980년대 후반부터 땅의 쇠퇴와 식품 안전성 우려 등 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위해 순수하게 지역 주민(2인의 농민과 1인의 시민으로부터 처음 시작)이 주체가 되어 추진해 온 사업으로 1990년대에 들어 퇴비센터 건립에만 정부의 보조금지원이 이루어짐. 특히「레인보우 플랜」추진협의회는 각계각층의 주민으로 구성되어 있으며, 이들은 환경농산물에 대한 독자적인 인증제도를 도입하였고, 생산된 농산물의 판로확대를 위해 생협 등과 직거래가 활발하게 이루어지고 있음.

<그림 6> 일본의 「레인보우 플랜」의 추진 체계



- 「레인보우 플랜」은 일반 가정의 음식물 쓰레기, 사업소의 유기성 폐기물, 양축농가의 가축분뇨, RPC·쌀재배 농가의 왕겨 등을 수집하여 퇴비센터에서 유기질비료를 생산하고, 이를 경종농가가 활용하여 유기농산물을 생산하고 품질인증을 거쳐 소비자에게 공급함으로써 지역단위 중심의 환경 문제를 해결하는 시스템임.
- 이 계획의 실천적 특징은 정부 주도가 아니고 농업인과 소비자 등 지역 주민간의 네트워크를 구축하여 상호 간 파트너십에 의해 운영된다는 점과 단순한 농업진흥책이나 쓰레기 대책 및 환경 대책이 아니라 농업과 환경, 지역진흥을 결합한 종합적 지역진흥책으로 추진되고 있다는 점임.

5. 지역단위 농업환경모형의 정교화

- 지역단위 농업환경모형을 정교화하고 체계화하기 위해서는 여러 가지 추가적인 자료 및 지표의 개발이 필요함.
- 지역단위 개별 농가들의 영농작업 기록대장을 비치하여 농가들이 토지별·작목별 화학비료 투입량, 농약사용량 및 가축분뇨퇴비 및 액비의 투입량 등을 기록토록 함으로써 향후 이를 D/B화하여 지역단위 농업환경모형 구축 및 성과분석과 계획 수립의 기초자료로 활용. 양평군의 경우 2002년부터 “친환경농업 실천 영농작업기록 및 관리대장”을 친환경농업 실천농가에게 배부하여 작성토록 하고 있다. 농가들이 영농작업 기록에 적극 참여할 수 있도록 인센티브를 제공하는 방안도 검토
- 지역단위 농업환경실태에 관한 현황자료 이외에 생태환경 모니터링 및 세부 권역별 오염부하에 관한 파라미터 산출에 관한 연구도 지속되어야 함.
- 물질순환모형의 정교화를 위한 지역단위 총체적 양분 흐름에 관한 자료, 화학비료의 유실량

에 관한 자료, 시설재배지의 양분 유출에 관한 자료, 농산부산물물의 농지환원 유기물량, 비료 성분의 작물 흡수량, 친환경농법별 환경영향 평가에 관한 자료 등이 제공되어야 함.

<표 5> 농업부문 물질순환모형 정교화를 위해 필요한 자료

필요 자료	내용
지역단위 총체적 양분흐름	농가별 양분 투입실태 파악, 토양의 질소수지에 관한 계량적 지표, 물질별(식품, 배합사료, 음식물 잔반 등) 질소합량 지표, 가축분뇨 자원화의 동태적 양분이용도
화학비료의 유실량	화학비료의 성분별 지하유실량 파악
시설재배지 양분유출	시설재배지의 양분이용 및 양분유출 등 양분흐름에 대한 파악
농산 부산물의 농지환원 유기물량	볏짚 등 부산물의 농지환원 유기물량 파악
비료 성분의 작물흡수량	농업환경에 유출되는 비료 성분의 양을 작물, 시비방법, 토양조건, 비료종류 등을 고려하여 추정
친환경농법별 환경영향 평가	저투입농업(무농약농법)과 유기농법(오리농법, 우렁이농법 등)의 환경부하 정도 파악
농업생태계의 에너지 흐름	작물별 생산에 따른 에너지(재생가능에너지와 재생불가능에너지)의 투입과 산출, 자재별 에너지 환산 계수
농약이용의 환경영향 평가	지역단위 농약사용량과 작물별 농약이용에 따른 환경영향 평가

6. 지역단위 친환경농업 발전을 위한 주체별 역할분담 및 협력체제 구축

- 지역순환형 농업발전을 위한 농업인, 소비자, 연구자, 관련기관 및 NGO 등의 적절한 역할 분담
 - 농업인은 생명산업의 핵심주체로 식량공급은 물론 농촌지역의 환경관리자라는 사명감을 가진 그린 경영체(비료·농약 사용량, 가축분뇨처리 상황을 기록하는 환경기장제 실시)의 중요한 역할 수행
 - 소비자는 지역단위 환경보전 실천에 대한 농업인의 역할을 인정하고 주요한 역할에 대한 적절한 보상 및 공동분담
 - 연구자는 IT·BT·ET·NT 등의 최신킨술을 지역단위 농업생산 현장에 적용하여 지역순환형 농업이 정착될 수 있도록 현장연구 및 연구결과의 정책연계 노력 강화
 - 중앙정부는 지역순환형 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
 - 친환경농업단체 등 NGO는 친환경농법의 수용 및 실천에 관한 농업인 교육 및 적절한 정책추진에 대한 모니터링의 역할 수행

- 지역단위별 지역순환 농업시스템 정착을 위한 관련주체의 협력체제 구축
 - 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 프로그램 개발 및 추진

〈참 고 문 헌〉

- 권영근, 허헌중(역). 2002. 「순환의 경제학」. 室田 武, 多辺田 政弘(저). 삼신각.
- 김완배 외 4인. 1999. 「양평환경농업-21」 추진계획 수립을 위한 연구. 서울대학교 농업개발연구소.
- 김진수·오광영. “농촌지역에서의 유기물 흐름의 평가.” 「한국농공학회지」 제42권 제5호, 2000, pp.114-124.
- 김창길, 김정호. 2002. 「지속가능한 농업 발전전략」. C2002-13. 한국농촌경제연구원.
- 김창길·장창용. 「지역단위 농업환경모형의 체계화에 관한 연구」, 연구보고 R441, 한국농촌경제연구원, 2002.
- 김춘수·최홍림·강성모. 1995. 「분뇨 처리 시스템 개선 및 자원화기술 개발」. 농촌진흥청.
- 농림부. 2001. 「친환경농업육성법령집」.
- 농업과학기술원. 1999. 「작물별 시비처방기준」.
- 농업과학기술원. 2000. 「밭 토양환경보전 관리기술 종합보고서 (1995 -1999)」.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1992. 「중보 한국토양해설」. 토양조사자료 13.
- 농촌진흥청. 2001. 「2000 농축산물소득자료집」, 농업경영연구보고 제66호.
- 농협중앙회. 1999. 「개정중보판- 흙 살리기와 시비기술」, 비료 No 1-4.
- 류순호, 노희명. 1996. 「한국의 지형 및 영농형태에 적합한 농업환경오염예측모형 개발」. 농촌진흥청.
- 박승우 외 8인. 2000. 「농업생태환경 모니터링 및 종합적 환경관리 시스템 개발 사업」, ARPC 최종보고서, 농림부.
- 서보훈. 2002. 「국내 BMW기술 보고」 아시아 BMW 기술교류회실행위원회, 「아세아 BMW기술교류회 자료집」, pp.128-138.
- 양평군. 2001a. 「2001 양평통계연보」. 제41회.
- 양평군. 2001b. 「양평환경농업-21(YEAM-21)」.
- 엄기철 외 8인. 2002. 「권역별 환경농업모형 개발에 관한 연구」, ARPC 최종보고서. 농림부.
- 이병욱. 1998. 「환경경영론」. 비봉출판사.
- 이승헌, 최우정. 2002. “농업생태계의 특징과 지속가능 관리 방안.” 농업기반공사. 「농어촌과 환경」. No. 76. pp.100-112.
- 임경수. 1998. 「쌀 경작체계의 환경친화성에 관한 연구」. 서울대학교 환경대학원. 공학박사학위논문.
- 최지용, 신은성. 1998. 「농업지역 비점오염원 관리방안 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 통계청. 2002. 「2000 농업총조사보고서」 경기도.
- 허 장, 정은미, 김창길. 2000. 「지역단위 농업환경모형 개발에 관한 기초연구」. 연구보고 R417. 한국농촌경제연구원.
- 農林水産省農業環境技術研究所編. 2000. 「農業におけるライフサイクルアセスメント」, 東京: 養賢堂.
- 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. pp.157-167.

- 合田素行. 2000. “物質循環から見た農村社会の自足型社会への轉換可能性.” 農業綜合研究所, 「持続的農業と農村の發展を目指して—所内プロジェクト研究成果」. pp.66~73.
- システム農學會. 1995. 「新たな時代の食料生産システム—低投入・持続可能な農業に 向けて」. 農林統計協會.
- Kneese, Allen V., Robert U. Ayres and Ralph C. D'Arge. 1970. *Economics and the Environment: A Materials Balance Approach*, Washington, D.C.: Resources for the Future.
- Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries (MANMF). 2002. *Manure and the Environment: The Dutch Approach to Reduce the Mineral Surplus and Ammonia Volatilization*, The Netherlands.
- Pearce, David W. and R. Kerry Turner. 1990. *Economics of Natural Resources and the Environment*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Tivy, Joy. 1990. *Agricultural Ecology*, Harlow, U.K.: Longman Scientific & Technical.