

친환경농업을 위한 지역축산발전 방향에 관한 연구

심재천*

A Study on the Development of Regional Livestock Industry Based on Sustainable Agriculture in Korea

Sim, Jae-Chun

Nutrient balance is important to develop environmentally friendly agriculture. Phosphorus surplus in nutrient balance was more serious than that of nitrogen. Nitrogen and phosphorus exceeded twice the requirement at 30 cities/counties and 32 among 165, respectively. Given livestock waste and optimal nutrient balance, the proper number of animal feeding was 1.68LU/ha. Considering livestock waste only, the optimal number of livestock feeding was 3,918,000LU (heads) and, including fertilizer that would be 2,288,000LU. It is recommended to introduce the regional control system to regulate nutrient input and output, and the trading system of livestock feeding rights to control that.

Key words : nutrient balance, nutrient surplus, LU, optimal number of livestock

I. 서 론

국민경제의 발전과정에서 농업의 중요한 역할에도 불구하고 농업생산 과정에 발생하는 양분수지 문제에 관해서는 정책적인 관심이 별로 크지 않다. 우리나라는 OECD 국가 중에서 단위 면적당 양분 사용량이 많은 국가로 지목받고 있다. 농경지에 투입되는 양분의 수지(Nutrient Balance)가 높음으로서 남은 양분이 수질, 토양, 대기를 오염시킬 수 있다. 국민경제의 발전에 따라 국내 축산업의 발전은 가축분뇨의 문제가 제기되고 있고 농업에 이용되는 퇴비 등 대부분의 가축분뇨에 의한 양분이 농가에서 순환농업형태의 친환경농업이 되어야 함에도 양분수지면에서 최적순환 형태가 되지 못하고 있다.

* 농림부 국립종자관리소장

정책적인 측면에서 보더라도 우리나라 농업생산에서 양분과다에 의한 환경오염의 문제가 심각함에도 양분수지에 대한 구체적인 친환경 농업정책 방향이 미흡한 실정이다. 농업생산에서 적정 양분수지정책을 위해서는 그 지역의 경종농업과 축산업에 의한 양분수지 추정문제가 중요하다. 농업생산에서 화학비료의 투입에 의한 최소한의 양분수지와 가축분뇨로 인한 양분수지의 적정성이 연구 검토 되어야 한다. 우리나라 지역농업 발전과정에서 경종농업과 축산업으로 인한 지역 간 양분수지의 불균형은 지역 환경오염 문제를 가중시키는 주요 요인 중의 하나이다.

따라서 본 연구에서는 가축분뇨를 포함한 질소, 인산의 양분수지를 파악하면서 지역별로 가축사육밀도에 의한 경종농업과 축산업에 의한 양분수지를 추정하여 친환경농업을 위한 지역축산의 적정규모를 추정하고 이를 통해 우리나라의 친환경농업의 발전과 지역축산 발전을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 농업환경 오염과 한국농경지의 양분수지

1. 양분수지의 기본개념과 양분계수

농업양분수지의 측정은 단위면적에 일정기간동안 투입된 양분의 총량(Input)에서 농작물이나 작물부산물의 형태로 수거되는 양분의 양(Output)을 뺀 값이다. 양분수지는 OECD에서 정하고 있는 기준을 이용하여 측정하고 있다.

각 작물이나 가축생산에 있어서 합리적인 양분계수 산출을 위해서는 작물이나 가축생산에 있어 어느 정도의 양분이 투입되어 생산물로 나가고, 어느 정도가 잔류하거나 부산물로 남는지에 대한 평가를 하는 것이 중요하다.

최근 한국의 주요 가축 양분배설량 계수는 OECD 국가들이 보고한 축종별 계수들과 큰 차이를 보여주지 않고 있다. 농경지 양분수지에 있어 생산물에 의한 양분 제거량(양분흡수, 이용으로 농산물 및 부산물 등의 생산)은 양분수지를 낮추는 가장 중요한 요인이다. 제거량이 높을수록 양분수지가 낮아지게 된다. 자료는 농촌진흥청 연구보고서 및 식품분석표의 자료를 이용하여 각 작물별 질소 및 인산함량을 계산하였으며 인산계수 표는 생략하였다 <표 1>.

<표 1> 국내 주요 가축 및 작물의 질소계수

축종 및 작물	N	축종 및 작물	N
젖 소	83.50	두 류	69.88
한 우	43.90	땅 콩	63.54

축종 및 작물	N	축종 및 작물	N
돼 지	12.37	유 채	35.00
육 계	0.29	전체 건조두류	39.12
산 란 계	0.56	감 자	5.00
오 리	0.86	고 구 마	5.26
말	42.86	과 실 류	2.00
밀	21.94	채 소 류	3.50
쌀	11.10	섬 유 작 물	5.00
보 리	19.59	담 배	52.50
옥 수 수	22.33	기타 공예작물	30.00
호 밀	19.59	사료작물(청예사료)	22.30
수 수	19.59	기타사료작물(볏짚)	6.80

주 : 1) 작물은 톤당 질소생산량(kg/ton)

2) 가축은 두당 연간 분뇨발생량 중 질소

자료 : 농촌진흥청, "OECD 보고서", 2003.

2. 질소수지의 변동

농경지 질소투입 중 가축분뇨유래 양분이 차지하는 비중이 클 뿐 아니라, 가축분뇨 양분은 질소와 인산함량을 각각 조절할 수 없으며, 유기물과 같이 존재함으로써 메탄가스 발생 등과 같은 지구온난화 가스 발생 등에 있어서 화학비료보다 크게 영향을 줄 수 있어 장기적으로 농업환경에 대한 평가를 신중히 할 필요가 있다. 우리나라 전체 양분의 투입 중 화학비료 질소의 투입은 1990년도를 정점으로 최근까지 꾸준히 감소하고 최근 들어 감소폭이 커진 것을 보여주는데 반하여, 가축분뇨유래 질소성분 발생량은 1985년 이후 지속적으로 증대하고, 지금까지 전체 양분투입에서 차지하는 비중이 늘어나고 있는 것을 알 수 있다.

다음의 <표 2>는 질소수지의 변동표로서 1990년에 비하여 2002년 질소투입량은 감소추세에 있다. 그러나 가축분뇨 유래 질소는 1990년도 전체 질소 투입량의 21.8%를 차지했으나, 2002년에는 37%로 증가하였다. 감모량은 가축분뇨의 공공처리, 해양투기 등 17%를 제외한 물량이다.

〈표 2〉 한국의 질소수지 요약

(단위 : 톤, ha당 질소수지 : kg)

	1985	1990	1995	2000	2002
질소 투입량	643,330	787,432	759,182	690,051	642,334
화학비료질소	414,000	562,000	472,000	422,643	363,412
감모를 제외한 가축분뇨질소	173,959	171,481	241,178	226,104	237,550
기타 질소	55,361	53,951	46,004	41,304	41,372
질소 제거량	241,490	256,474	229,411	196,663	186,550
수확물 질소계	170,782	165,343	149,935	149,830	140,033
조사료 중 질소	70,708	91,131	79,476	46,833	46,517
질소수지(투입-제거)	401,840	530,958	529,771	493,388	455,784
ha당 질소수지	181	241	258	254	238

3. 인산수지의 변동

인산은 질소와는 다르게 대기 중으로 휘산하거나 탈질 등의 현상으로 대기 중으로 손실되는 특성은 없어 지속적인 과량의 인산투여는 토양 중의 집적을 가져오고, 일정 수준이상의 토양 중 유효인산 함량을 넘어서면 수용성형태로 물에 녹아 나옴으로써 수질오염 등에 영향을 미치게 된다. 국내 밭 토양을 대상으로 한 연구에서 토양 중 유효인산이 230mg kg^{-1} 이상의 농도에서부터는 수용성인산이 용출되기 시작한다고 보고하였다(신철우·김정재·윤정희, “경작지 전(田)토양의 인산특성에 관한 연구”, 『한국토양비료학회지』, 21(1)(1988): 21)

다음의 <표 3>은 인산수지의 변화 상태를 나타내는 표로서 전체적인 인산수지는 감소추세에 있다. 그러나 인산 투입량 중 가축분뇨 유래 인산투입량 비율이 1990년에는 24.6%를 차지했으나, 2002년에는 45.2%로 급격히 증가하고 있어 토양과 수질오염원이 될 우려가 높다.

〈표 3〉 한국의 1985년 이후 인산수지의 요약

(단위 : 톤)

	1985	1990	1995	2000	2002
인산투입량	114,220	149,850	147,984	127,022	117,872
화학비료 인산	81,840	112,640	98,213	75,266	64,394
감모를 제외한 가축분뇨인산	32,042	36,926	49,549	51,546	53,311
기타 인산	338	284	222	210	168

	1985	1990	1995	2000	2002
인산 제거량	0	0	0	0	0
수확물 인산계	25,042	24,165	21,260	22,297	20,783
조 사 료	10,032	11,263	9,288	7,538	7,270
인산수지(투입-제거)	79,146	114,422	117,436	97,188	89,819
ha당 인산수지(kg)	36	52	57	50	47

주 : 성분은 인산(P_2O_5)이 아닌 인(P), 인산으로 변환할 경우 2.27 곱해 줌.

Ⅲ. 축산업의 환경오염과 양분수지

1. 가축분뇨 발생과 환경부하

2003년도 우리나라 가축분뇨 발생량은 약 49,838천톤(1일 137천톤/세정수 제외시 33,119천톤)이며, 그중 돈분뇨가 28,976천톤으로 58.1%를 차지하고 있다.

사육규모별 분뇨발생은 허가농가에서 63천톤/일(44%), 신고농가에서 52천톤(37%)이 발생되어 전체 규제대상농가에서 총 분뇨발생량의 81%를 차지하고 있다. 퇴·액비화(위탁처리 포함) 79%, 정화처리 14%, 해양배출 7% 정도이고, 현장파악이 어려우나 실제로는 상당량이 미처리, 부적정하게 처리되는 것으로 추정하고 있다(농림부·환경부, “가축분뇨 관리·이용대책”, 2004).

수질을 오염시키고 있는 주요 물질은 공장폐수, 생활하수, 가축분뇨 등이 있으나 이중 가축분뇨는 다른 오염원에 비하여 발생량은 0.6%에 불과하나 오염농도가 높아 오염 부하량은 25.8%를 차지하고 있다(임종완, “농어촌 환경오염과 대책”, 『농업공무원교육교재』, 59, 1995).

2. 지역별 농경지 면적 대비 가축사육두수

1) 가축사육밀도

지역 가축사육밀도를 비교하는 방법으로는 가축분뇨 배설량을 기준으로 전체 가축을 한 가지 단위로 통합하여 비교하는 방법이 이용되는데 이러한 단위를 가축단위(Livestock unit) 또는 동물단위(Animal unit)라 부른다. 유럽의 경우 많은 나라에서 젖소의 1년 중 분뇨질소 배설량을 ILU로, 미국의 경우는 육우를 1AU로 하여 나머지 축종들을 비교하고 있다.

〈표 4〉 미국의 축종별 가축단위의 예

축 종	Animal Unit (Livestock Unit)
비육돈(55 파운드이상)	0.4
새끼돼지(55 파운드이하)	0.1
젖 소	1.4
육 우	1
오 리	0.01
양	0.1
말	1
칠 면 조	0.018
닭 (5파운드 이상)	0.005

자료 : Iowa Manure Management Action Group, "What is the definition of an animal unit and animal unit capacity?" <http://extension.agron.iastate.edu/immag/faqdetails.html#q14>, 2002.

가축단위(LU)에 의한 가축사육밀도 계산은 지역의 농경지 면적과 대비한 가축두수이며, 본 논문에서는 유럽에서 일반적으로 사용되고 있는 젖소의 질소 배출량(1두당 연간 질소 100kg 배출기준)을 1LU로 하여 우리나라의 지역별(시군별) 가축 사육밀도를 계산하였다. 우리나라의 축종별 양분계수(질소)에 지역의 축종별 가축두수를 곱하여 100(젖소배출량 기준 1LU)을 나누어 지역전체 가축단위를 산출한 후 지역의 농경지면적으로 나누어 ha당 가축사육밀도를 계산하였다.

$$\text{가축사육밀도} = \frac{\text{축종별 질소계수} \times \text{축종별 사육두수} / 100}{\text{시군별 농경지면적}} \quad (1)$$

<서식 1>에 의거 전국 시군별 가축사육밀도를 작성한 결과 우리나라에서 대체적으로 사육밀도가 높은 시군은 돼지 사육두수가 많은 집약축산 시군이다. 해당 시군은 서울특별시 인근인 경기도 포천군, 이천시, 용인시, 안성시, 양주시, 연천군 등이 해당되고, 홍성군, 보령시 등의 충남지역과 부산광역시 인근의 김해시, 양산시 등이었다. 3.00LU/ha 이상 되는 시군 12개 지역 중 9개 시군이 경기도에 위치하고 있어 경기도가 축산 밀집지역이라는 것을 나타내고 있으며, 나머지 밀집 사육지역은 부산광역시 인근의 양산시와 김해시, 그리고 전국 최고로 돼지 사육두수가 많은 충남 홍성군이 해당된다. 2.00LU/ha 이상인 지역 31개 시군이었다. 가축사육두수가 높은 대부분의 지역은 지역별 질소 및 인산 잉여지역과 대부

분 일치하는 것을 볼 수 있는데, 이는 우리나라에서 지역별 양분투입의 과다여부는 가축밀도와 관계가 있다는 것을 보여준다. 시군별 가축사육밀도는 지역별로 특징이 있다. 첫째, 일반적으로 대도시 인근에 사육밀도가 높고, 둘째로 특히, 사육밀도가 높은 곳은 경기, 충남지역에 집중되어 있었다. 셋째로 강원도와 경북산간 및 동해안 지역은 우리나라에서 사육밀도가 가장 낮은 지역으로 나타났고, 전남, 경남 남해안 지역도 대체적으로 사육밀도가 낮았다.

2) 시군별 가축사육 밀도와 양분잉여도의 관계분석

우리나라에서 가축사육밀도와 지역 내의 양분잉여 정도와의 상관관계를 분석하기 위하여 전국 시군에 대한 양분투입분석을 하였으며 경기, 강원지역 주요 시군의 사례를 들면 다음의 <표 5>와 같다. 시군별 질소투입량을 작물의 표준 질소요구량으로 나눈 질소 잉여도는 가축사육밀도와 비슷한 양상을 보여 주고 있다.

<표 5> 시군별 가축 사육밀도와 질소잉여도

(단위 : 톤)

	사육밀도	화학질소 (A)	축분질소 (B)	질소 계 C(A+B)	표준질소 요구량 (D)	발작물평균 질소요구량 (E)	질소투입 /요구량 (C/D+E)
강릉시	2.56	2,069	2147	4,216	759	1,085	2.29
철원군	2.60	2,065	3211	5,276	1,893	500	2.20
태백시	1.95	454	208	662	1	272	2.43
평창군	0.82	3,043	883	3,926	190	2,492	1.46
횡성군	2.08	1,998	2225	4,223	812	1,607	1.75
김포시	2.89	1,463	2922	4,385	1,459	540	2.19
남양주시	1.95	931	977	1,908	211	990	1.59
동두천시	4.90	108	333	441	34	126	2.75
안성시	4.54	2,196	7888	10,084	1,905	1,772	2.74
양주군	4.71	737	2448	3,186	495	637	2.78
양평군	1.88	1,415	1891	3,306	1,090	1,049	1.55
여주군	1.60	1,920	2705	4,625	1,923	1,619	1.31
연천군	3.92	1,432	3702	5,134	927	1,119	2.51
오산시	1.95	131	211	342	139	82	1.61
용인시	5.42	1,304	4974	6,278	1,066	852	3.27

여기서는 전국 시군별로 질소양분 잉여도와 가축사육밀도와의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson의 상관계수를 계산하였다.

〈표 6〉 가축사육밀도와 질소양분잉여도와의 Pearson 상관계수

항 목	질소양분 잉여도
가축사육밀도 (유의확률) (n)	0.904* (0.000) (165)

주 : * 상관계수는 0.01 유의수준(양쪽)에서 유의함.

즉 <표 6>에서 볼 수 있는 바와 같이 질소양분 잉여도와 가축사육밀도와의 Pearson 상관계수는 0.904로 계산되었고 0.01% 수준에서 통계적 유의성이 있었다. 따라서 질소양분 잉여도와 가축사육밀도는 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 높은 상관관계는 바로 질소양분잉여도가 높은 시군은 가축사육밀도가 높은 지역으로서 가축사육밀도가 질소양분 잉여도에 주요한 요소라는 것을 설명하고 있다.

가축사육밀도는 축종별로 크게 세 가지 그룹인 소, 말 그룹과 돼지그룹 그리고 닭, 오리 그룹으로 나누어서 어느 그룹이 가축사육밀도와 상관되어 있는지를 살펴보았다. 즉 가축사육밀도와 축종별 세 그룹과의 Pearson 상관계수를 계산하여 본 결과는 다음 <표 7>에서 보는 바와 같다. 지역별 돼지사육밀도와 가축사육밀도와의 Pearson 상관계수는 0.723으로 나타나 세 가지 축종그룹 중에서 가장 상관관계가 높게 나타났다. 이와 같은 사실은 지역별 가축사육밀도는 지역별 소·말 사육밀도나 지역별 닭·오리 사육밀도와는 크게 상관이 없다는 사실을 말해주고 있다.

〈표 7〉 지역별 가축사육밀도와 축종과의 Pearson 상관계수

항 목	지역별	지역별	지역별
	(1) 소·말 사육밀도	(2) 돼지 사육밀도	(3) 닭·오리 사육밀도
가축사육밀도 (유의확률) (n)	0.347** (0.000) (165)	0.723** (0.000) (165)	0.517** (0.000) (165)

주 : ** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의

3. 양분총량규제도입을 위한 시군별 양분잉여분석

1) 지역단위 양분잉여 산출

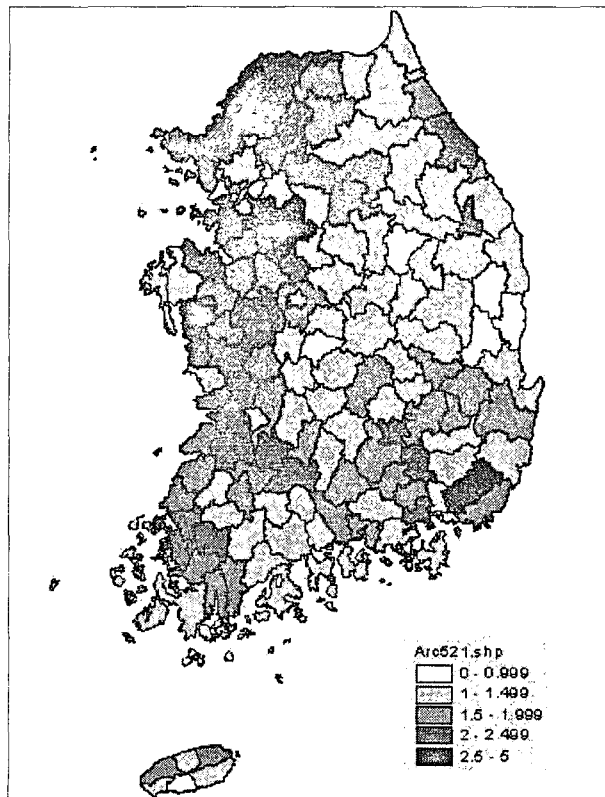
화학비료 투입량과 가축분뇨 발생량을 합하여 <서식 2>에 의해 지역단위 양분잉여를 계

산하였다. 양분잉여도는 양분투입량을 양분요구량(소요량)으로 나눈 값이며, 지역단위 양분 잉여 산출을 위하여 시군단위를 기준으로 양분 소요량 및 지역 내 투입량을 산정하였다. 투입량 중에서 화학비료는 지역 내 판매량을 기준으로 하였고, 가축분뇨에 의한 양분투입은 축산기술연구소의 자료를 근거로 하여 가축 마리당 1년 중 배설 양분량에 지역내 가축 마리수를 곱하여 계산하였다. 표준양분 소요량 계산은 작물별 10a당 표준시비량(화학비료와 퇴비시비량)에 해당 작물의 재배면적을 곱한 후 10a당 평균 표준시비량을 구하였다.

$$\text{잉여정도} = \frac{(\text{가축분뇨 양분 발생량} + \text{화학비료 판매량})}{(\text{벼면적} * \text{벼표준 시비량}) + (\text{밭면적} * \text{밭작물 평균 표준시비량})} \quad (2)$$

2) 양분 잉여도에 의한 지역분류

165개 시군을 대상으로 분석한 자료에 의하여 질소 및 인산에 대한 양분잉여정도를 그림으로 분류하면 다음의 <그림 1>과 같다. 화학비료와 가축분뇨의 양분을 합한 양분 투입량



주 : 양분의 시군 간 이동을 고려치 않고 산출

<그림 1> 행정구역별 질소 양분잉여 분류도

에 대한 시군별 양분 잉여도를 분석한 결과 적정 요구량보다 2배 초과하는 양분잉여지역은 질소의 경우 165개 시군 중 30개 시군이고, 인산의 경우는 32개 시군이나 되는 것으로 나타났다. 질소 요구량 대 투입비율이 3.0이상으로 높은 지역들은 홍성군, 용인시, 김해시, 양산시 및 포천군으로 나타났는데, 이들 지역은 공히 가축사육밀도가 높았다. 아울러 질소 요구량 대 투입비율이 전국적으로 가장 낮은 지역으로는 울릉군과 함께, 시흥시 영양군, 완도군, 제주시, 군포시, 단양군, 진주시, 청송군, 옥천군 및 영덕군으로 나타났는데, 이들 지역 대부분은 가축사육밀도가 낮은 지역들이었다.

이와 같은 현상은 우리나라에 경종작물 패턴이 전국 시군별로 특별히 뚜렷하게 양분수지 면에서 크게 차이가 나지 않음으로써 지역별 양분잉여는 가축사육밀도와 밀접하게 연관되고 있음을 알 수 있다.

참고로 축산분뇨는 자원화 하는 과정에서 질소가 휘산(농림부·환경부의 “가축분뇨 관리·이용대책(안)” 27, 2004. 9.)에서는 가축 생분뇨가 퇴·액비화 하는 과정에서 40% 정도의 질소가 휘산되는 것으로 추정이 되는데 이를 감안하면 질소잉여가 2배 이상 초과 지역은 6개 시군이고 1.5~2.0배를 초과하는 시군은 37개소로서 질소잉여 시군이 줄어들었다.

한편, 지역별 인산잉여도와 화학비료 인산 투여도와의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson의 상관계수를 계산하여 보았다.

〈표 8〉 지역별 인산잉여도와 화학비료 인산 투여도와의 Pearson 상관계수

항 목	지역별 화학비료 인산투여도
지역별 인산잉여도 (유의확률) (n)	0.107 (0.172) (165)

즉 <표 8>에서 보는 바와 같이 지역별 인산잉여도와 화학비료 인산투여도와의 Pearson 상관계수가 0.107로 매우 낮게 나타났다. 아울러 통계적 유의확률이 0.172로 높게 나타나서 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 이것은 지역별 인산 잉여도와 화학비료 인산 투여도와는 상관관계가 없다는 사실을 말해주고 있다.

〈표 9〉 지역별 인산투입과 축분 인산과의 Pearson 상관계수

항 목	지역별 축분인산 투입량
지역별 인산 투입량 (유의확률) (n)	0.935** (0.000) (165)

주 : ** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함.

한편 화학비료 인산과 가축분뇨 인산을 합했을 때 과잉 투입량의 주요 요소를 알아보기 위하여 총 인산투입량과 축분인산 투입량과의 상관관계를 계산하였다.

즉 <표 9>에서 보는 바와 같이 지역별 인산투입량과 축분인산 투입량과의 Pearson 상관 계수가 0.935로 매우 높게 나타났다. 이와 같이 지역별 인산투입량과 축분인산 투입량 간의 높은 상관관계는 지역별 인산투입량에 축분인산 투입량이 주요 변수로 작용하고 있다는 것을 설명하고 있다.

4. 적정 가축사육두수 추정

1) 가축분뇨로 대체시의 양분잉여 전망

가축사육밀도와 시군별 양분잉여를 분석한 결과 지역축산이 발전되어 있는 시군을 중심으로 사육밀도가 높았고, 그에 따라 양분잉여도가 높게 나타났다. 우리나라 전체적으로 농경지의 인산요구량(표준양분 요구량은 퇴비를 포함한 표준시비량을 반영)은 2002년 기준 190천톤이나 투입량은 301천톤으로 인산잉여도가 1.59로 나타났다. 인산투입량 중 축분인산이 차지하는 비율은 57.1%이며, 가축분뇨 중의 인산이 인산요구량의 90.5%를 차지하고 있다(환경부 가축통계 자료). 그러나 경지 이용율을 적용하여 인산요구량을 계산하고 가축분뇨의 공공처리, 해양투기 등의 물량을 제외한 가축분뇨 중의 인산투입량을 계산하여 인산잉여도를 내면 1.32가 된다(OECD 국가별 양분수지 보고서<2002년 기준>에 가축분뇨의 공공처리, 해양투기 등 물량 17%를 제외하여 축분 발생량을 산정).

<표 10> 인산요구량 대비 투입량

(단위 : 천톤)

인산 요구량 (A)	인산 투입량			인산잉여도 (평균) (B/A)	인산요구량 대비 축분인산 비율(D/A)
	계(B)	화학인산(C)	축분인산(D)		
190 (205) ¹⁾	301 (271)	129 (129)	172(57.1%) (142)2)	1.59 (1.32)	90.5%

주 : ()는 경지이용율 및 축분의 공공처리 등 물량반영

1) 농경지 면적에 2002년도 전국 평균 경지이용율 108.4% 적용

2) 가축분뇨의 공공처리, 해양투기 등 17%를 제외한 축분 인산량을 반영

이와 같이 인산과 질소의 양분 전체적인 잉여도가 높을 뿐만 아니라 양분잉여에 가축분뇨가 차지하는 비중이 높아지고 있다는 것도 문제이다. 특히 인산잉여도가 최고 4.13이 되는 지역도 있고 2배를 초과하는 지역이 32개 시군이나 된다.

따라서 적정가축 사육두수 유지를 적극적으로 추진하면서 가축분뇨의 자원화를 추진하는 등의 양분 과다투입을 억제하는 대책이 시급하다. 현실적으로 사육두수 제한이 단기간

에 이루어질 수 없는 여건을 감안하여 정부에서 추진하고 있는 화학비료 감축을 앞당겨 추진하고, 감축률을 50%로 조정하면서 화학비료 감축량 50% 만큼 축분퇴비로 대체한다면 양분 잉여도를 낮출 수 있을 것이다.

화학비료를 축산분뇨 퇴비로 50%정도 대체한다고 가정하고, 축분의 공공처리 등의 물량을 제외한 인산투입량을 산정하면서 인산요구량을 경지이용율을 적용하여 계산하여 인산잉여도를 내면 현행 인산잉여도가 1.59에서 1.01이 된다. 인산잉여도가 2배를 초과지역도 32개 시군에서 8개 시군으로 줄어들게 된다.

〈표 11〉 인산 잉여도 변화 전망

(단위 : 천톤)

	인산 요구량 (A)	인산 투입량			인산잉여도 (평균) (B/A)
		계(B)	화학인산(C)	축분인산(D)	
당 초	190	301	129	172(57.1%)	1.59
화학질소 50%를 축분으로 대체	2051)	207	652)	142	1.01

주 : 1) 농경지 면적에 2002년도 전국 평균 경지이용률 108.4% 적용

2) 가축분뇨의 공공처리, 해양투기 등 17%를 제외한 축분 인산량을 반영

2) 인산요구량과 투입량을 이용한 적정 가축사육 두수 추정

가축적정 사육두수 추정은 국가마다 사료의 종류, 사료 이용률 등에 따라 다르고 경지의 이용형태, 경사도, 토성, 작부형태, 강우량, 강우강도 등에 따라 다를 수밖에 없다. 연구자에 따라 축분 질소를 기준으로 하는 경우도 있고 축분인산을 기준으로 하는 경우도 있으며, 가축단위에 의해 추정하거나 양분요구량과 축분 양분량을 비교하여 추정하기도 한다. 다만 유의할 점은 축종별 1일 배출량 원단위의 설정과 축분 내의 질소, 인산 등 양분 함량기준을 정확히 정하느냐에 따라 분석치가 달라질 수 있다. 특히, 양분요구량을 산출할 때에 작물별 표준시비량을 이용하는데, 표준시비량은 화학비료와 퇴비로 구성되어 있는데도 화학비료만으로 양분 요구량으로 계산하는 경우도 있다.

가축분뇨 중의 인산은 질소와 달리 자원화 과정에서 휘산이 되지 않고, 농경지에 시용했을 때 토양에 잘 흡착됨으로서 과잉 투입시 토양축적이 심각해지는 문제가 있기 때문에 가축분뇨의 시용기준 설정과 적정 사육두수를 계산할 때에는 질소 투입량보다 인산 투입량을 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 인산투입량을 기준으로 적정 사육두수를 추정해 보았다. 시군별 경지면적을 기준한 인산요구량은 다음의 <표 12>와 같이 190천톤(시군별 인산요구량 전국합계)이며 화학비료와 축분을 합한 인산 투입량은 2002년 기준 301천톤으로 인산잉여도가 평균 1.59(축분 중 공공처리, 해양투기 등 물량 17% 제외시 1.32)이다. 즉

59%의 인산이 초과 투입되고 있다는 것을 나타내고 있다.

적정사육두수는 젖소를 1단위(연간 인산 48.5kg 배출기준)로 했을 때 인산요구량 190천톤을 가축단위로 환산하면 가축두수 3,918천 단위가 된다. 즉 인산요구량인 190천톤을 젖소 1단위 배출량인 48.5kg로 나누면 가축 환산두수인 3,918천단위가 계산된다.

따라서 현재 가축분뇨의 인산배출량을 가축단위로 환산하면 3,546천 단위가 되어 인산요구량 범위 내에 있다고 할 수 있다.

〈표 12〉 가축분뇨 만으로 계산된 가축단위

인산요구량	축분인산	축분인산에 의한 가축단위	인산요구량에 대한 가축단위
190천톤	172	3,546천단위	3,918

그러나 이와 같은 비교는 축산분뇨만을 계산한 것으로 화학비료까지 포함시켜 계산하면 가축두수가 적정수를 초과한 것으로 나타난다.

즉 다음의 <표 13>과 같이 화학비료와 축분을 합한 인산 투입량으로 가축두수를 환산하면 6,206천 단위가 되어 적정 3,918천단위보다 2,288천단위나 초과한다.

〈표 13〉 화학비료 인산포함 가축단위 계산

인산요구량	투입량			투입량에 대한 가축단위	인산요구량에 대한 가축단위
	계	화학인산	축분인산		
190천톤	301	129	172	6,206천단위	3,918

IV. 가축분뇨 자원화의 경제성 분석

1. 지역축산의 분뇨 자원화에 대한 분석

비용편익분석이란 공공투자사업에 의해 사회적으로 지불해야 하는 비용과 사회적으로 얻게 될 편익을 화폐가치로 환산하여 추정한 뒤, 이를 비교하여 공공투자사업이 경제적으로 값어치가 있는지를 판단하기 위한 방법이다. 비용편익분석을 통해 최종적으로 얻게 되는 편익/비용(Benefit/Cost ratio)이 1보다 크면 공공투자사업에 따른 편익이 비용보다 커서 경제적으로 타당성이 있다는 것이다.

1) 지역 단위의 가축분뇨 자원화의 비용편익분석

(1) 비용편익의 기본가정 및 산출방식

본 연구에서는 일본의 농업공학연구소(2003)에서 발표된 계산방식을 따르면서 한국의 실정에 맞는 계산식을 검토하였다.

먼저 기본가정으로는 가축분뇨를 유기성자원으로 제조하여 이를 화학비료 대신 농지에 환원하는 것을 가정하고, 각 항목별 비용과 편익을 대체법으로 평가한 비용편익분석을 실시하였다. 그리고 비용항목으로는 가축분뇨를 자원화하여 화학비료를 대체할 경우에 투입되는 비용을 이용하였다. 다음으로 편익항목으로는 화학비료를 가축분뇨로 대체할 경우에 발생하는 편익으로 3가지 항목을 선정하였다.

(2) 가축분뇨 자원화에 의한 화학비료 대체비용

비용의 측면에서 유기성자원의 활용을 촉진하기 위하여 화학비료를 퇴비로 대체한다고 가정하여 질소성분량 당 비교가격을 비용으로 산정하였다. 전국에서 발생하는 3,300만톤의 가축분뇨에서 발생하는 질소량은 21만톤으로 추정되며 가축분뇨에 함유된 21만톤의 질소 가운데 50%인 10만5천톤이 무기화된 질소 화학비료와 동일하게 작물에 흡수된다고 가정하자(2002년도 가축분뇨 질소발생량 317천톤 중 발효과정에서 휘산되는 질소를 제외하고 토양에 사용되면 50% 정도가 작물에 흡수된다고 알려져 있어 50%인 10만5천톤을 적용). 이때의 대체금액은 3,300만톤의 가축분뇨와 10만5천톤분의 질소 화학비료 구입비의 차액으로 예상된다. 화학비료의 가격은 요소의 농가구입가격 673.9천원/톤 N을 이용하였다(농협중앙회 자재부, 2003년 말 기준 요소의 농가구입가격이 톤당 31만원이며 질소함량(요소 : 46% 질소함유)기준 가격으로 환산). 만약, 평균적인 가축분뇨의 구입가격이 톤당 15,000원이라고 가정하고 화학비료 대체 효과를 계산하면 3,300만 톤의 가축분뇨와 10만5천톤분의 질소 화학비료 구입비의 차액인 4,242억원(3,300만톤*15,000원-10만5천톤*673.9천원)이 소요된다.

(3) 온실효과가스 발생억제에 따른 편익

퇴비로 화학비료를 대체시킬 경우, 화학비료 생산에서 나프타(대기 중의 질소를 고정시켜 암모니아를 제조하는 원료) 사용량을 감소시켜 결과적으로 CO₂의 발생량을 감소할 수 있다. 이러한 양을 배출권 거래에 따른 금액으로 환산하면 다음과 같다.

화학비료의 원료인 암모니아(NH₃)를 1톤 제조하기 위해서는 나프타 775L를 사용한다. 나프타사용에 따른 CO₂ 발생량은 질소(N) 1톤당 약 0.571톤의 탄소(C)를 배출하게 된다. 만약 나프타를 이용하여 10만5천톤(축분 3,300만톤의 질소 화학비료 상당량)의 질소를 화학비료로 제조하면 59,955톤의 탄소가 배출된다. 이때 CO₂(탄소기준) 삭감비용(X2원/tC)은 지구 온난화방지를 위한 교토협정서의 협의결과에 따르면 국별 탄소 배출량에 근거하여 이행기간이나 방법에 따라 4,000-180,000원/tC으로 추정된다. 본 연구에서는 교토협정의 협의결과에서 평균금액인 CO₂(탄소기준)삭감비용이 110,000원/tC이라고 가정하면, 화학비료 제조를 중지함으로써 발생하는 나프타 사용 감소로 인해 CO₂ 삭감비용(X2원/tC)이 66억원 발생한다.

(4) 수질보전에 의한 편익

가축분뇨 3,300만톤을 자원화하지 않을 경우 미비한 처리로 인하여 X3 %의 질소가 공공용수역으로 유출된다고 가정하자. 한국에서는 수질보전과 관련한 선행 연구가 부족하여 그 편익을 계측하기 어렵기 때문에 일본농업공학연구소의 연구결과를 한국에 적용해 본다.

한국은 일본과 비교하여 환경기준이나 수질정화시설의 단위처리 능력 당 비용이 다르지만 선행연구결과의 한계비용인 19.3억엔/40만톤 (환율로 환산하면 약 200억원, 톤당 5만원)을 한국의 가축분뇨처리 여건을 감안하여 2만5천원/톤을 적용하였다(일본의 수질정화 시설의 처리비용은 톤당 5만원이나 우리나라의 정화처리비용은 전국평균이 2만5천원 정도로 추정). 이를 한국의 가축분뇨문제에 적용해 보면, 10%인 330만 톤을 미비하게 처리할 경우에는 수질오염의 대체비용이 약 825억원인 것으로 추정된다.

(5) 지력증진에 의한 편익

농업과학기술원에서 연구한 「논에서의 퇴비사용 효과」(1999)를 보면 화학비료를 퇴비 등의 유기성자원으로 대체할 경우 5~10%의 생산량 증수효과가 있는 것으로 분석되었다. 만약 2003년도 발벼를 제외한 쌀의 전체생산량 4,051천 톤에서 5% 정도의 증수효과가 있을 경우에는 202.6천톤의 쌀이 증수되며, 쌀의 생산자가격 kg당 2,025원을 곱할 경우 약 4,102억 원의 생산자 편익이 발생하는 것으로 계측된다. 다만 본 논문에서 산정한 증수효과는 논벼만을 대상으로 하였기 때문에 밭작물까지 포함한다면 증수효과가 더 클 것으로 전망된다.

(6) 가축분뇨 자원화에 따른 비용과 편익

가축분뇨를 자원화하여 화학비료를 대체할 경우의 비용과 편익은 다음의 <표 14>와 같다. 여기서 비용은 약 4천2백억원이 소요되며, 편익은 가축분뇨의 미비처리의 비율에 의해 달라지지만 이를 10%라고 가정할 경우에 약 5천억 원의 편익이 발생한다고 추정된다. 따라서 가축분뇨의 자원화에 의한 화학비료의 대체는 경제적으로 가능성이 있는 방안이라고 사료된다. 그러나 이 연구에서 이용된 자료는 실험에 의한 자료이므로 현실에 적용함에 있어서는 다양한 문제가 예상되며 이에 주의하면서 결과를 해석할 필요가 있으리라 사료된다.

<표 14> 지역 단위에서 가축분뇨의 화학비료 대체에 따른 비용과 편익

	비 용	편 익
화학비료 대체비용	4,242억 원	
온실가스발생억제		66억 원
수질보전		10% : 825억 원, 30% : 2,475억 원
생산량 증수		5% 4,102억 원
계	4,242억 원	4,993억 원

V. 요약 및 결론

환경부하를 염두에 두지 않은 축산업의 성장과 생산성 증대를 위한 고투입 농업으로 인하여 우리나라는 OECD 국가 중에서 단위 면적당 양분 사용량이 많은 국가로 지목받고 있다.

본 연구결과를 토대로 도출된 주요 내용을 요약하면 먼저 한국 농경지의 인산수지는 질소수지보다 더 심각한 실정으로 가축분뇨에 의한 인산투입량은 2002년 기준 전체 투입량의 45.2%로 현재 밭 토양의 54% 이상이 작물 생산에 필요한 유효인산 함량기준보다 높다.

가축분뇨 질소배설량과 적정 양분수지를 기준으로 가축사육밀도를 지역별로 분석한 결과 전국 평균이 1.68 LU/ha로 높게 나타났다. 가축사육밀도가 전국적으로 가장 높게 나타난 ha당 3.00LU 이상의 가축밀집사육지역이 전국 165개 시군 중 12개 시군이나 되고, 가축사육밀도가 2.00~3.00LU으로 크게 높은 시군도 31개 시군으로 나타났다. 아울러 화학비료와 가축분뇨의 양분을 합한 양분 투입량에 대한 시군별 양분 잉여도를 분석한 결과 적정 요구량보다 2배 초과하는 양분잉여지역은 질소의 경우 165개 시군 중 30개 시군이고, 인산의 경우는 32개 시군이나 되는 것으로 나타났다.

양분요구량과 양분투입량을 가축단위로 전환하여 적정 사육두수를 추정한 결과, 화학비료와 가축분뇨를 포함한 전체 양분으로 계산할 때에는 2,288천단위가 초과되어 158% 수준이 되었다.

지역의 가축분뇨 자원화를 촉진하기 위하여 경제성 분석을 한 결과 가축분뇨 자원화의 비용으로서 가축분뇨 연간 발생량 3,300만톤을 화학비료로 대체할 경우 4천2백억원 정도가 소요되고, 편익으로 화학비료 생산시 온실가스 발생억제 비용절감과 정화비용의 절감액과 지력증진에 의한 단위수량 증대 등의 편익 합계가 5천억원 수준으로 편익/비용의 계산결과 1 이상이었다.

연구결과에 따라 지역단위 양분수지 균형을 위한 결론은 다음과 같다.

가축분뇨는 지역별로 환경용량 범위 내에서 발생이 되도록 적정가축두수를 유지토록 하는 것이 가장 중요하며 먼저 지역단위로 양분총량규제를 중장기적으로 도입할 필요가 있다. 또한 양분사용규제를 위한 시스템 구축도 필요하다.

양분총량 규제정책은 지역별로 가축밀집사육지역을 중심으로 지방자치단체장의 책임 하에 지역 내에서 양분수지 균형을 이루도록 하는 지역축산발전계획이 수립 추진되어야 한다. 다음은 지원정책으로 정부의 각종 직접 지불제도는 친환경 농업정책 및 지역별 적정 가축사육밀도 정책과 연계하여 추진해야 한다. 경종농가와 축산 농가를 유기적으로 연계시켜 축분의 자원화를 확대할 수 있도록 축분 거래의 민간업체 육성정책이 추진되어야 한다. 마지막으로 지역농정의 발전은 지방자치단체장들의 역량에 따라 차이가 나므로 지역단위의 양분수지 균형에 대한 지자체장들의 관심과 역량을 제고시킬 수 있는 동기부여가 필요하다.

[논문접수일 : 2005. 8. 16. 최종논문접수일 : 2005. 11. 20.]

참 고 문 헌

1. 김창길·강창용. 2002. 지역단위 농업환경모형의 체계화에 관한 연구. 한국농촌경제연구원.
2. 농림부·환경부. 2004. 가축분뇨 관리·이용대책.
3. 농업과학기술원. 1999. 작물별 시비처방기준.
4. 농업과학기술원. 1999. 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비, 액비제조와 이용.
5. 농촌진흥청 농촌생활연구소. 1996. 식품성분표 제5개정판.
6. 농촌진흥청. 2003. OECD 보고서.
7. 류순호·우기대·소재돈·정연태·김복영. 1999. 농업환경오염 경감대책 연구 21-53. 농촌진흥청.
8. 신철우·김정재·윤정희. 1988. 경작지 전(田)토양의 인산특성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 21(1): 21-29.
9. 임종완. 1995. 농어촌 환경오염과 대책. 농업공무원교육교재 59.
10. 정병간·정구복·윤정희 외. 2003. 일반 농경지 토양화학성 변동조사. 농업과학기술원.
11. 農業工學研究所, 2003. 有機性資源活用機能の經濟評價手法.
12. Iowa Manure Management Action Group, "What is the definition of an animal unit and animal unit capacity?"
13. <http://extension.agron.iastate.edu/immag/faqdetails.html#q14>. 2002.
14. Loehr, R. 1984. *Pollution Control for agriculture*. Academic Press.
15. OECD. 2000. *Environmental Indicators for Agriculture*. Executive Summary. Paris.

