

지역순환농업을 위한 분뇨단위 설정과 질소부하 평가* -여주지역 사례-

류종원** · 최덕천***

Assessment of N-Loading and Manure Units for Regional Recycling Farming -Case Study in Yeosu-Gun Region-

Ryoo, Jong-Won · Choi, Deog-Cheon

In this study, the assessment of livestock manure nitrogen loading for recycling farming in Yeosu-Gun carried out comparing manure units based on the cultivation areas and the N-amount of manure that are generated from livestock manure. Manure units (MU) are used in the permitting, registration, because they allow equal standards for all animals based on manure nutrient production. An MU is calculated by multiplying the number of animals by manure unit factor for the specific type of animal. The manure unit factor for MU determination was determined by dividing amounts of manure N produced 80kg N/year. In this study, manure unit by nitrogen concentration and amount of animal manure was calculated as follows: Hanwoo multiplied by 0.36, dairy cows multiplied by 0.8, swine multiplied by 0.105. The laying hens and broilers multiplied by 0.0079, 0.0049, respectively. The analysis of liquid manure unit per ha shows that the N loading by LMU is quite different by region. When it comes to nitrogen loading, the LMU per ha of cultivated land in excess of the N-amount was the highest in the Bukne-myeon province with 2.76 MU/ha, which is higher than the appropriate level. The Ganam-myeon province came next with 2.53 LMU. To be utilized as a valid program to build the environmentally friendly agricultural system, diverse measures shall be mapped out to properly determine manure units, evaluate N-loading and to properly manage their nutrient balance of each region.

Key words : *manure units (MU), regional N loading, recycling farming, livestock, nutrient balance*

* 본 연구는 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 교신저자, 상지대학교 친환경식물학부 교수(jwryoo@sangji.ac.kr)

*** 상지대학교 교양과 교수

I. 서 론

현대농업이 해결해야 할 시급한 과제는 경축순환농업을 통해 지역 단위별로 양분수지가 균형을 이루는 영농시스템으로 전환해야 한다는 점이다. 가축분뇨는 농경지에 환원되지 못하여 환경오염원이 되고, 농경지에서는 유기물이 부족하여 지속가능한 농업생산이 제약받고 있다. 농업은 양분·물질순환을 원리로 하는 산업이다. 따라서 토양의 다양성·생명성·면역성을 회복하기 위해서는 관행농업이든 친환경농업이든 경축순환농업을 실천해야 한다. 나아가 농업의 지속가능성을 위한 3요소인 경제성, 사회성, 환경성을 동시에 실현하기 위해서도 경축 순환농업(Integrated crop-livestock recycling farming systems)의 실천이 필요하다.

통계청(2011)의 조사결과를 보면, 우리나라의 가축사육두수는 1970년대부터 해마다 계속 증가하여 2011년 말 현재 한육우 2,950천두, 젖소 404천두, 돼지 8,171천두, 닭 149,511천수가 사육되고 있으며 사육농가의 전업화로 인하여 농가 수는 점차 줄어들고 있다. 농림수산식품부(2011) 통계에서도 한우 사육농가 수는 1970년의 519천호에서 2010년 말에는 172천호로 감소하였고, 젖소는 23.5천호에서 6.3천호, 돼지는 45.9천호에서 7.4천호, 닭은 203천호에서 3.6천호로 감소하였다. 반면에 농가당 사육두수는 증가하고 있는 실정이다.

최동윤 등(2006)은 매년 축산농가로부터 발생하는 분뇨의 양이 증가되고 있다고 분석하였다. 즉, 1990년 초부터는 가축분뇨가 작물의 퇴비원료로 쓰이는 순기능 보다는 토양, 수질 및 대기오염원이라는 역기능이 더 부각되었다. 이에 따라 도시근교의 낙농가, 초지나 사료작물포를 확보하지 못한 목장, 상수원 보호구역내에 위치한 목장에서는 분뇨처리에 고심을 하지 않을 수 없게 되었다.

김창길(2005)은 우리나라 농경지의 양분수지 지표 산정 결과 작물재배면적은 지속적으로 감소하고 있는데 반해 화학비료 소비량 감소폭이 적고, 가축사육두수 증가로 가축분뇨 발생량이 크게 늘어나 1990년 이후 꾸준히 감소하던 양분수지가 2001년을 기점으로 다시 악화되고 있는 것으로 분석하였다.

고한중·최홍림·김기연(2005)은 가축분뇨가 지하수의 질상태 질소의 오염원이라고 밝혔다. 관행농업지역의 지하수 오염원은 화학비료가 주요 요인이지만, 집약적 경종-축산복합 지역 지하수에서 가축분뇨에서 유래한 질산태 질소의 농도가 및 동위원소비가 높게 나와 주요 오염원이 된다는 것을 밝혔다. 따라서 축산-경종 순환농업을 통해 축분뇨가 환경오염원이 되지 않도록 관리하는 것이 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

그 동안 가축분뇨는 농장에서 가축분뇨배출시설을 설치하여 처리하거나 퇴·액비로 처리하고, 그렇지 않은 경우는 해양투기를 해 왔다. 축분뇨 해양투기는 2006년 261만 톤에서 2010년 73만 톤으로 점차 감축되었다. 그러나 2006년 3월 24일 ‘폐기물 배출에 의한 해양오염 방지에 관한 국제협약’이 발효되고, 2012년 <해양환경관리법 시행규칙>이 개정되어

2012년부터는 가축분뇨의 해양투기 금지로 육상에서 이를 처리해야 한다. 따라서 축분뇨를 분뇨단위 개념으로 관리하여 질소부하를 줄이는 방안을 마련해야 한다.

윤성이·박선호(2009)는 경종과 축산의 연계를 통한 유기농업으로 양분의 균형과 순환, 농축산 부산물을 재활용한 신재생에너지의 활용을 포함한 물질의 순환구조를 완성하는 자원순환형 농업모델, 순환형 사회구조와 생활양식 수립방안을 제시하였다. 이지은·허승욱(2009)은 가축분뇨를 퇴·액비 자원화 하거나 바이오가스를 만들어 온실가스 감축에 기여하도록 하는 방안을 제안하였다.

이주삼·최덕천(2011)은, 관행농업 농가에 대한 조사 통계는 찾을 수 없지만, 2011년 10월 현재 국내에서 경축순환 유기농업을 실천농가는 유기농산물 인증농가 2만 5천여 농가의 0.1%, 유기축산물 인증농가 96여 농가의 13%인 총 15농가에 불과하다고 분석하였다.

지역순환농업의 체계를 구축하기 위해서는 우선 지역의 범위를 설정해야 한다. 본 연구에서는 양분수지 산정을 위한 관련통계의 DB 구축과 지역별 양분수지 실태파악을 위한 지역양분 산정시스템 보급 등이 선행되어야 하므로 행정단위의 읍·면 지역을 단위로 상정하고자 한다. 양분수지 계산을 위해 우선 축분뇨의 발생량과 부하량을 파악해야 한다. 양분수지 접근방식은 관리대상 물질의 적용범위에 따라 개별농장을 기초로 하여 양분수지가 이루어지는 농장수지(farm-gate balance), 지역단위를 기초로 한 지역수지(regional balance), 지역단위를 합산한 국가수지(national balance)로 나누어 산출될 수 있다.

분뇨단위(Manure Units, MU)는 분뇨생산에 기초하여 가축별 표준단위를 표시하는 지표이다. 분뇨단위는 축종별 양분 발생량의 객관적인 상호비교가 가능하게 하기 위하여 개발되었다. 가축분뇨 중 질소 또는 인 함유량을 기준으로 축종 간 가축단위를 적용하여 지역 단위 양분평가 등 기초자료로 활용되고 있다.

본 연구의 목적은 아직 우리나라에서는 일반화되지 않은 가축분뇨의 분뇨단위 설정기준을 마련하고, 이를 지역순환농업의 실천에 활용하기 위해 경기도 여주군지역을 사례로 선정하여 읍면별 실제 분뇨단위를 적용하여 여주지역 N-양분부하를 평가하는데 있다. 특히, 액비분뇨단위는 본 연구를 위해 처음으로 사용한 개념이다.

본 연구에서 여주군 10개 읍면별 2011년의 가축 사육두수와 경지면적에 대한 여주군의 자료를 토대로 하여 가축분뇨의 농경지 질소부하를 평가하였다. 본 연구자가 농촌진흥청에서 연구한 우리나라의 축종별 분뇨배출량과 양분 함량을 토대로 산출한 분뇨단위를 여주군 읍면별 가축사육두수와 경지면적에 적용하여 질소부하를 평가하였다. 본 연구에 적용한 분뇨단위는 읍면별 모든 축종의 분뇨단위(Manure Unit, MU)를 적용한 질소부하 평가와 가축분뇨 중 액비 형태로 이용되는 분뇨를 위주로 산출한 액비분뇨단위(Liquid Manure Unit, LMU)와, 양돈분뇨를 위주로 산출한 양돈분뇨 분뇨단위(Pig Liquid Manure Unit, PLMU/ha)를 도입하여 농경지 N-부하량을 평가하고 가축생산과 경작지를 연계한 순환농업의 적용방안을 검토하였다.

Ⅱ. 가축단위 및 분뇨단위 설정의 이론적 배경

1. 가축단위

가축단위(Animal Units, AU)는 미국, 영국, 유럽에서 분뇨생산에 기초하여 가축별 표준단위를 표시하는 지표이다. 가축단위는 가축 수에 가축단위 팩터(animal unit factor)를 곱하여 계산한다. 가축단위 팩터(animal unit factor)는 미국의 경우 평균 성축 무게에 1,000을 나누어 계산한다. 1 가축단위는 1,000 pounds(455kg) 생축 무게에 해당된다. 가축단위는 국가, 지방정부에 따라 상이하며 통상 가축단위는 식 (1)과 같이 육우 성축의 경우 1.0, 젖소 성축의 경우 1.4를 곱하여 계산한다.

$$\text{가축단위(AU)} = \text{사육두수} \times \text{평균무게(lb)} \div 1000(\text{lb/AU}) \quad (1)$$

영국에서는 가축단위를 Livestock Unit(LU)으로 정의하고, 1.0LU는 650kg(1,400 lb)을 기준으로 설정하고 있다. 독일에서는 가축단위(Großvieheinheit, GV)를 체중 500kg의 소를 기준으로 설정한다.¹⁾

2. 분뇨단위

1) 분뇨단위

분뇨단위(Dungeinheit, DE)는 독일을 비롯한 유럽지역에서 가축분뇨 관리정책에 적용하고 있다. 분뇨단위를 우리나라에서 비료단위, 분뇨단위 혹은 거름단위라는 용어로 사용하고 있다. 본 논문에서는 영어로 표현하여 분뇨단위(MU)로 표시하였다. 분뇨단위는 가축분뇨의 질소 혹은 인산 배출량을 기준으로 설정한다.

Strauch, D.(1990)에 의하면 분뇨단위(MU)는 연간 배설되는 분뇨의 비료성분량을 기준으로 설정하며 EU 지역에서 통상 질소로 80kg, 인산으로 60kg로 설정하다가 근래에는 70kg에 해당하는 분뇨량을 1 분뇨단위로 설정한다. 통상 가축사육 밀도 평가와 가축분뇨 질소, 인산 성분의 농경지 부하량 산출에 의하여 양분 규제수단에 활용하고 있다.

$$\text{분뇨단위(MU)} = \sum(\text{축종별 연간 N 발생량/두}) \div 80 \quad (2)$$

1) 가축단위는 국가에서 환경보호 차원의 가축정책에 수단으로 활용되는 표준 가축밀도 단위이다. 그러나 우리나라에서는 가축단위 산정과 일치하는 가축 통계조사가 이루어지지 않고 있는 실정이어서 본 연구에서는 적용하지 않았다.

$$\text{가축분뇨의 N-부하량} = \sum \text{축종별 분뇨단위(MU)} / \text{ha} \quad (3)$$

분뇨단위(MU)는 분뇨생산에 기초하여 가축별 표준단위를 표시하는 지표이다. 분뇨단위는 축종별 양분 발생량의 객관적인 상호비교가 가능하게 하기 위하여 개발되었다. 가축분뇨 중 질소 또는 인 함유량을 기준으로 축종간 가축단위를 적용하여 지역단위 양분평가 등 기초자료로 활용되고 있다. 분뇨단위는 환경관리의 관점에서 가축의 종류에 따른 분뇨의 오염 등가물을 결정하여 가축분뇨 양분관리 규제 수단으로 사용한다.

EU-Bio-Verordnung(2008)에서는 유기농가의 가축분뇨 비료의 연간 투입량을 2.1DE(170kg N/ha)로 제한하고 있다. 그러나 유기농업 생산자단체인 Naturland의 규정(Richtlinien Ausgabe 11/2008)에서는 축분뇨 비료의 연간 투입량을 1.4 DE(112kg N/ha)로 제한하고 있으며, 외부에서 구입한 유기질 비료의 최대 투입량을 0.5 DE/ha(40kg N/ha)로 엄격히 제한하고 있다. 또한 Bioland Association의 규정에는 외부 구입 유기질비료 중 혈분, 골분, 구아노의 사용을 금지하고 있다. 손삼목(2001)은 이처럼 경지면적당 분뇨 배출량을 제한하는 것은 분뇨의 과다 투입에 의한 농경지의 과영양화를 피하기 위한 것으로 파악하고 있다. 즉, 유기질 비료 시용이 환경부하를 주지 않아야 한다는 것이다.

2) 액비분뇨단위

액비분뇨단위(Liquid Manure Units, LMU)의 용어는 본 연구자가 새로이 도입한 정의이다. 외국과 달리 우리나라는 축종 중 한육우와 닭은 퇴비 위주로 가축분뇨를 처리하고 있다. 퇴비는 배출지역에서 사용하지 않고 이동하여 사용 할 수 있는 비료이다. 따라서 분뇨단위 적용 시 다른 지역으로의 이동이 어려워 배출지역의 농경지에 살포하는 액비의 분뇨단위 설정이 우리나라 실정에 맞는 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 퇴비 위주의 가축분뇨를 처리하는 축종인 한육우, 닭을 제외하고 가축분뇨를 액비 형태로 처리하는 젓소, 양돈분뇨를 위주로 평가한 액비 분뇨단위(LMU)를 도입하여 액비의 농경지 부하량을 평가하였다.

$$\text{액비 분뇨단위(Liquid Manure Unit, LMU)} = \sum (\text{젓소, 돼지 연간 N 발생량/두}) \div 80 \quad (4)$$

$$\text{경지면적당 액비 N-부하량} = \text{지역별} \sum \text{젓소, 돼지 분뇨단위(MU)} / \text{ha} \quad (5)$$

3) 양돈액비 분뇨단위

우리나라에서 액비형태의 농경지 살포는 주로 양돈분뇨가 주 처리 대상이다. 따라서 양돈분뇨만을 대상으로 돈분뇨 액비 분뇨단위(Pig Liquid Manure Unit, PLMU/ha)와 경지면적당 양돈액비 N-부하량을 산출하는 식은 다음의 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

양돈 액비 분뇨단위(Pig Liquid Manure Unit, PLMU)= Σ (돼지 연간 N 발생량/두) \div 80) (6)

경지면적당 양돈액비 N-부하량 = 지역별 Σ 돼지 분뇨단위(MU) / ha (7)

가축분뇨의 질소, 인산 배설량 및 연간 가축분뇨 질소, 인산 배설량을 계산하는 식은 다음 식 (8)과 식 (9)와 같다.

가축분뇨 질소, 인산 배설량=(분 N, P₂O₅ 함량 \times 분뇨 배설량 / 일)
+ (노 N, P₂O₅ 함량 \times 노 배설량 / 일) (8)

연간 가축분뇨 질소 배설량=(분 N, P₂O₅ 함량 \times 분뇨 배설량 / 일 \times 365)
+ (노 N, P₂O₅ 함량 \times 노 배설량 / 일 \times 365) (9)

또한, 앞의 식 (2)의 산출과정에서 Strauch, D.(1990)가 제시한 분뇨의 비료성분량을 질소로 80kg, 인산으로 60kg로 설정한 것을 적용하면, 축종별 질소기준 분뇨단위와 인산기준 분뇨단위 산출식은 식 (10)과 식 (11)과 같다.

질소기준 분뇨단위 = 축종별 연간 N 발생량 / 두 \div 80 (10)

인산기준 분뇨단위 = 축종별 연간 P₂O₅ 발생량 / 두 \div 60 (11)

Ⅲ. 분뇨단위 설정에 따른 여주군지역 N-부하량 평가

1. 축종별 분뇨 배설량에 의한 분뇨단위 설정

본 연구에서 우리나라에서 연구된 자료를 토대로 가축분뇨 단위를 설정하기 위하여 가축분뇨의 축종별 평균 배설량은 농촌진흥청(2008) 연구 자료를 활용하였다. 가축분뇨의 축종별 평균 배설량은 <표 1>과 같다. 한우의 평균 1일 두당 분뇨 배설량은 분 8.0kg, 노 5.7kg이었고, 젖소의 평균 1일 두당 분뇨배설량은 30.1kg이었으며, 분 19.2kg, 노 10.9kg을 적용하였다. 돼지의 경우 성장단계별 분뇨배설량이 상이하나 우리나라 가축사육 두수통계가 성장단계별 사육두수가 집계되지 않아 일평균 분뇨배설량인 2.63kg(분 0.89kg, 노 1.74kg)을 활용하였다.

<표 1> 가축분뇨 축종별 평균 배설량

(단위 : kg/두/일)

구분	한우	젓소	돼지	육계(분+노, g/수/일)	산란계(분+노, g/수/일)
분	8.0	19.2	0.89	85.4	124.7
노	5.7	10.9	1.74	-	
합계	14.4	30.1	2.63	85.4	124.7

자료 : 농촌진흥청(2008)

본 연구에서 분뇨단위를 산출하기 위하여 분뇨 중 질소, 인산의 평균농도를 농촌진흥청(2008) 연구 자료를 활용한 결과, 한우분의 인산농도는 각각 0.5%, 0.60%이었고, 노에는 0.68%, 0.06%이었다. 노에는 질소 성분이 많았으나 인산 성분은 매우 적었다. 젓소의 분뇨 중 질소, 인산 성분은 각각 분에서 0.33, 0.49%이었고 노에는 1.2%, 0.27%를 나타내었다. 돼지는 분 0.96%, 0.83이고, 노에서 0.8%, 0.09%이었다(<표 2> 참조).

<표 2> 가축분뇨의 축종별 평균 질소 인산 함량

(단위 : %)

성분	구분	한우	젓소	돼지	육계(분+노)	산란계(분+노)
질소	분	0.5	0.33	0.96	1.19	1.39
	노	0.68	1.2	0.80		
인산	분	0.60	0.49	0.83	0.29	0.62
	노	0.07	0.27	0.09		

자료 : 농촌진흥청(2008)

<표 1>과 <표 2>를 바탕으로 한우로부터 배출되는 두당 일일 질소, 인산배출량으로 환산해 보면, 분의 경우, 0.04kg N, 노는 0.039kg N으로 나타났다. 또한 젓소, 돼지가 배설하는 일일 질소 성분량은 각각 0.174, 0.0229kg인 것으로 나타났다. 산란계와 육계의 수당 질소배설량을 각각 0.0010, 0.001733kg으로 나타났다(<표 3> 참조). 인산 배설량은 질소에 비하여 노에서 배설량이 적게 나타났다. 식 (8)에 따라 산출해 본 가축분뇨 축종별 질소, 인산 배설량은 <표 3>과 같다.

<표 3> 가축분뇨 축종별 질소, 인산 배설량

성분	구분	한우	젓소	돼지	육계	산란계
질소 (kg N/두/일)	분	0.04	0.063	0.009	0.0010	0.001733
	뇨	0.039	0.111	0.0139		
	합계	0.079	0.174	0.0229	0.0010	0.001733
인산 (kg P ₂ O ₅ 두/일)	분	0.048	0.094	0.00739	0.0002	0.000773
	뇨	0.00399	0.0294	0.00157		
	합계	0.05199	0.1234	0.00896	0.0002	0.000773

본 연구의 <표 1>~<표 3>의 결과에 의한 질소, 인 배설량을 바탕으로 축종별 배출되는 연간 질소배출량은 한우에서 28.84kg, 젓소에서 63.5kg, 돼지 8.358kg이었고, 육계와 산란계는 각각 0.37, 0.63kg 배출되는 것으로 나타났다(<표 4> 참조). 배출되는 연간 인산성분량은 한우에서 18.97kg, 젓소에서 45.04kg, 돼지 3.27kg 이었고, 육계와 산란계는 각각 0.073, 0.082kg 배출되는 것으로 나타났다.

다음의 <표 4>는 앞의 식 (9), 식 (10), 식 (11)을 기준으로 하여 축종별 가축분뇨 연간 질소, 인산 배설량과 분뇨단위를 설정해 본 결과이다. <표 4>와 같이 질소기준 축종별 연간 질소 발생량을 토대로 산출한 분뇨단위는 한우 0.36, 젓소 0.8, 돼지 0.105로 환산되었다. 또한 육계와 산란계의 분뇨단위는 각각 0.0046, 0.0079로 환산되었다. 인산기준 축종별 분뇨단위는 한우 0.0316, 젓소 0.75, 돼지 0.0545로 환산되어 질소기준 분뇨단위보다 다소 낮았다. 또한 육계와 산란계의 분뇨단위는 각각 0.0012, 0.001367로써 질소기준에 비하여 낮게 나타났다.

<표 4> 축종별 가축분뇨 연간 질소, 인산 배설량과 분뇨단위 설정

축종	연간 질소 발생량 (kg N/연)	연간 인산 발생량 (kg P ₂ O ₅ /연)	질소 기준 분뇨단위*	인산기준 분뇨단위*
한 우	28.84	18.97	0.36	0.316
젓 소	63.5	45.04	0.80	0.75
돼 지	8.358	3.27	0.105	0.0545
육 계	0.37	0.073	0.0046	0.0012
산란계	0.63	0.082	0.0079	0.001367

주 : * 1 분뇨단위는 연간 배설되는 분뇨의 량을 질소 80kg, 인산 60kg에 해당

2. 여주군의 가축사육 현황

여주군은 남한강이 남동에서 북서로 관류하여 여주읍을 중심으로 분지를 형성, 수운에 유리하여 미곡 집산지에 위치하고 있는 동시에 축산도 발달된 지역이다. 2011년 기준 여주군에는 한우 12,311두, 젓소 10,593두, 돼지 175,625두, 닭 3,974,620수를 사육하고 있다. 읍면별 가축사육 두수를 보면 가남면의 한우 사육두수가 2,895두, 돼지 사육두수가 42,800두로 가장 많았다. 가남면의 돼지 사육두수는 여주면 전체 돼지 사육두수의 24.4%를 차지하고 있다. 또한 대신면도 경지면적도 넓고 가축사육 두수도 비교적 많은 지역이다. 신북면, 금사면은 가축사육 두수가 매우 적은 지역이었다. 가축 사육은 지역별로 뚜렷한 편중현상을 보였다.

<표 5> 여주지역 가축사육 현황

(단위 : 두/수)

지 역	한우	젓소	한육우	돼지	육계	산란계	오리
여주읍	1,337	260	109	15,550	230,000	123,000	12,000
점동면	1,747	1,034	21	16,550	234,000	19,000	0
가남면	2,895	3,015	576	42,800	181,000	596,000	50,200
능서면	1,451	650	128	37,585	302,000	246,000	10,000
홍천면	1,893	2,129	213	11,300	498,000	333,120	-
금사면	346	503	105	937	500	-	20,000
신북면	100	-	-	900	102,000	-	-
대신면	1,141	2,195	134	4,430	377,300	-	15,000
북내면	1,001	807	199	33,050	370,000	120,000	8,000
강천면	400	-	-	12,523	243,000	-	16,500
합 계	12,311	10,593	1,485	175,625	2,537,700	1,437,120	131,700

3. 여주군 지역의 분뇨 발생량 및 분뇨단위 산출

1) 축종별 분뇨 발생량

2011년 기준 가축사육(소, 돼지, 닭, 사육두수 기준)의 결과 여주군 분뇨 발생량은 692,236톤에 달한다. 이 중 돼지분뇨 발생량이 326,916톤으로 전체 발생량의 47% 정도를 차지하고, 젓소분뇨 발생량은 147,730톤으로 약 21%를 차지하는 것으로 추정된다.

<표 6> 여주지역 가축분뇨 발생량

(단위 : 톤/연)

한우	젓소	한육우	돼지	육계	산란계	오리	총계
61,561	147,730	7,424	326,916	79,194	65,411	4,110	692,236

주) 가축분뇨 발생량 : Σ (축종별 사육두수 \times 두당 분뇨 평균배설량)

2) 읍면별 분뇨단위 산출

여주군 읍면별 분뇨단위를 산출한 결과 가남면이 14,092MU로 가장 높았다. 가남면은 가축사육 두수가 많아 여주군 전체 가축분뇨 양분발생량의 25%를 차지한다. 이 지역의 가축분뇨를 100% 활용하면 화학비료 추가적인 투입 없이 지역순환농업이 가능할 것으로 보인다. 이 지역의 질소양분은 공급초과 상태로서 가축분뇨 배출 과다 지역을 보인다. 능서면, 홍천면, 북내면의 분뇨단위는 8,000MU를 조금 상회하였다. 반면 금사면, 신북면은 1,000 MU 이하를 매우 낮게 나타나 지역별 가축분뇨 발생량의 편차가 매우 크게 나타났다.

<표 7> 여주지역 지역별 읍면별 분뇨단위 산출

(단위 : kg)

지 역	한육우	젓소	돼지	육계	산란계	오리	합계
여주읍	520.6	208	1,632.7	1,058	971.7	58.8	4,449.8
점동면	636.4	827.2	1,737.8	1,076	150.1	-	4,427.5
가남면	1,249.5	2,412	4,494.0	832	4,708.4	396.6	14,092.5
능서면	568.4	520	3,946.4	1,389	1,943.4	79.0	8,446.2
홍천면	758.2	1,703.2	1,186.5	2,290	2,631.6	-	8,659.5
금사면	162.4	402.4	98.4	2.3	-	158.0	823.5
신북면	36	-	93.6	469	-	-	598.6
대신면	459	1,756	465.2	1,735	-	118.5	4,533.7
북내면	1,200	807	3,470.3	1,702	948.0	63.2	8,190.5
강천면	400	-	1,314.9	1,117	-	130.4	2,962.3
합 계	4,966.6	8,474.4	18,440	11,673	11,353	605.8	55,512.8

주 : 1) 분뇨단위 : (축종별 분뇨단위 \times 축종별 마리 수)

2) 질소기준 분뇨단위는 한우 0.36, 젓소 0.8, 돼지 0.105, 육계 0.0046, 산란계 0.0079를 적용함 (<표 4> 참조).

4. 읍면별 분뇨단위 산출에 의한 농경지의 N-부하량 평가

1) 축종별 합산 분뇨단위 기준

경지면적당 분뇨단위는 가축과 토양의 영양균형평가, 환경영향평가의 지표가 될 수 있다. 여주군의 농경지 면적은 17,270ha이며, 논이 10,356ha로 전체 농경지 면적의 60%를 차지하고 있다. 밭의 면적은 6,959ha로 40%를 차지하고 있다. 읍면별 경지면적은 가남면이 2,726ha, 대신면 2,539ha, 능서면이 2,343ha로서 여주군 10개 읍면 중 3개 면의 농경지 면적이 여주군 전체 농경지의 44%를 차지하고 있다. 기타 금사면, 신북면은 농경지의 면적이 가장 적다. 축종별 합산 분뇨단위를 농지면적에 나누어 산출하여 평가한 농경지 N-부하량(MU/ha)은 가남면의 경우, 경지면적이 2,726ha로 가장 넓었으나 분뇨단위는 14,092MU로 여주군에서 가장 높았고, ha당 분뇨의 N-부하량(MU/ha)은 5.2로 나타났다. 또한 북내면은 경지면적은 작은 반면 분뇨배출량이 많아 ha당 분뇨단위가 5.3으로 높았다. 가남면과 북내면은 질소양분이 공급초과 상태이므로 이 지역은 분뇨관리 대상을 고려해야 할 지역으로 평가된다. 흥천면의 MU는 4.6으로 비교적 높았으며, 능서면은 3.6으로 나타났다. 반면 금사면과 신북면은 1.2 이하 이하로 매우 낮게 나타나 가축분뇨를 통한 양분공급이 부족한 것으로 평가된다. 이와 같이 여주군의 지역별 분뇨단위, 즉 N-부하량은 편차가 매우 크게 나타났다.

<표 8> 여주군 읍면별 농경지 면적, 분뇨단위 및 ha당 분뇨단위

구 분	전(ha)	답(ha)	농경지 면적 합계(ha)	분뇨단위 (MU)	ha당 분뇨단위 (MU/ha)
여주읍	904	1,136	2,040	4,449.8	2.2
집동면	563	1,157	1,722	4,427.5	2.6
가남면	1,079	1,647	2,726	14,092.5	5.2
능서면	900	1,443	2,343	8,446.2	3.6
흥천면	653	1,247	1,900	8,659.5	4.6
금사면	339	402	750	823.5	1.1
신북면	237	274	511	598.6	1.2
대신면	1,098	1,441	2,539	4,533.7	1.8
북내면	580	970	1,550	8,190.5	5.3
강천면	550	639	1,189	2,962.3	2.5
합 계	6,903	10,354	17,259	55,512.8	3.2

주 : 1) 경지면적 ha당 분뇨단위 계산 = 분뇨단위(MU)/경지면적(ha)

2) 여주군 읍면별 농경지 면적은 여주군청 홈페이지 자료 활용

2) 액비 분뇨단위(liquid manure unit, LMU) 기준

외국과 달리 우리나라는 한육우와 닭의 분뇨는 퇴비 위주로 처리하여 타 지역으로 이동 살포가 가능한 특성이 있다. 그러나 액비는 수분함량이 높아 물류비 부담으로 대부분 지역 농경지에 살포하고 있다. 따라서 분뇨단위 적용 시 액비의 분뇨단위 설정이 우리나라 양분 부하량 평가에서 타당한 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 퇴비 위주의 가축분뇨를 처리하는 축종인 한육우와 닭을 제외하였다. 반면에 가축분뇨를 액비 형태로 처리하는 것소, 양돈분뇨를 위주로 평가한 액비 분뇨단위(liquid manure unit, LMU)를 도입하여 액비의 농경지 N-부하량을 평가하였다(<표 9> 참조).

액비의 농경지 N-부하량(LMU/ha)은 북내면이 2.76, 가남면이 2.53으로 다소 높은 수치를 보였다. 능서면의 LMU는 1.9로 나타났고, 점동면과 홍천면은 1.5 전후로 나타났다. 그 외의 지역은 1.0 부근 및 1.0 이하를 나타내어 가축분뇨액비 부하량이 낮았다. 특히 금사면과 신북면은 1.0 이하로 매우 낮게 나타났다.

독일에서는 주마다 분뇨에 대한 규제가 상이하다. 규제방법은 ha당 시용할 수 있는 분뇨의 시용 허용량(분뇨단위, DE)과 사육할 수 있는 가축수를 제한하는 것이다.²⁾

<표 9>의 결과로 볼 때 여주군의 북내면과 가남면은 액비 분뇨단위가 2.0~3.0 범위에 있으므로 액비의 경지면적당 수용능력을 초과한 상태로 판단되어 분뇨의 수급 불균형을 관리하는 정책이 필요하다고 평가된다.

3) 양돈액비 분뇨단위(pig liquid manure unit, LMU) 기준

우리나라에서 액비형태의 농경지 살포용으로는 양돈분뇨가 주종을 이룬다. 따라서 양돈 분뇨를 대상으로 돈분뇨 액비분뇨단위(pig liquid manure unit, PLMU/ha)를 산출하였다(<표 4> 참조). 돈분뇨의 농경지 ha당 N-부하량(PLMU/ha)은 북내면이 2.2(176kg N/ha/year)로 가장 높았다. 따라서 북내면은 양돈액비 공급이 농경지 수용능력을 초과한 지역으로 판단되어 양돈분뇨 액비 자원화 증대를 위한 타 읍면과의 공조체계의 분뇨관리가 필요한 지역이다. 양돈분뇨 분뇨단위에서 가남면과 능서면이 각각 1.65, 1.68로 나타났고, 점동면과 홍천면은 1.0 전후로 나타났다. 그 외의 지역은 1.0 내외를 나타내어 양돈분뇨에 의한 N-부하량이 매우 낮았다. 특히 금사면, 신북면은 0.2 이하로 매우 낮게 나타났다.

2) 독일 Nordrhein-Westfalen주는 연간 ha당 2~3비료단위(1.0 비료단위는 연간 질소 80kg 토양 환원), 즉, 160~240kg 이상의 분뇨시용을 금지하고 있다. 덴마크의 경우도 농경지는 2분뇨단위(160kg N/ha/year), 목초지는 3분뇨단위(240kg N/ha/year)로 가축사육을 규제하고 있다.

<표 9> 여주지역 읍면별 돈분액비 농경지 N-부하량

지 역	액비 분뇨단위 (LMU)	액비N-부하량 (LMU/ha)	돈분액비 분뇨단위 (PLMU)	돈분액비 N-부하량 (PLMU/ha)
여주읍	1,840.7	0.90	1,632.7	0.8
점동면	2,565.0	1.49	1,737.8	1.0
가남면	6,906	2.53	4,494.0	1.65
능서면	4,464.4	1.90	3,946.4	1.68
홍천면	2,889.7	1.52	1,186.5	0.62
금사면	500.8	0.67	98.4	0.13
신북면	93.6	0.18	93.6	0.18
대신면	2,221.2	0.87	465.2	0.18
북내면	4,277.3	2.76	3,470.3	2.24
강천면	1,314.9	1.11	1,314.9	1.11
합 계	26,914.4	1.56	18,440	1.06

5. 여주군 액비 살포면적 평가

액비 살포량은 <표 10>에서 보는 것처럼 2003년 1,900톤에서 매년 증가하여 2009년에는 30,000톤을 살포하여 여주군 전체 가축분뇨 발생량 692,236톤의 4.33%를 액비로 자원화 하였다. 여주군의 양돈분뇨 발생량 326,916톤 대비 9.18%를 차지하고 있다. 이는 여주군 액비 유통센터의 액비 살포량에 비취 매우 높은 수준인 셈이다.³⁾

<표 10> 액비살포 실적 및 평가

연도	액비수거 및 살포량					액비살포면적			
	축산 농가수	수거량 (톤)	살포량 (톤)	분뇨 발생량 대비 비율 (%)	양돈분뇨 대비 비율(%)	경종 농가수	살포면적 (ha)	농경지 대비 비율(%)	논면적 대비 비율(%)
2003	51	3,000	1,900	0.27	0.58	35	33	0.19	0.32
2004	50	6,000	4,220	0.61	1.29	30	92	0.53	0.89

3) 전국 액비유통센터의 가축분뇨 액비 살포량은 가축분뇨 발생량 대비 1% 내외이다.

연도	액비수거 및 살포량					액비살포면적			
	축산 농가수	수거량 (톤)	살포량 (톤)	분뇨 발생량 대비 비율 (%)	양돈분뇨 대비 비율(%)	경종 농가수	살포면적 (ha)	농경지 대비 비율(%)	논면적 대비 비율(%)
2005	50	5,000	4,000	0.58	1.22	36	68	0.39	0.66
2006	50	9,000	8,000	1.16	2.45	200	400	2.32	3.86
2007	50	20,000	6,200	0.90	1.90	400	300	1.74	2.90
2008	50	23,000	22,000	3.18	6.73	500	400	2.32	3.86
2009	50	30,000	30,000	4.33	9.18	600	600	3.47	5.79

자료 : 여주군 액비유통센터의 내부자료를 활용하여 재구성한 것임.

액비 살포지 면적은 2002년 33ha에서 2009년 1,754ha로 증대되고 있다. 2009년 액비 살포지 면적은 여주군 농경지 면적 17,270ha의 3.47%에 해당되며 논 면적 10,356ha의 5.79%이다.

IV. 결 론

경종과 축산의 분리에 따른 환경오염 심화, 축분뇨의 해양투기 금지, 축분뇨 처리비용의 절감 및 자원화, 경축순환 유기농업으로의 전환 필요성 등 시급한 과제를 해소하는 근원적인 방안은 바로 지역단위의 경축순환농업시스템을 갖추는 것이다. 지역순환농업을 위해서는 경종과 축산농업의 부산물에 대한 수급량, 그리고 그것의 비료량을 계산할 수 있는 기준이 있어야 한다. 이를 위한 기준이 바로 가축단위와 분뇨단위이다.

분뇨단위(Manure Unit, MU)는 축종별 양분 발생량의 객관적인 상호비교가 가능하게 하기 위하여 개발되었다. 가축분뇨 중 질소 함유량을 기준으로 축종간 가축단위를 적용하여 지역단위 양분평가 등 기초자료로 활용되고 있다. 본 연구에서는 우리나라 실정에 적합한 분뇨단위를 설정하기 위하여 액비분뇨단위(Liquid Manure Units, LMU), 양돈액비 분뇨단위(Pig Liquid Manure Units, PLMU)의 개념을 새로이 도입하여 순환농업의 환경관리 관점에서 가축의 종류에 따른 분뇨의 오염 증가물을 결정하는 가축분뇨 양분관리 정책에 활용의 자료를 제공하고자 하였다.

본 연구에서 우리나라 실정에 적용가능 한 분뇨단위를 도출하기 위하여 우리나라 가축 분뇨의 양분특성과 배출량의 연구자료를 토대로 분뇨단위를 설정하였다. 이를 여주군 지역에 적용하여 읍면별 분뇨단위를 산출, 농경지의 N 부하량을 평가하고, 가축생산과 경작지

를 연계한 경축순환농업의 적용 방안을 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연간 배출되는 축종별 질소 부하량은 한우에서 28.84kg, 젓소에서 63.5kg, 돼지 8.358kg이었고, 육계와 산란계는 각각 0.37, 0.63kg 배출되는 것으로 추정되었다.

둘째, 질소기준으로 축종별 연간 발생량을 토대로 산출한 분뇨단위는 한우 0.36, 젓소 0.8, 돼지 0.105로 환산되었다. 또한 육계와 산란계의 분뇨단위는 각각 0.0046, 0.0079로 설정하였다.

셋째, 농경지의 ha 당 액비분뇨단위(LMU/ha)는 북내면이 2.76, 가남면이 2.53으로 다소 높은 지수를 나타내었으나 금사면, 신북면은 1.0 이하 이하로 매우 낮게 나타났다. 액비 분뇨단위 결과로 볼 때, 여주군의 북내면과 가남면은 분뇨단위가 2.0~3.0 범위에 있으므로 액비의 농경지 수용능력을 초과할 만큼 액비 과다생산 지역이므로 분뇨의 수급불균형을 개선하는 양분관리가 필요하다.

넷째, 여주 지역별 액비의 공간적 공급량과 잠재수요량을 분석한 결과 액비의 공급지역은 가남면과 북내면이지만 액비의 수요지역은 가남면, 대신면, 능서면이었다. 가축분뇨의 발생량과 친환경적인 액비 시용기준의 설정을 고려 할 때 가남면과 북내면은 N-부하량의 농경지 수용능력을 초과 경계지역이므로 액비 과다상태를 파악·분석하여 지역의 양분관리 정책을 시행해야 할 것이다.

지금까지 여주군 사례연구 결과를 종합해 보면, 시군내의 읍면단위의 지역별로 N-부하량이 상이하므로 읍면별 분뇨단위 적용을 통하여 가축생산과 경작지를 연계한 지역순환농업 체계를 구축하고, 다음과 같은 방향에서 지역 축분뇨 양분관리방안을 수립하는 것이 필요하다. 첫째, 여주군내 축분뇨의 자원화를 극대화하려면 지역별 수급불균형을 해소하기 위해 가남면에 제2의 액비유통센터의 개소가 필요하다. 둘째, 축분뇨의 처리는 농가단위로 양분관리의 차원에서 적정하게 처리되어야 한다. 이를 위해서는 농가 및 지역별로 허용 분뇨단위(MU)를 제정, 이를 기준으로 전문적인 관리를 해야 한다.

앞으로의 연구과제는 본 연구에서 나타난 각종 축분뇨 정보를 이용하여 지역 내에서의 순환농업을 위한 양분수지(Nutrient budget of circulating agriculture) 균형모형을 구축하는 것이다. 토양-작물-가축연계 시스템(The soil-crop-animal linkage system)을 통해 환경부하를 평가하고, 이를 축산분뇨 정보은행을 통해 DB를 구축하여 농가가 쉽게 양분관리를 하는 방안을 제시하는 것이다.

[논문접수일 : 2012. 2. 20. 논문수정일 : 2012. 3. 17. 최종논문접수일 : 2012. 3. 25.]

참 고 문 헌

1. 고한중·최홍립·김기연. 2005. 질소 동위원소비를 이용한 관행농업과 유기농업에서의 질산태질소 오염원 구명. 한국동물자원과학회. 한국동물자원과학회지 47(3).
- 2.곽정훈·최동윤·김재환·정광화·박치호·정만순·한명석·강희설·라창식. 2009. 슬러 리 돈사에서 슬러리 발생량 및 주요성분 재설정 연구. 축산시설환경학회지 15(2).
3. 김창길·김태영. 2004. 지역단위 농업생태계의 물질균형 분석. 농업경제연구 45(4).
4. 김창길·신용광. 2005. 지역단위 양분총량제 도입 세부 시행방안. 한국농촌경제연구원.
5. 농림부. 2005. 축산환경시책 및 기술교육 자료.
6. 농림수산식품부. 2011 농림수산식품 주요통계.
7. 농촌진흥청. 2008. 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정 연구.
8. 동국대학교. 2006. 자연순환형 유기농업 표준모델 개발. 농림부.
9. 손상목. 2001. 유기작물재배의 이론 및 핵심기술-독일을 중심으로. 한국유기농업학회지.
10. 여주군청 홈페이지(<http://www.yj21.net>).
11. 유덕기. 2002. 가축분뇨자원화를 위한 공동조직운영 모델개발에 관한 연구. 농림부.
12. 윤성이·박선호. 2009. 자원순환형 농업단지 조성방안에 관한 연구. 농업경영정책연구. 36(1).
13. 이주삼·최덕천. 2011. 소규모 경축순환농업을 위한 인증제도 개선 방안. 2011년 한국유기농업학회 하반기 학술대회 자료집.
14. 이지은·허승욱. 2009. 가축분뇨의 순환이용시스템 및 편익분석. 농업경영정책연구. 38(2).
15. 최동윤·최홍립·곽정훈·김재환·최희철·권두중·강희설·양창범·안희권. 2007. 홀스 타인 젖소 분뇨의 특성과 비료성분 및 오염물질 부하량 추정. 한국동물자원과학회 49(1).
16. Strauch, D. 1990. Dünger aus der Tierhaltung - ein Umweltproblem.
17. EU-Bio-Verordnung. 2008. VO (EG) Nr. 834/2007 und Nr. 889/2008.