

1. 서 론

가축분뇨는 자원화할 수 있는 한 유기질 비료로 이용하는 것이 경제적이다. 유럽의 양축농가들은 자급사료의 비율이 높아 자경 농경지를 토대로 돼지분뇨를 이용하고 있다. 돈사내에서 분뇨를 슬러리로 처리하면서 이러한 살포이

대로 호당 소유농경지가 작거나 거의 없어서 어려움을 겪고 있다. 또한, 논이 농경지 중 62%를 차지하고 있으나 가축분뇨의 이용은 아직 원활히 이루어지지 않고 있다.

가축사육두수의 꾸준한 증가는 분뇨생산의 과잉으로 이어지며 필연적으로 환경법규가 강화되면서 가축분뇨처리에도

특 집

돼지 분뇨처리, 돌파구를 찾아라!

덴마크, 네덜란드의 돼지 분뇨처리 실태



오 인 환 교수
(건국대학교 자연과학대학)

용체계는 더욱 발전을 하였다. (표 1)에는 각국의 농경지와 돼지사육두수에 관한 자료를 제시하였다. 단순 비교에서는 우리나라의 조건도 그렇게 나쁘지마는 않다는 것을 알 수 있다. 그러나, 유럽 국가들은 농가 호당 농경지가 30-40ha로 많아 슬러리의 이용이 용이한 반면에 우리나라의 경우에는 그 반

새로운 국면이 전개되고 있다.

덴마크에서의 분뇨처리는 수질 보호를 위하여 엄격히 규제되고 있다. 정책적인 인식도 1986년 이후 증가하여 분뇨사용을 통제하고 있다. 덴마크 농업에서 질소의 투입은 지난 200년동안에 20kg/ha에서 200kg/ha로 10배가 증가하였다. 이것은 화석연료 에너지원이 충분하기 때

〈표 1〉 경지면적과 돼지사육두수

(단위: 천ha, 천두)

	한국	독일	네덜란드	덴마크
총 면적	9,939	35,691	3,733	4,300
농경지	2,033	16,385	1,957	2,752
돼지사육두수	6,516	26,514	13,991	11,568

문이기도 하지만, 이 수치에서 간과할 수 없는 것은 농업생산물에 있어서 질소의 순 이용은 겨우 40kg N/ha로 그 나머지는 투입량의 80%는 손실로 간주되는 점이다. 주된 원인은 더욱 밀집화되고 있는 가축사육으로 인한 분뇨 이용에 연유한다.

현대는 생태적인 사회변혁, 즉 에너지 소비뿐만 아니라 질소 순환체계에서도 세심함이 요구되는 변환점에 처해 있다. 각국마다 초과생산에 대한 대책을 수립하고 있으며, 이에 축산 선진국의 상황을 살펴봄으로서 우리나라 가축분뇨처리의 방향 결정의 참고로 삼고자 한다.

2. 각국의 분뇨규정

네덜란드에서는 1987년에 분뇨규정을 제정하여서 유기질 비료의 시용에 있어서 이를 준수하도록 하고 있다. 가축분뇨의 질소함량은 경우에 따라서 변동의 폭이 심한 반면, 인산함량은 어느 정도 일정하기 때문에 인산을 살포량의 기준으로 삼고 있으며, 연차별로 살포량을 감소하는 4단계 계획을 수립하여 시행하고 있다. (표 2)에는 액비살포량의 감소대책을 보여주

〈표 2〉 네덜란드의 액비살포량의 감소단계

시 기	초 지		옥수수		기 타	
	kg/ha	비료단위/ha	kg/ha	비료단위/ha	kg/ha	비료단위/ha
1990.12.31까지	250	4.2	350	5.8	125	2.1
91. 1. 1~94. 12. 31	200	3.3	250	4.2	125	2.1
95. 1. 1.~99. 12. 31	175	2.9	175	2.9	125	2.1
2000년 부터			75~125 kg/ha 1.7 비료단위/ha			

※1 비료단위는 80kg의 질소 또는 60kg의 인산에 해당된다.

고 있다.

이러한 계획과는 별도로 인산으로 인한 염류축적이 되어 있는 토양에서는 더욱 적은 양을 살포하도록 별도로 정하고 있다. 그러나, 염류축적의 기준 등에 관하여는 아직 논쟁의 여지가 없는 것도 아니다.

덴마크에서는 사육규모에 따른 저장용량의 증명을 요구한다. 사육규모가 120 동물단위까지는 저장용량을 6개월로, 그 이상은 9개월의 저장용량을 시설하도록 하고 있다. 살포량은 양돈의 경우에는 1.7동물단위*/ha, 소의 경우에는 2.3동물단위/ha, 그리고 혼합축산일 경우

는 2.0동물단위/ha로 하고 있다. 살포시기에 관하여는 엄격하게 기간을 정하지는 않아 시용상에 여유를 주고 있다. 작물이 생육하고 있을 때에는 계절에 관계없이 살포할 수 있으나

작물이 생육하지 않는 겨울철에는 살포할 수 없도록 하고 있다. 암모니아의 손실을 최소화하기 위하여 살포한 후 12시간 이내에 경운작업을 하여야 한다. 또한, 적정하게 살포하고 있다는 증거로 양축농가로 하여금 살포일지를 작성하도록 하고 있다. (표 3)에는 각국의 최저저장용량을 나타내었다.

저장용량의 설정은 작물의 생육기간과 밀접한 관계에 있으며 위도가 50-60도로 높은 지역의 나라들은 겨울철이 긴 관계로 저장기간을 길게 잡으며 위도가 낮은 지중해 연안의 나라에서는 저장기간을 짧게

〈표 3〉 혼합분뇨의 저장용량 (개월)

	독일	덴마크	네덜란드
최저 저장용량	6	6 또는 9	4~6

잡고 있다. 토양과 수질오염 외에도 악취발생을 줄이고자 저장탱크에 덮개를 설치하도록 권장하고 있으며, 추가적인 저장 용량의 시설에 소요되는 경비는 정부가 보조를 하여 주고 있다.

(* 1동물단위란 2년 이상된 성우 한 마리를 뜻한다.)

3. 가축분뇨초과생산의 개념

네덜란드에서는 가축분뇨의 수급에 기초하여 초과생산에 대한 대책을 강구하고 있는데, 초과생산은 다음의 요인에 의한다.

- 수입에 의존하는 사료의 비중이 커지며,
- 축산물의 대부분이 수출되기 때문이다.

가축분뇨의 장기적인 순환체계에서는 분뇨의 일부분을 수출해야 된다는 것을 의미한다. 경우에 따라서는 운송거리가 멀어지고 국가간의 경계도 넘게 된다.

이러한 비료성분물류를 조절함에 있어서는 휘발성 질소 즉, 암모니아를 어떻게 취급하느냐 하는 것이 중요하다. 암모니아의 방출은 2000년까지 70%를 감소하는 계획을 세우고 있다. 덴마크에서는 질소배출 50%, 인배출 80% 감축을 목표로 정하고 있다.

현실적 대안은 종합적인 분

뇨완전처리와 축산농가에 있어서의 분뇨처리로 나누어 볼 수 있다. 이러한 배경에서 가축분뇨의 생산량과 초과생산에 대한 개념적인 내용을 살펴보고자 한다.

가축분뇨 초과생산은 분뇨생산량에서 지역적으로 사용가능한 분뇨량을 감한 차이이다. 계산은 단순하지만 실제에서는 복잡한 요인을 내포하고 있다. 우선 얼마나 많은 분뇨가 이용가능한가 하는 점이다. 분뇨이용에 대한 기준은 기본적으로 농업생산에 목적을 두거나 생태적으로 요구되는 최대 분뇨량이다. 1987년에 시행된 분뇨규정에는 면적에 대한 최대부하량을 정하고 있다 (표2참조). 이러한 규정은 과잉살포를 방지하기 위하여 설정되었으며, 초과량은 분뇨 완전처리시설에서 처리하든가 해야지 자국내에 살포되어서는 안된다.

두번째로 어떤 비료성분에 있어서 불균형이 되어 있는가이다. 네덜란드에서는 살포기준 성분으로 인산을 택하였으며, 그 이유는 질소와 비교하였을 때 휘산성이 극히 적기 때문이다. 질소는 단기적으로 환경에 부하를 준다. 특히, 인산은 단순한 처리방법으로도 분뇨의 유기물과 함께 추출되어 경작지로 운반, 이용될 수 있다.

이러한 방법은 부수적인 장점도 갖는데, 질소에 의한 지하수와 지표수의 부하를 감소하

는 것이다. 이렇게 분리된 분뇨에 대하여 초지에는 연간 최대로 50m³/ha, 농경지에는 그 절반인 25m³/ha가 살포 허용된다.

세번째로 분뇨발생량을 어떻게 계산하는가이다. 주어진 입지조건에서 가축당 비료성분의 발생은 거의 정확하게 알려져 있다. 분뇨량은 주로 수분함량에 의거한다.

더군다나 슬러리는 여러 층으로 형성되어 있기 때문에 법은 무엇보다도 가축분뇨생산의 기본적인 구조와 분뇨의 조성을 고려한다. 법규의 강화는 처리비용의 상승과 관계가 깊으며 엄격한 관리점검과 분뇨의 성분분석을 수반한다.

분뇨의 초과생산은 주로 해당지역의 상황에 의하여 좌우되는데, 세가지로 나누어 볼 수 있다.

- 개별 농장의 분뇨초과 생산: 이것은 생산량을 토대로 아주 정확하게 계산할 수 있다.

- 지역의 분뇨초과 생산: 초과생산의 규모는 분뇨생산량과 가축을 적게 사육하는 농가의 분뇨 필요성에 의하여 결정된다. 한 지역내에서 수급은 단순하며 분뇨완전처리에 대한 요구도도 적다. 이에 반하여 분뇨가 지역을 초월하여 이용된다면 운송거리가 멀어질 뿐만 아니라 분뇨의 생산자와 이용자와의 관계도 고려되어야 한다. 일반적인 시장경제원리에서와 같이 액비에 대한 정확한 품질기준이

〈표 4〉 네덜란드 남부지역의 분뇨초과량과 처리상황 (단위: ton)

	초과	반출	수출	처리
건조계분	488	-	78	410
생계분	379	379	-	-
돼지분뇨	5271	3632	-	1425
계 (1995)	6138	4011	78	1835
계 (1992)	3879	3512	85	281

삼투압 방식에서 발생하는 슬러지는 거기에 내포되어 있는 광물질과 함께 증발시켜야 하는 것이다. 그래야만 가축분뇨를 지역을 초월하여 유통할 경우의 요구조건을 충족시킬 수 있기 때문이다.

필요하다.

- 네덜란드의 분뇨초과생산:
네덜란드의 분뇨초과생산량은 국가경계선 안에서 살포되어서는 안된다. 이러한 분뇨는 고도의 질적 수준을 충족시켜야 한다. 특히, 잡초종자와 병원균의 전파를 막기위하여 위생적으로도 문제가 없어야 한다. 이러한 초과생산된 분뇨에 대한 완전 처리기술의 도입이 필요하다.

분뇨초과생산의 규모는 정책적인 결정상황과 상이한 입지 조건에 따라서 달라진다.

(표 4)에는 초과생산된 분뇨의 처리상황을 나타내었다.

4. 잉여분뇨에 대한 처리기술개발

네덜란드에서 개발되고 있는 슬러리 처리기술에 관하여 살펴해보겠다. 일반적인 공정으로 혐기성 처리, 슬러리의 고액분리, 호기성 처리로 크게 구분된다. (표 5)에는 고액분리기에 의한 분리효과를 나타내었다. 종합적인 처리방법의 선택에서는 우선 두가지의 질문이 제기된다.

〈표 5〉 고액분리기의 슬러리 분리효과 (g/kg)

	슬러리	고형물	액상물
건물	97	270	19
회분	31	77	11
N _{Kj}	7.4	11.8	3.8
NH ₄ -N	3.7	4.0	2.7
P ₂ O ₅	5.9	18.0	0.4
CaO	4.4	13.3	0.3
K ₂ O	6.7	5.5	5.3
Na ₂ O	1.0	0.8	0.8
중량(kg)	1195*	308	887

* 1000kg슬러리 + 195kg수분(응집제와 세척)

- 에너지 및 운전경비
- 대기오염물질의 방출

정책적인 입안은 분뇨처리에 서 처리수의 방류에는 결정적이다. 슬러리로부터 맑은 처리수를 얻어 방류하는 방법들도 개발 중에 있다. 맑다고 하는 뜻은 처리수를 직접 하천으로 방류하던가 또는 지역 하수처리장에 유입시키는 것을 의미한다. 여기에 필요한 시험이 아직 완성되지는 않았다. 예측할 수 있는 것은 역삼투압 방식으로 맑은 처리수를 얻을 수가 있다고 한다. 전제조건으로 슬러리 액상물은 철저하게 전처리가 이루어져서 이후의 운전에 지장이 없어야 한다. 그러나, 여기에도 문제가 존재하는 데, 역

물론 직접 축산농가에서 증발하는 방법도 시도되고 있다. 증발기의 응결수는 휘발성 요소를 함유하지 않아야만 허가를 얻을 수 있다.

최근에 시운전되고 있는 헬몬트 프로메스트의 분뇨처리기술은 두단계, 즉 슬러리에서 Biogas 생산과 액상물을 가능한 음압에서 증발하도록 함으로써 에너지 비용을 절약한다.

암모니아 외에도 분뇨는 악취가 많이 나는 휘발성 유기물질을 포함한다. 프로메스트에서는 혐기성 처리공정에 의하여 휘발성의 지방산이 거의 분해된다. 이후의 호기성 단계에서 암모니아는 질산염으로 바뀐다. 그 과정에서 잔류 유기물질이

산화된다.

분뇨처리의 또 다른 중요한 문제는 최종산물의 판매이다. 따라서, 시장개척에도 투자를 하고 있다. 결정적인 것은 퇴비효과에 대한 품질기준의 준수와 위생적으로 문제가 없어야 하는 것이다.

덴마크에서는 구조적인 전제조건 즉, 더욱 생태적인 면을 고려하여 개발하는 방향으로 진행되고 있다. 최근에 더욱 엄격해진

슬러리 규정에도 불구하고 농업은 비료성분 때문에 환경부하에 문제아로 여겨지고 있다. 새로운 정화시설들은 오수에 의한 환경부하를 감소하며 행정적인 규제조건을 충족하는데, 축산에서는 항상 그렇지 않다.

기술적으로는 슬러리도 일반적인 정화시설원리에 의하여 처리할 수 있다. 그러나 야기되는 비용은 덴마크농업의 형편으로는 감당할 수 없다. 슬러리는 일반적인 오수보다 60배나 많은 질소를 포함한다. 일반적인 오수처리원리에 의하여 슬러리를 처리하면 수계의 부하는 줄일 수 있지만, 그 과정에서 탈질화된 질소는 환경보존의 측면에서는 큰 손실이 된다.

덴마크에는 10여개의 Biogas 시설이 설치되어 있으며 Biogas 시설에서 슬러리의 처리는 지표수와 지하수에 대한 질산염



부하가 적다. 왜냐하면 유기적으로 결합된 질소의 대부분이 무기물화 되고 작물에 의하여 직접 흡수되기 때문이다. 물론 Biogas시설에서는 질소의 손실이 많이지는데, 그 이유는 가스화된 후의 슬러리에 암모니아 함량이 높으며 생슬러리보다 pH값도 높기 때문이다. Biogas시설로 슬러리의 살포를 개선할 수 있지만 생태적으로 강화된 질소순환체계에서는 Biogas공정만으로는 부족하다. Biogas분야에서 뿐만아니라 전반적으로 슬러리의 처리에서는 용적감소와 성분의 고농도화가 주된 목적이 된다.

1988년도에 시행되었던 개발 연구에서 가스화 단계를 거친 슬러리로 역삼투압방식에 의한 용적감소를 얻을 수 있었다. 가스가 추출된 슬러리를 40%의 고형물과 60%의 수분으로 분리하기 위하여 대규모의 시설

을 하였다. 운송비와 저장비용을 감소하기 위하여 수분은 직접 하천에 방류하도록 하였다.

1990년에 역삼투압방식은 운전공정에 문제가 발생하였으며, 몇차례 정상가동을 시도하였으나 현재의 판단으로는 역삼투압방식은 완전히 포기상대라고 볼 수 있다.

역삼투압방식에서 발생하는 슬러지 비료성분의 사용에 대한 경험이 거의 없다. 비료성분 중의 암모니움이 퇴비자급비료에 있어서의 암모니움과 같은 비료효과를 나타내는 것은 기대 가능하다. 그러나, 이러한 비료성분농축을 사용함에 있어서 살포손실이 많을 것이 우려된다. 역삼투압 방식은 슬러리의 질소 재이용에서 근본적인 생태적인 문제를 해결하지는 않으나 저장용량의 절약은 얻을 수 있다.

역삼투압방식이 현재까지 대

규모 시설로 시험한 유일한 공정이다. 진공압으로 증발방법, 벤토나이트로 응집, 지오라이트에 의한 이온교환 등의 방식이 시험되었고 상품화도 되었으나 Biogas시설과 연결된 것은 아니다. 진공압을 사용하든 사용하지 않든 증발방식은 에너지 소요가 많은 것이 결점이며, 암모니움의 휘산은 화학제를 필요로 하는데, 이것은 생태적으로나 농업적인 측면에서 바람직하다고는 볼 수 없다.

응집과 이온 교환방법은 방류수 수질까지 처리하지 않으며 비료가치가 없는 화학약품은 이온교환을 재생하기 위하여 필요하다. 슬러리의 액비이용에서와 같이 하나의 대상물 대신에 3~4개의 대상물을 얻게 되며 이것들은 모두 비료로 이용되어야 하는데 생태적인 측면에서 친화적으로 보일지 모르나 농업에서는 이렇다할 장점이 되지 않는다.

1990년대 초부터 N, P, K의 동시침전법을 개발하고 있다. 형성된 침전산물은 유기성분과 함께 침전되며 상등액은 방류수 수질까지 얻고자 하였다. 현재까지는 완전 자동화된 시험실 규모에서 작업을 하였다. 중요한 것은 방류수 가능한 처리수를 2가의 금속이온을 사용함으로써 얻을 수는 없다는 것이다. 성공의 열쇠는 공정기술상의 요구조건 외에도 경제적으로 또한 농업적인 한계조건을 충

<표 6> 국가간 액비살포용량의 비교 (톤/ha)

국 가	축 종	초 지	농경지
한 국	소	147 (2-3.5)	105 (2.5)
	돼지	40 (1.3)	19 (0.6-0.9)
독 일	소	42.5	
	돼지	30	
네덜란드	소	73	52
	돼지	30	21.6

족시킬 수 있는 금속이온의 혼합에 있다.

5. 결 론

가축사육의 증대로 인하여 야기되는 환경오염을 줄이기 위하여 규제가 강화되고 있으며 가축분뇨 초과생산에 대한 대책도 마련하고 있다. 우리나라의 경우에는 재활용의 범위를 확대하기 위하여 슬러리를 논에 액비로 이용하는 방안이 강구되어야 하겠다. 농업과학기술원의 벼 재배시험에 의하면 슬러리를 질소기준 150% 이용시에 거의 관행방법에 의한 수확량을 얻을 수 있었다고 한다. 이러한 사실은 슬러리의 논이용가능성을 시사해주고 있다. 액비이용에서 중요한 것은 살포기준으로 우리나라의 살포기준을 외국과 비교하여 (표 6)에 제시하였다.

독일의 경우에는 평균치인 총질소 200kg/ha (2.5비료단위)를 살포하는 것으로 네덜란드의 경우에 인(P)을 초지에는 175kg, 농경지에는 125kg을 살

포하는 것으로 하여 ha당 총살포량을 (표 6)에 나타내었다. 우리나라의 경우에는 축종에 따라서 차이가 심한 것을 알 수 있다. 환경부에서 제시한 살포량을 독일, 네덜란드와 비교하여 볼 때 소의 경우에는 2~3.5배, 돼지의 경우에는 초지에서 1.3배, 그리고 농경지에서는 0.6~0.9배 정도를 많이 살포하고 있는 형편이다. 예를 든 나라들은 수십년간 액비를 살포하고 있었으며, 우리나라는 이제 시작이기 때문에 많은 양을 살포하도록 책정한 것 같다. 그러나, 외국도 살포량을 계속 감소하는 추세에 있는 것을 감안할 때 축종간, 그리고 전체적으로 약간의 조정이 필요할 것으로 사료된다.

범 농가적인 차원에서 수급을 원활히 하는 방안이 마련되어야 하며, 퇴비나 액비에 대한 품질기준이 설정되어 유통질서를 확립하여야 한다. 전체적인 분뇨생산량을 면밀히 분석하여 지역별 또는 국가차원의 초과생산에 대한 대책도 강구하여야 하겠다.