

국내 및 유럽의 가축분뇨 현황과 관리방안 비교

고학윤^{1,2}, 김영희^{1*}

¹호서대학교 벤처대학원 융합공학과
06724 호서대학교 서울캠퍼스 서울특별시 남부순환로 2497
²(주)대성환경ENG
27850 충북 진천군 덕산면 신척산단4로 73

(2024년 8월 27일 투고; 2024년 9월 25일 수정본 접수; 2024년 9월 26일 채택)

Comparison of Domestic and European Union in Statues and Management Policies for the Livestock Excretion

Hak-yoon Go^{1,2} and Younghee Kim^{1*}

¹Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University
2497, Nambusunhwan-ro, Seocho-gu, Seoul 06724, Republic of Korea
²DAESUNG ENVIRONMENT Co., Ltd.

73, Sincheoksandan 4-ro, Deoksan-eup, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do 27850, Republic of Korea
(Received for review August 27, 2024; Revision received September 25, 2024; Accepted September 26, 2024)

요약

우리나라는 가축분뇨를 이용한 양분투입은 지속해서 늘어나 양분지수가 OECD 국가 중 가장 높다. 농경지 토양 및 농업생태계 보전을 통하여 지속가능한 농업을 추구하기 위해서는 합리적인 시비관리, 향후 축산폐수 처리 공정기술의 발전과 더불어 관련 법규 정비 등 종합적인 대책이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 해양투기 금지 이후 최근 10년간 (2012 ~ 2022년)의 통계자료를 바탕으로 가축분뇨 발생량, 처리현황을 조사하고, 국내외 가축분뇨 정책 동향을 조사하여 가축분뇨 처리방안을 제시하였다. 우리나라는 가축사육 농가당 사육밀도가 증가하는 추세로 그에 따른 가축분뇨 처리량도 증가하고 있으며, 퇴·액비화시설에서 앞으로도 가축분뇨 처리 기여율이 더욱 증가할 것으로 전망된다. 유럽국가들은 농업정책 및 지침과 국가별 운영으로 양분을 관리·규제하고 있으며, 재생가능한 자원을 이용하는 바이오가스 생산을 확대하는 추세이다. 본 연구에서 조사한 EU의 가축분뇨 관련한 정책과 바이오가스 산업 동향은 향후 국내 가축분뇨 처리량 증가에 대비한 정책수립 시에 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 가축분뇨, 처리량, 정책, 양분수지, 바이오가스

Abstract : South Korea has the highest nutrient balance among the OECD countries, and its nutrient input from livestock excretion is continuing to steadily increase. In order to achieve sustainable agriculture, South Korea urgently requires the implementation of numerous comprehensive measures, such as improved fertilization management, advancements in livestock wastewater treatment technologies, and the revision of related regulations. This study examines the generation, treatment status, and methods of livestock excretion management over the past decade (2012 ~ 2022), following the ban on marine disposal. Additionally, it reviews domestic and international policies regarding livestock excretion and proposes policy recommendations. The findings indicate that a rising density of livestock per farm has led to increased excretion production, and that composting and liquid fertilizer treatment play an increasingly significant role. In the EU, nutrient management and regulation are integrated into agricultural policies and guidelines, and there is a growing emphasis on expanding biogas production using renewable resources. The insights gained from livestock excretion policies and biogas industry trends in this study are expected to inform the development of domestic policies to address the projected increase in livestock excretion treatment demands.

Keywords : Livestock, Manure, Excretion, Policy, Nutrient balance, Biogas

*To whom correspondence should be addressed.

E-mail: yhkim514@hoseo.edu, Tel: 82+ 2-2059-2354, Fax: 82+ 2-2055-1405
<https://doi.org/10.7464/ksct.2024.30.4.365> pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

우리나라는 ‘런던협약 1972’가 발효(2006.3.24)됨에 따라 2012년부터 축산폐수의 해양투기가 전면 금지되어, 1997년부터 14년간 해양에 배출되었던 축산폐수는 2012년 1월 1일부터 개별 처리시설, 공동 자원화시설, 공공처리장 등에서 전량 처리되고 있다. 과거에는 하수 슬러지와 축산폐수가 해양투기량의 약 24%를 차지했으며, 특히 2011년 11월 한 달 동안 360호의 농가에서 약 6만 톤(1일 2,000톤, 돼지 40만 두 분)의 축산폐수가 해양에 투기 되었다[1]. 가축분뇨란 관리대상 가축인 소, 돼지, 닭, 말, 젖소, 오리, 양, 사슴 및 개 등 총 9종의 동물이 유·무기 사료를 섭취한 후 소화기관 내에서 이용되지 아니하고 각종 장 내용물 등과 함께 체외로 배설된 유기성 물질을 말하는데[2], ‘가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률(약칭: 가축분뇨법)’에 따르면 이러한 분뇨 이외에 가축사육과정에서 사용된 물을 포함하여 가축분뇨라 정의하고 있다[3].

과거에는 가축분뇨를 단순한 오염물질로 인식하고, 청소수와 혼합된 형태의 ‘축산폐수’로 간주하는 관점이 지배적이었으나, 최근 들어 환경에 대한 인식 제고와 에너지 정책의 변화에 따라, 가축분뇨를 ‘자원화’할 수 있는 긍정적인 폐자원으로 인식하게 되었다[2]. 가축분뇨 자원화 방법은 크게 퇴비, 액비, 바이오에너지 생산 등 3가지로 분류할 수 있다.

최근 정부는 유기성 폐자원(하수슬러지, 분뇨, 가축분뇨, 음식쓰레기 등)의 바이오가스화를 촉진하기 위해 ‘유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법’을 제정(2022.12.30.)하였으며, 이를 통해 유기성 폐자원에서 생산할 수 있는 바이오가스의 최대생산량을 기준으로 공공 및 민간 부문에 각각 2025년과 2026년부터 생산 의무 목표율이 부여될 예정이다[4,5]. 바이오가스는 미생물 등을 이용해 하수 슬러지·동물의 분변과 같은 유기성 폐기물을 분해할 때 만들어지는 수소, 메탄과 기타 가스들을 의미한다.

축산농가들이 설치한 가축분뇨 처리시설은 퇴·액비화 등 자원화 시설이 대부분을 차지하고 있으며, 축산폐수를 침전, 분해 등의 방법으로 처리 후 방류하는 정화방류시설은 미미한 실정이다[2]. 2022년 기준으로 총 가축분뇨 처리량의 67.5%는 퇴비화, 16.2%는 액비화, 15.7%는 정화방류로 처리되었다[6]. 축산폐수는 고농도의 유기물질, 질소·인 성분, 부유물질을 다량 함유하고, 배출수의 수질 및 유량 변동이 심한 특성으로 적절한 부하량 산정이 어려워 표준화된 처리방법을 적용하기 어려운 실정이다[7-9]. 축산폐수의 성상은 다양한 요인에 따라 달라질 수 있으며, 가축 종류, 분과 노의 분리 여부, 축사 청소수 및 희석수 용량, 소독, 깔짚 등의 첨가량 등이 축산폐수의 성상에 영향을 미치는 주요 요인들이다[10].

축산농가들은 매년 가축사육 두수 증가와 더불어 강화되는 가축분뇨 관리정책을 준수하는 데 많은 어려움을 겪고 있다. 가축분뇨 자원화 시설 중심의 관리정책이 수립되면서 단계적

으로 방류수 수질규제가 강화되어, 일부 농가에서는 고도처리 시설까지 설치해야 하는 상황이다[2,11]. 또한, 지역 주민들의 악취 발생 염려에서 기인한 공동자원화시설 설치 반대로 가축분뇨 자원화 시설 신·증설의 어려움[12-14]과 「가축분뇨법», 「하수도법», 「양분관리제», 「비료관리법», 「악취방지법», 「신재생에너지촉진법」 등 규제 강화[15]로 축산업의 지속가능성 제고를 위해서는 가축분뇨의 지속가능한 자원화 처리와 악취 및 폐수 등 2차 오염물질 제어가 필요한 실정이다. 축산농가에 있어 가축분뇨처리 비용은 매년 가축 생산비에 차지하는 그 비중이 더 커지고 있어, 새로운 기술적 접근(축산시설현대화, 악취 저감시스템 도입, 미생물 배양시설 활성화, 자원순환농업 활성화, 거점 액비저장소 설치, 집중형 오염지류 개선)과 함께 정책적 접근(광역통합 데이터베이스, data base, DB) 및 운영, 친환경 축산 인증제도 개선, 마을단위 가축분뇨 에너지화 시범사업, 경제성 개선, 분뇨 수거차량 도입, 수익금 환원으로 마을 소득 증대) 등 다각적인 노력이 필요하다[16]. 이에 대한 대안으로 축산폐수 공공처리장으로 유입 처리하는 방법이 대두되고 있으나, 공공처리시설의 방류수 기준을 충족하기 위해서는 기존 처리장의 설비 및 기술로는 어려움이 많아, 대부분 처리장이 하수처리장 연계처리방식으로 처리하고 있다(2022년 기준, 공공가축분뇨처리장의 연계처리 68개소, 단독처리 39개소)[17,18]. 하수처리장 연계처리의 경우에도 축산폐수처리장 방류수 중의 고농도의 질소, 인 성분으로 인한 처리 과부하를 방지하기 위해, 처리할 수 있는 질소와 인의 유입량을 10% 이내로 제한하고 있다[19].

우리나라는 가축사육 두수가 증가로 가축분뇨를 이용한 양분투입은 지속해서 늘어나 양분초과율이 더욱 높아질 것으로 예상하며, 농경지 토양 및 농업생태계 보전을 통하여 지속가능한 농업을 추구하기 위해서는 합리적인 시비관리, 향후 축산폐수 처리 공정기술의 발전과 더불어 관련 법규 정비 등 종합적인 대책이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 해양투기 금지 이후 최근 10년간(2012 ~ 2022년)의 통계자료를 바탕으로 가축분뇨 발생량, 처리현황을 조사하고, 국내외 가축분뇨 정책을 비교하여 정책 방안 제시를 목표로 하고, 본 연구는 향후 가축분뇨 처리량 증가에 대비한 효율적인 관리 정책수립에 기여할 것으로 기대한다.

2. 연구 방법

본 연구에 사용된 가축분뇨 통계자료는 ‘환경부 홈페이지(www.me.go.kr)-정보공개-사전정보공표[20]’에서 공표된 자료이며, 환경부에 공표되지 않은 2022년 가축분뇨 관련 통계자료 등은 국립환경과학원 전국오염원조사 2013 ~ 2022 (wems.nier.go.kr)[21]에서 추가로 확보하였으며, 2023년의 통계자료는 발간되지 않았다(2024.5.18 기준). 2012년부터 2022년까지 연도별 가축사육 축산농가수 및 사육두수, 가축분뇨 발생량,

처리량, 공공처리시설 운영관리 현황을 정리하였다. 2012년 자료의 경우, 환경부 홈페이지에 공표된 가축분뇨 발생량과 처리량[m³/d]이 일치하지 않아 통계분석에서 제외하였다. 본 연구에서는 2013년부터 2022년까지 조사 자료에서 가축분뇨 발생량이 처리량과 같음을 확인하여, 가축분뇨 발생량과 처리량이 같다고 전제하였다.

유럽연합(European Union: EU) 회원국의 가축분뇨 발생량은 FAOSTAT (food and agriculture organization of the united nations)에 공개된 2021년까지의 자료를 사용하였으며, 통계의 가축종류는 소(cattle), 돼지(swine), 닭(chickens)을 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 국내 가축사육 및 가축분뇨 통계 현황

3.1.1 국내 가축사육 농가수, 사육두수 현황 및 가축분뇨 처리량 현황

Figure 1에 2012년 이후 2022년까지 축산농가수 및 사육두수를 나타내었다. 총축산농가수는 증감을 반복하다 2020년부터 꾸준히 감소했다(전년도 대비 감소율 2020년: -1.8%, 2021년: -8.5, 2022년: -0.1%). 전년도 대비 감소율은 2022년에 최소 0.1%와 2013년 및 2015년에 최대 8.8%로 나타났으며, 증가한 해는 2014(0.4%), 2017(4.5%), 2019(0.6%)로 증가율은 미미했다. 총사육두수는 전년도 대비 대체로 2019년까지 증가(1.2 ~ 11.7%)하고 2020년 이후로 감소(0.2 ~ 15.4%)하는 추세를 나타냈으며, 2020년도에 큰 감소율(15.4%)은 코로나19로 인한 야외활동 및 소비위축 영향으로 추측된다.

Figure 2에 2013년 이후 2022년까지 가축분뇨 총처리량과 자가처리 및 위탁처리에 따른 가축분뇨 처리량을 나타내었다. 2013년부터 2022년까지 총 가축분뇨 처리량의 76.1%(2014년) ~ 82.5%(2016년)는 자가처리, 17.5%(2016

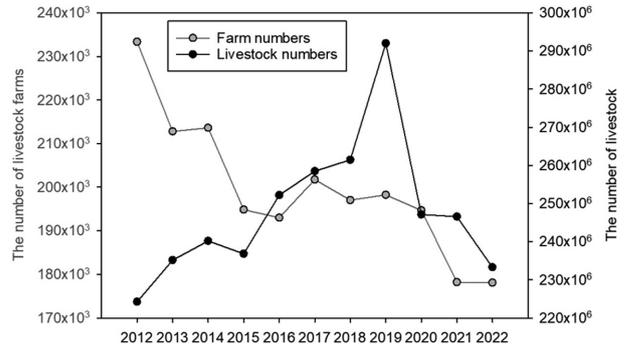


Figure 1. The number of livestock farms and livestock.

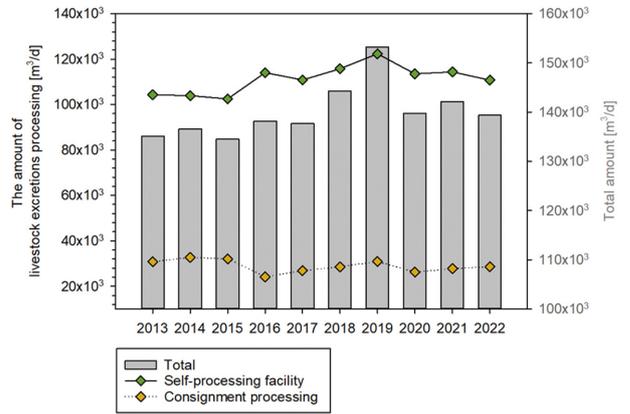


Figure 2. The amount of livestock excretions processing.

년) ~ 23.9%(2014년)는 위탁처리가 차지했으며, 2019년의 최대치 처리량 이후에 2020년에 감소하였으나 대체로 자가처리와 위탁처리는 각각 증가 및 감소하는 추세로 나타났다. Figure 3(a)에 가축분뇨 자가처리 및 Figure 3(b)에 위탁처리에 따른 처리방법별 처리량 비율을 나타내었다. 자가처리 소계에서 퇴비화시설이 2013년부터 2022년까지 85.9%에서 79.4%로 가장 큰 비율을 차지하고, 정화처리시설(2012년 5.39% → 2022년 10.62%)과 액비화시설(2012년 6.96% → 2022년 9.95%)의 처

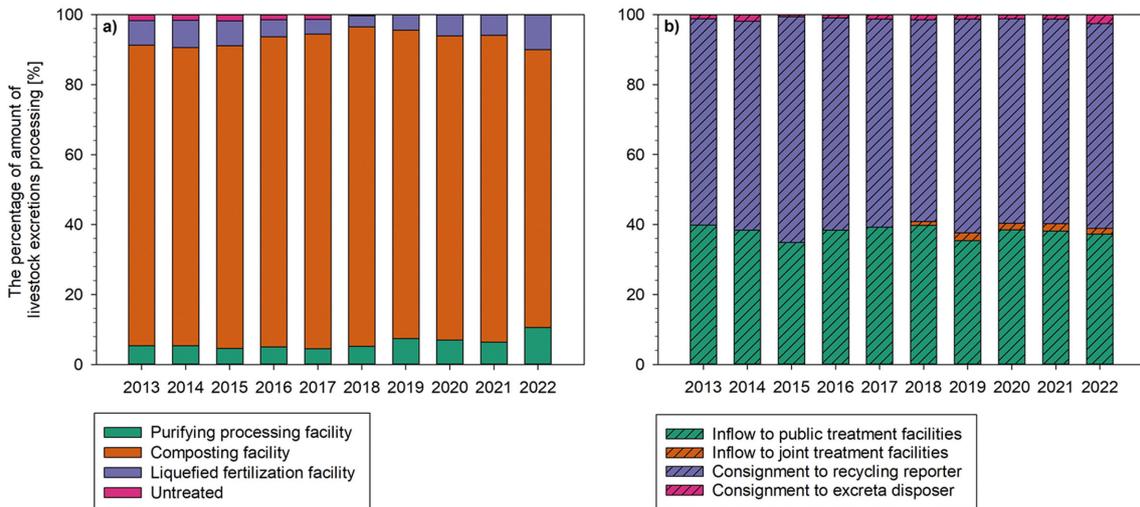


Figure 3. The percentage of amount of livestock excretions processing by self-processing a) and consignment-processing b) facility.

리량이 증가함에 따라 퇴비화시설의 처리량 비율이 감소하는 추세로 나타났다. 위탁처리 소계에서 재활용신고자에 위탁처리 비율이 57.6%(2018년) ~ 64.5%(2015년), 공공처리시설 유입처리 비율이 34.8%(2019년) ~ 39.9%(2013년)로 총 95% 이상의 처리율을 차지했으며, 공동처리시설 유입처리는 2018년 이후부터 집계되었으며 1.14 ~ 2.24%으로 분뇨처리업자에 위탁처리 0.64 ~ 2.54% 처리량과 마찬가지로 미미한 비율을 차지하였다.

3.1.2 국내 가축분뇨 공공처리시설 현황

Table 1에 가축분뇨 공공처리시설 개소, 처리공법, 처리방법, 시설용량 현황을 나타내었다. 가축분뇨 공공처리시설은 2012년 85개 이후 2022년까지 107개로 증설하는 추세이다. 이에 따라 시설용량도 2022년은 2012년 대비 155% 증가하고, 또한 자원화 시설용량의 통계집계를 시작한 2015년(1,208 m³/d) 대비 2022년에 2,458 m³/d로 2배 이상 처리용량이 증가하였다. 처리방식은 연계처리 및 단독처리가 각각 2012년 55개소, 30개소에서 2022년 68개소, 39개소로 많은 처리장이 하수처리장 연계처리방식을 채택하고 있으며, 이는 공공처리시설의 방류수 기준을 준수하기에 기존 처리장의 설비 및 기술로는 처리가 어렵기 때문으로 알려져 있다.

공공처리시설의 처리공법은 2012년에 연속회분식 반응조(Sequencing Batch Reactor; SBR)의 일종인 BCS공법(Bio Ceramic SBR), 액상부식, 기타처리인 멤브레인 생물 반응조(Membrane Bio-Reactor, MBR) 공법과 1차 호기성소화 - 2차 활성슬러지법을 개량한 B3으로 조사되었다. 2014년 BIOSUF (Biological Treatment with Submerged Ultrafiltration), HBR-II (Hammee Bio-Reactor), KHTS (Kist High Quality Treatment System)가 추가로 집계되었다. 2022년 기준 BSC가 31개소로 액상부식이 22개소로 총 107개소 중 약 50%를 차지하여, 두 공법이 공공처리시설에서 보편적으로 사용되고 있다.

BCS 공법은 바이오세라믹 담체를 포함한 SBR에서 생물학적 주처리 공정과 막을 이용하는 후공정으로 구성되어 있다 [22]. 구체적으로, 바이오세라믹 담체를 투입한 BCS 공법은 단일 반응조에서 유입, 반응, 침전, 배출, 휴지 단계가 1주기로 운전되며, 생물반응조 내에 해양성 규석과 화산재, 광석으로 이루어진 바이오세라믹을 원기둥 모양의 타워에 충전되어 반응조에 설치된다. 액상부식은 미리 조성된 부식액 중의 미생물에 의한 흡착 등의 작용에 의한 분자의 거대화와 가용성 유기물의 고형화를 유도하여 정화하는 생물학적 처리과정과 거대화된 분자 및 고형화된 유기물에 무기·유기 응집제를 첨가하여 전량 강제 고액분리를 실시하는 화학적 처리과정을 거침으로써 고농도 유기성 폐수(분뇨 및 축산폐수)를 처리하는 공정이다 [23]. 액상부식법은 호기성 소화법의 단점을 보완한 방법으로 액상 부식조에서 폭기와 교반을 통해 질산화 및 탈질화 공정을 반복 운전하여 기계식 고액분리를 통해 유기물을 제거한다. MBR 공법은 활성슬러지 공정과 분리막 기술의 장점을 결합하여, 일반활성슬러지 공정과 유사한 점이 많으나 기존의 활성슬러지 공정에서 침전조를 없애고 정밀여과막 또는 한외여과막 분리 공정으로 대체하여 막 단독으로 제거할 수 없는 저분자의 용존유기물질을 미생물이 분해 또는 균체성분으로 전환시켜 처리수 내 입자를 완벽하게 제거할 수 있는 복합공정이다 [24,25]. MBR 공정은 2차 침전지가 필요 없고 3차 처리인 모래여과 및 살균처리의 효과를 기대할 수 있을 정도로 뛰어난 수질을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한, 중력 침전을 이용한 슬러지의 고액분리로 침전지가 배제되어 반응조 내 미생물 침전을 고려할 필요가 없어 고농도의 미생물 부하를 수용할 수 있고, 대부분의 부유고형물을 제거할 수 있어 슬러지 침강성에 관계없이 안정적인 처리가 가능하다. B3 공법은 축산폐수의 유기물질과 영양염류 제거는 물론 질소와 인 제거를 목적으로 바실러스균(*Bacillus spp.*)을 선택 배양하고 우점화 후 이를 포자화 시킴으로써 포자와 슬러지의 침강성을 향상시킬

Table 1. Status of public processing facilities for livestock excretions in South Korea

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total numbers	85	88	94	98	98	98	100	103	108	106	107
Processing method	BCS	16	18	23	24	24	24	30	31	30	31
	BIOSUF	-	-	5	8	8	8	8	8	8	8
	HBR-II	-	-	5	7	7	7	7	7	6	6
	KHTS	-	-	5	6	6	6	6	6	5	6
	Liquid phase corrosion	18	20	21	23	23	23	21	21	23	22
	etc.	51	50	35	30	30	30	28	30	36	34
Processing type	Linked processing	55	57	60	63	63	66	68	69	67	68
	Single processing	30	31	34	35	35	34	35	39	39	39
Institution capacity (Composting capacity, m ³ /d)	13,735	14,580	15,308	15,558 (1,208)	15,558 (1,208)	15,558 (1,208)	16,013 (1,100)	20,173 (1,471)	21,053 (1,941)	21,173 (2,368)	21,233 (2,458)

BCS: Bio Ceramic SBR; BIOSUF: Biological treatment with submerged ultra-filtration; HBR: Hammee bio-reactor; KHTS: Kist high quality treatment system

뿐 아니라 유기물의 부하변동이나 외부조건 변화에도 대응성이 크며 *Bacillus* spp.의 취기성분 섭취능력으로 별도의 탈취시설이 필요 없으며, 탈수 슬러지의 농지 환원성이 높고 탈수된 슬러지케익은 퇴비의 좋은 원료인 장점이 있다. 그러나 미생물활성제를 지속적으로 공급해주어야 하며 *Bacillus* spp. 배양 기술 및 B3 활성제 공급에 고도의 기술이 필요한 단점이 있다. BIOSUF 공법은 활성슬러지를 관형 한외여과막으로 고액분리하여 항시 안정적이고 양호한 처리수를 얻는 수처리 공정으로 폭기조 내 미생물의 고농도 유지가 가능하므로 높은 BOD 제거효율을 가지며 특히 증식 속도가 느린 질화균의 고농도 유지가 쉽고 탈질 효율을 극대화할 수 있다[26]. 분뇨 및 축산 폐수처리시설에서 BIOSUF 공정을 이용할 경우 미생물 체류 시간을 길게 운전할 수 있으므로 질소 제거효율이 높을 뿐만 아니라 인과 COD 제거를 동시에 할 수 있는 공정을 추가하여 강화된 방류 수질 기준에 대처하기 용이하다. 표준활성슬러지 공법을 변형한 HBR-II 공법은 배양조, 혐기조, 간헐포기조, 침전조로 구성되며 반송슬러지를 일정량 배양조로 인발하여 토양 미생물로 배양 증식 후 혐기조로 반송함으로 침강성 및 탈수를 향상하며, 포기조는 간헐적으로 공기를 공급하는 간헐포기조를 활용하여 질소 및 인을 동시에 처리할 수 있다[27]. HBR-II 공정은 생물학적 처리공정에 부식도 성상의 펠렛(pellet)을 충전하여 토양미생물이 우점종으로 증식되도록 하여 악취 제거 및 침강성, 탈수능 향상으로 별도의 탈취시설 없이 악취 제거가 가능하며, 슬러지개량으로 슬러지 탈수능 및 침강성이 향상되어 안정적인 처리가 가능하고, 간헐포기로 호기 및 무산소 시간의 조절이 가능하여 유입부하 변동에 대한 대처가 용이하고, 내부반송으로 동절기에만 적용하여 시설 및 유지관리비 절감이 가능하다. KHTS 공법은 고농도 유기성 폐수인 축산폐수나 분뇨를 희석하지 않고 생물학적 처리와 후속 화학적 처리를 통하여 수계에 직접 방류 가능한 수준으로 처리하는 축산폐수 처리공정으로 전처리공정과 혐기발효조, 바이오마커(Bio-maker), 포기조, 무산소조, 침전조, 후속 화학적 응집처리공정으로 구성되어 있다. Bio-maker에서 활성화된 토착토양 미생물인 *Bacillus* spp.을 우점종으로 활성화시킨 후 포기조에 투입하여 유기물질 및 질소와 인의 제거효율이 우수하고, 토착토양 미생물의 적용으로 슬러지의 침전성이 우수하여 포기조 내에서 고농도의 활성오니(mixed liquor suspended solids, MLSS) 유지가 가능하다[24].

3.2 유럽의 가축분뇨 발생량 현황

유럽의 국가별 연간 가축분뇨 발생량 통계는 각 국가의 축산업 규모, 가축 밀집도, 그리고 관련된 환경 규제에 따라 다르며, 유럽에서 연간 발생하는 가축분뇨는 약 14억 톤으로 추정되고 있다[28]. Figure 4에 2016년부터 2021년까지 유럽국가와 국내의 가축분뇨 발생량을 비교하였다. 프랑스는 2021년 2.70억 톤의 가축분뇨가 발생하여 유럽에서 가장 많은 발생량으

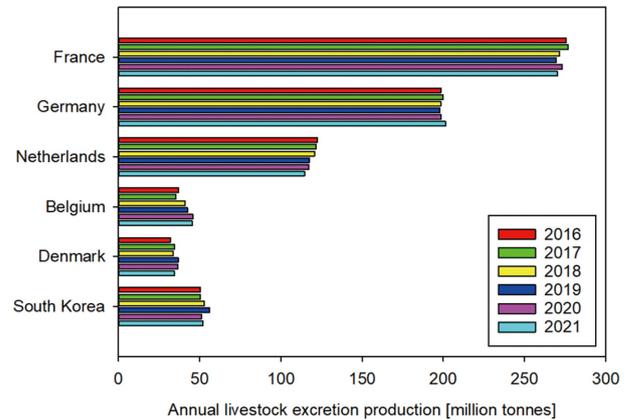


Figure 4. The annual livestock excretion production in the European Union and South Korea.

로 나타났고, 2017년에 2.77억 톤 발생한 이후 감소하는 추세로 나타났다. 독일은 프랑스 다음으로 2021년에 2.01억 톤 이상의 가축분뇨를 많이 생산하였으며, 네덜란드는 가축 밀집도가 높은 편으로 2021년에 1.14억 톤의 가축분뇨를 발생하였고, 이는 2016년(1.22억 톤) 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보인다. 벨기에와 덴마크는 2016년에 각각 3.7천만 톤, 3.2천만 톤에서 2021년에 각각 4.5천만 톤과 3.4천만 톤의 가축분뇨를 발생하여, 2016년 이후 증가하는 경향을 보였다. 우리나라의 가축분뇨 발생량은 2016년부터 2021년까지 연평균 5.2천만 톤(2016년 5.04천만 톤, 2017년 5.03천만 톤, 2018년 5.27천만 톤, 2019년 5.60천만 톤, 2020년 5.10천만 톤, 2021년 5.19천만 톤, 2022년 5.09천만 톤)으로 매년 5천만 톤 이상을 발생하고 있다. 2021년의 우리나라의 가축분뇨 발생량은 프랑스의 19.2%, 독일의 25.8%, 네덜란드의 45.3%, 벨기에의 114.5%, 덴마크의 151.7% 정도로 분포한다. Köninger 등[28]이 조사한 2016년부터 2019년의 유럽 연간 가축분뇨 발생량에 따르면 FAO 자료와 비슷하게 프랑스와 독일이 각각 연간 약 2.76억 톤 및 약 1.97억 톤 이상의 가축분뇨가 발생하였고, 그다음 가축분뇨를 많이 생산한 국가로 영국과 스페인이 각각 1.4억과 1.35억 톤, 네덜란드는 연간 7.3천만 톤, 벨기에와 덴마크는 각각 연간 약 4천과 3.5천만 톤의 가축분뇨를 발생량을 제시하여, FAO에서 추정된 네덜란드의 가축분뇨 발생량 수치와 차이가 있었다.

3.3 국내의 가축분뇨 관리 동향

3.3.1 국내 가축분뇨 관련 법 및 주요정책

국내의 가축분뇨에 관련 초기 법은 1961년에 제정된 「오물 청소법」이 시작이며, 가축분뇨 관리 개념은 1973년 가축사육제한 규정으로 도입되었다[29]. 1977년에 「비료관리법」 시행 및 「환경보전법」 제정과 1981년 「환경보전법」 개정으로 축산시설을 배출시설로 규제, 축종별 규모에 따른 배출시설 허가 및 방지시설 설치의무 부과되었다. 1987년에 「폐기물관리법」 제정으로 축산폐수정화시설 설치 및 신고 의무대상 범위를 규

정하였다. 1990년에 「환경보전법」은 폐지되고, 「수질환경보전법」이 제정되었다. 가축사육 규모에 따라 「수질환경보전법」과 「폐기물관리법」으로 분산되어 관리된 가축분뇨는 1991년에 제정된 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」로 허가 및 신고대상에 대한 가축분뇨 관리체계를 일원화하였으며, 기존에 관리되지 않던 신고미만의 소규모 축산농가의 가축분뇨에 대한 관리 개념을 도입하여 축산폐수공동처리시설 설치(제30조) 및 관리(제31조), 간이축산폐수정화조 설치권고(제33조)를 규정하였다.

농림수산식품부와 환경부는 가축분뇨 관리정책의 실효성을 제고하며, 2004년에 환경부와 농림축산식품부가 합동으로 가축분뇨 관리·이용에 관한 ‘가축분뇨관리 이용대책’을 수립하였다[30]. 가축분뇨 자원화를 통한 친환경축산과 적정 처리를 통한 하천수질 개선을 목표로 가축분뇨 발생 저감, 가축분뇨 퇴·액비 자원화, 생산된 퇴·액비 판매 활성화, 적정한 정화처리, 지역단위 양분총량제 도입이 논의되었다. 에너지 구조의 환경친화적 전환 및 온실가스 배출 감소를 위해 세계적 추세를 따라 가축분뇨의 자원화 관련 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」(약칭: 신재생에너지법)과 국민의 삶의 질이 향상에 따라 건강하고 쾌적한 환경에서 생활을 목적으로 한 「악취방지법」이 2005년에 시행되었다. 하수와 오수는 동일한 물질임에도 종전에는 그 관리체계가 「하수도법」과 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」로 이원화되어 있어 하수 및 오수처리시설이 중복으로 설치되거나 연계체계가 미흡한 점을 개선하기 위해 2006년에 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」을 폐지하고, 오수 및 분뇨는 「하수도법」에 통합시키고, 축산폐수는 자원화 개념 도입인 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」(약칭: 가축분뇨법) 제정하여 하수처리시설에서 처리한 물 자원을 재이용할 수 있는 제도적 기반을 마련하고, 하수처리구역에서의 개인하수처리시설의 설치의무를 단계적으로 면제하여 국민 불편사항을 해소하는 지속 가능한 축산업 정책이 추진되었다[3].

가축분뇨 해양배출 금지(2012.1.1.이후)에 대비하기 위해 친환경 축산환경 조성과 자원순환농업 및 현장 중심의 효율적 가축분뇨 지원체계 구축을 위한 관리 대책들이 수립되었다. 2007년 ‘가축분뇨 해양배출 감축대책’이 수립되었다[31,32]. 이에 따라 2012년까지 중규모 축산농가에서 발생하는 가축분뇨의 60%를 공공 및 공동처리시설에서 처리하는 것을 목표로 공공처리시설 유입대상과 중규모 이상 농가 지원을 위해 공동처리시설 지원을 확대하였고, 정화처리 중심의 공공처리시설을 지역 특성에 따라 자원화(퇴·액비) 시설로 전환하여 자원화 촉진 및 개별농가 간(축산농가 ↔ 경종농가) 유통체계 개선정책을 추진하였다. 2009년에는 가축분뇨에서 기인하는 온실가스의 감축과 화석에너지 및 화학비료 대체하고자 가축분뇨 바이오에너지화 실행계획이 수립되었다. 이를 위해 2020년까지 가축분뇨 공동자원화시설 150개소 중 에너지화시설 100개소

설치를 목표를 발표했으나, 공동자원화시설 설치실적은 당초 목표의 58.7%인 88개소, 에너지화시설은 당초 목표의 8.0%인 8개소에 불과했고, 가축분뇨 처리실적 역시 당초 목표인 연 550만톤의 59.3%인 326만톤에 불과했다(2022년 기준)[33]. 이에 한국농어촌공사는 2022년부터 민간형 가축분뇨 공동자원화시설 설치사업보다 사업부지를 확보하기 쉽고, 유지보수 지원을 통한 안정적인 사업 관리가 가능한 공공형 바이오에너지화시설 사업을 추진하고 있다.

2012년에는 가축분뇨 배출부터 최종처리까지의 관리체계 확립을 목표로 하는 ‘가축분뇨 관리 선진화 종합대책’을 수립하였고[34], 비점오염원인 가축분뇨 관리방안 마련을 위해 ‘제2차 비점오염원관리 종합대책’을 관계부처 합동으로 추진되었다[35]. 2013년에는 ‘중장기 가축분뇨 자원화 대책’을 수립하여 2017년까지 자원화율 91%, 공동자원화율 17% 달성을 목표로 공동자원화시설 150개소 설치, 에너지화 시설 21개소 설치, 액비유통센터 지원, 개별축산농가 정화시설 지원방안 마련 등의 사업을 추진하였다[11]. 이 밖에도 2014년 ‘지속가능한 친환경 축산종합대책’ 2016년 ‘제2차 물환경관리 기본계획’ 2017년 ‘깨끗한 축산환경 조성 추진대책’을 수립하였다.

환경부는 퇴·액비의 과도한 살포로 발생하는 비점오염원 배출부하량을 줄이고자 2021년에 양분관리제도를 도입하였고, 가축분뇨법 개정을 통해 양분수지 산정과 퇴·액비 최대 시비량 기준을 마련하였다. 양분관리제는 가축분뇨나 퇴·액비 등 비료 양분(인, 질소)의 투입·처리를 지역별 농경지의 환경용량 범위 내로 관리하는 제도로, 일정 범위의 농경지 등에서 발생한 양분의 투입량과 산출량의 차이인 양분수지를 관리하며, 이를 통해 농경지에 대한 양분의 과잉 투입 제어를 목표로 한다[36].

기후위기 대응 및 탄소중립 실현을 위해 2022년 「유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법」(이하: 바이오가스법) 제정되었으며, 이에 따라 유기성 폐자원별 회수, 생산계수, 과징금 감면대상 등 법률에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 기반을 마련하였다. 유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산을 촉진하기 위하여 매년 바이오가스 의무생산자와 바이오가스 생산목표율을 정해졌다. 공공은 2025년 50%를 시작으로, 2045년부터 80%의 목표가 부여되고, 민간 의무생산자의 생산목표율은 2026년 10%를 시작으로, 2050년부터 80%가 부여되었다[37]. 탄소중립 실현을 위해서는 이해관계자의 공동협력과 거버넌스를 통한 합리적인 의사결정으로 정책의 수용성과 효용성을 높일 수 있다[38].

2022년에 개정된 축산법 시행령에 따르면 한우·육우, 젖소, 돼지, 닭, 오리의 단위면적당 적정사육기준은 성장단계별로 다르게 규정하고 있으며, 한우·육우의 경우는 번식우, 비육우, 송아지가 m^2 당 방사식에서 각각 10, 7, 2.5두, 계류식에서 5, 5, 2.5두이다[39]. 우리나라의 가축분뇨 관리정책은 1961년 이후부터 폐기물처리, 수질오염방지, 비점오염원 관리, 기후위기

대응 및 탄소중립 실현과 같은 시대별 목표는 다르지만 지속 가능한 축산업 정책이란 큰 틀 아래에서 규제가 강화되는 추세이다.

3.3.2 유럽 가축분뇨 관리 동향

3.3.2.1 양분관리

EU 양분관리의 핵심 가이드라인은 1991년에 공표된 「질산염지침」(91.676/EEC)이며, 가축분뇨 및 비료를 농경지에 투입을 금지하는 기간을 설정하고, 가축분뇨 최대 허용량을 설정하여, 농업 과정에서 유출되는 질소를 줄여 수질오염을 줄이고 지하수의 질산염 오염을 방지를 목적으로 한다[40]. 가축분뇨 시비 기준은 일반적으로 최대 170 kg-N/ha/yr 및 22 kg-P/ha/yr이며, EU회원국 중 프랑스를 제외한 나머지 국가들은 농장에 대해 예외를 두고 초지나 사료 작물 재배에 대한 비율에 따라 가축분뇨의 최대 250 kg-N/ha/yr까지 투입을 허용하고 있다. 인산 또한 작물별·토양 특성별에 따라 시비 기준을 설정하여 관리하고 있다.

EU는 2050년까지 기후중립을 목표로 2019년 유럽 그린딜(European Green Deal)을 발표하였으며, 이를 위해 축산업의 지속가능성을 높이고 영양 과다로 인한 오염문제의 근본적인 해결을 위해 통합영양소관리행동계획(integrated nutrient management action plan)을 개발 및 축산농가 지역과 유기성 폐기물을 재생 가능한 비료로 재활용하는 지역에 지속 가능한 농업기법의 사용을 확대할 예정이다. 구체적으로는 환경에서의 영양 과다(특히 질소와 인)가 대기·토양·수질오염과 생물 다양성 감소를 야기함에 따라 2030년까지 비료사용 20% 감소 및 균형시비(balanced fertilisation)를 적용하며, 질소와 인 관리를 강화한다. 또한, EU는 새로운 공동농업정책(Common Agricultural Policy (CAP) for 2021-27)의 일환으로 농장에서의 영양분 사용을 관리할 수 있는 FaST(The Farm

Sustainability Tool for nutrient management)를 개발하여 농업 분야의 디지털화를 활성화한다[41]. Table 2에 「질산염지침」을 준수하여 양분을 관리하는 유럽의 가축분뇨 관련 규제 및 정책을 정리하였다.

덴마크는 가축분뇨에 의한 수질오염문제 발생에 따라 1985년 주변 환경을 고려하여 사육두수를 조정하고, EU의 「질산염지침(Nitrates Directive)」의 일환으로 축산농가의 가축사육 규모에 따라 최소한의 면적을 확보하도록 하는 ‘Harmony Rules (1998)’를 수립하였고, 2017년 헥타르당 가축 두수(livestock units per hectare, LU/ha) 제한에서 인과 질소로 규정된 헥타르당 분뇨 적용 비율(Direct Phosphorus Ceilings)로 변경하였다. 이는 지역 특성 및 축종에 따라 인 최대시비량을 설정하는 것으로, 일반지역과 취약지역(수질환경에 영향을 미칠 수 있는 농업지역 의미하며 총면적의 24%를 차지함)으로 나누어 설정하였다[15]. 2008년에는 「Consolidated Act on Livestock Farming Environmental Approvals」에 따라 가축사육 규모에 따른 사육 허가 및 승인을 규정하고 있으며, 다음 해인 2009년에 ‘NPo (Nitrogen, phosphorus and organic matter) Action Program (2009)’를 수립하여 가축분뇨를 퇴비로 활용하는 경우 질소 시비를 170 kg-N/ha, 70% 이상의 초지 및 사료작물 재배시 230 kg-N/ha로 제한하고 있다[39]. 토양에 적용되는 인 규제는 가축분뇨의 질산염양에 따라 제한하는 간접적인 방법으로 시행하다가 2017년 이후부터 직접적인 규제에 전환하여 30 ~ 35 kg-P/ha로 제한하고 있다[42]. 가축분뇨 비료를 활용하는 경우, 질소와 인 관리를 위해 덴마크 비료 계정(Danish Register of Fertilizer Accounts)에 등록하도록 하고 있다[41,43]. 또한, 1994년부터 도입된 질소쿼터 규제에 따라 농가가 질소쿼터 기준을 1 ~ 5 kg/ha 혹은 5 ~ 10 kg/ha 초과하면 위반사실을 단순히 통보받고, 10 kg/ha 이상 초과할 때는 최대 0.13유로/kgN의 벌금을 지불해야 한다[44].

Table 2. Comparison of regulation, tax, operation system between South Korea and EU countries

		Denmark	Netherlands	Belgium	Germany
Regulation	Livestock density [LU/ha] ^a	2.3 (cow) 5.1 (swine)	3 (cow)	0.35 to 0.5 ^d	4.5 (cow) 7 (hog)
	Limit to surpluses	170 kg-N/ha ^b 230 kg-N/ha ^c 30 ~ 35 kg-P/ha	170 kg-N/ha ^b 250 kg-N/ha ^c 24 ~ 52 kg-P/ha	170 kg-N/ha ^b max. 250 kg-N/ha ^c 17 ~ 41 kg-P/ha	170 kg-N/ha ^b 230 kg-N/ha ^f up to 9% of the soil yield [kg-P/ha]
Tax	Fine for farm of excessive manure production	Max. 0.13€/kg-N	9.1€/kg-P	1€/kg-N, 1€/kg-P	-
	Carbon tax	2030 ~	-	-	-
Operation	Nutrient digital system	2000 ~	1998 ~ 2005	-	2017 ~
	Manure banking system	-	1987 ~	1988 ~	-

Ref.: data from [40-45,53]

^a: livestock units per hectare; ^b: other crops; ^c: growing more than 70% of grassland and feed crops; ^d: in order to allow tree regeneration in the developing mosaic vegetation during the first 5 ~ 10 years after the end of the previous agricultural use; ^e: legumes 0kg-N/ha, low-nitrogen required crop 125 kg-N/ha, feed crops 200 ~ 250 kg-N/ha; ^f: grassland (grazing and harvesting 3 ~ 4 times)

네덜란드는 양분관리를 위해 가축분뇨 발생량이 많은 축산 농가의 가축분뇨를 부족한 다른 지역에 분배하여 경종농가와 연결해 주는 ‘분뇨은행제도(1987년)’, 시장에서 사육권 거래를 통해 사육두수를 조정할 수 있도록 하는 ‘사육권 거래제도(Tradable Manure Production rights)’, ‘인 배출량 상한제도(Levy-Based Cap on Farm-Level Phosphate Production)’, 양분 과잉공급 방지를 위해 질소·인 정보를 등록하는 ‘양분회계시스템(Mineral Accounting System, MINAS)’, 축산농가의 사육두수 제한(2016년) 등을 도입하였다[29,41]. 특히, MINAS의 인 배출량 상한제도(1987 ~ 1998)로 가축분뇨로 인한 인산을 125 kg/ha P₂O₅ 보다 초과해서 생산할 경우에 과징금을 부과하였으며, 1998년 MINAS (1998 ~ 2005년) 이후는 양분 과잉공급을 방지하기 위해 가축분뇨뿐만 아니라 화학비료를 포함하여 농가에서 발생하는 모든 질소·인에 대한 유입 및 유출을 등록하는 양분회계시스템을 토대로 초과 양분에 대한 과징금을 산정하며, 부과금은 인산 1 kg당 9.1 유로로 다른 유럽국가보다 높은 편이다[44]. 그러나, MINAS가 EU 범무청으로부터 「질산염지침」을 위반하는 제도로 판정(2003.10.2.)에 판정됨에 따라 폐지되고, 2006년부터 작물과 토양에 관한 질소비료 기준을 적용하는 새로운 비료정책(New fertilizer policy, NFP)으로 전환되었다[45]. 2024 ~ 2017년 개정안에 따라 목초지 농장은 특정 조건에서 연간 250 kg-N/ha까지 비료사용이 가능하다.

벨기에의 양분관리는 1988년 설립에 설립된 녹지공간의 파트너(Vlaamse Landma atschappoj, VLM)이 담당하며, 핵심적인 업무로 농촌개발과 비료정책, 토지개발, 비료은행이 있다[44]. 가축분뇨은행(Manure Bank)에서 양축농가의 신고 및 등록, 축분퇴·액비의 유통, 부과금 부과와 행정상 과태료 수급, 보상금 지불, 통제와 감시, 허가권, 환경관리 업무 등을 담당한다[40]. 또한, 주정부별로 환경 관련 정책을 시행하고 있으며, 특히 가축사육이 많이 이루어지고 있는 플랑드르 지역에서는 ‘Manure Decree’로 가축분뇨의 지역 간 이동을 허용하고, 축산농가와 가축분뇨 사용자, 수입업자에게 가축분뇨 처리 의무를 부과하고 있으며, 분뇨은행에서는 가축분뇨 내 질소 처리량에 따른 가축분뇨 처리 인증서(MVC’s: manure processing certificates) 발급과 축산농가의 양분배출권(NER-D: Nutrient Emission Rights)을 허가해주고, ‘Manure Action Plan’ 등을 통해 질산염 및 가축분뇨를 관리하고 있다[41]. 벨기에도 농지 면적 대비 과도한 가축분뇨를 생산하는 농가에게 과징금(1kg의 인산과 질소당 1유로)을 부과하고 있다[44]. 시비 기준에 관련해 농민들은 고정시스템(fixed system)과 양분수지시스템(nutrient balance system)의 두 가지 시스템 중에서 선택할 수 있고, 고정시스템을 선택하면 농민들은 법에 규정된 시비규정을 따라야 한다. 벨기에의 가축분뇨 질소 투입기준은 콩과작물, 질소요구도가 낮은 작물, 기타작물, 사료작물 재배할 때, 각각 0 kg-N/ha, 125 kg-N/ha, 170 kg-N/ha, 200 ~ 250 kg-N/ha로 연간 250 kg-N/ha까지 적용할 수 있으며, 기타작물 재배

시의 가축분뇨 기준은 EU 질소지침과 동일하다[40]. 벨기에는 덴마크, 네덜란드, 독일과 마찬가지로 사육두수의 총량을 ha 당 두수(LU/ha)로 밀도 단위로 규제하고 있으며, 특히 초목 재생을 위해 이전 농경지 사용 후 첫 5 ~ 10년 동안 0.35 to 0.5 LU/ha로 강력하게 규제하고 있다[46].

독일은 EU의 「질산염지침」을 준수하여 2017년 ‘비료법(Fertiliser Act)’을 수정 및 ‘비료법령(Fertilisation Ordinance (DüV: Düngverordnung))’을 시행하여, 가축분뇨에만 170 kg-N/ha로 제한했던 기준을 모든 유기 기질에 적용하였다(가축에 의해 퇴적된 것과 바이오가스 소화액을 포함)[41]. 또한, 초지(방목 및 3 ~ 4회 수확)을 재배할 때의 가축분뇨 질소 투입기준은 230 kg-N/ha이며, 인산은 토양산출량의 9%까지 시비로 규제하고 있다[40]. 2020년부터는 3 LU/ha를 초과하는 농장이나 소유하고 있는 농지가 없는 축산농가는 가축분뇨를 최소 9개월 보관할 수 있는 저장시설이 필요하다[29]. 토양진단을 질소는 연 1회, 인산 및 칼륨염(칼리)는 1회/3년 수행하며, 양분관리를 위해 면적이 10 ha 이상인 농장은 의무적으로 양분 수치 데이터(nutrient data)를 기록하도록 하고 있으며, 양분수치 데이터는 토양의 질소량과 산정방법, 비료의 질소 및 인 함유량과 산정방법, 슬러리 및 액비 암모니아성 질소 함유량 등에 관한 정보를 기록한다[47].

3.3.2.2 에너지 분야

EU 회원국은 ‘재생에너지 지침(Renewable energy directive, Directive 2009/28/EC)’, 이에 따라 가축분뇨 등 재생가능한 자원을 이용하는 바이오가스 확대 지원정책을 추진하고 있다. ‘재생에너지 지침’의 공식명칭은 ‘재생자원에서부터 만들어진 에너지 이용의 촉진에 관한 지침(Directive on the promotion of the use of energy from renewable source)’이며, 과거 ‘바이오연료 지침(Directive 2003/30/EC)’ 하에서 각 회원국들은 바이오연료 사용 기준(5.75%)를 자발적으로 준수했지만, ‘재생에너지 지침(Directive 2009/28/EC)’ 하에서는 각 회원국들이 10%의 사용 기준을 의무적으로 준수해야 한다[48].

EU의 바이오가스 생산시설은 크게 3종류로 분류되며, 첫째는 폐기물 매립지에서 자연적으로 생성되는 메탄가스(CH₄, 바이오가스의 45 ~ 75%를 차지) 수집, 둘째는 도시의 오수 및 폐기물 처리시설에서 부차적으로 생산되는 바이오가스, 셋째는 농업과 임업부산물, 에너지작물, 축산분뇨 등을 혐기성 발효시켜 바이오가스를 대량생산하는 시설이다. 또한, 바이오매스를 다양한 방식으로 발효시켜 대량생산하는 다단계 바이오가스 소화기(multi stage biogas digester)도 있다[49]. 영국, 프랑스, 이탈리아 및 스페인은 매립지 대량 생산이 많고, 독일, 네덜란드, 벨기에, 덴마크, 체코, 오스트리아는 대량 생산시설을 통한 생산량이 많다. 특히, 독일은 유럽 내 바이오가스 플랜트 용량의 1/3을 차지하고 있어, 유럽의 바이오가스 산업을 주도하고 있다[50].

EU 회원국에서 바이오가스를 가장 많이 생산하는 국가인 독일은 1991년에 재생에너지 관련 법을 시작하여 2000년 이후 「재생에너지법(Renewable energy source act, EEG)」 시행 및 개정을 통해 가축분뇨 및 유기성 폐기물의 바이오에너지 산업 활성화를 위해 바이오가스 운영 지원 중심의 기술보급 및 인센티브 지원정책을 통해 전 세계 바이오가스화 기술을 선도하고 있다[51]. 재생에너지법에 따른 ‘발전차액지원제도(Feed-in Tariff, FIT)’ 도입으로 발전사업자에 대한 지원 덕분에 바이오가스 플랜트 수는 매년 150 ~ 300개의 바이오가스 플랜트가 신설되었고, 이후 열병합, 바이오가스 고질화 등에 대한 추가 보너스가 도입된 2009년부터는 매년 1,000개 이상이 신설되었다. 또한, 2009년 가축분뇨(30% 이상)를 사용하여 바이오가스를 생산하는 경우 추가보너스 제도가 도입되면서 바이오가스 플랜트에서 가축분뇨를 활용한 전력 생산도 증가하였다[29].

덴마크는 연 300 ~ 1000 t에 달하는 대규모 바이오가스화 시설이 전국적으로 190여 개가 분포하고, 국가 전체에서 사용하는 도시가스의 20% 이상을 바이오가스로 대체하고 있으며, 2035년까지 도시가스 100%를 바이오가스로 대체를 목표로 하고 있다[52]. 또한, 덴마크는 가축분뇨의 약 10%를 에너지 생산에 활용하고 있으며 2020년까지 가축분뇨 50%를 그린에너지로 처리하는 것을 목표로 농업과 에너지 정책의 통합하고, 재생에너지 및 운송연료 등으로 활용하는 것을 목표로 바이오가스 활용 용도에 따라 다양한 지원금과 각종 보조금을 통해 재정지원을 하고 있다. 또한, 덴마크는 세계 최초로 농업 분야에 ‘탄소세’를 도입하여, 2030년부터 농가에서 배출되는 이산화탄소 1 t당 300크로네(약 6만원)의 세금을 부과할 예정이다 [53].

네덜란드 정부는 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준 대비 49%, 2050년까지 95% 감축하고, 2050년까지 전체 전력량의 100%를 지속가능한 에너지로 조달하는 로드맵을 선보였다. 네덜란드에는 약 260개의 바이오가스 플랜트가 있으며, 약 4 TWh의 바이오가스를 생산하고 생산된 바이오가스의 78% 이상 열 및 전기에너지에 이용되고 있다. 2021년에는 네덜란드 최초의 바이오-LNG 공장을 가동하여, 바이오가스를 바이오-LNG로 재처리하여 LNG 충전소에 제공된다. 연간 3.4 kt의 바이오-LNG(1,300만 킬로미터의 도로 주행에 충분한 양)가 생산돼 14.31 kt 이상의 화석 CO₂ 배출을 막을 수 있을 것으로 기대된다[54].

벨기에에는 바이오가스를 통해 전력을 생산하는 바이오가스 시설에 녹색인증서(Green Power Certificates, GPC)를 지급하며, 인증제도는 전력 및 열 생산자에게 지급하는 인증서와 전력공급자의 인증서 의무구입으로 구성되어 있다. 특히, 플랑드르 지역은 전력공급자에게는 GPC와 열병합발전(Combined heat and power, CHP) 인증서 할당량이 부과되며, 재생가능한 자원을 활용하는 전력 생산자 및 CHP를 통해 열을 생산하는 생산자에게는 1 MWh당 각각 1개의 GPC와 CHP 인증서를 지급한다[29].

3.4 지속가능한 가축분뇨 관리방안

유럽국가들은 우리나라와 마찬가지로 가축분뇨를 대부분 농업 비료로 사용하고, 약 90% 이상이 유기 비료로 농지에 직접 살포하거나 퇴비화, 액비로 재사용되며, 혐기성 소화 시스템을 통해 바이오가스 생산에 활용되고 있다[28]. 우리나라의 가축분뇨 관련 주요정책은 사육두수 제한을 꼽을 수 있으며, EU 회원국의 양분관리 제도는 앞서 제시한 바와 같이 국내에서 시행되지 않은 양분총량제한, 양분관리 전산화, 양분초과 부과금, 분뇨은행, 양분배출권 등이 있다. EU에서 가축분뇨 처리를 위해 실시하고 있는 농도 규제, 양분총량제, 사육두수총량제, 사육권 거래제와 같은 정책의 특징을 요약하여 Table 3에 제시하였다. 농도 규제는 대부분 국가에서 방류수 수질규제로 시행하고 있으며, 최소의 비용으로 큰 경제적 효과를 얻을 수 있고, 집행이 용이한 장점이 있으나, 가축분뇨에 의한 양분관리를 근본적으로 제어하는 데 한계가 있다. 지역단위 양분총량제는 양분 유입과 유출을 종합적으로 파악해 해당지역의 환경용량에서 수용가능한 정도를 관리하기 위한 제도이다. 또한, 양분총량제는 비료사용량과 분뇨발생량을 규제하여 규제 강도가 높은 편으로 가축분뇨에 의한 양분관리를 효과적으로 제어할 수 있다. 양분총량제의 대표적인 제도로 네덜란드의 MINAS가 있다. 사육두수총량제는 분뇨발생량을 제어하기 위해 가축사육 밀도를 규제하는 제도로 규제가 강력하고, 양분관리에 효과적이다. 양분총량제와 마찬가지로 모니터링이 곤란한 단점이 있다. 사육권거래제는 사육두수 거래를 규제하는 제도로 개인 간에 거래할 수 있으며, 네덜란드에서 실시하고 있다. 자원배분의 효율적 이용이 가능하나 가격 경쟁력이 저하될 수 있으며, 신설 후에는 제도를 철폐하기가 어려울 수 있다. 이와 비슷한 국내의 제도로 수도권 대기오염물질 배출권거래제가 있다.

EU의 가축분뇨 처리 정책 대응을 종합하여 다음과 같은 시사점을 도출하였다. 첫 번째로 가축분뇨 처리는 개인 농가 또는 작은 단위 정부의 노력만으로는 해결하기 어려운 문제로 EU의 경우 유럽 전역의 농업정책 및 지침과 국가별 운영으로 규제하고 있다. 특히, 가축분뇨로 인한 오염부하량을 제어하기 위해 EU국가들은 가축사육 밀집도를 제한하는 방법을 포괄적으로 실시하고 있다. 구체적으로 농지면적당 사육두수를 직접 제한하거나, 단위 면적당 살포할 수 있는 가축분뇨의 비료성분(질소·인)을 규제하고 있다(Table 2). 또한, 많은 EU 국가들은 농장의 양분수지나 시비계획을 제출하도록 하고 있는데, 특히 벨기에, 덴마크, 네덜란드에서는 양분초과시에는 부과금을 부과하여 농가의 비료사용을 강력하게 통제하고 있다. 이러한 점에 비추어 봤을 때 우리나라 또한 강원도 등 축산농가가 다수 분포된 지역의 지방자치단체 차원에서의 노력과 함께 중앙정부의 바이오플랜트 시설 도입, 이송 제도 운영 등 다방면의 지원이 필요할 것으로 사료된다[55].

두 번째로 기존의 가축분뇨 처리방법인 퇴·액비화에서 재생가능한 자원을 이용하는 바이오가스 생산 확대의 추세이다.

Table 3. Comparison of policy characteristics in livestock manure treatment

Regulation	Concentration	Nutrient total amount	Total number of livestock	Livestock breeding rights trading
Category				
Target	Effluent quality	Amount of fertilizer used + manure generated	Total number of livestock (amount of manure generated)	Total number of livestock
Characteristic	Universal standards	Establishment of supply reduction plan in case the total supply of nutrients in the region exceeds the demand for nutrients	Set regional total unit, individual cuts are allocated where necessary	Recognition of person-to-person transactions
Economic impact	Least cost	Competition limited	Distortion of resource allocation	Efficient availability of resource allocation, but additional costs
Merit	Easy to execute	Achieving environmental purpose effectively	Achieving environmental purpose effectively	Achieving environmental purpose effectively
Demerit	Unsure to achieve environmental purpose	Monitoring difficulties	Monitoring difficulties	Price competitiveness declines, Difficulty abolishing after executing
Oversea case	Most of countries	MINAS of Netherlands	Belgium	Netherlands

Data from [44]

2022년 기준으로 우리나라 총 가축분뇨 처리량의 67.5%는 퇴비화, 16.2%는 액비화 과정을 통해 비료로 활용되고 있으나 [6], 국내 비료자원을 수용할 경지면적이 지속적으로 감소하고, 질소 및 인산의 양분지수가 OECD 국가 중 1위(2020년 기준, 229.91 kg-N/ha, 45.90 kg-P/ha, Figure 5)로 토지의 부영양화 문제가 있다[56]. 액비의 경우, 여름철 비수기 액비 수요 감소로 인한 계절적인 시비 제한으로 비수기에 액비 저장 용량 초과 문제가 발생할 수 있어 액비를 무단 방류하여 수질오염을 유발할 가능성도 있다[15]. 따라서 독일, 네덜란드와 같이 바이오가스화의 활용을 촉진할 수 있는 국가적 장기적 관점의 해결책이 필요하다.

셋째로 정부기구나 지방자치단체가 가축분뇨를 관리하는 방향식 접근이 필요하다. 벨기에는 정부기구가 운영하는 가축분뇨은행에서 축분을 관리하고 독일과 덴마크는 지방자치단체에서 관리하여, 유기성물질을 유상 매입한다. 또한, 네덜란드는 질소와 인의 유입 및 배출에 관한 회계 시스템(디지털화) 도입 및 가축분뇨은행을 운영함으로써 가축분뇨 관리의 전산화 및 효율화를 도모하고 있다.

증가하는 가축분뇨 발생량을 효과적으로 관리하기 위해서 앞으로도 국내의 가축분뇨 관련 제도는 더욱 강화될 것으로 예상하며, 양분총량제, 사육두수총량제, 사육권 거래제와 같은 가축분뇨 관리 시스템 및 정책이 실행되고 정착하기 위해서는 지방자치단체와 농촌주민들의 적극적인 참여가 필요하다. 또한, 지속가능한 축산업을 위해서 바이오가스 시설과 같은 자원화 시설을 통한 지역 에너지자립과 함께 주민 이익 공유제 등 상생협력을 도모하고, 고질적인 악취문제를 해결하여 혐오 이

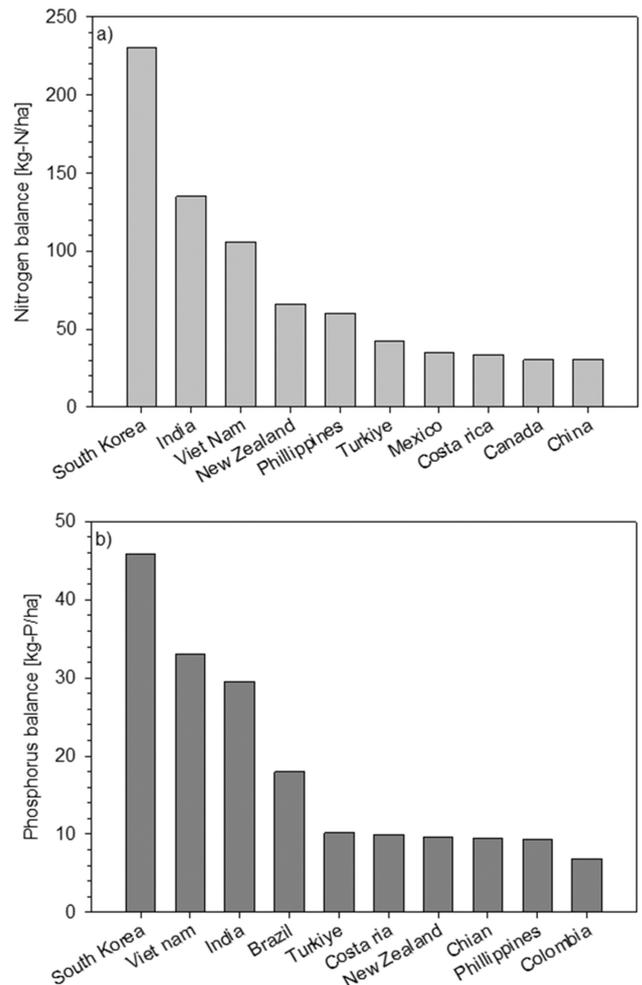


Figure 5. The nutrient balance of top 10 countries in OECD.

미지 탈피 등 다각도의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

가축분뇨의 처리는 국가적 차원의 폐기물 처리문제로 가축 사육지역의 토양 오염, 악취문제뿐만 아니라, 비점오염원으로 써 강우시에 대량으로 하천에 유입되어 수환경에도 부영양화를 초래할 수 있다.

우리나라는 가축사육 농가당 사육밀도가 증가하는 추세로 그에 따른 가축분뇨 처리량도 증가하고 있으며, 가축분뇨 처리 현황에서 위탁처리량은 감소하고 자가처리량은 증가할 것으로 예상된다. 특히, 가축분뇨 총 처리량에서 가장 큰 비중을 차지하는 퇴비화시설(63.1%, 2022년 기준)과 정화처리, 그리고 2021년 대비 2022년에 64.2%나 대폭 증가한 액비화시설에서 앞으로도 가축분뇨 처리 기여율이 더욱 증가할 것으로 전망된다. 이처럼 가축분뇨 자원화의 비중이 높아지고 있지만, 국내 비료자원 수용할 경지면적의 지속적 감소 및 토지 부영양화 문제 등의 우려로 가축분뇨 에너지화인 바이오매스·바이오가스가 화석연료 대체, 온실가스 배출량 감소 및 지역 재생에너지 생산에 부합하여 저탄소 녹색성장의 대표적 수단으로 제시되고 있다. 유럽의 경우, EU회원국의 농업정책 및 지침과 국가별 운영으로 규제하고 있으며, 질소·인산 비료의 사용 한도는 시간이 지남에 따라 점점 강화되고 화학비료 사용을 권장하지 않는 추세이다. 이에 따라 기존의 가축분뇨 처리방법인 퇴·액비화에서 재생가능한 자원을 이용하는 바이오가스 생산을 확대하는 추세이다. 또한, 정부기구 또는 지방자치단체에서 질소와 인의 유입 및 배출에 관한 회계 시스템(디지털화) 도입 및 가축분뇨은행을 운영하여 가축분뇨를 효율적으로 관리하고 있다. EU의 가축분뇨 관리 시스템과 같은 제도를 국내에 성공적으로 정착하기 위해서는 지방자치단체와 농촌주민의 적극적인 참여가 필수적이다. 본 연구에서 조사한 EU의 가축분뇨 관련한 정책과 바이오가스 산업 동향은 향후 국내 가축분뇨 처리량 증가에 대비한 정책을 수립할 때에 기여할 것으로 기대된다.

References

1. <https://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=15908>, (accessed Jun. 2024).
2. Jeong, S.-H., "Problems of Livestock Manure Management and Tasks to Promote Resource Utilization," *The Korea Swine J.*, **29**(5), 211-214 (2007).
3. "Act on the Management and Use of Livestock Manure," National Legal Information Center (www.law.go.kr).
4. "Promotion act on the Production and Use of Biogas Using Organic Waste Resources," National Legal Information Center

- (www.law.go.kr).
5. https://konetic.or.kr/user/T/TB/TB003_R01.do?cntnsSn=656&cntnsId=TB000003, (accessed Jun. 2024).
6. https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1475, (accessed Jun. 2024).
7. An, D.-H., "High Efficient Piggery Wastewater Treatment Apparatus for Treating Piggery Wastewater and Method Thereof," Republic of Korea, Patent No. 10-2009-0008518 (2007).
8. Zhang, Q. Y., Yang, P., Liu, L. S., and Liu, Z. J., "Formulation and Characterization of a Heterotrophic Nitrification-aerobic Denitrification Synthetic Microbial Community and Its Application to Livestock Wastewater Treatment," *Water*, **12**(1), 218 (2020).
9. Park, S. J., Kim, M. I., Kim, K. Y., Chang, H. N., and Chang, S. T., "Reverse Osmosis Treatment of Swine Wastewater with Various Pretreatment Systems," *Clean Technol.*, **9**(2), 49-55 (2003).
10. Kwon, S. C., "Efficient Operation and Management of POTW for Livestock Wastewater," Master Dissertation, Ajou University, Suwon (2004).
11. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), "Countermeasures to Resourceize Livestock Manure in the Mid-to Long-term," Report on April 29, 1-29 (2013).
12. Kim, J. A., "Study on the Characteristics Odorous Compounds Emitted from Animal Waste Treatment Facility," Master Dissertation, Korea national open university, Seoul (2018).
13. Lee, S. H., Kim, D. H., Shin, J. H., Lee, Y., and Ahn, H. K., "Evaluation of Ammonia and Hydrogen Sulfide Emission Characteristics in Centralized Animal Manure Treatment Plant," *J. Odor Indoor Environ.*, **21**(4), 315-323 (2022).
14. <https://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=426510>, (accessed Jun. 2024).
15. Kim, H. J., Park, S. J., Kim, T. H., and Gang, S. J., "In-depth Evaluation of Livestock Manure Treatment Project," Korea Rural Economic Institute (KREI), ISBN 979-11-6149-000-0 93520 (2018).
16. Kang, M. Y. and Oh, H. J., "Integrated Policy to Solve Livestock Problems in Chungcheongnam-do: Energy, Environment, and Food Nexus Perspective," Chungnam institute, Report No. 332 (2018).
17. <https://wems.nier.go.kr/> (accessed Jun. 2024).
18. Park, G. and Kwon, Y., "A study on the Characteristics of Process for the Sewage Treatment in Korea," *J. Korea Soc. Environ. Anal.*, **15**(1), 9-14 (2012).
19. Kim, Y., "A Study on Developing the Effective Management Strategies for Unregistered Animal Feeding Operations," Gyeonggi Research institute, Policy research report, 2009-42, Nov. 2009.
20. Ministry of Environment (MOE), "www.me.go.kr".

21. National Institute of Environmental Research (NIER), National pollution source survey, "wems.nier.go.kr".
22. Jeong, S. C. and Yun, R., "Effects of Coagulants and Ozone Concentration on the Livestock Manure Treatment Efficiency of AOF Process," *Korean J. Air-Cond. Ref. Eng.*, **28**(8), 311-315 (2016).
23. An, C. J. and Seo, I. S., "A Study on the Development Status and Characteristics of Sewage Treatment Works In and Out of Korea," Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 113-197, Feb. 2004.
24. Chae, S.-C., Park, S., Kim, Y.-J., Lee, M.-S., Han, B.-K., Lee, K.-S., Ryou, J.-W., Cho, C.-W., and Kim, H.-S., "A Study on the Characteristics of Treatment Method in Public Treatment Facilities of Livestock Wastewater," Jeonbuk Special Self-Governing Province Health and Environment Institute, Research report (2007).
25. Song, D. H., Kang, J. H., Park, H. S., Song, H. J., and Chung, Y. G., "Simultaneous Removal of NO and SO₂ using Microbubble and Reducing Agent," *Clean Technol.*, **27**(4), 341-349 (2021).
26. Jang, M. S., Kim, J. H., and Lee, J. W., "Prospect and Present Status of MBR Technology for Advanced Wastewater Treatment," *Korean Soc. Environ. Engineers*, **30**(1), 15-20 (2008).
27. Jo, J., "Wastewater Treatment Method and System using Tubular Ultrafiltration Membrane Without Housing," Republic of Korea, Patent No. 10-2003-0021991 (2003).
28. Köninger, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., and Briones, M. J., "Manure Management and Soil Biodiversity: Towards More Sustainable Food Systems in the EU," *Agricultural Systems*, **194**, 103251 (2021).
29. Jo, U., Lee, S., Yoon, Y., Shin, D., and Hwang, B., "A Study on Sustainable Livestock Manure Management," Korea Environment institute (KEI), Research report 2019-09 (2019).
30. <https://www.archives.go.kr/next/newsearch/listSubjectDescription.do?id=004844&sitePage=1-2-1> (accessed 21. Jul. 2024).
31. Korea Swine Association, "Countermeasure to Reduce Ocean Disposal of Livestock Manure," *The Korea Swine J.*, **29**(9), 170-173 (2007).
32. Kim, K.-S., "The Present Conditions and Measures for Ocean Dumping of Livestock Excreta Wastes in Korea," *J. Korea Soc. Marine Environ. Safety*, 27-35 (2007).
33. <http://m.alnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=7350>, (accessed 21. Jul. 2024).
34. Ahn, K., Ryu, H., and Kim, Y., "Systematic Review on Management of Livestock Wastes for Improving Water Quality," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(5), 576-582 (2015).
35. Ministry of Environment (MOE), "Non-point Pollutant Emission Load will be Reduced by 5% Compared to the 2025 Forecast," Report materials, Dec. 2020.
36. <https://www.chukkyung.co.kr/news/articleView.html?idxno=66785>, (accessed 21. Jul. 2024).
37. Ministry of Environment (MOE), "By 2050, 80% of Organic Waste Resources such as Sewage Waste will be Produced with Biogas," Report materials, Dec. 2023.
38. Cheon, J.-K., Kim, H.-A., Ji, M.-K., and Jeon, B.-H., "Analysis of Governance Common Success Factors for Activity Standards of Science and Technology Experts (Verification by a Case of Climate and Environment Governance of Seoul City)," *Clean Technol.*, **29**(2), 151-159 (2023).
39. "The Requirements for Permission and Registration of Livestock Industry (Article 14 (2) and Article 14-2 (2) [Attachment 1])," National Legal Information Center (www.law.go.kr).
40. Rural Development Administration, "Comparison and Evaluation of Methodology for the Improvement of Farmland Nutrient Balance," Project No. PJ014327 (2019).
41. Korea Livestock Economics Institute (KLEI), "A Study on Emission Analysis and Response for Carbon Neutrality in Handon Industry," Final report, Dec. 2021.
42. Jung, M., Lee, Y., and Choi, J., "Environmental Impact of Livestock Industry: Analysis and Policy Tasks," 1. Korea Rural Economic Institute (KREI), Research report no. R929, ISBN 979-11-6149-512-5 93520, Oct. 2021.
43. https://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_vand/4_eutrophication/Nutrient_reduction.asp, (accessed 21. Jul. 2024).
44. Song, J., Kim, C., Hur, D., and Im, S., "A Study on the Introduction of Regional Maximum Load System of Livestock Numbers," Korea Rural Economic Institute (KREI), Research report no. R487, Dec. 2004.
45. Korea Rural Economic Institute (KREI), "A Study on the Introduction of Total Nutrient System," Ministry of Environment (MOE) and Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 11-1480000-001382-01, Mar. 2015.
46. Teixeira, C. M. G. L., Sarmiento, N., Proenca, V., Domingos, T., and Ludes, T., "Guideline on Livestock Production," Food and biodiversity, Training material for advisor (2019).
47. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), "Developments in Monitoring the Effectiveness of the EU Nitrates Directive Action Programmes," RIVM Report 680717019/2011 (2011).
48. Yun, B., "Would Agriculture: Trends and Forecasts of the EU Biofuel Industry," Korea Rural Economic Institute (KREI), M45-144, Aug. 2012.
49. Kim, Y., "Current Status and Future Prospects of the Biogas Industry in Europe," Korea Institute of Science and Technology Information (KisTi), Research report, Feb. 2013.
50. <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=107225>, (accessed 27. Jul. 2024).
51. "Korean Livestock Yearbook (2017/2018) - Chapter 8: Livestock

- manure,”The Agriculture, Fisheries, Livestock News, ISBN 9772005240507 (2017).
52. <https://www.mk.co.kr/news/business/10216340>, (accessed 27. Jul. 2024).
 53. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20240625116000009>, (accessed 27. Jul. 2024).
 54. <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=101739>, (accessed 27. Jul. 2024).
 55. You, J., “Would Agriculture: Trends and Forecasts of the EU Livestock Manure,” Korea Development Institute (KDI), E03-2017-10-04, Oct. 2017.
 56. <https://www.oecd.org/en/data/indicators/nutrient-balance.html?oecdcontrol-4b2b2212d3-var6=PHOSPHORUS&oecdcontrol-712178cb81-var3=2020>, (accessed 27. Jul. 2024).