세계 비료시장 동향과 미국의 비료 활용 사례

권 태 진*

1. 세계 비료 시장과 정책[1)]

1.1. 서론

지난 10년 동안, 세계 경제는 서로 연계된 여러 종류의 위기에 직면하였다. 분쟁의 빈도와 강도, 기후 변동성과 극단적 날씨, 경제 침체가 늘어났고 심화하였으며 전 세계의 식량 안보, 영양 상태나 영양수준은 악화하였다. 유엔식량농업기구(FAO)의 세계 식량 안보 및 영양 상태 보고서에 따르면, 2022년 전 세계 기아 인구는 8억 2,800만 명으로, 2020년 이후 4,600만 명, 코로나19 발생 이후 1억 5,000만 명 증가했다.

2021년 세계 각국의 불균형한 경제 회복, 2022년 세계 경제의 성장 둔화, 수십 년 만에 나타난 높은 인플레이션은 기존의 불평등과 식량 안보 상황을 더욱 나쁘게 만들었다. 지역별로는 아프리카가 가장 큰 부담을 안게 되었다. 2021년 북미와 유럽의 기아 인구 비율은 2.5% 이하이나, 아프리카는 인구 5명 중 1명(인구의 20.2%)이 만성 기아에 직면하고 있으며, 아시아는 9.1%, 중남미는 8.6%, 오세아니아는 5.8%이다.

우크라이나 전쟁은 세계 경제에 심각한 타격을 입혔고, 공급 사슬 문제를 악화시켰다. 또, 무역 흐름에 나쁜 영향을 미치고 무역 비용을 증가시켰으며, 에너지와 농산물 및 비료 가격에 인플레이션 압력을 가중했다. 러시아 연방과 우크라이나는 중요한 농산물 생산국 중의 하나이다. 두 나라 모두 농산물의 순 수출국이며, 세계 식품 시장에서 선도적인 공급 역할을 하고 있다. 게다가, 러시아 연방은 에너지 분야의 핵심 국가이자 세계 최대 비료

* GS&J Institute 시니어이코노미스트(kwontj@gsnj.re.kr)
이 글은 주요국과 국제기구의 농업 관련 연구보고서 중에서 우리나라에 의미 있는 시사점을 주는 보고서를 선별하여 주요 내용을 요약함.

1) FAO. 2022. Global Fertilizer Markets and Policies.

수출국으로, 2021년 질소(N) 비료 수출국 1위, 칼륨(K) 비료 2위(벨라루스가 3위), 인(P) 비료 3위를 차지했다.

농업 생산은 에너지 집약적이다. 농업 연료, 천연가스 및 전기를 통해 직접적으로 또는 농약, 윤활제 및 비료와 같은 화학제품의 사용을 통해 간접적으로 많은 양의 에너지를 사용하게 된다. 생산 비용의 변화는 식품 가격의 변동으로 쉽게 전환되기 때문에 농자재 가격의 급등은 식품 생산 비용을 상승시킬 수 있다는 우려가 제기된다.

이러한 맥락에서, 특히 화석 연료에서 파생된 비료와 에너지에 대한 투입 가격의 급격한 상승은 세계 식량 가격에 추가적인 상승 요인을 제공했고, 세계 식량 안보에 부정적인 결과를 초래했다. 2022년 3월에는 FAO 식품 가격 지수(FFPI)가 기록적으로 높은 수준에 도달하였다.

농민들이 받는 농산물 수취 가격 인상보다 비료 가격 인상이 더 빠르게 일어난 것도 생산자의 이윤에 부정적인 영향을 미치고 있다. 이는 결국 농민들에게 농자재의 구매 능력을 떨어뜨려 식량 가용성의 추가적인 감소를 초래하고 식량에 대한 접근성을 악화시킨다. 이는 아프리카에서 특히 심각하다. 아프리카 국가들은 농자재를 수입에 크게 의존하고 있고 소규모 생산자들이 농업 생산에서 큰 비중을 차지하고 있으며, 식량 불안정에 노출된 사람들이 많다.

지속가능개발 목표(SDGs)에 따라 기아, 식량 불안, 그리고 모든 형태의 영양실조를 끝낼 수 있는 시간이 8년밖에 남지 않은 지금, 세계는 잘못된 방향으로 나아가고 있다. 2030년에도 약 6억 7천만 명의 사람들이 여전히 영양실조 상태에 있을 것으로 추정되며, 이는 2030년을 목표로 SDGs 의제가 채택되었던 2015년과 같은 비율이다.

광물 비료의 사용은 농업 생산성을 높이는 데 핵심적인 역할을 했으며 세계적으로 식량 안보를 확보하는 데 이바지했다. 계속되는 위기 속에서, 식량이 불안정한 국가에 대해 비료 사용을 지원하는 것 이외의 다른 단기적인 대안을 찾기 어렵다. 이러한 시급한 과제들은 이해관계자 집단이 함께 협력하여 해결해야 한다. 세계 경제에 커다란 영향을 미치는 G20 국가는 기아와 영양실조를 종식하기 위해 사용할 수 있는 모든 수단과 기제를 마련할 책임이 있다.

1.2. 비료 시장 전망

1.2.1. 2021/22년 N-P-K 비료 모두 가격 상승

국제 비료 가격은 2020년부터 오르기 시작했고 2021년 중반에 급상승하여 사상 최고치를 기록했다. 질소(N) 비료의 경우 가장 눈에 띄는 상승이 기록되었으며, 요소의 명목 가격은 2020년 초 이후 3배 이상 상승했다. 흑해 현물 가격(대량)은 2020년 1월에 톤당 215달러, 이후 2022년 9월에 678달러로 제시되었다. 인(P) 비료 가격도 덩달아 올랐다. 이인산암모늄(diammonium phosphate) 또는 DAP는 같은 기간 톤당 265달러에서 752달러로 거의 세 배 가까이 상승했다. DAP 비료에 대한 가격 인상이 반영되는 동안 질소 성분에 대한 높은 가격, 높은 인산 비료 가격으로부터 동등한 효과가 있었다. 반면, 칼륨(K) 비료 가격은 2022년 초까지 영향을 덜 받았으며, 염화칼륨(KCl)의 기준 현물 가격은 2020년 1월 톤당 245달러에서 2022년 1월 221달러로 소폭 하락하기도 했다. 하지만, 2022년 3월에는 톤당 가격이 563달러로 급등했고 그 이후 이 수준을 유지하고 있다.

1.2.2. 2022/23년 수급 상황

전반적으로 국제 비료 공급은 재고가 부족하고 지정학적 긴장으로 인해 추가적인 공급 제한이 발생하여 가용성과 접근성이 저하될 뿐만 아니라 식량 생산 및 식량 안보에 악영향을 미칠 우려가 있는 상태, 즉 전반적인 시장 긴축과 시세 압박이 당분간 유지될 가능성이 높다.

우크라이나 전쟁이 여전히 진행 중인 상황에서 러시아 연방의 수출이 감소할 수 있다는 인식이 확산하고 있다. 그러나 거울통계(mirror statistics)에 따르면 적어도 2022년 첫 7개월 동안 러시아 연방으로부터의 비료 수출량이 줄어들지는 않았다.[1] 2022년 상반기 국제 가격 상승으로 러시아 비료 수출 가치는 더욱 높아졌다.

러시아 연방의 무역량은 2022년 상반기에 크게 영향을 받지 않았지만, 칼륨 비료의 주요 공급국인 벨라루스의 무역량은 눈에 띄게 감소했다. 무역 상대국의 수입 통계에 따르면 벨라루스의 칼륨 비료 수출은 2021년 상반기 362만 톤에서 2022년 상반기 195만 톤으로 감

1) 거울통계란 특정 국가가 자체 수입 통계를 발표하지 않을 때 해당 국가에 상품을 수출을 하는 국가의 수출 통계를 통해 특정 국가의 수입량을 추산하는 방법을 의미함.

소했다. 최근 몇 달 동안의 통계에 따르면 벨라루스의 공급 감소가 가속화되었으며, 오직 브라질과 중국만이 벨라루스로부터 상당한 양의 칼륨 비료를 구매했다.

현재 당면하고 있는 비료 부족이 초래하는 단기적 악영향이 뚜렷해지고 있다. 중요한 것은 천연가스의 가격 급등에 직면한 많은 생산 공장이 이윤이 낮다는 이유로 생산을 중단하거나 줄이면서 질소 비료가 점차 공급 부족 상황으로 치닫고 있다는 점이다. 국제비료협회(IFA)의 추정 결과는 다음과 같다.

유럽 질소 비료 공장의 50~70%는 감축 생산을 시도한다. 가스 가격이 너무 높아서 질소 비료 공장을 수익성 있게 운영할 수 없을 뿐 아니라 온실, 특히 북유럽 지역은 온실 난방을 하기에는 가스 가격이 너무 높아서 2022/23년 겨울에 과일과 채소 공급에 부담이 되기도 하였는데, 앞으로 계속 높거나 심지어 더 오를 것으로 예상된다. 게다가, 식품 가격으로 인한 인플레이션 압력이 가중되고 있다. 상황이 이렇다 보니 최근 유럽연합 집행위원회는 질소 비료 생산에 사용되는 두 가지 핵심 중간재, 즉 암모니아와 요소에 대한 관세를 2024년 말까지 잠정 중단할 것을 이사회에 제안했다.

국제비료협회(IFA)는 2022/23년에 3대 영양소 모두 사용량이 감소할 것으로 예상한다. IFA 기준 시나리오에서는 질소 비료가 1.8% 감소하고 비관적 시나리오에서는 4.8% 감소하는 등 더욱 악화할 것으로 전망된다. 인산 비료의 사용은 3.5% 감소할 것으로 예상되지만 비관적인 시나리오에서는 최대 6.5% 감소할 수 있다고 한다. 칼륨 비료는 거의 10% 감소하고 비관적 시나리오의 경우 13.0%까지 감소할 것으로 예상하며, 낙관적 시나리오에서도 여전히 1% 감소를 예상하였다. IFA는 2023년 비료 회계연도(marketing year)에도 2022년의 수준에서 완만한 정도만 회복할 것이라고 예상한다. 예년과 비교하더라도 이렇게 비료 사용이 감소한 사례는 흔하지 않다. 2008/09년 인산 비료 가격이 가파르게 상승했을 때, 전 세계 평균 인산 비료 사용량은 2007년에 비해 8% 감소했고, 칼륨 비료 사용량은 16% 감소한 사례가 있다.

이러한 비료 사용 감소가 생산에 미치는 영향은 측정하기 어렵다. 질소 비료와 달리 인산 및 칼륨 비료 사용량은 한 계절로 시기를 제한하면 반드시 큰 수확량 감소를 초래하지 않을 수 있다. 그러나 질소 비료 사용 수준이 낮으면 2023년과 그 이후에는 생산량과 식품 생산의 품질이 저하될 것이다. 그래도 선진국 농민들은 비료 가격이 치솟아도 높은 수준의 비료 사용을 유지하고 있어서 질소 비료 사용은 비탄력적이다. 그렇지만 가난한 나라에서는 가

장 중요한 질소 비료를 포함하여 전반적인 비료 사용이 더 빨리 감소할 가능성이 크다.

1.2.3. 비료 가격에 영향을 미치는 요인

모든 상품 시장과 마찬가지로 비료 가격은 수요와 공급의 상호작용에 따라 결정된다. 공급 측면에서는 높고 변동성이 큰 에너지 가격, 무역의 차질 및 높은 운송비용, 수출 제한의 영향이 크다. 수요 측면에서는 보조금과 높은 곡물 가격이 크게 영향을 미친다.

비료의 원료가 되는 천연가스는 질소 비료 생산에 큰 영향을 미친다. 천연가스 가격은 여러 가지 이유로 2021년에 급격히 올라 2022년까지 이어졌다. 유럽은 러시아의 천연가스 공급 감소 영향을 상쇄하기 위해 2021년 12월, 2022년 1월, 2022년 3월, 2022년 8월에 미국으로부터 액화천연가스(LNG)를 대량 수입하였다. 최근 유럽 천연가스(TTF) 가격 하락으로 비료 생산업체의 이윤이 증가하고 질소 비료 생산이 재개될 가능성이 있다는 전망이 나오고 있다. 그러나 질소 비료 가격이 가스 가격과 동시에 하락하면서 수익 개선은 제한적이었다.

식품의 생산 가격도 2022년 3월에 사상 최고치를 기록했다. FAO 식품가격지수(FFPI)에 따르면, 2021년 1~12월 국제 식품 물가지수는 113.5에서 134.1로 상승한 뒤 2022년에는 1990년 지수 산출 이후 최고치인 159.3으로 상승했다. 그러나 이번에 발표된 FFPI는 2022년 9월 136.3로 하락해 전쟁 전 수준을 밑돌고 있다. 높은 비료 가격으로 인해 대부분 식품, 특히 식물성 기름에서 상당한 가격 하락이 관찰된다. 에너지 가격 상승과 함께 비료의 경제성이 감소하는 것이 어떻게 세계 여러 지역의 총생산 비용 증가와 궁극적으로 투입물의 감소, 생산 또는 농장 관행의 변화로 전환되는지를 잘 평가하기 위해서는 추가 연구가 필요하다.

1.3. 비료 수급 대책

이 절에서는 WTO 사무국과 농산물 시장 정보시스템(AMIS)이 수행하는 무역 모니터링을 바탕으로 2021년 1월 1일부터 2022년 10월 15일(이후 '기준 기간') 사이에 도입된 비료 조치를 검토한다. 이 기준 기간에 WTO 회원국 중 19개 나라는 41개의 비료 관련 조치를 했다. 이러한 조치의 약 75%가 무역 정책 형태를 띠었다. 나머지는 국내 비료 산업에 대한

보조금, 농업 생산자에 대한 재정 지원, 유기질 및 폐기물 기반 비료 사용을 촉진하기 위한 새로운 마케팅 및 유통 규제 등 국경 조치에 관한 것이었다.

세계적인 비료 수요 증가와 국내 가격 상승에 대응하여, 몇몇 주요 공급업체들은 수출 제한을 도입하였는데, 특히 2021년 말부터 국제 비료 가격에 추가적인 상승 압력을 가했다. 수출 제한은 2021년 1월 1일부터 2022년 10월 15일까지 도입된 비료 관련 조치 중 가장 큰 범주(41%)에 속한다. 기준 기간에 시행된 대부분의 수출 제한 조치는 금지, 관세, 세금 및 할당량의 형태를 취했다. 반면, 수출 허가 및 수출검사 또는 인증요건은 널리 사용되지 않아 비료 수출을 제한하는데 상대적으로 그 역할이 작았다.

WTO 사무국에는 WTO의 광범위한 무역 감시에 따른 직접적인 확인 절차뿐만 아니라 관련 WTO 기구에 의해 수립된 공식 통보 절차를 고려할 때, 비료에 적용된 수출 제한 조치 중 53%만이 확정되었다. 수출 제한은 물가 변동성뿐만 아니라 인플레이션 압력을 잠재적으로 악화시킬 수 있지만, 투명성 부족은 세계 식량 무역, 가격 및 생산에 부정적인 영향을 미치고 비료 공급 상황에 대한 불확실성을 낳는다. 2021년 1월부터 2022년 10월 15일 사이에 시행된 모든 수출 제한 중 6개의 조치가 아직 그대로 있다.

비료에 대한 경제적 접근성을 평가할 때, 적용된 최혜국 관세의 수준을 검토하는 것이 중요하다. 2021년 모든 비료 범주에 적용된 WTO 협정세율(MFN 관세율)은 평균 1.9%였다. 게다가 회원국의 40%는 비료 수입에 관세를 부과하지 않았으며, 35%는 적용 관세를 평균 2.5% 미만으로 유지하였다. 중국(9.6%), 짐바브웨(7.7%), 카자흐스탄(7.5%), 인도(7.5%) 등 4개 WTO 회원국만이 평균 7.5%에서 10% 사이의 관세를 적용하고 있었다. 반면에 전체 회원국의 비료에 대한 평균 구속 MFN 관세는 22.4%였다. 하위 범주로 들어가 보면, 적용된 MFN 관세는 인도 HS 3101 및 HS 3103(평균 10%), 짐바브웨 HS 3102(11.5%), 요르단 HS 3104(11.1%), 중국 HS 3105(15.5%)에서 가장 높고, 카자흐스탄(10.2%)이 그 뒤를 이었다.

매년 WTO에 통보되는 MFN 관세 일정 외에도 AMIS와 WTO의 무역 모니터링을 통해 얻을 수 있는 정보에 따르면, 2021년 이후 WTO 회원국 중 8개국이 은 임시 관세 개입(50%), 무역 구제(21%), 수입 금지(21%)와 비료에 대한 세관 검사 요구(7%)를 통해 총 14개의 국경조치를 취했다. 이들 중 9개는 무역 촉진 조치들이다. 모로코와 러시아 연방의 비료 수출에 대한 상계관세 적용, 비료 수입에 대해 잠정적으로 적용된 몇 가지 무역 구제책은 2021년 중반에 종료되었다. 오랫동안 지속되어온 일부 반덤핑 및 상계관세도 2022년 중반

에 철폐되었다. 마지막으로, 비료 제품은 질소 비료 생산에 사용되는 특정 투입물을 포함하여 일시적 또는 영구적인 관세 또는 부가가치세(VAT) 면제, 관세 축소 또는 철폐의 혜택을 받았다. 이 분석에서 포착한 관세 부과 또는 유예 및 무역 구제와 관련된 운영 세부 사항은 문서화가 비교적 잘되어 있지만, 수입 허가 위원회와 같은 다른 조치와 관련하여 관련 WTO 기구에 통보된 정보는 거의 없다.

위에서 설명한 무역 수단 외에도, 몇몇 대형 비료 수입국들은 국내 비료 가공/제조에 대한 국내 가격을 설정된 목표 수준으로 유지함으로써 세계 가격에 추가적인 상승 압력을 가하고 있다. 그러한 제도하에서, (i) 발생한 수입 및 유통 비용과 (ii) 고정 및 의무 소매 가격 상한 사이의 차이를 상쇄하기 위해 비료 수입업자에게 보조금을 지급한다. 특히 보조금을 활용한 구매는 국가 기관이 운영하는 대규모 수입 입찰을 통해 수행된다. 이러한 수입 입찰은 국내시장에서는 비료 가격을 더 낮게 유도하지만 국제시장에서는 더 높은 가격과 더 큰 가격 변동성을 촉발한다.

기준 기간 구체적으로 시행된 지원 체계를 살펴보면, 투입 보조금, 직접 지불금 및 신용 시설 제공은 7개 WTO 회원국이 농업 생산뿐만 아니라 국내 비료 제조(예: 바이오 비료 생산)에 제공하는 지원의 상당 부분을 차지한다. 2021년 5월 중순 이후, 식량 생산국들은 식용 곡물, 사료 곡물, 두류와 같은 식량 안보 작물에 주로 이용되는 경작지에서 농민들에게 비료 보조금을 할당하거나 전국적으로 생산된 비료를 농업 공동체에 무료로 제공함으로써 국내 식량 가격에 대한 인플레이션 영향을 완화하기 위해 노력해 왔다. 2022년 3월부터, 농민들이 변화하는 상황에 잘 대처하도록 돕기 위해 새로운 위기 대응 예비 계획이 수립되었다. 치솟는 에너지, 비료 및 기타 투입물 직불금은 농민들이 가스를 이용하여 제조하는 비료 가격의 영향에서 벗어나도록 하기 위한 정책이다. 2022년 1분기에 비료 가격이 급등한 가운데 요소 기반의 비료 및 기타 지속 가능성 기준을 제한적으로 적용할 예정이었던 정책이 2023년으로 연기되었다.

2021년 초부터 WTO 농업위원회에서 제기된 우려는 이러한 추세를 반영한다. 새롭게 도입된 보조금제도의 운영 및 예상 기간에 대한 추가적인 세부 사항과 관련하여 WTO에 대한 사전 통보 요구가 강화되었다. 상당한 보조금 증가가 관찰되고 농업 투입 비용, 특히 이인산암모늄(DAP)과 질소, 인 및 칼륨 비료의 증가를 상쇄하기 위해 할당된 예산 지출의 규모를 고려할 때, WTO는 잠재적 수혜자에게 적용되는 자격 기준에 대해 문제를 제기했다.

농업 협정의 관련 조항은 저소득 및 자원 빈곤 생산자가 지정된 경우, 개발도상국 회원국이 투입 보조금제도를 운영할 수 있도록 허용한다.

예를 들어 비료 사용을 제한하는 등 스마트 기후 정책에 대한 지원도 정밀 조사에서 면제되지 않았다. 환경친화적인 농업 관행은 더 넓은 기후 목표를 달성하는 데 긍정적으로 작용하지만, 이와 관련된 직접 지불(direct payment)을 엄격하게 제한하는 것이 적절한지 판단하기란 쉽지 않다. 그런 의미에서 유기농법이나 효율적인 비료 관리를 준수하도록 장려하기 위해 농민들의 지출을 초과하는 추가 유인을 적용하는 것에 대해서는 여전히 새로운 우려가 제기될 수 있다.

2020년 이후 제출된 보조금 통지는 환경 효율성과 기후 친화적인 식품 및 농업 생산, 마케팅 및 유통을 달성하기 정부 개입이 확대되는 결과를 초래했다. 정부의 지원은 다음과 같은 방법으로 비료와 바이오 비료 제조 산업의 개발로 이어진다. 고정 자본 투자로의 금융 이전 또한 지속 가능한 농업 기술의 채택을 장려하고 토양 보존 및 복원, 생물학적 다양성을 촉진하기 위해 농업 부문으로 직접 지원이 확대된다. 마지막으로, 일부 개발도상국은 차나 사탕수수와 같은 환금 작물 및 식량안보 작물의 생산비가 치솟게 되면서 농민들에게 생산비를 부분적으로 보상하기 위한 방법의 일환으로 경작지 면적에 따라 생물비료를 현물로 지원하는 조치를 취하기도 한다. 대안으로 일부 농민은 일정 기간 바이오 비료 및 바이오 농약 구매 비용 중 일정 비율만큼 직접 지불금 또는 투입물 보조금을 받는 선택을 할 수도 있다.

농업 환경 재정 지출은 점차 미세 조정되거나 용도가 변경되고 있다. 이러한 미세 조정은 국내 비료 산업뿐만 아니라 농민들이 저렴한 비료와 비료 성분에 대한 국내 접근을 보호하기 위해 이루어진다. 화학 비료를 유기 화합물로 대체하기 위한 시범 프로그램도 출시되고 있다. 오늘날, 탄소 격리 및 보존, 온실가스 및 암모니아 배출 감소는 많은 정부의 의제에 의해 우선순위가 정해지며, 종종 특정 규제 요구사항과 표준으로 해석된다.

1.4. 현재의 식량 위기 극복을 위한 조치사항

비료는 농업 생산성을 높이고 세계 식량 안보를 보장하는 데 중요한 역할을 한다. 비료의 역할을 생각할 때, 비료의 국제 무역이 국내 및 세계 수요에 충족할 수 있도록 모든 노력을 기울일 필요가 있다. 다른 중요한 우선순위는 시장 투명성 향상뿐만 아니라 스마트하고 정밀한 농업 관행을 촉진하고 디지털 토양 영양 지도, 연구, 혁신, 훈련 및 토양 비옥도를 개선하기 위한 효율적인 비료 사용을 포함한다. 디지털 기술을 포함한 확장 서비스와 가장 취약한 사람들에 대한 보조금 지급에 초점을 둔다. G20 회원국들은 비료에 대한 접근과 좀 더 효율적인 사용을 촉진하기 위해 다음과 같은 조치를 선택할 수 있다.

단기적으로는 비료의 글로벌 무역 중단을 최소화한다. G20 각국 정부는 제12차 세계무역기구(WTO) 식량 안보 비상 대응 선언에 따라 식량, 사료, 비료 시장을 개방해야 한다. 구체적으로, G20 국가는 새로운 수출 제한을 부과하는 것을 피하고 관련 WTO 규정에 따라 비료에 대한 수출 제한을 철회할 필요가 있다. 가장 취약한 국가에 대해서는 심각한 국내 비료 부족을 완화하기 위해 비료 수입시 적용되는 관세를 낮추어 접근성과 경제성을 개선하는 방안을 고려한다. 또한 가능한 범위 내에서 비료와 비료 투입물에 적용되는 통관 절차를 간소화하는 방안을 포함하여 무역 촉진 조치를 도입할 필요가 있다. 여기에는 비료 수입 및 비료 투입을 포함한 무역 지원 계획, 비료가 필요국가에 비료가 신속하게 이동될 수 있도록 관련 무역 규정을 탄력적으로 운영하는 방법이 포함된다.

또 다른 단기 처방으로써 취약한 국가에 비료 접근성을 보장한다. G20 국가는 다음과 같은 사항을 권장한다. 첫째, 비료의 극심한 가격 변동성에 대비하여 개도국 농민의 비료 구매계약이 철회되지 않도록 한다. 값비싼 에너지와 비료가 미래의 식량 생산을 위협해서는 안 된다. 둘째, 경제적, 재정적으로 취약한 국가가 우선적으로 국제 비료 시장에 접근할 수 있도록 국제사회가 협력한다.

G20 국가는 현재의 극심한 식량 불안정과 변동성이 큰 식량 및 비료 가격에 대응하는 회복력을 높이기 위해 최빈개도국 및 순 식량 수입 개발도상국의 식량 안보 요구를 고려하기 위해 제12차 각료회의에 의해 설정된 WTO 작업 프로그램에 적극적으로 참여해야 한다. 또한 천연가스 생산국들은 수출 제한을 중단함으로써 가스 가격의 상승을 억제하는 조치를 고려해야 한다. 이는 전 세계 비료 생산 능력을 유지하고 비료 가격에 대한 추가 압력을 피하기 위한 필수적인 조치이다.

중기적으로 시장 및 정책의 투명성을 향상한다. G20 각국 정부는 농업 투입물 및 식품 무역의 투명성과 예측 가능성을 높이기 위해 WTO 통보, 협의, 정보 교환 및 정책 모니터링을 강화해야 한다. 정부, 민간 부문, 생산자와 소비자가 공급망 및 식량안보 위험을 완화하고 변화에 신속하게 적응하기 위해서는 투명성 프레임워크가 필수적이다. G20 국가는 농산물 시장의 투명성을 높이기 위해 중요한 데이터와 자원을 제공함으로써 시장의 투명성을 높이는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다, 특히 농산물 시장정보 시스템(AMIS)에 대한 지원을 강화하여 비료를 현재의 상품 범위로 가져오는 권한을 확장함으로써 모든 시장 및 정책 개발을 면밀하게 모니터링하고 공개적으로 배포할 수 있다. 시장 및 정책 개선 모니터링은 중단된 비료 시장에 대응하여 국제사회에 의해 도입된 자금 조달 체계와 다른 지원 메커니즘을 추적하여 보완하여야 한다. G20 국가는 FAO의 연구, 분석 및 경제 모형설정 역량의 확장을 지원할 수 있다, 특히 비료 시장과 농업 생산량 및 생산성 간의 연관성에 대한 더 나은 이해를 촉진하고, 생산 비용에 대한 더 자세한 분석을 제공하며, 비료 수급 균형 및 관련 조기 경고 지표에 대해 향상된 상세한 평가를 작성한다. 예를 들어 주식 대 사용 비율 또는 주식 대 준수 비율 등이다.

중기 대책으로써 토양 비료의 좀 더 효율적인 사용을 위한 토양 비옥도를 향상하고 혁신을 가속화한다. G20 국가는 국제기구들이 농장 수준에서 비료 프로그램을 알리기 위해 토양 영양 분석을 수행하도록 지원하는 것을 고려할 수 있다. 이러한 맥락에서, 비료 사용의 효율성을 향상하기 위해 토양 영양 지도를 사용할 수 있도록 하는 프로젝트에 대한 국가의 재정적 지원이 필요하다. 이는 농민들이 농업 생산성을 높이는 동시에 치솟는 비료 가격에 대응하도록 도울 것이다. G20 국가는 유기물의 증가와 토양 생물 다양성을 촉진하여 식물에 영양분을 공급할 수 있는 능력을 향상하는 관행을 장려하기 위해 국제기구가 혁신 시스템을 설치하도록 지원하는 것을 고려한다. G20 국가는 생물 비료의 더 많은 사용을 포함하여 화학 비료의 대안에 대한 혁신을 개발하기 위해 글로벌 연구 협력을 위한 재정 자원을 늘릴 필요가 있다. G20 국가는 영세민을 위한 정밀농업 도입을 위한 재원 확충을 고려할 필요가 있다. 여기에는 농업 생산성을 향상하고 투입물의 사용을 줄이는 데 중요한 역할을 할 수 있는 디지털 기술의 채택이 포함되어야 한다. G20 국가는 기존 비료 보조금을 개혁하기 위해 대화와 정보 교환을 주도해야 한다. 농업 지원 프로그램은 환경 지속 가능성, 미래의 충격에 대한 식품 시스템 복원력, 효율적인 비료 사용 및 소규모 소유자를 위한 투입물

에 대한 접근성 개선을 촉진하는 동시에 국내 또는 국제시장에 대해 의도하지 않은 부정적인 결과를 최소화해야 할 것이다.

2. 미국의 가축 분뇨 활용 사례

2.1. 서론

가축 분뇨는 농작물에 영양분을 공급하고 토양의 질을 개선한다. 그러나 가축 분뇨를 이용한 유기질 거름(이하 거름)은 영양소가 일정하지 않고 중량 대비 인과 질소의 함량이 낮아 화학 비료보다는 시장 가치가 떨어진다. 거름은 농업 시스템에서 비료 공급원으로써 중요한 역할을 하지만 대체 용도로의 중요성도 점차 커지고 있다. 거름은 추가 처리를 통해 열, 가스 및 전기의 형태로 재생할 수 있는 에너지를 생성하는 데 활용될 수 있지만, 다른 에너지원과 경쟁하려면 혁신이 필요하다.

이 연구는 미국 농무부 농업자원관리조사국(ARMS)의 자료를 이용하여 현재의 비료 생산, 취급, 보관 및 사용 실태를 파악하는 데 목적이 있다. 또한 이 연구는 비료의 가치를 높일 수 있는 새로운 기술의 채택을 촉진하기 위한 정부 프로그램과 정책을 검토하는 데도 중점을 둔다.

2.2. 거름의 생산, 관리 및 규제에 관한 검토

2.2.1. 거름 생산

축산은 지리적으로 집중될 수밖에 없는 구조여서 한 지역에서 생산된 축분은 현지에서 생산되는 작물이 사용할 수 있는 한도보다 더 많은 영양소를 포함하므로 환경 오염의 위험성이 커질 수 있다(O'Donoghue et al., 2011). 이러한 특성에다 농장의 규모 증가와 전문화의 확대는 유기질 비료의 취급과 사용법의 변화와 더불어 비료의 분배 문제를 악화시키는 요인이 되고 있다. 지난 세기 동안 특히 제2차 세계 대전 이후 농작물 생산과 축산부문의 전문화가 급속히 진행되었다. 농장은 비료, 해충 관리와 동물 건강을 위한 기계화 및 화학물질에 대한 접근성이 강화되었기에 전문화가 좀 더 쉬워졌다(MacDonald, 2020).

미국 농무부가 다양한 농기업을 대상으로 1987년과 2017년의 재배 면적과 가축 사육두수 중간값을 추정한 결과 농작물 경작 면적은 166%(밀)~243%(옥수수) 증가했으며, 가축 사육두수는 141%(사료로 사육되는 소)~4,175%(돼지) 증가했다(MacDonald, 2020).

〈표 2-1〉 농작물 및 가축의 중간값 변화[1)]

품 목	1987년	2017년	% 변화
농작물			
옥수수(에이커)	200	685	243
면화(에이커)	450	1,385	208
쌀(에이커)	295	900	205
콩(에이커)	243	700	188
밀(에이커)	404	1,073	166
가축			
닭(판매수수)	300,000	744,000	148
소(판매두수)[2)]	17,532	42,300	141
돼지(판매두수)	1,200	51,300	4,175
산란계(사육수수)	117,839	1,200,000	918
젖소(사육두수)	80	1,300	1,525

주 1) 중간값은 경작지 면적 또는 가축 사육두(수)수의 절반 크기에 위치한 농장의 크기임(해당 제품을 생산하는 농장의 경우).
2) 사료로 사육되는 소
자료: USDA, Economic Research Service using data compiled from USDA, National Agricultural Statistics Service, 1987 and 2017 Censuses of Agriculture.

2.2.2. 거름 저장

농장에서 활용하고 있는 거름의 저장 시스템은 거름의 성분(예: 수분 함량), 비료 가치 및 잠재적 용도(예: 에너지 생산)에 영향을 미친다. 저장 시스템은 다음과 같은 점을 고려한다. 즉, 1) 소와 가금류를 사육하는 농장은 건조 저장고를 사용할 가능성이 가장 크다. 2) 돼지와 젖소를 사육하는 농장은 배설물을 라군(lagoon)에는 액체로, 구덩이에는 슬러리(slurry) 또는 마른 거름으로 저장할 수 있다.[2)] 3) 어떤 농가는 비료의 부가가치를 높이기 위해 기존 생산시설을 개조하기도 한다. 대부분의 농가는 그들이 사용할 저장 시스템을 스스로 선택한다.

2) 라군(lagoon)은 석호(潟湖)로 번역되며 사주나 사취의 발달로 바다와 격리된 호수로서, 지하를 통해서 바닷물이 섞이는 일이 많아 염분 농도가 높고, 담수호에 비해 플랑크톤이 풍부함.

농가는 가축 사육 단계나 분뇨 저장 단계에서 거름의 수분 함량 저감 기술을 도입하는 것이 일반적이다. 돼지 사육에서 습식 건조 사료는 슬러리 거름의 수분 함량을 줄이고 슬러리를 더욱 농축된 비료 공급원으로 변화시킨다. 라군(lagoon) 또는 피트 커버는 질소를 보존하고 빗물이 거름을 희석하는 것을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 악취 문제도 줄일 수 있다.

2.2.3. 비료로 사용되는 유기질 거름

유기질 거름은 질소, 인, 그리고 칼륨을 농작물에 공급한다. 거름의 질소 대 인 비율은 일반적으로 비료를 흡수하는 작물이 필요로 하는 비율보다 낮아 상업용 비료를 완벽하게 대체할 수는 없다. 작물의 영양 요구를 완전히 충족시키기 위해서는 잘 관리된 밭이라 하더라도 상업용 비료를 사용해야 하는 경우가 있다. 작물의 인 수요를 충족시키기 위해 유기질 거름만 사용하게 되면 질소를 충분히 공급하지 못할 수도 있다. 이러한 양분 수요와 공급의 불일치는 비료 비용을 증가시키고 유기질 거름의 가치를 낮게 평가하게 된다. 밭에다 유기질 거름과 상업용 화학 비료를 둘 다 시비하면 두 번에 걸쳐 작업을 해야 하므로 비용이 증가하게 된다. 작물의 질소 요구를 충족시키기 위해 화학 비료를 사용하게 되면 토양에 인이 과잉 공급될 수 있다. 과도한 비료의 사용은 환경에 부정적인 영향을 미치게 된다.

시중에서 판매되는 화학 비료와는 달리 유기질 거름은 영양소 분석이 보장되지 않는다. 부족한 농작물 영양소의 위험을 줄이기 위해, 농민들은 작물이 필요로 하는 것보다 더 많은 거름을 사용할 가능성이 크다. 농무부 농업자원관리조사국(USDA ARMS) 자료에 따르면, 옥수수에 유기질 거름을 사용한 농민의 44%만이 상업적인 화학 비료 사용을 줄인 것으로 나타났다. 상업용 질소 사용을 줄인 사람들의 질소 사용량 감소 폭은 46% 정도였다. 두 통계 모두 영양소 관리 방식을 개선하여 양분 값을 완벽하게 파악할 수 있는 여지가 있음을 보여준다.

2.2.4. 거름 사용

모든 농장은 적용되는 거름의 유형, 거름 적용 대상 작물 및 기타 농장별 요구와 제약사항에 따라 적절한 거름 사용 방법을 선택한다. 일반적으로 농장은 1) 혼합 없이 토양 표면에

단순 도포, 2) 표면 살포 후 토양과 혼합, 3) 토양 하층 살포, 4) 관개 시스템을 통한 액체 거름 분무, 5) 측면 살포 등 다섯 가지의 거름 도포 방법을 선택한다. 가능하다면 지표면 도포 또는 표면 살포 후 토양과 혼합하는 거름 시용 방법은 관개 체계를 통한 액체 거름 분무법보다 토양에 더 많은 영양소를 보존하고 거름의 가치를 높인다.

2.2.5. 시용 방법

거름을 뿌리는 방법은 거름의 액체 함량에 따라 달라지는데, 이는 거름을 생산한 가축과 거름의 저장 시스템에 따라 달라진다. 모든 유형의 거름에 대해, 표면 도포는 토양 내 혼입 여부와 상관없이 가장 널리 사용되는 방법이다. 거의 모든 반고체 또는 건조 거름은 토양 표면 살포를 적용할 수 있다. 곡물 사료로 사육되는 소와 가금류의 분뇨는 일반적으로 건조하거나 반고체 형태여서 토양 표면 살포에 적합하다. 표면에 도포된 거름은 30% 미만이 토양과 혼합된다.

다음으로 널리 사용되는 거름 살포법은 토양 표면 살포 후 토양과 혼합하는 방식이다. 액체 및 슬러리 거름은 이 방식을 적용하는 것이 적합하다. 일반적으로 돼지 농장이나 젖소 사육 농장에서 배출되는 가축 분뇨는 이 방식을 적용할 수 있다.

2.2.6. 미국의 정부 정책

거름이 어떻게 저장되고 처리되는지는 수질, 대기질, 그리고 인간의 건강에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 일부 가축 사육 시설은 주와 연방의 규정을 모두 준수해야 한다. 또한 축산업자들이 영양과 에너지의 원천으로 거름을 이용하는 것을 돕기 위해 축산업자에게 기술적, 재정적 지원을 제공하는 주와 연방 프로그램이 있다. 이러한 프로그램은 거름의 가치를 높이는 거름 제조 및 이용 기술의 채택을 촉진하는 데 도움이 된다.

가장 널리 활용되는 정부 정책은 규제 프로그램이다. 거름은 저장 구조물이 누출 또는 넘쳐나거나 거름의 토양 살포 후 비가 내린다면 살포된 거름이 수역으로 흘러 들어가 물을 오염시킬 수 있다. 이때 거름의 영양소는 지표수의 부영양화를 촉진할 위험이 있다. 액체 거름 저장 구조물은 온실가스인 메탄을 대기 중으로 방출한다. 이러한 환경 문제 때문에 연방 규정은 특정 농장이 비료를 사용할 수 있는 방법에 제한을 두고 있다.

다음으로 널리 사용되는 정부 정책은 양분 관리 계획이다. 양분 관리 계획은 비료로 인한 오염을 줄이기 위한 환경보호청(EPA)과 주 정부의 핵심적인 정책이며 적절한 비료 적용률, 적용 시간 및 위치를 명시한다. 종합적인 영양소 관리 계획은 양분 관리 계획을 비롯하여 냄새 관리 및 사료 관리와 같은 추가적인 요소를 포함한다. 일부 주는 거름 마케팅이나 운송을 규제하기도 한다. 많은 주에서는 유기질 비료에 대해 인증을 받도록 요구하고 있다.

그 밖에도 연방정부는 거름 지원 프로그램, 환경의 질 인센티브 프로그램, 재생에너지 크레딧, 탄소 한도 및 무역 공제제도, 수질(또는 양분) 거래 프로그램, 표시제도(labelling) 등 다양한 정책을 운용하고 있다.

2.3. 농민을 위한 경제적 기회

농민은 그들 농장에서 생산된 비료의 가치를 극대화하는 기술과 관행을 채택함으로써 경제적 기회를 창출할 수 있다. 그러나 가장 적절한 기회를 식별하기 위한 기본은 농장운영 시스템을 이해하는 것이다. 농장의 생산 접근 방식과 광범위한 기술, 경제 및 정책의 맥락은 비료 관리 시스템과 일치하는 시스템을 형성하는 것이다. 농가는 보통 다음과 같은 기술적 문제에 직면하게 된다.

- 기술의 이점으로는 일반적으로 거름 성분의 가치를 높이거나 거름 관리 비용을 줄임으로써 수익성을 높이는 것이다.
- 높은 자본 및 운영비용과 관리의 복잡성이 기술 채택의 장벽이다. 이러한 장벽은 개별 농민이 기술을 채택하는 정도에 영향을 미친다. 채택을 위해서는 자본 및 운영 비용과 관리 전문성을 공유할 수 있는 농민 간의 협력적인 합의가 필요하다.
- 농장 규모는 일부 비료 관련 기술을 불가능하게 만들 수 있다. 일반적으로 더 큰 농장은 규모의 경제를 실현할 수 있으므로 더 많은 기회에 접근할 수 있다. 반면, 소규모 농장은 특정 기회에 손쉽게 참여할 수 있는 장점이 있다.

2.4. 정부 정책과 프로그램

비료 관련 정부의 정책과 프로그램은 농민이 비료 관리 방법을 결정할 때 직간접적으로 영향을 미칠 수 있으며, 농장의 수익, 환경 및 공중 보건에도 영향을 미친다. 축산업자는 연방, 주, 그리고 지역 차원에서 정부 정책의 대상이다. 연방 기관은 종종 주 및 지방 사무소에 책임을 위임하기도 한다. 환경보호청(EPA)은 주에 개발 권한을 위임할 수 있다.

연방 청정수법(Clean Water Act)에 따라 허용되는 점-비점 수원의 수질 거래와 같은 연방 규정을 준수하는 자체 프로그램의 경우 미국 농무부 자연자원보전국(USDA NRCS)은 주의 기술 위원회를 통해 프로그램의 우선순위를 설정한다.

2.4.1. 재정적 인센티브

재정적 유인은 농민에게 새로운 기술이나 농법 도입에서의 비용 장벽을 극복하는 데 도움이 된다. 보조금을 지급하면, 장기적으로는 이익이 될 수 있지만 초기 비용이 높은 기술이나 농법의 채택을 촉진할 수 있다. 미국 농무부의 환경 품질 인센티브 프로그램(EQIP)은 농민과 목장주에게 작업 농지에 대한 보존 농법을 이행하기 위한 재정적 비용 분담과 기술적 지원을 제공하는 자발적 보존 프로그램이다. EQIP 가능 농민들에게 기술 채택 비용을 직접적으로 낮추는 효과가 있는 비료 분리, 퇴비화 시설, 혐기성 소화기와 같은 표적 기술을 구매하여 구현하도록 유인한다.

2.4.2. 규제

미국 환경보호청(EPA)은 청정수법에 따라 일부 농업 시설의 방류와 유출을 규제하고 있다. 분뇨저장시설의 건설 및 관리, 분뇨공급양분의 토지적용, 분뇨의 적용 방법 및 시기 등에 관한 규정이 있다. 규제는 생산성 증대에 간접적으로 긍정적인 영향을 미치는 기술 혁신으로 이어질 수 있다(Hille and Möbius, 2019).

소규모 사업장의 규제에 대한 단계적 접근은 기술 혁신으로 이어져 비료 영양소의 가치를 높이고 환경의 질을 개선할 수 있다. 기술 혁신을 통해 소규모 운영에 적합한 신기술을 개발하거나 위에서 설명한 거름 관리 기술에 대한 비용을 절감할 수 있다. 그러나 단계적인

규제 접근 방식은 기업이 새로운 기술로 전환할 수 있도록 경제적 유인을 동반해야 작동될 수 있다.

2.4.3. 지역사회 시스템

협력을 통해 중소 규모의 농장은 비용, 위험 및 전문성을 공유하고 규모의 경제를 활용하며 특정 기술을 좀 더 쉽게 채택할 수 있다. 주 정부는 지역사회 시스템을 육성하기 위해 세금을 공제하기도 하며 연방정부는 이러한 프로그램을 검토하여 연방 차원에서 시스템을 촉진하는 방법에 대한 템플릿을 만들 수 있다.

현행법은 농업 협동조합에 유리한 연방 세금 처리 방식을 제공한다. 농민의 협력을 지원하는 프로그램은 협동조합 형성과 비료의 부가가치를 높이는 기회를 더 많이 제공하기도 한다. 예를 들어, EQIP와 같은 연방 재정 인센티브 프로그램을 신청할 수 있도록 규칙을 변경하는 것은 이러한 프로그램을 조합에 홍보하고 비료 관리 관행과 기술의 채택을 촉진하는 데 도움이 될 수 있다.

2.4.4. 양분 거래 프로그램

연방 정책 및 규정은 위에서 설명한 양분 거래 프로그램에 참여하기 위한 농민들의 인센티브에 영향을 미친다. 현재까지 점 및 비점 오염원의 양분 거래 건수는 제한되어 있다. EPA는 현재의 주 프로그램과 관련 연구를 검토하고 설계를 쉽게 하는 데 도움을 준다. 양분 거래 프로그램에 성공적으로 참여하는 데 장애가 되는 요인으로는 농민의 현금 흐름 및 배출 감소 초기 비용, 우수 관리 관행의 채택에 따른 불확실성, 거래 및 거래 비용, 거래 비율, 규제에 대한 생산자의 태도(예: 두려움 또는 불신), 생산자 유연성, 기타 보존 프로그램 또는 보조금과의 상호작용 등이 있다.

2.4.5. 재생에너지 정책

연방정부는 축산업자의 참여를 장려하기 위해 재생 가능 연료 정책의 설계를 수정할 수 있다. 거름 및 기타 셀룰로스 물질을 유틸리티 파이프라인에 주입하면 시장 가치가 있는

거래 가능한 물질을 생성할 수 있으며 이 물질은 재생 가능 천연가스를 생성하는 데 사용될 수 있다.

비료 생산자들이 재생 가능 연료 표준의 혜택을 받는 것을 방해하는 몇 가지 장애물이 있다. 재생에너지 프로젝트를 위한 충분한 자금을 확보하려면 수년간의 자금 조달이 필요하다. 충분한 비료 공급 원료를 얻기 위해서는 프로젝트 개발자가 축산 농장주의 요구사항을 충족하고 개발해야 가능하다.

2.4.6. 온실가스 배출 저감 가격 책정

농민들에게 온실가스 감축 비용을 지급하는 정책들이 거름의 가치를 높이고 있다. 메탄을 포집하여 캘리포니아로 운송할 수 있는 RNG 파이프라인에 주입하는 프로젝트는 농민들에게 상당한 인센티브를 주고 있다. 농민들은 정부가 제공하는 보조금이나 캘리포니아 밖의 탄소 시장에서의 상쇄 판매를 통해 배출량 감소에 대해 직접 보상을 받을 수 있다. 캘리포니아의 온실가스 상한제 및 무역 프로그램은 2015년부터 해당 주에 메탄 소화기의 설치를 촉진했다(California Department of Food and Agriculture, 2021). 거름은 토양의 유기물을 증가시켜 탄소를 격리할 수 있다. 농민들은 이 탄소 격리에 대한 보상을 받을 수 있다. 캘리포니아주와 지역의 온실가스 저감 정책은 모두 거름에서 방출되는 메탄을 포획하여 온실가스 배출량을 차감해주도록 허용하고 있다(The Regional Greenhouse Gas Initiative, 2021).

2.4.7. 신청자 인증

맞춤형 거름을 신청하는 사람들이 늘어나고 있어서 이제 더 효율적으로 거름을 처리하는 방식으로 자리 잡고 있다. 미국 농무부는 인증 프로그램을 촉진하여 신청자 교육을 개선하고 조화롭게 하며 신청자가 서비스에 대한 프리미엄을 얻게 한다.

2.4.8. 연방 자금지원 연구개발

대학이나 농무부의 연구에 대한 연방정부의 지원이 증가하면 혐기성 소화기 및 펠릿화와 같은 거름 관련 기술에 대해 농민이 부담하는 비용을 시간이 지남에 따라 낮출 수 있다.

Alston et al. (2000)의 메타 분석에 따르면, 농업 생산에서 공공 연구와 개발에 대한 수익률은 연간 평균 65%로 매우 높다. Jaffe et al. (2005)는 환경오염과 관련된 시장 실패와 새로운 기술의 혁신, 확산과 관련된 시장 실패가 있다고 지적했다. 이러한 시장 실패는 민간 부문이 오염을 줄이기 위한 기술에 대한 투자가 부족하다는 것을 의미한다. 이는 환경 측면에서 유익한 기술의 개발과 채택을 촉진하는 공공 정책의 필요성을 입증하는 강력한 근거가 된다. 미국 농무부의 보전혁신지원(USDA Conservation Innovation Grant) 프로그램은 현재의 거름 기술을 포함한 기술의 발전을 지원하고 있다(U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2021). 규모의 경제는 중요한 장벽이므로 소규모 농장에 적합한 기술 연구를 장려하기 위해 프로그램을 수정하는 것이 도움이 될 수 있다.

2.5. 결론

미국에는 카운티 내에서 재배되는 농작물이 흡수할 수 있는 것보다 더 많은 거름 유래의 인 또는 질소를 배출하는 카운티가 391개로 미국 전체 카운티 3,243개의 12%나 된다. 거름 양분이 남아도는 이러한 카운티에서는 거름의 가치가 상대적으로 낮다. 동시에, 7개의 주요 밭작물이 재배되는 1,900만 에이커 미만의 땅에 거름이 사용된다. 이는 이러한 작물을 생산하는 데 사용되는 땅의 8% 미만이다. 따라서 작물의 영양 수요를 충족시키기 위해 거름 사용을 늘릴 가능성이 있다. 하지만, 거름을 농작물 비료로 사용하는 것을 확대하는 데는 몇 가지 어려움이 있다. 특히 거름은 총중량 중 영양소 비율이 낮고 거름을 살포하거나 운송하는 데 비용이 많이 들며, 거름 영양소 비율이 작물의 요구에 맞지 않을 수 있다는 단점이 있다.

거름에서 액체를 분리하면 운송이 더 쉬워지고 추가 처리가 가능한 액체 및 고체 성분이 생성된다. 펠릿화는 거름 시장을 확대하기 위한 또 다른 유망한 옵션이다. 섬유질, 고운 고체 또는 가금류의 거름으로 만든 펠릿은 더 쉽게 운반할 수 있다. 함량은 특정 영양소 비율로 조정될 수 있고, 영양소 손실에 덜 취약한 지효성 비료로 활용될 수 있다. 농축된 퇴비를 더 많이 사용할 수 있다면 유기농 생산에 사용되는 퇴비 수요를 충족시킬 수 있다.

거름을 비료로 사용하지 않고 혐기성 소화기, 연소(즉, 열화학적 전환) 및 섬유 회수 등의 방식으로 거름의 가치를 높이는 방법도 있다. 최근 탄소 신용 거래 및 인센티브 프로그램의

시작과 함께 혐기성 소화기가 인기를 얻고 있다. 이러한 많은 기술에 대한 높은 고정 비용과 그에 따른 규모의 경제는 소규모 농장의 수익 창출 기회를 확대하는 데 장벽으로 작용한다. 이러한 기술 중 많은 부분이 기술적인 복잡성을 가지고 있으므로 생산자는 교육을 통해 기술적 문제를 극복할 필요가 있다. 일부 기업들은 생산자와 계약을 맺고 농민에게 무료로 소화기를 제작해주기도 한다(NYSERDA, 2014). 이러한 공생관계는 소화기를 구매하여 운영할 필요 없이 농민에게 분뇨 처리 및 추가 수입의 수단을 제공한다.

시장 실패는 환경 측면에서 유익한 기술의 개발과 채택을 촉진하는 공공 정책이 필요하다는 근거가 된다. 유망한 기술에 대한 재정 지원 프로그램은 농장 내 및 농장 외부 모두에 이익이 된다. 미국 환경 보호청과 여러 주의 환경 기관들은 거름을 전기와 압축 천연가스로 바꾸는 것에 보조금을 지급한다. 재생에너지 및 탄소 시장의 설계는 축산 생산자가 이러한 수익원을 활용할 수 있는 범위를 결정한다.

작물별 또는 종별 접근 방식이 아닌 전체적인 농업 시스템 접근 방식을 취하는 정책 설계는 거름을 비료로 사용하는 관행을 촉진할 수 있다. 신기술의 대기 및 수질 영향을 정량화하는 수명 주기 분석 틀은 규제 또는 정책의 의도하지 않은 결과를 방지하는 데 도움이 된다.

참고문헌

Abdalla, C., L.E. Lanyon, and M.C. Hallberg. 1995. "What We Know about Historical Trends in Firm Location Decisions and Regional Shifts: Policy Issues for an Industrializing Animal Sector," American Journal of Agricultural Economics 77:1229–36.

BioCycle. 2019. "Biogas To RNG Projects: What, Why And How." BioCycle, Quebec City. March 11, 2019.

California Department of Food and Agriculture. 2021. "Dairy Digester Research and Development Program," California Department of Food and Agriculture, Office of Environmental Farming and Innovation, Sacramento, California.

Cantrell, K., K. Ro, D. Mahajan, M. Anjom, and P.G. Hunt. 2007. "Role of Thermochemical Conversion in Livestock Waste-to-Energy Treatments: Obstacles and Opportunities," Industrial & Engineering Chemistry Research 46(26):8918–27.

Chen, R., R. Li, L. Deitz, Y. Liu, R.J. Stevenson, and W. Liao. 2012. "Freshwater Algal Cultivation with Animal Waste for Nutrient Removal and Biomass Production," Biomass and Bioenergy 39(April): 128–38.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022. Global Fertilizer Markets and Policies: A Joint FAO/WTO Mapping Exercise.

Hille, E., and P. Möbius. 2019. "Environmental Policy, Innovation, and Productivity Growth: Controlling the Effects of Regulation and Endogeneity," Environmental and Resource Economics 73(4):1315–55.

Key, N., and S. Sneeringer. 2011. Climate Change Policy and the Adoption of Methane Digesters on Livestock Operations, ERR-111. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.

MacDonald, J.M., M.O. Ribaudo, M.J. Livingston, J. Beckman, and W. Huang. 2009. Manure Use for Fertilizer and for Energy: Report to Congress, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, June 2019.

McCann, L., C. Abdalla, M. Jenner, and R. Massey. 2005. "Improved Manure Management and Utilization: A Systems Approach," Renewable Agriculture and Food Systems 20(3): 127–35.

NYSERDA. 2014. "Anaerobic Digester Business Model and Financing Options for Dairy Farms in New York State," New York State Energy Research and Development Authority,

Report 14-30. May.

O'Donoghue, E.J., R.A. Hoppe, D.E. Banker, R. Ebel, K. Fuglie, P. Korb, M. Livingston, C. Nickerson, and C. Sandretto. 2011. The Changing Organization of U.S. Farming, EIB-88. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, December 2011.

Potts, L.G.A. and D.J. Martin. 2009. "Anaerobic Digestion, Gasification, and Pyrolysis," in Encyclopedia of Life Support Systems. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

Scarlat, N., F. Fahl, J. Dallemand, F. Monforti, and V. Motola. 2018. "A Spatial Analysis of Biogas Potential from Manure in Europe," Renewable and Sustainable Energy Reviews 94(October): 915-30.

Teng Lim, Ray Massey, Laura McCann, Timothy Canter, Seabrook Omura, Cammy Willett, Alice Roach, Nigel Key and Laura Dodson. March 2023. Increasing the Value of Animal Manure for Farmers. USDA Economic Research Service.

The World Bank. March 23, 2023. Food Security Update.