

발간등록번호

11-1543000-003816-01

소·돼지·가금 분뇨 권역 통제방안 및 편익분석 등을 통한 분뇨통제시스템 구축

고려대학교 산학협력단



농림축산식품부

제 출 문

본 보고서를 『소·돼지·가금 분뇨 권역 통제방안 및
편익분석 등을 통한 분뇨통제시스템 구축』 연구 용역의
최종보고서로 제출합니다.

2021년 10월

고려대학교 산학협력단

연구총괄: 고려대학교 교수 안병일

연구원: 고려대학교 박사과정 임희선
고려대학교 석사과정 강전상

차 례

제1장 서론

- 1. 연구 배경 및 목적 1
- 2. 연구 내용 4
- 3. 선행연구 6

제2장 가축분뇨 및 처리체계 현황

- 1. 가축분뇨 발생량 및 처리량 9
- 2. 가축분뇨 처리체계 현황 16
- 3. 현재 시행중인 질병 발생시의 가축분뇨 통제시스템 22

제3장 분뇨 이동 통제의 경제성 분석을 위한 연구방법

- 1. 가축분뇨 이동 통제로 인한 편익과 비용의 개념화 27
- 2. 편익과 비용의 비교 30
- 3. 축종별 분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오 31

제4장 편익 및 비용 산출

- 1. 이동제한의 대상이 되는 가축 분뇨량 산출 35
- 2. 질병별 분석 대상 사례 39
- 3. 편익 산출 40
- 4. 비용 산출 63
- 5. 경제성 분석 결과 72

제5장 통제권역 확대 및 축소의 경제성 분석

1. ASF	73
2. 구제역	77
3. AI	80
제6장 가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석	83
제7장 가축분뇨 이동 통제시스템 개선방안	
1. 통제권역 조정 여부에 대한 검토	87
2. 분뇨 이동 통제시스템 개선 방향	88
제8장 요약 및 결론	93
참고문헌	96
부록	98

표 차 례

<표 2-1> 가축분뇨 발생량(과거 10년)	10
<표 2-2> 가축분뇨 처리량(과거 10년)	11
<표 2-3> 축종별 농가수 및 사육두수(2018년, 2019년)	12
<표 2-4> 가축분뇨 처리형태별 농가수(2018년, 2019년)	13
<표 2-5> 축종별 가축분뇨 발생량(2018년, 2019년)	14
<표 2-6> 가축분뇨 처리형태별 처리량(2018년, 2019년)	15
<표 2-7> 가축분뇨 배출원단위 및 비료 성분 함유율	16
<표 2-8> 허가 및 신고대상 배출시설의 규모	18
<표 2-9> 처리공법 유형별 공공처리시설 현황	19
<표 2-10> 가축분뇨 공공처리시설 유형별 비용 및 편익 항목 기준	20
<표 2-11> 가축분뇨 처리시설별 비용 및 편익	21
<표 2-12> 가축분뇨 통제방안	23
<표 3-1> 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익 및 비용	28
<표 3-2> 가축질병별 분뇨 이동 통제권역 변경 시나리오 구성	33
<표 4-1> 이동 통제를 받는 분뇨량 및 비율	38
<표 4-2> 편익 분석 대상 사례	39
<표 4-3> 축산차량등록현황	43
<표 4-4> 가축분뇨 처리 비율(2018년)	45
<표 4-5> 축종별 가축분뇨 위탁처리 비율(2018년)	45
<표 4-6> 인접지역을 포함한 살처분 배율	57
<표 4-7> 살처분 보상단가 및 매몰비용	59
<표 4-8> 시나리오별 편익 구성 요소 요약	61

<표 4-9> 시나리오별 편익 추정 결과	62
<표 4-10> 시나리오에 따른 대기오염비용 추정 결과	68
<표 4-11> 비용 요약	71
<표 4-12> 경제성 분석 결과	72
<표 5-1> ASF 통제권역 축소 시나리오 경제성 분석 결과	75
<표 5-2> 구제역 통제권역 축소 시나리오 경제성 분석 결과	78
<표 5-3> AI 통제권역 확대 시나리오 경제성 분석 결과	80
<표 6-1> 가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석 ..	86
<표 7-1> 가축질병별 통제권역 조정 방안	88

그림 차례

<그림 1-1> 연구 내용 요약	5
<그림 2-1> 가축분뇨 배출 및 처리 과정	17
<그림 2-2> 가축 질병별 방역 권역	25
<그림 2-3> 공동자원화시설과 공공처리시설의 위치	25
<그림 2-4> 위탁처리시설과 질병별 방역 권역 통합	26
<그림 3-1> 가축분뇨 미처리로 인한 대기오염비용	29
<그림 3-2> 가축분뇨 통제권역 확대 및 축소 개념의 도식화	34
<그림 4-1> 가축분뇨 이동 통제권역	36
<그림 4-2> 편익 산출 5단계	41
<그림 4-3> 2019년 9-10월 ASF 경기북부권역 밖 질병 차단 효과	47
<그림 4-4> 2020년 10월 ASF 강원북부권역 밖 질병 차단 효과	48
<그림 4-5> 화천군과 인접지역의 분뇨 처리시설	49
<그림 4-6> 2019년 1-2월 구제역 경기·충북 권역 밖 질병 차단 효과	50
<그림 4-7> 2019년 9-10월 ASF 경기북부 권역 밖 인접지역의 사육두수	53
<그림 4-8> 2020년 10월 ASF 강원북부 권역 밖 인접지역의 사육두수	54
<그림 4-9> 2019년 1-2월 구제역 경기·충북 권역 밖 인접지역의 사육두수	55
<그림 4-10> 2020년 11-3월 AI 전국 권역 밖 인접지역의 사육두수	56
<그림 4-11> 비용 산출 5단계	65
<그림 5-1> ASF 통제권역 축소 시나리오	74
<그림 5-2> 현재 통제권역과 ASF 통제권역 축소 시나리오 비교	76

<그림 5-3> 현재 통재권역과 구제역 통제권역 축소 시나리오 비교	79
<그림 5-4> 현재 통재권역과 AI 통제권역 확대 시나리오 비교	82
<그림 7-1> 주요 개선방향 요약	90

제 1 장

서 론

1. 연구 배경 및 목적

- 아프리카돼지열병(ASF), 구제역, 고병원성 AI 등의 가축 질병은 살처분, 이동 통제 등 사회·경제적으로 막대한 피해를 입히는 질병으로 국내 제1종 법정전염병으로 지정되어 있음.
 - 특히 백신과 치료제가 없는 아프리카돼지열병은 감염되면 치사율이 거의 100%에 이르기 때문에 양돈 농가에 막대한 피해를 줌.

- 치사율이 높은 ASF와 더불어 구제역과 AI는 전염성 매우 강한 것으로 알려져 구제역으로 인한 양돈 농가와 한육우 농가, AI로 인한 양계 농가의 피해 역시 큰 것으로 보고되고 있음.
 - AI의 경우, 바이러스의 병원성에 따라 고병원성 조류인플루엔자와 저병원성 조류인플루엔자로 구분되며, 고병원성 AI가 발생할 경우 감염된 닭을 모두 살처분하고 있음.

- 2021년 10월 15일 기준, 방역 조치 현황을 살펴보면 구제역의 위기 단계는 관심, AI의 위기 단계는 주의, ASF의 위기 단계는 심각임.
 - ASF가 심각 단계로 상향 조정된 데는 올해 5월 강원도 영월을 시작으로 8월에는 강원도 고성, 인제, 홍천, 그리고 가장 최근인 10월에는 강원도 인제에서 ASF가 발생한 것으로 밝혀져 긴급 방역조치가 실시되고 있기 때문임.

- 과거 가축질병 발생 현황을 살펴보면, 구제역은 2000년 이후 총 424건 발생하였으며, ASF는 2019년 이후 총 17건 발생함.
 - 고병원성 AI는 2003년 국내 최초 발생 이후, 2018년까지 11차례에 걸쳐 총 1,055건이 발생하였으며, 최근에는 2020년 11월 26일부터 2021년 4월 6일까지 전국 8개 지역에서 109건 발생한 바 있음.

- 가축질병 발생이 빈번한 것 외에도 축산환경을 저해하는 가축분뇨는 우리나라 축산업의 문제점으로 대두되고 있음.

- 환경부 통계자료에 따르면, 가축분뇨 발생량은 2019년 5,184만 톤으로 2008년 대비 약 24.2%가 증가한 것으로 나타남.
 - 축종별 가축분뇨 발생량은 돼지가 가장 큰 비중을 차지하며, 한육우, 닭, 젓소 순임.
 - 소, 닭, 돼지의 가축분뇨 발생량은 총 발생량의 96.8%로 가축분뇨 발생량의 대부분을 차지함. 막대한 양의 가축분뇨는 처리 비용이 클 뿐만 아니라, 악취로 인한 대기오염, 토양 및 지하수 오염 등의 문제를 초래하고 있음.

- 본 연구에서는 농가의 생산성, 가축 질병의 예방 및 차단, 가축분뇨 처리의 환경적인 요소 등 축산업 생태계를 종합적으로 고려하고 질병 발생시 가축분뇨 권역 통제방안에 대한 편익-비용 분석을 실시하여 가축분뇨 통제시스템 개선방안을 제시하고자 함.

- 질병 통제시스템이 가져오는 다양한 직·간접적인 효과를 비교·분석하고 제시하여 이를 통해 정책 시행에 따르는 이해당사자들의 입장을 반영할 수 있는 방안을 제공하고자 함.
 - 본 연구는 국내 가축 질병 통제시스템의 편익과 비용을 다양한 관점에서 비교 분석한 최초의 연구로써 이후 여러 후속 연구를 촉발할 것으로 기대됨.
 - 또한, 본 연구는 질병 통제시스템의 세부 조정 및 통제권역 확대 및 축소에 대한 근거자료로 활용할 수 있으며, 여타 질병 통제시스템의 설계 및 비교 분석을 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것임.

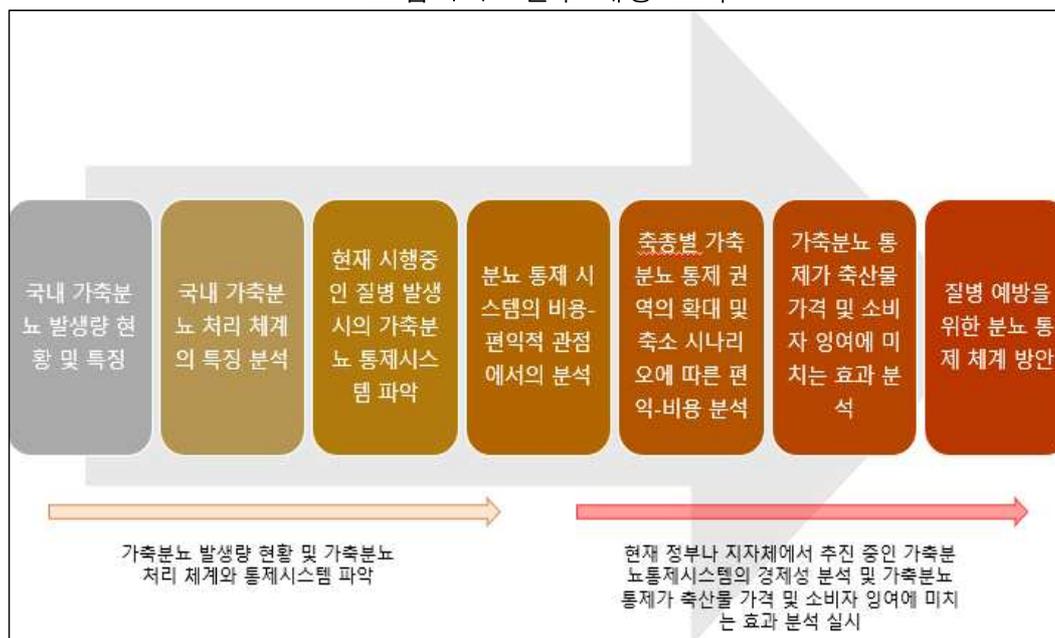
- 이를 통해 현재의 가축분뇨통제 조치의 문제점을 개선하고 효과적인 방역 조치를 제도화하는 등 질병 방역대책 추진 및 방역정책 수립에 기여하고자 함.

- 분석 결과는 질병 통제와 더불어 축산 농가 및 축산업의 부담을 최소화하는 개선방안을 제시하여 축산 발전을 위한 미래 방향에 중요 근거자료로 활용될 수 있을 것임.

2. 연구 내용

- 본 연구는 크게 가축분뇨 발생량 및 가축분뇨 처리체계와 통제시스템에 대한 분석과 가축분뇨통제시스템의 경제성 분석 및 분뇨통제가 소비자 잉여에 미치는 효과를 분석한 내용으로 구성됨(<그림 1-1> 참조).
- 분석에 앞서 가축분뇨 발생량 현황 및 가축분뇨 처리 체계와 통제 시스템을 파악하고자 함.
 - 이를 위해 축종별 분뇨 발생량 및 처리량과, 국내 가축분뇨 처리체계, 그리고 현재 시행중인 질병 발생시의 가축분뇨통제시스템에 초점을 두어 현황을 검토하고자 함.
- 제 4장에서는 아프리카돼지열병(ASF), 구제역, AI 예방을 위한 현재 정부나 지자체에서 추진 중인 가축분뇨통제시스템을 편익-비용적 관점에서 분석하고자 함.
- 제 5장에서는 축종별 가축분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오에 따른 편익-비용 분석을 실시한 결과를 제시하고자 함.
- 제 6장에서는 가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석하고, 제 7장에서는 질병 예방을 위한 분뇨 통제 체계 방안을 제시하고자 함.

<그림 1-1> 연구 내용 요약



출처: 저자 작성

3. 선행연구

- 본 연구에서는 가축질병 통제시스템, 분뇨 통제시스템, 가축분뇨의 자원화 및 환경오염 방지 효과 등에 대한 선행연구를 검토함.
- 검토한 선행연구들은 대부분 가축분뇨 처리 및 제도의 필요성, 경제적 효과에 초점을 맞추어 진행되었음에 반해, 본 연구에서는 가축분뇨의 이동에 대한 통제가 가져오는 경제적, 사회적, 생태적 효과를 분석한다는 측면에서 차별성이 있음.

3.1 가축분뇨처리지원사업의 경제성 및 종합적 평가

- 김현중 외(2018)에서는 가축분뇨처리지원사업과 유기질비료 지원 사업을 종합적으로 평가하고 지원사업의 개선방안 및 가축분뇨 관리방안을 제시함.
 - 가축분뇨처리지원사업의 경우, 성과지표인 가축분뇨 자원화율과 사업 목적과의 관련성이 높은 것으로 판단하였으며 성과지표 목표치를 100% 달성하고 있는 것으로 평가함.
 - 유기질비료 지원사업의 경우, 성과지표인 토양의 유기물 함량과 사업 목적과의 관련성이 높은 것으로 판단하였으며 성과지표 목표치도 적정 수준인 것으로 평가함.
 - 또한, 회귀분석을 통해 가축분뇨처리 사업군의 효과성을 분석한 결과, 재정지원액이 1억 원 증가하면 약 9천 톤의 가축분뇨가 추가로 자원화되는 것으로 나타남.

- 조재성 외(2019)에서는 가축분뇨처리지원사업의 가축분뇨 자원화 영향과 경제적 효과를 분석함.
 - 이를 위해 SUR 기법으로 재정지원이 가축분뇨 자원화량 등 세부 자원화 지표에 미친 영향을 살펴봄.
 - 연구결과, 가축분뇨처리지원사업은 가축분뇨의 자원화를 촉진시켜 가축분뇨로 인한 환경오염을 저감하고 예산에 비해 높은 경제적 효과를 달성하는 것으로 나타남.

- 이셋별(2017)에서는 일본의 가축분뇨 처리기술 현황과 처리시스템에 대해 살펴봄.
 - 일본에서는 퇴비유통센터, 유기액비센터와 정화 처리시설을 설립하여 운영하고 있으며 아오모리형 오염 수리시설, 미야자키현 목장 분뇨처리시스템 등 각지에서 처리시스템을 운영하고 있음.
 - 이러한 일본의 가축분뇨 처리 동향을 통해 국내 시스템 및 정책에의 시사점을 도출함.

3.2 가축분뇨 처리 정책에 대한 분석

- 한대호 외(2013)에서는 가축분뇨 관리 선진화를 위한 제도개선 및 관리체계 효율화 방안을 연구함.
 - 이를 위해 환경부, 농림축산식품부의 가축분뇨 제도 및 정책을 살펴보고 제도개선 방향을 찾는 동시에 새로운 관리기준을 검토함.
 - 또한, 가축분뇨 처리의 문제점 파악과 관련 제도 및 정책과의 상호연계 방안과 함께, 통합관리시스템 구축을 제시하고자 하였음.

- 가축분뇨관리 제도개선 및 관리체계 효율화를 위해 가축통계자료 개선, 양분총량제 등 현안문제를 제시함.
- 유지은(2017)에서는 EU의 가축분뇨 처리 정책을 살펴보고 그중에서도 독일, 네덜란드, 스위스의 정책과 현황을 살펴봄.
- EU는 공동농업정책(CAP), 질산염 지침(Nitrates Directive), 모범농업 실시규약(COGAP) 등 농업환경 관련 정책을 추진해왔음.
 - 독일은 바이오플랜트 지원을, 네덜란드는 환경오염 물질인 질소와 인을 우선 처리하는 방안을, 스위스는 가축분뇨 잉여분 거래의 제도화 정책을 추진함.
 - 이러한 유럽 국가들의 정책을 통해 국내 가축분뇨 처리 정책 기준에의 적용을 검토할 수 있는 시사점을 도출함.
- 조을생 외(2019)에서는 가축분뇨 관리 정책을 분석하였는데, 국내 가축분뇨 관리 정책은 가축분뇨 자원화 중심의 정책이 추진되고 있으며 가축분뇨 관리체계는 가축분뇨 발생 전/후로 나누어 관리되고 있는 것으로 파악함.
- 가축분뇨 처리시설에 대한 전과정 평가를 통해 환경성을 분석하고 경제성을 분석하여, 지속 가능한 가축분뇨 관리방안을 도출함.

제 2 장

가축분뇨 및 처리체계 현황

1. 가축분뇨 발생량 및 처리량

- 환경부는 가축분뇨 발생량과 처리량을 매년 조사하여 가축분뇨 처리통계 자료를 발표하고 있음.

- 우리나라 가축사육 농가는 2010년 대비 2019년 감소하였으나 축산물 소비 증가에 힘입어 가축 사육두수는 꾸준히 증가하는 추세를 나타냄(<표 2-1> 참조).
 - 반면, 가축분뇨 발생량은 2010년부터 2019년까지 평균적으로 약 13만 5000m³/일임. 최근 추세를 살펴보면, 2018년과 2019년도에 가축분뇨 발생량이 증가한 것을 알 수 있음.
 - 가축분뇨 발생량의 경우 돼지와 한육우 분뇨 발생량은 2010년 대비 2019년 증가하였으나 젓소 분뇨 발생량은 감소한 것으로 나타남.

<표 2-1> 가축분뇨 발생량(과거 10년)

단위: 호, 천두, m³/일

구분	가축사육 축산농가	가축사 육두수	가축분뇨 발생량				
			돼지	한육우	젖소	기타축종	합계
2010년	213,510	212,917	57,059	37,653	19,155	21,830	135,697
2011년	223,988	215,499	46,876	42,051	17,065	22,050	128,043
2012년	233,355	224,208	54,085	43,338	17,905	22,833	138,161
2013년	212,794	235,144	53,322	40,696	17,230	23,878	135,126
2014년	213,599	240,176	55,227	40,004	17,075	24,321	136,627
2015년	194,823	236,801	54,268	39,072	17,101	24,120	134,562
2016년	192,982	252,197	56,291	39,854	16,292	25,769	138,205
2017년	201,745	258,492	56,229	39,393	15,562	26,517	137,701
2018년	197,026	261,477	58,614	42,121	16,772	26,805	144,313
2019년	198,229	291,996	60,883	45,284	17,324	29,730	153,220

출처: 환경부 「가축분뇨 처리통계」

○ 과거 10년 평균 가축분뇨 자가처리량과 위탁처리량 비율은 80%와 20%임. 분뇨 자가처리량은 2010년 대비 2019년 비슷한 수치를 보이지만, 분뇨 위탁처리량은 2010년 대비 2019년 증가한 것을 알 수 있음(<표 2-2> 참조).

- 자가처리 중 퇴비화로 처리되는 비중은 약 87%로 압도적으로 많았음. 퇴비화 처리량은 2010년 대비 2019년 비슷한 수치를 보이는 반면, 정화방류 처리량은 크게 증가하고 미처리량은 큰 폭으로 감소함.

- 정부의 지원으로 위탁처리시설이 증가함에 따라 위탁처리 비율이 크게 증가한 것으로 사료됨.

<표 2-2> 가축분뇨 처리량(과거 10년)

단위: m³/일

구분	자가처리					위탁처리	합계
	퇴비화	액비화	정화방류	미처리	합계		
2010년	106,595	6,237	3,965	2,534	119,330	16,367	135,697
2011년	91,527	8,680	3,388	2,227	105,822	22,221	128,043
2012년	96,036	9,474	5,161	2,387	113,057	25,104	138,161
2013년	89,608	7,256	5,623	1,829	104,315	30,811	135,126
2014년	88,559	8,010	5,595	1,758	103,922	32,705	136,627
2015년	88,620	7,203	4,771	1,896	102,488	32,073	134,561
2016년	101,122	5,560	5,725	1,627	114,035	24,170	138,205
2017년	99,579	4,725	5,032	1,475	110,810	26,891	137,701
2018년	105,653	3,678	6,060	388	115,779	28,534	144,313
2019년	107,768	5,287	9,129	135	122,319	30,901	153,220

출처: 환경부 「가축분뇨 처리통계」

- 최근 자료인 2019년을 기준으로 살펴보면, 농가 수 및 사육두수는 총 198,229호와 2억 9,199만 두임. 한육우의 총 농가 수는 103,446호이며, 사육두수는 330만 두임(<표 2-3> 참조).
 - 농가 수는 한육우가 52.2%로 가장 높으며, 닭(15.9%), 돼지(4.3%),

젓소(3.9%) 순임.

- 한육우의 사육두수는 330만 두이며, 젓소의 사육두수는 45만 두임.
- 돼지의 사육두수는 1,193만 두이며, 닭의 사육두수는 2억 6,329만 수로 나타남.
- 사육두수의 경우, 닭은 90.2%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 돼지(4.1%), 한육우(1.1%), 젓소(0.2%) 순으로 높게 나타남.

○ 2018년 기준 농가 수 및 사육두수는 총 192,026호와 2억 6,147만 두로 2019년 대비 농가 수는 약 6000호, 사육두수는 3천만 두 낮게 나타남.

- 축종별 사육두수 비율은 닭이 2019년 대비 높게 나타나며, 한육우, 젓소, 돼지의 사육두수 비율은 유사한 것으로 나타남.

<표 2-3> 축종별 농가수 및 사육두수(2018년, 2019년)

2018년			2019년		
축종	농가수(호)	사육두수(두, 수)	축종	농가수(호)	사육두수(두, 수)
한육우	102,811 (53.5%)	3,074,528 (1.2%)	한육우	103,446 (52.2%)	3,305,410 (1.1%)
젓소	7,786 (4.1%)	444,883 (0.2%)	젓소	7,756 (3.9%)	459,514 (0.1%)
돼지	8,960 (4.7%)	11,494,991 (4.4%)	돼지	8,497 (4.3%)	11,937,818 (4.1%)
닭	29,797 (15.5)	238,237,775 (91.1%)	닭	31,552 (15.9%)	263,290,311 (90.2%)
기타	42,672 (22.2%)	8,224,889 (3.1%)	기타	46,978 (23.7%)	13,003,347 (4.5%)
총합계	192,026 (100%)	261,477,066 (100%)	총합계	198,229 (100%)	291,996,400 (100%)

주: 괄호 안에 수치는 농가수 및 사육두수의 비율을 나타냄.

자료: 환경부

○ 환경부 자료에 따르면, 2019년 기준 가축분뇨처리시설 설치대상 농가 수는 198,229호임(<표 2-4> 참조).

- 자가처리와 위탁처리 비중은 95.3%와 4.7%로 자가처리 비중이 대부분을 차지하고 있음.
- 자가처리 내 퇴비화 비중은 전체의 93.9%로 가장 높았으며, 위탁처리 내 재활용 비중은 전체의 2.8%로 가장 높게 나타남.

<표 2-4> 가축분뇨 처리형태별 농가수(2018년, 2019년)

구분	처리형태	농가 수(호) (2018년 기준)	농가 수(호) (2019년 기준)
자가처리	정화방류	681 (0.4%)	1,497 (0.7%)
	퇴비화	182,469 (94.7%)	188,970 (93.9%)
	액비화	1569 (0.8%)	1,458 (0.7%)
	바이오에너지	-	-
	가축분뇨고체연료	-	-
	소계	184,719 (95.9%)	191,925 (95.3%)
위탁처리	공공처리시설	3,077 (1.6%)	3,368 (1.7%)
	공동처리시설	45 (0%)	213 (0.1%)
	재활용신고자	4,831 (2.5%)	5,689 (2.8%)
	가축분뇨처리업자	101 (0%)	135 (0.1%)
	소계	8,054 (4.1%)	9,405 (4.7%)
합계		192,773 (100%)	201,330 (100%)
설치대상 농가수 ¹		197,026	198,229

주: 1. 2019년 설치대상 농가수는 198,229호이며, 농가별 가축분뇨 처리방법이 다수인 경우 중복 응답을 반영한 총 농가수는 201,330호임. 2018년 설치대상 농가수는 197,026호이며, 중복 응답을 반영한 총 농가수는 192,773호임.

자료: 환경부

- 2019년 기준 가축분뇨 발생량은 153,220톤/일임(<표 2-5> 참조).
 - 축종별로는 돼지(39.7%) 분뇨 발생량이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 한육우(29.6%), 닭(17.8%), 젓소(11.3%) 순으로 높게 나타남.
- 2018년 기준 가축분뇨 발생량은 185,069톤/일임.
 - 축종별로는 돼지(53.4%) 분뇨 발생량이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 한육우(24.3%), 젓소(11%), 닭(10.3%) 순으로 높게 나타남.
- 가축분뇨 처리량을 가축분뇨처리형태별로 살펴보면, 2018년과 2019년 자가처리와 위탁처리 가축분뇨 처리량 비중은 약 75~80%와 약 20~25%로 자가처리 비중이 대부분을 차지하고 있음(<표 2-6> 참조).
 - 또한, 2019년 기준 퇴비화되는 가축분뇨 처리량은 107,768톤/일로 전체의 70.4%를 차지하며, 재활용되는 가축분뇨 처리량은 18,885톤/일로 전체의 12.3%를 차지함.

<표 2-5> 축종별 가축분뇨 발생량(2018년, 2019년)

축종	가축분뇨 발생량 (톤/일) (2018년)	가축분뇨 발생량 (톤/일) (2019년)
한육우	44,888 (24.3%)	45,284 (29.6%)
젓소	20,287 (11%)	17,324 (11.3%)
돼지	98,840 (53.4%)	60,883 (39.7%)
닭	19,059 (10.3%)	27,303 (17.8%)
기타	1,995 (1.1%)	2,426 (1.6%)
총 합계	185,069 (100%)	153,220 (100%)

주: 괄호 안의 수치는 2018년과 2019년 축종별 가축분뇨 발생량 비율을 나타냄.

자료: 환경부

<표 2-6> 가축분뇨 처리형태별 처리량(2018년, 2019년)

구분	처리형태	처리량(톤/일) (2018년)	처리량(톤/일) (2019년)
자가처리	정화방류	10,373 (5.6%)	9,129 (6%)
	퇴비화	124,289 (67.3%)	107,768 (70.4%)
	액비화	6,172 (3.4%)	5,287 (3.4%)
	바이오에너지	-	-
	가축분뇨고체연료	-	-
	소계	140,834 (76.3%)	122,184 (79.8%)
위탁처리	공공처리시설	19,041 (10.3%)	10,918 (7.1%)
	공동처리시설	551 (0.3%)	691 (0.5%)
	재활용신고자	23,467 (12.7%)	18,885 (12.3%)
	가축분뇨처리업자	746 (0.4%)	408 (0.3%)
	소계	43,805 (23.7%)	30,902 (20.2%)
총 합계		184,639 (100%)	153,220 (100%)

주: 2019년 미처리 가축분뇨 처리량은 135톤/일임.

괄호 안에 수치는 2018년과 2019년 가축분뇨 처리형태별 처리량 비율을 나타냄.

자료: 환경부

○ 가축분뇨의 축종별 특징은 가축분뇨 배출원 단위와 비료 성분 함유율로 파악할 수 있음(<표 2-7> 참조).

- 예를 들어, 한우의 분뇨 중 분은 하루, 한 마리 기준으로 8kg이며 노는 5.7kg임.
- 돼지의 경우 분은 0.87kg, 노는 1.74kg으로 분보다 노의 비율이 두 배 이상 높음을 알 수 있음.
- 닭은 노가 없이 분만 존재함.
- 각 축종별 비료 성분 함유율을 살펴보면, 소의 경우 질소 및 칼리의 비중이 높으며, 돼지는 인의 비율이 높게 나타남.
- 닭의 경우는 질소와 인의 비율이 높음을 알 수 있음.

<표 2-7> 가축분뇨 배출원단위 및 비료 성분 함유율

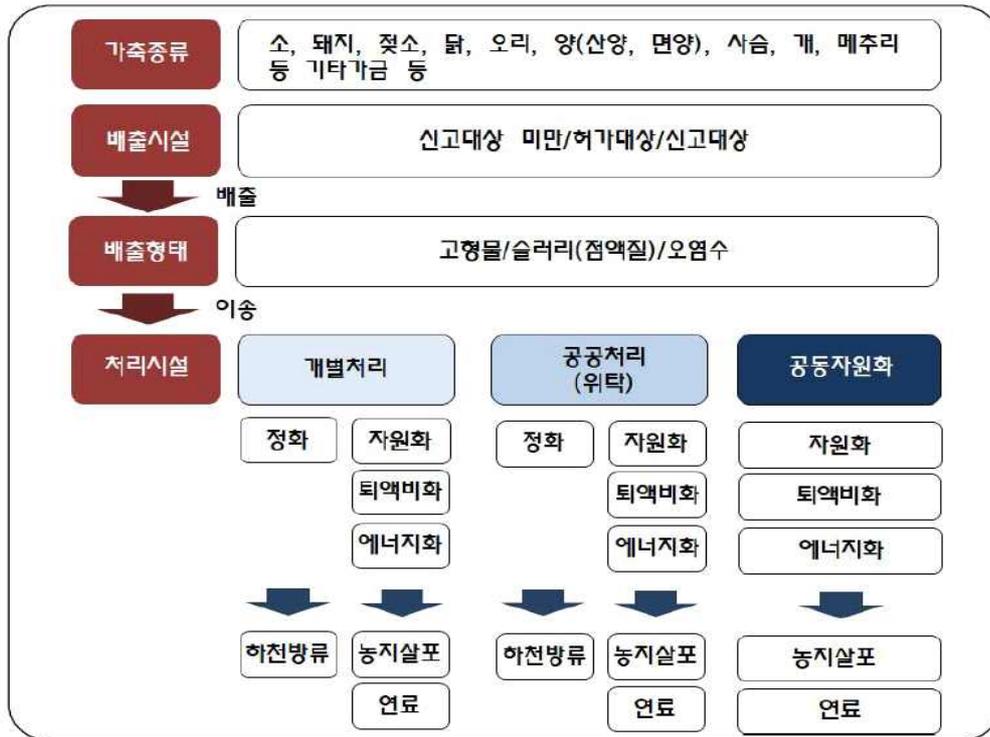
구분		한우	젓소	돼지	닭
가축분뇨 배출원 단위(kg /두/일)	분	8	19.2	0.87	0.12
	뇨	5.7	10.9	1.74	-
	분+뇨	13.7	30.1	2.61	0.12
	세정수	0	7.6	2.49	-
	계	13.7	37.7	5.1	0.12
비료 성분 함유율(%)	질소	0.4	0.5	0.5	1.7
	인	0.2	0.1	0.8	1.6
	칼리	0.5	0.5	0.4	0.9

출처: 국승용 외(2017), 2017년 농림축산식품사업 성과평가, 한국농촌경제연구원, <표 4-8> 가축분뇨 배출원단위 및 비료성분 함유율, p.94

2. 가축분뇨 처리체계 현황

- 가축분뇨 처리시설은 농가의 개별처리시설과 위탁처리시설로 구분됨(<그림 2-1> 참조).
 - 위탁처리시설은 다시 자원화시설과 정화시설로 구분됨. 자원화시설은 퇴비와 액비를 만드는 시설, 정화시설은 가축분뇨를 정화하여 방류하는 시설임.
 - 정부는 공동자원화시설(자원화시설)과 공공처리시설(정화시설)의 설치를 지원하고 있음.

<그림 2-1> 가축분뇨 배출 및 처리 과정



출처: 김현중 외(2018) 가축분뇨처리 사업군심층평가, 한국농촌경제연구원 연구보고서, <그림 2-3> 가축분뇨 배출 및 처리 과정, p.21

- 법적 기준에 따른 배출시설로는 허가대상, 신고대상, 신고미만이 있는데, 허가 및 신고대상 배출시설의 규모는 <표 2-8>에 제시함.
- 2018년 기준 분뇨 발생량의 62%가 허가대상 배출시설이었으며, 신고대상과 신고미만 배출시설로부터의 분뇨 발생량 비율은 각각 30%와 8%임.

<표 2-8> 허가 및 신고대상 배출시설의 규모

허가대상 배출시설		신고대상 배출시설	
배출시설의 종류	규모	배출시설의 종류	규모
돼지 사육시설	면적 1,000m ² 이상. 다만, 수질보전특별대책 지역 등에서는 면적 500m ² 이상으로 한다.	돼지 사육시설	면적 50m ² 이상 1,000m ² 미만. 다만, 수질보전특별대책 지역 등에서는 면적 50m ² 이상 500m ² 미만으로 한다.
소(젓소 제외) 사육시설	축사 면적 900m ² 이상 또 는 운동장 면적 450m ² 이 상. 다만, 수질보전특별대책 지역 등에서는 축사 면적 450m ² 이상 또는 운동장 면적 200m ² 이상으로 한다.	소(젓소 제외) 사육시설	축사 면적 100m ² 이상 900m ² 미만 또는 운동장 면적 200m ² 이상 450m ² 미만. 다만, 수질보전특별대 책 지역 등에서는 축사 면 적 100m ² 이상 450m ² 미 만 또는 운동장 면적 100m ² 이상 200m ² 미만으로 한다.
젓소 사육시설	축사 면적 900m ² 이상 또 는 운동장 면적 2,700m ² 이상. 다만, 수질보전특별대 책 지역 등에서는 축사 면 적 450m ² 이상 또는 운동 장 면적 1,350m ² 이상으로 한다.	젓소 사육시설	축사 면적 100m ² 이상 900m ² 미만 또는 운동장 면적 300m ² 이상 2,700m ² 미만. 다만, 수질보전특별대 책 지역 등에서는 축사 면 적 100m ² 이상 450m ² 미 만 또는 운동장 면적 300m ² 이상 1,350m ² 미만으로 한다.
닭 또는 오리 사육시설	면적 3,000m ² 이상	닭 또는 오리 사육시설	닭 또는 오리는 200m ² 이 상 3,000m ² 미만으로 하 고, 메추리는 면적 200m ² 이상으로 한다.

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 <개정 2015.3.24.>

○ 가축분뇨 처리시설은 처리공법에 따라 크게 물리·화학적 처리시

설과 생물학적 처리시설로 구분할 수 있음.

- 물리적 처리방법으로는 스크린, 혼합, 응결, 침전 등이 있으며, 화학적 처리방법으로는 화학침전, pH조정, 응집, 살균 등이 있음.
- 생물학적 처리방법으로는 호기성, 혐기성, 미생물, 영양염류처리 등이 있음.

- 처리공법 유형별 공공처리시설 현황을 살펴보면, 대부분 생물학적 처리를 기본으로 물리·화학적 처리와 조합하여 변형시킨 처리방식이 사용되고 있음(<표 2-9> 참조).

<표 2-9> 처리공법 유형별 공공처리시설 현황

전국 처리장 수	BCS	액상부식	BIOSUF	HBR-II	KHTS	기타
103	30	21	8	6	6	32

주: 기타 처리공법은 MBR, B3, 저장액비화법등을 포함.

출처: 2019년 기준 가축분뇨 공공처리시설 운영 관리 현황_21.06.14

- 조을생 외(2019)는 개별 처리시설 및 공동자원화 처리시설의 공개된 자료수집 한계와 데이터 부족으로 인해 지자체에 의해 운영되고 있는 공공처리시설(105개)을 대상으로 비용과 편익을 제시함.
- 선행연구에 따르면 가축분뇨 공공처리시설의 처리유형별 비용 편익 항목 기준은 <표 2-10>과 같이 정리할 수 있음.
 - 비용항목은 인건비, 전력비, 약품비, 슬러리처리비 등을 포함한 유지관리비와 감가상각비로 구성되어 있음.
 - 편익은 크게 직접편익과 간접편익으로 구분되는데 직접편익은 반입

수수료와 REC 거래, 그리고 액비살포, 퇴비판매, 전력판매 등으로 부터 발생하는 수익임.

- 간접편익은 수질 개선 편익과 CO2 감축, 그리고 화학비료와 화석연료로 대체함으로써 발생하는 편익임.

<표 2-10> 가축분뇨 공공처리시설 유형별 비용 및 편익 항목 기준

구분(단위)		정화처리		자원화			
		단독처리	연계처리	바이오가스 (액비처리)	바이오가스 (정화처리)	액비화	퇴비화
비용	유지관리비	○	○	○	○	○	○
	감가상각비	○	○	○	○	○	○
직접편익	반입수수료	○	○	○	○	○	○
	액비살포수익	X	X	○	X	○	X
	퇴비판매수익	X	X	X	X	X	○
	전력판매수익	X	X	○	○	X	X
	REC 거래	X	X	○	○	X	X
간접편익	수질개선편익	○	○	○	○	○	○
	화학비료 대체	X	X	○	X	○	○
	화석연료 대체	X	X	○	○	X	X
	CO ₂ 감축	X	X	○	○	X	X

출처: 조을생 외(2019), 지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서, p.117

- 처리유형별 비용편익분석 결과, 6개 처리유형에서 모두 경제성이 있는 것으로 분석됨.
- 바이오가스(액비처리)가 가장 편익 대비 비용 측면에서 경제성이 높은 처리유형으로 나타났으며, 바이오가스(정화처리), 액비화, 퇴비화, 정화(연계처리), 정화(단독처리) 순으로 높게 나타남(<표

2-11> 참조).

- 이러한 분석 결과는 가축분뇨 처리시설의 유형에 따른 비용편익분석 결과로, 비용과 편익을 구성하는 요소들을 파악하여 분뇨 처리시설이 어떻게 운영되고 있는지에 대한 이해를 돕는 자료임.

<표 2-11> 가축분뇨 처리시설별 비용 및 편익

구분(단위)		시설규모(50m ³ /일)					
		정화 (단독처리)	정화 (연계처리)	바이오가스 (액비처리)	바이오가스 (정화처리)	액비화	퇴비화
비용	유지관리비	52,626	38,732	39,784	54,140	25,929	51,330
	감가상각비	49,942	42,958	43,917	52,271	20,862	32,783
	소계	102,568	81,690	83,701	106,411	46,791	84,113
직접 편익	반입수수료	12,527	12,527	26,769	26,769	12,527	12,527
	가축분뇨제품 판매수익	-	-	14,678	11,128	3,550	2,928
	REC 거래	-	-	8,916	8,916	-	-
	소계	12,527	12,527	50,363	46,813	16,077	15,455
간접 편익	수질개선편익	136,026	125,891	224,077	243,642	101,267	186,196
	화학비료 대체	-	-	1,447	-	1,447	10,872
	화석연료 대체	-	-	3,157	3,157	-	-
	CO ₂ 감축	-	-	981	981	-	-
	소계	136,026	125,891	229,663	247,780	102,715	197,069

주: REC는 신재생 에너지를 이용하여 에너지를 공급한 사실을 증명하는 인증서임.

자료: 조을생 외(2019), 지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서, p.117

3. 현재 시행 중인 질병 발생시의 가축분뇨 통제시스템

- 분뇨 이동 통제에 대한 경제성 분석에 앞서 현재 시행 중인 질병 발생시의 가축분뇨 통제시스템에 대해 파악하고자 함.
- 2021년 4월 6일과 2019년 1월 31일을 마지막으로 가금농장 AI와 구제역 발생은 없었으며, 이에 따라 위기 경보단계가 심각에서 관심으로 하향 조정되었음. 아프리카돼지열병(ASF)의 경우 2021년 5월 5일 발생 이후 심각으로 상향 조정됨.
 - 이후, AI는 최근 들어 위기 경보단계가 주의로 상향 조정됨.
- 아프리카돼지열병(ASF) 바이러스는 건조한 피부나 지방에 300일 이상, 저온 상태의(4℃) 혈액에서 18개월 이상 유지되며, 건조한 상태뿐만 아니라 냉동 고기에서까지도 1000일까지 바이러스가 상당기간 존재하기 때문에 문제가 됨(<표 2-12> 참조).
 - 아프리카돼지열병(ASF)의 경우, 백신이 없어 살처분처리를 해야 하지만 구제역과 고병원성 AI는 살처분 피해를 줄이기 위한 대안으로 백신 접종이 가능함.

<표 2-12> 가축분뇨 통제방안

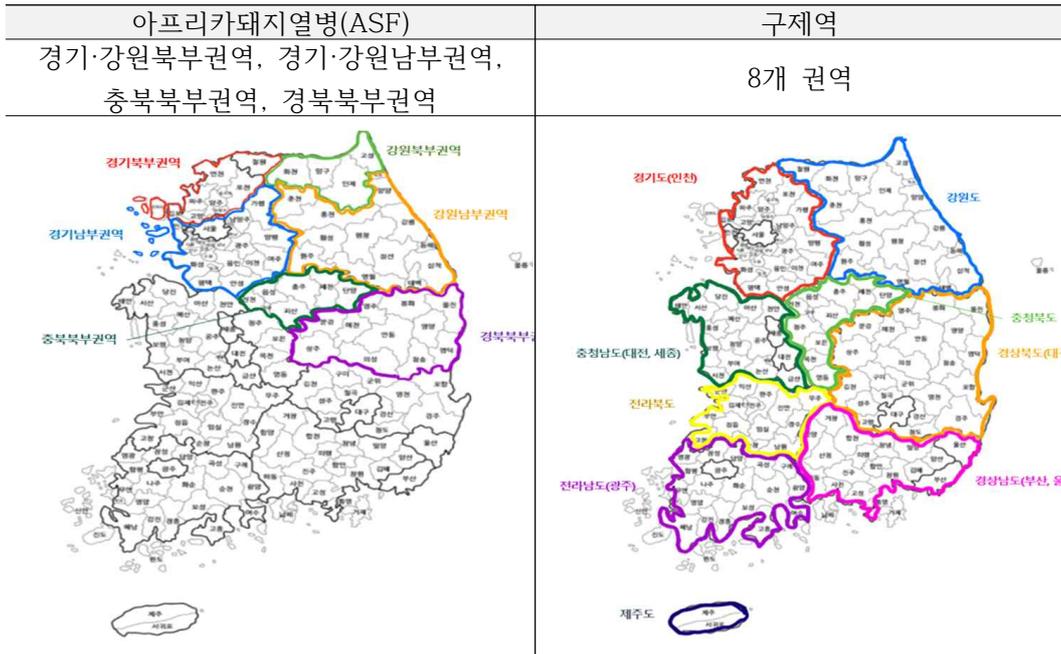
구 분		아프리카돼지열병	구제역	고병원성 AI
대상 축종		돼지	소, 돼지	가금류
방역 조치	내용	가축과 분뇨 반·출입 통제 및 축산차량 이동 통제	전국을 9개 권역으로 구분한 권역간 분뇨 이동제한	시도 간 가금류 분뇨차량 이동제한, 산란계 농장 분뇨 반출 제한(2주 이상 보관 후 반출) 등
	기간	전국 일시이동중지 명령(48시간 이내, 연장 가능)	- 특별방역기간(2020 년 10월-2021년 3월) - 전국 일시이동중지 명령(48시간 이내, 연장 가능)	- 특별방역기간(2020 년 10월-2021년 3월) - 전국 일시이동중지 명령(48시간 이내, 연장 가능)
방역 권역		경기·강원북부권역, 경기·강원남부권역, 충북북부권역, 경북북부권역	경기(인천), 강원, 경북(대구), 경남(부산, 울산) 충북, 충남(대전, 세종), 전북, 전남(광주), 제주	고병원성 AI가 발생한 권역 - 예찰지역: 발생농장을 중심으로 하여 반경 3km를 초과하여 10km 이내의 지역 - 보호지역(반경 500m-3km 이내) - 관리지역(반경 500m이내)
잠복기		약 4일-19일	약 2일-14일	약 3일-21일
바이러스 생존기간		냉동고기(1000일), (건조) 피부/지방 (300일), 4°C에서	물(50일), 흙·마대·건초(26~200 일), 혈액 등으로	37°C에서 6일 4°C에서 35일

	보관한 혈액(18개월), 오염된 돼지 우리(1개월), 실온 배설물(11일) 등	오염된 나무나 금속 등(35일)	
전파 경로	바이러스에 감염된 돼지 또는 야생 멧돼지의 침, 분변 등 분비물 및 혈액과의 직접적인 접촉	직접적으로 감염된 동물의 침, 분변 등의 접촉 또는 사람의 의복, 장비 등에 묻어서 전파	오염된 먼지·물·분변 또는 사람의 의복, 장비 등에 묻어서 전파

출처: 농림축산식품부 아프리카돼지열병·조류인플루엔자·구제역·소해면상뇌증 웹사이트 자료를 활용하여 저자 재구성
주: 조류인플루엔자·구제역 특별방역대책기간은 2020년 10월부터 2021년 2월까지 예정되었으나, 3월까지로 2주씩 2번에 걸쳐 연장되었음.

- 아프리카돼지열병이 발생할 경우, 현행 가축분뇨통제시스템에 따라 6개 권역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부, 경북북부, 충북북부)이 통제되고 있음.
- 구제역이 발생할 경우, 전국을 9개 지역으로 구분하여 지역 간 분뇨 이동을 제한하고 있음.
- 고병원성 AI가 발생하면 현행 가축분뇨통제시스템에 따라 시도 간 분뇨이동 제한 및 분뇨 반출을 제한하고 있음.
 - <그림 2-2>의 지도는 시 단위로 구역이 구분되어 있으며, 왼쪽은 현행 가축분뇨통제시스템에 따른 ASF 방역 권역을, 오른쪽은 구제역 방역 권역을 나타낸 것임.
 - <그림 2-3>은 공동자원화시설과 공공처리시설의 위치를 지도 상에 표기하여 제시한 것임.

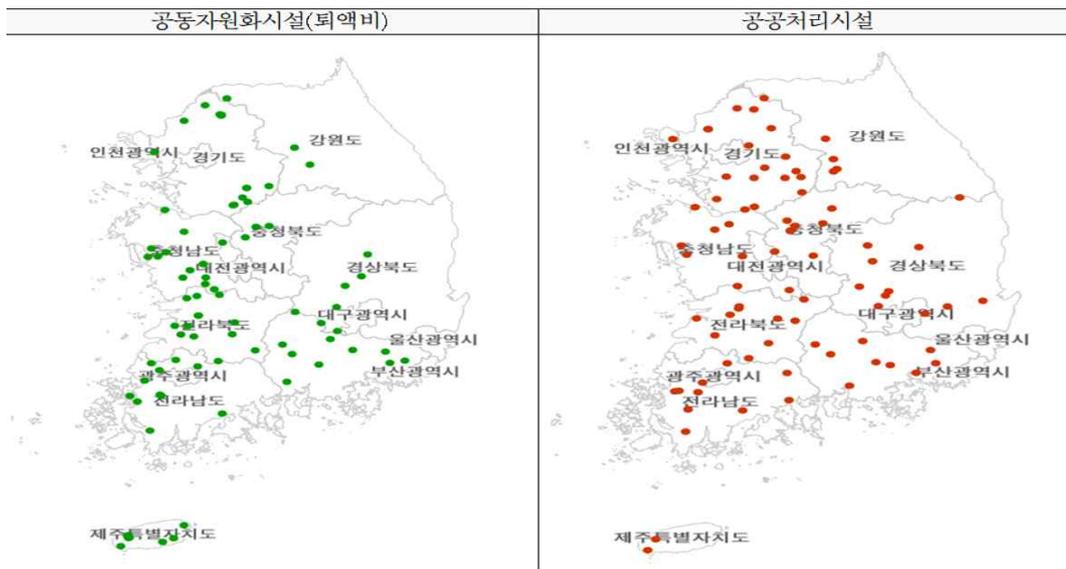
<그림 2-2> 가축 질병별 방역 권역



출처: 저자 작성

주: 고병원성 AI의 경우, 시도 단위로 방역 조치 시행

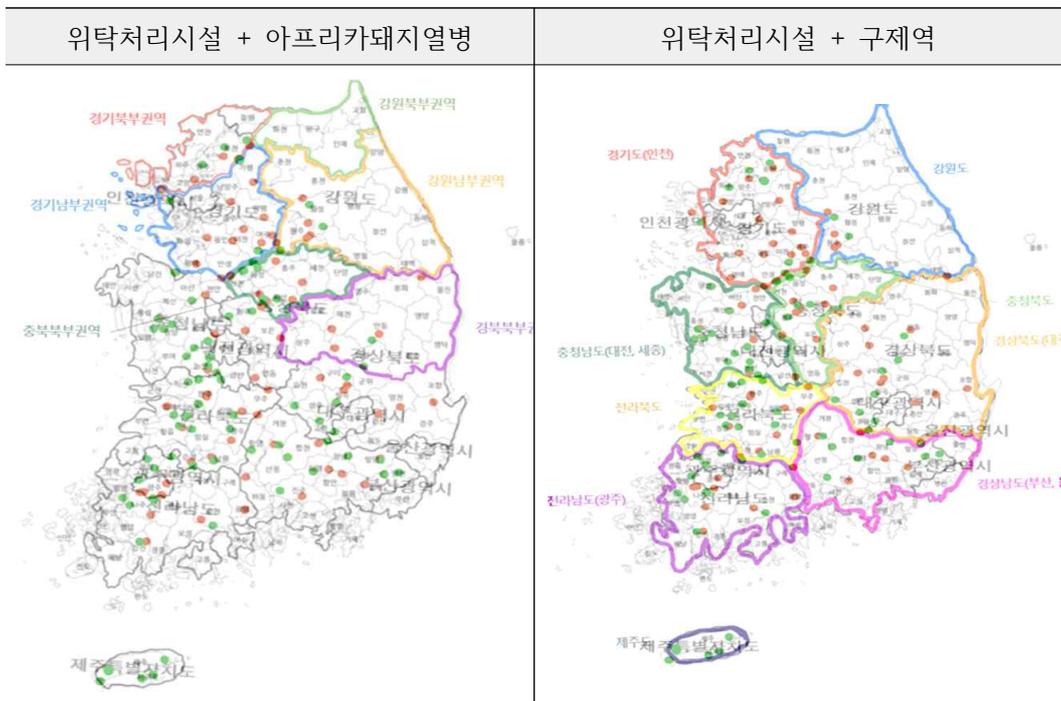
<그림 2-3> 공동자원화시설과 공공처리시설의 위치



출처: 축산환경관리원 홈페이지 http://stockmap.ilem.or.kr/map/map_2.jsp?menu=187

- <그림 2-4>에서는 방역 권역과 위탁처리시설의 위치를 한눈에 파악하기 위해 <그림 2-3>의 공동자원화시설과 공공처리시설, <그림 2-2>의 가축 질병별 방역 권역 지도를 통합하여 나타낸 것임.

<그림 2-4> 위탁처리시설과 질병별 방역 권역 통합



출처: 저자 작성

제 3 장

분뇨 이동 통제의 경제성 분석을 위한 연구방법

- 앞 절에서는 자료가 확보되는 가장 최근 년도인 2019년을 기준으로 분뇨 발생 현황을 검토함.
- 하지만 2019년 가축분뇨 발생량 통계 중 ASF가 발생한 경기북부 지역의 파주시, 김포시, 연천군의 분뇨 처리량 통계가 공표되고 있지 않고 있음.
 - 이에 따라 분뇨 이동 통제로 인한 비용과 편익분석에는 2019년 기준의 통계자료는 사용하기에 적합하지 않음.
 - 따라서 본 연구에서는 2018년 가축분뇨 발생량 및 처리량 자료를 사용하여 비용과 편익 분석을 실시함.

1. 가축분뇨 이동 통제로 인한 편익과 비용의 개념화

- 본 연구에서는 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익-비용 분석에 앞서 편익과 비용을 다음과 같이 정의함(<표 3-1> 참조).

- 가축분뇨 이동 통제시스템이 초래하는 편익은 통제시스템으로 인해 질병이 발생한 지역에서의 분뇨가 경계권역을 넘어 이동되지 않아 질병 전파를 차단한 효과로 간주함.
 - 질병 전파를 차단하지 못했을 경우 경계권역 밖의 가축에 질병을 전파하게 되어 대규모의 살처분이 이루어져야 하기 때문에, 질병 전파 차단의 효과는 결국 살처분 방지 효과로 계산할 수 있음.

<표 3-1> 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익 및 비용

구분	편익요소	비용요소
돼지	ASF 질병 확산 가능성 감소(↓)로 인한 살처분 방지	대기오염비용 증가(↑) ¹
		분뇨처리비 증가(↑) ²
소	구제역 질병 확산 가능성 감소(↓)로 인한 살처분 방지	대기오염비용 증가(↑) ¹
닭	AI 질병 확산 가능성 감소(↓)로 인한 살처분 방지	대기오염비용 증가(↑) ¹
		육계 소득 감소(↓) ³

출처: 저자 작성

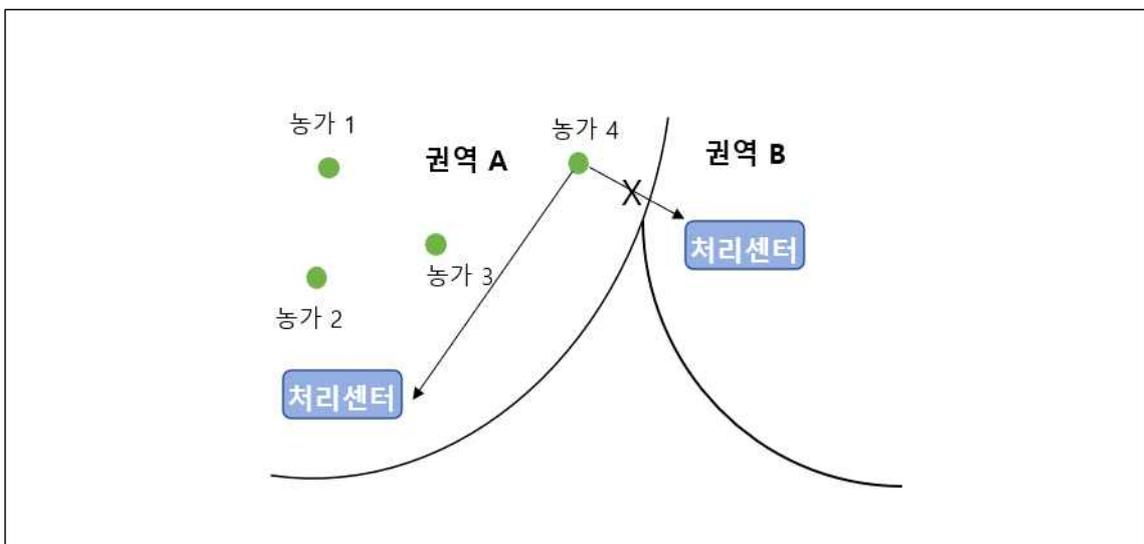
- 주: 1. 소돼자닭의 경우, 가축분뇨 이동 통제 시 가축분뇨를 처리하지 못해 대기오염비용 발생
 2. 돼지의 경우, 가축분뇨 이동 통제 시 FRP통 추가 구입비용 발생
 3. 가축분뇨 이동 통제 시 육계의 경우, 가축분뇨 이동제한으로 인해 입식을 하지 못함으로 인해 사육에 직접적인 영향을 미침.

- 한편, 가축분뇨 이동 통제시스템이 발동할 경우, 일부의 분뇨는 이동이 제한되기 때문에 농가의 분뇨 처리 부담 비용 과중, 출하 후 새로운 가축의 입식 기회 제한, 제때 처리되지 못해서 발생하는 환경오염 등의 문제를 발생시키게 됨. 본 연구에서는 이 요소들을 분뇨 통제가 초래하는 비용으로 간주하기로 함.
 - 이때, 실제로 이동에 제한을 받는 분뇨는 전체 분뇨 중 자가처리되는 분뇨가 아닌 위탁 처리되는 분뇨이며, 그중에서도 권역 내에서 위탁처리가 가능한 분뇨가 아니라 통제권을 넘어서 권역 밖에서 위탁처리가 이루어지고 있는 분뇨임.
 - 따라서 본 연구에서는 분뇨 이동 통제로 인해 이동에 제한을 받아

경계를 넘지 못하는 분뇨가 일으키는 환경오염이나 농가에게 주는 비용 과중액(소득감소 분 등을 포함)을 계산하여 이를 분뇨통제가 초래하는 비용으로 산출함.

- 먼저 가축분뇨 통제가 농가에게 분뇨 처리 부담을 과중시키는 과정은 <그림 3-1>을 통해 이해할 수 있음. 예를 들어 농가 4는 분뇨 이동 통제로 인해 제한을 받아 권역 경계를 넘어 분뇨를 처리하지 못하게 됨.
- 즉, 거리상으로 가까운 곳에 처리시설이 없는 경우 농가는 분뇨 처리에 어려움을 겪게 됨.
 - 축종의 특성상 소, 닭의 분뇨와 달리 돼지 분뇨는 슬러리 형태를 띄고 있어, 분뇨의 보관이 타 축종에 비해 용이하지 않음.

<그림 3-1> 가축분뇨 미처리로 인한 대기오염비용



출처: 저자 작성

- 이러한 점을 감안한다면, 분뇨 이동이 통제되면 <그림 3-1>의 상황

이 발생하는 양돈 농가는 분뇨 보관을 위해 단기적으로는 FRP통을 추가적으로 구입하여 분뇨를 보관해야 함. 따라서 이들 농가가 구입하는 FRP 통 구입액은 분뇨이동 통제로 인해 발생하는 비용요소로 간주해야 함.

- 또한, 분뇨 이동 통제로 인해 제때에 적정하게 처리되지 못하고 쌓인 분뇨는 악취 발생 등으로 오염물질을 배출하게 되기 때문에 처리되지 못한 분뇨가 발생시키는 대기 오염비용도 분뇨 이동 통제가 가져오는 또 다른 비용요인이라고 해야 함.
- 한편 가축분뇨 이동을 통제하면, 일부 가축의 경우 분뇨 반출제한으로 인해 새로운 입식을 하지 못함으로 사육에 직접적인 영향을 미침. 현장 조사와 전문가와의 인터뷰 결과 이는 특히 육계의 경우에서 두드러진 것으로 나타남.
 - 따라서 본 연구에서는 육계 농가의 소득 기회 상실(소득 감소)을 비용 요소로 추가적으로 포함하기로 함. (닭의 경우 육계의 사육 기간은 35일이며, 연간 입식을 6회전할 수 있는 것으로 알려져 있음).

2. 편익과 비용의 비교

- 앞서 언급한 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익과 비용을 바탕으로 본 연구에서는 편익-비용 분석을 위해 비용 대비 편익의 상대적 크기를 비교하는 경제성 분석 기법인 Benefit-Cost Ratio를 사용함.

- 비용과 편익이 순차적으로 발생할 경우, 할인율을 적용하여 현재 가치로 환산하여 비율을 산출할 수 있음.
- 이러한 비율(B/C ratio)이 1보다 크면 경제성이 있다고 해석할 수 있음.

$$(1) \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 식 (1)에서 B_t 와 C_t 는 편익과 비용을 나타냄. r 은 할인율을 나타내며, t 는 기간을 의미함.
- 할인율의 경우 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 57조 2항에 기재된 4.5%를 실질 재무적 할인율을 적용하는 경우가 대부분임.
- 본 연구에서는 미래에 발생할 편익과 비용이 아닌 현시점에서의 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익과 비용을 사용하였기 때문에 총 편익과 총비용의 비율로 경제성 평가를 실시함.

3. 축종별 분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오

- 분뇨 이동 통제 현황에서 파악한 바와 같이 아프리카돼지열병이 발생할 경우, 현행 가축분뇨통제시스템에 따라 6개 권역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부, 경북북부, 충북북부)이 통제되고 있음.
- 본 연구에서는 최근의 ASF 발생현황은 현재 진행중이라고 판단하

여 제외하고, 2020년까지 발생한 ASF만을 대상으로 분석을 실시함. 따라서 4개의 중점 지역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부)에 초점을 두어 분석을 실시함.

- 구제역이 발생할 경우, 전국을 9개 지역으로 구분하여 지역 간 분뇨 이동을 제한하고 있으며, 고병원성 AI가 발생하면 현행 가축분뇨통제시스템에 따라 시도 간 분뇨 이동 제한을 실시하고 있음.
- <표 3-2>에 가축질병별 가축분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오를 구성한 내용을 요약하여 제시하였음.
 - ASF 발생 시의 가축분뇨 통제시스템은 구제역이나 AI와 달리 전국을 도 또는 시도 단위로 구분하여 방역을 하는 것이 아니라 6개 권역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부, 경북북부, 충북북부)을 통제하는 방식으로 실시하고 있음.
- 본 연구의 대상인 4개의 중점 지역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부) 중 실제로 ASF가 발생한 권역은 경기북부와 강원북부임. 따라서 본 연구에서는 이 중 경기북부를 경기북북부와 경기북남부로 구분하여 통제권역 축소 시나리오를 분석함.
- 구제역의 경우 현재 통제권역인 도 단위를 기준으로 비교를 위해 통제권역 축소 시나리오에서 시도 단위를 적용하여 시나리오 분석을 실시함.
- AI의 경우 현재 통제권역인 시도 단위를 기준으로, 비교를 위해 통

제권역 확대 시나리오에서 도 단위를 적용하여 시나리오 분석을 실시함.

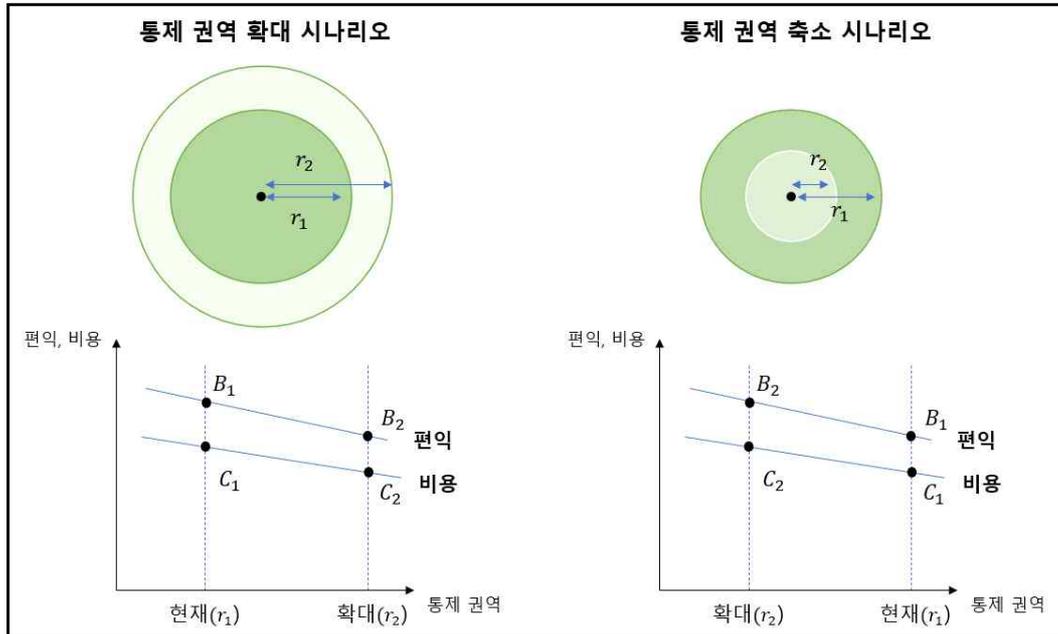
<표 3-2> 가축질병별 분뇨 이동 통제권역 변경 시나리오 구성

구분	편익			비용
ASF	경기북부, 강원북부, 경기남부, 강원남부	→	경기북북부, 경기북남부, 강원북부, 경기남부, 강원남부	통제권역 면적 축소 시나리오
구제역	도 단위 → 시도 단위			통제권역 축소 시나리오
AI	시도 단위 → 도 단위			통제권역 확대 시나리오

출처: 저자 작성

- <그림 3-2>는 가축분뇨 통제권역 확대 및 축소 시나리오를 도식적으로 나타낸 것임.
- 통제권역 확대 시나리오에서는 현재 통제권역에 해당하는 r_1 과 통제권역 확대에 해당하는 r_2 에서의 편익-비용 분석 결과를 비교함.
- 마찬가지로 통제권역 축소 시나리오에서는 현재 통제권역인 r_1 과 통제권역 축소에 해당하는 r_2 에서의 편익-비용 분석 결과를 비교함.

<그림 3-2> 가축분뇨 통제권역 확대 및 축소 개념의 도식화



출처: 저자 작성

제 4 장

편익 및 비용 산출

1. 이동 제한의 대상이 되는 가축 분뇨량 산출

- 본 장에서는 아프리카돼지열병(ASF), 구제역, 고병원성 AI 발생 시의 축종별 가축분뇨 이동 통제시스템을 바탕으로 현행 통제시스템 하의 편익 및 비용을 산출함.
- 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 최근의 ASF 발생 현황은 현재 진행 중이라고 판단하여 제외하고 2020년까지 발생한 ASF만을 대상으로 분석을 실시함.
- 따라서 경북북부와 충북북부를 제외한 4개 권역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부)만을 본 연구의 분석대상이 되는 통제권역으로 상정함. 구제역과 고병원성 AI의 경우 각각 도 단위, 시도 단위로 전국적인 통제가 이루어지고 있기 때문에 이들 통제권역을 분석대상으로 상정함(<그림 4-1> 참조).

<그림 4-1> 가축분뇨 이동 통제 권역

ASF	구제역	고병원성 AI
		

출처: Google 이미지 검색

- 가축분뇨 이동 통제시스템이 발동될 경우, 실제로 이동에 제한을 받는 분뇨는 전체 분뇨 중 자가처리되는 분뇨가 아닌 위탁처리 되는 분뇨이며 그중에서도 권역 내에서 위탁처리가 가능한 분뇨가 아닌 권역 밖에서 위탁처리가 이루어지고 있는 분뇨임.
- 본 연구에서는 분뇨 이동 통제로 인해 이동에 제한을 받아 경계를 넘지 못하는 분뇨량을 파악하기 위해 전체 분뇨 발생량에 위탁처리 비율과 평상시 권역 밖에서의 처리를 위해 경계를 넘어가는 분뇨량의 비율을 곱함.
 - 이에 대한 자세한 내용은 다음 절의 비용 산출 과정에 설명되어 있음.
- 한편, 가축분뇨 이동 통제시스템의 편익을 평가하기 위해 본 연구

에서는 질병이 발생한 지역에서의 분뇨가 통제시스템으로 인해 경계권역을 넘지 않고 이로 인해 질병 전파가 차단된 사례를 중심으로 살펴보았음.

- 질병이 발생하지 않은 지역에서의 분뇨 이동 통제는 실질적으로 질병의 전파를 막은 경우로 보기 어렵다고 판단하여 분뇨 통제시스템의 편익 계산에서 제외함.
- 전국 축종별 가축분뇨 발생량은 2018년 기준 돼지의 경우 98,840톤/일, 소는 65,175톤/일, 닭은 19,059톤/일임(<표 4-1> 참조).
- 가축분뇨 이동 통제로 인해 통제권역 경계를 넘어가지 못하는 분뇨량은 통제권역의 지역 내에서 발생하는 가축 분뇨량에 축종별 위탁처리 비율(돼지 20%, 소 10%, 닭 90%)과 타 권역으로부터 위탁받아 분뇨를 처리하는 권역 경계에 있는 처리시설의 비율(ASF 12.5%, 구제역 10%, 고병원성 AI 15%)을 적용하여 산출함.¹⁾
 - 위의 과정을 통해 산출된 분뇨 이동 통제로 인해 경계권역을 넘지 못하여 이동(반출)제한 문제가 발생하는 분뇨량은 돼지의 경우 385톤/일, 소는 1,304톤/일, 닭은 2,573톤/일로 파악됨.
 - 이는 총 분뇨 발생량 대비 각각 0.4%, 2%, 13.5%의 수준임.
- 즉, 경계를 넘지 못하여 문제가 되는 분뇨의 비율은 돼지나 소에 비해 닭에서 많이 나타났는데 이는 닭의 위탁처리 비율이 타 축종에 비해 높기 때문임.

1) 지도상에 분포하는 처리시설의 개별 위치를 일일이 파악하여 경계권역에 위치해 있는 처리시설의 비율을 계산함.

- 한편, 경계권역을 넘지 못하여 이동에 제한을 받는 분뇨량 중 질병 확산 차단 통제 효과가 있었던 분뇨량은 돼지의 경우 74톤/일, 소는 131톤/일, 닭은 1,456톤/일인 것으로 파악됨(이에 대한 자세한 계산 과정은 다음 절에 설명되어 있음).
- 이는 각각 총 분뇨 발생량의 0.07%, 0.2%, 7.6%로 닭의 경우가 분뇨 통제로 인해 질병차단 효과가 가장 크다는 것을 의미함.

<표 4-1> 이동 통제를 받는 분뇨량 및 비율

축종	돼지	소	닭
총 분뇨 발생량(A)	98,840톤/일 (4개 권역)	65,175톤/일	19,059톤/일
위탁처리 비율	20%	10%	90%
권역 경계에 있는 처리시설의 비율	12.5%	10%	15%
경계를 넘지 못하는 분뇨량(B)	385톤/일	1,304톤/일	2,573톤/일
비율(B/A)	0.4%	2%	13.5%
질병확산 차단 통제효과가 있었던 분뇨량(C)	74톤/일	131톤/일	1,456톤/일
비율(C/A)	0.07%	0.2%	7.6%
경계를 넘지 못하는 분뇨량 대비 통제효과가 있었던 분뇨량 비율(C/B)	19.2%	10%	56.6%

출처: 저자 작성

- 한편 <표 4-1>에 정리하여 제시된 바와 같이, 경계를 넘지 못하여 이동에 문제가 되는 분뇨량 중 질병 차단 효과가 있었던 분뇨의 비율은 돼지의 경우 19.2%, 소는 10%, 닭은 56.6%인 것으로 파악됨.

- 고병원성 AI의 경우 전국으로 확산되었기 때문에 가축분뇨 이동 통제 효과가 가장 크게 나타난 것으로 사료됨.

2. 질병별 분석 대상 사례

- 본 연구에서는 분석 대상 사례로 ASF의 경우 2019년 9월 17일에서 10월 11일까지 발생한 경기북부의 사례와 2020년 10월 9일에서 13일까지 발생한 강원북부의 사례를 선택함(<표 4-2> 참조).
- 구제역의 경우 2019년 1월 28일부터 2월 2일까지 발생한 경기 안성과 충북 충주의 사례를 선택하였고 고병원성 AI의 경우 2020년 11월 26부터 2021년 3월 25까지 발생을 분석 사례로 선택함.

<표 4-2> 편익 분석 대상 사례

질병	과거 사례
ASF	2019년 9-10월 경기북부
	2020년 10월 강원북부
구제역	2019년 1-2월 경기안성·충북충주
고병원성 AI	2020년 11월-2021년 3월 전국

출처: 저자 작성

3. 편익 산출

- 앞서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 편익을 분노 이동 통제로 말미암아 질병이 발생한 지역의 가축분뇨가 인접한 권역 밖 지역에 질병을 전파하는 것을 차단하게 된 사례를 대상으로 분석함.
 - 질병차단으로 말미암아, 감염되었으면 살처분을 했어야 하는 (즉, 분노 이동 통제로 인해 살처분을 피한) 사육두수에 대한 살처분 보상 및 매몰 비용을 구체적인 편익 값으로 계산함.

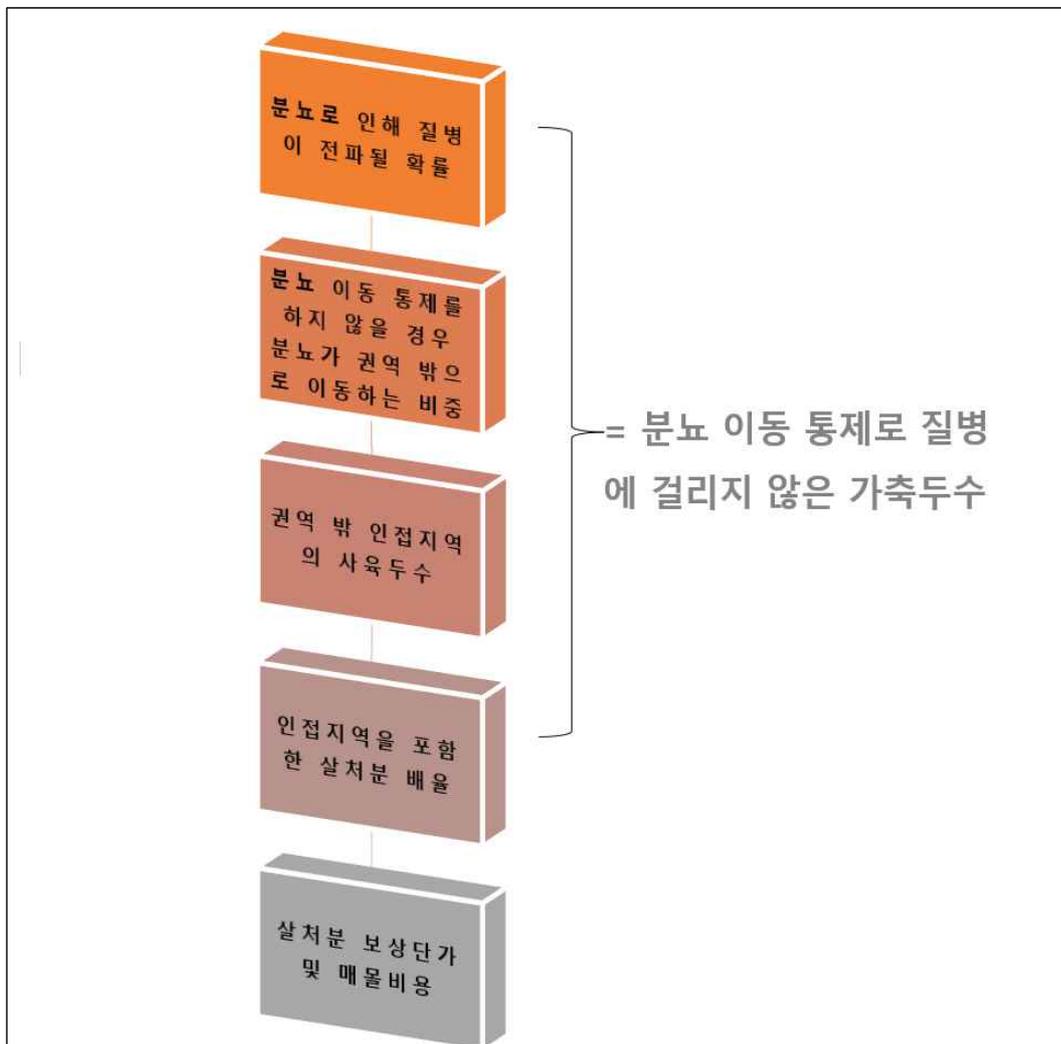
- 구체적으로 편익은 <그림 4-2>와 같이 분노로 인해 질병이 전파될 확률, 분노 이동 통제를 하지 않을 경우 분노가 권역 밖으로 이동하는 비중, 권역 밖 인접 지역의 사육두수, 인접지역을 포함한 살처분 배율, 살처분 보상단가 및 매몰비용 등 총 다섯 단계를 거쳐서 분노 이동 통제로 인한 편익을 계산하였음.

- 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익은 식 (2)를 사용하여 계산함.
 - 여기서, b 는 가축분뇨 이동 통제로 인한 편익을 의미함.
 - 본연구에서는 우선, 분노로 인해 질병이 전파될 확률(d)을 구하고, 질병이 발생한 지역에서의 분노가 이동 통제를 하지 않을 경우 통제권역을 넘어서 이동하는 비중(γ)을 산출함.
 - 여기에 권역 밖 인접 위험 지역의 사육두수(x)를 곱하여 분노 이동 통제가 없었으면 질병에 감염되었을 것으로 예상되는 위험 가축 두수를 도출함.
 - 식(2)에서 e 는 감염된 가축(농장) 인근 지역의 가축까지 살처분하는 살처분 배율임.

- 마지막으로 도출된 위험 가측 두수에 살처분 보상단가 및 매몰 비용(y)을 곱하여 최종적으로 편익을 산출함.

$$(2) b = d \times \gamma \times x \times e \times y$$

<그림 4-2> 편익 산출 5단계



출처: 저자 작성

- 한편, 질병이 발생한 지역에서의 분노가 이동 통제를 하지 않을 경우 통제권역을 넘어서 이동하는 비중 (γ)은 식(3)과 같은 과정을 거쳐 도출함.
 - 여기서, θ 는 통제권역 안의 대상 사례지역의 가축분뇨 발생량 중 위탁처리량이 차지하는 비중을 의미함.
 - β 는 (평상시 기준으로) 통제권역 안의 대상 사례지역에서 발생하여 처리되는 위탁처리량 중 통제권역 경계를 넘어 이동하여 위탁 처리되는 분노의 비중을 의미함.

$$(3) \gamma = \theta \times \beta$$

3.1. 분노로 인해 질병이 전파될 확률(식(2)에서 d) 도출

- 본 연구에서는 가축 질병이 분노로 인해 전파될 확률을 가축 분노 운반 차량에 의한 질병 전파 확률을 이용하여 산출함. 농림축산식품부 보도자료 중 20-21년 HPAI 유입원인에 따르면 가축 질병의 농장내 유입은 차량(47건, 43%), 야생조수류(37건, 34%), 사람(25건, 23%)에 의해 발생함. 따라서 차량에 의한 전파 확률은 43%인 것으로 파악됨.
- 한편, 국가가축방역통합시스템(KAHIS)의 축산차량등록현황에 따르면 전체 축산차량 중 가축분뇨운반차량의 비율은 약 3.65%인 것으로 파악됨(<표 4-3> 참조).
- 따라서 본 연구에서는 먼저, 가축 질병 전파 원인 중 가축분뇨 운

반차량에 의한 전파 확률을 약 1%(=43%×3.65%) 수준인 것으로 도출함

<표 4-3> 축산차량등록현황

구분	계	비율(%)
가축운반	22,722	38.17
원유운반	653	1.10
알운반	2,596	4.36
동물의약품	1,016	1.71
사료운반	11,992	20.15
조사료	380	0.64
가축분뇨운반	2,174	3.65
왕겨운반	1,307	2.20
퇴비운반	1,612	2.71
진료	1,095	1.84
인공수정	998	1.68
컨설팅	4,048	6.80
시료채취	2,099	3.53
기계수리	372	0.62
난좌운반	37	0.06
가금부산물운반	66	0.11
가금출하상하차인력운송	69	0.12
가축사육시설운영관리	6,285	10.56
합계	59,521	100

자료: 국가가축방역통합시스템(KAHIS)

- 한편, 실제 축산 농장을 출입하는 횟수를 기준으로 한다면 분뇨 차량은 정해진 기간(예를 들어 한 달) 동안 축산농장에 출입하는 차량의 종류(사료운반차량(정기적 출입), 작업차량(부정기적 출입), 분뇨반출차량(정기적 출입, 출입간격이 상대적으로 짧음), 가축 출하차량(정기적 출입, 출입간격이 품) 등)를 고려했을 때, 가장 빈번하게 출입하는 차량 중의 하나임.
- 하지만 이와 같은 출입횟수의 빈번함에도 불구하고 본 연구에서는 분뇨차량이 출입하는 횟수를 전체 차량 출입 횟수의 20~25%의 보

수적인 수준으로 설정함. 이 경우 가축분뇨 운반차량으로 인해 질병이 전파될 확률은 약 7% 정도로 계산됨.

- 이와 같은 두 가지 상황을 반영하여 본 연구에서는 분뇨에 의한 질병 전파 가능성이 1~7%에 있다는 시나리오를 적용하여 분석을 진행함.

3.2. 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우, 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중(식 (2)에서 γ) 도출

- 본 연구에서는 가축분뇨 이동 통제시스템의 편익을 산출하기 위해 질병이 발생한 지역에서의 분뇨가 통제시스템으로 인해 전파되지 않은 사례를 살펴봄.
- 질병이 발생한 지역에서 분뇨통제를 하지 않을 경우, 분뇨가 권역 밖으로 이동하여 질병을 전파할 가능성이 크기 때문에 질병이 발생한 지역에서의 분뇨통제로 인한 효과만을 편익으로 간주하기로 함.
 - 즉, 질병이 발생하지 않은 지역에서의 분뇨 이동 통제는 실질적으로 질병의 전파를 막은 경우로 보기 어렵다고 판단하여 통제시스템의 편익 계산 대상에서 제외함.
- 전술한 바와 같이, 본 연구에서는 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중은 각 축종별 분뇨 위탁처리 비율에 질병이 발생한 해당 지역의 위탁처리 비율을 곱하여 산출함.

- 가축분뇨 이동 통제로 인해 경계를 넘지 못하는 분뇨량은 통제권역의 가축분뇨 발생량에 위탁처리를 하는 비율을 적용하여 산출함.
- 본 연구 수행을 위해 실시한 2021년 8월 25일 전문가 회의에서는 축종별 분뇨 위탁처리 비율이 돼지 20%, 소 10%, 닭 90%인 것으로 제시됨.
- 환경부의 통계에 의하면 전체 가축분뇨 중 23.7%(<표 4-4> 참조)의 분뇨가 위탁처리되고 있는 것으로 파악되고 있음.
 - 2018년 축종별 가축분뇨 발생량 통계에 전문가 회의에서 도출한 위탁처리 비율을 적용해 보면 전체 가축분뇨 발생량에서 차지하는 위탁처리 비율인 23.5%로 계산되어 환경부의 위탁처리량 통계와 매우 유사한 값으로 도출됨(<표 4-5> 참조).
 - 따라서 본 연구에서는 전문가 회의에서 제시된 축종별 위탁처리 비율이 적절하다고 판단하여 이를 분석에 사용함.

<표 4-4> 가축분뇨 처리 비율(2018년)

단위: 톤/일, %

축종	2018년 가축분뇨 발생량(A)	비율(B)
자가처리 소계	140,834	76,3
위탁처리 소계	43,805	23.7
총 합계	184,639	100

자료: 환경부

<표 4-5> 축종별 가축분뇨 위탁처리 비율(2018년)

단위: 톤/일, %

축종	2018년 가축분뇨 발생량(A)	위탁처리 비율(B)	가축분뇨 위탁처리량
----	----------------------	------------	---------------

			(AxB)
소	65,175	10	6,518
돼지	98,840	20	19,768
닭	19,059	90	17,153
총 합계	185,069	23.5	43,439

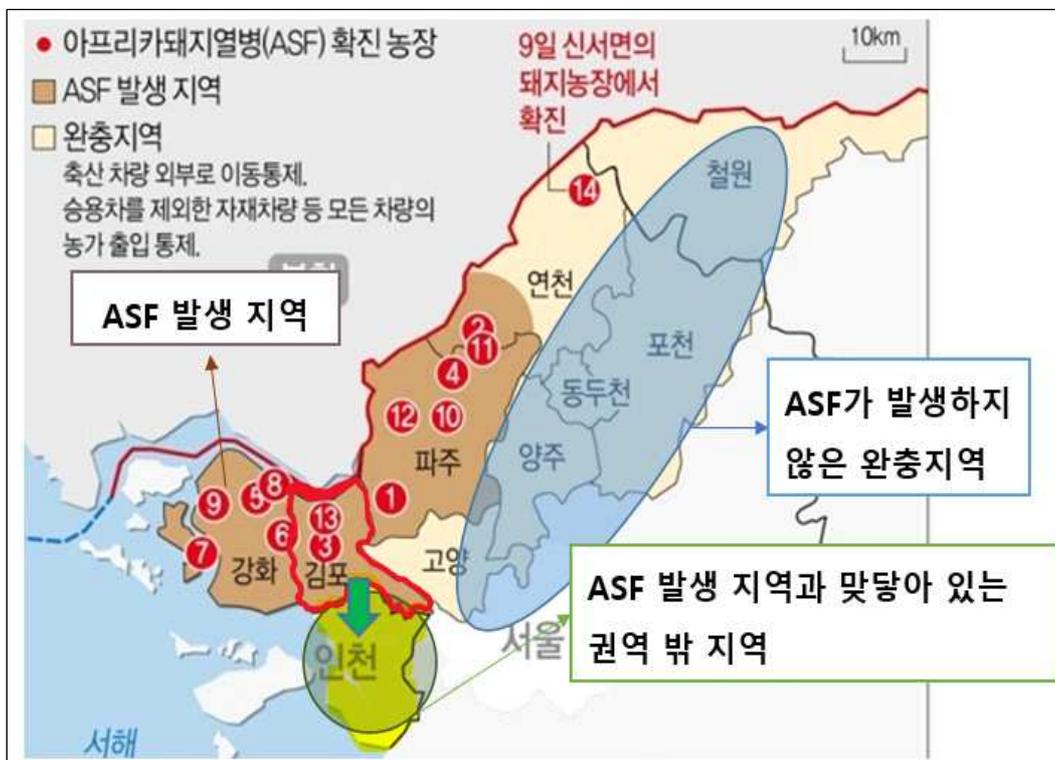
자료: 환경부

가. 2019년 2020년 ASF 사례

- 본 연구에서는 우선 2019년 9월부터 10월까지 경기북부에서 발생한 ASF 사례를 대상으로, 통제권역 내에서 ASF가 발생한 시·군 중 권역 밖 지역(질병확산 위험지역)과 맞닿아있는 김포시에 대한 분뇨 이동 통제를 실질적으로 권역 밖으로의 질병 전파를 막은 사례로 고려함(<그림 4-3> 참조).
 - 나머지 발생 시·군인 강화군, 파주시, 연천군의 경우 권역 내의 인접 지역인 고양시, 양주시 등 다른 시·군으로의 전파도 이루어지지 않아 완충 지역으로 작용했기 때문에 경기북부권역 분뇨 이동 통제에서 인천시를 제외한 경계권역 밖의 여타 지역에 대한 질병 전파 차단 효과는 없었다고 보아야 함.
- 2019년 사례의 경우, 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중을 산출하기 위해 돼지 분뇨의 위탁처리 비율 20%에 발생 사례에 경기북부 권역 밖을 넘어 인접시군(질병 확산 위험지역)에서 분뇨가 위탁처리되는 비중을 곱함.
 - 경기북부권역 밖의 위험지역 중 인천에는 분뇨 처리시설이 존재하지 않기 때문에 김포의 분뇨가 인천으로 이동하는 비중은 0%임.

- 하지만 권역밖의 위험지역이 산업시설과 주거시설만이 분포하는 인천시라는 특수한 상황이 아니라면 이들 지역으로 이동하여 처리되는 분뇨량은 0%라고 할 수는 없을 것임. 따라서 본 연구에서는 분뇨의 이동 비중 0%대신, 경기북부권역 경계를 넘어 인접시군으로 분뇨가 처리되는 비중인 12.5%를 적용함.2)

<그림 4-3> 2019년 9-10월 ASF 경기북부권역 밖 질병 차단 효과



자료: 농림축산식품부

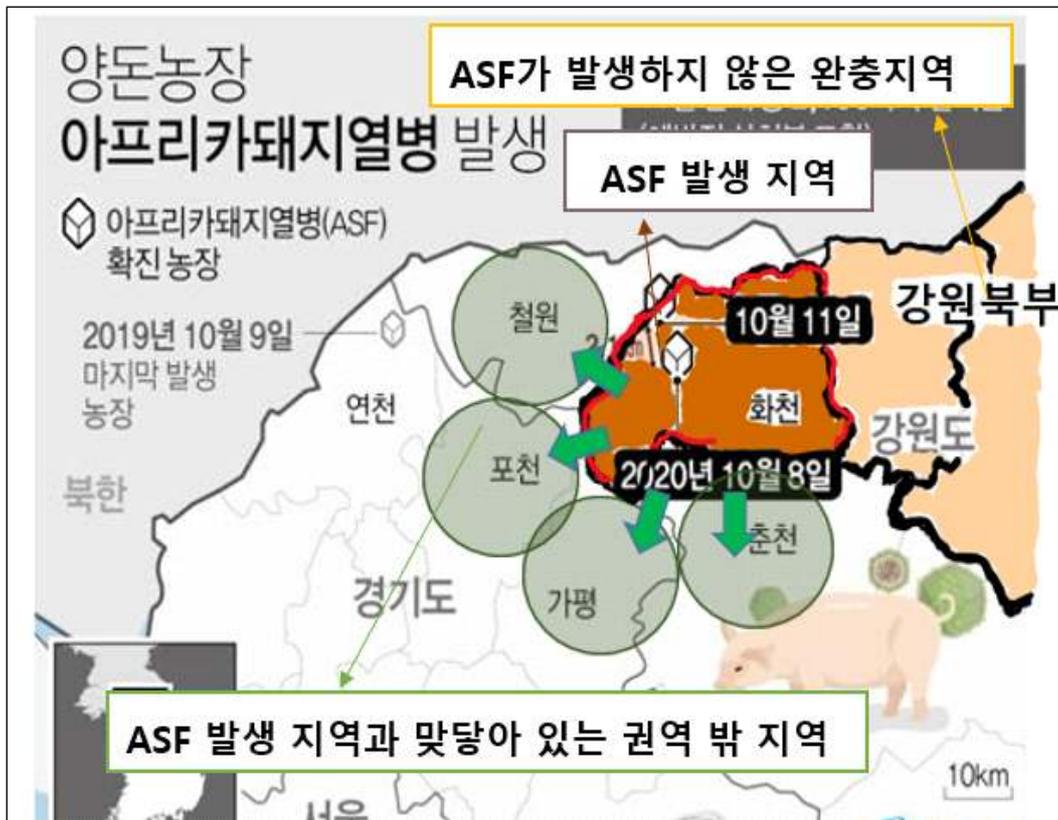
- 이 경우, 분뇨 이동 통제가 없었다면 질병 발생지역으로부터 통제 권역 밖으로 이동했을 것이라고 간주되는 분뇨량은 통제권역 내에

2) 지도상에 분포하는 처리시설의 개별 위치를 일일이 파악하여 경계권역에 위치해 있는 처리시설의 비율을 계산함.

서 발생하는 분뇨량의 약 2.5%로 계산됨.

- 본 연구에서는 2020년 10월 강원북부에서 발생한 ASF의 경우를 또 다른 사례로 고려함.
 - 권역 내의 발생 시·군 중 권역 밖 지역과 맞닿아있는 화천에서의 통제를 실질적으로 권역 밖으로의 질병 전파를 막은 사례로 고려함 (<그림 4-4> 참조).

<그림 4-4> 2020년 10월 ASF 강원북부권역 밖 질병 차단 효과



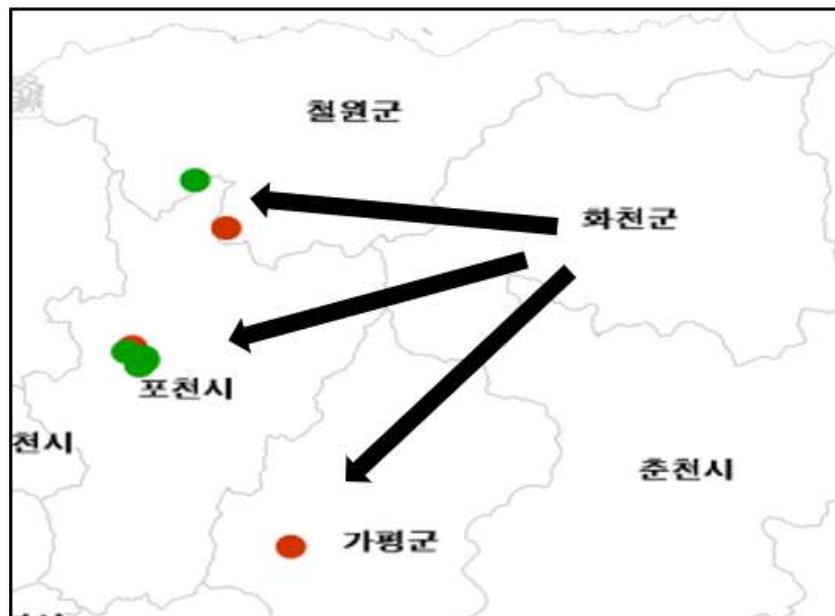
자료: 농림축산식품부

- 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중을 산출하기 위해서는 돼지의

분뇨 위탁처리 비율 20%에 강원북부권역 밖 인접시군으로 위탁처리하는 비중을 곱해야 함.

- 화천에는 처리시설이 존재하지 않기 때문에 평상시 분뇨 이동 통제가 없다면 인접 지역인 철원, 포천, 가평으로(춘천은 처리시설 없음) 위탁처리를 위해 이동하는 비중은 100%라고 할 수 있음(<그림 4-5> 참조).
- 따라서, 2020년 ASF 사례를 대상으로는 분뇨통제를 하지 않았을 경우 질병 발생지역에서 분뇨가 권역 밖으로 이동했을 것이라고 간주 되는 비중은 20%로 계산됨.

<그림 4-5> 화천군과 인접지역의 분뇨 처리시설



자료: 축산환경관리원

나. 2019년 구제역 사례

- 본 연구에서는 2019년 1월부터 2월까지 경기도와 충청북도에서 발생한 구제역의 경우, 권역 내 발생 시·군 중 권역 밖 지역과 맞닿아 있는 안성과 충주에서의 통제를 실질적으로 권역 밖으로의 질병 전파를 막은 사례로 고려함(<그림 4-6> 참조).

<그림 4-6> 2019년 1-2월 구제역 경기·충북 권역 밖 질병 차단 효과



자료: 농림축산식품부

- 본 연구에서는 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중을 산출하기 위해

안성과 충주의 분뇨 위탁처리 비율에 인접 시군으로 이동시켜 위탁 처리하는 비중을 곱함.

- 안성에서 발생한 분뇨중 위탁처리를 하는 비중은 안성의 소 분뇨 발생량(1,911톤/일)에서 안성의 소 분뇨 위탁처리량(60톤/일)의 비율로 산출한 3.1%(=60톤/일 / 1,911톤/일)임.
- 한편 충주에서 발생한 분뇨 중 위탁처리를 하는 비중은 충주의 소 분뇨 발생량(411톤/일)에서 충주의 소 분뇨 위탁처리량(27톤/일)의 비율로 산출한 6.6%(=27톤/일 / 411톤/일)임.

○ 이를 위탁 처리량 중, 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우 권역 밖에 위치한 천안으로 이동하는 비중은 20%, 이천, 여주로 이동하는 비중은 66.6%인 것으로 계산됨.³⁾

○ 따라서, 분뇨 이동 통제를 하지 않았을 경우, 구제역 발생지역에서 분뇨가 통제권역 밖으로 이동했을 것으로 추정되는 분뇨의 양은 안성 약 1%(=3.1%× 20%), 충주 4.4%(=6.6%×66.6%)인 것으로 계산됨.

다. 2020년~2021년 AI 사례

○ AI사례는 2020년 11월부터 2021년 3월까지 전국에서 발생한 경우를 분석대상으로 설정함.

○ 닭의 경우, 전술한 바와 같이 분뇨 위탁처리 비율은 90%이며, 위탁

3) 지도상에 분포하는 처리시설의 개별 위치를 일일이 파악하여 경계권역에 위치해 있는 처리시설의 비율을 계산함.

처리 분뇨 중 (정상시, 즉 통제가 없을 경우) 권역 밖으로 이동하는 비중은 15%인 것으로 나타남.

- 하지만, 시도가 다름에도 불구하고 인접한 지역의 경우 시도 내 이동으로 인정해주는 고병원성 AI 분뇨통제 행정명령이 시행되고 있으므로, 위탁처리시설 분포를 이용하여 계산된 통제권역 밖에서 처리되는 비중 15%는 과대 계산되었을 가능성 있음.
- 따라서 본 연구에서는 위탁처리 분뇨 중 권역 밖으로 이동하여 처리되는 비중이 매우 낮은 5%인 경우도 추가적으로 고려함.

- 따라서 분뇨 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 통제권역 밖으로 이동하는 비중은 닭의 분뇨 위탁처리 비율과 권역 밖 이동 비중을 곱하여 각각 13.5%, 4.5%인 두 가지 경우로 계산됨.

3.3. 권역 밖 인접 위험지역의 사육두수(식 (2)에서 x)

가. 2019년 ASF 사례

- 2019년 9월-10월까지 경기북부 ASF 사례의 경우, 직접 김포시와 인접해 있는 인천의 사육두수를 대상으로 하는 시나리오와 함께 경기북부와 맞닿아있는 남양주, 가평 두 곳의 사육두수를 추가적인 대상으로 고려하는 시나리오를 설정함(<그림 4-7> 참조).
- 권역 밖 인접 위험 지역인 인천의 사육두수는 3,769두이며 남양주

와 가평의 사육두수는 각각 2,249두, 13,266두임.

- 따라서 시나리오 1에서는 인천의 사육두수 3,769두를, 시나리오 2에서는 인천과 남양주, 가평을 포함한 사육두수 19,284두를 편익분석에 사용함.

<그림 4-7> 2019년 9-10월 ASF 경기북부 권역 밖 인접지역의 사육두수

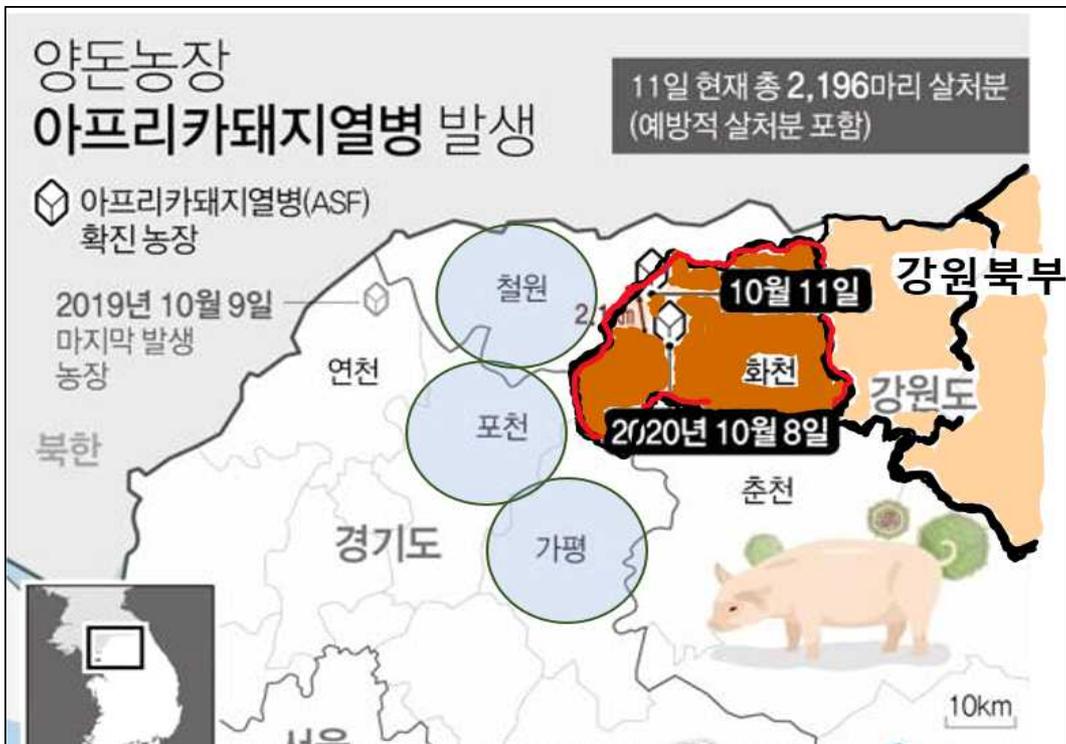


자료: 농림축산식품부

- 2020년 10월 강원북부 ASF 사례의 경우, 권역 밖 인접 위험 지역인 철원, 포천, 가평의 사육두수를 대상으로 하는 시나리오를 설정함(<그림 4-8> 참조).
- 권역 밖 인접 지역인 철원의 사육두수는 162,411두이며, 포천과 가

평의 사육두수는 각각 268,608두, 13,266두임. 따라서 전체 사육두수 444,285두를 대상으로 분석을 진행함.

<그림 4-8> 2020년 10월 ASF 강원북부 권역 밖 인접지역의 사육두수



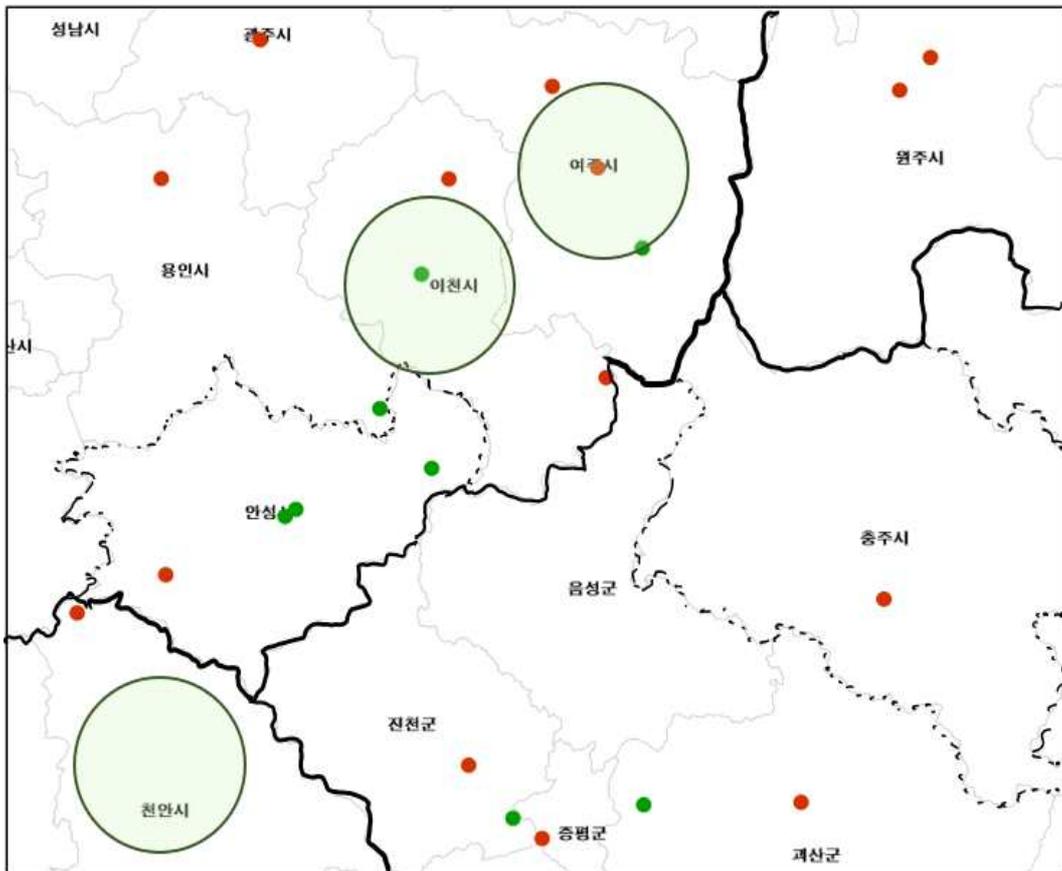
나. 2019년 구제역 사례

- 2019년 1-2월 경기도와 충청북도 구제역 사례의 경우, 권역 밖 인접 위험 지역인 천안, 이천, 여주의 사육두수를 고려하는 시나리오

를 설정함(<그림 4-9> 참조).

- 권역 밖 인접 지역인 천안의 사육두수는 38,399두이며 이천과 여주의 사육두수는 각각 48,476두, 31,899두임. 따라서 천안 사육두수 38,399두와 이천과 여주의 사육두수 80,375두를 대상으로 분석을 진행함.

<그림 4-9> 2019년 1-2월 구제역 경기·충북 권역 밖 인접지역의 사육두수

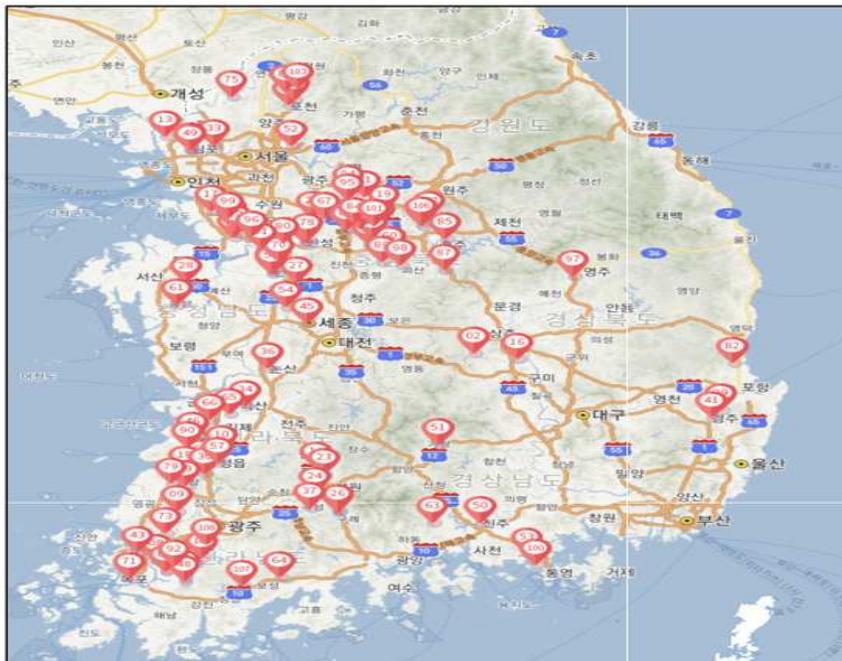


출처: 축산환경관리원

다. 2020년~2021년 AI 사례

- 2020년 11월부터 2021년 3월까지 AI가 전국적으로 발생했음. 따라서 통제권역 경계에 있는 지역에서의 사육두수를 인접 위험 지역의 사육두수로 간주할 수 있음.
 - 발생지역 인접 시도는 <그림 4-10>에서 볼 수 있는 바와 같이 사실상 전국에 걸쳐 분포하고 있음.
 - 발생지역에 인접한 시도에서의 사육두수는 218,450,404수로 계산되는데⁴⁾, 이는 전국 사육두수 238,237,775수의 약 92%에 해당함.

<그림 4-10> 2020년 11-3월 AI 전국 권역 밖 인접지역의 사육두수



자료: 농림축산식품부

4) 발생지역의 위치를 일일이 체크하고 발생지역 및 통제권역에 인접한 시도를 파악한 후 해당 지역의 사육두수를 합산한 결과임.

3.4. 인접지역을 포함한 살처분 배율(식(2)에서 e)

- 가축질병 발생 시 실제 살처분되는 가축 두수는 질병에 걸린 두수 뿐만 아니라 예방적 차원에서의 살처분 두수까지 포함된 것임. 따라서 분뇨통제로 인한 질병 확산 차단으로 인해 살처분을 막을 수 있었던 가축 두수를 산출하기 위해서는, 분뇨통제가 없었다면 감염이 되었을 것으로 추정되는 사육두수에 살처분 배율을 적용하여 도출해야 함.
- 실제 살처분 사례를 바탕으로 본 연구에서는 살처분 배율을 예방적 살처분 두수를 실제 살처분한 사육두수로 나눈 값을 이용하여 산출하였음.
- 실제 사례를 보면, 살처분 배율은 ASF의 경우 약 9배, 구제역 약 11배, AI 약 3.5배인 것으로 나타남(<표 4-6> 참조).

<표 4-6> 인접지역을 포함한 살처분 배율

질병	근거 자료	출처	인접지역을 포함한 살처분 배율
ASF	김포 통진읍 농장 사례 사육두수: 2,800두, 살처분 두수: 24,515두	연합뉴스 (2019.10.03)	약 9배
구제역	안성발 구제역 발생 사례 사육두수: 203두, 살처분 두수: 2,272두	축산경제신문 (2019.02.15)	약 11배
AI	사육두수: 108호, 살처분 두수: 379호	(사) 동물권행동 카라 (2021.05.21.)	약 3.5배

출처: 저자 작성

3.5. 살처분 보상단가 및 매몰비용 (식 (2)에서 y)

- 본 연구의 편익 계산에 사용된 살처분 보상단가와 매몰 비용은 <표 4-7>에 제시되어 있음.
- ASF의 경우, 두당 살처분 보상단가와 매몰 비용은 각각 35만 원과 15만 원으로 총 50만 원의 살처분 보상단가 및 매몰 비용을 적용하였음.
- 구제역의 경우, 두당 살처분 보상단가와 매몰 비용은 각각 571만 원과 75만 원으로 총 646만 원임. 여기서 두당 살처분 보상단가 571만원은 살처분 보상비용인 80억을 살처분 두수인 1,400두로 나누어 산출한 것임.
- AI의 경우, 두당 살처분 보상단가와 매몰 비용은 각각 4,000원과 1,000원으로 총 5,000원임.
 - 여기서 수당 살처분 보상단가 4,000원은 살처분 보상비용인 3억 2,000만 원을 살처분 두수인 8만 수로 나누어 산출함.
 - 두당 매몰 비용 1,000원은 매몰 비용인 3,404만 원을 매몰 두수인 3만 3,186수로 나누어 산출함.

<표 4-7> 살처분 보상단가 및 매몰비용

질병별	두당 살처분 보상단가	두당 매몰 비용	합계	출처 및 근거
ASF	35만 원	15만 원	50만 원	1) “아프리카돼지열병살처분보상금, 86% 지급 완료“, 농림축산식품부, 대한민국 정책브리핑, 2020.05.26) “돼지 매몰비용, 지자체 ‘허덕’...100% 국가 지원해야“, 노컷뉴스기사, 2019.10.23
구제역	571만	75만 원	646만 원	1) “구제역 보상금 ‘눈덩이’... 1천400마리 살처분에 80억원 지원“, 연합뉴스기사, 2017.02.15 2) 한국농촌경제연구원, 2002 구제역 발생 실태와 과급영향, 2002.12.
AI	4,000원	1,000원	5,000원	1) [why] 농가 모르게 살처분보상금 기준 변경한 ‘농식품부’, 농축유통신문, 2021.03.26 2) “플라스틱통에 닭, 돼지 매몰, 3년 지나도 미라처럼 안 썩어“, 중앙일보 기사, 2017.01.25

출처: 저자 작성

3.6. 편익 산출

- <표 4-8>는 분뇨 이동 통제로 인한 편익을 계산하기 위해 사용한 다섯 가지의 구성요소와 이들을 조합한 시나리오를 정리하여 제시한 것임.
 - 즉, 분뇨로 인해 질병이 전파될 확률, 분뇨 이동 통제를 하지 않은 경우 감염지역에서 분뇨가 통제권역 밖으로 이동하는 비중, 권역 밖 인접 위험 지역의 사육두수, 인접 지역을 포함한 살처분 배율, 살처분 보상단가 및 매몰 비용 등을 시나리오별로 요약한 표임.
- 전술한 바와 같이, 본 연구에서 분뇨 이동 통제에서 발생한 편익은 질병이 발생한 지역의 가축분뇨가 인접한 권역 밖 위험 지역에 질병을 전파하는 것을 차단한 효과를 대상으로 분석하였으며, 구체적으로는 질병이 전파되었다면 살처분을 했어야 하는 금액으로 계산하였음(즉, 살처분 회피 금액을 편익으로 계산함).
- <표 4-9>은 각 축종별, 사례별로 분뇨 이동 통제로 인한 편익을 계산하여 제시한 것임.
- 분뇨 이동 통제로 인해 ASF 경기북부 및 강원북부 질병 확산 차단에 따른 편익은 평균 약 160억 4,613만 원으로 계산되며, 구제역 질병 확산 차단에 따른 편익은 평균 약 111억 4,360만 원으로, AI 질병 확산 차단에 따른 편익은 평균 약 137억 6,238만 원인 것으로 계산됨.

<표 4-8> 시나리오별 편익 구성 요소 요약

질병 별	과거 사례	분뇨로 인해 질병이 전파될 확률	분뇨 통제를 하지 않을 경우, 분뇨가 통제권역 밖으로 이동하는 비중	권역 밖 인접지역의 사육두수	인접지역 을 포함한 살처분배율	살처분 보상단가 및 매몰비용
ASF	2019년 9-10월 경기북 부	시나리오 A: 1%	2.5%	시나리오 1: 370두, 인천	9배	50만 원
		시나리오 B: 4%		시나리오 2: 19,284두, 인천 남양주, 가평		
	2020년 10월 강원북 부	시나리오 C: 7%	20%	444,285두, 철원 포천 가평		
구제 역	2019년 1-2월 경가충 북	시나리오 A: 1%	안성: 1%	38,399두, 천안	11배	646만 원
		시나리오 B: 4%				
		시나리오 C: 7%	충주: 4.4%	80,375두, 이천, 여주		
AI	2020년 11월- 2021년 3월 전국	시나리오 A: 1%	시나리오 1: 4.5%	218,450,404 수, 전국	3.5배	5,000원
		시나리오 B: 4%				
		시나리오 2: 13.5%	시나리오 2: 13.5%			

출처: 저자 작성

<표 4-9> 시나리오별 편익 추정 결과

질병별	사례	시나리오	가축분뇨 이동 통제에 따른 편익
ASF	2019년 9-10월 경기북부 & 2020년 10월 강원북부	시나리오 A-1	약 40억 280만 원
		시나리오 A-2	약 40억 2,026만 원
		시나리오 B-1	약 160억 1,122만 원
		시나리오 B-2	약 160억 8,104만 원
		시나리오 C-1	약 280억 1,964만 원
		시나리오 C-2	약 281억 4,182만 원
구제역	2019년 1-2월 경기·충북	시나리오 A	약 27억 8,590만 원
		시나리오 B	약 111억 4,360만 원
		시나리오 C	약 195억 130만 원
AI	2020년 11월-2021년 3월 전국	시나리오 A-1	약 17억 2,030만 원
		시나리오 A-2	약 51억 6,089만 원
		시나리오 B-1	약 68억 8,119만 원
		시나리오 B-2	약 206억 4,356만 원
		시나리오 C-1	약 120억 4,208만 원
		시나리오 C-2	약 361억 2,624만 원

출처: 저자 작성

4. 비용 산출

- 본 연구에서는 평상시의 경우 인근 지역의 가까운 분뇨처리시설로 보내 위탁처리가 가능하나 분뇨 이동이 통제되면 통제권역 경계를 넘지 못해 위탁처리가 문제가 되는 분뇨량을 도출하여, 분뇨가 처리되지 못하는 기간 동안 발생하는 비용을 분뇨이동 통제가 초래하는 비용으로 산출하였음.
- 가축분뇨 이동 통제에 의한 비용으로는 크게 ASF, 구제역, AI에 모두 적용되는 대기오염비용과, 본 연구 수행을 위해 실시한 전문가 간담회에서 제시된 ASF에 적용되는 분뇨처리비용, AI에 적용되는 육계 소득 감소 비용을 고려함(<그림 4-11>).
- 본 연구에서는 우선 분뇨가 처리되지 못하는 기간 동안 발생하는 악취 등으로 인한 피해 즉 대기오염비용을 산출함.
 - 대기오염비용은 식 (4)와 같이 계산할 수 있는데, 이는 매일 발생하는 축종별 분뇨의 위탁처리량(δ)에 분뇨 이동 통제를 하지 않았다면 통제권역 밖으로 이동했을 분뇨의 비중(α)과 각축종별 분뇨의 톤당 악취물질처리비용(s)을 곱하여 산출할 수 있음.⁵⁾

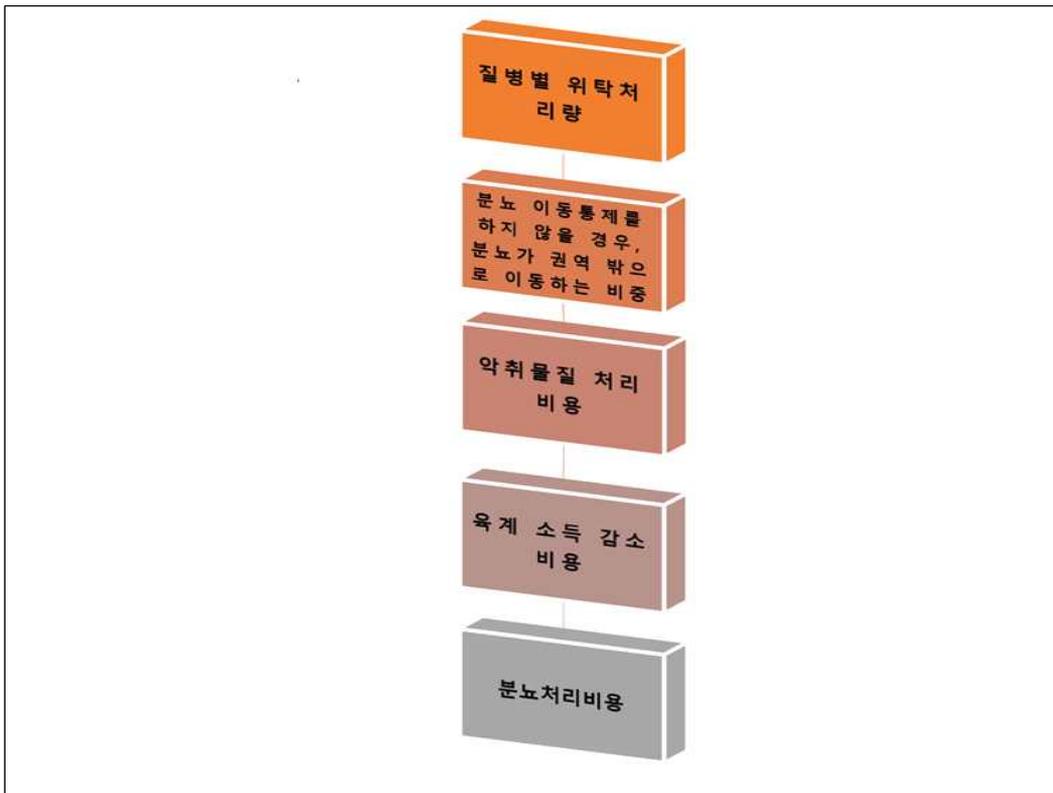
$$(4) c = \alpha \times \delta \times s$$

5) 분뇨 이동 통제가 없을 경우 정상적으로 위탁처리장에서 위탁처리되어 유기질 비료 등으로 자원화 된다고 하더라도 일부 악취가 발생할 수 있다는 점을 감안한다면, 본 연구에서 가축 분뇨의 악취물질처리비용 값을 이용하여 분뇨 이동 통제가 초래하는 비용을 계산한 것은 과대 계산의 여지가 있음. 하지만 분뇨 이동 통제가 경제성이라는 측면에서 볼 때 타당한가를 평가하고자 하는 본 연구의 취지를 고려하여 비용계산은 가장 적극적으로, 편익계산은 가장 보수적으로 수행하였음.

- 육계의 경우 대기오염비용에 더하여 소득 감소 비용(m_i)을 추가적으로 고려했으며, 돼지의 경우 대기오염비용에 분뇨처리비 증가 비용(z_i)을 추가적으로 합산하였음.
- 대기오염은 분뇨가 정상적으로 처리되지 못하는 기간 동안 발생하는 것이기 때문에 본 연구에서는 통제기간 동안을 대상으로 대기오염비용을 계산하였음.⁶⁾ 즉, 구제역과 AI를 대상으로 한 분뇨 이동 통제 기간은 특별방역대책기간에 해당하는 150일을 적용함.
 - ASF의 경우 2019년 첫 발생 이후 지속적으로 권역 통제가 이루어지고 있음. 하지만 통제권역의 경계권역에 위치한 양돈 농가가 2019년 이후 현재까지 분뇨를 처리하지 못한다고 가정하는 것은 현실성이 없음. 왜냐하면 분뇨를 처리하지 않고는 사실상 양돈업을 계속할 수가 없기 때문에 양돈 농가의 경우도 위탁처리소를 권역내로 변경했거나 스스로 처리시설을 갖추었다고 보는 것이 합리적임.
 - 따라서 본 연구에서는 ASF 분뇨 통제로 인한 대기오염발생 기간도 다른 두 질병의 경우와 마찬가지로 150일을 적용함. 분뇨 이동 통제로 인해 질병처리에 어려움을 겪게 된 양돈 농가가 권역 내로 위탁처리소를 변경하거나 스스로 처리시설을 갖추는데 소요되는 기간을 최대로 잡아도 150일을 넘을 수는 없다고 판단할 수 있기 때문임.

6) 분뇨 이동 통제가 이루어지면 축산농가에서도 스스로 처리시설을 갖추거나 권역 내의 타 위탁처리시설을 찾아 분뇨 처리를 위탁하는 등의 조치를 하게 될 것이기 때문에 통제 기간 내내 분뇨가 처리되지 못하고 악취를 발생시킨다는 것은 매우 강한 가정임. 하지만, 이 역시 분뇨 이동 통제가 경제성이라는 측면에서 볼 때 타당한가를 평가하고자 하는 본 연구의 취지를 고려하여 비용계산은 가장 적극적으로, 편익계산은 가장 보수적으로 수행한 분석 전략의 일환임.

<그림 4-11> 비용 산출 5단계



출처: 저자 작성

4.1. 질병별 위탁처리량

- 2018년 환경부 가축분뇨 발생량 통계에 따르면, 가축분뇨 발생량의 경우 소는 65,175톤/일, 돼지는 98,840톤/일 (이 가운데 ASF로 인한 분뇨 이동 통제를 받는 권역에서 발생하는 분뇨량은 돼지 24,541톤/일), 닭의 경우 19,059톤/일임.

- 환경부 자료에 따르면, 전술한 바와 같이 2018년과 2019년의 분뇨 발생량 중 자가처리와 위탁처리 비중은 약 75~80%와 약 20~25%로 자가처리 비중이 대부분을 차지하고 있음.
- 전문가 회의에서 제시된 축종별 위탁처리 비율(즉, 돼지 20%, 소 10%, 닭 90%)를 축종별 가축분뇨 발생량에 적용하면, 소 26,286톤/일, 닭 17,153톤/일, ASF로 인한 이동 통제를 받는 권역에서 발생하는 돼지 4,908톤/일인 것으로 도출됨.

4.2. 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우, 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중

- 분뇨 이동 통제를 하지 않는 평상시의 경우, 분뇨가 통제권역 밖으로 이동하는 비중은 해당 권역에 위치한 위탁처리시설과 권역 밖의 위탁처리시설 수의 상대적 위치를 이용하여 도출함.
- ASF로 인한 이동 통제를 받는 돼지의 경우, 평상시 분뇨 이동 통제를 하지 않을 시 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중은 12.5%로 계산됨.
- 구제역으로 인한 이동 통제를 받는 소의 경우, 평상시 분뇨 이동 통제를 하지 않을 시 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중은 10%로 계산됨.
- AI로 인한 이동 통제를 받는 닭의 경우, 평상시 분뇨 이동 통제를 하지 않을 시 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중은 15%로 계산됨.

- 하지만 인접 지역의 경우 동일지역으로 간주하여 예외적으로 (바이러스 잔존 검사 후) 이동을 허용해주는 조치가 시행중임. 따라서 이와 같은 조치를 반영하기 위해 본 연구에서는 위에서 계산된 권역 밖으로의 이동 비중보다 작은 경우를 추가하여 10%, 7.5%, 5%인 상황도 분석을 실시함.

4.3. 악취물질 처리비용

- 이명규 외(2019)에 따르면, 가축 분뇨의 악취물질 처리비용은 톤당 25,000원인 것으로 분석되고 있음.
 - 하지만 이는 시설비 등의 비용까지 포함된 것으로 판단되어 본 연구에서는 순수 암모니아, 황화수소 등 악취물질의 제거에 필요한 비용만을 고려한 추가 시나리오로 악취물질 처리비용(즉, 대기오염비용)이 15,000원인 경우도 분석을 실시함.
- <표 4-10>는 축종별 위탁처리량과 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중, 악취물질 처리비용으로 구성된 축종별 대기오염비용의 시나리오별 구성요소와 이에 따른 비용을 산출한 것임.
- 분석 결과, ASF로 인한 돼지 분뇨 이동 통제로 인한 대기오염비용은 평균 16억 5,645만 원이며, 구제역과 AI로 인한 소와 닭 분뇨의 이동 통제로 인한 대기오염비용은 평균적으로 돼지의 경우보다 더

높은 69억 7만 원과 70억 7,561만 원인 것으로 나타남.

<표 4-10> 시나리오에 따른 대기오염비용 추정 결과

질병별	축종별 위탁처리량	분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우, 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중	악취물질 처리비용	총 대기오염비용
ASF	4,908 톤/일	시나리오 1: 10%	시나리오 1: 15,000원	약 11억 430만 원~ 약 23억 63만 원 (평균: 16억 5645만 원)
		시나리오 2: 12.5%	시나리오 2: 25,000원	
구제역	26,286 톤/일	시나리오 1: 7.5%	시나리오 1: 15,000원	약 44억 3,576만 원~ 약 98억 5,725만 원 (평균: 69억 7만 원)
		시나리오 2: 10%	시나리오 2: 25,000원	
AI	17,153 톤/일	시나리오 1: 5%	시나리오 1: 15,000원	약 19억 2,971만 원~ 약 96억 4,856만 원 (평균: 51억 4,500만 원)
		시나리오 2: 15%	시나리오 2: 25,000원	

출처: 저자 작성

4.4. 소득 감소 비용(육계)

- 본 연구에서는 앞서 논의한 바와 같이 육계의 경우 분뇨 이동 통제로 인해 추가 입식을 못함으로 인해 발생하는 생산 차질을 소득 감소 비용으로 간주함.

- AI로 인한 닭 분뇨 이동 통제의 경우, 통제가 없을 경우 사례 권역에서 권역 밖으로 위탁처리를 위해 이동하는 가축분뇨 처리량은 앞서 도출한 닭 분뇨의 위탁처리량인 17,153톤/일에 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중을 곱한 값으로 시나리오 1에서는 858톤/일, 시나리오 2에서는 2,573톤/일로 계산됨.
- 사례 권역에서 권역 밖으로 이동하는 가축분뇨 처리량을 사육두수로 전환해주기 위하여 닭의 가축분뇨 배출원 단위(0.0001051톤/수)를 적용하면, 7) 시나리오 1과 2에서 각각 8,160,324수와 24,480,971수인 것으로 나타남.
- 여기에 통계청 농산물생산비조사에 따른 육계 1수당 수익성 38.2원을 곱하여 산출한 소득 감소 비용은 최소 약 3억 1,172만 원에서 최대 9억 3,517만 원으로 평균 약 6억 2,345만 원인 것으로 계산됨⁸⁾.

4.5. 분뇨처리(보관) 비용(돼지)

7) 2008년 배출원단위, 환경부 자료

8) 육계의 경우 1년에 평균 6번 입식을 하여 출하하는 것으로 알려져 있음. 따라서 150(약 5개월)일 동안 분뇨 이동 통제를 할 경우 육계농가가 분뇨 처리를 하지 못해 발생하는 입식 상실 기회는 1.5 회라고 할 수 있음(이미 입식한 육계는 통제기간 초기 두달 동안 사육하여 출하했다고 가정하면 나머지 3개월 동안 입식을 하지 못하는 상황). 이와 같은 상황을 반영하여 본 연구에서는 통제 기간 동안 육계농가가 이미 입식한 육계를 출하한 이후 다시 입식하는 기회를 상실했다고 가정함.

- 분뇨 이동 통제가 없을 경우 사례 권역에서 권역 밖으로 위탁 처리를 위해 이동하는 돼지 분뇨량은 위탁처리량과 분뇨 이동 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중을 곱한 값으로 계산할 수 있는데, 시나리오 1에서는 491톤/일 시나리오 2에서는 614톤/일로 나타남.
 - 10톤의 가축분뇨를 저장하는 FRP통 단가는 평균 약 116만원인 것을 감안한다면, 시나리오 1과 2에서의 처리되지 못한 돼지 분뇨를 처리하기 위해 필요한 FRP통 개수는 전체 통제지역 내에서 위탁처리를 하지 못하는 양돈 농가 전체를 기준으로 했을 때 하루 각각 50개와 62개인 것으로 도출됨.

- 이를 바탕으로 도출된 분뇨처리(보관) 비용은 최소 87억 원에서 최대 107억 8,800만 원으로 평균 약 97억 4,400만 원인 것으로 계산됨. 하지만 이는 통제 기간 동안 해당 분뇨가 모두 처리되지 못했다는 극단적인 상황을 전제로 한 것이므로 현실성이 떨어짐.
 - 경계권역을 넘어서 위탁처리되던 분뇨의 상당수는 이동 통제 이후 권역 내의 다른 위탁처리소를 찾아서 분뇨를 처리했거나 위탁처리 대신 자가처리를 했다고 보는 것이 합리적임. 하지만 대상 농가의 분뇨 발생량 중 어느 정도의 분뇨가 자가처리나 새로운 위탁처리소를 통해 분뇨를 처리했는지에 대해서는 객관적인 통계자료가 존재하지 않음. 따라서 본 연구에서는 새로운 위탁처리소를 찾거나 자가처리방법(시설 등)을 확충하는데 까지 소요되는 기간 동안만 임시로 분뇨를 보관하기 위해 FRP 통을 구입했다고 간주하여 위에서 계산된 금액의 일부(60% 및 30% 시나리오)만을 반영하여 분석을 실시함.

- 따라서 가축분뇨 이동 통제 시 쌓인 분뇨를 임시 저장하기 위해 양

돈 농가가 추가 구입했던 FRP통 비용은 최소 약 29억 2,320만 원에서 최대 97억 4,400만 원으로 평균 약 61억 7,120만 원인 것으로 계산됨.

4.6. 비용 산출

- 앞서 언급한 바와 같이 가축분뇨 이동 통제로 인한 비용은 크게 ASF, 구제역, AI에 모두 적용되는 대기오염비용과, ASF에 적용되는 분뇨처리비용, AI에 적용되는 육계 소득 감소 비용을 들 수 있음.
 - 이들 비용 요소들을 종합해 보면 ASF의 경우, 분뇨 이동 통제로 인해 발생하는 대기오염비용은 평균 16억 5,645만 원이며, 분뇨처리(보관)비용은 평균 61억 7,120만 원으로 총 비용은 평균 78억 2,765만 원임(<표 4-11> 참조).
 - 구제역의 경우, 분뇨 이동 통제로 인해 발생하는 대기오염비용은 평균 69억 7만 원임.
 - AI의 경우, 분뇨 이동 통제로 인해 발생하는 대기오염비용은 평균 51억 4,590만 원이며, 육계 소득 감소 비용은 평균 6억 2,345만 원으로 총 비용은 평균 57억 6,935만 원임.

<표 4-11> 비용 요약

질병별	대기오염비용	육계 소득 감소 비용	분뇨처리비용	총 비용
ASF	약 11억 430만 원~ 약 23억 63만 원 (평균 16억 565만 원)	-	약 29억 2,320만 원~ 약 97억 4,400만 원 (평균 약 61억 7,120만 원)	약 40억 2,750만 원~ 약 120억 4,463만 원 (평균 78억 2,755만 원)
구제역	약 44억 3,576만 원~ 약 98억 5,725만 원 (평균 69억 7만 원)	-	-	약 44억 3,576만 원~ 약 98억 5,725만 원 (평균 69억 7만 원)
AI	약 19억 2,971만 원~ 약 96억 4,856만 원 (평균 51억 4,500만 원)	약 3억 1,172만 원~ 약 9억 3,517만 원 (평균 6억 2,350만 원)	-	약 22억 4,144만 원~ 약 105억 8,374만 원 (평균 57억 6,985만 원)

출처: 저자 작성

5. 경제성 분석 결과

- 편익-비용 기준으로 가축분뇨 이동 통제시스템에 대한 경제성 분석결과, 모든 질병에 대한 분뇨 이동 통제는 경제성이 있는 것으로 나타남(<표 4-12> 참조).
- ASF의 경우 편익/비용 비율은 2.05로 나타났으며, 구제역과 AI의 편익/비용 비율은 1.61과 2.39로 나타남.

- 이러한 결과는 경제적인 관점에서 ASF, 구제역, AI의 권역별 분뇨 이동 통제는 필요한 조치임인 것임을 시사함.

<표 4-12> 경제성 분석 결과

질병별	과거 사례	편익	비용	경제성 분석 결과 (평균 기준)
ASF	2019년 9-10월 경기북부 & 2020년 10월 강원북부	약 40억 280만 원~ 약 281억 418만 원 (평균: 160억 4613만 원)	약 40억 2,750만 원~ 약 120억 4,463만 원 (평균: 78억 2,765만 원)	2.05*
구제역	2019년 1-2월 경기·충북	약 27억 8,500만 원~ 약 195억 130만 원 (평균: 111억 4,300만 원)	약 44억 3,576만 원~ 약 98억 5,725만 원 (평균: 69억 7만 원)	1.61*
AI	2020년 11월- 2021년 3월 전국	약 17억 2,030만 원~ 약 361억 2624만 원 (평균: 137억 6,238만 원)	약 22억 4,144만 원~ 약 105억 8,374만 원 (평균: 57억 6,985만 원)	2.39*

출처: 저자 작성

주: * 경제성 있음.

제 5 장

통제권역 확대 및 축소의 경제성 분석

1. ASF

- 본 연구에서 고려한 축종별 가축분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오는 다음과 같음.
 - 돼지는 소나 닭과 달리 가축분뇨 통제시스템이 전국을 도 또는 시도 단위로 구분하여 통제하는 것이 아니라 4개의 중점 지역(경기북부, 경기남부, 강원북부, 강원남부)을 통제하는 방식으로 실시하고 있음.
- 이 중 본 연구에서는 경기북부권역을 <그림 5-1>와 같이 경기북북부와 경기북남부로 구분하여 축소하는 시나리오를 분석함.
- 통제권역을 축소할 경우, 분뇨 이동 통제로 인한 질병확산 편익과 통제 비용이 현재 통제권역 기준 대비 증가할 것으로 예상됨(<표 5-1> 참조).

<표 5-1> ASF 통제권역 축소 시나리오 경제성 분석 결과

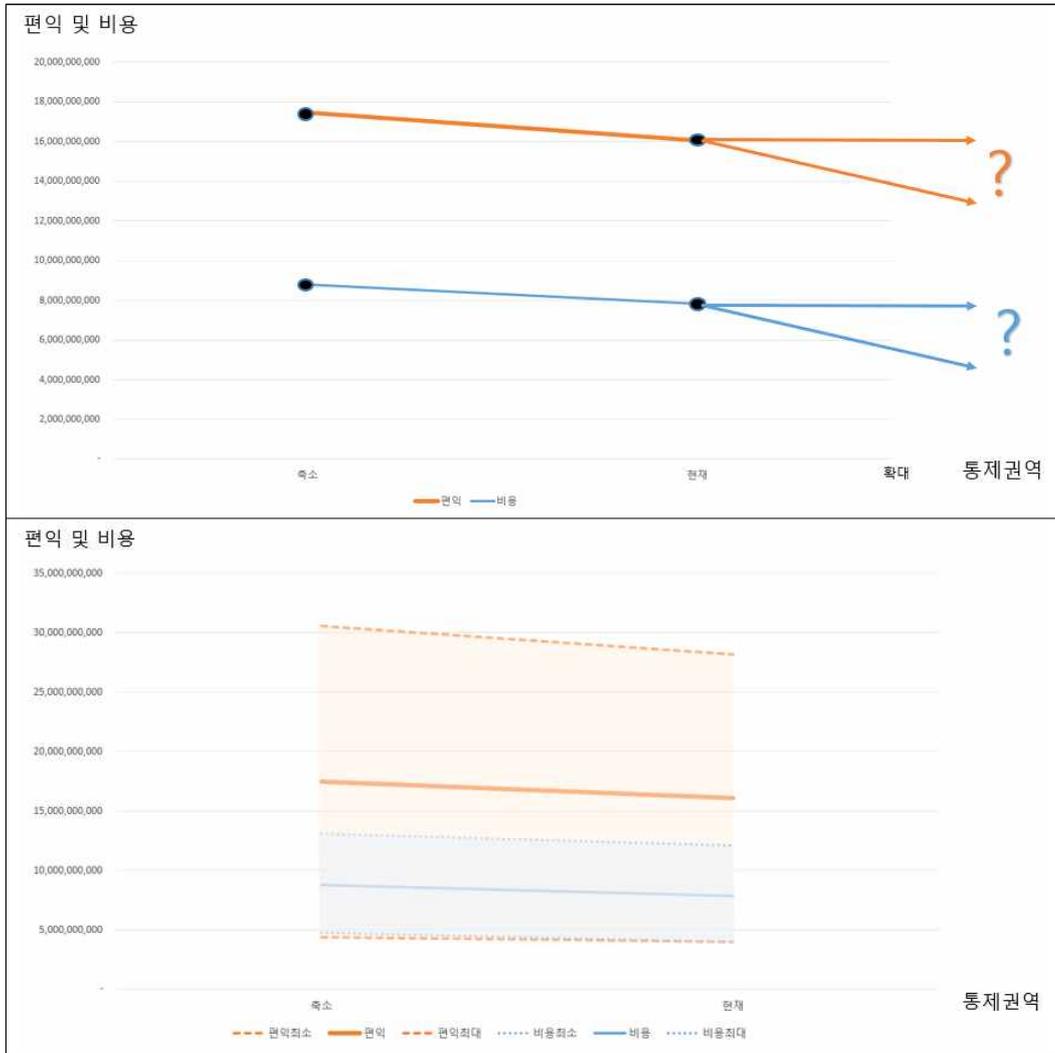
시나리오	권역 구분	편익	비용	경제성 분석 결과 (평균 기준)
현재 기준	경기북부, 강원북부, 경기남부, 강원남부 기준	약 40억 280만 원~ 약 281억 4182만 원 (평균 160억 4613만 원)	약 40억 2,750만 원~ 약 120억 4,463만 원 (평균 78억 2,765만 원)	2.05*
권역 축소	경기북북부, 경기북남부, 강원북부, 경기남부, 강원남부 기준	약 43억 6,119만 원~ 약 305억 2,830만 원 (평균 174억 4,474만 원)	약 47억 8,789만 원~ 약 131억 72만 원 (평균 87억 8,190만 원)	1.99*

출처: 저자 작성

주: * 경제성 있음.

- 통제권역 축소 시나리오에서의 편익과 비용은 평균 174억 4,474만원과 87억 8,190만 원으로 이는 현재의 통제권역에 따른 편익 및 비용보다 큰 것으로 나타남.
- 그러나 현재 통제권역에 대한 편익/비용 비율이 축소 시나리오의 편익/비용 비율보다 큰 것으로 나타나, 편익/비용 기준에 따를 경우 현재 상태의 통제권역을 유지하는 것이 경제성 측면에서는 타당하다고 할 수 있음.
- <그림 5-2>의 하단 그림은 현재 통제권역과 통제권역 축소 시나리오의 편익과 비용에 대한 최대값~최소값 범위를 포함하여 경제성을 분석한 결과를 나타낸 것임.

<그림 5-2> 현재 통제권역과 ASF 통제권역 축소 시나리오 비교



2. 구제역

- 구제역의 경우 현재 구제역 통제권역인 도 단위 대비, 시도 단위로 통제권역을 축소하는 경우를 상정하여 시나리오 분석을 실시함.
- 현재 통제권역을 기준으로 할 때, 분뇨 이동 통제로 인한 편익/비용 비율은 1.61로 높은 편으로 나타나지만, 통제권역을 축소할 경우, 분뇨 이동 통제로 인한 편익과 비용이 현재 수준보다도 더 높을 것으로 예상됨(<표 5-2> 참조).
- 통제권역 축소 시나리오에서의 편익이 증가하는 것은 분뇨 통제를 하지 않을 경우 분뇨가 통제권역 밖으로 이동하는 비중이 증가하고 인접 위험지역 사육두수 또한 증가한데 따른 결과임.
- 또한, 통제권역 축소 시나리오에서의 비용이 증가하는 것 역시 분뇨 통제를 하지 않을 경우 위탁처리를 위해 통제권역 밖으로 이동해야 하는 분뇨량이 증가한 데 따른 결과임.
- 통제권역을 시군 단위로 축소할 경우 편익/비용 비율은 1.59인 것으로 도출되어 현재 통제권역 기준의 편익/비용 비율보다 작은 값으로 계산됨.

<표 5-2> 구제역 통제권역 축소 시나리오 경제성 분석 결과

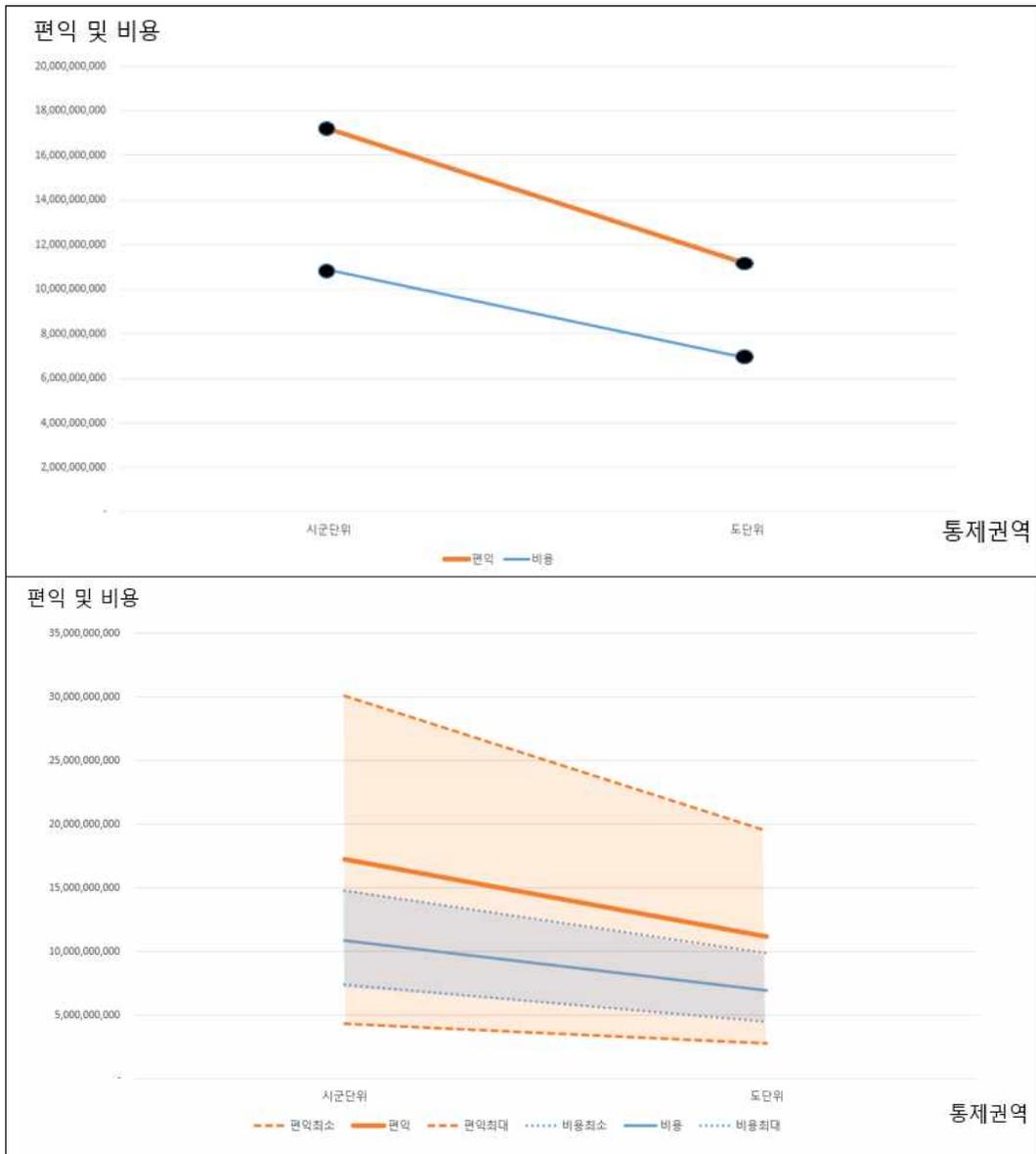
시나리오	권역 구분	편익	비용	경제성 분석 결과 (평균 기준)
현재 기준	도 단위	약 27억 8,590만 원~ 약 195억 130만 원 (평균: 111억 4,360만 원)	약 44억 3,576만 원~ 약 98억 5,725만 원 (평균: 69억 7만 원)	1.61*
권역 축소	시도 단위	약 43억 192만 원~ 약 301억 1,347만 원 (평균: 172억 769만 원)	약 73억 9,294만 원~ 약 147억 8,588만 원 (평균: 108억 4,298만 원)	1.59*

출처: 저자 작성

주: * 경제성 있음.

- 통제권역 축소 시나리오에서의 편익(평균 172억 769만 원)과 비용(108억 4,298만 원)은 현재 통제권역의 편익과 비용 대비 큰 것으로 나타남(<그림 5-3> 참조).
- 그러나 현재 도 단위 통제권역의 편익/비용 비율이 시도 단위 축소 시나리오의 편익/비용 비율보다 크다는 것은 편익/비용 기준으로 볼 때에는 현재의 도 단위 통제권역을 유지하는 것이 경제성 측면에서 타당하다는 것을 암시함.

<그림 5-3> 현재 통제권역과 구제역 통제권역 축소 시나리오 비교



출처: 저자 작성

3. AI

- AI의 경우 현재의 시도 단위 통제권역에서 도 단위로 통제권역을 확대하는 경우를 상정하여 시나리오 분석을 실시함.
- 통제권역을 확대할 경우, 분노 이동 통제로 인한 질병확산 편익과 통제 비용은 현재 대비 감소할 것으로 예상됨(<표 5-3> 참조).
- 통제권역 확대 시나리오에서의 편익과 비용이 감소하는 것은 분노 통제를 하지 않을 경우 분노가 통제권역 밖으로 이동하는 비중이 줄어들어 위탁처리를 위해 권역 경계를 넘는 분노량이 줄어든 데 따른 결과임.
- 통제권역을 확대하는 시나리오에 따르면 편익/비용 비율이 2.25로 도출되어 현재 통제권역 기준 대비 낮게 나타남.

<표 5-3> AI 통제권역 확대 시나리오 경제성 분석 결과

시나리오	권역 구분	편익	비용	경제성 분석 결과 (평균 기준)
현재 기준	시도 단위	약 17억 2,030만 원~ 약 361억 2,624만 원 (평균: 137억 6,238만 원)	약 22억 4,144만 원~ 약 105억 8,374만 원 (평균: 57억 6,935만 원)	2.39*
권역 확대	도 단위	약 10억 3,218만 원~ 약 240억 8,416만 원 (평균: 89억 4,554만 원)	약 14억 6,955만 원~ 약 73억 6,755만 원 (평균: 39억 6,828만 원)	2.25*

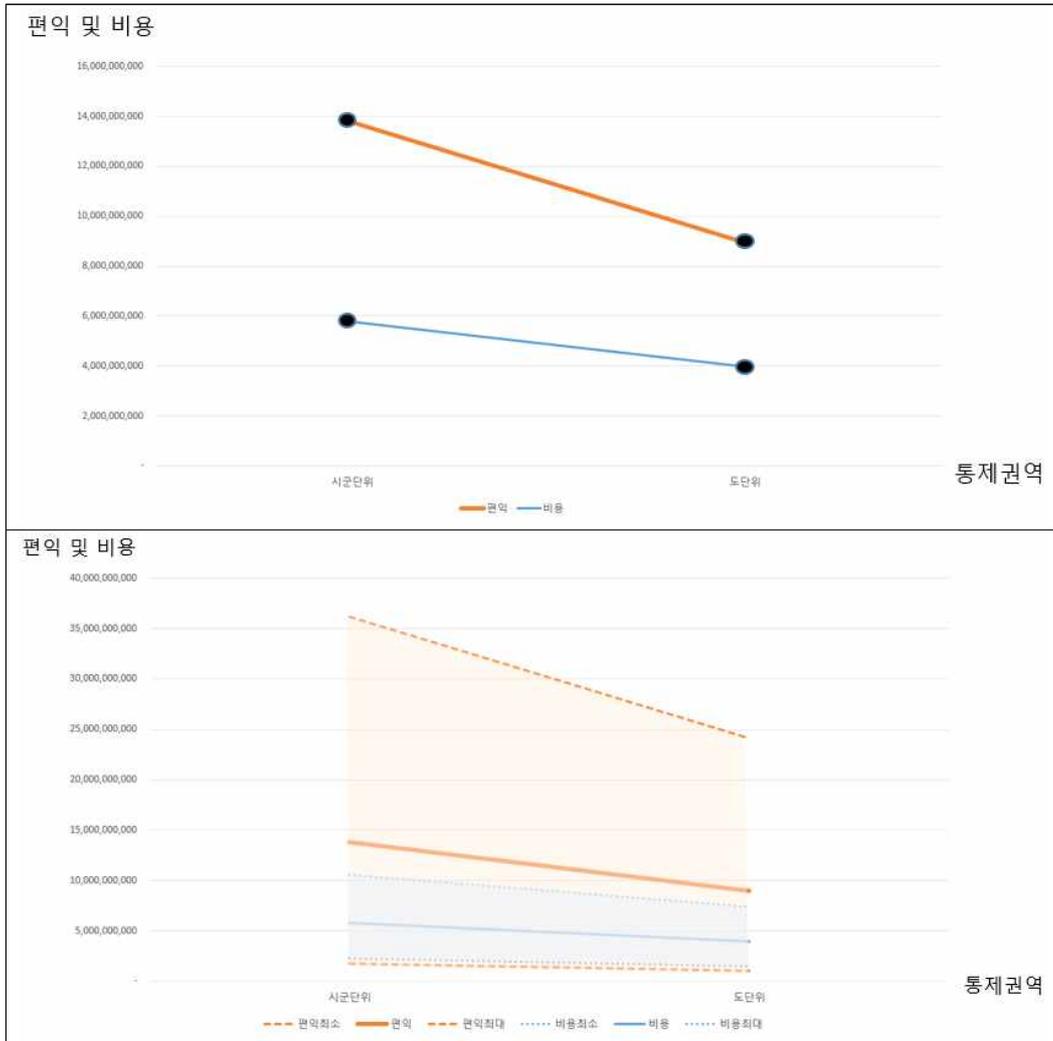
출처: 저자 작성

주: * 경제성 있음.

- 확대 시나리오의 편익(평균 89억 4,554만 원)과 비용(평균 39억 6,828만 원)은 현재의 통제권역을 유지하는 것보다 작은 값을 보임 (<그림 5-4> 참조).

- 현재의 시도 단위로 통제할 경우의 편익/비용 비율은 도 단위 확대하는 시나리오에서의 편익/비용 비율보다 큰 것으로 나타나, 편익/비용 비율 기준으로 보면 현재의 시도 단위로 통제권역을 유지하는 것이 타당하다고 할 수 있음.

<그림 5-4> 현재 통재권역과 시 통제권역 확대 시나리오 비교



출처: 저자 작성

제 6 장

가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석

○ 본 절에서는 가축분뇨 통제가 축산물 가격과 소비자 잉여에 미치는 효과를 분석함.

○ 이를 위해 가축분뇨 이동 통제가 생산자 및 소비자에게 미치는 영향을 다음과 같은 모형을 설정하여 분석함.

$$(5) Q_D = D(P, S_d)$$

$$(6) Q_S = D(P, S_s)$$

$$(7) Q_D = Q_S$$

○ 식 (5)~(7)에서 Q_D 와 Q_S 는 축산물 수요와 공급을 나타내며, P 는 축산물 가격을 의미함.

- S_d 와 S_s 는 축산물 수요와 공급에 영향을 미치는 요인을 나타냄.
- 축산물 공급에 영향을 미치는 요인으로는 가축 질병 발생으로 인한 살처분과 같은 공급 감소가 있음.

○ 식 (5)~(7)를 전미분하면 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$(5') \quad dQ_D = \frac{\partial D}{\partial P} dP + \frac{\partial D}{\partial S_d} dS_d$$

$$(6') \quad dQ_S = \frac{\partial S}{\partial P} dP + \frac{\partial S}{\partial S_s} dS_s$$

$$(7') \quad dQ_D = dQ_S$$

○ 식 (5')~(7')를 좌변의 변수로 나누면 로그-차분(log-differential) 형태로 방정식이 전환되어 다음과 같이 표현할 수 있음.

○ 식 (5'')~(7'')에서 E 는 해당변수에 대한 비율적 변화로 예를 들어 EP 는 dP/P 를 의미하는 것임.

$$(5'') \quad EQ_D = \epsilon EP + \epsilon_s ES_d$$

$$(6'') \quad EQ_S = \eta EP + \eta_s ES_s$$

$$(7'') \quad EQ_D = EQ_S$$

○ 식 (5'')~(7'')를 파라미터 행렬, 내생변수 및 외생변수 벡터의 곱으로 표시하면 식 (8)와 같이 나타낼 수 있음.

$$(8) \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\epsilon \\ 0 & 1 & -\eta \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} EQ_D \\ EQ_S \\ EP \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_s ES_d \\ \eta_s ES_s \\ 0 \end{bmatrix}$$

○ 분뇨 이동 통제를 하지 않았을 경우, 이는 질병 감염으로 인한 살

처분으로 말미암아 축산물 공급량을 감소시키게 될 것이므로 이는 식 (8)에서 로그 영향을 반영할 수 있음.

- 이 경우 내생변수에 해당하는 가격변화율(EP)와 물량변화율($EQ_D (=EQ_S)$)을 계산해 낼 수 있음.
- 이때, 분뇨 이동 통제를 하지 않아 살처분이 이루어질 경우 축산물 소비자들의 소비자 잉여의 변화는 다음과 같이 계산할 수 있음.
- 식(9)의 CS_n 와 CS_o 는 분뇨를 통제하지 않았을 경우와 통제를 할 경우에서의 소비자 잉여를 나타냄.
 - P_o 는 분뇨 이동 통제를 할 경우의 축산물 가격을 나타냄.
 - 그리고 Q_n 와 Q_o 는 분뇨를 통제하지 않았을 경우와 통제를 할 경우에서의 축산물 공급량을 의미함.

$$(9) \Delta CS = CS_n - CS_o = -\frac{P_o Q_n Q_n}{2\epsilon Q_o} + \frac{P_o Q_o}{2\epsilon}$$

- 가축분뇨 이동 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과를 분석하기 위해 한국육계협회의 닭고기 공급량과 축산물품질평가원의 돼지고기 및 쇠고기 공급량 자료를 사용함.
 - 가격의 경우 한국농수산물유통공사의 소매가격 자료를 사용함.
 - 자료 기간은 2020년 10월부터 2021년 2월까지 5개월의 돼지, 소, 닭의 공급량 및 월평균 가격임.

- 가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석 결과, 돼지, 소, 닭의 소비자잉여 감소량은 24억, 3억, 110억 원으로 나타남(<표 6-1> 참조).
- 이는 분뇨 이동 통제를 함으로써 돼지, 소, 닭의 경우 각각 24억, 3억, 110억 원의 소비자잉여 감소를 방지할 수 있었던 것으로 평가됨을 의미함.

<표 6-1> 가축분뇨 통제가 축산물 가격 및 소비자 잉여에 미치는 효과 분석

축종	통제가 있는 경우		통제가 없는 경우		
	공급량(톤)	가격(톤/원)	공급량(톤)	가격(톤/원)	소비자잉여 감소량
돼지	473,469	21,538,000	473,378	21,542,996	24억 원
소	105,194	101,584,000	105,191	101,586,760	3억 원
닭	435,119	5,411,800	434,248	5,436,993	110억 원

출처: 저자 작성

제 7 장

가축분뇨 이동 통제시스템 개선방안

1. 통제권역 조정 여부에 대한 검토

- 본 연구에서는 앞의 분석 결과를 바탕으로 네 가지 검토기준을 바탕으로 통제권역 조정의 필요성 여부를 검토함.
- 네 가지 검토 기준은 통제로 인한 편익 극대와 통제로 인한 비용 최소, 통제로 인한 순 편익 최대, 통제로 인한 편익-비용 비율 최대임.
- <표 7-1>은 가축질병별 통제권역 조정 방안을 요약한 표임. 네 가지 검토 기준을 바탕으로 제안할 수 있는 현실적인 대안은 다음과 같음.
- 통제로 인한 편익-비용 비율을 최대로 하는 기준을 적용하면, 모든 질병에서 분뇨 통제는 현재의 통제권역을 유지하는 것이 가장 적합함.

- 통제로 인한 편익과 비용의 차이인 순편익을 최대로 하는 기준을 적용하면, ASF와 구제역의 경우 통제권역을 축소하는 것이 최적이며 AI의 경우 현재의 통제권역을 유지하는 것이 최적이라고 할 수 있음.

<표 7-1> 가축질병별 통제권역 조정 방안

검토기준	검토 관점	권역 조정 방향	현실적인 대안
통제로 인한 편익 극대	국가적 차원	반경을 축소하여 더 촘촘한 통제권역 설정	시/군 단위로 통제권역 설정
통제로 인한 비용 최소	축산농가 및 환경보전적 차원	반경을 확대하여 통제권역 설정	도 단위로 통제권역 설정
통제로 인한 순 편익 최대	경제적 관점	경제성 분석결과가 제안하는 방식	·ASF: 통제권역 축소 ·구제역: 시도 단위로 통제권역 설정 ·AI: 현재의 통제권역 유지
통제로 인한 편익-비용 비율 최대	경제적 관점	경제성 분석결과가 제안하는 방식	·ASF: 현재의 통제권역 유지 ·구제역: 현재의 통제권역 유지 ·AI: 현재의 통제권역 유지

출처: 저자 작성

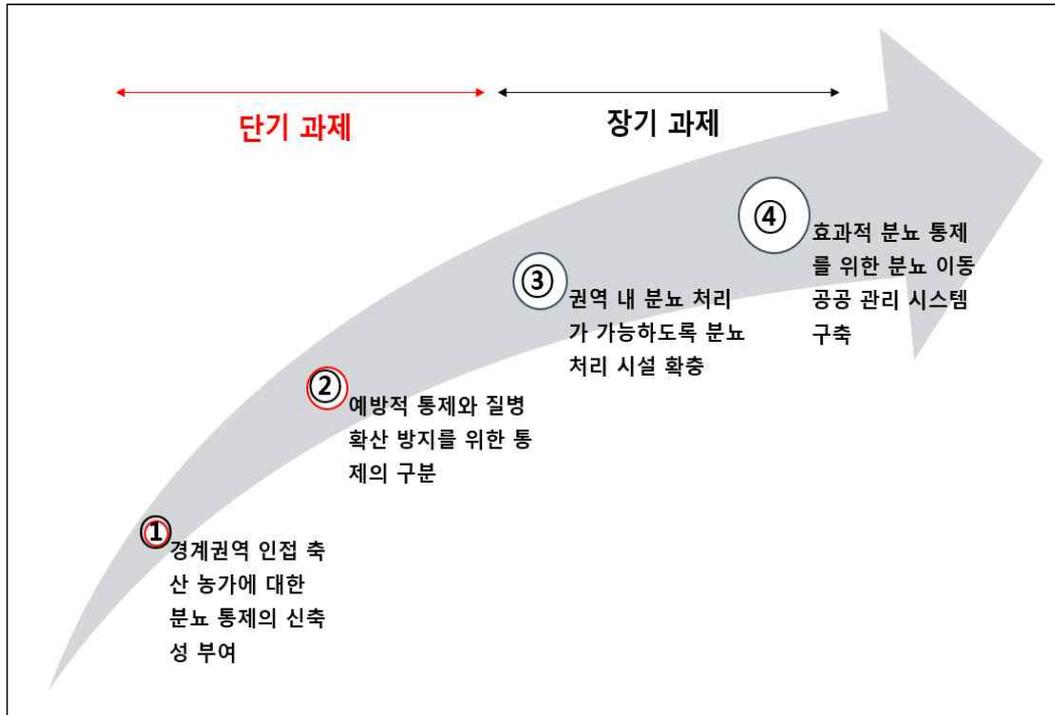
2. 분뇨 이동 통제시스템 개선 방향

- 본 연구의 분석 결과를 바탕으로 할 때, 가축분뇨의 권역 이동 통제에 대한 개선방안을 도출하는데에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 함.
- 첫째, 권역별 분뇨 이동 통제가 앞으로도 지속적으로 필요한가에

대한 검토를 해보았을 때, 본 연구의 편익-비용 분석 결과는 권역별 분노 이동 통제가 필요한 조치라는 점을 뒷받침하고 있음.

- 둘째, 평상시와 질병 발생시에 대한 통제원리가 서로 다르게 작동해야 한다는 것을 알 수 있음.
- 셋째, 분노로 인한 질병 전파 위험(가능성)은 통제권역 내에서 모두 동일하다고 볼 수 있는가에 대한 검토가 필요함.
- 마지막으로 분노통제로 인한 농가의 손실(비용)과 사회적 손실(비용)을 구분해야 함. 이러한 사항들을 반영하여 개선방안에 대한 장·단기적 접근이 구분되어 제시되어야 함.
- 이와 같은 고려사항을 기준으로 주요 개선 방향은 크게 네 가지로 구분할 수 있으며, 장기와 단기적 접근으로도 구분할 수 있음(<그림 7-1> 참조).
 - 단기 과제에 해당하는 주요 개선 사항으로는 경계권역 인접 축산 농가에 대한 분노 통제의 신축성 부여, 예방적 통제와 질병 확산 방지를 위한 통제의 구분임
 - 장기 과제에 해당하는 주요 개선 사항으로는 권역 내 분노 처리가 가능토록 분노처리 시설 확충, 효과적 분노통제를 위한 분노 이동 공공 관리 시스템 구축 등을 들 수 있음.

<그림 7-1> 주요 개선방향 요약



출처: 저자 작성

2.1 단기적 과제

- 분뇨 이동 통제로 인한 단기 주요 개선 사항으로는 경계권역 인접 축산 농가에 대한 분뇨 이동 통제의 신축성 부여가 필요하다는 점을 들 수 있음.
- 현행과 같이, 경계권역에 인접한 농가의 경우 바이러스 잔존 검사를 통해 분뇨 이동을 제한적으로 허용해주는 방안이 신축성을 부여하여 추가적으로 농가가 요청할 경우에도 검사를 통해 제한적으

로 허용해주는 방안을 고려해야 함.

- 또한, 예방적 통제와 질병 확산 방지를 위한 통제를 구분할 필요가 있음.
 - 현재의 통제권역 설정 및 유지 방식에는 예방적 통제와 확산방지 통제가 혼재되어 있음.
 - ASF에 대한 경기 및 강원 남북부 통제권역은 ASF가 발생하지 않는 평상시에도 작동하고 있으며, 구제역에 대한 전국 9개 권역에 대한 이동 통제는 구제역 발생과 관계없이 예방적 차원에서 매년 10월부터 다음 해 2월까지 작동하고 있음.
 - 본 연구의 편익-비용 분석 결과에 따르면 가축질병이 발생하지 않을 경우 분뇨 이동에 대한 권역 통제는 편익은 없고 비용만 발생시키고 있는 것으로 나타남.

- 따라서 현재 설정한 통제권역에 대한 일률적인 이동 통제는 질병이 발생할 경우에 작동시키고, 예방적 통제는 질병 발생 시점, 전파 경로, 심각성(살처분 두수 등)의 경험을 바탕으로 위험등급(고-중-저)을 나누어 고위험 지역 중심으로 통제하는 방안이 필요함.

2.2 장기적 과제

- 장기 주요 개선사항은 하드웨어와 소프트웨어를 망라하는 인프라 구축을 들 수 있음.

- 먼저 권역 내 분뇨 처리가 가능토록 분뇨 처리시설의 확충이 필요

함.

- 통제가 장기화될 경우(예를 들어 ASF로 인한 경기 및 강원 남북부 지역 분뇨통제) 자가처리가 불가능한 축산 농가는 통제권역 내에 분뇨 처리시설이 없다면 원활한 분뇨 처리가 불가능함.
 - 이에 따라 통제권역별 분뇨 처리시설이 상대적으로 미비한 지역에 시설 투자가 이루어져야 함.
- 또한, 축산 농가 분포, 사육두수, 분뇨 발생량, 자가처리량, 위탁처리량에 대한 조사결과를 바탕으로 시설투자계획 수립이 필요하다고 할 수 있음.
- 마지막으로 효과적 분뇨통제를 위한 분뇨 이동 공공 관리 시스템 구축이 필요함.
- 현재 분뇨 발생량, 분뇨 이동실태, 분뇨 활용실태에 대한 정확한 조사자료가 미비함.
 - 분뇨 발생량은 사육두수 조사결과를 이용하여 간접적으로 추정하고 있으며, 분뇨 활용실태도 농가에 대한 설문조사방식을 이용하여 추정하고 있음.
 - 축산차량에 대한 등록제를 실시하고 있으나 이를 바탕으로 분뇨 이동실태는 파악할 수 있는 통계자료를 제공되고 있지 않은 실정임.
- 따라서 질병 전파의 가장 중요한 요인 중의 하나가 가축분뇨라는 점을 고려하여, 장기적으로 분뇨의 발생부터 활용에까지 이르는 과정을 추적하고 DB화하는 분뇨관리시스템을 구축하는 것이 필요함.

제 8 장

요약 및 결론

- 아프리카돼지열병(ASF), 구제역, 고병원성 AI 등의 가축 질병은 살처분, 이동 통제 등 사회·경제적으로 막대한 피해를 입히는 질병으로 국내 제1종 법정전염병으로 지정되어 있음.
- 2021년 10월 15일 기준, 방역 조치 현황을 살펴보면 구제역의 위기 단계는 관심, AI의 위기 단계는 주의, ASF의 위기 단계는 심각임.
- 가축 질병 발생이 빈번한 것 외에도 축산환경을 저해하는 가축분뇨는 우리나라 축산업의 문제점으로 대두되고 있음.
 - 이는 막대한 양의 가축분뇨의 처리 비용이 클 뿐만 아니라, 악취로 인한 피해, 토양 및 지하수 오염 등의 문제를 수반하기 때문임.
- 본 연구에서는 농가의 생산성, 가축 질병의 예방 및 차단, 가축분뇨 처리의 환경적인 요소 등 축산업 생태계를 종합적으로 고려하고 질병 발생시 가축분뇨 권역 통제 방안에 대한 편익-비용 분석을 실시하여 종합적인 가축분뇨 통제시스템을 구축하기 위한 개선 방안

을 모색하였음.

- 본 연구에서 가축분뇨 이동 통제로 인한 축종별 편익과 비용을 다음과 같이 정의함.
- 편익은 가축분뇨 이동 통제로 인해 권역 간 분뇨 이동을 제한함으로써 인접 지역의 가축에 질병이 전파되는 것을 차단하여 살처분을 막을 수 있었던 효과로 간주함.
- 비용은 가축분뇨 이동 통제로 인해 분뇨의 권역 간 이동을 제한함으로써 미처리된 분뇨가 발생시키는 악취 등으로 인한 대기오염 비용과 농가들에게 추가적으로 발생하는 비용 및 소득 기회 상실로 간주함.
 - 분뇨 이동 통제로 인해 발생하는 악취 등의 비용은 ASF, 구제역, AI 모두 적용됨.
 - AI의 경우 분뇨 이동 통제로 인해 새로 입식하지 못하여 발생하는 육계 소득 감소 비용을 포함함.
 - 또한, ASF의 경우 분뇨 이동 통제로 인해 쌓이는 분뇨 처리비용인 FRP통 구입비를 추가적으로 고려함.
- 본 연구의 분뇨 이동 통제로 인한 경제성 분석 결과, 모든 질병에서 현재의 분뇨 이동 통제는 비용 대비 편익이 더 높아 경제성이 있는 것으로 나타남.
- 질병별 가축분뇨 통제권역의 확대 및 축소 시나리오 분석 결과, 모

든 질병에서 현재 통제권역의 B/C ratio가 통제권역을 변경하는 시나리오에서의 B/C ratio보다 큰 것으로 나타남.

- 가축분뇨 권역 통제시스템의 개선을 위한 주요 고려사항으로, 먼저 평상시와 질병 발생시에 대한 통제원리가 서로 다르게 작동하는 것이 필요하며, 분뇨통제로 인한 농가의 손실(비용)과 사회적 손실(비용)에 대한 구분이 필요함. 또한 분뇨로 인한 질병 전파 위험(가능성)이 통제권역 내에서 모두 동일하다고 볼 수 있는가에 대한 검토 역시 필요함.
- 본 연구에서는 이러한 개선 방향에 대한 고려사항을 반영한 단기와 장기 개선방안을 다음과 같이 네 가지로 제시하고자 함.
- 단기 과제에 해당하는 주요 개선사항으로는 경계권역 인접 축산농가에 대한 분뇨통제의 신축성 부여, 예방적 통제와 질병 확산방지를 위한 통제의 구분이 필요하다는 점을 들 수 있음.
- 장기 과제에 해당하는 주요 개선사항으로는 권역 내 분뇨 처리가 가능토록 분뇨 처리시설 확충, 효과적 분뇨통제를 위한 분뇨 이동 공공 관리 시스템 구축이 필요하다는 점을 들 수 있음.

참고문헌

- 국가가축방역통합시스템(KAHIS), https://www.kahis.go.kr/home/sce/sce_m1_01.do
- 국승용, 김규호, 김성훈, 김윤진, 김윤희, 김현중, 마상진, 박문호, 박재홍, 우병준, 이병훈, 이실, 이형용, 장재봉, 전상곤, 전영현, 최지선, 한보현, 허덕, 2017년 농림축산식품사업 성과평가, 한국농촌경제연구원, 2017
- 김현중, 박성진, 김태후, 강수진, 가축분뇨처리 사업군 심층평가, 한국농촌경제연구원 연구보고서, 2018
- 농림축산식품부, 아프리카돼지열병·조류인플루엔자·구제역·소해면상뇌증, <https://www.mafra.go.kr/FMD-AI2/index.do>
- 문운경 외, 국내 발생 가축질병에 대한 역학분석 연구(Study on the epidemiological analysis of animal disease in Korea), 농림축산검역본부, 농림축산검역검사기술개발 연구과제 최종결과보고서, 2014.12
- 유지은, 유럽의 가축분뇨 처리 정책 동향, 세계 농식품산업 동향, 세계농업 제 206호, 한국농촌경제연구원, 2017.
- 이셋별, 일본의 가축분뇨처리 기술 동향, 세계 농식품산업 동향, 세계농업 제 203호, 한국농촌경제연구원, 2017.
- 조을생, 이소라, 윤희만, 신동원, 황보은, 지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구, 한국환경정책·평가연구원, 연구보고서, 2019.
- 조재성, 박성진, 김태후, 이형용, 김현중, 가축분뇨처리지원사업의 가축분뇨 자원화 효과 분석, 농업경영·정책연구, 46(3): 403-419, 2019.
- 축산환경관리원, 축산환경정보 지도서비스, http://stockmap.ilem.or.kr/map/map_2.jsp?menu=187
- 한대호, 안종호, 현윤정, 김호정 새만금 유역 등의 가축분뇨 관리 선진화를 위한 제도개선 및 관리체계 효율화 방안 연구, 환경부 연구보고서, 2013.
- 국가법령정보센터, 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 <개정 2015.3.24.>
 축산물품질평가원, 돼지고기 및 쇠고기 공급량 자료
 통계청, 육계 10수당 수익성 자료, 국가통계포털(KOSIS)

한국농수산물유통공사, 한우등심(1등급), 삼겹살, 닭고기 소매가격 자료

한국육계협회, 닭고기 공급량 자료

환경부, 2019년 기준 가축분뇨 공공처리시설 운영 관리 현황

환경부, 2019년, 2018년 축종별 농가수 및 사육두수 자료

환경부, 2019년, 2018년 가축분뇨 처리형태별 농가수 자료

환경부, 2019년, 2018년 축종별 가축분뇨 발생량 자료

환경부, 2019년, 2018년 가축분뇨 처리형태별 가축분뇨 발생량 자료

부 록

<부표 1> 아프리카 돼지열병 발생 현황

구분	발생기간	발생건수	발생지역
'19년	9.16~10.9 (23일)	14건 (돼지 14)	1개 도 4개 시군
'20년	10.8~10.9 (2일)	2건 (돼지 2)	1개 도 1개 시군
'21년	5.4 (1일)	1건 (돼지 1)	1개 도 1개 시군

출처: 농림축산식품부 사이트

<부표 2> 구제역 발생 현황

구분	발생기간	발생건수	발생지역
'03/'04년	'03.12.10~'04.3.20 (102일간)	19건	7개 시·도 10개 시·군
'06/'07년	'06.11.22~'07.3.6 (104일간)	13건	3개 시·도 5개 시·군
'08년	'08.4.1~5.12 (42일간)	98건	11개 시·도 19개 시·군
'10/'11년	'10.12.29~'11.5.16 (139일간)	91건	6개 시·도 25개 시·군
'14/'15년	㉠ '14.1.16~7.29 (195일)	212건	11개 시·도 41개 시·군
	㉡ '14.9.24~'15.6.10 (260일)	162건	9개 시·도 34개 시·군
	㉢ '15.9.14~11.15 (62일)	17건	2개 시·도 6개 시·군·구
'16/'17년	㉣ '16.3.23~4.5 (13일)	2건	1개 시·도 2개 시·군·구
	㉤ '16.11.16~'17.4.4 (140일)	383건	10개 시·도 50개 시·군

	㊸ '17.6.2~6.19 (17일)	36건	7개 시·도 14개 시·군·구
'17/18년	'17.11.17.~'18.3.17 (121일)	22건	5개 시·도 15개 시·군
'20/21년	'20.11.26.~'21.4.6 (132일)	109건	10개 시·도 48개 시·군

출처: 농림축산식품부 사이트

<부표 3> 시 발생 현황

구분	발생기간	발생건수	발생지역	
'00년	3.24~4.15 (23일)	15건 (소 15)	3개 도 6개 시군	
'02년	5.2~6.23 (53일)	16건 (소1, 돼지15)	2개 도 4개 시군	
'10 년	1월(포천)	1.2~1.29 (29일)	6건 (소 6)	1개 도 2개 시군
	4월(강화)	4.8~5.6 (29일)	11건 (소7, 돼지4)	4개 도 4개 시군
	11월(안동)	11.28~'11.4.21 (145 일)	153건 (소97, 돼지55, 염소1)	11개 시도 75개 시군
'14 년	7월(의성)	7.23~8.6 (15일)	3건 (돼지 3)	2개 도 3개 시군
	12월(진천)	12.3~'15.4.28 (147일)	185건 (돼지180, 소 5)	7개 시도 33개 시군
'16년	1.11~3.29 (45일)	21건 (돼지 21)	2개 도 6개 시군	
'17년	2.5~2.13 (9일)	9건 (소 9)	3개 도 3개 시군	
'18년	3.26~4.1 (7일)	2건 (돼지 2)	1개 도 1개 시군	
'19년	1.28~1.31 (4일)	3건 (소 3)	2개 도 2개 시군	

출처: 농림축산식품부 사이트

<부표 4> ASF 위기 단계별 조치

발생상황	위기단계	주요 조치사항
주변국발생시	관심	유입 방지를 위한 국경검역 추진
		일제 소독, 예찰 등 국내방역 추진
		남은 음식물 급여농가 대상 열처리 등 적정성 지속 점검
		유사시 대비, 비상방역태세 점검
의사환축 발생	주의	해당농장 이동제한 및 신속한 검사
		아프리카돼지열병 발생에 대비한 각종 방역조치 준비
국내발생	심각	전국 Standstill 실시 검토
		정부 합동담화문 발표
		전국 통제초소 및 소독장소 설치
		전국 축산농장 모임 행사 금지
		확산 우려시, 중앙재난안전대책본부 설치
		모든 방역기관에 대책본부, 상황실 가동
		농식품부 기동방역기구 파견
		정부합동지원반 파견
		발생 및 인접 시도에 통제, 소독장소 설치
		소독,예찰 및 이동 통제 등 방역 강화
방역지역 이동 제한 해제 시	위기경보 하향	조기 근절을 위한 방역대책 추진
		소독,예찰 관리
		종식 및 청정화 추진

출처: 방역분야, 분야별 정책, 농림축산식품부 사이트

<부표 5> 구제역 위기 단계별 조치

위기단계	발생상황	주요 조치사항
관심	주변국 발생 시 (평시)	대국민 홍보(발생국 여행자제 등)
		방역태세 점검, 해외정보 수집, 분석, 해외여행객 관리
주의	의사환축 발생	시도 및 검역본부 방역관 파견(사료채취, 역학조사)
		해당농장 이동제한(통제초소 설치)
	백신접종 유형 발생	최초 발생시군 농장단위 매몰, 추가 발생시 감연개체만 매몰
		발생농장 3km이내 이동제한, 발생지역 통제초소 운영
	해당 지자체 대책본부(기관장) 및 상황실 가동	
	발생 시군에 초동대응팀 파견	
경계	인접 또는 타지 역 전파	모든 지자체에 대책본부 및 상황실 가동
		발생 시도 주요도로 통제초소, 거점소독장소 운영
		발생시도 축산농가 모임 금지, 전국농가 모임 자제
		발생지역 추가 백신접종 검토 필요시 Standstill
심각	여러지역 발생 전국확산 우려	중앙재난안전대책본부 설치, 운영(국민안전처)
		발생 시도에 정부 합동지원반 파견
		전국 가축시장 폐쇄 및 주요도로 통제초소 운영
	백신 미접종 유 형 발생	백신 미접종 유형 발생시 바로 “심각”단계 발령
		전국 Standstill(일시이동중지) 시행(48시간 이내)
		모든 우제류농장, 작업장의 가축,사람,차량 출입 일체 금지
		1주일 이내 긴급 백신(가축방역심의회 개최)
		발생농장 및 반경 500m 내 우제류 가축 매몰
	모든 지자체에 대책본부 및 상황실 가동	
	전국 가축시장 폐쇄 및 거점별 소독장소 설치 운영	

출처: 방역분야, 분야별 정책, 농림축산식품부 사이트

<부표 6> AI 위기 단계별 조치

위기단계	발생상황	주요 조치사항
관심	주변국 발생시(평시)	유입 방지를 위한 국경검역 추진
		일제 소독, 예찰 등 국내방역 추진
		유사시 대비, 비상방역태세 점검
주의	겨울철새 이동 유입시기(당해연도 10월~다음해 5월)	방역상황실 운영
		전국 방역기고나 비상 방역태세 점검
		해외 동향 정보 수집, 분석
		축산농가 등 홍보
	농장 의사환축 발생시	국내 철새에서 H5H7 확인시 AI 긴급행동 지침의 조치사항 시행 및 AI 발생에 준하는 방역조치 시행
		해당 농장 이동제한 및 신속한 검사
		발생 대비 각종 방역조치 준비, 시행
		발생농장 이동 제한
	여름철(6-9월) 농장 발생시	농림축산식품부 초동대응팀 파견
		가축질병방역대책본부 가동
		발생 지자체 및 인근 지자체 대책본부, 상황실 가동
		발생농장 살처분 및 역학조사
		발생 시군에 농식품부 기동방역기구 파견
발생 및 인접시군에 통제초소, 소독시설 설치		
심각	겨울철새 이동/유입시기(당해연도 10월~다음해 5월)에 농장 발생시	권역별 또는 전국 Standstill 실시 검토, 시행
		소독 예찰 및 이동 통제 등 방역 강화
		겨울철새 이동/유입시기에 농장 발생시 바로 “심각”단계 발령
		중앙사고수습본부 가동
	인접, 타 지역 전파	발생 지자체 및 인근 지자체 대책본부, 상황실 가동
발생 지자체 및 인근 지자체 이동 통제 초소 및 거점소독시설 등 설치		
권역별 또는 전국 Standstill 실시 검토, 시행		
모든 지자체에 대책본부, 상황실 가동		

	등 전국확산 우려 시	전국 이동 통제초소 및 거점소독시설 등 설치
		전국 Standstill 실시 검토, 시행
		계열화 사업자 Standstill 발동 가능
		AI 신속대응단 및 군 전문 재난구조부대 살처분 투입, 수매 병행
		전국 축산농가 모임 행사 금지 가능
		정부 합동담화문 발표
		중앙재난안전대책본부 설치 건의
		중앙수습지원반 파견 요청
		긴급 백신접종 등 검토
위기경보 하향	발생 축소(진정) 및 종식단계	조기근절을 위한 방역대책 추진(소독, 예찰 등)
		종식 및 복구 추진

출처: 방역분야, 분야별 정책, 농림축산식품부 사이트

<부표 7> 시나리오별 편익 추정 세부 결과

질병별	사례	시나리오	분뇨로 인해 질병이 전파될 확률	분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중	권역 밖 인접 위험지역의 사육두수	인접지역을 포함한 살처분 배율	살처분 보상단가 및 매몰비용	가축분뇨 이동 통제에 따른 편익
ASF	2019년 9-10월 경기북부 & 2020년 10월 강원북부	시나리오 A-1	1%	2.5%	3,769두	9배	50만원	약 40억 280만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 A-2	1%	2.5%	19,284두	9배	50만원	약 40억 2,026만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 B-1	4%	2.5%	3,769두	9배	50만원	약 160억 1,122만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 B-2	4%	2.5%	19,284두	9배	50만원	약 160억 8,104만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 C-1	7%	2.5%	3,769두	9배	50만원	약 280억 1,964만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 C-2	7%	2.5%	19,284두	9배	50만원	약 281억 4,182만 원
				20%	444,285두			
구제역	2019년 1-2월 경기·충북	시나리오 A	1%	1%	38,399두	11배	646만원	약 27억 8,590만 원
				4.4%	80,375두			
		시나리오 B	4%	1%	38,399두	11배	646만원	약 111억 4,360만 원
				4.4%	80,375두			
		시나리오 C	7%	1%	38,399두	11배	646만원	약 195억 130만 원
				4.4%	80,375두			
AI	2020년 11월-2021년	시나리오 A-1	1%	4.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 17억 2,030만 원

3월 전국	시나리오 A-2	1%	13.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 51억 6,089만 원
	시나리오 B-1	4%	4.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 68억 8,119만 원
	시나리오 B-2	4%	13.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 206억 4,356만 원
	시나리오 C-1	7%	4.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 120억 4,208만 원
	시나리오 C-2	7%	13.5%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	약 361억 2,624만 원

출처: 저자 작성

<부표 8> 시나리오별 비용 추정 세부 결과

질병별	시나리오	축종별 위탁처리량	분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중	악취물질 처리비용	대기오염비용	소득감소비용	분뇨처리비용	총 비용
ASF	시나리오 A-1-1	4,908톤/일	10%	15000원	11억 430만 원	-	29억 2,320만 원	40억 2,750만 원
	시나리오 A-2-1	4,908톤/일	10%	25,000원	18억 4,050만 원	-	29억 2,320만 원	47억 6,370만 원
	시나리오 B-1-1	4,908톤/일	12.5%	15000원	13억 8,038만 원	-	29억 2,320만 원	43억 358만 원
	시나리오 B-2-1	4,908톤/일	12.5%	25,000원	23억 63만 원	-	29억 2,320만 원	52억 2,383만 원
	시나리오 A-1-2	4,908톤/일	10%	15000원	11억 430만 원	-	58억 4,640만 원	69억 5,070만 원
	시나리오 A-2-2	4,908톤/일	10%	25,000원	18억 4,050만 원	-	58억 4,640만 원	76억 8,690만 원
	시나리오 B-1-2	4,908톤/일	12.5%	15000원	13억 8,038만 원	-	58억 4,640만 원	72억 2,678만 원
	시나리오 B-2-2	4,908톤/일	12.5%	25,000원	23억 63만 원	-	58억 4,640만 원	81억 4,703만 원
	시나리오 A-1-3	4,908톤/일	10%	15000원	11억 430만 원	-	97억 4,440만 원	108억 4,830만 원
	시나리오 A-2-3	4,908톤/일	10%	25,000원	18억 4,050만 원	-	97억 4,440만 원	115억 8,450만 원
시나리오	4,908톤/일	12.5%	15000원	13억 8,038만	-	97억 4,440만	111억	

	B-1-3				원		원	2,438만 원
	시나리오 B-2-3	4,908톤/일	12.5%	25,000원	23억 63만 원	-	97억 4,440만 원	120억 4,463만 원
구제역	시나리오 A-1	26,286톤/일	7.5%	15000원	44억 3,576만 원	-	-	44억 3,576만 원
	시나리오 A-2	26,286톤/일	7.5%	25,000원	73억 9,294만 원	-	-	73억 9,294만 원
	시나리오 B-1	26,286톤/일	10%	15000원	59억 1,435만 원	-	-	59억 1,435만 원
	시나리오 B-2	26,286톤/일	10%	25,000원	98억 5,725만 원	-	-	98억 5,725만 원
AI	시나리오 A-1-1	17,153톤/일	5%	15000원	19억 2,971만 원	3억 1,172만 원	-	22억 4,144만 원
	시나리오 A-2-1	17,153톤/일	5%	25,000원	32억 1,619만 원	3억 1,172만 원	-	35억 2,791만 원
	시나리오 B-1-1	17,153톤/일	15%	15000원	57억 8,914만 원	3억 1,172만 원	-	61억 86만 원
	시나리오 B-2-1	17,153톤/일	15%	25,000원	96억 4,856만 원	3억 1,172만 원	-	99억 6,029만 원
	시나리오 A-1-2	17,153톤/일	5%	15000원	19억 2,971만 원	9억 3,517만 원	-	28억 6,489만 원
	시나리오 A-2-2	17,153톤/일	5%	25,000원	32억 1,619만 원	9억 3,517만 원	-	41억 5,136만 원
	시나리오 B-1-2	17,153톤/일	15%	15000원	57억 8,914만 원	9억 3,517만 원	-	67억 2,431만 원
	시나리오 B-2-2	17,153톤/일	15%	25,000원	96억 4,856만 원	9억 3,517만 원	-	105억 8,374만 원

출처: 저자 작성

<부표 9> 통제권역 확대 및 축소 시나리오별 편익 추정 세부 결과

질병별	사례	시나리오	분뇨로 인해 질병이 전파될 확률	분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중	권역 밖 인접 위험지역의 사육두수	인접지역을 포함한 살처분 배율	살처분 보상단가 및 매몰비용	가축분뇨 이동 통제에 따른 편익
ASF	2019년 9-10월 경기북부 & 2020년 10월 강원북부	시나리오 A	1%	3%	268,608두	9배	50만원	43억 6,119만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 B	4%	3%	268,608두	9배	50만원	174억 4,474만 원
				20%	444,285두			
		시나리오 C	7%	3%	268,608두	9배	50만원	305억 2,830만 원
				20%	444,285두			
구제역	2019년 1-2월 경기·충북	시나리오 A	1%	2%	59,461두	11배	646만원	43억 192만 원
				5%	98,277두			
		시나리오 B	4%	2%	59,461두	11배	646만원	172억 769만 원
				5%	98,277두			
		시나리오 C	7%	2%	59,461두	11배	646만원	301억 1,347만 원
				5%	98,277두			
AI	2020년 11월-2021년 3월 전국	시나리오 A-1	1%	2.7%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	10억 3,218만 원
		시나리오 A-2	1%	9%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	34억 4,059만 원
		시나리오 B-1	4%	2.7%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	41억 2,871만 원
		시나리오 B-2	4%	9%	2,1845,0404 수	3.5배	5,000원	137억 6,238만 원
		시나리오	7%	2.7%	2,1845,0404	3.5배	5,000원	72억 2,525만

		C-1			수			원
		시나리오	7%	9%	2,1845,0404	3.5배	5,000원	240억
		C-2			수			8,416만 원

출처: 저자 작성

<부표 10> 통제권역 확대 및 축소 시나리오별 비용 추정 세부 결과

질병별	시나리오	축종별 위탁처리량	분뇨가 권역 밖으로 이동하는 비중	악취물질 처리비용	대기오염비용	소득감소비용	분뇨처리비용	총 비용
ASF	시나리오 A-1-1	1,271톤/일	25%	15000원	18억 6,469만 원	-	29억 2,320만 원	47억 8,789만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 A-2-1	1,271톤/일	25%	25,000원	31억 781만 원	-	29억 2,320만 원	60억 3,101만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 B-1-1	1,271톤/일	25%	15000원	20억 1,403만 원	-	29억 2,320만 원	49억 3,723만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					
	시나리오 B-2-1	1,271톤/일	25%	25,000원	33억 5,672만 원	-	29억 2,320만 원	62억 7,992만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					
	시나리오 A-1-2	1,271톤/일	25%	15000원	18억 6,469만 원	-	58억 4,640만 원	77억 1,109만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 A-2-2	1,271톤/일	25%	25,000원	31억 781만 원	-	58억 4,640만 원	89억 5,421만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 B-1-2	1,271톤/일	25%	15000원	20억 1,403만 원	-	58억 4,640만 원	78억 6,043만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					
	시나리오 B-2-2	1,271톤/일	25%	25,000원	33억 5,672만 원	-	58억 4,640만 원	92억 312만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					

	시나리오 A-1-3	1,271톤/일	25%	15000원	18억 6,469만 원	-	97억 4,440만 원	116억 869만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 A-2-3	1,271톤/일	25%	25,000원	31억 781만 원	-	97억 4,440만 원	128억 5,181만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	10%					
	시나리오 B-1-3	1,271톤/일	25%	15000원	20억 1,403만 원	-	97억 4,440만 원	117억 5,803만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					
	시나리오 B-2-3	1,271톤/일	25%	25,000원	33억 5,672만 원	-	97억 4,440만 원	131억 72만 원
		982톤/일	25%					
		2,655톤/일	12.5%					
구제역	시나리오 A-1	26,286톤/일	12.5%	15000원	73억 9,294만 원	-	-	73억 9,294만 원
	시나리오 A-2	26,286톤/일	12.5%	25,000원	123억 2,156만 원	-	-	123억 2,156만 원
	시나리오 B-1	26,286톤/일	15%	15000원	88억 7,153만 원	-	-	88억 7,153만 원
	시나리오 B-2	26,286톤/일	15%	25,000원	147억 8,588만 원	-	-	147억 8,588만 원
AI	시나리오 A-1-1	17,153톤/일	3%	15000원	11억 5,783만 원	3억 1,172만 원	-	14억 6,955만 원
	시나리오 A-2-1	17,153톤/일	3%	25,000원	19억 2,971만 원	3억 1,172만 원	-	22억 4,144만 원
	시나리오 B-1-1	17,153톤/일	10%	15000원	38억 5,943만 원	3억 1,172만 원	-	41억 7,115만 원
	시나리오 B-2-1	17,153톤/일	10%	25,000원	64억 3,238만 원	3억 1,172만 원	-	67억 4,410만 원

	시나리오 A-1-2	17,153톤/일	5%	15000원	11억 5,783만 원	9억 3,517만 원	-	20억 9,300만 원
	시나리오 A-2-2	17,153톤/일	5%	25,000원	19억 2,971만 원	9억 3,517만 원	-	28억 6,489만 원
	시나리오 B-1-2	17,153톤/일	15%	15000원	38억 5,943만 원	9억 3,517만 원	-	47억 9,460만 원
	시나리오 B-2-2	17,153톤/일	15%	25,000원	64억 3,238만 원	9억 3,517만 원	-	73억 6,755만 원

출처: 저자 작성