

GIS 네트워크 분석을 활용한 폐사가축 관리방안 연구: 렌더링 처리 중심으로*

A Study on the Management of Dead Animal Using GIS Network Analysis: Focused on Rendering Process

이현규** · 이준희*** · 한갑원****

Hyeongyu Lee · Joonhee Lee · Gab-one Han

요약: 축산농가에서 발생하는 폐사가축이 적절하게 처리되지 못하면 환경적·방역적·경제적인 문제를 초래할 수 있다. 하지만 우리나라는 폐사가축의 체계적인 처리·관리 시스템 및 관련 법령이 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 GIS 네트워크 분석 기법을 활용하여 폐사가축 렌더링 처리시설의 서비스 권역을 분석하고, 시설사용 가능여부 및 폐사가축 발생량을 기반으로 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 선정을 통해 지역별 관리방안을 제안하고자 한다. 연구 결과, 위탁처리가 제한된 지역 중에서는 강원도 철원군이, 위탁처리가 가능한 지역 중에서는 경기도 포천시와 가장 렌더링처리가 취약한 것으로 분석되었다. 선정결과를 바탕으로 신규 처리시설 설립, 기존 처리시설 활용, 농가 및 처리업체 지원사업 등의 적절한 관리방안이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 폐사가축의 지역별 적정 관리를 위한 정책제안 시 과학적 근거자료로 활용할 수 있다. 추후 폐사가축 위탁처리 제한지역 내 신규 처리시설의 적정입지 선정, 기존 소각시설(시멘트 소성로 포함) 및 가축분뇨처리시설(바이오에너지화 시설 포함)을 활용한 폐사가축 처리 관련 지역특성 분석 등 후속 연구가 필요하다.

핵심주제어: 폐사가축, 취약지역 식별, 지리정보시스템, 네트워크 분석, 렌더링

Abstract: Dead animals, if left untreated on livestock farms, can cause environmental, quarantine, and economic problems. However, in South Korea, the systematic treatment and management system for dead animals and the laws that govern it are insufficient. This study analyzed the dead animal treatment service area (rendering processing facility) using the GIS network analysis technique. Areas vulnerable to the management of dead animals were selected based on the availability of facilities and the number of dead animals, and management plans for each region were proposed. The study found that Cheorwon-gun, Gangwon-do was the most vulnerable among areas where consignment processing is restricted, while Pocheon-si, Gyeonggi-do was the most vulnerable among areas where consignment processing is possible. According to regional characteristics, it is believed that appropriate management systems such as the establishment of new treatment facilities, utilization of existing treatment facilities, and treatment cost support projects are required.

* 본 논문은 농림축산식품부 정책연구 보고서인 '폐사가축 관리시스템 구축연구'의 일부 내용을 학술논문 형태로 재구성한 글임을 밝힌다.

** 주저자, 축산환경관리원 주임

*** 교신저자, 축산환경관리원 대리

**** 공동저자, 축산환경관리원 실장

The results of this study can be used as a scientific basis for devising policy proposals for the effective regional management of dead animals. A follow-up study is required to determine a suitable location for a new treatment facility in an area where consignment treatment of dead animals is restricted. In addition, a study is being conducted on the treatment method of dead animals using existing incineration facilities (including cement kilns) and livestock excreta treatment facilities (including bio-energy facilities).

Key Words: Dead Animal, Identify Vulnerable Area, GIS, Network Analysis, Rendering

I. 서론

최근 축산악취 민원 발생건수는 2014년 2,838건에서 2018년 6,705건으로 급속하게 증가하였으며, 전체 산업별 민원 발생 중에서 축산업이 차지하는 비중은 2018년 전체 민원의 33.3%로 가장 크다(성재훈 등, 2020). 축산악취의 주요인으로 가축분뇨가 대표적이지만 가축 사육두수 증가에 따른 가축질병 및 폐사 발생량 증가, 가축 사체의 농가 관리 부실 등은 축산악취의 또 다른 원인으로 대두되고 있다(Chen et al., 2017; Lee et al., 2021). 가축 사체를 적절하게 처리하지 않으면 사육과정 중 질병 발생의 악순환이 우려되며, 이에 따른 농가 생산성 저하, 농경지 오염 등 환경·방역·경제적 피해를 유발할 수 있다.

우리나라 폐사가축을 처리하는 방법은 매립, 퇴비화, 렌더링, 소각 등이 있다. 일반적으로 축산농가는 퇴비장에서 퇴비더미에 사체를 묻어 호기성 미생물에 의한 분해를 통해 처리(퇴비화)하고 있다. 폐사가축의 퇴비화는 기존 시설을 이용하는 것이므로 별도의 농가부담 비용이 없고, 퇴비화 과정에서 온도가 증가하여 박테리아, 바이러스 등 질병원 사멸이 가능하다는 장점이 있다(Harper and Estienne, 2009; Council for Agricultural Science and Technology, 2008). 다만 운영 조건에 따라 사멸효과가 떨어질 수 있고, 관리가 부적절할 경우 야생조류에 의한 질병 전파 등이 우려될 수 있다. 또한 폐사가축의 퇴비화는 관련 법령(「비료관리법」)에 따라 불법으로 해석될 가능성이 높다. 매립은 단순하고 신속한 처리방법일 수 있으나 침출수 등으로 토양, 수질오염, 민원 가능성이 높고 폐사가축이 완

전히 분해되기 까지 장기간 소요된다는 단점이 있다. 소각은 소각로에서 고온(850~900℃)의 조건으로 처리하여 재를 생산하는 방식으로 고형물이나 액상물 형태도 처리가 가능하다. 하지만 연기, 재, 유해물질(다이옥신 등) 방출 우려로 적절한 대기오염 방지시설(재소각 장치 등)이 필요하고 많은 양의 에너지가 필요한 공정에 해당한다.

양분투입 과다로 인해 우리나라 질소수지가 OECD 국가 중 1위를 차지하고 아프리카돼지열병(ASF) 발병으로 방역기준이 심화되는 등 환경·방역적 문제가 대두되고 있다. 폐사가축은 개별농가 처리가 아닌 전문기관의 위탁처리가 필요한 이유이기도 하다. 구제역, ASF, 조류독감(AI) 등 가축전염병으로 인해 발생하는 대량 살처분 가축 사체뿐만 아니라 자연사, 폭염, 백신쇼크사, 폐렴, 그 밖의 질병 등에 의한 일반 폐사가축의 적정처리 및 관리를 위해 보관부터 수집·운반을 거쳐 최종 처리까지 종합적이고 체계적인 관리시스템의 마련이 필요하다(김수량 등, 2020). 폐사가축의 렌더링 처리는 전술한 문제점들에 대응할 수 있는 방안으로 판단된다. 렌더링 처리는 폐사가축을 이화화적인 방법(분쇄·혼합·압착·침전·분리 등)과 열처리 과정(가열·건조 등)을 통하여 액상물과 고형물로 분리하는 공정으로 액상물은 유지, 고형물은 수지박, 육골분으로 최종 가공·처리 된다.

폐사가축 관련 선행연구를 살펴보면 국내에서 발생한 급성 가축전염병으로 조성된 가축 매몰지의 환경조사 및 영향평가 연구는 다수 수행된 바 있으나, 축산업이 집약화 및 대규모화 되면서 일반적으로 발생하는 폐사가축의 환경문제와 문제해결을 위한 관리방안 등에 대한 연구는 미흡한 실정이다(김윤정 등, 2017; 김현구 등, 2017; 김수량 등, 2020). 특히, 폐사가축 발생량과 처리시설의 지리적 분포 등을 고려하여 폐사가축 렌더링 처리가 취약한 지역을 GIS 기반으로 분석하고, 지역 유형에 따른 관리방안 도출 연구는 전무하다.

본 연구의 목적은 폐사가축의 체계적인 관리방안 마련을 위한 기초연구로써 폐사가축 관리가 취약한 지역을 시군 단위로 분석하고, 렌더링 처리 취약지역 유형별 관리방안을 제안하는 것이다. GIS 네트워크 분석 기법을

활용하여 전국 렌더링 처리시설의 서비스 권역을 분석하고, 지자체별 폐사가축 추정 발생량, 렌더링 처리시설 용량 비교를 통해 렌더링 처리 취약지역을 도출한다. 또한, 렌더링 처리 취약지역 유형에 따라 처리시설 추가 건립, 정부 지원사업 발굴 등 관리방안을 제시하고자 한다.

II. 폐사가축 렌더링 처리 취약지역

본 논문에서는 축산농가에서 상시 발생하는 폐사가축을 대상으로 농가 내 자체처리를 제한하고 전량 위탁처리를 가정하였을 때 폐사가축 관리가 취약한 지자체(시군 단위)를 선정하고자 한다. 위탁처리는 고정식 렌더링 처리시설로 한정하였으며, 각 처리시설에서 도로망 여건에 따른 시간별 도달 가능한 서비스 권역을 GIS 기반으로 분석한다. 분석 결과를 바탕으로 렌더링처리 가능·불가능한 지자체를 분류하고, 폐사가축 발생량과 처리시설의 처리가능 용량 간의 정량적인 비교·분석을 통해 폐사가축 렌더링 처리 취약지역을 최종 선정한다.

1. 위탁처리시설 서비스 권역 분석

GIS 네트워크 분석은 공간분석기법 중 하나로 노드(Node, 도로 주행시 속도변화의 발생점인 교차로, 도로 시종점, 행정경계 등)와 링크(Link, 노드와 노드를 연결한 실세계의 도로, 교량, 터널 등)로 구성된 네트워크 모델을 구축하여 수자원 분야, 교통·물류 분야, 의료 분야 등에서 시설의 접근성 및 최적입지 분석에 널리 활용되고 있는 분석 기법이다(박재국·김동문, 2012). 특히, 입지할당모형(Location Allocation Model)을 기반으로 하는 서비스 권역 분석은 특정 시간 내에 네트워크 모델에 따라 시설이 서비스 할 수 있는 구역을 도출하는데 유용하며, 응급의료시설의 서비스 취약지역 분석, 노인 복지시설의 이용권 분석, 근린공원의 접근성 분석 등의 연구에 적용되어 왔다(Yang and Hwang, 2005; 마세인·김홍순, 2011; 손승우·안동만, 2013).

본 논문에서는 전국에 산재한 폐사가축 렌더링 처리시설의 서비스 권역 분석을 위해 전국의 도로망 DB와 렌더링 시설 주소 정보를 기반으로 네트워크 분석 모델을 구축하였다. 2020년 11월 기준 폐사가축을 렌더링 처리 중인 업체 현황을 파악한 결과 전국 19개 시군구 내 22개 업체에서 처리 가능한 것으로 파악되었다(〈표 1〉). 각 업체의 주소를 지오코딩 처리하여 포인트 자료로 변환하였으며, 속성자료로 처리가능 용량(톤/일) 정보를 결합하여 입력자료로 활용하였다.

〈표 1〉 전국의 폐사가축 처리가능한 렌더링 업체 현황

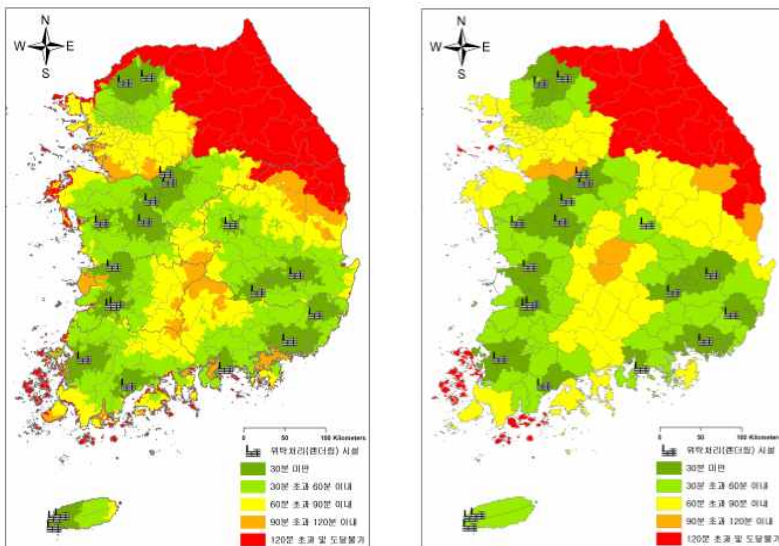
구분	시군구	업체수	처리가능 용량(톤/일)
경기도	연천	1	9
	포천	1	4.7
충청북도	진천	2	250
	음성	1	400
충청남도	청양	1	250
	천안	1	400
전라북도	군산	1	200
	정읍	2	130
전라남도	함평	1	50
	보성	1	80
경상북도	영천	1	130
	상주	1	1.9
경상남도	김해	1	50
	사천	1	32
제주도	제주	2	46
	서귀포	1	90
세종특별자치시	세종	1	140
대구광역시	달성	1	150
울산광역시	울주	1	100

네트워크 모델 구축은 국가교통DB에서 제공하는 2018년도 도로망 GIS DB를 활용하였다. 링크의 속성정보 중 링크길이(m)와 최고제한속도(km/h)를 활용하여 각 링크별 이동시간(분)을 산정하였으며, 최고제한속도는 안전사고 예방을 위해 대전광역시의 생활폐기물 수집·운반차량 속

도제한 사례를 참고하여 최대 70km/h, 최소 10km/h로 제한하였다.

또한, 폐사가축 이동으로 인한 질병 전파 및 환경·방역적 위험 방지와 실제 수집·운반 현황, 지역이기주의 및 지자체 간 갈등 등의 현실적인 한계점을 고려하여 각 업체의 수거 범위를 해당 시도범위 이내로 한정하였다(서울·인천은 경기도, 세종·대전은 충청남도, 광주는 전라남도, 대구는 경상북도, 부산·울산은 경상남도로 분류함). 위 조건을 바탕으로 ESRI사의 ArcGIS 10.1 Network Analyst Tool을 활용하여 각 렌더링 시설에서 30분, 60분, 90분, 120분 동안 도달 가능한 서비스 권역을 분석하고, 각 도달 시간별 지자체를 구분하였다(〈그림 1〉,〈표 2〉). 서비스 권역 분석은 도로 여건에 따라 한 시군구에 1개 이상의 서비스 권역을 할당하였다. 예를 들면 1개 시군구의 일부는 30분 미만 도달, 다른 일부는 30분 초과 60분 이내 도달하는 경우를 적용하는 방식이다. 렌더링 처리 취약지역을 시군구 단위로 분석하기 위하여 가장 면적이 넓은 도달 가능 시간을 대푯값으로 구분하여 활용하였다.

〈그림 1〉 서비스 권역 분석 결과



(a) 도달 시간별 서비스 구역

(b) 도달 시간별 지자체 구분

〈표 2〉 네트워크 분석(서비스 권역 분석) 결과

구분	도달 가능 시간별 지자체*			
	30분~60분 (84개)	60분~90분 (61개)	90분~120분 (6개)	120분 초과 (24개)
서울	종로구, 중구, 용산구, 성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구, 은평구, 서대문구, 마포구, 양천구, 강서구, 영등포구, 동작구, 서초구, 강남구, 송파구, 강동구	구로구, 금천구, 관악구	-	-
인천	계양구	중구, 동구, 남구, 연수구, 남동구, 부평구, 서구, 강화군	-	옹진군
부산	영도구, 남구, 해운대구, 수영구, 기장군	-	-	-
광주	동구, 서구 남구, 북구	-	-	-
대전	동구, 중구	-	-	-
울산	동구, 북구	-	-	-
제주	제주시, 서귀포시	-	-	-
강원	-	-	-	전 지역
경기	고양시, 구리시, 남양주시, 하남시, 파주시, 가평군	수원시, 성남시, 안양시, 안산시, 용인시, 부천시, 광명시, 과천시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 이천시, 김포시, 화성시, 광주시, 여주시, 양평군	평택시, 안성시	-
경남	진주시, 통영시, 밀양시, 양산시, 의령군, 함안군, 창녕군, 고성군, 남해군	거제시, 하동군, 산청군, 함양군, 거창군, 함천군	-	-
경북	경주시, 구미시, 상주시, 군위군, 청도군, 성주군, 칠곡군	포항시, 김천시, 안동시, 영주시, 문경시, 의성군, 청송군, 예천군	봉화군, 영덕군	울진군, 영양군, 울릉군
전남	순천시, 담양군, 화순군, 장흥군, 강진군, 영암군, 영광군, 장성군	여수시, 광양시, 곡성군, 구례군, 고흥군, 해남군, 진도군	-	신안군, 완도군
전북	전주시, 완주군, 임실군, 순창군, 고창군, 부안군	남원시, 진안군, 장수군	-	-
충남	보령시, 아산시, 논산시, 부여군, 서천군, 홍성군, 예산군	서산시, 당진시, 금산군, 태안군	-	-
충북	청주시, 충주시, 괴산군	제천시, 보은군, 옥천군, 단양군	영동군, 무주군	-

* 지자체의 시간별 도달 가능 영역이 2개 이상일 때에는 면적이 가장 넓은 도달 가능 시간을 대푯값으로 활용함

2. 폐사가축 발생량 추정

국내에서 가축전염병(살처분 포함)을 제외한 분만, 설사, 열사병 등으로 인해 상시적으로 발생하는 폐사가축의 발생량과 폐사율에 대한 정확한 조사나 관련 연구는 이루어지지 않은 실정이다. 본 논문에서는 국가 공공데이터 및 축산관련단체협의회 자료 등을 활용하여 식 (1)에 따라 시군별 축종별 폐사가축 발생량을 산정하고, 합산하여 시군별 폐사가축 발생량을 추정하였다.

$$\text{폐사가축 발생량} = \text{사육두수} \times \text{연간 폐사율} \times \text{평균 체중} \quad (1)$$

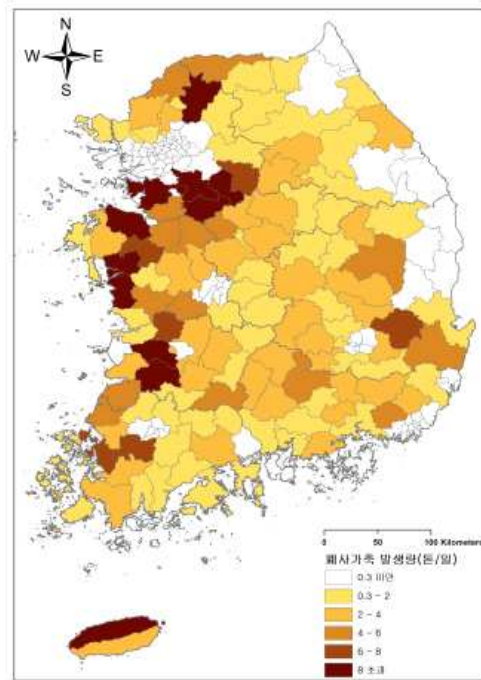
사육두수는 매년 환경부 국립환경과학원에서 실시하는 전국오염원조사 자료의 시군별·축종별 사육두수를 활용(공공데이터포털, 2020)하였으며, 연간 폐사율 및 평균 체중은 축산관련단체협의회 내부자료 및 현장조사 등을 통해 산정한 수치를 활용하였다. 폐사가축 발생량 산정에 적용한 축종별 폐사율, 평균 체중 및 관련 근거는 <표 3>과 같으며, 최종 산정된 시군별 폐사가축 발생량(톤/일) 분포도는 <그림 2>와 같다.

<표 3> 축종별 폐사율, 평균 체중 및 관련 근거

축종	항목		비고
소*	연간 폐사율	2.8%	한·육우 폐사율의 평균
	평균 체중	28.1 kg	3개월령 미만 평균 체중
돼지*	연간 폐사율	25.0%	사육 시기별(이유 전, 중, 후) 폐사율 합산
	평균 체중	44.0 kg	사육 시기별(이유 전, 중 후) 평균 체중에 시기별 폐사율의 비중으로 가중평균
가금*	연간 폐사율	6.1%	닭(7.1%)과 오리(5.1%) 폐사율의 평균
	평균 체중	1.35 kg	닭(1.2 kg)과 오리(1.5 kg) 체중의 평균

* 축산관련단체협의회 내부자료, 현장조사결과(농림축산식품부, in press) 참고

〈그림 2〉 시군별 폐사가축 발생량 분포도



3. 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 분석

1) 위탁처리 제한지역의 발생량 비교

렌더링 처리에 따른 최종산물의 품질을 높이기 위해서는 원료의 신선도 관리가 매우 중요하다. 그러나 가축은 폐사 후 빠르게 부패가 진행되기 때문에 최종산물의 품질 향상 및 활용성 제고뿐만 아니라 환경·방역적 안전성을 높이기 위해서는 폐사발생 즉시 수거 및 당일 처리가 필수적이다. 이러한 기본 특성에 더하여 렌더링 업체의 수익·손실에 따른 수거 가능한 거리와 실제 현장의 수거 현황 등을 고려하여 위탁처리 시설로부터 이동 시간 60분을 기준으로 위탁처리 제한지역(60분 초과)과 가능지역(60분 이내)을 구분하였다. 폐사가축 관리의 취약 여부를 면밀하게 파악하기 위해 위탁처리 제한지역은 다시 3개 지역(① 60분 초과 90분 이내 도달 가능

지역; ② 90분 초과 120분 이내 도달 가능 지역; ③ 120분 초과 및 도달 불가 지역)으로 구분하고, 시군별 폐사가축 발생량과 비교·분석하였다.

현행 「폐기물관리법상」 1일 평균 배출량 300 kg 이상 시 사업장폐기물로 분류되므로 폐사가축 발생량 1일 300 kg 미만인 지자체는 분석대상에서 제외하였으며, 폐사가축 발생량 1일 300 kg 이상 지자체의 평균 발생량(3.31톤/일) 이상인 지역을 우선적으로 분류하였다.

조건에 따라 분석을 수행한 결과, 위탁처리 제한지역 중 총 14개의 시군 지자체가 1일 폐사가축 발생량이 전국 평균 이상인 것으로 분석되었다. 특히, 강원도 철원군, 경기도 안성시, 평택시 순으로 폐사가축 관리가 시급한 것으로 나타났다(〈표 4〉).

〈표 4〉 위탁처리 제한지역의 폐사가축 발생량 비교 결과

구분	120분 초과 및 도달불가 지역		90분 초과 120분 이내 도달가능 지역		60분 초과 90분 이내 도달가능 지역	
	시군	폐사가축 발생량 (톤/일)	시군	폐사가축 발생량 (톤/일)	시군	폐사가축 발생량 (톤/일)
강원	철원군	5.8	-		-	
경기	-		안성시	11.8	이천시	13.8
			평택시	4.3	화성시	8.7
			-		용인시	8.3
					여주시	6.1
경남	-	-	-		합천군	5.6
경북	-		-		안동시	4.1
					김천시	3.8
					의성군	3.6
전남	-	-	-		해남군	3.9
전북	-	-	-		남원시	4.0
충남	-	-	-		당진시	11.2

2) 위탁처리 가능지역의 발생량과 처리용량 비교

폐사가축의 렌더링 처리 시 악취 발생, 폐수 유출 등으로 인해 지역 주민의 민원이 상시 발생하기 때문에 실제 처리가능 용량의 100% 가동은

불가능한 실정이다. 또한, 폐사가축은 렌더링처리시설의 주요 원료인 도축부산물과 혼합되는 구조이므로 전체 혼합물 중 폐사가축의 비율은 10%~30% 수준에 불과하다. 따라서 지자체내 위탁처리 시설의 처리가능 용량을 폐사가축 배합비율에 따라 전체의 10%, 20%, 30%, 그리고 100% 가동으로 가정하여 폐사가축 발생량과 비교하였다. 폐사가축 발생량은 위탁처리 가능지역(60분 이내 도달가능 지자체)의 폐사가축 발생량을 합산하였으며, 배합비에 따른 처리가능 용량의 초과율을 계산하였다.

분석 결과, 경기도 포천시, 연천군, 경상북도 상주시는 시설 처리 가능 용량의 100%를 가동하더라도 60분 이내에 도달 가능한 지자체에서 발생하는 폐사가축을 수용하지 못하는 것으로 나타났다. 다음으로 배합비 30%를 적용할 경우 전라남도 함평군, 경상남도 김해시, 세종특별자치시, 전라북도 정읍시 순으로 폐사가축 처리가 어려운 것으로 분석되었다(표 5).

〈표 5〉 위탁처리 가능지역의 폐사가축 발생량과 처리가능 용량 비교 결과

구분	시군	배합비별 처리가능 용량 (단위:톤)				폐사가축 발생량 (단위:톤)	폐사가축 발생량 배합비별 처리가능 용량 $\times 100$			
		10%	20%	30%	100%		10%	20%	30%	100%
경기	연천	0.9	1.8	2.7	9.0	23.0	2,554%	1,277%	851%	255%
	포천	0.5	0.9	1.4	4.7	23.8	5,060%	2,530%	1,687%	506%
충북	진천	25.0	50.0	75.0	250.0	17.5	70%	35%	23%	7%
	음성	40.0	80.0	120.0	400.0	17.5	44%	22%	15%	4%
충남	청양	25.0	50.0	75.0	250.0	43.1	172%	86%	57%	17%
	천안	40.0	80.0	120.0	400.0	15.2	38%	19%	13%	4%
전북	군산	20.0	40.0	60.0	200.0	38.8	194%	97%	65%	19%
	정읍	13.0	26.0	39.0	130.0	42.1	324%	162%	108%	32%
전남	함평	5.0	10.0	15.0	50.0	30.7	614%	307%	205%	61%
	보성	8.0	16.0	24.0	80.0	16.4	204%	102%	68%	20%
경북	영천	13.0	26.0	39.0	130.0	26.3	202%	101%	67%	20%
	상주	0.2	0.4	0.6	1.9	5.0	2,654%	1,327%	885%	265%
경남	김해	5.0	10.0	15.0	50.0	22.5	450%	225%	150%	45%
	사천	3.2	6.4	9.6	32.0	9.1	283%	142%	94%	28%
제주	제주	4.6	9.2	13.8	46.0	11.1	241%	120%	80%	24%
	서귀포	9.0	18.0	27.0	90.0	3.3	37%	18%	12%	4%
세종	세종	14.0	28.0	42.0	140.0	51.4	367%	183%	122%	37%
대구	달성	15.0	30.0	45.0	150.0	25.0	166%	83%	55%	17%
울산	울주	10.0	20.0	30.0	100.0	13.6	136%	68%	45%	14%

처리가능 용량 초과

3) 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 선정

위탁처리시설로부터 도달시간에 따른 위탁처리 가능여부와 폐사가축 발생량, 처리시설의 처리가능 용량 등을 종합적으로 고려하여 전국 시군 단위의 폐사가축 렌더링 처리 취약지역을 선정하였다. 위탁처리 제한지역의 경우 도달시간을 기준으로 1~3순위를 먼저 구분하고, 같은 순위 내에서 폐사가축 발생량을 많은 지역을 우선적으로 선정하였다. 위탁처리 가능지역의 경우 처리가능 용량을 초과한 지역 중 배합률이 높은 순서로 1~3순위를 먼저 구분하고, 같은 순위 내에서 초과율이 높은 지역을 우선적으로 선정하였다.

위 기준에 따라 폐사가축 렌더링 처리 취약지역을 선정한 결과, 위탁처리 제한지역에서는 강원도 철원군, 경기도 안성시, 경기도 평택시 등의 순서로 우선 관리가 필요한 것으로 나타났으며, 위탁처리 가능지역에서는 경기도 포천시, 경상북도 상주시, 경기도 연천군 등의 순서로 관리가 필요한 지역으로 선정되었다(〈표 6〉).

〈표 6〉 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 선정 결과

구분	시도(시군)
위탁처리 제한	1순위: 강원(철원)
	2순위: 경기(안성, 평택)
	3순위: 경기(이천, 화성, 용인, 여주), 경남(합천), 경북(안동, 김천, 의성), 전남(해남), 전북(남원), 충남(당진)
위탁처리 가능	1순위: 경기(포천, 연천), 경북(상주)
	2순위: 전남(함평), 경남(김해), 세종, 전북(정읍)
	3순위: 경남(사천), 제주(제주), 전남(보성), 경북(영천)

Ⅲ. 취약지역 유형별 관리방안

2장의 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서 제안하는 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 유형의 구분과 각 유형별 관리방안은 다음과 같다(〈표 7〉). 우선적으로 「폐기물관리법」상 폐기물 분류 기준인 일평균 발생량에 따라

유형을 구분하고, 사업장폐기물은 위탁처리(렌더링) 중심의 처리체계를 따르며, 생활폐기물은 자체 전처리 후 기존 생활폐기물 처리체계를 활용하는 것으로 가정하였다. 특히, 사업장폐기물은 렌더링 처리시설 위치에 따른 처리여부를 고려하여 다음과 같은 관리방안을 제안하고자 한다.

〈표 7〉 폐사가축 관리지역 유형 및 관리방안

폐사가축 발생량	관리방안	
300kg/일 미만 (생활폐기물)	기존 생활폐기물 처리 체계를 활용 폐사가축용 특수규격봉투(마대) 도입 검토 폐사가축 처리기 등을 이용하여 오염 우려 및 부피 최소화(감량화) 농가 내 자체 처리를 위한 지원사업 추진	
300kg/일 이상 (사업장폐기물)	농장 내 폐사가축 별도 보관장소·장비 구축	
	위탁처리 가능	처리업체-농가간 폐사가축 수거·처리 의무화
	위탁처리 제한	거점지역 내 처리시설 신규 설립 또는 기존 시설 연계처리

먼저 폐사가축의 1일 평균 발생량이 300 kg 미만일 경우에는 현행법에 따라 생활폐기물로 분류·관리해야 한다. 하지만 폐사가축의 특성상(부피·무게, 악취, 질병 등) 일반 생활폐기물과 같이 종량제 봉투에 담아 처리하기 어려워 별도의 수거·처리가 필요하나 이를 규정하거나 관리하는 지자체가 없다. 따라서 농가 내 폐사가축 처리기를 구비·활용하여 환경적·방역적 위험을 최소화하고, 분말 형태의 처리산물은 폐사가축용 특수규격봉투를 통해 생활폐기물로 처리하는 방안을 제안하고자 한다. 국내 유통되고 있는 농가용 폐사가축 처리기는 크게 파쇄·분쇄형, 파쇄·분쇄·건조형, 고온·고압형, 파쇄·고온·고압·건조형, 소각형 등으로 구분된다. 이 중 파쇄·분쇄·건조형과 파쇄·고온·고압·건조형에서 분말 형태의 최종산물이 발생된다. 일부 지자체는 농가형 폐사가축 처리기의 설치비 지원을 통해 농가 내 설치 확대를 추진하고 있으며, 농가단위 악취발생 및 질병전파 감소 효과를 기대하고 있다. 다만 논란이 될 수 있는 부분이 있다면 농가형 폐사가축 처리기의 최종산물은 일반적으로 농가 내 퇴비사에서 가축분뇨와 섞여 퇴비화 처리된다는 점이다. 「폐기물관리법」에서는 폐사체의 비료로의 재활용을 금지하지 않았으나, 「비료관리법」에서는 허용하지 않아

(폐사가축은 퇴비의 원료로 지정되지 않음) 폐사가축 처리기 최종산물의 농장 내 퇴비화는 불법으로 해석될 가능성이 높다. 「비료관리법」 제3조에 따른 법 적용의 예외를 근거로 폐사가축의 농가 내 처리는 적법하다고 볼 수도 있으나 당초 폐사가축은 퇴비의 원료에 해당하지도 않아 예외 규정을 적용하는 것 자체가 모순이라 볼 수 있다. 따라서 현행법에 따라 폐사가축 처리기의 최종산물은 매립·소각되어야 하며 폐사가축 처리기의 처리 온도 및 압력, 산물 형태 등에 대한 품질 기준과 특수규격봉투의 재질, 용량 등에 대한 규격 기준 마련이 뒷받침되어야 한다.

다음으로 1일 평균 발생량이 300 kg 이상일 경우 사업장폐기물로 분류함에 따라 기존의 위탁처리 시설을 활용한 처리체계가 구축되어야 한다. 상대적으로 많은 폐사가축 발생량으로 인해 농장 내 자체적인 전처리는 한계가 있을 것으로 예상된다. 위탁처리 업체의 수거 주기 및 수거량, 농가유형(개별농가, 축산단지 등) 등을 감안하여 공동 또는 개별 보관시설 및 장소가 필요할 것으로 판단된다. 위탁처리 가능지역은 처리업체-농가 간 정기적인 수거·처리를 의무화하여 원활한 관리가 이루어져야 한다. 다만 위탁처리가 지속적으로 운영되기 위해서는 농가의 과도한 위탁처리 비용부담 저감대책이 수반되어야 한다. 현재(2021년 기준) 렌더링 처리비용은 돼지의 경우 300~500원/kg으로 책정되어 있다. 이는 기존 폐사가축의 퇴비화 처리와 비교하여 부담으로 작용할 수 있고 위탁처리 의무화에 대한 걸림돌로 작용할 것으로 예상된다. 따라서 단기적으로 해당 시군에서 폐사가축 처리비 지원사업 등을 추진하고 중장기적으로는 축산농가 및 처리업체를 대상으로 폐사가축 위탁처리 과정 및 필요성에 관한 교육·홍보를 강화하여 처리비용에 대한 인식개선이 수반되어야 한다.

위탁처리 제한지역은 권역화 및 거점지역 선정을 통해 신규 처리시설을 확보하거나 시간적·공간적 접근성이 낮은 기존 처리시설을 충분히 활용할 수 있도록 관련 법령 제정비, 민원대응을 위한 환경 안전성 확보, 농가 대상의 처리비 지원사업 등이 적극 추진되어야 한다. 기존 처리시설 중 활용 가능성 측면에서 잠재성이 높은 시설로 가축분뇨 공동자원화시설 중 혐기

소화 시설이 구비된 바이오가스화 시설과 시멘트 소성로를 설치·운영 중인 시멘트 제조시설을 들 수 있다. 바이오가스화 시설은 현재 가축분뇨와 음식물류폐기물(음폐수 포함)이 주요 원료로 사용되는 시점에서 폐사가축이라는 폐기물의 반입원료 확대를 통해 신재생에너지 생산효율 제고 및 수익성 확보가 가능할 것으로 판단된다. 「폐기물관리법」은 폐기물의 재활용 유형인 R-9-4(혐기성소화·분해 등 생물학적 처리방법으로 기체·액체상의 연료를 만드는 유형)를 규정하고 있어 폐사가축은 법적으로 혐기소화로의 활용이 가능하다. 하지만 폐사가축의 바이오가스화 시설 반입 시 폐사가축에 대한 부정적 인식(악취, 질병 등)에서 비롯되는 주변 민원이 예상되어 이에 대응할 수 있는 방안이 선제적으로 검토되어야 한다. 또한 폐사가축은 「비료관리법」 상 유기질 및 부숙유기질비료의 원료로 사용이 불가하므로 혐기소화 이후 퇴·액비 사용은 제한적이다. 혐기소화 후 남은 소화물질의 바이오차, 고형연료 등으로의 재활용 등이 검토될 수 있고, 액상물은 정화처리하는 방법으로 현행법과의 상충을 최소화 할 수 있다.

폐사가축의 시멘트 소성로 활용방안도 앞서 바이오가스화 연계와 같이 폐기물의 자원화 촉진 측면에서 긍정적으로 접근할 수 있다. 특히, 폐사가축 렌더링 처리 취약지역 중 위탁처리가 제한적인 강원도의 경우 시멘트 소성로를 운영 중인 시멘트 제조시설이 다수 포진되어 있다는 점도 정책적으로 적극적인 검토가 예상되는 부분이다. 다만, 방역적으로 문제가 되지 않도록 기존 시설 내 전처리 시설, 보관시설 등이 필요할 것으로 판단된다. 폐사가축을 폐기 처리하게 될 경우 매립과 소각으로 최종처리 해야 하지만 이미 우리나라 매립지와 소각시설은 기존 쓰레기만으로도 포화상태에 이르고 있어 공식적으로 추가하기에는 부담이 되는 것도 사실이다. 이를 해결하기 위한 대안으로 폐사가축을 시멘트 소성로의 연료로 활용하는 방안이 있다. 시멘트 소성로는 일반 소각과는 달리 1,450℃에서의 고온 소성으로 2차 폐기물이 발생하지 않는 조건으로 시멘트 원료를 가공한다(임채용 등, 2019). 시멘트의 주요 원료로 석회석, 점토, 규석, 철광석이 있다. 소성 공정에서의 주요 연료는 유연탄을 들 수 있다. 최근 순환자원 재활용을 목

적으로 석탄재, 오폐수, 슬래그 등이 대체 원료로, 폐타이어, 폐합성수지, 재생유 등이 대체 연료로 사용되고 있다. 해외의 경우 대체 연료 중 하나로 폐사가축을 사용하기도 한다. 다만, 우리나라의 경우 시멘트 공장이 대기환경 오염시설로 치부되고 있어 부정적 이미지의 폐사가축이 연료로 추가된다면 지역주민 민원의 심화 가능성도 염두해야 한다.

IV. 결론

본 연구에서는 전국에 위치한 폐사가축 렌더링 처리시설을 대상으로 GIS 네트워크 분석을 통해 각 시설별 서비스 권역을 산정하고, 위탁처리 가능여부와 폐사가축 발생량, 처리시설 용량 등을 종합적으로 고려하여 폐사가축 렌더링 처리 취약지역을 도출하였다. 또한, 렌더링 처리 취약지역 선정에 활용한 기준을 토대로 폐사가축 관리지역 유형을 구분하였으며, 각 유형별 관리방안을 제안하였다. 위탁처리 가능여부와 폐사가축 발생량에 따라서 신규 처리시설의 설립 및 기존 처리시설의 용량 확장을 검토하거나 농가 및 처리업체 지원사업을 통해 적정처리를 유도하는 등 적절한 관리방안이 필요하며 관련 정책적 지원이 수반되어야 할 것으로 판단된다. 렌더링 처리 취약지역 분석 결과 위탁처리 제한지역 중에서 강원도 철원군이 가장 취약하였고, 위탁처리 가능지역 중에서 경기도 포천시가 가장 취약한 것으로 나타났다. 강원도 철원군과 경기도 포천시의 경우 단기적 위탁처리 방안으로 가축분뇨 공동자원화시설을 활용하는 방법이 현실적일 것으로 판단된다. 강원도 철원군에는 퇴비 100톤/일, 액비 50톤/일 규모의 가축분뇨 공동자원화시설이 운영 중에 있다. 가까운 홍천군에도 공동자원화시설이 있어 폐사가축 발생량이 증가하더라도 보완이 가능할 수 있는 여지가 있다. 경기도 포천시는 총 4개소(360톤/일 규모)의 가축분뇨 공동자원화시설이 운영 중이다. 특히 포천시와 가까운 연천군의 공동자원화시설은 바이오가스 생산도 가능하여 폐사가축의 혐기소화 원

료로의 사용도 긍정적으로 검토해 볼 수 있다.

이렇게 렌더링 처리 취약지역의 선정 결과는 향후 전국 또는 광역지자체 단위의 폐사가축 적정처리 뿐만 아니라 축산악취관리를 위한 정책·제도 마련 시 우선지역 선정을 위한 과학적 근거자료로서 의사결정자의 합리적인 판단을 지원할 수 있을 것으로 기대한다. 다만 본 연구에서 제시한 지역 선정결과 및 유형별 관리방안은 분석을 실시하기 위해 설정한 가정(폐사가축 발생량, 처리시설 배합비율 등)에 근거하고 있어 실제 지자체별 전수조사 등을 통한 실측자료 기반의 분석이 추후 필요할 것으로 판단된다. 더 나아가 렌더링 처리시설 이외의 법적 처리가능 시설(소각시설, 시멘트 소성로 등)을 고려한 추가 분석과 처리시설의 신규 설립이 필요한 지역에 대해서는 적정 입지선정을 위한 후속 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

폐사가축의 적정처리는 축산악취 저감, 질병전파 방지 등 환경적·방역적으로 중요한 축산업계의 현안 문제로써 실제 축산농가 운영의 큰 고민거리 중 하나이다. 사회적으로 중요한 문제임에도 불구하고 현황자료의 부재가 가장 큰 문제점으로 나타날 수 있을 것이다. 따라서 발생량을 기초 지자체 단위로 전문기관의 지속적 관리를 받을 수 있도록 법적·제도적 개선이 필요하다. 아울러, 실효성 부족 및 행정 통일성 미흡 등의 요인 발생으로 인해 렌더링 처리 취약지역의 해결을 위한 정책적 방향의 혼선이 나타날 수 있으므로 혼재되어 있는 법률의 종합적 개선 및 체계적인 관리 시스템을 구축함으로써 축산업에 대한 부정적 인식 개선과 지속가능한 축산업을 만들 수 있을 것으로 판단된다.

■ 참고문헌 ■

- 김수량·지민규·박기관·이명규, 2020, “가축 폐사체 관리의 법적 현황 분석 및 정책 제언,” 『사회융합연구』, 4(3), pp.107-116, DOI: 10.37181/JSCS.2020.4.3.107.
- 김윤정·현윤정·황상일, 2017, “환경복지적 관점에서의 농촌지역 가축매몰지 피해 분석-설문조사를 중심으로,” 『지하수토양환경』, 22(6), pp.104-111, DOI: 10.7857/

- JSGE.2017.22.6.104.
- 김현구·박선화·황중연·김문수·조훈제·전상호 등, 2017, “가축매몰지 주변 관정의 지하수 수질 연구,” 『지질학회지』, 53(3), pp.433-446, DOI: 10.14770/jgsk.2017.53.3.433.
- 농림축산식품부, in press, 『폐사가축 관리시스템 구축연구』, 세종: 농림축산식품부.
- 마세인·김홍순, 2011, “GIS 네트워크 분석을 활용한 노인복지시설의 접근성 연구: 인천 시 내륙부를 중심으로,” 『국토연구』, 70, pp.61-75, DOI: 10.15793/kspr.2011.70..004.
- 박재국·김동문, 2012, “네트워크 분석을 이용한 보행속도에 따른 대피소 서비스 영역 분석,” 『대한공간정보학회지』, 20(4), pp.37-44, DOI: 10.7319/kogsis.2012.20.4.037.
- 성재훈·조원주·김수석, 2020, “지속가능한 축산에 대한 지불의향 분석,” 『농촌경제』, 43(3), pp.1-25, DOI: 10.36464/jrd.2020.43.3.001.
- 손승우·안동만, 2013, “도시공원 서비스권역 내·외 이용인구 정밀 분석,” 『한국조경학회지』, 41(5), pp.9-18.
- 임채용·정연식·김경수, 2019, “시멘트산업의 순환자원 활용,” 『한국건설순환자원학회지』, 14(1), pp.10-16.
- Chen, X., G. Qiu, L. Wu, G. Xu, J. Wang, and W. Hu, 2017, “Influential impacts of combined government policies for safe disposal of dead pigs on farmer behavior,” *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), pp. 3997-4007, DOI: 10.1007/s11356-016-8154-3.
- Council for Agricultural Science and Technology(CAST), 2008, *Swine carcass disposal options for routine and catastrophic mortality*, (Issue Paper 39), Ames, Iowa: CAST.
- Harper, A. F. and M. J. Estienne, 2009, *Composting for mortality disposal on hog farms*, Blacksburg, VA: Virginia Cooperative Extension.
- Lee, J. I., E. J. Cho, F. N. Lyonga, C. H. Lee, S. Y. Hwang, and D. H. Kim et al., 2021, “Thermo-Chemical treatment for carcass disposal and the application of treated carcass as compost,” *Applied Sciences*, 11(1), 431, DOI: 10.3390/app11010431.
- Yang, B. Y. and C. S. Hwang, 2005, “The application of GIS for effective distribution of the emergency medical service area,” *Proceedings of the KSRS Conference*, 고려대학교 자연계캠퍼스 생명환경과학대학 신관, pp.61-64.
- 공공데이터포털, 2020, “환경부 국립환경과학원_전국오염원 조사자료,” <https://www.data.go.kr/data/3045217/fileData.do>, [2021.6.25]
- 국가교통DB, 2018, “도로망 GIS DB,” <https://www.ktdb.go.kr/www/index.do>, [2021.5.14]

이현규: 현재 축산환경관리원에서 주임으로 재직 중이며, 환경공간정보를 활용한 GIS 분석과 축산환경 개선을 위한 연구를 수행하고 있다(leehg@lemi.or.kr).

이준희: 서울대학교 농업생명과학대학에서 박사학위를 취득하고 현재 축산환경관리원에서 가축분뇨, 양분관리, 폐사가축, 축산악취 관련 분야에 대하여 연구를 수행하고 있다(madisonj@lemi.or.kr).

한갑원: 축산환경관리원에서 2015년부터 현재까지 근무 중이며 경제학박사로서 축산시설, 축산농가, 악취저감, 에너지화, 제도개선 등과 같이 축산환경과 관련된 분야에 대해서 연구를 수행하고 있다(ban6114@lemi.or.kr).

투 고 일: 2021년 11월 22일
심 사 일: 2021년 12월 06일
게재확정일: 2021년 12월 23일