

구제역 매몰지 현황 및 입지특성 분석을 통한 매몰지 관측정 설치 기준 연구*

전상미**, 박재현***, 박창근

2010년 11월부터 2011년 3월까지 발생한 구제역으로 전국에 약 350만 마리의 가축이 살처분되었으며, 살처분 매몰지는 4600여 곳에 이른다. 본 연구에서는 대규모로 발생한 가축 살처분 매몰상황에서 발생한 문제점들을 보완하기 위한 기초 작업으로 전국 구제역 매몰지의 입지특성, 취약성, 관측정 설치 여부 등 매몰지 현황을 유형별로 분석하여 GIS DB를 구축하고, 그 중 143개소 표본조사 지역을 선정하여 현장조사를 수행하였다. 또한 침출수 유출로 인한 지하수와 하천오염 등 2차 환경오염 방지를 위한 관측정 설치 기준을 제안하고 표본조사 지역에 적용, 평가하였다. 연구 결과 전체 매몰지(4216개소 기준) 중 산지형 11%, 하천형 17%, 평지형 72%으로 분석되었으며, 관측정이 설치된 지점은 약 32.7%인 것으로 조사되었다. 표본지역 143개소를 대상으로 관측정 설치 기준(안)을 적용하여 관측정 설치여부의 적정성을 평가한 결과 관측정 1개소 이상 지점 총 66개소(46%) 중 39개소(27%)이상이 지하수 흐름과 무관하거나, 흐름면적대비 관측정 개소수가 부족한 것으로 평가되었으며, 27개소(19%) 만이 지하수 관측망 위치 및 개소수가 적정한 것으로 분석되었다.

주제어: 구제역 매몰지, 입지특성, 관측정 설치 기준

1. 서론

구제역(FMD: foot-and-mouth disease)이란 소, 돼지, 양, 염소, 사슴 및 야생 반추류 등과 같이 발굽이 둘로 갈라진 우제류동물에서 체온이 급격히 상승하고 거품 섞인 침흘림, 입, 혀, 발굽 또는 젖꼭지 등에 물집, 가피, 궤양 등이 나타나며, 식욕이 저하되어 심하게 앓거나 죽게 되는 전파력이 매우 강한 전염병으로, 가축전염병 예방법상 제1종 가축전염병이며, 세계동물보건기구(OIE)에서 관리대상 질병으로 분류·지정하고 있으며 발생시 OIE에 보고해야하는 질병이다.

* 본 논문은 농림수산식품기술기획평가원 지원과제(과제명: 구제역 및 AI 가축매몰지 친환경적 사후관리기법 연구)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 주저자, *** 교신저자.

2010년부터 2011년에 걸쳐 발생한 구제역으로 전국에 약 340만 마리의 가축이 살처분되었으며, 살처분 매몰지는 4600여곳에 이른다. 당시 가축 살처분 매몰과정은 정부가 마련한 「구제역 긴급행동지침(SOP)」에 따라 시행되었다. 하지만 현재 시행되고 있는 가축매몰지 환경경관관리지침이 단기간내에 대규모로 발생한 가축 살처분 매몰상황에는 현장에 적용하기에 부적절한 부분들이 일부 지적되고 있다. 이에 정부는 2011년 7월에 「구제역 긴급행동지침(SOP)」 발표하여 문제점들을 보완하였다.

토양·지하수환경 보전사업 평가(2012)에서는 구제역 관련 문제점들을 토양·지하수오염 사전 예방 조치의 미흡, 가축매몰지 사후관리에 있어서 부처간 유기적 역할분담 미흡, 매몰지 하수관리 담당자들의 지하수 오염에 대한 인식 및 전문성 부족, 토양·지하수 오염 실태 조사 및 배경농도 등 기초자료 축적 미흡, 가축매몰지에 대한 비효율적인 재정 투입 등으로 지적하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위한 기초 작업으로 전국 구제역 매몰지의 입지특성(산림, 전답, 택지 등), 취약성(도로와의 거리, 하천과의 거리 등), 관측정 설치 여부 등 매몰지 현황을 유형별로 분석하여 GIS DB를 구축하고, 그 중 143개소 표본조사 지역을 선정하여 현장조사를 수행하였다. 둘째로 침출수의 유출을 관측하기 위해 설치된 관측정의 설치 개소수와 관측정 설치에 대한 기준을 검토하여 침출수의 관측을 보다 합리적으로 진행할 수 있도록 새로운 기준을 제안하였다. 또한 제안된 관측정 설치 기준안을 현 구제역 매몰지(표본조사 지역 143개소)에 적용하여 관측정 설치 현황을 재분석해보았다.

II. 구제역 매몰지 현황

1. 전국 구제역 매몰지 현황

재난안전본부 2011년 2월 통계 자료에 의하면 2010년 11월부터 2011년 3월까지 발생한 구제역으로 전국의 구제역 매몰지는 4600개소이며, 약 350만 마리의 가축이 살처분되었다. 본 연구에서는 해당 매몰지 자료를 수집하고, 수집된 자료 중 해당 매몰지의 기본 정보 및 위치자료가 잘 구축되어 있는 4,261개소 매몰지에 대하여 매몰지 현황, 매몰가축 현황등을 분석하였다. 분석 결과 매몰지 지역 분포 현황은 구제역이 최초로 시작한 경상북도의 매몰지 862개소(20.2%), 강원도 376개소(8.8%), 경기도가 가장 많은 2,150개소로 전국의 50.5%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

전국의 4,261개소의 구제역 매몰지에 약 310만 마리의 가축이 매몰되어 있으며, 이 중 돼지 매몰수는 약 290만 마리로 전체 매몰가축수의 94.7%, 소 매몰수는 약 15만 마리로 전체 매몰가축수의 5.0%를 차지하고 있으며, 기타 종의 매몰수는 약 9,000마리로 전체 매몰가축수의 0.3%를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며, 자세한 내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 전국 구제역 매몰지 현황

구분	매몰지수	매몰가축수					비고
		돼지	소	기타	합계	비율	
경기도	2,150	1,515,321	72,022	2,443	1,589,786	51.3	
충청북도	460	325,345	7,196	2,800	335,341	10.8	
충청남도	306	394,333	2,086	81	395,500	12.8	
인천광역시	63	20,491	2,056	255	22,802	0.7	
경상북도	862	334,560	52,061	3,011	389,632	12.6	
경상남도	40	46,541	6	74	46,621	1.5	
강원도	376	287,021	19,888	713	307,622	9.9	
전라북도	2	12,531	0	0	12,531	0.4	
부산	2	638	0	8	646	0.1	
합계	4,261	2,936,781	155,315	9,385	3,101,481	100	

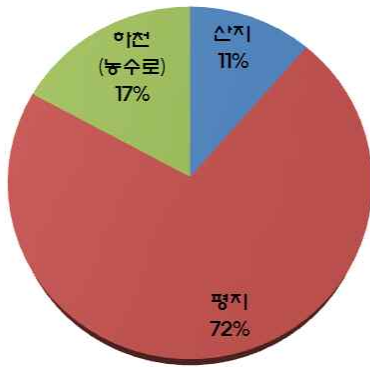
2. 전국 구제역 매몰지 입지 현황

본 연구의 목적은 구제역 매몰지의 특성 조사 및 관측정 설치 기준 제안으로 전체 매몰지 특성 분석 시 매몰지 지하수에 직접적으로 영향을 받을 수 있는 입지유형을 먼저 나누어 전체 매몰지를 조사하였다. 입지유형은 크게 3가지로 분류하여 조사하였는데, 아래 <그림 1>과 같이 지하수 흐름방향을 예측하기 힘든 평지형, 경사도가 있는 산지형, 하천과 인접하여 침출수 발생 시 직접적인 하천 유입이 가능하다고 판단되는 하천형으로 구분하였다.

매몰지의 현황 및 실태를 각 광역시와 도의 관련부서의 자료협조를 받아 수집하였다. 각 지자체별 정리된 양식이 조금씩 상이한 부분을 보이고 있어 전체를 공통된 범례로 정리하는 작업을 우선 실시하였다. 일반적으로 공통된 부분인 주소, 매몰두수, 축종, 매몰일자, 매몰지 점검결과(비닐덮개, 경고판, 성토여부, 배수로, 유공관 등)를 하나의 공통된 자료로 DB화 작업을 수행하고, 지번을 검색하여 항공사진 등을 이용하여 입지유형을 분석하였다.

분류 결과 평지가 가장 많은 72%를 차지하고, 경사지를 포함하는 산지가 11%, 농수로 및 하천에 인접하는 하천형이 17%로 조사되었다. 자세한 내용은 <표 2>와 같다.

<표 2> 전국 구제역 매몰지 입지현황



<그림 1> 매몰지 입지유형별 분류

구분	매몰지수			
	평지형	산지형	하천형	합계
경기도	126	502	1,522	2,150
충청북도	96	68	296	460
충청남도	21	48	237	306
인천광역시	3	12	48	63
경상북도	156	48	658	862
경상남도	8	8	24	40
강원도	54	36	286	376
전라북도	-	-	2	2
부산	-	-	2	2
합계	464	722	3,075	4,261

3. 표본지역 현장조사

표본지역 매몰지선정 방법은 다음과 같다. 첫째 입지유형별로 전체 매몰지를 재분류하고, 지역별 매몰지 비율, 축종(돼지, 소), 매몰두수, 입지유형 3가지로 분류하여 내림차순으로 정리하였다. 두 번째로 실제 침출수 유출로 인해 보강공사를 실시한 지역은 우선순위를 높게하여 향후 문제발생 가능성이 높은 지역위주로 정리하고 현장조사를 계획하였다. 선정된 매몰지에 대한 현장조사를 실시하기 위해 조사항목을 사전에 작성하였다. 휴대용 GPS를 이용하여 위도와 경도를 표시하고, 매몰된 축종, 두수를 조사하였다.

특히 매몰지 입지특성에 대한 부분을 중점적으로 조사하였으며, 해당 항목은 3가지 입지유형분류, 하천 및 도로와의 인접거리, 주거지와 농장과의 거리, 매몰지의 크기 등이다. 또한 침출수 유출방지공법이 적용된 매몰지에 대해서는 보강공사 현황을 조사하여 기록하였다. 그리고 관측정 설치방안의 적용성을 평가하기 위해 매몰지를 위성지도나 수치지형도에 표기하고, 기존 관측정의 위치를 표기하여 현장조사표만으로도 매몰지 및 관측정 현황이 확인 가능하도록 위치도 및 현황 사진을 첨부하도록 하였다.

Ⅲ. 구제역 관측정 설치 기준(안) 제안

1. 가축 매몰지 관측정 설치 기준 및 문제점

관측정 설치는 구제역발생 당시 담당공무원이 관리 감독한 것으로 나타났고, 지침서 및 중앙부처의 도움을 받아 설치한 것으로 조사되었다. 하지만 지침서에는 매몰지 선정 및 매몰절차에 대해서는 비교적 상세하게 기술하고 있지만, 관측정 설치에 관해서는 개략적인 이격거리만을 제시하고 전문시공

업체에 의뢰하는 것을 제안하고 있다. 하지만, 매몰지 관측정은 토양·지하수 오염 실태 조사의 중요한 수단이므로 관측정의 적절한 위치 및 개소수에 대한 평가가 필요하며, 지자체에서 실제 적용 가능한 관측정 설치 지침이 필요하다고 판단된다. 구제역 관측정 설치 기준(안)을 제시하기에 앞서 현 가축 매몰지 관측정 설치 기준, 관측정 관련 법규 등을 살펴보았다. 해당 내용은 다음과 같다.

1) 가축 매몰지 환경관리지침 관측정 설치기준

- 매몰지 경계의 외부 이격거리 5m 이내(지하수 흐름방향)에 깊이 10m 내외의 매몰지 관측정 설치한다.
- 관측정은 관내 매몰지 조성완료 이후에 전문기관에 의뢰하여 일괄 설치 가능하다.
- 매몰지 경계외부(5m이내)의 관측정 모니터링 수질결과에서 침출수 유출이 추정 또는 확인되는 경우 매몰지 이격거리 40~50m 위치에 관측정을 추가로 설치(깊이 10m 내외)한다.

2) 구제역 긴급행동지침 관측정(SOP) 설치 기준

- 지자체장은 매몰지 조성완료 후 전문시공업체에 의뢰하여 매몰지 외부로 침출수 유출여부를 확인하기 위해 관측정을 설치한다.
- 관측정은 지자체장이 가축사체를 대규모로 매몰한 지점 등 침출수 유출로 인한 지하수오염 확산 방지 등을 위해 필요하다고 판단되면 설치한다.
- 관측정은 매몰지 내부는 유공관을 활용하고, 매몰지 경계외부에서 5m이내의 떨어진 지점에 지하수 흐름의 하류방향에 깊이 10m 내외의 관측정을 설치한다. (직경 75mm, 스테인레스 스틸 또는 PVC 재질 등)
- 시장·군수·구청장은 매몰지 경계외부(5m이내)의 조사관정의 모니터링 검사에서 침출수 확산이 확인되는 경우 침출수 유출 방지, 침출수 정화 등 오염방지조치를 취하고, 매몰지와 40~50m 떨어진 위치에 조사관정을 추가 설치(깊이 10m 내외)하여 침출수 확산 여부를 검사한다.
- 기타 매몰지 사후관리와 관련 세부사항 등은 농림수산식품부의 “가축매몰지 사후관리 기본지침”을 따른다.

3) 현행 관측정 설치기준의 문제점 및 개선방안

- 관측정의 설치 위치를 지하수의 흐름방향을 고려하여 설치하도록 되어 있으나 매몰지의 위치가 지형의 구배를 확인할 수 없는 위치일 경우 지하수의 흐름방향을 판단하기 어렵다.
- 매몰지와 5m 이격하도록 되어 있는 관측정의 위치는 적절하다고 판단되나 1개소만을 설치할 경

우 Channel 형태로 우출되는 침출수를 효과적으로 관측할 수 없다.

○ 매몰 이후 침출수의 유출이 의심되는 것에서 기존의 배경수질에 대한 자료가 없어 정확한 침출수의 유출을 확인할 수 없다.

○ 관측정 설치 기준의 경우 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 [별표 3] 지하수 오염관측정의 설치방법 및 수질측정의 주기·방법의 별표 2 제2호 가목의 시설 기준들을 따라하고 있는데, 해당 기준과 마찬가지로 상부 Grouting 구간과 하부 Filter 설치구간의 기준이 명시되어 있지 않다.

○ 관측정의 깊이를 10m 내외로 규정짓고 있으나, 이는 지하수위를 고려하지 않은 기준으로 관측정의 깊이를 지하수의 수위에 기준을 두어야 한다.

○ 관측정 설치 현황: 전국 가축 매몰지 4,799개소 중 1,568개소(32.7%)만 설치되었으며, 일부 지하수 흐름방향과 무관하게 설치되어 있다.

○ 중규모이상의 매몰지에 대해서는 관측정 설치를 의무화 해야하고, 관측정 설치 위치가 침출수 유출을 감지할 수 있도록 지하수 전문기관의 지도 감독하에 설치되어야 한다.

○ 가축 매몰지 지침 전반적으로 매몰지 사후 관리 및 대책에 대한 내용이 부족하듯이, 관측정 사후 관리에 대한 지침이 부족하다.

2. 관측정 설치 관련 법규

관측정 설치 관련 법규를 조사, 분석하였다. 해당 법규들의 설치기준을 축약하면 <표 3>과 같으며, 각 기준들의 공통점은 다음과 같다.

- 지하수의 흐름을 고려하여 지하수 흐름의 상, 하류에 관측정 설치한다.
- 오염물질의 유입을 감시 할 경우, 감시중점 위치를 관심대상의 상류에 위치시킨다.
- 오염물질의 유출을 감시 할 경우 감시중점 위치를 관심대상의 하류에 위치시킨다.
- 감시정(관측정)설치 전 수집된 많은 지질학적 자료와 수리지질학적 자료를 분석하여 지하수의 흐름과 토양의 특성을 고려하여 관측정 설치 위치를 결정한다.
- 감시정(관측정)의 심도는 관심대상의 설치 심도에 따라 또는 오염원 유동 경로에 따라 가변적으로 설치한다.
- 감시정의 내부 재질은 관심대상을 유지해야하는 기간을 고려하여 선정한다.

<표 3> 법규별 설치기준

구분	내용
지하수의 수질보전등에 관한 규칙	- 상류: 지하수 오염유발시설의 경계선에서 지하수 주 흐름의 상류지점으로서 오염이 발생되기 이전의 대표적인 지하수의 수질을 채취·분석할 수 있는 지점, 1개소, 상류구배 1개소, 하류구배 1개소 이상 - 하류: 지하수 오염유발시설의 경계선에서 지하수 주 흐름의 하류지점으로서 오염물질이 주위 지하수층으로 이동하는 것을 즉시 탐지할 수 있는 지점, 1~3개소
먹는물 관리법	- 상류구배 2개소, 하류구배 1개소 - 상, 하류로 10m 이상 이격 - 설치 심도는 취수정과 같거나 2/3이상으로 굴착
제주특별자치도 지하수 관리 기본 조례	- 감시정 굴착심도는 해수면 아래 150m 까지 - 감시정 설치위치는 취수정의 상, 하류 방향 500m 내외 ※ 제주도의 대수층은 부유대수층을 제외하고 해수면 부근에서 지하수의를 형성 ※ 감시정을 취수정 상, 하류 500m 내외로 이격하는 이유는 제주도의 지하수 흐름이 육지에 비해 현저히 빨라 육지와 같이 감시대상과 가까운 거리에 감시정이 위치할 경우 효과적인 감시를 할 수 없음
수도권 매립지 감시정 설치 및 운영방안	- 오염 사실의 감지 시 적당한 대응조치를 취할 수 있도록 충분한 거리를 유지 - 오염 물질의 지하 침투 시 가급적 빠른 시일내에 감지가 가능 - 지하수 감시정은 상류에 1개소 이상, 하류에 2개소 이상 설치
위생매립지 시설 시방서	- 매립장 주변(상, 하류 구간)에 설치하여 침출수로 인한 지하수의 오염 여부를 검사하기 위한 지하수 오염 감시정 설치공사에 적용 - 설치 위치별 설치 심도는 토층, 퇴적층, 풍화대(풍화토) 및 풍화암 등 4개 층에 설치하는 것을 원칙으로 하되, 각 층별 유공부 설치심도는 기존 조사자료이 최인점 주상도를 기준으로 하여 추정 적용되어 있으므로 현장설치를 위한 굴착시의 주상도를 기준으로 설치 지점을 확정함 - 각 층별 유공부분은 각 층 최소 확인 심도에서 1m 하부를 시점으로 하여 1m를 유공부로 계획되어 있으므로 이를 기준으로 굴착시의 주상도를 기준하여 최종 확정 - 설치 위치별 설치 심도에 적용된 최인점 주상도의 조사시 지반고(GL. -m)와 설치 예정위치의 현 지반고를 정확히 비교하여 폐기물 매립층 등은 제외하고 설치

IV. 관측정 설치 기준 제안

본 연구에서는 구제역 매몰지 입지유형 분석 자료 및 「가축매몰지 환경관리지침(2010)」, 「가축매몰지의 수리 지질학적 현황평가 및 환경관리 지침 개선(2011)」, 「구제역 긴급행동지침(2012)」, 「가축매몰지 환경조사지침(2012)」 등을 참조하여 다음과 같이 가축 매몰지 관측정 설치 기준을 제안하고자 한다.

1. 관측정 설치 목적

관측정 설치 목적은 다음과 같다. ① 구제역으로 인해 대규모 가축을 살처분한 후 사체들을 매몰하게 되는데, 매몰지역에서 침출수가 발생하여 유출될 경우 주변 지하수계가 오염되게 된다. 주변 지하

수계의 오염 여부를 조기에 관측, 대응하기 위하여 매몰지 인근에 관측정을 설치, 운영한다. ② 지하체장은 매몰지 조성완료 후 가축사체를 대규모로 매몰한 지점 등 침출수 유출로 인한 지하수오염 확산방지 등을 위해 필요하다고 판단되면 전문시공업체에 의뢰하여 매몰지 외부로 침출수 유출여부를 확인하기 위해 관측정을 설치하고 적절한 주기로 수질 및 지하수위를 모니터링하고 문제가 발생할 경우 적절한 대책을 수립한다(관측정 설치 자문의뢰: 한국지하수수질보전협회, 한국지하수·지열협회, 한국환경공단, 한국농어촌공사, 한국지질자원연구원, 한국수자원공사 및 지하수 전문가 등).

2. 관측정 설치 기준

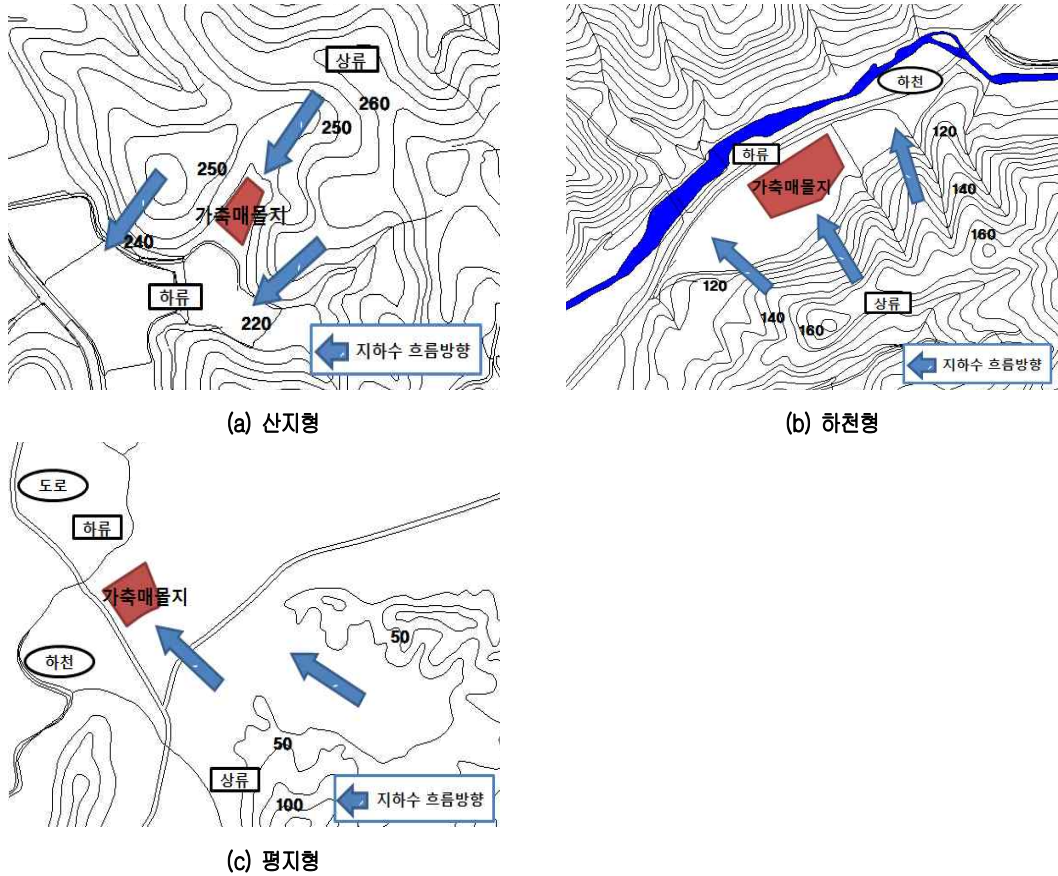
1) 지하수 흐름방향 예측

관측정 설치를 위해 우선 매몰지 전체의 지하수 흐름방향 예측이 필요하며, 흐름방향 예측은 지형을 이용하는 방법과 기 관측정을 이용하는 방법 등이 있다.

(1) 지형에 따른 지하수 흐름방향 예측

- ① 매몰지 주변의 지형 및 하천 현황 파악을 파악한다. 이를 위하여 매몰지 중심으로 주변 지형현황을 파악하고, 지하수 흐름에 영향을 주는 산, 구릉, 하천, 도로 등의 위치를 파악한다.
- ② 거시적 지하수 흐름방향을 예측한다. 이를 위해 매몰지 인근 지형형태에 따라 일반적인 지하수 흐름을 예상하여 지하수 흐름의 상류와 하류를 결정하는데, 일반적인 지하수 흐름은 고지대에서 저지대, 산에서 평지(또는 하천), 평지에서 하천으로 한다. 지하수의 흐름은 중적층의 경우 중력배수에 의한 경사흐름이 주를 이루고 있으므로 매몰지의 지형 경사를 참조하여 지형이 높은 곳을 상류, 지형이 낮은 곳을 하류로 선정한다. 매몰지 인근에 하천의 지류가 있을 경우 지하수는 일반적으로 하천을 향하여 수직방향으로 유입되게 된다. 따라서 매몰지를 기준으로 하천에 대해 수직으로 유입되는 아래쪽 방향이 하류, 그 반대방향이 상류가 된다. 만약 지형의 구배를 확인 할 수 없는 경우 지형도상 산지가 분포하는 쪽을 상류, 인근 하천이 위치한 방향을 하류로 선정한다.
- ③ 매몰지 주변 지형 및 거시적 지하수 흐름방향에 따라 매몰지 유형을 산지, 하천, 평지 3가지 유형으로 구분한다(<그림 2> 참조).

- ㉠ 산지형: 매몰지 주변(반경 200m)에 산 또는 구릉(높이 10m 이상)이 있는 경우, 매몰지의 구배가 확실한 경우
- ㉡ 하천형: 매몰지 주변(반경 200m)에 하천이 있는 경우
- ㉢ 평지형: 지하수 흐름에 영향을 줄 수 있는 산(고지대) 또는 하천 등이 매몰지 주변(반경 200m)에 없는 경우



〈그림 2〉 매몰지 유형별 지하수 흐름방향 모식도

(2) 관측정에서의 지하수 흐름방향 선정

매몰지 인근 기존 사용관정이나 기 설치된 관측정 1개소에서 기계적 측정방법인 공내 유향·유속을 측정하여 지하수의 흐름을 파악할 수 있다. 만약 공내 유향, 유속측정이 어려울 경우 앞서 언급한 매몰지 주변의 지형지물을 고려하여 지하수의 흐름을 결정한다.

2) 관측정의 설치

(1) 관측정 위치 및 개소수

① 지하수 흐름을 측정할 경우

상기 제시된 방법으로 매몰지를 중심으로 한 지하수 흐름방향을 예측하고 4방향 중 흐름 하류지역 1개소를 선정하여 관측정을 설치한다. 설치된 관측정에서 공내 유향·유속조사를 실시하여 지하수 흐름방향을 확인하며 이 결과를 이용하여 산지형 1개소, 하천형 1개소, 평지형 2개소를 매몰지의 하부

쪽에 추가 설치한다. 관측정을 설치하는 위치는 매몰지의 경계로부터 5 m 전후하여 설치하고, 설치 심도는 지하수위를 기준으로 지하수위 하 5 m(GWL. -5 m)까지 굴착한다. 해당위치에 이용중인 지하수 관정이 있는 경우에 활용할 수 있다.

② 지하수 흐름을 측정하지 않을 경우

상기 제시된 방법으로 매몰지를 중심으로 한 지하수 흐름방향을 예측하고 유형별로 예측된 지하수 흐름방향에 맞추어 매몰지 하류부에 관측정을 설치한다. 이 때 산지형 1개소 이상, 하천 1개소 이상, 평지 2개소 이상 설치하고, 만약 지하수 흐름방향 예측이 어려운 경우 4방향에 1개소씩을 선정하여 관측정을 설치한다. 관측정을 설치하는 위치는 매몰지의 경계로부터 5 m 전후하여 설치하고, 설치 심도는 지하수위를 기준으로 지하수위 하 5 m(GWL. -5 m)까지 굴착한다. 해당위치에 이용중인 지하수 관정이 있는 경우에 활용할 수 있다.

(2) 관측정 추가 설치

① 매몰지 규모가 과다하여 관측정 관측범위를 초과한다고 판단될 경우

매몰지 폭이 지하수 흐름방향에 수직한 방향으로 길 경우(약 30m 이상) 설치된 관측정이 매몰지의 침출수 발생을 모니터링하기 어려울 수 있다. 이 경우에는 추가 관측정을 설치하여야 한다.

② 예측된 지하수 흐름방향에 문제가 있다고 판단될 경우

관측정 설치 후 공내 유황, 유속을 측정장비를 활용하여 측정하였는데 기 설치된 관측정이 매몰지 지하수 흐름을 반영하지 못 한 경우 지하수 흐름에 맞게 추가 관측정을 설치하여야 한다.

③ 침출수 유출이 의심될 경우

매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 의심되어 침출수 유출 관정이 필요한 경우, 매몰지 지하수 흐름방향 상류에 추가로 관측정을 설치하여 배경 농도를 확보한다. 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 확인되었던 경우 침출수 유출방지, 침출수 정화 등 오염방지 조치를 취하고, 매몰지와 40~50 m 떨어진 위치에 조사관측정을 추가 설치하여 침출수 확산 여부를 검사한다. 만약 매몰지 인근 하류부가 하천일 경우 하천의 수질에 대한 모니터링을 실시한다.

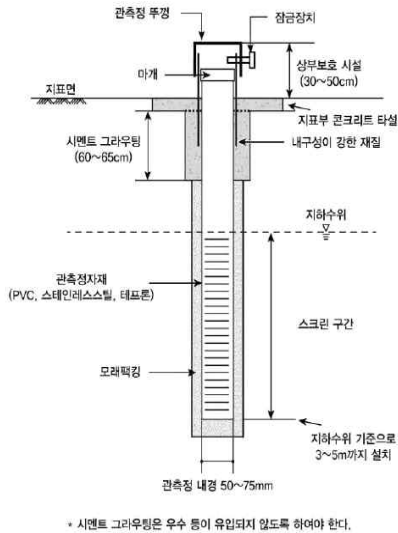
④ 기타 경우

지하수 흐름 이외에 침출수의 유출, 유동에 영향을 미칠 수 있는 요인이 있을 경우 추가로 관측정 설치한다.

(3) 관측정 설치 모식도(안)

관측정의 내경은 50~75mm, 재질은 PVC 또는 스테인레스 스틸 재질 등으로 하며 기본 구조는 <표 4>, <그림 3>과 같다. 가축매몰지의 침출수 유출여부 확인 목적에 부합되는 경우에 현장 여건 등에 따라 관측정의 구조, 규격 등을 변경할 수 있다.

<표 4> 가축매몰지 관측정 구조도



<그림 3> 제안 가축 매몰지 관측정 구조도

구분	가축 매몰지 관측정 구조 기본 내용		비고
	현행	제안	
굴착 구경	내부 케이싱 (75 mm)보다 큰 규격	내부 케이싱 (50~75 mm)보다 큰 규격	
굴착 심도	지표하 10 m 내외	GWL -5 m (지하수위 기준)	
스크린 구간	-	GL -2 m ~ 관측정 바닥	
스크린 개공율	표기없음	표기없음	
내부케이싱 구경	75 mm	50~75 mm	
내부케이싱 재질	PVC, 스테인레스스틸, 테프론	PVC, 스테인레스스틸, 테프론	
상부보호 시설	장금장치가 부착된 보호캡	장금장치가 부착된 보호캡	

3) 관측정 운영 및 관리 방안

(1) 관측정 수질측정

관련내용들은 「가축전염병예방법(농림수산식품부, 2012)」 시행규칙 [별표5] 2. 매몰기준에 따른 관측정 수질측정 등에 관하여 환경부장관이 정하는 사항을 규정한 것이다. 세부사항은 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」 III. 가축매몰지 관측정 수질측정 항목을 따른다.

① 수질조사항목은 염소이온, 암모니아성질소, 질산성질소, 총대장균군, 전기전도도 등이며, 필요시 pH, DO, 수온, T-N(총질소), TOC(총유기탄소) 등 추가할 수 있다.

② 수질조사기간은 매몰 초기(1년까지)에는 분기 1회, 2년~3년까지는 반기 1회 실시하며, 필요시 조사기간 연장 실시할 수 있다. 가능한 신속히 관측정을 설치하고 매몰지 영향을 받지 않는 기간내에 최초 수질을 측정하여 배경농도를 확보하여야 한다. 관측정 모니터링 결과에 따라 추가로 조사 횟수, 조사항목 등을 수행할 수 있다.

③ 관측정 시료채취 및 분석방법은 다음과 같다. 시료 채취 전 관측정(시추공) 내 수위를 확인한 후 1

회용 베일러 또는 소형 등속 정량 펌프를 이용하여 시료를 채취한다. 소형 등속 정량 펌프를 이용 할 경우 시료채취 전후 펌프 및 배관재 모두 깨끗하게 세척한 후 사용한다. 시료채취용기는 1L용량 이상의 무균 폴리에틸렌 채수병 등을 사용한다. 측정항목 중 대기 접촉에 민감한 항목인 온도, 수소이온농도, 전기전도도, 용존산소량 등은 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 측정한다. 분석항목에 따라 현장에서 전처리한 후 시료의 교란이나 기포가 발생하지 않도록 주의하여 시료채취용기에 담아 0℃~4℃ 냉장상태로 실험실까지 운반한다. 기타 시료의 채취 및 분석은 수질오염공정시험기준을 준용한다. 시료분석결과 및 이격거리 등을 토대로 침출수 유출여부 판단할 수 있다.

④ 관측정 수질측정 결과는 단계별 해석요령[별표]에 따라 해석하여 침출수 유출 가능성 높은 단계, 침출수 유출 (약)의심 단계, 침출수 유출이 없는 단계 등 4단계로 구분하고, 필요한 경우 지하수 전문가 등에게 추가로 자문을 받아 관측정 수질측정결과와 해석에 활용할 수 있다. 관측정 수질 측정 후 단계별 해석요령[별표]에 따라 필요한 모니터링 강화, 침출수 수거 확대, 매몰지 이설 등 매몰지 관리 조치사항을 추가로 수행한다.

⑤ 관측정 수질측정 결과는 매분기 익월 말까지 환경부(토양지하수과), 과학원(토양지하수연구과)에 보고하고, 보고양식은 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」 [별지 서식 1] 매분기 관측정 수질 측정 및 결과해석, 조치사항 및 계획을 이용한다. 과학원에서는 지자체의 관측정 수질측정 및 결과 해석자료 등을 분석하고 필요시 전문가회의 등을 거쳐 종합평가한 결과를 환경부에 제출한다.

⑥ 환경부장관은 지자체가 실시한 관측정 수질측정결과 및 평가결과 등을 농림수산물식품부장관 및 해당 지자체에 통보한다.

(2) 매몰지 침출수 확산 방지조치

매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 의심되어 침출수 유출 판정이 필요한 경우, 매몰지 지하수 흐름방향 상류에 추가로 관측정을 설치하여 배경 농도를 확보한다. 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 확인되었던 경우 침출수 유출방지, 침출수 정화 등 오염방지 조치를 취하고, 매몰지와 40~50 m 떨어진 위치에 조사관측정을 추가 설치하여 침출수 확산 여부를 검사한다. 만약 매몰지 인근 하류부가 하천일 경우 하천의 수질에 대한 모니터링을 실시한다. 세부사항은 단계별 해석요령[별표]에 따라 필요한 모니터링 강화, 침출수 수거 확대, 매몰지 이설 등 매몰지 관리 조치사항을 추가로 수행한다.

(3) 사후 매몰지(매몰 후 3년 경과)관리

매몰 후 3년이 경과한 매몰지를 사후 매몰지라고 정의한다. 구제역 바이러스나 병원성 미생물, 수질 등 환경영향평가를 실시하여 환경영향 평가 결과에 따라 발굴가능 지역, 매몰지 이전지역, 매몰지 발굴금지 연장지역을 결정한다. 환경영향 평가는 자문위원회를 구성하여 자문위원회의 의견에 따라 발굴가능 지역, 매몰지 이전지역, 매몰지 발굴금지 연장 지역으로 구분한다(자문위원회는 환경부, 농림

수산식품부, 지자체, 관련 전문가 최소 10인 이상으로 구성).

환경영향 평가 세부 항목은 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」을 따르며, 매몰지의 붕괴 우려, 심각한 환경영향 등 불가피한 사유로 매몰지 이전지역으로 선정된 경우 「구제역 긴급행동지침(SOP)」에 따라 이전 조치한다. 발굴금지 연장 지역으로 선정된 매몰지의 경우 관측정을 계속 운영한다. 매몰지의 오염이 해소되어졌다고 판단될 경우 사후 매몰지를 농지나 토지가 가지고 있던 원래의 용도로 복원하고, 기 설치된 관측정은 폐공기준에 따라 폐공하여야 한다.

3. 관측정 설치 기준 적용의 예

관측정 설치 기준(안)을 적용하여 매몰지 유형, 관측정 설치 지점 및 개소수 결정하였다.

<표 5> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예

구분	산 지 형	하 천 형
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접하천 현황 파악	- 주변에 고지대(산)가 있음 	- 북서쪽으로 하천이 있음 
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 산에서 하류부 도로(남→북)로 지하수 흐름방향 예측됨	- 남동쪽 낮은 구릉에서 하천쪽으로 지하수 흐름방향 예측됨
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 산지 유형	- 하천 유형
4. 지하수 흐름방향 하 류부 관측정 설치	- 1개소 설치	- 1개소 이상
5. 관측정 추가 설치	- 흐름방향에 비하여 매몰지 폭이 넓지 않음 - 추가 관측정 설치 필요 없음	- 흐름방향으로 매몰지 폭이 넓음 - 총 4개소 설치

<표5> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예(계속)

구분	평 지 형	흐름방향 판단 어려움
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접하천 현황 파악	- 남서쪽으로 낮은 언덕등이 있음 	- 주변에 고지대, 저지대, 하천 등 특이 사항 없음 
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 남서쪽에서 북동쪽으로 지하수 흐름방향 예측됨	- 주변부 지형높이가 비슷하여 지하수 흐름방향 판단하기 어려움
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 평지유형	-
4. 지하수 흐름방향 하 류부 관측정 설치	- 2개소 설치	- 4방향 모두 관측정 설치
5. 관측정 추가 설치	- 흐름방향에 비하여 매몰지 폭이 넓지 않음 - 추가 관측정 설치 필요 없음	- 흐름방향에 비하여 매몰지 폭이 넓지 않음 - 추가 관측정 설치 필요 없음

V. 가축 매몰지 관측정 설치 기준안 적용

본 연구에서는 전국 구제역 매몰지 4,261개소를 대상으로 입지유형을 분석해 보았다. 입지유형은 지하수 흐름방향을 예측하기 힘든 평지형, 지형 경사도를 예측하기 쉬운 산지형, 하천과 인접한 하천형으로 구분하였다. 분류 결과 평지형이 가장 많은 72%를 차지하고, 산지형 11%, 하천형 17%로 조사되었다. 지역별 매몰지 비율, 축종, 매몰두수 등을 고려하여 전국 구제역 매몰지 4,261개소 중 143개소를 선정하여 매몰지의 입지현황, 특성, 관측정 현황 등을 현장 조사하였다. 그리고 143개소에 대하여 본 연구에서 제시한 관측정 설치 기준안을 적용하여 관측정 설치 위치 및 개소수의 적정성을 평가해 보았다.

대상 매몰지의 관측정 미설치 지점은 77개소(54%), 관측정 1개소 설치 지점은 58개소, 2개 이상 설치 지점은 8개소로 분석되었다. 관측정이 1개소 이상 있는 매몰지는 총 66개소(46%, 현 전국 매몰지 관측정 설치비는 32.7%)이며, 66개소를 대상으로 본 연구에서 제안한 관측정 설치 기준안을 적용하여 관측정 위치 및 개소수의 적정성을 평가해 보았다. 평가 결과 39개소(27%) 이상이 지하수 흐름과 무관하거나, 흐름면적대비 관측정 개소수가 부족한 것으로 평가되었으며, 27개소(19%) 만이 지하수 관측망

위치 및 개소수가 적정한 것으로 분석되었다.

<표 6> 현 관측정 설치 지점의 관측정 적정성 평가 예

1. 경남 김해시 주촌면 45	2. 경남 김해시 주촌면 47
관측정 평가: 적정	관측정 평가: 관측정 부족
- 하천과 도로에 인접하여 매몰지가 형성되어 있으며, 총 2개소의 관측정이 지하수 흐름 방향에 맞게 적절한 위치에 설치되어 있는 것으로 판단 됨	- 평지의 입지특성을 가지는 지역으로 인근에 많은 축사들이 위치하고 있으며, 현재 설치된 관측정이 없으므로 지형이 낮은 지역을 중심으로 관측정이 설치되어야 할 것으로 판단 됨

VI. 결론

2010년에서 2011에 발생한 구제역은 동시 다발적이고 대규모로 발생하여 지자체에서는 매몰지 선정 및 조성에서부터 농림수산식품부의 「구제역 행동지침」과 환경부의 「가축매몰지 환경관리지침」을 준수하기는 쉽지 않았다. 또한 매몰지 발생 규모를 전혀 예측하지 못했기 때문에 매몰작업에 필요한 물품, 장비, 인력 등에 대한 사전대비나 계획, 매몰 관련 교육 등이 제대로 이뤄지지 않았다. 이에 전국적으로 매몰지 침출수 유출 및 지하수 오염 문제 등이 사회적인 주요 이슈로 부각되었고, 농림수산식품부 및 환경부 등 관계부처, 해당 지자체 등에 의해 매몰지에 대한 철저한 사후관리 및 환경 관리가 필요하게 되었다.

이러한 문제점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 매몰지 토양·지하수 오염실태 조사의 중요한 수단인 관측정의 현황, 설치 기준 등을 조사 분석하여 관측정 설치 기준(안)을 제안하였다. 제시한 기준안은 매몰지의 유형을 주변 지형 기준으로 산지형, 하천형, 평지형으로 구분하고, 이에 적합한 지하수 흐름을 선정하여 관측정을 설치하는 방법이다. 제시된 방안을 이용하여 기 매몰지의 143개소에 대하여 관측정 위치 선정 적정성을 평가하였다. 평가 결과 18% 매몰지만이 관측정 위치 및 개소수가 적절한 것으로 평가되었다.

가축 매몰지가 부실한 경우는 침출수가 발생하여 지하수 및 토양 등을 오염시키고, 서서히 그 영향이 주변지하수계에 나타날 수 있다. 하지만 매몰지 사후관리의 실질적인 수단 중에 하나인 관측정 설치율 지자체의 장이 결정하도록 「가축전염병예방법 시행령」에 규정함에 따라 지자체별로 관측정 설치대상 기준에 차이가 발생하고 전체 매몰지 4,799개소 매몰지 중(AI 포함) 1,568개소(32.7%)만 설치되어 있는 등의 문제점이 나타나고 있다(2012년 농림수산식품부 장관으로 개정됨). 따라서 본 연구결과를 이용하여 일정 규모 이상의 매몰지에 대해서는 관측정을 설치하고, 관측정 조사 결과 침출수 유출에 대한 조치가 필요한 매몰지에 대해서는 처리 및 정화대책을 수립하여 가축 매몰지 침출수에 의한 오염지하수 확산방지를 조속히 도모해야 할 것이다. 본 연구 결과는 매몰지 관리 지침등에 반영되어 가축 매몰지 주변의 지하수의 보전·관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국회예산 정책처. 2012. 토양·지하수환경 보전사업 평가.
- 농림수산식품부. 2012. 가축전염병 예방법.
- 농림수산식품부. 2012. 구제역 긴급행동지침[SOP].
- 먹는물 관리법. 1995. 제정 1995. 1. 5. 법률 제 4908호.
- 지하수법. 1997. 제정 1997. 1. 13. 법률 5286호.
- 제주특별 자치도 지하수 기본 조례. 2006. 제정 2006. 4. 12, 조례 제 2585호.
- 한국농어촌공사. 2011. 긴급살처분 매몰지 침출수에 의한 오염지하수 확산방지 연구.
- 환경부. 2010. 가축매몰지 환경관리지침.
- 환경부. 2011. 가축 매몰지의 수리 지질학적 현황평가 및 환경관리 지침 개선.
- 환경부. 2012. 가축매몰지 환경조사지침.
- ASTM D5092. 2004. *Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers*. ASTM International.
- ASTM D5787. 2009. *Standard Practice for Monitoring Wells Protection*. ASTM International.

全相美: 인제대학교 공학박사 학위(Development of Technique for Evaluating Streamflow Depletion in the Urbanized Small and Midium Watershed, 2012년 8월)를 취득하고 현재 인제대학교 건설기술연구소 연구원으로 재직하고 있다. 수문분석, 지하수 흐름 분야에 관심을 두고 연구 중이다(nil79@naver.com).

朴宰賢: 서울대학교 공학박사 학위를 취득하고(비포화 영역에서 용존 오염물질 거동에 관한 실험적 연구, 1998년 2월), 현재 인제대학교 토목공학과 부교수로 재직하고 있다. 주요논문으로는 “준설용 커터헤드 주변의 수리특성에 관한 실험적 연구(2011)”, “선형 성층수조에서의 선택취수에 관한 실험적 연구(2011)”, “고수호안 식생매트공법의

수리적 안정성에 관한연구(2010)” 등이 있다(jh-park@inje.ac.kr).

朴昌根: 서울대학교 공학박사 학위를 취득하고(비균질 다공성매질에서 이력현상 모형의 개발과 적용, 1993년 2월), 현재 관동대학교 토목공학과 교수로 재직하고 있다. 주요논문으로는 “The changes in potential usable water resources by increasing the amount of groundwater use(2010)”, “Damage process of intact granite under uniaxial compression(2006)” 등이 있다(ckpark@kd.ac.kr).

투 고 일: 2013년 11월 12일

수 정 일: 2013년 11월 28일

게재확정일: 2013년 11월 30일

A Study for the Foot-and-mouth Disease Burial Site Monitoring Well Installation Guideline

Sang Mi Jeon, Jae Hyun Park, Chang Geun Park

Between January 2010 and March 2011, Foot-and-mouth disease was occurred in the whole country; about 3.5 million livestock were destroyed which the burial site reaches more than 4,600 places. In this study the present state of burial site(local characteristics of burial site, vulnerability, existence of monitoring well etc.) by types was analyzed and establish the GIS Database was established so as to solve the livestock burial site problem occurs on a large scale. 143 burial sites were selected as a sample survey and performed a field investigation. As well as to prevent secondary environmental pollution(groundwater pollution and river pollution etc.) by leachate, the monitoring well installation guideline was proposed and apply to sample survey sites. The results show that 11% of the whole burial sites(based on 4216 sited locations) are installed on the mountain, 17% are beside the river and 72% are on the plain site. Only 32.7% of the survey sites have a monitoring well. As the results of applying such the monitoring well installation guideline to the sample survey 143 sites, more than 39 sites were installed without relating with groundwater flow or lacked of monitoring well number and only 27 sites are appropriate for the monitoring well installation guideline(monitering well location , numbers etc.).

Key words: livestock burial site, local characteristics of burial site, monitoring well installation guideline