



# 매몰지주변 기저유출 관리 필요성

## Needs for the Management of Baseflow in the Vicinity of Burial Sites

김영준<sup>1</sup>·정우혁<sup>2</sup>·김건하<sup>1\*</sup>

Yong-joon Kim<sup>1</sup>·Woog-hyuk Jung<sup>2</sup>·Geon-ha Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한남대학교 토목환경공학과, <sup>2</sup>충남연구원 물환경연구소

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, <sup>2</sup>Chungnam Development Institute

### ABSTRACT

Burial sites are constructed for the purpose of controlling air-born livestock diseases such as avian influenza and foot-and-mouth outbreak. As most of the burial sites are located in the agricultural land use, public concerns are mounting about soil and groundwater contamination. During precipitation events, contaminated baseflows are released from the burial sites into surface waters. Baseflow are therefore required to be managed properly, by monitoring and even by remediation means. We propose each burial sites should be regarded as a point source possibly degrade groundwater, thus be managed in watershed scale for the purpose of surface water quality conservation.

**Key words:** baseflow, burials, groundwater, leachate, pervious watershed, water quality

**주제어:** 기저유출, 매몰지, 지하수, 침출수, 투수구역, 수질

## 1. 서 론

매년 반복되는 조류독감(Avian Influenza: AI)과 구제역(Foor-and-Mouth Disease: FMD)에 의하여 매몰지가 다수 조성되고 있다. 매몰지는 2010년 발생한 사상 최대 구제역 사태 이후 2011년까지 약 5천여기가 조성되었으며, ‘농림축산식품부 2017’에 등록되어 있는 매몰지는 2014년부터 2016년까지 법정 관리기간 3년이 지난 매몰지수를 제외하고도 1,200기에 이른다(MAFRA, 2017). 그러나 이는 2016년 10월부터 발생한 AI로 인한 가금류 사육두수인 닭 약 2,000만 마리, 오리 약 200만 마리가 매몰된 460여개 매몰지가 반영되지 않은 통계이다.

매몰지는 가축질병이라는 재난상황에서 긴급 조성되는 비위생매립지로 정의할 수 있는데, 이러한 비위생 매립지가 지하수를 오염시킬 수 있음은 잘 알려진

사실이다. 비위생 매립은 과거 폐기물 처분을 위한 방법이었으며, 관련기준이나 규정이 마련되어 있지 않은 상태에서 계곡이나 나대지 등에 폐기물을 적정한 차수시설 없이 매립한 사례가 있었다. 매립된 폐기물의 경우 장시간에 걸쳐 침출수를 발생시키며 이것이 유출될 경우 지하수에 영향을 미친다(Bjerg et al. 1995). 이와 같이 매몰지가 조성된 축산구역 또는 농촌구역 지하수 오염도가 이미 높은 수준의 오염도를 보이는 것은 잘 알려져 있다. 또한 축분 또는 비료에 의한 지하수 오염 개연성은 높는데, Kim et al.(2002)은 금강권역 186개 지하수 시료를 분석한 결과 음용수 및 농업용수 수질기준을 초과하는 시료는 전체의 약 29%이며, 평균농도는 42 mg NO<sub>3</sub>-N/liter로서 비료사용이 크게 기여하고 있다는 것을 보고하였다. 또한 Kim et al.(2003)은 경기도의 총 39개 지하수 시료를 분석한 결과 77%에 해당하는 지점에서 외부 오염물질의 유입가능성이 있다고 판별하고 대부분 축산폐수의 기원임을 밝혀낸바 있다.

Received 20 April 2017, revised 2 May 2017, accepted 2 June 2017

\*Corresponding author: Geon-ha Kim(E-mail: kimgh@hnu.kr)

pp. 197-204

pp. 205-217

pp. 219-228

pp. 229-236

pp. 237-248

pp. 249-256

pp. 257-262

우리나라는 수질관리에 있어 수질오염총량제를 기본 도구로 삼고 있으나, 이에 지하수 관련된 오염부하량은 고려하지 않는다. 그러나 수질항목에 따라 지하수질을 고려하지 않고 수립한 지표수 목표수질은 달성하기 어려울 수 있다. 지표수와 지하수가 혼합되는 지점은 다양한 수생태계를 형성한다고 알려져 있는데 지하수와 지표수의 혼합지역에서 pH, 온도, 용존산소 등이 변화하기 때문이다(Sophocleous, 2002). 강우는 유역에 동일하게 분포되어도 침투는 유역에 따라 매우 상이하며, 강우유출수 형태 또한 시간과 공간에 따라 매우 변화가 심하다. 이러한 수문순환의 요소는 소 유역에서도 농지와 임야의 위치와 형태에 따라 매우 다른 형태를 보인다.

수질관리에 대한 관심이 늘어남에 따라 다양한 오염원으로부터 유출되는 오염 경로를 파악하고 이를 관리하기 위한 종합적인 유역 수질관리 필요성이 대두되고 있다. 특히 수계에 영향을 미치는 다양한 오염물질의 정확한 오염부하 기여율 파악을 위해서는 직접유출뿐만 아니라 기저유출에 의해 발생하는 오염부하량에 대한 수질관리가 필요하다. 효율적인 지하수 수질관리를 위해서는 수량 및 수질에 영향을 미치는 다양한 오염원들의 유출 특성 및 오염부하 기여율을 파악하고, 이를 토대로 관리방안 및 대책을 수립하는 것이 필요하다. 특히 강우가 적은 건기의 경우 오염물질의 대부분이 기저유출을 통해 수계로 유입되기 때문에 가축매몰지가 위치한 유역에서 침출수가 기저유출을 통하여 수계로 유입되는 양을 정량적으로 파악하는 것이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 근래 우리나라에 지속적으로 발생하고 있는 가뭄과 관련하여 지표수 수자원의 대체할 수 있는 지하수 수자원의 안정적인 수질관리는 매우 중요하며 유역 물순환 건전성을 유지시킬 수 있는 기초는 양질의 지하수가 충분히 함양되는 조건을 기반으로 한다. 따라서 유역의 기저유출의 주요 수원이며, 기후변화 시대에 유역에서 확보 가능한 최후의 수자원으로 활용될 수 있는 지하수는 장기적인 관점에서 적극적인 관리가 필요하다.

본 연구에서는 유역단위 수질관리를 위한 요소 중 하나로 가축 매몰지 침출수의 단기 지하수 유출을 주목하고, 이를 지표수질 보호를 위한 관리요소로 편입시키기 위한 국내 기술기반과 자료기반을 평가하고자 하였다. 본 논문의 목적은 다음과 같다: 1) 유역단위 지표수질 보전을 위한 가축매몰지의 침출수 특성과

기저유출에 대한 영향을 정의하고 이와 관련된 국내외 기술기반을 고찰한다; 2) 가축매몰지의 침출수가 단기 지하수 유출되어 유기물질, 영양염류가 지표수에 영향을 미치는 기작을 제시한다.

## 2. 가축매몰지와 기저유출

### 2.1 가축매몰지 조성 및 침출수 특성

살처분은 공기로 전파되는 가축전염병의 확산을 방지하기 위하여 질병발생원 주변에 위치한 감염가능성이 있는 가축을 미리 제거함으로써 질병 확산속도를 늦추는 방법이며, 환경과 가장 신속히 격리하기 위한 방법으로 매몰을 사용한다. 매몰지에서 누출되는 침출수에 의하여 토양 및 지하수가 오염될 수 있다는 우려로 플라스틱 재질 원형저장조에 매몰되는 경우가 다수 있으나, 작업속도가 늦고 또 저장조의 수급이 늦는 경우가 빈번하여 매몰을 시행하는 경우가 많다. 우리나라에서 시행되는 매몰지의 일반적인 구조는 Fig. 1과 같다(MAFRA, 2015). 구체역근급행동지침에 의하면 매몰지는 매몰수량을 고려하여 크기를 결정하되, 매몰지별 크기는 가급적 바닥폭 4~5 m 상부폭 5~6 m, 깊이 5 m를 넘지 않도록 제시되어있다(MAFRA, 2015).

매몰지 조성에 사용하는 생석회는 매몰지에서 누출되는 바이러스의 저감을 위한 목적으로 이해되는 것이 타당하나, 실제로는 발생하는 침출수에 비하여 사용되는 생석회의 양이 현저히 적으므로 침출수 발생량 저감과 조성에 큰 영향이 없다(Park, 2017). 다만 침출수 발생량에 큰 영향을 미치는 구성요소는 매몰지 상부에 포설되는 불투수막으로서 강우가 침투되는 것을

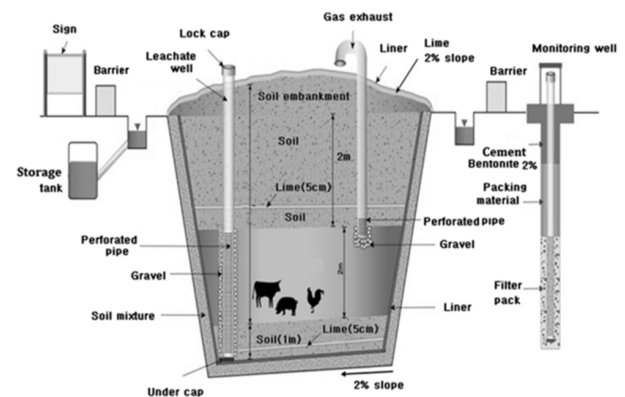


Fig. 1. Typical diagram of Carcass Burial Sites. (MAFRA, 2015)

**Table 1.** Typical Burials Constructed during 2011 Foot-and-Mouth Disease Outbreak (Kim, 2017)

	Swine	Bovine	Poultry
Dimension (m)	9 × 9 × 4.0	3.5 × 3.5 × 4.0	7.6 × 7.6 × 4.0
Head (head)	1,680	70	47,510
Solid (ton)	76	12	55
Liquid (ton)	176	27	125
Soil (ton)	1,783	293	1,420
NH <sub>4</sub> -N Conc. (g/liter)	10.2	11.3	8.8
Organic Carbon Conc. (g/liter)	46.4	56.6	64.9
Phosphorus (g/liter)	1.6	1.2	1.9

방지하여 침출수 발생량을 저감하는 효과가 현저하지만 도리어 부패에 필요한 적정 수분을 공급하지 못하므로 부패가 지연되고, 관리기간이 경과한 후 토지주의 요구로 불투수층이 제거된 후에는 강우의 유입에 따른 침출수의 양이 증가하게 된다(Park, 2017).

2011년도 조성된 매몰지 약 4500기에 대한 통계처리 결과가 Table 1에 나타나 있다(Kim, 2017). 통계에 의하면 가축매몰지의 평균적인 매몰두수는 가금류 약 47510수(180톤), 돼지 1,680두(252톤), 소 70두(82톤)로 각각 구성되어 있다. 포유류의 약 70%가 수분이라고 가정할 때, 매몰지 당 수분발생량 잠재량은 약 100여 톤이다. 가축매몰지에서 발생하는 침출수의 농도는 8.8~11.3 gN/liter, 1.2~1.9 gP/liter, 46.4~64.9 g Organic Carbon/liter의 고농도이다.

## 2.2 투수유역 기저유출

우리나라 수질관리는 지표수 위주로 구성되어 있으나 기후변화에 따른 가뭄시 항구적인 수자원의 확보와 유역 물순환 건전성 회복을 위해 점차 지하수, 특히 기저유출의 중요성에 대하여 인식이 높아지고 있다(Hyun, 2014). 투수성 유역에 강우시 대부분 토양에 침투하여 지하수가 되므로 수질관리에 있어 지하수질을 고려할 필요성이 제기되고 있다. 농지나 축산지역을 예를 들자면 많은 경우 천부지하수가 오염되어 있으며(Lee et al. 2008), 이는 지표수에 직접 유출되는 경우 지하수는 지표수에 영향을 미치는 중요한 인자가 되므로 효과적인 수질관리를 위하여 지하수 오염 기여율을 추정하는 것이 필요할 것이다(Kim, 2013).

국내 지하수 부존량은 188억 m<sup>3</sup>이고 지하수개발 가능량은 129억 m<sup>3</sup>으로 실제 이용가능한 지표수 수자원 총량대비 55.3%에 해당한다(MOLIT 2012). 그러나 지하수는 물이용, 물안보, 하천기저유출량, 지열에너지활

용과 같은 수자원으로의 가치뿐 아니라, 기반침하를 방지하는 기반안정성 유지, 생태계 보존 및 생물다양성, 지하수를 이용한 폭포 등 관광자원으로 활용하는 생태환경적 측면의 가치를 갖고 있다(Hyun, 2014). 특히 지하수와 지표수가 교환되는 지역(groundwater-surface water transition zone)은 수문학적, 생태학적으로 매우 중요하다. 특히 물질순환의 관점에서 보면 지하수와 지표수간에서 생물학적 반응을 매개로 발생하는 질소의 순환, 광물대기-지하수간 발생하는 탄소의 순환, 대수층에서 세립자와 결합된 형태로 지표수로 배출되는 인의 순환을 들 수 있다. 이와 같이 지표수와 지하수는 매우 유기적인 순환관계를 갖고 있어 이를 구분하여 정의하거나 관리 목표를 제시하는 것은 수질관리에 효율적이지 못하며 목표 달성에 한계를 겪을 수 밖에 없다(Hyun and Kim, 2013).

최근 국내·외에서는 기저유출에 의한 오염물질 부하율을 추정하고, 수계의 부하량 기여율 산정을 통해 하천이나 유역에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Schilling and Zhang(2004)은 농업지역에서의 수계로 유입되는 연평균 질산성 질소 부하량의 2/3 이상이 기저유출에서 발생하였고 특히 80% 이상이 봄과 가을에 집중된다고 보고하였으며, Mohammad(2001)는 강우시 하천으로 유입되는 총 질산성질소 부하 중 강우시 직접 유출되는 질산성질소의 부하율은 35%이며 강우 종료 후 발생하는 부하율 65%중 58%가 기저유출에 의한 부하율이라고 밝혔다. USGS(1998)에서는 미국 내 148개 지역의 기저유출에 의한 질산성질소 부하율을 산정하고 약 40% 가량의 지역에서 기저유출의 부하율이 50%가 넘으며, 특히 북부와 북서부 지역이 50%를 크게 상회한다는 보고서를 발표한바 있다. 국내의 경우, Kim and Lee (2009)은 대전시 갑천 유역의 질산성질소 기저유출 부하율이 약 59%에 달한다고 발표하였으며, Shin et

al.(2006)은 강원도 월곡리 하천의 질산성질소와 총질소의 기저유출에 의한 오염부하는 전체 오염부하의 각 57%, 총인의 오염부하는 30%에 달한다는 연구결과를 발표하였다.

위와 같이 많은 연구 사례에서 나타나듯이 유역내 기저유출에 의한 오염부하율은 상당한 수준이며, 특히 총질소와 질산성질소의 부하율이 하천에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 특히 우리나라의 경우 질산성질소의 주요오염원인 오염원인 농업 및 축산농가 밀집 지역이 관개가 용이한 하천 주위에 발달해 있기 때문에 이에 대한 수계 오염부하도 상당할 것으로 추정되며, 이를 관리하기 위한 지침 및 대책 등의 마련이 매우 시급한 것으로 판단된다.

### 3. 매몰지 주변 기저유출

#### 3.1 매몰지 침출수의 기저유출

매몰지에서 발생하는 침출수가 지표수에 영향을 미치는 과정을 개념적으로 설명하면 다음 Fig. 2와 같다. 매몰 직후부터 부패에 의한 침출수는 매몰지 하부에 저류되었다가 강우시 누출된다. 우리나라에서는 겨울에 구제역이나 조류독감이 발생하고 있으며, 이는 우리나라의 차단 방역 실행방법(Biosecurity practice)이 동절기에 취약하고, 철새의 이동이 빈번하기 때문이다. 가축매몰지의 사례를 예로 들어보면 가축전염병은 급격히 기온이 떨어지기 시작하는 11월 ~ 2월 사이 발병하는데 가축매몰지가 설치되면 겨울/봄에 발생하는 강우유출수가 각종 침출수 및 고농도의 오염물질(질소, 항생제등)을 포함한 채로 유역 내 존재하면서 봄/여름 강우가 집중되는 시기에 하천으로 유출되어 수질농도를 높일 수 있다.

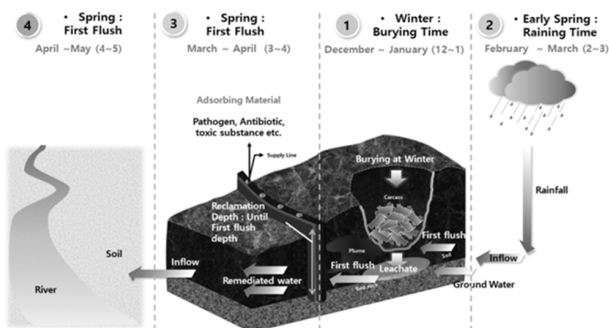


Fig. 2. Conceptual Model of Baseflow Discharge in the Vicinity of a Burial Site. (Kim, 2017)

#### 3.2 매몰지주변 기저유출 성상

지하수는 영향을 주는 지표수에 비하여 농도가 낮을 경우 희석효과를 나타내고 농도가 높을 경우 지표수 농도 증가에 기여한다. 전통적으로 지하수의 인(P)농도는 하천수질에 큰 영향이 없다고 알려져 왔다. 이는 인이 토양에 흡착되거나, 금속착화물(metal complex)을 형성하여 이동이 거의 없다고 여겼으나 이러한 가정이 옳지 않다는 여러 가지 모니터링 결과가 제시되고 있다. 이러한 유출은 다음과 같은 인자의 영향을 받는다:

- (1) 포화대에서의 흡착 (Isenbeck-Schroter et al., 1993; Stollenwerk, 1996);
- (2) 하천변(riparian)또는 하상(hyporheic)에서 환경조건에 따라 저류되거나 유출되는 인(Hendricks and White, 2000; Carlyle and Hill, 2001; Griffioen, 2006)
- (3) 지하수의 인은 비점원 형태로 지표수에 유입되는 것이 아니라 특정지점에서 집중적으로 유입 (Howden et al. 2004).

지하수량과 지하수질이 지표수에 가장 영향을 많이 미치는 시기는 갈수기이다. 5월~6월은 시기적으로 생태계에 인 요구량이 가장 많은 시기이기도 하다. 호소와 같이 체류시간이 긴 경우, 상당부분 인이 저류되고 순환되지만 하천과 강에서는 용존성 인과 부유성 인은 상호간 그 형태가 변한다. 따라서 생물 성장에 필요한 인의 평균 농도가 부하량보다 중요하다(Edward et al. 2000). 부영양화가 발생하기 위한 영양염류 요구량을 충족하는 인의 생물가용성(bioavailability)이 어느 발생원에서 얼마큼 발생하고 형태는 무엇이며 그 변화량 어떻게 되는지가 부영양화 조절의 핵심요소이다 (Withers and Haygarth, 2007).

축산농가에서 발생한 인 평균농도가 1900 µg/g에 이르고 조류 사용률이 70%에 이르는 등 점원발생 인 농도가 가장 영향을 미친다. 한편 농지 강우유출수 평균 총인 농도는 1100 µg/g이고 조류 사용률이 30% 정도이므로 전체 하천에 미치는 영향으로는 유역에 따라 더 클 수 있다.

#### 3.3 기저유출의 지표수 영향

다음 Table 2는 인 발생원에 따른 총인농도 및 조류사용 분율을 나타내고 있다(Ekholm and Krogerus, 2003). 하수 및 자연기원 인 농도는 µg/L의 단위로 나타내고 있으며, 토양 및 퇴적물의 단위는 µg/g의 단위로 나타내고 있다. 조류사용 분율(algal-available phosphorus)의 단위는 %로

**Table 2.** Total Phosphorus and Algae-Available Fraction for Pollution Sources(Ekholm and Krogerus, 2003)

Phosphorus Sources		TP Concentration (µg/L)	Algae-available (%)
Sewage	Agricultural Point Source	16,000(880~42,000)	89(79~98)
Nature origin	Urban Biological Treatment	1,300(330~3,500)	83(61~103)
	Urban Biological/ chemical treatment	320(88~610)	36(0~67)
	Livestock Farm	19,000(500~79,000)	69(27~93)
	Forestry rainfall runoff	51(11~230)	16(0~55)
Soil and sediment	Agricultural rainfall runoff	1,100(180~3,700)	31(15~50)
	Agricultural stream	230(51~420)	20(3~45)
	Large river	22(13~31)	20(12~30)
	Land	1.4(0.5~2.0)	19(6.8~24)
	Suspended solids of lake	1.5(1.0~2.6)	7.9(1.6~21)
	Sediment of lake	1.2(1.0~1.5)	3.3(0.1~11)

**Table 3.** Four broad groups of phosphorus sources together with their main compositional and delivery attributes (Edward and Withers, 2007)

Source group	Method	Composition	Bioavailability	Source strength	Delivery
Source group	Large (urban)	Soluble	High	High	Continuous
	Intermediate (rural)	Variable	Variable	Variable	Semi-continuous, some precipitation dependence
Diffuse sources	Near-surface flow	Variable, but often particulate	Low	Low	Episodic, precipitation dependence
	Groundwater flow	Soluble	High	Low	Continuous

서 인 이외의 성분이 충분한 배지에 인이 추가될 때 조류 생장에 사용되는 분율을 나타내는 것이다.

국외에서 수행된 지하수 모니터링결과, 토지이용도에 따라 지하수 농도가 다른 것으로 다수 보고되고 있으나 Apatite 등 인이 풍부한 지질에서 용출되는 인으로 이러한 농도차이를 설명하기는 어렵다(Jarvis, 2006). 중요한 발생원은 1) 농지와 대지에 필요량보다 과량으로 살포된 비료가 지속적으로 유실되는 경우; 2) 농촌지역 자체 축분처리에서 발생하는 축분처리 유출수; 3) 액비 살포로 인한 축산농가 주변토양이 오염된 경우를 들 수 있다. 이와 같이 배경농도보다 높은 수준의 오염도를 가진 지하수는 유출되어 부영양화를 촉발시킬 수 있다. 그러나 이와 같은 잠재 오염원에는 상당한 불확실성이 존재한다. 가장 큰 불확실성은 이와 같은 오염물질 중 유출되는 오염부하의 양이다(House, 2003).

Table 3은 유역단위 수질에 영향을 미치는 주요 인

발생원과 그 조성, 발생농도, 유달기작을 제시하고 있다(Edward와 Withers, 2007). 유역단위 수질관리에 있어 오염원을 단순히 점원과 비점원으로 나누는 것은 적절하지 않으며, 유역 형태에 따라 다양한 발생 및 유출특성으로 고려한 관리방법을 적용하여야 한다. 투수성 유역 천부지하수는 인의 형태가 용존성 또는 입자성을 띠고 있으며 강우시 발생한다. 생물학적이용부분(bioavailability)과 그 농도는 낮으나, 지역에 따라 매우 높은 값을 나타내는 경우도 있어 이에 대한 모니터링이 필요하다.

또한 토양은 비균질·비등방성 띠고 있어 하천에서의 흐름과는 아주 다른 형태를 가지고 있다. 특정지역에서 대표지점을 선정하기 어려운 특징이 있어 모니터링에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다. 샘플링 오차로 인한 지하수 모니터링은 큰 불확실성을 나타낼 수 있으므로 기존의 수질 모니터링 보다 많은 시료채취가 필요하며, 객관적이고 체계적인 모니터링이 요

구된다(Ulen et al., 2001).

### 3.4 매물지주변 기저유출 관리 국외 사례

기저유출의 수질영향에 대한 중요성이 최근 들어 대두되면서 일부 국가에서는 기저유출의 수질 관리를 위한 가이드라인을 제시하기 시작했다. 현재 제시된 지침은 모든 유역의 기저유출에 대하여 일괄적으로 적용이 가능한 지침은 아니며, 몇몇 대상 유역의 유출 현황과 특성에 맞추어 개별적으로 제시된 수질 가이드라인이다. 이 가이드라인을 통해 주기적인 모니터링을 실시하고 급작스런 수질 변화의 감시 및 통제를 통해 효율적인 수질관리를 시행하고 있다.

EPA(1989)에 따르면 과도한 영양물질의 유입은 수 자원 악화의 큰 원인 중 하나이며, 이는 하천이나 수계에 조류 발생, 수생태계 교란뿐 아니라 나아가 인간 건강에 악영향을 끼치게 된다. 특히 수생태계의 영양물질 유입은 해당 수계뿐만 아니라, 하천의 흐름을 따라 인근 수계에도 영향을 미친다. 이는 해당 주만의 문제가 아니라, 인근의 다른 주의 유역까지 문제를 야기시킬 가능성이 크지만, 대부분의 주들은 영양물질 과다유입에 대한 문제에 소극적으로 나서고 있다. 때문에 뉴저지주에서는 ‘Ten Towns Great Swamp Watershed Management Committee’s Water Quality Monitoring Program’을 개발하여 이를 통한 유역관리를 통해 효율적인 수질관리와 더불어 성공적인 유역관리 사례뿐만 아니라 다른 주들의 수질관리 정책에도 도움이 되고자 했다(Kim, 2013).

Great Swamp 유역 관리 계획은 현행 수질 및 생물학적 자료를 기준으로 개발되었다. 기저유량의 경우 지하에서 광물들이 용존되기에 충분한 거리를 흐른 뒤 유출되기 때문에 기본적으로 강우시 유량에 비해 높은 무기 화학 성분 농도를 보인다. 때문에 기저유량의 수질분석 역시 전체 유역의 수질을 파악하는데 중

요한 요소이나, 이전까지의 수질 데이터의 대부분은 강우에 의한 영향과 점오염원에 의한 영향만을 반영하고 있는 실정이다. 따라서 새로운 관리 계획의 수립 및 개발에 있어 유역을 크게 강수 후 (Stormflow)와 기저유량 (Baseflow)은 나누어 하천의 흐름 상태에 따른 효과적인 관리 전략의 구상이 필요함을 고려하였다. Great Swamp 유역의 수질 모니터 프로그램은 Great Swamp와 인근 유역의 기본 환경 조건을 고려하고 장기적인 추세를 예측하여 설정된 수질 목표와 관리계획을 포함하고 있다.

뉴저지주의 수질관리 규정이나 EPA Nutrient Criteria 어느 곳에도 기저유출의 제한, 규정, 농도 등에 대한 지침은 마련되어 있지 않다. EPA(2000) 하천수질 관리지침에 대한 내용이 있지만, 역시 강우유량과 기저유량 수질의 구분이 되어 있지는 않다. 마찬가지로 뉴저지주의 하천수 관리기준에도 강우유량과 기저유량에 대한 분리는 되어 있지 않다. 따라서 부족한 정보의 보강을 위해 그동안 관측되어온 건기와 우기시의 수질 샘플 자료 등의 분석을 통해 강우시 하천 유량에 대한 수질기준과 건기 기저유량에 대한 수질 기준을 구분하여 제정하고 이를 관리하고 있다. Table 4는 Great Swamp Watershed의 기저유량 수질 기준을 나타낸다(Kim, 2013).

### 3.5 매물지주변 기저유출에 의한 오염부하

유역에서 발생하는 오염부하는 점오염원과 비점오염원에 의한 오염부하로 단순하게 구분된다. 비점오염원은 점오염원과 달리 토지 이용행위로 인해 오염물의 종류, 발생량이 다르고 생물에 미치는 영향에 따른 기작을 간단하고 명료하게 파악하기 어려워 하천 및 유역의 수질관리를 어렵게 하는 주요원인이기도 하다. 그러함에도 하천의 부영양화 및 수질 악화를 방지하고 관리하기 위해서는 이러한 오염원의 총량과 배출

Table 4. Great Swamp Watershed of baseflow water pollution standard

Stream	Criterion (mg/l)					
	TP	DRP	NO <sub>3</sub> -N	TKN	TN	TSS
Black Brook	0.05	0.02	0.2	0.4	1.0	4.0
Loantaka Brook	0.05	0.02	2.0	0.4	2.4	4.0
Great Brook	0.05	0.02	0.7	0.4	1.3	4.0
Primrose Brook	0.04	0.02	0.5	0.3	0.8	4.0
Passaic Brook	0.04	0.02	0.4	0.4	0.8	4.0



특성을 분석하는 것은 중요하다(Jang et al., 2010).

우리나라의 경우 총 BOD 배출부하량 중 비점오염원이 최대 37%에 이르는 것으로 조사되어, 비점오염원이 수계에 끼치는 영향이 상당히 큰 것으로 추정된다(Ministry of Environment, 2004). 이미 규제 기준이 마련되어 있고, 관리가 상대적으로 용이한 점오염원 대상 규제의 강화와 환경기초시설의 지속적인 확충으로 비점오염원이 수질에 미치는 영향이 더욱 증가되었을 것이다.

이러한 비점오염원에 의한 오염부하는 다시 지표유출과 기저유출에 의한 오염부하로 나눌 수 있으며, 기저유출에 의한 오염부하가 전체 오염부하의 50% 이상을 차지한다는 연구 결과가 지속적으로 보고되고 있기 때문에 비점오염원에 의한 오염부하 산정 시 지표유출뿐만 아니라 기저유출에 의한 오염도 반드시 산정해야 한다(Kim and Lee, 2009).

다음 Fig. 3는 농촌유역의 기저유출이 지표수 유량에 대한 기여율과 모형매물지 면적 1,200 m<sup>2</sup>에 대하여 월별강우량에 의한 강우유출수 변화를 도시하고 있다. 이때 가정은 소 200두가 매몰되어있는 가축매물지 1기가 존재할 경우, 성우 1두에서 160 liter 침출수가 발생하고 이때 농도는 암모니아 25 g/l, BOD 115 g/l 이다(National Institute of Environmental Research, 2012).

Fig. 3에서 보이는 바와 같이 3, 4, 5월의 기저유출이 지표수량에 미치는 기여분은 86~96%로 매우 높게 추산되고 있다. 동절기와 비교하여 유기물과 질소의 농도는 감소하지만 기저유출량 지표수량 기여량이

매우 높으므로 유역의 수질목표를 달성하기 위하여는 기저유출의 수질의 적절한 관리를 통한 입체적인 수질관리가 필요하다.

오염총량관리제에 의해 유역의 종합적인 지표수 수질 모니터링과 평가가 이루어지고 있지만 아직까지 비점오염원에 대한 유출 평가의 대부분은 원단위에 의존하고 있으며, 다량의 오염원이 유출될 수 있는 가축매물지와 지하수 기저유출이 고려되고 있지 않다. 유역에서 오염물질의 발생, 유달, 배출과정을 체계적으로 관리하기 위한 기술적 검토 과정에서 수질예측의 불확실성은 지속적으로 문제가 제기되어 왔다. 이에 대한 주요 원인은 제도권에서 확인이 불가능한 오염원의 유입이 주요 원인으로 판단된다. 총량관리제도에서 하천 수질과 오염배출부하에 대한 정확한 상호 관계성을 정립하고 유역의 해석과 평가를 위해서는 현재 관리되고 있지 않은 오염원중에서 가축매물지와 같은 대규모 오염원에 대한 고찰은 반드시 필요하다.

### 3.6 매물지주변 기저유출 관리방안

비점원에서 발생하는 인은 주로 강우시 발생하며, 강우시에는 인 농도도 빠르게 변화하며 생물학적이용도는 낮다. 이와 비교하여 점원에서 발생하는 유출수는 하천유량이 낮을 경우 높은 생물학적이용도를 보인다. 따라서 유역단위 수질관리 목적으로 점원에서 발생하는 인 성분을 저감하는 것이 우선되어야 한다. 그러나 유역관리에 있어 점원, 비점원으로 양분하여 관리하는 것은 유역 수질관리 목표달성을 위한 방법으로 적절하지 않다. 유역단위 점원, 비점원 오염원은 농도, 형태, 유달시간 뿐 아니라 체류시간과 알칼리도, 유량이 중요하며, 유입수체에 유입되는 순서 또한 중요하다. 특히 인 발생원과 수체와의 시간적, 공간적 관계파악이 유역단위 인 관리 우선순위 선정에 중요하다.

투수지역 비점원을 지표수와 지하수로 나누고, 유역내 유출을 단기유출과 장기유출로 구분하여 관리할 필요가 있다. Jordan et al. (2007)은 3가지 강우관련 유출형태를 제시하였다: 1) 강우와 관련이 없는 연속적인 유출; 2) 강우와 관련된 단속적 유출; 3) 강우와 관련이 없는 단속적 유출. 1)의 경우는 농촌 점원, 2)는 비점원, 3) 도시점원으로 해석될 수 있다. Table. 5는 지표수에 영향을 미치는 지표수와 지하수 구성에 대한

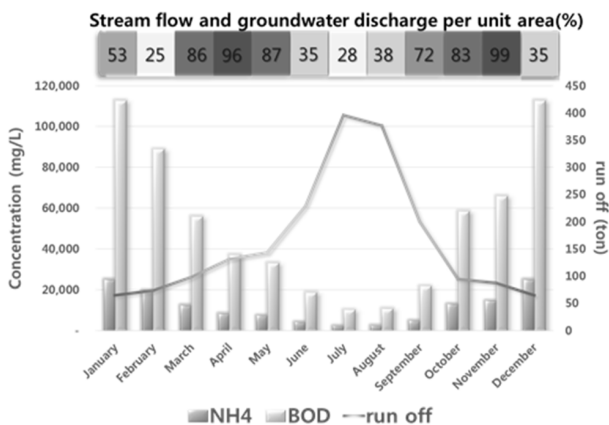


Fig. 3. Baseflow Contribution of the 'A' Basin and the Concentrations of Baseflow Induced by Rainfall Events.

pp. 197-204

pp. 205-217

pp. 219-228

pp. 229-236

pp. 237-248

pp. 249-256

pp. 257-262

**Table 5.** Water surface runoff components affecting the water quality of rivers and groundwater. (Jordan et al. 2007)

Stream Water Quality	Surface Runoff	Natural
		Nonpoint Source Pollution (controlled)
		Point Source Pollution (controlled)
		Nonpoint Source Pollution (non controlled)
	Groundwater Baseflow	Natural
		Pollution (Naturally alternated)
Pollution (conservative)		

개념도를 보이고 있다. 강우유출수는 지표수 유출과 지하수유출로 나누어 생각할 수 있다. 지표수유출은 1) 자연기원 오염물질; 2) 비점원오염물질; 3) 통제 가능한 점오염물질; 4) 통제 불가능한 점오염물질로 나눌 수 있다. 기저유출은 1) 자연기원 오염물질; 2) 자연적으로 저감되는 비점오염물질; 3) 보전성 비점오염물질로 나누어 볼 수 있다. 가축 매물지에서 발생하는 침출수의 지하수유출은 자연적으로 저감되는 비점오염물질과 보전성 비점오염물질로 구분 할 수 있다.

오염된 지하수를 처리하는 방법은 다음과 같이 나눌 수 있다(Novotny and Olem, 1993):

1) 물리적 통제방법: 이 방법은 지표수 처리방법을 포함하는데, 오염된 지역을 불투수 재료를 이용하여 포장함으로써 강우유출수가 지하로 침투하지 못하도록 한다. 펌프를 이용하여 지하수를 양정하여 오염된 지하수위를 낮춘다.

2) 원위치 처리기술: 화학적처리 또는 생물학적 처리방법을 적용할 수 있다. 화학적 처리방법은 오염물질 성상이 명확하고 오염범위를 알고 있는 경우 고려할 수 있다. 생물학적 처리방법은 하수처리공정과 유사한 것으로 산소와 미량물질을 주입하여 미생물 생장으로 이용하여 지하수를 처리하는 것이다.

3) 지하수처리: 가장 많이 사용되는 처리기술은 오염된 지하수를 양정하여 처리한 후 다시 주입하는 것이다. 많은 공정이 사용되고 있으나, 대부분 에어스트리핑, 활성탄흡착, 유기물제거를 위한 생물학적처리, 무기물제거를 위한 화학적 침전이다.

Howden et al. (2004)는 유역 하류에서 지표수에 대한 지하수 영향을 감소시키기 위하여 수리지질학적인 방법을 사용하였다. 즉 유역내 하천, 지천을 구성하는 지질을 조사하고 지표수질을 조사하여 지하수가 지표수로 유입되는 지점을 분리하였다. 지하수 수질이 양호한 수질원점은 지중차단벽으로 보호하고, 피압대수

층에 관정을 설치하거나 배출로를 설치하는 등 지역에 적합한 최적관리를 통하여 수질을 보호하였다.

## 4. 결 론

우리나라는 수질오염총량관리제를 수질관리 기본 도구로 사용하고 있으나 이는 유역의 지표수, 점오염원, 토지계 원단위에 의한 오염배출만을 고려하므로 고농도로 오염된 지하수가 존재하는 유역에서는 수질 목표 달성이 어려울 수 있다. 가축질병을 통제하기 위하여 조성되는 매물지는 장기간 침출수를 발생시키고 강우시 기저유출을 통해 지표수로 유출되며 특히 갈수기 지표수 수질에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 가축매물지의 특성 중 단기 지하수 유출에 대한 오염원으로서 지표수질 보호를 위한 관리 요소로 편입시키기 위한 국내 기술기반과 자료기반을 평가하였다.

매물지에서 유출되는 침출수의 농도는 8.8~11.3 gN/liter, 1.2~1.9 gP/liter, 46.4~64.9 g Organic Carbon/liter의 고농도 범위이다. 따라서 유역내 기저유출에 의한 오염 부하율은 상당한 수준이며, 국내의 경우 축산농가 밀집지역이 관개가 용이하며 하천 주위에 발달해 있기 때문에 매물지에서 발생한 침출수로 오염된 지하수에 대한 모니터링과 정화 등 관리대책 수립이 필요하다.

## 사 사

이 논문은 2016년도 한남대학교 학술연구비조성비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

Bjerg, P.L., Rogge, K., Pedersen, J.K., Christensen, T.H., (1995).





- Distribution of redox-sensitive groundwater quality parameters downgradient of a landfill. *Environ. Sci. Technol.*, 29, 1387-1394.
- Carlyle, G.C., Hill, AR. (2001). Groundwater phosphate dynamics in a river riparian zone: effects of hydrologic flowpaths, lithology and redox chemistry. *J. Hydrol.* 247: 151-168.
- Edwards, A.C., Twist, H., Codd, G.A. (2000). Assessing the impact of terrestrially derived phosphorus on flowing water systems, *J. Environ. Qual.* 29, 117-124.
- Eklholm, P., Krogerus, K. (2003). Determining algal-available phosphorus of differing origin: routine phosphorus analyses versus algal assays. *Hydrobiol.* 492, 29-42.
- Edwards, A.C., Withers, P.J.A. (2007). Linking phosphorus sources to impacts in different types of water quality, *Soil Use and Management*, 23(1), pp. 133-143.
- EPA (1989). Sampling Frequency for Groundwater Quality Monitoring.
- Griffioen, J. (2006). Extent of immobilisation of phosphate during aeration of nutrient-rich, anoxic groundwater. *J. Hydrol* 320, 359-369.
- Hendricks, S.P., White, D.S. (2000). Streams and groundwater influences on phosphorus biogeochemistry. In : Streams and Ground Waters, Jones, J. B., Mulholland, P. J., (eds). Academic Press: London; 221-235.
- House, W.A. (2003). Geochemical cycling of phosphorus in rivers. *Applied Geochem.* 18, 739-748.
- Howden, N.J.K. Wheater, H.S., Peach, D.W., Butler, A.P. (2004). Hydrogeological Controls on Surface/Groundwater Interactions in a lowland permeable Chalk catchment. *Hydrology: Science & Practice for the 21st Century*, Vol. II. British Hydrological Society: The Netherlands.
- Hyun, Y.J., Kim, Y, S. Korea Environment Institute, (2013). Environmental and Management of Hyporheic Zones, 1773-1892.
- Hyun, Y.J. Korea Environment Institute (2014). Preliminary Study on Environmental Values of Ground water Resources in Korea,
- Isenbeck-Schroter, M., Doring, U., Moller, A., Schroter, J., Matthe, G. (1993). Experimental approach and simulation of the retention processes limiting orthophosphate transport in groundwater. *J. Contam. Hydrol*, 14 143-161.
- Jarvis I. (2006). The Santonian-Campanian phosphatic chalks of England and France. *Proceedings of the Geologists Association*, 117 219-237.
- Jordan, P., Amscheidt, J., McGrogan, H. McCormick, S. (2007). Characterising phosphorus transfers in rural catchments using a continuous bank-side analyser, *Hydrol. and Earth System Sciences*, 11, 372-381.
- Jung, J.Y., Kang, B.S., Cha, M.G. (2007). Separation of Baseflow using Antecedent Recession Requirement and Estimation of Representative Unit Hydrograph by the Nash model. *Proceeding of Annual Conference of Korean Society of Water Resources*, 1762-1767.
- Jang, W. S., J. Ryu, J.H., Kang, H.J., Lee, J.K., Kim K.J., Lim K.A. (2011) application and Evaluation of the NI, ESTIMATOR, LOADEST to estimate efficiently pollutant loadings from a stream *J. Agric. Life Environ. Sci*, 23, 1-10.
- Kim, S.H., Yun, S.T., Choi, K.T., Choi, B.Y., Kim, S.O., Kim, K.J., Kim, H.S., Lee, C.W. (2002). Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Keum River watershed area: Source and behaviors of nitrate, and suggestion to secure water supply, *J. Eng. Geol*, 12, 4, 471-484.
- Kim, Y.T., Woo, N.C., (2003). Nitrate contamination of shallow groundwater in an agricultural area having intensive livestock facilities. *J. KoSSGE*, 8, 57-67.
- Kim, G.H., Lee, H.S. (2009). Impacts of Nitrate in Base Flow Discharge on Surface Water Quality. *J. Kor. S. Civil Eng*, 29, 105-109.
- Kim, G.H. Ministry of Environment(2013). Guidelines for the Investigation of River Pollution Effects by Basin Runoff, 37-41.
- Kim, G.H. Korea Environmental Industry & Technology Institute(2017). De velopment of Post Management Evaluation Technology and Safety Assurance Technology for Livestock burial site.
- Lee, E.J., Woo, N.C., Lee, B.S., Kim, Y.B. (2008). Variation in nitrate contamination of shallow groundwater in a farmland in Gyeonggi-do, Korea. *J. Korean Soc. Econo. Environ. Geol.*, 41, 393-403.
- Mohammad Z. I. (2001). Nitrate flux from aquifer storage in excess of baseflow contribution during a rain event. *Wat. Res*, 36, 788-792.
- Ministry of Environment, (2004). Comprehensive measures for managing non - point source pollution in 4 rivers. 44-45
- MLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)(2012). Ground Water Management Plan(2012-2021), 10-15.
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)(2015). Special operation procedure for Foot and Mouth Disease open Information : 146-147.
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), <http://www.open.go.kr> (May, 30, 2017)
- Novotny, V. and Olem, H. (1993). Water Quality: Prevention,

pp. 197-204

pp. 205-217

pp. 219-228

pp. 229-236

pp. 237-248

pp. 249-256

pp. 257-262

- Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Pratt, D.L. (2009). *Environmental impact of livestock mortalities burial* (Doctoral dissertation).
- Park, J.G. Korea Environmental Industry & Technology Institute(2017). Development of Safe and Ecological Burial Techniques for Improving Carcasses Disposal System, Final Report.
- Stollenwerk, K.G. (1996). Simulation of phosphate transport in sewagecontaminated groundwater, Cape Cod, Massachusetts. *Applied Geochem*, 11, 317-324.
- Sophocleous, M. (2002). Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeol. J*, 10, 52-67.
- Schilling, K., Zhang, Y.K. (2004) Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA., *J. Hydrol.* 295, 305-316.
- Shin, Y.C., Ryu, C.W., Choi, Y.H., Lim, K.J., Choi, J.D. (2006) Pollutant load characteristics by baseflow in a small agricultural watershed, *J. Korean Soc. Wat. Qual.* 22, 244-249.
- Spahr, E., Neil, M., Dubrovsky, JoAnn, M., Gronberg, O., Legn, F., and David, M. W. (2010) Nitrate Loads and Concentrations in Surface-Water Base Flow and Shallow Groundwater for Selected Basins in the United States, Water Years 1990-2006. USGS, Scientific Investigations Report 2010-5098.
- USGS (1998) Ground Water and Surface Water, A Single Resource, USGS Circular 1139, Denver, Colorado, 87.
- Ulen, B., Johansson, G., Kyllmar, K. (2001). Model predictions and long-term trends in phosphorus transport from arable lands in Sweden. *Agric. Wat. Manage.* 49, 197-210.
- Wood FL, Heathwaite AL, Haygarth PM. (2005). Evaluating diffuse and point phosphorus contributions to river transfers at different scales in the Taw catchment, Devon, UK. *Sci. Total Environ.t* 304, 118-138.
- Withers, P.J.A., Haygarth, P.M. (2007). Agriculture, phosphorus and eutrophication: a European perspective. *Soil Use Manag.* 23. 1-4.