[1]농촌 소유역 축산폐수의 유역관리기법 개발

- 자연정화처리를 위한 완충대 적지분석 -

Watershed Scale Management Techniques of the Pollutants from Small Scale Livestock Ranches

- Buffer Zone Selection for Natural Purification -

김성준* · 이남호** · 윤광식*** · 홍성구** · 이윤아*

*건국대학교 농공학과, **한경대학교 농촌공학과, ***전남대학교 농공학과

Kim, Seong Joon* · Lee, Nam Ho** · Yoon, Kwang Sik*** · Hong, Seong Gu** · Lee, Yun Ah*

*Dept. of Agricultural Engineering, Konkuk University
**Dept. of Rural Engineering, Hankyong National University
***Dept. of Agricultural Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT

Buffer zone selection technique for natural purification of livestock wastewater within a small agricultural watershed was developed using Geographic Information Systems. The technique was applied to 4.12 ㎢ watershed located in Gosan-myun, Ansung-gun which have 20 livestock farmhouses. As a necessary data for selecting process, feedlot site map, digital Elevation Model (DEM), stream network, soil and land use map were prepared. By using these data, wastewater moving-path tracing program from each feedlot to the stream was developed to get the basic topographic factors; average slope through the paths, distance to the nearest stream and watershed outlet. To identify the vulnerable feedlots for storm event, the grid-based storm runoff model (Kim, 1998; Kim et al., 1998) was adopted. The result helps to narrow down the suitable area of buffer zone, and finally by using subjective but persuasive conditions related to elevation, slope and land use, the suitable buffer zones were selected.

I. 서론

우리나라 축산농가에서 발생하는 폐수는 분뇨와 축산세정수가 혼합되어 있는 형태로서 오염부하량이 크고, 미처리 방류시 심각한 수질오염을 일으키게 된다. 폐수의 배출특성 또한 축산시설의 형태, 분 분리작업, 청소방법 및 사용수량에 따라 그 변화가 크다 (이기영 등, 1998). 한편 축산폐수의 배출특징을 살펴보면 대부분이 강우기에 빗물과 함께 축산농가로부터 하천까지 짧은 도달거리를 가지고 그대로 유입되고 있다. 정부의 계획에 의하여 '98. 9월부터 신고대상 축

[1]이 논문은 (1998년) 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음

산농가의 간이축산폐수정화조 설치지역을 현행 특정지역에서 전국으로 확대하고, 2000년부터 대상규모 (축사면적 신고대상: 소 200~900㎡, 돼지 50~1,000㎡; 간이축산폐수정화조: 소 60~200㎡, 돼지 30~50㎡)도 확대하여 방류수수질기준 (BOD 신고대상: 150~350㎎/ *l* , 간이축산폐수정화조: 1,500㎎/ *l* 이하)의 강화를 계획하였다 (관계부처합동, 1997). 그러나 이들 축산농가는 유역 내에 산재해 있어 폐수의 처리효율을 높이기 위해서는 소규모 축산농가의 위치, 오염배출부하량, 이동경로 및 하천까지의 도달길이 등 기본적인 통계자료에 의한 관리가 필요하며, 경우에 따라서는 처리시설과 함께 폐수가 이동하는 경로중에 완충대 (buffer strip) 또는 습지 (wetland)의 조성 등 자연정화에 의한 처리가 도움이 될 것으로 판단된다.

완충대 즉 유수지나 습지 조성 등은 적지분석에 해당되는데, 이와 같은 공간적인 문제를 해결할 수 있도록 탁월한 기능을 제공하는 도구로서, 현재 여러 분야에서 활발하게 이용되고 있는 지리정보시스템 (Geographic Information System; GIS)을 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

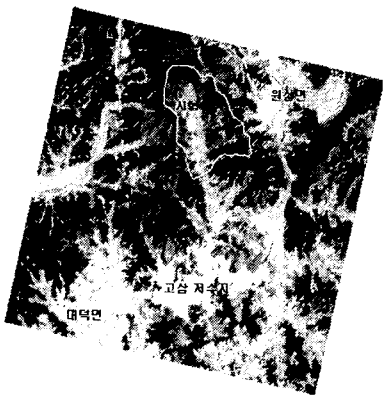
따라서 본 연구의 목적은 지리정보시스템을 이용하여 축산농가가 산재해 있는 농촌 소유역에서 축산폐수의 자연정화 효과를 높일 수 있는 완충지역을 선정하는 기법을 수문 · 수리학적인 측면에서 개발하는데 있다. 완충대 적지선정 과정으로는 ① 유역내 축산농가의 위치 및 축종별 사육두수, 분뇨처리시설의 유무 등에 대한 제반자료들을 수집하고, ② 이와 더불어 수치고도모델, 하천도, 토양도, 토지이용도 등의 GIS자료를 구축한 후, ③ 이들 자료로부터 축산농가로부터 최근접 하천까지의 거리 그리고 폐수 이동경로를 추적하는 프로그램을 개발하고, ④ GIS기반의 강우-유출해석을 통하여 축산폐수의 배출가능성이 높은 축산농가들을 파악한 후에, ⑤ 최종적으로 적지선정은 유역내의 지형조건과 토지이용조건 그리고 축산폐수의 흐름경로를 중심으로 선정하고자 한다.

II. 유역의 GIS 자료 구축

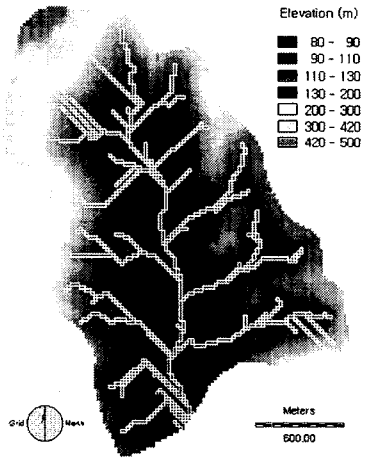
본 연구의 대상유역 (그림 1)으로는 경기도 안성군 고산면 (정동리, 야동리, 쌍령리)에 위치하고, 유역면적 4.12㎢ 내에 20개의 소규모 축산농가가 산재해 있는 지역이다.

1. 수치고도모델 (Digital Elevation Model; DEM)과 하천도

본 연구에서의 수치고도모델은 1: 50,000 축적의 등고 원판을 사용하여 스캐닝, 벡터라이징, 속성입력의 과정을 통하여 수치지도를 작성한 후, Arc/Info (ESRI, 1999)를 이용하여 TIN, LATTICE로 DEM을 구성하였다. 그림 2는 Idrisi (Eastman, 1997)에서 연구대상지역을 유역경계로 clipping한 DEM과 하천도를 보여주고 있다. 하천도는 DEM자료를



<그림 1> 대상유역 위치도



<그림 2> DEM과 하천도

GRASS (U.S. Army CERL, 1993)로 불러들여 r.watershed 명령어를 이용하여 생성시켰다.

2. 토양도

토양도는 농촌진흥청 토양물리과에서 제작된 개략토양도(1:50,000)로부터 구축하였다. Arc/Info에서 토양부호별로 입력된 자료를 토양종류별로 재분류하였는 바, 자갈이 섞인 사양토 7.2 %, 사양토 14.5 %, 양토 3.5 %, 식양토 74.8 %로 분류되었다. 산림지역은 배수가 잘 안되는 식양토가 대부분이며, 하천주변의 논과 밭지역은 사양토와 양토로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

3. 토지이용도

토지이용도는 1 : 50,000 축척의 Mylar를 사용하여 스캐닝, 벡터라이징, 속성입력의 과정을 통하여 Arc/Info 수치지도를 작성하였다. 분류결과, 논 10.1 %, 밭 3.4 %, 산림 73.7 %, 축산지역 7.8 %, 기타 5.0 %로 전형적인 소규모 농촌유역의 경지이용형태를 보이고 있다.

<표 1> 대상유역내 축산농가 현황

축산농가 번호	축 종	축사면적 (평)	운동장 면적(평)	분뇨처리시설	지붕의 유무	퇴비화(%)
1	한우 8두	30	-	톱밥발효	0	100
2	젖소 15두	30	40	톱밥발효	0	100
3	젖소 35두	30	200	톱밥발효	0	100
4	돼지 100두	200	-	톱밥발효, 정화조	0	90
5	젖소 10두	100	-	톱밥발효	0	100
6	돼지 170두	95	-	위탁처리	0	90
7	한우 11두	100	-	톱밥발효	0	100
8	젖소 25두	120	50	톱밥발효	0	100
9	젖소 13두	150	-	톱밥발효	0	100
10	젖소 30두	40	100	톱밥발효	0	100
11	젖소 30두	250	100	위탁처리	0	100
12	젖소 19두	120	350	톱밥발효	0	100
13	젖소 20두	50	-	톱밥발효	0	100
14	젖소 25두	45	30	무처리	×	100
15	젖소 34두 한우 25두	200	-	톱밥발효	0	100
16	젖소 8두	25	-	무처리	×	100
17	젖소 5두	15	-	무처리	×	100
18	돼지 800두	400	-	톱밥발효, 위탁처리	0	100
19	젖소 15두	150	-	무처리	0	100
20	한우 18두	120	150	톱밥발효	0	100

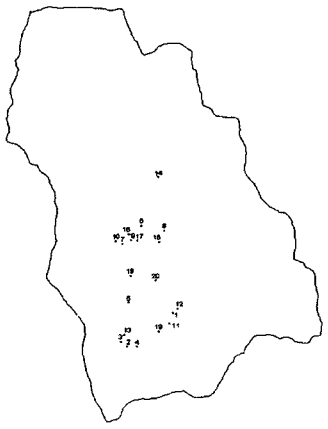
<표 2> 축산농가와 하천과의 거리별 분포

축산농가와 하천간의 거리	10m이내	10m~30m	30m~50m	50m~100m	100m이상
축산농가수	3	11	2	3	1

III. 축산농가 현황

유역내의 축산농가 위치를 파악하기 위하여 현장답사와 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 축산농가의 위치를 파악하였으며, 위치분포도는 그림 3과 같으며, 현황은 표 1과 같다. 한편 Idrisi (Eastman, 1997)의 Buffer 기능을 사용하여 축산농가가 하천에서 몇 m이내에 위치하는지를 파악하였는데, 그 내용을 정리하면 표 2와 같다. 유역내 20개의 축산농가 중 19개 농가가 하천에서 100m 이내에 위치하고 있었으며, 10m ~30m 거리에 분포한 축산농가의 비율이 가장 높게 나타났다.

한편 축산농가에서 실제 하천으로 유달되는 오염부하량은 분뇨처리를 하지 않고, 지붕이 없는 14, 16, 17번 축산농가에서 크게 발생하는 것으로 예상되며, 이들 농가는 모두 하천에서 30m이내의 거리에 위치하는 것으로 나타났다. 따라서 이들 축산농가에서 배출되는 오염배출량이 하천의 수질에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다.

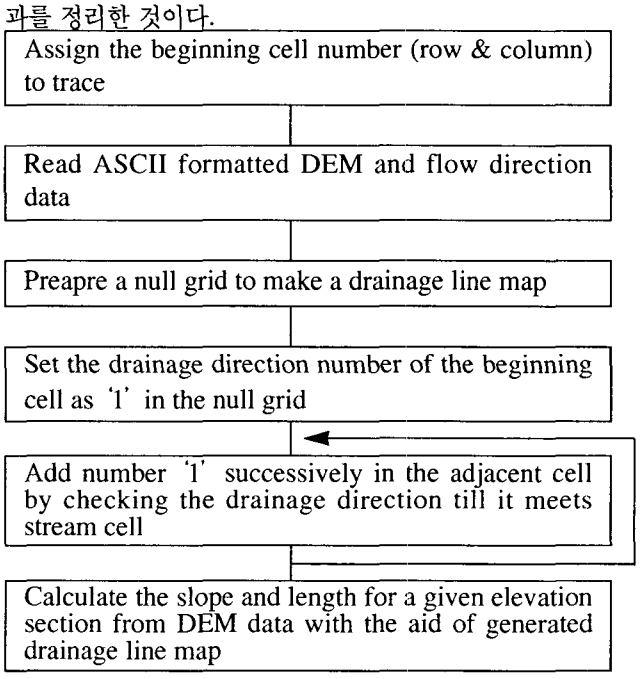


<그림 3> 축산농가 위치분포도

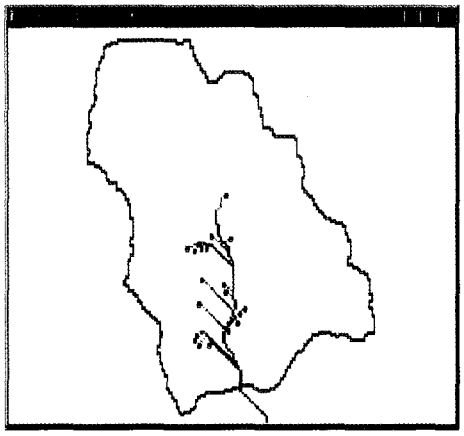
IV. 격자기반의 축산폐수 이동경로 추적기법 개발

본 연구에서는 Kim (1998)의 연구결과를 보완하여 DEM, 축산농가 위치도, DEM으로부터 발생시킨 흐름방향도 (flow direction map)와 흐름누적도 (flow accumulation map)를 이용하여 축산농가에서 하천까지의 축산폐수 이동경로를 자동으로 추출하는 알고리즘과 이동경로의 표고별 길이와 평균경사를 산정하는 프로그램을 개발하였다.

그림 4는 축산농가에서 하천으로 축산폐수가 이동하는 경로와 거리를 계산하는 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이며, 그림 5는 프로그램으로 검색된 결과를 보여주고 있으며, 표 3은 축산농가에서 최근접 하천까지 그리고 축산농가에서 유역출구까지의 거리 및 경사를 프로그램에서 각각 계산한 결과를 정리한 것이다.



<그림 4> 축산폐수 이동경로 추적 흐름도



<그림 5> 축산폐수 이동경로 추적 결과

V. 이동경로내 완충대 적지 분석

일반적으로 오염물질은 강우시 지표 유출수에 함유되어 단기간에 배출된다. 따라서 지표유출수가 발생된 지역과 지속되는 지역을 파악하면 어느 지역에서 오염물질이 배출될 가능성이 많은 지를 예상할 수 있게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 강우가 진행되면서 지표유출이 발생되는 지역을 가시적으로 파악할 수 있는 격자기반의 강우-유출 계산모형(김성준, 1998; 김성준 등, 1998)을 이용하여 지표유출을 모의하였다. 모형의 입력자료로는 유역의 수치고도모델, 흐름방향도, 하천도, 토양도, 토지피복도를 사용한다. 이 모형은 이들 GIS자료를 ASCII 형식의 파일로 불러들인다. 모형은

<표 3> 축산농가에서 최근접 하천 및 유역출구까지의 거리 및 경사

축산농가 NO.	최근접 하천까지		유역출구까지	
	거 리(m)	평균경사 (%)	거 리	평균경사 (%)
1	113.1	0.091	687.6	0.016
2	56.6	0.104	572.5	0.214
3	28.3	0.102	649.0	0.149
4	20.0	0.173	451.1	0.239
5	56.6	0.000	809.0	0.096
6	169.7	0.003	1393.9	0.075
7	56.6	0.100	1487.0	0.083
8	48.3	0.041	1340.8	0.077
9	20.0	0.095	1402.2	0.792
10	20.0	0.195	1547.0	0.122
11	28.3	0.102	639.4	0.165
12	169.7	0.112	744.2	0.145
13	20.0	0.095	604.2	0.198
14	28.3	0.004	1750.4	0.072
15	20.0	0.000	1244.2	0.075
16	20.0	0.940	1430.4	0.080
17	20.0	0.045	1362.2	0.076
18	339.4	0.055	1050.4	0.079
19	28.3	0.028	506.2	0.186
20	84.8	0.000	952.5	0.078

수행되면서 유역의 시간적 · 공간적 유출심, 유출량, 토양수분 분포도 등을 주어진 시간간격으로 ASCII 파일형식의 도면으로 출력하며, 격자기반 GIS 소프트웨어의 형식으로 전환시켜 그래픽으로 표현한다.

유출해석을 위하여 3시간 지속 총 100mm (30mm+50mm+20mm)의 강우에 대한 유출해석을 실시하였다. 본 모형에 의한 출력결과로서 유역에서의 시간별 유출분포변화를 발생시켰다. 그림 6은 강우개시후 5시간, 7시간이 경과될 때의 유출분포도를 보여주고 있다. 강우 개시후, 7시간 경과 후의 지표유출상태에 의하면 특히 6, 15, 18, 19, 20번 축산농가에서 강우유출에 따른 폐수배출이 지속될 수 있는 가능성을 보이고 있다. 이들 농가는 분뇨관리를 위한 지붕이 있는 상태이므로, 강우시에 관리를 잘 한다면 하천으로의 폐수 유달량을 최소화할 수 있을 것으로 생각되며, 19번 축산농가 하류부에 적당한 부지를 선정하여 습지 또는 유수지를 선정하는 것이 필요하다는 결론을 얻을 수 있다.

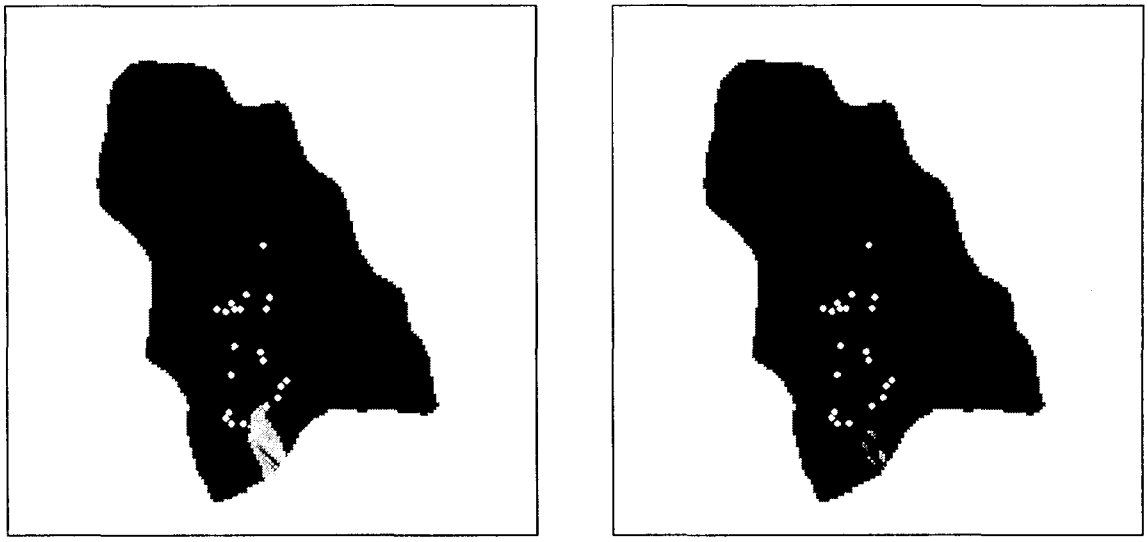
축산폐수의 자연정화를 위한 적지분석의 수문 · 수리학적 조건으로는 하천으로 유입된 축산폐수들을 대부분 수용할 수 있고, 하천 주변의 토지를 대상으로 경사가 급하지 않고, 폐수의 흐름조건이 원만한 지역을 생각할 수 있다. 따라서 구축한 GIS자료와 유출해석 결과를 이용하여 19번 축산농가 하류부에 습지 또는 유수지를 조성하기 위한 적지분석 조건으로는 ① 19번 축산농가보다 표고가 낮은 지역, ② 논, 밭, 기타로 사용되고 있는 토지, ③ 경사는 2% 이하이고, ④ 조성되는 습지에 하천수의 유입과 유출이 원만하도록 유출해석에 의한 지표유출경로 (7시간 경과 후에도 지표흐름이 존재하는 지역)를 고려하였다. 모의결과는 그림 7과 같다. (a)는 조건 ①~③을 만족하는 지역으로서 적지로서 가능한 총 대상면적은 79,200 ㎡이었고, (b)는 ④의 조건을 추가하였을 때로서 총 면적은 12,800㎡으로 나타났다.

VII. 요약 및 결론

지리정보시스템을 활용하여 축산농가가 산재해 있는 농촌소유역에서 축산폐수의 자연정화 효과를 높일 수 있는 완충지역을 선정하는 기법을 개발하였다. 대상유역으로는 경기도 안성군 고산면에 위치한 유역면적이 4.12㎢ 내에 20개의 소규모 축산농가가 산재해 있는 지역을 선정하였다. 적지분석을 위하여 수치고도모델, 하천도, 토양도, 토지이용도 등의 GIS자료를 구축한 후, 이들 자료로부터 축산농가로부터 최근접 하천까지의 거리 그리고 폐수 이동경로를 추적하는 프로그램을 개발하고, GIS기반의 강우-유출해석을 통하여 축산폐수0의 배출가능성이 높은 축산농가들을 파악한 후에, 유역내의 지형조건과 토지이용조건을 고려하여 유역 내에 자연정화를 위한 적지를 선정하였다.

(a) 5hr (b) 7hr

<그림 6> 강우개시후 (a) 5시간, (b) 7시간이 경과된 때의 지표유출 분포도



(a) 표고, 토지이용, 경사도를 고려한 경우 (b) (a)의 조건 + 지표흐름조건을 고려한 경우

<그림 7> 완충대 조성이 가능한 지역

參考文獻

1. 관계부처합동, 1997, 물관리종합대책 세부실천계획.
2. 김성준. 1998. 격자기반의 운동파 강우유출모형 개발 (I)-이론 및 모형-. 한국수자원학회지. 31(3): 303-308.
3. 김성준, 채효석, 신사철. 1998, 격자기반의 운동파 강우유출모형 개발(II)-적용예-, 한국수자원학회지. 31(3). 309-315.
4. 이기영, 정광용, 김현용, 이철우, 1998, 축산폐수가 하천의 수질에 미치는 영향분석 및 개선대책의 제시, 경기개발연구원.
5. ESRI. 1999, ARC/INFO Ver. 8.01, Redlands, CA.
6. Eastman, J.R. 1997, Idrisi for Windows-User's Guide Ver 2.0. Clark University, Worcester, MA.
7. Kim, Seong J. 1998, Generation of Drainage Networks and Basic Topographic Parameters Extraction from Digital Elevation Model for Hydrological Applications, KSAE. 40: 7-13.
8. U.S. Army CERL. 1993, GRASS 4.1 Users Manual. Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.