

## 계층분석적 의사결정기법을 이용한 비점원오염 관리지역의 선정

### Selecting Target Sites for Non-point Source Pollution Management Using Analytic Hierarchy Process

신정범\* · 박승우\*\* · 김학관\*\*\*† · 최라영\*\*\*

Shin, Jung Bum · Park, Seung Woo · Kim, Hak Kwan · Choi, Ra Young

#### Abstract

This paper suggests a hierarchical method to select the target sites for the nonpoint source pollution management considering factors which reflect the interrelationships of significant outflow characteristics of nonpoint source pollution at given sites. The factors consist of land slope, delivery distance to the outlet, effective rainfall, impervious area ratio and soil loss. The weight of each factor was calculated by an analytic hierarchy process(AHP) algorithm and the resulting influencing index was defined from the sum of the product of each factor and its computed weight value. The higher index reflect the proposed target sites for nonpoint source pollution management. The proposed method was applied to the Baran HP#6 watershed, located southwest from Suwon city. The Agricultural Nonpoint Pollution Source(AGNPS) model was also applied to identify sites contributing significantly to the nonpoint source pollution loads from the watershed. The spatial correlation between the two results for sites was analyzed using Moran's I values. The I values were 0.38~0.45 for total nitrogen(T-N), and 0.15~0.22 for total phosphorus(T-P), respectively. The results showed that two independent estimates for sites within the test watershed were highly correlated, and that the proposed hierarchical method may be applied to select the target sites for nonpoint source pollution management.

*Keywords : Non-point Source Pollution Management, AHP, GIS, AGNPS, Spatial Analysis, Moran's I*

#### 1. 서 론

비점원오염 관리지역은 유역내 위치하는 지역 중 비점원오염이 수질오염에 미치는 영향이 큰 지역으로 오염원에 대한 제어 및 관리가 필요한 지역을 말한다(MOE, 2006). 비점원오염은 오염물질이 특정 지점

이나 장소에서 배출되어 오염을 일으키는 점원오염과 달리 광범위한 지역에 걸쳐 발생하는 형태의 오염이다. 비점원오염 발생에 의한 오염을 제어할 수 있는 종합적인 관리방안으로 다양한 최적관리기법(Best Management Practices; BMP)이 제시되었다. BMP는 비점원오염의 발생 및 유출을 최소화하는데 적합한 유·무형의 방법을 뜻한다. 최근에는 BMP를 적용하였을 때 비점원오염 발생량 대비 배출부하량을 어느 수준까지 줄이는 등의 제어 및 관리 목표나 수준을 적용할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Kang et al., 2003; Amanda and Allen, 2006). 또한 다양한

\* 서울대학교 지역시스템공학부 대학원

\*\* 서울대학교 지역시스템공학부 교수

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4591

Fax: +82-2-873-8725

E-mail address: kwans2@snu.ac.kr

종류의 BMP를 유역내 위치하는 모든 비점원오염원에 적용하기 보다는 유역 출구에 비점원오염 영향이 큰 지역을 대상으로 적정한 최적관리기법을 적용하는 것이 더욱 중요하다(Kwun et al., 1998).

비점원오염 관리지역 선정 방법에는 원단위법을 적용하는 방법, GIS를 이용한 USLE에 의한 토양유실량 추정에 의한 방법, 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출을 이용한 정성적인 분석 방법, 비점원오염 모델링에 의한 방법 등이 있다. Jeon(1996)은 GIS를 이용하여 비점원오염의 원인지역 분석을 위해 유출, 토양유실량 간의 공간분석을 시도하였다. Michele et al.(2005)은 하천오염 기여지역 분석을 위하여 하천오염에 기여하는 지수를 산출하여 전문가그룹에 의한 영향계수를 이용하는 연구가 있었다. Heathwaite et al.(2005)은 오염원인물질이 지표수의 흐름방향 구간내에서의 공간적인 변화를 모델링하여 오염물질이 증가하는 지역을 제어 및 관리하여 유출구에서의 부하량을 감소시킬 수 있다고 하였다. Kang(2002)은 AGNPS와 SWAT 모형을 이용한 격자 및 수문단위 소유역에서의 오염부하량을 분석하여 최적관리기법, 수환경정화공법 등을 적용한 단위구역별 삭감량을 제시하여 결과 분석하였다.

한국환경정책·평가원(KEI, 2006)은 전국 840개 소유역을 대상으로 원단위법을 이용한 오염배출부하량 자료를 활용하여 생물학적 산소요구량, 총질소, 총인인 각각 비점원오염 기여율이 50% 이상인 유역을 비점원오염 관리지역 대상으로 제시하였다. 이 방법은 비점원오염 관리가 우선적으로 시행되어야 할 대상유역의 선정방법으로 적합한 것으로 평가되고 있다.

그러나 비점원오염 원단위법에 의한 배출부하량만을 기준으로 하여 관리지역을 제시하는 방법은 각 비점오염원의 배출 및 유출에 있어서 수리학적 특성에 의하여 부하량의 증·감에 작용하는 인자 등이 고려되지 않는 경우가 많다. 비점원오염 물질의 배출은 수문현상과 밀접한 관련을 맺고 있기 때문에 이러한 요소들을 고려하여 비점원오염 관리지역을 선정할 필요가 있다. 전문가그룹에 의한 오염기여지역 선정방법의 경우 비점원오염의 도달률에 작용하는 인자를 충분히 고려하지 못하며 검증과정에 있어서 불합리성이

내포하고 있는 단점이 있다. 또한 비점원오염 모델링에 의한 방법은 물리·화학적 기반에 의하여 운용되므로 결과에 대하여 타당성을 가지고 있으나, 방대한 양의 입력자료를 필요로 하며 적용 가능한 유역면적의 한계로 인하여 모델의 적용이 쉽지 않은 경우가 빈번하다(Michele, 2005).

본 연구에서는 복잡하고 많은 시간과 비용이 소요되는 비점원오염 모델보다는 간단하면서도 명확하게 결과를 제시할 수 있는 방법을 이용하여 비점원오염 관리지역 선정 방법을 논의하고자 한다. 비점원오염 기여 인자를 선정하고 각 인자의 중요도를 계층분석적 의사결정기법을 이용하여 비점원오염 관리지역 선정 방법을 제시하고자 한다. 이는 각 비점원오염 기여인자의 자료만으로 방대한 규모의 유역에도 적용이 가능하도록 하여 향후 대권역, 중권역 규모의 유역에 적용이 가능하며 계층분석적 의사결정기법의 특성상 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려하기가 용이하다는 장점을 가지고 있어 본 논문에 이용토록 하였다. 그리고 의사결정기법의 특성상 물리적, 화학적인 오염물질의 거동에 대한 모의가 불가능한 한계점에 대한 비교분석으로 다기준 의사결정기법을 이용해 분석된 공간적 분포와 비점원오염 모델(AGNPS)을 통해 분석된 비점원오염부하량의 공간적 분포를 상호 비교 등을 통하여 비점원오염 관리지역 선정의 타당성 및 합리성을 검증하도록 하였다.

## II. 계층분석적 의사결정기법

### 1. 비점원오염 기여인자

본 연구에서는 원단위법에 의한 비점원오염발생량에 대하여 유달거리, 불투수면적의 비율, 지면경사, 토양유실량, 유효강우비를 비점원오염 유출에 기여하는 인자로 제시하였다. 이들 인자는 오염물질이 수체까지 이동하는 동안에 희석, 확산, 이류, 침전, 흡착, 탈착, 용해, 침투 등의 자연적 현상을 발생시키는 것으로 오염물질의 거동에 큰 영향을 준다. 유달거리는 오염물질이 발생하여 유역의 출구점까지 이르는 거리를 의미하며 오염물질의 자연적인 정화작용에 있어서 유달거리가 길수록 정화작용 효율성도 높아진다.

불투수율은 오염부하량 증가에 영향을 미치는 요인으로서 Schueler(1994)은 불투수율 2배증가시 오염 부하는 1.7~2.0배 증가한다고 보고하였다. 지면경사의 경우 각 격자의 지면평균경사가 클 수록 오염물질의 배출특성이 빠르며 오염물질의 침전, 흡착 등의 자연적 현상에 의한 오염물질 삭감율을 크게 낮추는 작용을 한다. Kwun et al.(1998)은 토양 침식에 의해 발생하는 토양유실량이 각종 오염물질의 이송 매개체로서 인과 질소 같은 영양물질이나 독성 물질을 운송하여 수질에 직접적인 영향을 미치는 것으로 제시하였으며 유사와 수문현상이 비점원오염 배출부하량과 양의 상관관계를 보이는 것으로 제시하였다.

## 2. 비점원오염 영향지수(NPSI)

비점원오염 관리지역을 선정하기 위하여 유역내 위치하는 각 격자별로 비점원오염 영향지수를 산출하였다. 비점원오염 영향지수는 유역내 비점원오염에 의하여 유역 출구에 영향을 기여하는 정도를 수치화한 것으로, 식 (1)과 같은 과정에 의하여 격자별로 지수 값을 산출하였다.

$$NPSI_i = NPS_i \times W_{NPS} + SL_i \times W_{SL} + ER_i \times W_{ER} + IMP_i \times W_{IMP} + DD_i \times W_{DD} + S_i \times W_S \quad (1)$$

여기서,  $NPS_i$ 는 비점원오염 영향지수,  $NPS$ 는 비점원오염발생량,  $SL$ 는 토양유실량,  $ER$ 는 유효강우비,  $IMP$ 는 불투수면적 비율,  $DD$ 는 유달거리,  $S$ 는 지면경사를 나타낸다. 아래첨자  $i$ 는 전체격자 중  $i$ 번째 격자를 가리키며,  $W$ 는 각 인자에 해당하는 가중치를 나타낸다.

각 지표에 대하여 식 (1)의 적용시 각 인자들을 동일한 척도 하에서 평가하기 위해 속성 값의 일반화(normalization)가 필요하다. 즉, 모든 속성 값을 0~1 사이의 값으로 일반화를 해주어야 한다. 일반화 방법에는 여러 가지가 있으나 연구에서는 일반적으로 많이 쓰이는 방법 중의 하나인 선형변환 방법을 사용하였으며, 식 (2)와 식 (3)에서 수치가 높을수록 높은 영향을 가지는 인자에 대해서는 최대치를 기준으

로 하고, 수치가 낮을수록 높은 영향을 가지는 인자에 대해서는 최소치를 기준하여 각 인자를 변환하는 방법을 사용하였다.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad \text{if maximum value} \quad (2)$$

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad \text{if minimum value} \quad (3)$$

여기서  $x'_{ij}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내에 있는  $i$ 번째 화소값의 일반화된 값이며  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내에 있는  $i$ 번째 화소값,  $x_j^{\max}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내의 최대 화소값,  $x_j^{\min}$ 은  $j$ 번째 평가기준도 내의 최소 화소값이다.

## 3. 인자별 가중치 산정

계층분석적 의사결정기법(Alytic Hierarchy Process; AHP)은 다기준 의사결정 방법 중에서 가장 널리 쓰이는 방법이다. 이 방법은 Saaty(1980)에 의해 개발되었으며, 조직화되어 있지 않은 복잡한 문제를 구성요소로 세분화해 나가는 과정을 통해 효과적인 의사결정이 이루어지도록 유도한다(Park, 1999).

Han(2002)은 AHP 기법을 이용하여 수변구역설정에 기여하는 인자들의 가중 값을 이용하여 수변구역의 영역을 산정하는 기법을 제시하였다. Hong and Park(2003)은 도시근교의 공원입지 선정에 있어서 작용하는 인자들의 가중치 산정을 위해 AHP 기법을 이용하였다.

본 연구에서는 비점원오염 유출기여 인자의 가중치 산정을 위해 AHP 기법 중 쌍대비교 방식을 이용하였다. 쌍대비교 방식은 두 가지 기준을 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있고, 다른 방식에 비하여 이론적인 근거가 명확하며, GIS 기반의 의사결정 문제에 있어 적용이 가장 용이한 방식이다(Hong and Park, 2003). 즉 요소들 간의 상대적 중요도를 나타내는 쌍대비교 행렬을 구성하여 각 인자별 가중치를 계산한다. 쌍대비교 행렬  $A = [a_{ij}]$ 와  $n$ 개의 평가항목의 상대적 중요도를  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ 이라고 하면,

$a_{ij}$ 의 쌍비교치는 식 (4)와 같이 나타내어지며, 쌍대비교 행렬  $A$ 를 다음 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ij} = \frac{W_i}{W_j} \quad (4)$$

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$A \cdot W = n \cdot W$$

식 (5)를 간략히 쓰면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(A - n)W = 0 \quad (6)$$

여기서,  $n$ 은  $A$ 의 고유치(eigenvalue)이고  $W$ 는  $A$ 의 고유벡터이며, 이 때 계산된 최대 고유치  $\lambda_{max}$ 에 대한 고유벡터가 중요도이다.

설문대상은 물, 토양, 환경 분야의 주요학회소속 위원들로서 본 연구 설문대상으로 적합한 전문가들로 구성하였다. 설문표본 수는 45명이며 쌍대비교를 위한 설문지의 질문 예시는 Table 1과 같다. 개별 평가자가 행한 각각의 쌍대비교행렬을 수집하고 일관성 비율(Consistency Ratio) 0.2를 기준으로 각 평가자의 응답에 대하여 일관성이 저조한 행렬구성은 제외하였다. 일관성 검증에서는 전체 45명 중 10명이 부적합한 것으로 나타났으며 적합한 나머지 평가자들의 항목별 고유치의 벡터 값을 산술평균하여 가중치를 통합하는 방법을 적용하였다.

AHP 기법에 의하여 선정된 각 유출기여 인자별 가중치는 Table 2와 같다. 토양유실량이 가장 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으며, 다음으로 유효강우비, 유달거리, 불투수면적 비율, 지면경사 순으로 나타났다. 각 인자별 가중치와 비점원오염 발생량의 가중치 비교를 위해 유효강우비와 비점원오염량 대비 질의를 하였으며, 비점원오염 발생량의 가중치는 0.2387로 나타났다.

Table 1 Example on a questionnaire content

Q) 귀하는 비점원오염 부하량 결정에 두 인자 중 어느 것이 얼마나 중요하다고 생각하십니까?

	중요 <----					----> 중요				
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
유효강우비										지면경사
⋮										⋮
불투수면적 비율										토양유실량

Table 2 Weight of each factor

Factor	Weight
Soilloss in each cell <SL>	0.2650
Effective rainfall <ER>	0.2585
Delivery distance <DD>	0.2444
Impervious area ratio <IMP>	0.1601
Slope <S>	0.0720
Non-point source generation <NPS>	0.2387

### III. 비점원오염 관리지역 선정

#### 1. 시험유역

본 연구에서는 경기도 화성시 봉담면과 팔탄면에 위치하고 있는 발안유역 중 북동쪽에 위치한 HP#6

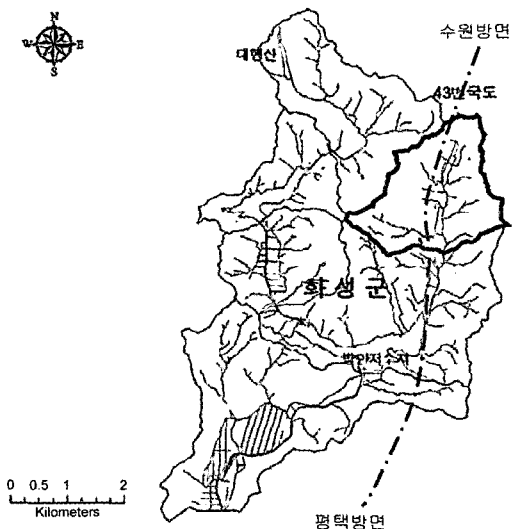


Fig. 1 Geographic Location of the Baran study watershed

소유역을 시험유역으로 선정하였다. Fig. 1은 HP#6을 포함하고 있는 발안유역의 위치를 보여주고 있다. HP#6 소유역에 대한 지목별 토지이용현황은 산림이 1.96 km<sup>2</sup>로서 전체 유역 면적의 51%를 차지하고 있으며, 주거지가 20%, 논이 19%로서 비슷한 비율이었고, 밭이 10%인 것으로 나타났다. 유역면적 3.84 km<sup>2</sup>, 유로장 3.1 km, 유역경사 1.5 km/km, 형상계수가 1.56으로서 정방형의 소유역이다.

## 2. 자료수집 방법

각 인자별 자료는 GIS(Geographic Information System)을 이용하여 유역 내 지형·도형인자를 격자형 자료인 그리드(grid) 자료로 하였으며, Young et al. (1987)이 추천한 셀의 크기와 Jo(1998)의 격자의 크기에 따른 모형의 거동 특성을 연구한 결과로부터 100 m×100 m크기로 하였다.

### 가. 비점원오염 발생량(NPS)

본 연구에서는 토지이용계 부하량이 비점원오염 발생의 주요부분을 차지하므로 이를 비점원오염 발생량으로 정하였다. 토지이용계 부하량 산정을 위해 각 격자별 토지이용은 Landsat-TM(2000.3.20)영상을 이용하여 무감독 분류하여 논, 밭, 임야, 대지, 기타 등 5가지 지목으로 구분하였다. 비점원오염 발생량은 NIER(2002)이 제시한 지목별 발생원단위를 이용하여 격자 단위 면적에 발생원단위를 곱하여 식 (7)과 같이 산정한다. 본 연구에서는 비점원오염의 주요 원인이 되는 총질소 및 총인에 대하여 발생량을 구하였다.

$$NPS = \sum(M_L \times U_L) \quad (7)$$

여기서, NPS는 토지이용계 발생부하량(kg/day),  $M_L$ 는 지목별 토지이용면적(km<sup>2</sup>),  $U_L$ 는 지목별 토지이용 발생원단위(kg/km<sup>2</sup>·day)이다.

### 나. 토양유실량(SL)

격자별 토양유실량을 산정하기 위하여 토양유실량 추정에 널리 쓰이는 범토양유실량 추정식(USLE)을 이용하였으며 식 (8)의 계산식에 의하여 토양유실량을

구하였다(Lee et al., 2006).

$$SL = R \times K \times LS \times C \times P \quad (8)$$

여기서, SL는 연평균 토양유실량(ton/ha/yr)이고, R는 강우가식성인자(MJ/ha·mm/hr)이고, K는 토양 침식성인자(ton/ha/R)이고, LS는 지형인자이고, C는 작물경작인자이고, P는 침식조절관행인자이다.

### 다. 유효강우비(ER)

비점원오염 물질의 배출은 수문현상과 밀접한 관련을 맺고 있으며, 비점원오염 유출은 주로 강우유출에 의해 일어나므로 강우의 영향을 충분히 고려하여야 한다. 따라서 비점원오염부하의 배출에서 강우의 영향을 충분히 고려하기 위하여, 10 mm/day이상 강우량을 부하량의 배출이 일어나는 유효강우량이라 하였으며, 연 강우량에 대한 유효강우량의 합을 ER값으로 사용하였다(Eom, 2004).

### 라. 지형특성 인자

불투수면적 비율(IMP)은 전체 면적에 대한 녹지를 제외한 면적의 백분율을 이용하여 토지의 불투수성 나타내었다. 불투수면적 비율은 Landsat-TM(2000.3.20) 위성영상을 이용하여 격자별 정규식생지수(NDVI)를 이용하여 구하였다. NDVI는 식생의 활력도에 따라 (-1)~(+1)의 값을 갖는 것으로 식생의 활력정도가 토지의 파복정도를 나타낸다고 볼 수 있다(Shin et al., 1996). 유역 출구에 이르는 각 격자별 유달거리(DD)는 ESRI사의 ArcGIS의 ArcHydro Tool을 이용하여 분석하여 자료를 구축하였으며, 지면경사(S)의 경우 DEM(Digital Elevation Map)을 이용하여 각 격자의 지면평균경사를 구하였다.

## 3. 비점원오염 관리지역 선정

식(1)에 의하여 격자별 비점원오염 영향지수를 산정하였으며, 그 결과를 이용하여 비점원오염 관리지역을 선정하였다. 본 연구에서는 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 항목에 대하여 각각의 비점원오염 영향지수를 산정하였는데 이는 각 항목의 지목별 원단위 값

Table 3 Mean and range of nonpoint source pollution influencing index

	Mean	SD	Max	Min
Total Nitrogen	0.588	0.024	1.038	0.320
Total Phosphorus	0.567	0.024	1.038	0.306

의 크기가 다르기 때문이다. 전체 격자에 대한 비점원오염 영향지수를 Table 3에 제시하였다.

비점원오염 영향지수의 값이 높은 지역 순으로 순위화 하여 상위 10%까지를 1등급, 10초과 20%지역까지를 2등급으로 등급화 하고 T-N, T-P에 대하여 Fig. 2에 제시하였다. 각각의 항목에 대하여 제시된 관리지역이 비슷한 지역으로 분석되었으며, 대부분의 지역이 대지 및 밭으로 이용하고 있는 상태였다. 이는 유역내 비점원오염의 관리지역을 보여주며, T-N, T-P의 각각의 항목에 대하여 1등급이 중복되는 지역부터 우선적으로 최적관리기법 등을 적용하여 유역내 비점원오염부하량의 정량적인 삭감이 필요한 것으로 판단된다.

#### IV. AGNPS 모형

AGNPS 모형은 미국 농무성의 농업연구소와 미네

소타 환경보전국 및 토양보전국에서 통일된 방법으로 농촌유역의 비점원오염의 발생원 파악과 이의 억제를 위한 BMPs를 적용하기 위한 목적으로 공동개발된 분포형 매개변수 모형이다(Young et al., 1987; Jeon, 2001). 모형의 지형학적 입력자료는 GIS를 이용하여 기본도로부터 주제도를 추출하도록 하였다. 추출된 주제도는 격자로 분할하고, 격자별 속성 값을 갖는 ASCII 코드로 전환하여 모의토록 하였다. AGNPS 모형의 강우자료는 1996년부터 2000년까지의 화성군 팔탄면사무소에 설치된 강우계로부터 수집된 강우자료를 이용하였다. 수위자료는 1996년부터 2000년까지 HP#6측점에 WL-14 Global Water Level Logger 수위계를 설치하여 자료 수집하였고, 유량자료는 정기적인 현장 조사와 폭우시 수시로 현장 출장을 통하여 유량 측정하며 비강우시 년10회의 정기적인 유량 측정을 통하여 수위-유량관계를 조사하였다. 비점원오염에 의한 부하량 모의를 위해 강우량이 많은 8회의 강우사상에 대하여 수문자료 분석하여 Table 4에 제시하였다. 모형의 오염원자료는 토지이용에 따른 비점원오염에 의한 결과만을 비교하기위해 점오염원자료는 제외시켰다.

Table 4 Observed rainfall, rainfall erosivity factor, runoff and peak runoff rates

Name	Rainfall (mm)	EI30 (MJ · mm/ha · h)	Runoff (mm)	Peak (m3/s)	AMC	Name	Rainfall (mm)	EI30 (MJ · mm/ha · h)	Runoff (mm)	Peak (m3/s)	AMC
S960617	181.50	1305.09	86.94	29.05	1	S970804	122.0	1520.23	85.90	30.36	3
S970625	108.50	828.19	47.32	14.19	1	S990802	192.02	802.49	169.78	21.01	3
S970630	135.50	1035.84	58.77	26.99	1	S990920	147.32	353.34	95.00	14.80	3
S970803	108.50	1711.02	60.0	22.43	1	S000722	303.53	2569.85	187.94	47.46	1

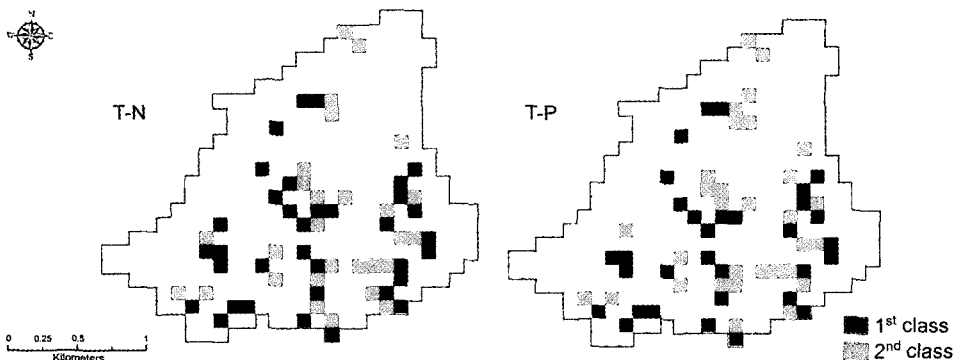


Fig. 2 The target sites for non-point source pollution management

Kang, et al.(2003)은 HP#6을 대상으로 AGNPS를 적용한바 있으며, 이 유역에 적합한 최적의 매개변수를 제시하였다. 제시한 매개변수는 유출량, T-N, T-P, SS에 대하여 각각  $R^2 = 0.96, 0.74, 0.71, 0.66$ 의 높은 적용성을 보여, 본 연구에서도 HP#6유역에 대한 AGNPS 모형 모의를 위하여 Kang, et al.(2003)이 제시한 매개변수를 이용하였다. Table 4에 제시된 8회의 강우사상에 대하여 AGNPS 모의하여 격자별 비점원오염 부하량(T-N, T-P)을 구하였다.

## V. 비점원오염 관리지역 선정결과의 비교

### 1. 격자별 일치도 비교

본 연구에서 제시한 관리지역과 AGNPS 모형의 모의를 통하여 선정된 결과를 비교하고자 하였다. 본 연구의 방법으로 선정된 1등급지역과 AGNPS 모의에 의한 1등급 지역에 대하여 중복되는 지역(38개 격자)을 Fig. 3에 도시하였다. T-N의 경우 26.3%(10격자), T-P는 29.0%(11격자)의 격자 일치도를 보였으며, 중복이 되는 지역의 토지이용현황은 나대지 및 밭으로 분석되었다. 나대지의 경우 불투수면적의 비율에 의한 영향이 크게 작용하였으며, 밭의 경우 지면경사 및 토양유실량 영향으로 분석되었다. 그리고 상위 10%초과 20%까지 2등급에 해당하는 지역을 추가 선정하여 중복지역(76개 격자) 분석결과, T-N의 경우 63.2%(48격자), T-P는 75.0%(57격자)의 격자 일치도를 보였다. HP#6 소유역의 경우 격자별 비점원오염 발생량이 절대적으로 적은 소유역이어서 AGNPS

모형 모의시 격자별 수문·수리학적 인자에 의하여 민감하게 반응을 보이기 때문인 것으로 분석되었다. 이는 상대적으로 유역 면적이 커서 오염 부하량이 큰 유역에 적용시 오차에 의한 영향을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

## 2. 공간적 상관성 분석

앞서 제시한 관리지역의 격자별 비교에 더하여 전체 격자에 대한 공간적 결과를 분석하기 위하여 공간적 상관성 분석을 하였다. 공간적 상관이란 어떠한 현상의 공간적 분포 패턴을 기술하고 설명하는데 있어서 변량의 크기가 유사한 지역끼리 서로 이웃하고 있는 현상을 의미한다. Moran's I는 공간적 자기성을 측정, 검정하는 방법으로 공간적 상관성을 측정하기 위해 고안한 통계치로서 Cliff and Ord (1973)에 의하여 정립 및 일반화되었다. Moran's I는 local Moran's I와 global Moran's I로 나뉘어져 있다. local Moran's I는 임의의 지점에서의 변량과 주변지역의 변량들과의 상관성 정도를 측정하는 것이며, global Moran's I는 local Moran's I를 전 지역에 대하여 구한 다음 평균한 것이다. global Moran's I를 구하는 식은 식(7)과 같으며, 1에 가까울수록 양의 정적 상관관계가 강하게 나타나며, -1에 가까울수록 음의 부적 상관관계가 강하게 나타남을 보여준다.

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j v_{ij}} \cdot \frac{\sum_i \sum_j v_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

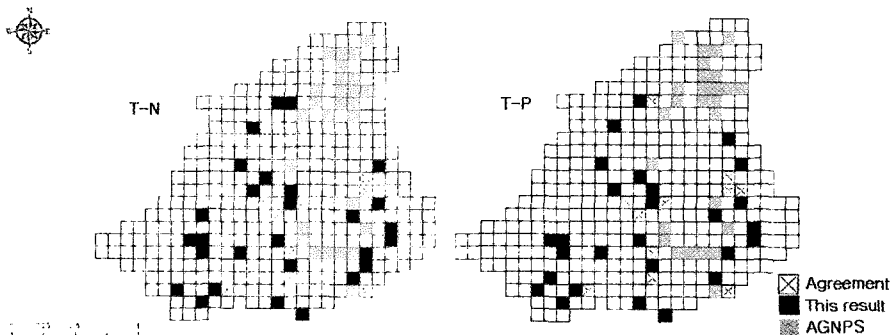


Fig. 3 The comparison of management sites on each method (1st class)

Table 5 Moran's I between this result and AGNPS model

Item	96-06-17	97-06-25	97-06-30	97-08-03	97-08-04	99-08-02	99-09-20	00-07-22	Average
T-N	0.419	0.378	0.398	0.378	0.454	0.444	0.450	0.441	0.420
T-P	0.188	0.161	0.182	0.161	0.153	0.163	0.150	0.219	0.172

여기서,  $n$ 은 영상내의 총 화소개수이며,  $x_i$ ,  $x_j$ 는 각각  $i$ 와  $j$ 위치에서의 기준영상과 대상영상의 속성 값이다.  $v_{ij}$ 는  $(i, j)$  위치에서의 공간 가중치 행렬의 원소이다.

공간 가중치 행렬이란 화소내의 인접 원소들끼리의 거리에 대한 가중치를 행렬 형식으로 나타낸 것으로, 일반적으로 거리에 반비례하거나 거리의 제곱에 반비례하는 조건을 이용하여 거리가중치를 계산한다. 가중치의 총합을 1로 만들기 위해 행 표준화 과정을 거치며(Park, 2006), 중심화소로부터 거리의 제곱에 반비례하게 가중치를 적용한  $5 \times 5$  크기의 공간가중치 행렬을 구성하여 적용하였다.

본 연구에서는 global Moran's I를 이용하여 AHP 기법에 의한 비점원오염부하 영향지수 분포와 AGNPS 모형에 의한 비점원오염 부하량 격자별 분포의 공간적 상관성을 분석하였다. AHP기법에 의해 모의된 공간분포를 대상영상으로 정하였고, AGNPS 모형에 의해 모의된 8개 강우사상에 의한 비점원오염 부하량(T-N, T-P)의 공간분포를 기준영상으로 정하였다.

두 연구방법에 의한 격자별 속성 값의 공간적 분포 상관성을 분석한 결과를 Table 5에 제시하였다. 강우사상별 Moran's I 값이 T-N의 경우 0.378~0.454, T-P의 경우 0.150~0.219의 범위를 보여 두 연구방법에 의한 결과는 높은 정적인 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에 의한 격자별 비점원오염 영향지수의 분포가 AGNPS 모형의 격자별 분포와 유사한 경향을 보인다는 것을 말한다.

## VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 비점원오염 모델들의 실제 가용자료 부족 및 통계학적 모델의 적용이 불가능한 한계점에 대한 방안으로 간단하면서도 명확하게 결과를 제시할 수 있는 방법을 제시하였다. 비점원오염에 영향을

미치는 인자들을 조사하고 계층분석적 의사결정기법(AHP)을 이용한 비점원오염 영향지수를 제시하였으며, 이를 이용하여 유역내 비점원오염에 대한 관리지역을 선정하게 된다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 비점원오염 유출 기여 인자로 유효강우비, 불투수면적 비율, 유달거리, 지면경사, 토양유실량을 제시하였으며, 발안저수지 유역의 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하여 각 인자와 수문 및 도형자료를 구축하였다.

2) 각 인자간의 상호 가중치를 산출하기 위해 비점원오염 및 수질, 토양 분야의 전문가를 대상으로 AHP 기법을 이용하여 각 인자간의 가중치를 산출하였다. 토양유실량이 가장 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으며, 다음으로 유효강우비, 유달거리, 불투수면적 비율, 지면경사 순으로 나타났다.

3) 산정된 가중치를 이용하여 단순 부가 가중법에 의하여 격자별 비점원오염 영향지수를 산정하였으며, 이에 의하여 유역내 위치하는 단위구역 중 비점원오염 영향에 대하여 관리가 필요한 지역으로 선정·제시하였다.

4) 본 연구에서 제시한 관리지역과 AGNPS에 의한 비점원오염 부하량의 비교에서 T-N의 경우 34%의 격자 일치도를 보였으며, T-P의 경우 T-N에 비하여 낮은 17%의 격자 일치도를 보였다.

5) AHP기법에 의한 비점원오염 영향지수 분포와 AGNPS 모형에 의한 비점원오염 부하량 격자별 분포의 공간적 상관성을 분석한 결과 Moran's I의 값이 T-N의 경우 0.378~0.454, T-P의 경우 0.150~0.219의 범위로 나타나 두 연구방법에 의한 결과는 높은 정적인 상관성을 갖는 것으로 분석되었다.

6) 관리지역의 일치도 판별과 Moran's I를 이용한 공간적 상관성 분석 결과, 본 연구에서 제시된 접근방법은 향후 대규모 유역에서의 비점원오염 제어 및 관



리를 위한 관리지역 선정에 사용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Reference

1. Heathwaite, A. L., P. F. Quinn & C. J. M. Hewett, 2005, Modelling and managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation, *Journal of Hydrology*, Vol. 304 : pp. 446-461.
2. Amanda, R. B. & T. L. Allen, 2006, Evaluating BMPs in a Claypan Watershed, An ASABE Meeting Presentation.
3. Cliff A. D. & J. K. Ord, 1973, *Spatial Auto-correlation*, London : Pion.
4. Eom. M. C., 2004, Analysis of Pollutant Discharge Based on Temporal and Spatial Characteristics for a Drainage Basin in Tidal Reclaimed Areas, Ph.D. thesis, Seoul National University. (in Korean)
5. Han, H. J., 2002, Design of the riparian buffer zone using GIS and AHP Theory, MS Thesis, Ehwa Woman University. (in Korean)
6. Hong, S. E., S. H. Park, 2003, Analyzing the Location of Urban Neighborhood Parks Using GIS and AHP Techniques, *Korean J. of geology Sci.*, Vol. 38(5): pp.849-860. (in Korean)
7. Jeon, J. A., 2001, Pollutant Loads Estimation by Direct Runoff at a Small Watershed with GIS-AGNPS Linked Model, MS Thesis, Seoul National University. (in Korean)
8. Jeon, H. S., T. G. Kim, G. S. Cho, H. G. Kim, 1996, A GIS method to extract critical area in nonpoint pollution, *J. of KSEE*, Vol. 18(4): pp.451-463. (in Korean)
9. Jo, J. P., 1998, Application of AGNPS model with rural watersheds having complex land use characteristics, MS Thesis, Seoul National University, Korea.
10. Kang, M. S., 2002, Development of Total Maximum Daily Loads Simulation System Using Artificial Neural for Satellite Data Analysis and Nonpoint Source Pollution Models, Ph.D. thesis, Seoul National University. (in Korean)
11. Kang, M. S., S. W. Park, J. A. Jeon, 2003, Estimating Pollutant Loading Using Remote Sensing and GIS-AGNPS model, *Korean Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 45(1): pp. 102-114. (in Korean)
12. Korea Environment Institute (KEI), 2006, A Recommendation of Selection site for Non-point Source Management, KEI. (in Korean)
13. Kwun, S. K., B. Y. Kim, J. S. Kim, T. C. Kim, C. K. Yoon, J. C. Jeong, S. G. Hong, 1998, *Rural Environmental Engineering*, Hyang-Moon Sa. (in Korean)
14. Lee, E. J., Y. K. Cho, S. W. Park, H. K. Kim, 2006, Estimating Soil Losses from Saemangeum Watershed based on Cropping System, *Korean Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 48(6): pp.101-112. (in Korean)
15. Michele M., C. Giuliano, B. Fabio & M. Laura, 2005, River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment, *J. of Environmental Management*. Vol(77): pp.93-98.
16. Ministry of Environment in Korea(MOE), 2006, The report paper : A Recommendation opening of Selection site for Non-point Source Management, MOE. (in Korean)
17. National Institute of Environmental Research (NIER), 2002, *Technique Guideline for Total Pollution in a watershed*.
18. Park, W. J., 2006, A Study on the Fire Detection Method for Satellite Image Using Multi-

- criteria Decision Analysis, MS Thesis, Seoul National University. (in Korean)
19. Saaty, T. L., 1980, The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill.
20. Schueler, T. R., 1994, Watershed Protection Techniques: A Quarterly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools, Center for Watershed Protection.
21. Shin, S. C., Y. S. Choi, K. W. Ahn, 1996, Land Cover Classification using NDVI in Korean Peninsula, Korean J. Civil Eng. Vol. 16(2): pp.139-146. (in Korean)
22. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, & W. P. Anderson, 1987, AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model: a watershed analysis tool, U. S. Dept. of Agric. Res. Serv., Conserv. Res. Report 35, Washington D. C., pp.77.