

수질개선을 고려한 수변구역의 토지매입 우선순위 산정기법 연구
Development of Land Acquisition Priority in Riparian Zones for the Water
Quality Improvement

최지용 한국환경정책평가연구원 연구위원

주요단어 : 수변구역, 토지취득, 토지이용관리, 수질관리



I. 서 론

최근들어 수변구역은 수질적인 측면과 수량적인 측면 및 하천 생태계 유지측면에
서 그 중요성이 인식되어 이의 효율적 관리를 위해 정부는 1998년에 팔당등 한강상
수원지역에 수변구역제도를 도입하였다. 또한 낙동강, 금강, 영산강 수계의 경우도
2001년 말에 법안이 통과되어 2002년 6월 현재 수변구역 지정 준비를 하고 있다.
수변구역은 수질에 민감한 영향을 미치는 지역으로서 상수원 수질개선을 위해 주민

이 매도를 희망할 경우 정부가 이를 매입하여 녹지조성 등 친환경적으로 관리할 수 있고 실제 한강의 경우 매입이 진행되고 있다. 토지매입은 한정된 재원으로 이루어지기 때문에 수질에 가장 큰 영향을 미치는 토지부터 순차별로 매입함이 바람직하며, 이를 위한 매입우선순위 설정 기법의 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수변구역내 토지매입의 근거자료로 활용할 수 있도록 토지매입 우선순위를 수질개선 측면에 바탕을 두고 산정하고자 한다. 이를 위해 수변구역 유형분류 및 유형별 오염발생 특성을 고찰하고, 오염기여도, 수리, 수문, 지형 특성을 고려한 토지매입 우선순위 설정기법을 개발하고자 한다.

II. 이론적 고찰 및 방법론 설정

수변구역의 매입기준은 수질에 가장 큰 영향을 미치는 지역 순으로 과학적인 분석을 바탕으로 이루어져야 한다. 본 장에서는 수변구역의 유형에 따라 오염기여도를 고려하여 매입 우선순위를 산정하는 이론적 고찰 및 방법론을 설정하고자 한다.

1. 수변구역의 유형구분

수변구역내에서 토지매입 우선순위 산정의 주요 근거가 되는 수변구역내 토지이용별 오염영향을 고찰하였다. 토지이용별 오염영향 분석을 위한 수변구역의 유형분류는 “한강수계 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률” 제 4조에 의거 지정된 팔당 권역의 전체 수변구역을 대상으로 토지이용분류를 한후 이를 바탕으로 하였다. 분류된 유형에 대해서는 토지이용별 오염물 유출특성을 이용해 각 유형별로 수질영향 인자를 고찰하였다.

<표 2-1> 팔당 수변구역의 종횡방향 범위

종방향	횡방향
<ul style="list-style-type: none"> · 남한강(팔당호~충주조정지댐) : 연장 93.5km · 북한강(팔당호~의암댐) : 연장 70.7km · 경안천(하천법상 하천구간) : 연장 47.7km 	<ul style="list-style-type: none"> · 팔당호수질보전특별대책지역 내 : 하천 경계로부터 양안 1km 이내 · 팔당호수질보전특별대책지역 외 : 하천 경계로부터 양안 500m 이내

현재 지정된 수변구역은 지역 여건 및 기존의 토지이용 규제실태 등을 고려하여, 준도시지역(기존취락지구 제외), 준농림지역, 농림지역, 자연환경보전지역 중에서 지정하였고, 도시구역, 하수처리구역, 하수처리예정지역, 기존취락지구, 군사시설

보호구역, 상수원보호구역, 개발제한구역, 농공단지 등은 제외되었다. 유형분류를 위한 기본단위는 한강유역환경관리청(2001)의 ‘한강수변구역관리 기본계획 및 설계 종합보고서’에서 제시된 기본단위와 일치시켰다. 이는 오염원 등 문헌자료의 종합 및 자료의 호환 등의 편의를 위하여 기초 행정구역 경계를 바탕으로 북한강 58개, 남한강 79개, 경안천 34개로 총 171개로 구분되어 있다. 수변구역의 유형은 토지이용현황(임야, 전·답, 대지, 기타)을 바탕으로 다음과 같이 그 면적에 따라 분류하였다.

수변구역의 유형구분은 기존에 지정된 팔당유역의 수변구역에 대한 토지이용현황 분석을 토대로 산지형, 농지형, 도시형, 혼합형(산지+농지, 산지+도시, 농지+도시, 산지+농지+도시)으로 하였다. 유역구분 기준은 대지 30%이상을 도시지역으로, 대지 10~30%인 지역을 혼합형으로 구분하였다. 또한 전답이 60%이상을, 임야의 경우 80%이상을 차지할 경우 각각 농지형과 산지형으로 분류하였고 그 사이의 값이 절충되어 있을 경우 혼합형으로 분류하였다. 이와같은 기준으로 구분하였을 경우 산지+농지 혼합형이 가장 많았다.

<표 2-2> 유역구분 기준

구분	산지형	농지형	도시형	산지+농지	산지+도시	농지+도시	산지+농지+도시
임야	80%이상			30-80%	30-80%	30%미만	30-80%
전·답		60%이상		20-60%	20%미만	20-60%	20-60%
대지	10%미만	10%미만	30%이상	10%미만	10-30%	10-30%	10-30%
개 소	32	20	4	75	2	25	12

1) 농지형

여기서의 농지란 경작지와 가축사육이 행해지는 여타 지역을 포함하며 농업지역 즉, 농지형은 이러한 토지이용이 우세한 지역으로서 농업활동이 오염의 주된 원인이 되는 유형을 일컫는다. 농지형에서의 주요 비점오염원 발생은 목장이나 가축사육에서 발생하는 오염물의 유출, 경작을 위한 비료나 살충제·제초제 등의 살포, 식생 제거 후 표토 방치에 의한 토양의 침식 등이다. 여기에 하수처리 시설이 갖춰있지 않은 마을에서 오수가 유입된다면 지천의 수질은 급속히 악화될 수 있다. 일차적으로는 농지형 유역에서 관리대상 토지는 수변에 인접한 농지로서 살포한 살충제나 비료가 하천으로 유입이 가능성이 큰 지역이 대상이 될 수 있다. 이런 곳들을 매입하여 녹지로 전환할 경우, 농업오염원이 저감됨과 동시에 녹지에 의한 정화효율이 추가되기 때문에 이중의 효과를 볼 수 있을 것이다.

2) 산지형

산지는 식물로 인해 강우에너지가 분산되기 때문에 침식과 비점오염원의 유출이 다른 토지이용에 비해 월등히 적다. 따라서 산지의 물리·생태적 특성을 살려서 비점오염원 정화 작용을 고양시키는 방향으로 관리하는 것이 바람직하다. 산지의 경우도 임도의 개설, 산불, 벌목 등으로 훼손되어 표토 식물이 미약한 지역은 비점오염원 유출원인이 될 수 있다. 따라서 해당 지역에서 비점오염원 발생의 직접적 원인이 되는 요인들을 적절히 파악하여 비점오염원 관리를 위한 산림복구가 필요할 경우 토지상태, 식생상태가 산림지역의 중요한 매입기준이 된다. 농업 지역과 마찬가지로 산지 역시 수계인접성이 가장 중요한 관리기준이 되고 비점오염원저감 효율과 관련된 일련의 기준인 경사도, 토양 및 지형적 특성 등도 고려요소이다.

3) 도시형

도시 유형은 토지취득, 기존 토지이용과의 경합, 경제성 등 여러 측면에서 매입에 현실적 어려움이 크지만, 도시하천은 자연하천에 비해 일반적으로 오염이 쉽고 건천화 경향도 크기 때문에 더욱 철저한 검토를 통한 적지의 토지를 매수해서 친환경적으로 조성할 필요가 있다. 도시지역도 여타 유형과 마찬가지로 수계에서 인접한 정도가 최우선적 기준이며 오염원의 저감을 위한 일련의 기준을 만드는 것이 필요하다. 도시의 상공업, 주거지역 등은 그 자체로 점오염과 비점오염원일 뿐 아니라 불투수층으로 쌓여 있어 강우시 일시적인 오염물의 유출을 유발하기도 한다. 특히 수변에 인접해 있는 이런 토지이용을 적절히 관리함으로써 오염원을 저감할 수 있을 뿐 아니라 토지 회복 상태 역시 친환경적으로 전환되어 수질개선에 기여할 수 있다.

2. 수변구역의 주요 수질영향인자

수변구역 지정목적은 수질개선에 있으므로 토지매입에 어떤 지역을 먼저 매입하느냐는 그 지역이 얼마나 수질에 민감한 지역이며, 또 당해지역의 토지 여건이 비점오염원을 잘 제거하는 지형적, 토양적 특징을 갖추었느냐로 가늠할 수 있다. 수변구역의 오염원 저감기능 중 가장 큰 부분이 오염원 입지억제에 의한 기작으로 이는 기존 시설물에서의 배출제한과 신규시설물의 입지억제에 의해 달성할 수 있다. 그리고 기 발생한 비점오염물을 제거하는 기능으로, 이는 수변녹지의 오염저감능력을 이용하는 것이다. 수변녹지는 탈질화, 식물동화, 토양의 물리·화학적 기작 등으로 질산염 제거가 탁월하며 지표 유출수에 포함되어 수변의 초지대로 유입되는 기타 퇴적물, 인, 살충제 등 역시 침전, 여과, 미생물분해, 식물흡수 등으로 일정 부분 제

거될 수 있다. 따라서 수변구역의 수질영향인자는 기존 인위적 시설물에서의 오염 억제, 신규 오염원 입지제한으로 인한 것과 유역에서 발생하는 각종 오염원을 하천에 도달하기 전에 포집하는 수변녹지의 기능을 심분 살릴 수 있는 적지를 선정하여야 한다.

1) 수변인접성

수변구역의 행위제한 등에서 살펴볼 수 있듯이 팔당 유역에서의 수질 개선의 방향은 하천주변 녹지조성에 따른 비점오염원의 저감 자체에 있기도 하지만 점오염의 입지를 제한해서 더 이상의 오염발생을 근원적으로 억제하는데 있다. 실제로 미개발지역이 개발되면 점오염원 뿐 아니라 강우시 표면유출이 많아지고 비점오염원의 양도 상당히 증가하게 되어 결국 수체에 이중고를 초래한다. 수변에 가까울수록 수질에 끼치는 영향은 민감하기 때문에 수변에 가까우면서 향후 개발가능성이 높은 지역을 매입해서 친환경적으로 토지이용을 유도할 경우, 입지 제한과 함께 비점오염원 저감의 효과를 도모할 수 있다. 따라서 수변에서의 거리가 가까울수록 각종 오염물 유입율이 높아지므로 오염원 입지제한은 수변에서의 거리가 주요 수질영향인자가 된다.

2) 수질개선 기능

수질개선 기능은 유역, 토양 및 식생 특성에 따라 크게 좌우되며, 오염물 제거기능도 오염물질별로 다양하다. 본 연구에서는 수변녹지의 오염물 제거에 영향을 미치는 일반적인 요소와 제거 메커니즘을 고려하여 그 기준을 선정하였다. Schueler(1995)는 제거 효율에 영향을 주는 요인으로 경사, 흐름길이, 지하수 흐름형태, 토질, 유기물 농도와 유속, 뿌리시스템, 식생커버 등을 언급하였다. 이밖에 녹지 효율성뿐만 아니라 매입 후 녹지 조성으로 인한 비점오염원 저감 효과가 얼마나 신속히 나타날 수 있는지의 현실적인 문제 또한 포함되어야 한다. 현재 국내에서 취득할 수 있는 공간자료를 고려할 때, 이를 반영할 수 있는 주요 기준으로 경사, 토양 및 지형, 토지이용 특성 등을 들 수 있다.

(1) 경사

경사는 효율성을 결정하는 가장 중요한 변수라고 할 수 있는데 경사가 커지면 유수의 흐름이 증가하므로 수변녹지 통과시간이 줄어들게 되어 비점오염원 저감의 직접적 효율이 떨어질 뿐 아니라 사면이 침식되어 수로를 형성하는 등 위험성도 커지게 되므로 완만한 경사일수록 비점오염원 저감에 적합하다. 일반적으로 표면유출수에 포함된 오염물은 경사가 5% 이하의 상대적으로 작은 유역에서 얇은 흐름으로

수변녹지에 이르게 될 때, 효과적으로 제거될 수 있다고 알려져 있다. 하지만 연구자들이 주장하는 범위는 40%까지 다양하다.

(2) 토양 및 지형적 특성

토양 특성 및 기타 지형적 특성에는 유효토심, 자갈함량, 침식도 등이 포함된다. 유효토심은 되도록 깊어서 뿌리가 토양 밑으로 깊고 넓게 자리잡고 성장하여 다량의 수분과 오염물질을 포집 및 정화할 수 있는 곳일수록 유리하다. 자갈함량의 경우, 바위나 자갈로 이루어져 있는 지역은, 식물이 뿌리를 내려 성장하기가 수월하지 않으므로 이런 지역은 식물성장자체가 불리하기 때문에 녹지조성을 목적으로 한 토지매입 시 적합치 않다. 침식이 없이 안정된 기반일수록 식물은 오염원 저감 기능을 보다 효과적으로 발휘할 수 있으므로 이런 지역이 우선적으로 고려된다.

(3) 토지이용 특성

개발에 유리한 조건 때문에 위락 업소 등이 입지하여 각종 오염원을 직유입시킬 것으로 우려되는 지역의 입지제한 방법과 기존의 오염을 유발하는 인공시설물 등을 매입해 관리하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 이를 위한 매입기준은 토지가격, 토지현황, 도로인접성, 경사 등이 있다. 토지이용현황의 경우 기존 나지나 경작지 등은 향후 개발가능성이 농후한 곳이라고 판단되어 우선적으로 고려된다. 또한 수변에 인접하여 수질에 큰 영향을 미치는 배출시설이 위치한 토지나, 도로에 인접하며 개발에 가능한 낮은 경사를 가진 곳일수록 입지가 유리하므로 이러한 기준들을 고려하여 우선 매입하여 친환경적으로 관리함으로써 수질개선을 도모할 수 있다. 토지이용 특성 분석시 토지가격은 오염저감효율 분석시 중요한 고려 요소이다.

3. 매입우선 순위 설정기법 사례

수질은 한 가지 요인만으로 설명될 수 없는 다중요인의 복잡한 프로세스의 결과이다. 따라서 오염물을 제거하거나 녹지를 조성해서 수질개선의 목적을 극대화할 수 있는 토지를 선정하기 위해서 다중의 수질요인 중 무엇을 고려하며 얼마를 반영해야하는가의 문제가 제기되는데 여기서 '고려할 무엇'이 바로 선정기준이다. 일례로 텍사스 오스틴에서는 상수원을 보호하기 위하여 개발잠재력, 필지의 크기, 지형정보, 보호되는 필지와 관련성 여부, 예상 가격, 소유자의 매각의사 등을 고려하여 매입할 최종 필지를 산출하였다. 북캐롤라이나에서도 인구 급증 등으로 민감해진 호수를 보호하기 위한 토지매입에서 유하시간, 습지와 인접성 여부, 불투수층비, 및 토지소유자의 정보 등을 고려하여 토지매입을 위한 모델을 개발하였다. 또한

상수원 지역에 대해 토지매입프로그램을 운영하고 있는 메사추세츠주의 경우, 수체 인접성, 대수층 수분함량 정도, 공업화·상업화·인구밀집 지역 등의 현 토지이용, 하수처리여부, 경사도 등을 기준으로 고려하였다(The Trust for Public Land, 2000, USEPA, 1999).

모든 유형에 가장 중요한 기준으로 고려되어야 할 것은 수계에 인접한 정도이다. 수계에 가까울수록 유하시간이 짧아지고 비점오염원이 자정작용에 의한 저감 없이 수체에 유입되어 즉각적인 오염을 유발한다. 수계는 상수원에 직유입되는 본류 근처일수록 보호에 넓은 폭이 필요하고 지천이 갈릴수록, 그 폭이 좁고 유하량이 작은 수체일수록 보호에 필요한 폭은 상대적으로 좁아진다. 이를 표현하기 위해서 본류를 포함한 중요 수계와 그 외 수계를 구분해서 그 폭을 설정하는 것이 합리적이다. 또한 유역 경계로 분석할 경우, 특히 오염이 심한 수계의 유역 보호를 강화하기 위해 소유역 단위로 가중치를 달리하여 이를 반영하는 방법도 고려할 수 있다.

비점오염원으로부터 수체를 보호하기 위한 적정폭의 대표적인 사례로 일리노이주립 자연조사소(Illinois State Natural Survey)의 수변완충지역 효과분석에서 수변 녹지의 폭 300m까지 완충효과가 현저했음을 보여주었다. 미국 메릴랜드의 Chesapeake Bay Riparian Handbook에서는 문헌연구에 근거해 질소는 30m, 퇴적물과 인 제거를 위해 50m를 언급하였고 실제로 미국에서는 100ft 핵심보전지역이 유역보호를 위한 기준이 되었다. 국외의 연구결과를 종합해볼 때 육상 서식지를 고려하지 않을 경우 최소한 15~30m의 너비의 완충지가 보호되어야 한다. 이처럼 폭을 결정하는 것은 지역적 특성에 따라 변수가 많고 연구자에 따라 다양하지만 오염물질에 따라서는 영양물질 5~47m, 우수유출수 15~53m, 대장균 27~95m, 침전물 5~110m가 일반적인 너비로 제시되고 있다(최지용, 이지현, 2001).

4. 매입우선순위 방법론 설정

매입 우선순위 산정을 위해 수질에 영향을 미칠 수 있는 다수의 관점과 인자 중에서 주요 항목을 선정하고, 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process: AHP)에 기반하여 이를 계층화하여 그 기여도를 정량화하였다(Saaty, 1980). 이를 GIS에 접목시켜 전 연구대상지역을 대상으로 공간분석을 수행함으로써 의사결정지원시스템과 GIS를 결합한 공간의사결정지원시스템(Spatial Decision Support Systems)을 구축한다. 이 과정에서 계층분석과정에서 설정된 값을 단순 중첩시킬 경우 공간정보의 속성을 무시한 채 경계에 따라 이분함에 따른 자료의 손실 문제를 보완하기 위해 퍼지기법을 도입하였다.

위에서 설정된 각 관점에 따른 기준은 이제 그 중요성에 따라 수질개선이라는

목적에 따른 기여도가 부여되며 전 대상지역은 일련의 기준과 그 오염기여도에 따라 가중치가 부여되어 통합될 필요가 있다. 즉, 의사결정이 이루어지는 합리적인 과정이 요구되는 것이다. 여기서 해결해야 할 사항은 상호관련되어 있으면서 때로는 상이한 목적을 가진 다중요인들을 어떤 방식으로 통합해서 궁극적인 목표에 대한 기여도를 결정하느냐의 문제이며 이 과정에서 물리적으로 계량할 수 없는 기준을 포함하여 여러 다양한 척도들을 어떻게 비교할 수 있는가의 문제 역시 제기된다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 정량적 기준 뿐 아니라 정성적인 기준을 포함하는 다중요인 하에 합리적인 의사결정을 도모할 수 있는 효과적인 틀인 AHP를 적용하였다. 그리고 AHP에 퍼지이론을 도입하여 연속된 공간 정보를 범위에 따라 하나의 수치로 표현하여 발생하는 정보의 손실을 막고 오류의 가능성을 줄여 좀 더 합리적인 의사결정을 도모하였다.

퍼지집합의 개념은 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는 속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속도함수(membership function)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다(김대중, 1995). 이런 방법으로 퍼지이론은 공간자료를 다룰 때 불확실성 또는 부정확성을 다룰 수 있게 한다. 퍼지집합은 전체집합에 대한 퍼지제약에 따라 정해지게 되는데 원소들이 0과 1사이의 실수값인 소속도(membership) μ 에 의해 정해져 대응되므로 소속도가 없는 0과 완전한 소속도가 있는 1뿐 아니라 그 중간의 소속도를 가진 값들을 표현할 수 있게 되는 것이다. 퍼지집합의 소속도함수는 퍼지이론에서 가장 기본이 되는데 전문가의 주관적 판단에 의해 사각형, 사다리꼴, 가우시안, 시그모이드 등의 형태를 갖게 되며, 본 연구에서는 사다리꼴 함수를 이용하였다.

III. 사례연구 및 평가

우선순위 산정을 위한 연구 흐름은 우선 앞장에서 제시한 수질영향인자를 산출할 수 있는 자료수집, 각 관점별 우선순위 산정, 관리시나리오를 고려한 최종 우선지역 산정 순으로 진행하였다. 분석 대상 지역은 도시, 농지, 산지의 특징을 두루 나타내는 도시혼합지역인 양평군 양평읍을 선정하였다. 양평군은 팔당상수원의 유역으로서의 중요성 때문에 수도법에 의한 상수원보호구역, 환경정책기본법에 의한 특별대책지역, 한강법에 의한 수변구역 등의 규제지역을 포함하고 있다. 수변구역의 경우, 법정제외지역과 하천부지를 제외한 44.2km²에 달한다.(한강유역관리청, 1999, 양평군, 2000). 양평군은 남한강과 북한강을 포함하는 팔당호 근접지역으로서 팔당호 수질에 직접적인 영향을 주는 동시에 매입 후 녹지 조성을 할 경우 직접적인 수질 개선 효과를 볼 수 있는 지역이다. 이 지역은 산지, 농지, 도시의 특성을 고루

나타내는 혼합지역으로 다양한 토지 특성을 반영할 수 있다.

1. 자료수집 및 구축

기초자료는 매입의 주요 기준인 수질영향인자에 영향을 미치는 수변인접성과 수질개선기능을 분석할 수 있는 자료에 바탕을 둔 속성자료와 공간자료이다. 지가정보는 속성자료이고, 나머지는 공간자료인데 토지특성도는 벡터자료이고, 나머지 수치지형도, 토지피복분류도, 경사도, 토양도는 모두 래스터 자료이다. 분석은 기본적으로 30×30m 격자 크기의 그리드 포맷을 기반으로 하며, 최종적으로 지가를 반영하기 위해 필지로 구분되어 있는 토지특성도를 중첩시킨다.

수계도를 형성할 때는 주요 수계로 분류인 남한강과 흑천을 선정하고 나머지 지류와 구분을 두어 주요하천과 기타하천으로 이분하여 분석을 수행하였다. 도로 역시 지방도와 일반국도를 주요 도로로 나머지 도로를 기타도로로 분류하여 그 영향에 따라 합리적인 범위를 도출하고자 했다. 분석에 사용된 자료의 출처, 형식, 가공목적은 <표 3-1>과 같다. GIS Software로 Intergraph사의 Geomedia와 MGE, Bentley사의 Microstation, 그리고 Esri사의 Arcview를 사용하여 공간 분석을 실행하였다.

<표 3-1> 분석에 사용된 자료

구분	출처	자료형식	가공목적
수치지형도	국립지리원	DGN	수계도, 도로망도
토지피복지	환경부	GeoTiff	토지이용
수치고도자료	환경정책·평가연구원	ASCII	경사도
정밀토양도	농업과학기술원	ARC/INFO	침식, 유효토심
토지특성도	국립지리원	SHAPE	지번지가도
지번지가 DB	양평군청	MDB	지가 속성 자료

2. 관점별 매입 대상지역의 우선순위 산정

수변구역의 지정목적인 수질개선 달성을 위해 매입의 우선순위를 판단할 수 있는 기준은 AHP의 분석기법의 특징인 과학적인 근거에 바탕을 둔 전문가 직관으로 설정하였다. 구체적 기준 선정 이전에 어떤 지역을 매입해야하는지 그 관점을 채택하여 뚜렷한 하위 목적에 알맞는 주요 기준을 선택함으로써 각 목적에 따른 합리적인 매입 우선순위를 산출하고자 하였다. 그러나 본 연구에서는 우선순위 산정방안에 대한 기법연구 개발로서 개략적인 방안만 제시하였으며, 실제 적용에 있어서는

보다 객관성을 높이기 위해 많은 분야별 전문가 참석이 필요하다.

매입의 관점은 수변구역 지정목적인 수질오염원 제거에 부합할 수 있도록 비점 오염원의 저감의 효과가 있는 지역, 오염원 자체를 저감할 수 있는 지역, 입지를 제한할 수 있는 지역으로 선택하였다. 그리고 각 관점안에서 AHP기법에 근거해서 기준들의 가중치를 산출하였고, 하위기준이 명목척도일 경우, 이 역시 AHP에 근거해 그 요인 안에서 가중치를 산출하였다. 각 관점별 하위요소가 중복되는 경우는 각 관점별 상호 독립적이기 때문에 타 관점에는 영향을 미치지 않는다. 그리고, 기준별 각 관점에 따른 가중치(W_i)와 일관성비율(CR)의 결과를 다음 <표 3-2>, <표 3-3>, <표 3-4>에 제시하였다. 일관성비율이 모두 0.1내의 값이므로 일관성에 무리가 없음을 확인할 수 있었다.

<표 3-2> 비점오염원 저감의 효율성

C.R.=0.019	상위 W_i	구분	하위 W_i	최종 W_i
수체인접성	0.370	주요하천	0.750	0.278
		기타하천	0.250	0.092
토지현황	0.280 CR=0.040	나지	0.516	0.145
		경작지	0.317	0.089
		녹지	0.111	0.031
		개발지역	0.056	0.015
경사도	0.188			0.188
침식	0.105 CR=0.000	침식없음	0.692	0.073
		침식	0.231	0.024
		침식심함	0.077	0.008
유효토심	0.057			0.057

<표 3-3> 기존오염원 제거 효과

C.R.=0.005	상위 W_i	구분	하위 W_i	최종 W_i
수체인접성	0.466	주요하천	0.833	0.388
		기타하천	0.167	0.078
토지현황	0.434 CR=0.094	상공업	0.440	0.191
		기타시가	0.333	0.144
		경작지	0.115	0.050
		나지	0.087	0.038
		녹지	0.025	0.011
도로인접	0.100	주요도로	0.667	0.067
		기타도로	0.333	0.033

<표 3-4> 향후 입지 제한 효과

C.R.=0.030	상위 W_i	구분	하위 W_i	최종 W_i
수체인접성	0.570	주요하천	0.857	0.488
		기타하천	0.143	0.082
토지현황	0.266 CR=0.074	나지	0.699	0.186
		경작지	0.161	0.043
		녹지	0.097	0.026
		개발지역	0.043	0.011
도로인접	0.090	주요도로	0.833	0.075
		기타도로	0.167	0.015
경사	0.073			0.073

위에서 명목척도의 하위기준은 AHP밖에 표현할 수 없지만 등비척도는 퍼지집합을 도입하여 그 연속성을 구체적으로 표현해주는 것이 바람직하다. 따라서 퍼지분석이 필요한 기준의 레이어는 해상도를 고려한 30m간격의 버퍼를 형성하고 중간값을 해당 선형퍼지함수에 대입하여 연속적인 값을 나타내었다. 각 관점에 따라 구분된 기준 및 퍼지집합을 위한 범위를 <표 3-5>, <표 3-6>, <표 3-7>에 제시하였다.

<표 3-5> 비점오염원 저감의 효율성

요인	척도(단위)	구분	의사결정규칙(퍼지)
하천인접성	등비(m)	주요수계	$\mu(0 \leq 1000)=[1,0]$, $\mu(> 1000)=0$
		기타수계	$\mu(0 \leq 300)=[1,0]$, $\mu(> 300)=0$
토지피복	명목	나지-경작지-녹지 개발지역	-
경사도	등비(%)		$\mu(\leq 5)=1$, $\mu(5 \leq 40)=[1,0]$, $\mu(> 40)=0$
침식	명목	침식없음-침식있음 침식심함	-
유효토심	등비(cm)		$\mu(\leq 20)=1$, $\mu(20 \leq 100)=[1,0]$, $\mu(> 100)=0$

<표 3-6> 기존오염원 제거 효과

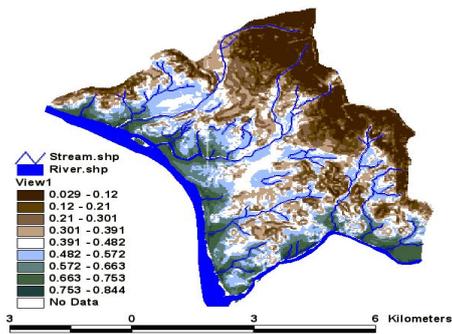
요인	척도(단위)	구분	의사결정규칙(퍼지)
하천인접성	등비(m)	주요수계	$\mu(0 \leq 1000)=[1,0]$, $\mu(> 1000)=0$
		기타수계	$\mu(0 \leq 300)=[1,0]$, $\mu(> 300)=0$
토지피복	명목	개발지역-축사-경작지-나지-녹지	-
도로인접	등비(m)	주요도로	$\mu(0 \leq 300)=[1,0]$, $\mu(> 300)=0$
		기타도로	$\mu(0 \leq 50)=[1,0]$, $\mu(> 50)=0$

<표 3-7> 향후 입지 제한 효과

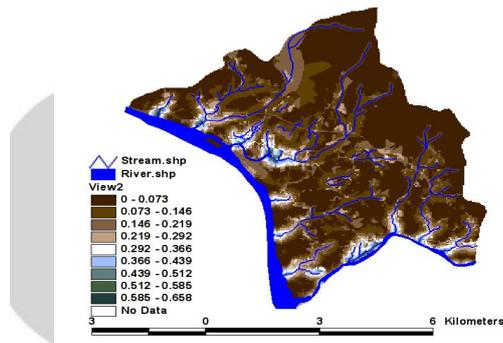
요인	척도	구분	의사결정규칙(퍼지)
하천인접성	등비(m)	주요수계	$\mu(0 \leq 1000)=[1,0], \mu(> 1000)=0$
		기타수계	$\mu(0 \leq 300)=[1,0], \mu(> 300)=0$
토지피복	명목	나지-경작자 녹지 개발지역	-
도로인접	등비(m)	주요도로	$\mu(0 \leq 1000)=[1,0], \mu(> 1000)=0$
		기타도로	$\mu(0 \leq 300)=[1,0], \mu(> 300)=0$
경사	등비(%)		$\mu(\leq 15)=1, \mu(15 \leq 30)=[1,0], \mu(> 30)=0$

AHP와 Fuzzy 에 기반하여 구축된 공간자료로 분석을 수행하여 관점마다의 우선 순위 산정을 수행, 세 개의 결과레이어를 작성하였고 이를 <그림 3-1>, <그림 3-2>, <그림 3-3>에 제시하였다.

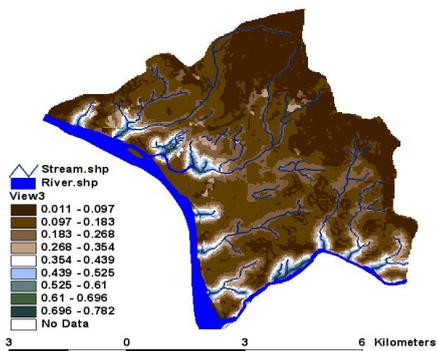
<그림 3-1> 관점1-비점오염원 저감 효율



<그림 3-2> 관점2-기존 오염원 제거



<그림 3-3> 관점3-입지제한



3. 시나리오에 따른 최종 우선지역 선정

시나리오별 최종 우선지역 선정은 다기준의사결정기법의 고전적 방법으로 널리

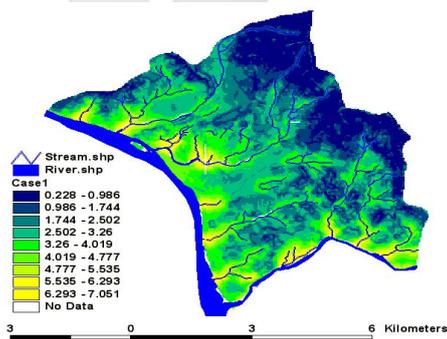
사용되고 있는 단순가중치법(Simple Additive Weighting Method: SAW)에 근거하여 설정하였다. SAW법에서는 의사결정자가 각 요소의 상대적 중요도를 나타내는 가중치를 주어야 한다. 또한 요소치들이 비교 가능하도록 해야 한다. 각 대안에 대한 총 점수는 각 요소의 기준화된 요소치에 요소별 가중치를 곱해 산정된다. 각 요소의 가중치($W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$)를 주었을 때, 가장 선호도가 높은 대안 A^* 은 다음의 식으로 구해진다.

$$A^* = A_i | \max_i \left(\frac{\sum_{j=1}^n w_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \right)$$

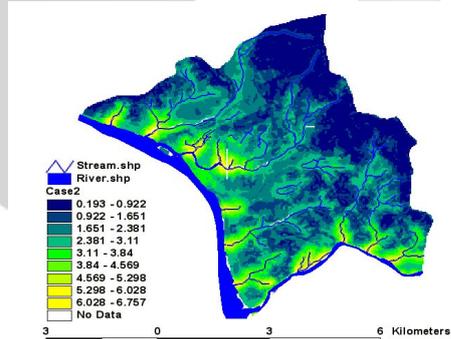
여기서 x_j 는 대안 i 에 대한 기준화된 평가치이다.

세 관점에 따라 가중치를 부여하고 가중치의 총합은 10이 되도록 한다. case1은 비점오염원저감 효율에 초점을 둔 경우로서 가중치를 비점오염원 제거=5, 기존오염원 제거=3, 입지제한=2의 가중치를 준 경우이다. case2는 기존 오염원제거에 초점을 맞춘 것으로서 기존오염원 제거=5, 비점오염원 제거=3, 향후입지제한=2의 가중치를 부여한 경우이고 결과는 <그림 3-4>, <그림 3-5>에서 나타내었다.

<그림 3-4> 우선순위지수-case1



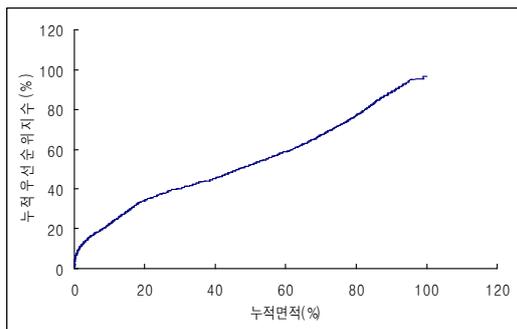
<그림 3-5> 우선순위지수-case2



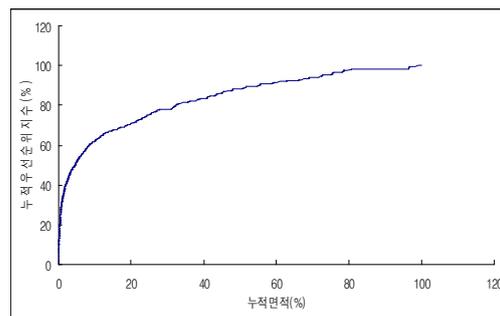
다음은 기존오염원 제거, 비점오염원 제거 등 각 관리대안과 경제성(지가) 등을 고려한 누적우선순위지수를 산정하고자 한다. 누적우선순위지수란 각 관리대안을 고려한 종합 우선순위가 산정치이므로 매입 순위의 합리성과 객관성을 제고할 수 있는 방안이다. 산정된 우선순위지수를 가장 높은 순으로 정렬시켜 이에 1~100까지의 순위를 부여한 후 위에서부터 누적시킨 값으로, 값이 30이라면 전체 우선순위지수 중 상위 30%에 해당하는 우선순위지수를 포함함을 의미한다. <그림 3-6>, <그림 3-7>을 보면 각 관점에 따라 그 기울기가 다름을 확인할 수 있는데 각각의 누적우선순위 50%이내에 도달하는 면적을 매입함을 가정하였다. 관점1은 누적우선순위지수와 누적면적의 증가분이 거의 직선의 형태이지만 관점2는 그래프에서 초기

면적에 대한 값이 급속히 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 작은 면적으로도 높은 우선순위지수에 도달할 수 있음을 보여준다. 50% 누적우선순위지수에 도달하는 면적을 살펴본 결과 관점1은 그 증가분처럼 높은 면적인 47%를 나타내었고, 관점2는 4% 면적으로도 도달 가능했다. 관점3은 7%의 면적으로 도달이 가능했다.

<그림 3-6> 누적면적에 따른
누적우선순위지수-관점1



<그림 3-7> 누적면적에 따른
누적우선순위지수-관점2



각 지역은 당해 지역의 오염분포, 유역특성, 경제성 등에 따라 중요도가 상이할 것이다. 일례로 양평지역에서는 비점오염원 제거에 큰 비중을 두고 토지를 매입하는 경우, 관점1, 관점2, 관점3에 차례로 3, 2, 1의 점수를 부여하였다. 세 레이어를 중첩시킬 경우 점수에 따라 각 관점의 상위 50%의 우선순위지수를 포함하는지 즉, 여기서 설정한 관점에 따라 매입해야 할 대상을 포함하는지의 여부를 나타낸다. 이를 <표 3-8>에 제시하였고 그 결과는 <그림 3-8>에 도시하였다.

<표 3-8> 점수에 따른 관점포함여부

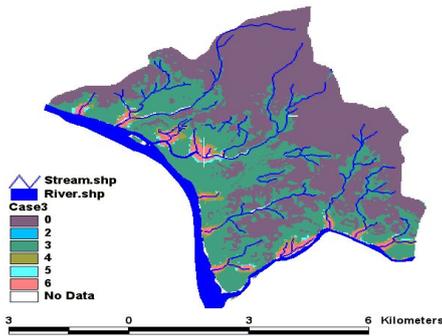
점수	관점1-비점오염원3 점	관점2-기존오염원2 점	관점3-입지제한(1점)
0	불포함	불포함	불포함
1	불포함	불포함	포함
2	불포함	포함	불포함
3	포함	불포함	불포함
5	포함	포함	불포함
6	포함	포함	포함

주) 누적우선순위지수 50% 이상을 포함되는 경우에 한함

case3은 단순히 물리적인 중첩에 바탕을 둔 case1과 2에 비해 지역 및 오염특성과 경제성 등을 고려한 결과이다. 그림에서 점수 6에 해당하는 지역은 비점오염원과 기존오염원 및 입지제한 모두 50% 이내에 해당하는 중요 매입 대상지역임을 나타내며 0점은 각 관점에서 매입대상 지역이 없어 매입의 실효가 없는 지역을 의미

한다.

<그림 3-8> 우선순위지수-case3



4. 토지매입 우선순위 산정기법 평가

수변구역의 수질개선을 위해 어떤 토지를 매입해야 하는지를 3가지 관점에서 구체적인 하위 목적을 세워 이에 적합한 지역의 우선순위를 도출하였다. 각 관점에 따라 AHP를 기반으로 3개의 시나리오를 가정하였으며, case1은 비점오염원제거의 효율성에 중점을 둔 관점1에, case2는 기존 오염원 제거에 중점을 둔 관점2에 큰 가중치를 두었다. case3의 경우에는 지가와 누적면적에 따른 누적 우선순위지수를 각 관점에 따라 정리한 후, 이 중 정해진 누적 우선순위지수까지 매입한다는 설정하에 산정된 것이다. 사례 분석에서는 전면적의 1%를 차지하는 높은 지가의 토지를 제거하므로써, 경제적 요인을 고려하였다.

case1, 2에서 처럼 SAW기법을 사용해 관점을 통합할 경우, ‘어떤 관점을 더 반영할 것인가’는 관점에 부여되는 가중치로 조절할 수 있다. 이때는 관점이 골고루 반영되는 지점을 더 중시하게 되는 경향이 있다. 즉, 특정 관점에 해당하는 값이 매우 높지 않더라도 합산 점수가 높을 경우 매입 우선순위가 높아지고 반면 일정 관점의 값이 월등히 높아도 다른 관점에서 값이 저조할 경우, 그러한 필지는 한 관점에서의 절대적 필요성에도 불구하고 무시될 확률이 높다. 또한 하위 기준이 서로 상반될 경우, ‘이를 중첩하는 것이 용납되는가’의 문제가 제기될 수도 있다. 그러나 이 방법은 중첩에 의해 우선순위값이 구체적으로 제시되므로써 순서를 세밀하게 서열화할 수 있다는 장점이 있다.

지가와 누적우선순위지수를 이용한 방법인 case3는 SAW의 단점을 보완한 것으로서, 어떤 관점을 더 중요시할 것인가의 문제는 각 관점의 도달 누적우선순위지수로 조절이 가능하며 이때 면적을 고려할 수 있다. 이 통합 방법의 가장 큰 장점은 관점 하나 하나의 매입 필요성을 고려해줄 수 있다는 점이다. 즉, 매입이 필요한 우

선순위지수에 도달하는 필지를 관점별로 구분하기 때문에 통합 후에도 필지가 각 관점을 만족하는지의 여부를 파악할 수 있다. 뿐만 아니라 여기서는 하위기준의 상반성도 피할 수 있다. 단, 이 방법은 한 관점에서 지수 도달 여부만 파악되므로 우선순위값이 구체적으로 제시되는 것이 아니라 그룹으로 구별지어지게 되므로 우선순위지수를 목적에 맞게 잘 조율할 필요가 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 수질개선을 목적으로 한 수변구역 토지매입 우선순위를 산정하는 기법의 개발과 이를 실제 적용하여 우선순위를 산정해 보았다. 분석틀로서 사용한 AHP는 어느 한 요인에 국한된 것이 아니라 다중 요인들을 가중치에 맞게 반영하는 효과적인 틀로서 지역의 특성과 필요에 따라 융통성 있는 조절이 가능하다는 강점을 지니고 있다. 이에 Fuzzy기법을 도입하여 AHP만을 사용했을 때 해결하기 곤란한 자료의 손실을 줄임으로써 보다 정확한 공간적 특징, 필지의 성격을 극대화할 수 있다. 또한 주어진 관점에서의 우선순위를 어떻게 조합하느냐는 각 case에서 볼 수 있듯이 그 상황에 따라 다양할 수 있다. 여기에 단순종합가중치를 이용할 수도 있고, 꼭 매입이 필요하다고 사료되는 우선순위지수를 찾아서 그 이상의 지수를 갖는 곳만을 매입할 수도 있다. 경제적인 요인으로서는 지가를 고려하였으며, 좁은 지역으로 토지매각의사를 포함한 소유자의 정보가 포함된 속성정보가 구축이 가능할 경우, 지가와 더불어 더욱 현실적인 토지매입의 여부를 결정할 수 있다. 본 연구에서 제시한 공간의사결정기법은 요인의 중요성을 도출해서 해당 필지의 우선순위를 정량화하는 합리적인 근거를 마련할 뿐 아니라 공간적 상태를 현실적으로 반영할 수 있고 지역의 특정 요구사항을 포괄하는 융통성까지 겸비하는 강력한 틀으로써 앞으로 수변구역내 토지의 관리 우선순위 산정 등에 활용이 가능하다.

참 고 문 헌

1. 환경부. 한강수계관리위원회, 한강유역환경관리청. 2001. 「한강수변구역관리 기본 계획 및 설계종합보고서」
2. 양평군. 2000. 「양근천 생태복원 조성공사 사전환경성 검토서」
3. 김대중. 1995. 「퍼지집합(Fuzzy sets)을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구-부울논리와 퍼지논리에 의한 적지분석 과정의 비교분석」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 최지용, 이지현. 2001. 「도시지역의 수변녹지 조성 및 관리방안 연구」, 한국환

5. Saaty, Thomas L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
6. Schueler, T. 1995. "The architecture of urban stream buffers", *Watershed Protection Techniques* 2(1): 247-253.
7. The Trust for Public Land. 2000. *Building Green Infrastructure: Land Conservation as a Watershed Protection Strategy*.
8. USDA. 1998. *Chesapeake Bay Riparian Handbook: A Guide for Establishing and Maintaining Riparian Forest Buffers*. Forest Service Northeastern Area State & Private Forestry, Natural Resources Conservation Service, Cooperative State Research, Education and Extension Service. NA-TP-02-97.
9. USEPA. 1999. *Protecting Sources of Drinking Water: Selected Case Studies in Watershed Management*. Office of Water. EPA 816-R-98-019.

ABSTRACT

Development of Land Acquisition Priority in Riparian Zones
for the Water Quality Improvement

Ji-Young Choi

Keywords : Riparian Buffer Zone, Land Acquisition, Land Use Control,
Water Quality Management

Riparian buffer zones enhance the quantity and quality status of water, stabilize channel geometry, and provide tree roots and woody debris for habitat. To establish the riparian buffer zones and to improve the water quality, privately owned lands in the Paldang watershed area needs to be purchased. A growing number of policy makers are faced with the problem of identifying an efficient and suitable location for implementing or restoring the buffer system. In this research, the Prioritization Index System(PIS) was developed and applied as a possible solution to such questions. PIS can also be used as a decision support system in the planning phase. In PIS, the Analytic Hierarchy Process(AHP) was utilized to estimate prioritization. Further data loss was avoided and maximum accuracy in space was achieved by combining the Fuzzy

theory and AHP. PIS may be used to select a suitable location for riparian buffer system. Finally the results of PIS should be carefully observed to make sure that the results are consistent with the decision makers' proposed regional level indication for buffer systems and with their economical and geological point of view. The spatial decision making techniques presented here can effectively draw the weight of each criterion and quantify the prioritization of each lot, reflect the spatial condition in reality and flexibly cover local needs. It can be widely utilized in the management and prioritization in riparian zone.

K C I