

GIS와 중력모형을 이용한 광역 하수처리구역 설정

하성룡* , 박대희**

A Proposal of Distribution Method for Inter-Regional Sewage Treatment Zone Using GIS and Gravity Model

Sung-Ryong Ha * · Dae-Hee Park **

요 약

본 연구는 광역 하수도계획에 관련된 의사결정을 합리적으로 지원할 수 있도록, GIS의 공간분석 능력과 D/B간의 정보교환 체계 그리고 중력모형의 공간상호작용력 계산구조를 이용하여 광역 하수처리 권역을 설정하였다. 도출된 영향인자는 경제 지표, 사회·정책 지표 그리고 환경지표로 구분되며, 공간정보와 속성정보간의 정보교환 체계는 GIS와 D/B간의 연계를 통하여 구축하였다. 본 연구의 결과는 기존 행정구역 중심의 하수도계획을 수계전반의 경제성과 환경성을 고려한 광역 하수도계획으로 전환시킬 수 있는 기반을 형성한다.

ABSTRACT : In order to support effective decision-making related to inter-sewage planning, this study proposes the spatial distribution method of inter-sewage treatment area using spatial analysis of GIS, Communication system of database, spatial interaction of Gravity model. Evaluation Indexs are consist of economic, social/political and environmental condition value which are explained by the analysis of AHP algorithm ,based on opinion of related experts. Network module in Arc/Info is applied in order to find out minimum pipeline root in Miho river watershed, one of the sub-basin of Geum river basin. This value also is utilized for the construction of cost decay function in gravity model.

서 론

교통·통신수단의 발달과 생활권역의 광역화 등으로 인하여 지역간의 인적·물적교류가 빈번해지고 지역자원과 자본의 공간적 이동이 용이해짐에 따라 광역 개발사업의 수요가 증대되고 있다. 그러나 대부분의 광역개발사업들은 관할구역이라는 인위적인 제도적 틀에 따라 형성된 지역구획주의에 바탕을 두고 사업을 추진해 나감으로써 한정된 투자재원의 효율적 운영이 이루어지고 있지 못한 실정이다. 시설의 광역성, 관련자치단체의 복수성, 그리고 투입요소의 광역성을 특징으로 하고 있는 광역개발사업은 공공서비스 제공지역의 선택 즉, 장소의 선택과 어느 정도의 영역을 대상사업의 규모로 하여 계획을 수립하고 사업을 시행할 지에 대한 사업범위 결정 그리고 지역간의 제도적 차이 혹은 환경적 영향 등의 평가에 있어 명확한 기준을 제시하고 있지 못하고 있다. 지금의 하수도 계획과정을 살펴보면, 하수관거 시설의 설치와 하수처리장 설치의 용량결정 및 위치 선정

* 충북대학교 도시공학과 교수 (Dept. of Urban eng., Chungbuk National Univ., SAN 48, Gaeshin-dong, Cheong-Ju, Korea, 360-763)

**충북대학교 대학원 도시공학과(Graduate School, Dept. of Urban eng., Chungbuk National Univ., SAN 48, Gaeshin-dong, Cheong-Ju, Korea, 360-763)

에 가장 기본이 되는 하수처리구역의 설정에 있어서, 수계전반의 장기적인 수질보전 방안의 수립 보다는 국부적인 환경기초시설 투자사업에 집중되어 있다. 이는 하수도 시설의 공간적인 배분방식이 체계적으로 구축되어 있지 않음에 그 일차적인 원인이 있으며, 공간 관련계획의 특징인 방대한 데이터 관리에 있어서, 컴퓨터 전산 시스템으로의 전환이 미흡한 단계에 있음이 두 번째 원인이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 광역권을 형성하는 하수도 처리권역의 공간 배분방법을 제시하기 위해 공간정보의 효율적인 정보관리체계를 연구함을 일차적 목표로 하며, 기존의 행정구역 중심의 하수처리 구역설정방식을 GIS와 중력모형을 이용하여 하천유역의 환경성과 경제성을 고려한 광역 하수처리권역을 설정하는 방식을 새롭게 제안해 보고자 한다.

시스템 분석

광역 하수처리권역은 하수도 재정분야의 대부분을 차지하는 처리장 규모의 결정과 처리구역 결정에 따른 차집관거 시설비용으로 대표할 수 있는 경제적 소요비용에 따른 적정규모의 산정이 일차적인 관건이다. 동시에 사회정책적 영향인자로 적용할 수 있는 자치단체의 동일성여부 역시 간과할 수 없는 요소이며, 마지막으로 처리권역 설정으로 인해 발생하게 될 하천의 환경적 영향에 대한 거시적 측면에서의 환경관리 방안과도 일치하여야 하는 세가지 중요한 구조로 형성되어 있다. 광역하수처리 권역 설정의 방법론적 접근은 공간 상호작용에 따른 공간배분방식으로 응용되고 있는 중력모형을 이용한다. 경제지표에 의한 반중력 요소의 도출, 환경적 영향과 사회정책적 영향 변수를 고려한 가중치의 산정을 통해 권역설정 방법을 제시한 MSIGM(Modified Spatial Interpretive Gravity Model)의 시스템 구성은 다음과 같다.

1. 물리·경제적 평가지표

지역간의 통합처리 가능성은 인구수 즉, 지역내 하수발생량과 비례하며, 반면에 공간적 이격거리가 증가할수록, 차집관거의 시설비용이 증가할수록 감소한다. 본 연구에서는 전통적인 중력모형 변수인 기점인자($O(i)$), 종점인자($D(j)$), 그리고 통행저항인자($F(c_{ij})$)에 각각 기·종점의 계획하수량과 하수발생량비 그리고 기·종점간의 거리에 따른 차집관거 시설비용을 적용하여 수정된 중력모형식을 도출하였다. 각 존의 차집관거 시설지점의 기준은 해당 존의 경계와 가상의 관로노선이 교차하는 지점으로 하며, 두 존의 통합처리로 발생할 하수처리장의 위치는 가상 하수관로상의 두 지역의 교차점으로 한다. 이상의 관계해석을 통한 중력모형 적용 연산구조는 식1부터 식5와 같다.

2. 사회·정책적 환경변수

광역 하수처리권역 설정의 사회 정책적 고려인자는 수계구분과 자치행정구역 구분으로 구성되며 본 연구에서는 행렬연산과 GIS 중첩분석을 통해 행정-수계구역간의 사회·정책적 접근성을 산정하였다. 수계구분에 따른 통합처리의 가능성 평가와 광역행정비용의 운영 및 초기투자액 결정에 직접적 관련사항인 자치 행정구역 구분에 따른 통합처리의 가능성은 Table.2와 같다. 가중치 산정은 관련전문가를 대상으로 한 설문조사를 토대로 작성되었으며, 산정방식은 AHP Algorithm을 적용하였다

3. 환경적 요인 고려

본 연구에 적용한 하수도계획수립과 관련된 환경성평가 부문은 하수종말처리장의 방류수 수질 기준과 하천 등급별 목표 수질기준과의 차이를 비교 분석하는 과정을 통해 정리하였다. 하천 수질등급은 하류지역의 이수실태와 하천의 자정능력을 고려한 실현가능한 수질등급으로 선정되어져 있다. 이 수질기준은 하천으로의 오염물 유입시 하천이 유지하여 할 수질기준이며 동시에 일정수준

$$O(i) = P_i \quad | \quad F(C_{ij}) = C_{ij}^{-\beta} \quad | \quad D(j) = P_j / (P_i + P_j) \quad [식1, 2, 3]$$

$$C_{ij} = C_{ip} + C_{jp} = (L_{ip} \times D_{ip} \times U_{ip}) + (L_{jp} \times D_{jp} \times U_{jp}) \quad [식4]$$

$$F(A_{ij}) = \frac{P_i \cdot P_j / (P_i + P_j)}{[(L_{ip} \times D_{ip} \times U_{ip}) + (L_{jp} \times D_{jp} \times U_{jp})]^\beta} \quad [식5]$$

subject to, C_{ij} : i 에서 j 로의 차집관거의 시설비 함수
 L_{ip} : S_i 에서 S_{ij} 의 차집관거 거리
 D_{ip} : S_i 에서 S_{ij} 의 차집관거의 환경, β : 비용감소 지수
 U : 환경별 단가, P_i : i 행정구역 인구, P_j : j 행정구역 인구

의 오염물유입(예, 처리장 방류수 등)에 대해 수질 유지의 허용가능한 정도 차이로도 해석할 수 있다. 수질등급별 수질기준의 허용범위 보다 방류수의 법적 허용기준이 높기 때문에 하수처리장의 설치 는 하천으로의 오염물 유입을 뜻한다. 따라서 처리수의 유입으로 인한 하천의 수질보전능력은 수 질등급별 허용수질기준과 비례한다. 이는 환경정책 기본법상의 하천 및 호소의 수질기준 설정 방 침과, 오염원 관리 방안의 근본 원칙인 하천이용의 차등화를 통한 효율적인 수질보전방안을 모색 하고자 한데 이론적 근간을 두고 있다.

하수도 계획권 설정을 위한 위의 유추해석 및 현재 실행체제를 정리해 볼 때 Table.1와 같은 가중 치를 산정하여 적용한다.

Table. 1 하천등급별 통합처리 가중치 산정

배출하천등급	I 급수	II 급수	III 급수	IV 급수	V 급수
적용 가중치	0.1	0.3	0.6	0.8	1

Table. 2 수계구분(처리수 방류지점 기준)과 자치단체구분에 따른 S&P 보정계수

동일 수계	비동일 수계			'도' 동일		'도' 비동일	
	인접 수계		비 인접수계	'시군' 동일			
	동일수계 방류	비동일 수계 방류		'읍면' 동일	'읍면' 비동일		
1.00	0.84	0.70	0.65	1.00	0.91	0.83	0.76

분석환경 설계 및 구현

1. 기본도 구축

지형공간의 그래픽 정보와 속성정보의 정보처리를 위하여 상용 GIS Software인 UNIX ARC/INFO를 사용하며, ARC/INFO의 분석환경 - Arcedit, Arcplot, Tables, Network, Grid, Tin, Aml - 하에서 기초 데이터 구축 및 공간분석을 실시한다.

GIS를 이용한 정보처리 결과는 변형 중력모형의 입력정보가 되며, 이를 토대로 하여 공간상에 산 포되어 있는 지역들간의 접근성(Accessibility)을 산정하는 통합 연산구조를 형성한다. 차집관로의 거리산정 과 행정구역 및 수계일치 현황을 구분하기 위해 읍면단위로 구축된 행정구역도와 수계 도를 중첩하여 행정-수계도상으로 구분된 지역을 기본 단위로 하며, 각각 경계내의 포함인구는 리 별 point정보와 행정-수계도를 Arc Command인 Union을 사용하여 산출한다(참조 Fig.1).

Coverage간의 중첩연산과 Database연결구조는 Fig.2와 같다

2. 수계 및 하천망 추출

Tin 정보로부터 유체흐름의 방향성을 지닌 Grid가 생성되고, 각각의 Grid가 지닌 흐름 누적량 (Flow Accumulation)의 정보는 각 Grid에 축적되는 셀정보를 이용하여 하천망을 추출한다. 즉, 축적된 셀수가 일정값 이상인 셀만이 하천으로 인식된다. 또한 방향성을 보유하고 있는 Grid는 수질관측점 정보를 바탕으로 각 수질관측점으로 배수되는 유역을 형성한다.

3. D/B 연결 구조

공간정보의 분석은 GIS Tool내의 Arc Mode와 Grid Mode에서 이루어 졌으며, 분석을 위한 기초 정보의 구축은 MS Access를 사용한다. 두 상이한 정보간의 연결은 Info D/B와 Ms Access간의 호환을 이용하여 연결구조를 형성한다. 공간정보는 Vector Data구조를 기본으로 하며, 속성정보는 Text와 Numeric Data를 혼용하여 사용하였다

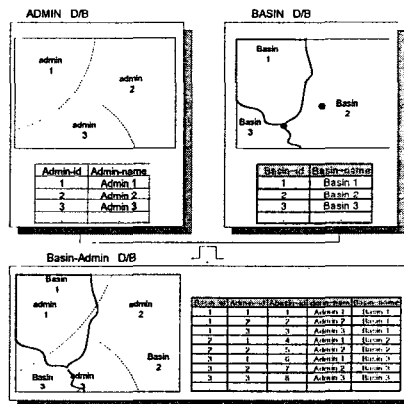


Fig. 1. Admin-Basin Map with Overlay

4. 연구 대상지 적용

본 연구의 공간적 범위는 금강유역의 미호천 권역내의 9개 수계를 대상으로 하며, 구축된 지형공간 정보는 등고선도(line), 행정구역도(polygon, point), 하천망도(line), 수계도(polygon)이다. 행정구역도의 구축단위는 도, 군, 읍, 면, 리를 단위로 하여 폐다각형의 공간정보 및 점정보로 공간 데이터 베이스를 구축한다.

행정리별로 계산된 Accessibility 인덱스는 행정구역간의 경제적, 사회적, 환경적 특성을 상호 비교한 상대적인 측정값이다. 이 인덱스는 행정리간 Accessibility 값의 비교를 통하여 근접한 거리의 상대적으로 많은 인구수를 포함하며, 동일한 행정구역의 동일수계 내로의 배출구를 갖고 있는 행정구역들을 그룹화 할 수 있다. 위의 과정은 다음과 같이 요약된다.

$$[A_i] = \begin{bmatrix} \text{Physical} \\ \text{Economic} \\ \text{factor} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Social} \\ \text{Political} \\ \text{factor} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Environ-} \\ \text{mental} \\ \text{factor} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} E(A_{11}) & E(A_{12}) & \dots & E(A_{1n}) \\ E(A_{21}) & E(A_{22}) & \dots & E(A_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E(A_{n1}) & E(A_{n2}) & \dots & E(A_{nn}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \dots & \epsilon_{1n} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \dots & \epsilon_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \epsilon_{n1} & \epsilon_{n2} & \dots & \epsilon_{nn} \end{bmatrix}$$

GIS와 중력모형을 이용한 광역 하수처리권역 설정 알고리즘을 대상지인 미호천 수계에 적용한 결과는 Fig.4와 같다. Fig.3은 행정구역도와 수계도 그리고 본 연구에 적용된 하천흐름 방향을 기반으로 형성한 가상 차집관거 노선을 중첩한 것이다. 최종결과인 Fig.4는 세가지 지표(경제, 정책, 환경)들을 통합 연산한 결과를 상위90%, 80%, 70%순으로 재정리 한 후,

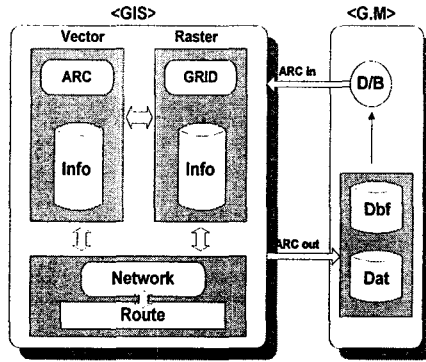


Fig 2 the communication system between GIS and GM

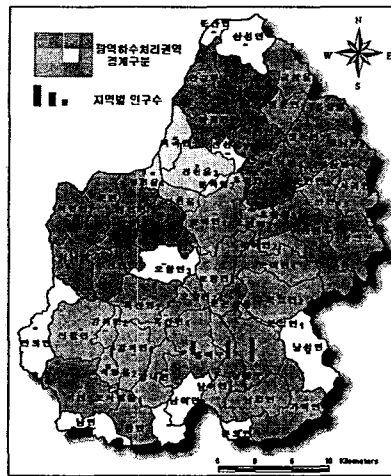


Fig.3 Inter-Regional Sewage Treatment Zone

이를 수계-행정도 각각의 폴리곤(Polygon)에 입력하여 Grid Overlay를 이용하여 도출한 결과이다.

결론

본 연구는 GIS의 공간분석 능력과 D/B간의 정보교환 체계 그리고 중력모형의 공간상호작용력 계산구조를 이용하여 하천유역의 환경성 및 경제성 그리고 정책성을 고려한 광역 하수처리권역을 설정하는 방식을 제안해 보고자 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 광역 하수처리권역 설정의 관련구조인 경제, 정책, 환경지표의 특성을 분석하여 광역개발권 설정을 위한 MSIGM을 개발하였다. MSIGM은 반흡입력 산정을 위한 비용함수 및 환경영향 행렬의 연산구조로 형성되었다.

둘째, 대상지역의 지형정보 데이터베이스 구축 및 공간 해석을 실시하였으며, 타 데이터 베이스 간의 연결구조를 구축하였다. 셋째로 GIS와 GM의 통합체계에 의한 정보처리를 통하여 광역하수도권의 공간적 배분을 미호친 수계 해당지역에 적용하여 광역 하수처리 권역도 (Zoning Map)를 작성하였다.

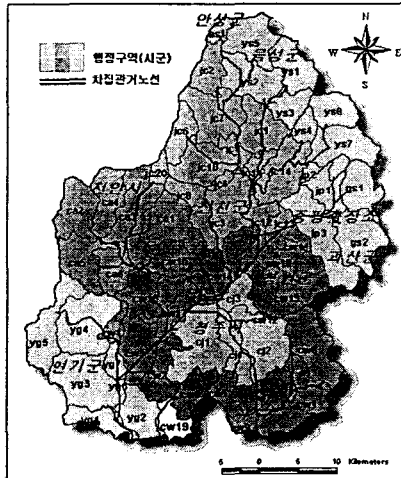


Fig.4 District Area and Pipe Line Map

작성된 권역도는 사업시행 초기의 우선 개발지구의 선정 및 향후 확장개발에 있어서의 효율적인 공간의사결정 지원시스템을 제공할 수 있으리라 본다. 또한 하수도 계획수립에 있어서 규모의 산정문제와 자치단체간의 자원배분 및 투자우선순위 선정에 활용될 수 있다.

참고문헌

국토개발연구원, 프랑스의 국토 지역개발제도 연구, 국토연자 92-4(서울: 국토개발연구원,1992),pp28
 임성빈, 이부원 (1996)“1990년 서울 특별시 O/D자료를 이용한 중력모형적용에 관한 연구” 대한교통학회지, 제14권 제 1호, pp29-42.
 국토개발연구원, 광역개발계획 수립지침연구, 국토연 94-3(서울:국토개발연구원, 1994), p.93
]Carey, H.C., Principles of social Science, Philadelphia:J.B. Lippincott and Co., 1858~1859.
 Ravenstein, E.G., "The Laws of Migration." Journal of the Royal Statistical Society, 48(6/1885), Bulletin 426, 1924.
 David Unwin, Introduction Spatial analysis, Metheun, 1981.
 B. T. Robson, Urban Analysis, Cambridge Univ. Press, 1971.