

# 하수관거 최적개량 모형 개발(II)

- 최적개량 우선순위 산정 -

이정호<sup>1)</sup> · 김형수<sup>2)</sup> · 김용석<sup>3)</sup> · 김중훈<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

국내의 경우 전국적으로 관거의 신설보다는 기존에 매설되어 있는 관거의 노후에 따른 개량에 대한 관심이 증대되고 있으나, 그에 따른 연구는 미비한 실정이다. 국외의 경우 하수관망 개량에 관한 정수계획법의 적용 예가 있으며 국내의 경우 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 개량 시기를 결정하는 연구 예가 있다. 그러나, 이러한 연구에 있어서 개량 시기를 결정하는 요소들이 매우 단순한 예를 들고 있으며 관거의 노후에 따른 복합적인 의사결정이 이루어지지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 불명수 산정 모형을 통해 산정된 불명수를 이용하여 배수분구내 토구별 최적개량 우선순위를 산정할 수 있는 의사결정 시스템을 개발하였다.

## 2. 모형의 이론 및 구성

본 연구에서는 불명수 산정 모형을 통해 산출된 관거별 불명수량에 근거하여  $\Pi/C$ (불명수제거량/개량비용)에 따른 토구별 개량사업 우선순위를 선정하였다. 이때, 토구별 최적개량비용을 산출은 유전자 알고리즘을 이용하였다.

### 2.1 GA(Genetic Algorithm) 이론

본 연구에서 최적개량모형의 적용에 있어서 발견적 탐색방법인 유전자 알고리즘을 사용하였다. 이것은 자연계에 있는 생물의 진화과정을 바탕으로 만들어진 방법이다. 즉, 자연계에 있는 생물의 진화과정에 있어서 개체군(population) 중에서 환경에 대한 적합도(fitness)가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생(reproduction)할 수 있게 되며, 이때 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation)로써 다음 세대의 개체군을 형성하는 알고리즘(algorithm)을 인공적으로 모델링한 것이다. 여기서, GA에 의한 탐색 또는 최적화 문제의 해결에 있어서 미지의 영역에 대한 탐색(exploration)과 획득한 정보의 유효한 이용(exploitation)의 조화가 중요하다. 획득한 정보의 유효한 이용은 기존의 등고선법(hill-climbing)과 유사해 지며, 미지의 영역에 대한 탐색이 강조 될수록 랜덤 탐색(random search)과 같은 특성을 나타내게 된다. GA는 이러한 두 가지의 조건을 함께 제어할 수 있는 매력적인 알고리즘이다. 이를 제어하기 위한 파라미터에는 개체군의 크기(population size : M), 교배 확률(probability of crossover : pc), 돌연변이 확률(probability of mutation : pm) 등이 있다.

### 2.2 모형의 구성

본 모형은 불명수량 제거효율에 따라 배수분구내 토구별 최적개량 의사결정을 수행하도록 한다. 이때, GA를 이용하여 정수 0, 1을 발생시킨후 0일 경우 관거내부 결함의 전무함에 따른 미개량을 나타내며, 1인 경우 결함에 따른 개량을 나타낸다. 본 모형에서 사용된 유전 연산 매개변수는 다음과 같다. 한 개의 세대를

- 1) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 연구원
- 2) 인하대학교 토목공학과 조교수
- 3) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 선임연구원 (E-mail : hydrokes@empal.com)
- 4) 고려대학교 토목공학과 교수

구성하는 기호열의 집단(population)은 5~100의 값이 되도록 설정하였으며 세대는 1000~10,000사이의 값을 설정하였다. 그리고 유전연산자에서 교배율은 0.5~1.0의 확률 값으로 하고 돌연변이율은 0.01~0.05사이의 확률값을 채택하였다. 또한 초기 유전 연산자의 확률값은 본 모형을 여러 번 조합하여 실행하였을 경우 최적값이 나올 때의 연산자 값을 산정하여 적절한 유전 연산자의 확률값으로 범위를 설정하였다.

최적의 개량비용 산정 및 개·보수 계획 수립을 위하여 다음과 같이 목적함수와 제약조건을 결정하였다. 목적함수(Objective Function)는 다음과 같다.

$$\text{Max. Cost}_1 = \sum_{i=1}^N C_{S_i} = \sum_{i=1}^N (Cdt_{c_i} + Cdt_{r_i} + Cdp_{c_i} + Cdp_{r_i} + Cnt_{l_i} + Cn_{m_i} + Cnp_{l_i} + Cn_{r_i} + Ctv_i)$$

( $C_{S_i}$ :개량비용,  $Cdt_{c_i}$ :원형관굴착전체교체,  $Cdt_{r_i}$ :암거굴착전체교체,  $Cdp_{c_i}$ :원형관굴착부분교체,  $Cn_{m_i}$ :준설,  $Cdp_{r_i}$ :암거굴착부분교체,  $Cnt_{l_i}$ :전체교체라이닝,  $Cnp_{l_i}$ :부분라이닝,  $Cn_{r_i}$ :돌출판제거,  $Ctv_i$ : TV 조사공)

또한, 제약조건은 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^N C_{c_i} \leq \text{예산}, \quad \sum_{i=1}^N C_{S_i} \leq \text{예산}$$

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 모형의 적용

본 연구에서는 서울시 4개 배수구역 내에 총 22개 토구별 개량비용의 산출 및 사업우선순위를 선정함으로써 예산이 제약된 경우 하수관망 최적개량 모형을 적용하였다. 이때, 관거의 개량에 의해 토구별로 발생하는 II/C(불명수제거량/개량비용)에 대하여 그 값이 높은 순으로 사업우선순위를 선정하였다.

배수분구별 결합개수, 불명수량 등 기초조사자료는 다음과 같다.

표 1. 배수분구별 기초조사

배수분구	인구('96)(명)	불명수량( $m^3$ /일)	관거 개수(개)	결합 개수(개)	결합관거개수(개)	조사연장(km)
A	42,180	9,082	1,107	7,987	675	21.64
B	46,808	12,997	1,256	6,699	709	20.33
C	37,300	2,639	624	2,491	255	9.10
D	25,535	9,475	642	2,790	260	13.31

토구별 개량비용 산출을 위한 관거 개·보수 공사비 산출기준은 다음과 같다.

표 2. 관거 개·보수 공사비 산출기준

구분	항목	계산식	구분	항목	계산식
전체교체	굴착교체 (원형관)	○ 단가 : $y=756x+161,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) ( $x$ = 관경(mm), $y$ = 개·보수비)	전체보수	전체라이닝	○ 단가 : $y=1,295x+396,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)
	굴착교체 (암거)	○ 단가 : $y=1,350x+753,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) ( $x$ = 단면적( $m^2$ ), $y$ = 개·보수비)		준설	○ 단가 : $y=33x-6,300$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)
부분교체	굴착교체 (원형관)	○ 단가 : $y=756x+161,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) ( $x$ = 관경(mm), $y$ = 개·보수비)	부분보수	부분라이닝	○ 단가 : $y=1,406x+137,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/개소)×개소+ [TV조사비(원/m)]×연장(m)+ 준설비(원/m)×연장(m)
	굴착교체 (암거)	○ 단가 : $y=1,350x+753,000$ ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) ( $x$ = 단면적( $m^2$ ), $y$ = 개·보수비)		돌출판제거	○ 단가 : $y=343,000$ (원/개소) ○ 개보수시 : 단가(원/개소)×개소
			기타	TV조사공	○ 단가 : $y=5,000$ (원/m) ○ 개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)
			하수처리비용	하수장	○ 단가 : $y=47.6$ (원/ton) ○ 개보수시 : 단가(원/ton)×잔존불명수

### 3.2 적용결과

하수관개 개량사업에 있어서 예산이 제약될 경우 제한된 예산으로 최적의 개량사업 시행안을 제시하였다. 즉, 제한된 예산으로 시행할 수 있는 22개 토구별 개량사업 실시여부에 대한 최적 조합을 산정하여 개량사업이 실시되는 토구에 한해서 사업우선순위를 선정하였다. 여기서, 예산제약은 166억으로 선정하였다.

다음의 표 3은 166억의 예산제약에 의하여 발생된 토구별 개량사업 실시여부에 대한 최적조합 및 최적개량비용을 나타내고 있다.

표 3. 토구별 개량 최적조합 및 최적개량비용

배수분구	토구	개량여부	개량비용(원)	배수분구	토구	개량여부	개량비용(원)
A	1	×	0	B	12	×	0
	2	×	0		13	×	0
	3	×	0		14	○	787,494,300
	4	○	4,169,273,000		15	○	0
B	5	○	105,735,000	16	×	0	
	6	×	0	17	×	0	
	7	○	461,792,800	18	×	0	
	8	○	324,777,600	19	○	370,051,100	
	9	○	841,740,200	20	○	507,171,100	
	10	○	2,023,864,000	21	○	1,297,971,000	
	11	○	233,517,200	D	22	○	5,226,037,000
최 적 개 량 비 용							16,349,420,000

하수관망 최적개량 모형의 적용에 있어서 예산 166억으로 제약한 결과 최적개량비용은 약 163억이 소요되며 토구별 개량비용은 22번, 4번, 2번, 21번 토구 순으로 높게 나타났다.

다음의 표 4에는 토구별 개량사업 실시여부에 대한 최적조합에 따른 사업우선순위 선정 결과를 나타내고 있다.

표 4. 예산제약에 따른 토구별 II/C 사업우선순위

배수분구	토구	개량여부	불명수 제거량 (m <sup>3</sup> /d)	II/C (×10 <sup>7</sup> ) (m <sup>3</sup> /d·원)	II/C 우선순위	배수분구	토구	개량여부	불명수 제거량 (m <sup>3</sup> /d)	II/C (×10 <sup>7</sup> ) (m <sup>3</sup> /d·원)	II/C 우선순위
A	1	×	0	0	·	B	12	×	0	0	·
	2	×	0	0	·		13	×	0	0	·
	3	×	0	0	·		14	○	904.00	11.48	5
	4	○	2266.40	5.44	9		15	○	0	0	·
B	5	○	0	0	·	16	×	0	0	·	
	6	×	0	0	·	17	×	0	0	·	
	7	○	562.40	12.18	3	18	×	0	0	·	
	8	○	385.60	11.87	4	19	○	154.40	4.17	10	
	9	○	1198.40	14.24	1	20	○	352.80	6.96	8	
	10	○	1661.60	8.21	7	21	○	1124.80	8.67	6	
	11	○	325.60	13.94	2	D	22	○	2028.00	3.88	11

개량사업이 시행되는 토구들만으로 사업우선순위를 선정한 결과 II/C에 따른 사업우선순위 산정에 있어서 9번 토구가 최우선으로 선정되었다.

#### 4. 결 론

본 연구의 최적개량 모형은 관거별 결합에 따른 개량에 소요되는 비용을 산출하여 토구별 개량 여부에 대한 최적 조합을 선정하는 한편 불명수 산정 모형을 통해 산출된 관거별 불명수량에 근거하여  $\Pi/C$ (불명수 제거량/개량비용)에 따른 토구별 개량사업 우선순위를 선정하였다. 이때, 토구별 최적 개량비용을 산출하기 위해서는 유전자 알고리즘을 이용하였으며 예산이 제약된 경우에 대하여 적용하였다.

본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 최적개량 모형에 의하여 4개 배수분구 22개 토구별 최적개량비용 및 사업우선순위를 선정하는 과정에서  $\Pi/C$ 를 고려하는 것은 하수관거 정비사업의 목적중 하나가 하수처리장 효율증대라는 실무적 효용성에 타당하다고 판단된다.

(2) 예산이 제약된 경우 전체 사업지역에 대한 토구별 개량사업 실시 여부에 대한 최적 조합 및 최적 개량비용을 산출함으로써 하수관거 정비사업에 대한 지역별 예산 배분의 기초자료로 활용될 수 있다.

추후 연구 과제로는 지속적인 관거자료 구축을 통해 하수관망의 장기 개량 모형이 개발되는 한편 하수관거의 노후도에 관한 장기 예측 및 노후도에 따른 불명수 발생율에 대한 연구가 필요하며 근래 들어 도시환경 및 하천의 오염 문제등이 대두되고 있는 상황에서 CSOs 발생량을 고려한 최적개량에 관한 연구가 필요하다. 또한 토구별 통수능 부족관거의 개량에 있어서 개량비용에 대한 효율면에서 우선순위를 결정할 수 있는 사항들에 관한 연구가 필요하다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구 지원(과제번호:R01-2001-000-00474-0)으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

#### 6. 참고문헌

- 박영수(1998). 유전자 알고리즘을 이용한 관망시스템의 최적비용 설계, 석사학위논문, 고려대학교
- 이창용(1999). Optimal Cost Design of Stormwater Drainage System using Genetic Algorithm, 석사학위논문, 고려대학교.
- 김태진(2002). 불명수를 고려한 하수관거 최적개량 의사결정 시스템의 개발, 석사학위논문, 고려대학교.
- DeMonsabert et al(1997). A Benders decomposition model for sewer rehabilitation planning for infiltration and inflow planning, Water Environment Research, Vol. 69, 1997, pp. 162-167.
- Dulcy M. Abraham and Syed Ali Gillani(1999). Innovations in Material for Sewer System Rehabilitation, Trenchless Technology Research, Vol. 14, No. 1, pp. 43-56.
- Greene, R. , Agebenowosi, N. and Loganathan, G. V.(1999) Gis-Based Approach to Sewer System Design, J of Surveying Engineering, Vol. 125, No. 1, pp. 36-57.