

Genetic Algorithm을 이용한 하수관망 최적 비용 및 개량시기 결정에 관한 모형 연구

○김태진*, 김용석**, 김정환**, 강인주***, 김중훈****

1. 서 론

근래에 들어 대도시를 중심으로 관거 조사 및 정비사업이 활발히 진행되고 있으나, 하수도관련 기초자료의 미비, 개·보수 전략 및 방안부재로 효율적이고 체계적인 사업추진에 큰 어려움을 겪고 있어, 관거정비의 합리적인 방안 및 기법수립등이 필요하다. 따라서 지속적인 하수관로 보급률을 향상하고 하수도 정비사업을 통해 불량한 노후된 하수관망 시설에 대한 체계적인 교체 또는 보수를 해 주어야 한다.

현재 국내는 대부분 점수평가법에 의한 방법으로 배수구역별 개생 우선 순위를 결정하고 있을뿐 관거별 개량우선순위는 결정하고 있지 않은 상태이다. 다만, 정철권 등(2001)이 Genetic Algorithm(GA)을 이용한 최적개량모형에 대하여 연구한 바가 있으나 이는 하수관로 개량비용과 하수처리비용만을 고려하여 맨홀에서 발생하는 불명수량은 고려하지 않았다. 외국의 경우 deMonsabert et al(1997)은 불명수량(infiltration & inflow) 저감에 따른 하수처리비용의 최소화에 의한 하수관거정비의 최적화를 위해 Benders decomposition Model을 개발하여 당해연도 예산결정의 최적값 산정과 각 비용절감효과를 알아보았다. deMonsabert et al(1999)은 불명수량(infiltration&inflow)을 고려한 하수처리비용과 보수비용을 고려한 정수 계획법(Integer programming)에 의하여 버지니아주의 패어팩스시 하수관로정비에 적용한 연구결과를 발표하였는데 이는 장기계획년도의 예산을 고려한 정비계획수립 기능을 갖추고 있다. 따라서 본 연구는 기법면에서 최적값을 찾을수 있는 발견적 탐색법(Heuristic algorithm)인 Genetic Algorithm(GA)을 이용한 모형으로 하수관로 및 맨홀의 최적 비용(예산)과 개량시기 결정을 도출하고자 한다.

2. Genetic Algorithm(GA)

Goldberg(1989)에 의하면 유전자 알고리즘은 적합도 함수(Fitness Function)라는 목적함수를 재생(Reproduction), 교배(Crossover; 교차) 및 돌연변이(Mutation)의 3가지 과정이 반복되면서 생물학적인 적자생존법칙의 유전적 체계에 기초한 탐색 알고리즘이다. 전(前)세대 생존자(우수개체)로부터 새로운 세대의 개체로 집합이 형성된다. 재생은 적합도 함수값(fitness function value)의 큰 기호열(string)이 다음 세대로 진행됨에 따라 더 많은 자손을 남길 수 있게 된다. 부모 세대는 현재의 세대로부터 무작위 선택되고, 차세대는 선택된 부모 세대의 유전자 재결합, 교차, 돌연변이를 거쳐 만들어진다. 교배는 미지의 해공간에 대한 탐색의 개념에서 볼 때 상호 교차가 탐색의 주된 연산자(operator)이다. 두 부모해의 유전 정보를 임의의 위치에서 부분적으로 교환함으로써

* 고려대학교 토목환경공학과 대학원(석사과정)
** 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 선임연구원
*** (주) 유일엔지니어링 부설 연구소장
**** 고려대학교 토목환경공학과 교수

교환함으로써 새로운 자손해를 생성하도록 하는 조작법이다. 돌연변이는 부모해로부터 자손해로 전달되는 특정한 유전 정보에 대하여 무작위적인 변형을 시도함으로써 전체 해집단에서 배제된 새로운 개체를 발생시키거나 진화과정에서 상실된 특정 유전정보의 재현을 시도하는 조작 방법이다. 이 방법을 통해 집단의 다양성을 보존한다. 적합도는 개체가 환경에 적응하여 도태되지 않고 생존할 수 있는 능력을 나타낸다. 목적 함수(objective function) 즉, 최적화 함수는 각 개체의 적합도를 평가하는 기반이다. 그러나 목적함수 값의 범위는 문제마다 다르므로 보통 정해진 구간 사이의 양수값을 갖도록 표준화된 값을 사용한다. 즉, 표준화하기 이전의 적합도의 값을 Raw Fitness라고 하며 표준화 되어 실제로 개체 선택의 기준이 되는 함수를 적합도 함수(fitness function)라고 한다. 이렇게 유전자 알고리즘은 세대(generation)를 거듭함에 따라 최적해에 수렴하고 도달하는 탐색 알고리즘이다.

3. 모형의 구축 및 적용

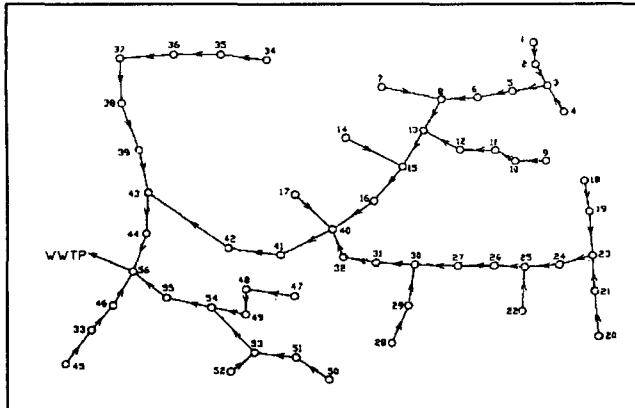
3.1 대상지역 선정 및 비용함수

하수관망 개량을 위한 본 모형은 하수관로 및 맨홀 개량 비용 및 하수처리비용을 산정하는 부분과 유전자 알고리즘을 통해 최적값을 산정하는 부분으로 구성되어 있다. 적용된 대상지역은 deMonsabert et al(1999)에 사용되었던 하수관망도로써 56개의 하수관로와 56개의 맨홀로 이루어져 있다. 초기 결정변수는 관경, 관로연장, 관로 불명수량, 맨홀 불명수량, 하수관로 CCTV 조사결과와 결합에 따른 추천 공법이다. 이에 대한 체원은 <표 1>에 구성체계는 <그림 1>에 나타내었다. <표 2>에는 관로 및 맨홀의 개량을 위해 모형에 적용한 단위 비용을 정리하였다.

<표 1> 하수관망 시스템의 자료

관로 & 맨홀 No.	관연장 (ft)	관경 (in)	관로 I/I (gpm)	맨홀 I/I (gpm)	CCTV 결과	공법	관로 & 맨홀 No.	관연장 (ft)	관경 (in)	관로 I/I (gpm)	맨홀 I/I (gpm)	CCTV 결과	공법
1	170	8	1.5	0	수평크랙	a	29	0	0	0	0	-	-
2	163	8	1.5	0	원형크랙	b	30	0	0	0	0	-	-
3	163	8	1.5	0	수평크랙	a	31	0	0	0	0	-	-
4	360	8	1.5	0	조인트결합	b	32	129	8	1.5	0	침전물	b
5	194	8	1.5	0	-	a,b	33	0	0	0	0	-	-
6	0	0	0	0	-	-	34	243	8	1.5	0	침전물	b
7	0	0	0	0	-	-	35	142	8	1.5	0	접속불량 침전물	b
8	0	0	0	0	-	-	36	108	8	1.5	0	수평크랙 침전물	a,b
9	347	8	0.5	0	접속불량	b,a	37	399	8	1.5	0	침전물	b
10	0	0	0	0	-	-	38	369	8	1.5	0	뿌리	b
11	78	8	0.5	0	침전물	b	39	0	0	0	0	-	-
12	0	0	0	0	-	-	40	0	0	0	0	-	-
13	166	10	0.5	0	누수점	b	41	155	12	0	20	맨홀벽누수	c
14	341	8	0.5	0	접속불량	a	42	369	12	7	3	조인트결합 맨홀누수	b,c
15	263	10	0.5	0	누수점	b	43	0	0	0	0	-	-
16	171	10	0	0.5	맨홀벽누수	c	44	219	12	1.5	0	원형크랙 침전물	b
17	200	8	1.5	0	누수점	b	45	0	0	0	0	-	-
18	0	0	0	0	-	-	46	231	8	1.5	0	침전물	b
19	0	0	0	0	-	-	47	0	0	0	0	-	-
20	316	8	1.8	0	관과파괴	a	48	0	0	0	0	-	-
21	301	8	1.5	0	조인트결합	b	49	0	0	0	0	-	-
22	0	0	0	0	-	-	50	94	8	1.5	0	조인트결합	b
23	0	0	0	0	-	-	51	168	8	1.5	0	뿌리	b
24	0	0	0	0	-	-	52	0	0	0	0	-	-
25	0	0	0	0	-	-	53	338	8	1.5	1.5	관과파괴, 침전물, 원형크랙	a,b
26	0	0	0	0	누수점	b	54	237	8	0.5	2	누수점, 맨홀	b,c
27	141	8	0.5	1	접속불량 맨홀 누수	a,c	55	220	8	1	3	원형크랙 누수점 맨홀	d,c
28	0	0	0	0	-	-	56	367	12	5	1.0	다수 결합	d

- 공법(a:정보수, b:라인 그라우팅 c:맨홀 그라우팅 d:교체) : 2가지이상 복합 공법이 발생할때는 혼합하여 표시



<그림 1> 하수관망 시스템

<표 2> 단위 비용 자료

개량비용 및 불명수 비용	단위 비용
교체	
8 in	\$59/1ft
10 in	\$62/1ft
12in	\$64/1ft
점 보수(굴착)(Point repair)	\$2000/1개
라인 그라우팅(Line grouting)	\$1.60/1ft
맨홀 그라우팅(Manhole goruting)	\$301/1개
하수처리(Wastewater Treatment)	\$2.60/1000gal

3.2 모형의 구축

본 모형의 목적함수는 제약조건을 만족시키는 것을 전제로 관로 및 맨홀 개량비용과 불명수처리비용의 합을 최소화 하는것으로 표현할 수 있으며 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

목적함수(Objective Function) :

$$Min. Cost = \sum_{i=0}^N (C_{R_i} + C_{T_i}) \quad (C_{R_i}; \text{개량비용}, C_{T_i}; \text{하수처리비용})$$

제약조건(Subject to) :

$$C_{R_i} \leq \text{개량년도 예산}(i) \quad (i = 0, 5, 10, 15, 20\text{년})$$

한편 본 모형의 가정은 다음과 같다. 첫째, CCTV결과는 표시되어 있지만 불명수(I/I)가 측정되지 않은 관로 및 맨홀의 불명수는 전체관로 및 맨홀의 불명수량 평균을 사용한다. 둘째, 관로와 맨홀을 개량하지 않을 경우 1년당 3.75%, 10%의 불명수증가량을 보인다. 셋째, 교체, 점 보수, 그라우팅 공법의 효율은 80%(불명수제거율)이다. 넷째, 개량년도에 발생하는 관로 및 맨홀의 결함은 5년마다 동일한 결함이 발생한다.

본 모형에서는 GA를 이용하여 정수 0, 1을 발생 시킨다. 0일 경우 하수관로 및 맨홀은 미개량을 나타내며, 1인 경우 하수관로 및 맨홀의 개량함을 나타낸다. 즉, 0일 경우 하수관로 및 맨홀의 개량비용은 0이 되며 하수처리비용이 개량년도의 총비용으로 산정된다. 또한 1일 경우 결함에 따른 하수관로 및 맨홀의 개량공법 및 연도별 개량 총비용(개량비용+하수처리비용)이 산정된다. 유전 연산자 매개변수는 다음과 같다. 한 개의 세대를 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. <그림 2>는 최적화에 사용되는 변수들에 할당된 비트를 설명한 것이다.

집단	개량년도 1				개량년도 2				...				개량년도 y							
	하수관료수(s)		맨홀수(m)		하수관료수(s)		맨홀수(m)		하수관료수(s)		맨홀수(m)		하수관료수(s)		맨홀수(m)					
1	1	...	s	1	1	...	m	1	1	...	s	1	1	...	s	1	1	...	m	1
2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
...
N	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

<그림 2> 유전자 알고리즘 구성예

유전 연산자들은 최적설계를 위해서 매우 중요한 요소이므로 각 연산자들의 기능을 정확히 파악하여 유전자 조작을 효율적으로 해야한다. <표 3>은 산정된 유전 연산자들을 나타낸 것이다.

<표 3> 산정된 유전 연산자

유전 연산자	유전 연산자 값
염색체의 길이	560(개)
개체집단의 크기	5(개)
최대 발생 횟수	1000(회)
교배율	50%
돌연변이율	1%

4. 결과 및 비교 분석

본 모형은 목표년도20년(개량년도0, 5, 10, 15, 20년), 이자율은 7%를 적용하였다. 개량년도에 예산제약이 없을 경우 개량순서는 <그림 3>과 같으며 비용은 <표 4>와 같은 결과를 보여주었으며, 제약이 있을 경우의 개량 시기는 <그림 4> 및 <표 5>와 같은 결과를 보여주었다.

<표 4> 최적개량 비용(\$) 및 최적(총)비용(\$)

	0	5	10	15	20	합
관로불명수량	11.05	2.24	1.76	1.54	1.71	18.30
관로개량비용	53077.60	36097.60	3494.40	4740.80	1665.60	99076.00
관로불명수비용	55009.50	15277.84	11984.37	10488.58	2339.520	95099.49
맨홀불명수량	6.40	0.25	0.29	0.10	0.06	8.13
맨홀개량비용	2480.00	2480.00	2170.00	1860.00	930.00	9920.00
맨홀불명수비용	43680.00	8736.00	1965.60	677.04	410.59	55469.23
최적개량비용 : 108996.00			최적(총)비용 = 259564.70			

개량년도	관로 갯수 1~ 56(개)
0	11111100010101110100110000011000010111111000101010001101111
5	111110000010101010100010000100001011011000101010001100101
10	0101110001010000000001000010000100000101100000010001000101000
15	01000000000000011010000000000000000000000001000000101000001100100
20	01001000010100010100001000000000000000000000000000000000000000

개량년도	맨홀 갯수 1~ 56(개)
0	00000000000000000100000000000100000000000000000000000000000000
5	00
10	00
15	00
20	00

<그림 3> 최적개량시기(예산제약없음)

5. 결 론

본 연구에서는 GA를 이용한 모형에 의하여 예산이 책정되어 있는 경우(Case1)와 예산이 설정 되어 있지 않는 경우(Case2)에 대하여 관로 및 맨홀의 개량을 모의하였다. 본 연구의 Case1과 Case2를 통하여 다음과 같은 최적개량계획을 수립할 수 있다. Case1을 통하여 적정 예산 및 최적개량시기의 결정과 B/C가 가장 큰 예산의 범위를 결정할 수 있었다. 이를 통하여 예산이 제한 되어 있을 경우에 적절한 예산 편성을 할 수 있고 최적 예산을 결정할 수 있다. Case2를 통하여 최적개량 비용과 최적 관로 및 맨홀의 개량 시기를 결정할 수 있다.

앞으로 하수관로 및 맨홀의 결함 및 불명수량의 많은 자료가 충분히 축적되고 관종의 내구연한 조사가 정확하게 이루어 진다면 보다 개선된 하수관로 및 맨홀 개량 모형이 개발될 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- 이창용(1999). "Optimal Cost Design of Stormwater Drainage System using Genetic Algorithm", 석사학위논문, 고려대학교.
- 백경록(2001). "Development of Seasonal Tank Model and Comparison of Optimazation Algorithm", 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, p. 162
- deMonsabert et al(1999). An Integer Programming for Optimizing Sanitary Sewer Rehabilitation Over a Planning Horizon, Water Environment Research, Vol. 74, No. 7, 1999, 1292-1297
- Goldberg, D.(1989). Genetic Algorithms in Search, Optimazation and Machine Learning, Addison-Welsley, Reading, MA