

**최적 도시유출시스템의 개발 :**  
**II. 도시구역의 최적유출시스템 제어를 위한 의사결정모형의 개발**  
**Development of Optimal Urban Runoff System :**  
**II. Development of Decision Making Model for Optimal Control of**  
**Rainfall-Runoff System in Urban Area**

이 정 호\* / 김 중 훈\*\* / 김 형 수\*\*\* / 조 덕 준\*\*\*\* / 김 응 석\*\*\*\*\*

Lee, Jung Ho / Kim, Joong Hoon / Kim, Hung Soo / Jo, Deok Jun / Kim, Eung Seok

**Abstract**

Our government is interested in the rehabilitation for the old sewer rather than the construction of a new sewer system. However, the research work on the sewer rehabilitation is not sufficient as much as the interest on the rehabilitation is increased. There are some research works for the determination of rehabilitation time by the genetic algorithm in Korea and foreign countries. However, the previous studies have considered the simple elements for the determination of the rehabilitation time and so the complex decision-making according to the degree of sewer superannuation has not been performed. Therefore, in this study, we estimate the capacity and I/I of sewer and determine the priority of the optimal rehabilitation for each outfall within the draining system. Also we develop the optimal rehabilitation decision making system for the cost estimation of optimal rehabilitation using the genetic algorithm.

**Keywords** : sewer, optimal rehabilitation, genetic algorithm, decision making system

**요 지**

국내의 경우 전국적으로 관거의 신설보다는 기존에 매설되어있는 관거의 노후에 따른 개량에 대한 관심이 증대되고 있으나, 그에 따른 연구는 미비한 실정이다. 국내·외에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 개량시기를 결정하는 연구 예가 있으나, 이러한 연구에서 개량시기를 결정하는 요소들이 매우 단순하여 관거의 노후에 따른 복합적인 의사결정이 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 관거별 통수능력 및 불명수 발생량을 산정하여 배수분구내 토구별 최적개량 우선순위를 결정하는 한편, 유전자 알고리즘을 이용하여 최적개량비용을 산정하는 최적개량 의사결정 시스템을 개발하였다.

**핵심용어** : 하수관, 최적개량, 유전자 알고리즘, 의사결정시스템

- \* 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정  
Ph.D. Student, Dept. of Civil and Envir. Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea  
(E-mail : jungho\_lee@lycos.co.kr)
- \*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수  
Prof., Dept. of Civil and Envir. Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
- \*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 조교수  
Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Inha Univ. Incheon 402-751, Korea
- \*\*\*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정  
Ph.D. Student, Dept. of Civil and Envir. Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
- \*\*\*\*\* 선문대학교 토목공학과 전임강사  
Instructor., Dept. of Civil Eng., Sunmoon Univ. Asan 336-708, Korea

## 1. 서론

근래에 들어 도시지역 하수관거에 대한 정비사업이 활발히 이루어지고 있으나, 하수관거 시설물에 대한 과거 자료의 데이터베이스(database)화가 전무한 실정에서 정비사업을 시행함에 따라 체계적으로 사업이 진행되어지지 못하고 있다. 현재 국내에서는 관거내부의 이상정도에 따라 영향인자들에 대한 점수평가법을 통해 정비사업이 이루어지고 있는데 이에 대해 보다 더 체계적인 연구가 요구되고 있다.

하수관망의 최적 설계 및 개량에 관하여 Mays과 Yen(1975)은 동적계획법과 이산미분 동적계획법(Discrete Differential Dynamic Programming, DDDP)에 의하여 우수관망의 최적비용을 계산하였으며, 여기서 연구된 대상지역에 Mays와 Wenzel(1976)은 Serial approach라는 방법을 사용하여 맨홀의 배열을 통한 우수관거 설계에 적용하였다. 또한, Miles와 Heaney(1988)는 기존의 동적계획법에 의해 풀어진 하수관망설계를 Lotus 1-2-3을 적용하여 계산하였으며, Li 와 Matthew(1990)은 도시배수조직의 최적 배열에 방향탐색법(searching direction method)을 이용하였다. 국내에서는 이창용(1999)이 유전자 알고리즘을 이용하여 하수관망 설계 제약조건을 만족한 최소 비용 하수관망을 설계하였다. 이 모형의 결정변수로는 계획홍수량, 관로연장, 지반고를 설정하였다.

국내의 경우 전국적으로 기존에 매설되어 있는 관거의 노후에 따른 개량사업이 활발히 이루어지고 있으며 그에 따른 연구의 필요성이 증대되고 있다. 하수관거의 개량에 대한 연구는 deMonsabert(1997)에 의하여 정수 계획법의 적용에 따른 하수관망의 개량 연구 예가 있으며 정철권 등(2001)이 하수관거의 개량 시기에 대하여 유전자 알고리즘을 적용한 연구 예가 있다. 그러나, 이러한 연구에 있어서 개량 시기를 결정하는 요소들이 매우 단순하여 관거의 노후에 따른 복합적인 의사결정이 이루어지지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 도시유출 해석 모형인 ILLUDAS 모형을 이용하여 관거별 통수능력을 검토하는 한편, 이정호 등(2003)의 결과를 통해 산정된 불명수 발생량을 이용하여 배수분구내 도구별 최적개량 우선순위를 산정할 수 있는 의사결정 시스템을 개발하였다.

## 2. 모형의 이론 및 구성

최적개량 모형은 도시유출모형인 ILLUDAS 모형을 통하여 판별된 통수능 부족관거에 대한 개량 및 관거별

결합에 따른 개량에 소요되는 비용을 산출하여 도구별 개량 여부에 대한 최적 조합을 선정하였다. 또한 불명수 산정 모형을 통해 산출된 관거별 불명수량에 근거하여  $I/C$ (불명수제거량/개량비용)에 따른 도구별 개량사업 우선순위를 선정하였다. 이때, 도구별 최적 개량비용을 산출하기 위해서는 유전자 알고리즘을 이용하였으며, 예산이 제약된 경우와 제약되지 않은 두가지 경우에 대하여 적용하였다.

### 2.1 ILLUDAS 모형을 통한 통수능 부족관거 판단

일반적인 하수관거의 통수능력 평가는 대상구역의 계획하수량(계획홍수량+시간최대 오수량+지하하수량)에 대하여 합리식에 의한 유출량을 산정하여 비교함으로써 이루어진다. 본 연구에서는 ILLUDAS 모형을 통해 관거별 통수능력의 평가를 수행하였다.

#### 2.1.1 ILLUDAS 모형

ILLUDAS 모형은 도시유역의 홍수유출계산을 위해 영국도로연구소(British Road Research Laboratory)에서 개발한 RRL 방법을 보완하여 도시 우수관거 시스템의 신규 설계 혹은 기존 관거시스템의 우수배제능력 평가 및 우수지 설계 유입 수문곡선의 계산을 위해 개발된 모형이다. 이 모형의 주요특성을 살펴보면 다음과 같다.

- RRL방법과 동일한 기본 해석개념
- 투수지역 및 간접연결 불투수지역의 유출도 유출계산에서 고려
- 유역내 수문학적 특성이 소구역별로 상당히 다를 때 적합
- 유출량 산정에 있어서 각종 수리구조물의 영향에 대한 고려가 미흡

#### 2.1.2 강우분석

ILLUDAS 모형을 통해 관거에 흐르는 유량을 산출하기 위하여 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 제안된 다음과 같은 서울시의 대표적 강우강도 공식을 사용하였다.

- 간선관거 ( $C \cdot A \geq 12\text{ha}$ )

$$I_{10} = \frac{651.1}{\sqrt{t+1.014}} \quad (\text{mm/hr}) \quad (1)$$

- 지선관거 ( $C \cdot A < 12\text{ha}$ )

$$I_5 = \frac{541.3}{\sqrt{t+1.003}} \quad (\text{mm/hr}) \quad (2)$$

여기서, C는 유출계수, A는 배수면적을 나타낸다.

또한, 여기서 제시된 강우강도 공식을 사용하여 강우

표 1. 유출계수

용도지역구분	유출계수	용도지역구분	유출계수
•주거지역	0.65	•밀집하지 않은 공업지역	0.65
•APT 지역	0.60	•밀집한 공업지역	0.75
•상업지역	0.80	•산지	0.60

지속시간을 10분 간격으로 강우량을 산출하였으며, 각각의 강우지속시간별 유출량을 ILLUDAS 모형에 의해 모의하여 최대유량에 도달하는 강우지속시간을 산출하였다. 여기서 채택된 적정 강우지속시간에 대하여 강우 분포의 형태는 서울시 대표적 강우분포형인 Huff 4분위법을 사용하여 분포하였다.

**2.1.3 통수능력 검토**

하수관거는 간선의 경우 10년, 지선의 경우 5년의 설계빈도로 설계된다. 이때, 지선과 간선의 구분은 관거별 배수면적에 유출계수를 곱한값이 12ha이상이면 간선, 미만이면 지선으로 구분하고 있다. 이상의 기준에 의하여 지선 및 간선을 구분하여 각각 5년 및 10년 빈도의 강우량을 채택하여 통수능력을 검토하였다.

다음의 표 1은 유역의 토지이용상태에 따른 대표적 유출계수 값을 나타내고 있다.

**2.2 유전자 알고리즘**

최근에 많이 사용되고 있는 최적화방법은 기존 최적화방법의 단점을 보완한 발견적(heuristic) 방법이다. 대표적인 발견적 방법으로는 SA(Simulated Annealing), TA(Taboo Search), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA) 및 음정탐색법(Harmony Search) 등이 있다.

본 연구에서 채택한 방법은 유전자 알고리즘으로 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.

**2.2.1 유전자 알고리즘의 특징**

유전자 알고리즘의 특징은 다음과 같다.

- 파라미터를 코딩한 것을 직접 이용한다.
- 점(point)이 아닌 다점(multi points : 군(population)) 탐색 방법이다.
- 탐색에 비용 정보(fitness function)를 이용하며,

blind search를 한다.

- 결정론적인 규칙이 없고 확률적 연산자를 사용하여 수행된다.

**2.2.2 유전 알고리즘의 구성요소**

(1) 개체 표현 방법

유전알고리즘은 풀고자 하는 문제의 변수값을 이진 스트링으로 표현한다. 또한, 이외에도 각 유전자좌의 비트(예, 0과1)에 어떠한 의미를 두고, 디코딩은 이것을 해석함으로써 이루어지는 방법도 있다.

코드화의 유효성을 판단하기 위한 조건은 다음과 같은 것이 있다.

- 완전성(completeness) : 문제의 공간상의 해 후보는 염색체로 표현
- 건전성(soundness) : GA 공간상의 염색체는 문제 공간의 해 후보에 대응
- 비용장성(nonredundancy) : 염색체와 해 후보는 1대1 대응

(2) 유전 연산자(Genetic Operator)

기본적인 연산자로 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)가 있으며 문제에 따라 역위(inversion), 치환(displacement), 중복(duplication), 추가(addition), 제거(deletion) 등의 연산자를 사용하는 경우도 있다. 여기서, 교배는 2개의 개체간에 염색체를 부분적으로 서로 바꿈으로써 새로운 개체를 생성하는 것이며 이때, 형질 유전성(character preservingness) 또는 교배 근접(crossover neighborhood)에 의해 부모의 형질이 자손에게 적절히 계승된다. 또한, 돌연변이는 개체의 각 유전자좌의 유전자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립 유전자의 값으로 바꾸는 것으로 전형적인 돌연변이 확률은 0.05이하이다.

(3) 알고리즘 제어 파라미터

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.

## 2.3 모형의 구성

### 2.3.1 모형의 구성요소

본 연구에서 제시되는 모형은 도시유출 해석 모형, 불명수 산정 모형 및 하수관망 최적개량 모형 등으로 이루어진다. 모형별로 수행되는 내용들을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

첫째, 도시유출 해석모형에서는 재현기간 5년 및 10년에 대하여 확률홍수량에 따른 강우를 분포시키 ILLUDAS 모형을 통해 대상지역에 대한 관거별 통수능력을 검토하였다.

둘째, 불명수 산정 모형에서는 하수관망 정비사업에 대한 실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 AHP 기법을 통해 관거내에 발생하는 결함별 가중치를 산정하여 대상지역 중요지점에서 관측된 불명수량을 관거별 결함양상에 따라 차등 배분하였다.

셋째, 하수관망 최적개량 모형에서는 앞서 수행된 두 가지 모형에 의한 결과를 바탕으로 대상지역에 대한 하수관망 개량에 있어서 우선순위 및 최적개량 비용을 결정하였다.

이상의 세가지 모형에 의하여 하수관거 최적개량 의사결정 시스템이 구축되며 최적개량 schedule 및 최적개량 비용의 산출은 도구 단위로 이루어졌다.

다음의 그림 1은 전체 시스템을 구축하는 모형별 유기적 관계 구성에 대하여 나타내고 있다.

도시유출 해석 모형에서는 대상지역의 모든 관거에 대하여 통수능 부족관거를 추출하며 불명수 산정 모형에서는 결함 발생 관거를 추출하여 관거별 불명수량을 산정한다.

이상의 두가지 요소 즉, 통수능 부족 및 불명수 발생량은 하수관망 최적개량 모형에 있어서 결정변수가 된다. 즉, 다음의 두가지 요소로 설명할 수 있다.

첫째, 도시유출 해석모형을 통해 파악된 통수능 부족 관거는 대상지역에 대한 하수관망 정비사업에 있어서 최우선적으로 교체되어야 하는 관거이다. 따라서 통수능 부족관거 교체비용은 하수관망 최적개량 의사결정을 위한 우선적인 변수가 된다.

둘째, 불명수량 제거효율(II/C)은 불명수량 산정 모형을 통해 분배된 대상지역 각각의 관거별 불명수량을 통해 관거 개량시 발생하는 비용 대비 제거되는 불명수량을 산출하여 최적개량 의사결정을 위한 또다른 변수로 사용된다.

### 2.3.2 GA를 이용한 모형의 최적화

본 모형에 있어서 최적개량을 위한 첫 번째 단계는 통수능 부족관거의 교체를 위한 비용 산출이다. 따라서, 통수능 부족관거의 교체에 따른 비용을 제외한 이후에 불명수량 제거효율(II/C)에 따라 도구별 최적개량 의사결정을 수행하도록 한다.

#### (1) 개량 및 교체변수

본 모형에서는 GA를 이용하여 정수 0, 1을 발생시킨다. 0일 경우 하수관로의 통수능 만족에 따른 미교체 및 결함의 전무함에 따른 미개량을 나타내며, 1인 경우 통수능 부족에 따른 교체 및 결함에 따른 개량을 나타낸다.

#### (2) 유전 매개변수

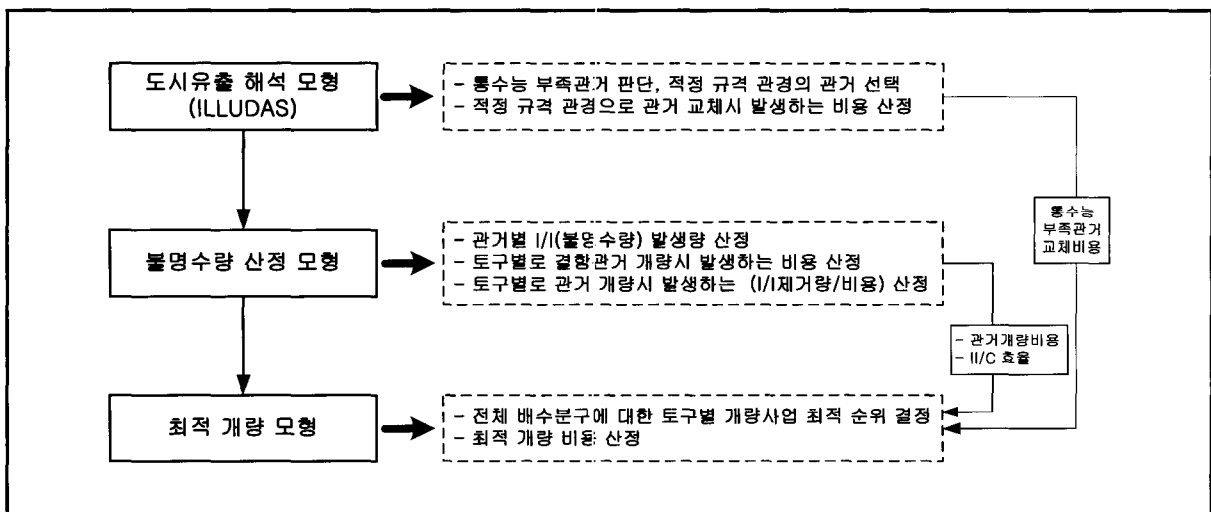


그림 1. 하수관망 최적개량 모형의 체계

본 모형에서 사용된 유전 연산 매개변수는 다음과 같다. 한 개의 세대를 구성하는 기호열의 집단(population)은 5~100, 세대는 1000~10,000사이의 값을 설정하였다. 또한, 유전연산자에서 교배율은 0.5~1.0, 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.

(3) 적합도 함수

본 연구에서는 최적의 개량비용 산정 및 최적의 개·보수 계획 수립을 위하여 다음과 같이 목적함수와 제약조건을 결정하였다.

- 목적함수(Objective Function)

$$\text{Max. Cost}_1 = \sum_{i=1}^N C_{S_i} = \sum_{i=1}^N C_{S_i}$$

$$( C_{c_i} + Cdt_{c_i} + Cdt_{r_i} + Cdp_{c_i} + Cdp_{r_i} + Cnt_{l_i} + Cn_{m_i} + Cnp_{l_i} + Cn_{r_i} + Ctv_i ) \quad (3)$$

여기서,  $C_{c_i}$ 는 통수능 부족에따른 교체비용,  $C_{S_i}$ 는 하수관거 개량비용,  $Cdt_{c_i}$ 는 원형관굴착전체교,  $Cdt_{r_i}$ 는 암거굴착전체교체,  $Cdp_{c_i}$ 는 원형관굴착부분교체,  $Cdp_{r_i}$ 는 암거굴착부분교체,  $Cnt_{l_i}$ :전체교체라이닝,  $Cn_{m_i}$ 는 준설,  $Cnp_{l_i}$ 는 부분라이닝,  $Cn_{r_i}$ 는 돌출관제거, 그리고  $Ctv_i$ 는 TV 조사공을 나타낸다.

- 제약조건

$$\sum_{i=1}^N C_{c_i} \leq \text{예산}, \quad \sum_{i=1}^N C_{S_i} \leq \text{예산} \quad (4)$$

다음의 그림 2는 하수관망 최적개량 모형의 흐름도를 나타내고 있다.

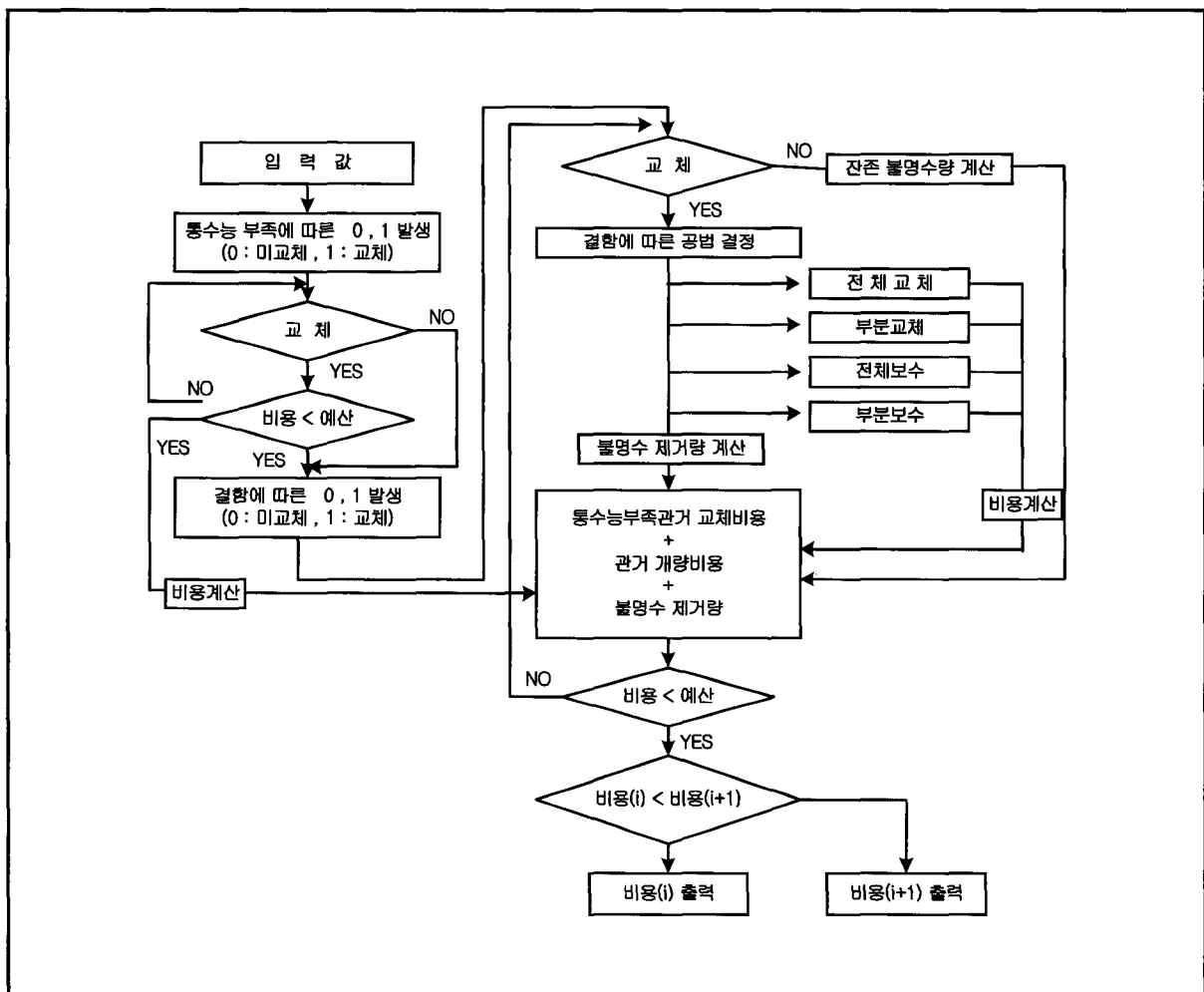


그림 2. 하수관망 최적개량 모형 흐름도

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 대상지역의 자료조사 및 분석

##### 3.1.1 강우분석

통수능력 평가를 위한 강우량은 지선 및 간선 하수 관거를 구분하여 재현기간 5년 및 10년의 강우강도 공식을 적용하였으며, 최대침투홍수량 발생 지속시간의 적용을 위해 강우지속시간 60~120분 강우량을 10분 간격으로 산출하였다.

지속시간별 총 강우량의 시간분포는 서울지역의 Huff 4분위법(2분위 채택)에 의하여 분포시켰으며 강우

지속시간별 5년 및 10년빈도 강우량에 대하여 ILLU-DAS 모형을 적용하여 유출량을 모의하였다.

다음의 표 3은 재현기간별 강우지속시간에 따른 침투유량 및 침투유량 도달시간을 나타내고 있다. 또한, 그림 3은 유출수문곡선을 비교한 것으로써 도달시간 40분, 강우지속시간 70분에서 5년 및 10년빈도 홍수량이 2.486cms와 3.047cms로 최대값이 산정되었다.

이상의 분석결과 최대홍수량 발생 지속시간에 따른 통수능력 검토를 위한 대상지역의 강우 지속시간은 70분으로 채택하였다.

표 2. 지속시간별 총강우량

(단위 : mm)

강우지속시간(min)	60	70	80	90	100	110	120
5년빈도 총강우량	6.187	6.740	7.256	7.740	8.199	8.636	9.054
10년빈도 총강우량	7.433	8.098	8.718	9.301	9.853	10.378	10.880

표 3. 지속시간별 침투유량

재현기간 (년)	지속시간 (min)	침투유량 ( $m^3/sec$ )	침투유량 도달시간 (min)	재현기간 (년)	지속시간 (min)	침투유량 ( $m^3/sec$ )	침투유량 도달시간 (min)
5	60	2.105	40	10	60	2.845	40
	70	2.486	40		70	3.047	40
	80	2.369	40		80	2.903	40
	90	2.334	50		90	2.835	50
	100	2.307	50		100	2.810	50
	110	2.213	50		110	2.694	50
	120	2.128	60		120	2.577	60

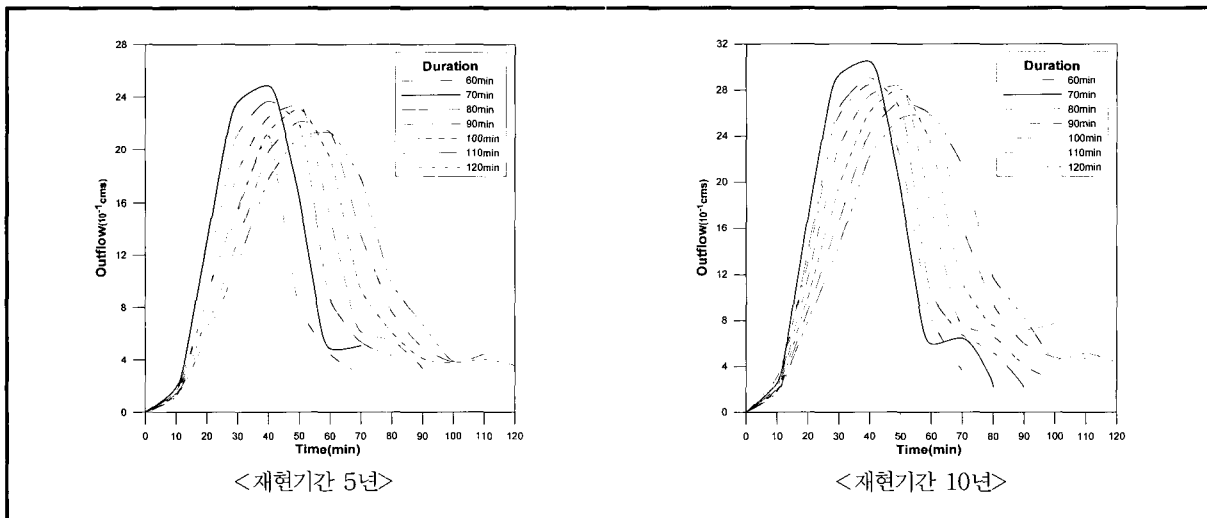


그림 3. 강우지속시간별 유출수문곡선

### 3.1.2 통수능력 부족관거 현황

채택된 강우분포에 따라 ILLUDAS 모형으로 배수분구별 관거내 통수량을 검토하였으며, 이때 지선과 간선관거를 구분하여 각각 5년 및 10년 빈도 강우분포에 의해 통수 능력에 대한 검토를 수행하였다. 대상지역의 하수관거에 대하여 C(유출계수)·A(유역면적)가 12ha 이상이면 간선으로, 미만이면 지선으로 구분하였다.

다음의 표 4는 ILLUDAS 모형을 통해 통수능력을 검토한 결과이다.

통수능력 부족관거는 기존의 하수관거 정비사업에서 가장 우선적으로 정비 되어야 하는 관거로 판단되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 하수관거 정비사업을

위한 최적개량모형의 개발에 있어서 통수능력 부족관거는 최우선 순위를 갖게 되며, 여기서 발생하는 비용은 사업우선순위 결정을 위한 판단 기준의 하나가 된다.

### 3.1.3 공사비 산출기준

하수관망의 최적개량을 위해서는 우선적으로 통수능 부족관거에 대한 교체 처리비용을 산출한 이후에 결함에 따른 개량 비용 및 불명수 제거 비용을 산출한다. 이렇게 산출된 개개의 관거에 대하여는 다시 토구별로 산출하여 토구별 최적개량 우선순위 및 비용을 산출하게 된다.

다음의 표 5는 관거 개·보수 방법에 따라 소요되는 공사비의 산출 기준을 나타낸다.

표 4. 통수능력 부족관거 현황

(단위 : m)

배수분구	관 거 현 황			통수능 부족관거		
	총개수/연장	간선수/연장	지선수/연장	총개수/연장	간선수/연장	지선수/연장
갈 현	1,106 36,718.6	36 2,172.4	1,071 34,546.2	40 1683.1	3 31.4	37 1651.7
불광(1)	1,244 36,945.6	28 1,013.8	1,216 35,931.8	52 2,116	7 347.7	45 1,768.3
불광(2)	624 20,867	15 896.1	609 19,970.9	30 1,112.9	1 52	29 1,060.9
대 조	642 20,775.5	0 0	642 20,775.5	16 749.8	0 0	16 749.8

표 5. 관거 개·보수 공사비 산출기준

구분	항 목	계 산 식	구분	항 목	계 산 식
전 체 교 체	굴착교체 (원형관)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=756x+161,000</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) (<math>x =</math> 관경(mm), <math>y =</math> 개·보수비)</li> </ul>	전 체 보 수	전체 라이닝	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=1,295x+396,000</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)</li> </ul>
				준 설	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=33x-6,300</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)</li> </ul>
부 분 교 체	굴착교체 (암거)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=1,350x+753,000</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) (<math>x =</math> 단면적(m<sup>2</sup>), <math>y =</math> 개·보수비)</li> </ul>	부 분 보 수	부분 라이닝	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=1,406x+137,000</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/개소)×개소+ [TV조사비(원/m)]×연장(m)+ 준설비(원/m)×연장(m)</li> </ul>
				돌출관 제거	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=343,000</math>(원/개소)</li> <li>개보수시 : 단가(원/개소)×개소</li> </ul>
	굴착교체 (암거)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=1,350x+753,000</math></li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m) (<math>x =</math> 단면적(m<sup>2</sup>), <math>y =</math> 개·보수비)</li> </ul>	기 타	TV 조사공	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=5,000</math>(원/m)</li> <li>개보수시 : 단가(원/m)×연장(m)</li> </ul>
			하 수 치 리 비 용	하수장	<ul style="list-style-type: none"> <li>단 가 : <math>y=47.6</math>(원/ton)</li> <li>개보수시 : 단가(원/ton)×잔존불명수</li> </ul>

※ 교체(전체, 부분), 보수(전체, 보수)의 효율은 80%(관내 불명수제거율)

### 3.2 모형의 적용

본 연구에서는 갈현, 대조, 불광(1), 불광(2) 배수구역 내에 총 22개 토구별 개량비용의 산출 및 사업우선순위를 선정함으로써 하수관망 최적개량 모형을 적용하였다. 이때, 하수관거 개량사업에 있어서 예산이 제약된 경우와 제약되지 않은 경우 각각에 대하여 모형을 적용시켰다. 또한, 관거의 개량에 의해 토구별로 발생하는 개량효율인 II/C(불명수제거량/개량비용)에 대하여 각각 그 값이 높은 순으로 사업우선순위를 선정하였다.

#### 3.2.1 예산제약 제외

하수관거 개량사업에 있어서 예산이 제약되지 않은 경우 본 연구의 대상지역에서의 총 개량비용은 40,956,795,800원이 소요된다.

다음의 표 6에는 22개 토구별로 발생하는 개량비용

이 산출되어있다.

이상의 결과에서 보여지듯이 4개 배수구역내의 22개 토구별 통수능 부족관거 개량비용 및 결합 발생관거 개량비용을 산출한 결과, 통수능 부족관거의 개량을 위해서는 약 34억원의 공사비용이 소요되며, 결합 발생관거에 대해서는 약 376억원이 소요되는 것으로 나타났다. 그런데, 하수관거 개량사업의 시행에 있어서 통수능 부족관거의 경우 결합 발생관거 개량에 앞서 우선적으로 개량되어야 한다. 따라서, 토구별 사업우선순위를 선정함에 있어서 II/C 산출에서의 개량비용(C)은 통수능 부족관거의 교체비용을 제외한 결합에 대한 개량비용이 된다.

다음의 표 7은 토구별 II/C에 따른 각각의 사업우선순위를 나타내고 있다.

표 6. 토구별 개량비용

배수 구역	토구	관거개수(개)	통수능부족관거		결합발생관거 개량비용(원)	총 개량비용 (원)
			관개개수/연장(개/m)	개량비용(원)		
갈현	1	225	11	347.8	2,544,894,000	2,829,224,200
	2	29	0	0	397,824,600	397,824,600
	3	544	15	683.4	5,534,726,000	5,920,360,800
	4	308	14	651.9	4,169,273,000	4,540,853,200
대조	5	10	0	0	105,735,000	105,735,000
	6	85	1	52.3	851,372,200	885,297,000
	7	43	1	26.8	461,792,800	479,407,600
	8	38	2	105.2	324,777,600	393,279,600
	9	81	5	217.6	841,740,200	989,812,600
	10	159	3	105.2	2,023,864,000	2,085,382,800
	11	12	0	0	233,517,200	233,517,200
	12	23	1	22.4	226,718,800	238,576,800
	13	107	1	46	1,466,898,000	1,495,169,600
	14	67	1	44.1	787,494,300	796,241,500
	15	7	0	0	0	0
	16	10	1	130.2	219,412,200	304,224,200
불광1	17	924	42	1623.1	9,026,218,000	10,053,756,000
	18	115	5	375.8	944,301,300	1,215,005,300
	19	39	0	0	370,051,100	370,051,100
	20	78	5	117.1	507,171,100	596,212,500
	21	88	0	0	1,297,971,000	1,297,971,000
불광2	22	624	30	1112.9	5,226,037,000	5,728,893,200
총 합		3616	123	4978.4	37,561,789,400	40,956,795,800



표 7. 토구별 II/C에 따른 사업우선순위

배수 분구	토구	불명수 제거량 ( $m^3/d$ )	II/C ( $\times 10^7$ ) ( $m^3/d \cdot \text{원}$ )	II/C 우선 순위	배수 분구	토구	불명수 제거량 ( $m^3/d$ )	II/C ( $\times 10^7$ ) ( $m^3/d \cdot \text{원}$ )	II/C 우선 순위
갈현	1	1417.60	5.57	15	대조	12	383.20	16.90	2
	2	137.60	3.46	19		13	1320.00	9.00	9
	3	3193.60	5.77	14		14	904.00	11.48	7
	4	2266.40	5.44	16		15	0.00	0.00	22
대조	5	0.00	0.00	21	불광(1)	16	469.60	21.40	1
	6	42.40	0.50	20		17	7407.20	8.21	12
	7	562.40	12.18	5		18	851.20	9.01	8
	8	385.60	11.87	6		19	154.40	4.17	17
	9	1198.40	14.24	3		20	352.80	6.96	13
	10	1661.60	8.21	11		21	1124.80	8.67	10
	11	325.60	13.94	4	불광(2)	22	2028.00	3.88	18

표 8. 토구별 개량 최적조합 및 최적개량비용

배수 분구	토구	개량여부	통수능 부족관거 개량비용(원)	결함 발생관거 개량비용(원)	총 개량비용(원)
갈현	1	×	284,330,200	0	284,330,200
	2	×	0	0	0
	3	×	385,634,800	0	385,634,800
	4	○	371,580,200	4,169,273,000	4,540,853,200
대조	5	○	0	105,735,000	105,735,000
	6	×	33,924,800	0	33,924,800
	7	○	17,614,800	461,792,800	479,407,600
	8	○	68,502,000	324,777,600	393,279,600
	9	○	148,072,400	841,740,200	989,812,600
	10	○	61,518,800	2,023,864,000	2,085,382,800
대조	11	○	0	233,517,200	233,517,200
	12	×	11,858,000	0	11,858,000
	13	×	28,271,600	0	28,271,600
	14	○	8,747,200	787,494,300	796,241,500
	15	○	0	0	0
	16	×	84,812,000	0	84,812,000
불광1	17	×	1,027,538,000	0	1,027,538,000
	18	×	270,704,000	0	270,704,000
	19	○	0	370,051,100	370,051,100
	20	○	89,041,400	507,171,100	596,212,500
	21	○	0	1,297,971,000	1,297,971,000
불광2	22	○	502,856,200	5,226,037,000	5,728,893,200
최적개량비용			3,395,006,400	16,349,420,000	19,744,430,700

이상의 결과에서 보이듯이 22개 토구별 II/C를 산출하여 사업우선순위를 산정한 결과 최우선 사업지역은 16번 토구로 나타났다.

### 3.2.2 예산제약 고려

하수관거 개량사업에 있어서 예산이 제약될 경우 제한된 예산으로 최적의 개량사업 시행안을 제시하였다.

즉, 제한된 예산으로 시행할 수 있는 22개 토구별 개량 사업 실시여부에 대한 최적 조합을 GA를 이용하여 산정하였으며 개량사업이 실시되는 토구에 한해 사업우선 순위를 선정하였다.

본 연구에서는 임의로 예산제약을 200억으로 선정하였다. 그런데, 하수관거 개량사업에 있어서 통수능 부족 관거는 우선적으로 개량되어야 하므로 전체 예산 제약 금액에서 통수능 부족관거 개량비용을 제외한 금액에 대하여 토구별 개량사업 실시여부에 대한 최적조합을 산출해야 한다. 즉, 통수능 부족관거 개량에 소요되는 비용의 총액 3,395,006,400원을 제외한 16,604,993,600원이 실제 예산 제약 금액이 되어야 한다.

다음의 표 8은 200억의 예산제약에 의하여 발생한

토구별 개량사업 실시여부에 대한 최적조합 및 최적개량비용을 나타내고 있다.

하수관망 최적개량 모형의 적용에 있어서 예산 200억으로 제약한 결과 통수능 부족관거 개량비용은 약 34억, 결함발생관거 개량비용은 약 163억으로 최적개량비용은 약 197억이 소요되는 것으로 산출되었다. 즉, 200억원의 제한된 예산을 가장 효과적으로 활용할 수 있는 개량 최적조합을 구성하였다.

다음의 표 9에는 토구별 개량사업 최적조합에 따른 사업우선순위 선정 결과를 나타내고 있다.

개량사업이 시행되는 토구들만으로 사업우선순위를 선정할 결과 9번 토구에서 최우선 사업순위가 이루어져야 하는 것으로 나타났다.

표 9. 예산제약에 따른 토구별 II/C 사업우선순위

배수 분구	토구	개량 여부	불명수 제거량 ( $m^3/d$ )	II/C ( $\times 10^7$ ) ( $m^3/d \cdot \text{원}$ )	II/C 우선 순위	배수 분구	토구	개량 여부	불명수 제거량 ( $m^3/d$ )	II/C ( $\times 10^7$ ) ( $m^3/d \cdot \text{원}$ )	II/C 우선 순위
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	C	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

#### 4. 결 론

본 연구의 대상유역은 통수능 부족관거의 규모가 상대적으로 낮으므로 결함관거 개량에 앞서 최우선 개량을 하는 것으로 하였으나, 통수능 부족관거가 상대적으로 많아서 사업비 비중이 너무 높아 우선순위의 조정이 필요한 경우에는 통수능 부족관거를 대상으로 우선순위를 조정할 필요가 있다. 즉, 제한된 예산으로는 통수능 부족관거를 전부 교체할 수 없는 경우 개량비용에 따른 효율면에서 여러 가지 사항들을 고려하여 우선순위를 선정할 수 있다. 이때 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

- 1) 해당 관거 유역의 면적 및 도시화 진척정도(CA : 유출계수 · 유역면적)
- 2) 월류시 침수면적과 침수지속시간(area, depth)
- 3) 분구별 수해의 직간접 영향정도

본 연구의 최적개량 의사결정 시스템은 도시유출모형(IIUDAS)에 의해 판별된 통수능 부족관거에 대한, 개량 및 관거별 결함에 따른 개량에 소요되는 비용을 산출하여 토구별 개량 여부에 대한 최적 조합을 선정하는 한편, 불명수 산정 모형을 통해 산출된 관거별 불명수량에 근거하여 II/C(불명수제거량/개량비용)에 따른 토구별 개량사업 우선순위를 선정하였다. 이때, 토구별 최적 개량비용을 산출하기 위해서는 유전자 알고리즘을 이용하였으며 예산이 제약된 경우와 제약되지 않은 두 가지 경우에 대하여 적용하였다.

본 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 최적개량 모형에 의하여 22개 토구에 대한 사업 우선순위를 II/C에 따라 선정하였다. 하수관거 정비사업을 실시하는 가장 큰 목적중 하나가 하수처리장 효율 증대를 위해 불명수를 제거하는 것이므로 II/C에 의한 사업우선순위의 산정은 실무

적 적용상 타당하며 현행 점수평가법에 의한 우선순위 선정에 비해 보다 체계적이고 정량화된 결과를 도출한다.

- (2) 최적개량 모형을 통해 예산이 제약된 경우 전체 사업지역에 대한 도구별 개량사업 실시 여부에 대한 최적 조합 및 최적 개량비용을 산출함으로써 지역별 적절한 예산 배분을 위한 기초자료를 제시할 수 있다.

추후 연구 과제로는 지속적인 관거자료 구축을 통한 하수관망의 장기 개량 모형을 개발하는 한편 하수관거의 노후도에 관한 장기 예측 및 노후도와 불명수 발생의 상관관계에 대한 연구가 필요하다. 또한, 근래 들어 도시환경 및 하천의 오염 문제 등이 대두되고 있는 상황에서 CSOs 발생량에 따른 차집관거의 용량 기준에 대한 연구가 요구되며 이에 따른 차집관거 및 CSOs 처리시설에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

이창용 (1999). Optimal Cost Design of Stormwater Drainage System using Genetic Algorithm. 석사학위 논문, 고려대학교, pp. 35-61.

이정호 (2003). 도시유출 해석과 불명수 산정 모형을 통한 하수관거 최적개량 시스템의 개발. 석사학위논문, 고려대학교, pp. 31-65.

정철권, 박규홍, 정연규 (2001). "유전자알고리즘에 의한 소규모 배수유역 하수관거 정비의 최적화." **대한토목학회지**, 대한토목학회, vol. 21, pp. 295-304.

deMonsabert (1999). "An Integer Programming for Optimizing Sanitary Sewer Rehabilitation Over a Planning Horizon" *Water Environment Research*, The Federation, Vol. 74, No. 7, 1999, pp. 1292-1297.

Li, G., and Matthew, R.G.S. (1990) "New Approach for Optimization of Urban Drainage Systems" *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 5, pp. 927-944.

Mays, W.L., and Yen, B.C. (1975) "Optimal Design of Branched Sewer Systems" *Water Resources Research*, American Geographical Union, Vol. 11, No. 1, pp. 37-47.

Mays, W.L., and Wenzel, H.G. (1976) "Optimal Design of Multilevel Branching Sewer Systems" *Water Resources Research*, American Geographical Union, Vol. 12, No. 5, pp. 913-917.

Miels, W.S., and Heaney, J.P. (1988) "Better Than "Optimal" Method for Designing Drainage Systems" *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 114, No. 5, pp. 477-499.

(논문번호:03-66/접수:2003.08.16/심사완료:2004.02.18)