

강우 분포 및 상호 관련성을 고려한 유수체계의 최적 설계 모형 개발

이범희

배재대학교 토목환경공학과

Development of Detention System Design Model with Consideration of the Rainfall Distribution and Mutual Connection

BeumHee Lee

Dept. of Civil and Geotechnical Engineering, Paichai University, Daejeon 302-735 Korea

요 약 도시 수해 문제를 해결하기 위해서는 충분한 펌핑 시스템과 하천 유하능력을 확보하여야 하나, 하천의 유하 능력을 넘어서는 유출이 발생하는 경우 각 소유역 별로 이들 유량을 일시적으로 저류 할 수 있는 유수체계의 설치가 필요할 것이다. 그러나, 이러한 유수체계의 설치에도 불구하고 강우 분포의 변화 및 유량의 이동 지체에 따라 오히려 첨두 유량이 증가하는 문제를 발생시킬 수도 있으므로 상류와 하류에 위치한 각 유수지의 저류량과 유출 펌핑량 간의 시간문제 등 상호 관련성을 고려한 유수체계의 설치 모형이 필요하므로, IDP(Incremental Dynamic Programming)기법을 적용하여 강우 분포에 따른 유수지 상호간의 영향을 고려한 설계 모형을 제시하였다.

주요어 최적화, IDP(Incremental Dynamic Programming), 유수체계 설계

ABSTRACT To solve the urban flood problems, it must get the enough channel conveyances and pumping capacities. It needs set up the detention system to control the flow over the channel capacity. In spite of this detention system, the peak flow may increased by rainfall distribution and the delay of flow. This shows a design model of detention system which can consider the time problems from mutual connections of the detention storages and pumping flow using IDP(Incremental Dynamic Programming) method.

Key words Optimization, IDP(Incremental Dynamic Programming), Detention system design

1. 서 론

우리나라의 강우량은 연간 1,200~1,300 mm 이나 연중 6~8월까지 3개월 동안은 집중적으로 강우가 집중되는 강우 집중 현상이 있어 집중 폭우 시에는 저지대의 배수 불량으로 침수의 피해가 발생되므로 시민의 재산과 생명에 피해를 줄 수 있다.

도시 수해의 종류를 크게 구분하면, 외수 및 내수 침수로 크게 구분할 수 있는데 외수 침수란 하천 제방을 높고 튼튼하게 구축하였음에도 하천의 수위가 급격히 상승하여 하천의 유량이 제방을 넘어오거나 제방

이 무너짐으로 인하여 제방 외부의 하천으로부터 도시 쪽으로 침수되어 들어오는 경우를 말함이고, 내수 침수란 우수 관거를 통하여 모아진 유역의 물을 배수펌프를 통하여 하천으로 배출하여야 하나 펌프의 고장이거나, 용량이 부족하여 이를 충분히 배출하지 못함으로 제방 내부에서 침수되는 경우를 말한다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 충분한 펌핑 시스템과 하천 유하능력을 확보하여야 하나, 하천의 유하 능력을 넘어서는 유출이 발생하는 경우 각 소유역 별로 이들 유량을 일시적으로 저류 할 수 있는 유수체계의 설치가 필요할 것이다.

Corresponding Author : 이범희(bhlee@mail.pcu.ac.kr)

원고접수일 : 2004년 3월 5일 게재승인일 : 2004년 4월 28일

그러나, 이러한 우수체계의 설치에도 불구하고 강우 분포의 변화 및 유량의 이동 지체에 따라 오히려 침투 유량이 증가하는 문제를 발생시킬 수도 있으므로 상류와 하류에 위치한 각 우수지의 저류량과 유출 펌핑량 간의 시간문제 등 상호 관련성을 고려한 우수체계의 설치 모형이 필요할 것이나, 기존의 연구를 통하여 구성된 우수지 설계 모형의 경우에는 주어진 임계 강우지속 기간에 대한 각 단위 유역에 대한 유출 양상과 우수지의 규모, 수문, 배수펌프의 운영 조작에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으므로, IDP (Incremental Dynamic Programming) 기법을 적용하여 강우 분포에 따른 우수지 상호간의 영향을 고려한 설계 모형을 제시하였다.

2. 연구 동향 및 문제의 정의

도시화의 영향을 고려한 우수지 계획 모형의 제시와 함께 계획 강우의 임계 지속 기간에 대한 연구(이종태 등, 1993) 및 우수지 배수펌프 운영조작 모형의 개발(윤세희와 이종태, 1995) 등이 이루어져 왔으며, 이를 통하여 단일 우수지의 설계가 가능할 수 있는 근거들을 제시하였다. 이와 별개로 우수지 상호간의 관계를 통하여 전체 하도 시스템에 대한 설계모형에 대한 연구는 우수지의 최적 규모 및 위치 선정에 위한 DP (Dynamic Programming) 모형의 적용(Mays와 Bedient, 1982)과 Austin 지역에 DP를 적용한 우수체계 설계 모형 연구(Taur 등, 1987), 수량 및 수질의 관리를 고려한 우수 체계의 연구(Ormsbee 등, 1987) 등이 있으며, 이를 국내의 중랑천에 적용한 우수체계 설계모형(이길성과 이범희, 1995) 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 우수지의 설계 모형을 IDP 기법을 사용하여 구성함으로써 DP 기법이 갖는 용량문제를 해결하고, 기존의 단일 우수지 설계 논문에서 제시하고 있는 강우의 분포형에 따른 우수지 설계 결과와 비교하여 상호 관련성을 갖는 우수체계의 설계 결과를 제시하였다.

기존의 연구(이종태 등, 1993)에서는 서울지역을 중심으로 18개 우수지에 대하여 단일 우수지 개념으로 설계를 실시할 경우, 30분과 60분이 임계지속 기간으로 제시되었으며, Huff의 2, 3분위형의 경우가 1, 4분

위 형의 강우에 비하여 큰 저류비(총 유출량에 대한 최대 저류량의 비)를 보여주어 우수지의 기능이 배수 펌프의 기능보다 그 비중이 증대함을 보여주고 있다. 이에 대하여 우수지 상호간의 영향을 고려할 경우 그 변화가 어떻게 나타날 것인가를 중랑천 유역에 대하여 살펴보았으며, 10년 강우 강도의 1시간 지속기간을 표준으로 하는 설계조건과 비교하였다(건설부, 1990).

3. IDP 모형 및 수문모형의 구성

본 연구의 적용을 위해서는 이미 6개의 우수지가 건설·가동중이며 유역면적 288 km², 유로연장 34.8 km인 서울특별시의 중랑천 유역을 선정하였으며, 그 대상 유역의 분할 형태 및 IDL(Iso-Drainage Line) 개념의 적용도는 그림 1과 같다.

본 연구를 위하여 각 단계별 최대유하량을 상태변수(state variable)로, 각 소유역 별 최대 펌핑량을 결정변수(decision variable)로 선정하여, 기존 연구에서 우수지 크기 혹은 수문 조작량을 결정변수로 선정하였던 점을 개선하여 우수지의 크기와 펌핑 용량의 크기를 동시에 모의할 수 있도록 하였다. 이에 더하여 하도별 안전 수위의 고려를 첨가하여, 하도 간 제방의 높이에 따른 고려를 가능하도록 하였다. 이러한 안전 수위의 변화를 고려하면, 이후 제방의 신축 및 보강에 따른 경제성 분석을 통하여 펌프용량, 우수지의 크기 및 제방의 높이를 고려한 종합 우수체계 설계 모형으로 확장할 수 있을 것이다.

중랑천 유역의 유역 확률 강우량 및 Huff 방법에 의한 각 type 별 강우-시간 분포 해석(50% 확률)은 다음의 표 1 및 표 2와 같다.

일반적으로 Incremental DP의 적용 상 문제점으로는 증분 값의 선정문제, 초기 해(Initial Trajectory) 설정문제, 최적 값(Global Optimum)에 대한 수렴성 문제 및 계산시간이 오래 걸리는 경향이 있다는 점 등을 들 수 있는데, 초기 해는 상태 변수의 가능 범위(Feasible Region) 내, 즉 상태변수가 취할 수 있는 상한 및 하한 치 사이에 존재할 수 있도록 하고, 정확도와 계산 시간에 따른 증분 값의 Trade-off 과정이 필요하다. 이러한 단점에도 불구하고, IDP 방법을 사용하는 것은 계산기의 기억용량 감소가 가능하고 모든

경우에 대한 순환방정식의 계산에 따른 비효율성으로부터 미리 결정된 증분 값을 통한 3개의 상태만을 고려하여 최적 해에 접근할 수 있다는 특성으로 인함이다.

각 소유역에 대한 강우의 입력-출력 반응에 대한 모의는 최근 SWMM, ILLUDAS(Terstrip과 Stall, 1974)들을 많이 사용하나, IDP 모형 내 강우-유출 모형의 포함 및 설계모형의 확장에 주 목적을 두고, 저류계수 K만의 1변수 모형으로 적용이 가능한 Clark 모형을 이용하였다. 하도 추적모형으로는 Manning 모형을 사용하여, 이미 IDP모형의 적용성에 대하여 제시한 바(이길성과 이범희, 1995)있다.

각 단계별(m) 이득 함수(stage return) R_m 은 대지 구입 비용 CL , 우수지 공사 비용 CM , 펌프의 비용

CP의 합으로 표시하였으며, 본 연구에서는 펌프의 용량 및 제방의 안전성 고려를 위하여 기존 설계 범위를 넘어서는 경우 별점 $PLTY$ 를 부여하도록 하였다.

$$R_m = CL + CM + CP + FLTY \quad (1)$$

대지가격 및 펌프비용에 대한 가격으로는 지가동향(건설부, 1991)과 토출량의 관계로 가정하여 기존 연구의 결과와 비교하였다.

본 연구에서는 초기 하도 유출량의 상, 하한 폭으로 최대 가능 유하량의 1/3로 계산을 시작하였으며, 증분 값에 대한 축소계수를 0.8, 계산 값의 변화율이 0.1보다 작은 경우 계산을 마치도록 하였다.

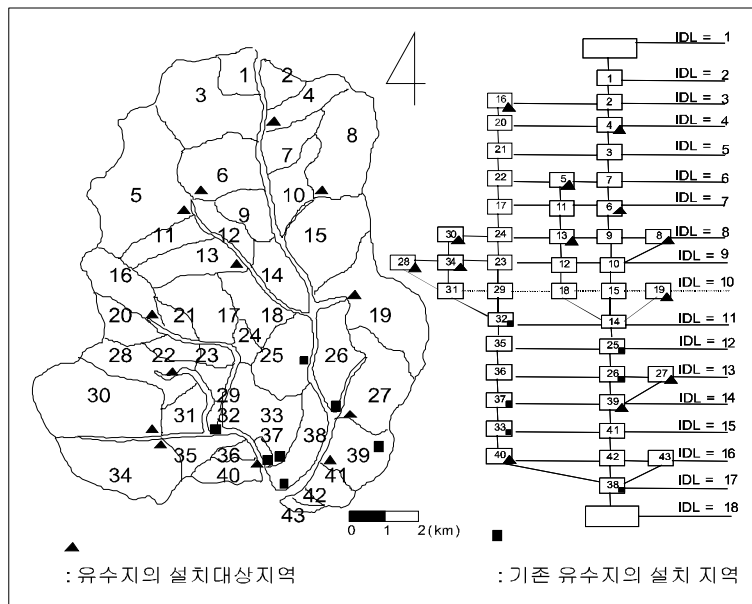


그림 1 대상 소유역의 분할도 및 IDL개념의 적용

표 1 중량천 유역 확률강우량(단위mm), (건설부, 1988)

빈도	지속기간					
	30분	1시간	2시간	3시간	6시간	
5 년	39.5	59.5	81.5	97.0	129.0	
10 년	47.5	72.0	95.0	114.5	154.0	
20 년	54.5	83.5	110.0	132.0	175.0	
50 년	65.0	96.5	131.0	155.0	205.0	

표 2 Huff방법에 의한 각 type별 서울지역의 강우-시간분포해석(50% 확률)(한국건설기술연구원, 1989)

type	Dur.(%)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
1st	20.0	44.1	61.5	71.5	77.8	83.6	87.9	92.9	96.6	100.0	
2nd	8.2	18.5	35.0	53.5	72.6	82.2	89.6	93.9	97.3	100.0	
3rd	3.9	7.9	15.2	22.3	33.3	53.1	74.4	89.4	96.5	100.0	
4th	4.8	9.7	15.4	20.0	28.6	35.5	45.1	63.6	86.0	100.0	

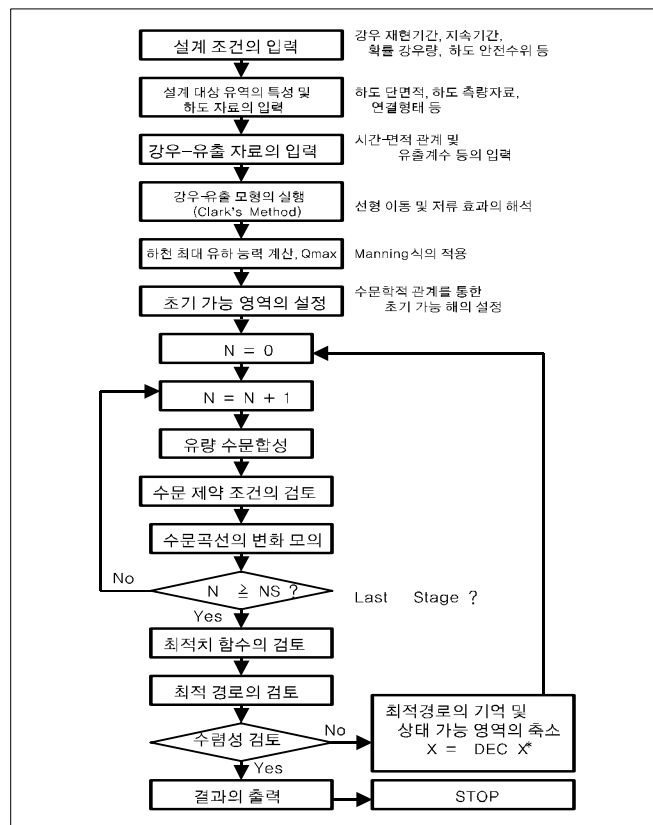


그림 2 최적 유수체계 설계 모형 계산의 흐름도

4. 결과 및 앞으로의 연구 방향

5, 10, 20, 30년 빈도, 0.5, 1, 2, 3, 6시간 지속기간 강우와 Huff의 1~4형 강우형태에 따른 유수체계 구축 전·후 유출 양상의 변화를 살펴보았다. 그림 3-a와 b에서는 10년 빈도, 1시간 지속기간 강우에 대한 각 강우 형태별 유출 양상(시스템 구축 전)을 1번과 38번 하도에 대해서 제시하였다. 이에 따르면, 중앙천 유역에 대한 침투 유출은 2형, 4형, 3형, 1형의 순서로 증가하는 양상을 보여주었고, 이는 서울시의 경

우, 지속시간 6시간 이내에서는 1형, 그 이후에서는 2형의 경우가 많다는 것(한국건설기술연구원, 1989)을 감안하면, 상호 연관성을 고려한 유수체계의 설계에 유효할 것으로 보인다. 유수체계의 설계로 인한 하도 흐름의 안정화 양상은 그림4-a 및 b와 같으며, 이는 각각 21번과 37번 하도의 흐름(10년, 1시간, Huff 3형의 경우)으로 최대 하도 유출능력이 100 및 502.4 CMS에서 설계 후 유출 양상이 최대 유출능력 이하로 적절히 조절됨을 보여주었다.

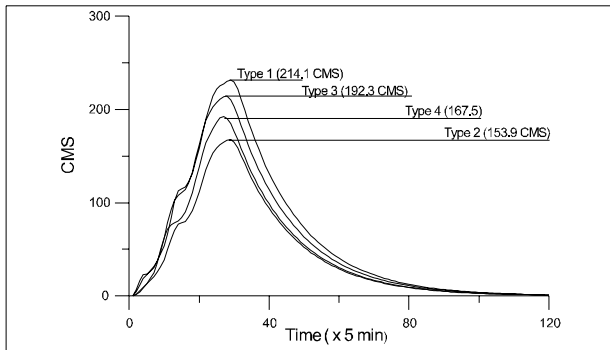


그림 3-a 1번 하도유출 (10년, 1시간 지속)

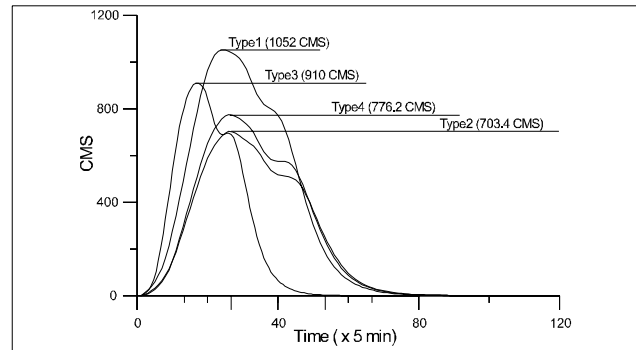


그림 3-b 38번 하도유출(10년, 1시간 지속)

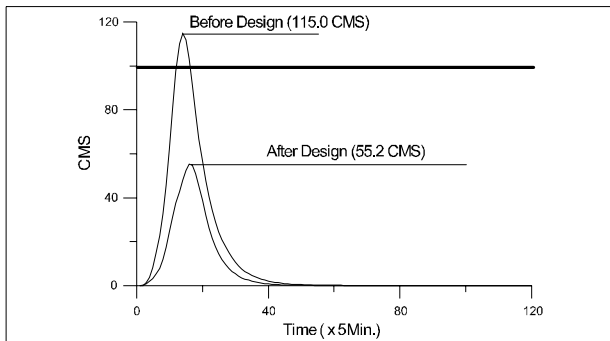


그림 4-a 21번 하도유출 (10년, 1시간 지속, 3형)

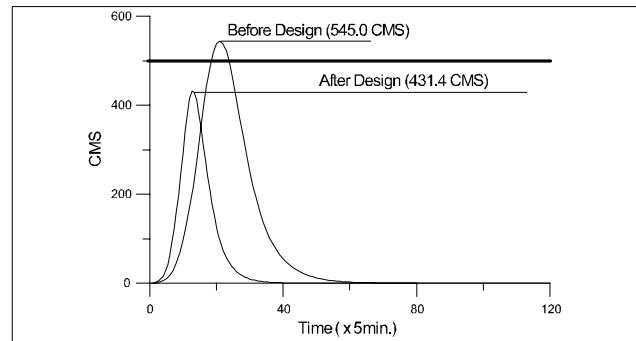


그림 4-b 37번 하도유출(10년, 1시간 지속, 3형)

참고문헌

건설부(1988). 한국확률 강우량의 작성, 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권.
 건설부(1990). 소규모시설 설계지침, p.48.
 건설부(1991). 지가동향('90년 4/4분기).
 윤세의, 이종태(1995). 우수지 배수펌프 운영조작 모형의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제28권, 제6호, pp.203-215.
 이길성, 이범희(1995. 2). “동적계획법을 이용한 우수체계의 최적 설계.” 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제28권, 제1호, pp.153-168.
 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). 우수지 설계를 위한 계획 강우의 임계 지속기간, 한국수문학회지, 제26권, 제1호,

pp.115-124.
 한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포.
 Mays, L.W., and P.B. Bedient(1982), Model for optimal size and location of detention, J. Water Resources Planning and Management Div., Proceedings of ASCE, Vol.108, No.WR3, October, pp.270-285
 Taur, C.K., G. Toth, G.E. Oswald, and L.W. Mays(1987), Austin detention basin optimization model, J.Hydraulic Eng., ASCE, Vol.113, No.7, pp.860-878.
 Terstriep, M.L., and J.B. Stall(1974), The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS, Illinois State Water Survey Bulletin 58.