

# 치수안전도 확보를 위한 빗물펌프장의 제어모형 개발

윤세의\*, 이종태\*, 심재현\*\*

## 1. 서론

도시지역의 과도한 인구집중현상에 따라 도시내 택지 및 건물 등과 같은 생활 및 사무공간이 더욱 필요로 하게 된다. 그러나 토지의 한정성으로 인해 하천연변의 저지대에 까지 토지이용도가 극대화되고 있고, 이러한 상황은 수도 서울을 비롯하여 전국 대도시로 확산되고 있는 실정이다. 이러한 상황은 치수방재의 측면에서 과거와 같은 외수의 범람에 의한 홍수피해가 아닌 내수의 배수불량으로 인한 침수피해를 야기시키며, 이러한 예로는 1984년 망원동, 1987, 1990년의 성내, 풍납지구의 침수 등과 같은 피해를 들 수 있다.

최근 서울특별시의 경우 유수지 및 빗물펌프장의 보강을 통해 치수안전도를 확보한 바 있으나, 막대한 예산이 소요되는 펌프의 보강, 유수지의 저류용량 확충 등과 같은 하드웨어의 보강 이외에도 펌프의 적절한 운영을 위한 소프트웨어의 개발로도 유역내 치수안전도를 확보할 수 있다고 판단되어 본 연구에서는 서울특별시의 자료를 사용하여 1994년까지 이루어진 대폭적인 빗물펌프장 보강에 따른 기존 펌프운영기법에 의한 치수안전도와 본 연구에서 설정한 3가지의 펌프대수 조절 기법에 의한 치수안전도를 비교·검토하여 적정운영기법으로도 충분한 치수안전도가 확보될 수 있음을 수치적으로 확인하였다.

## 2. 설계강우량과 적용 유출모형

일반적으로 도시유역 배수체계의 설계빈도(design frequency)는 간선과 지선에 따라 다르게 산정하며, 서울특별시 대부분의 배수체계에서 설계빈도는 간선의 경우 10년, 지선의 경우 5년을 책정하고 있다. 그러나 도시지역에서 발생하는 강우량의 증가추세와 개발행위로 인한 불투수성 면적의 증가에 따라 최근 개발된 신도시 지역 등에서는 설계빈도를 상향조정하여 10~30년 정도를 채택하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 수공구조물의 설계빈도인 10, 30년의 설계강우량과 최근 계속해서 증가하고 있는 도시내 개발사업에 따라 발생하는 과부하에 의한 위험도를 검토하기 위해 50년의 설계강우를 채택하였다. 식 (1)~(3)은 서울지방의 설계빈도별 강우강도식을 나타낸 것이며, 식에서 변수  $t$ 는 강우의 지속시간을 의미한다.

$$I_{10} = \frac{595.5}{\sqrt{t+0.693}} \quad (1)$$

$$I_{30} = \frac{708.7}{\sqrt{t+0.449}} \quad (2)$$

\* 경기대학교 토목공학과 교수

\*\* 한국지방행정연구원 방재연구실 책임연구원

$$I_{50} = \frac{757.9}{\sqrt{t+0.340}} \quad (3)$$

채택된 설계빈도의 강우가 시간적 변동추세를 파악하기 위해서는 강우의 시간적 분포모형을 적용해야 하며, 이를 위해 Huff의 4분위법(Huff's Quartile Method)과 순간강우강도법 (Instantaneous Intensity Method)를 사용하였다.

<표 1>과 <표 2>는 Huff의 4분위법과 순간강우강도법을 사용한 5분단위 강우의 시간적 분포를 나타낸 것이다. Huff의 4분위법은 대상지점 강우의 시간적 분포를 통계적으로 분석하여 첨두우량의 위치를 4분위로 나누어, 각 분위별 과거자료를 회귀분석한 결과이며, 순간강우강도법은 첨두의 위치를 임의로 나누어 갑작스럽게 증가한 첨두우량을 수식적으로 배분하는 수학적 기법이라 할 수 있다. 따라서 표에서와 같이 Huff의 4분위법에 의한 강우의 시간적 분포가 순간강우강도법에 비해 첨두우량은 작게 나타나게 되지만, 나머지 기간에 대해서는 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 Huff의 4분위법은 해당지역의 강우패턴을 나타내기 때문에 고려해야 하는 분포라 한다면, 순간강우강도법은 하수관거와 같이 총량에 비해 순간적으로 급증하는 첨두우량이 관심사가 될 때 그 특성을 구현해 주는 분포이므로 구조물의 설계시 두가지 분포모형 모두를 고려해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 범위를 한정하기 위해 서울지방의 강우특성을 고려하여 Huff의 4분위법에서는 제2분위를, 순간강우강도법에서는  $r=0.46$ 을 사용하였다.

또한 적용한 유출모형은 기존의 모형중 대부분의 도시유역에서 유출수문사상을 정확하게 구현해 주는 것으로 알려진 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator)모형과 RRL(Road Research Laboratory)모형을 사용하였다.

<표 1> Huff의 4분위법에 의한 서울지방 설계강우량의 시간적 분포 (단위 : mm)

持續時間 (分)	設計頻度 (年)			持續時間 (分)	設計頻度 (年)		
	10	30	50		10	30	50
5	4.24	5.26	5.72	65	5.04	6.25	3.79
10	2.66	3.31	3.59	70	4.01	4.97	5.41
15	2.51	3.12	3.39	75	3.03	3.76	4.09
20	3.21	3.98	4.33	80	2.21	2.75	2.99
25	4.31	5.34	5.81	85	1.63	2.03	2.20
30	5.47	6.78	7.38	90	1.33	1.65	1.79
35	6.46	8.01	8.71	95	1.30	1.62	1.76
40	7.13	8.84	9.61	100	1.48	1.84	2.00
45	7.48	9.18	9.98	105	1.72	2.13	2.32
50	7.27	9.02	9.81	110	1.79	2.22	2.42
55	6.78	8.41	9.14	115	1.37	1.70	1.85
60	6.00	7.44	8.09	120	0.01	0.01	0.01

<표 2> 순간강우강도법에 의한 서울지방 설계강우량의 시간적 분포 (단위 : mm)

持續時間 (分)	設計頻度 (年)			持續時間 (分)	設計頻度 (年)		
	10	30	50		10	30	50
5	2.2	2.7	2.8	65	6.8	8.0	8.6
10	2.3	2.8	2.9	70	5.2	6.0	6.4
15	2.5	3.0	3.1	75	4.2	5.0	5.4
20	2.6	3.2	3.3	80	3.7	4.5	4.7
25	2.8	3.4	3.6	85	3.4	4.0	4.2
30	3.1	3.6	3.9	90	3.1	3.6	3.9
35	3.4	4.1	4.3	95	2.9	3.4	3.6
40	4.0	4.6	4.9	100	2.7	3.2	3.4
45	4.8	5.5	5.9	105	2.5	3.1	3.2
50	6.3	7.3	7.9	110	2.4	2.9	3.0
55	13.0	16.8	19.1	115	2.3	2.8	2.9
60	13.8	18.0	20.5	120	2.2	2.6	2.7

### 3. 대상유역의 선정

본 연구는 빗물펌프장의 적정한 펌프운영방식이라는 소프트웨어의 개선을 통해서도 펌프용량의 확충이라는 하드웨어적인 개선에 의한 치수안전도 못지 않은 내수침수 방지효과를 충분히 확보할 수 있음을 증명하기 위하여 1991년 서울특별시 빗물펌프장 자료중 1994년까지 펌프보강이나 유수지 준설을 통하여 저류용량을 확보한 소유역 13개 지점을 대상으로 선정하였다. <표 3>은 본 연구의 대상지점의 내배수체계 보강현황을 나타낸 것이다.

<표 3> 서울특별시 기존 우수지 및 빗물펌프장 보강현황

변경내용	우수지 및 빗물펌프장
가동기준수위 변경	뚝도, 옥수, 신정, 도립3
펌프용량의 확충	한남, 옥수, 군자, 마포, 신정, 신도림, 신구로, 도립3, 신천, 풍납, 탄천
우수지 준설을 통한 저류용량의 확충	옥수, 구로1, 구로2

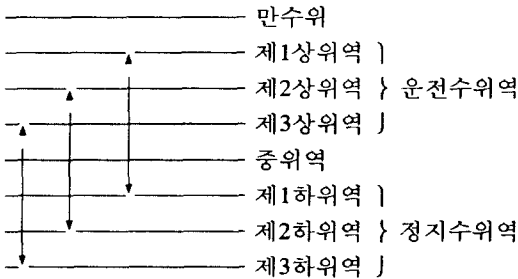
#### 4. 설정 펌프운영 모형

##### 1) 모형 1의 기본개념

현재 서울특별시 전체 빗물펌프장의 운영기준은 수위별 가동펌프대수를 정해놓고 선형적으로 이를 조절하는 방식이라 할 수 있다.

모형1은 기존 펌프운영방식이 갑작스럽게 증가하는 유입량에 대처하기가 어렵다는 판단에 의해 수문곡선의 상승부에서는 펌프대수를 유입량을 전량배제할 수 있는 대수로 설정하고, 펌프별 배수용량을 고려하여 펌프대수를 조절하고, 하강부에서는 기존의 펌프운영방식을 그대로 사용하는 모형을 채택하였다.

##### 2) 모형2의 기본개념



모형2는 각 펌프별로 운전수위와 정지수위의 상한과 하한을 미리 설정하고, 각 해당펌프는 상한수위 이상이면 작동, 하한수위 이하이면 정지하도록 하 모형이다.

<그림 1>은 3대의 동일용량을 가진 펌프에 대한 운전수위역과 정지수위역을 설정한 것이지만 프로그램을 구성할 때에는 임의의 펌프대수와 펌프용량에 대해서도 설정되도록 알고리즘을 개발하였다.

<그림 1> 모형2의 운전 및 정지수위 설정

##### 3) 모형3의 기본개념

모형2에서는 유입량이 증가하여 일정 기준수위를 초과하면 펌프가 다시 작동되지만, 유입량이 감소될 경우에는 기준수위를 밀둘게 되고 이에 따라 펌프운전대수의 변화가 오게 설정되었는데, 이는 강우의 양상에 따라서는 펌프작동횟수가 비경제적으로 많아질 가능성이 있다. 따라서 모형3에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 유입량이 증가하였다가 감소하는 경우에는 펌프가동대수를 억제하기 위하여 (k-1)연산주기의 가동펌프대수와 (k)연산주기의 가동펌프대수를 같도록 설정하였다.

#### 5. 비교고찰

##### 1) 펌프보강에 따른 치수안전도 변화

1994년까지 펌프용량과 우수지 저류용량을 보강한 지점에 대해서 보강된 하드웨어로서 확보할 수 있는 치수안전도(내수침수의 방지)를 양적으로 파악하기 위하여 1991년 조사된 자료와 1994년 조사된 우수지 및 빗물펌프장의 자료를 기존의 펌프기준에 의한 모형에 입력, 모의하였다.

<표 4> 재현기간별, 유출모형별 보강전후의 우수지 최고수위 비교 (단위 : m, ×는 침수됨)

유수지	ILLUDAS & HUFF						ILLUDAS & IIM						RRL & HUFF						RRL & IIM						
	10		30		50		10		30		50		10		30		50		10		30		50		
	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후	
뚝도	10.27	10.11	×	×	×	×	10.28	10.13	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
옥수	×	8.37	×	×	×	×	×	9.94	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
군자	×	9.81	×	9.83	×	9.84	×	9.82	×	9.83	×	9.84	×	9.75	×	9.83	×	10.79	×	9.80	×	11.10	×	12.82	×
마포	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	6.93	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
신정1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
신도림	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
신구로	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
구로1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
구로2	9.05	8.35	9.11	8.39	×	×	9.31	9.23	×	×	×	×	9.17	8.54	×	×	×	×	×	9.18	8.49	×	×	×	×
도림3	×	8.75	×	8.80	×	8.81	×	8.75	×	8.77	×	8.82	×	9.42	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
신천	×	12.12	×	×	×	×	×	12.09	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
풍납	×	11.45	×	×	×	×	×	11.39	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
탄천	10.10	9.68	10.34	9.84	10.46	9.94	10.12	9.73	10.30	9.88	10.51	10.00	10.91	10.36	11.48	10.72	×	10.90	10.94	10.34	11.51	10.72	×	10.89	×

모의결과를 살펴보면 펌프보강과 저류용량 확보를 통해 치수안전도가 상향조정되었음은 파악되었으나, 표에서 알 수 있는 바와 같이 탄천지점을 제외한 대부분의 보강지점에서 여전히 설계강우에 대해 침수가 발생하는 것으로 나타났다.

2) 개발된 모형에 의한 치수안전도

본 연구에서 개발한 3가지 모형의 적정성을 파악하기 위하여 펌프보강과 저류용량 확충되기 이후의 자료를 사용하여 내수침수여부를 파악하였으며, 이를 하드웨어적으로 보강된 지점들이 현재 가동기준을 사용하였을 경우와 비교하여 결과를 표에 나타내었다.

<표 5>는 유출모형은 ILLUDAS를, 강우의 시간적 분포는 순간강우강도법을 사용한 모의결과이며, 나머지 RRL모형과 Huff모형을 조합한 경우도 유사한 결과를 나타내어 생략하였다.

<표 5> 소프트웨어적 개선과 하드웨어적 보강에 따른 최고수위 비교 (단위 : m, ×는 침수됨)

유수지	10년 빈도				30년 빈도				50년 빈도			
	보강	모형1	모형2	모형3	보강	모형1	모형2	모형3	보강	모형1	모형2	모형3
뚝도	10.11	9.65	9.71	9.73	×	10.05	10.13	10.16	×	×	10.33	10.35
옥수	8.37	8.37	8.04	8.84	×	8.40	9.88	9.88	×	10.35	×	×
군자	9.81	9.00	9.82	10.04	9.83	9.00	9.84	9.85	9.84	9.00	9.85	9.87
마포	×	6.07	6.74	6.74	×	6.57	×	×	×	6.90	×	×
신정1	×	5.73	6.25	×	×	×	×	×	×	×	×	×
신도림	×	6.07	×	×	×	6.95	×	×	×	×	×	×
신구로	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
구로1	×	8.06	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
구로2	8.35	7.80	8.37	×	8.39	8.51	8.41	×	×	8.37	×	×
도림3	8.75	8.58	8.25	8.29	8.80	8.69	8.29	8.29	8.81	8.67	8.34	8.34
신천	12.12	10.11	11.04	11.09	×	10.81	11.61	11.65	×	11.08	11.84	11.88
풍납	11.45	10.22	10.44	10.44	×	11.39	11.88	×	×	×	×	×
탄천	9.68	9.08	9.31	9.31	9.84	9.04	9.38	9.38	9.94	9.07	9.42	9.42

3) 펌프운영기법의 평가

본 연구에서는 펌프운영기법의 적정성을 평가하기 위해서 만수위의 초과횟수, 펌프운전 변경대수, 연산주기당 운전펌프 대수의 누계를 평가지표로 설정하였다. 또한 각 지표의 중요도에 따라 가중치를 주기 위해 만수위 초과횟수에는 10,000, 펌프운전 변경대수에는 100, 펌프대수 누계에는 1의 수치를 설정하였다. 이러한 수치는 위험도와 경제성을 고려하여 가정한 수치이다.

비교대상은 <표 5>에서 알 수 있는 바와 같이 모형1은 안전성은 충분히 확보할 수 있으나 경제성이 떨어지기 때문에 고려대상에서 제외하여, 모형2와 모형3의 경우만을 고려하여 그 결과를 표로 나타내었다.

<표 6> 모형2와 모형3의 펌프운영기법 평가지수

유수지	ILLUDAS & HUFF						ILLUDAS & IIM					
	10		30		50		10		30		50	
	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3
독도	636	617	761	746	850	814	635	615	781	743	849	812
옥수	487	339	478	365	30423	30265	567	455	20458	20326	50503	50431
군자	771	690	740	637	732	628	951	810	781	700	771	687
마포	416	353	90409	90304	130445	130345	395	274	100349	100308	140445	140324
신정 1	20931	20931	111061	111060	141123	141123	926	10926	91055	101056	121119	131120
신도림	30091	30091	120104	120105	160110	160111	30091	30113	120104	120104	160110	160110
신구로	210338	210338	360371	360371	400393	400393	210329	210329	340356	340356	370378	370378
구로 1	110270	110270	200312	200313	240331	240332	100269	100268	200311	200313	230330	230331
구로 2	675	20582	783	10585	40668	60512	1031	20817	30819	50711	50828	60714
도림 3	295	276	341	281	333	417	314	335	320	324	372	373
신천	512	512	576	577	605	626	513	514	577	578	606	607
풍납	505	506	60580	60582	110610	110612	511	513	10578	10580	110609	110611
탄천	1310	883	1668	1102	1835	1169	1348	882	1707	1099	1854	1210
유수지	RRL & HUFF						RRL & IIM					
	10		30		50		10		30		50	
	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3	모형2	모형3
독도	20296	20296	170303	170303	180305	180305	30275	30275	150283	150283	160285	160285
옥수	228	30203	110179	90185	120144	120144	40308	40292	100159	100159	120235	120235
군자	592	515	520	507	486	473	609	508	470	485	484	490
마포	348	352	70257	70293	110234	110234	265	270	70218	70218	120219	120219
신정 1	868	882	150854	150856	180791	180791	829	854	140741	140741	180747	180747
신도림	110065	110065	180067	180067	190067	190067	110061	110061	160063	160063	160063	160063
신구로	170229	170229	190233	190233	190236	190236	150212	150212	170219	170219	170219	170219
구로 1	180166	190166	190169	200167	200170	200169	160156	160156	160160	160160	170161	170161
구로 2	655	20541	705	10591	50708	70594	993	20759	40844	60736	70774	80594
도림 3	282	264	60271	60273	90284	90285	261	272	70269	70271	100239	100239
신천	60408	60408	160397	160397	190399	190399	40368	40368	160378	160378	160380	160380
풍납	430	433	100428	100392	140393	140393	399	401	90372	90372	130373	130373
탄천	290	290	279	279	281	281	270	271	261	261	264	264

## 6. 결론

본 연구는 펌프용량의 확충, 저류용량의 확충을 통한 하드웨어적인 치수안전도 확보방법과 펌프대수의 조절기법의 개선에 의한 소프트웨어적인 치수안전도 확보방법의 효율성을 비교한 것으로써, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 1994년까지 하드웨어적으로 확충된 13개 유수지가 확충되기 이전에 비해 내수침수방지면에서 효과가 있었으나, 기존의 선형적인 펌프운영방법을 그대로 적용할 경우 10년빈도의 설계강우에 대해서는 5개, 30년, 50년빈도의 설계강우에 대해서는 2개 지점만이 내수침수를 방지하는 효과를 보였다.
- 2) 기존의 선형적인 펌프운영방식과 본 연구에서 적용한 3가지 운영모형을 적용한 결과를 비교해 보면 3가지 운영모형 모두가 기존의 운영방식에 비해 침수방지효과를 보이고 있음을 수치적으로 확인할 수 있었다.
- 3) 본 연구에서 적용한 3가지 운영모형중에서 모형1은 모형2와 모형3에 비해 안전도를 충분하게 확보할 수 있는 모형임을 알 수 있었으며, 경제성의 측면에서는 안전성이 보장된다는 전제하에 모형2에 비해 모형3이 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 기존의 펌프운영방식을 유지한 하드웨어적인 치수안전도의 확보는 소프트웨어적인 보강에 의해서도 확보가 가능하기 때문에, 이에 대한 연구가 시급히 요구되며, 이를 통해 예산절감효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 참고문헌

- 서울특별시(1991), 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서, pp. 37~97.
- 심재현(1992), "유수지 배수펌프장의 적정운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구", 「연세대학교 토목공학과 박사학위논문」, pp. 43~68.
- 심재현(1994), "도시유역내 개발행위에 따른 유출변화량의 산정", 「지방행정연구」, 제8권 제4호, pp.147~165.
- 이원환(1991), "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", 「대한토목학회 논문집」, 제11권 제1호, pp. 99~108.
- 이원환, 박상덕, 심재현(1992), "우수배제펌프의 조작기준에 따른 서울특별시 유수지의 안전검토", 「대한토목학회 논문집」, 제12권 제1호, pp. 141~150.
- 한국건설기술연구원(1989), 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연 89-WR-111, pp. 103~108.
- 한국과학재단(1992), 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발, pp.3-1~3-75.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W.(1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, pp. 467~470.
- Huff, F.A.(1967), "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resources Research*, Vol.3, No.4, pp. 1007~1019.