

도시 지하차도 침수 분석을 통한 강제배제시설 평가

이정호^{1*}

Evaluation of Drain Pump System by Inundation Analysis in Urban Underground Passage

Jung-Ho Lee^{1*}

요 약 도시유역의 강우 유출은 대부분 불투수지역인 도시유역의 유출 특성상 빠른 도달시간을 갖는다. 일반적으로 도시유역에서의 강우 유출은 배수펌프장으로 집수되어 하천으로 배제된다. 그러나 설계강우를 초과하는 호우가 발생하였을 때에는 배수펌프장의 용량을 초과하여 전량 하천으로 배제하기가 어려우며 따라서, 도시유역에서의 내수침수 위험성이 증가하게 된다. 현행의 배수펌프장에서의 펌프 운영 기준은 배수펌프장의 집수정 또는 유수지의 수위에 따라서 가동되도록 구성되어있다. 그러나 최근 빈번히 발생하는 국지적 집중호우는 배수펌프장의 설계용량을 초과하는 경우가 대부분이며 배수펌프장이 제어할 수 없는 강우 유출은 도시유역에서의 내수침수를 발생시킨다. 본 연구에서는 도시 지하차도에서의 실제 내수침수 사례에 대한 모의를 통하여 당시 침수 발생의 요인을 분석하고 펌프 운영에 대한 변화를 통하여 배수펌프장 강제배제시설에 대하여 평가하였다.

Abstract A general rainfall outflow in urban drainage has early time of concentration because urban drainage areas are most paved area. In general, rainfall outflow is flowed in drainage pump station and is discharged to rivers in urban areas. However it is excluded through drainage pumps about a heavy rainfall which exceed the design rainfall and the rainfall outflows increase the urban inundation risk. A current pump operation is control according to water level of collecting well or reservoir in drain pump station. But recently, the localized downpours are happened frequently in urban drainage and the current pump stations are frequently incapable of the heavy rainfall outflows. In this study, a real urban inundation was simulated and the drain capacity of drain pump station was evaluated by analysis about flood-factor in urban underground passage. Then the analysis about the inundation was done by the simulation about the real rainfall which cause the inundation. Also, in the simulation the inundation risk and the evaluation of flood-factor were analyzed according to change of the pump operation rule.

Key Words : Drain Pump System, Urban Flood, Urban Drainage

1. 서 론

도시지역의 우수 유출은 배수펌프장으로 집수되어 평상시에는 하천으로 방류되며 호우 발생 시 배수펌프를 통하여 강제 배제되는 것이 일반적이다. 이때, 도시유역의 유출 특성은 강제배제시설에 짧은 시간동안 급격한 부하량의 증가를 가져와서 침수 위험을 가중시킨다[1]. 현행 배수펌프의 운영 기준은 집수정 및 유수지의 수위 변화에 따라 순차적으로 가동시키는 것을 기본으로 하는데 최근 빈번히 발생하는 집중호우로 인한 유출은 집수

정내 수위를 급격히 변화시키므로 이에 따른 펌프 운영이 지연될 경우 침수 피해로 이어질 가능성이 높다[2].

본 연구는 도시유역 강우분석 및 우수관거를 통한 유출 분석을 실시하여 강제배제시설 운영 시 토출되는 용량을 운영시간별로 모의 분석하였다. 이때, 유출량에 대한 토출량 및 저류량 모의는 배수펌프의 용량을 변화시켜가며 비교 분석하는 한편 펌프들 간 운영 시기를 조정할 경우 발생하는 침수 위험의 저감도를 분석하였다. 또한, 도시유역의 강제배제시설 운영 방법에 따라 침수 영향 감소 정도를 실제 침수 피해 발생 상황과 비교 분석하여 펌프의 운영에 따른 분석 결과를 제시하였다.

¹고려대학교 건축사회환경공학부

*교신저자 : 이정호(jungho_lee@korea.ac.kr)

2. 분석방법

도시구역의 강우로 인한 유출 제어는 우수관거를 통해 배수펌프장으로 유입되는 우수에 대하여 펌프 토출을 통하여 강제 배제되는 것을 기본으로 한다[3]. 본 연구에서는 도시구역 내 지역적 특성을 고려하여 빈도별 강우량에 대한 유출을 모의하였으며 해당 강우 발생 시 펌프 토출 제어를 통한 효율 및 저류량 감소효과를 분석하였다.

본 연구의 펌프 토출 제어에 따른 강제배제시설 평가를 위하여 적용된 지역은 서울시 용산구 내 신용산 지하철도 인근 구역으로 이 지역의 경우 2001년 7월경 집중호우로 인하여 지하철도 및 인근 지역이 침수되는 피해가 발생한 지역으로 당시 호우 및 침수량 대비 펌프 토출 제어에 따른 평가 분석을 실시하고자 선정되었다. 강제배제시설의 평가를 위하여 과거의 강우기록으로부터 지속시간별 확률강우량을 분석하였으며, 2001년 7월의 강우기록으로부터 해당지역 내 기 설치된 펌프시설에 의한 강제배제규모를 검토하여 펌프시설의 능력 및 침수 등에 대하여 펌프 규모 및 가동 제어에 따른 토출량 대비 침수량을 모의 분석하였다. 본 연구에서는 펌프의 시설 규모별 비교 분석을 위하여 2001년 침수 당시 시설되어있던 40Hp×3대에 대하여 50Hp×3대 및 50Hp×4대에 대한 모의 분석을 실시하였으며, 펌프의 운영 제어에 따른 침수 상황을 비교하기 위하여 펌프의 시설규모별 수위에 따른 순차적 가동 및 동시 가동에 대하여 모의하였다. 또한, 2001년 7월 침수피해 발생 당시의 강우와 확률강우량에 대하여 해당지역 펌프규모로 인한 강제배제를 전제로 하여 침수량을 비교하였다.

본 연구에서는 관거의 설계빈도 초과 강우에 따른 만관상태에서의 관내 흐름 및 맨홀을 통한 월류량을 해석하기 위하여 SWMM(Storm Water Management Model)의 RUNOFF 및 EXTRAN 블록을 이용하였다[4]. SWMM의 Extran 블록은 우수관거에 대하여 배수현상, 역류현상 등을 모의하며 흐름에 대한 기본방정식은 연속방정식과 개수로에서의 일차원 점변 부정류 방정식으로서 다음의 St.Venant 방정식[5]을 사용하며 그림 1은 우수관거 내 수리해석에 대한 개략도이다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2)$$

이때, A 는 통수단면적, Q 는 관내 유량, H 는 수위 그리고 S_f 는 관 경사를 나타낸다.

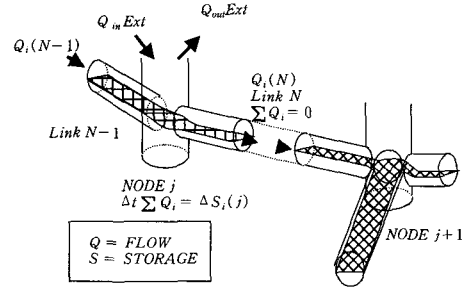


그림 1. 관내 수리분석 개략도

3. 대상구역

3.1 유역 및 침수 개황

대상구역은 서울시 용산구에 위치한 신용산 지하철도 구역으로 대부분 불투수지역으로 구성되어 있으며 유역 형상은 도로를 따라 폭이 좁고 경사는 급한 편으로 강우 도달시간이 짧아 강우량 대비 유출량이 많은 편다. 또한, 유역경계는 도심지로서 분수령이 명확하게 구분되지 않고 우수배수체계에 의하여 유역이 분류되는 경우가 많으며 집중 호우 시 인근구역 우수가 유입 될 수 있는 배수 체계로 되어있다. 따라서 배수시스템 설계상의 자체 유역 이외에도 집중 호우 발생 시 인근구역 우수가 유입 될 수 있으며 현장 조사 결과 상당한 유역에서 우수 유입이 가능한 것으로 판단되어 이러한 유역을 외부유입1 구역으로 정의하였다. 또한, 우수배제시설의 설치상태, 빗물받이 등의 막힘, 횡단 빗물받이의 설치상태 및 우수배제체계 등에 의하여 우수유입 가능성을 고려하여 침수유역을 구분하고 이를 포함한 유역면적을 외부유입2 구역으로 구분하였다. 외부유입2의 경우는 조사결과와 당시의 침수심 등에 대한 수문 모의를 통한 검증과정을 통하여 확인하였다.

다음의 그림 2는 신용산 지하철도 유역에 대한 항공사진이며, 그림 3은 유역 구분 및 개략적인 관망도를 나타낸다. 그림 3에서 원형으로 표시된 3개의 지점은 원래의 관로가 지하철도로 유입되지 않고 우수지로 유입되도록 시설되어있음에도 불구하고 당시 호우에 따른 역류가 목격된 지점으로 주변 지반고를 조사한 결과 이 지점들을 통하여 월류된 유량은 지하철도로 유입되었을 것으로 추정된다. 이에 따른 유역별 면적은 다음의 표 1과 같다.

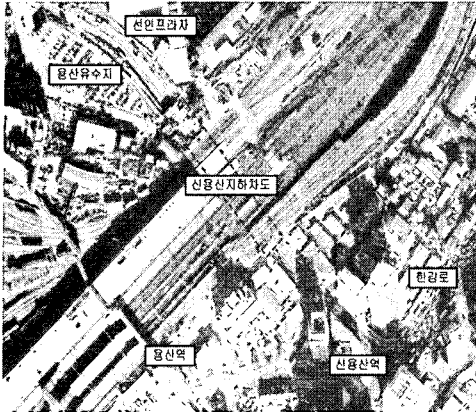


그림 2. 신원산 지하차도유역 항공사진

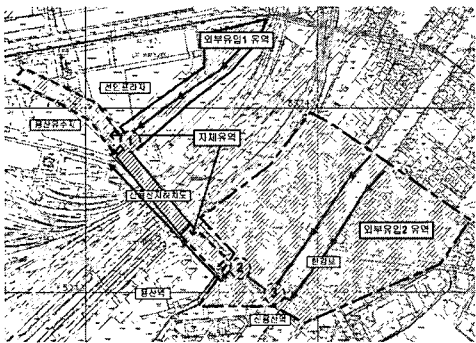


그림 3. 유역 구분 및 관망 체계

표 1. 우수유입 유역 구분

구분	자체유역 (ha)	외부유입1 (ha)	외부유입2 (ha)	비고
유역면적	0.696	1.084	11.584	

주) 자체유역 : 지하차도구간 및 지하차도 시종점 구간
 외부유입1 : 자체유역구간 + 외부에서 유입이 가능한 구간
 외부유입2 : 외부유입1 + 우수시설의 막힘, 불량으로 유입가능구간

대상유역에는 2001년 7월 집중호우로 신원산 지하차도 및 인접지역이 침수되는 피해가 발생하였으며, 당시 지하차도에는 빗물펌프장이 설치되어 있었으나 펌프 및 분전함이 설치된 운전실이 저지대에 위치하여 분전함이 침수되기 시작하면서 전원 차단으로 펌프의 작동이 중지되었다. 해당 펌프장은 기존에 50Hp(8.8m³/min)×4대로 운영되던 것을 2000년 3월부터 40Hp(7m³/min)×3대로 교체 운영되고 있었다. 펌프가 설치되어있는 집수정은 바닥면적 90m²에 유효고는 5.3m로 펌프가 가동되지 않은 상태에서의 최대 저류량에 해당하는 유효용량은 477m³이다. 대상지역 침수당시의 펌프시설은 다음 표 2와 같다.

또한 대상유역은 외부유입 유역을 포함하여 총 57개의 관거로 구성되어있으며 유출량 모의를 위한 SWMM의 대표적인 입력 인자들에 대하여 다음의 표 3에 유역의 평균적인 인자 값들을 나타내었다.

3.2 경우분석

본 연구에서는 펌프장 용량검토 및 설계규모 분석 등 강우의 통계분석의 경우 기상청의 서울지역 45개년(1961~2005년) 강우 관측 자료를 사용하였으며, 2001년 7월 강우에 의한 모의는 가장 인접한 용산구청의 관측기록을 적용하였다.

서울지역의 강우 관측자료를 통하여 주요 지속시간 및 빈도별 확률강우량[6]을 분석하기 위하여 확률분포형은 Log-Normal 분포, Gamma 분포, Log-Pearson Type-III 분포, Gumbel 분포, GEV(generalized extreme value) 분포 등을 사용하였으며, 매개변수 추정방법은 모멘트법(method of moments), 최우도법(method of maximum likelihood), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments) 등을 사용하였다. 또한 매개변수 추정방법별 및 확률분포형별로 추정된 매개변수 값에 대하

표 2. 배수펌프장 펌프시설

시설구분	항목	주요시설
펌프시설	수중모터펌프 효율(η)	(30KW×40HP×7m ³ /min×D20mm)×3대 제조사 55%, 시험결과 평균63.8%(양정고 13m, Q≒7.1m ³ /min) 13m
	양정고(m)	
집수정시설	바닥면적(A)	A = 90m ² =폭(B=6m)X길이(L=15m) H = 7.5m H.W.L = 2.9m / L.W.L = 2.2m h = 5.3m(최대기준) V = 477m ³
	전체높이(H)	
	고수위/저수위	
	유효고(h)	
	유효용량(V)	

표 3. SWMM 입력 인자

관거 총 연장	평균 유역폭	평균 불투수 면적비	유역 평균 Manning 조도계수		관거의 평균 조도계수
			불투수	투수	
2332.1m	47m	75%	0.014	0.06	0.013

표 4. 주요 지속기간별 확률강우량

빈도(년)	확률 강우량 (mm)												
	10분	30분	1시간	2시간	3시간	4시간	5시간	6시간	8시간	12시간	18시간	20시간	24시간
5	20.7	41.7	65.6	94.5	116.2	129.0	139.4	151.0	164.0	185.8	211.4	217.6	232.0
10	23.8	50.0	77.2	110.8	137.0	152.6	164.9	177.8	191.8	218.6	252.2	260.5	279.9
20	26.7	58.0	88.3	126.4	157.1	175.3	189.3	203.6	218.5	250.0	291.4	301.5	325.8
30	28.4	62.6	94.7	135.4	168.6	188.3	203.3	218.4	233.8	268.0	313.9	325.2	352.2
50	30.5	68.4	102.7	146.7	183.0	204.6	220.9	236.9	253.0	290.6	342.0	354.7	385.2
80	32.4	73.7	110.0	156.9	196.2	219.6	236.9	253.9	270.5	311.3	367.8	381.7	415.5
100	33.3	76.1	113.5	161.8	202.4	226.6	244.5	261.9	278.8	321.1	380.0	394.6	429.8
200	36.2	83.9	124.2	176.9	221.8	248.5	268.1	286.8	304.6	351.4	417.8	434.3	474.1
300	37.9	88.4	130.5	185.8	233.1	261.3	281.9	301.3	319.7	369.1	439.9	457.4	500.1
400	39.1	91.6	135.0	192.2	241.1	270.4	291.7	311.6	330.3	381.7	455.6	473.9	518.4

여 Chi-Square 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Robustness 검정 등을 통하여 적합성 조건을 검토하였다. 분석 결과 확률분포형은 Gumbel 분포를 채택하였으며 산정된 빈도별 확률강우량은 다음의 표 4에 나타내었다.

이상의 결과에서와 같이 동일 빈도의 확률강우량이라도 지속시간에 따라서 그 값이 달라진다. 또한, 구조물의 설계 또는 평가의 기준이 되는 확률유출량의 경우도 강우의 시간적 분포에 따라서 달라지므로 수리구조물 계획은 확률강우량으로 홍수량을 예측할 수는 없다[7]. 즉, 2001년 홍수빈도를 강우량만으로 알 수는 없으며 확률강우량을 설계적용 방법으로 시간분포 시켜서 홍수량을 산정하고 당시의 시간별 강우 분포로 홍수량을 산정하여 비교하는 것이 바람직하다.

4. 홍수량 산정 및 펌프규모 검토

도시지역은 유역경계가 분명하지 않아서 강우가 발생하면 도로 등으로 유하되는 표면수가 유역경계를 이탈할 수 있다. 따라서 유역 경계부에는 도로횡단 측구, 빗물받

이 및 맨홀 등으로 유역경계 이탈을 억제하는 배수구조물을 설치 관리하고 있다. 본 연구에서 대상유역의 면적은 현장조사결과를 당시의 시간별 강우량과 홍수유입량에 따른 펌프가동 모의 결과로 나타난 침수심을 당시의 침수정도와 비교 검토하는 검증절차를 통하여 최종 확정하였으며 이를 통하여 대상유역에서 유출되는 수문곡선을 모의하였다. 또한, 강우 발생에 따른 대상유역의 홍수 유출량에 대하여 펌프로 강제배제를 전제로 침수량을 산정하고 침수고를 추정하였다. 이 때, 대상유역 내 펌핑 시설물의 배전시설을 고려한 최대 가동 수위를 고려하여 펌프 가동 중단 시기를 결정하였으며 펌프 운영 용량을 달리하여 비교 분석하였다.

4.1 자체유역에서의 홍수량 및 강제배제 모의

2001년 7월 강우에 대하여 외부유역에서의 유입을 고려하지 않고 지하차도구간에 해당하는 자체유역에 내린 강우량만이 빗물펌프장으로 유입되는 것을 전제로 펌프의 능력을 검토하였다.

다음의 그림 4 및 표 5는 자체유역에 내린 당시 강우에 대한 누가홍수량 및 펌핑 가능 용량을 모의한 결과이다.

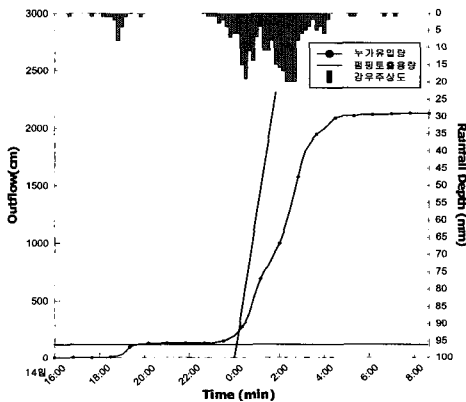


그림 4. 지하차도유역 유입량 및 펌핑 용량

표 5. 유입량 및 펌핑 용량 모의결과

일시	시간강우 (mm)	누가유량 (m ³ /s)	펌핑가능용량 (m ³)
7.15			
01시	57	600	1260
02시	58	996	2520
03시	96	1710	3780
04시	45	1992	5040
05시	21	2106	6300
06시	2	2118	7560
07시	0	2124	8820
08시	2	2130	10080
09시	0	2130	11970

이상의 결과에서 나타나듯이 당시 호우에 대하여 지하차도 자체유역에 내린 강우에 대해서는 완전배제가 가능하므로 외부유입에 따른 침수가 발생하였음을 추정할 수 있다.

4.2 외부유입에 따른 강제배제 모의

지하차도 구간과 현장답사 등을 통하여 추정된 외부유입을 고려한 유역에 대하여 홍수량 및 강제배제를 모의하였다.

(1) 확률홍수량 및 펌프규모 검토

강우지속시간은 지속시간별 홍수수문곡선을 산정하여 임계지속시간에 해당하는 지속시간에 대하여 빈도별 홍수 유입에 따른 펌프 규모를 산정하였으며, 강우의 시간 분포는 한국전설기술연구원에서 제시한 서울지역 huff 4분위[8]를 이용하였다. 다음의 표 6은 빈도별 침투홍수량 및 필요 펌프용량을 정리하였으며 임계지속시간은 30분인 것으로 분석되었다.

표 6. 확률홍수량 및 필요펌프규모

확률빈도 (년)	강우지속 시간 (min)	침투홍수량 (m ³ /s)	집수정 유효저류용량 (m ³)	필요펌프용량 (m ³ /min)
5	30	0.53	123	16
10	30	0.64	127	20
20	30	0.72	120	24
30	30	0.79	127	27
50	30	0.85	127	30
80	30	0.88	127	33
100	30	0.91	120	35
200	30	0.95	126	39

(2) 외부유입1에 대한 강제배제 모의

외부유입1의 유역에서 2001년 7월 강우로 인한 홍수가 펌프장으로 유입되었을 경우를 가정할 때 침투홍수량은 0.36m³/s로 모의되었으며 설계확률빈도 5년 정도에 해당하는 펌프용량 14m³/s인 40Hp×2대 정도면 완전 배제가 가능한 것으로 모의되었다.

다음의 그림 5는 외부유입1의 집수유역에서 당시 호우 발생에 따른 배수펌프장으로 유입되는 시간별 누가유출수문곡선 및 펌프의 누가 토출량을 모의한 결과이다.

이상의 결과에서와 같이 외부유입1 유역에서의 유입량은 펌프를 통한 완전 배제가 가능하며 따라서 당시 호우로 인한 침수 발생은 또 다른 외부유입에 의하여 발생되었음을 추정할 수 있다.

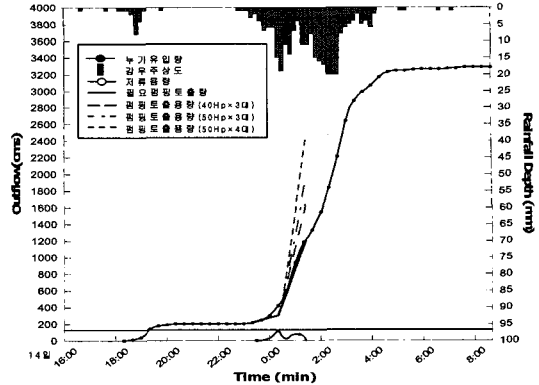


그림 5. 누가유출량 및 누가토출량(외부유입1)

(3) 외부유입2에 대한 강제배제 모의

외부유입2 유역은 유역경계에 위치한 도로횡단 집수 시설이 표면유하수를 완전히 차단하지 못하는 지역과 빗물받이 및 맨홀 등에서의 집수가 막힘 및 용량부족 등으로 지하차도 빗물펌프장으로 유입되는 것으로 판단되는 유역 등을 고려한 것이다. 현장조사결과 선정된 외부유입2 유역에 대한 당시 호우에 따른 홍수량을 모의한 결과 침투홍수량은 2.58m³/s로 모의되었으며 모의된 유출수문곡선은 다음의 그림 6에 나타내었다.

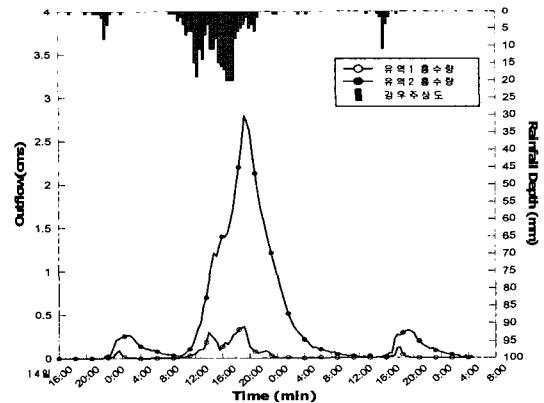


그림 6. 외부유입2 유역에서의 유출수문곡선

2001년 7월 강우량에 의한 외부유입2 유역에서의 홍수유출량에 대하여 펌프로 강제배제를 전제로 침수량을 산정하였으며, 당시 분전함 침수 가능성을 고려하여 감전 사고 예방을 위하여 7월 15일 03:00경 펌프가동을 중지한 경우에 대하여 펌프가동이 어렵다고 판단되는 침수심(E.L.107.88m)에서 정지한 경우와 분전함을 안전한 곳으로 이동시켜 펌프의 계속 가동이 가능한 경우를 가정하여 각각 침수량을 검토하였다. 또한, 2000년 펌프 교체

표 7. 2001년 7월 호우에 따른 펌프장 유입추정량에 대한 침수량

펌프 용량		펌프 가동 중단			펌프 가동 계속		
		펌핑량 (m ³)	침수용량 (m ³)	침수고 (E.L.m)	펌핑량 (m ³)	침수용량 (m ³)	침수고 (E.L.m)
40Hp×3대	순차별가동	5,670	30,278	110.84	9,944	21,954	109.80
	동시가동	10,710	25,238	110.23	14,070	17,818	109.24
50Hp×3대	순차별가동	6,758	29,190	110.71	11,273	20,168	109.56
	동시가동	14,202	21,746	109.78	17,095	14,323	108.72
50Hp×4대	순차별가동	8,500	27,448	110.50	13,794	17,428	109.18
	동시가동	22,400	13,548	108.58	22,400	8,712	107.75

전 50Hp 펌프시설에 따른 강제배제 및 침수량을 모의하였다. 이때, 50Hp 펌프 3대 및 4대를 가동할 경우 유입 초기 집수정의 저류용량이 고갈될 경우 펌프의 가동이 중단되어야 한다. 따라서 펌프가 정지하지 않고 계속 가동되기 위해서는 펌프의 가동 시점을 침수정의 유효저류용량이 130m³ 정도일 때가 적절한 것으로 판단되었다.

다음의 표 7은 각각의 경우에 대한 침수용량 및 침수고를 분석한 결과이다.

이상의 결과에서와 같이 당시에 설치되어 있었던 40Hp×3대의 펌프에 대하여 운전실이 안전한 위치로 이동되었다면 침수용량을 약 27% 감소시킬 수 있었으며(순차별 운전의 경우) 침수심도 1.04m 낮아지고 침수지속시간은 상당히 작아질 수 있었을 것으로 판단된다. 한편 당시의 펌프규모로 펌프가동 중단을 전제로 모의한 결과 펌프 3대를 동시에 가동하였을 경우 순차별 가동대비 약 16.6% 정도 침수용량이 작아지고 침수심은 0.61m 정도 낮아졌을 것으로 분석되었다.

다음의 그림 7~12는 펌프용량별 누가유입량, 펌프 토출량 및 저류용량(침수용량)을 나타낸다.

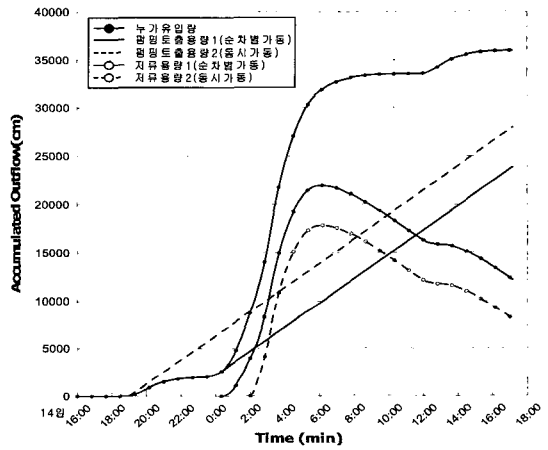


그림 8. 40Hp×3대 계속가동

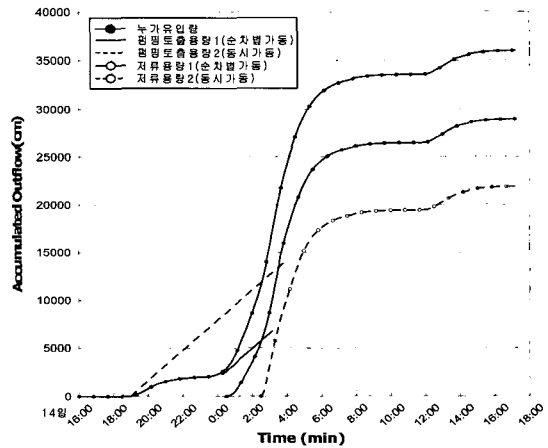


그림 9. 50Hp×3대 가동중단

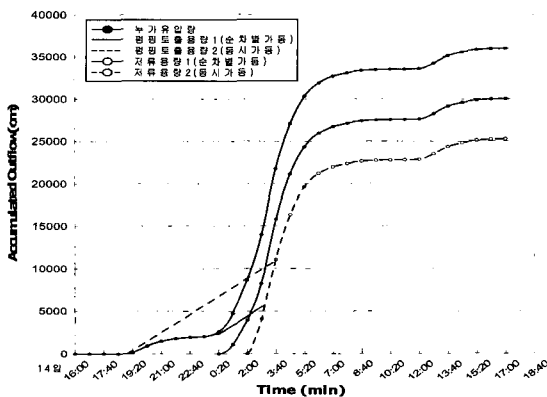


그림 7. 40Hp×3대 가동중단

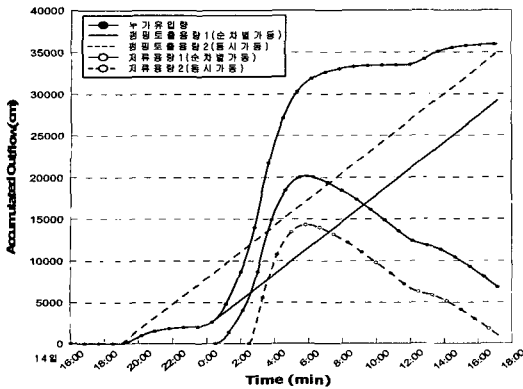


그림 10. 50Hp×3대 계속가동

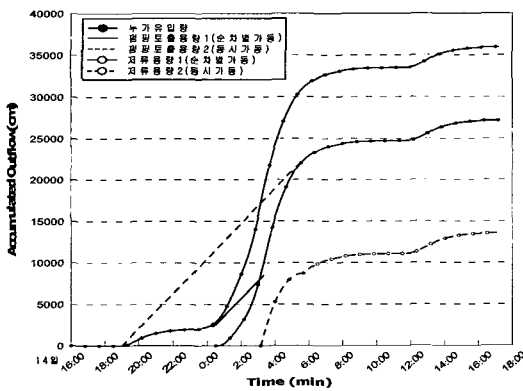


그림 11. 50Hp×4대 가동중단

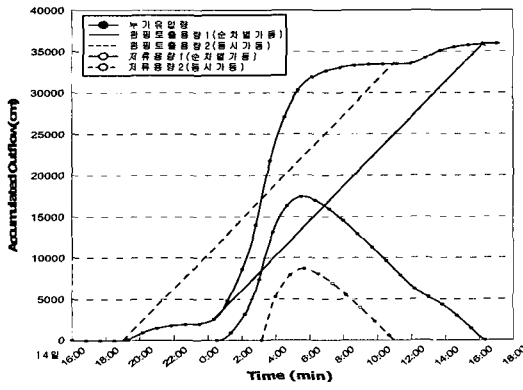


그림 12. 50Hp×4대 계속가동

(4) 확률강우량에 의한 침수용량 산정

2001년 7월 호우에 의한 침수에 있어서 천재지변적인 요인이 어느 정도인지를 판단하기 위하여 외부유입2 구역에서의 확률강우량에 대한 당시의 펌프용량인 40Hp×3대의 강제배제에 따른 침수용량 및 침수심을 모의하였다. 확률강우량의 경우 강우의 지속시간은 임계지속시간

과 2001년 7월 강우량과 동일한 지속시간의 확률강우량에 대하여 분석하였고 강우의 분포는 임계지속시간의 경우는 Huff분포를 2001년 7월 강우와 동일한 지속시간을 적용한 경우는 동일한 강우분포를 적용 분석하였다. 빗물 펌프장 계획을 위한 분석은 확률 강우량의 임계지속시간 및 Huff 분포를 적용하여 펌프용량을 산정하므로 이러한 조건에서의 침수 발생을 인제적인 요소로 고려할 수 있다고 판단되기 때문이며 2001년 강우와 동일한 지속시간 및 강우분포에 대한 분석은 참조하기 위함이다.

다음의 그림 13은 10년 빈도 확률강우량에 대하여 임계지속시간에 해당하는 강우지속시간을 갖는 huff 강우분포에 따른 누가홍수량 및 침수량 모의 결과를 나타내며, 그림 14는 10년 빈도 확률강우량에 대하여 2001년 7월 호우와 동일한 지속시간 및 강우분포를 갖는 가상 호우에 따른 누가홍수량 및 침수량 모의 결과를 나타낸다.

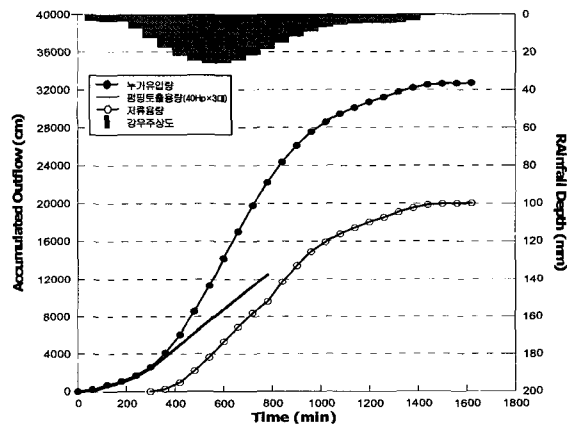


그림 13. 누가홍수량 및 침수 예측 (1)

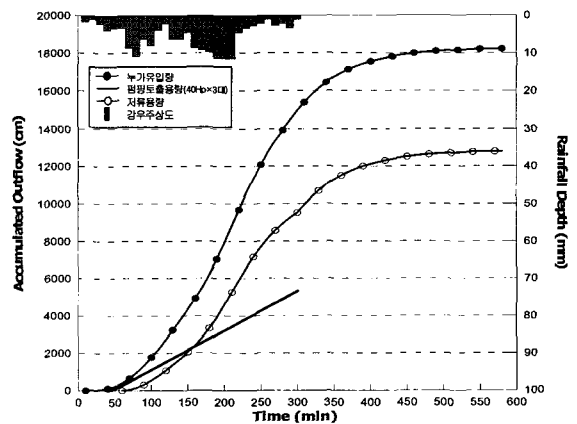


그림 14. 누가홍수량 및 침수 예측 (2)

다음의 표 8은 외부유입2 구역에서의 확률강우량 발생을 전제한 펌프량, 침수량 및 침수심을 모의한 결과이다.

표 8. 확률강우량에 의한 침수량 분석결과

펌프용량 40Hp×3대	계획 강우지속기간, Huff분포			2001년 7월 강우지속기간, 동일시간분포		
	펌핑량 (m ³)	침수용량 (m ³)	침수고 (E.L.m)	펌핑량 (m ³)	침수용량 (m ³)	침수고 (E.L.m)
10년 빈도	11,282	20,016	109.55	5,300	12,780	108.47
20년 빈도	11,822	27,108	110.46	5,366	15,432	108.89

주) 분전실 침수 시 펌프가동 중단

이상의 결과에서 확률빈도별 침수용량 및 침수심은 20년 빈도인 경우 10년 빈도 대비 침수용량 7,092m³ (27,108-20,016), 침수심 0.91m(E.L.110.46m-E.L.109.55m)가 증가하는 것으로 나타났다. 여기서 펌프는 처음부터 동시에 가동하는 것을 전제로 하였다.

4.3 분석결과

지하차도 자체구역과 호우 발생에 따른 우수가 유입된다고 판단되는 면적을 포함한 구역(외부유입1) 및 구역경계에 위치한 수리구조물인 빗물받이, 횡집수거 맨홀 등의 불량으로 당시 월류되었다고 판단되는 면적을 포함한 구역(외부유입2)에 대한 강제배제 및 침수 모의의 결과는 다음의 표 9에 나타내었다.

2001년 7월에 발생한 강우는 서울시에 전반적인 집중호우였으며 배수시설의 설계 강우 확률을 초과하는 것으로 분석되었다. 따라서 당시의 집중호우에 의한 침수에 대하여 계획 확률을 초과하는 침수량은 천재지변적인 요

인에 의한 것이라 할 수 있다. 따라서 계획 확률 강우량을 적용할 때 구역 경계를 월류하는 홍수유입이 있더라도 당시 펌프규모로 침수를 방지할 수 있다면 당시의 2001년 7월 호우로 인한 침수는 천재지변으로 볼 수 있다. 반면에 계획 확률강우량이 내린 경우에도 월류로 인한 홍수유입에 따른 침수가 발생된다면 이때의 침수량은 관리책임으로 판단할 수 있을 것이다. 여기서 계획빈도의 선택은 논란의 여지가 있으나 서울시에 위치한 배수펌프장이 최소한 10년 빈도이상을 채택하고 있으므로 10년 빈도를 계획빈도로 적용하였다.

또한, 2001년 7월 집중호우가 발생하기 전체인 2000년에 펌프를 교체하면서 처음 설치 때의 펌프규모인 50Hp×4대를 유지하지 않은 것은 구역의 월류 가능성에 대한 세부조사가 미흡하였으며 이것은 당시 호우에 대한 침수를 가중시켰다.

침수 발생 원인별 강제배제시설을 판단할 수 있는 분석 결과는 다음 표 10과 같다.

표 9. 구역 구분에 따른 침수량 분석결과

구분	펌프용량		외부유입량 (m ³)	펌핑량 (m ³)	저류용량 (m ³)	침수고 (E.L.m)	침수심 (m)	
지하차도	40Hp×3대		2,280	2,280	0	0	0	
구역 1	40Hp×3대		3,522	3,522	0	0	0	
구역 2	40Hp ×3대	펌프가동 중단시	35,948	순차별가동	5,670	30,278	110.84	4.92
				동시가동	10,710	25,238	110.23	4.31
		펌프가동 계속시		순차별가동	9,944	21,954	109.80	3.88
				동시가동	14,070	17,818	109.24	3.32
	50Hp ×3대	펌프가동 중단시		순차별가동	6,758	29,190	110.71	4.79
				동시가동	14,202	21,746	109.78	3.86
		펌프가동 계속시		순차별가동	11,273	20,168	109.56	3.64
				동시가동	17,095	14,323	108.72	2.80
	50Hp ×4대	펌프가동 중단시		순차별가동	8,500	27,448	110.50	4.58
				동시가동	22,400	13,548	108.58	2.66
		펌프가동 계속시		순차별가동	13,794	17,428	109.18	3.26
				동시가동	22,400	8,712	107.75	1.83

주) 신용산 지하차도 지반고는 E.L. 105.92m

[표 10] 침수 원인별 강제배제시설 평가

구 분		확률강우(10년빈도) 40Hp×3대	2001년 7월 호우 40Hp×3대	2001년 7월 호우 50Hp×4대
침수심(E.L.m, m)		E.L.109.55m, H=3.63m	E.L.110.84m, H=4.92m	E.L.110.50m, H=4.58m
침수용량(m ³)		20,016	30,278	27,448
10년빈도 초과침수량(m ³)		-	10,262 (30,278-20,016)	7,432 (27,448-20,016)
침수량 비율	펌프규모 축소 미고려	66.11%	33.89%	-
	펌프규모 축소 고려	72.92%	-	27.08%

주) 신용산 지하차도 지반고는 E.L.105.92m

본 결과는 펌프의 경우 확률강우에 의한 침수용량은 동시가동을 2001년 7월 강우는 순차별 가동을 전제로 하였으며 분전실 침수가 되는 경우 펌프가동을 중지한 당시의 상황을 반영한 분석결과를 적용하였다. 즉, 2001년 7월 호우 시에 분전실을 안전한 곳으로 이전하여 펌프를 계속가동 할 수 있었거나 계획빈도를 20년 정도로 설정하는 경우 관리주체의 책임 비율로 볼 수 있는 정도는 큰 폭으로 증가할 것이다.

5. 결 론

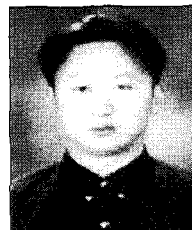
본 연구는 실제 침수가 발생했던 지역을 선정하여 당시 호우 및 침수량 등을 분석하여 강제배제시설의 펌프 토출에 따른 당시 상황을 모의하였다. 또한, 펌프의 시설 용량 및 운영을 변화시켜 각각의 경우 펌프 토출에 따른 침수 감소 현상을 모의하였다. 모의 결과 대상구역의 2001년 당시 침수피해는 펌프의 규모 설계에 있어서 설계빈도 초과 강우로 인한 외부유입의 영향에 대한 고려가 미흡했던 것으로 분석되었으며, 또한 집수정 내 일정 수위에 따라서 펌프의 가동 대수를 순차적으로 늘려가는 현행 운영 방법에 비하여 펌프를 동시 가동할 경우에 보다 원활한 토출이 이루어지며 침수고를 낮출 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 펌프의 규모 및 가동 시기에 따른 침수 영향 감소 정도를 실제 침수피해 발생 상황과 비교 분석함으로써 보다 효율적인 펌프 규모 설계 및 운영 방법에 대한 연구의 필요성을 제기하였다. 추후 연구과제로는 도시구역 내 지역적 특성을 고려하여 호우 발생 시 침수 영향을 최소화할 수 있도록 펌프의 시설 규모 및 운영 시스템의 종합적인 고려가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Bedient, B. and Huber, W.C., Hydrology and Floodplain Analysis, Prentice Hall, pp. 14-28, 1992.
- [2] 서울특별시, 한국수문학회, '87 수해백서, pp. 48-73, 1998.
- [3] 서울특별시, 하수도 정비 기본계획, pp. 325-485, 1998
- [4] EPA, Storm Water Management Model User's Manual Version 4: Extran Addendum; Third Printing, EPA/600/3-88/001b, Environmental Protection Agency, 1992.
- [5] Chow, V.T., Urban Stormwater Runoff, E.P.A, pp.43-129, 1976.
- [6] Salas, J.D., Deileur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L., Applied Modeling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publications, pp. 63-101, 1980.
- [7] 윤용남, 공업수문학, 청문각, pp. 168-191, 1998.
- [8] 건설교통부, 지역적 설계 강우의 시간적 분포, pp. 54-65, 2000.

이 정 호(Jung-Ho Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사수료)

<관심분야>
수공학, 수자원시스템공학