

도시 소매수구역의 펌프-조정지 규모 결정을 위한 고찰 : 동두천시 내배수시설을 중심으로

⁰안태진* · 황부연** · 박종윤*** · 류희정****

1. 서론

동두천시 수해상습지 종합치수대책 사업에서 계획빈도는 간선 우수관거는 10년, 지선 우수관거는 5년 그리고 배수펌프는 5년 빈도로 하였다. 신천 외수위 조건을 분석하면 내배수시설은 강제배수로 계획하는 것이 타당하며 펌프용량은 5년빈도로 결정되어 조정지의 규모는 5년빈도 우수-유출량을 원활히 배제하는 것으로 분석되었다. 5년빈도로 설치된 펌프용량으로 그 이상 빈도의 강우 발생시 소요되는 조정지 규모는 본 검토에서 분석하여 설치된 조정지 용량과 비교하였다. 따라서 설치된 5년 빈도 펌프-조정지용량으로 10년빈도 강우-유출량을 배제하는데 필요한 조정지의 소요용량을 추정하여 설치된 내배수시설의 배수능력을 평가코자 하였다. 펌프용량이 결정된 상태에서 조정지의 소요용량은 각 강우지속기간에 따라 각각 다른 규모의 값으로 구해진다. 이종태 등(1993)은 조정지 용량과 총유출량의 비를 저류비라 정의하여, 각 강우지속기간에 따라 유출수문곡선을 추정하여 총유출량을 결정하고, 내배수 홍수추적을 통하여 조정지 소요용량을 구하여 각 강우지속기간별 저류비를 계산하였다. 계산된 저류비 중 최대저류비를 나타내는 강우지속기간을 임계지속기간으로 하고 또한 설계강우지속기간으로 확정하였다. 본 검토에서도 최대저류비를 기준으로 하여 계획강우지속기간과 필요한 유효저류량을 결정코자 하였으며, 추가로 도시 소규모 배수구역에서 최대저류비에 의한 조정지 규모 결정 방법은 무리가 있음을 보여주코자 한다.

2. 동두천시의 내배수시스템

동두천시내 2000년에 준공된 13개소 펌프-조정지 시설 중 11개소인 생연1, 생연2, 중앙1, 중앙2, 보산1, 보산2, 보산3, 상패1, 상패2, 상패3, 상패4 펌프장을 택하였으며 각 펌프장의 유역면적, 펌프 용량 및 조정지 용량은 표 2와 같다. 이종태 등(1993)은 내배수 시스템의 기능을 우수지의 유효저류량과 배수펌프의 계획배수량의 비로 설명되는 저류량 배제시간으로 평가하였으며, 서울시에 건설된 63개 내배수시스템에서 우수지의 유효저류량과 유효저류량 배제시간을 근거로 하여 그 기능을

* 환경대학교 토목공학과 조교수

** 환경대학교 토목공학과 대학원 석사과정

*** 행정자치부 방재관실 토목사무관

**** 환경대학교 토목공학과 교수

분석하였다. 서울시의 우수지 계획에 있어서 강우지속기간은 120분으로 하고 있으므로 저류량 배제 시간이 120분 이내이면 우수지 기능보다는 주로 배수펌프 기능에 의존하고, 그렇지 않으면 우수지 기능에 의존한다고 볼 수 있다고 하였다. 분석 결과 서울시 내배수시스템은 우수지 저류기능에 비하여 배수펌프 기능에 의존하는 시스템으로 설치되었다고 하였다. 표 2와 같이 동두천시내 설치된 각 내배수시설의 유효저류량 배제시간은 약 3분에서 약 20분이내 이므로 배수펌프 기능에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

도시 미계측유역에서의 우수관거 및 내배수시설 설계시 설계홍수량을 결정함에 있어서 주로 영향을 미치는 설계강우강도의 결정은 가장 기본적이며 중요한 사항이다. 본 사업지구에서의 확률강우강도식은 1975년-1998년 동안 의정부시에서 관측된 강우자료(의정부시, 1999)를 이용하여 식 (1)과 같은 통합형 형태의 강우강도식을 유도하였다. 통합형은 Talbot형, Japanese형, 그리고 Sherman형위의 3가지 형태보다 오차를 훨씬 적게 수반하는 것으로 발표되었다(이원환과 박상덕, 1992: 안태진과 김경섭, 1998: 이재준과 이정식, 1999).

$$I_{10} = \frac{7,670.0}{(t+81.0)^{0.90247}} \quad (1)$$

여기서 I_{10} 은 확률강우강도(mm/h), t 는 강우지속기간(min)이다.

내배수시스템의 계획에 있어서 내·외수위 조건에 따라 자연방류와 강제배수의 부담률이 결정된다. 중앙1지구를 예를 들면 우수관거의 규모는 3.0m×3.0m이며 방류공 바닥고는 EL. 54.11m이고 상단고는 EL. 57.11m이다(조정지 유입구에서의 우수관거 바닥고는 EL. 55.5m 및 상단고는 EL. 58.5m). 경기도(1998)의 신천수계하천정비기본계획에 의하면 100년빈도 계획홍수량문곡선에서 20년 빈도 이상 홍수량이 지속되는 기간은 약 4시간이며, 20년빈도 홍수위 EL. 58.74m는 중앙1지구 우수관거 방류공의 상단고(조정지 유입구 상단고 EL. 58.5m)보다 약 0.3m 높다. 물론 중앙1지구 배수구역내 최저지반고는 EL. 58.8m로서 20년과 30년 빈도 홍수위 사이에 있어 이를 기준으로 할 경우, 우수관거 상단고인 경우보다는 당연히 자연방류기간이 늘어나지만 대단히 주의 깊은 내배수 운영시스템이 요구된다. 한편 1999년 7월 31일부터 8월 3일까지 발생한 강우를 살펴보면 1일 연속강우량은 364.4mm로서 100년빈도 강우량으로 추정되었다(동두천시 수해상습지 종합치수대책 공사 기본 및 실시설계 보고서, 2000: 143-145쪽). 동 기간내 신천교지점에서의 시간별 수위를 중앙1지구 지점 수위로 비교하면 전 기간에 걸쳐 우수관거 방류공 바닥고 EL. 54.11m보다 높게 유지되었으며, 약 25시간 동안은 우수관거 방류공 상단고 EL. 57.11m보다 높아 자연방류에 주의가 요구되었다. 엄밀한 외수위 분석을 위해서는 우수관거를 통하여 자연방류가 가능한 수위가 지속되는 시간을 실측을 근거로 하여 분석하여야 하나, 위의 신천하천정비기본계획과 1999년 강우-수위기록에 의하면 중앙1지구 내수는 펌프에 의한 강제배수에 전적으로 의존하는 것으로 계획하는 것이 안전설계 측면에서 타당한 것으로 판단된다. 즉 자연방류기간도 어느 정도 있겠지만 본 지구 내배수시스템의 안전한 운영을 위해서는 고려하지 않는 것이 타당하다고 판단된다.

3. 배수구역별 내배수시설 용량 평가

우수관거 계획홍수량 결정시 일반적으로 배수구역내 도달시간으로 강우지속기간으로 하고 있다. 도달시간을 계획강우지속기간과 같이 두는 것은 침투손실이 낮은 지역, 즉 도시지역과 같이 불투수

층이 대부분인 지역은 타당하다. 왜냐하면 불투수층 전지역이 최대유출량에 기여하기 때문이다. 그러나 침투손실이 많은 농촌지역에서는 침투홍수량을 발생시키는 강우지속기간은 도달시간 또는 집중시간보다 짧다(Chen 등, 1994). 미국토목학회(1992)는 우수관거 설계시 계획강우지속기간은 집중시간보다 같이 두거나 길게 두는 것으로 추천하고 있으나, 방계용 저류지 및 도시 내배수시설인 펌프와 유수지 용량을 설계하는 경우는 타당치 않다고 지적하였다. 그러므로 동두천시 종합치수대책에서 우수관거 설계시 강우지속기간을 도달시간으로 한 것은 타당하다.

펌프용량이 결정된 상태에서 각 강우지속기간에 따라 조정지의 소요용량은 다른 규모의 값으로 제시된다. 이종태 등(1993)은 조정지 용량과 총유출량의 비를 저류비라 정의하였다. 또한 각 강우지속기간에 따라 유출수문곡선을 추정하여 총유출량을 결정하고, 내배수 홍수추적을 통하여 조정지 소요용량을 구하여 각 강우지속기간별 저류비를 계산하였다. 계산된 저류비 중 최대저류비를 나타내는 강우지속기간을 임계지속기간으로하고 또한 설계강우지속기간으로 확정하였다. 내배수시설에서 배수펌프장의 능력이 결정된 상태에서 조정지의 저류용량은 각 강우지속기간에 따라 다르다. 본 검토에서는 지형 및 관거의 입력자료는 고정시키고 다만 각 강우지속기간에 따라 중앙집중형의 강우분포로 하여, Illudas 모형으로 유출해석을 하고 필요한 조정지의 유효저류량을 결정하였다. 선택된 강우지속기간은 20분, 30분, 40분, 50분, 60분, 90분, 120분, 180분, 240분, 300분, 360분이며 각 강우지속기간에 해당하는 저류비를 계산한 후, 최대저류비를 갖는 지속기간을 임계강우지속기간으로 하였다.

설치된 각 지구의 조정지 유효저류량 배제시간은 약 4분에서 약 20분사이에 있어 조정지보다는 펌프에 의존하는 내배수시스템이라 할 수 있다. 생연1, 중앙2, 상패1, 상패2, 상패3 및 상봉암지구에서 침투입출비는 1.0보다 작아 조정지의 유효저류량은 요구되지 않고 펌프 운영을 위한 최소저류량만 요구되었다. 생연2지구와 보산2지구에서의 임계강우지속기간은 각각 120분과 180분으로 결정되었고 중앙1지구, 보산1과 보산3지구, 상패4지구에서의 임계강우지속기간은 360분으로 결정되었으며 필요한 유효저류량은 계획저류량보다 대체로 작은 용량이다. 따라서 계획된 각 지구의 내배수시스템은 5년빈도 강우-유출은 원활히 배수시킬 수 있는 시설이다.

표 1은 10년빈도 확률강우량을 각 강우지속기간에 따라 Illudas 모형으로 유출해석을 하고 필요한 조정지 유효저류비의 값을 수록하였다. 여기서 계산한 유효저류량은 Illudas 모형으로부터 각 시간별 유입량은 미리 알 수 있는 값으로 가정하고 계획펌프능력으로 배수할 때, 즉 대단히 이상적인 펌프-조정지 운영에 의한 소요저류량이다. 그러므로 결정된 유효저류량은 유입량을 조절하는데 필요한 최소한의 저류량이며, 펌프운영 모의기법을 적용하여 결정되는 유효저류비는 표 1의 유효저류비보다 당연히 커진다.

표 2는 동두천시 각 내배수시설의 규모와 최대저류비에 의한 임계강우지속기간과 소요 유효저류량을 나타내었다. 상패2와 상패4지구에서의 임계강우지속기간은 240분으로 결정되어 계획강우지속기간 120분 경우보다 큰 저류량이 요구되었으나, 나머지 지구의 임계지속기간은 120분 이내로 결정되었다. 표 2에 의하면 임계강우지속기간을 기준으로 볼 때, 생연1지구, 중앙2지구 및 상패1지구의 설치된 내배수시설은 10년빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설이나, 나머지 지구는 10년빈도 강우-유출 배수에는 무리가 있음을 알 수 있다. 물론 내배수시설 배수능력 평가에서 우수관거의 저류용량은 무시되었으므로, 계획유효저류량에 추가하여 우수관거의 여유 저류용량이 확보된다면 내배수시설의 배수능력은 제고될 것이다.

표 1에서 보는 바와 같이 배수면적이 작고 배수펌프능력이 큰 경우 각 강우지속기간별 저류비

는 뚜렷한 차이가 아니어서 최대저류비에 의한 계획강우지속기간을 결정하기에는 무리가 있음을 알 수 있다. 또한 표 2와 같이 최대저류비에 의하여 추정된 각 지구의 유효저류량의 펌프배제시간은 3분-40분 범위이며 8개소 내배수시설의 저류량 배제시간은 10분이내 이므로 펌프의 빈번한 시동-종료가 요구된다.

한편 소요 유효저류량이 최대가 되는 경우의 임계강우지속기간은 생연2지구는 180분이었고, 상패1지구는 240분이었으며 그 외 지구는 상정한 강우지속기간 중 가장 긴 360분이었다.

표 1. 강우지속기간별 유효저류비

지구명	강우지속기간(min)										
	20	30	40	50	60	90	120	180	240	300	360
생연1	0.0889	0.0909	0.0847	0.0749	0.0689	0.0580	0.0521	0.0456	0.0416	0.0390	0.0373
생연2	0.1127	0.1371	0.1581	0.1589	0.1520	0.1402	0.1310	0.1220	0.1078	0.1018	0.0976
중앙1	0.0850	0.1045	0.1108	0.1025	0.0967	0.0883	0.0844	0.0799	0.0770	0.0747	0.0729
중앙2	0.0024	0.0467	0.0618	0.0666	0.0663	0.0590	0.0547	0.0520	0.0500	0.0487	0.0478
보산1	0.0682	0.0963	0.1084	0.1064	0.1045	0.1028	0.1029	0.1010	0.0981	0.0951	0.0925
보산2	0.1292	0.1852	0.2148	0.2393	0.2570	0.2831	0.2808	0.2641	0.2523	0.2432	0.2370
보산3	0.0470	0.0831	0.0966	0.1017	0.1063	0.1039	0.1035	0.1031	0.1015	0.0991	0.0970
상패1	0.0787	0.0955	0.0901	0.0862	0.0828	0.0740	0.0648	0.0545	0.0492	0.0459	0.0436
상패2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0028	0.0470	0.0673	0.0816	0.0841	0.0829	0.0817
상패3	0.0273	0.0309	0.0341	0.0353	0.0362	0.0386	0.0392	0.0380	0.0363	0.0347	0.0334
상패4	0.0194	0.0506	0.0619	0.0706	0.0748	0.0796	0.0813	0.0828	0.0830	0.0822	0.0815

4. 요약 및 고찰

동두천시내 계획된 각 지구의 내배수시스템은 5년빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설이다. 10년빈도 강우-유출인 경우, 상패2와 4지구에서의 임계강우지속기간은 계획강우지속기간 120분 경우보다 길었으나, 나머지 지구의 임계지속기간은 120분 이내로 결정되었다. 5년빈도 강우-유출 배수를 위하여 설치된 생연1지구, 중앙2지구 및 상패1지구의 내배수시설은 10년빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설이나, 나머지 지구는 10년빈도 강우-유출 배수에는 무리가 있음을 알 수 있다. 물론 내배수시설 배수능력 평가에서 우수관거의 저류용량은 무시되었으므로, 계획 유효저류량에 추가하여 우수관거의 여유 저류용량이 확보된다면 내배수시설의 배수능력은 제고될 것이다.

그러나 동두천시 각 내수배수시설은 강우지속기간별 저류비의 차이는 미미하였다. 따라서 소규모 배수구역에서 배수펌프기능을 강화한 펌프-조정지시설 규모 결정에 있어서 최대저류비에 의한 조정지 규모 결정에는 무리가 있음을 알 수 있었다. 이종태 등(1993)은 배수펌프의 기능이 추가 될 경우에는 계획강우지속기간을 30분으로 채택하는 것으로 서울지역에 관하여 추천하였으나 표 1 및 표2와 같이 동두천시 내배수시설의 능력 평가에 의하면, 각 강우지속기간별 유효저류비의 차이가 미미하고, 최대저류비에 의하여 결정된 유효저류량의 펌프배제시간이 대부분 10분이내로서 빈번한

펌프의 가동-종료가 요구되므로 펌프 운전이 어려움이 예상된다. 특히 생연1 및 상패1지구의 임계 강우지속기간은 30분이고, 소요유효저류량 배제시간은 약 4분에 불과하다.

내배수시스템 설계에 있어서 펌프용량과 유수지용량은 서로 반비례하는 관계에 있다. 유수지의 용량이 크면 클수록 펌프의 용량은 작게 할 수 있으며, 반면에 유수지의 용량이 작아지면 펌프의 용량은 일정한 유수지 규모내에서 증대되어야 한다. 여기서 일정한 유수지 규모의 의미는 결정된 펌프 운영의 원활성을 보장할 수 있는 최소한의 유수지 용량이다. 그러므로 동두천시 내배수시설 계획에 있어서 펌프용량 결정시 배수구역내 도달시간을 계획강우지속기간으로 하는 것은 수문학적으로 타당치 않으며, 펌프용량은 배제코자 하는 시간별 홍수량에 관하여 조정지 용량과 연계하는 모의운영을 통하여 결정되어야 한다. 물론 펌프시설비와 유수지 시설비도 함께 고려되어야 한다.

각 지구 10년빈도 강우-유출량, 펌프용량 및 조정지 규모를 살펴보면 펌프용량에 비하여 조정지 용량이 부족하여 펌프의 가동(on)-종료(off)이 빈번하여짐에 따라 펌프의 유지관리가 용이하지 않을 것으로 예상된다. 더구나 본 지구는 원격측정에 따라 원격제어시스템에 의한 내배수시스템이 운영될 계획이므로 우수관거 여유분을 포함한 조정지 용량으로 하여 조정지의 내수위 변화에 둔감한 내배수시스템으로 운영하는 것이 타당하다. 조정지 용량의 부족은 펌프 운영의 효율을 저하시켜 조정지 부근은 배수할 수량이 없어 펌프 가동을 중지하는데 중·상류측은 잉여수량이 남아 있는 현상을 발생시킬 수 우려가 있으므로 실질적인 펌프운용 실적을 분석하여 펌프유지관리상 문제점 발생시는 펌프용량 확장보다는 조정지규모를 확장하는 것이 수문학적으로 불매 바람직한 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 경기도 (1998). 신천수계하천정비기본계획
2. 안태진, 김경섭 (1996). "우수거설계를 위한 인천지방에서의 확률강우강도식의 산정." 대한상하수도학회, 대한상하수도학회지, 12권 3호
3. 이원환 (1980). "도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석." 대한토목학회, 대한토목학회지, 28권 4호
4. 이원환, 박상덕 (1992). "서울지방의 통합형 확률강우강도식." 대한토목학회논문집, 12권 4호.
5. 이재준, 이정식 (1999). "우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도." 한국수자원학회, 한국수자원학회논문집, 32권 4호
6. 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). "유수지설계를 위한 계획강우의 임계지속기간. 한국수문학회, 한국수문학회지, 26권 1호
7. 의정부시 (1999). '98 대홍수의 진단과 재해 극복 대책수립 최종보고서
8. ASCE (1992). *Design and construction of urban stormwater management systems.*
9. Chen, C. N. and T. S. W. Wong (1993). "Critical rainfall duration for maximum discharge from overland plane." J. of Hydraulic Engrg., ASCE, Vol. 119. No. 9.

표 2. 설치된 펌프-조정지 내역 및 최대저류비에 의한 임계저속기간과 유효저류량 (10년빈도)

펌프-조정지 시설	유역면적 (ha)	조정지 저류량		배수펌프 배수량 (m ³ /min)	계획강우지속기간 (120분)의 유효저류량 (m ³)	최대저류비에 의한 유효저류량		비고
		총저류량 (m ³)	유효저류량 (m ³)			임계강우지속기간 (min)	소요 유효저류량 (m ³)	
생연 1	9.15	998.0	998.0(13.3)	75.0	309.5(4.1)	30	223.5(3.0)	() : 조정 지 유효저류 량 배제시간 (min)
생연 2	11.93	454.0	454.0(5.0)	90.0	1159.1(12.9)	50	844.1(9.4)	
중앙 1	14.00	628.6	413.0(2.8)	150.0	1351.95(9.0)	40	906.9(6.0)	
중앙 2	7.42	858.0	644.0(7.2)	90.0	489.3(5.4)	50	358.20(4.0)	
보산 1	10.69	600.0	430.0(4.3)	100.0	1147.5(11.5)	40	616.55(6.2)	
보산 2	3.29	368.0	368.0(18.4)	20.0	885.9(44.3)	90	771.05(38.6)	
보산 3	19.62	1625.0	938.0(5.2)	180.0	2217.0(12.3)	60	1504.95(8.4)	
상패 1	1.71	105.0	105.0(4.2)	25.0	138.95(5.6)	30	85.45(3.4)	
상패 2	6.25	264.0	264.0(4.1)	65.0	427.5(6.6)	240	692.75(10.7)	
상패 3	3.50	136.0	136.0(2.7)	50.0	160.40(3.2)	120	160.40(3.2)	
상패 4	21.20	881.0	881.0(4.4)	200.0	2067.75(10.3)	240	2757.35(13.8)	