

소유역에서 홍수조절용 펌프 및 유수지 규모의
결정에 관한 연구

A Study on Determination of Capacity for Pump and Detention Pond
in Small Basins for Flood Control

안 태 진* / 박 종 윤** / 류 희 정*** / 김 중 훈****

Ahn, Taejin/Park, Jong Yoon/Lyu, Heui Jeong/Kim, Joong Hoon

Abstract

The concept of the effective storage ratio has been suggested to determine the size of detention pond by the previous researchers. The 11 pump - pond facilities in Dongdu-chun city were selected to analyze the critical duration for design rainfall and the storage ratio for each rainfall duration in this study. It has been then found that the criteria of the maximum storage ratio is not reasonable for determining the size of detention pond because the difference of storage ratio with respect to each rainfall duration is too small. Moreover, since the size of pond compared with the pump capacity is not always big enough, the pump should be frequently operated, which may result in pump failure. Thus, the pond should be sufficiently sized to prevent the possibility of the pump failure due to frequent operation. According to the analyses for changing pump capacity, it has been found that if the function of the pond compared with the pump is concentrated, determining the size of pond based on the storage ratio is operationally feasible for even small basin. Thus, an improved procedure based on the storage ratio for determining the size of detention pond in small basin has been suggested. The results by the proposed procedure considering pump switching frequency may lead to reasonable pump operation. A simple linear programming model has been also adopted to figure out the relationship between pump capacity and pond size. It has been shown that the determination for the size of detention pond based on conventional hydrologic flood routing in pond is feasible for only urban districts not rural areas.

Keywords : pump, detention pond, critical duration, maximum storage ratio, pump switching frequency

* 환경대학교 토목공학과 부교수

Asso. Prof., Dept. of Civil Engrg., Hankyong National Univ., Ansong, Kyonggi 456-749, Korea
(E-mail : ahntj@hnu.hankyong.ac.kr)

** 행정자치부 방재기준담당관실 토목사무관

Deputy Director, Disaster Prevention Standard Office, Ministry of Government Administration and Home Affairs, Seoul 110-760, Korea

*** 환경대학교 토목공학과 교수

Prof., Dept. of Civil Engrg., Hankyong National Univ., Ansong, Kyonggi 456-749, Korea

**** 고려대학교 토목환경공학과 교수

Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

요 지

내배수시설계획시 최대저류비에 의한 유수지 규모의 결정 방법은 이전 연구자에 의하여 제시된 바 있다. 본 연구에서는 동두천시 11개 소규모 내배수시설을 선정하여 분석한 결과, 배수면적이 작고 펌프기능이 강화된 내배수 시설에서는 강우지속기간별 유수지의 저류비의 차이는 미미하므로 최대저류비에 의한 조정지 규모의 결정은 무리가 있음을 알 수 있었다. 또한 최대저류비에 의하여 결정된 조정지 용량을 펌프에 의하여 배제되는 시간은 펌프의 허용시동간격보다 짧은 경우도 있어 펌프의 빈번한 작동을 초래한다. 그러므로 조정지는 펌프의 빈번한 작동에 의한 펌프 고장의 가능성을 피할수 있는 규모로 결정되어야 한다. 다양한 펌프용량을 적용하여 분석한 결과, 소유역에서도 조정지의 기능이 강화된 내수배제시설에서는 최대저류비를 기준으로 한 조정지 용량의 결정은 펌프운영 측면에서 타당함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 소규모 배수구역에서 조정지용량의 결정시 펌프의 계획배수량과 유수지의 용량에 따른 펌프의 시동빈도를 반영하여 기존의 최대저류비에 의한 방법을 개선한 방안을 제시하였다. 또한 유수지 규모와 펌프용량의 관계를 간단한 선형계획모형으로 분석한 결과, 종래의 유수지 홍수추적에 의한 유수지 용량 결정은 도시지역의 내배수시설 계획에만 타당함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 펌프, 조정지, 최대저류비, 펌프 시동빈도

1. 서 론

펌프 및 유수지 시설은 제내지에서 내수에 의한 수해를 방지하기 위하여 설치하는 중요한 시설물이므로, 효율적이고 탄력적으로 운영할 수 있는 합리적인 설계가 요구된다. 즉, 적절한 펌프 및 유수지의 용량으로 설치되어 홍수 유입량을 배제하는데 있어 펌프의 운영이 홍수량에 관하여 둔감한 것이 바람직하다. 내수배제시설의 설계에 있어서 펌프용량과 유수지용량은 서로 반비례하는 관계에 있다. 일반적으로 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. 내수배제용 펌프용량이 결정된 상태에서 조정지의 소요용량은 각 강우지속기간과 고려하는 강우의 시간적분포에 따라 각각 다른 규모의 값으로 구해진다.

이종태 등(1993)은 중규모 이상의 배수면적을 갖는 내수배제시설에서 유수지 용량과 총유출량의 비를 저류비라 정의하고 최대저류비를 기준으로 하여 계획강우지속기간 및 유수지용량을 결정하였다. 즉 각 강우지속기간에 따라 유출수문곡선을 추정하여 총유출량을 산정한 후, 내수배제 홍수추적을 통하여 조정지 소요용량을 구하고 각 강우지속기간별 저류비를 계산하였다. 계산된 저류비 중 최대저류비를 나타내는 강우지속기간을 일계강우지속기간으로 하고 또한 설계강우지속기간으로 확

정하였다. 또한 이종태 등(1993)은 서울지역에 관하여 배수펌프의 기능이 추가 될 경우에는 계획강우지속기간을 30분으로 채택하는 것으로 추천한 바 있다. 윤여진과 이재철(2001)은 비교적 중규모 배수면적에 관하여 최대저류비에 의한 저류지용량과 최대저류량을 비교·분석함으로써 저류지의 적절한 용량을 산정하는 방법을 제안하였다. 이와 같은 연구는 주로 유수지 설계시 계획강우지속기간의 결정에 관하여 치중하였다. Kessler와 Diskin(1991) 및 USDA(1986)은 내수배제시설이 아닌 유역에서 저류비와 침투유출량과 침투유입량의 비인 침투감소비의 관계를 제시하여 유역의 침투홍수량의 저감을 위하여 설치하는 유수지 설계에 적용할 수 있도록 하였다.

저류량 배제시간은 유수지 또는 조정지의 유효저류량을 펌프에 의하여 배제하는데 소요되는 시간이다. 그러므로 저류량 배제시간은 펌프의 시간당 가동회수 또는 펌프의 시동간격과 밀접한 관계가 있다. 하수도시설 기준에서는 펌프의 운전시간과 정지시간을 합하여 펌프 시동간격(분)으로 정의하였다(한국수도협회, 1998). 서울시(1991)의 수방시설현황에 의하면 89개소 배수펌프장 중 유역면적이 1km^2 이내인 시설은 36개소이며 유수지 기능이 비교적 강화된 저류량의 배제시간이 10분 이상인 곳은 6개소이고, 5분이내인 곳은 24개소에 이른다(표 1 참조). 또한 경기도 수해백서(경기도, 2002)에서도 유역면적이 1km^2 이내인 배수배제시설의 저류량 배제시간은 대부분 10분이내이고 5분이하인 시설도 15개소에 이른다(표 1 참조). 이때 조정지의 저류량 배제

표 1. 서울시 및 경기도 소유역 배수펌프장 및 유수지 내역(유역면적 1km²이내)

| 배수펌프장명 | 유역면적 (km ²) | 배수펌프 시설 규모 | | | 유수지 규모 | |
|------------|----------------------------|------------------------|---------------------|--------------|----------------------------|----------------|
| | | 배수량(m ³ /분) | 펌프용량(HP) | 수량(대) | 유수지용량 (m ³) | 저류량배제 시간(분) |
| 서울시 용산구 원효 | 0.804 | 450.0 | 400 | 3 | 18,000 | 40.0 |
| 용산구 심원 | 0.162 | 199.0 | 112, 50, 200, 40 | 2, 1 2, 1 | 230 | 1.2 |
| 용산구 보광 | 0.566 | 195.0 | 150 | 3 | 380 | 1.9 |
| 용산구 동빙고 | 0.062 | 108.0 | 150 | 2 | 160 | 1.5 |
| 용산구 서빙고 | 0.024 | 46.0 | 50 | 2 | 70 | 1.5 |
| 용산구 빙창 | 0.100 | 111.0 | 100 | 3 | 340 | 3.1 |
| 용산구 한강로 | 0.204 | 330.0 | 500, 250 | 2, 1 | 250 | 0.8 |
| 성동구 용답 | 0.319 | 151.0 | 200, 100 | 1, 3 | 13,700 | 90.7 |
| 성동구 옥수 | 0.615 | 606.0 | 550 | 3 | 5,520 | 9.1 |
| 성동구 응봉 | 0.388 | 200.0 | 310 | 2 | 11,498 | 57.5 |
| 성동구 새말 | 0.918 | 1,004.0 | 300, 225, 500 | 1, 1, 4 | 5,330 | 5.3 |
| 성동구 송정 | 0.956 | 1,160.0 | 900 | 4 | 5,700 | 4.9 |
| 동대문구 용두 | 0.433 | 360.0 | 200, 300 | 2, 1 | 7,675 | 21.4 |
| 동대문구 제기1 | 0.267 | 400.0 | 125 | 4 | 667 | 1.7 |
| 동대문구 용두2 | 0.026 | 63.0 | 50 | 3 | 69 | 1.1 |
| 중랑구 면목4 | 0.503 | 400.0 | 200 | 4 | 920 | 2.3 |
| 은평구 증산 | 0.245 | 351.0 | 300 | 3 | 1,500 | 4.3 |
| 마포구 합정 | 0.201 | 218.0 | 350, 100 | 2, 1 | 1,410 | 6.5 |
| 마포구 성산 | 0.380 | 420.0 | 300, 100 | 3, 4 | 5,062 | 12.1 |
| 마포구 상수 | 0.090 | 92.0 | 100 | 3 | 467 | 5.1 |
| 마포구 중동 | 0.242 | 330.0 | 350 | 2 | 1,650 | 5.0 |
| 마포구 당인 | 0.892 | 1,160.0 | 750 | 4 | 2,350 | 2.0 |
| 양천구 신정3 | 0.285 | 294.0 | 200 | 3 | 1,200 | 4.1 |
| 강서구 염창2 | 0.838 | 600.0 | 350 | 2 | 396 | 0.7 |
| 강서구 염창3 | 0.378 | 480.0 | 350 | 3 | 1,766 | 3.7 |
| 강서구 공항 | 0.506 | 540.0 | 400, 176 | 2, 1 | 906 | 1.7 |
| 구로구 구로2 | 0.467 | 690.0 | 250, 120 | 3, 3 | 1,700 | 2.5 |
| 구로구 구로3 | 0.454 | 525.0 | 400 | 3 | 1,400 | 2.7 |
| 영등포구 양평2 | 0.706 | 1,089.0 | 900, 250 | 3, 1 | 2,800 | 2.6 |
| 영등포구 대림 | 0.180 | 336.0 | 250 | 3 | 1,000 | 3.0 |
| 영등포구 영등포 | 0.806 | 885.0 | 800 | 3 | 2,500 | 2.8 |
| 동작구 본동 | 0.027 | 60.0 | 75 | 3 | 450 | 7.5 |
| 동작구 노량진 | 0.525 | 450.0 | 350 | 3 | 8,000 | 17.8 |
| 동작구 대방 | 0.687 | 540.0 | 600 | 3 | 11,000 | 20.4 |
| 서초구 방배 | 0.774 | 1,000.0 | 800 | 4 | 5,500 | 5.5 |
| 서초구 서래 | 0.561 | 775.0 | 900, 400 | 2, 1 | 1,800 | 2.3 |

표 1. 서울시 및 경기도 소유역 배수펌프장 및 유수지 내역(유역면적 1km²이내)(계속)

| 배수펌프장명 | 유역면적 (km ²) | 배수펌프 시설 규모 | | | 유수지 규모 | |
|-----------|----------------------------|------------------------|--------------|---------|----------------------------|----------------|
| | | 배수량(m ³ /분) | 펌프용량(HP) | 수량(대) | 유수지용량 (m ³) | 저류량배제 시간(분) |
| 수원시 평동 | 0.15 | 110.0 | 100 | 2 | 330 | 3.0 |
| 수원시 서둔동 | 0.41 | 304.0 | 150 | 4 | 720 | 2.4 |
| 의정부시 1동 | 0.44 | 60.0 | 60 | 2 | 250 | 4.2 |
| 의정부시 신곡1동 | 0.129 | 162.0 | 120 | 3 | 1,100 | 6.8 |
| 의정부시 장암동 | 0.25 | 40.0 | 40, 60 | 1, 1 | 480 | 12.0 |
| 안양시 덕천 | 0.22 | 300.0 | 200, 360 | 1, 2 | 1,500 | 5.0 |
| 안양시 연현 | 0.56 | 440.0 | 170, 300 | 2, 2 | 1,150 | 2.6 |
| 안양시 비산 | 0.07 | 90.0 | 40, 200 | 3, 1 | 600 | 6.7 |
| 광명시 광명1 | 0.917 | 700.0 | 250 | 5 | 2,150 | 3.1 |
| 광명시 광명2 | 0.254 | 180.0 | 70 | 6 | 500 | 2.8 |
| 광명시 광명3 | 0.186 | 90.0 | 60 | 3 | 200 | 2.2 |
| 광명시 광명 | 0.772 | 426.0 | 400 | 3 | 4300 | 10.1 |
| 구리시 인창 | 0.56 | 956.0 | 250, 300 | 5, 2 | 48,600 | 50.8 |
| 구리시 수택 | 0.46 | 2,700.0 | 950 | 6 | 37,000 | 13.7 |
| 구리시 수택3 | 0.06 | 150.0 | 350 | 3 | 890 | 5.9 |
| 오산시 신장 | 0.40 | 170.0 | 350 | 2 | 1,000 | 5.9 |
| 시흥시 방산 | 0.17 | 354.0 | 250 | 3 | 6,300 | 17.8 |
| 평택시 통북 | 0.242 | 181.0 | 120, 60 | 2, 2 | 1,344 | 7.4 |
| 이천시 오남 | 0.37 | 170.0 | 150 | 2 | 1,325 | 7.8 |
| 이천시 노탑 | 0.60 | 506.0 | 450 | 3 | 5,880 | 11.6 |
| 이천시 제요 | 0.43 | 180.0 | 120 | 3 | 5,240 | 29.1 |
| 여주군 하리 | 0.594 | 456.0 | 200 | 4 | 4,000 | 8.8 |
| 동두천시 생연1 | 0.0915 | 75.0 | 60, 40 | 2, 1 | 998 | 13.3 |
| 동두천시 생연2 | 0.1193 | 90.0 | 40, 30 | 2, 1 | 454 | 5.0 |
| 동두천시 중앙1 | 0.140 | 150.0 | 120, 75 | 1, 2 | 413 | 2.8 |
| 동두천시 중앙2 | 0.0742 | 90.0 | 80, 40 | 1, 2 | 644 | 7.2 |
| 동두천시 소요1 | 0.1069 | 100.0 | 50, 40 | 2, 1 | 430 | 4.3 |
| 동두천시 보산1 | 0.0329 | 20.0 | 25 | 2 | 368 | 18.4 |
| 동두천시 보산2 | 0.1962 | 180.0 | 150, 75 | 1, 2 | 938 | 5.2 |
| 동두천시 상패1 | 0.0171 | 25.0 | 40, 30 | 1, 1 | 105 | 4.2 |
| 동두천시 상패2 | 0.0625 | 65.0 | 75, 50, 40 | 1, 1, 1 | 264 | 4.1 |
| 동두천시 상패3 | 0.0350 | 50.0 | 100, 30 | 1, 1 | 136 | 2.7 |
| 동두천시 상패4 | 0.2120 | 200.0 | 200, 150, 75 | 1, 1, 2 | 881 | 4.4 |

시간의 산정에 있어서 우수지 용량은 총저류량으로 하였으므로 유효저류량으로 산정하면 저류량 배제시간은 더 짧아짐을 예상할 수 있다. 더욱이 합리적인 규모의 조정지는 저수위, 최고수위 및 평수위가 설정되어 운영되고 있음을 감안하면 저류량의 배제시간은 더 단축된다.

이와 같이 펌프용량에 비하여 비교적 작은 조정지의 용량으로 말미암은 조정지의 짧은 배제시간은 펌프의 가동 및 정지를 빈번히 작동시키므로 펌프의 기계적인 고장을 초래할 뿐만 아니라, 우수지내 홍수유입량의 변동성에 적극적으로 대처하기가 어려워진다. 즉, 펌프기능이 강화된 소규모 배수배제시설에서는 시설의 운영이 홍수유입량 및 조정지 저류량의 변화에 대단히 민감할 수 밖에 없다. 유역의 규모가 소규모이고 조정지 용량이 비교적 작은 내수배제시설에서 강우지속기간별 저류비의 차이는 미미하므로, 소규모 배수구역에서 배수펌프기능이 강화된 펌프-조정지시설 규모의 결정시 최대저류비에 의한 조정지 규모 결정 방법은 무리가 있음을 알 수 있다. 또한 최대저류비에 의하여 결정된 조정지의 저류량 배제시간은 짧은 경우가 있어 펌프의 빈번한 작동을 초래하고 펌프의 고장을 유발시키기도 한다.

따라서 본 연구에서는 배수면적이 1km^2 이내인 소유역인 동두천시 11개의 소규모 내배수시설을 표본으로 하여, 조정지의 합리적인 규모를 결정함에 있어서 최대저류비 기준을 근거로 하여 저류량의 배제시간(펌프의 시간당 가동회수 또는 펌프의 시동간격) 및 최대저류량을 함께 고려하는 개선 방안을 제시하고자 한다. 또한 종래의 내배수 홍수추적 방법에 의하여 결정된 조정지 용량과 펌프와 조정지의 비용 조건에 따른 조정지의 변화 양상을 간단한 선형계획모형을 이용하여 분석하였다.

2. 최대저류비에 의한 조정지 규모 분석

2.1 동두천시의 내수배제시설 현황

동두천시내 2000년에 준공된 13개소 펌프-조정지 시설 중 11개소인 생연1, 생연2, 중앙1, 중앙2, 소요1, 보산1, 보산2, 상패1, 상패2, 상패3, 상패4 펌프장을 택하였으며 각 펌프장의 유역면적, 펌프용량 및 조정지 용량은 표 2와 같다(그림 1 참조). 동두천시 수해상습지 종합치수대책 사업의 계획빈도를 살펴보면 간선 우수관거는 10년, 지선 우수관거는 5년 그리고 배수펌프는 5년 빈도로 하였다(동두천시, 2000). 신천 외수위 조건을 분석하면 내수배제시설은 강제배수로 계획하는

것이 타당하며 펌프용량은 5년빈도로 결정되어 조정지의 규모는 5년빈도 강우-유출량을 원활히 배제하는 것으로 분석되었다. 5년빈도 강우-유출의 배수를 위하여 설치된 생연1지구 및 중앙2지구의 내수배제시설은 10년빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설이나, 나머지 지구는 10년빈도 강우-유출 배수에는 무리가 있음을 알 수 있었다(안태진 등, 2002). 그러나 내수배제시설의 배수능력 평가에서 우수관거의 저류용량은 무시되었으므로, 계획유효저류량에 추가하여 우수관거의 여유 저류용량이 확보된다면 내수배제시설의 배수능력은 제고될 것이다.

한국과학재단(1990)은 내수배제 시스템의 기능을 우수지의 유효저류량과 배수펌프의 계획배수량의 비로 설명되는 저류량 배제시간으로 평가하였으며, 서울시에 설치된 63개 내수배제 시스템에서 우수지의 유효저류량과 유효저류량 배제시간을 근거로 하여 그 기능을 분석하였다. 서울시의 우수지 계획에 있어서 강우지속기간은 120분으로 하고 있어 저류량 배제시간이 120분 이내이면 우수지 기능보다는 주로 배수펌프 기능에 의존하고, 그렇지 않으면 우수지 기능에 의존한다고 볼 수 있다고 하였다. 분석에 의하면 서울시 내수배제시스템은 우수지 저류기능에 비하여 배수펌프 기능에 의존하는 시스템으로 설치되었다고 평가하였다. 표 2와 같이 동두천시내 소규모 배수면적을 갖는 각 내수배제시설의 저류량 배제시간은 약 3분에서 약 20분이내이므로 배수펌프 기능에 크게 의존하는 시설이 다수임을 알 수 있다. 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에서는 우수지의 계획홍수위(H.W.L)와 저수위(L.W.L)의 설정을 제시하였으며 펌프의 계획실양정은 외수계획고수위와 내수의 저수위(L.W.L)의 수위차의 70-80%정도로 규정하고 있다. Karassik 등(1986)은 펌프를 최대배수량으로 운영하기 위한 최소수심(minimum water depth)의 설정이 필요하다고 지적하였다. 이와 같이 우수지내 설정된 홍수위 및 저수위이내에서 원활한 펌프운영을 도모하기 위해서는 적절한 펌프 및 조정지 용량으로 계획되어 적절한 저류량 배제시간 및 펌프의 시동간격이 유지되어야 한다.

우수관거 계획홍수량 결정시 일반적으로 배수구역내 도달시간으로 강우지속기간으로 하고 있다. 도시지역과 같이 불투수층이 대부분인 지역은 침투손실이 낮고 불투수층 전지역이 최대유출량에 기여하므로 동두천시 우수관거 설계시 도달시간을 계획강우지속기간과 같이 두는 것은 타당하다. 그러나 침투손실이 많은 농경 및 산지지역인 경우 침투홍수량을 발생시키는 강우지속기간

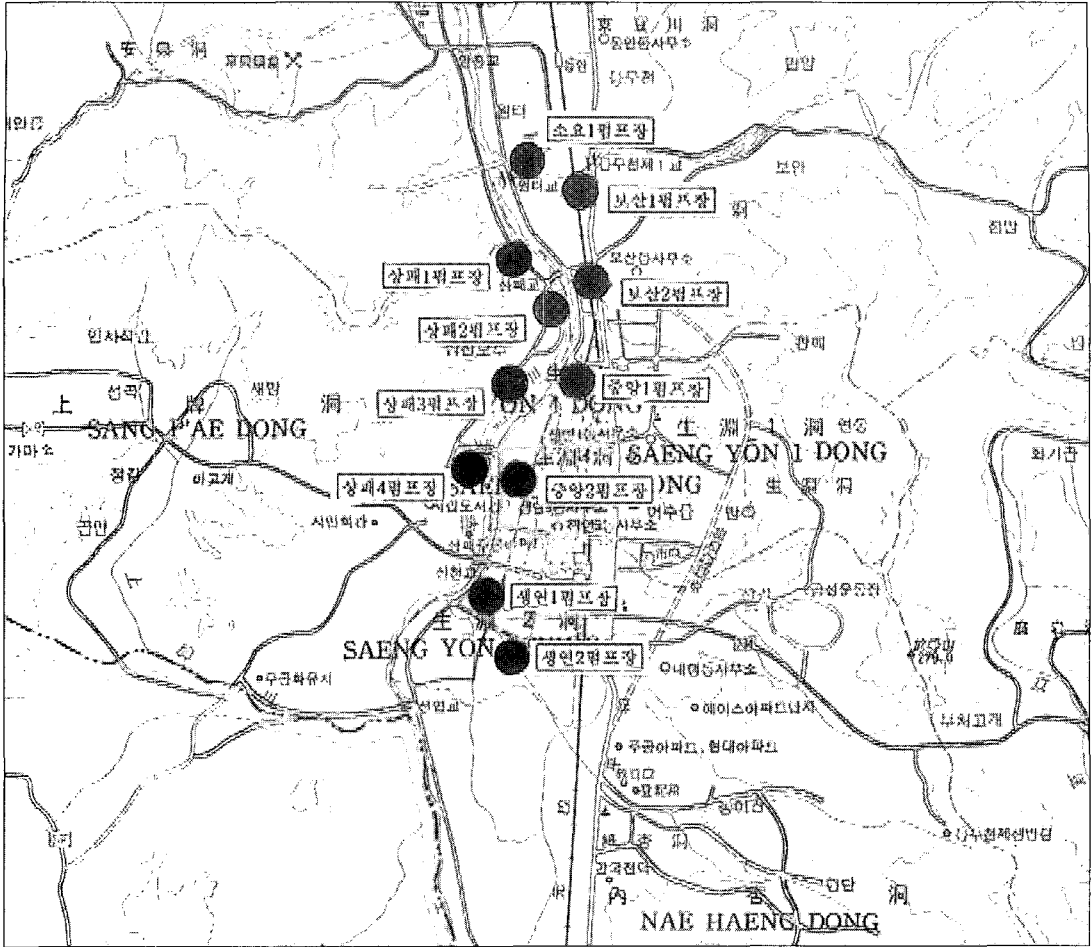


그림 1. 동두천시 내수배제시설 위치도

은 도달시간 또는 집중시간보다 짧다(Chen 등, 1994). 미국토목학회(1992)는 우수관거 설계시 계획강우지속기간을 집중시간과 같이 두거나 길게 두는 것으로 추천하고 있으나, 방재용 저류지 및 도시 내수배제시설인 펌프와 우수지 용량을 설계하는 경우는 타당치 않다고 지적하고 있다.

2.2 최대저류비에 의한 동두천시의 조정지 용량 평가

동두천시내 계획된 각 지구의 내수배제시스템은 5년 빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설 규모로 계획되었다. 본 연구에서는 설치된 5년 빈도 펌프-조정지용량으로 10년빈도 강우-유출량을 배제하는데 필요한 조정지의 소요용량을 추정하여 설치된 내수배제

시설의 배수능력을 평가하였다. 조정지의 소요용량을 추정함에 있어서 강우-유출 관계는 ILLUDAS모형을 적용하였고 강우의 시간적분포는 중앙집중형분포와 Huff의 4분위법을 고려하였다.

확률강우강도식은 1975년-1998년 동안 의정부시에서 관측된 강우자료(의정부시, 1999)를 이용하여 식(1)과 같은 통합형 형태의 강우강도식을 유도하였으며, 통합형은 Talbot형, Japanese형, 그리고 Sherman형의 3가지 형태보다 오차를 훨씬 적게 수반하는 것으로 발표되었다(안태진과 김경섭, 1998; 이재준과 이정식, 1999).

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

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

내수배제시설에서 배수펌프장의 능력이 결정된 상태에서 조정지의 저류용량은 각 강우지속기간에 따라 다르다. 본 분석에서는 우선 각 강우지속기간에 따라 유출수문곡선을 추정하여 총유출량을 결정하고, 내배수 홍수추적을 통하여 조정지의 소요용량을 구하여 각 강우지속기간별 저류비를 계산하였다. 유수지 홍수추적에는 저류방정식을 유한차분형태로 변환한 식 (2)을 적용하였다.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1 \quad (2)$$

여기서 I_1 , O_1 및 S_1 은 임의기간 Δt 의 시점에서의 유입량, 유출량 및 저류량이고 I_2 , O_2 및 S_2 은 임의기간 Δt 의 종점에서의 유입량, 유출량 및 저류량이며 Δt 는 추적기간이다. O_2 는 펌프의 배수량이며 S_2 는 펌프의 배수량이 결정되면 유수지 수위와 저류량의 관계에서 결정하여야 하나, 본 분석에서는 펌프의 계획배수량보다 많은 유입량은 모두 저류량으로 산정하였다.

계산된 저류비 중 최대저류비를 나타내는 강우지속기간을 임계지속기간으로 하고 이 때 조정지의 저류량을 적정 규모로 하였다.

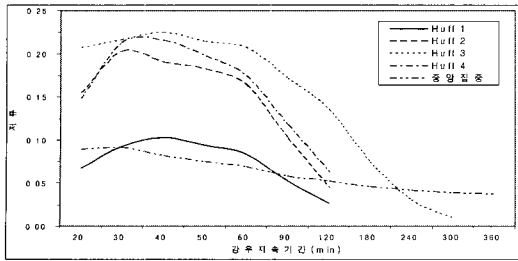
본 분석에서 지형 및 관거의 입력자료는 설계 내역으로 고정시키고, 각 강우지속기간에 따라 중앙집중형 및 Huff의 강우분포로 하여, ILLUDAS 모형으로 유출해석을 하고 필요한 조정지의 유효저류량을 결정하였으며 유출수문곡선 및 유수지 홍수추적의 시간 간격은 5분으로 하였다. 선택된 강우지속기간은 20분, 30분, 40분, 50분, 60분, 90분, 120분, 180분, 240분, 300분, 360분이며 각 강우지속기간에 해당하는 저류비를 계산한 후, 최대저류비를 갖는 지속기간을 임계강우지속기간으로 하였다.

표 2는 동두천시 각 내배수시설의 규모와 최대저류비에 의한 임계강우지속기간과 소요 유효저류량을 나타내었다. 표 2에서 기존의 유효저류량과 각 강우분포에 의한 소요유효저류량을 비교함으로써 설치된 내배수시설을 평가하면 다음과 같다. 중앙집중형 강우분포인 경우 생연1, 중앙2 및 상패1지구는 10년빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 시설이나, 나머지 지구는

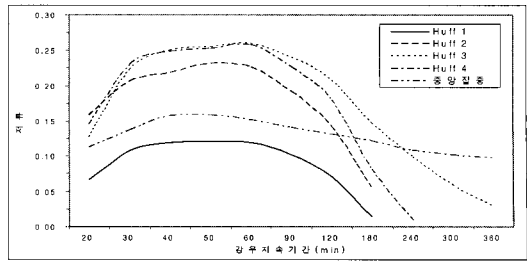
표 2. 펌프-조정지 내역 및 최대저류비에 의한 임계지속기간과 유효저류량(10년빈도)

| 펌프-조정지 시설 | 유역 면적 (ha) | 설계유효 저류량 (m ³) | 설계펌프 배수량 (m ³ /min) | 중앙집중형 | | Huff 제1분위 분포 | | Huff 제2분위 분포* | | Huff 제3분위 분포 | | Huff 제4분위 분포 | |
|-----------|------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | | | 임계강우 지속기간 (min) | 소요 유효저류량 (m ³) | 임계강우 지속기간 (min) | 소요 유효저류량 (m ³) | 임계강우 지속기간 (min) | 소요 유효저류량 (m ³) | 임계강우 지속기간 (min) | 소요 유효저류량 (m ³) | 임계강우 지속기간 (min) | 소요 유효저류량 (m ³) |
| 생연 1 | 9.15 | 998.0(13.3) | 75.0 | 30 | 223.5(3.0) | 40 | 315.3(4.2) | 30 | 498.9(6.7) | 40 | 692.6(9.2) | 40 | 659.3(8.8) |
| 생연 2 | 11.93 | 454.0(5.0) | 90.0 | 50 | 844.1(9.4) | 50 | 640.1(7.1) | 50 | 1233.0(13.7) | 60 | 1568.0(17.4) | 60 | 1548.2(17.2) |
| 중앙 1 | 14.00 | 413.0(2.8) | 150.0 | 40 | 906.9(6.0) | 40 | 768.6(5.1) | 50 | 1722.6(11.5) | 60 | 2108.7(14.1) | 50 | 1890.3(12.6) |
| 중앙 2 | 7.42 | 644.0(7.2) | 90.0 | 50 | 358.20(4.0) | 60 | 284.4(3.2) | 60 | 734.6(8.2) | 60 | 832.7(9.3) | 50 | 765.5(8.5) |
| 소요 1 | 10.69 | 430.0(4.3) | 100.0 | 40 | 616.55(6.2) | 50 | 589.5(5.9) | 50 | 1157.6(11.6) | 60 | 1500.8(15.0) | 40 | 1053.8(10.5) |
| 보산 1 | 3.29 | 368.0(18.4) | 20.0 | 90 | 771.05(38.6) | 50 | 431.4(21.6) | 60 | 652.6(32.6) | 120 | 937.7(46.9) | 120 | 999.5(50.0) |
| 보산 2 | 19.62 | 938.0(5.2) | 180.0 | 60 | 1504.95(8.4) | 50 | 994.7(5.5) | 50 | 1987.1(11.0) | 60 | 2688.3(14.9) | 60 | 2537.3(14.1) |
| 상패 1 | 1.71 | 105.0(4.2) | 25.0 | 30 | 85.45(3.4) | 30 | 89.0(3.6) | 40 | 213.3(8.5) | 40 | 254.4(10.1) | 30 | 190.8(7.6) |
| 상패 2 | 6.25 | 264.0(4.1) | 65.0 | 240 | 692.75(10.7) | — | — | 120 | 380.2(5.8) | 120 | 745.3(11.5) | 120 | 718.8(11.1) |
| 상패 3 | 3.50 | 136.0(2.7) | 50.0 | 120 | 160.40(3.2) | 30 | 104.6(2.1) | 30 | 215.7(4.3) | 40 | 359.9(7.2) | 30 | 248.9(5.0) |
| 상패 4 | 21.20 | 881.0(4.4) | 200.0 | 240 | 2757.35(13.8) | 60 | 870.0(4.4) | 60 | 2003.1(10.0) | 90 | 3316.2(16.6) | 60 | 2362.5(11.8) |

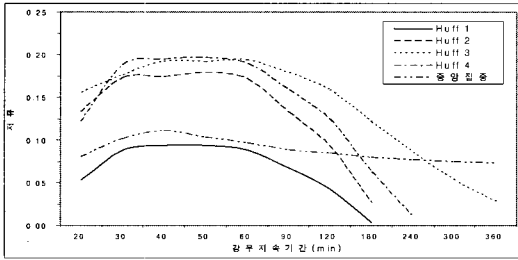
주: ()는 배제시간



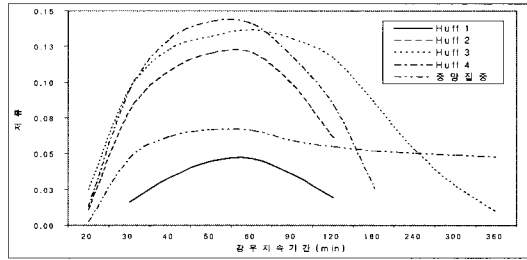
(a) 생연 1지구



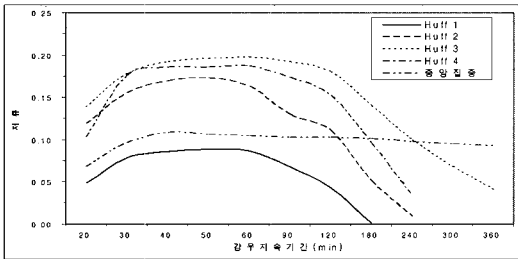
(b) 생연 2지구



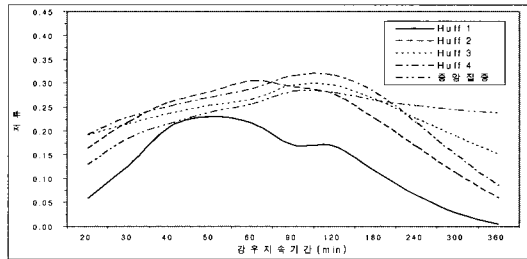
(c) 중앙 1지구



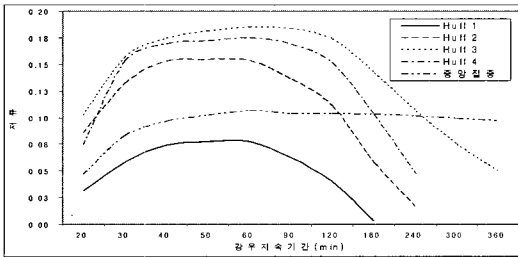
(d) 중앙 2지구



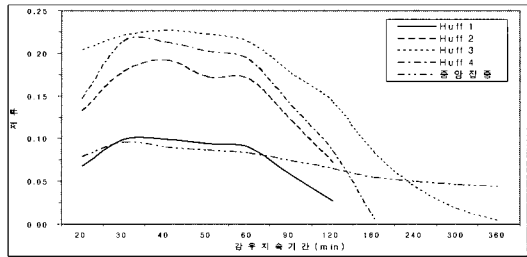
(e) 소안 1지구



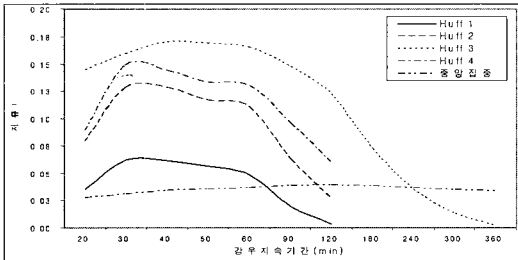
(f) 보산 1지구



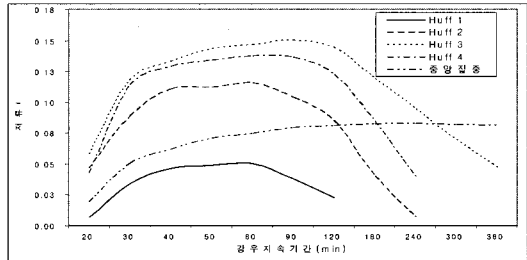
(g) 보산 2지구



(h) 상패 1지구



(i) 상패 3지구



(j) 상패 4지구

그림 2. 동두천 내수배제시설의 강우지속시간별 저류비의 변화 (10년 빈도)

표 3. 동두천시 각 내수배제시설별 저류비 및 유수지 용량(Huff의 2분위법)

| 지구 | 구분 | 강우지속기간(min) | | | | | | | | | | |
|-----|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| 생연1 | 유수지용량(m³) | 269.00 | 498.90 | 582.60 | 654.80 | 663.80 | 526.20 | 269.30 | 13.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 1744.00 | 2459.00 | 3062.00 | 3589.00 | 4050.00 | 5141.00 | 5943.00 | 7056.00 | 7813.00 | 8360.00 | 8786.00 |
| | 저류비 | 0.154 | 0.203 | 0.190 | 0.182 | 0.164 | 0.102 | 0.045 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 2.00 | 2.33 | 2.15 | 2.02 | 1.93 | 1.67 | 1.56 | 1.30 | 1.18 | 0.99 | 0.87 |
| 생연2 | 유수지용량(m³) | 404.00 | 748.10 | 988.40 | 1233.00 | 1362.50 | 1463.30 | 1261.70 | 581.90 | 19.40 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 2548.00 | 3617.00 | 4529.00 | 5327.00 | 6029.00 | 7670.00 | 8880.00 | 10529.00 | 11617.00 | 12379.00 | 12925.00 |
| | 저류비 | 0.159 | 0.207 | 0.218 | 0.231 | 0.226 | 0.191 | 0.142 | 0.055 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 2.56 | 2.76 | 2.76 | 2.67 | 2.61 | 2.39 | 2.19 | 1.81 | 1.53 | 1.32 | 1.16 |
| 중양1 | 유수지용량(m³) | 612.00 | 1126.80 | 1423.50 | 1722.60 | 1863.60 | 1823.40 | 1489.50 | 513.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 4612.00 | 6544.00 | 8194.00 | 9636.00 | 10903.00 | 13870.00 | 16059.00 | 19044.00 | 31016.00 | 22407.00 | 23406.00 |
| | 저류비 | 0.133 | 0.172 | 0.174 | 0.179 | 0.171 | 0.131 | 0.093 | 0.027 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 4.07 | 4.46 | 4.50 | 4.35 | 4.21 | 3.70 | 3.33 | 2.82 | 2.47 | 2.18 | 1.95 |
| 중양2 | 유수지용량(m³) | 28.70 | 293.10 | 494.60 | 646.80 | 734.60 | 757.10 | 545.60 | 45.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 2592.00 | 3671.00 | 4590.00 | 5392.00 | 6099.00 | 7753.00 | 8973.00 | 10646.00 | 11758.00 | 12550.00 | 13126.00 |
| | 저류비 | 0.011 | 0.080 | 0.108 | 0.120 | 0.120 | 0.098 | 0.061 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 1.66 | 2.01 | 2.22 | 2.28 | 2.28 | 2.07 | 1.86 | 1.55 | 1.35 | 1.18 | 1.08 |
| 소요1 | 유수지용량(m³) | 378.60 | 705.20 | 962.30 | 1157.60 | 1238.30 | 1251.90 | 1237.80 | 675.80 | 135.80 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 3190.00 | 4544.00 | 5694.00 | 6704.00 | 7592.00 | 9666.00 | 11197.00 | 13272.00 | 14627.00 | 15571.00 | 16236.00 |
| | 저류비 | 0.119 | 0.155 | 0.169 | 0.173 | 0.163 | 0.130 | 0.111 | 0.051 | 0.009 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 2.73 | 2.96 | 3.01 | 2.80 | 2.71 | 2.47 | 2.28 | 1.98 | 1.77 | 1.56 | 1.39 |
| 보산1 | 유수지용량(m³) | 144.00 | 277.60 | 415.70 | 531.00 | 652.60 | 798.90 | 875.20 | 838.40 | 683.50 | 480.40 | 271.50 |
| | 총유출량(m³) | 884.00 | 1268.00 | 1598.00 | 1889.00 | 2143.00 | 2735.00 | 3171.00 | 3755.00 | 4128.00 | 4379.00 | 4548.00 |
| | 저류비 | 0.163 | 0.219 | 0.260 | 0.281 | 0.305 | 0.292 | 0.276 | 0.223 | 0.166 | 0.110 | 0.060 |
| | 첨두유량(m³/s) | 0.62 | 0.75 | 0.71 | 0.72 | 0.71 | 0.68 | 0.66 | 0.59 | 0.52 | 0.46 | 0.41 |
| 보산2 | 유수지용량(m³) | 522.90 | 1148.40 | 1664.60 | 1987.10 | 2230.40 | 2524.70 | 2390.10 | 1465.40 | 446.40 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 6099.00 | 8696.00 | 10920.00 | 12868.00 | 14578.00 | 18572.00 | 21517.00 | 25496.00 | 28082.00 | 29871.00 | 31117.00 |
| | 저류비 | 0.086 | 0.132 | 0.152 | 0.154 | 0.153 | 0.136 | 0.111 | 0.057 | 0.016 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 4.40 | 5.00 | 5.03 | 4.99 | 4.93 | 4.52 | 4.17 | 3.65 | 3.24 | 2.88 | 2.60 |
| 상패1 | 유수지용량(m³) | 84.50 | 159.60 | 213.30 | 223.70 | 248.70 | 224.60 | 153.20 | 7.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 640.00 | 896.00 | 1114.00 | 1301.00 | 1466.00 | 1858.00 | 2146.00 | 2549.00 | 2825.00 | 3029.00 | 3184.00 |
| | 저류비 | 0.132 | 0.178 | 0.191 | 0.172 | 0.170 | 0.121 | 0.071 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 0.74 | 0.78 | 0.73 | 0.67 | 0.66 | 0.58 | 0.53 | 0.44 | 0.36 | 0.32 | 0.28 |
| 상패2 | 유수지용량(m³) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.20 | 253.60 | 380.20 | 266.40 | 18.70 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 1735.00 | 2513.00 | 3185.00 | 3784.00 | 4307.00 | 5512.00 | 6400.00 | 7562.00 | 8276.00 | 8730.00 | 9009.00 |
| | 저류비 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.046 | 0.059 | 0.035 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 0.67 | 0.80 | 0.92 | 1.03 | 1.11 | 1.24 | 1.35 | 1.27 | 1.11 | 0.97 | 0.86 |
| 상패3 | 유수지용량(m³) | 93.90 | 215.70 | 269.30 | 288.30 | 307.80 | 220.70 | 107.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 1186.00 | 1680.00 | 2098.00 | 2464.00 | 2786.00 | 3542.00 | 4098.00 | 4860.00 | 5365.00 | 5724.00 | 5982.00 |
| | 저류비 | 0.079 | 0.128 | 0.128 | 0.117 | 0.110 | 0.062 | 0.026 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 1.29 | 1.36 | 1.26 | 1.20 | 1.17 | 1.02 | 0.94 | 0.79 | 0.68 | 0.60 | 0.54 |
| 상패4 | 유수지용량(m³) | 336.50 | 914.90 | 1432.40 | 1712.70 | 2003.10 | 2289.80 | 2174.60 | 1212.90 | 230.70 | 0.00 | 0.00 |
| | 총유출량(m³) | 7173.00 | 10265.00 | 12913.00 | 15246.00 | 17291.00 | 22048.00 | 25557.00 | 30266.00 | 33291.00 | 35350.00 | 36754.00 |
| | 저류비 | 0.047 | 0.089 | 0.111 | 0.112 | 0.116 | 0.104 | 0.085 | 0.040 | 0.007 | 0.000 | 0.000 |
| | 첨두유량(m³/s) | 4.43 | 5.20 | 5.29 | 5.19 | 5.08 | 4.73 | 4.44 | 3.94 | 3.48 | 3.15 | 2.84 |

표 4. 설계내역 및 최대저류비에 의한 펌프 및 조정지 산정 내역(Huff 2분위법, 10년 빈도)

| 지구명 | 유역면적 ha | 설계 내역 | | 최대저류비에 의한 내역 | | | |
|-----|------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------|-----------------|
| | | 조정지용량, m ³ | 펌프용량 m ³ /min | 펌프용량 m ³ /min | 조정지용량 m ³ | 최대저류비 | 임계강우지속 기간, 분 |
| 생연1 | 9.15 | 998.0(13.3)* *: 배제시간 | 75.0 | 40 | 1393.1 | 0.4549 | 40 |
| | | | | 50 | 1128.6 | 0.3686 | 40 |
| | | | | 60 | 723.9 | 0.2944 | 30 |
| | | | | 75 | 498.9 | 0.2029 | 30 |
| | | | | 90 | 273.9 | 0.1114 | 30 |
| | | | | 100 | 221.3 | 0.0723 | 40 |
| 생연2 | 11.93 | 454.0(5.0)* | 90.0 | 60 | 1873.4 | 0.4136 | 40 |
| | | | | 70 | 1817.8 | 0.3413 | 50 |
| | | | | 80 | 1707.8 | 0.2833 | 60 |
| | | | | 90 | 1233.0 | 0.2315 | 50 |
| | | | | 100 | 982.5 | 0.1844 | 50 |
| | | | | 110 | 627.0 | 0.1384 | 40 |
| 중앙1 | 14.0 | 413.0(2.8)* | 150.0 | 120 | 2801.3 | 0.2569 | 60 |
| | | | | 130 | 1908.9 | 0.2330 | 40 |
| | | | | 140 | 1973.1 | 0.2048 | 50 |
| | | | | 150 | 1722.6 | 0.1788 | 50 |
| | | | | 160 | 1254.8 | 0.1531 | 40 |
| | | | | 170 | 1105.4 | 0.1349 | 40 |
| 중앙2 | 7.42 | 644.0(7.2)* | 90.0 | 60 | 1718.0 | 0.2817 | 60 |
| | | | | 70 | 1356.0 | 0.2223 | 60 |
| | | | | 80 | 1034.1 | 0.1696 | 60 |
| | | | | 90 | 734.5 | 0.1204 | 60 |
| | | | | 100 | 508.8 | 0.0834 | 60 |
| | | | | 110 | 309.6 | 0.0508 | 60 |
| 소요1 | 10.69 | 430.0(4.3)* | 100.0 | 70 | 2388.5 | 0.3146 | 60 |
| | | | | 80 | 1694.3 | 0.2527 | 50 |
| | | | | 90 | 1412.5 | 0.2107 | 50 |
| | | | | 100 | 1157.5 | 0.1727 | 50 |
| | | | | 110 | 776.3 | 0.1363 | 40 |
| | | | | 120 | 626.0 | 0.1099 | 40 |
| 보산1 | 3.29 | 368.0(18.4)* | 20.0 | 10 | 1231.4 | 0.5746 | 60 |
| | | | | 15 | 914.6 | 0.4268 | 60 |
| | | | | 20 | 652.6 | 0.3045 | 60 |
| | | | | 25 | 402.1 | 0.1877 | 60 |
| | | | | 30 | 221.1 | 0.1032 | 60 |
| 보산2 | 19.62 | 938.0(5.2)* | 180.0 | 120 | 5988.2 | 0.3224 | 90 |
| | | | | 140 | 3680.7 | 0.2525 | 60 |
| | | | | 160 | 2544.3 | 0.1977 | 50 |
| | | | | 180 | 1987.1 | 0.1544 | 50 |
| | | | | 200 | 1713.0 | 0.1175 | 60 |

표 4. 설계내역 및 최대저류비에 의한 펌프 및 조정지 산정 내역(Huff 2분위법, 10년 빈도)(계속)

| 지구명 | 유역면적 ha | 설계 내역 | | 최대저류비에 의한 내역 | | | |
|-----|------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------|-----------------|
| | | 조정지용량, m ³ | 펌프용량 m ³ /min | 펌프용량 m ³ /min | 조정지용량 m ³ | 최대저류비 | 임계강우지속 기간, 분 |
| 상패1 | 1.71 | 105.0(4.2)* | 25.0 | 15 | 527.7 | 0.4056 | 50 |
| | | | | 20 | 314.1 | 0.2820 | 40 |
| | | | | 25 | 213.3 | 0.1915 | 40 |
| | | | | 30 | 104.3 | 0.1164 | 30 |
| | | | | 35 | 54.5 | 0.0608 | 30 |
| 상패2 | 6.25 | 264.0(4.1)* | 65.0 | 35 | 2014.7 | 0.3655 | 90 |
| | | | | 45 | 1323.5 | 0.2401 | 90 |
| | | | | 55 | 726.5 | 0.1318 | 90 |
| | | | | 65 | 380.2 | 0.0594 | 120 |
| | | | | 75 | 67.2 | 0.0105 | 120 |
| 상패3 | 3.50 | 136.0(2.7)* | 50.0 | 20 | 1413.0 | 0.5072 | 60 |
| | | | | 30 | 694.5 | 0.3310 | 40 |
| | | | | 40 | 468.5 | 0.2233 | 40 |
| | | | | 50 | 215.7 | 0.1284 | 30 |
| | | | | 60 | 115.5 | 0.0688 | 30 |
| 상패4 | 21.2 | 881.0(4.4)* | 200.0 | 140 | 4294.4 | 0.2484 | 60 |
| | | | | 160 | 3292.4 | 0.1904 | 60 |
| | | | | 180 | 2597.1 | 0.1502 | 60 |
| | | | | 200 | 2003.1 | 0.1158 | 60 |
| | | | | 220 | 1488.6 | 0.0861 | 60 |

10년빈도 강우-유출 배수에는 무리가 있음을 알 수 있다. Huff 1분위 분포인 경우는 생연1, 중앙2, 상패1, 상패2, 상패3 및 상패4지구만, 10년빈도 강우-유출은 원활히 배수시키는 시설이다. 한편 Huff 2, 3 및 4분위 분포에 의하여 산정된 조정지용량은 생연1지구만 10년 빈도 강우-유출을 원활히 배수시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

2.3 최대저류비에 의한 저류량 결정의 한계

이종태 등(1993)의 연구에서 선정된 내수배제시설은 비교적 중규모 배수면적이어서 강우지속기간별 저류비의 변화는 비교적 뚜렷하다. 그림 2는 동두천시 10개 소규모 내배수시설에 관한 각 강우지속기간별 저류비를 나타내었으며, 강우분포는 중앙집중형 및 Huff 4분위 강우분포를 적용하였고, 펌프용량은 표 2의 설계펌프배수량을 적용하였다. 그림 2 및 표 2에 의하면 중앙집중형 및 Huff 분포형에서 최대저류비를 기준으로 한 임

계지속기간은 60분인 경우가 대부분이나 최대저류비의 값과 그 다음 순위의 저류비의 값과의 차이는 뚜렷하지 않다. 대체로 1분위 분포형에 의한 저류비는 중앙집중, 2, 3 및 4분위 분포형 보다 작은 저류비를 나타내었다. Huff 형 강우분포에서 최대저류비를 기준으로 한 임계지속기간은 대체로 60분에서 120분 사이에 있다.

경기도(2001)는 호우발생수가 가장 많은 Huff 2분위 강우분포를 의정부 강우관측소의 최적분포형으로 하였다. 표 2에는 Huff 2분위 강우분포인 경우 동두천시 11개 내배수시설에 관한 강우지속기간별 조정지의 소요용량, 총유출량, 저류비 및 침투유량을 수록하였다. 표 2, 표 3 및 그림 2에서 보는 바와 같이 최대저류비에 의한 임계강우지속기간은 50분, 60분이 대부분이나, 각 강우지속기간별 저류비의 차이는 미미하다. 이와 같이 배수면적이 작고 배수펌프기능이 강화된 경우, 각 강우지속기간별 저류비는 뚜렷한 차이가 아니어서 최대저류비에 의하여 계획강우지속기간 및 조정지 용량을 결정

하기에는 무리가 있음을 알 수 있다.

펌프의 과부하를 방지하기 위하여 펌프의 허용시동간격은 일반적으로 펌프제작회사에 의하여 제시되고 있으며, KSB(2001)는 Etanorm 펌프인 경우 펌프의 허용시동간격을 10분으로 규정하고 있다. FAO(1988)는 펌프 모터의 용량에 따라 다양한 허용시동간격을 제시하였으며, 50-200HP인 경우는 10분으로 제시하였다. 표 2와 같이 최대저류비에 의하여 결정된 유수지 용량의 저류량 배제시간은 10분 이내에 있는 경우가 있어 펌프의 허용시동간격의 지침에 배치된다. 조정지의 짧은 저류량 배제시간은 빈번한 펌프의 가동 및 증지로 고장을 유도할 뿐만 아니라, 계획홍수량을 원활히 배수하는데 어려움이 있을 수 있다.

본 분석에서는 Huff 제2분위 강우분포에 관하여 최대저류비를 기준으로 펌프의 용량에 따른 조정지 용량 및 임계강우지속기간의 변화를 분석하였으며 표 4에 그 결과를 수록하였다. 표 4와 같이 중양2, 보산1 및 상패4 지구에서는 펌프용량이 변화하더라도 임계강우지속기간은 60분으로 일정하였으나 그 외지구는 변화된 펌프용량에 따라 다른 임계강우지속기간으로 나타나 합리적인 임계강우지속기간 및 조정지 용량을 선정하기가 어렵다. 또한 펌프용량이 증대되면 조정지의 용량은 당연히 작아지므로 효율적인 펌프운영이 가능한 조정지 규모로 결정되어야 한다.

펌프용량이 작은 경우에도 각 지속기간별 저류비의 차이는 미미하지만 펌프용량이 작을수록 조정지의 용량은 증대됨에 따라 저류비도 증가되므로, 결정된 조정지의 저류량 배제시간은 충분히 길어져 소규모 배수면적을 갖는 내수배제시설에서도 조정지 기능이 강화될 수 있음을 알 수 있다. 여기서 저류량 배제시간과 조정지 기능이 강화된 시설과의 관계를 정량적으로 설정하기는 어렵지만 펌프의 허용시동간격보다 충분히 긴 경우는 조정지 기능이 강화된 시설이라 할 수 있을 것이다. 따라서 소유역인 경우에도 조정지의 기능이 강화된 내수배제시설에서는 최대저류비를 기준으로 한 조정지 용량의 결정은 타당함을 알 수 있다.

3. 조정지 규모 결정 개선 방안 및 적용

소유역에서의 내수배제시설 설계시 최대저류비 기준에 의하여 조정지 규모 결정을 보완하기 위한 개선 절차를 요약하면 다음과 같다.

소유역에서 펌프용량 및 조정지 규모 결정 절차

- 1단계 : 배수구역내 강우-유출모형을 적용하여 시간별 유입량을 결정하고 침투유출량보다 작은 규모로 계획펌프용량을 결정.
- 2단계 : 최대저류비를 갖는 저류량 또는 최대저류량을 조정지의 용량으로 결정
- 3단계 : 결정된 조정지 용량에 관한 저류량의 배제시간을 산정한 후, 펌프의 허용시동간격 10분과 비교하여 허용범위 이내 이면 2단계에서 산정된 펌프용량과 조정지용량을 결정
- 4단계 : 허용범위에 벗어나면 3단계에서의 펌프용량보다 작은 펌프용량으로 수정하여 1단계로 가서 재계산함

동두천 내수배제시설에서 분석된 결과를 이용하여 조정지 규모 결정 개선 방안을 3개 지구에 적용사례는 다음과 같다(표 2 및 표 3 참조). i) 생연2지구 펌프계획용량 90m³/분에 관하여 최대저류비 기준에 의한 조정지 유효용량은 1233.0m³이고 저류량 배제시간은 13.7분이다. 펌프의 허용시동간격보다 길므로 최대저류비 기준에 의한 조정지의 유효용량 1233.0m³로 결정한다. ii) 상패4지구 펌프계획용량 200m³/분에 관하여 최대저류비 기준에 의한 조정지 유효용량은 2,003m³로 저류량 배제시간은 약 10분이다. 따라서 최대저류량 2,289.8m³를 조정지 유효용량으로 하면 저류량의 배제시간은 11.5분이 된다. iii) 상패2지구 펌프계획용량 65m³/분에 관하여 최대저류비 기준 또는 최대저류량 기준에 의한 조정지 유효용량은 380.2m³로 동일하며, 저류량 배제시간은 5.8분이다. 따라서 표 4와 같이 펌프용량을 55m³/분으로 재조정하여 최대저류비를 갖는 조정지 용량을 산정하면 726.5m³가 되며 저류량 배제시간은 13.2분이 된다.

4. 유수지 규모와 펌프용량과의 관계 분석

유수지 규모와 펌프용량과의 관계를 규명하고자 정립한 선형계획모형은 모형1과 같다. 수문학적 제약조건에서 연속방정식은 ILLUDAS 모형으로부터 각 기간별 추정된 유입량이며 주어진 펌프용량에 관하여 유수지-펌프 공사비를 최소화하는 동시에 수문학적으로 타당한 유수지의 규모를 결정하고자 한다. 모형1에서 배수구역으로부터의 유입량 전량은 강제배수하는 것으로 가정한다.

$$\text{모형 Minimize } \sum_{i=1}^n (C_{1i} S_i + C_{2i} O_i) \quad (3)$$

Subject to

$$I_i - O_i = \Delta S_i \quad (4)$$

$$O_i \leq O_{\max} \quad (5)$$

$$S_i \leq S_{\max} \quad (6)$$

$$I_i, O_i, S_i \geq 0$$

여기서 S_i 및 C_{1i} 는 i 기간의 저류량 및 단위저류량(단위유입량)의 비용, O_i 및 C_{2i} 는 i 기간의 펌프배제량 및 단위펌프배제량(단위유입량)의 비용, I_i 는 i 기간의 유입량, S_{\max} 는 최대저류량, O_{\max} = 최대펌프배제량이다.

식 (3)은 유수지 및 펌프의 총비용이고, 식 (4)에서 유입량은 배수구역내 발생하는 유출량으로서 ILLU-DAS 모형으로부터 산정되며 식 (3) 및 식 (4)는 각각 최대펌프배제량 및 유수지의 최대저류량 조건식이다.

모형1을 이용하여 다음 3가지 조건에 관하여 분석하였다. 조건1) 유수지의 단위저류량의 비용이 펌프의 단위배제량과 같은 경우, 조건2) 유수지의 단위저류량의 비용이 펌프의 단위배제량보다 고가 경우, 조건3) 유수지의 단위저류량의 비용이 펌프의 단위배제량보다 저가인 경우를 검토하였다. 단위저류량과 단위배제량의 비용은 계량화하기 어려워서 추정된 유입량을 단위체적당(m^3)의 비용으로 지정한다. 유수지 및 펌프시설의 비용을 고려하면 조건2는 도시 배수시설에 적절하고 조건3은 농경지 배수시설에 적절하다. 중앙1 지구에서 Huff 2분위 강우분포인 경우 종래의 방법으로 산정된 유수지 용량으로 최대저류비를 계산하여 결정된 유수지 소요용량은 $1722.6 m^3$ (유입량의 18%)이다.

중앙1 지구에 관하여 모형1을 3가지 조건으로 적용하여 조정지의 소요용량을 분석한 결과는 다음과 같다: 조건1인 경우, 유입량이 계획펌프량을 초과할 때는 계획펌프량으로 두는 경우에 한하여 조정지 소요용량은 $1722.6 m^3$ 이었으며 최대저류비에 의한 결과와 같다. 조건2인 경우, 모형1에 의한 조정지 소요용량은 최대저류비에 의한 결과와 동일한 $1722.6 m^3$ 이었다. 조건3인 경우 유입량이 계획펌프량을 초과할 때는 계획펌프량으로 두는 경우에 한하여 $4491.7 m^3$ 이나 그렇지 않은 경우는 최대저류량 조건에 영향을 받지만 대체로 유입량을 유수지에 저류하는 것이 경제적인 것으로 분석되었다. 다른 지구인 경우도 대체로 이러한 경향을 보여 주

었다. 따라서 종래의 방법인 조정지 홍수추적에 의한 유수지 용량 방법은 유수지의 단위저류량의 비용이 펌프의 단위배제량보다 고가인 도시지역의 내수배제시설의 규모 결정에 한하여 적절함을 알 수 있다.

5. 결 론

배수면적이 작고 펌프기능이 강화된 내수배제시설에서 각 강우지속기간별 저류비는 뚜렷한 차이가 아니라서 최대저류비에 의한 계획강우지속기간 및 조정지 용량을 결정하기에는 무리가 있음을 알 수 있었다. 또한 최대저류비에 의하여 결정된 조정지의 저류량 배제시간은 펌프의 허용시동간격보다 짧은 경우가 있어 내수배제시설의 원활한 운영을 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 펌프의 허용시동간격 또는 조정지의 저류량 배제시간을 고려한 펌프용량 및 조정지 용량을 결정하는 방안을 제시하였으며, 제한된 절차에 의하여 결정된 조정지 규모는 펌프의 허용시동간격을 만족하여 펌프의 원활한 운영을 기약하게 한다.

다양한 펌프용량을 적용하여 분석한 결과 소유역에서도 조정지의 기능이 강화된 내수배제시설에서는 최대저류비를 기준으로 한 조정지 용량의 결정은 타당함을 알 수 있었다. 또한 유수지 규모와 펌프용량의 관계를 선형계획모형을 적용하여 분석한 결과, 저류방정식을 근거로 한 유수지 홍수추적에 의한 유수지 용량 결정은 단지 도시지역의 내배수시설 계획에서 타당한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한경대학교 2001년도 학술연구조성비의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 경기도 (2002). 경기도 치수대책 실태조사 및 장래계획 수립, pp. 602-617.
- 경기도 (2002). 2001 경기도 수해 백서.
- 동두천 (2000). 동두천시 수해상습지 종합치수대책 기본 및 실시설계 보고서.
- 서울시 (1999). 주요 수방시설 현황.
- 안태진, 김경섭 (1996). "우수거설계를 위한 인천지방에서의 확률강우강도식의 산정." 대한상하수도학회지, 대한상하수도학회, 제12권, 제3호, pp. 99-106.
- 안태진, 류희정, 이재영, 조동호 (2002). "도시 소유역에

- 서 홍수조절용 펌프 및 조정지 규모의 결정.” **2002 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 293-298.
- 윤여진, 이재철(2001). “계획강우의 지속기간에 따른 저류용량의 산정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 415-426.
- 이재준, 이정식 (1999). “우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 403-415.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). “우수관거 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제26권, 제2호, pp. 49-56.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). “우수시설계를 위한 계획강우의 임계지속기간.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제26권, 제1호, pp. 115-124.
- 의정부시 (1999). **'98 대홍수의 진단과 재해 극복 대책 수립 최종보고서**, pp. 6.25-6.26.
- 한국과학재단 (1992). **도시홍수 재해방지를 위한 내수 처리시스템 분석 및 설계기법 개발**, pp. 3.32-3.35.
- 한국수도협회 (1998). **하수도 시설기준**, pp. 3.79-3.80.
- ASCE (1992). *Design and construction of urban stormwater management systems*. pp. 69-70.
- 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, pp. 1040-1045.
- FAO (1988). *Design and optimization of irrigation distribution networks*. pp. 133-134
- KSB (2001). Specifications for Etanorm pump, pp. 10-11, (www.ksbgroup.com)
- Karassik, I. J., W. C. Krutzsch, W. H. Fraser and J. P. Messina (1986). *Pump Handbook*. McGraw-Hill Book Co. pp. 10.6-10.7.
- Kessler, A. and M. H. Diskin (1991). “The Efficiency function of detention reservoirs in urban drainage systems”” *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 3, pp. 253-258.
- USDA (1986). Technical Release 55, Urban hydrology for small watersheds, pp. 6.1-6.11.

(논문번호:03-16/접수:2003.02.12/심사완료:2003.04.07)