

강우분포유형이 저수지의 홍수위에 미치는 영향
(시화호를 중심으로)

Effect of Temporal Distribution of Rainfall
on Water-Surface Level of Sihwa Lake

이 정 규* / 이 재 흥**

Lee, Jong Kyu / Lee, Jai Hong

Abstract

In this study, several types of rainfall time distribution of the probabilistic rainfall amount have been applied to the Sihwa Lake, located in Gyounggi Province, Korea and their runoff characteristics, obtained by the Hec-Hms program, according to the rainfall distribution types, were compared and analysed. And then, the influences of the above rainfall distribution types of the highest water level of the reservoir, computed through the reservoir flood routing, were analysed. The tidal variation was considered, performing the flood routing and, in addition, the new program, called "IWSEA", which can compute the reservoir water level, was developed. To conclude, when the Mononobe type of the rainfall distribution was used, the largest inflow flood discharge into the reservoir was performed and the highest reservoir water level was obtained when the Pilgrim-Cordery type of the rainfall distribution was applied.

Keywords : time distribution of rainfall, hyetograph, rainfall-runoff simulation, reservoir routing

요 지

본 연구는 설계확률강우량에 대한 다양한 강우의 시간적 분포유형을 시화호 유역에 적용하여 강우분포유형에 따른 유출특성을 비교 분석하였으며 시화호의 저수지 추적을 통하여 저수위에 미치는 강우분포유형의 특성을 분석하였다. 저수지추적시 외조위 조건을 고려하였으며, 저수위를 산정할 수 있는 프로그램(IWSEA)을 개발하였다. 연구 결과를 요약하면 저수지 유입 홍수량은 Mononobe분포식을 적용할 때 제일 크게 나타났고, 최고저수위는 외조위 조건이 소조일 때, 강우분포유형을 Pilgrim-Cordery방법을 적용하였을 때 가장 높게 나타났다.

핵심용어 : 설계강우의 시간분포, 강우의 우량주상도, 강우-유출 모의, 저수지추적

* 한양대학교 공과대학 도시건설환경공학과군 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 공과대학 토목공학과 석사

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 수공구조물의 보다 안전한 설계를 위한 필수요소로서 다양한 강우 유출모형의 개발 및 체적의 정밀한 계산과 더불어 강우의 시간적 분포유형이 매우 중요하다. 특히 유출계산시 강우량과 재현기간이 결정되면 대표적 설계우량주상도를 결정해야 하는데, 이러한 강우의 시간적 분포특성은 첨두유량 및 유출수문곡선에 큰 영향을 미치기 때문에 다각적인 연구가 필요하다. 동일한 강우량이라 하더라도 강우의 시간적 분포가 달라지면 그에 따른 유출특성도 달라진다. 따라서 수공구조물의 목적에 따라 적절한 강우분포유형의 선정이 필요하다. 현재 사용되고 있는 설계강우분포식을 시화호의 홍수위 산정에 적용하여 이들의 특성을 비교·분석하고자 한다. 본 연구에서는 위에서 언급한 강우의 시간적 분포유형의 다각적인 적용을 위해 강우자료의 빈도해석절차로서 확률분포형의 매개변수 추정, 적합도 검정, 확률강우량 산정 등의 과정을 수행하였고, 적절한 설계우량주상도를 적용하여 Hec-Hms의 강우입력자료로 활용, 강우-유출모의과정을 통한 홍수량을 산정 하였으며, 최종적으로 다양한 시간적 변화유형에 따른 저수지의 홍수시 저류수위곡선을 유도할 수 있는 '내수위 해석 프로그램(IWSEA- Inner Water Surface Elevation Analysis Program)'을 개발하여 강우분포유형에 따른 저류수위곡선의 변화양상을 고찰하였다. 이와 같은 모의과정을 통하여 강우-유출 및 저수지추적에 미치는 강우분포유형의 영향을 분석함으로써 수공구조물의 설계에 있어서 보다 효과적인 우량주상도를 선정하여 강우분포유형의 특성을 분석하였다.

1.2 연구동향

유출해석에 있어서 강우자료의 특성은 복잡 다양하여 강우를 하나의 시간분포로 나타내기는 매우 어렵기 때문에 많은 학자들에 의해 여러 가지 방법이 개발되어 왔다. 국내에서는 Mononobe방법이 널리 이용되어 왔으며, Huff(1967)는 관측강우를 4구간법으로 시간구분하여 해석하였고, Yen과 Chow(1977)는 무차원 1, 2차 모멘트를 이용하여 삼각형과 사다리꼴 우량주상도의 형태로 단순화하여 분석하였고, Pilgrim과 Cordery(1975)는 평균이동법을 이용하여 강우의 시간분포형을 분석하였다. 한편, 국내의 경우 서승덕(1965)에 의해 최초로 호우의 시간분포개념이 고찰되었으며, 박찬영

(1980)은 서울 지점에 대하여 Huff(1967)의 4구간법에 의해 시간분포를 분석한 바 있고, 이근후(1983)도 Huff의 4구간법에 의해 총우량 80mm이상의 호우를 선별 전국적인 분석을 하였으며, 최근에는 강우분포형태가 임계지속기간 및 첨두유량에 큰 영향을 미친다는 분석결과도 연구된 바 있다.(윤여진 등, 1998).

2. 연구방법

2.1 자료 및 분석기준

강우자료는 기상청 인천측후소의 강우자료를 이용하였다. 1961년부터 1999년까지의 시간강우자료를 통하여 각 지속기간별 확률강우량을 산정 한 후 이를 강우의 시간적 분포 자료로 활용하였다. 또한 시우량을 이용하여 단독강우사상으로 구분하는 기준은 각 분포유형별로 다른데, 먼저 Huff방법은 진후에 6시간 이상의 무강우가 계속되면 강우사상을 분리하고, Yen-Chow방법과 Pilgrim-Cordery방법은 무강우가 전혀 없는 연속강우사상으로 선별하여 연속강우로 정의하였다.

2.2 분석방법

시간분포 형태에 대한 기본이론은 국내외 문헌 및 연구발표자료에 의해 상세히 제시되어 있으므로 자세한 이론적 배경은 생략하고 중요사항 위주로 기술한다.

2.2.1 Mononobe 방법

설계강우강도를 식 (1)과 같은 Mononobe 공식으로부터 결정한다.

$$I = \left(\frac{R_T}{T}\right) \times \left(\frac{T}{t}\right)^n, \quad n = 2/3 \quad (1)$$

여기서, R_T 는 유역의 지속기간 T (hr)시간 총우량(mm)이며 t 는 시간간격이고, I 는 본 연구에서는 1시간을 기본으로 하였고, 식 (1)에서 R_{24} 로 24시간 최대 확률강우량(mm)을 사용하면, I 는 지속기간 t (hr)인 확률강우강도(mm/hr)가 된다.

2.2.2 수정-Mononobe 방법

기본식은 Mononobe 방법과 같다. 다만, 농촌용수계 확설계편람(농업기반공사.1998)에 따르면 지역에 따른 상수값인 n 값에 따라 Mononobe방법과 수정-Mononobe방법으로 구분하는데, 위에서 제시한 강우강도 공식에서, n 값에 2/3를 사용할 경우 Mononobe방법이라고 하고, n 값에 1시간 최대강우량을 반영시킨 공식을 사용할 경우, 이를 수정-Mononobe방법이라 한다. 수정

-Mononobe방법은 Mononobe방법에 비하여 중앙분포의 첨도가 낮다.

$$I = \left(\frac{R_T}{T}\right) \times \left(\frac{T}{t}\right)^n, \quad n = \frac{\ln(24R_1/R_{24})}{\ln(24)} \quad (2)$$

여기서, R_1 는 1시간 강우량이고, R_{24} 는 24시간 강우량이다.

2.2.3 Pilgrim-Cordery 방법

일명 평균이동법(Average Variability Method)이라고 불리는 이 방법은 현재 호주에서 설계호우결정시 표준방법으로 채택되고 있으며 다음과 같은 절차로 해석된다. 먼저 강우사상의 지속기간을 동일구간으로 나눈다. 즉 확률강우량 산정시 사용된 지속기간 및 자료를 사용한다. 각 시간구간에 내린 강우량의 크기에 따라 순위를 정한 뒤 각 시간구간별로 순위를 평균하여 평균순위를 결정한다. 또한 각 시간구간에서 총강우량에 대한 구간강우량의 백분율을 순위별로 나열하고 각

시간 구간별로 평균하여 각 시간구간별 강우백분율을 결정한다. 이 강우백분율은 평균순위에 따라 재배열하여 시간적 분포를 결정한다.

2.2.4 Yen-Chow 방법

Yen과 Chow(1980)는 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우의 시간적 분포를 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하여 표현하였으며, 또한 호우는 무강우가 없는 연속강우로 정의하여 무차원화 하였다. 먼저 삼각형 우량주상도에 대하여 살펴보면, 각 시간별 강우량을 r , 총강우량을 R , 강우시점부터 종점까지의 시간을 T 라 하여, 강우가 시작되는 시간에 관한 우량주상도의 도심까지의 시간 \bar{t}_1 (1차모멘트)를 구하면 식 (3)과 같다.

$$\bar{t}_1 = \frac{\Delta t \left(\sum_{j=1}^n (j-0.5)r_j \right)}{R} \quad (3)$$

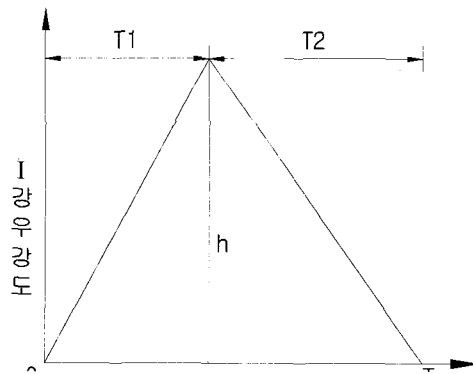


그림 1. Triangular Distribution

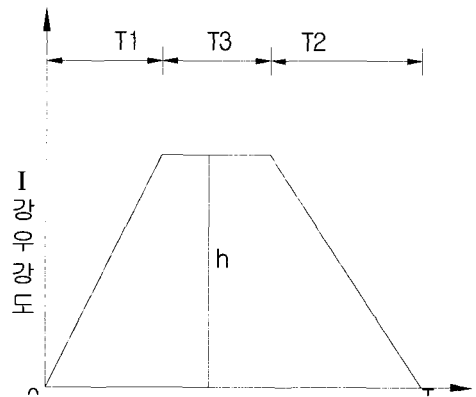


그림 2. Trapezoidal Distribution

1차 모멘트에 의한 삼각형 우량주상도의 기하학적 무차원 변수는 다음과 같다.

$$a^{\circ} = \frac{T1}{T}, b^{\circ} = \frac{T2}{T}, h^{\circ} = \frac{h}{(R/T)} \quad (4)$$

사다리꼴 우량주상도에서는, 우량주상도 도심까지 시간의 제곱인 \bar{t}_2 (2차 모멘트)를 같은 방법으로 구하면 식 (5)와 같이 된다.

$$\bar{t}_2 = \frac{(\Delta t)^2 \left(\sum_{j=1}^n (j-0.5)^2 r_j + \frac{1}{12} R \right)}{R} \quad (5)$$

2차 모멘트에 의한 사다리꼴 우량주상도의 기하학적 무차원 변수는 다음과 같다.

$$a^{\circ} = \frac{T1}{T}, b^{\circ} = \frac{T2}{T}, c^{\circ} = \frac{T3}{T}$$

$$h^{\circ} = \frac{2}{(1+c^{\circ})} \quad (6)$$

2.2.5 Huff 방법

1967년 Huff는 미국 일리노이주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 이는 강우의 누가곡선을 이용하여, 전 지속기간을 4등분 하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 즉, 강우지속기간을 4등분하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간 호우(first-quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제2구간 호우(second-quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제3구간 호우(third-quartile storm), 그리고 마

지막 구간일 경우는 제4구간 호우(fourth-quartile storm)로 한 것이다.

Huff방법에서는 강우의 기상학적 특성을 이용, 강우 전후에 6시간이상의 무강우가 계속되면 강우사상을 분리하였으며, 이와 같은 자료를 통하여 4개 그룹으로 분류된 강우를 시간적으로 무차원화 시키기 위하여 강우의 누가지속시간과 이에 따른 강우량을 각각 백분율로 표시하고 이를 식으로 나타내면 식 (7)과 같다.

$$Tp(j) = \frac{T(j)}{T} \times 100\%, \quad Rp(j) = \frac{R(j)}{R} \times 100\% \quad (7)$$

여기서, $Tp(j)$ 는 임의시간 $T(j)$ 에서의 강우지속시간 비이고, $T(j)$ 는 강우시작후 j 번째 시각의 경과시간이며, T 는 총강우 지속기간이다. 여기서 j 는 단위증분회수이고, $Rp(j)$ 는 임의시간 $T(j)$ 에서의 누가우량비이며, $R(j)$ 는 $T(j)$ 까지의 누가우량, R 는 지속기간 T 의 총우량이다.

이와 같이 무차원 누가곡선을 이용하여 각 그룹에 속한 호우들을 분리하여 분석한다. 먼저 1구간 호우의 분석일 경우 각 지속기간 증분회수별로 각 확률을 추정 한 후 각 확률별로 시간분포를 추정한다. 이와 같이 2구간, 3구간, 4구간 호우를 차례로 분석한다. 이 때 각 확률누가곡선을 10%의 확률간격으로 도시위치곡식(Weibull)을 이용하여 작성한다.

2.3 분석결과

본 연구에서 인천지역강우를 대상으로 Huff 분포를 분석해본 결과 총 1492개의 호우중 296개의 호우(28%)가 제1구간 호우(first-quartile storm)에 속했고, 292개

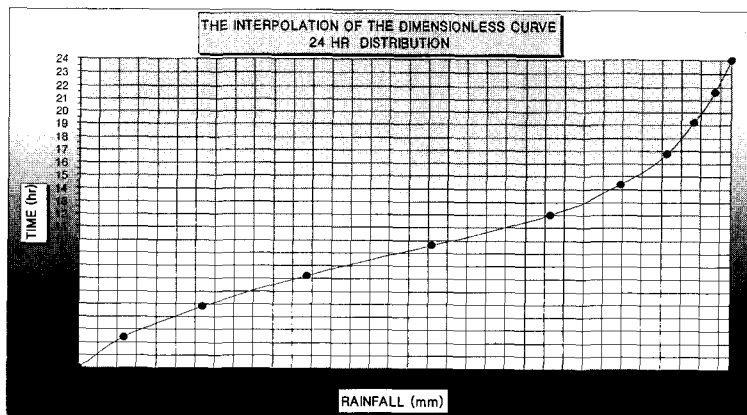


그림 3. HUFF 분포 내삽곡선 (24 Hr)

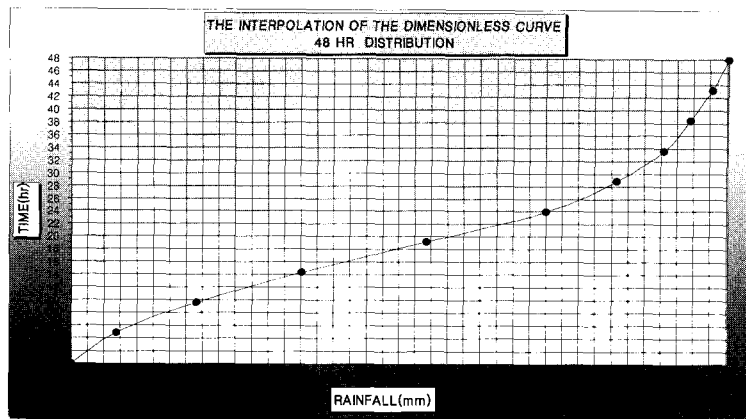


그림 4. HUFF 분포 내삽곡선 (48 Hr)

표 1. Huff 분포 (제1구간) 단위 : %

1th-quartile		Weibull Probability Distribution								
Time	0.0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	0.1	46.1	36.2	28.6	25.0	20.6	17.2	14.1	9.0	4.9
	0.2	75.0	61.9	55.5	49.2	44.8	40.0	35.0	29.2	22.9
	0.3	86.6	80.6	70.8	66.7	62.5	57.5	51.6	45.4	39.0
	0.4	92.7	86.7	81.3	75.1	69.4	65.4	60.5	54.3	46.1
	0.5	93.9	90.4	86.4	81.3	75.0	70.3	65.7	60.0	50.7
	0.6	95.1	93.1	89.9	86.3	81.3	75.0	70.3	66.7	60.0
	0.7	97.1	95.4	93.8	90.0	87.3	82.5	77.5	71.1	66.7
	0.8	98.5	97.2	95.6	94.1	92.3	89.0	85.0	80.0	74.3
	0.9	99.3	98.9	98.4	97.4	96.4	95.0	93.0	90.0	87.4
	1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100

표 2. Huff분포 (제2구간) 단위 : %

2th-quartile		Weibull Probability Distribution								
Time	0.0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	0.1	12.0	9.8	7.5	6.0	4.6	3.5	2.6	1.7	0.9
	0.2	26.1	21.1	18.8	15.1	12.0	10.2	7.7	5.6	2.9
	0.3	50.2	39.7	34.7	31.1	26.4	22.8	18.1	12.4	7.3
	0.4	79.7	67.8	59.6	53.3	48.9	44.0	38.6	32.2	25.1
	0.5	91.8	86.7	79.0	73.4	69.0	64.0	60.0	55.2	50.2
	0.6	95.0	92.1	88.4	84.6	81.8	78.7	73.8	68.4	61.1
	0.7	98.1	96.0	94.3	92.0	90.0	87.7	84.6	76.9	71.5
	0.8	99.2	98.4	97.1	96.0	94.4	93.3	91.1	87.8	80.2
	0.9	99.6	99.3	99.1	98.5	97.6	96.9	96.0	94.2	90.4
	1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100

표 3. Huff 분포 (제3구간) 단위 : %

3th-quartile		Weibull Probability Distribution								
Time	0.0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	0.1	14.3	8.5	5.7	4.1	3.1	2.4	1.7	1.0	0.5
	0.2	22.9	16.4	12.4	10.1	8.0	6.3	4.6	3.0	1.5
	0.3	31.4	23.5	19.2	16.7	13.8	10.8	7.6	5.1	2.7
	0.4	38.5	33.3	28.5	25.0	21.4	18.1	15.0	10.4	5.7
	0.5	51.0	45.7	40.7	37.6	34.2	30.0	25.0	18.9	11.2
	0.6	77.1	68.9	63.4	57.4	52.7	48.7	42.4	35.6	25.0
	0.7	92.9	89.4	84.3	79.2	73.6	69.5	64.7	60.0	53.7
	0.8	98.7	96.7	94.7	93.4	91.1	88.1	84.0	80.0	74.2
	0.9	99.6	99.2	98.7	98.0	97.1	96.0	94.3	91.1	87.0
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

표 4. Huff 분포 (제4구간) 단위 : %

4th-quartile		Weibull Probability Distribution								
Time	0.0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	0.1	15.0	10.0	8.4	6.1	4.8	3.7	2.7	1.3	0.6
	0.2	25.7	20.0	15.9	13.0	9.9	8.0	5.3	2.9	1.5
	0.3	33.4	26.4	22.7	16.9	13.9	10.0	7.2	4.9	2.2
	0.4	40.0	33.4	28.6	22.7	19.0	15.4	11.1	8.0	3.5
	0.5	46.3	39.7	33.7	29.6	25.0	20.5	14.2	11.1	5.1
	0.6	51.1	45.6	41.3	36.2	30.4	26.7	19.4	13.3	7.9
	0.7	58.0	54.0	49.1	45.1	40.0	34.5	26.9	21.4	12.0
	0.8	80.2	71.9	65.2	61.9	58.3	54.4	45.8	38.6	28.4
	0.9	98.8	96.2	93.1	89.0	83.7	78.7	72.3	68.2	58.3
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

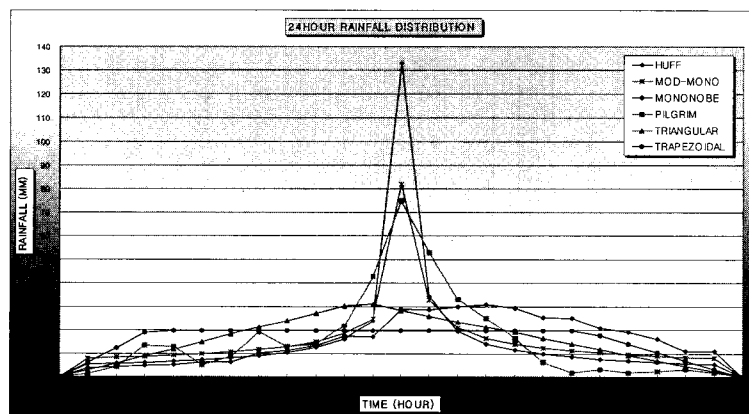


그림 5. 강우분포 결과 (24 hr)

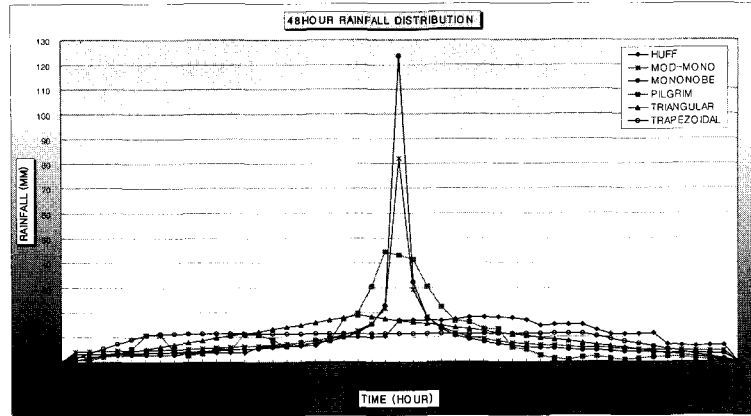


그림 6. 강우분포 결과 (48 hr)

(27%)의 호우가 제2구간 호우(first-quartile storm)에 속했으며, 제3구간 호우(first-quartile storm)에는 308개 (29%)의 호우가 해당되어 가장 빈도가 높았다. 또한 제4구간 호우(first-quartile storm)에는 총 158개의 호우 (15%)가 속해 가장 낮은 빈도수를 나타냈다. 그림 3과 4는 24시간 및 48시간강우의 3구간분포의 내삼곡선이고, 표 1~표 4는 4분위별 Huff분석결과를 나타낸다.

위의 여섯가지 강우분포유형을 인천측후소의 자료를 통하여 산정된 확률강우량을 이용하여 분포시킨 결과가 그림 5와 6에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 Mononobe분포, 수정-Mononobe분포 및 Pilgrim-Cordery분포가 높은 첨도를 나타내는 반면에 3구간 Huff분포, 삼각형우량주상도 및 사다리꼴 우량주상도의 분포유형은 상대적으로 첨도가 낮고 완만한 분포유형을 나타냈다.

3. 강우-유출 모의

3.1 개요

본 연구에서 채택한 강우-유출 모형은 유역의 크기, 도달시간 및 유역내 토지이용상황 등의 유역특성자료에 의해 일반화된 유출률과 단위도 작성방법에 의해 홍수 수문곡선을 모의하게 된다. 본 연구의 대상유역은 수문 조사과정 중 강우사상에 대한 홍수유출 자료가 거의 없다. 따라서 미계측유역에 대한 홍수유출모형을 적용하였는데, 설계호우사상을 토대로 한 자료를 이용하여 홍수유출 수문모형인 Hec-Hms(U.S. Army Corps of Engineers, 1998)을 적용하여 도달시간 및 유출곡선지수를 검증하고, 그 결과에 따라 설계강우량에 모형을 적용하여 설계홍수량을 산정하였다.

3.2 확률강우량 산정

본 연구의 강우자료로서 기상청 인천측후소의 강우 자료를 이용하였는데, 특히 강우자료의 연속성을 반영하기 위하여 1961년부터 1999년까지의 시간강우자료를 이용하여 각 지속기간별 확률강우량을 산정하였다. 확률분포형으로는 수문자료 해석에 일반적으로 사용되는 확률분포형으로서 gamma 분포, 극치분포형, Gumbel 분포형, Log-Gumbel분포형, 대수정규분포형, Log-Pearson type III 분포형, Weibull 분포형, Wakeby 분포형 등을 적용 검토하였다. 매개변수를 추정하는 방법으로는 모멘트법(method of moments), 최우도법(method of maximum likelihood), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments) 등을 적용하여 검토하였다. 마지막으로 적합도 검증방법으로 χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov검정, Cramer Von Mises검정, PPCC 검정등을 적용하였다.

이러한 과정을 거친 결과, log-normal 2분포가 확률분포형으로 채택되었고, 매개변수추정방법으로는 확률가중모멘트법이 채택되었으며 이에 따른 각 지속기간별 확률강우량을 강우분석 프로그램(FARD, 행정자치부, 1998)을 이용하여 계산한 결과가 표 5와 6에 정리되어 있다.

3.3 유효우량 산정

본 연구에서는 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양 특성과 식생피복상태 등에 대한 상세한 자료만으로 총우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있는 SCS방법(U.S. Soil Conservation Service)을 적용하였는데, 이 방법에서는 유효우량의 크기에 직접적으로 영향

표 5. 지속기간별 확률강우량 (100년 빈도)

지속기간(hr)	확률강우량(mm)
1	82.0
2	137.6
3	168.1
6	237.5
12	318.8
24	383.1
48	448.6
72	713.8

표 6. 확률강우량 검정결과표

Time	Type	Parameter-Test			Goodness-Test			
		MNT	MML	PWM	Chi-sq	K-S	CVM	PPCC
24HR	GAM2	○	○	○	○	○	○	×
	GAM3	○	○	×				
	GEV	○	○	○	○	○	○	
	GUM	○	○	○	×	○	○	○
	LGU2	○	○	○	○	○	○	
	LGU3	○	×	×				
	LN2	○	○	○	○	○	○	○
	LN3	○	○	○	○	○	○	×
	LP3	×	×	○	○	×	×	
	WBU2	○	○	○	×	○	○	×
	WBU3	○	×	×				
	WKB4				○	○	○	
WKB5				×	×	×		
48HR	GAM2	○	○	○	×	○	○	×
	GAM3	×	○	×				
	GEV	○	○	○	○	○	○	
	GUM	○	○	○	×	○	○	○
	LGU2	○	○	○	○	○	○	
	LGU3	○	×	×				
	LN2	○	○	○	○	○	○	○
	LN3	○	○	○	○	○	○	×
	LP3	×	×	○	○	×	×	
	WBU2	○	○	○	×	○	○	×
	WBU3	×	×	×				
	WKB4				×	○	○	
WKB5				×	○	○		

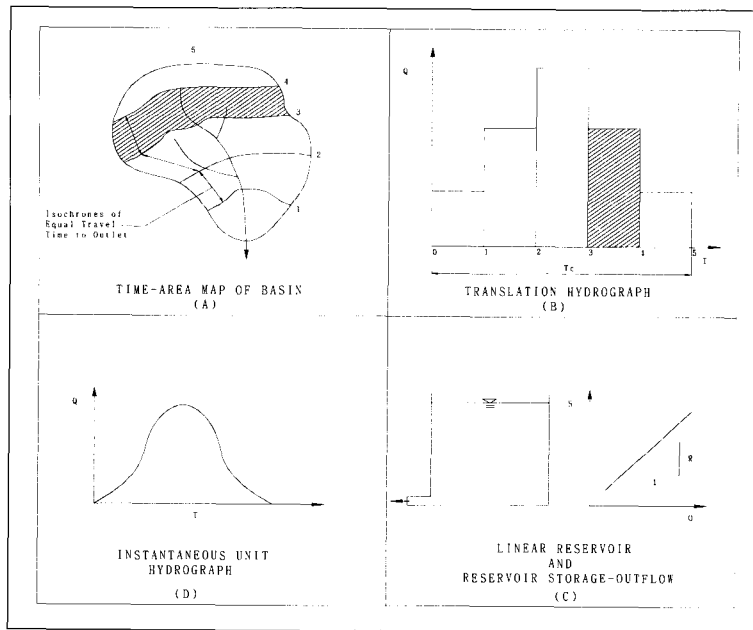


그림 7. Clark 단위도의 개념

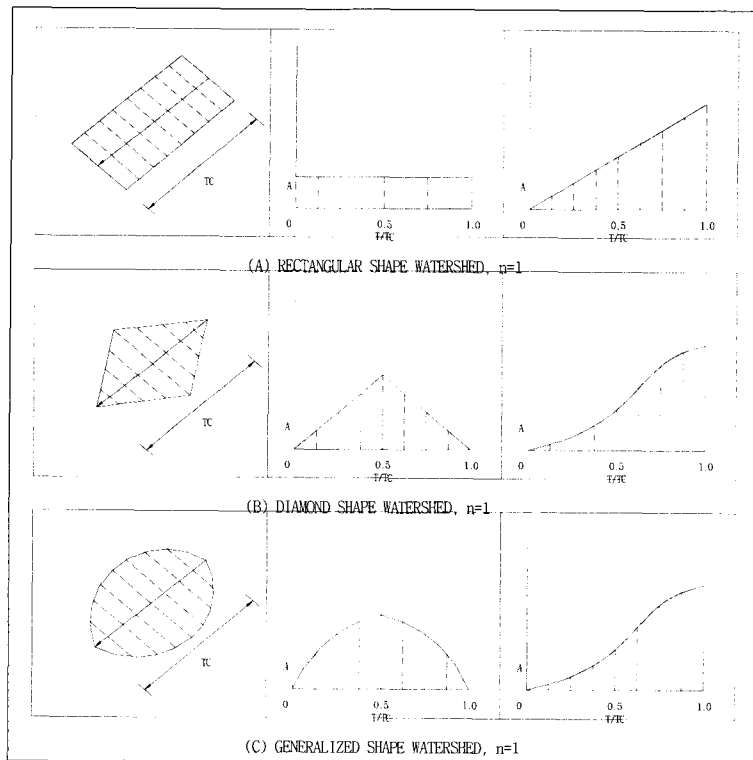


그림 8. 도달시간 - 누가면적 모식도

을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류, 토지이용상태, 식생피복의 처리상태 및 토양의 수문학적 조건 등을 고려하여 이들 인자들이 직접유출에 미치는 복합적인 영향을 양적으로 표시하고 강우가 있기 이전의 선행토양함수조건도 고려한다. 자세한 방법은 많은 교과서에서 상세히 수록되어 있으므로 여기서는 생략하기로 한다(농촌용수계획설계편람, 1998).

3.4 합성 단위도 작성

합성단위도(synthetic unit hydrograph)법은 단위도의 특성변수들을 유역의 유출특성을 지배하는 지상인자들과 상관시킴으로써 수문자료가 없는 미계측유역에 대한 단위도를 작성하는 방법이다. Hec-Hms에서 채택하고 있는 합성단위도법에는 Clark 모형, Snyder 모형, SCS 무차원단위도 방법 등이 있는데, 본 연구에서는 Clark 모형을 선택하여 모의하였다. Clark 단위도의 작성은 유역추적방법으로 해당유역의 출구에 1개의 저수지가 있다고 가정하여 유역 전반에 순간적으로 내린 단위유효우량인 순간단위유효우량(instantaneous unit effective rainfall)으로 인한 유수의 저수지 유입 수문곡선을 시간-면적곡선을 이용한 단순전이에 의해 계산한 다음, 저수지의 저류추적과정을 거치는 것으로 가정하여 홍수추적을 실시함으로써 유역의 순간단위유량도(IUH)를 작성하는 것으로, 강우로 인한 유수의 전이(translation) 뿐만 아니라 유역의 저류효과도 고려하므로 자연유역의 적용에 적합하며 그 개념은 그림 7과 같다.

Clark 단위도에 있어서 유역 형상에 따른 도달시간-누가면적 관계는 그림 8과 같이 표시될 수 있으며 일반적인 유역 형상에서 유도된 합성 도달시간-누가면적 곡선은 다음과 같다.

$$\begin{cases} AI=1.414T^{1.5} & 0.0 \leq T < 0.5 \\ 1-AI=1.414(1-T)^{1.5} & 0.5 \leq T < 1.0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서, AI는 유역면적에 대한 누가면적비, T는 도달시간에 대한 시간비이다.

3.5 대상유역의 제반현황

본 연구를 위해 적용한 유역으로는 수문분석을 통한 강우-유출모의 및 저수지추적을 수행하기 위하여 경기도 안산, 화성, 시흥에 연한 시화호를 그 대상으로 하였다. 유역면적은 476.5km²이고, 12개의 소유역, 1개의

호내유역 및 6개의 하도로 구분되며 개항도 및 유역구성은 그림 9 및 10과 같다.

3.5.1 유역면적 및 유로연장

유역특성값을 도출하기위해 시화호일대의 1:50,000 지형도를 이용하여 유역면적을 산정하였고 전유역을 12개의 소유역과 1개의 호내유역으로 구분하여 구적기 및 LDDT프로그램을 이용하였으며, 그 결과 호내유역을 포함한 총유역면적은 476.5km²으로 측정되었다. 유로연장도 시화호유역의 1:50,000 지형도를 이용하여 유역의 유출구에서 주수로를 따라 수로의 시작점까지의 거리를 구적기 및 LDDT프로그램을 이용하여 측정하였다.

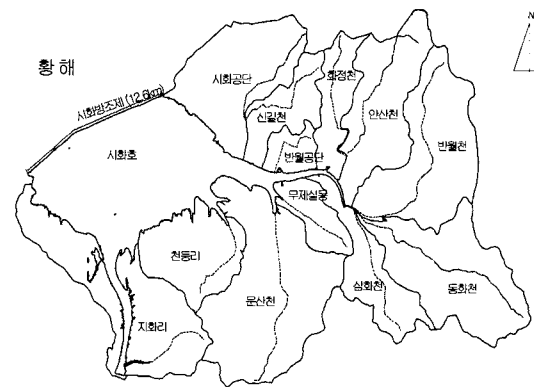


그림 9. 유역의 개항도

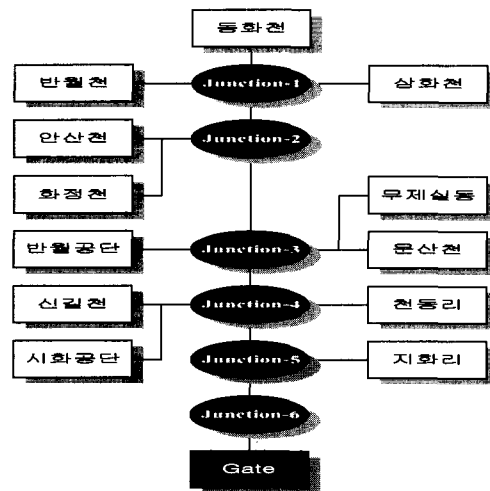


그림 10. 유역의 구성(네트워크)

3.5.2 도달시간

도달시간 T_c 는 지형도 상에서 구한 소유역별 유로장 및 표고차를 이용하여 평균경사와 평균고저차를 구한 후 널리 이용되는 여러 공식을 적용하여 비교·검토하였으며, 최종적으로 산간부에서는 California 도로국 공식을, 평야부에서는 Kraven 공식을 채택하여 각각 계산한 후 합성하여 사용하였다.

•California 도로국 공식

산간부의 도달시간 산정에 이용된 California 도로국 공식은 다음과 같다.

$$T_c = \left(\frac{0.869L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \text{ (hr)}, \quad S = \left(\frac{\sum L_i}{\sum (L_i/\sqrt{S_i})} \right)^2 \quad (9)$$

여기서, L 은 유로장(km), ΔH 는 유역의 평균고저차(m), L_i 는 구간별 유로장, S_i 는 구간별 유로장의 경사, S 는 경사지승법에 의한 평균경사이다. 평균고저차는 경사지승법으로 구한 하천구간장의 유역평균경사에 총유로장을 곱하여 계산한다.

•Kraven 공식

평야부에서 사용한 Kraven 공식은 다음과 같다

$$T_c = \frac{L}{W} \text{ (sec)} \quad \text{or} \quad T_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}} \text{ (hr)} \quad (10)$$

여기서, W 는 홍수유속이고, L 는 최상류 지점과 유역출구까지의 수평거리(m)이며, S 는 유역의 평균경사(m/m)이다.

이와 같이 산정된 유역면적, 유로장, 도달시간 및 저류상수가 표 7에 정리되어 있다.

3.5.3 유출곡선지수

본 연구에서는 시화호를 대상으로 한국 수자원 공사에서 산정한 CN값(시화호 수질관리대책 수립연구, 1998)을 CN(III)값으로 환산하여 적용하였다. 시화호 유역에 대한 CN(II) 및 CN(III)을 표 8에 나타내었다.

4. 강우-유출 모의를 통한 저수지추적

4.1 내용적 산정

시화호의 내용적 산정은 한국수자원공사측에서 제공한 3차원좌표를 활용하였으며 각 수심별 단면적을 산출한 후 LDDT(Land Development Desktop R2i)프로그램을 이용하여 등수심도를 작성하였다. 양단면 평균법, Corn-Formula 및 등고선법을 적용하여 내용적을 산정한 후 경사오차를 줄일 수 있는 Corn-Formula를 이용하여 유도된 공식을 최종적으로 개발 적용하여 내용적을 계산하였다. 그 등수심도 및 내용적 결과를 다음과 같이 정리하였다.

표 7. 유역특성값 (기준수위 EL.-1.0m)

유역명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)
시화공단	39.74	7.12	1.10	0.95
신길천	16.94	9.24	1.27	1.10
반월공단	7.88	4.14	0.38	0.31
화정천	15.87	8.44	1.19	0.78
안산천	36.59	11.33	1.78	1.47
반월천	47.18	13.75	2.29	2.03
동화천	47.29	14.42	2.10	3.92
삼화천	21.86	8.12	1.27	0.88
무제실동	12.31	5.29	0.42	0.48
문산천	67.22	10.57	1.40	4.32
천동리	28.15	5.27	0.70	1.13
지화리	27.45	4.42	0.58	0.73
호내유역	108.01	23.82		
계	476.50			

표 8. 소유역별 CN값

유역명	CN(II)	CN(III)	유역명	CN(II)	CN(III)
시화공단	83.00	91.82	삼화천	65.00	81.03
신길천	83.00	91.82	무제실동	65.00	81.03
반월공단	79.00	89.64	문산천	73.00	86.15
화정천	76.00	87.93	천등리	67.00	82.36
안산천	68.00	83.01	지화리	67.00	82.36
반월천	65.00	81.03	호내유역	100.00	100.00
동화천	68.00	83.01	계	-	-

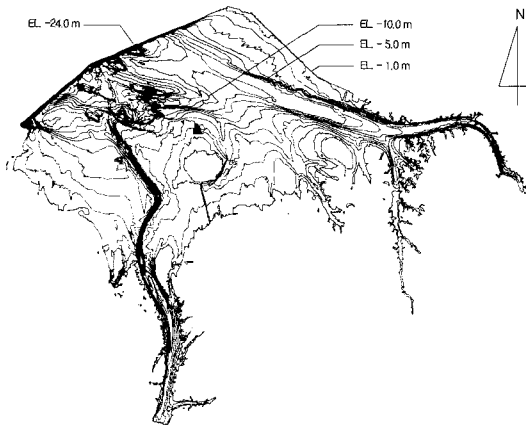


그림 11. 시화호의 등수심도

표 9. 수위별내용적

수위 (EL.m)	내용적 (m ³)	수위 (EL.m)	내용적 (m ³)
1.0	588,525,150	-2.0	307,719,522
0.5	530,497,753	-2.5	275,511,644
0.0	477,091,711	-3.0	246,996,458
-0.5	428,241,831	-3.5	221,835,186
-1.0	383,884,886	-4.0	199,702,872
-1.5	343,786,362	-4.5	179,906,228

4.2 저수지 추적

4.2.1 개요

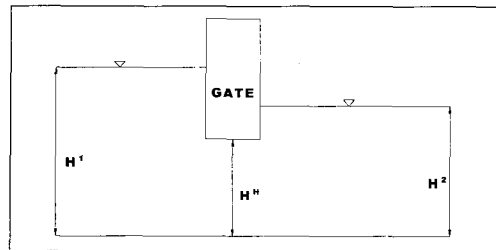
본 연구에서는 저수지 추적을 위한 '내수위 해석 프로그램(IWSEA : Inner Water Surface Elevation Analysis Program)'을 개발, 계획지구내 배수갑문능력을 검토하기 위해 구성하였고, 홍수유입량에 의한 내수위와 조위로 나타내는 외수위와의 시간별 관계에 따

라 지구내 침수형태를 분석, 판단, 계획하고 이에 적합한 배수갑문의 규모를 결정하여 저수지의 수위를 결정할 수 있도록 구성되었다.

4.2.2 배수갑문을 통한 배수량 계산

침수상황분석은 배수갑문의 배제량과 외수위의 영향으로 인해 홍수유입량이 내수위 조건을 고려하여 저류되는 현상, 즉 배수갑문의 배제능력과 지구내 저류량과의 상관관계를 분석한다.

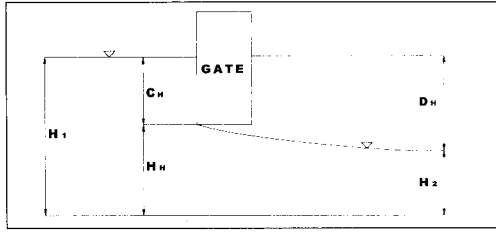
배수갑문은 그 설치 목적상 내수위가 외수위 이상인 경우에만 담수호 혹은 배수로에서 바다로 배수하는 역할을 한다. 이 때 배수갑문을 통과하는 유량은 내·외수위 차에 의해서 수리학적으로 해석할 수 있다. 일반적으로 배수갑문의 Sill을 통과하는 유량은 광정웨어 또는 수중웨어의 흐름으로 간주하여 계산한다. 본 프로그램에서는 배수갑문의 수리현상을 넓은 보마루를 월류하는 흐름으로 보고 내·외수위차에 의해 4가지 조건(그림 12 (a)~(d))으로 수중오리피스, 불완전오리피스, 수중웨어, 완전웨어 공식을 구분하여 계산하였다.



$$Q_1 = C_1 \times H_h \times B \times \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

$$C_1 = 0.7$$

$$(a) H_1 > H_h, H_2 > H_h$$



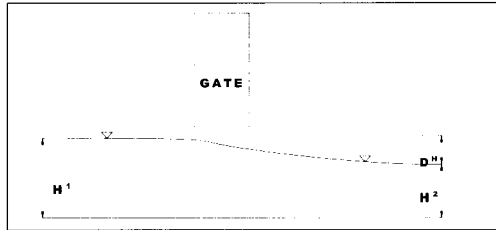
$$Q_{21} = C_{21} \times (D_H - C_H) \times B \times \sqrt{g(D_H + C_H)}$$

$$Q_{22} = C_{22} \times (H_1 - D_H) \times B \times \sqrt{2gD_H}$$

$$Q_2 = Q_{21} + Q_{22}$$

$$C_{21} = 0.6, C_{22} = 0.9$$

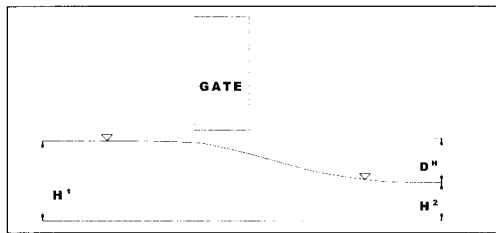
(b) $H_1 > H_H, H_2 < H_H$



$$Q_3 = C_3 \times (H_1 - D_H) \times B \times \sqrt{2gD_H}$$

$$C_3 = 0.8$$

(c) $H_1 < H_H, H_1 - H_2 < 1/3H_1$



$$Q_4 = C_4 \times H_H \times B \times \sqrt{2g(H_1/3)}$$

$$Q_4 = 1.704 \times C_4 \times B \times H_1^{3/2}$$

$$C_4 = 0.8$$

(d) $H_1 < H_H, H_1 - H_2 > 1/3H_1$

그림 12. 배수갑문의 수리조건

4.2.3 입력자료

- 배수갑문 제원(8련 : 폭 12m, 높이 6.5m, Sill표

고 EL.-6.0m).

- 시간단위별 외수위(인천 조위자료, 농업기반공사, 1995).
- 지속기간, 강우빈도, 강우분포별 홍수유입량
- 수위조건에 따른 유량계수(농업기반공사, 1998)
- 적용 누가내용적(수심별 단면적 이용)
- 입력조건을 고려한 시간간격
- 배수갑문 배제용량
- 초기조건을 고려한 초기내수위(관리수위)
- 초기조건을 고려한 초기외수위 및 제한 내수위

4.2.4 적용가능내역

- 시간간격에 따른 배수량 계산
- 시간별 외수위 변화에 따른 내수위 계산
- 수심별 단면적에 따른 누가내용적 계산
- 시간간격별 유입량 계산
- 지구내 홍수위(최고침수위) 계산

4.2.5 배수량 계산 제한조건

- 내수위는 입력내용적 최대치를 넘지 않는다.
- 배수갑문은 동시에 개폐한다.
- 한계내수위는 갑문의 sill표고 이상이다.
- 입력내용적 최저표고는 sill표고 및 제한 내수위 이하여야한다.

4.2.6 수위-저류량 변환공식

본 프로그램을 위하여 호내로 유입되는 유입량과 배수갑문을 통하여 배출되는 배출량으로 인해 시화호내에 저류되는 저류량을 수위로 변환시키기 위하여 수위-저류량 산정공식을 적용하였는데 본 공식의 모식도와 세부공식은 다음과 같다.

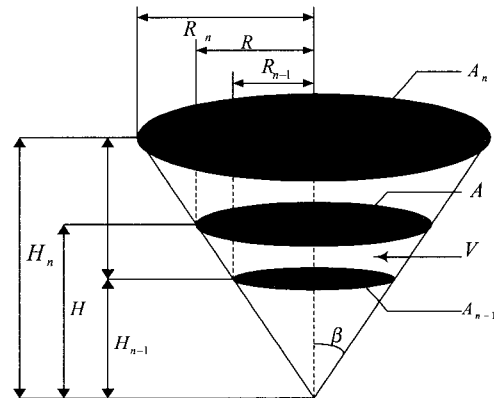


그림 13. 수위-저류량 산정 모식도

$$\begin{aligned}
\blacksquare \frac{R_n}{R_{n-1}} &= \frac{H_n}{H_{n-1} - D} & \blacksquare \text{Tan}\beta &= \frac{R_n - R_{n-1}}{H_n - D} \\
\blacksquare H_n &= \frac{R_n}{R_n - R_{n-1}} D & \blacksquare H &= \left(\frac{3V + A_{n-1} H_{n-1}}{\pi a n^2 \beta} \right)^{\frac{1}{3}} \\
\blacksquare V &= \frac{1}{3} (\pi H^3 \text{Tan}^2 \beta - A_{n-1} H_{n-1}) = \frac{1}{3} A H - \frac{1}{3} A_{n-1} H_{n-1} = \frac{1}{3} \pi H^2 \text{Tan}^2 \beta H - \frac{1}{3} A_{n-1} H_{n-1} \\
\blacksquare \Delta H &= H - H_{n-1} = \left(\frac{3V + A_{n-1} H_{n-1}}{\pi a n^2 \beta} \right)^{\frac{1}{3}} - H_{n-1} \\
&= \left(\frac{3V + A_{n-1} (H_n - D)}{\pi a n^2 \beta} \right)^{\frac{1}{3}} - (H_n - D) \\
&= \left(\frac{3V + A_{n-1} (H_n - D)}{\pi \left(\frac{R_n - R_{n-1}}{D} \right)} \right)^{\frac{1}{3}} - (H_n - D) \\
&= \left(\frac{3V + A_{n-1} D \left(\frac{\sqrt{\frac{A_n}{\pi}}}{\sqrt{\frac{A_n}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_{n-1}}{\pi}}} - 1 \right)}{\pi \left(\frac{\sqrt{\frac{A_n}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_{n-1}}{\pi}}}{D} \right)} \right)^{\frac{1}{3}} - D \left(\frac{\sqrt{\frac{A_n}{\pi}}}{\sqrt{\frac{A_n}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_{n-1}}{\pi}}} - 1 \right)
\end{aligned}$$

여기서, R_n 및 A_n 은 기준면(기준수위면)의 반경과 면적이고, V 는 외조위 변동조건에 따라 유동적으로 변하는 저류량(체적)이며, β 는 기준면의 끝단이 수

심의 기준점과 이루는 각도이다. H_n 은 기준점으로부터 저류수면까지의 높이이고, D 는 등수심면의 간격(0.5m)이다. 따라서 ΔH 는 저류수면과 기준수위와의 높이차이므로 구하는 내수위(EL.m)는 기준수위와 ΔH 의 합으로 산정할 수 있다.

$$\Delta H = H_n - H_{n-1}, H_S = H_{BL} + \Delta H \quad (11)$$

여기서, H_S 는 외조위 변동조건에 따라 배수갑문을 통해 빠져나가는 배출량과 홍수유입량으로 인한 호내 저류수면의 수위이고, H_{BL} 은 저수지의 기준수위로 EL.-1.0m, EL.-1.5m, EL.-2.0m, EL.-2.5m, EL.-3.0m 등 0.5m 간격으로 구분하여 각 기준수위별로 내수위(홍수위)를 개별적으로 검토하였다.

5. 모의결과 및 고찰

5.1 모의결과

이와 같은 과정을 통하여 모의된 홍수량 및 홍수위 결과(100년빈도)는 다음과 같다. 본 결과는 외조위 조건이 소조일 때의 결과인데 대조시의 모의결과보다 홍수위가 높게 나타났다.

표 10. 침투홍수량/홍수위 산정결과 (EL.-1.0m)

Distribution Type	침투홍수량 (cms)		홍수위 (EL.m)	
	24(hr)	48(hr)	24(hr)	48(hr)
Huff	3166.3	2178.7	0.0348	-0.0274
Mod-Mononobe	3487.8	3318.7	0.0380	-0.0059
Mononobe	4428.7	4417.4	0.0460	0.0341
Pilgrim-Cordery	4370.6	3633.8	0.1026	0.1374
Triangular	3098.8	2097.8	0.0559	0.0189
Trapezoidal	2460.8	1486.8	0.0422	-0.0428

표 11. 침투홍수량/홍수위 산정결과 (EL.-1.5m)

Distribution Type	침투홍수량 (cms)		홍수위 (EL.m)	
	24(hr)	48(hr)	24(hr)	48(hr)
Huff	3148.6	2176.8	-0.1926	-0.1932
Mod-Mononobe	3496.5	3277.9	-0.1745	-0.1691
Mononobe	4210.1	4182.5	-0.1679	-0.1269
Pilgrim-Cordery	4350.5	3631.8	-0.1151	-0.0216
Triangular	3098.7	2096.7	-0.1589	-0.1433
Trapezoidal	2457.2	1486.3	-0.1695	-0.1994

표 12. 침투홍수량/홍수위 산정결과 (EL.-2.0m)

Distribution Type	침투홍수량 (cms)		홍수위 (EL.m)	
	24(hr)	48(hr)	24(hr)	48(hr)
Huff	3124.1	2174.3	-0.4162	-0.3818
Mod-Mononobe	3493.1	3273.4	-0.3971	-0.3520
Mononobe	4204.5	4031.0	-0.3944	-0.3161
Pilgrim-Cordery	4338.0	3618.4	-0.3330	-0.2101
Triangular	3092.7	2095.1	-0.3807	-0.3249
Trapezoidal	2453.1	1485.8	-0.3884	-0.3496

표 13. 침투홍수량/홍수위 산정결과 (EL.-2.5m)

Distribution Type	침투홍수량 (cms)		홍수위 (EL.m)	
	24(hr)	48(hr)	24(hr)	48(hr)
Huff	3113.0	2173.0	-0.6413	-0.5656
Mod-Mononobe	3515.0	3296.2	-0.6254	-0.5302
Mononobe	4238.1	4063.4	-0.6301	-0.5048
Pilgrim-Cordery	4364.8	3623.8	-0.5771	-0.4137
Triangular	3094.6	2096.3	-0.6120	-0.4981
Trapezoidal	2450.4	1485.4	-0.6139	-0.5097

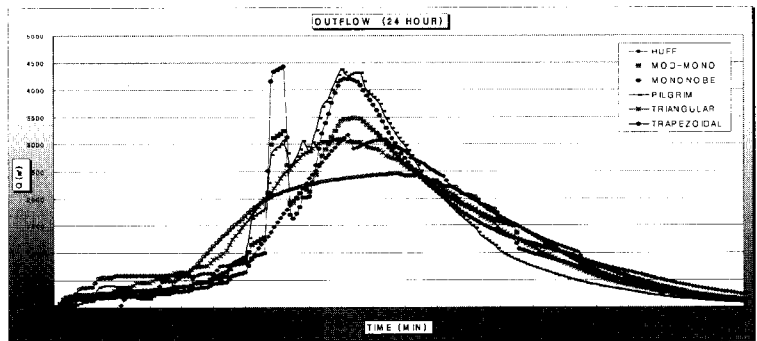


그림 14. 홍수유출량 (24 hr : EL.-1.0m)

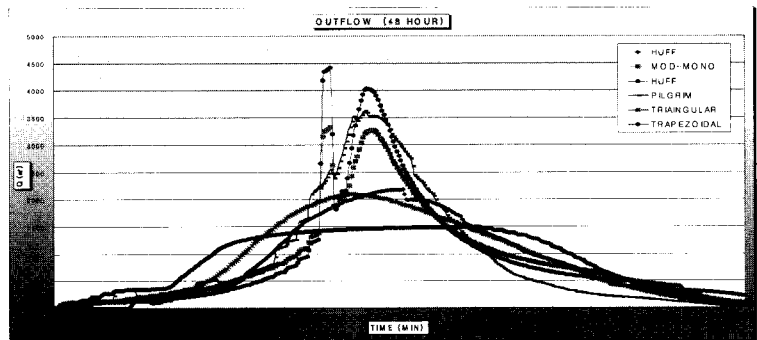


그림 15. 홍수유출량 (48 hr : EL.-1.0m)

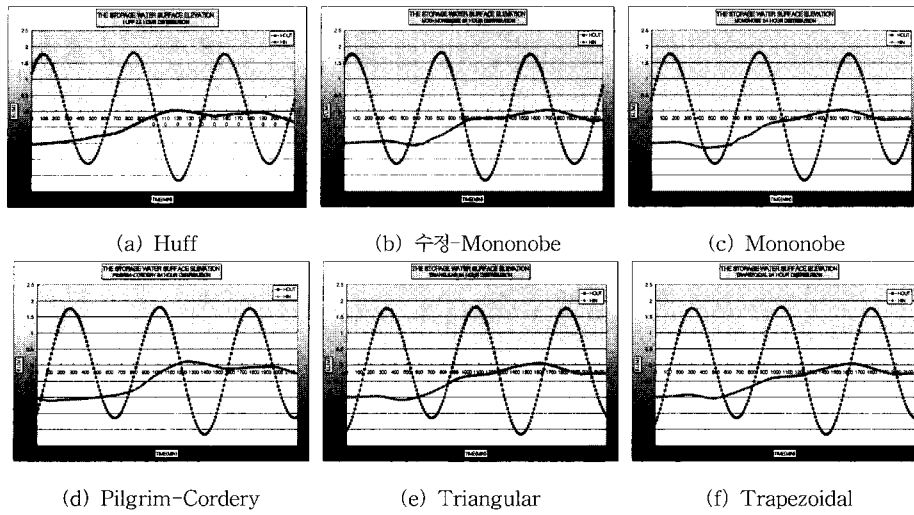


그림 16. 홍수위결과 (24 hr : EL.-1.0m)

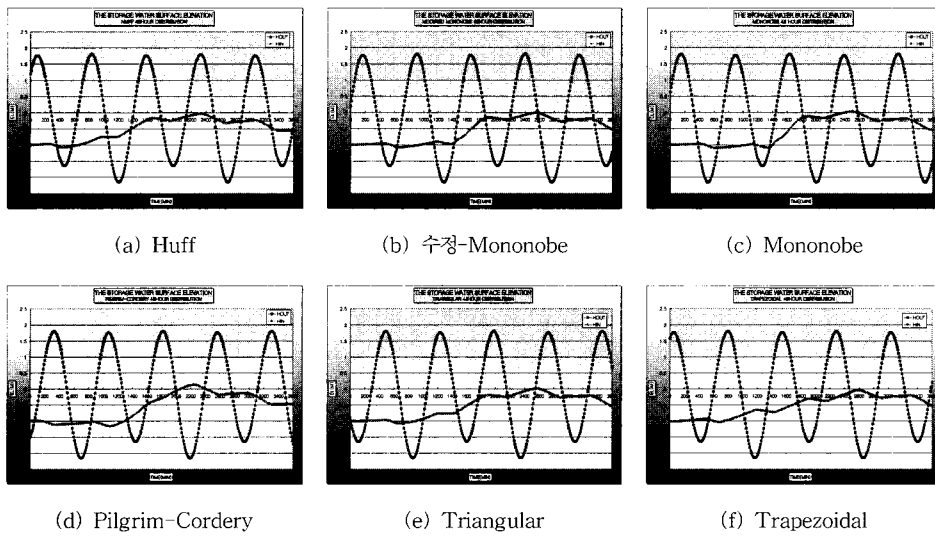


그림 17. 홍수위결과 (48 hr : EL.-1.0m)

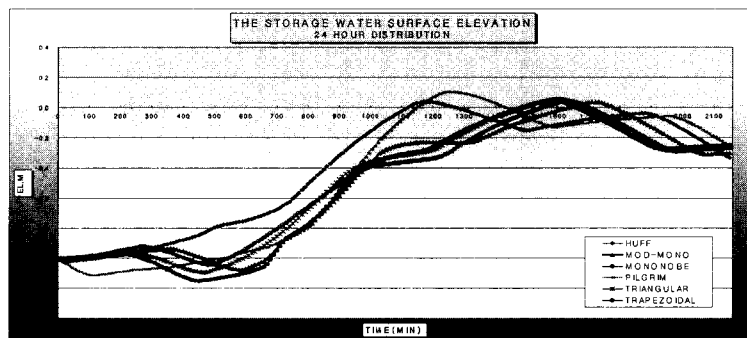


그림 18. 저수위 결과 (24 hr)

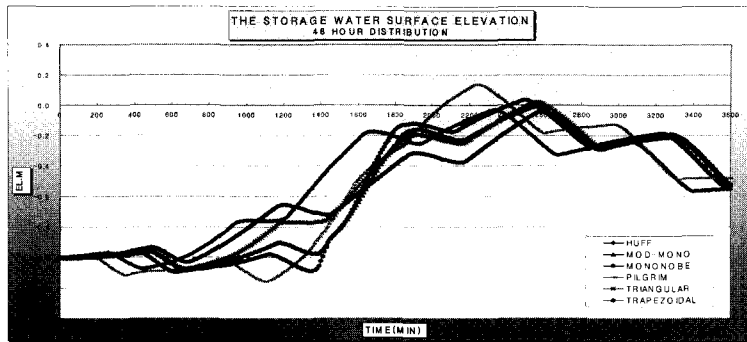


그림 19. 저수위 결과 (48 hr)

그림 14와 15는 Hec-Hms를 이용하여 산정한, 시화호 유역의 24시간과 48시간 확률강우량에 대한 배수갑문 지점에서의 홍수유출량인데, 그림에서 알 수 있듯이 Mononobe분포가 가장 큰 침투홍수량을 나타내었고, 다음으로 Pilgrim-Cordery, 수정-Mononobe, Huff, Triangular, Trapezoidal 순으로 나타났다.

24시간 확률강우량의 홍수위결과(기준수위 EL.-1.0m)는 그림 16과 같다

48시간 확률강우량의 홍수위결과(기준수위 EL.-1.0m)는 그림 17과 같다.

시화호의 24시간 및 48시간 확률강우량을 이용, 외 조위의 변동경계조건을 동일기준상에 고정시킨 후, 각 분포유형별로 비교 분석한 저류수위결과가 그림 18과 19에 나타나 있다.

5.2 고찰

본 연구에서 설계강우의 시간분포해석을 위한 여러 유형을 강우-유출모의과정, 및 저수지 추적과정에 적용하여 비교 분석해 본 결과는 다음과 같다. 침투유량에 미치는 강우분포유형의 영향을 살펴보면, Mononobe방법의 경우 임의적 중앙집중분포로 인하여 대단히 큰 침투유량을 보였는데 반하여, Huff방법은 그에 비해 완만한 분포형으로 Mononobe방법에 의한 결과보다는 일반적으로 24시간 및 48시간 모의결과(그림 14 와 15 참조)에서 보는 바와 같이 침투유량이 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 수정 Mononobe방법의 경우 Huff방법에 의한 결과와 비하면 다소 높은 침투유량을 보이며, Mononobe방법과 비교하면 1시간 최대강우량의 영향을 고려할 수 있다는 관점에서 상대적으로 낮은 침투유량을 보였다. 현재 수공구조물 설계에 많이 이용하고 있는 Mononobe방법은 강우의 분포곡선 중 단위시간

당 최대우량발생의 침도가 매우 높은데, 이는 단위시간(1시간) 최대우량을 초과하는 것으로, 이를 보완하기 위하여, 빈도분석을 통하여 산출한 단위시간(1시간)강우최대치의 결과를 반영하여 우량주상도를 도출할 수 있는 수정-Mononobe방법이 보다 더 효과적일 수 있다. 한편, Pilgrim-Cordery방법의 경우는 Mononobe 및 Huff방법에 비하여 매우 불규칙한 양상을 보이며, 강우-유출 모의결과, Mononobe방법에 의한 침투홍수량보다는 낮은 결과를 보였으나, Huff방법, Triangular방법 및 Trapezoidal방법 보다는 상대적으로 높은 침투홍수량을 나타내었다. 분포양상에 대하여 살펴보면, Mononobe 및 수정-Mononobe방법의 경우 임의적 중앙집중분포를 나타냈고, Huff방법은 중앙에서 약간 후방위 분포유형에 가깝게 나타난 반면, Pilgrim-Cordery방법은 24시간 확률강우일 경우 중앙분포유형, 48시간 확률강우일 경우 중앙에서 약간 전진하기는 했지만 역시 중앙분포유형에 가깝게 나타났다. 강우분포유형에 따른 침투유출량의 경우, 24시간 확률강우량에 대하여, 우량주상도의 침도의 정도에 따라 Mononobe, 수정 Mononobe, Pilgrim-Cordery, Huff, Triangular, Trapezoidal분포순으로 높았고, 48시간 확률강우일 경우 Pilgrim-Cordery방법이 수정-Mononobe방법보다 다소 높은 결과를 보인 것을 제외하고는 24시간의 경우와 같았다. 또한 강우분포 유형에 따른 저류수위변화 양상을 보면, 저류수위는 침투유량뿐만 아니라 누기유입량, 저류시간 및 배출조건등 다양한 요인에 의해 변하기 때문에 본 모의의 결과에서 알 수 있듯이, 각 분포형에 따라 강우-유출 모의결과와는 다른 결과를 보였다. 각 분포유형별 침투홍수량이 상이한 반면, 저류수위는 24시간 및 48시간 확률강우량 모두, Pilgrim-Cordery분포가 가장 높은 수위를 나타냈고,

다음으로는 Mononobe, 수정-Mononobe, Triangular, Trapezoidal, Huff분포 순으로 나타났다. 그림 18 과 19에서 알 수 있듯이, 24시간 확률강우량의 경우 Pilgrim-Cordery분포가 다소 높은 수위를 나타낸 것을 제외하고는 전반적으로 강우분포유형에 따른 큰 수위차이를 나타내지는 않았다. 그러나 48시간 확률강우량을 이용하여 모의한 경우의 저류수위는 Pilgrim-Cordery분포가 가장 크게 나타났고, 가장 낮은 수위결과를 보인 Huff분포와는 약 20cm까지 차이를 보였다. Pilgrim-Cordery분포가 가장 크게 나타나는 이유는 최고수위 발생시각을 전후한 시간범위 내에서의 홍수유·출입량을 비교한 결과로 판단할 수 있다. 최고수위 발생시각은 Huff방법이 910분, 수정-Mononobe방법이 930분, Mononobe방법이 710분, Pilgrim-Cordery방법이 880분, Triangular방법이 890분, Trapezoidal방법이 1090분으로 나타났는데, 이들 최고수위 출현시각까지의 유입량 및 배출량을 통한 누가지류량을 살펴보면 Pilgrim-Cordery방법이 상대적으로 매우 큰 누가지류량을 보였다. 즉, Pilgrim-Cordery방법의 경우 홍수유입량이 저류수위 최고 발생시각에 근접하여 집중적으로 유입함으로써 가장 큰 저류효과가 나타나는 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 설계강우의 시간분포해석을 통한 강우-유출모의 및 시화호에 대한 여러 가지 강우분포유형이 유출홍수량과 저수지 수위에 미치는 영향을 분석하였으며 저수지 추적과정을 수행하여 그 결과를 다음과 같이 요약하였다.

1. 여섯가지 강우분포유형을 시화호 유역의 확률강우량을 이용하여 분포시킨 결과 Mononobe분포, 수정-Mononobe분포 및 Pilgrim-Cordery분포가 높은 철도를 나타내는 반면에 Huff분포, 삼각형 우량주상도 및 사다리꼴 우량주상도의 분포유형은 상대적으로 침도가 낮은 완만한 분포양상을 보였다.
2. 현재 수공구조물 설계에 많이 이용하고 있는 Mononobe방법은 강우의 분포곡선 중 단위시간당 최대우량발생의 침도가 매우 높는데, 이는 단위시간(1시간) 최대우량을 초과하는 것으로, 이를 보완하기 위하여, 빈도분석을 통하여 산출한 단위시간(1시간)강우최대치의 결과를 반영하여 우량주상도를 도출할 수 있는 수정-Mononobe방법이

보다 더 타당한 것으로 판단된다.

3. 시화호의 홍수유출량 모의결과, Mononobe분포가 가장 큰 침투홍수량을 나타내었고, 다음으로 Pilgrim-Cordery, 수정-Mononobe, Huff, Triangular, Trapezoidal 순으로 나타났다.
4. 시화호의 홍수시 저류수위를 산정한 결과, 24시간 및 48시간 확률강우량 모두, Pilgrim-Cordery분포가 가장 높은 수위를 나타냈고, 다음으로는 Mononobe, 수정-Mononobe, Triangular, Trapezoidal, Huff분포 순으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국 수자원공사로부터 시화호에 대한 많은 자료를 제공받았으며 또한 연구결과에 발표를 허락해 주었으므로 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 한국건설기술연구원 (1989). "지역적 설계 강우의 시간적 분포", **수자원 관리기법 개발연구 조사 보고서**.
- 농업기반공사 (1985). **시화지구 간척 종합개발사업 (제보고서)**.
- 농업기반공사 (1998). **농촌용수계획 설계편람**.
- 이근후 (1983). "폭우의 시간적분포에 관한 연구" **서울 대학 박사학위 논문**, 서울대학교 농공학과
- 박찬형 (1981). "소유역의 설계우량 산정을 위한 강우형상분석에 관한 연구", **한국수문학회지**, Vol. 15, No. 4, pp. 13-18.
- 서승덕 (1965). "폭우의 시간적분포에 관한 고찰", **한국농공학회지**, Vol. 7, No. 2, pp.792-797.
- 한국 수자원공사, 농업기반공사(1995). **시화지구 담수호 수질 보전대책 수립 조사 보고서**.
- 한국 수자원공사 (1998). **시화호 수질관리대책수립 연구 (최종보고서 및 부록보고서)**.
- 행정자치부, 국립방재연구소 (1998). **강우분석 프로그램의 개발**.
- 윤여진, 정순우, 전병호, 김재한 (1998). "강우분포형태에 따른 임계지속기간의 변화연구" **한국수자원학회 논문집**, 제 31권, 제 4호, pp. 375-384.
- Autodesk Korea, *Autodesk Land Development desktop Release 2i, User's Guide*, 1998.
- Huff, F.A. (1967). "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms," *Water Resources Research*,

Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.

Pilgrim, D.H. and Cordery, I. (1975). "Rainfall Temporal patterns for Design Flood," *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, Vol. 101, No. HY1, pp. 81-95.

US Army Corps of Engineers (1998). *Hec-Hms (Hydrologic Engineering Center) User's Manual*.

Yen, B. C. and Chow, V. T. (1997). *Feasibility Study on Research of Local Design Storms*, Report No. FHWA-RD-78-65, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

(논문번호:02-66/접수:2002.09.04/심사완료:2003.03.29)