시간분포에 따른 설계홍수량 산정에 관한 연구

○ 이정민**, 노두성*, 박상주**, 김상용***

1. 서론

수공구조물의 계획과 설계에 있어서 설계홍수량을 합리적으로 결정하는 것은 매우 중요하다. 과거의 경우 강우를 근거로 하여 설계홍수량을 추정할 때 재해의 방지를 목적으로 주로 첨두유량만을 필요로 하여 합리식과 같은 매우 간편한 강우-유출 모형이 사용되었기 때문에 강우의 시간분포에 대한 고려를 할 필요가 없었다. 그러나 최근에 이르러 수문학이 발전됨에 따라 많은 수문모형의 개발과 함께 첨두유량 뿐만 아니라 유출 용적이나 유출 수문곡선을 얻는 절차가 개발됨에 따라 설계홍수량 추정 부분에서 강우의 분포형태는 매우 중요하게 고려되고 있다. 이에 대한 연구는 현재 많이 진행되고 있으며 분포형 모형의 연구도 많은 성과를 거두었다. 그러나 대부분의 설계 실무자들은 Monobe식에 의한 결과를 전방위, 중방위, 후방위 등으로 배열하는 경험에 의존하고 있는 실정이며, 실제 강우의 지속시간에 따른 각 분포모형과 강우 유출모형과의 연계적인 작업에는 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 강우의 시간적 분포모형으로 Monobe, Huff, Yen과 Chow가 제안한 절차에 의한 분포모형을 4가지의 강우유출모형에 연계하고, 재현기간별, 지속시간별 각 강우유출모형에 대한 분포모형들을 전산프로그램화 하여 실무에 적용에 있어 신속, 정확함과 편리성을 도모하고자 한다. 이를 위해 먼저 기존의 개발된 방법과 각 방법별, 모형별 전산프로그램을 수집하고 미계측 유역에 확률강우량에 의한 재현기간별 지속기간별 각 시간분포방법별에 의한 설계홍수량의 산정을 위한 4가지 유출모형의 전산프로그램을 수정하였다. 수정된 각 강우-유출모형을 설마천 시험유역에 적용하여 그 적용성을 평가하였으며, SCS방법에 의한 Huff의 2분위에서 가장 좋은 결과를 나타내었다.

2. 연구방법

2.1 연구연혁

유출분석에 있어서 그 입력자료인 강우의 특성은 복잡 다양하여 강우의 시간적분포를 합성의

* 부경대학교 토목공학과 석사과정
** 부경대학교 토목공학과 박사과정
*** 부경대학교 토목공학과 교수

형태로 나타내기에는 매우 어렵기 때문에 많은 학자들에 의해 여러 가지 방법이 개발되어 왔다. Horner와 Jens(1942) 가 미국 St. Louis에서 수행한 유출해석에서 설계우량을 균등강우로 분포하여 유출량과 비교한 것을 초기 연구로 시작하여, Schiff(1943)는 강우를 시간분포를 I.D.F(Intensity-Dulation-Frequency)관계를 수학적으로 모형화하여 중방위 형태로 시도되었고, 이를 Keifer와 Chu(1957)에 의해 Chicago방법이라 불리는 수학적 모형으로 완성하였다.
Huff(1967,1970)는 미국Illinois주의 관측 지역에 49개의 우량계를 정방향으로 설치하고 11년간의 강우관측 으로부터 4구간법에 의한 시간분포를 해석하고 누가확률곡선을 제시하였다. 국내에서는 서승덕(1965)이 호주 시드니의 강우자료를 이용하여 최대 강우강도가 나타나는 시간에 따라 4개군으로 나누고 각 군별 무차원 평균누가곡선을 작성하여 최초로 강우의 시간분포개념이 고찰되기도 하였으며, 박찬영(1980)은 서울 지점에 대하여 Huff(1967)의 4분위법에 의해 시간분포를 분석하였다. 이러한 연구가 계속 이루어지고 있으나, 현재 국내에서 실무로 주로 사용되는 강우-유출모형이 미계측 유역에서 재현기간에 따른 지속시간별 설계홍수량의 추정에 관한 연구는 미진한 편이다.

2.2 연구방법

본 연구에서는 먼저 기존의 시간분포모형의 이론 및 연구성과에 대해 기존에 개발된 방법을 고찰하고, 각 시간분포모형의 전산프로그램을 수집 및 수정한다. 그리고 기존의 강우-유출 모형 중 실무에 주로 적용되는 합리식, Kajiyama 공식, Clark유역추적법, Nakayasu합성단위도법 중 경험식인 합리식과 Kajiyama공식을 제외한 Clark 순간단위도법과 Nakayasu합성단위도법이외에 Nash모형, SCS모형에 시간분포모형을 연계하여 각 강우 유출모형별로 재현기간별 지속시간에 따른 설계홍수량을 산정할 수 있도록 전산프로그램코드를 수정하였다.

이러한 방법에 대하여 각 강우-유출모형의 평가와 강우의 시간분포 모형의 적용절차에 대해 고찰하고 수정된 각 모형을 설마천 시험유역에 적용하고 그 적용성을 평가하였다.

3 이론적 배경

3.1 설계강우의 시간적 분포모형

가. Monobe 분포법

Monobe 분포법은 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 것으로 일최대우량을 가지고 Monobe의 강우량 공식에 대입하여 총강우량을 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방집중형, 중앙집중형, 그리고 후방집중형으로 나누고 시간별로 분포시키는 방법이다. 그러나 이 Monobe 분포법은 과거 일강우량 기록만이 존재하고 그 보다 짧은 지속기간의 강우량 기록이 확보되지 못하였을 시절에 사용하던 방법이므로 여기서는 지양하기로 한다.

나. Huff 분포법

1967년 Huff는 미국 Illinios주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를

나타내는 무차원시간분포곡선을 제시하였다. 이는 당우의 누가곡선을 이용하여, 전 지속기간을 4등분하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 즉, 강우지속기간을 4등분하였을 때, 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우(First - quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제2구간호우(Second - quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제3구간호우(Third - quartile storm), 그리고 마지막 구간일 경우는 제4구간호우(Forth - quartile storm)로 한 것이다. Huff 분포법의 경우는 첨두우량이 발생하는 위치를 지속시간을 축으로 4개 분위로 나누고, 각 분위마다 해당 지점의 관측자료로부터 회귀분석을 통하여 적정 분포곡선을 산정하여 이에 따라 설계강우량을 분포시키는 방법이기 때문에 해당 지점의 강우특성을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 이 방법은 개념상 비교적 단순하면서도 물리적으로 의미를 가지고 있으며, 대량의 강우자료에 대해 짧은 시간 내에 계산이 가능하기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 첨두유량의 발생시각이 4개로 한정되어 있으므로 많은 기록을 가지지 않은 지역의 통계적 특성치는 오차가 발생할 우려가 있으므로 주의해서 사용하여야 한다.

다. Yen과 Chow 분포법

Yen과 Chow(1977)는 무강우가 없는 연속강우자료를 선별하여 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우의 시간적 분포를 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하여 표현하였다.

3.2 강우유출모형

가. Clark 방법

유역홍수추적법이란 하천유역을 일련의 저수지 또는 저수지와 하도로 구성되었다고 가정하여 개개의 저수지를 통해 아래와 같은 저류방정식의 해를 구하는 수문학적 홍수추적의 하나로서, 순간 단위유량도를 유도한 후 이를 적용하여 특정호우로 인하여 발생하는 홍수유출수문곡선을 유도하거나 저수지로의 유입량을 직접 계산하여 저류방정식에 입력, 유출량을 계산하는 방법이다.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad (3.1)$$

여기서, I와 O는 각각 미소시간 Δt 동안에 저수지로의 평균유입량(CMS) 및 저수지로부터 방출되는 평균유출량(CMS)이며 ΔS는 Δt시간 동안의 저류량의 변화량이다.

나. SCS의 합성 단위도법

이 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service :SCS)에 의해 합성단위유량도를 작성하기 위하여 고안된 방법으로서, 아래의 그림과 같은 무차원 단위도(dimensionless unit hydrograph)의 이용에 근거를 두고 있다.

다. 中安(Nakayasu)의 종합단위도법

中安의 종합단위도법은 무차원 수문곡선(dimensionless hydrograph)으로서 이것을 이용하여 특정 지속기간의 단위유량도를 합성할 수 있도록 하는 방법이며, 기초 수문자료가 부족하고 산지

유역인 곳에서 많이 사용되는 기법으로 그 개념도는 다음 그림과 같다.

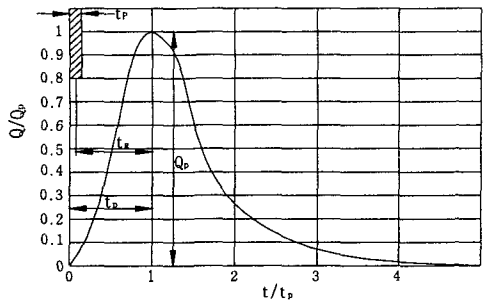

그림 3.1 SCS 무차원 단위도

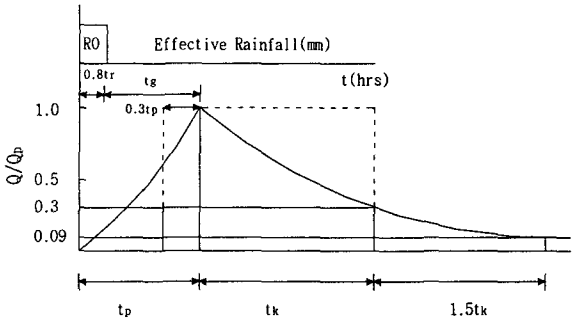

그림 3.2 Nakayasu의 종합단위도

라. Nash 방법

Nash 모형은 대표적인 개념적 순간단위도로서 매개변수가 2개이다. 보통의 단위도 유도 방법은 순수한 블랙박스 모형에서 유역의 집수응답을 나타내는 방법은 유역 전반에 걸쳐서 발생되는 미시적이거나 거시적인 단계의 물리적인 진행 과정에 대한 고려를 하지 않고 유효우량과 직접유출의 관계에 대한 특성에만 집중하는 것이다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 적용대상유역 및 기본자료 분석

본 연구의 대상유역은 경기도 파주시 적성면 설마리의 설마천 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 설마천 중상류 유역으로 유역면적 8.5Km^2, 유로연장 5.8Km, 유로경사 2%이다. 그림 4.1에서 보는 바와 같이 전형적인 급경사 산지 사행하천이며, 하천형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보인다. 시험유역의 지질학적 형상은 작은 절리가 많이 발달되어 있고, 엽리의 절리로 작용하는 지질구조상 초기 강우시에는 한천의 수위에 큰 변화를 보이지 않다가 파쇄대를 채우고 난 이후에 하천의 수위가 급격히 증가하는 양상을 보인다. 적용대상유역으로 선정된 설마천유역의 강우-유출자료는 2001년 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구보고서에 수록된 자료를 채택하여 사용하였으며 분석에 사용된 대상유역의 강우, 유출자료는 표4.1과 같다.

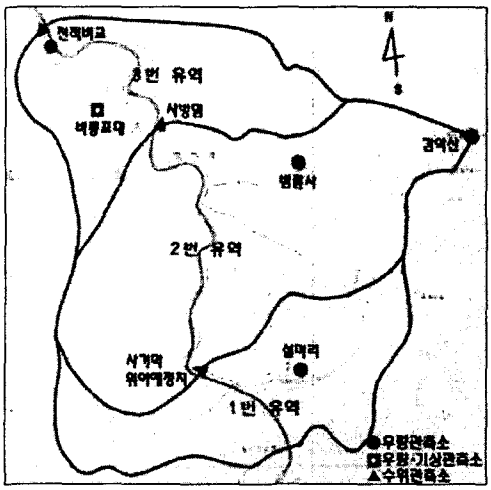

그림 4.1 설마천 시험유역도

표 4.1 대상유역의 강우, 유출자료

구분	기간	강우량 (mm)	유출고 (mm)	유출율 (%)	첨두시간	첨두유량 (cms)
전적비교	07/29-08/09	433.6	388.1	0.90	01-07-30 06:30	29.6543
사방댐	07/29 08/09	421.5	223.3	0.53	01-07-30 06:20	27.10885

4.2 모형의 적용 및 분석

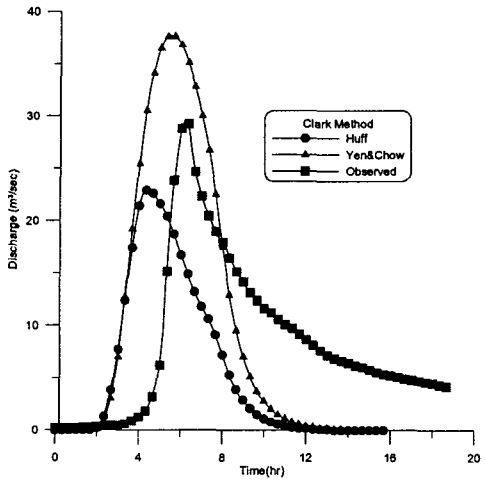

그림 4.2 수문곡선 (Clark Methed)

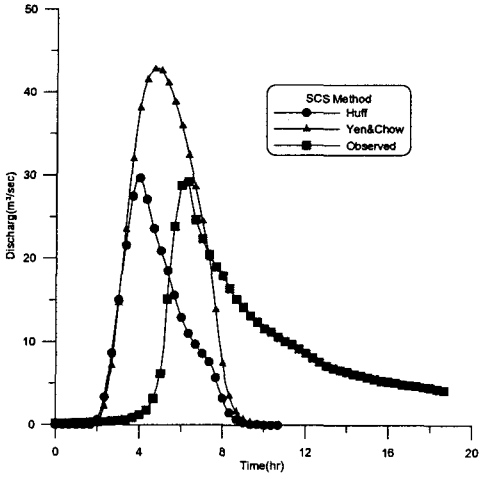

그림 4.3 수문곡선 (SCS Methed)

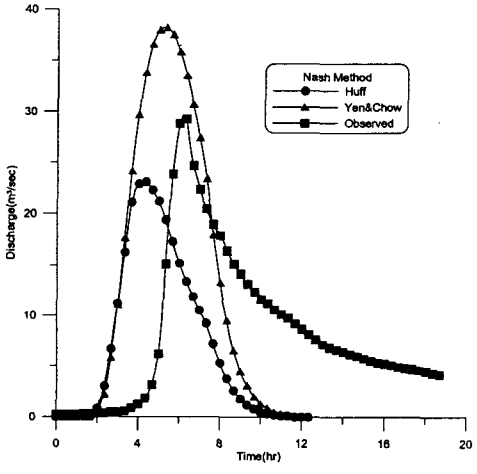

그림 4.4 수문곡선 (Nash Methed)

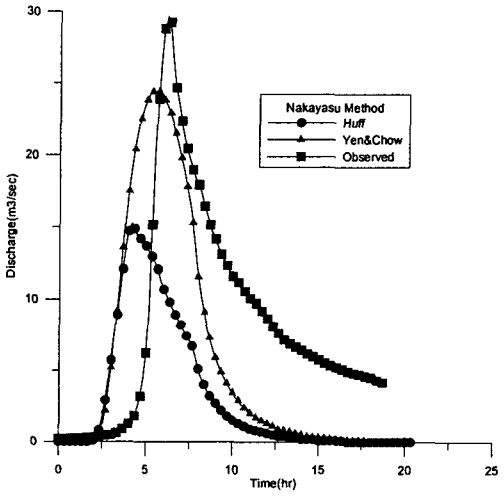

그림 4.5 수문곡선 (Nakayasu Methed)

설마천 시험유역의 2001년 7월의 호우사상에 대하여 각 모형별로 첨두홍수량, 첨두시간을 비교분석한 결과 각 모형별로 실측치와 비교하면 Huff의 2분위에서 Clark, SCS, Nash, Nakayasu 모

형이 실측치 29.62CMS에 대해 각각 22.91, 29.71, 23.12, 15.24CMS로 나타났으며, Yen&Chow 분포형에서 Clark, SCS, Nash, Nakayasu모형이 각각 37.72, 42.88, 38.24, 24.44CMS로 나타났다. 첨두홍수량에서 HUFF분포는 대체적으로 Yen&Chow분포형보다 크게 나타났으며 관측치의 첨두도달시간이 6시간임에 비해 모형별로 4시간에서 5시간 사이에 첨두도달시간이 나타났으며 이는 강우분포형에 따른 차이인 것으로 보인다. Clark모형 적용시 세 가지 입력자료 중 도달시간, 저류상수, 시간-면적주상도에 유출반응이 민감하게 반응하였으며, 모형적용시 특히 저류상수 K값의 산정에 세심한 주의가 요구된다.

5. 결론

본 연구에서는 설계홍수량 산정에 있어서 강우의 시간적 분포모형으로 Mononobe, Huff, Yen과 Chow가 제안한 절차에 의한 분포모형을 4가지의 강우유출모형에 연계하여 재현기간별, 지속시간별 각 강우유출모형에 대한 분포모형들을 각각의 전산프로그램코드를 수정하였으며, 분포모형과 연계된 각각의 모형의 적용성을 검토하기 위해 한국건설기술연구원의 대표시험유역인 설마천 시험유역에 2001년 7월의 호우사상에 대해 적용하였다. 각 유출모형중 SCS모형의 Huff의 2분위에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 향후 더 많은 호우사상 및 미계측 소유역에 대하여 적용성을 검토하고, 보완할 계획이다. 위 결과에서 알수 있듯이 각 모형별 분포형별에 따라 첨두홍수량의 차이는 크게 나타나므로 과거의 일강우량에 의한 Monobe분포에 의한 설계홍수량의 산정은 지양되어야 할 것이며 임계지속시간을 고려한 최적설계홍수량의 결정이 선행되어야 할 것이다. 본 연구는 시간분포를 고려한 설계홍수량을 산정하여 설계시 최적의 모형을 제시하고 이·치수 계획에 활용할 수 있는 기본자료로써 활용할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

1. 국립방재연구소(1998), "방재조절지의 설계지침 개발(Ⅰ)."
2. 국립방재연구소(1998), "방재조절지의 설계지침 개발(Ⅱ)."
3. 건설부(1993), "설계홍수 추정 지침서."
4. 한국건설기술연구원(1989), "지역별 설계 강우의 시간적 분포."
5. 한국건설기술연구원(2000), "시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구."
6. Hoff, F. A. (1967), "Time Distrbution of Rainfall in Heavy Storms," *Water Research, Research,* Vol. 3, No. 4.
7. Keifer, C. J. and Chu, H. H. (1957), "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design," *Journal of the Hydraulics Division, ASCE,* Vol. 83, No. HY4.
8. Pilgrim, D. H. and Cordery, I. (1975), "Rainfall temporal patterns for Design Floods," *Journal of the Hydraulics Division, ASCE,* Vol. 101, No. HY1.