

수공구조물 설계를 위한 설계강우의 수문학적 특성 분석

An Analysis on Hydrologic Characteristics of Design Rainfall for the Design of Hydraulic Structure

이 정 식* / 이 재 준* / 박 종 영**

Lee, Jung Sik / Lee, Jae Joon / Park, Jong Young

Abstract

This study is to propose temporal pattern of design rainfall which causes maximum peak discharge and to analyze the variation in peak discharge according to design rainfall durations. In this study, the Mononobe, the Yen and Chow triangular, the Huff's 4th quartiles and the Keifer and Chu methods are applied to estimate the proper temporal pattern of design rainfall and three rainfall-runoff models such as SCS, Nakayasu, and Clark methods are used to estimate the runoff hydrograph. And to examine the variability of peak discharge, the hydrologic characteristics from the rainfall-runoff models to which uniform rainfall intensity is applied are used as the standard values. The type of temporal pattern of design rainfall which causes maximum peak discharge in both of the watersheds and the rainfall-runoff models has resulted in Yen and Chow distribution method with the dimensionless value of 0.75. On the basis of determined temporal pattern, the examination of the variability of peak discharge according to design rainfall durations shows that design rainfall duration varies greatly with the types of probable intensity formula, and the variation of peak discharge is more affected by the types of probable intensity formula and I-D-F curve than rainfall-runoff models.

keywords : temporal pattern of design rainfall, probable rainfall intensity formula, I-D-F curve, time of concentration

요 지

본 연구에서는 기존에 널리 사용되고 있는 설계강우의 시간분포모형인 Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법과 Keifer와 Chu 분포법을 강우-유출모형인 SCS 방법, Nakayasu 방법과 Clark 방법에 적용하여 최대 유출상황을 발생시키는 설계강우 시간분포모형을 결정하였다. 각 강우-유출모형에 균등강우강도를 적용한 경우를 기준으로 하여 첨두유량의 변동성을 검토하였다. 대상유역에 적용한 강우-유출모형의 결과를 분석하여 유역별 및 강우-유출모형별로 최대 유출상황을 발생시키는 설계강우의 시간분포모형을 정리한 결과 전체적으로 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형으로 나타났다. 결정된 시간분포모형을 바탕으로 지속기간의 변화에 따른 첨두유량의 변동성을 파악한 결과 확률강우강도식의 형태에 따라 최대유량을 발생시키는 지속기간에 변동성이 보여지고 있으며, 강우-유출모형에 의한 영향보다는 확률강우강도식의 형태와 I-D-F곡선에 따라 첨두유량의 변동성이 크게 나타났다.

핵심용어 : 설계강우의 시간분포, 확률강우강도식, I-D-F곡선, 도달시간

* 금오공과대학교 토목, 환경 및 건축공학부 교수

Prof., School of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Kumoh National University of Technology, Kumi, Kyungbuk 730-701, Korea (E mail : jungsik@kumoh.ac.kr)

** 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Kumoh National University of Technology, Kyungbuk 730-701, Korea

1. 서론

자연하천의 제방과 도시유역의 하수관거와 같은 수공구조물은 구조물에 최대 부하를 야기시키는 상황에 대하여 안정도가 보장되도록 설계되어야 한다. 이와 같은 수공구조물의 설계는 설계강우와 유출량의 재현기간이 동일하다는 가정하에 해당유역에서 강우-유출관계로부터 산정된 첨두유량을 통하여 이루어지고 있다. 유역에서 첨두유량을 산정하기 위하여 수문시스템의 입력자료인 설계강우의 결정은 필수적이며, 설계강우는 설계강우량, 설계강우의 지속시간과 지속기간동안의 시간분포로 구분하여 설명할 수 있다.

설계강우량은 과거에 관측된 지점강우량 자료를 가지고 빈도해석을 통하여 구한 확률강우강도식이나 I-D-F곡선을 이용하여 산정하며, 설계강우의 지속기간은 지속적인 균일 강우가 해당 유역에 내릴 경우 첨두유량은 도달시간 이후로 변화하지 않으므로 해당 유역의 도달시간과 설계강우의 지속기간은 동일하다는 가정하에서 설계강우의 지속기간을 결정하거나 설계강우의 지속기간을 연장시켜가면서 첨두유량의 변화를 산정하고 최대값을 발생시키는 지속기간을 설계강우의 지속기간으로 사용해 오고 있다. 또한 설계강우의 시간분포는 대상유역의 강우자료로부터 강우지속기간동안 총강우량의 시간적 변화를 통계적으로 분석하여 적합한 시간분포를 결정한다.

그러나 국내에서는 설계강우의 지속기간을 결정하는데 있어 미계측 유역에서의 검증은 통하지 않은 도달시간 산정식의 이용과 최대유량을 나타내는 강우의 지속기간이 도달시간과 큰 차이를 보임으로 인하여 설계강우의 지속기간 결정에 관해서 많은 문제점을 내포한 채로 적용되어 수문량 산정에 이용되고 있는 실정이다. 설계강우의 시간분포의 경우 우리나라의 강우특성이 반영된 강우 시간분포가 특정지점을 제외하고 전국적으로 적절히 제시되지 못한 상태에서 Mononobe 분포법을 이용하여 시간구간별로 배분하여 사용하거나 특정 강우사상을 가지고 무차원화하여 실무에서 이용되고 있다. 그리고 한국건설기술연구원(1989)에서 기상청 산하 69개 관측소의 자기우량기록지에서 구한 10분 단위 우량자료를 가지고 Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법과 Pilgrim과 Cordery 분포법을 이용하여 해석하고 그 이용방법과 각 분포법에 따른 기준치를 제시하고 있으나 수공구조물을 설계하기 위한 수문해석시 설계강우의 시간분포를 어느 것

으로 할 것인가는 여전히 불분명하게 남아있다. 확률강우강도식의 경우 강우의 지속시간과 강우강도의 반비례하는 정도가 선형이 아니고 비선형으로 감소하기 때문에 지속시간-강우강도 관계는 강우의 지속시간을 단시간 및 장시간 혹은 단시간, 중시간 및 장시간 등으로 구분하여 제시되고 있으며, 이와 같은 여러 가지 형태의 확률강우강도식에 따른 확률강우량은 많은 차이를 보이고 있다. 또한 설계강우의 지속기간이 길어짐에 따라 강우강도는 작아지지만 강우량은 증가하여야 하며, 강우량의 재현기간은 변화하지 않아야 한다. 그러나 동일한 지점에서 단시간 확률강우강도식을 사용할 경우 지속기간이 증가함에 따라 재현기간이 달라지는 결과를 초래하고 있다(국립방재연구소, 1998).

따라서 본 연구에서는 기존 강우의 시간분포모형들의 특성을 검토 분석하여 최대 유출을 발생시키는 설계강우 시간분포모형을 결정하고 결정된 시간분포형을 바탕으로 지속기간의 변화에 따른 첨두유량의 변동성을 파악한 후 첨두유량의 변동성에 영향을 미치는 사항을 검토하고자 한다. 또한 국내에서 확률강우량을 산정하기 위하여 사용되는 여러 가지 형태의 확률강우강도식과 I-D-F곡선에 따른 지속기간별 첨두유량의 변화를 검토하고 대상유역의 도달시간과 비교 분석하여 적절한 지속기간의 결정을 통해 유역에서의 수문량을 결정하는데 있어 보다 합리적인 방안을 제시하고자 한다.

이를 위하여 미계측 유역의 유출량 산정시 국내 실무에서 널리 사용되고 있는 유출모형인 SCS 방법, Nakayasu 방법과 Clark 방법을 이용하며, 유역에서의 도달시간을 지속기간으로 하는 설계강우량을 구하고 IHP 대표시험유역을 대상으로 4가지 기존 설계강우 분포모형 즉, Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법과 Keifer와 Chu 분포법을 적용하여 유출수문곡선을 구한 후 강우특성과 유출특성간의 비교, 분석을 실시한다. 그리고 확률강우강도식의 형태에 따른 첨두유량의 변동성을 검토하기 위하여 국내 실무에서 이용되고 있는 건설부(1989)의 위천 단시간 확률강우강도식, 이재준과 이정식(1999)의 대표확률분포형에 따른 확률강우강도식과 대구광역시(1997)의 단시간 및 장시간 확률강우강도식 등의 3가지 확률강우강도식과 건설부(1988)의 대구지점 I-D-F곡선을 위천유역에 적용한다.

표 1. 대상유역의 유역특성

유역명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유로경사 (m/m)	유로중심장 (km)	도달시간 (min)	지체시간 (min)
평창강(이목정)	55.90	16.55	0.02037	7.20	387.0	514.2
보청천(산성)	53.71	13.01	0.01615	5.52	386.4	388.2
위천(동곡)	33.63	8.00	0.04057	4.00	242.4	307.2

2. 대상유역 및 기본자료 분석

본 연구에서는 국제수문개발계획 대표시험유역인 평창강유역의 이목정지점, 보청천유역의 산성지점과 위천유역의 동곡지점을 대상유역으로 선정하였으며, 해당 지점의 유역특성인자는 표 1과 같다.

적용 대상유역의 강우, 유출자료를 선정하기 위하여 IHP 연구보고서(건설부, 1983년~1996년)에 수록된 자료의 신뢰성을 인정하고 사용하였으며, 평창강유역의 이목정지점은 6개 호우사상, 보청천유역의 산성지점은 8개 호우사상, 그리고 위천유역의 동곡지점은 9개의 단순호우사상을 채택하였다.

본 연구에서는 ϕ -index법을 이용하여 유효우량을 계산하였으며, 비교적 단순한 경사급변점법을 이용하여 직접유출 수문곡선을 결정하였다. 설계강우의 지속시간으로 유역에서의 도달시간을 사용하였다. 도달시간은 유효우량의 중심에서 직접유출수문곡선의 변곡점 사이의 시간으로 정의되는 도달시간 개념을 적용하여 산정하였으며, 지체시간은 유효우량의 중심에서 직접유출 수문곡선의 중심까지의 시간으로 정의하였다. 대상유역에서의 도달시간과 지체시간은 본 연구에서 채택된 총 23개 호우사상으로부터 구한 도달시간과 지체시간의 평균값으로 결정하였으며, 이들은 표 1과 같다.

강우-유출해석에서 요구되는 설계강우량을 산정하고자 1989년도 IHP 연구보고서에 수록되어있는 재현기간 50년의 확률강우강도식 중 편차가 가장 적은 Sherman형으로 선정하여 사용하였다. 표 2는 대상유역에서의 확률강우강도식과 확률강우량을 나타낸 것이다.

3. 설계강우의 시간분포모형과

강우-유출모형

3.1 설계강우의 시간분포모형

3.1.1 Mononobe 분포법

Mononobe 분포법은 강우의 시간분포를 임의로 배

표 2. 대상유역의 재현기간 50년 확률강우강도식

유역명	확률강우강도식	확률강우량(mm)
평창강(이목정)	$\frac{346.8}{t^{0.450}}$	153.2
보청천(산성)	$\frac{407.7}{t^{0.412}}$	225.6
위천(동곡)	$\frac{402.0}{t^{0.417}}$	164.5

열하는 방법으로 일최대우량을 가지고 Mononobe의 강우량 공식에 대입하여 총강우량을 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형으로 나누고 시간별로 분포시키는 방법이다.

그러나 Mononobe 분포법은 과거 일강우량 기록만이 존재하고 그 보다 짧은 지속기간의 강우량 기록이 확보되지 못하였을 시절에 사용하던 방법이므로 지양하기로 하며, 오늘날과 같이 임의의 지속기간에 대한 강우량자료의 확보가 가능한 경우 적절한 빈도해석을 통해 강우강도-지속기간-빈도 관계를 유도할 수 있으므로 확률강우강도식에 의해 강우량을 구한 후 전방집중형, 중앙집중형, 후방집중형으로 배열하여 사용하였다.

3.1.2 Yen과 Chow 분포법

Yen과 Chow(1980)는 무강우가 없는 연속강우자료를 선별하여 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 강우의 시간분포를 삼각형과 사다리꼴 우량분포로 단순화하여 표현하였으며, 본 연구에서는 Yen과 Chow의 삼각형 분포법을 이용하였다.

무차원 특성변수 a' 값은 강우지속기간의 중앙에서 25%씩 가감한 위치에서 침투강우 위치를 발생시켰으며, 각각 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형이라 명하였다.

3.1.3 Huff 분포법

Huff(1967)는 미국 Illinois주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무

차원 시간분포곡선을 제시하였으며, 강우의 누가곡선을 이용하여 전 지속기간을 4등분하였을 때 각 분류된 구간간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 강우지속기간을 4등분하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우, 다음 2/4구간을 제2구간호우, 다음 3/4구간을 제3구간호우, 그리고 마지막 구간을 제4구간호우로 하였다.

Huff 분포법은 지역의 통계학적 특성치로부터 산정되어야 하나 Huff 분포법의 특성상 발생 침두위치는 4분위중 어느 한 분위에 속하게되는 점을 감안하고 평창강의 이목정 지점은 원주, 보청천의 산성 지점은 청주, 위천의 동곡지점은 대구지방의 Huff 무차원 곡선식(한국건설기술연구원, 1989)의 50% 확률 곡선을 이용하여 침두강우위치를 선정하였다.

3.1.4 Keifer와 Chu 분포법

Keifer와 Chu(1957)는 I-D-F곡선의 평균강우강도와 지속기간의 관계식을 이용하여 시간구간별 강우강도를 구하는 방법을 제시하였으며, 이 방법에서 관측강우량의 시간분포법으로 추정되어야 할 것은 침두우량의 발생시간이다. 이 시간을 추정하기 위해서는 I-D-F곡선을 작성할 때 사용된 자료를 이용하고, 이 자료의 침두부분을 평균하여 지속기간별로 중간값 혹은 평균값을 채택하여 최종 r값을 결정한다. Keifer와 Chu 분포법은 강우강도식을 이용하여 임의의 설정된 강우의 지속기간에서 침두우량을 분포시킬 수 있는 수학적 기법으로, 임의의 위치에 침두우량을 위치시킬 수 있다는 장점이 있으나, 수학적으로 유도되는 분포이기 때문에 강우의 특성상 중요한 의미를 가지는 지역적 특성을 고려하지 않는다는 단점이 있다.

본 연구에서는 호우진행계수 r값을 강우지속기간의 중앙에서 25%씩 가감한 위치에서 침두강우위치를 발생시켰으며, 각각 전방집중형, 중앙집중형과 후방집중형이라 명하였다.

3.2 적용 강우-유출모형

본 연구에서는 강우-유출해석을 위한 유출모형으로 그 동안 국내의 실무진에서 널리 사용되고 있는 SCS 방법, Nakayasu 방법과 Clark 방법을 사용하였다.

SCS 방법은 미국토양보존국에서 합성단위도를 작성하기 위하여 제안된 방법으로 무차원단위도를 이용하여 단위도를 합성하는 방법이다. 본 연구에서는 SCS 방법의 적용을 위하여 1989년도 IHP 연구보고서에서

제안한 SCS 방법의 합성단위유량도 관계식으로부터 SCS 방법의 매개변수를 산정하였다. Nakayasu 방법은 SCS 방법과 같이 무차원단위도의 특성치를 경험공식으로 결정하여 합성하는 방법으로 일본의 증소하천 유역을 대상으로 개발되었다. 전시영(1992)은 국내의 강우, 유출자료를 이용하여 유도한 수정 Nakayasu 합성단위유량도를 제안하였으며, 본 연구에서는 Nakayasu 방법의 적용을 위하여 수정 Nakayasu 합성단위유량도의 상승부곡선식과 지체시간에 관한 관계식을 이용하였다. Clark 방법은 유역의 도달시간-집수면적 관계를 이용하여 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량을 홍수추적절차에 의해 추적 계산함으로써 유역의 순간단위도를 작성하는 방법이다. 본 연구에서는 Clark 방법의 매개변수인 시간면적도의 기저시간과 유역의 저류상수로 대상유역의 강우, 유출자료로부터 산정한 표 1의 도달시간과 지체시간을 이용하였다.

4. 최대 유출상황을 발생시키는 설계강우의 시간분포모형

4.1 설계강우의 시간분포모형에 따른 유출변화 분석

본 연구에서는 대상유역에서 설계강우의 시간분포모형별로 유출해석결과가 어떠한 변화를 보이는가를 분석하기 위하여 총강우량 우량추상도를 입력강우로 하였으며, 강우-유출모형인 SCS 방법, Nakayasu 방법과 Clark 방법에 의거하여 유출수문곡선을 구하였다. 이 때 설계강우의 시간분포가 유출량에 미치는 영향을 파악하기 위한 인자로는 침두유량, 침두유량 변화율, 침두시간 변화율과 침두강우강도 변화율을 선정하였으며, 기준값으로는 각 강우-유출모형에 지속기간 동안 일정한 강우강도인 균등강우강도 적용시의 결과를 사용하였다. 즉, 침두유량 변화율은 3가지 강우-유출모형에 의한 침두유량의 균등강우강도 적용시의 침두유량에 대한 변화율을 나타내고, 침두시간 변화율은 유출수문곡선에서의 침두시간의 균등강우강도 적용시의 침두시간에 대한 변화율을 나타내며, 침두강우강도 변화율은 우량추상도에서의 최대강우량을 강우강도로 환산한 값의 균등강우강도에 대한 변화율을 나타낸다. 이상의 변화율을 각각 식으로 나타내면 식 (1)~(3)과 같다.

$$\Delta Q_{pk} (\%) = \frac{(Q_{pk} - Q_{pr})}{Q_{pr}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 ΔQ_{pk} 는 방법 k 의 침두유량 변화율, Q_{pk} 는 방법 k 의 침두유량, Q_{pr} 은 균등강우강도 적용시의 침두유량이다.

$$\Delta t_{pk} (\%) = \frac{(t_{pk} - t_{pr})}{t_{pr}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 Δt_{pk} 는 방법 k 의 침두시간 변화율, t_{pk} 는 방법 k 의 침두시간, t_{pr} 은 균등강우강도 적용시의 침두시간이다.

$$\Delta I_{pk} (\%) = \frac{(I_{pk} - I_{pr})}{I_{pr}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 ΔI_{pk} 는 방법 k 의 침두강우강도 변화율, I_{pk} 는 방법 k 의 침두강우강도, I_{pr} 은 균등강우강도 적용시의 침두강우강도이다.

4.1.1 SCS 방법

대상유역에 대해 SCS 방법을 이용하여 시간분포모형들에 따른 유출변화를 분석하였으며, 표 3은 강우-유출모형 중 SCS 방법을 이용한 경우의 분석 결과이다.

침두유량 변화율은 평창강유역과 보청천유역의 경우 Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법, Mononobe 분포법의 순으로 감소하고 있다. 시간분포모형별로 살펴보면, 평창강유역의 경우 Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다. 보청천유역의 경우 Mononobe 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형 그리고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다. 위천유역의 경우 침두유량 변화율은 Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법, Mononobe 분포법, Keifer와 Chu 분포법의 순으로 감소하고 있으며, 시간분포모형별로 살펴보면, Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다.

침두유량은 평창강유역과 위천유역의 경우 Yen과 Chow 분포법의 중앙집중형이 가장 큰 값을 보였으며, 보청천유역의 경우 Yen과 Chow 분포법의 후방집중

형이 가장 큰 값을 보이고 있다.

침두시간은 전반적으로 균등강우강도 적용시 보다 짧아지고 있으며, 침두시간 변화율은 전방집중형에서 후방집중형으로 감에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다.

침두강우강도 변화율은 기준값으로 사용한 균등강우강도에 비해 상당히 증가하고 있으며, 증가율은 평창강유역과 보청천유역은 Mononobe 분포법, Keifer와 Chu 분포법, Yen과 Chow 분포법과 Huff 분포법, 위천유역은 Mononobe 분포법, Huff 분포법, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법의 순으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

4.1.2 Nakayasu 방법

Nakayasu 방법을 이용하여 4.1.1의 SCS 방법과 같이 유출변화를 분석하였으며, 표 4는 Nakayasu 방법을 이용한 경우의 분석 결과이다.

침두유량 변화율은 모든 유역에서 Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법, Mononobe 분포법의 순으로 감소하고 있다. 시간분포모형별로 살펴보면, 평창강유역의 경우 Mononobe 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 후방집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 3분위법이 가장 크게 나타났으며, 보청천유역의 경우 Mononobe 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다. 위천유역의 경우 Mononobe 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 1분위법이 가장 크게 나타났다.

침두유량은 모든 유역에서 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형이 가장 큰 값을 보이고 있다. 균등강우강도 적용시보다 침두유량이 감소하는 경우에는 보청천유역에서 Mononobe 분포법의 전방집중형을 들 수 있다.

침두시간은 SCS 방법에서와 같이 전반적으로 균등강우강도 적용시 보다 짧아지고 있으며, 침두시간 변화율도 SCS 방법에서와 같이 전방집중형에서 후방집중형으로 감에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다.

침두강우강도 변화율은 SCS 방법에서와 같이 균등강우강도에 비해 상당히 증가하고 있으며, 증가율도 모든 유역에서 SCS 방법에서와 같이 동일한 시간분포모형 순으로 감소하고 있다.

표 3. 설계강우의 시간분포모형별 유출해석결과의 비교(SCS 방법)

항 목		침투유량		침투시간		침투강우강도		균등강우강도			
		Q_{pk} (m^3/s)	ΔQ_{pk} (%)	t_{pk} (hr)	Δt_{pk} (%)	I_{pk} (mm/hr)	ΔI_{pk} (%)	Q_{pr} (m^3/s)	t_{pr} (hr)	I_{pr} (mm/hr)	
평 창 강	Mononobe	전	239.8	0.6	8	-20.0	54.9	150.7	238.3	10	21.9
		중	258.0	8.3	10	0.0	54.9	150.7	238.3	10	21.9
		후	249.2	4.6	11	10.0	54.9	150.7	238.3	10	21.9
	Yen 과 Chow	전	260.0	9.1	9	-10.0	41.3	88.6	238.3	10	21.9
		중	265.0	11.2	9	-10.0	42.6	94.5	238.3	10	21.9
		후	263.3	10.5	10	0.0	43.7	99.5	238.3	10	21.9
	Huff	1	249.8	4.8	8	-20.0	54.1	147.0	238.3	10	21.9
		2	260.3	9.2	8	-20.0	35.8	63.5	238.3	10	21.9
		3	259.8	9.0	10	0.0	36.2	65.3	238.3	10	21.9
		4	251.8	5.7	10	0.0	41.8	90.9	238.3	10	21.9
	Keifer 와 Chu	전	246.4	3.4	9	-10.0	48.6	121.9	238.3	10	21.9
		중	259.2	8.8	9	-10.0	53.1	142.5	238.3	10	21.9
후		254.6	6.8	10	0.0	53.2	142.9	238.3	10	21.9	
보 창 천	Mononobe	전	298.4	0.2	10	-9.1	75.5	134.5	297.9	11	32.2
		중	313.8	5.3	11	0.0	75.5	134.5	297.9	11	32.2
		후	305.6	2.6	12	9.1	75.5	134.5	297.9	11	32.2
	Yen 과 Chow	전	316.8	6.3	10	-9.1	61.0	89.4	297.9	11	32.2
		중	319.2	7.2	10	-9.1	62.8	95.0	297.9	11	32.2
		후	319.5	7.3	11	0.0	64.5	100.3	297.9	11	32.2
	Huff	1	304.9	2.3	9	-18.2	85.2	164.6	297.9	11	32.2
		2	316.7	6.3	10	-9.1	52.6	63.4	297.9	11	32.2
		3	316.6	6.3	11	0.0	52.5	63.0	297.9	11	32.2
		4	304.2	2.1	11	0.0	57.2	77.6	297.9	11	32.2
	Keifer 와 Chu	전	304.4	2.2	10	-9.1	68.0	111.2	297.9	11	32.2
		중	310.3	4.2	10	-9.1	71.6	122.4	297.9	11	32.2
후		309.8	4.0	11	0.0	73.1	127.0	297.9	11	32.2	
위 창 천	Mononobe	전	223.6	5.4	6	-14.3	72.9	121.6	212.2	7	32.9
		중	232.7	9.7	7	0.0	72.9	121.6	212.2	7	32.9
		후	227.7	7.3	8	14.3	72.9	121.6	212.2	7	32.9
	Yen 과 Chow	전	234.8	10.7	6	-14.3	68.1	107.0	212.2	7	32.9
		중	236.0	11.2	6	-14.3	61.8	87.8	212.2	7	32.9
		후	232.6	9.6	7	0.0	67.4	104.9	212.2	7	32.9
	Huff	1	226.4	6.7	5	-28.6	87.1	164.7	212.2	7	32.9
		2	234.2	10.4	6	-14.3	59.5	80.9	212.2	7	32.9
		3	231.6	9.1	7	0.0	60.7	84.5	212.2	7	32.9
		4	228.2	7.5	7	0.0	72.0	118.8	212.2	7	32.9
	Keifer 와 Chu	전	226.4	6.7	6	-14.3	65.9	100.3	212.2	7	32.9
		중	231.9	9.3	6	-14.3	63.5	93.0	212.2	7	32.9
후		224.0	5.6	7	0.0	56.0	70.2	212.2	7	32.9	

4.1.3 Clark 방법

대상유역에 대해 Clark 방법을 이용하여 4.1.1의 SCS 방법과 같이 유출변화를 분석하였으며, 표 5는 Clark 방법을 이용한 경우의 분석 결과이다.

침투유량 변화율은 Nakayasu 방법에서의 같이 모든 유역에서 Yen과 Chow 분포법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법, Mononobe 분포법의 순으로 감소하고 있다. 시간분포모형별로 살펴보면, 평창강유역의 경우 Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법

표 4. 설계강우의 시간분포모형별 유출해석결과의 비교(Nakayasu 방법)

항 목			침두유량		침두시간		침두강우강도		균등강우강도		
			Q_{pk} (m ³ /s)	ΔQ_{pk} (%)	t_{pk} (hr)	Δt_{pk} (%)	I_{pk} (mm/hr)	ΔI_{pk} (%)	Q_{pr} (m ³ /s)	t_{pr} (hr)	I_{pr} (mm/hr)
평 창 강	Mononobe	전	207.8	-1.0	7	-22.2	54.9	150.7	209.9	9	21.9
		중	235.5	12.2	8	-11.1	54.9	150.7	209.9	9	21.9
		후	232.9	11.0	11	22.2	54.9	150.7	209.9	9	21.9
	Yen 과 Chow	전	236.3	12.6	8	-11.1	41.3	88.6	209.9	9	21.9
		중	245.0	16.7	8	-11.1	42.6	94.5	209.9	9	21.9
		후	247.2	17.8	9	0.0	43.7	99.5	209.9	9	21.9
	Huff	1	224.1	6.8	6	-33.3	54.1	147.0	209.9	9	21.9
		2	237.3	13.1	8	-11.1	35.8	63.5	209.9	9	21.9
		3	239.3	14.0	9	0.0	36.2	65.3	209.9	9	21.9
		4	236.0	12.4	10	11.1	41.8	90.9	209.9	9	21.9
	Keifer 와 Chu	전	217.1	3.4	7	-22.2	48.6	121.9	209.9	9	21.9
		중	242.3	15.4	8	-11.1	53.1	142.5	209.9	9	21.9
후		242.5	15.5	9	0.0	53.2	142.9	209.9	9	21.9	
보 청 천	Mononobe	전	294.8	0.4	8	-11.1	75.5	134.5	293.7	9	32.2
		중	331.6	12.9	9	0.0	75.5	134.5	293.7	9	32.2
		후	321.1	9.3	11	22.2	75.5	134.5	293.7	9	32.2
	Yen 과 Chow	전	335.6	14.3	8	-11.1	61.0	89.4	293.7	9	32.2
		중	340.0	15.8	9	0.0	62.8	95.0	293.7	9	32.2
		후	342.1	16.5	9	0.0	64.5	100.3	293.7	9	32.2
	Huff	1	319.4	8.8	7	-22.2	85.2	164.6	293.7	9	32.2
		2	335.9	14.4	8	-11.1	52.6	63.4	293.7	9	32.2
		3	334.5	13.9	9	0.0	52.5	63.0	293.7	9	32.2
		4	319.0	8.6	10	11.1	57.2	77.6	293.7	9	32.2
	Keifer 와 Chu	전	309.8	5.5	8	-11.1	68.0	111.2	293.7	9	32.2
		중	328.4	11.8	9	0.0	71.6	122.4	293.7	9	32.2
후		327.2	11.4	9	0.0	73.1	127.0	293.7	9	32.2	
위 천	Mononobe	전	180.7	6.1	6	-14.3	72.9	121.6	170.3	7	32.9
		중	196.7	15.5	7	0.0	72.9	121.6	170.3	7	32.9
		후	189.4	11.2	8	14.3	72.9	121.6	170.3	7	32.9
	Yen 과 Chow	전	198.2	16.4	6	-14.3	68.1	107.0	170.3	7	32.9
		중	198.4	16.5	6	-14.3	61.8	87.8	170.3	7	32.9
		후	198.5	16.6	7	0.0	67.4	104.9	170.3	7	32.9
	Huff	1	197.1	15.7	5	-28.6	87.1	164.7	170.3	7	32.9
		2	196.0	15.1	6	-14.3	59.5	80.9	170.3	7	32.9
		3	195.6	14.9	7	0.0	60.7	84.5	170.3	7	32.9
		4	190.1	11.6	7	0.0	72.0	118.8	170.3	7	32.9
	Keifer 와 Chu	전	189.4	11.2	6	-14.3	65.9	100.3	170.3	7	32.9
		중	191.0	12.2	6	-14.3	63.5	93.0	170.3	7	32.9
후		189.6	11.3	7	0.0	56.0	70.2	170.3	7	32.9	

과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났으며, 보청천유역의 경우 Mononobe 분포법, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 3분위법이 가장 크게 나타났

다. 위천유역의 경우 Mononobe 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형, 그리고 Huff 분포법에서는 3분위법이 가장 크게 나타났다.

침두유량은 평창강유역과 보청천유역의 경우 Yen과

표 5. 설계강우의 시간분포모형별 유출해석결과의 비교(Clark 방법)

항 목 방 법			침두유량		침두시간		침두강우강도		균등강우강도		
			Q_{3pk} (m ³ /s)	ΔQ_{pk} (%)	t_{pk} (hr)	Δt_{pk} (%)	I_{pk} (mm/hr)	ΔI_{pk} (%)	Q_{3pr} (m ³ /s)	t_{pr} (hr)	I_{pr} (mm/hr)
평 창 강	Mononobe	전	158.0	0.8	9	-10.0	54.9	150.7	156.8	10	21.9
		중	166.9	6.4	10	0.0	54.9	150.7	156.8	10	21.9
		후	162.0	3.3	12	20.0	54.9	150.7	156.8	10	21.9
	Yen 과 Chow	전	167.7	7.0	9	-10.0	41.3	88.6	156.8	10	21.9
		중	168.6	7.5	10	0.0	42.6	94.5	156.8	10	21.9
		후	167.4	6.8	10	0.0	43.7	99.5	156.8	10	21.9
	Huff	1	163.4	4.2	8	-20.0	54.1	147.0	156.8	10	21.9
		2	167.4	6.8	8	-20.0	35.8	63.5	156.8	10	21.9
		3	166.6	6.2	10	0.0	36.2	65.3	156.8	10	21.9
		4	163.4	4.2	11	10.0	41.8	90.9	156.8	10	21.9
	Keifer 와 Chu	전	160.8	2.6	9	-10.0	48.6	121.9	156.8	10	21.9
		중	167.1	6.6	10	0.0	53.1	142.5	156.8	10	21.9
후		163.6	4.3	11	10.0	53.2	142.9	156.8	10	21.9	
보 청 천	Mononobe	전	265.6	-0.1	8	-27.3	75.5	134.5	265.9	11	32.0
		중	284.1	6.8	10	-9.1	75.5	134.5	265.9	11	32.2
		후	272.9	2.6	11	0.0	75.5	134.5	265.9	11	32.2
	Yen 과 Chow	전	286.3	7.7	9	-18.2	61.0	89.4	265.9	11	32.2
		중	288.5	8.5	9	-18.2	62.8	95.0	265.9	11	32.2
		후	288.2	8.4	10	-9.1	64.5	100.3	265.9	11	32.2
	Huff	1	276.6	4.0	8	-27.3	85.2	164.6	265.9	11	32.2
		2	285.2	7.3	9	-18.2	52.6	63.4	265.9	11	32.2
		3	285.3	7.3	10	-9.1	52.5	63.0	265.9	11	32.2
		4	271.6	2.1	11	0.0	57.2	77.6	265.9	11	32.2
	Keifer 와 Chu	전	274.0	3.0	9	-18.2	68.0	111.2	265.9	11	32.2
		중	279.7	5.2	9	-18.2	71.6	122.4	265.9	11	32.2
후		278.6	4.8	10	-9.1	73.1	127.0	265.9	11	32.2	
위 천	Mononobe	전	171.4	4.8	6	-14.3	72.9	121.6	163.5	7	32.9
		중	180.8	10.6	7	0.0	72.9	121.6	163.5	7	32.9
		후	179.7	9.9	8	14.3	72.9	121.6	163.5	7	32.9
	Yen 과 Chow	전	183.7	12.4	6	-14.3	68.1	107.0	163.5	7	32.9
		중	182.4	11.6	6	-14.3	61.8	87.8	163.5	7	32.9
		후	185.3	13.3	7	0.0	67.4	104.9	163.5	7	32.9
	Huff	1	176.6	8.0	5	-28.6	87.1	164.7	163.5	7	32.9
		2	183.0	11.9	6	-14.3	59.5	80.9	163.5	7	32.9
		3	183.8	12.4	7	0.0	60.7	84.5	163.5	7	32.9
		4	179.5	9.8	7	0.0	72.0	118.8	163.5	7	32.9
	Keifer 와 Chu	전	175.2	7.2	6	-14.3	65.9	100.3	163.5	7	32.9
		중	180.1	10.2	7	0.0	63.5	93.0	163.5	7	32.9
후		178.4	9.1	7	0.0	56.0	70.2	163.5	7	32.9	

Chow 분포법의 중앙집중형이 가장 큰 값을 보였으며, 위천유역의 경우 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형이 가장 큰 값을 보이고 있다. 균등강우강도 적용시보다 침두유량이 감소하는 경우로는 보청천유역에서 Mononobe 분포법의 전방집중형을 들 수 있다.

침두시간은 SCS 방법과 Nakayasu 방법과 같이 전반적으로 균등강우강도 적용시 보다 짧아지고 있으며, 침두시간 변화율도 SCS 방법과 Nakayasu 방법과 같이 전방집중형에서 후방집중형으로 감에 따라 침두시간이 길어지고 있음을 알 수 있다.

침두강우강도 변화율은 SCS 방법과 Nakayasu 방법과 같이 균등강우강도에 비해 상당히 증가하고 있으며, 증가율도 모든 유역에서 SCS 방법과 Nakayasu 방법에서와 같이 동일한 시간분포모형 순으로 감소하고 있다.

4.2 최대 유출상황을 발생시키는 시간분포모형 결정

본 연구에서는 적용 대상유역에 대해 분석한 내용을 바탕으로 강우-유출모형별 최대 유출상황을 발생시키는 시간분포모형을 결정하기 위하여 침두유량과 침두시간의 변화율을 비교 분석하였다. 일반적으로 강우강도가 증가하면 유출량은 증가하게 되고 유역내의 도시화 변화는 침두시간을 단축시키게 된다. 설계수문량의 관점에서 보면 통수능력의 결정에는 침두유량이 주가 되고 방재조절지와 같은 저류능력의 결정에는 강우가 후방으로 집중되어 침두 이전의 유입량이 상당량 유입한 후에 침두유량이 도래하는 경우가 주가 된다. 즉, 전자의 경우에는 침두유량 변화율이 (+)값으로 최대를 보이는 시간분포모형이 최대 유출상황을 발생시키는 것이 되며, 후자의 경우에는 침두시간이 (+)값으로 지연되면서 침두유량 변화율이 최대를 보이는 시간분포모형이 최대 유출상황을 발생시키는 것이 된다. 또한 도시화 지역에서는 침두시간 변화율이 (-)값이 되면서 침두유량 변화율이 최대를 보이는 시간분포모형이 관심 대상이 될 것이다. 그러나 본 연구에서는 수공구조물에 최대 부하를 발생케 하는 설계강우의 시간분포모

형을 결정하고자 하므로 판단기준으로는 침두유량 변화율이 (+)값으로 최대를 보이는 시간분포모형을 적정 분포로 선정하였다.

전 절에서 분석한 결과를 바탕으로 하여 각 강우-유출모형별 및 시간분포모형별로 최대 유출상황을 발생시키는 시간분포모형을 발췌하여 수록하면 표 6과 같다.

표 6에서 보면, 대체로 Mononobe 분포법에서는 중앙집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형과 중앙집중형, Huff 분포법에서는 2분위법과 3분위법, Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형이 최대 유출상황을 발생시키는 시간분포모형으로 나타나고 있다.

대상유역에 적용한 강우-유출모형의 결과를 분석하여 유역별 및 강우-유출모형별로 최대 유출상황을 발생시키는 설계강우의 시간분포모형을 정리하면 표 7과 같으며, 전체적으로 Yen과 Chow 후방집중형이 최대 유출량을 발생시키는 것으로 나타나고 있다.

5. 설계강우의 지속기간에 따른 침두유량 변화 분석

기존의 시간분포모형 중 최대 유출상황을 발생시키는 Yen과 Chow 분포법에서 무차원 계수 값이 0.75인 경우의 후방집중형을 바탕으로 하여 지속기간의 변화에 따라 발생하는 침두유량의 변동성과 침두유량을 발생시키는 설계강우의 지속기간을 파악하여 대상유역으로부터 산정된 도달시간과 비교, 분석하고자 한다.

설계강우의 지속기간에 따른 침두유량의 변화를 파악

표 6. 강우-유출모형 및 시간분포모형별 적정 시간분포모형

강우-유출모형	시간분포모형	평창강	보청천	위천
SCS 방법	Mononobe	중앙집중	중앙집중	중앙집중
	Yen과 Chow	중앙집중	후방집중	중앙집중
	Huff	2분위	2분위	2분위
	Keifer와 Chu	중앙집중	중앙집중	중앙집중
Nakayasu 방법	Mononobe	중앙집중	중앙집중	중앙집중
	Yen과 Chow	후방집중	후방집중	후방집중
	Huff	3분위	2분위	1분위
	Keifer와 Chu	후방집중	중앙집중	중앙집중
Clark 방법	Mononobe	중앙집중	중앙집중	중앙집중
	Yen과 Chow	중앙집중	중앙집중	후방집중
	Huff	2분위	3분위	3분위
	Keifer와 Chu	중앙집중	중앙집중	중앙집중

표 7. 유역 및 강우-유출모형별 적정 시간분포모형

강우 유출모형	평창강	보청천	위천	적정 분포
SCS 방법	Yen과 Chow 중앙집중	Yen과 Chow 후방집중	Yen과 Chow 중앙집중	Yen과 Chow 중앙/후방집중
Nakayasu 방법	Yen과 Chow 후방집중	Yen과 Chow 후방집중	Yen과 Chow 후방집중	Yen과 Chow 후방집중
Clark 방법	Yen과 Chow 중앙집중	Yen과 Chow 중앙집중	Yen과 Chow 후방집중	Yen과 Chow 중앙/후방집중
적정 분포	Yen과 Chow 중앙/후방집중	Yen과 Chow 후방/중앙집중	Yen과 Chow 후방/중앙집중	Yen과 Chow 후방집중

표 8. 각 Case별 적용 확률강우강도식

Case	I	II	III		IV
확률강우강도식의 형태	$I = \frac{402.0}{t^{0.417}}$	$I = \frac{708.758}{t^{0.579} + 1.375}$	단시간	장시간	I-D-F 곡선
			$I = \frac{402.0}{\sqrt{t} - 0.045}$	$I = \frac{227.14}{\sqrt{t} - 8.438}$	

하기 위해 위천유역의 동곡지점을 대상으로 SCS 방법, Nakayasu 방법과 Clark 방법의 3가지 유출모형을 이용하여 유출수문곡선을 산출하였으며, 실적자료와의 비교검토를 위해 대상유역에서 실측수문곡선으로부터 유도된 지속기간 1시간의 대표단위도(RUH)를 이용하여 유출수문곡선을 산출하였다. 이 때 확률강우강도식의 형태에 따른 침투유량의 변화를 검토하기 위하여 4가지 경우로 나누어 분석하였으며, 건설부(1989)의 위천유역 단시간 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case I, 이재준과 이정식(1999)의 대표확률분포형에 따른 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case II, 대구광역시(1997)의 단시간 및 장시간 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case III, 건설부(1988)의 대구지점 I-D-F곡선을 적용한 경우를 Case IV라 구분하였다. 확률강우강도식의 재현기간은 50년을 사용하였으며, 각 Case별 확률강우강도식은 표 8과 같다.

5.1 대상유역의 확률강우강도식을 적용한 경우 (Case I)

위천유역에 적용한 Case I의 확률강우강도식은 1989년도 IHP 연구보고서에 수록된 단시간 확률강우강도식으로 표 8과 같다. 대상유역에 위천유역의 확률강우강도식을 적용하여 지속기간에 따른 침투유량을 산정하였으며, 이를 표 9에 나타내었다. 그림 1은 Case I에 대한 강우의 지속기간에 따른 침투유량의

변화를 도시한 것이다.

표 9와 그림 1을 살펴보면 SCS 방법은 지속기간 780분에서 최대 침투유량이 발생하고 있으며, 지속기간이 길어짐에 따라 침투유량이 감소하고 있다. 그러나 Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도의 경우 1,140분에서 최대 침투유량이 나타나고 있지만 지속기간이 길어짐에 따라 침투유량의 변화가 크게 나타나지 않고 있다. 침투유량 값을 보면 Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도의 경우 침투유량이 비슷하게 산출된 반면 SCS 방법은 타 방법에 비해 크게 산출되었다.

5.2 대표확률분포형에 의한 확률강우강도식을 적용한 경우(Case II)

대표확률분포형에 의한 확률강우강도식은 이재준과 이정식(1999)에 의하여 제시된 대구지점의 확률강우강도식으로 표 8과 같다. 대상유역에 Case II의 확률강우강도식을 적용하여 강우의 지속기간에 따른 침투유량을 산정하였으며, 이를 표 9에 나타내었다. 그림 2는 Case II의 결과를 도시한 것이다.

표 9와 그림 2를 살펴보면 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간은 Case I에 비해 유출모형별로 작게 나타나고 있다. SCS 방법은 지속기간 540분, Nakayasu 방법은 지속기간 600분, Clark 방법은 600분, 그리고 대표단위도의 경우 840분에서 최대 침

표 9. 강우의 지속시간에 따른 침투유량

(단위 : m³/s)

지속 기간 (분)	Case I				Case II				Case III				Case IV			
	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH
60	110.1	103.5	90.4	84.6	88.6	83.4	72.8	68.1	84.4	79.4	69.3	64.8	108.7	102.2	89.3	83.5
120	164.2	140.6	128.2	122.2	122.8	119.2	95.9	91.4	118.6	118.2	92.6	88.3	147.3	126.2	115.0	109.7
180	204.1	176.1	161.3	148.0	145.2	125.3	114.8	105.3	142.4	122.9	112.6	103.3	168.2	145.1	133.0	122.0
240	231.0	197.3	184.2	171.5	158.5	135.4	126.4	117.6	157.4	134.4	125.5	116.8	180.8	154.4	144.2	134.1
300	258.7	212.5	199.6	192.1	172.4	141.6	132.9	128.0	172.9	142.0	133.4	128.3	194.4	159.8	150.0	144.3
360	277.4	229.4	217.2	207.1	180.2	149.0	141.1	134.5	173.1	143.1	135.5	129.2	201.0	166.2	157.4	150.0
420	287.4	240.0	230.1	217.6	182.8	152.6	146.4	138.4	167.3	139.7	133.9	126.6	195.2	163.0	156.3	147.8
480	299.0	246.0	238.7	226.6	186.7	153.5	149.0	141.5	164.7	135.5	131.5	124.9	195.3	160.6	155.9	148.0
540	308.0	253.5	244.5	237.1	188.9	155.5	149.9	145.4	162.0	133.3	128.6	124.8	193.5	159.3	153.6	149.0
600	311.6	260.2	253.1	244.2	188.5	157.4	153.1	147.7	158.1	132.0	128.4	123.9	193.3	161.4	157.0	151.5
660	311.5	263.9	258.7	248.9	186.1	157.7	154.5	148.7	153.1	129.7	127.1	122.3	188.1	159.4	156.2	150.3
720	316.5	265.8	262.2	251.8	186.4	156.6	154.4	148.3	151.0	126.8	125.1	120.1	187.5	157.4	155.3	149.2
780	318.2	268.4	263.5	255.8	185.2	156.2	153.4	148.9	148.1	125.0	122.7	119.1	186.0	157.0	154.0	149.6
840	317.1	271.4	267.1	259.7	182.8	156.4	154.0	149.7	144.3	123.6	121.7	118.3	183.0	156.7	154.2	149.9
900	314.0	272.7	269.5	261.9	179.2	155.7	153.8	149.5	140.4	122.0	120.5	117.1	178.7	155.2	153.3	149.0
960	315.0	272.9	270.5	263.0	177.9	154.1	152.7	148.5	138.3	119.8	118.7	115.4	175.8	152.2	150.9	146.7
1020	314.1	272.4	270.0	262.8	175.3	152.5	151.2	147.1	135.6	117.6	116.6	113.5	172.7	149.8	148.4	144.5
1080	311.5	273.8	270.5	264.8	173.0	152.0	150.2	147.1	132.6	116.6	115.2	112.8	168.3	148.0	146.2	143.1
1140	307.9	274.0	271.2	265.7	169.7	151.0	149.4	146.4	129.2	115.1	113.9	111.6	162.9	145.1	143.6	140.6
1200	306.9	273.3	271.0	265.5	167.8	149.4	148.1	145.1	127.3	113.4	112.4	110.1	158.7	141.3	140.1	137.2
1260	304.9	271.4	269.5	264.1	165.7	147.5	146.4	143.5	125.2	111.5	110.7	108.4	154.9	138.0	137.0	134.2
1320	302.4	271.9	268.8	264.5	163.0	146.6	144.8	142.6	122.5	110.2	109.0	107.2	150.6	135.4	133.8	131.7
1380	298.7	271.6	268.7	264.3	159.9	145.4	143.8	141.5	119.8	109.0	107.8	106.0	145.5	132.3	130.8	128.7
1440	297.2	270.7	267.8	263.3	158.1	144.0	142.4	140.0	118.1	107.6	106.5	104.6	142.7	129.9	128.6	126.4

두유량이 발생하였다. 침투유량 값은 Case I의 경우에 비해 작게 산출되었으며, 모형별로는 Case I의 경우와 같이 SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도 순으로 크게 산출되었다.

5.3 대구광역시의 단시간 및 장시간 확률강우강도식을 적용한 경우(Case III)

지속시간에 따른 침투유량의 변화를 검토하고자 대구종합운동장(체육공원) 조성 재해영향평가서(대구광역시, 1997)에서 유도된 단시간 및 장시간으로 구분되어진 확률강우강도식을 적용하였으며, Case III에 대한 대상 유역의 강우의 지속시간에 따른 침투유량을 표 9에 나타내었다. 그림 3은 Case III의 결과를 도시한 것이다.

표 9와 그림 3을 살펴보면 Case I과 II의 경우와

많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도의 경우 모두 지속시간 360분에서 최대 침투유량이 발생하고 있으며, 지속시간이 길어짐에 따라 침투유량이 감소하고 있다. 침투유량 값은 Case I과 II의 경우와 같이 SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도 순으로 크게 산출되었다.

5.4 I-D-F곡선을 적용한 경우(Case IV)

건설부(1988)의 대구지점 I-D-F곡선을 사용하여 지속시간의 변화에 따른 침투유량을 산정하였으며, 이를 표 9에 나타내었다. 그림 4는 Case IV에 대한 강우의 지속시간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 것이다. 표 9와 그림 4를 살펴보면 SCS 방법과 Nakayasu

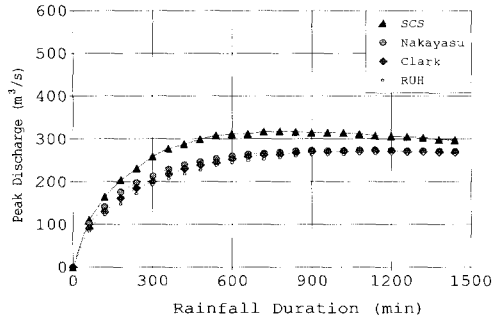


그림 1. 강우의 지속기간에 따른 첨두유량 변화(Case I)

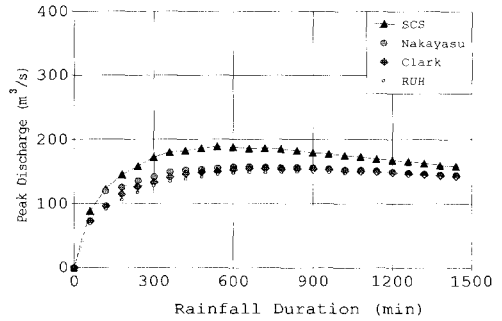


그림 2. 강우의 지속기간에 따른 첨두유량 변화(Case II)

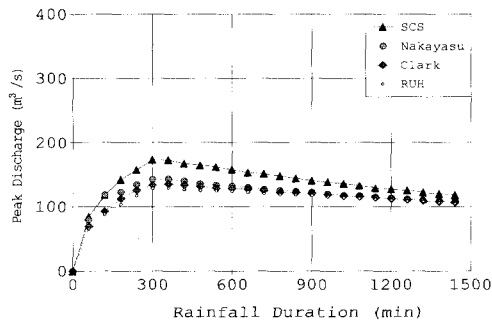


그림 3. 강우의 지속기간에 따른 첨두유량 변화(Case III)

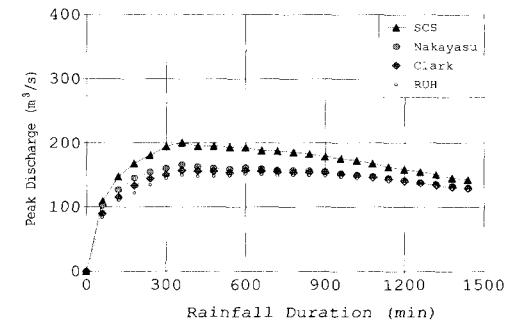


그림 4. 강우의 지속기간에 따른 첨두유량 변화(Case IV)

방법은 360분에서 최대 첨두유량이 발생하였으며, 지속기간이 길어짐에 따라 첨두유량이 감소하고 있다. Clark 방법과 대표단위도의 경우 지속기간 360분에서 최초의 첨두봉을 보인 후 지속기간이 길어짐에 따라 첨두유량이 파형을 보이고 있으며, 첨두유량은 큰 변화 없이 거의 최초의 첨두봉 값이 평형유량 상태를 유지하다가 후반부에서 서서히 감소하는 추세를 보이고 있다. 따라서 Clark 방법과 대표단위도의 경우는 최초의 첨두봉이 발생하는 지속기간 360분을 최대 첨두유량이 발생하는 지속기간으로 정하였다. 첨두유량 값은 전술한 Case들과 같이 SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법과 대표단위도 순으로 크게 산출되었다.

5.5 비교 고찰

본 연구에서는 지속기간에 따른 첨두유량의 변화를 검토하기 위해 표 1의 위천유역의 도달시간과 동일한 지속기간을 갖는 첨두유량과 지속기간에 따른 최대 첨두유량을 이용하여 각 Case별 첨두유량의 오차를

식 (4)와 같이 산정하였다.

$$\Delta Q_{pd} (\%) = \frac{Q_{pd} - Q_{pc}}{Q_{pc}} \times 100 \quad (4)$$

여기서 Q_{pd} 는 지속기간에 따른 최대 첨두유량이며, Q_{pc} 는 도달시간과 동일한 지속기간에 대한 첨두유량이다.

식 (4)를 이용하여 산출한 도달시간의 첨두유량과 지속기간별 최대 첨두유량과의 오차는 표 10과 같다. 표 10을 살펴보면 각 Case별로 SCS 방법의 경우 10.0~37.7%, Nakayasu 방법의 경우 6.5~38.9%, Clark 방법의 경우 8.0~47.2%, 대표단위도의 경우 10.6~54.9%의 첨두유량의 오차가 발생하였으며, 이 결과들은 유역에서의 도달시간을 설계강우의 지속기간으로 사용할 경우 첨두유량의 오차를 의미한다. 4가지 유출모형 모두 Case I에서 오차가 가장 크게 나타나고 있으며, 단일 확률강우강도식을 이용한 Case I과

표 10. 도달시간의 침투유량과 지속기간에 따른 최대 침투유량과의 오차

유출모형	Case I	Case II	Case III	Case IV
SCS	37.7	19.2	10.0	11.2
Nakayasu	38.9	16.5	6.5	7.6
Clark	47.2	22.2	8.0	9.2
RUH	54.9	27.3	10.6	11.9

(단위: %)

표 11. 대표단위도에 의한 최대 침투유량과 각 유출모형별 침투유량과의 오차

유출모형	Case I	Case II	Case III	Case IV
SCS	15.9	22.1	34.0	34.0
Nakayasu	3.1	4.5	10.8	10.8
Clark	2.1	2.9	4.9	4.9

(단위: %)

Case II에서 침투유량의 오차가 단시간 및 장시간으로 구분된 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 Case III와 Case IV에서 침투유량의 오차보다 상대적으로 크게 발생하고 있다.

또한 본 연구에서는 유출모형에 따른 침투유량의 변화율을 검토하기 위해 실측수문곡선으로부터 구한 대표단위도의 최대 침투유량과 이를 발생시키는 지속기간에서 산출된 각 유출모형의 침투유량을 이용하여 침투유량의 오차를 식 (5)와 같이 산정하였다.

$$\Delta Q_{pm} (\%) = \frac{Q_{pm} - Q_{pt}}{Q_{pt}} \times 100 \quad (5)$$

여기서 Q_{pt} 는 대표단위도에 의한 최대 침투유량이며, Q_{pm} 은 대표단위도의 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간에서 산출된 각 유출모형의 침투유량이다. 식 (5)를 이용하여 산출한 대표단위도에 의한 최대 침투유량과 각 유출모형별 침투유량과의 오차는 표 11과 같다. 표 11을 살펴보면 SCS 방법의 경우 침투유량의 오차가 15.9~34.0%로 가장 크게 발생하였으며, Nakayasu 방법의 경우 3.1~10.8%의 침투유량의 오차가 발생하였다. 그러나 Clark 방법의 경우 2.1~4.9%의 침투유량의 오차가 발생하여 Clark 방법이 실측수문곡선으로부터 유도된 대표단위도와 가장 일치하는 모형을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 대상유역에 3가지 형태의 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 경우 본 연구에서 적

용한 유출모형 모두 단시간 및 장시간으로 구분된 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 경우가 단일 확률강우강도식을 적용한 경우보다 최대 침투유량을 발생시키는 강우의 지속기간이 유역에서의 도달시간에 근접하게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 설계홍수량 산정시 확률강우강도식의 형태가 침투유량에 영향을 미치므로 적절한 확률강우강도식이나 I-D-F곡선의 사용에 주의를 기울여야 할 것이며, 적절한 확률강우강도식이나 I-D-F곡선을 사용시 도달시간을 설계강우의 지속기간으로 사용하여도 될 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 적용한 유출모형 중 SCS 방법은 침투유량의 오차가 크게 나타나고 있으므로 미계측유역의 강우 유출해석시 적용에 신중을 기하여야 할 것으로 생각된다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존에 널리 사용되고 있는 설계강우의 시간적 분포모형을 여러 가지 유출모형에 적용하여 최대 유출을 발생시키는 설계강우 시간분포모형을 결정하고, 결정된 시간분포모형을 바탕으로 지속기간의 변화에 따른 침투유량의 변동성을 파악한 후 침투유량의 변동성에 영향을 미치는 사항을 검토하였으며, 대상 유역으로부터 산정된 도달시간과의 비교, 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 설계강우의 시간분포모형별 유출해석결과 강우 유출모형별로 최대 유출상황을 발생시키는 설계강우의 시간분포모형은 전체적으로 Yen과 Chow 분포범에서 무차원 계수값이 0.75인 후방집중형으로 나타났다.

(2) 설계강우의 지속기간 변화에 따른 침투유량의 변화성을 검토한 결과 동일한 확률강우강도식(장·단기 또는 I-D-F곡선)을 적용하였을 경우 강우-유출모형의 차이에 따른 지속기간의 영향은 없는 것으로 보이며, 확률강우강도식이나 I-D-F곡선의 차이가 지속기간 변화에 따른 침투유량의 변화에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(3) 대표단위도와 강우-유출모형에 의한 침투유량 오차분석 결과로부터 Clark 방법이 SCS 방법과 Nakayasu 방법에 비해 실측수문곡선으로부터 유도된 대표단위도와와의 적합성이 크게 나타나고 있다.

(4) 설계홍수량 산정시 설계강우 지속기간의 결정에 있어 확률강우강도식이나 I-D-F곡선의 사용에 주의를 기울여야 할 것이며, 적절한 확률강우강도식을 선택할 경우 설계강우의 지속기간으로 대상유역의 도달시간을 사용하여도 될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문으로 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

건설부 (1983~1996). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
 건설부 (1988). 한국 확률강우량의 작성, 수자원관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권.

대구광역시 (1997). 대구 종합운동장(체육공원) 조성 재해영향평가서.
 전시영 (1992). 국내 기존 합성단위유량도의 비교분석. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부, pp. 5-1~5-84.
 이재준, 이정식 (1999). “우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 403~415.
 한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포, 건기연 89-WR-111.
 국립방재연구소 (1998). 방재조절지의 설계지침개발 (II).
 Huff, F.A. (1967). “Time distribution of rainfall in heavy storms.” *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007~1019.
 Keifer, C.J., and Chu, H. H. (1957). “Synthetic storm pattern for drainage design.” *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 83, No. HY4, pp. 1~25.
 Yen, B.C., and Chow, V.T. (1980). “Design hyetographs for small drainage structures.” *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 106, No. HY6, pp. 1055~1076.
 (논문번호:00-065/접수:2000.10.12/심사완료:2001.02.27)