

# 수공구조물 설계를 위한 임계지속시간 결정

## An Analysis of critical duration for Design of Hydraulic Structure

이상진<sup>1)</sup> 김우구<sup>2)</sup> 황만하<sup>3)</sup>

Lee, Sangjin / Kim, Woo Gu / Whang, Manha

### 요 지

최근 기상이변이 빈번하여 자연재해에 대한 방재대책의 중요함이 절실히 요청되는 시점에서 수공구조물들의 설계빈도를 상향조정하는 등의 대책이 마련되고 있는 실정을 고려할 때 유역의 수문학적 안정성을 확보하기 위한 최적방안을 마련하는데 필요한 강우의 임계지속시간 결정에 대한 연구를 수행하였다.

홍수제어를 위한 수공구조물은 그 특성상 계획홍수량 결정에 최대치 개념이 도입되어야 하므로, 설계강우의 지속시간을 결정할 경우 강우로 인한 최대유출과 홍수총량이 최대가 되는 임계지속시간을 이용하여 검토하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 합성단위도(Clark방법, Nakayasu방법, SCS방법)등 각 수문요소에 따른 임계지속시간의 변동양상을 파악한 결과 24시간 강우지속시간시 총유출량 보다 임계지속시간개념으로 산정한 유출량이 크게 산출되었으며, 시간분포모형(Huff의 4분위법, IDF곡선 분포법, Mononobe방법)별 적합성을 평가함으로써 수문설계시 활용 할 수 있는 자료를 제시하고자 하였다.

핵심용어 : PMP, PMF, 임계지속시간, 시간분포모형, 단위도

### 1. 서론

최근 일련의 기상이변등으로 기존 수공구조물 안정성 검토를 다시 해야 할 필요성이 있는 시점에서 2002년 8월에 철원과 강릉지역에서 발생한 집중호우로 인하여 막대한 인명과 재산피해를 입었으며, 이로 인하여 유역의 수공구조물의 설계빈도를 상향하는 등의 수문학적 안정성을 재검토 할 필요성을 갖게 되었다. 이에따라 수문관련의 실무에서도 설계홍수량 산정시 임계지속시간의 개념이 점차적으로 도입되어 적용되고 있으나, 아직까지 설계지침에는 이에 대한 명확한 기준이 구체적으로 제시되어 있지 못하다. 또한 임계지속시간은 큰 편차를 보일 수 있으므로, 이에 대한 영향들을 검토하여 정량화할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 수공구조물설계를 위한 임계지속시간을 결정하기위하여, 각 수문요소에 따른 임계지속시간의 변동양상을 파악함으로써 수문설계시 도움이 될 수 있는 자료를 제시하고자 하였다. 이때 고려된 수문요소는 지속시간별 PMF, 최고홍수위(홍수총량), 강우시간 분포, 합성단위도법등을 분석에 이용하였다.

### 2. 대상유역선정 및 특성

연구 대상 유역으로 선정한 경북 감포지역의 무명천 유역의 면적은 3.674km<sup>2</sup>로서 전체 유역면적 3.74 km<sup>2</sup>의 98%를 차지하고 있으며, 유로연장 역시 4.64km로서 전체 유로연장 4.98km의 대부분을 차지하는 극히적은 미계측 소유역이다. 유역의 형상은 동서로 길게 뻗어 있으며 하천 형상은 수지상(樹枝狀)이나 본류 이외 큰 지류가 없는 단순한 하천으로 소하구로 이어져 직접 동해로 유입되는 지형조건을 갖추고 있다. 유역의 평균 폭은 0.75km이며 하천경사는 1/35~1/55로서 다소 급한 편이다.

#### 2.1 가능최대 강수량(PMP)

강우의 임계지속시간의 결정시 필요한 지속시간별 홍수량(Probable Maximum Flood ; PMF)을 산정하기 위한 선행작업으로 가능최대강수량(PMP)을 결정해야 한다.

1) 한국수자원공사 수자원시스템 연구소 선임연구원 ( E-Mail : sjlee@kowaco.or.kr )

2) 한국수자원공사 수자원연구원 원장 ( E-Mail : wgkim@kowaco.or.kr )

3) 한국수자원공사 수자원시스템 연구소 책임연구원 ( E-Mail : hwangmh@kowaco.or.kr )

본 연구대상 소유역의 PMP는 「한국 가능최대 강수량도 (2000.6, 건설교통부)」에서 제시한 가능최대강수량도(PMP도)를 이용하여 구한 값과 2002년 8월에 강릉지역에서 발생한 태풍 RUSA에 의한 호우를 수문기상학적 방법으로 전이한 PMP를 비교·검토하여 산정하였고 이 값을 임계지속시간 결정 시 필요한 지속시간별 PMF를 구하는데 사용하였다.

### 2.1.1 PMP도에 의한 PMP 산정

「한국 가능최대 강수량도 (2000.6, 건설교통부)」에서는 최근 10년 동안의 강우자료를 수집 보완하고, 기후변화에 따른 최근 강우 및 기상특성을 고려하여 12년전 건설부(1988)에 의해 작성된 “한국 가능최대 강수량도”를 수정, 보완하고 수문기상학적 방법을 이용하여 면적 25~20,000km<sup>2</sup>, 지속시간 1~72시간에 대하여 전국을 대상으로 PMP도를 작성하였다. PMP도를 이용하여 PMP를 산정하는 방법은 다음과 같다.

PMP는 유역면적 25km<sup>2</sup>~2,000km<sup>2</sup>에 대한 지속시간 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72시간의 PMP도를 기초로 소유역의 위치, 유역면적 및 중심좌표를 결정한 후 대상유역의 중심을 기준으로 면적별, 지속시간별 PMP를 읽었다. 즉 그림5의 연구대상 소유역 중심점 PMP상의 독치값을 기초로 하여 유역면적별 강우깊이-지속시간 포락 및 균일화 곡선을 작성한 후 반대수지상에 도시하여 지속시간별로 강우깊이-면적의 포락 및 균일화 곡선으로 그림 1과 같이 소유역의 PMP-DAD를 작성하였다.

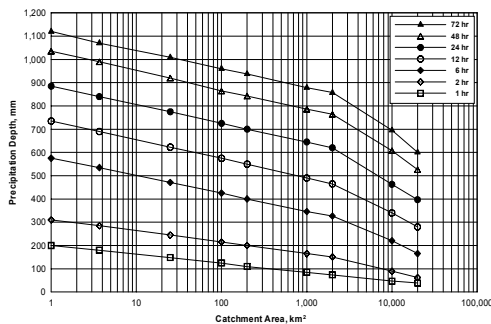


그림 1 소유역의 PMP-DAD

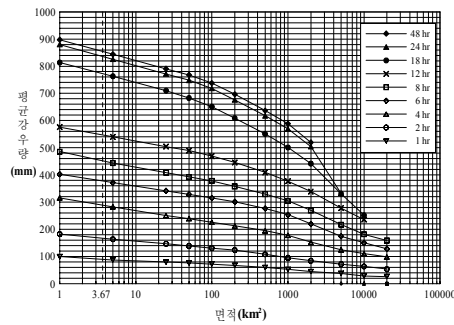


그림 2 강릉 호우의 DAD 분석결과

### 2.1.2 강릉 호우에 의한 수문학적 PMP 산정

2002년 8월 강릉지방의 집중호우에 대하여 “한국수자원학회”가 「2002년 홍수피해의 종합 조사보고서(2002. 10)」에서 제시한 DAD 분석 결과는 다음 그림 2와 같다. 여기에 호우지대의 수분최대화비와 호우지대와 계획지점인 전이지대로의 호우전이비(수평전이비, 수직전이비, 지형영향비 등)를 고려하여 표1과 같이 소유역의 총전이비를 산출하였다.

표 1 강릉호우의 소유역 총전이비

호우기간	수분 최대화비	호우 전 이 비				총전이비
		수평전이비	수직전이비	지형영향비	계	
'02.8.31-9.1	1.290	1.106	1.000	0.859	0.950	1.225

### 2.1.3 PMP 결정

소유역에 대한 PMP 검토는 앞에서 기술한 바와 같이 PMP도를 이용한 방법과 태풍 “루사”시 발생한 강릉지역 호우를 전이하는 방법의 두 가지에 대하여 산정·비교하여 표2와 같이 지속시간별로 큰 값을 PMP로 채택하였다.

표 2 소유역의 지속시간별 PMP

구 분		지속시간별 PMP(mm)								
		1hr	2hr	4hr	6hr	8hr	12hr	18hr	24hr	48hr
PMP	PMP도 이용	180	285	442	535	597	690	778	840	990
	강릉호우 전이	110	208	355	460	558	674	950	1,023	1,048

2.2 유출수문곡선지수(CN)산정

소유역의 유효우량 산정을 위해 S.C.S의 유효우량 산정 방법을 사용하였으며 상기 유효우량 산정 공식에 적용되는 CN값은 1/50,000 축척의 토양도 및 지형도를 이용하여 소유역의 토양종류 및 토지이용상태를 분류하였다. 안전적인 측면을 고려하여 홍수시에는 선형강우로 인하여 유역이 충분히 포화되어 있다고 가정하여 AMC-III 조건의 CN값 76.0을 선정하여 시간분포 강우-유출모형에 적용하였다.

2.3 강우-유출 시간분포모형

본 연구에서는 미계측 유역의 유출량 산정시 국내 실무에서 널리 사용되고 있는 유출모형 합성단위도인 SCS 방법, Nakayasu(중안) 방법과 Clark 방법을 이용하여 설계강우 분포모형 중 Mononobe분포법, Huff 분포법과 IDF곡선분포법을 적용하여 임계지속시간에 대한 시간당 최대강우량을 기왕실측자료와 비교하여 설계홍수량을 산정 시 실제 강우의 변화양상을 반영하는 유출모형의 적합성 정도를 파악하였다. 1988년 건설부에서 발표한 「수자원관리기법 개발연구조사 보고서 (2권, 한국확률강우량의 작성)」에서 포함, 울산관측소의 IDF (Rainfall- Intensity- Duration-Frequency) 관계곡선을 제시하고 있으며, 상기 관계곡선을 이용하여 양지점의 중간 값에 해당하는 IDF 관계곡선을 그림 3과 같이 작성하여 결정된 임계지속시간에서의 시간 최대강우량을 산정하는데 사용하였다.

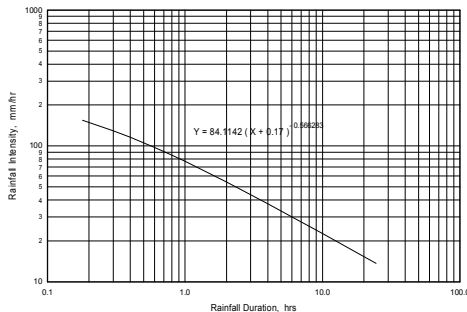


그림 3 소유역의 IDF 관계곡선

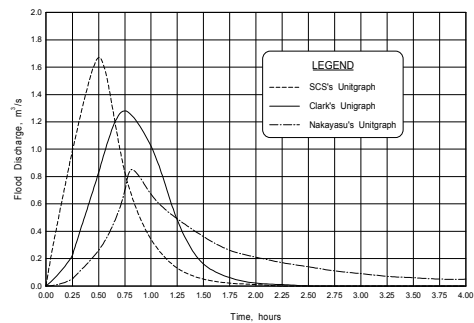


그림 4 단위도(Clark법,Nakayasu법,SCS법)

Huff 방법은 최대 강우강도의 발생 시간을 4구간으로 나누어 각각에 대한 지역별 무차원 우량주상도로 제시하는 방법이며 국내에서는 2000년 6월 건설교통부에서 「한국 가능최대강수량 추정」의 별책 제 2 권 지역적 설계강우의 시간적 분포 편에 기상청 강수량측정지점에 대하여 각 구간별 무차원 누가정보들을 제시하였다. Huff 방법을 적용하기 위한 자료로 소유역 인근 포항관측소의 50% 누가계열치를 사용하였고 이와같은 구간별 지속시간 누가계열치를 이용하였다. 또한 단위도 산정에 있어서 연구대상 지역은 유역면적이 극히 소규모 유역으로 홍수 도달시간이 짧기 때문에 단위도의 단위시간을 0.25시간으로 하여 1mm의 유효우량에 대한 단위도를 그림 4와 같이 구하였다.

## 2.4 임계지속시간 및 PMF결정

소유역에 대해 산정된 임계지속시간 및 지속시간 24시간에서의 홍수량을 Huff 2분위 및 3분위 조건으로 고정하여 24시간에서의 홍수량을 기준으로 임계지속시간에서의 홍수량을 비교 분석하였다. Huff법에서의 첨두홍수량은 1,2,3,4분위별로 차례로 180.0m<sup>3</sup>/s, 164.4m<sup>3</sup>/s, 187.4m<sup>3</sup>/s, 186.9m<sup>3</sup>/s로 제3분위가 가장 큰값을 나타내었다. 단, 본 연구의 결과는 이용 가능한 수문요소 방법 중 일부만을 이용하여 제시된 결과이므로 추후 보다 다양한 방법에 대한 분석 등의 수행을 통해 보다 일반적인 기준의 제시가 가능할 것으로 생각된다. 그리고 본 소유역은 연평균 유출량이 0.065m<sup>3</sup>/s이며 월 최대유출량이 0.82 m<sup>3</sup>/s에 불과한 작은 유량이기 때문에 기저유량을 고려하지 않고 직접유출량을 그대로 PMF로 보았다.

### 2.4.1 지속시간별 PMF에 의한 임계지속시간의 결정

이와 같이 구한 지속시간별 PMF의 첨두홍수량을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. Huff 2분위 시간분포모형 적용시 Clark 단위도법과 Nakayasu방법에서는 각각 첨두유량이 187.3m<sup>3</sup>/s, 139.7m<sup>3</sup>/s로 6시간이 임계지속시간으로 분석되었으며 SCS방법에서는 지속시간 4시간에서 첨두유량이 198.6m<sup>3</sup>/s이었다. Huff 3분위법을 적용하였을 경우 Clark 단위도법과 SCS방법에서 각각 첨두유량이 187.3m<sup>3</sup>/s, 139.7m<sup>3</sup>/s로 지속시간은 4시간이었으며 Nakayasu방법에서는 지속시간 6시간에서 첨두유량이 198.6m<sup>3</sup>/s이었다. 이와같이 강우-유출모형을 구성하는데 각 단위도별로 지속임계시간이 4시간~6시간으로 다르게 나타났는데 이러한 결과를 통해 수문분석시 적정 유출모형 선정의 중요성을 확인할 수 있었다.

또한 그림 5에서와 같이 임계지속시간에서의 홍수량은 24시간 홍수량과 비교하여 1.3배~2.0배정도 큰 값으로 분석되었다.

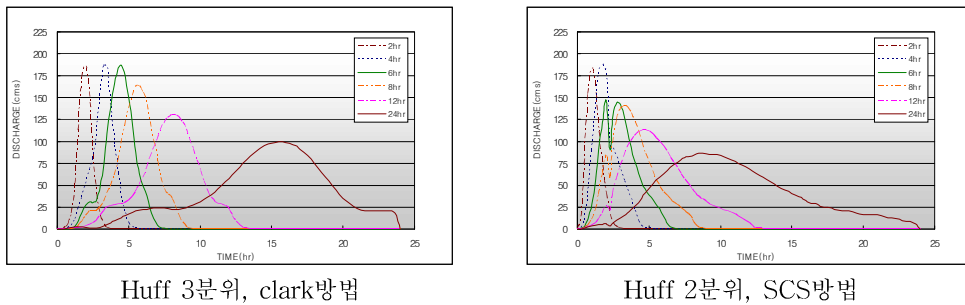


그림 5 Huff 2·3분위법의 임계지속시간별 PMF 수문곡선

### 2.4.2 저수지 홍수추적에 의한 지속시간별 최고수위

저수지로 유입하는 홍수의 수문학적 추적계산은 저류방정식에 의하며 본 연구에서는 수공구조물 설치 많이 적용하는 Modified Puls Method에 의한 저수지 추적방법을 이용하였다.

지속시간별 PMF를 대상으로 저수로 홍수추적을 실시한 결과 다음 표 3에서 보는 바와 같이, PMF의 첨두홍수량은 시간분포모형에서의 분석결과와 같이 임계지속시간이 강우-유출방법별로 4시간~6시간으로 나타난것과 비교하여 저수지 홍수추적 결과는 지속시간 6시간인 경우가 최고수위가 EL.42.69m로 가장 높고 4시간인 경우가 EL.42.64m로 그 다음으로 높게 나타났다. 이는 홍수추적 계산에서 저수지 저류량 및 홍수위는 첨두홍수량의 크기뿐만 아니라 홍수파의 총량에도 영향을 받기 때문이다.

표 3 저수지 홍수추적 결과

강우지속시간 (hr)	PMF 홍수위 (EL.m)	첨두유입량 (m <sup>3</sup> /s)	홍수총량 (천m <sup>3</sup> )	최대방류량 (m <sup>3</sup> /s)	비 고
4	42.64	209.8	1,315	142.4	최고홍수량
6	42.69	187.4	1,645	147.0	최고홍수위

## 2.5 임계지속시간에서의 강우분포별 강우량 비교

임계시간으로 결정된 강우지속시간이 6시간인 강우량 535mm를 적용하여 강우분포 방법별로 15분 단위의 지속시간별 강우량을 산정하고 전 장에서 분석한 여러 유출모형과 비교하여 나타내면 표 4와 같다. 표에서 나타난 바와 같이 Mononobe 공식으로 구한 15분 및 1시간 최대강우량이 각각 185.5mm, 294.4mm로 가장 크고 다음이 I.D.F 곡선식이며, Huff 방법은 가장 작아 15분 및 1시간 최대강우량이 각각 51.69mm, 196.9mm이다. 한편, 우리나라의 1시간 최대강우량은 1998년 7월 31일 순천관측소에서 기록된 145.0mm이며, 소유역의 1시간 PMP는 앞의 표 3 에서와 같이 180mm로 산정되었다. 따라서, 우리나라의 1시간 최대강우량 및 소유역의 PMP 규모를 고려해 볼 때, Mononobe 공식 및 I.D.F 곡선식으로 구한 시간별 강우분포는 실제보다 과다하며, Huff 방법으로 구한 시간별 강우분포가 가장 적합성이 큼을 확인하였다.

표 4 강우분포 방법별 강우량 비교 (임계지속시간  $R_6 = 535\text{mm}$  적용)

구 분	15분 최대강우량	1시간 최대강우량	비 고
Mononobe 공식	185.5 mm	294.4 mm	
I.D.F 곡선식	102.2 mm	228.4 mm	
Huff 방법	51.9 mm	196.9 mm	
국내 기왕최대	-	145.0 mm	순천관측소('98년)

## 3. 결 론

수공구조물 설계 시 가장 중요한 인자 중에 하나는 강우의 지속시간의 결정이라 할 수 있으며, 수공구조물 설계시 임계지속시간결정을 통한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 임계지속시간(6시간) 적용시 시간당 최대 강우량 분석 결과로부터 Mononobe법, IDF곡선분포법에 비해 Huff법(3분위)이 가장 적합도가 큰 것으로 나타났다.
2. 임계지속시간에서의 침투유량을 Huff4분위법과 합성단위도별로 비교·분석한 결과 단위도(Clark방법, SCS방법, Nakayasu 방법)별로 다른 임계지속시간(4시간~6시간)을 나타내고 있으며 이러한 결과를 통해 수문분석시 적정 강우유출모형 선정의 중요성을 확인할 수 있었다.
3. 임계지속시간에서의 홍수량은 단순 24시간 홍수량과 비교하여 1.3배~2.0배정도 큰 값으로 분석되었으므로 수문설계 시 홍수량 뿐만 아니라 임계지속시간 또한 매우 큰 영향을 받고 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

## 參考文獻

1. 尹龍南(1986), “工業水文學”, pp.224-226
2. 건설부(1988). 한국 확률강우량도의 작성, 수자원관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권
3. 전시영(1992). 국내 기존 합성단위유량도의 비교분석. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부, pp. 5-1~5-84.
4. 이재준, 이정식(1999). ‘우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도’, 한국수자원학외논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp.403-415
5. 建設交通部 韓國水資源公社(1999). “慶北東部地球 水原施設 實施設計報告書”, PP.48-158
6. Chen. c.n., Wong, T.S.W.(1994). "Critical Rainfall Duration for Maximum Discharge from Overland Plane: Closure". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 120(12). pp.1484~1486.
11. U.S. Soil Conservation Service(1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. pp.3-1~3-5.
12. Huff, F.A.(1967). 'Time distribution of rainfall in heavy storms.' Water Resources Research, Vol. 3, No.4, pp.1007~1019.