

## 수공구조물 설계를 위한 PMF 및 임계지속시간 분석

### An Analysis of PMF and Critical Duration for Design of Hydraulic Structure

이 상 진\* / 최 현\*\* / 신 희 범\*\*\* / 박 상 길\*\*\*\*

Lee, Sang Jin / Choi Hyun / Shin, Hee beom / Park, Sang Kil

#### Abstract

This study is to analyze the Probable Maximum Flood(PMF) as a part of counterplan for the disaster prevention of hydraulic structures such as dams, according to recent unfavorable weather conditions. During the period of typhoon RUSA in August 2002, the rainfall recorded in Gang-loeng Province was 880mm a day and exceeded the scale of PMP made in 2001. Accordingly, the reconsideration of hydrologic criteria for dam design was inevitable.

In the design of dams for flood controls, the design flood must be determined by introducing the concept of maximum values. When the duration of design rainfall is determined, it needs to use the critical duration which causes the maximum flood by the maximum runoff.

In this study, we investigate the variation of critical duration with hydrologic parameters used in three different synthetic unit hydrographs(Clark, Nakayasu and SCS methods). As a result, the total runoff calculated from 24-hour duration is larger than that calculated from the critical duration. We calculate also the hydrographs with three different time distribution models(Huff's 4-quartile, IDF curve and Mononobe) and compare those with measured hydrograph data. From this comparison, we propose that the Huff's 4-quartile model must be used to obtain the desirable data in the hydrologic design of dams.

**Keyword** : PMP, PMF, critical duration, time distribution model, unit hydrograph

#### 요 지

최근 빈번한 기상이변에 따라 발생하는 자연재해에 대한 방재대책의 중요함이 절실히 요청되는 시점에서 수공구조물들의 설계빈도를 상향조정하는 등의 대책이 마련되고 있는 실정을 고려하여 유역의 수문학적 안정성을 확보하기 위한 최적방안을 마련하는데 필요한 강우의 임계지속시간 결정에 대한 연구를 수행하였다. 특히 2002년 여름 강릉지역에 발생한 태풍 "루사"로 인한 집중호우는 기존 PMP 규모를 초과하는 사상 초유의 24시간 최대 강수량(880mm)을 기록하여 댐설계기준에 대한 재고가 불가피 하게 되었다.

홍수제어를 위한 수공구조물은 그 특성상 계획홍수량 결정에 최대치 개념이 도입되어야 하므로, 설계강우의 지속기간을 결정할 경우 강우로 인한 최대유출과 홍수총량이 최대가 되는 임계지속시간을 이용하여 검토하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 합성단위도(Clark방법, Nakayasu방법, SCS방법)등 각 수문요소에 따른 임계지속시간의 변동양

\* 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원, 선임연구원, 공학박사  
Senior Researcher, Korea Institute of Water & Environment, Daejeon, 305-390. Korea (sjlee@kowaco.or.kr)  
\*\* 정희원 · 부산대학교 공과대학 생산기술연구소 특별연구원, 공학박사  
Researcher, Research Institute of Industrial Technology Pusan National Univ. Pusan. Korea (xhyun@pusan.ac.kr)  
\*\*\* 정희원 · 삼안건설기술공사 수자원사업부 상무  
Executive Manager, Water Resource Team, Saman Eng. Consultants Co. Ltd.  
\*\*\*\* 정희원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수  
Professor, Dept. of Civil Eng., Pusan National Univ., Pusan, Korea (sangkiljpark@pusan.ac.kr)

상을 파악한 결과 24시간 강우지속시간시 총유출량 보다 임계지속시간개념으로 산정한 유출량이 크게 산출되었으며, PMP시 적용된 시간분포모형 (Huff의 4분위법, IDF곡선 분포법, Mononobe방법)별 적합성을 기왕최대 실측치와 비교·평가함으로써 수문설계시 활용 할 수 있는 자료를 제시하고자 하였다.

**핵심용어** : PMP, PMF, 임계지속시간, 시간분포모형, 단위도

## 1. 서 론

자연하천의 제방과 도시구역의 하수관거와 같은 수공구조물은 구조물에 최대 부하를 야기 시키는 상황에 대하여 안정도가 보장되도록 설계되어야 한다. 이와 같은 수공구조물의 설계는 설계강우와 유출량의 재현기간이 동일하다는 가정하에 해당구역에서 강우 유출관계로부터 산정된 침투유량을 통하여 이루어지고 있다.

설계강우량은 과거에 관측된 지점강우량 자료를 가지고 빈도해석을 통하여 구한 확률강우강도식이나 IDF곡선을 이용하여 산정하며, 설계강우의 지속기간은 지속적인 균일 강우가 해당 구역에 내릴 경우 침투유량은 도달시간이후로 변화하지 않으므로 해당 구역의 도달시간과 설계강우의 지속기간은 동일하다는 가정하에서 설계강우의 지속기간을 결정하거나 설계강우의 지속기간을 연장시켜가면서 침투유량의 변화를 산정하고 최대값을 발생시키는 지속기간을 설계강우의 지속기간으로 사용해 오고 있다. 또한, 설계강우의 시간분포는 대상구역의 강우자료로부터 강우지속기간동안 총강우량의 시간적 변화를 통계적으로 분석하여 적합한 시간분포를 결정한다. 그러나 국내에서는 설계강우의 지속기간을 결정하는데 있어 미계측 구역에서의 검증은 통하지 않은 도달시간 산정식의 이용과 최대유량을 나타내는 강우의 지속기간이 도달시간과 큰 차이를 보임으로 인하여 설계강우의 지속기간 결정에 관해서 많은 문제점을 내포 한 채로 적용되어 수문량 산정에 이용되고 있는 실정이다.

설계강우의 시간분포의 경우 우리나라의 강우특성이 반영된 강우 시간분포가 특정지점을 제외하고 전국적으로 적절히 제시되지 못한 상태에서 Mononobe 분포법 등 임의적인 방법을 이용하여 시간구간별로 배분하여 사용하거나 특정 강우사상을 가지고 무차원화하여 실무에서 이용되고 있다.

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. 이에 따라 수문관련의 실무에서도 설계홍수량 산정시 임계지속

시간의 개념이 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, 최고홍수량(홍수총량), 강우시간 분포, 합성단위도법등을 분석에 이용하였다. 이를 통해 각 성분별 영향을 파악하고자 하였으며, 각각의 경우의 수를 모두 고려하여 비교함으로써 임계지속시간에 대한 영향 정도를 분석하였다.

## 2. 강우-유출 분석

### 2.1 분석대상구역의 특성

연구 대상 구역으로 선정한 경북 감포지역의 무명천 유역의 면적은 3.674km<sup>2</sup>로서 전체 유역면적 3.74km<sup>2</sup>의 98%를 차지하고 있으며, 유로연장 역시 4.64km로서 전체 유로연장 4.98km의 대부분을 차지하는 극히 적은 미계측 소유역이다. 유역내에는 하천 상류측에 약간의 농경지만이 위치하고 있을 뿐 대부분 임야로서 가옥 등은 위치하고 있지 않다.

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. 소유역은 서쪽 끝의 봉우리가 발원지로서 가장 높은 고도 EL.306.8m로서 남쪽 및 동쪽으로 갈수록 고도가 낮아지고 있으며 소유역 하류 하상고는 약 EL.8.0m이다. 그림1은 수치지도(DEM)에 의하여 형성된 소유역의 경계와 3차원 음영기복도이며, 소유역의 유역면적 및 유로연장 등 지상학적 인자는 다음 표 1과 같다.

### 2.2 PMP(Probable Maximum Precipitation)의 결정

강우의 임계지속시간의 결정시 필요한 지속시간별 홍수량(Probable Maximum Flood ; PMF)을 산정하기위한

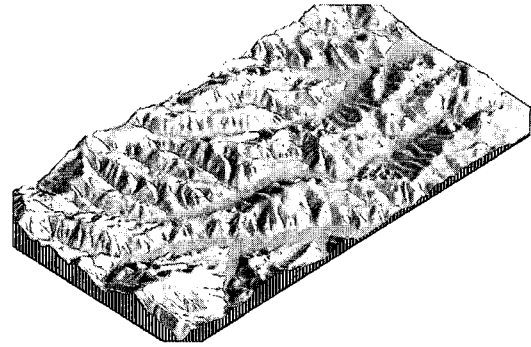
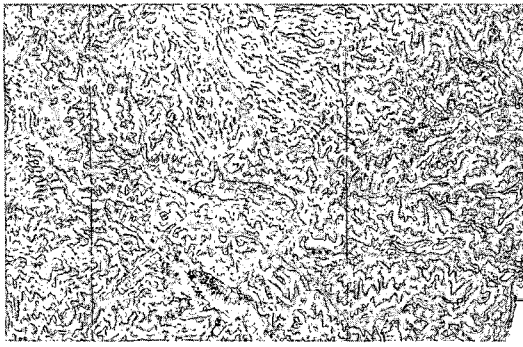


그림 1. 수치지도에 의한 소유역 형상 및 3차원 음영기복도

표 1. 소유역의 지상학적 인자

유역면적(km <sup>2</sup> )	유로연장(km)	유역 평균폭(km)	유역 형상계수	평균유로경사
3.67	4.64	0.79	0.17	0.02

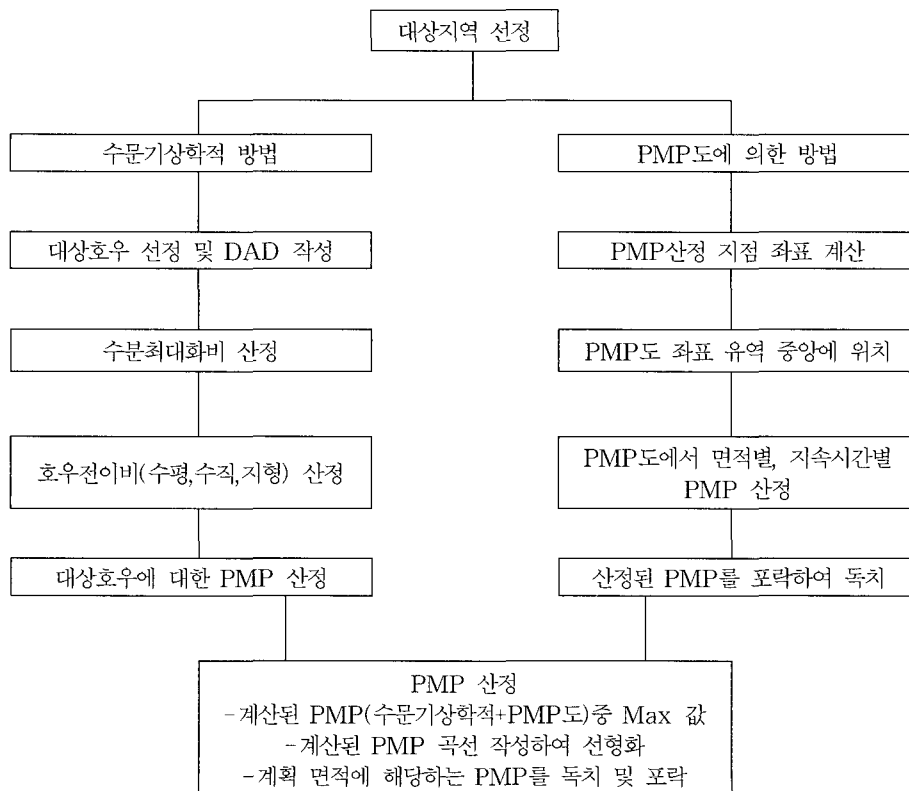
선행 작업으로 가능최대강수량(PMP)을 결정해야 한다.

PMP는 수공구조물의 안정을 위한 여유고 산정시 기준이 되는 중요한 수문량이며 추정방법에는 기왕 최대 강우량으로부터 경험적으로 추정하는 경험적 방법, 대기중의 수분함량을 고려하여 산정하는 수문기상학적 방법 및 과거 발생호우의 극치를 통계적으로 해석하여 추정하는 통계학적 방법 등 3가지가 있다. 이 중 수문기상학적 방법은 기상학적으로 해당 지역의 특성이 잘 반

영되는 장점이 있어 보다 과학적, 합리적인 방법으로 선진외국에서 널리 사용되고 있으며 우리나라에서도 최근 많이 사용하고 있다. 일반적으로 실무에서는 표2와 같이 수문기상학적 방법으로 산정한 PMP와 2000년 6월 건설교통부에서 제시한 가능최대강수량도(PMP도)에서 구한 PMP를 비교하여 적용하고 있다.

본 연구대상 소유역의 PMP는 「한국 가능최대 강수량도 (2000.6, 건설교통부)」에서 제시한 가능최대강수

표 2. PMP 산정 모식도



량도(PMP도)를 이용하여 구한 값과 2002년 8월에 강릉 지역에서 발생한 태풍 RUSA에 의한 호우를 수문기상학적인 방법으로 전이한 PMP를 비교·검토하여 산정하였고 이 값을 임계지속시간 결정시 필요한 지속시간별 PMF를 구하는데 사용하였다.

### 2.2.1 PMP도에 의한 PMP 산정

「한국 가능최대 강수량도 (2000.6, 건교부)」에서는 최근 10년 동안의 강우자료를 수집 보완하고, 기후변화에 따른 최근 강우 및 기상특성을 고려하여 1988년 건설부에 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 연구대상 소유역 중심점 PMP상의 독치값을 기초로 하여 유역면적별 강우깊이-지속시간 포락 및 균일화 곡선을 그림 2과 같이 작성한 후 반대수지상에 도시하여 지속시간별로 강우깊이-면적의 포락 및 균일화 곡선으로 그림 3과 같이 소유역의 PMP-DAD를 작성하였다.

### 2.2.2 강릉 호우에 의한 수문학적 PMP 산정

2002년에 발생한 태풍 루사에 대하여 “한국수자원학회”가 「2002년 홍수피해의 종합 조사보고서(2002. 10)」에서 상세히 분석하였으며, 그 분석 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

2002년 태풍 루사로 인한 호우는 태풍 경로를 따라 집중적으로 발생하였으며, 특히 강릉지역에 기록적인 최대강수량이 발생하였다. 이와 같이 우리나라 사상최대의 강수량을 기록한 강릉지방의 집중호우에 대하여 “한국수자원학회”가 「2002년 홍수피해의 종합 조사보고서(2002. 10)」에서 제시한 DAD 분석 결과는 다음 그림 4와 같다.

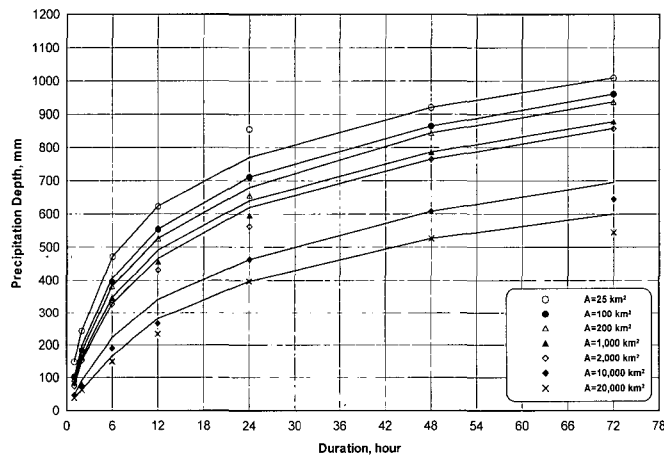


그림 2. 소유역의 강우깊이-지속시간의 포락 및 균일화

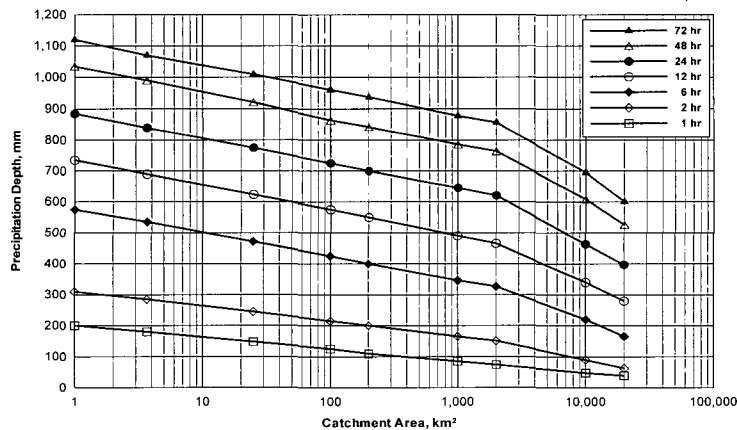


그림 3. 소유역의 PMP-DAD

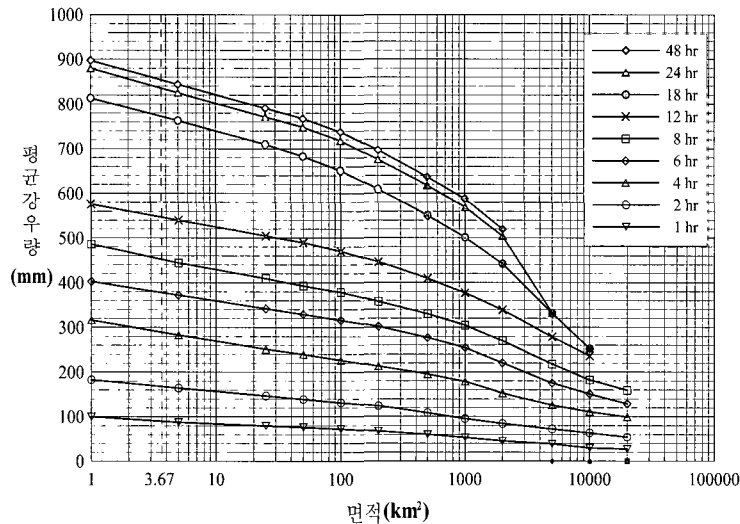


그림 4. 강릉 호우의 DAD 분석결과

2002년 강릉호우의 DAD 분석결과와 강릉지방을 중심으로 「한국 가능최대 강수량도(2000. 6, 건교부)」에서 추출한 PMP 값과 비교한 결과, 지점강우량의 지배면적이 1km<sup>2</sup>로 제한할 경우, 전체적으로 태풍 루사로 인한 호우의 DAD 분석결과가 PMP도에서 추출한 PMP보다 작으며, 지속시간 24시간인 경우 PMP도에 육박하나 초과하지 않는 것으로 나타났다.

수문기상학적인 방법에 의한 PMP는 호우지대의 수분최대화비와 호우지대와 계획지점인 전이지대로의 호우전이비(수평전이비, 수직전이비, 지형영향비 등)를 고려하여 다음과 같은 절차에 따라 산정하였다.

호우지대인 강릉지역의 수분최대화비는 대표이슬점과 최대이슬점에 의한 가장수량 비에 의하여 호우를 극대화하는 것으로, 「2002년 홍수피해 종합 조사보고서(2002. 10, 한국수자원학회)」에서 제시한 결과를 그대로 이용하여 1.290(87.26/67.40)으로 산정하였다.

호우지대와 전이지대인 소유역 지역간의 수평전이비는 호우지대에 대한 전이지대의 가장수량의 비로 정의된다. 여기에 적용된 전이지대인 소유역 지역의 최대이슬점은 「한국 가능최대 강수량도(2000. 6, 건교부)」의 <그림 6.15>의 8월 하순 1000hPa의 지역별 변화도를 이용하여 구하였다.

수평전이비는 소유역지역의 최대이슬점에 대한 가장수량(96.48mm)과 강릉지역의 가장수량(87.26mm)과의 비인 1.106으로 산정하였다.

지형영향비는 호우지대와 전이지대의 100년 빈도 확률강우량의 비로 표시되며, 본 연구에서는 자료의 일관성을 위하여 호우지대(강릉)의 100년 빈도 강우량의 산정방법과 동일한 방법인 평균확률강우량도로부터 구한 값을 적용하여 산정한 지형영향비를 채택하였다.

한편, Miller 등(1984)에 의하면 호우지대와 전이지대의 표고차가 300m 이내일 경우 수직전이비를 사용하지 않았다. 따라서, 본 연구에서도 수직전이비는 1.0으로 적용하였다.

앞에서 수분최대화비 1.290, 수평전이비 1.106, 수직전이비 1.000, 지형영향비 0.859로 산정되었으며, 호우전이비는 수평전이비, 수직전이비, 지형영향비의 곱으로서 0.950이다. 총전이비는 수분최대화비와 호우전이비의 곱으로 표시되며, 다음 표.3에 나타난 바와 같이 강릉호우의 소유역으로의 총전이비는 1.225로 산정하였다.

태풍 루사로 인하여 발생한 강릉지역 호우에 대한 DAD 분석결과로 부터 이 그림에서 소유역면적 3.76km<sup>2</sup>에 해당하는 값을 읽은 후 앞에서 산정한 총전이비 1.225를 곱하여 24시간PMP가 1,023mm로 산정되었다.

표 3. 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

### 2.2.3 PMP 결정

소유역에 대한 PMP 검토는 앞에서 기술한 바와 같이 PMP도를 이용한 방법과 태풍 “루사”시 발생한 강릉 지역 호우를 전이하는 방법의 두 가지에 대하여 산정·비교하였으며, 이 두 가지 방법으로 산정한 지속시간별 PMP 분석결과를 비교하여 나타내면 표 4와 같다. 여기서 「한국 가능최대 강수량도(2000.6, 건교부)」에 제시되지 않은 지속시간에 대한 값은 내삽 또는 외삽으로 구하였다.

표 4에서 나타난 결과를 살펴보면 1시간~12시간의 지속시간에서는 PMP도를 이용하여 산정한 PMP 값이 크게 분석되었으며, 18~48시간의 지속시간에서는 “루사”시의 강릉호우를 전이시켜 구한 PMP 값이 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 2002년 태풍 “루사”로 인한 강릉지방 호우는 지속시간 12시간 이하에서는 기존 PMP 규모보다는 작은 강우량이나, 12시간보다 큰 지속시간에서는 기존 PMP를 능가하는 큰 호우인 것으로 판단된다.

따라서 이러한 분석결과를 감안하여 향후 어떠한 경우에도 수문학적인 안정성을 확보할 수 있도록 소유역의 PMP는 지속시간별로 큰 값을 PMP로 채택하였다. 즉, 12시간 이하의 지속시간별 PMP는 PMP도를 이용하여 산정한 값을 채택하고 12시간보다 큰 경우에는 태풍 “루사”시 강릉호우를 전이하여 산정한 PMP를 채택하였다.

### 2.3 유효우량의 산정

본 연구에서는 유역을 구성하고 있는 토양의 종류, 토지이용 상태 및 선행토양함수조건 등을 고려함으로써 비교적 객관성이 높고 유역의 지상인자의 결정에 계산이 가능한 미국 NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 유효우량 산정 방법을 사용하였으며 상기 유효우량 산정 공식에 적용되는 CN값은 1/50,000 축척의 토양도 및 지형도를 이용하여 소유역의 토양종류 및 토지이용상태를 분류하여 이를 토대로 산정하였으며, 상기 절차에 따라 그림 5와 같이 작성한 토양도 및 토지이용 현황도로부터 소유역의 토양형을 구분하면 대부분 A형으로서 95%를 차지하고 있으며 나머지는 C형이며 B형 및 D형 토양형은 없는 것으로 조사되었다. 또한, 토지이용상태는 대부분 산림지로서 92%를 차지하고 나머지는 논과 밭으로 구성되어 있다.

이와 같은 토양종류 및 토지이용상태를 기초로 산정한 CN(Curve Number)값은 AMC-II의 조건에서 58.0이며 AMC-III 조건에서는 76.0이다. 본 연구에서는 안정적인 측면을 고려하여 홍수시에는 선행강우로 인하여 유역이 충분히 포화되어 있다고 가정하여 AMC-III 조건의 CN값 76.0을 선정하여 시간분포 강우-유출모형에 적용하였다.

표 4. 소유역 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
채택치		180	285	442	535	597	690	950	1,023	1,048

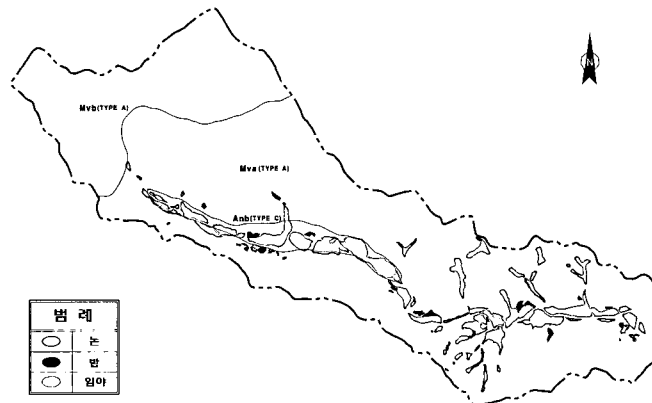


그림 5. 소유역 토양 및 토지이용 현황도

## 2.4 시간분포모형 및 합성단위도의 적용

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.

### 2.4.1 IDF관계 곡선법

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 6과 같이 작성하여 결정된 임계지속시간에서의 시간 최대강우량을 산정하는데 사용하였다.

### 2.4.2 Huff의 4분위법

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 강수량추정지점에 대하여 각 구간별 무차원 누가정보들을 제시하였다.

위의 방법 중 기존의 수문 설계시 많이 적용되었던 Mononobe 분포는 중앙 집중분포형(24시간)으로 적용시 첨두홍수량이 크게 산정되는 경향이 있고, IDF 곡선식을 이용하는 경우도 단위기간당의 강우량을 구하여 시간별로 배분하는 것으로 첨두홍수량이 Mononobe 분포보다는 작으나 Huff 방법보다는 크게 산정되는 경향이

있는 것으로 보고되고 있는 반면, Huff 방법은 최근에 널리 사용하고 있는 방법으로 지역별 강우양상을 어느 정도 잘 반영하여 최근 국내수문해석에 많이 이용되고 있는 것으로 알려져있다.

Huff 방법을 적용하기 위한 자료로 소유역 인근 포항관측소의 50% 누가계열치를 사용하였고 이와같은 구간별 지속시간 누가계열치를 이용하여 다음 그림 7과 같이 무차원 누가우량곡선을 산정하였다.

### 2.4.3 합성단위도 적용

연구대상 지역은 유역면적이 극히 소규모 유역으로 홍수 도달시간이 짧기 때문에 단위도의 단위시간을 0.25시간으로 하여 1mm의 유효우량에 대한 단위도를 그림 8과 같이 구하였다. 즉, Clark법, Nakayasu법, SCS법등 3가지 단위도를 작성하여 시간분포모형에 있어 각각의 영향정도를 파악하였다. Clark의 방법으로 단위도를 유도함에 있어서 필요한 매개변수인 도달시간(Tc)은 소유역에 적합한 Rizha공식에 의하여었으며 저류상수(K)는 Clark공식을 이용하였다.

## 3. 임계지속시간 및 PMF결정

### 3.1 임계지속시간

수공구조물의 설계를 위해서는 해당 수공구조물의 중요도에 따른 설계빈도 및 설계유량, 수위 등의 설정이라는 선행 작업이 우선되어야 한다.

설계빈도는 하천설계기준 등에 제시되어 있는 바와 같이 시설물의 입지조건과 중요도에 따라 설정될 수 있는 기준이 제시되어 있다. 그러나 설계유량은 확률강우량을 기초로 한 설계강우를 확립하고 확립된 설계우량에 의한 유출량의 산정작업이 필요하다. 그러나 이와같은 설계유출량의 산정에 있어서 설계강우의 지속시간

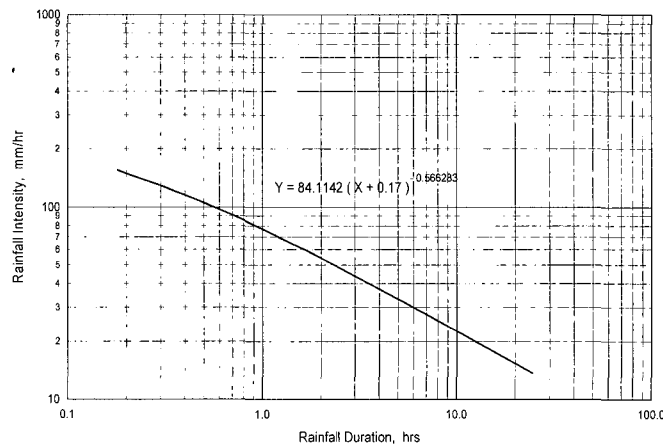


그림 6. 소유역의 IDF 관계곡선

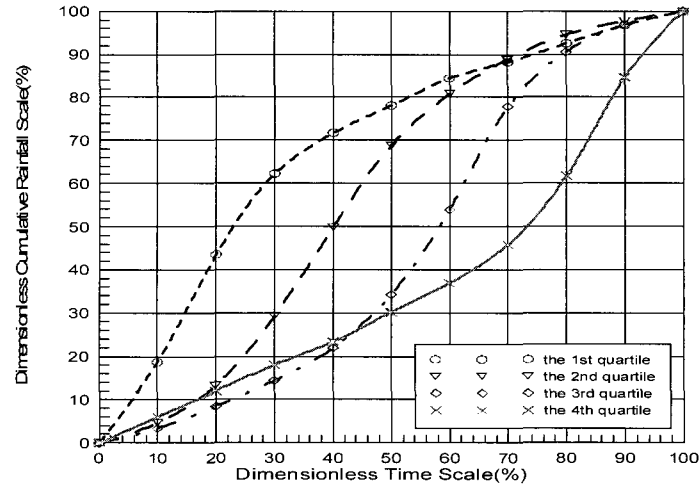


그림 7. HUFF의 4분위 무차원 누기우량곡선

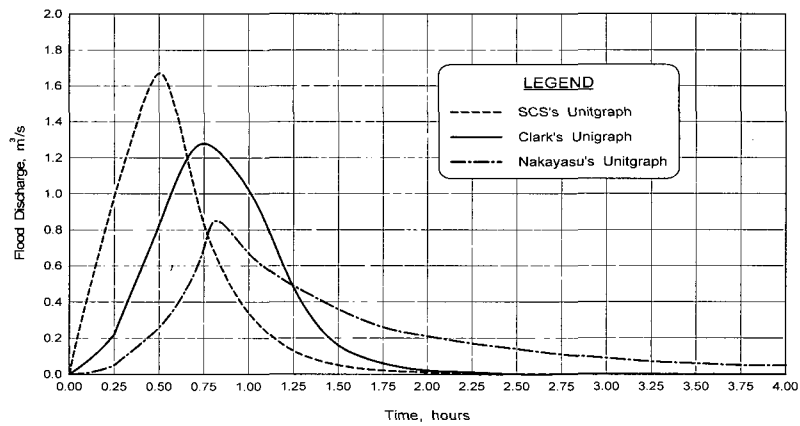


그림 8. 단위도 (Clark법, Nakayasu법, SCS법)

에 따라 동일한 설계빈도의 유출량도 차이가 크게 나타나는 것이 일반적이다. 따라서 설계강우의 지속시간 설정은 매우 중요한 설계인자가 되므로 홍수도달시간과 임계지속시간을 구분하여 분석할 필요가 있다.

종래의 설계강우에 대한 지속시간은 홍수도달시간이라는 개념을 도입하여 설정하여 왔다. 즉, 동일한 강도로 강우가 계속적으로 유역내에 발생한다는 가정하에 유역의 최원점에서 발생한 강우가 유출량으로 변화하여 유역의 최하구부에 도달하는 시간이면 첨두유출량이 발생한다는 물리적인 개념이 홍수도달시간의 개념이기 때문에 치수를 목적으로 하는 수공구조물의 설계인자로서 사용되어 왔던 것이다. 그러나 국내에서 사용되고 있는 홍수도달시간에 대한 공식은 대부분이 외국의 유역에 대한 실험공식이며, 동일한 유역인자에 대해서도 각 공식이 가진 특성에 의해 많은 차이가 나타나는 것이 현재의 실정이다.

Pilgrim(1987)은 첨두유출량 및 홍수수문곡선의 형상이 강우시간분포에 따라 최대 50%까지 편차를 나타내고 있다는 결과를 통해 시간분포의 중요성을 간접적으로 제시한 바 있다. 지금까지 국내 수문실무에서는 설계강우의 지속시간을 1일 또는 24시간으로 고정하여 분석을 수행하여 왔다. 따라서 임계지속시간의 개념을 수문설계에 도입하기 위해서는 먼저 기존 분석방법에 의한 결과와의 비교 분석이 선행될 필요가 있으며, 본 연구에서는 이를 위해 연구대상 소유역에 대해 산정된 임계지속시간 및 지속기간 24시간에서의 홍수량을 비교하여 보았다. 이를 위해 Huff 2분위 및 3분위법 조건으로 고정하여 24시간에서의 홍수량을 기준으로 임계지속시간에서의 홍수량을 비교 분석하였다.

Huff법으로 각 분위별 홍수량을 분석한 결과 첨두홍수량은 1, 2, 3, 4분위별로 차례로 180.0m³/s, 164.4m³/s, 187.4m³/s, 186.9m³/s로 제3분위가 가장 큰 값을 나타내었다.



### 3.2 지속시간별 PMF

본 연구에서는 앞서 결정된 지속시간별 PMP를 토대로 여러 가지 지속시간에 대한 PMF를 산정한 후 소유역에 가장 큰 영향을 주는 강우 임계지속시간에 대해서 분석하였다. 이때 고려된 수문요소는 지속시간별 PMF, 강우시간 분포, 합성단위도법등 3가지 성분을 분석에 이용하였다. 이를 통해 각 성분별 영향을 정량적으로 제시하고자 하였으며, 각각의 경우의 수를 모두 고려하여 비교함으로써 임계지속시간에 대한 영향 정도를 판단하고자 하였다.

지속시간별 PMF는 소유역의 단위도에 지속시간별 PMP의 유효유량을 적용하여 직접유출량을 산정하고 여기에 기저유량을 가산하여 구하게 된다. 그러나 본 유역은 유역면적이 3.67km<sup>2</sup>인 소규모 유역으로 연평균 유출량이 0.065m<sup>3</sup>/s이며 월 최대유출량이 0.82m<sup>3</sup>/s에 불과한 작은 유량이기 때문에 기저유량을 고려하지 않고 직접유출량을 그대로 PMF로 보았다.

### 3.3 지속시간별 PMF에 의한 임계지속시간의 결정

이와 같이 구한 지속시간별 PMF의 첨두홍수량을 분석하여 나타내면 그림 9와 같고 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 임계지속시간에서의 홍수량은 24시간 홍수량과

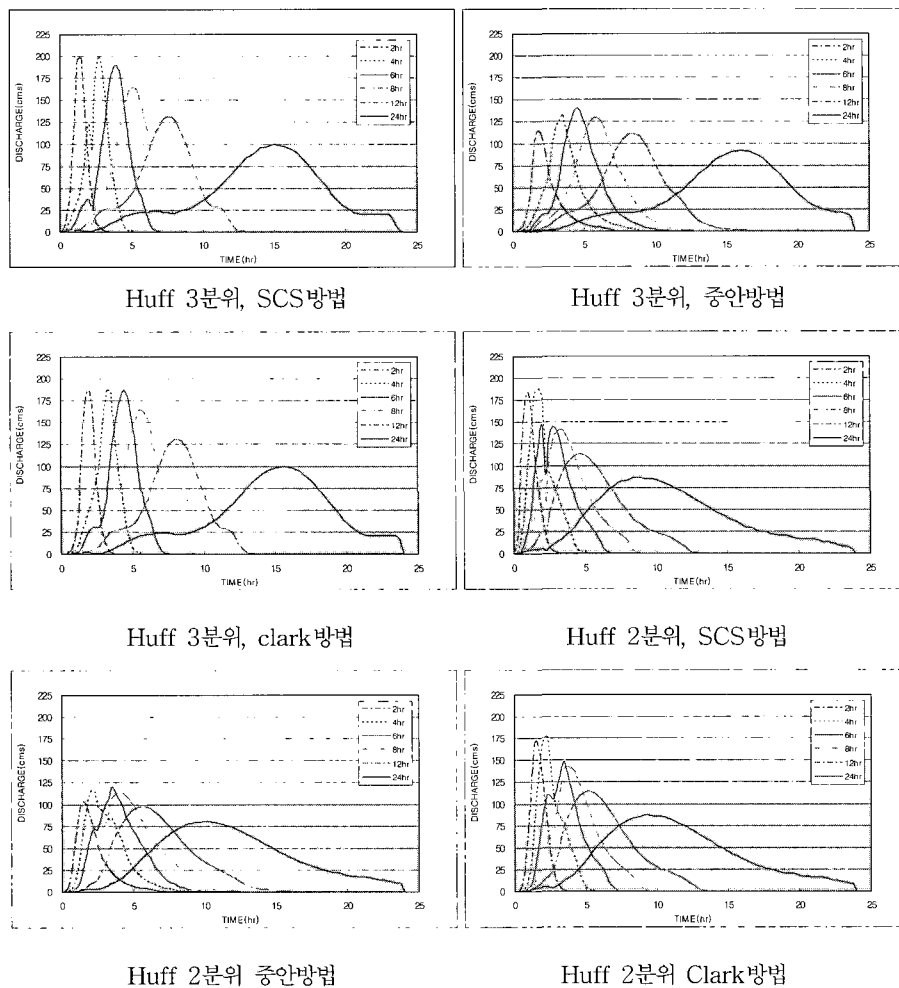


그림 9. Huff 2·3분위법의 임계지속시간별 PMF 수문곡선

비교하여 1.3배~2.0배정도 큰 값으로 분석되었으므로 유역의 안전측을 고려하여 설계강우의 지속기간 결정시 임계지속시간 산정이 유출량분석에 매우 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 저수지 홍수추적에 의한 임계지속시간의 결정

홍수시 유출량의 저류가 목적인 수공구조물 설계시의 임계지속시간 결정을 위하여 다음과 같이 용적이 최대치가 되는 저수지 홍수추적에 의한 임계지속시간을 분석하여 시간분포모형을 사용하여 결정한 첨두유출량 산정시간과 비교·분석하였다.

저수지로 유입하는 홍수의 수문학적 추적계산은 저류방정식에 의하며 동 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 수공구조물 설계시 많이 적용하는 Modified Puls Method에 의한 저수지 추적방법을 이용하였다.

본 연구대상 유역은 유역면적이 작고 급경사 하천으로 홍수파 도달시간이 짧고 첨두홍수량이 크게 발생하

는 유역의 특성을 가지고 있다.

지속기간별 PMF를 대상으로 저수로 홍수추적을 실시한 결과 다음 표 5에서 보는 바와 같이, PMF의 첨두홍수량은 시간분포모형에서의 분석결과와 같이 임계지속시간이 강우-유출방법별로 4시간~6시간으로 나타난 것과 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. 즉, 지속시간 6시간인 PMP의 첨두홍수량은 4시간 경우보다 작을 수도 있지만, 홍수총량이 커서 이로 인한 영향이 더 크기 때문에 홍수위가 높게 나타났다.

이와 같이 가장 홍수위가 높은 지속시간 6시간인 PMF의 홍수추적 결과를 도시하면 그림 10과 같다.

표 5. 저수지 홍수추적 결과

강우 지속기간 (hr)	PMF 홍수위 (EL.m)	첨두 유입량 (m <sup>3</sup> /s)	홍수총량 (water volume)(천m <sup>3</sup> )	최대 방류량 (m <sup>3</sup> /s)	비 고
2	42.00	187.0	761	90.3	
4	42.64	209.8	1,315	142.4	최고홍수량
6	42.69	187.4	1,645	147.0	최고홍수위
8	42.59	163.6	1,874	137.9	
12	42.36	131.3	2,211	118.5	
24	42.09	99.9	3,425	97.0	

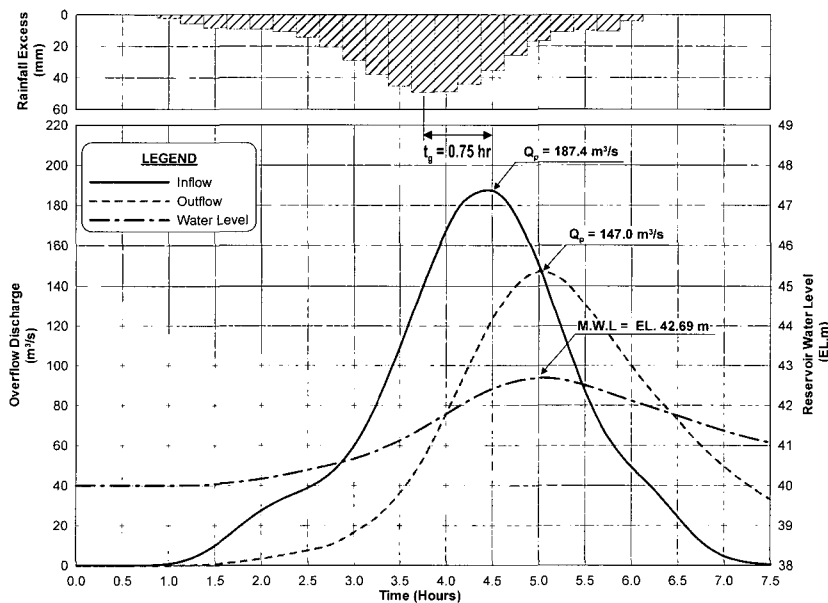


그림 10. 저수지 홍수추적 곡선

### 3.5 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 6과 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.

### 3.6 임계지속시간의 결정

설계강우로부터 예측되는 유역의 침투유출 및 유출 수문곡선은 강우의 지속시간에 따라 변하고, 이에 따라 계획하는 수공구조물에 미치는 영향도 다르다. 따라서, 수공구조물 또는 배수시스템에 가장 큰 부하를 일으키는 지속시간을 임계지속시간으로 채택하는 것이 합리적이다. 수공구조물의 경우에는 설계홍수량 즉, PMF의 침투홍수량 크기와 함께 수공구조물로 유입되는 홍수와 의 총량에 따라서도 수공구조물에 미치는 영향이 차이가 있다. 침투홍수량 및 홍수총량의 변화는 저수지 홍수추적시 홍수위의 차이로 나타나므로 치수목적의 수공구조물 설계에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 이런 점을 고려하여 앞에서 지속시간별 PMF를 대상으로 한 침투유량과 저수지 홍수추적의 시간별 최고수위를 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

앞선 수문 분석결과에서 보는 바와 같이 PMF의 침

투홍수량은 강우-유출모형 및 합성단위도 선택에 따라 임계지속시간이 4시간~6시간으로 차이가 있었지만, 저수지 홍수추적 결과는 지속시간 6시간인 경우가 최고수위로 가장 높게 나타났다.

따라서, 치수목적의 수공구조물 설계를 위한 임계지속시간 결정을 위해 침투홍수량 크기와 홍수추적 결과 가장 높은 홍수위를 나타낸 결과를 비교·분석하여 유역의 강우 임계지속시간을 결정해야 함을 확인하였다.

## 4. 결 론

수공구조물 설계 시 가장 중요한 인자 중에 하나는 강우의 지속시간의 결정이라 할 수 있으며, 본 연구에서는 최근 잇따른 기상이변과 자연재해에 따른 PMP 및 PMF를 산정한 자료를 사용하여 수공구조물 설계인자인 침투유량 결정시 가장 적절하게 구현할 수 있도록 임계지속시간결정을 통해 기존의 24시간 강우지속시간과 비교 적용해 보았으며 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

단, 본 연구의 결과는 이용 가능한 강우-유출 방법 중 일부만을 이용하여 제시된 결과이므로 추후 보다 다양한 방법에 대한 분석 등의 수행을 통해 보다 일반적인 기준의 제시가 가능할 것으로 생각된다.

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(Clark 방법, 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 홍수량뿐만 아니라 임계지속시간 또한 매우 큰 영향을 받고 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

표 6. 강우분포 방법별 강우량 비교 (임계지속시간 R<sub>6</sub> = 535mm 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)

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000). 한국 확률강우량도 작성, 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제1권
2. 건설교통부(2000). 한국 가능최대강수량 추정, 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권
3. 한국수자원학회(2002), 2002년 홍수피해 종합조사 보고서
4. 전시영(1992). 국내 기존 합성단위유량도의 비교분석. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부, pp. 5-1~5-84.
5. 이재준, 이정식(1999). '우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도', **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp.403-415
6. 건설교통부, 한국수자원공사(1999). "경북동부지구 수원시설 실시설계보고서", PP.48-158
7. 이동진(1999), 미계측 유역에서 자연방류형 저류지를 고려한 설계강우의 임계지속시간 산정에 관한 연구, 연세대학교, 석사학위논문.
8. 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.
9. Meynink, W.C.(1976). "Critical Duration of Rainfall for Flood Estimation" *Water Resources Research*. Vol. 12, No.6. pp.1209~1214
10. U.S. Soil Conservation Service(1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. pp.3-1~3-5.
11. Huff, F.A.(1967). 'Time distribution of rainfall in heavy stroms.' *Water Resources Research*, Vol. 3, No.4, pp.1007~1019.

(논문번호:03-98/접수:2003.10.27/심사완료:2004.08.02)