

공간분포에 따른 가능최대강수량의 감소율 분석

Study on Areal Reduction of Probable Maximum Precipitation

김수영*, 허준행**, 이경주***
Sooyoung Kim, Jun-Haeng Heo, Kyungjoo Lee

요 지

2002년의 태풍 루사와 2003년의 태풍 매미 이후 수공구조물의 설계기준에 대한 관심이 커지고 있는 가운데, 댐 설계기준인 가능최대강수량 및 가능최대홍수량 산정의 일관성에 대한 문제가 제기된 바 있다. 그러나 이러한 문제들은 우리나라의 전반적인 기후, 강수형태, 지형 등을 종합적으로 고려하고, 장기간에 걸쳐 진행되어야 할 연구로 단기간 내의 분석을 통한 해결책 제시는 어렵다고 할 수 있다. 본 연구에서는 가능최대강수량의 공간분포 시 등우선 배치에 따른 가능최대강수량의 면적별 감소율을 분석하여 제시하고자 한다. 이를 위해 우리나라의 대표 유역인 한강 유역, 낙동강 유역, 금강 유역의 수자원단위유역을 기준으로 유역면적과 배치된 등우선 면적간의 차에 대한 가능최대강수량의 감소율을 분석하였다. 이때 대상유역별 가능최대강수량은 국토해양부에서 제공하는 가능최대강수량도에서 값을 읽었고, 가능최대강수량의 포락방법에 따라 기존 방법 및 Horton 경험식과 spline식을 이용하는 경우로 구분하여 공간분포 방법을 적용하였다. 그 결과 기존에 사용하고 있는 포락방법을 적용하여 가능최대강수량을 산정한 경우에는 한강, 낙동강, 금강 유역의 지속기간 별 면적차에 대한 감소율을 회귀식의 형태로 도출할 수 있었으나, Horton 경험식과 spline 방법을 이용하여 포락을 수행한 경우에는 PMP의 감소량 및 감소율은 지속기간, 면적차 또는 면적차비율에 대해 뚜렷한 경향성을 나타내지는 못하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 가능최대강수량, 공간분포, 감소율 분석

1. 서론

2002년의 태풍 루사와 2003년의 태풍 매미 이후 이상홍수에 대한 관심이 높아진 가운데, 홍수조절과 관련하여 수공구조물 중 가장 큰 역할을 담당하고 있는 댐의 수문학적 안정성 검토가 2004년에 수행된 바 있다(한국수자원공사, 2004). 이때 21개 댐 중 대곡댐과 용담댐을 제외한 19개의 댐에 대해 여유고 부족 및 월류 가능성 등이 제기되면서 댐의 치수능력증대사업이 진행되기 시작했고, 최근 들어서는 댐 설계기준인 가능최대강수량 및 가능최대홍수량 산정의 일관성에 대한 문제가 제기되어 이에 대한 연구가 진행되기도 하였다(KDI, 2007). 이와 같은 가능최대강수량 및 가능최대홍수량 산정에 대한 여러 연구를 통해 나타난 주요 문제점으로는 가능최대강수량도의 이용 또는 수문기상학적 방법의 적용의 불일치, 가능최대강수량의 포락과 공간분포시 등우선의 배치에서 발생하는 임의성, 가능최대홍수량 산정을 위한 시간분포와 단위도 선정, 단위도의 매개변수 보정 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 문제들은 우리나라의 전반적인 기후, 강수형태, 지형 등을 종합적으로 고려하고, 장기간에 걸쳐 진행되어야 할 연구로 단기간 내의 분석을 통한 해결책 제시는 어렵다고 할 수 있다. 본 연구에서는 가능최대강수량의 공간분포 시 등우선 배치에 따른 가능최대강수량의 면적별 감소율을 분석하여 향후 가능최대강수량의 공간분포 과정에서 참고가 가능한 면적대비 감소율을 제안하고자 한다.

* 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정, E-mail : sykim79@yonsei.ac.kr

** 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수, E-mail : jhheo@yonsei.ac.kr

*** 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정, E-mail : leekj@yonsei.ac.kr

2. 가능최대강수량의 포락방법

기존 가능최대강수량의 포락(envelopment)은 면적과 지속기간에 대해 시행착오법(trial and error method)을 통해 수행되었다. 다시 말해서, 지속기간-강우량은 전대수지(log-log paper), 면적-강우량은 반대수지(semi-log paper)를 이용하여 포락을 실시하게 되는데, 본 연구에서는 기존의 방법과 함께 면적-강우량 관계 산정시 Horton 경험식, 지속기간-강우량 관계 포락시 spline 곡선을 이용하는 방법을 비교 검토하였다.

2.1 Horton 경험식

Horton은 다음과 같은 강우량-면적곡선을 제시하였다(윤용남, 2007).

$$P_m = P_0 e^{-kA^n} \quad (1)$$

여기서 P_m 은 면적이 A인 지역에 일정 지속기간 동안 내린 평균우량(mm)이며, P_0 는 P_m 과 동일한 지속기간 동안 기지의 면적에 내린 우량(mm)을 나타낸다. 또한 k와 n은 호우특성 등에 따라 결정되는 상수이다.

본 연구에서는 댐 유역면적을 기준으로 가장 가까운 크기를 가지는 면적에 대해 PMP도에서 독치한 값을 P_0 로 간주하고, 여러 기지값들을 이용하여 k와 n을 추정하였고, P_0 에 따른 k와 n이 결정된 후, 특정 댐유역 면적에 대한 강우량 값 P_m 을 다음 식을 이용하여 산정한다(국토해양부, 한국수자원공사, 2008).

$$\frac{P_m}{P_0} = e^{-kA^n} \quad (2)$$

2.2 Spline 방법

Spline 방법에는 1차, 2차, 3차 다항식을 이용하는 경우와 허미트 다항식을 이용하는 베지에르 곡선(Bezierr curve), 카디날 스플라인 곡선(cardinal curve), 베지에르 곡선방법을 좀 더 일반화한 B-스플라인 곡선 등 다양한 방법이 있다. n개의 자료를 보간하기 위해 일반적으로 (n-1)차 다항식까지 사용할 수 있으나 다항식을 이용하는 경우 반올림오차와 진동으로 인하여 오차가 발생할 가능성이 커지므로 자료들의 부분집합에 3차의 다항식을 소구간별로 적용하여 오차를 감소시킬 수 있으며 이런 방법으로 연결되는 다항식을 스플라인 함수라고 한다. 이 중에서 3차 스플라인은 가장 널리 사용되고 있는 스플라인 방법으로 3차 스플라인은 두 자료점 사이의 각 구간에 대해 식 (3)과 같은 일반적인 3차 다항식을 유도한다(한국수자원공사, 2008).

$$S_i = a_i + b_i(x-x_i) + c_i(x-x_i)^2 + d_i(x-x_i)^3 \quad (3)$$

3차 다항식을 이용하는 경우 n개의 자료 사이에 n-1개의 구간이 존재하고, 4(n-1)개의 다항식 계수를 추정해야 하기 위해 4(n-1)개의 조건들이 필요하다. 다항식의 계수 추정을 위한 일반조건은 함수가 모든 점을 통과하고, 주어진 점에서 접하는 두 함수가 1차 도함수와 일치해야 한다는 것이고, 그 외의 조건으로는 첫 번째와 마지막 자료점의 2차 도함수를 0으로 가정하는 것을 들 수 있다.

또한 스플라인의 수학적 정의는 구간을 나누어 구간마다 적절한 3차 다항식을 유도하여 일정한 제약조건 아래 연결한 곡선이므로 3차 다항식끼리 매끄럽게 연결될 수 있도록 서로 만나는 두 다항식의 1계 도함수가 연속성을 가져야 한다는 제약조건이 적용된다. 스플라인을 이용한 곡선은 2개의 점 사이마다 각각 적합한 3차 다항식의 곡선을 전체자료를 이용하여 추정하고 이렇게 구간마다 추정된 곡선식을 이어서 구성한 복합곡선(composite curve)이다. 따라서 각 구간의 곡선들을 연결할 때 1계 및 2계 미분값이 연속성을 가지도록 하는 제약조건을 충족시키면서 유도하여야 하는 특징이 있다(한국수자원공사, 2008).

3. 공간분포에 따른 감소율 분석

본 연구에서는 가능최대강수량의 공간분포시 발생하는 면적별 감소율을 분석하여 제시함으로써 가능최대강수량의 공간분포시 가능최대강수량의 감소율의 폭을 조정할 수 있도록 하고자 한다. 이를 위해 우리나라의 대표 유역인 한강 유역, 낙동강 유역, 금강 유역의 수자원단위유역을 기준으로 유역면적과 배치된 등우선 면

적간의 차에 대한 가능최대강수량의 감소율을 분석하였다. 각각의 대상구역의 가능최대강수량은 “전국 PMP도 제작성 보고서(건설교통부, 2004)”에서 제공하는 가능최대강수량도에서 값을 읽었고, 공간분포는 “전국 PMP도 제작성 보고서(건설교통부, 2004)”에서 제시하는 방법론을 적용하였다. 각각의 구역에 대해 면적과 PMP의 관계를 구역면적과 등우선 면적차(Area diff.(km²))에 따른 가능최대강수량 감소율(PMP diff.(%))로 구분하여 정리하였으며 이들 식은 식 (4)~(5)와 같다.

$$\text{Area diff. (km}^2\text{)} = \text{등우선 면적 (km}^2\text{)} - \text{구역면적 (km}^2\text{)} \quad (4)$$

$$\text{PMP diff. (\%)} = \frac{\text{공간분포 전 PMP (mm)} - \text{공간분포 후 PMP (mm)}}{\text{공간분포 전 PMP (mm)}} \times 100 \quad (5)$$

3.1 가능최대강수량의 감소율 분석

기존의 방법을 사용하여 포락 및 공간분포를 수행한 후의 면적차에 대한 가능최대강수량의 감소율을 각각의 대상구역에 대해 나타내면 그림 1과 같다. 한강구역의 경우 지속기간별 가능최대강수량 감소율의 차이가 면적차에 대해 큰 차이가 없는 것으로 나타남에 따라 해당 지속기간에 대해서는 면적차에 따른 PMP 감소율의 영향이 거의 비슷하다고 할 수 있으며 지속기간의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 이와 같은 경향은 한강구역 뿐만 아니라 낙동강, 금강 구역에서도 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

Horton 경험식과 spline 방법을 이용하여 산정한 결과는 그림 2와 같다. 그림 2를 통해 살펴보면, 한강구역 뿐만 아니라 낙동강, 금강 구역에서도 그림 1과는 달리 면적차에 대한 PMP의 감소율은 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 가능최대강수량의 포락에 있어 Horton 경험식과 spline 방법을 적용한 경우 공간분포에 따른 가능최대강수량의 감소율은 지속기간, 면적차 또는 면적차비율에 대해 뚜렷한 경향성을 나타내지는 못하는 것으로 판단된다.

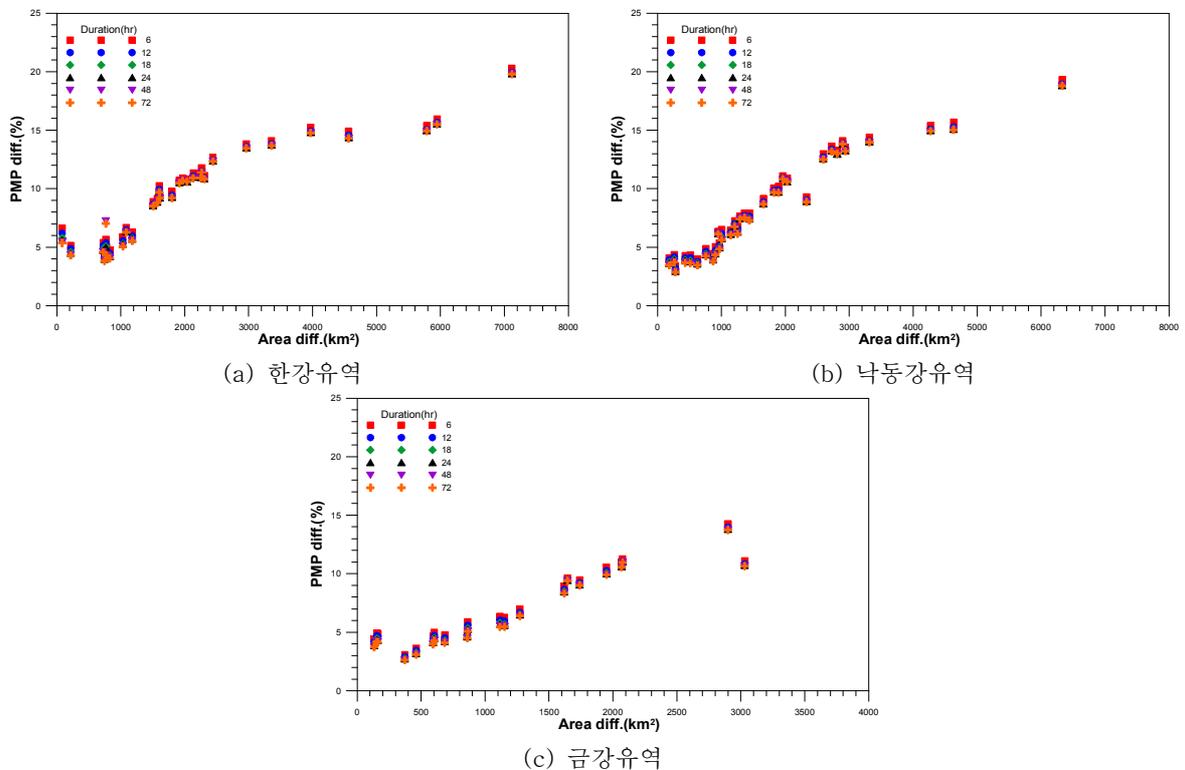


그림 1. 구역면적-등우선 면적차에 대한 PMP 감소율(기존 방법)

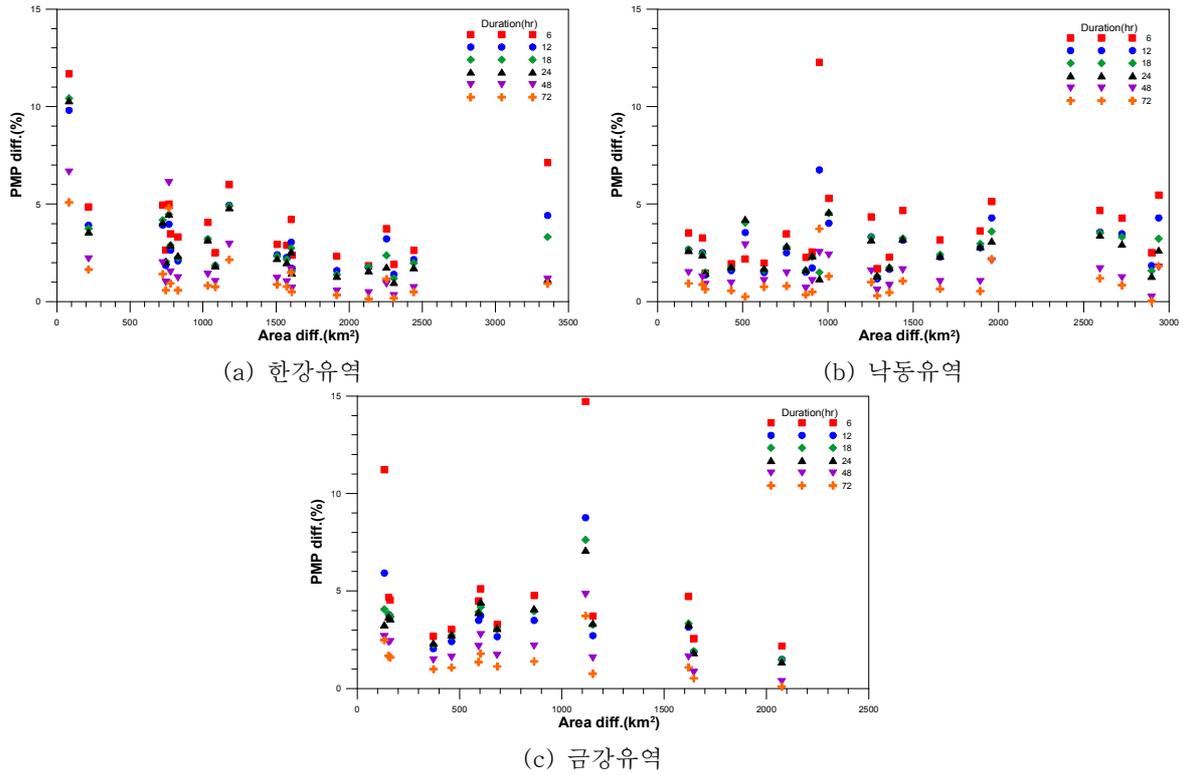


그림 2. 유역면적-등우선 면적차에 대한 PMP 감소율(Horton, spline)

3.2 가능최대강수량 감소율에 대한 회귀분석

그림 1에 나타난 지속기간별 면적차에 대한 감소율에 대해 다양한 형태의 회귀식을 적용한 결과를 정리하면 표 1과 같다. 표 1의 결과에 의하면 한강유역과 낙동강유역의 경우 3차 다항식이 가장 높은 상관계수를 보이는 것으로 나타났으나, 2차 다항식의 경우도 지속기간별 상관계수가 3차 다항식과 비교하여 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 한강과 낙동강 유역에 대해서는 회귀식의 효율성을 고려하여 변수가 적은 2차 다항식을 선정하였으며, 금강의 경우는 3차 다항식을 최종적으로 선정하였다. 각각의 유역에 대한 회귀결과는 그림 3과 같다.

표 1. 지속기간별 회귀식에 대한 상관계수

유역	지속기간(hr)	선형함수	로그함수	지수함수	2차 polynomial	3차 polynomial
한강	6	0.861	0.698	0.684	0.913	0.918
	12	0.858	0.703	0.688	0.912	0.918
	18	0.854	0.712	0.697	0.913	0.920
	24	0.852	0.717	0.703	0.914	0.921
낙동강	6	0.917	0.842	0.897	0.964	0.964
	12	0.915	0.840	0.893	0.962	0.962
	18	0.912	0.841	0.895	0.961	0.961
	24	0.910	0.842	0.895	0.960	0.960
금강	6	0.897	0.671	0.690	0.897	0.962
	12	0.895	0.666	0.688	0.895	0.963
	18	0.896	0.668	0.693	0.897	0.966
	24	0.896	0.669	0.695	0.896	0.966

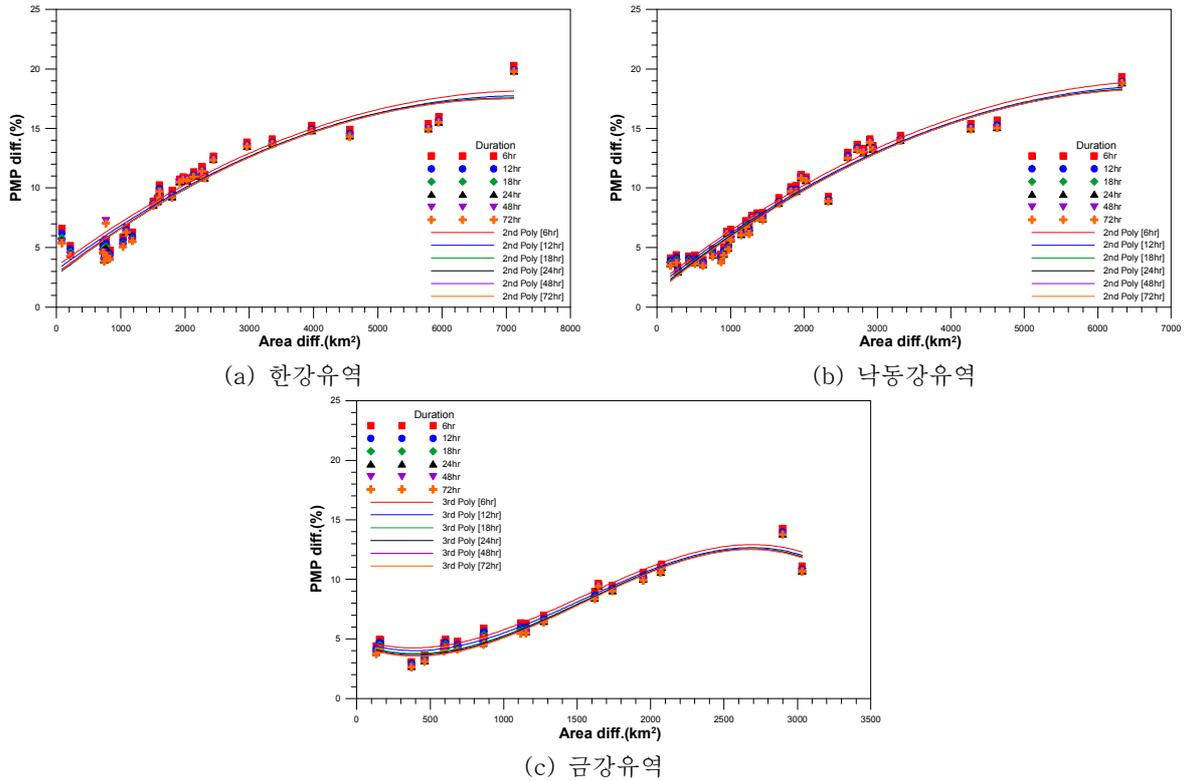


그림 3. 유역면적-등우선 면적차에 대한 PMP 감소율에 대한 회귀분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 가능최대강수량의 공간분포 시 등우선 배치에 따른 가능최대강수량의 면적별 감소율을 제시하고자 한강유역, 낙동강유역, 금강유역의 수자원단위지도 상의 단위유역에 대해 가능최대강수량의 공간분포를 수행하였고, 유역면적-등우선 면적 간의 차에 대한 가능최대강수량의 감소율을 분석하였다. 분석 결과, 기존의 포락방법을 적용하였을 경우에는 면적차가 증가할수록 감소율이 증가하는 것으로 나타났으나 Horton 경험식과 spline 방법을 적용한 경우는 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 기존의 포락방법을 적용하였을 경우의 가능최대강수량의 감소율을 회귀분석하여 제시하였다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2004). 전국 PMP도 재작성 보고서.
2. 한국개발연구원(KDI) (2007). 댐 설계기준의 적정성 검토 - PMP 및 PMF 산정을 중심으로-.
3. 한국수자원공사 (2004). 댐의 수문학적 안정성 검토 및 치수능력증대 기본계획수립 보고서. 건설교통부.
4. 한국수자원공사 (2008). PMP 및 PMF 산정절차 지침 수립. 국토해양부.