

한강유역의 면적감소계수 산정

정종호¹⁾, 나창진²⁾, 김종훈³⁾, 윤용남⁴⁾

1. 서론

현재 설계홍수량 산정에는 강우-유출 모형이 주로 사용되고 있으며 이러한 강우-유출 모형의 입력인자인 확률강우량은 입력인자의 분석시 가장 선행되어야 하는 인자이며 또한, 설계홍수량에 직접적인 영향을 미치는 가장 중요한 인자중의 하나이다.

한강유역과 같은 대유역을 대상으로 강우량자료의 빈도해석을 통한 확률강우량 산정시 필요한 강우자료는 24시간, 48시간 등 임의시간 동시간 연최대강우량 자료이며, 유역내에 여러 관측소가 존재할 경우 Thiessen 방법 등으로 가중평균한 동시간 면적강우량의 연최대치 계열을 작성하고 이를 빈도해석한 면적확률강우량을 사용함이 원칙이다.

현재 우리나라의 경우에는 1일, 2일 등 고정시간 연최대강우량 자료를 주로 사용하고 있으며 또한, 각 관측소별로 발생일자가 다른 비동일발생일 지점강우량 연최대치 계열을 사용하여 지점확률강우량을 산정한 후 이를 Thiessen 방법 등으로 가중평균화한 확률강우량을 면적확률강우량으로 사용하고 있는 실정이다.

하지만, 이와 같은 임의시간 면적확률강우량을 해당 과업별로 각각 산정한다는 것은 대단히 번잡스러운 것이 사실이다. 따라서, 임의시간 면적확률강우량을 산정하는 번거로움 없이, 통상 산정하는 고정시간 지점확률강우량에서 바로 임의시간 면적확률강우량으로 환산할 수 있는 면적감소계수 (areal reduction factor)의 필요성이 대두된다.

2. 기준 면적감소계수

일정 면적을 가진 유역의 전반에 걸쳐 균일한 강우가 발생할 경우는 대단히 드물며 일정한 강우지속기간 동안 우량깊이는 호우중심지역으로부터 멀어질수록 점차 감소하며 평균 우량깊이 (rainfall depth)는 유역에 내린 총우량을 유역면적으로 나눈 등가 우량깊이(mm)를 의미하므로 호우 중심점으로부터 면적이 증가함에 따라 등가우량깊이는 점점 작아지며 강우강도 또한 감소하게 된다.

강우의 공간분포 및 이동 등에 의하여 유역 전반에 걸쳐 동시간에 동일한 형태로 발생하지 않는 상태에서 관측소를 기준으로 최대치 발생시의 강우량인 지점강우량(point rainfall)은 유역평균의 최대치 발생시의 면적강우량(area rainfall) 보다 당연히 높게 산출되게 된다.

이와 같은 이유로 어떤 유역에 내린 강우의 평균 우량깊이는 우량계에 의해 측정되는 점우량과는 크기가 다르므로 해당 유역내의 우량계에 의하여 측정된 점우량으로부터 유역평균우량인 면적우량을 산정하는 것이 필요하다.

1) 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 박사과정

2) 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

3) 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 부교수

4) 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

면적확률강우량은 유역내 여러 관측소의 동시간 임의시간 강우량자료를 이용하여 면적우량을 산정한 후 이를 빙도해석을 수행하는 절차로 산정하여야 하나, 우리나라와 같이 동시간 임의시간 강우자료 수집이 곤란할 경우 다른 대안을 강구하여야 한다.

유역내에 여러 관측소가 존재할 경우의 유역평균 확률강우량을 산정함에 있어서, 각 관측소별로 확률강우량을 산정한 후 이를 Thiessen 방법 등으로 가중평균한 확률강우량은 지점평균확률강우량의 개념이나 이를 면적확률강우량으로 사용하고 있는 경우가 많은데 이는 명백한 오류이므로 개선이 필요한 설정이며, 이와 같은 지점평균확률강우량과 면적확률강우량의 비가 일종의 면적감소계수(areal reduction factor, ARF)이다.

면적감소계수 관한 기존 연구를 살펴보면 「한국확률강우량도의 작성(1988.12, 건설부)」에서 24시간 강우의 $1,000\text{km}^2$ 에 대한 면적감소계수를 0.944로 제시하고 있으나 48시간 강우에 대해서는 언급되지 않았으며, 제시된 면적감소계수도 적용 대상면적이 $1,000\text{km}^2$ 이하이므로 대유역에는 적용이 곤란하다.

면적감소계수 적용에 관한 기준을 살펴보면 「하천시설기준(1993, 건설부)」과 「하천설계기준(2000, 한국수자원학회)」에서는 “해당 유역이 면적감소계수에서 제시된 유역면적($1,000\text{ km}^2$) 보다 크고 확률강우량도에서 충분할 정도의 등우선이 지나거나 다수의 지점확률강우량을 얻을 수 있을 경우에는 Thiessen 가중법 또는 등우선법을 이용하여 면적확률강우량을 얻을 수 있다”라고 기술하고 있다. 하지만, 확률강우량도나 지점 빙도해석에 의한 확률강우량의 평균은 단지 지점확률강우량의 평균일 뿐이며 이는 동시간 강우에 의한 감소가 전혀 고려되지 못하므로 면적확률강우량에 비하여 과다 산정되게 하며 또한 면적이 증가할 수록 차이가 많이 발생하게 되는 문제점을 지니므로 적용할 수 없다.

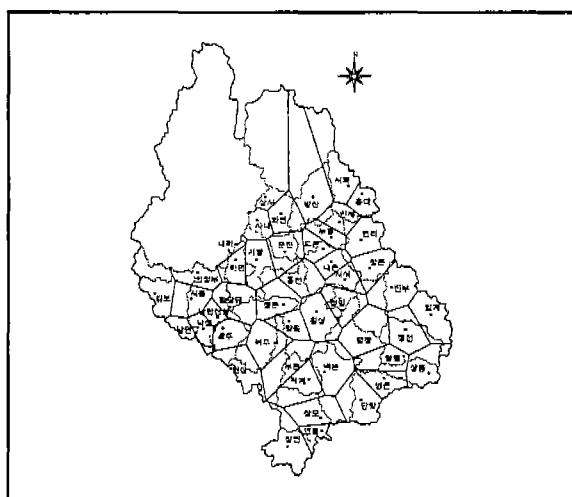
또한, “ $1,000\text{km}^2$ 이상의 대유역에는 확률홍수량보다 큰 표준홍수량(standard project flood, SPS)이나 가능최대홍수량(probable maximum flood, PMF)을 적용하는 것이 바람직하다”라고 기술되어 있지만 현실적으로 한강과 같은 대유역의 하천의 경우에도 설계빈도가 200년 이하임을 감안할 때 이러한 기준의 도입은 현실적으로 곤란한 설정이다.

3. 면적감소계수 산정

3.1 대상유역 선정 및 우량관측망

대상유역은 한강유역을 선정하였으며, 한강유역의 확률강우량 산정에 필요한 우량관측소는 자료를 30개년 이상 보유 유무와 위치 등을 고려하여 한강 전체(임진강 제외)에 걸쳐 46개소를 선택하였으며, 관측소별 자료년수를 일치시킬 수 있는 기간인 32개년(1966~1997)의 연최대강우량을 분석 대상으로 하였다.

한편, 한강유역의 우량관측소, Thiessen 망은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 한강유역의 우량관측소 및 티센망도

3.2 임의시간 연최대치 강우자료 계열 작성

현재 우리나라의 경우 빈도해석에 충분한 임의시간의 동시간 강우량 자료의 수집이 곤란하므로, 임의시간의 동시간 연최대 면적강우량 계열을 작성하기 위해서 먼저 해당 유역의 관측소별 동일발생 일 1일, 2일 강우량에 상류 전체유역의 Thiessen 가중치를 곱하여 산출된 면적강우량이 가장 큰 강 우 계열을 수집하였다. 이렇게 수집된 동일발생일 1일, 2일 연최대 면적강우량은 고정시간 강우량이 모로 수문분석에 필요한 임의시간 24시간, 48시간 강우량으로 환산하는 절차가 필요하게 된다.

고정시간 강우량을 임의시간 강우량으로 환산하는 기준 연구를 살펴보면 「한국화를강우량도의 작성(1988.12, 건설부)」에서 1일 강우량과 임의시간 1440분과의 관계는 우리나라의 경우에는 1.161배를 제시하였으며 미국 기상청의 Hershfield(1962)는 1.13배를 제시하였다. 그러나 이는 단일 관측소에 해당하는 계수이며 2일을 임의시간으로 환산할 수 있는 계수는 언급되지 않고 있다.

수문분석에는 1일, 2일 등과 같은 고정시간이 아닌 24시간, 48시간 등과 같은 임의시간 강우량을 사용하여야 하며 또한, 고정시간 강우량보다 임의시간 강우량이 크므로 어떤 방법을 강구해서라도 임의시간 강우량을 사용하여야 한다. 그러므로 우리나라와 같이 지속기간 24시간, 48시간 강우량 등과 같은 임의시간 강우량자료의 수집이 곤란한 경우에는 수집 가능한 1일 2일 강우량 등과 같은 고정시간 강우량자료를 임의시간 강우량자료로 변환하는 과정이 반드시 필요하다.

따라서, 수집할 수 있는 실측자료로부터 동일발생일 고정시간 면적강우량과 동시간 임의시간 면적강우량의 비율을 산출하고 이를 산술평균한 후 실측자료는 그대로 사용하고 실측자료가 없는 경우에는 고정시간 면적강우량에 산술평균한 비율인 환산계수를 곱하여 임의시간 면적강우량으로 변환하는 방법을 채택하였다.

상기와 같은 방법을 이용하여 고정시간 강우량을 임의시간 강우량으로 변환하는 환산계수의 산정 결과는 <표 1>과 같고, 동 표를 살펴보면 동일발생일 1일을 동시간 24시간으로 변환하는 환산계수는 1.084~1.133, 동일발생일 2일을 동시간 48시간으로 변환하는 환산계수는 1.034~1.063의 범위를 나타내고 있다.

<표 1> 고정시간에서 임의시간 강우량으로 변환시 환산계수

유 역	24hr/1day	48hr/2days	비 고	
			건설부	미국 기상청
소양강댐	1.084	1.038	1.161 (24hr/1day)	1.13 (24hr/1day)
화천댐	1.090	1.034		
춘천댐	1.133	1.044		
의암댐	1.120	1.053		
충주댐	1.124	1.063		
남한강	1.099	1.052		

본 연구에서는 <표 1>에서 의암댐 전체유역을 대상으로 산출된 환산계수인 동일발생일 1일을 동시간 24시간으로 변환시에는 1.120, 동일발생일 2일을 동시간 48시간으로 변환시에는 1.053을 채택하고 이를 한강 전체유역에 대하여 동일하게 적용하였다.

따라서, 상기와 같은 방법을 사용하면 비교적 수집이 용이한 동일발생일의 고정시간 1일 및 2일 강우량 자료를 이용하여 동시간 24시간 및 48시간 강우량 자료를 전체 관측년에 대하여 작성하는 것이 가능하게 되며, 이에 따라 면적확률강우량 산정에 필요한 동시간 임의시간 24시간 및 48시간 강우량 자료 계열이 작성되는 것이다.

3.3 소유역별 지점 및 면적확률강우량 산정

확률강우량 산정시 확률분포형의 매개변수 추정 방법으로는 모멘트법(MOM), 최우도법(ML), 확률가중모멘트법(PWM) 등을 사용하였다. 이와 같은 세 가지 방법중 우리나라에는 관측년수가 짧아 자료수가 충분하지 못하므로 모멘트법의 경우 이상치에 지나치게 민감한 문제를 지니며, 최우도법은 수렴 문제와 자료수가 불충분할 경우 효율성이 낮은 문제점을 지니므로 자료수나 이상치에 왜곡특성이 크게 나타나지 않는 확률가중모멘트법을 사용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

또한, 확률분포형은 Log-Normal 분포(LN2P, LN3P), Gamma 분포(GAM2P, GAM3P), Log-Pearson Type-III 분포(LP3P), Gumbel(GUM), Generalized Extreme Value(GEV) 분포 등을 사용하였다.

기존 χ^2 검정, K-S 검정 방법 등을 이용한 적합도 검정 결과를 살펴보면 대부분의 확률분포형이 검정을 통과하게 되므로 검정 후 채택 대상으로 남는 확률분포형이 많은 설정이며 검정 결과를 토대로 적정 확률분포형을 채택하는 것이 쉽지 않다. 이에 따라 적정 확률분포형의 선정은 분포형을 잘못 가정했거나 자료에 오류가 있음에도 불구하고 원래의 특성을 얼마나 잘 유지하는가(robustness)로 나타내는 것이 타당하다는 정의(WMO, 1989)에 따라 Robustness 검정을 실시하였지만 이 방법도 한강유역의 적정분포형의 정확하게 제시하지는 못하는 것으로 나타났다.

따라서, 매개변수 추정방법은 확률가중모멘트법, 분포형은 건교부에서 추천한 바 있는 Gumbel 분포(Gumbel-Chow)를 채택하여 한강유역의 46개 우량관측소의 지점확률강우량과 소유역별 면적확률강우량을 산정하였으며 이를 토대로 면적감소계수를 산정하기로 하였다.

3.4 면적감소계수 산정

면적확률강우량은 유역내 여러 관측소의 동시간 임의시간 강우량자료를 이용하여 면적우량을 산정한 후 이를 빙도해석을 수행하는 절차로 산정하여야 하나, 동시간 임의시간 강우자료 수집이 곤란할 경우는 실제 적용 가능한 면적감소계수를 다음과 같이 산정하여야 한다.

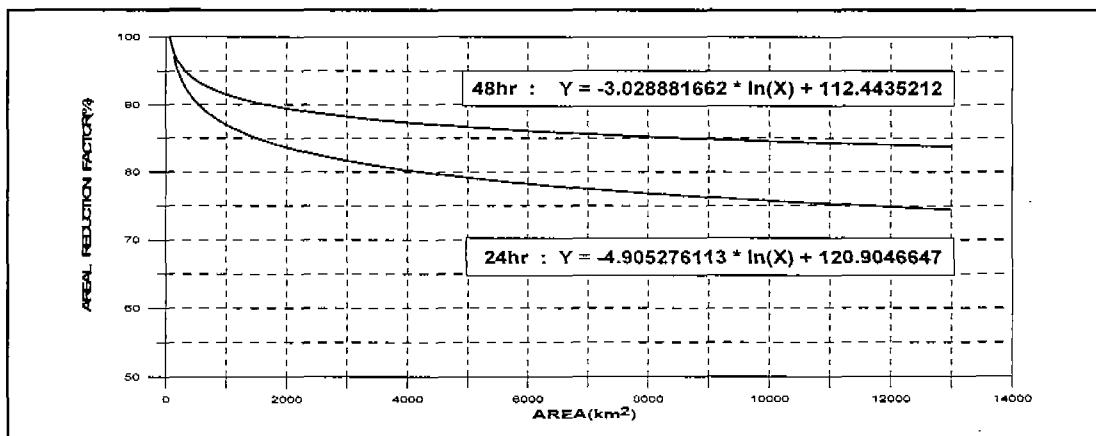
- ① 유역내 각 관측소별 비동일 발생일 고정시간 1일, 2일, 연최대강우량을 빙도해석하여 지점확률강우량을 산정하고 이를 Thiessen 가중평균하여 지점평균확률강우량을 산정한다.
- ② 유역내 각 관측소별 동시간 임의시간 24시간, 48시간 연최대강우량을 Thiessen 가중평균하여 하나의 자료계열을 만든 후 이를 빙도해석하여 면적확률강우량을 산정한다.
- ③ 전체 유역에 대하여 강우특성이 동일하다고 간주할 수 있는 경우에는 상기에서 산출된 면적확률강우량을 그대로 사용하면 된다. 하지만, 빙도해석의 통계처리 과정에서 유역면적 증가에 따른 면적감소계수의 감소가 약간의 편차를 가지므로 일관성이 확보되지 않는 문제점과 전체유역의 면적확률강우량을 하나로 산정하더라도 유역면적이 커서 소유역을 다수 포함하고 있고 소유역별 강우특성이 동일하지 않는 경우 면적확률강우량을 전체유역에 동일하게 적용하는 것은 무리가 있는 문제점 등이 발생한다.
- ④ 따라서, 여러 유역별 면적확률강우량과 지점평균확률강우량의 비로 유역별 면적감소계수를 각각 산정한 후 이와 같은 유역면적-면적감소계수 관계를 회귀분석 등에 의해 적합시켜 일관성이 있는 면적감소계수를 작성한다. 이와 같이 산출된 면적감소계수를 소유역별 지점평균확률강우량에 곱하여 소유역별 강우특성을 고려한 면적확률강우량을 산정한다.

상기 ③ 과정에서 산출되는 각 소유역별 면적감소계수는 <표 2>와 같고, 상기 ④ 과정에서 ③ 과정에서 산출된 각 소유역별 면적감소계수를 회귀분석한 결과는 <그림 2>와 <그림 3>과 같다.

<표 2>

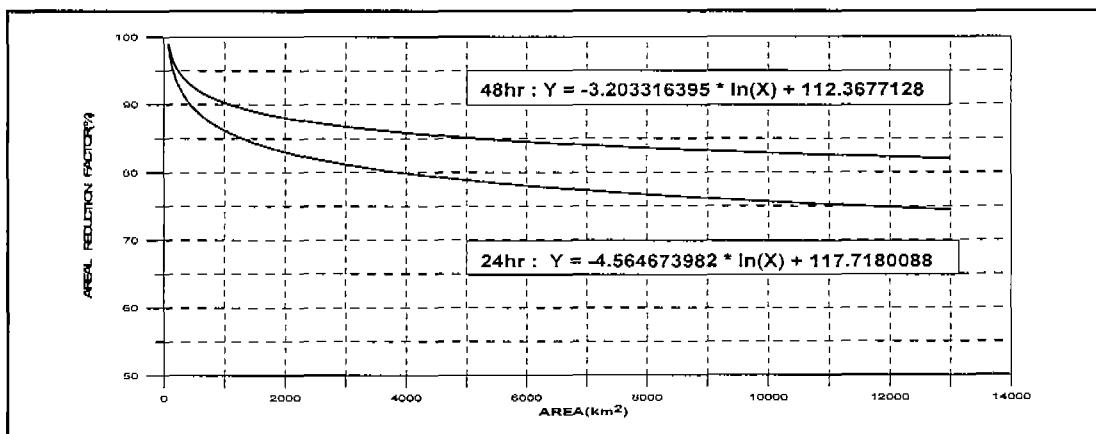
소유역별 면적감소계수

Area (km ²)	Gumbel-Chow(MOM)		Gumbel-Chow(PWM)	
	24hr ARF	48hr ARF	24hr ARF	48hr ARF
26	100.0	100.0	100.0	100.0
710	92.9	99.6	92.8	97.1
741	87.7	92.6	85.5	92.4
1,050	81.9	84.7	83.2	86.0
2,703	88.1	92.2	85.8	87.3
2,788	79.5	85.1	79.9	85.2
4,092	85.6	86.0	85.2	84.3
4,176	83.4	92.7	81.0	89.8
6,648	82.1	85.2	83.7	87.1
7,851	77.6	86.4	77.2	83.1
8,772	73.0	80.1	75.2	82.1
10,761	79.3	90.2	75.7	83.3
12,990	61.1	79.1	61.9	78.0



<그림 2>

면적감소계수 곡선식(Gumbel-Chow, MOM)



<그림 3>

면적감소계수 곡선식(Gumbel-Chow, PWM)

4. 결 론

현재 대유역의 면적확률강우량 산정시 지점평균확률강우량을 면적확률강우량으로 사용하거나 지점평균확률강우량에 도출 과정상 적용하기 곤란한 기존 면적감소계수를 곱하여 면적확률강우량으로 산정하고 있는 실정이므로 이에 대한 대안을 제시하고자 하였으며 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- ① 대유역의 확률강우량은 반드시 지점평균확률강우량이 아닌 면적확률강우량을 적용하여야 한다.
- ② 면적확률강우량을 산정하기 위해서 직접 임의시간 동시간 연쇄대치 강우자료 계열을 사용하여 빈도해석을 실시할 필요가 있으며, 빈도해석의 통계처리 과정에서 유역면적 증가에 따른 면적 감소계수의 감소가 약간의 편차를 가지므로 일관성이 확보되지 않는 문제점과 전체유역의 면적확률강우량을 하나로 산정하더라도 유역면적이 커서 소유역을 다수 포함하고 있고 소유역별 강우특성이 동일하지 않는 경우 면적확률강우량을 전체유역에 동일하게 적용하는 것은 무리가 있는 문제점 등이 발생하는 점을 고려할 필요가 있다.
- ③ 따라서, 여러 유역별 면적확률강우량과 지점평균확률강우량의 비로 유역별 면적감소계수를 각각 산정한 후 이와 같은 유역면적-면적감소계수 관계를 회귀분석 등에 의해 적합시켜 일관성이 있는 작성된 면적감소계수를 적용하여 면적확률강우량을 산정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설부(1988), 수자원관리기법개발연구조사보고서: 제2권 한국확률강우량도의 작성, 한국건설기술연구원
- 건설부(1993), 하천시설기준
- 한국수자원학회(2000), 하천설계기준,
- D. M. Hershfield(1962) *Extreme Rainfall Relationships*, Journal of Hydraulic Division, Proceedings of American Society of Civil Engineers, No. Hy6, pp. 73~92
- WMO(1989) *Statistical Distribution for Flood Frequency Analysis*, WMO Operational Hydrology Report No. 33