

설계호우의 공간분포 분석 방법

Analysis Method for Spatial Distribution of Design Storms

김남원*, 원유승**
Nam Won Kim, Yoo Seung Won

요 지

일반적으로 설계호우(확률강우량, PMP 등)는 유역중심에서의 추정되고, 이 값을 유역의 평균강우량으로 이용한다. 그러나, 실제호우는 유역의 형상에 대해 지속기간 동안 균일하게 발생하지 않으며, 이러한 현상을 분석에 적절히 고려하기 위해서 호우의 공간분포에 대한 분석이 필요하다. 또한 유역면적이 크고, 소유역으로 분할된 중·대규모 유역조차도 균일한 설계호우 값을 적용함으로써 평균강우량 및 출력 값을 과대하게 산정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 설계호우의 공간분포를 기왕의 실제호우로부터 가상호우의 형태를 가정하였으며, 이 가상호우의 형태에 따라 설계호우를 대상유역에 공간분포시켜 평균강우량을 재산정하는 절차를 예를 들어 상세히 기술하였다.

핵심용어 : 설계호우, 공간분포, 유역형상, 가상호우, 확률강우량, PMP

1. 서론

설계호우의 공간분포는 대상유역의 설계호우를 지속기간별로 추정했을 때, 그 유역에 걸쳐 설계호우를 어떻게 분포시키느냐는 문제이다. WMO(1986)에서는 한 개의 호우만을 이용하여 설계호우를 공간분포시키는 것을 권장하지 않는데, 그 이유는 설계유역내 작은 면적에서 최대강우깊이를 발생하는 호우는 계획유역 전체에 대해 최대강우깊이를 발생하는 호우와 다르며, 큰 면적을 지배하는 호우형태와 방위가 작은 면적의 호우형태와 방위와 완전히 다르기 때문이다.

일반적으로 강우깊이-면적 관계의 산정은 storm-centered 방법과 fixed-area 방법을 이용하여 추정되는데 PMP의 추정에서는 storm-centered 방법이 이용된다. storm-centered 방법으로 추정된 설계호우는 유역중심이 아닌 호우중심으로 추정되기 때문에 유역형상에 따른 호우형상 및 호우의 방위를 고려하여 공간분포를 수행하여야 한다. 우리나라의 경우, 일반적으로 호우의 진행방향은 태풍의 경우 남에서 북 또는 북동으로 이동하고, 저기압의 경우는 서에도 동으로 이동한다. 그러나 이러한 호우의 이동성향은 일정치 않으며, 호우의 이동방향과 호우형상 또한 완전히 일치하지 않는다. 즉, 호우의 방위는 호우원인 및 호우의 진행방향, 위치에 따라 매우 복잡하게 변화하고, 이러한 변화로부터 호우의 방위를 설정하는 것은 쉽지 않기 때문에 본 고에서는 설계호우의 공간분포 적용시 임의의 방위로 호우가 발생할 수 있다고 가정하였다.

2. 설계 호우의 공간분포

2.1 관측호우의 호우형상

건설부(1988)에 의하면 관측호우의 형상을 파악하기 위해 PMP 추정에 고려된 호우를 중심으로 전 호우형을 타원형이라 가정하여, 각 호우에 따른 타원형의 단축과 장축의 비인 호우형상비를 조사하였다. 관측호

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : yswon@kict.re.kr

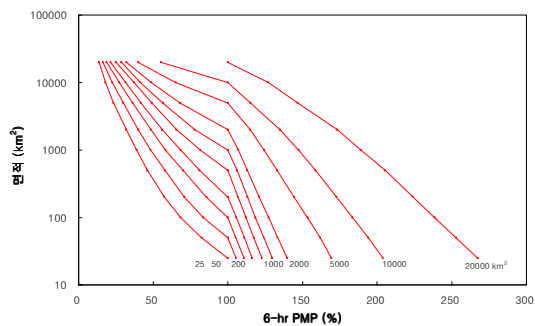
우의 호우형상비를 조사한 결과 약 70%가 1:2 또는 1:3을 나타내었고, 특히 40 % 이상이 1:2를 나타내었다. 이로부터 면적이 감소함에 따라 호우형상이 원형에 가까운 경향이 있지만, 전체적인 경향을 고려할 때 가장 합리적인 호우형상비가 1:2임을 제시하였고, 본 연구에서도 가상호우의 형상비를 1:2로 가정하였다.

2.2 설계호우의 공간분포 방법

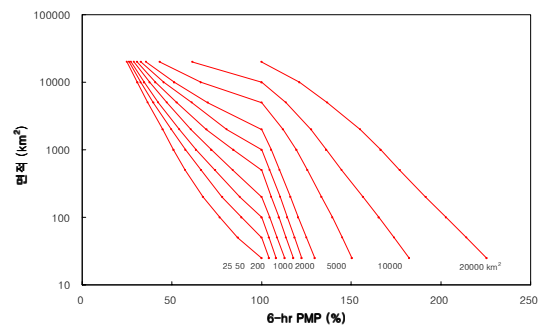
설계호우를 공간분포 시키는 방법은 크게 관측호우형과 가상호우형 두 가지가 있다. 관측호우형은 관측호우형과 관측 DAD를 이용하여 PMP를 공간분포시키는 방법으로 호우발생지역과 대상구역의 지역이 비슷한 호우를 선정하여 "sliding 기법"을 이용하여 호우형을 최대화시킨다. 두 번째 방법인 가상호우형은 전 절에서 조사된 호우형상비로 가정된 가상호우와 관측 DAD 관계를 이용하는 방법으로 유역 전 지속기간에 대한 PMP-DAD 값이 한 호우로 발생할 수 있다고 가정하는 방법이다. 두 방법 중 설계호우를 공간분포시키기 위해 주로 이용되는 방법은 두 번째 방법으로 6시간 증분의 within/without-storm 곡선과 PMP 도면으로부터 추출한 또는 DAD 관계를 수분최대화시켜 대상유역에 전이시킨 PMP-DAD 관계로부터 산정된다.

2.3 within/without-storm 곡선

within/without-storm 곡선을 작성하기 위해서 전국적으로 일반화된 PMP도를 작성할 때 이용된 호우의 DAD 관계가 이용된다. 건교부(2000)에서는 일반화된 PMP도를 작성하기 위해 약 130여 개의 호우가 이용되었고, 각 호우의 DAD 관계를 수분최대화시켜 12×12km의 격자에 전이시킨 후, PMP도를 작성하였다. 본 연구에서는 2002년 태풍 루사의 DAD 관계를 포함하여 각 격자점에서 수분최대화되고, 전이된 PMP-DAD의 약 10% 이내의 범위에서 영향을 준 호우를 6시간 간격으로 추출한 다음, 강우깊이-면적 관계를 고려하여 within/without-storm 곡선을 작성하였다(그림 1 참조). 이때 이용된 호우는 6시간 증분에 대하여 각각 29개(0-6hr), 22개(6-12hr), 20개(12-18hr), 16개(18-24hr)이다. 이로부터 그림 1에 제시된 within/without-storm 곡선을 작성하는 일반적인 절차는 각각 선정된 6시간 증분의 호우에 대하여 25 km²의 DAD 값을 기준으로 100 km², 200 km², ..., 20,000 km²의 DAD 값을 25 km²의 DAD 값으로 나눈다. 100km², 200km²에 대해서도 똑같은 절차로 선정된 각각의 호우에 대해 비율을 산정한 후, 이를 평균한다. 이 평균된 곡선이 within/without-storm 곡선이며, 본 고에서는 within/without-storm 곡선이 PMP-DAD 관계를 위배하는 일이 발생하지 않도록 약간 조정하였다. 이러한 관계를 유도할 때 6시간 증분이 이용된 이유는 6시간 증분의 PMP 값이 면적규모에 따른 강우깊이의 감소가 가장 크기 때문이며, 6시간 증분을 24시간까지 이용하는 이유는 24시간까지의 PMP 값에서 18시간까지의 PMP 값을 뺀 4번째 6시간 증분의 변화가 거의 일정하고, 이후의 6시간 증분 역시 일정하기 때문이다(Hansen et al., 1982).



(a) 첫 번째 6시간 증분



(b) 2번째 6시간 증분

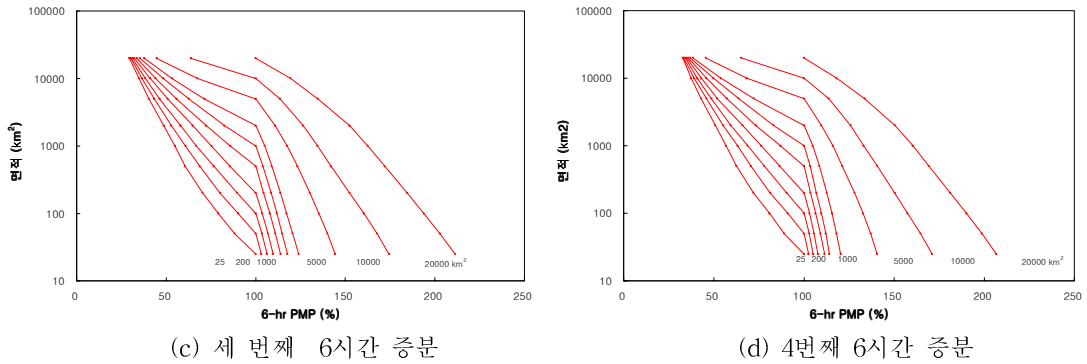


그림 1. within/without-storm 평균곡선

2.3 표준 등우선 면적

건교부(2000)에서 제시된 대표 유역면적은 25, 100, 200, 1,000, 2,000, 10,000, 20,000 km²이며, 대표 지속기간은 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간이다. 대표 유역면적은 대수지상에서 대략 등간격이 되도록 선정되었는데, 이는 포락과 일관성 유지과정 또는 임의 면적과 지속기간의 PMP-DAD 값을 추출할 때, 대수지상에서 선형으로 내삽하기 때문이다. 대상유역에 대표 유역면적만을 이용하여 가상호우를 공간분포 시킬 때, 가상호우가 유역형상을 적절히 반영하지 못하는 문제가 발생하므로 대상유역의 면적규모와 형태를 적절히 반영하고, 대수지상에서 개략적으로 등간격을 유지하하는 표준 등우선 면적을 새로이 선정할 필요가 있다. 본 연구에서 이용한 표준 등우선 면적은 대표 유역면적을 30개로 세분한 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1,000, 1,250, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, 5,000, 6,000, 8,000, 10,000, 12,500, 15,000, 20,000 km² 이다. 대표 지속기간 역시 가상호우를 공간분포 시킬 경우 6시간 증분의 PMP-DAD 값이 필요하므로 18시간에 대한 PMP-DAD 값이 내삽되어야 하고, 모든 표준 등우선 면적에 대한 6시간 증분의 PMP-DAD 값이 대수지상에서 선형으로 내삽되어야 한다.

3. 설계호우의 공간분포 적용 절차

설계호우를 공간분포시키기 전에 추정된 설계호우를 포락시키는 또는 지속기간별로 일관성을 유지시키는 작업이 선행되어야 한다. PMP-DAD의 포락에 대한 자세한 사항은 건설부(1988)과 건교부(2000)에 수록되어 있으며, 추가적으로 6시간 증분 PMP-DAD 값 역시 일관성을 유지시켜야 한다. 이로부터 PMP-DAD 관계의 일관성이 유지되면, 그 다음의 단계로 가상호우를 대상유역에 공간분포시키고, 표준 등우선 면적별 가상호우의 평균강우량(PMP-DAD 관계로부터 내삽된 값)으로부터 가상호우의 등우선별 강우량을 산정한다(역 DAD). 다음으로 가상호우와 대상유역의 중첩면적과 가상호우의 등우선별 강우량으로부터 평균강우량을 재산정하여 대상유역의 평균강우량을 결정한다.

[단계 1] 6시간 증분의 PMP와 포락

- 1) PMP도(건설교통부, 2000)로부터 DAD 자료 추출한다.
- 2) 1)에서 추출한 DAD 자료를 반대수지 또는 대수지상에 도시하고 포락한다.
- 3) 대상유역의 면적을 충분히 포함할 수 있는 즉, 대상유역 면적을 기준으로 적어도 4개 정도의 면적규모에 대하여 DAD 값을 추출한다(표 1 참조).
- 4) 3)에서 선정된 각 면적규모에 대해 대수지에 강우깊이-지속기간 자료를 적어도 48시간까지 도시하고 6시간 간격의(예를 들어, 6시간, 12시간, 18시간, 24시간)의 PMP-DAD 값을 내삽한다.
- 5) 4)에서 산정된 각 6시간 간격의 PMP-DAD 값을 연속감산하여 3개의 6시간 증분, 즉 0에서 6, 6에서 12, 12에서 18시간에 대한 증분을 구한다. 또한 자료의 일관성을 유지하기 위해 smoothing 한다.

표 1. 지속기간별 면적별 PMP

(단위 : mm)

지속기간 면적(km ²)	1	2	4	6	8	12	18	24	48	72
25.0	161	254	398	506	592	736	926	1012	1172	1270
50.0	148	237	374	476	558	695	876	961	1119	1215
57.5	146	234	370	470	553	687	866	951	1108	1204
100.0	139	223	353	447	524	656	826	910	1065	1163
200.0	127	209	333	423	493	619	778	861	1012	1108

[단계 2] 가상 호우의 등우선 강우량 결정

- 1) 일반적으로 PMP의 패턴은 주관적이나, 유역중심에 가상 호우의 중심을 위치시키고, 유역의 형상에 따라 또는 주요호우의 방위에 따라 최대체적이 발생할 수 있도록 배치한다. 그림 2는 가상호우의 중심을 유역중심과 일치시키고, 가상호우의 방위가 0°인 경우로 대상유역은 150 km²의 표준 등우선으로 둘러 쌓여 있다.
- 2) 전국적으로 일반화된 6시간 증분에 대한 격자 PMP-DAD의 10% 범위내에서 영향을 준 호우의 DAD 분석결과로부터 작성된 within/without-storm 곡선을 [단계 1]의 5)에서 구한 PMP-DAD 곡선과 같은 축적으로 작성하여 표준 등우선 면적까지 PMP-DAD 곡선을 이동시킨다(그림 3).
- 3) 각각의 6시간 증분에 대한 within/without-storm 곡선에서 표준 등우선 면적에 대한 평균강우깊이를 추출한다.
- 4) 3)의 과정에서 산정된 평균강우깊이를 이용하여 표준 등우선 면적에 대한 등우선의 강우량을 산정한 후, 대상유역과 가상호우가 중첩된 면적에 대하여 평균강우량을 재 산정한다.
- 5) 최대강우체적이 발생하는 PMP-DAD 찾기 위해 표준 등우선 면적을 바꾸어 2)~4) 과정을 반복한다
- 6) 대상유역의 면적을 중심으로 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 200 km² 등의 표준 등우선 면적에 대한 PMP-DAD 값을 그림 1의 within/without-storm 곡선에 적용하여 평균강우량을 산정한 후, 1, 2, 3번째 6시간 증분의 체적이 최대가 되는 표준 등우선의 면적규모는 150 km² 이다(표 3 참조). 이로부터 유역면적보다 3배정도 큰 표준 등우선 면적으로부터 얻어진 PMP-DAD의 공간분포가 대상유역에서 최대체적이 발생시킴을 알 수 있다(그림 4 참조).
- 7) 좀 더 정밀한 값을 구하고 싶다면 표준 등우선 면적을 좀 더 세분하여 2)~6)의 과정을 반복한다.
- 8) 표 1에 의하면 대상유역의 면적은 57.5 km²이고 공간분포를 적용하기 전의 6시간 증분 PMP는 470, 217, 179 mm 였으나, 방위가 0°인 가상호우를 이용하여 공간분포킨 결과 PMP-DAD는 433, 202, 164 mm로 각각 8%, 7%, 8% 정도 감소하였다.

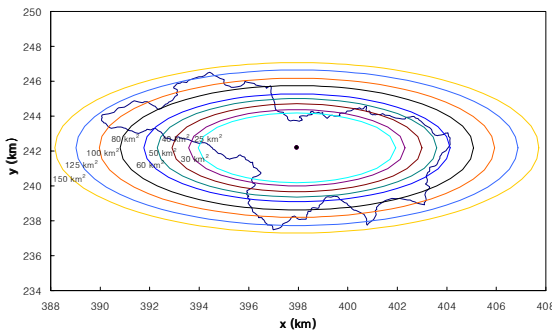


그림 2. 가상 호우의 배치

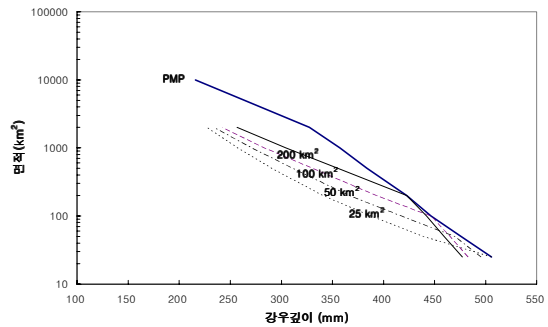


그림 3. 첫 번째 6시간 증분 within/without-storm 곡선과 PMP

표 3. 가상호우의 등우선 값과 유역의 평균강우량 산정 예

PMP 면적 (km ²)	6-hr 증분	가상 호우의 공간분포			대상 유역의 공간분포	
		면적 (km ²)	평균강우량(mm)	등우선 값(mm)	면적(km ²)	평균강우량(mm)
150	1	25.0	494	494	22.4	494
		30.0	488	482	26.0	488
		40.0	478	465	32.7	479
		50.0	471	453	38.8	472
		60.0	465	444	43.7	466
		80.0	456	430	50.6	456
		100.0	449	420	54.9	449
		125.0	440	409	57.3	440
		150.0	433	400	57.5	433
	2	25.0	224	224	22.4	224
		30.0	222	220	26.0	222
		40.0	218	214	32.7	219
		50.0	216	209	38.8	216
		60.0	214	206	43.7	214
		80.0	210	201	50.6	211
		100.0	208	198	54.9	208
		125.0	205	194	57.3	205
		150.0	202	190	57.5	202
	3	25.0	178	178	22.4	178
		30.0	177	175	26.0	177
		40.0	175	172	32.7	175
		50.0	173	170	38.8	173
		60.0	172	168	43.7	172
		80.0	170	164	50.6	170
		100.0	168	162	54.9	168
		125.0	166	159	57.3	166
		150.0	164	156	57.5	164
유역 평균강우의 누가량(mm)						800

- 9) 가상 타원형의 방위를 변화시켜 2)에서 8)까지의 과정을 반복한다.
- 10) 여러 개의 표준 등우선 면적과 방위를 변화시켜 최대 강우체적 구한 다음, 이들 최대 강우체적 중 강우체적이 최대인 방위와 면적규모를 추출한다. 이때의 평균강우깊이가 최종적으로 결정된 평균강우깊이이다(그림 5 참조). 표 4에는 상기의 단계를 거쳐 최종적으로 산정된 설계호우의 방위와 면적규모에 따른 평균강우깊이가 제시되어 있는데, 공간분포 적용전의 6시간 증분 PMP 값에 비해 약 6%, 6%, 8% 정도 감소하였다.
- 11) 필요하다면 기타 6-hr 증분(예를 들어, 36시간, 42시간 등)에 대하여 4번째 within/without-storm 곡선을 이용하여 상기의 단계를 반복한다.

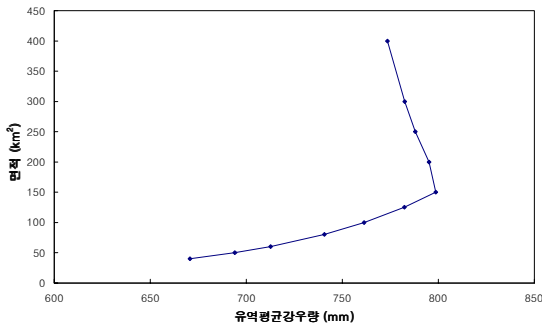


그림 4. 1, 2, 3번째 6시간 증분의 합에 의한 최대체적의 산정

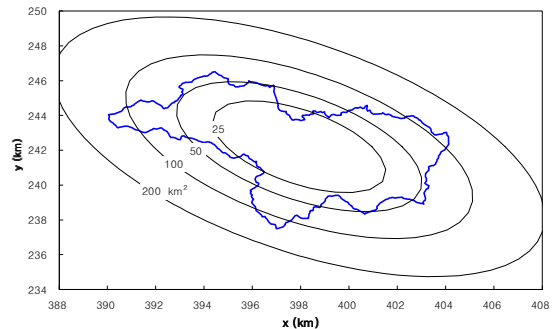


그림 5. 가상호우의 방위각을 고려한 최대체적의 산정

표 4. 가상호우의 방위각을 고려한 PMP의 산정

방위각 (°)	면적규모 (km ²)	지속기간 (hr)				
		1	6	12	18	24
146	146.8	134	441	646	811	895

4. 요약 및 결론

본 연구에서 이용된 가상호우는 단축과 장축의 비가 1:2인 타원형이며, within/without-storm 곡선과 PMP-DAD 값을 이용하여 설계호우를 공간분포시키는 절차에 대해 예를 들어 상세히 기술하였다.

- 1) 가상호우형의 공간분포 방법을 이용할 때 선행되어야 할 작업은 within/without-storm 곡선의 작성이며, 이는 전국적으로 일반화된 6시간 증분에 대한 격자 PMP-DAD의 10% 범위내에서 영향을 준 호우의 DAD 분석결과로부터 작성되었다. 본 고에서 작성하여 제시한 within/without-storm 곡선은 우리나라의 임의 유역에 대한 공간분포 적용시 이용될 수 있도록 수정되었다.
- 2) 대상유역의 PMP-DAD를 공간분포시키기 위해 이용된 지속기간은 6시간 증분이며 표준 등우선의 면적은 대수지상에서 간격이 균등하도록 30개로 분할하였다.
- 2) 본 고에서 적용한 대상유역의 면적은 대략 57.5km²이며, 호우의 방위각을 고려하여 PMP를 재 산정한 결과 공간분포를 적용하지 않았을 때에 비해 PMP 값이 6~8% 정도 감소함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 건설부(1988). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제3권 한국가능최대강수량 추정
2. 건설교통부(2000). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제2권 한국가능최대강수량 추정
3. Hansen, E. M., Schreiner, L. C., and Miller, J. F.(1982). Application of Probable Maximum Precipitation Estimates - United States East of the 105th Meridian. Hydrometeorological Report No. 52, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.
4. World Meteorological Organization(1986). Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operational Hydrology Report No. 1, WMO No. 332, Geneva, Switzerland.