

〈特輯 / 降雨〉

강우의 설계

김 승* · 김 양 수* · 김 남 원*

1. 서 언

강우는 수문현상의 추진력이라고 할 수 있다. 이러한 강우가 너무 많이 또는 적게 내릴 경우 문제가 발생하게 된다. 조그만 도시지역에 높은 강우강도를 가진 호우가 내리면 이러한 도시에 설치된 배수시설들은 높은 강우강도의 호우까지 배수할 수 있도록 설계된 것이 아니기때문에 도로나 주차장들이 침수되게 된다. 이와는 반대로 오랫동안 강우가 내리지 않으면 하천의 유량이 심각하게 감소할 뿐만 아니라 저수지나 호수의 수위도 급하게 감소하게 되어 가뭄이 발생된다. 이와같이 강우로 인한 문제는 강우강도가 높거나, 강우지속기간이 길거나 아니면 긴 가뭄기간 등에 기인하게 된다.

수문계획 또는 설계문제 중에는 단지 강우의 총량만을 요구하는 수도 있으나, 대부분의 수문 분석 또는 설계에서는 시간에 따른 강우의 분포를 필요로 한다. 본 특집에서는 이러한 수문 설계시 요구되는 강우의 설계인자 중에서 수자원 총량계산시 흔히 사용되는 평균 강수량, 소규모 수공구조물 설계시 사용되는 확률강수량, 대규모 수공구조물 설계시 필요한 가능최대강수량 그리고 산정된 강수량을 시간에 따라 분포시키는 강우시간 분포에 관하여 기본적인 개념과 산정방법 그리고 국내 산정결과에 관하여 다루고자 한다.

2. 평균 강수량

김 승*

2.1 산정방법

평균 강수량은 기상학적, 지리학적으로서도 중요할 뿐만 아니라 수자원개발 계획의 수립 등에 있어서도 가장 기본적인 사항이라고 할 수 있다. 평균 강수량을 구하는데 있어서 고려되어야 할 사항은 강우의 시간과 공간에 따른 변화이다. 어느 지정된 지역에서의 연평균 또는 월평균 강수량은 대개는 어느기간 동안의 산술평균으로써 표시된다. 이 경우 안정적인 평균값을 얻을 수 있는 자료기간은 지역적 특성과 기타 많은 기상학적 인자들의 변화에 의한 강수량의 변화와 관련이 있다. 대개는 30년을 최소한의 자료기간으로 보고 있지만 강수의 통계학적 분포분석에 의한 극치값을 결정해야할 경우 자료기간은 길수록 좋다(Wiesner, 1970). 또한 평균 강수량은 대상면적내에 있는 관측지점들에서 동일관측기간 동안 관측된 자료를 사용하여 산정하는 것이 바람직하다.

강우계를 사용하여 어느 지정된 면적의 강우량을 산정해야 할 경우 강우의 공간에 따른 변화를 고려해야 한다. 강우계의 지름이 20cm일 경우 실제로 강우계가 깔고 있는 면적은 1km²의 3천 2백 만분의 1밖에 되지 않으므로 이 자료로써 면적강

표 2.1 우량관측망을 이용한 평균우량 산정방법의 비교(Wiesner, 1970)

구 분	산 술 평 균 법	공간가중 다각형법	삼각형법	등우선법		수 정 가 중 법
				선 형	주 관 적	
방법의 성격	객관적	객관적	객관적	객관적	주관적	주관적 사정 객관적 사용
소 도	매우빠름	가중치 알 경우 빠름	가중치 알 경우 빠름	대단히 느림	느 림	가중치 알 경우 빠름
결측치의 영향	결측치사용 허락안됨 정확도 감소	결측치사용 허락안됨 재가중 또는 외삽	결측치사용 허락안됨 재가중 또는 외삽	결측치추정	결측치추정 용이	결측치사용 허락안됨 재가중 또는 외삽
지형인자의 고려	안 됨	안 됨	안 됨	안 됨	됨	약간됨
자료의 표시 및 오차의 수정	나 뵂	나 뵂	나 뵂	종 음	매우 좋음	나 뵂
가장자리 또는 경계 오차	없 음	허용범위 제정	약간허용 곡선일 경우 곤란	부적합	만 족	만 족
기계처리 적용 정확도	매우좋음	중 음	중 음	나 뵂	나 뵂	중 음
	균일한 관측망,	평탄한 지역에서	만족	대부분의 조건에서 매우 만족		대부분의 조건에서 만족

표 2.2 한국 연평균 강수량의 비교

제 안 자	건설부 ¹	김광식 ²	정문교등 ³	이병설등 ⁴	기상연구소 ⁵	허창희등 ⁶	김승등 ⁷	이창훈등 ⁸
자 료	1904-1961	1931-1960	1916-1944(84개 지점) 1960-1979(61개 지점)	1921-1980	1951-1980(23개 지점) 1973-1982(38개 지점)	1963-1985 (26개 지점)	1905-1988 (60개 지점)	1959-1988 (65개 지점)
방 법	산술평균법	1189.8		1189.7	1249.9		1246.4	
	Thiessen법		1192.2		1226.9		1225.0	1262
	등우선법	1159.1		1180.9	1219.1			
제 안 값	1159	1190	1180	1189.7	1232.0	1287	1225	1262

우량을 산정할 때 그 정확성은 여러인자들에 좌우되게 된다. 특히 관측밀도, 강우계의 분포, 대상면적의 크기, 특성, 지형, 호우의 공간분포와 이동, 그리고 자료를 산정하는 방법에 따라 정확도의 차이가 있다. 표 2.1은 평균강우량을 산정하는데 영향을 미치는 여러 인자들 중에서 산정 방법에 따른 특성을 비교한 것이다.

2.2 한국의 연평균 강수량

표 2.2에 표시한 것과 같이 한국의 연평균 강수량에 대해서는 이미 여러사람이 연구발표한 바

있다. 여기에 발표된 대부분의 값들은 지점에 따라 관측기간이 다르나 이것을 무시하고 지점별로 산술평균을 구하고 지점별 평균값을 다시 산술평균하거나 면적에 따라 가중하여 구한 것들이다. 이 값들을 비교해 볼때 그 동안 제안된 값들은 제안자에 따라 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

특히 자료산정기간이 최근(1980년대 이후)까지 포함된 경우 그렇지 않은 것에 비하여 평균값이 상당히 큰 것을 알 수 있다. 또한 같은 기간동안 같은 관측지점의 자료를 사용하였다 하여도 결측 또는 미관측기간의 자료를 보완하여 사용하

였는가의 여부에 따라 평균값은 상당한 차이를 나타내었다. 제안된 값중 결측치를 key station 값으로 부터 추정하여 보완하여 평균값을 산정한 경우는 김승 등(1989)과 이창훈 등(1990)의 결과 뿐이다.

전자는 84년 동안의 60개 지점에서 연평균 강수량을 실측 또는 추정하여 구하고, 이것을 Thiessen법으로 가중하여 구한 결과 1225mm를 얻었으며, 후자는 같은 방법이나 연자료대신 월자료를 사용하여 최근 30년 동안(1959~1988)의 연평균 값을 구한 결과 1262mm를 얻은 것이다. (후자가 전자와 같이 84년 동안의 평균을 구한 결과 1229mm를 얻었으며 4mm의 차이는 산정오차라고 판단된다.)

그림 2.1은 이창훈 등(1990)이 산정한 84년 동안의 연강수량과 5년 이동평균값을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이 한국의 연강수량은 매년 그 변화하는 폭이 대단히 크며 장기간(10년 이상)으로도 상당히 큰 폭으로 변화하고 있다. 이 변화하는 추세가 어떠한 상태에 있는지, 특정한 주기가 있는지는 필자가 조사한 바로서는

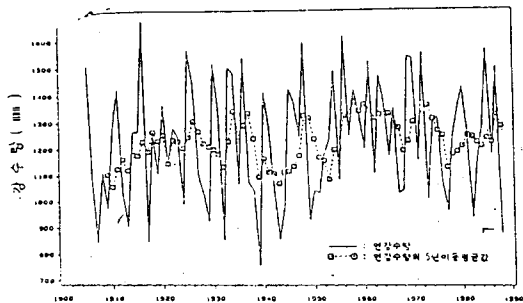


그림 2.1 한국의 연강수량

아직 연구발표된 것이 없다. 다만 우리나라의 연평균강수량 값이 큰폭으로 변화하므로 평균값을 산정하는 기간에 따라 표 2.1에 나타낸 바와 같이 큰 차이를 보일 수 밖에 없다고 생각된다. 그러므로 변화하는 추세나 주기등이 파악되지 않는 현재로서는 가능한 장기간동안의 기록에 의한 평균값을 구할 필요가 있다고 판단된다.

2.3 결 언

한국의 연평균 강수량은 매년 큰 폭으로 변화하고 있으므로 자료산정기간을 지정하지 않는 경우 서로 큰 차이를 보일 수 밖에 없다. 그러므로 평균값을 산정할 경우 사용된 각 관측지점의 값은 동일기간으로부터 산정되는 것이 타당하며 지점별로 결측기간이 있는 경우 그 기간동안의 값은 key station의 값으로부터 추정하여 사용하는 것이 타당하다고 판단된다. 또한 산정된 한국 연평균 값은 상당히 많은 갯수의 관측지점으로부터 산정된 것이기는 하지만, 관측소 하나가 1500km² 이상의 면적을 대표해야하므로 상당히 적다고 할 수 있으며, 세계기상기구에서 제시한 100~250km² 당 하나에도 크게 못미친다고 할 수 있다.

이 관측지점들은 평면상에서 볼 때 비교적 고르게 분포되어 있다고 할 수 있으나 고도별로는 관측지점이 도시지역에 위치한 중앙기상대의 측후소 또는 관측소이므로 거의 전부가 평지에 분포되어 있다. 그러므로 산악지형이 상당한 부분을 차지하고 있는 우리나라의 평균강수량을 산정하는데는 부적절하다고 할 수 있다. 좀 더 정확한 평균강수량 산정을 위하여 자동기상관측 시설 또는 장기누가우량관측기를 고지대에 조속히 설치 운영할 것을 제안한다.

參考文獻

1. 건설부, (1963) 한국수문조사년보, 부도4.
2. 김광식, (1976) 한국의 기후, 일지사, pp.37-43.
3. 정문교, 심재설, 송재우, 윤세의, (1981) 한국 면적 강수량 산정에 관한 연구, 한국수문학회지, 제 14권, 제4호, pp.36-52.
4. 이병설, 홍성길, (1982) 면적강수량산정을 위한 기존강수량자료의 검토, 한국기상학회지, Vol.18, No.2, pp.1-10.
5. 기상연구소, (1985) 면적 강수량 산정을 위한 강수 관측계에 관한 연구, MR 85-4.
6. 허창희, 강인식, (1988) 한국 지역 강수의 변동성

에 관한 연구, 한국기상학회지, Vol. 24, No.1, pp.38-48.

7. 김승, 김규호, (1989) 한국 연평균강수량의 추정, 수공학논총, 제31권, pp.5-16.
8. 이창훈, 김승, 서병하, (1990) 한국의 연평균 강수량에 관한 연구, 대한토목학회 논문집 심의 요청.
9. Wiesner, C.J. (1970) *Hydrometeorology*, Chapman and Hall Ltd., London pp.95. 127

3. 確率 降雨量

김 양 수*

3.1 序 言

水工構造物의 設計時 設計基準으로 널리 이용되는 것은 確率降雨量이다. 실제 構造物의 設計에 필요한 것은 設計洪水量으로서 계획 대상지점에서 충분한 기간동안 관측된 流出量資料가 있어야만 산정 가능하며, 面積比法 등을 이용하여 인근지점의 流出量 測定結果로부터 轉移하는 방법이 있으나 지점간 地形學的, 水文學的인 제약 조건이 따른다. 따라서 構造物을 設計하는데 있어 降雨量을 많이 이용하게 되는데, 이러한 접근방법은 降雨事象의 再現期間이 流出量의 再現期間과 같다는 가정에 가능하므로 降雨-流出關係가 線形性을 갖을 경우 합리적인 방법이 될 수 있다. 그런데 현실적으로 이 가정은 어느정도 타당성이 있는 것으로 받아들여지고 있으며, 流出量計測地點이 적기 때문에 構造物의 設計基準으로 確率降雨量이 많이 이용되고 있다.

본 稿에서는 이러한 確率降雨量을 산정하기 위한 降雨資料의 分析 및 分布型의 선정 등에 있어 중요한 가정이나 문제점을 기술하고, 우리나라의 中央氣象臺 및 建設部 降雨資料를 이용하여 分析한 결과를 기술하고자 한다. 또한

실제 確率降雨量을 구하기 위하여 실무자가 이용하는 降雨強度 - 持續期間 - 生起頻度 (Rainfall Intensity - Duration - Frequency) 關係와 確率降雨量圖에 관해 그 문제점을 중심으로 기술하고자 한다.

3.2 降雨資料 一般

3.2.1 降雨資料 分析을 위한 가정

降雨分析에 있어 모든 統計處理는 降雨資料의 정도와 降雨現象에 대하여 어느 정도의 가정을 함으로써만이 가능하다. 이러한 가정들은 여러가지 統計的 檢定을 거쳐 적합 여부를 판정할 수 있는 데 다음은 降雨의 統計分析시 필요한 가정을 요약한 것이다 (Niemczynowicz, 1986).

1) 관측값은 참값(True Values)을 반영한다.

測定된 降雨資料에는 바람의 영향, 雨量計에서의 Wetting과 蒸發, 計器誤差, 그리고 觀測誤差 등에 의하여 적게 또는 크게 誤差가 포함되게 마련이다. 따라서 이 가정이 절대 필요하며 이 가정을 유효하게 만드는 대책이라면 原始資料의 調整과 修正이 있을 뿐이다.

2) 資料는 一貫性(Consistency)이 있다.

모든 資料는 동일 母集團으로부터 抽出된 것이며 觀測期間동안 觀測시스템의 내부변화가 없다. 통상 이를 검정하기 위하여 Double Mass Analysis를 사용한다.

3) 資料는 同質性(Homogeneity)이 있다.

資料 觀測期間동안 外的인 條件變化가 없다. 이를 檢定하기 위하여 Double Mass Analysis를 사용한다.

4) 資料系列은 定常(Stationary)이다.

非定常系列이 되는 것은 水文學氣象學的인 變化, 傾向(Trend), 週期性, 人間活動의 영향 등에 기인한다. 이 가정은 部分期間系列에는 물론 적용되지 않는다. 非定常性에 관한 有意

性 檢定은 Student's Test, F-Test, Rank Dispersion Test, Run Test 등을 이용한다.

5) 資料는 독립적(Independent)이다.

降雨事象마다 相關性이 없다. 이 가정은 고도로 상관가능한 연속되는 降雨事象이 포함될 수 있는 단시간 部分期間系列에는 적용되지 않는다. 이 가정을 Test하는 방법은 Rank Correlation Test, Counting Rank Test, CV-Test 등이 있다.

6) 資料系列은 長期間 水文特性을 반영할 만큼 충분히 길다. 한개 이상 관측점이 있다면 地域單位分析(Regional Study)으로써 資料期間을 확장시킬 수 있다.

7) 降雨資料의 分布는 特定分布型을 따른다. 그리고 推定된 媒介變數 값은 가정된 特定分布型의 特性을 설명한다. 分布型 檢定方法으로는 Plotting Position Technique, Chi-Square Test, Kolmogorov-Smirnov Test 등이 있다.

3.2.2 頻度解析을 위한 降雨資料 系列

일반적으로 資料值系列은 全期間值系列(Complete Duration Series), 極值系列(Extreme Value Series) 그리고 部分期間值系列(Partial Duration Series)로 대별할 수 있다. 이중 어떤 기간동안의 資料를 총 망라한 資料系列을 뜻하는 全期間值系列은 설계 목적상 사용되는 일이 거의 없고 실제 사용되는 系列은 極值系列과 部分期間值系列이다. 極值系列은 해당 資料가 존재하는 記錄期間을 일정기간 단위로 나누어 그 기간내에 발생한 어떤 기준치보다 큰 값 혹은 작은 값을 가진 모든 資料로 구성되며 이 系列에 속하는 資料의 수가 記錄年數와 같게 되도록 基準值가 선정되었을 때 年超過值系列(Annual Exceedance Series)이라 한다(윤용남, 1986).

降雨 頻度解析에 가장 많이 이용되는 것은 極值系列의 年最高值系列과 年超過值系列이

다. 이중 어느 系列을 이용할 것인가 하는 것은 목적하는 水工構造物의 종류에 따라 적절하게 결정하여야 한다. 年最高值系列의 단점은 系列의 특성상 다른 해의 最高值를 능가하는 降雨事象이 같은 해에 여러개 발생하였다도 단지 한 事象 밖에 택할 수 없는 것이며, 年超過值系列은 동일한 氣候學的 조건하에서 발생하는 두 事象이 동시에 포함될 수 있어 資料間的

표 3.1 산정된 Conversion Factor(建設部, 1988)

재현기간(년) 구분 지속기간	2		5		10	
	우리 나라	미국	우리 나라	미국	우리 나라	미국
60분	1.157	1.136	1.033	1.042	1.008	1.01
24시간	1.107	1.136	1.029	1.042	1.012	1.01

독립성이 문제가 될 수 있다. 이 두 系列의 頻度解析 결과는 일반적으로 再現期間 10년 이상에 대해서는 두 系列이 거의 일치하며, 10년 이하에서는 超過值系列의 頻度解析 결과가 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 再現期間 10년 이하에 대해서는 年最高值系列의 頻度解析 결과에 대한 年超過值系列의 解析 결과의 比를 구하여 어느 한 系列의 頻度解析 결과만 있으면 다른 系列로 換算할 수 있도록 하고 있는데, 참고로 우리나라와 미국에서 산정된 換算係數는 표 3.1과 같다(Hershfield, 1961: 건설부, 1988).

3.2.3 고정時間 雨量과 임의의 持續期間 雨量間的 관계

確率降雨量을 산정할 경우 필요한 資料는 自己雨量記錄紙上에서 고정시간 간격으로 읽은 資料가 아니라 對象 持續期間을 이동시켜 가면서 얻어진 資料群으로부터 적출된 극치값이다. 후자의 경우는 주어진 資料期間內 對象 持續期間에 대한 최대값을 얻기 위한 것으로서 여기에서는 임의의 지속기간 資料라 명명하였다. 물론 후자의 경우는 많은 작업량이 요구된다.

현재 국내에서 발간되고 있는 降雨資料는 고정시간 간격의 時雨量(Clock-Hour Rainfall) 또는 달력일의 日雨量(Observational Day Rainfall)이 대부분인데, 이러한 資料들을 보정없이 그대로 頻度解析하여 실무에 이용할 경우 過少水文設計가 될 것이다. 따라서 이러한 時雨量이나 日雨量을 수문학적 의미의 持續期間別 資料로 변환할 수 있도록 하기 위해 고정시간 간격의 最大降雨量과 임의의 持續期間別 最大降雨量과의 關係를 구하여 사용하고 있다. Hershfield(1961)의 연구에 의하면 두 資料群의 相關關係는 再現期間에 거의 무관한 것으로 알려져 있으며, 실제로 우리나라의 中央氣象臺 降雨資料를 이용하여 구한 換算係數 값도 再現期間에 따라 거의 차이가 없음을 보여주었다(建設部, 1988). 자세한 내용은 참고문헌 建設部(1988)를 참조하기 바란다.

3.3 分布型的 선택

降雨는 季節的 地形學的 요소에 많은 영향을 받으며 동일지점이라도 持續期間別 특성이 다르다. 따라서 最適分布型도 지점별로 서로 다르며 동일지점이라도 季節 및 持續期間別로 다르게 나타난다. 그러므로 資料의 分布狀態를 적절히 설명할 수 있는 最適分布型을 선정하는 일은 중요하면서도 어려운 일이다. 현재 降雨資料를 分析하는데 이용되는 分布型은 일반적으로 對數正規分布, 3변수 Gamma分布, Log-Person Type III 分布 그리고 Type I 極值分布를 들 수 있다. 이들 각각의 分布型이 어떤 경우에 쓰여진다는 특별한 연구결과는 없다. 다만 降雨資料의 경우 Type-I 極值分布와 對數正規分布가 많이 쓰여왔고, 최근들어 Log-Pearson Type III 分布가 極值解析에 자주 이용되는 정도이다.

降雨資料의 最適分布型을 선택하는 방법은 이제까지 많이 논의 되어온 문제이다. Gumbel(1958)은 最適分布型을 이론적으로 찾기 힘들

다고 하였으며 Gupta(1970)는 最適分布型을 선정하는데 있어 관련 기본지식의 부족 때문에 편리함과 선정과정의 Policy에 자주 좌우된다고 보고하였다(WMO, 1981). 分布型的 선정은 資料를 여러 分布型에 적합시켜보고 그 중 가장 잘 맞는 하나를 택하는 것인데, 이때 선택 방법은 주관적인 시각적 판단이나 좀더 객관적인 統計的 檢定方法을 이용한다. 그러나 이 두가지 방법들은 모두 문제점이 있다고 지적되고 있다. 시각적인 판단의 경우 기준이 되는 Plotting Position을 결정하는 문제가 아직도 논란의 대상이 되고 있으며, 統計 檢定方法의 경우 決定指標가 되는 指標에 대하여 문제점이 제기 되고 있다. 이 외에도 實際分布와 理論分布의 歪曲度나 尖銳度 값을 비교하여 가장 비슷한 값을 갖는 分布型을 선택하는 방법도 있으며 Bayesian Decision Theory를 활용하는 방법도 발표된 바 있다(WMO, 1981).

참고로 建設部(1988)에서 우리나라 中央氣象臺 산하 49개 測候所 및 觀測所의 分布型을 檢定한 結果를 살펴보면 年最高值 系列에서는 Type-I 極值分布가 最適分布型으로 가장 많이 선정되었으며(30.5%) 年超過值系列에서는

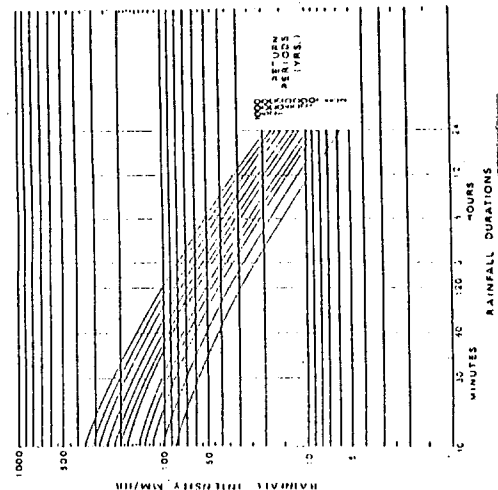


그림 3.1 降雨強度-持續期間-生起頻度 曲線(서울 지점)(건설부, 1988)

3변수 Gamma分布가 가장 많이 선정되었다(68%). 또한 동일 지점이라도 持續期間別 分布型이 다르게 선정되었다. 따라서 한 지점에 대해서도 모든 持續期間의 資料의 分布를 대표하는 적정 分布型을 설정한다는 것이 얼마나 어려운가를 알 수 있으며 지점 혹은 圈域別로 선택된 代表分布型에 의해 分析된 결과는 어느 정도의 誤差를 포함하고 있다고 봐야 할 것이다.

3.4 降雨強度-持續期間-生起頻度와의 關係

水文學的 構造物 設計의 첫번째 단계는 이용될 降雨의 事象을 결정하는 것이다. 이때 가장 널리 사용되는 접근방법은 設計豪雨(Design Storm)나 降雨強度, 持續期間 그리고 生起頻度(Rainfall Intensity-Duration-Frequency: IDF)關係로부터 직접 얻어진 事象을 이용하는 것이다. IDF 관계는 단시간 降雨가 필요한 도시지역 排水口 設計등에 특히 많이 이용되는데 그림으로 표시하거나 수식으로 나타낼 수 있다. 그림으로 나타낸것을 IDF 곡선이라 하는데 年超過值系列은 全對數紙上에서 직선에 가깝게 나타난다. 참고로 서울지점의 IDF곡선을 나타내면 그림 3.1과 같다(건설부, 1988).

降雨強度式은 IDF 관계를 식으로 표시한 것이며 그림에서 읽는 것보다 편리하기 때문에 우리나라의 경우 IDF곡선보다 더 널리 쓰여왔다. 우리나라 降雨強度式은 해방전 日人들에 의해 이루어진 Talbot型的 實用降雨強度 곡선식에서 시작하여 최영박(1966), 이원환(1969) 등이 발표한 여러식이 제시되어 있다. 降雨強度式은 流域模擬模型등에 수식으로 직접 이용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 持續期間의 범위가 큰 경우(예를들어 30분에서 24시간까지) 하나의 수식으로는 降雨強度와 持續期間과의 관계를 잘 설명하기가 어렵다. 그래서 최근에는 持續期間을 2-3구간으로 나누어 식을 유도하거나 기존에 널리쓰이는 Tal-

bot, Sherman, Japaness 型외에 다른 복잡한 식의 형태를 降雨強度式으로 채택한 경우도 있다(Chen, 1983). 그러나 이러한 방법들이 문제점을 완전히 해결한 것은 아니며, 降雨強度式을 이용할 경우에는 먼저, IDF대표곡선과 降雨強度式으로 부터 계산된 결과들을 비교, 검토할 필요가 있다. 최근에는 降雨強度式에 再現期間을 넣은 식도 제시된 바 있다(Chow, 1988). 그런데 이러한 降雨強度式이나 IDF 곡선은 지점이나 작은 영향권역에서 제한적으로 이용되며 넓은 지역에는 다음에 기술하는 確率降雨量圖가 많이 이용된다.

3.5 確率降雨量圖

전술한 IDF 관계는 雨量觀測所를 중심으로 제한된 지역에 주로 적용되지만 전국적으로 일관성 있는 水文設計와 실용적인 면에서 편리를 도모하기 위해서는 確率降雨量圖가 많이 이용된다. 確率降雨量圖는 미국(1935), 영국(1975), 일본(1970) 등에서는 일찌기 작성되어 이미 실무에 널리 이용되고 있으며, 우리나라에서도 建設部(1988)가 제작하여 실무에 이용되고 있다(建設部, 1988). 確率降雨量圖는 지점별 確率降雨量 값을 기초로 圖上에 동일한 降雨量 값을 연속적으로 연결한 선을 나타낸 것으로서, 지정된 再現期間과 持續期間의 等雨線圖라 할 수 있다.

確率降雨量圖의 작성을 위해서는 지점별로 이용가능한 모든 資料를 수집·정리하여 최종 이용할 資料를 선정한다. 선정된 資料에 대해 각지점별로 分布型을 선정하고 최종적으로 전체 資料群을 대표하는 하나의 分布型을 결정한 다. 그리고 결정된 分布型으로써 頻度解析을 하여 지점별 確率降雨量을 산정하고, Trend Surfac법, Moving Average법, Spline기법 등을 이용하여 等雨線圖를 작성한다. 이때 작성 초기단계에서 平滑化(Smoothing)가 필요한데 여기에는 여러가지 가정이 포함되어 있다. 일

반적으로 降雨資料에는 수집시 여러가지 誤差가 포함되어있으며, 지점별 資料 記錄年數도 각각 다르다. 또한 地形의 영향을 받지 않는 대부분의 지역에서 발생하는 集中豪雨는 無作為性을 가지고 있어, 分析에 이용된 資料가 단기간일 경우 對象期間 내의 다른 지점에 비해 極值가 적게 혹은 많이 발생할 수 있다. 이와 같은 영향때문에 等雨線에 局地的인 요철이 나타날 수 있으며 심한 부분에 대해서는 特異性을 제거하기 위하여 平瀾化가 필요하다. 그러나 이렇게 작성된 確率降雨量圖도 문제점을 내포하고 있다. 예를 들어 어느 한 지점 혹은 지역이 局地的으로 특이한 降雨現象을 보인다면 이러한 특성은 무시될 수가 있다는 것이다. 따라서 對象地點의 降雨資料가 있을 경우 우선 그 지점의 頻度解析 결과를 이용하는 것이 타당할 수 있으며, 確率降雨量의 값을 이용하더라도 주변 觀測所의 頻度解析결과와 比較, 檢討하는 일은 필요하다. 하나의 단일 分布型으로써 작성된 確率降雨量圖로 부터 얻어진 값은 構造物의 전국적인 評價基準이나 일반적인 표준값으로서 더 의미가 있다.

3.6 結 言

본 고에서는 이제까지 발표된 여러 연구결과를 토대로 降雨資料의 分析에서부터 確率降雨量을 얻을 때까지 주의하고 고려해야 할 사항들을 기술하였다. 그러나 確率降雨量의 이용이나 異常值의 처리등 언급하지 않은 것도 많다. 確率降雨量은 본문에서 기술한 바와 같이 여러가지 가정하에서만 산정될 수 있으나 실무에서는 이러한 가정들이 자주 무시되고 있으며, 특히 이러한 가정에 정면으로 위배되는 최근 異常氣候에 관한 문제는 논란이 되고 있는 실정이다. 이러한 여건들을 감안하여 確率降雨量에 관한 연구와 신중한 사용을 기대한다.

參考文獻

1. 建設部, (1988) 韓國確率降雨量圖의 작성, 水資源管理技法開發 研究調查報告書 제2권 建設部, 서울.
2. 이원환, 변근주, (1969) 중소하천 및 도시 하수도 計劃設計에 필요한 確率降雨強度式의 유도, 대한토목학회지, 제 16권 제 4호, pp. 1-11.
3. 윤용남, (1986) 工業水文學, 청문각, 서울, pp. 455-476.
4. 최영박, 박종훈, (1966) 한국주요도시의 降雨強度式型의 지역적 특성연구, 대한토목학회지, 제14권 제1호, pp. 15-19.
5. Chen, C. L., (1983) *Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas*. ASCE, 109(12), pp. 1603-1621.
6. Chow, V. T., D. R. Maidment, and L.W. Mays, (1988) *Applied Hydrology*. McGRAW-Hill, pp. 444-462.
7. Hershfield, D. M., (1961) *Rainfall Frequency Atlas of the United States for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and return Periods from 1 to 100 Years*, Tech. Paper 40, U.S. Dept. of commerce, Weather Bureau, Washington, D.C..
8. Niemczynowicz, J., (1986) *Investigation of the Areal and Dynamic Properties of Rainfall and its Influence on Runoff Generating Processes*, Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology/University of Lund, Report No.1005, pp. 40-24.
9. WMO, (1981) *Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation*, Operational Hydrology Report No. 15, pp. 1-10.

4. 可能最大降水量

정의, 방법, 최근 연구동향을 중심으로

김 남 원*

* 한국건설기술연구원, 연구원

4.1 序 言

水資源의 효과적인 이용과 洪水로 인한 被害를 最少化하기 위하여 河川에 水工 構造物이 設置된 것은 오래전부터이다. 특히 人口의 增加와 産業의 發達로 물의 消費가 增加함에 따라 그 需要量을 충족시키기 위해 댐과 같은 大規模 水工構造物이 많이 建設되어 왔다. 이러한 水工構造物의 設計에 있어서 基本的인 資料는 自然 現象을 충분히 解析하여 決定된 洪水量이라 할 수 있다. 일반적으로 水工構造物은 社會, 經濟的 혹은 經濟-危險度의 측면에서 小·中·大規模 構造物로 나뉘며 각 構造物의 性格 및 規模에 따라 水文學的 設計基準이 제시되고 있으며 이 基準에 따라 設計되고 있다.

大規模 水工構造物의 破壞는 小規模 水工構造物과는 달리 막대한 經濟損失, 대단 위의 人命被害등 극심한 社會, 經濟的 被害를 유발시킬 수 있기 때문에 많은 나라에서는 大規模 水工構造物을 設計할 때 사실상 超過危險이 없는 洪水量이 設計基準으로서 사용되고 있으며 이 洪水量이 可能最大洪水量 (Probable Maximum Flood : PMF)이다. 이 경우 可能最大洪水量은 기왕의 洪水量資料를 이용하여 推定될 수도 있지만 計劃對象流域에서 大洪水의 存在有無에 따라 推定值가 매우 민감하게 다르기 때문에 大氣의 潛在可能的 降水量의 상한값을 推定하고 이값은 降雨-流出關係에 의해 推定된다. 이때 大氣의 潛在可能的 降水量의 上限界를 可能最大降水量 (Probable Maximum Precipitation : PMP) 이라 하며, 이 PMP가 대규모 水工構造物의 設計雨量으로 채택되고 있다. 國內設計實務에서도 PMP의 重要性이 인식되어 여러 중요 水工構造物의 設計雨量으로서 사용되었다.

위와 같이 PMP는 水文學設計에서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 인구가 밀집한 지역에 설치된 댐 運營計劃 樹立時 또는 원자력발전소와 핵 폐기물 저장소의 위치를 결정하는데도 PMP를 사용할 필요가 있다. 이러한 시점에서 PMP의

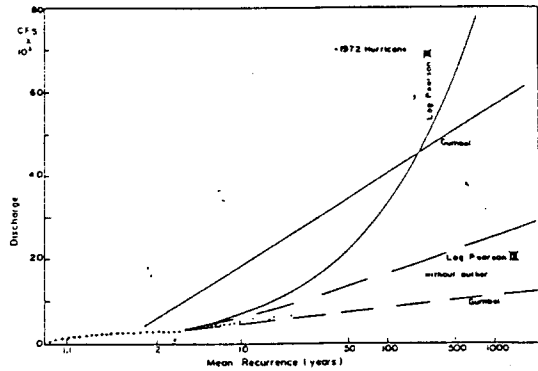


그림 4.1 년최대 홍수량의 빈도해석(Mahantango Creek, U.S.A.)

概念과 定義 그리고 이를 推定하는 방법과 최근 연구동향을 기술해 보고자 한다.

4.2 PMP의 定義

Stalling 등(1986)에 의하면 1930년 이전에 대규모 水工構造物의 水文學的 分析은 주로 經驗的方法이나 統計學的 分析方法 혹은 觀測最大洪水量에 임의적인 안전계수를 곱하는 등의 방법이 사용되었다고 한다(Rakhecha 등, 1985). 특히 統計學 分析方法은 최근까지 가장 유용한 방법으로서 사용되어 왔다고 할 수 있으나, Engman 등(1974)이 그림 4.1에 제시한 바와같이 이러한 방법으로 推定할 수 없는 洪水가 과거에 기록되었음을 알 수 있다.

그림 4.1은 1972년6월20일-25일 미국 Mahantango Creek에 발생한 Hurricane Agnes에 의한 洪水量을 이전의 資料系列과 비교한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 기왕 최대값의 약 10배에 해당하는 洪水量이 발생하였다. 이 洪水量은 통계학적으로 불태 소위 이상치로 간주된다. 이외에도 Cudworth(1989), Miller(1972)는 1921년 Colorado주, Pueblo시에 있는 Arkansas강에 발생한 홍수, 1954년 Texas주 Comstock 근처 Pecos강에서 발생한 홍수 등 미국의 많은 강에서 이상치로 간주할 수 있는 洪水量이 발생한 사실을 보고하였다. 이상과 같은 이유 때문에 水文學象學者들은 降水量의 상한계, 즉 PMP를 設計豪

雨로서 채택하고 降雨-流出關係에 의해 可能最大 洪水量을 推定하기에 이르렀다(Stalling, 1987).

여기서 PMP는 WMO(1973)에 의하면 “주어진 持續期間에 있어서 特定流域에 대하여 년중 어느 지정된 기간동안 物理的으로 발생할 수 있는 理論的 最大降水量 값이”로 정의 되었으며 최근 WMO(1986), Hansen 등(1982)에 의하여 “特定流域에 대하여” 대신에 “特定位置에 주어진 豪雨面積에 대하여”로 수정되었다. 이 수정된 정의는 豪雨型이 流域의 形態와 일치하지 않기 때문에 豪雨面積을 중심으로 한 PMP가 流域面積을 대상으로 한 PMP와 다르다는 것을 강조한 것이다.

4.3 PMP의 推定方法

세계 각국에서는 PMP 推定시 서로 다른 방법 및 절차가 사용되고 있으며, 또한 개념상으로도 統計的 方法(Statistical Approach)과 水文氣象學的 方法(Hydrometeorological Approach)으로서 서로 다르게 발전되어 왔다. 여기에서는 PMP를 推定할 수 있는 統計的 方法과 水文氣象學的 方法中 전통적인 방법을 중심으로 기술한다.

4.3.1 水文氣象學的 方法

이 방법에 있어서 PMP 推定방법의 주가정은 Storm Mechanism의 效率과 大氣中에서 이용할 수 있는 水分을 最適으로 조합하여 이루어진 豪雨로부터 PMP가 유도된다는 것이다. 豪雨效率에 영향을 주는 요소로서는 水分의 응결, 大氣의 垂直運動, 運動, 集中現象 등 여러가지가 있으나, 이들 제요소를 현재 지식 및 자료로써 정확히 파악한다는 것은 매우 힘들기 때문에 豪雨效率의 指標로서 觀測降雨量을 사용하고 있다.

실제적으로 현재까지 알려진 PMP의 基本概念은 觀測降雨量과 大氣中의 最大水分과의 相關關係를 이용하여 觀測降雨量을 조절하는 것이다.

이때 大氣中의 水分은 高空氣象觀測(Radiosonde) 으로부터 얻을 수 있지만 高空기상 관측망은 최근까지도 너무 드문드문 형성되어 있기 때문에 水分의 流入을 적절히 파악할 수 없는 실정이다(Schreiner 등, 1978; WMO, 1986).

이에 대한 해결책으로써 降水中에 流入되는 水分은 飽和位斷熱 大氣를 가정하면 이슬점을 사용하여 推定할 수 있음이 밝혀졌으며(WMO, 1973), 이에 따라 이슬점이 大氣水分의 指標로서 널리 사용되고 있다.

大氣水分의 양을 나타내는 척도로서 可降水量이 사용되며, 可降水量은 大氣의 수직기둥에 포함된 水蒸氣의 總量으로 定義된다. WMO(1973)에서는 飽和位斷熱 大氣를 가정하여 1,000mb 이슬점 온도와 可降水量과의 相關關係를 표로 제시한바 있다.

이상은 觀測降雨量과 可降水量을 이용하는 PMP의 基本的 概念을 기술한 것이며, 이를 이용하여 PMP를 推定하는 一般的인 節次에는 水分最大化, 豪雨轉移, 抱絡의 세가지 단계가 있다. 여기서 水分最大化는 豪雨地帶(Storm Location)의 最大水分에 부합하게 觀測降雨量을 증가시키는 것을 말하며 이를 위해서는 두개의 이슬점이 필요하다. 하나는 豪雨期間 중 流入하는 水分을 대표하는 이슬점이고 또 하나는 豪雨地帶에 예상되는 최대 이슬점이다. 豪雨轉移는 한 지역의 豪雨를 氣象學的, 地形學的으로 同質性을 가정하여 다른 지역으로 재 배치하는 것으로 정의된다.

水分最大化와 轉移에 따라 調節된 降雨量을 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\text{조절된 강우량} = R_{IP} * R_{HT} * R_{VT} * R_{GE} * OP \quad (1)$$

여기서 R_{IP} 는 水分最大化비이고, R_{HT} 는 水平轉移비이며, R_{VT} 는 垂直轉移비, R_{GE} 는 地形影響비 혹은 山岳影響비이며, OP 는 觀測降雨량이

다. 觀測降雨量은 點雨量이 아닌 面積降雨量으로 강우깊이-면적-지속기간(D.A.D) 관계로써 표시된다.

마지막 단계로서 對象流域에 영향을 미칠 수 있는 觀測降雨量을 水分最大와 轉移를 통하여 획득한 調節된 降雨量을 持續期間別, 面積別로 포락하여 PMP를 決定한다. 이때 抱絡이란 어느 자료군에서 최대값을 찾기 위한 과정이다.

식 (1)의 계수를 推定하는 절차 및 자세한 사항은 WMO(1986)에서 발표한 바 있으나 여기서는 推定절차를 중심으로 간단히 기술한다.

이 방법에서 가장 중요한 氣象資料는 可降水量을 推定하기 위한 이슬점 온도이다. 이슬점은 일반적으로 觀測誤差를 상쇄할 수 있고 降水中の

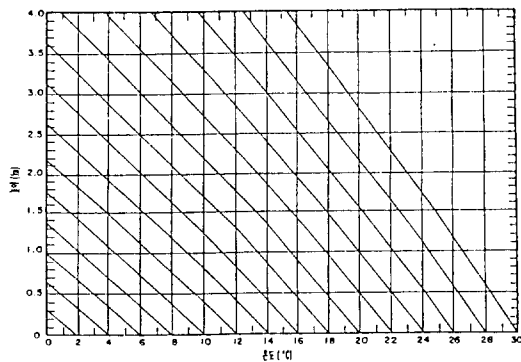


그림 4.2 이슬점을 1000mb로 轉換하기 위한 假斷熱圖

水分流入을 적절히 나타낼 수 있는 12시간 지속 이슬점을 사용한다. 이 값은 적어도 12시간 이상 지속되는 이슬점이다. 그림 4.2는 이슬점과 고도간의 관계를 나타낸 것이다. 먼저 水分最大化比(R_{IP})를 推定하는 데는 대표 12시간 지속 1000mb 이슬점과 최대 12시간 지속 1000mb 이슬점이다.

대표 12시간 지속 1000mb 이슬점은 選定한 豪雨의 期間 水分流入을 표현할 수 있는 12시간 지속 1000mb 이슬점의 最高值이다. 이는 일반적으로 水分流入方向의 여러지점의 이슬점을 평균하여 推定한다. 최대 12시간 지속 1000mb 이슬점

은 豪雨地帶에서 나타날 수 있는 최대 이슬점이며, 대표 12시간 지속 이슬점의 위치와 같아야 한다. 이 이슬점은 일반적으로 對象地域의 여러 위치에서 50년 이상의 장기간 기록으로부터 추출되며, 이를 地域別, 季節別로 一貫性을 검사한후 사용한다. WMO(1986)에서는 50년 미만의 기록으로부터 추출된 이슬점은 最大 大氣水分을 대표할 수 없기 때문에 이러한 경우 頻度解析(Frequency Analysis)을 하여 再現 期間 100년에 해당하는 이슬점을 推定하도록 권장한바 있다. 국내의 경우 이광호 등(1971), 건설부(1988)에 의해 전국에 걸쳐 推定된 바 있다.

이상의 대표 및 최대 12시간 이슬점은 1000mb를 기준으로 推定된 것이다. 이를 이용 可降水量을 推定하기 위해 WMO(1986)에서는 1000mb에서 200mb까지 이슬점과 可降水量과의 相關關係를 표로 제시한 바 있다. 따라서 水分最大化 비는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{IP} = \frac{W_{pm,sl,se}}{W_{ps,sl,se}} \quad (2)$$

여기서 $W_{pm,sl,se}$: 최대 12시간 지속 1000mb 이슬점에 의한 가강수량

$W_{ps,sl,se}$: 대표 12시간 지속 1000mb 이슬점에 의한 가강수량

sl은 호우의 위치, se는 호우지대의 표고를 나타내는 첨자이다.

水平轉移比(R_{HT})와 垂直轉移比(R_{VT})는 豪雨轉移時에 사용되는 계수이다. 豪雨轉移는 對象流域에 PMP 개발에 필요한 極值豪雨が 발생하기록이 없는 경우, 氣象學的, 地形學的인 同質性을 가정할 수 있는 지역내에 발생하는 極值豪雨를 옮기는 것이다.

이때 同質性을 판단하기 위해서는 轉移될 豪雨의 영향권을 분석해야하며, 地形學的인 類似性도 분석하여야 한다. 水平轉移比와 垂直轉移比는 豪雨發生地域條件과 轉移對象流域의 조건의 차이

를 상쇄시키기 위한 비로서, 水平轉移比는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{HT} = \frac{W_{pm, sl, se}}{W_{ps, sl, se}} \quad (3)$$

여기서 t_n 은 轉移地帶를 나타내는 첨자이며 기타는 식(1)에 나타낸 것과 같다. 垂直轉移比에 관해서는 Miller 등(1984), Schreiner와 Riedel (1978), WMO(1973) 등이 서로 다른 개념으로 그 이론 및 응용전개를 하였기 때문에 여기에서는 생략한다.

이상에서 기술한 水分最大化比와 豪雨轉移比는 地形이 평탄한 곳에서 사용하는 계수이며, 이를 사용한 PMP를 비산악 PMP 혹은 Convergence PMP라 한다. 국내 대부분의 PMP 연구는 비산악 PMP를 추정한 것이며 대표적인 연구로서 이광호와 정창희(1971), 윤세의와 이원환(1980), 이광호(1988)를 들 수 있다.

지형영향비(R_{Ge})는 降雨現象에 있어서 지형영향 혹은 산악의 영향을 고려하는 계수이다. 山岳의 存在有無, 산의 規模, 不規則性에 따라 降雨量이 증가하기도 하고 감소하기도 한다. PMP推定시 이들 영향을 고려하기 위한 방법에는 첫째, 大氣의 흐름이 층류라고 가정한 Orographic Storm Model과 둘째, 資料의 有無에 따라 다르지만 비산악 PMP에 대한 Index Map을 이용하는 것이 있다. Orographic Storm Model은 Wiesner(1970)와 U. S. Weather Bureau(1961)를 참고하기 바란다. 일반적으로 지형영향비(R_{Ge})를 推定하기 위해서 두번째 방법인 Index Map이 많이 사용되는데 Index Map에 사용되는 값으로는 年平均 降水量, 季節平均降水量, 강수-빈도 값 등이 있다.

이중 강수-빈도값은 降水量의 발생가능과 동등한 確率을 대표하는 것으로서, 높은 재현기간 값 즉 50년, 100년 값은 악천후의 일기체계와 동반되어 있으므로, 계절 평균 혹은 年平均 降水量보다 PMP의 地形의 變化를 나타내는 좋은 指標

가 된다(WMO, 1986). 이를 해석하는 방법은 아직 완전히 정립되어 있지 않기 때문에 여기서는 생략하며 연구동향편에서 언급하고자 한다.

4.3.2 統計學의 方法

PMP를 推定하기 위한 統計學의 方法은 충분히 오랜기간동안 觀測된 降雨資料가 있으며 빨리 推定치를 얻고 싶을때, 혹은 이슬점과 같은 氣象資料를 거의 없는 경우 사용될 수 있으나 세심한 주의를 요하는 방법이다.

Hershfield(1961)에 의해 제안된 統計學의 方法은 식 (4)를 이용하여 개발된 방법이다.

$$X_i = \bar{X} + K \sigma = \bar{X}(1 + K C_v) \quad (4)$$

여기서 X_i 는 觀測資料值 系列(연최대치 계열), \bar{X} 는 資料의 平均值, σ 는 표준편차, $C_v(\sigma/X)$ 變動係數, K 는 값은 頻度係數 이다. K 값은 極致 資料 確率分布에 따라 다를 수 있으며 地域別로 變할 수 있다. 식(4)는 식 (5)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$PMP = \bar{X} + \sigma K_m = \bar{X}(1 + K_m C_v) \quad (5)$$

여기서 K_m 은 年最大 雨量系列의 平均과 持續期間의 函數로 표시되며 經驗의 方法으로 추정한다. 一般的으로 K_m 은 各 持續期間의 年最大 系列에서 최대 우량값에 의해 결정되며 地點別, 地域別로 K_m 값을 抱絡하여 최대값으로 결정한다. 초기 연구에서는 K_m 값이 강우깊이에 무관한 것으로 알려졌으나 현재는 資料值의 平均이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다고 보고있다. (Hershfield, 1965, Wiesner, 1970 : WMO, 1986).

統計學의 方法을 사용하는데 있어서 WMO (1986)는 자료년수 및 資料值의 크기에 따라 平均과 標準偏差를 보정하도록 권장하고 있으며 日 降雨量과 24시간 降雨量 같은 資料의 形態에 대

한 보정도 권장한 바 있다. 국내의 경우 金圭浩 등(1988)이 固定時間과 任意時間에 대한 補正係數를 제시한 바 있다.

식 (5)로서 제시된 統計學的 方法은 사실상 Km값을 지배하는 지역에서 PMP가 일어났다고 가정하여야만 적용가능한 것이다. 그러나 WMO(1986)에 의하면 이 방법으로써 推定된 값을 초과하는 降雨量이 발생하였다. 따라서 이 방법에 대한 Km값을 推定할때는 매우 신중을 기하여야 한다. Hershfield(1961)는 持續期間 24시간인 경우, Km값을 미국전역에 대하여 15를 제시한 바 있으나, WMO(1986)는 미국의 경우 25를 캐나다의 경우(Km 값의 최대값이 持續期間 24시간인 경우) 30을 제시하였다. 국내의 경우 노재식 등(1986)은 持續時間 24시간인 경우 12를 제시하였다.

이 방법에 의한 PMP 값은 점 PMP이다. 그러나 실제유역에서는 항상 면적에 따른 PMP가 요구되기 때문에 面積-降水量의 관계가 반드시 필요하다.

4.4 PMP의 최근 연구동향

3절에서는 PMP를 推定하는 방법중 현재까지 정립된 내용을 중심으로 기술하였다. 이들 방법을 토대로 최근 많은 부분이 개선 및 정립되고 있는 실정이다. 특히 지형 영향을 고려한 계수 즉 R_{Gr} 에 대한 연구가 심도있게 계속되고 있고 또한 PMP 應用方法이 개선되고 있어 이에 대한 概念的 變化를 간략히 소개한다.

1970년대에 미국에서는 2편의 지역화 연구가 완성되었는데 하나는 미국 남서부(Hansen 등, 1977)에 대한 것이고, 다른 하나는 미국 동부(Schreiner and Riedel, 1978)에 대한 것이다. 이들 보고에서는 미국의 主要豪雨가 서로 다른 지역에서 서로 다른 방법으로 취급되었다.

미국 동부의 경우 1800년 중엽이래 主要豪雨가 600번 이상 나타났다. 실상 많은 수의 豪雨를 이용할 수 있고, 非山岳地域을 중심으로 호우가 분

포되어 있다면 전통적인 방법은 PMP를 一般化(Generalize)하는데 잘 맞는다고 할 수 있다. 따라서 Schreiner와 Riedel(1978)은 미국 동부에 대한 PMP를 얻기 위해 이 방법을 사용하였다. 이 연구에서는 豪雨를 特定流域으로 轉移하지 않았고 오히려 각 主要豪雨 마다 豪雨面積에 따른 同質性을 가정하여 轉移하였다. 전이된 여러 豪雨를 이용하여 지역간의 불연속이 없도록 매끄럽게 하고, 중요한 지점에서의 지역과의 관계를 검사한 후 여러 면적 및 持續期間 사이의 균등을 유지하기 위해 PMP를 조절하였다. 이 연구에서는 特定 豪雨面積에 대한 PMP는 각각의 基本圖에서 PMP값을 읽은 후 PMP-DAD 관계를 이용하여 원하는 持續期間과 豪雨面積에 대하여 PMP 推定치를 얻도록 하였다. 이 방법은 4.3.1에서 설명한 것중 R_{Gr} 를 제외한 것이다.

미국 남서지역의 경우(Utah, Nevada, Arizona)는 약 100여년 동안 약 50개의 주요 極值 豪雨가 기록되었다. 이 지역에서 낮은 豪雨記錄을 보인 이유는 면적은 넓으나 觀測地點數가 적고 동부와 비교하면 울퉁불퉁한 산악지대이며 水分流入型이 다르기 때문이라고 Hansen 등(1977)은 기술하였다. 그들은 이 지역에서 PMP를 推定할 때 부적합한 조건, 즉 매우 적은 호우갯수에 직면했기 때문에 전통적 방법과는 다른 방법을 고안하였다.

고안된 방법의 일부는 미국 서부에 대한 과거의 보고서(U. S. Weather Bureau, 1961, 1966)에서 사용된 절차를 따랐다. 이 방법에서는 PMP를 산악요소와 비산악 요소로서 분리추정한 후 이를 합함으로써 推定하는 것이다. 이 방법의 상세한 과정은 Hansen 등(1977)에 의한 보고서에 수록되어 있다. 간단히 기술하면 비산악 PMP형은 季節別 觀測最大潛在水分(12시간 지속 이슬점 해석)형과 비슷하다는 가정하에 개발되었으며 산악영향에 의한 PMP 요소를 결정하는 분야에서는 일반적으로 降水量에 대한 山岳效果가 아직 완전히 이해된 것이 아니기 때문에 개

략적 推定치에 만족했다. 山岳效果를 감안하기 위해 山岳地域의 주위에 있는 비산악지역에의 재현기간 100년 持續期間 24시간 降水量을 解析하였고 전지역 100년 해석으로부터 비산악 100년-24시간 성분을 빼면서 100년 降水量의 산악성분 推定하였다.

한편 미국동부지역에 대한 Schreiner 와 Riedel(1978)의 연구가 豪雨最大化로서 流域面積이 아닌 豪雨面積으로서 PMP를 推定하였기 때문에 실제 對象流域에 대한 PMP의 推定절차가 필요하게 되었다. 따라서 Hansen 등(1982)은 PMP의 정의를 豪雨面積에 대하여 수정 정의하게 되었으며 豪雨面積에 대한 PMP를 실제 流域面積에 대하여 보정하도록 空間分布型和 함께 다음과 같이 새로운 개념을 도입하였다.

첫째, 空間分布型을 流域形態에 따라 配置하는 概念.

둘째, 空間分布型的 配置에 따른 流域 PMP 推定概念.

셋째, 對象流域 밖의 流域에서 同時流量 推定 概念.

미국 기상대에서 발간한 Hydrometeorological Report 51(Schreiner & Riedel, 1978)과 Hydrometeorological Report 52(Hansen 등, 1982)은 미국 동부에 대한 PMP 推定치와 PMP 時·空間 分布 등을 다룬 것으로서 비슷한 성격을 띠고 있다. Jensen(1982)은 북서 Nebraska의 Niobrara강에 위치하고 있는 Box Butte Dam에 대하여 이들 보고서에서 기술된 방법에 따라 산정한 推定치와 流域概念의 PMP와 비교해 본 결과 그 차이가 최대 $\pm 14\%$ 정도에 달한다고 보고하였다. 이것은 豪雨面積에 대하여 推定된 PMP를 유역에 맞게 보정하는 것이 타당함을 제시한 것이다.

또한 최근 미개척국(United States Bureau of Reclamation)과 미기상대(United States National Weather Service)는 Continental Divide와 경도 103° 사이의 높은 山岳地帶를 이루고 있는 부분에서의 PMP를 연구하였다. 이 지역에서는 주

요 水分 流入方向과 豪雨時 水分流入方向이 다르고, 특히 호우시마다 최빈풍향의 현격한 차이를 나타냈다(Miller 등, 1984). 이를 해석하기 위하여 對象流域에 적절한 격자계를 가상, 설치한 후 각 격자점에 대하여 100년-24시간 確率降雨量圖를 이용, 豪雨를 轉移하였다. 이때 사용된 100년-24시간 確率 降雨量의 이용은 미국 남서 지방 연구(Hansen 등, 1977)에서 山岳成分을 推定하기 위한 確率降雨量의 이용과 다르다. Miller 등에 의하면 確率降雨量이 地形의 복잡한 영향을 대표할 수 있다고 가정하여, 100년-24시간 確率降雨量을 사용하였다. 또한 豪雨中 가장 降雨強度가 높은 부분에서부터 강우종료시까지 변화하는 降雨強度를 반영하기 위하여 山岳增分係數(Orographic Intensification Factor)를 이용하였다.

4.5 結 言

大規模 水工物 設計時 可能最大 降水量은 매우 중요한 요소로 고려된다. 이 可能 最大 降水量에 관하여 어떤 학자들은 降水量의 상한계는 없다라고 주장하고 있으나 이러한 견해는 지구의 수문계가 폐쇄계이기 때문에 물리적으로 볼때 비현실적이다. 또 어떤 사람들은 재현기간 10,000년에 해당하는 降水量을 PMP로 임의적으로 推定하고 있으나, 이러한 견해도 물리적인 근거가 없다(Chow 등, 1988).

그러면 PMP를 어떻게 정확히 推定할 수 있는가 또 推定된 PMP를 신뢰할 수 있느냐(너무 크지 않느냐)란 질문을 던질 수 있다. 그러나 이러한 질문의 대답은 정확히 할 수 없고 다만 현재의 지식과 자료로서 대응할 수 있을 뿐이다. Riedel & Schreiner(1980)에 의하면 현재의 전통적 방법으로 推定된 PMP의 90% 이상 발생한 豪雨が 3개, 80% 이상이 3개, 70% 이상이 18개라고 하였다. 이러한 관점에서 볼 때 현재의 전통적 방법은 어느 정도 합리성이 있다고 볼 수 있다.

본고에서는 국내의 경제적, 사회적 여건이 점

차로 발전됨에 따라 水工構造物的 設計豪雨로서 PMP의 중요성을 제고하고 技術水準의 向上을 위해 그 개념을 명확히하기 위하여 현재까지 정립된 PMP의 정의, 推定방법 그리고 최근의 연구동향에 이르기까지 간략하게 기술하였다.

參考文獻

1. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L. W.(1988). "Applied Hydrology", McGrawHill Book Company.
2. Cudworth, A.G. (1989) *Flood Hydrology Manual*. Water Resources Technical Publication, U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation
3. Engman, E.T., Parmele, L.H., and Burek, W.I., (1974) *Hydrologic Impact of Tropical Storm Agnes*, Journal of Hydrology., Vol.22, pp.179-193
4. 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, U.S. National Weather Service, U.S. Dept. of Commerce, Silver Spring, Md.
5. Hansen, E.M., Schwarz, F.K., and Riedel, J.T., (1977) *Probable Maximum Precipitation Estimates, Colorado River and Great Basin Drainages*, Hydrometeorological Report No.49, NWS, U.S. Dept. of Commerce, Silver Spring, Md.
6. Hershfield, D.M., (1961) *Estimating the Probable Maximum Precipitation*, Journal of Hydraulics Div., ASCE, Vol.87, pp.99-106.
7. Hershfield, D.M., (1965) *Method for Estimating Probable Maximum Precipitation*, Journal of American Water Works Association, Vol.57, pp.965-972.
8. Jensen, D.T., (1987) *Overview Application of HMR 51-52 and Site-Specific Storm(Transposition and Maximization Technique)*, Proceedings International Symposium on Hydrometeorology, American Water Resources Association, pp.547-557.
9. Miller, J.F., (1972) *Probable Maximum Precipitation-The Concept, Current Procedures, and Outlook*, Proceedings on 2nd International Symposium on Hydrology, Fort Collins, Colo., pp.50-61.
10. Miller, J.F., Hansen, E.M., Fenn, D.D., Schreiner, L.C., (1984) and Jensen, D.T., *Probable Maximum Precipitation Estimates, United States between the Continental Divide and the 103rd Meridian*, Hydrometeorological Report No.55, National Weather Service, U.S. Dept. of Commerce, Silver Spring.
11. Riedel, J.T. and Schreiner, L.C., (1980) *Comparison of Generalized Estimates of Precipitation with Greatest Observed Rainfall*, Tech. Rep. NWS No.25, Natl. Weather Serv., U.S. Dep. Commer., Silver Spring, Md.
12. Rakhecha, P.R., and Kennedy, M.R., (1985) *A Generalized Technique for the Estimation of Probable Maximum Precipitation in India*, Journal of Hydrology, Vol.78, pp.345-359.
13. Schreiner, L.C., and Riedel, J.T., (1978) *Probable Maximum Precipitation Estimates, U.S. East of the 105th Meridian*, Hydrometeorological Report No.51, National Weather Service, U.S. Dept. of Commerce, Silver Spring, Md.
14. Stalling, E.A., (1987) *Determination of Design Floods Using Storm Data*, Journal of Hydrology, Vol.96, pp.319-328.
15. Stalling, E.A., Cudworth, A.G., Hansen, E.H., and Styner, W.A., (1986) *Evolution of PMP Cooperative Studies*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol.122, No.44, pp.516-526
16. Weather Bureau, U.S., (1961) *Interim Report-Probable Maximum Precipitation in California*, Hydrometeorological Report No.36, Washington, D.C.
17. Wiesner, C.I., (1970) *Hydrometeorology*, Chapman and Hall, Ltd. London.
18. WMO, (1969) *Manual for Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation*, WMO No.237, Technical Paper

129. Geneva.

19. WMO. (1973) *Manual for the Estimation of Probable Maximum Precipitation*. Operational Hydrology Report No.1(WMO-No.332). Geneva.

20. WMO. (1986) *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*. Second Edition, Operational Hydrology Report No.1. Geneva. Switzerland.

21. 건설부, (1989) 한국가능최대강수량 추정, 수자원 관리기법개발 연구조사보고서, 제3권.

22. 김규호, 김양수, 이진원, 김승, (1988) 고정시간 간격과 임의에 지속시간 최대 우량간의 환산계수, 대한토목학회, 학술발표회개요집, pp.216-219.

23. 노재식, 이원환, 이길춘, (1986) 우리나라 최대 강수량 빈도계수 산정에 관한 연구, 한국 수문학회지, Vol.19, No.3, pp.249-257.

24. 이광호, 정창희, (1971) 낙동강 유역의 PMP 추정 에 관하여, 한국기상학회지, Vol.2, No.2, pp.57-63.

25. 이광호, (1988) 남한 4대강 유역에 대한 최대 가능 강수량의 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 연세 대학교대학원.

26. 윤세의, 이원환, (1980) 우리나라의 최대 가능강 수량 추정에 관한 연구, 한국수문학회지, Vol.13, No.3, pp.77-81.

5. 設計降雨의 時間分布(State of the art)

김 남 원*

5.1 序 言

流出分析에 있어서 그 입력자료인 강우는 이제 까지 많은 研究者에 따라 여러 각도로 파악되어 왔으며, 이것은 降雨現象이 복잡다양함은 물론 研究目的에 따라 流出現象을 좀더 정확히 파악하여 水資源 問題解決에 기여하려는 점에 있다.

水工構造物의 設計를 위한 기본자료는 자연현

상을 충분히 해석하여 결정된 洪水量 또는 流量 이며, 일반적으로 대부분의 構造物은 어느 特定 頻度 또는 再現期間에 해당하는 尖頭流量으로 설계한다. 이 경우 실제로 측정된 流出資料를 이용, 통계처리하여 원하는 정보를 얻는 것이 가장 合理的이고 쉬운 방법이나 일관성있고 장기간 측정된 流出資料를 얻는 것이 현실적으로 매우 어렵기 때문에 비교적 장기간 관측기록이 존재하는 降雨量을 이용하여 流出의 指標로 삼는다.

일반적으로 降雨의 再現期間과 流出의 再現期間이 같다는 가정하에, 特定頻度年의 設計流量은 降雨資料를 分析하여 降雨-流出 관계에 의하여 導出되는 것이 일반 적이며 設計流量을 도출하는 가장 간단한 방법은 合理式과 같은 經驗式을 사용하는 것이다.

이러한 經驗的 方法은 尖頭流量만을 推定하는 방법이다. 그러나 1970년 이후 (Yen and Chow, 1977) 尖頭流量 뿐만 아니라 流出水文曲線을 얻기 위하여 단위도법 이나 시뮬레이션 모델이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 방법에 의한 水工構造物 設計를 위해서는 設計降雨의 時間的 分布가 필요하다. 여기서 강우의 時間的 分布 라함은 시간에 따른 강우깊이 또는 降雨強度의 변화를 말한다. 실제강우는 한정된 持續期間에 따라 時間的, 空間的으로 매우 변화되는 양상으로 나타 내기 때문에 特定持續期間에 대한 강우의 時間分布는 주어진 강우깊이에 따라 다르게 나타나며, 게다가 豪雨에 따라 다르다. 이러한 降雨의 無作爲性으로 인해 미리 강우의 시간 분포를 정확히 예측하기란 매우 힘들기 때문에 過去 降雨事象에 의한 統計的 方法인 合成値로 나타낼 수밖에 없다.

여기에서는 水工構造物의 設計를 위해 필요한 設計降雨의 時間分布에 대한 意義와 國內의 時間分布分析 現況과 아울러 既往의 時間分布 分析模型을 개략적으로 정리 보고하고자 한다.

* 한국건설기술연구원, 연구원

5.2 設計降雨의 定義

設計降雨 또는 設計豪雨라 함은 特定目的의 水工構造物의 設計를 위하여 제시되는 降雨事象으로 定義된다(Arnell 등, 1984). 小規模構造物의 의미에서 設計降雨는 전 절에서 언급되었지만 豪雨를 이용하여 계산한 流出量이 호우와 같은 再現期間을 갖는다는 가정하에서 정의된 것이다. 設計降雨를 구축하는 일반적인 절차는 설계할 構造物의 設計頻度を 결정하고 流域特性에 맞는 到達時間을 결정하여, 이를 강우의 持續期間으로 취한다. 이와같이 構造物의 設計頻도와 降雨持續期間이 결정되면 降雨強度-持續期間-生期頻度(Intensity-Duration-Frequency : I. D. F) 曲線으로부터 持續期間에 따른 降雨強度를 얻을 수 있다. 그러나 I. D. F 曲線으로부터 얻는 강우 강도는 持續期間에 따라 시간적 분포가 일정하기 때문에 강우 사상으로 볼 수 없으나 강우-유출 모형이 合理式과 같은 經驗式인 경우에는 設計降雨로 채택할 수 있다. 따라서 設計降雨라 함은 持續期間에 따른 강우깊이(降雨強度)와 時間分布를 모두 가진 형태 즉 設計雨量柱狀圖를 말한다.

設計降雨는 일반적으로 두가지의 기본형태로 분류할 수 있다. 첫째는 人工的 降雨로서 과거 자료를 해석한 I. D. F에 근거를 둔 것이며 이는 尖頭流量을 산정하기 위해 주로 사용된다. 둘째는 과거의 實際連續降雨事象을 직접 사용하는 것이다. 이 형태는 주로 流出容積을 계산하기 위한 것이다.

현재 대부분의 設計降雨는 첫번째 형태인 尖頭流量을 계산하기 위한 것이나 遊水地 같은 設計, 즉 流出容積을 위해서도 사용되어진다.

5.3 設計豪雨의 時間分布模型

降雨特性을 나타내는 주요소로는 總降雨量, 持續期間, 最大降雨強度 등을 들 수 있으며 이는 주로 統計的 處理를 통해 水文解析에 사용되고 있다. 일반적으로 水工 構造物 設計時에 필요한 持

續期間에 따른 降雨強度(또는 강우깊이)는 I. D. F와 깊은 관계를 가지고 있으며 持續期間별로 降雨強度를 해석할 때 대체로 그림 5.1과 같은 관계로 해석하는 것이 일반적이다.

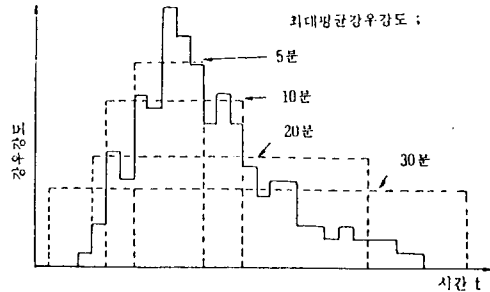


그림 5.1 最大平均降雨強度의 정의

그림 5.1은 統計解析을 위한 降雨強度를 持續期間別로 정의한 것이고 이를 해석한 I. D. F 값도 그림 5.1의 점선과 같은 형태인 균등한 時間分布를 나타낸다. 그러나 실제 강우사상에서 그림 5.1의 점선과 같이 일정한 時間分布를 나타내는 降雨事象은 매우 찾기 힘들다. 그래서 실제의 강우사상에 근접할 수 있는 것을 導出하고자 강우의 時間分布에 대한 分析方法이 많이 개발되었다.

1957년 Keifer와 Chu는 I. D. F 곡선을 이용하여 降雨強度와 時間分布를 동시에 정의하는 時間分布模型을 개발하였다. 이 모형의 가장 중요한 特徵은 호우의 시간적 분포양상이 I. D. F 곡선 형태를 따른다는 것이며, 이 모형은 I. D. F 曲線式이 식 1과 같다고 가정할 때 그림 5.2와 같은 형태로 나타낸다.

$$i_{av} = \frac{a}{t^b + c} \quad (1)$$

여기서 i_{av} 는 平均降雨強度(mm/hr), t 는 降雨持續期間(min) a, b, c 는 각각 상수이다.

이 모형의 기본적인 概念은 그림 5.2과 같이 最大降雨強度가 발생하는 위치를 全지속기간에 50%되는 지점을 선택, 最大部分을 중심으로 대칭적으로 분포시키는 것이다. 실제적으로 最大降

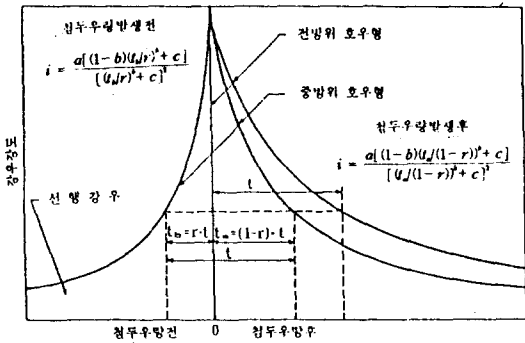


그림 5.2 Keifer와 Chu에 의한 時間分布模型

雨强度의 위치(r)는 이모형의 주요소이며, 最大降雨强度의 위치(r)를 계산하는 방법에는 2가지가 있다. 하나는 실제강우에서 持續期間에 따라 最大降雨强度部分을 찾아 해석하는 방법이고 다른 하나는 最大平均 降雨强度를 가지는 持續期間前에 발생하는 先行降雨量을 사용하는 방법이다.

Keifer & Chu(1957), Preul and Papadakis(1973), Bandyopadhyay(1972), McPerson(1958) 등에 의한 r 값은 0.32에서 0.48의 범위에 위치한다고 보고하고 있으나 국내 강우에 대한 해석 결과는 김남원과 서병하(1989)에 의하면 0.42-0.53의 범위로 나타났다. 이모형은 I.D.F 곡선으로 부터 직접 時間分布를 도출할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 시간적 분포자체가 最大雨量 부분을 너무 크게 부각시키고 있기 때문에 實際 降雨事象을 模式하는 것으로는 부적합하며 과대한 尖頭流量을 유발하는 것으로 보고되었다(Yen & Chow, 1977).

Huff(1967)는 미국 일리노이주의 강우기록을 統計學的으로 分析하여 降雨量의 時間的 分布를 나타내는 無次元 時間分布曲線을 제시하였다. 이는 降雨의 累加曲線을 이용하여, 全持續期間을 4등분하였을때 강우의 최대부위가 어느 구간에서 나타나는지 조사하였다. 즉 구간별 총강우량 값의 최대치가 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간에 있으면 제1구간 호우(First-quartile storm), 2/4구간에 있으면 제2구간 호우(Second-quartile storm), 3/4구간에 있으면 제3구간 호우

(Third-quartile storm), 그리고 마지막 구간에 있는 경우 제4구간 호우(Fourth-quartile storm)로 하였다.

4개 그룹으로 분류된 강우를 時間的으로 無次元화 시키기 위하여 개개 강우의 累加持續期間과 이에 따른 累加降雨量을 각각 百分率로 표시하고 분석하여, 確率을 도입하였다. Huff(1967), Volgel & Huff(1977) 그리고 Bonta & Rao(1989)에 의하면 대체적으로 짧은 持續期間의 호우는 1구간 또는 2구간 호우가 支配的이라고 제안하였고, 국내의 대부분 研究者들은 이모형에 의해 강우의 時間分布를 분석하였다. 이근후(1983)는 일강우량이 80mm 이상인 호우를 전국에 걸쳐 選別 解析한 결과 대체로 제3구간 호우가 지배적이라고 제시하였으나, 박찬영 등(1981), 김남원과 서병하(1989)는 제 2구간 호우가 지배적이고, 無次元 累加曲線중 確率 50%에 해당하는 曲線이 가장 유용함을 제시하였다. 서울지방의 경우 제2구간의 確率累加曲線은 그림 5.3과 같다.

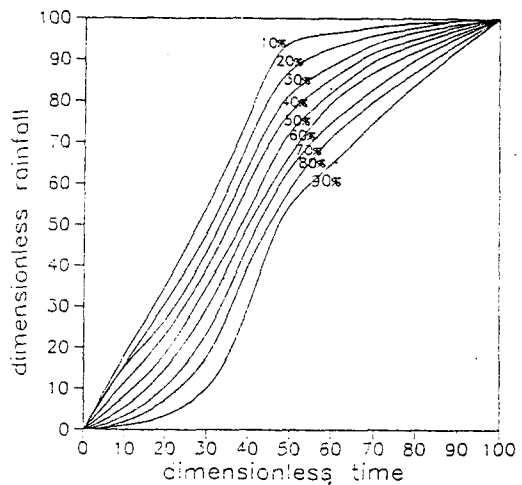


그림 5.3 제 2구간 豪雨의 無次元累加曲線(김남원과 서병하, 1989)

이 模型은 발생 가능한 時間分布를 區間別 確率別로 나타낼 수 있어 設計降雨의 時間分布 뿐만 아니라 실제 단독강우사상을 충분히 표현할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 累加曲線을 雨量

柱狀圖로 전환하기 위한 절차가 약간 복잡하여 사용상의 문제점을 가지고 있다 할수 있다.

Huff의 分析結果와 유사한 模型으로 영국 Flood Studies Report(FSR) (Natural Environment Research Council, 1975) 模型을 들 수 있다. 이모형의 總雨量은 I.D.F 관계로 부터 얻도록 권장되며, 降雨의 時間分布는 그림 5.4와 같이 持續期間 중앙에 最大 雨量部分이 位置한다고 가정하고 여름호우의 平均時間分布를 模型化 한 것이다.

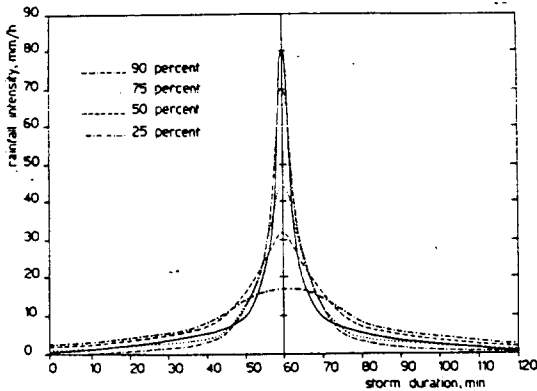


그림 5.4 FSR 豪雨의 時間分布(NERC, 1977)

Kidd and Packman(1980)은 이모형의 時間分布와 實際豪雨를 이용, 流出解析한 결과 다음과 같은 결론을 내렸다. 1) 강우의 재현기간과 流出의 再現期間이 같게 할 수 있다. 2) FSR 호우의 50% 時間分布가 사용되어야만 할 것이다. 3) 先行降雨에 대한 특별한 그래프가 준비되어야 할 것이다.

FSR의 時間分布와 Huff (1967)의 時間分布의 차이는 최대값의 발생이 持續期間의 중앙에 위치하느냐, 그렇지 않느냐에 있으며, 또한 FSR의 時間分布가 Huff의 時間分布보다 最大雨量部分을 크게 부각시킴을 알 수 있다.

한편 Pilgrim & Cordery(1975)는 일명 平均移動法이라는 모형을 개발하였으며, 이 모형은 현재 호주에서 設計降雨 결정시 標準方法으로 채택되고 있다. 이 모형으로 해석하는 節次는 다

음과 같다. 먼저 特定持續期間에 대한 강우량을 선별하고, 持續期間을 동일 時間區間으로 나누다. 각 時間區間에 내린 강우량의 크기에 따라 순차를 정한뒤, 각 時間區間別로 순위를 평균하여 平均順位를 결정한다.

그리고 總降雨量에 대한 時間區間降雨量의 百分率을 時間區間別로 平均하여 각 時間區間別 降雨 百分率을 결정한다. 이 강우 百分率은 平均順位에 따라 再排列한다. 이 모형은 持續期間별 로 강우의 時間分布를 명확히 한다는 장점이 있으나, 方法論 자체의 이론적 증거가 불충분하며 (Yen & Chow, 1977), 降雨資料가 制限的이거나, 없는 지점에 대하여는 직접 사용할 수 없다.

또한 짧은 持續期間의 雨量柱狀圖가 필요하다면 매우 짧은 時間區間 資料가 필요하다. 게다가 자료의 持續期間이 단일 호우 사상보다 큰 경우 분석에서 제외되는 단점이 있다. 이에 대한 研究는 Hall & Keen(1973)에 의해 評價되었으며 국내에서는 김남원과 서병하(1990)에 의해 국내강우가 分析된 바 있다.

대부분의 設計豪雨에 있어서 결점은 設計降雨 깊이가 즉 I.D.F에 의한 강우깊이가 實際豪雨에서 선별한 강우깊이보다 작다는 점이다. 이러한 결

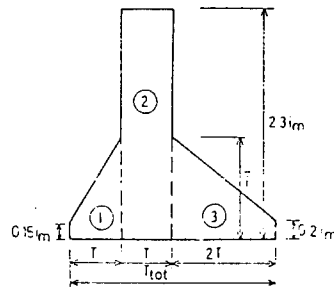


그림 5.5 Sifalda에 의해 제안된 模型

점을 피하기 위해 Sifalda(1973)는 그림 5.5와 같은 模型을 개발하였다(Arnell, 1984).

그림 5.5의 두번째 부분(그림에 (2)로 표시된 부분)은 I.D.F 곡선에서 결정된 것이고, (1)과 (3)의 부분은 實際豪雨 平均持續期間과 平均호우

체적을 나타내기 위한 부분이다. Sifalda는 실제 호우를 이용하여 그림 5.5의 각 계수를 推定하였지만 (2)부분의 時間分布는 표현하지 못하였다고 볼수 있다.

1977년 Yen과 Chow는 降雨의 時間分布를 삼각형과 사다리꼴 無次元 雨量柱狀圖로써 단순화한 模型을 개발하였다. 이 模型의 특징은 강우의 시작에서 끝까지의 持續期間을 t_d 라 할 경우 雨量柱狀圖를 1차, 2차 모멘트에 의해 時間分布를 모형화할 수 있다는 것이다. 여기에서는 1차 모멘트에 의한 삼각형 雨量柱狀圖만 기술한다.

雨量柱狀圖의 1차 모멘트 t 는 식 (3)과 같다.

$$t = \frac{t \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5) d_j \right]}{D} \quad (3)$$

여기서 D 는 호우총강우량이며, d_j 는 持續期間 t_d 를 n 개의 시간구간으로 나누었을때 j 번째 강우 깊이이다. 이를 이용하여 그림 5.6 과 같이 삼각형꼴로 雨量柱狀圖를 단순화하여, 無次元화하면 식 (4)~(5)와 같이 된다.

$$a^\circ = a/t_d = 3t^\circ - 1 \quad (4)$$

$$b^\circ = b/t_d = 2 - 3t^\circ \quad (5)$$

$$h^\circ = h/(D/t_d) = 2 \quad (6)$$

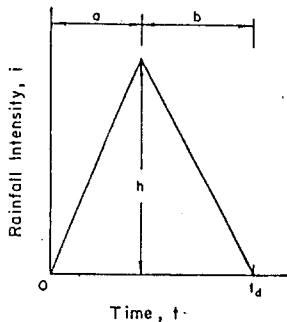


그림 5.6 삼각형 雨量柱狀圖형

여기서 t° 는 無次元 1차 모멘트로서 t/t_d 를 나타낸 것이다. 이 模型의 중요한 特徵은 尖頭雨量 발생위치를 나타내는 a° 의 값이다. Wenzel &

Voorhees(1981), Yen & Chow(1980)에 의해 이 모형은 평가되어 진다. 김남원, 서병하(1989)에 의하면 국내의 경우 a° 값은 0.42-0.48 범위에 있다고 보고한바 있다.

이 모형은 尖頭流量뿐만 아니라 流出容積을 계산하기 위해서도 사용되며, 사용하기에 편리한 점은 있으나, 豪雨構造象 모멘트의 부적합성과 모형자체를 지나치게 단순화하였기 때문에 상대적 단점이 될수 있다.

이상에서 기술한 時間分布模型의 L.D.F 곡선 중 持續期間-강우깊이 곡선을 이용하여 일정한 時間區間으로 설정한 후 각 강우깊이의 연속적 차이를 전방위, 중방위, 후방위 형태로 배열하는 방법(Block Method)이 있으나, 時間分布 자체에 너무 많은 불확실성이 내재하여 제외하였다.

5.4 時間分布 模型의 比較評價

時間分布形을 比較評價하는 방법에는 여러가지 있었으나 窮極의인 評價基準은 강우에서 도출되는 流量이라 할 수 있다. 일반적으로 模型은 Simulation 모형을 이용하여 소규모 유역내에서 過去 觀測降雨量으로 도출된 流量과 時間分布 模型에 의해 도출된 流量을 比較함으로써 評價되어지며 아울러 時間分布形의 敏感圖도 분석되어 진다.

Pilgrim-Cordery 模型을 제외하고 지금까지 論議된 模型을 流出解析을 통해 敏感圖 分析한 것을 文獻(Arnell, 1984)을 통하여 간추려보아 각 模型과 比較評價하면 표 5.1과 같다. Pilgrim-Cordery 模型은 敏感圖를 分析한 結果를 수집하지 못하였기 때문에 수록하지 않았다.

Jacobsen(1980)에 의하면 流出의 觀點에서 볼때 尖頭流量은 到達時間이 짧은 유역의 경우 降雨體積보다 最大降雨強度에 의해 결정되고 到達時間이 긴 유역의 경우 最大降雨強度보다 降雨體積에 의해 결정된다고 보고하였다. 이것으로부터 尖頭流量 뿐만 아니라 流出水文曲線은 流域面積 혹은 到達時間에 따라 매우 민감한 것을 알 수

표 5.1 時間分布 模型의 比較評價(Arnell, 1984)

설계호우형	설계호우와 설계호우로부터 도출한 첨두유량의 비교	저 자
I.D.F (균등분포)	10년 재현기간에서 실제호우의 50% 정도 과소추정	Sieker(1978)
	선행토양조건 포화상태: 약간 과대 및 과소추정	Wenzel & Voorhees(1981)
	선행토양조건 건조상태: 15-40% 과소추정	
Keifer & Chu	시간구간을 2분 사용: 약 75% 과소추정	Marsalek(1978)
FSR	약간 과소와 과대추정(약 10% 이내)	Packman & Kidd (1980)
Huff	지속기간 1시간인 경우: 과대추정(20%)	Marsalek(1978)
	선행토양조건 건조상태: 약간 과소 및 과대추정	Wenzel & Voorhees(1981)
	선행토양조건 포화상태: 과대추정	
	과소추정(5-15%)	Arnell(1982)
Sifalda	약간 과소 및 과대추정	Arnell(1982)
Yen-Chow 삼각형 우량추상도)	선행토양조건 포화상태: 과대추정	Wenzel & Voorhees(1981)
	선행토양조건 건조상태: 과대 및 과소추정	

있다(Arnell, 1984).

표5.1에서 流域面積과 강우-유출모형의 선택여부 등이 포함되어 있지 않기 때문에 명확한 비교라기 보다 개략적인 尖頭流量의 비교로 볼 수 있다. I.D.F에서 추출된 降雨強度는 매우 過少推定되는 경향이 있고 Keifer & Chu 모형은 過大推定된다는 것을 표 5.1을 통해 알 수 있으며 FSR, Huff 그리고 Yen-Chow 모형은 持續期間, 先行土壤條件 등에 따라 매우 다양한 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 각 模型들은 사용하기 간편하다는 長點들을 가지고 있으나 先行土壤水分條件, 空間分布 등의 요소를 충분히 고려하지 못하는 短點이 있다. 이러한 요소를 보완하기 위해 結合確率을 摸索하거나, 기왕의 連續豪雨를 시뮬레이션하여 頻度解析하는 방법들이 최근 研究되고 있다(Nienczynowicz, 1984).

5.5 結 論

본고에서 設計豪雨의 時間分布에 대한 概念과 이를 해석하기 위한 기존 時間分布 模型을 수집 정리하였고 아울러 각 模型에 의한 국내 강우를 해석한 상황도 살펴보았다. 이상의 模型은 엄격

히 말한다면 尖頭流量을 주요대상으로 한 모형이며 流出容積에 대한 것은 아니다. 流出容積을 정확히 推定하기 위해서 過去의 觀測降雨事象을 이용하여 降雨-流出關係로 해석하여야 하는 등 실제적으로 사용하기 매우 까다롭기 때문에 현재의 時間分布 模型이 流出容積計算에도 사용되고 있다.

이러한 개념으로 볼 때 현재의 時間分布 模型은 유용하다고 볼 수 있으나 이들 모형을 국내에 적용시키기 위해서는 국내유역에 따른 敏感度分析 및 設計降雨에 대한 더많은 논의가 선행되어야 할 것이다.

水工構造物設計를 위한 강우에 대한 研究가 주로 강우깊이 혹은 降雨強度에 대한 研究에 집중되어 있는 국내사정을 감안할 때 設計豪雨에 대한 기본가정에 충실하고, 水工構造物의 合理的인 設計를 위해서는 여기에서 논의한 강우의 時間分布뿐만 아니라 空間分布, 先行降水量, storm movement등의 변수문제를 연계하는 研究가 이루어져야 할 것이다.

參考文獻

1. Arnell, V., Harremoes, P., Jensen, M., Johansen, N.

- B. and Niemczynowicz, J., (1984) *Review of Rainfall Data application for Design and Analysis*, Water Science Tech., Vol.16, Copenhagen, pp.1-45.
2. Bandyopadhyay, M., (1972) *Synthetic Storm Pattern and Runn of for Gauhati, India*, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol.98, No. HY5, pp.845-857.
3. Bonta, J.A. and Rao, A.R., (1989) *Regionalization of storm Hyetographs*, Water Resources Bulletin, AWAR, Vol.25, No.1, pp.211-217.
4. Hall, A.G., and Keen, T.H., (1973) *Design Temporal Patterns of Storm Rainfall in Australia*, Hydrology Symposium, Perth, Institution of Engineers, Australia, National Conference Publication 73/3/3, pp.77-84.
5. Huff, F.A., (1967) *Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms*, Water Resources Research, Vol.3, No.4, pp.1007-1019.
6. Huff, F.A., (1970) *Time distribution Characteristics of Rainfall Rates*, Water Resources Research, Vol.6, No.2, pp.447-454.
7. Keifer, C.I. and Chu, H.H., (1957) *Synthetic Storm Pattern for Drainage Design*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.83, No. HY4, pp.1-25.
8. Kidd, C.H.R., and Packman, J.C., (1980) *Selection of Design Storm and Antecedent Condition for Urban Drainage Design*, Report No.61, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxen, U.K.
9. McPherson, M.B., (1958) *Synthetic Storm Pattern for Drainage Design*, Discussion, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.84, No. HY1, pp.49-57.
10. Niemczynowicz, J., (1984) *An Investigation of the Areal and Dynamic Properties of Rainfall and Its Influence on Runoff Generating Processes* Department of Water Resources Eng., Lunds Institute of Technology, Report No.1005, Sweden.
11. Natural Environment Research Corncil, (1975) *Flood Studies Report*, Vol.2, Meteorological Studies, Natural Environment Research Council, London, U.K.
12. Pilgrim, D.H. and Cordery, I., (1975) *Rainfall Temporal Patterns for Design Floods*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.101, No. HY1, pp.81-95.
13. Preul, H.C. and Papadakis, C.N., (1973) *Development of Design Storm Hyetographs for Cincinnati, Ohio*, Water Resources Bulletin, Vol.9, No.2, pp.291-300.
14. Tholin, A.L., and Keifer, C.I., (1960) *The Hydrology of Urban runoff*, Transaction, ASCE, Vol.125, pp.1308-1379.
15. Vogel, J.L., and Huff, F.A., (1977) *Heavy Rainfall Relations over Chicago and Northeastern Illinois*, Water Resources Bulletin, Vol.13, pp.959-971.
16. Wenzel, H.G. Jr. and Voorhees, M.L., (1981) *An Evaluation of the Urban Design Storm Concept*, Research Report 164, Water Resources Center, University of Illinois at Urbana Champaign.
17. Yen, B.C. and Chow, V.T., (1977) *Feasibility Study on Research of Local Design Storms*, Report NO. FHWA-RD-78-65, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
18. Yen, B.C. and Chow, V.T., (1980) *Design Hyetographs for Small Drainage Structures*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.106, No. HY6, pp.1055-1076.
19. 건설부, (1988) 한국확률강우량도의 작성, 수자원 관리기법개발연구조사보고서 제2권.
20. 김남원, 서병하, (1989) 지역별 설계강우의 시간적 분포, 건설기술연구연보, Vol.2, 한국건설기술연구원, 기본연구(4) 7-16.
21. 박찬영 외 3인, (1981) 소유역의 설계우량 산정을 위한 강우형상분석에 관한 연구, 한국수문학회지, Vol.14, No.4, pp.13-18.
22. 서병하, 강관원, 윤용남, (1981) 도시하수도망의 수문학적 평가와 설계확률 유량의 점대화 성향에 관한 연구(제1보), 한국수문학회지, Vol.14, No.4, pp.27-33.
23. 서승덕, (1965) 폭우의 시간적분포에 관한 고찰, 한국농공학회지, Vol.7, No.2, pp.792-797.

그림 3은 지점별 8월말 누가 강수량을 나타낸 것이다. 특기할만한 사실은 8월말까지 전국적으로 약간 많은(11%) 강수가 내렸으나 서울에서는 8월말까지 기록된 1,648mm의 강수량은 최근 80년 동안 1940년에 기록된 1,719mm 다음으로 큰 값이다. 8월말 서울의 누가 강수량 표준 편차값이 290mm이므로 올해 강수량은 빈도로 환산할때 100년 이상의 값이라고 할 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이 올해의 강수량은 전국적으로는 8월말까지 예년과 비교하여 약 11% 해당하는 양이 내려 표준편차(30%에 해당)와 비교할때 특이할 만한 것은 아니라고 할 수 있다. 그러나 국부적으로는 서울지방의 경우 1940년 이래 가장 많은 강수량을 기록함으로써 다른 지역과는 상당히 다른 현상을 보여주고 있다.

→ 314페이지에서 계속

- 韓國氣象學會誌, 第3卷 第1號, pp.59-63,
14. 金永漢, 鮮于 仲皓, (1978) 韓國水文資料에 대한 Cross-Spectrum分析, 大韓土木學會誌, 第26卷, 第1號, pp.125-136,
15. Cho, H.K. (1978) *Secular Variation of the Rainfall in South Korea*. In Climatic Changes and Food Productions: International Symposium on Recent Climatic Changes and Food Production, held October 4-8, 1976, Tsukuba and Tokyo. 25-39. 1978.
16. 曹喜九, (1978) 南韓의 地域間, 季節間 降水量의 特性, 韓國水文學會誌, 第11卷, 第2號, pp.62-69,
17. 曹熙九, 羅逸星, (1988) 18世紀 韓國의 氣候變動 (降雨量을 中心으로), 延世大學校 國學研究院, 東方學誌, 第22輯, pp.83-103,
18. Her, K.M.. (1986) *A Study of the Variation and Prediction of the Precipitation in Seoul Area*, Yonsei University Master Thesis. 1986.
19. 김정우, 하경자, (1987) 서울 月降水量의 經年變動과 氣候變化, 韓國氣象學會誌, 第23卷 第3號, pp.54-69,
20. 李元煥, 李吉春, 趙元喆, (1987) "漢江流域 降雨의 時·空間의 特性 考察", 第29回 水工學 研究發表會 論文抄錄集, pp.17-28,
21. 韓國 建設技術研究院, (1988) 우리나라 主要 都市의 資料記錄期間에 따른 降雨量變化에 關한 研究, 第30回 水工學 研究發表會 論文抄錄集,

→ 305페이지에서 계속

24. 윤용남, (1986) 공업수문학, 청문각.
25. 이근후, (1983) 폭우의 시간적분포에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 서울대학교 농공학과.
26. 이은용, 강관원, (1982) 확정론적 모의기법에 의한 도시유출해석에 관한 연구, 한국수문학회지, Vol.15, No.3, pp.37-47.