

9. 河川流域의 設計 洪水量 決定을 위한 P.M.P의 算定 및 適用

嶺南大學校 教授(工博) 李舜鐸

嶺南大學校 大學院卒 朴定奎



# 河川流域의 設計 洪水量 決定을 위한 P.M.P.의 算定 및 適用

## PMP Estimation and Its Application for the Design Flood Determination in River Basin

李 舜 鐸\*

Lee, Soontak

朴 定 奎\*\*

Park, Jung Kyoo

### ABSTRACT

This study aims at the analysis and application of PMP (Probable Maximum Precipitation) for the determination of design flood in the river basin planning and design of major hydraulic structures.

PMP was estimated by hydro-meteorological method, statistical method and envelope curve method. PMF (Probable Maximum Flood) was then estimated from this PMP by synthetic unit hydrograph method and Chow method.

From the comparison of three methods for PMP estimation of magnitude of PMP in order of statistical, hydro-meteorological, envelope curve method. Among PMP results estimated by each method it is believed that the hydro-meteorological method gave the best proper value in comparison with historical maximum rainfall because of this method reflected upon all meteorological factor.

From the comparison of PMP with probable rainfall and flood, it was shown that estimated value by statistical method and hydro-meteorological method were nearly equivalent to the value of return period 100 years and its value of envelope curve method was equivalent to return period 200 to 500 year.

It was found that PMF estimated from would be more safe for the design of major hydraulic structures in the consideration.

### 要 旨

본 연구는 河川流域에 있어서, 大規模 水工構造物의 設計洪水量 결정을 위한 最大可能降水量 (PMP) 분석 및 適用에 그 목적이 있다.

PMP는 水文氣象學의 方法, 統計學의 方法, 包絡線 方法으로 산정하였으며, 最大可能洪水量 (PMF)은 合成單位圖法과 Chow 方法으로 산정하였다.

각 方法에 의한 PMP를 비교해 본 결과, 統計學의 方法, 水文氣象學의 方法, 包絡線 方法의 크기 순으로 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 산정된 PMP를 기왕의 最大降雨量과 비교해 본 결과 水文氣象學의 方法이 氣象學의 諸要素를 고려한 方法이 가장 타당한 方法이라고 사료된다.

산정된 PMP 및 PMF를 확률 수문량과 비교해 본 결과 水文氣象學의 方法 및 統計學의 方法은

\* 嶺南大學校 工科大学 教授·工博

\*\* 嶺南大學校 大學院 土木工學科(水資源工學專攻)

再現期間 1000년 확률 수문량을 다소 상회하는 것으로 나타났으며, 包絡線 方法은 再現期間 200~500년 확률 수문량에 접근하고 있음을 알 수 있었다.

대규모 수공 구조물의 설계에 있어서 危險度를 고려할 경우에는 PMP로부터 PMF를 산정하는 것이 타당한 것이다.

## 1. 序 論

인구의 증가와 産業의 發達로 인하여 물의 消費가 증가함에 따라 그 需要量을 충족시키기 위한 計劃의 일환으로서 댐과 같은 大規模 水工構造物이 많이 건설되고 있다.

이러한 大規模 水工構造物은 파괴로 인한 피해를 경제 단위로 표시할 수 없을 정도로 크므로 最惡의 氣象條件이 동시에 작용하여 발생 가능한 最大可能降水量 (Probable Maximum Precipitation; PMP)을 합리적인 방법으로 算定하고 채택함으로써, 大規模 水工構造物의 파괴로 인한 피해를 줄이는 데 PMP를 求하는 目的이 있다.<sup>1)</sup>

PMP는 1938년 美國氣象局(US, Weather Bureau)에 의해 처음으로 算定된 후,<sup>2)</sup> Paulhus와 Gilman, Hershfield, McKay, Chow, Linsely 등에 의해 연구 되었으며,<sup>3,4,5,6)</sup> WMO (1973년)에서 일반적인 방법이 발표되었다.<sup>1)</sup>

本 研究에서는 慶北地域의 最近資料(1975~1984年)<sup>7)</sup>를 이용하여 水文氣象學의 方法(Hydro-meteorological Method), 統計學의 方法(Statistical Method), 包絡線(Envelope Curve)에 의하여 PMP를 산정하고 대상 유역의 降雨樣相(Temporal Pattern)<sup>8)</sup>을 분석한 후, 最大可能洪水量(Probable Maximum Flood; PMF)을 單位圖法과 Chow 方法으로 산정하므로써, 慶北地域의 大規模 水工構造物의 설계를 위한 洪水量 결정에 活用할 수 있도록 하였다.

## 2. PMP 算定의 基本理論

### 2-1, 水文氣象學의 方法(Hydro-meteorological Method)<sup>1), 9), 10), 11)</sup>

기왕의 氣象資料로부터 最惡의 기상조건으로 가정 한 후 濕潤最大化(Moisture Maximization), 豪雨의 移轉(Storm Transposition), 바람의 最大化(Wind Maximization), 高度의 影響(Effect of Height) 등을 고려하여 豪雨最大化比(Storm Maximization Ratio: SMR)을 구하고, 기왕의 자료중 各持續時間別 最大降雨量을 곱함으로써 PMP를 구할 수 있다.

濕潤最大化는 동일장소와 동일계절의 豪雨露點溫度와 그 地域의 最大露點溫度에 의한 比濕(Specific Humidity)으로 부터 대기중에 可能降雨量(Precipitable Water)을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$W: q \cdot \Delta p / g \cdot \rho \dots \dots \dots (1)$$

W: 可能降水量(cm)

q: 基層의 平均比濕(g kg<sup>-1</sup>)

Δp: 上·下基層의 壓力差(mb)

g: 重力加速度(cm sec<sup>-2</sup>)

ρ: 水蒸氣密度(g cm<sup>-3</sup>)

위의 과정을 간편하게 Nomogram 化 한 것이 Fig. 1이며,<sup>12)</sup> 12시간 持續性 最大露點溫度에 의하여 可能降水量을 구할 수 있으며 濕潤最大化比(Moisture Maximization Ratio: MMR)는 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$r_m = W_m / W_s \dots \dots \dots (2)$$

W<sub>s</sub>: 豪雨의 露點溫度에 의한 可能降水量.

W<sub>m</sub>: 最大露點溫度에 의한 可能降水量.

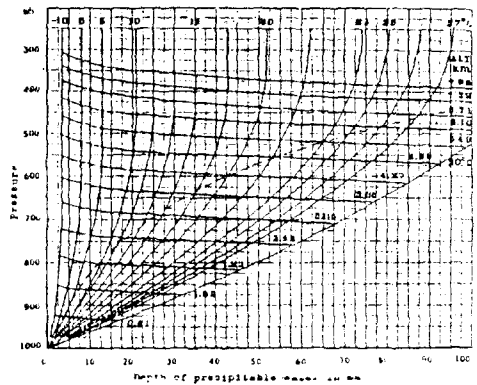


Fig. 1. Depth of Precipitable Water of Given Height and Dew Point.

豪雨의 移轉은 기왕의 豪雨가 발생한 지역에서 다른 지역으로 移轉하는 것을 의미하며 移轉限界(Transposition Limit)는 모든 豪雨에 있어서는 同一한 지역으로 移轉되며, 氣象學的 要素에 상당한 영향을 받는 移轉化(Transposition Ratio: TR)는 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$r_{ii} = W_i / W_i \dots \dots \dots (3)$$

$W_i$ : 移轉地域의 最大露點溫度에 의한 可能降水量.

豪雨最大化比는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$r_{im} = r_m \cdot r_{ii} \dots \dots \dots (4)$$

$r_{im}$ : 豪雨最大比  
 $r_m$ : 濕潤最大化比  
 $r_{ii}$ : 移轉化

PMP는 各持續時間別 最大降水量에 豪雨最大化比를 곱함으로써 산정된다.

### 2-2. 統計學의 方法(Statistical Method)<sup>1), 13), 14), 15)</sup>

이 방법은 氣象學의 資料가 부족한 경우 개략적인 산정방법으로서 水文氣象學의 方法의 약점을 제거하기 위하여 日雨量의 年最高系列로 부터 統計學의 方法으로 해석하는 방법이며, WMO에서는 Hershfield에 의한 일반적인 頻度式(Frequency Equation)에 기초를 두어 다음 식과 같이 제안을 하였다.

$$X_n = \bar{X}_n + K_n \cdot S_n \dots \dots \dots (5)$$

$X_n$ : PMP (mm)  
 $\bar{X}_n$ : 年最高系列의 標準偏差  
 $K_n$ : 統計學의 變數

매우 심한 豪雨는 그 系列에서의 再現期間(Return Period)보다 더욱 더 짧은 기간 동안에 관측되어 질 수 있다. 이러한 豪雨를 極豪雨(Outlier)라고 하며, 이 값은 年系列의 平均이나 標準偏差에 상당한 영향을 미친다. 이러한 영향을 고려하기 위하여 補正係數(Adjustment Factor)을 구한 후  $X_n$ 과  $S_n$ 을 補正하여야 하며, 또한 심한 豪雨의 確率分布는 기록 길이가 짧으면 陰의 歪曲(Negative Skewness)을 가지므로 기록년수에 대하여 平均과 標準偏差를 補正하여 사용하여야 한다. 고정된 관측 시간으로 부터 관측된 강우량은 임의의 지속시간을 갖는 連續最大降雨量을 나타낼 수 없으므로 관측시간 간격에 대한 補正係數<sup>16)</sup>를 이용할 수 있으며, 統計學의 變數(Statistical Variable)는 강우량이 증가함에 따라  $K_n$  값도 증가한다. 따라서 WMO에서는 Hershfield에 의하여 경험적으로 결정된 값을 사용하도록 권장하고 있다.<sup>1)</sup>

### 2-3. 包絡線(Envelope Curve)에 의한 方法<sup>1)</sup>

PMP는 어떠한 최악의 기상학적 조건이라도 기왕에 일어났던 최대강우량을 크게 벗어날 수 없다는 가정하에서 그 지역의 지속시간별 최대강우량을 선택하는 방법으로서 일반적인 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$PMP = a \cdot D^T \dots \dots \dots (6)$$

$a, T$ : 常數  
 $D$ : 持續時間(min)  
 $PMP$ : 可能最大降水量(min)

## 3. PMP 分析

### 3-1. 分析流域의 特性<sup>17)</sup>

본 연구의 대상유역은 우리나라 동남부에 위치하고 주로 낙동강의 중상류 유역, 兄山江 유역 및 동해안 소하천 유역 일부를 포함하고 있는 경북지역에 적용하였다. 즉, 경북지역을 크게 나누면 霖雨觀測地點別로 店村, 安東, 義城, 榮州, 善山 등의 낙동강 상류권 수계지역 倭館, 大邱, 永川을 중심으로 한 琴湖江 合流水系, 慶州, 浦項의 兄山江 水系地域 및 동해안으로 유입되는 蔚珍, 盈德 등의 동해안 지역으로 대별할 수가 있다.

### 3-2. 各 方法에 의한 PMP 산정

#### (1) 水文氣象學의 方法

PMP 산정을 위한 對象豪雨는 기왕적 발생했던 최대 호우를 선정하는 것이 가장 합리적이라는 Willams의 理論에 따라 1975~1984년 기간중에서 관측된 각 지점별 최대강우량을 기록한 豪雨를 선정하였으며, 豪雨의 노점온도(Dew Point)는 선정된 豪雨와 동일한 시간에 濕潤流入方向(Direction of Moisture Inflow)을 고려하여 주변지역의 12시간 지속성 最大露點溫度를 평균하여 구하였다. 즉, Table 1과 Fig 2는 선정된 豪雨 및 露點溫度를 결정하는 방법을 나타낸다.

각 지점별 12시간 持續性 最大露點溫度는 1920~1984년 사이 심한 豪雨가 발생하는 계절인 6월~9월을 선정하여 各 旬別값을 조사하였으며, 이 값들로 부터 계절적 변동(Seasonal Variation)곡선을 나타낸 것이 Fig 3이다.

大氣의 수분(Moisture)이 강우가 형성 되려면 氣溫이 노점온도 이하도 되어야 하며 지상에서 大氣壓이 1000 mb이면 대기권 상층에서는 200 mb이고 濕潤最大化比는 그 사이 大氣水文學의 일부가 강우를 형성하므로, 最高露點溫度에 의해 WMO에서 제시한 可能降水量表와 (2)식을 이용하여 구하였다.

호우의 移轉은 분석자료의 보충을 위하며 氣候團이 같은 지역의 호우를 대상유역으로 移轉하는 것으로서, 선정된 호우의 중심, 等雨量線圖(Isohyeto), 累加雨量曲線(Mass Curve)에 의한 영향과 지형 및 接地面 등

에 의한 降雨의 원인 및 특성을 세밀히 분석한 결과 移轉限界를 결정하였다. 본 연구에서는 기왕의 자료중 각 지점별 최대호우의 等雨線圖와 대상구역의 구분 등으로부터 경계를 살펴본 결과, 自然食生에 영향을 주는 氣溫과 강우량에 중점을 두어 氣候區分을 실시한 Köppen 法에 의한 한계선과 거의 비슷한 형을 나타내고 있으므로 Köppen 법의 구분에 의하여 移轉限界를 선정하였다. Fig 4는 1984년 9월 2日 호우의 移轉을 나타낸다. 義城地域에서는 같은 移轉限界內에서 善山(Upper)과 永川(Lower)으로 이진되며, 安東地域에서는 榮州(Upper)와 店村(Lower)地域으로 이진시켜 移轉比를 구하였다.

最大豪雨는 고도의 영향을 고려한 濕潤最大化比에 移轉比를 곱함으로써 구한 결과 Table 2와 같으며, 水文氣象學의 방법에 의한 각 지점별, 지속시간별 PMP는 最大豪雨比와 기왕의 최대강우량의 곱으로 계산될 수 있으며 그 결과는 Table 3와 같다.

降雨깊이—流域面積—持續時間 (Depth-Area-Duration) 관계는 강우의 시간적 공간적 분포를 결정하기 위한 것으로서 선정된 기왕의 최대호우와 水文氣象學의 방법에 의한 PMP의 DAD 곡선을 유도하였다.

#### (2) 統計學의 方法

수문자료를 통계학적으로 분석할 경우 기본자료는 年 最大值系列을 선택하며, 純無作為成分(Pure Random Component)을 가지며, 그리고 대상구역에 대한 자료역시 同質性(Homogeneity)을 가져야 하므로 본 연구에서는 각 지점별 강우량자료를 사용하여 1시간에서 72시간까지 년최대계열을 작성하였다. 통계치 자료의 보정계수 및 통계학적 변수는 WMO에서 제시한 값을 사용하였으며, 계상과정은 컴퓨터를 이용하였다. Flow Chart는 Fig 7와 같으며 통계학적 방법에 의한 PMP는 Table 4와 같다.

#### (3) 包絡線 方法

包絡線은 기왕의 자료로부터 가장 큰값을 선택하는 과정으로서 각 지점의 지속시간별 최대강우량 계열에서 분석대상유역을 하나의 경계로 택하여 각 지속시간별 최대강우량을 표본으로 선택하였으며, 이들 極值系列은 指數函數의 형태로 증가함을 보여주고 있다. 본 연구에서는 10分~280時間사이의 각 지점별 최대 강우량을 조사하였으며 이 값들로부터 각 지속시간(min)을 媒介變數로 하여 對數數紙(Log-Log Paper)에 표시하면 Fig 9와 같다. 여기에서 나타난 바와 같이 대체로 12시간을 경계로 하여 PMP 관계식이 다른 형태를 보여주며, 그 결과 관계식은 다음과 같다.

$$R=14,542 D^{0.491} \quad (D \leq 720 \text{ min})$$

$$R=40,162 D^{0.343} \quad (D > 720 \text{ min})$$

D : 지속시간(min)

R : PMP(mm)

## 4. PMP의 適用

### 4.1. 강우 時間樣相(Temporal Pattern)<sup>1)</sup>

호우의 시간적 분포를 결정하는 것은 雨수량을 산정하는데 있어서 매우 큰 영향을 미친다. 그러나 강우의 時間樣相은 豪雨期間에 있어서 동일한 형태로 나타나지 않는다. 尖頭流出은 다르게 되므로 最大尖頭가 發生하는 지속시간을 찾는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 豪雨持續時間을 洪水量 산정에 알맞은 몇 개의 동일기간으로 나누어 降雨樣相을 분석하는 Pilgrim 方法에 의해 PMP 柱狀圖를 얻고자한다. 한 流域에 내리는 降雨의 시간적 분포의 특성은 과거역 강우기록을 사용하여 강우의 持續時間 및 總降雨에 대한 백분율로 無次元 曲線의 형태를 취하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 慶北地方의 水害樣相 및 綜合對策을 위한 水文學的 調查研究<sup>2)</sup>로부터 인용되었으며, 이는 1975년~1984년사이 50 mm 이상은 기록한 호우를 선정한 후, 각 지역별 降雨持續期間을 4등분하여 降雨初期에 해당하는 처음 1/4 구간을 第1區間降雨(First-quartile Storm), 다음 1/2 구간에 해당하는 강우를 第2區間降雨(Second-quartile Storm), 다음 3/4 구간에 해당하는 강우를 第3區間降雨(Third-quartile Storm), 마지막 부분의 강우를 第4區間降雨(Forth-quartile Storm)로 분류하였으며, 각 持續時間別 豪雨의 時間分布樣相을 산정한 결과로부터 호우의 無次元 累加曲線을 나타낸 것이 Fig 10이며, 즉, 굵은 실선은 Pilgrim의 降雨의 時間樣相을 나타내며, 점선은 평균치를 나타낸다.

### 4.2. PMF 산정

#### (1) 合成單位圖法

誘導된 實測單位圖에 의하여 분석지점에 대한 合成單位圖를 이용하여 PMF를 산정하고자 한다. 분석지점은 중요한 支流의 流入 전후의 지점, 즉 半邊川合流後(No. 1), 眉川合流前後(No. 2, 3), 九潭(No. 4), 乃城川合流前後(No. 5, 6), 潁江合流前後(No. 7, 8), 屏城川合流前後(No. 9, 10), 渭川合流前後(No. 11, 12), 甘川合流前後(No. 13, 14), 浦南(No. 15), 倭館(No. 16), 錦南(No. 17), 白川合流前後(No. 18, 19), 琴湖江合流前後(No. 20, 21), 梅谷(No. 22), 本里(No.

23), 玄風(No. 24), 合川合流前後(No. 25, 26)지점을 택했다.

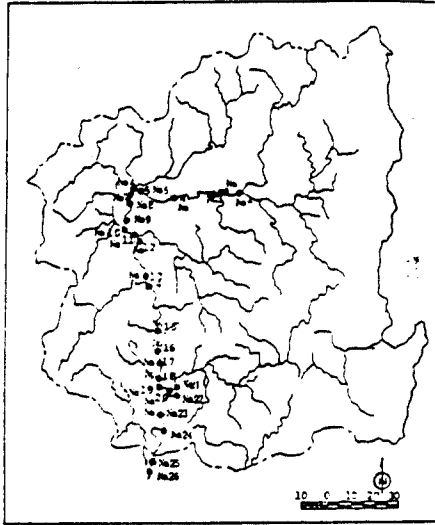


Fig. 11. Stations for Analysis

流出量에 직접적인 영향을 미치는 流出率과 合成單位圖는 慶北地方의 水害樣相 및 綜合對等을 위한 水文學的 調查研究<sup>21)</sup>에서 유도된 것을 이용하였다. Fig 12는 玄風地點의 PMP 柱狀圖를 나타내며, Table 5는 合成單位圖관계식을 나타낸다.

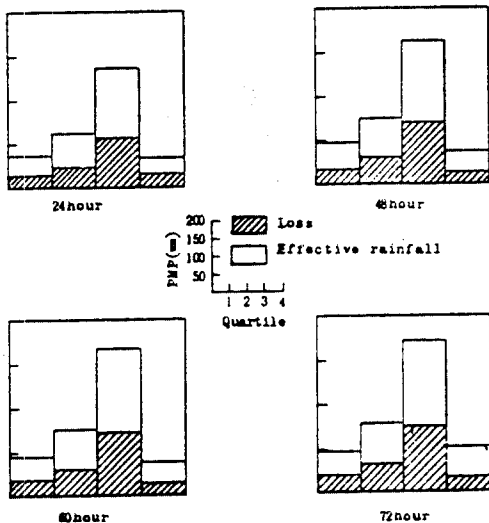


Fig. 12. PMP Hyetograph at Hyunpung Station

일반적으로 강우가 시작되어 到達時間 범위 내에서는 流量이 증가하고 시간이 경과함에 따라 尖頭流量이 나

타나므로 各 持續時間別 洪水量중 最大洪水量은 PMF로 결정하였다.

(2) Chow 方法<sup>22)</sup>

한 流域의 尖頭流量은 有效降雨量과 單位圖上의 尖頭值의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$Q = R_e \cdot P$$

여기서  $R_e$ 는 지속시간별 有效降雨量(cm),  $p$ 는  $t$ A간 單位圖의 尖頭流量( $m^3/sec$ )이고,  $Q$ 는 유효우량  $R_e$ 로 인한 水文曲線의 尖頭流量이다. 流域面積( $A: km^2$ )에  $(1/t)cm/hr$ 의 降雨強度가 내리는 강우로 인한 平衡流量  $Q_0(cm^3/sec)$ 는

$$Q_0 = 2.778/t$$

로 표시 된다.  $t$ 시간 單位圖의 尖頭  $P$ 와  $(1/8)cm/hr$ 의 降雨強度로 인한 平衡流量  $Q_0$ 와의 比를 尖頭減少因子(Peak Reduction Factor,  $Z$ )를 정의하면

$$Z = P/Q_0 = P \cdot t / 2.778 \cdot A$$

이들 尖頭  $P$ 의 관하여 표시하면 다음과 같다.

$$P = 2.778 \cdot Z / t$$

윗 식을  $Q$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$Q = 2.778 R_e \cdot A \cdot Z / t$$

여기서  $2.778 R_e / t$ 는 流出因子(Run-off Factor,  $X$ )와 降雨因子(Climatic-factor)의 項으로 표시할 수 있다.

$$X = R_e - Index / t$$

$R_e - Index$ 는 지표지점의 有效降雨量,  $R_e$ 는 임의의 지점에 대한 有效降雨量이다.

$R_e / R_e - index = R / R - index$ 로 가정하면 有效雨量 대신에 總降雨量의 項으로 표시할 수 있다.

$$Y = 2.778 R / R - index$$

$R / R - index$ 는 지표지점의 降雨量을 임의의 지점의 강우량으로 환산하는 환산인자이다. 따라서 單位圖의 尖頭流量  $Q$ 는 다음 식과 같이 계산될 수 있다.

$$Q = A \cdot X \cdot Y \cdot Z$$

Chow 法으로 구할 因子 및 洪水量은 Table 7와 같다.

5. 分析結果의 比較 및 檢討

5-1. PMP 比較 및 檢討

慶北地域의 最大露點溫度의 季節的 變動은 7월 下旬을 頂점으로하여 曲線을 이루고, 濕潤最大化比는 1.17 ~ 1.54를 나타내고 있으며, 本 對象流域의 유역 特性은 호우의 移轉限界 즉, 氣溫과 降雨量에 중점을 둔 Köppen 法에 의한 氣候區分과 유사한 형태로 나타났

다.

PMP 산정에 있어서 水文氣象學의 方法에 의한 72時間 最大 PMP는 襄城地點에서 426 mm로 산정되었으며, 慶北地域 중 가장 오랜 記錄(1919年 이후)을 가진 大邱地域과 比較한 결과 기왕의 최대 호우(1948. 8. 342.9 mm)보다 40 mm 정도 큰 381.7 mm로 산정되었으며, 統計學의 方法은 531 mm(72 시간)로 水文氣象學의 方法보다 100 mm 정도 크게 나타났지만 24 시간 이전인 경우 거의 비슷한 양을 보여 주었으며, 包絡線에 의한 方法은 12 시간을 경계로하여 기울기의 變化가 있음을 알 수 있었다.

各 方法에 의한 PMP를 하나의 대상으로 包絡하여 各持續時間別로 比較한 결과 Fig-13 와 같이 包絡線의 方法은 下限線을 나타내며 水文氣象學의 方法과 統計學의 方法에 의한 各持續時間別 최대 PMP는 짧은 시간인 경우에는 거의 근접함을 보여 주나 24 시간 이후에는 統計學의 方法이 크게 나타났다.

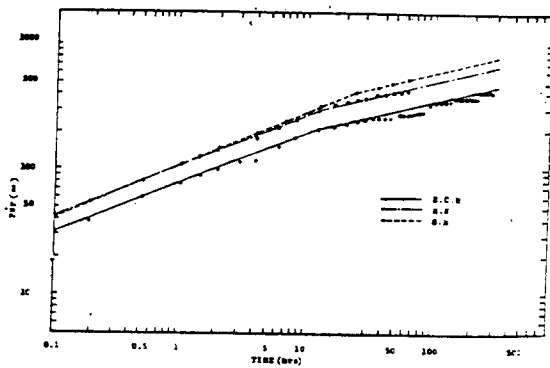


Fig. 13. PMP by Each Method

각 지점별 PMP를 慶北地方의 水害樣相 및 綜合對策을 위한 水文學의 調查 研究에서 산정된 再現期間別 降雨量과 比較한 결과 Fig-14 과 같이 일반적으로 1000 年 頻度에 해당되는 것으로 나타났으며, 包絡線의 경우에는 各地點마다 다소 차이는 있으나 일반적으로 200 年 정도의 降雨量에 해당되는 것으로 평가 되었다.

### 5-2. PMF의 比較 및 檢討

이들 各 方法에 의해 산정된 PMF를 再現期間에 대하여 검토하고자 慶北地方의 水害樣相 및 綜合對策을 위한 水文學의 調查研究<sup>11)</sup>의 결과와 비교하여 보면 合成單位圖와 Chow 方法의 경우 統計學의 方法은 대체로 1,000年 頻度를 훨씬 상회하고, 水文氣象學의 方法

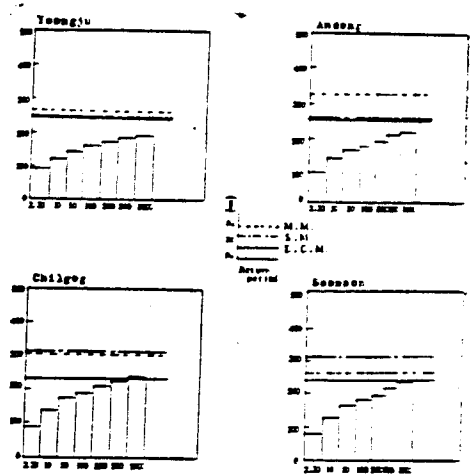


Fig. 14. Comparison of 24-hour PMP

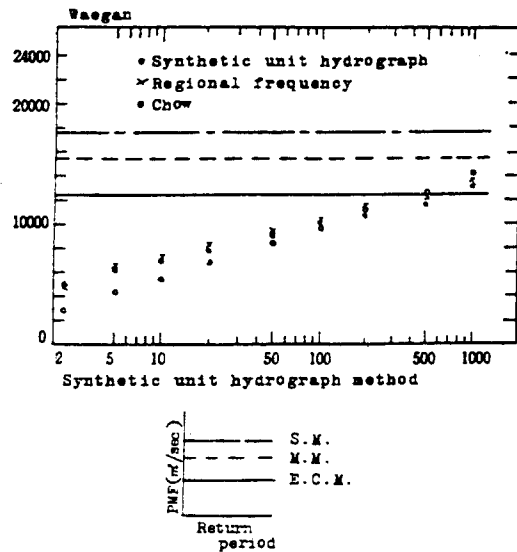


Fig. 15(a) PMF by Each Method at Waegan Station



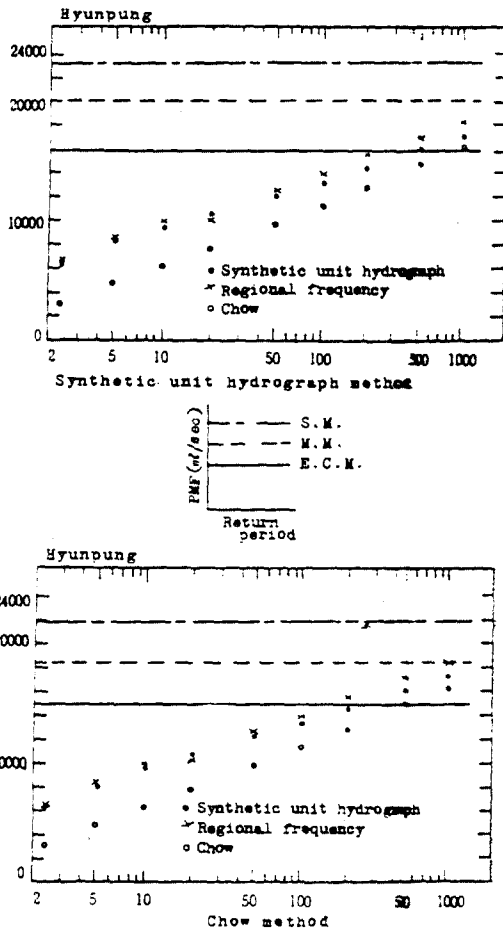


Fig. 15(b) PMF by Each Method at Hyunpung Station

1,000年頻度에 준하며, 包絡線 方法은 200~500年 頻度에 해당되는 것으로 관명되었다.