

蔚山地域 中小河川 및 下水道計劃에 必要한 確率降雨強度式의 誘導

*趙弘濟 · **李樹植 · ***李相培 · ****姜享淳
土木工學科

〈要 約〉

本 研究는 蔚山地域의 中小河川 및 都市 下水道計劃에 必要한 確率降雨強度式을 유도한 것이다. 사용된 資料는 蔚山測候所의 自記雨量記錄紙에서 획득한 37년간(1954-1990)의 持續時間別年最大系列雨量이다.

降雨量의 頻度解析에는 Gumbel-Chow법, Log-Normal법, Iwai법 등이 사용되었으며, Gumbel-Chow법이 가장 적합하였다.

分析結果 蔚山地域에 가장 적합한 단시간 確率降雨強度式은 Japaness형 ($I = \frac{e}{\sqrt{t+d}}$) 이며, 장시간 確率降雨強度式은 $R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T}\right)^{0.5848}$ 이었다.

A Derivation of Probabilistic Rainfall-Intensity Formula for the Planning of Medium-Stream and Sewerage in Ulsan Area

〈Abstract〉

This work presents probabilistic rainfall intensity formula for planning of medium-small size streams and urban sewerage system in Ulsan area.

The analysis was based on the rainfall records for 37years(1954-1990) observed by local meteorological Station using self-recording rain gauge.

For the frequency analysis of rainfalls, Gumbel-Chow Method, Log-Normal Method, and Iwai Method were used, and among them Gumbel-Chow Method

-
- * 울산대 토목공학과 교수
 - ** 울산전문대 토목공학과 조교수
 - *** 울산대 토목공학과 박사과정수료
 - **** 한국수자원공사 공사과장

was found most applicable.

As the result of analysis, the most applicable short-time probabilistic rainfall intensity formula was found to be Japanese Type($I = \frac{e}{\sqrt{t+d}}$) and long-time probabilistic rainfall intensity formula was found to be $R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{0.5848}$ in Ulsan area.

I. 序 論

利水, 治水을 위한 水工構造物의 設計 및 中小河川의 改修計劃을 위해서는 해당 構造物의 設計 및 河川 改修計劃에 필요한 頻度年의 確率降雨量을 산정하여 尖頭洪水量을 결정하게 된다.

최근에는 人口의 都市集中과 産業經濟의 發展에 따라 도로포장, 건물밀집등으로 인해 流出率이 증대하여 都市地域에 集中豪雨가 발생하면 洪水被害가 급격히 증대하고 있으며, 市街地內 下水道의 斷面算定의 不合理 및 整備不良으로 그 被害規模를 가중시키고 있는 실정이다. 더구나 蔚山地域은 工團造成 당시부터 체계적인 都市計劃과 排水計劃없이 都市化 정도에 따라 下水管이나 펌프등 排水施設을 設置한 관계로 構造的인 문제점을 안고 있다.

蔚山地域은 우리나라 東南海岸에 위치한 관계로 河川流域의 크기는 비교적 그 규모가 작은 편이며, 河川上流는 流域傾도가 크고 下流는 海岸에 연한 관계로 流域傾도가 완만하다. 蔚山市의 舊市街地와 新市街地의 일부는 太和江 低地帶를 중심으로 형성되어 있으며, 과거 太和江에 隣接한 低濕地性은 과 遊水池등을 매립하여 市街地化한 관계로 자연적인 內水排除가 불가능한 지역으로서 펌프시설에 의한 強制排水에 의존하고 있으나 매년 홍수시 低地帶에는 內水에 의한 洪水被害를 입고 있다.

최근 蔚山 新舊市街地 下水道 整備計劃 및 太和江流域 일대에 대한 治水 基本計劃 書를 검토해본 결과 下水道 斷面決定에 근거가 되는 計劃洪水量 算定에 필요한 確率降雨強度式등 基本方法의 수정, 보완이 시급함을 확인하였다.

1.1 研究目的 및 範圍

본 연구의 목적은 蔚山地域一帶의 中小河川 및 都市河川의 再改修 또는 再整備 그리고 都市下水道 設計에 필요한 確率降雨強度式을 유도, 제시하여 모든 水工構造物 設計를 위한 計劃設計洪水量을 적절히 決定할 수 있는 수단을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

현재 下水道 整備基本計劃등 대부분의 蔚山地域의 排水基本計劃에 필요한 設計水文量은, 1978년 이전의 25년간의 觀測記錄으로서 유도된 確率降雨強度式을 사용하고 있다.

최근에는 都市化나 氣象變化에 따른 호우 사상의 발생양상이 기존 호우사상과는 다르게 나타나고 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하며, 최근 12년간의 강우기록이 보완된 37년간(1954-1990)의 자료로서 長期時間의 確率降雨強度式을 유도한 후 기존 식과 비교분석을 통하여 수정, 보완된 식을 제안하고자 한다.

1.2 연구동향

河川이나 都市下水道의 排水 및 治水計劃에 必要한 確率降雨量 算定은 1885년 Nipher로부터 시작하여 Talbot, Meyer, Sherman등에 의해 1957년 U.S. Bureau의 연구⁽¹⁾에서 Gumbel법에 의한 美國 地域의 確率降雨量圖가 작성된 바 있다.

日本에서도 1959년 石黑政儀⁽³⁾에 의해 降雨強度式을 Japanese형으로 유도된 바 있다.

우리나라에서는 1968년 李元煥⁽⁹⁾이 都市下水道 설계에 必要한 確率降雨強度式을 유도한 바 있으며, 1976년 趙⁽⁴⁾는 우리나라 지점강우의 長時間確率降雨強度式을 유도하였다. 그 밖에 韓⁽⁵⁾, 李⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ 등의 연구가 이루어졌다. 최근에는 건설부⁽⁶⁾가 韓國確率降雨量圖를 작성하였으나, 기본 수문자료 구축등의 문제점에 의하여 향후 5년간 사용 가능하다는 限時性을 두었으며, 실무에 있어 그 이용이 미흡한 실정이다.

1.3 既往의 實驗公式

현재까지 蔚山地域의 中小河川 및 市街地 下水道設計에 사용되고 있는 確率降雨強度式은 1980년 李⁽¹²⁾가 1954-1978년까지 25년치의 降雨記錄으로서 誘導, 提案한 식이 있으며, 1968년 李⁽⁹⁾가 1954-1967년까지의 14년치의 降雨記錄으로서 유도 提案한 식이 比較資料로서 이용되고 있다.

그리고, 1988년 建設部가 水資源管理技法開發研究調查에서 韓國確率降雨量圖를 작성한 바 있으나 分析地點의 부족과 基本資料의 미흡으로 향후 5년간 유효하다는 단서하에 발표되었다. 實務에서 이에 대한 사용을 권장하고 있으나 이해부족으로 그 이용도가 낮은편이며 李가 提案한 經驗公式이 주로 사용되고 있다. 李⁽¹²⁾가 確率降雨強度式을 유도하기 위해 사용한 確率降雨量 算定方法인 Y-K법(L_T-Y법)은 理論的인 모순점이 있음이 지적된 바 있다.

참고로 李⁽¹²⁾가 제안한 蔚山地域의 確率降雨強度式은 [표 1]과 같다.

[표 1] 確率降雨強度式(1980 李元煥)

Return Period(year)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200
R.I. Prob. formula	$\frac{235}{t^{0.49}}$	$\frac{261}{t^{0.47}}$	$\frac{285}{t^{0.45}}$	$\frac{312}{t^{0.43}}$	$\frac{333}{t^{0.41}}$	$\frac{344}{t^{0.4}}$	$\frac{356}{t^{0.38}}$	$\frac{363}{t^{0.38}}$	$\frac{371}{t^{0.38}}$	$\frac{348}{t^{0.36}}$

II. 分析降雨資料

本 研究에서 사용된 降雨資料는 蔚山測候所의 1954-1990년까지의 37년간의 自記雨量記錄紙를 이용하였으며, 都市河川 및 下水道計劃에 必要한 短時間 降雨持續期間(5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 120분)別 年最大值 系列과 中小河川의 設計洪水量算定에 必要한 長時間 降雨持續期間(2, 4, 6, 12, 18, 24 시간)別 年最大值 系列을 基本 資料集團으로 채택하였다.

III. 確率降雨量 測定

水文量的 頻度分析을 위해서는 加급적 長期間의 年最大值 系列을 標本值로 택하게 된다. W.M.O⁽²⁾에 따르면 地域頻度分析을 위해서는 基本資料는 30년 이상의 記錄이 必要함을 지적한 바 있으며, 李⁽¹²⁾는 우리나라 地點降雨의 頻度分析에 있어서 短時間의 持續降雨分析을 위해서는 적어도 30-35년간의 降雨記錄이 必要함을 제안한 바 있다.

頻度分析方法에는 많은 방법들이 소개된 바 있으나 정확한 결과를 주는 완전한 방법이 없으며, 모든 방법상의 기본개념은 관측된 자료들의 분포에 가장 잘맞는 分布函數를 택하여 頻度解析을 하는데 있다.

본 연구에서는 가장 일반적인 頻度分析方法으로 알려져 있을 뿐만 아니라 국내자료의 頻度解析에 비교적 적용성이 높다고 알려진 Log-Normal법, Gumbel-Chow법, Iwai법등 3가지 방법을 사용하였다.

3.1 Log-Normal법

$$\log_{10}x = \log_{10}x_0 + \sigma \cdot \varepsilon \quad (1)$$

여기서 x : 확률강우량(mm)

x_0 : log를 취한 강우량의 평균치

σ : 표준편차

3.2 Gumbel-Chow법

$$x = \bar{x} + \sigma K \quad (2)$$

여기서 x : 확률강우량(mm)

\bar{x} : 자료의 평균치

σ : 표준편차

K : Chow의 빈도계수

$$K = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

3.3 Iwai법

$$\log_{10}(x+b) = \log_{10}(x_0+b) + \frac{1}{a} \varepsilon \quad (3)$$

$$\text{여기서 } \log x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \log_{10} x_i \quad (4)$$

$$b_i = \frac{x_i \cdot x_s - x_0}{2x_0 - (x_i + x_s)} \quad (5)$$

$$b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_i \quad (n = \frac{n}{10}) \quad (6)$$

$$x_0 = \log_{10}(x_0 + b) \quad (7)$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10}(x_i + b)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{2n}{n-1} X S_x \quad (8)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^n \left(\log_{10} \frac{x_i + b}{x_0 + b} \right) \quad (9)$$

위 식중에서

x_i : 觀測值에서 큰것부터 배열시

1, 2, 3, ..., m번째 값

x_s : 觀測值에서 작은것부터 배열시

1, 2, 3, ..., m번째 값

n : 자료수

3.4 確率降雨量 分析

전절에서 설명한 Log-Normal법, Gumbel-Chow법, Iwai법등 3가지 방법으로 蔚山 測候所의 37년 자료로서 再現期間(2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 200년)에 대한 降雨量을 短時間 持續時間(2, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 120분) 및 長時間 持續時間(4, 6, 12, 18, 24시간)에 대한 값을 계산하여 [표 2]에 수록 비교하였다.

[표 2] 確率降雨量 比較票

(1) 短時間 持續時間

① Gumbel-Chow 법

(mm)

持續時間(分) 再現期間(年)	持續時間(分)							
	5	10	20	30	40	60	80	120
2	7.77	12.76	11.63	21.75	26.27	35.16	39.94	49.04
3	8.83	14.53	20.46	22.37	30.91	42.11	48.06	59.74
5	10.01	16.50	23.61	29.39	36.07	49.85	57.10	70.99
10	11.50	18.98	27.56	34.44	42.56	59.57	68.47	85.13
20	12.93	21.35	31.35	39.29	48.79	68.90	79.37	98.69
30	13.75	22.72	33.53	42.08	52.38	74.27	85.64	106.49
50	14.78	24.43	36.26	45.56	56.85	80.97	93.48	116.24
70	15.45	25.55	38.05	47.85	59.79	85.37	98.62	122.63
100	16.16	26.74	39.94	50.26	62.89	90.02	104.05	129.39
200	17.54	29.03	43.06	54.95	68.91	99.03	114.58	142.50

② Iwai 법

(mm)

持續時間(分) 再現期間(年)	持續時間(分)							
	5	10	20	30	40	60	80	120
2	7.8	12.8	17.5	21.7	26.1	34.3	39.3	48.9
3	8.9	14.6	20.4	25.4	30.9	41.5	47.6	59.3
5	10.1	16.6	23.6	29.6	36.4	50.2	57.6	72.0
10	11.4	18.9	27.5	34.8	43.4	62.0	71.3	89.4
20	12.6	20.9	31.2	39.8	50.4	74.1	85.5	107.6
30	13.2	22.1	33.3	42.8	54.6	81.8	94.2	118.6
50	14.0	23.4	35.8	46.4	59.8	91.0	105.4	133.1
70	14.5	24.3	37.5	48.9	63.3	97.6	113.2	143.0
100	15.0	25.2	39.3	51.5	67.1	104.6	121.6	153.8
200	16.0	27.0	42.7	56.5	74.6	119.0	138.7	175.0

③ Log-Normal 법

(mm)

持續時間(分) 再現期間(年)	持續時間(分)							
	5	10	20	30	40	60	80	120
2	7.8	12.8	17.5	21.7	26.1	34.3	39.3	48.9
3	9.0	14.7	20.5	25.3	30.7	41.2	47.2	58.6
5	10.3	16.9	23.8	29.3	35.8	49.0	56.1	69.8
10	11.8	19.6	27.9	34.3	42.3	59.0	67.7	84.0
20	13.4	22.1	31.9	39.1	48.5	68.8	78.9	98.0
30	14.2	23.6	34.1	41.8	52.0	74.5	85.5	106.1
50	15.3	25.4	37.0	45.2	56.5	81.7	93.9	116.4
70	16.0	26.6	38.8	47.5	59.5	86.6	99.4	123.3
100	16.7	27.8	40.8	49.9	62.6	91.7	105.4	130.7
200	18.1	30.2	44.7	54.5	68.8	109.9	117.2	145.2

(2) 長時間 持續時間

① Gumbel-Chow 법 (mm)

持續時間(시간) 再現期間(년)	2	4	6	12	18	24
2	49.6	68.2	82.5	109.2	125.1	138.2
3	59.7	83.7	99.6	131.9	153.4	166.9
5	71.0	100.9	118.6	157.1	184.9	199.0
10	85.1	122.5	142.6	188.9	224.4	239.2
20	98.7	143.2	165.6	219.3	262.4	277.9
30	106.5	155.2	178.8	236.8	284.2	300.1
50	116.2	170.1	195.3	258.7	311.5	327.8
70	122.6	179.8	206.2	273.1	329.4	346.0
100	129.4	190.2	217.6	288.3	348.3	365.3
200	142.5	210.2	239.8	317.7	385.0	402.6

② Iwai 법 (mm)

持續時間(시간) 再現期間(년)	2	4	6	12	18	24
2	48.9	66.5	80.8	107.0	123.2	137.2
3	59.3	82.3	98.6	129.2	148.6	163.3
5	72.0	101.8	120.1	153.7	175.8	192.2
10	89.4	128.3	149.3	184.1	208.4	288.0
20	107.6	157.3	179.4	212.9	238.4	261.8
30	118.6	174.9	197.6	229.3	255.3	281.2
50	133.1	198.0	221.3	249.9	275.9	305.4
70	143.0	213.9	237.5	263.4	289.3	321.3
100	153.8	231.3	255.2	277.7	303.3	348.0
200	175.0	267.0	290.0	305.4	330.2	370.6

IV. 確率降雨強度式의 誘導

4.1 短時間 確率降雨強度式의 誘導

4.1.1 短時間 確率降雨強度式

지금까지 短時間 降雨強度式으로 국내외 적으로 사용되고 있는 보다 일반적인 降雨強度式은 1정수형, 2정수형, 3정수형, 그

리고 再現期間을 포함하고 있는 형등이 무 수히 많다.

본 연구에서는 기존의 국내의 많은 地點 降雨에 대해서 비교적 적용성이 높다고 알려져 있는 2정수형인 다음 3가지 형을 選定 하여 分析하였다.

(1) Talbot 형

$$I = \frac{a}{t+b} \tag{10}$$

③ Log-Normal 법

(mm)

持續時間(시간) 再現期間(년)	2	4	6	12	18	24
2	48.9	66.5	80.8	107.0	123.2	137.2
3	58.6	81.2	97.7	129.8	149.3	163.4
5	69.8	98.3	117.1	156.1	179.4	193.1
10	84.0	120.7	142.2	190.2	218.3	230.8
20	98.0	142.9	166.9	223.8	256.7	267.5
30	106.1	156.0	181.4	243.6	279.3	288.8
50	116.4	172.8	199.8	268.9	308.1	315.8
70	123.3	184.0	212.1	285.8	327.4	333.7
100	130.7	196.1	225.3	303.9	348.0	352.8
200	145.2	220.3	251.5	339.9	369.0	390.4

$$a = \frac{[it][i^2] - [i^2 t][i]}{n[i^2] - [i]^2} \quad (11)$$

$$b = \frac{[it][i] - n[i^2 t]}{n[i^2] - [i]^2} \quad (12)$$

(2) Sherman형

$$I = \frac{c}{t^k} \quad (13)$$

$$\log a = \frac{[\log i][(\log t)^2] - [(\log i) \times (\log t)][\log t]}{n[(\log t)^2] - [\log t]^2} \quad (14)$$

$$k = \frac{[\log i][\log t] - n[(\log i) \times (\log t)]}{n[(\log t)^2] - [\log t]^2} \quad (15)$$

(3) Japnaess 형

$$I = \frac{e}{\sqrt{t} + d} \quad (16)$$

$$e = \frac{[i \sqrt{t}][i^2] - [i^2 \sqrt{t}][i]}{n[i^2] - [i]^2} \quad (17)$$

$$d = \frac{[it][i] - n[i^2 t]}{n[i^2] - [i]^2} \quad (18)$$

a, b, c, d, e, k :

각 地方特性에 따른 常數

n : 降雨持續期間別 資料值 總數

4.1.2 短時間 確率降雨強度式의 分析

確率降雨量 算定方法 즉, Gumbel-Chow법, Iwai법, Log-Normal법에 따라 Talbot형, Sherman형, Japnaess형에 대한 각 確率降雨強度式을 (표 3)과 같이 나타내었다.

여기서 i : 降雨強度 (mm/hr)

[표 3] 確率降雨量 算定方法에 따라 誘導된 確率降雨强度式

① Gumbel-Chow법

再現時間(t)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200
Talbot	3179.92 t+32.33	3923.22 t+35.65	4768.62 t+38.68	5849.79 t+41.73	6901.20 t+44.09	7510.89 t+45.26	8277.03 t+46.56	8781.38 t+47.33	9316.19 t+48.03	10356.84 t+49.39
Sherman	189.59 t ^{0.4218}	206.94 t ^{0.4098}	227.05 t ^{0.3936}	252.99 t ^{0.3877}	278.31 t ^{0.4563}	293.00 t ^{0.5510}	311.46 t ^{0.3452}	323.61 t ^{0.3419}	336.50 t ^{0.3387}	361.55 t ^{0.3383}
Japaness	288.19 f _t +0.806	354.12 f _t +1.086	428.99 f _t +1.339	524.61 f _t +1.593	617.49 f _t +1.793	671.31 f _t +1.890	738.92 f _t +1.998	783.41 f _t +2.063	830.58 f _t +2.125	922.32 f _t +2.233

② Iwai법

再現時間(t)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200
Talbot	3095.53 t+31.14	3854.53 t+34.64	4814.95 t+38.81	6266.23 t+45.58	7910.86 t+52.91	9031.10 t+57.93	10497.03 t+63.01	11584.41 t+68.41	12834.25 t+73.46	15386.61 t+82.67
Sherman	193.23 t ^{0.4298}	210.70 t ^{0.4068}	227.50 t ^{0.3919}	240.54 t ^{0.3478}	249.63 t ^{0.3161}	253.28 t ^{0.2978}	257.23 t ^{0.2769}	259.61 t ^{0.2634}	261.44 t ^{0.2493}	265.84 t ^{0.2247}
Japaness	281.00 f _t +0.708	348.44 f _t +1.003	423.43 f _t +1.357	560.45 f _t +1.926	704.03 f _t +2.548	800.54 f _t +2.963	928.10 f _t +3.483	1022.00 f _t +3.854	1129.59 f _t +4.279	1349.40 f _t +5.055

③ Log-Normal법

再現時間(t)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200
Talbot	3090.53 t+31.14	3774.28 t+33.38	4557.31 t+35.53	5618.45 t+38.54	6625.71 t+40.39	7242.83 t+41.73	8014.50 t+43.04	8540.92 t+43.96	9127.84 t+45.12	10276.47 t+47.04
Sherman	193.23 t ^{0.4298}	215.82 t ^{0.4144}	240.39 t ^{0.4004}	267.57 t ^{0.3832}	296.06 t ^{0.3723}	310.13 t ^{0.3890}	329.25 t ^{0.3580}	341.11 t ^{0.3832}	352.42 t ^{0.3478}	375.42 t ^{0.3387}
Japaness	281.00 f _t +0.708	341.84 f _t +0.900	411.67 f _t +1.081	505.41 f _t +1.328	595.48 f _t +1.492	649.82 f _t +1.602	718.39 f _t +1.714	765.02 f _t +1.792	816.68 f _t +1.889	917.93 f _t +2.045

4.1.3 短時間 確率降雨强度式에 대한 適合性 分析

短時間 確率降雨强度式에 대한 適合性을 검토하기 위해 Nash가 제안한 效率係數 (Coefficient of Efficiency) 식(19)을 이용하였다. 이 效率係數는 觀測降雨强度에 대한 模擬發生 降雨强度의 再現程度를 나타내는 指標가 되며 값이 커면 커질수록 模擬發生降雨强度가 觀測降雨强度와 잘 一致함을 보여준다.

$$E = \left(1 - \frac{\sum (i_j - \hat{i}_j)^2}{\sum (i_j - \bar{i}_j)^2} \right) \times 100(\%) \quad (19)$$

여기서 i_j : 觀測降雨强度
 \hat{i}_j : 模擬發生降雨强度
 \bar{i}_j : 平均觀測 降雨强度

再現期間別 각 短時間降雨强度式에 대한 效率係數值의 比較를 確率降雨量算定方法 (Gumbel-Chow법, Iwai법, Log-Normal법)에 따라 [표 4]에 나타내었다.

[표 4]의 결과에 따르면 確率降雨量算定方法에 관계없이 蔚山地域의 降雨樣相에 가장 적절한 降雨强度式은 Japaness 형임을 알 수 있다. 補充資料에 의해 수정된 確率降雨强度式이 李(12)가 제안한 기왕의 確率降雨强度式보다 우수함을 알 수 있다. 確率

(표 4) 確率降雨量 算定方法 및 確率降雨强度式 형에 따른 效率係數値의 比較

① Gumbel-Chow법		(%)									
再現時間(年)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200	
降雨强度式											
Talbot	96.195	96.040	95.952	95.904	95.889	95.888	95.890	95.894	95.898	95.909	
Sherman	99.346	99.451	99.512	99.549	99.566	99.571	99.575	99.576	99.577	99.577	
Japaness	99.577	99.623	99.625	99.610	99.593	99.583	99.572	99.566	99.560	99.549	
Talbot by LWH	96.437	96.221	96.552	97.212	97.947	98.331	98.747	98.986	98.818	99.236	

② IWAI법		(%)									
再現時間(年)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200	
降雨强度式											
Talbot	96.243	96.040	95.786	95.609	95.471	95.531	95.457	95.475	95.527	95.507	
Sherman	99.317	99.463	99.520	99.485	99.423	99.329	99.236	99.155	99.079	99.857	
Japaness	99.555	99.634	99.602	99.492	99.371	99.304	99.212	99.159	99.115	99.991	
Talbot by LWH	96.781	96.648	96.815	96.380	95.988	95.461	94.851	94.570	93.047	92.579	

③ Log-Normal법		(%)									
再現時間(年)	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200	
降雨强度式											
Talbot	96.243	96.040	95.868	95.822	95.599	95.563	95.468	95.410	95.401	95.341	
Sherman	99.317	99.450	99.443	99.378	99.421	99.351	99.337	99.311	99.299	99.248	
Japaness	99.555	99.627	99.593	99.534	99.507	99.456	99.422	99.392	99.375	99.326	
Talbot by LWH	96.781	97.158	97.735	98.112	98.798	98.881	98.939	99.014	98.280	98.444	

降雨量算定方法은 Gumbel-Chow법이 가장 적절하다고 판단된다. 참고로 Gumbel-Chow법에 있어서 관측치와 Japaness 형

과 降雨持續時間에 대한 降雨强度를 再現期間別로 Fig. 1-Fig. 2에 도시하였다.

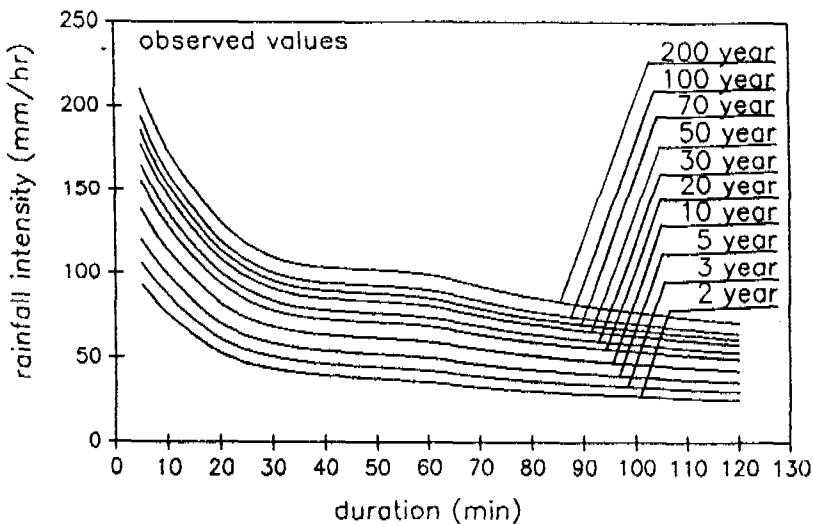


Fig. 1 Probability Rainfall Intensity

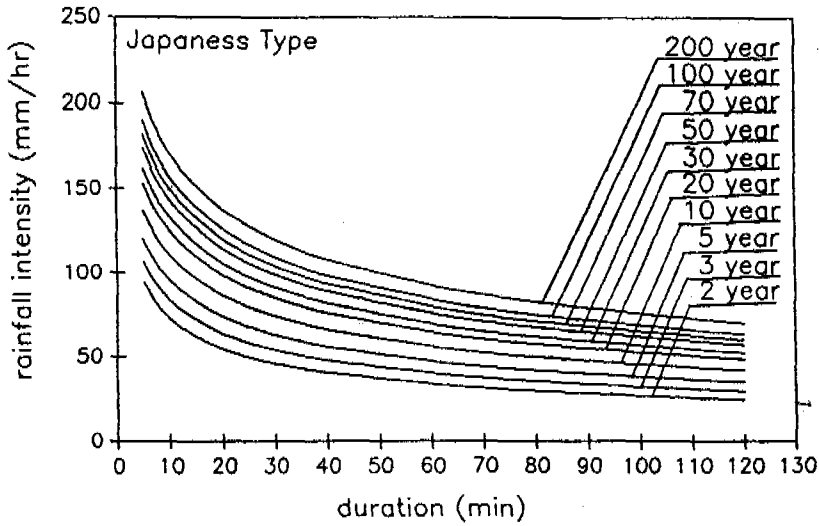


Fig. 2. Probability Rainfall Intensity

4.2 長時間 確率降雨强度式の 誘導

4.2.1 長時間 確率降雨强度式

小規模 流域의 河川이나 都市下水道의 排水計劃을 위해서는 降雨持續期間 120분 이하의 비교적 짧은 洪水到達時間에 대한 水理構造物의 計劃이 필요하다. 그러나 都市化 지역을 통과하는 河川 및 일정규모 이상의 開發地域의 都市河川이나 中規模 이상크기의 河川流域內에 있어서는 2시간 이상의 비교적 장시간 동안의 雨水流出현상이 일어난다.

이와같은 경우 流達時間과 같은 持續時間에 대한 降雨量은 計劃降雨量으로 선정되어야 하지만 觀測施設의 미비로 인하여 적절한 값을 구하기는 어렵다. 일반적인 방법으로서 는 일강우량을 임의의 지속시간의 강우량으로 환산하는 경험공식이나 상관관계식이 있다.

대표적인 경험공식은 아래 식(20)와 같다.

$$R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T}\right)^n \tag{21}$$

$$= \frac{R_{24}}{24} f(T) \tag{22}$$

f(T)의 형에 따라 다양한 형태의 經驗公式를 구성할 수 있으나, 그 동안 알려진 바에 따르면 식(21)와 같은 형이 비교적 적용성이 높은 것으로 알려져 있으며 국내에서도 Mononobe가 제시한 n=2/3의 값이 적용성이 비교적 높아 주로 사용되고 있다.

4.2.2 長時間 確率降雨强度式の 分析

37년간의 蔚山地域의 降雨觀測 資料를 이용하여 식(21)을 最小自乘法에 의해 最適化한 결과 n의 값을 0.5848로 결정할 수 있었다. 따라서 長時間 降雨持續時間에 대한 確率降雨强度式은 아래의 식(23)과 같다.

즉,

$$R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T}\right)^{0.5848} \tag{23}$$

4.2.3 長時間 確率降雨强度式에 대한 適合性を 검토하기 위해 4.1.3절에 설명한 바와 같이 식(19)을 이용하였다. 持續時間別 각 長時間降雨强度筵에 대한 效率係數値의 比較를 [표 5]에 나타내었다.

[표 5] 長時間 確率降雨强度式의 效率係數 比較 (%)

持續時間(시간)	2	4	6	12	18
N=0,5848	55.48	70.08	77.12	80.07	78.43
N=2/3	42.95	67.91	76.31	79.91	78.38

[표 5]에 따르면蔚山地域에 대한 長時間 確率降雨强度式은 식(23)이 우수함을 알 수 있다. 참고로 算定된 確率降雨量을 사용하여 降雨强度式의 確率係數를 계산하면 [표 6]과 같다.

[표 6] 誘導된 降雨强度式 및 既存 降雨强度式의 效率係數 比較 (%)

方法	2		2		2		2		2	
	n=5848	n=2/3	n=5848	n=2/3	n=5848	n=2/3	n=5848	n=2/3	n=5848	n=2/3
Gumbel-Chow	99.965	35.465	92.615	95.344	96.246	96.109	97.046	99.963	95.446	98.009
IWAI	42.346	69.312	18.556	52.551	28.334	55.804	62.334	70.463	70.718	71.740
Log-Normal	98.747	60.275	83.300	98.639	87.196	99.529	85.612	95.135	91.589	95.013

確率降雨量에 대해서 비교하는 경우 Mononobe 식의 우수성도 인정된다. 그리고 임의 持續時間과 24시간 降雨量에 대한 回歸分析 결과에 따르면 비교적 相關程度가 높으며 그 결과 식(24)와 같다.

$$R_2 = 0.351 R_{24} + 1.073$$

$$R_2 = 0.357 R_{24} - 5.942$$

$$R_6 = 0.595 R_{24} + 0.256$$

$$R_{12} = 0.789 R_{24} + 0.235$$

$$R_{18} = 0.983 R_{24} - 10.685$$

참고로 Gumbel-Chow법을 이용하여 觀測值와 식(21)에서 n=2/3(Mononobe 식)일 때와 n=0.5848(수정 Mononobe 식)일 때 持續時間에 대한 降雨强度를 再現期間別로 Fig.3-Fig.5에 시도하였다.

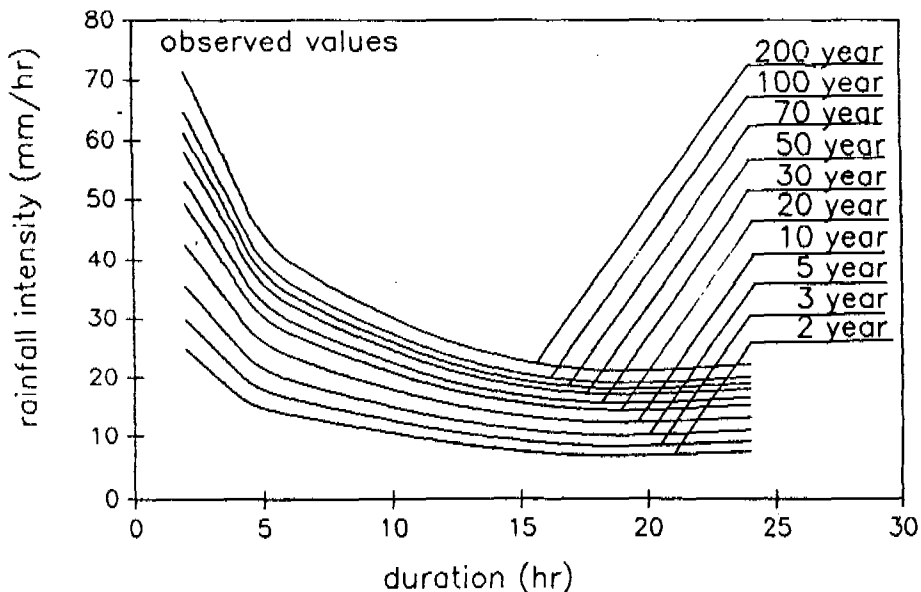


Fig. 3. Probability Rainfall Intensity

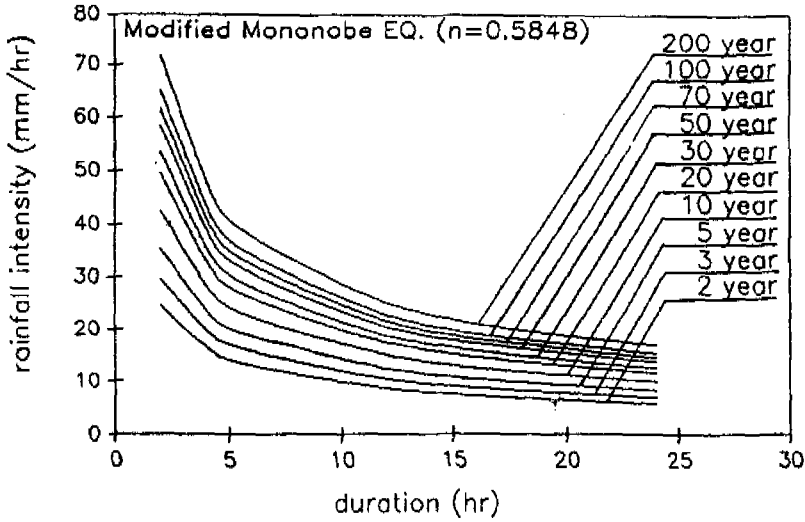


Fig. 4. Probability Rainfall Intensity

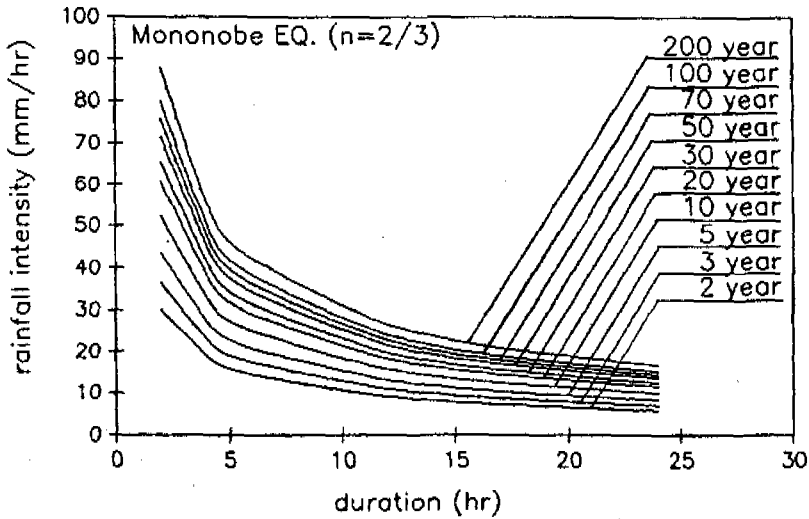


Fig. 5. Probability Rainfall Intensity

V. 結果의 考察

5.1 短時間 確率降雨強度式

그간 國內 地點降雨量에 대한 短時間 降雨強度式의 誘導에는 많은 연구가 있었으나, 본 연구에서는 현재까지 實務에서 가장 많이 사용되고 있으며 建設部 및 韓國水文學會를 통하여 공인되고 있는 李의 연구 결

과와 비교하였다.

각 經驗公式에 대한 誤差의 程度를 비교하기 위해서 전절에서 蔚山地域 降雨發生 樣相에 適切하다고 판단된 Gumbel-Chow 법에 의해 결정된 Japnaess형을 택하였으며 그 결과는 [표 7]와 같다. [표 7]에 따르면, 持續時間 5, 10분에 대한 본 연구의 確率降雨強度値가 既往의 經驗公式의 값보다 작은 값을 주지만 지속시간 대략 20분

[표 7] Japanese 형과 李에 의해 제안된 確率降雨強度式에 의한 偏差結果

再現期間(年) \ 持續時間(分)	5	10	20	30	40	60	80	120
2	-11.31	- 4.51	0.84	3.32	4.83	6.62	7.67	8.89
3	-12.98	- 5.74	- 0.21	2.25	3.67	5.24	6.08	6.93
5	-13.15	- 5.76	- 0.28	2.03	3.29	4.57	5.16	5.57
10	-12.32	- 4.88	0.49	2.63	3.72	4.68	5.00	4.98
20	-10.96	- 3.81	1.09	2.87	3.66	4.17	4.13	3.57
30	- 9.97	- 2.98	1.66	3.25	3.90	4.17	3.94	3.11
50	- 8.18	- 1.27	3.18	4.61	5.12	5.16	4.77	3.67
70	- 7.45	- 0.91	3.10	4.24	4.53	4.27	3.66	2.25
100	- 5.38	1.57	5.93	7.24	7.63	7.48	6.92	5.56
200	- 4.08	1.98	5.31	5.98	5.91	5.09	4.07	2.07

이상부터 큰 값을 부여함을 알 수 있다.

본 연구성과를 기준으로 할 때 최근에 設計 및 施工된 既往의 蔚山市 下水道, 펌프 시설, 그리고 都市河川의 改修를 위한 基本計劃등의 設計値가 약 4.5%정도 작게 설정되었음을 알 수 있다. 따라서 이에 대한 설 계상의 재검토가 필요하다고 사료된다.

5.2 長時間 確率降雨強度式

본 연구에서 얻은 n=0.5848과 mononobe 식 n=2/3의 장기간 確率降雨強度에 대한 誤差의 程度를 비교한 결과를 [표 8]에 나타내었다. 여기에서 再現期間別 각 지속시간에 대한 각 誤差는 劃一的으로 같다. 그리고 持續時間이 길수록 오차는 적어짐을 알 수 있다.

[표 8] n=0.5848과 n=2/3일때의 確率降雨強度式에 의한 偏差結果

持續時間(시간)	2	4	6	12	18
誤 差	22.57	15.80	12.02	5.86	2.38

VI. 提 案

蔚山地域의 中小河川의 改修計劃, 都市下水道 設計 및 整備設計에 必要한 確率強度式을 최근의 豪雨資料를 보완하여 유도한 후 기왕의 經驗公式과 비교한 결과, 새로이 수정보완된 確率降雨強度式의 타당성 및 우수성을 확인하였다. 더구나 既往의 經驗公式인 李(12)가 제안한 確率降雨強度式 [표 1]은 基本資料에 대한 確率降雨量 算定方法 즉, Y-K법(LT-Y법)의 이론적 모순이 지적된 바 있어 이에 대한 보완이 시급함을 인식되어 왔다. 따라서 蔚山地域의 모든 排水計劃 및 水理構造物 設計에 必要한 確率降雨強度式을 [표 9]와 식(25)와 같이 제안한다.

[표 9] 短時間 確率降雨強度式

再現時間(d) \ 降雨強度式	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200
Japanese	$\frac{288.19}{\sqrt{t+0.806}}$	$\frac{354.12}{\sqrt{t+1.086}}$	$\frac{428.99}{\sqrt{t+1.339}}$	$\frac{524.61}{\sqrt{t+1.593}}$	$\frac{617.49}{\sqrt{t+1.793}}$	$\frac{671.31}{\sqrt{t+1.890}}$	$\frac{738.92}{\sqrt{t+1.998}}$	$\frac{783.41}{\sqrt{t+2.063}}$	$\frac{830.58}{\sqrt{t+2.125}}$	$\frac{922.32}{\sqrt{t+2.233}}$

長時間 確率降雨強度式

$$R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{0.5848} \quad (25)$$

VII. 結 論

本 研究는 蔚山地域의 中小河川의 治水 및 河川改修와 都市下水道 設計 및 再整備에 필요한 確率降雨強度式을 최근의 12년간의 호우사상에 대한 자료를 보완하여 유도한 것으로서 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 蔚山地域의 中小河川 및 下水道 計劃수립에 필요한 短時間確率降雨強度式은 [표 9]의 Gumbel-Chow법에 의한 Japanese 형이며 長時間確率降雨強度式은 식(25)이다. 제안된 確率降雨強度式은 최근의 호우사상에 대한 자료가 보완된 관계로 현실적 타당성이 인정되며, 적합성 또한 우수하였으므로 앞으로 蔚山地域의 모든 水工構造物은 設計時 本 研究에서 제안한 降雨強度式을 基準으로 하여야 할 것이다.
- 2) 蔚山地域 降雨에 대한 確率降雨量 算定 方法은 Gumbel-Chow법이 가장 적합한 것으로 나타났고 短時間確率降雨強度式은 Japanese 형이고 長時間確率降雨強度式은 식(25)이며 여기서 n 은 0.5848이다.
- 3) 蔚山地域에 대해 誘導된 既往의 確率降雨強度式은 本 研究에서 수정제안한 식과 비교 검토한 결과 최근의 호우사상에 대한 재현이 미흡하다고 판단되므로 既存 蔚山地域의 下水道 및 排水施設등의 設計洪水量에 대한 재검토를 할 필요가 있다고 사료된다.

參考文獻

1. U.S. Weather Bureau, "Rainfall Intensity-Frequency Regime", Tec. Paper, No. 29, PART II, pp. 3-23, 1958.
2. W. M. O, "Manual for estimation of Probable Maximum Precipitation", Operational Hydrology REPORT No. 1, WMO, No. 332, 1973.
3. 石黑政儀, "日本主要都市の確率降雨強度式について", 日本土木學會論文集, 第64號, pp. 21-27, 1959.
4. 趙弘濟, "韓國地點降雨의 長時間 確率降雨強度式의 誘導", 延世大學校 碩士學位論文, 1976.
5. 韓建淵, "都市河川 및 大都市 下水道計劃上의 設計降雨量 設定에 關한 水文學的研究", 延世大學校 碩士學位論文, 1979.
6. 建設部, "韓國確率降雨量圖 作成", 1988. 12.
7. 蔚山市, "蔚山市 都市下水道 整備基本計劃書", 1986.
8. 慶尙南道 "여천천 河川整備 基本計劃書", 1990.
9. 李元煥, "中小河川 및 下水道 計劃設計에 필요한 確率降雨強度式의 誘導", 延世大學校 附設 産業技術研究所, pp. 1-71, 1968.
10. 李元煥, "우리나라 地點降雨의 水文統計的 特性에 關한 研究", 大韓土木學會誌, 제22권, 제1호, pp. 1-20, 1974.
11. 李元煥, "確率降雨量圖 作成을 위한 水文學的 研究", 韓國水文學會誌, 제10권, 제1호, pp. 39-51, 1977.
12. 李元煥, "都市河川 및 下水道 改修計劃上의 計測降雨量 設定에 關한 推計學的 解析", 大韓土木學會誌, 제28권, 제4호, pp. 81-94, 1980.