

〈論 文〉

한강유역 동시강우량 자료를 이용한 강우량-거리비의 산정

Estimation of Depth-Length Ratios with the Han-River Basin's
Simultaneous Rainfall Data

이 원 환* 이 길 춘**
Lee, Wno Hwan Lee, Kil Choon

Abstract

This Study is to estimate depth-length ratios by the frequency analysis of simultaneous rainfall data on fixed points in the Han-River basin. The depth-length ratios are based on examination of spatial and temporal correlation structures of the Han-River basin's rainfall.

This Study reveals that the depth-length ratios are decreasing as the distance of the basin increases and that they are increasing as the duration of rainfall increases.

This study also shows that the ratios tend to decrease as the return period increase.

The results present general equations and characteristic equations of depth-length ratios, figures and characteristic parameter tables which explain the temporal and spatial structures of rainfall in the Han-River basin.

要 旨

본 연구는 한강유역의 고정된 지점 동시 강우자료의 빈도해석에 의하여 雨量-距離比를 算定한 것이다.

雨量-距離比는 한강유역강우의 時空間相關構造를 파악하는데 근거를 제공한다.

雨量-距離比는 거리증가에 따라 감소하고 강우 지속시간 증가에 따라 증가하며 재현기간 증가에 따라 약간 감소함을 나타내고 있다.

한강유역의 강우의 特性式을 特性係數와 함께 제시하였다.

1. 序 論

各種 降雨頻度의 知識은 水工構造物의 計劃 및 設計 등에 基礎가 된다. 降雨觀測點으로 부터 蒐集된 地點 雨量資料를 利用하여 頻度分析을 한 結果는 이들 分析 地點에는 正確한 水文資料를 提供할 수 있으나 觀測資料가 없는 地點의 地點雨量이나 面積雨量으로서는 直接利用할 수 없는 缺點을 갖고 있다.

종래 地域頻度解析은 대부분 地形 및 氣象學的인 因子와 觀測點의 位置 등을 고려한 圈域을 設定하여 降雨

頻度解析을 實施하였다. 이와같은 解析方法은 地形的인 因子들에 많은 영향을 받아 頻度解析 節次를 一般化하는데 많은 어려움이 있다.

降雨頻度解析의 基礎研究는 1960年 Hershfield^{1),2)}가 降雨分布 및 降雨頻度解析에 關한 研究結果를 整理하여 發表하였다. 1967年 Huff³⁾가 持續時間과 연관시켜 降雨分布에 關한 研究를 하였고, 1973年 Miller⁴⁾가, 1974年 Rodriguez-Iturbe와 Mejia⁵⁾, 1976年 Huff와 Vogel⁶⁾ 및 1977年 Frederik^{7),8),9)}에 의해서 地域頻度解析에 關한 研究結果가 發表되었다. 1980年~1984年 Myers¹⁰⁾, Nguyen¹¹⁾등도 雨量面積比 算定에 關한 研

* 正會員 연세대 토목공학과 교수

** 正會員 단국대 토목공학과 교수

究를 하였으며, Matsubayashi¹²⁾(日)도 地域頻度解析에 대한 研究가 있었다.

國內에서는 1980 年부더 地域頻度解析에 근거를 둔 地域頻度解析이 斷片的으로 이루어졌다,^{13),14),15)} 그러나 國內에서 이루어진 研究는 每年 最大値의 地點雨量을 基本資料로 한 地域頻度解析結果들로서 地域 및 氣象의 인 影響으로 인한 制限된 研究結果만을 提示하였다.

1975 年부더 건설부 홍수통제소에서 同時降雨量¹⁶⁾을 메시간 단위로 기록하게 되어보다 효율적인 연구에 이들 자료를 利用할수 있게 되었다.

本 研究에서는 한강유역내 각 관측점의 同時降雨記錄을 利用하여 한강유역의 降雨特性을 파악하고 面積雨量의 基礎가 되는 持續時間 및 再現期間에 따른 雨量距離比를 算定하는 節次를 開發하고자한다.

2. 基本降雨量 資料 및 統計值算定

基本降雨量 資料는 한강유역 37 個 雨量觀測點에서 1975 年~1985 年(11 年間)사이에 기록된 메시간단위의 同時觀測雨量이다. 豪雨事象은 多數의 豪雨象中 本 研究에서 採擇한 再現期間에 利用할 수 있는 39 個를 選定하였으며 메시간 同時觀測資料는 24 時間以下 7 個 持續時間(1hr, 2hr, 3hr, 6hr, 12hr, 18hr 및 24hr)별로 分類整理하였다.

統計值 算定節次는 整理된 資料로부터 持續時間別 年最大値를 추출하고 한 觀測點 降雨量과 對應觀測點 降雨量의 평균치(Station Pair Auerage)를 各 觀測點에 대하여 算定하였다. 다음은 算定된 平均値에 대하여 標準偏差, 分散, 變動係數등의 統計值를 구하였다. 두 觀測點 資料의 1 次 및 2 次모멘트와 기타 各種 統計值 들은 年 最大値에열로 계산하였다.

한강유역 37 個 雨量觀측점의 위치는 그림 1과 표 1과 같다.

3. 2 地點 同時雨量의 相關解析

各 觀測點의 年最大地點雨量과 同時에 發生한 對應 觀測點의 地點雨量과의 統計值들에 대한 相關 關係를 分析하고 再現期間과 持續時間에 따른 降雨量과 距離比의 特性式을 提示하였다.

3.1. 2 地點 統計值

한강유역의 37 個 雨量觀測點의 每時間別로 記錄된 同時雨量資料로 부터 持續時間別로 年最大 降雨量을 발해하였다. 基本資料의 統計值를 利用하여 2 地點 平

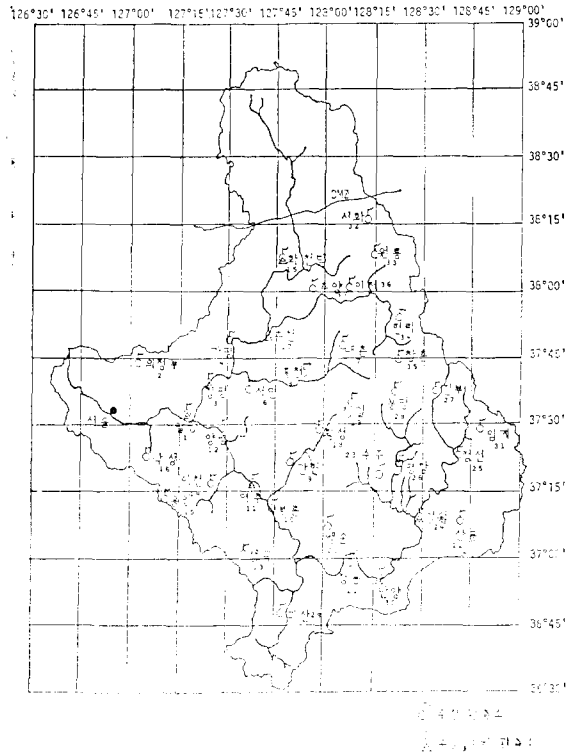


그림 1. 우량관측소

均과 標準偏差를 구하고 2 地點 統計值를 無次元比로 나타내어 解析過程을 單純化하였다. 2 地點 統計值의 算定公式은 다음과 같다.

$$\bar{X}_m' = \bar{X}_m / 0.5 (\bar{X}_A + \bar{X}_B) \dots\dots\dots (1)$$

$$S_m' = S_m / 0.5 (S_A + S_B) \dots\dots\dots (2)$$

여기서

\bar{X}_m' : 2 地點 平均年最大雨量比.

\bar{X}_m : A, B 2 地點 平均年最大同時雨量의 平均降雨量(11年間)

\bar{X}_A, \bar{X}_B : A, B 의 觀測點의 年最大平均雨量.

S_m' : 2 地點 最大降雨量의 標準偏差의 比(11年間)

S_m : A, B 2 地點 平均年最大 同時雨量의 平均標準偏差(11年間)

S_A, S_B : A, B 觀測點의 年最大雨量의 標準偏差 및 式의 年最大同時雨量의 平均値(\bar{X}_m)는 다음과 같은 경우로 선택되었다.

- ① 기준지점 최대우량과 대응지점(상대지점)의 최대우량(*·*)
- ② 2지점중 어느 한 지점이 최대우량이고 대응지점이 동시우량(*·-)
- ③ 2지점중 어느 한 지점도 최대우량이 아니고 임의

표 1. ***우량 관측점의 경도와 위도***

지 점		경 도		위 도		지 점		경 도		위 도	
1	팔 당	127D	17M	37D	32M	20	백 운	128D	2M	37D	8M
2	의 정 부	127D	3M	37D	44M	21	청 풍	128D	10M	36D	59M
3	청 평	127D	23M	37D	42M	22	상 동	128D	43M	37D	8M
4	가 평	127D	31M	37D	49M	23	수 주	128D	17M	37D	17M
5	화 천 댐	127D	47M	38D	7M	24	영 월	128D	24M	37D	12M
6	서 면	127D	37M	37D	39M	25	정 선	128D	42M	37D	23M
7	내 촌	128D	6M	37D	49M	26	평 창	128D	24M	37D	22M
8	홍 천	127D	53M	37D	41M	27	진 부	128D	34M	37D	38M
9	간 현	127D	51M	37D	22M	28	봉 평	128D	22M	37D	37M
10	부 론	127D	37M	37D	12M	29	괴 산	127D	48M	36D	48M
11	여 주	127D	39M	37D	17M	30	단 양	128D	18M	36D	56M
12	양 평	127D	29M	37D	29M	31	임 계	128D	48M	37D	29M
13	생 극	127D	37M	37D	2M	32	서 화	128D	12M	38D	16N
14	이 천	127D	27M	37D	17M	33	원 통	128D	15M	38D	8M
15	용 인	127D	12M	37D	14M	34	현 리	128D	19M	37D	56M
16	낙 생	127D	6M	37D	23M	35	창 촌	128D	23M	37D	45M
17	춘 천	127D	41M	37D	50M	36	인 계	128D	8M	38D	1M
18	횡 성	127D	59M	37D	29M	37	추 양	127D	55M	38D	0M
19	청 일	128D	9M	37D	35M						

의 동시 우량인 경우(---)

3.2 2地點 年最大降雨의 最適 曲線式

2地點 平均 年最大降雨量比(\bar{X}_m')와 標準偏差比(S_m')는 各各 無次元量이며 分布型은 極值分布¹⁷⁾인 Fisher-Tippett 型이 採擇되었다.

대부분의 統計値는 無次元頻度값의 比이므로 頻度分布의 選擇보다는 頻度값의 絕對量에 重點을 두었다.

2地點의 持續時間別 平均年最大降雨量을 回歸分析¹⁸⁾을 實施하여 거리에 關한 最適方程式을 導出하였다.

$$y(d) = 1 - 0.5e^{-(ad^b)^{-1}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서

y : \bar{X}_m' 또는 S_m'

d : 거리 (km)

a, b : 持續時間에 따라 變하는 거리 (d) 關係식의 媒介變數.

式(3)에서 거리는 2地點間의 相互距離로서 各 觀測點의 經도와 緯도를 利用해서 直接 計算하였다. 式(3)에서 媒介變數 a, b 는 表 2에 수록한다.

2地點 平均 年最大降雨量比(\bar{X}_m') 및 標準偏差比(S_m')와 거리(d)의 關係는 그림 2와 그림 3과 같다. 그림 4는 平均 年最大降雨量比(\bar{X}_m')의 適合曲線을 資料와 함께 圖示하였으며 持續時間 1時間에 대한 것만

표 2. Fitting Constant for \bar{X}_m' and S_m'

duration(hr.)	\bar{X}_m'		S_m'	
	a	b	a	b
1	0.33897	0.39778	0.49197	0.53565
2	0.35109	0.34329	0.43728	0.50369
3	0.25341	0.38134	0.44694	0.45634
6	0.18243	0.39085	0.36809	0.40399
12	0.16137	0.35814	0.35835	0.33899
18	0.17404	0.31320	0.10630	0.56498
24	0.16478	0.30482	0.25194	0.29666

대표로 수록하였다.

3.3. 降雨量과 距離比(depth-length ratio)의 算定

降雨量과 距離의 比는 2地點間에서 基準點($d=0$)과 對應地點(d)의 平均 年最大 雨量의 比이며, 持續時間 頻度 및 距離關係를 나타내고 있다.

特定頻度(f), 持續時間(Δt) 및 2地點 相互距離(d), 에 대한 雨量-距離比(D.L. ratio)의 一般式은 다음과 같다.

$$D.L.(f, \Delta t, d) = \frac{X_m(f, \Delta t, d)}{X_m(f, \Delta t, 0)} \dots\dots\dots (4)$$

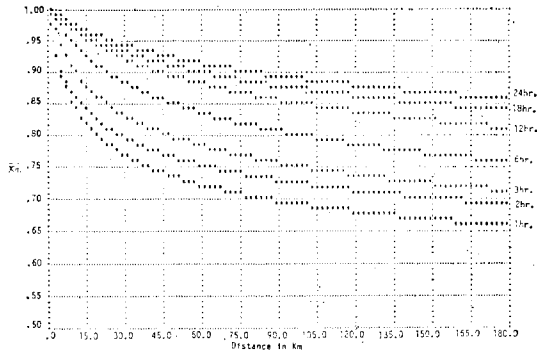


그림 2. Profiles over distance at constant duration on the \bar{X}_m'

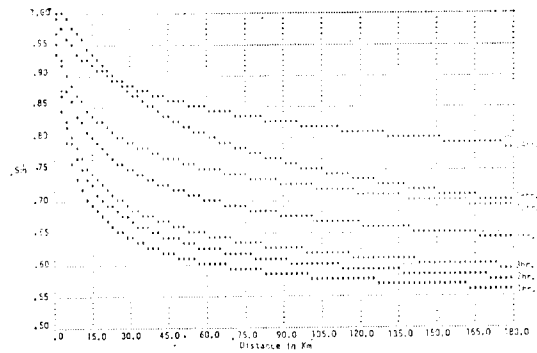


그림 3. Profiles over distance at constant duration on the S_m'

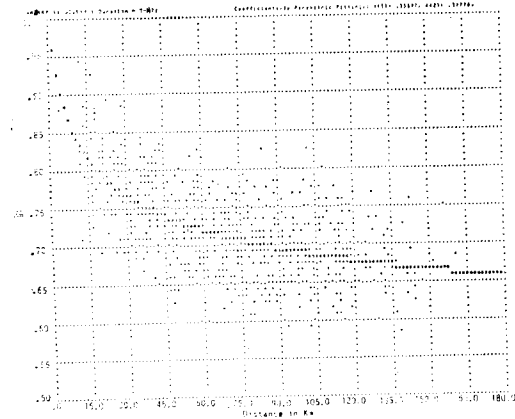


그림 4. Decay with interstation of \bar{X}_m' , $\Delta t = 1hr.$

Chow의 一般頻度解析 方程式¹⁹⁾을 사용하면

$$X(f) = \bar{X} + k(f) \sigma_x \dots \dots \dots (5)$$

$$X_m(f, \Delta t, d) = \bar{X}_m(\Delta t, d, N) + K(f, N) S_m(\Delta t, d, N) \dots \dots \dots (6)$$

여기서

$X(f)$: 특정빈도의 雨量의 크기.

\bar{X}, σ_x : 母集團(X)의 1次 및 2次모멘트

$K(f)$: 頻度係數

N : 記錄年數

$X_m(f, \Delta t, d)$: 頻度(f), 持續時間(Δt) 및 相互觀測點距離(d)上的 2地點平均 年最大雨量.

K 는 극치분포(Fisher-Tipett I형)의 頻度係數로서 表 3은 降雨記錄年 11년에 대한 것이다.

表(6)을 이용하여 式(4)를 다시 쓰면 다음 식과 같다.

$$D.L(f, \Delta t, d) = \frac{\bar{X}_m(\Delta t \cdot d \cdot N) + K(f \cdot N) \cdot S_m(\Delta t \cdot d \cdot N)}{\bar{X}_m(\Delta t \cdot o \cdot N) + K(f \cdot N) \cdot S_m(\Delta t \cdot o \cdot N)} \dots \dots \dots (7)$$

변동계수(CV_A)는 다음식으로 표시된다

$$CV_A = \frac{S_A}{\bar{X}_A} \dots \dots \dots (8)$$

여기서 CV_A : A 지점의 변동계수(표 4)로서 Δt 의 함수.

\bar{X}_A, S_A : A 지점의 평균과 표준편차.

式(8)을 利用하여 S_m 을 표시하면 다음과 같다.

$$(S_m / \bar{X}_A) = (S_m / S_A) (S_A / \bar{X}_A) = S_m' CV_A \dots \dots \dots (9)$$

式(7)의 우측항을 \bar{X}_A 로 나누고 式(9)를 利用하여 재정리 하면 式(10)과 같이 우측항은 無次元式으로 표시된다.

$$D.L.(f \cdot \Delta t \cdot d) = \frac{\bar{X}_m(\Delta t \cdot d \cdot N) + K(f \cdot N) S_m'(\Delta t \cdot d \cdot N) CV_A(\Delta t)}{1 + K(f \cdot N) \cdot CV_A(\Delta t)} \dots \dots \dots (10)$$

式(10)에서 降雨量-距離比(D.L. ratio)는 \bar{X}_m' 과 S_m' 만 알고 주어진 CV_A 을 이용해서 구할수 있다.

式(10)에 의해 구한 $D.L$ 比를 再現期間, 持續時間에 따라 距離에 관하여 適合시켜보면 最適合曲線式은 다음과 같은 特性曲線式으로 주어진다.

$$D.L.(f \cdot \Delta t \cdot d) = 1 - 0.5e^{-(ad^b)^{-1}} \dots \dots \dots (11)$$

표 3. Coefficient K for Gumbel Fitting of Fisher-Tippett Type

return period (hr.)	K(f.N)	return period (yr.)	k(f.N)
2	-0.1376	50	3.5163
5	1.0338	100	4.2379
10	1.8094	200	4.9569
25	2.7893	500	5.9056

여기서 a, b : 適合常數(表 5)

표 4. Coefficient of Variation, CV

duration(hr.)	CV 평균	CV 표준편차
1	0.3913	0.1283
2	0.3607	0.0921
3	0.3556	0.0813
6	0.3400	0.0792
12	0.3542	0.0797
18	0.3920	0.0852
24	0.4389	0.0967

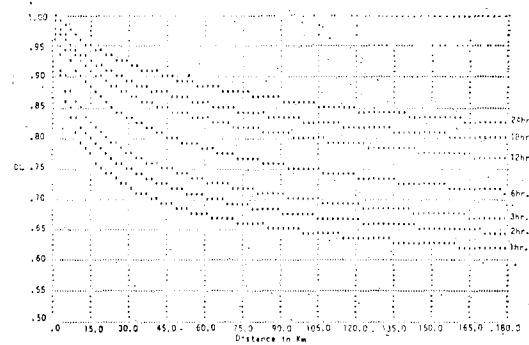


그림 5-2. D.L ratios, 10yr.

그림 4는 特性曲線式에 依하여 再現期間 2年, 10年, 100年에 對한 D.L. 曲線만을 대표로 수록하였다.

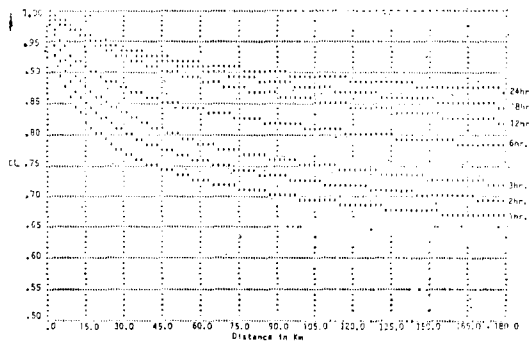


그림 5-1. depth-length ratios, by duration, return period, 2yr.

4. 降雨量—距離比(D.L. ratio)의 分析과 檢討

2地點 同時 年 最大 平均雨量(\bar{X}_m) 구성은 기준지점 최대우량과 대응지점(상대지점)의 최대우량(*·*) 2지점중 어느 한 지점이 최대우량이고 대응지점이 동

표 5. Fitting Constant for D.L. Ratio

return period (yr.)		2	5	10	25	50	100	200	500
duration (hr.)									
1	a	0.34518	0.42509	0.39138	0.39578	0.42651	0.44562	0.45142	0.47593
	b	0.38443	0.39297	0.43758	0.45726	0.45179	0.45093	0.45634	0.45372
2	a	0.30722	0.33254	0.37507	0.36765	0.41423	0.38007	0.36696	0.38883
	b	0.36695	0.40345	0.39826	0.42465	0.40719	0.43658	0.45331	0.44671
3	a	0.27108	0.31164	0.33492	0.33847	0.31873	0.31834	0.34526	0.38209
	b	0.35868	0.37947	0.38517	0.40596	0.42958	0.43901	0.42803	0.41144
6	a	0.27542	0.23984	0.24980	0.30642	0.27158	0.22171	0.31228	0.36064
	b	0.28458	0.36859	0.38163	0.34737	0.38575	0.44342	0.36755	0.33983
12	a	0.16604	0.25242	0.24627	0.12258	0.23482	0.20995	0.26477	0.18781
	b	0.34214	0.29662	0.32279	0.50759	0.36187	0.39983	0.34737	0.43628
18	a	0.16800	0.17000	0.23785	0.25679	0.26087	0.27488	0.26042	0.23968
	b	0.31376	0.35685	0.29732	0.29327	0.29265	0.28584	0.30324	0.32830
24	a	0.21838	0.20482	0.18796	0.21131	0.19599	0.18316	0.15676	0.17230
	b	0.23526	0.28250	0.31481	0.30008	0.32275	0.33991	0.37990	0.36361

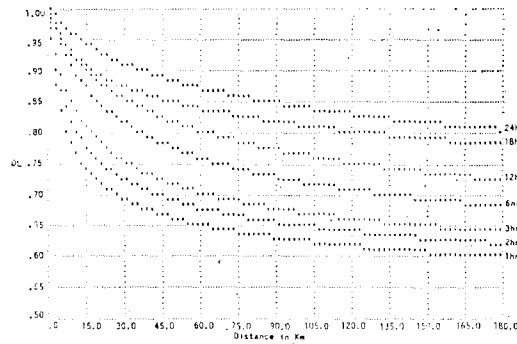


그림 5-3. D.L. ratios, 100yr..

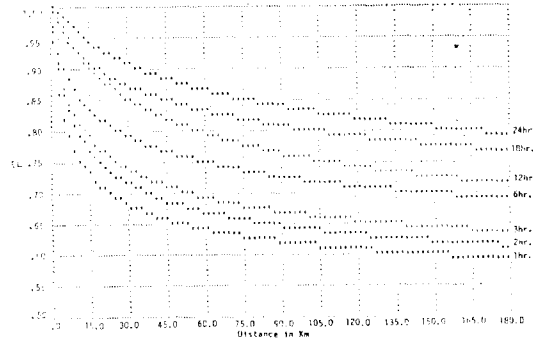


그림 5-4. D.L. ratios 500yr.

시우량(*-) 2지점중 어느 한 지점도 최대우량이 아니고 임의의 동시우량인 경우(- -)의 경우로 세분된다.

上記 경우는(*-)가 가장 많고(* *)은 지속시간과 거리가 짧을수록 많이 나타난다(- -)은 단시간에서는 불규칙하나 장시간에서는 거리에 따라 약간 증가함을 보여주고 있다.

이러한 구성은 지형에 따른 강우특징으로 판단된다.

변동계수(CV)는 지속시간에 따라 다소변화가 있다. 즉 지속시간이 1~6 시간 사이에서는 감소하나 12~24 간에서는 지속시간에 따라 약간 증가한다. 이와같은 원인은 12시간 이상의 장시간 강우일 경우 雨域의 확대에 따른 地形的인 영향이 큰 것으로 보여진다.

再現期間과 持續期間別 雨量-距離比(D.L ratio)曲線(그림 4)에서 살펴보면 雨量-距離比는 거리증가에 따라 감소하고 지속시간에 따라 증가하며 再現期間에 따라 약간 감소한다. 이와같은 결과는 한강유역의 특수한 地形的 여건에서도 이전 研究^{2),5),10)}들에서 나타

난 결과와 거의 一致하고 있다.

D.L 比의 算定은 一般式(10)에 의해서 구할 수 있으며 特性曲線式(11)을 設定하여 편리하게 利用할 수 있다.

特性曲線式(fitting equation)은 設定된 指數函數式이 實測值(降雨量)와 대체로 잘 맞으나 原點(d=0)에서 약간의 差異를 보이고 있다. 또한 그림 4에서 12 hr 과 18 hr, 및 18 hr. 과 24 hr. 의 曲線이 短距離(d=0 ~30 km)에서 重複내지 交叉하는 것도 같은 問題點으로 以後研究에서 確認할 豫定이다.

5. 結 論

本 研究은 한강유역의 地點 同時降 雨資料를 利用하여 流域內 雨量의 時空間的 相關構造를 파악하기 위한 雨量-距離比(D.L 比)를 算定한 것이다.

한강유역 降雨의 再現期間, 持續時間別 距離에 따른 雨量-距離比는 다음과 같은 特性式으로 나타낼 수 있다.

$$D,L=1-0.5 e^{-[ad^b]^{-1}}$$

雨量-距離比는 距離 增加에 따라 감소하고 강우 持續時間 增加에 따라 增加하며 再現期間 증가에 따라 약간 감소함을 나타내고 있다.

本 研究 結果는 面積雨量 算定에 基礎로서 利用될 수 있을 것으로 생각된다.

Reference

1. Hershfield D.A. and Kohler M.A., "An Empirical of the Appraisal of the Gumbel Extreme-Value procedure". J. Geophys. Res., 65:1737~1746, 1960.
2. Hershfield D.M., "Rainfall Frequency Atlas of the United States for Durations from 30 minutes to 24 hours and Return Periods from 1 to 100 years.", U.S.W.B. Tech. Paper No. 40, 1961, p. 115.
3. Huff, F.A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storm.", W.R.R., Vol. 3, No. 4, 1967, pp. 1007~1019.
4. Miller, J.F., Frederick, and Tracey R.J., "Precipitation-Frequency Atlas of the Western United States", NOAA Atlas 2, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Md., eleven Volumes, 1973.

5. Rodriguez-Iturbe I., Mejia J.M., "On the Transformation of Rainfall", W.R.R., 1974, pp.729~735.
6. Huff, F.A., and Vogel J.L., "Hydrometeorology of Heavy Rainstorms in Chicago and Northeastern Illinois, Phase I. Historical Studies, Report of Investigation 82, Illinois, State Water Survey, 1976, p.63.
7. Fredrick, R.H., Myers V.A., and Auciello E.P., and Auciello E.P., "Stome Depth-Area Curves derived from Digitized Rader Data", W.R.R., 13:675~679, 1977a.
8. Frederick, R.H., Myers V.A. and Auciello E.P., "Five-to 60minute Precipitation Frequency for the Eastern and Central United States.", NOAA Tech. Mem. NWS HYDRO-75, National Weather Service, NOAA, Silver Spring, Md., 1976, pp.36.
9. Frederick, R.H., Myers V.A. and Auciello E.P., "Storm Depth-Area Relations From Digitized Radar Returns", W.R.R. Vol.13 No.3 1977, pp.675~679.
10. Myers V.A., and Zehr R.M., "A Methodology for Point-to-Area Rainfall Frequency Ratios.", NOAA Tech Report, NWS 74, 1980. pp1~16.
11. Nguyen, V.T.V., "Frequency Analysis of Point-to-Area Ratios", Proceedings of Third International Conference on Urban Storm Drainage, Vol 1, 1984, pp.325~334.
12. Matusubayashi Uichiro, Fusetsu Takagi and Atsunori Tonomura: "The Probability Density Function of Areal Average Rainfall", J. of Hydr-oscience and Hydraulic Engineering, Vol.2, No.1, 1984, pp.63~71.
13. 이재준, "우리나라 강수빈도해석에 관한 수문통계학적 연구." 연세대학원 석사논문, 1981, pp.1~52.
14. 정문교, "한국면적강우량 산정에 관한 연구", 연세대학원 석사논문, 1981, pp.1~40.
15. 이재준, 손광익, 이원환, 이길춘, "강수빈도및 강우강도의 시공적 분석에 관한연구", 한국 수문 학회지, Vol.14, No.4, 1981, pp.53~72.
16. 건설부 홍수통제소, "한강 홍수자료", 1975년~1985년
17. National Bureau of Standards, "Probability Tables for the Analysis of Extreme Value Data", NBS Applied Math. Series 22, U.S.Gov. printing office, Washington, D.C., p.32, Introduction by D.J. Gumbel, 1953.
18. 조원철, 이재준, "직교함수를 이용한 최소자승법의 정밀도 향상에 관한 연구" 대한토목학회지, Vol 6, No.4, 1986, pp.44~48.
19. Chow, V.T., "Statistical and Probability Analysis of Hydrologic Data", Hand book of Hydrology, MacGraw-Hill, New York, 1964, pp.8-1~8-42.