Atmosphere, **16**(2), 55-65 June 2006

금강유역에 내린 호우의 수분최대화에 의한 가능 최대 DAD의 산정

이광호
전북대학교 사범대학 과학교육학부
(2006년 4월 10일 접수; 2006년 5월 15일 승인)

Estimation of Probable Maximum Depth-Area-Duration by Moisture Maximization over the Geumgang River Basin

Kwang-Ho Lee
Division of Science Education, Jeonbuk National University
(Manuscript received 10 April 2006; in final form 15 May 2006)

Abstract

The characteristics of Depth-Area-Duration (DAD) for 50 storms over the Geumgang river basin have been analysed in terms of various storm causes using the precipitation data during the period from 1984 to 2003. Results show that the ratio of the precipitation depth to duration, and the ratio of decrease in the precipitation depth to area are the largest in the case of the tropical cyclone. Storm maximization ratios are in the range 1.03 to 2.66 for the 50 selected heavy precipitation cases over Geumgang river basin, with the largest value for the tropical cyclone case, suggesting that the tropical cyclone could cause heavier precipitation than the other storms. In addition, the 24-hour probable maximum precipitation for the Geumgang river basin is estimated to be about 745 ㎜ in the maximum precipitation area.

Key words: depth-area-duration, storm maximization ratio, tropical cyclone, probable maximum precipitation

1. 서 론

인간이 살고 있는 지구의 환경을 조성하는데 가장 크게 영향을 주었을 뿐 아니라 현재도 크게 영향을 미치고 있는 인자 중에 물을 첫 번째로 꼽을 수 있다. 이러한 물은 지구-대기 간의 물 순환에 의해 강수의 형태로 지표에 공급되고 있다. 20세기 초만 해도 강수, 즉 물의 이용은 단지 생활용수 외에 농업, 소규모의 수력발전에 그쳤던 것이 최근에는 인구가 급증하고 산업이 발달되면서 물의 수요량이 공급량을 초과하게 되고 물에 의한 모든 조절 기능의 필요성이 필수적이 되었을 뿐 아니라 생명유지의 수단으로까지 되고 있다.

우리나라도 예외는 아니어서 지난 세기 말에 UN에서 발표한 물 부족 국가 중의 하나로 되고 있으며 지속적인 수자원 개발과 물 소비량을 줄이지 않으면 물 기근 국가로 전락할 위기에 처해있다.

더욱이 행정 신도시 예정지로 결정된 공주・연기 지구는 금강 유역에 속해 있어 이 지역 개발을 위해서는 이곳으로 공급되는 물, 즉 강수에 대한 수문기상학적인 해석이 반드시 필요하다. 어느 지역에 내릴 수 있는 최대 가능강수량 (Probable Maximum Precipitation (PMP))은 그 지역에서의 모든 수문사업에 있어 안전하고도 경제적인 설계 자료로서 없어서는 안 될 필수적인 요소라고 할 수 있다. 최대 가능강수량은 주어진 시간, 특정한 지역에 물리적으로 가능한 강수의 최대 깊이로 정의된다 (Wiesner, 1970).

원래 최대 가능강수량은 물 순환 과정에서 최대 홍수량을 산정하기 위해 선행되어야 하며 지금까지 최대 가능강수량의 산정은 크게 통계적인 방법과 기상학적인 방법 등으로 나눌 수 있다. 통계적인 방법은 주로 강

*Corresponding Author: Kwang-Ho Lee, Division of Science Education, College of Education, Jeonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea.
Phone : +82-63-270-2803, Fax : +82-63-270-2802
E-mail: hrhee@chonbuk.ac.kr

ⓒ Korean Meteorological Society, 2006

수의 재현기간을 구하여 추정하며 기상학적인 방법은 주어진 유역에서 최대로 내릴 수 있는 강수량의 상한을 기상학적 또는 물리적으로 얻어 낸다. 한편 Sherman (1944)은 대기의 상태를 고려하여 실제 나타난 강수량을 최대화시켜 구하는 최대 가능강수량이 통계적인 방법으로 얻은 최대 가능강수량보다 더욱 더 신뢰성이 있다고 하였다.

1930년경에 최초로 최대 가능강수량 산정에 대기의 물리적 상태를 적용한 이래 (Paulhus and Gilman, 1953) 미국의 기상청에서는 1938년부터 미국 전역의 주요 하천 유역에서의 최대 가능강수량을 상술된 두 가지 방법, 즉 통계적, 대기물리적인 방법으로 산정하여 정규적으로 매년 발표하여 이로부터 (U. S. Weather Bureau, 1938, 1948, 1951, 1966 등) 얻은 최대 가능강수량 산정 자료들을 유역 개발을 위한 제반 수문사업의 설계 자료로 활용하고 있다.

우리나라에서는 이광호・정창희 (1971)가 처음으로 대기 중의 수증기를 고려하여 낙동강 유역에서의 최대 가능강수량을 산정 발표한 이래 윤세희・이원환 (1980), 이순탁・박정규 (1986) 등에 의해 연구된 바 있다.

또한, 건설부에서는 우리나라 전역에 대한 강수량의 상한을 통계적인 방법과 대기물리적인 방법으로 산정하여 발표한 바 있다 (건설부, 1988a, b). 이광호 (1990)는 한국 4대강 유역에서의 강수량을 대기의 수분을 고려하여 최대화시켜 최대 가능강수량을 산정, 발표하였으며, 1999년에는 호우를 최대화시키기 위한 노점온도를 분석, 발표한 바 있다 (이광호, 1999).

본 논문에서는 최근 신행정도시로 확정 고시되어 개발이 가시화되고 있는 공주・연기 지역이 속해 있는 금강유역에서의 최대 가능 강수량을 대기의 수분을 최대화시켜 추정하고 과거의 연구 결과들과 비교하여 그 특성을 알아보고자 한다.

2. 금강유역 개관

연구대상지역으로는 금강 유역으로 하였다. 이렇게 선정하게 된 것은 금강 유역 내에는 최근 신행정도시로 결정된 바 있는 공주・연기 지구가 속해 있어 이 지역에서의 물 관리 및 제반 수문사업에 설계 기초 자료를 제공하기 위해서이다.

금강 유역은 우리나라 4대강 유역의 하나로서 본류인 금강은 Fig. 1에서와 같이 전라북도 장수에서 발원

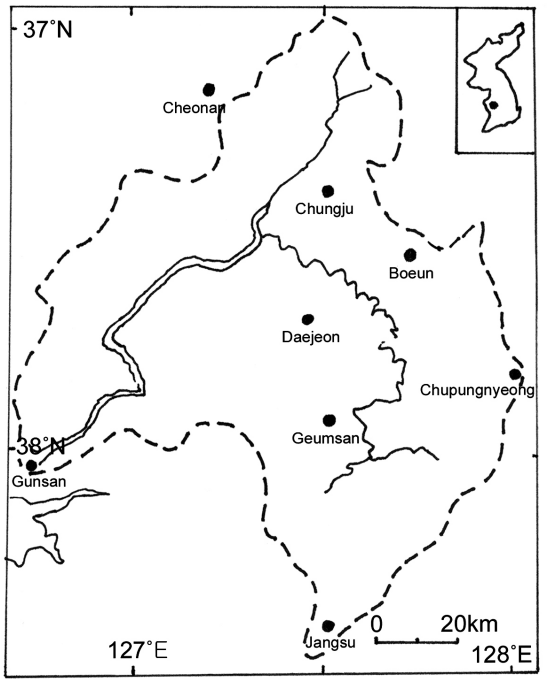

Fig. 1. Geumgang River basin map.

하여 충청 남・북도를 거쳐 강경에서부터 신행정수도 예정지를 지나 충청남도와 전라북도의 도계를 이루면서 군산만으로 흐르고 있다. 금강은 수원에서 하구까지 북서 방향의 직선거리로 약 85 km에 불과하나 유로의 길이는 396 km나 된다. 금강유역은 금강 본류 외에 10개의 국가 하천과 16개의 지방 하천으로 구성되어 있으며, 유역 면적은 9,907 ㎢, 유역 내에 대청댐, 용담댐, 금강 하구언 등이 설치되어 농업용, 홍수 조절용 등 다목적으로 이용되고 있다. Fig. 1에서 파선은 유역 경계, 점들은 기상청 산하 기상대 및 관측소이며 이들 중 장수관측소는 1988년도부터 기상관측이 시작되었다.

3. 자료 및 방법

3.1 지상 기상관측

본 연구에서 이용된 자료는 1984년부터 2003년까지 기상청 산하 기상대 및 관측소에서 관측한 일별 강수량 (기상청, 1984~2003) 및 시간별 강수량, 6시간 간격의 노점온도, 일기도 등 (기상청data base, 1984~2003)이다.

3.2 호우 선정

기상특보 중에 호우주의보 기준이 되는 일강수량 80 ㎜ 이상이 기록된 경우를 호우로 정의하고 유역 내의 7개 기상대 및 관측소에서 1984년부터 2003년까지 20년 동안 기록된 호우를 선정하였다. 최근 20년간 일강수량 80 ㎜ 이상인 호우는 총 129회이며, 주로 6월부터 9월에 출현하고 있다. 또한 호우경보의 기준이 되는 일강수량 150 ㎜ 이상의 경우는 총 50회에 이르고 있으며 주로 7월에 발생되고 있다. 본 연구에서의 분석 대상은 일강수량 150 ㎜이상 되는 경우의 호우로 하였다. Table 1은 선정된 호우를 나타낸다. 이표에서 호우 원인이 저기압인 경우는 L, 열대저기압은 TC, 기압골인 경우는 T, 장마전선인 경우는 P로 나타내었다.

또한 호우는 기상월보에 나타난 일강수량 또는 2일 연속 강수량이 150 ㎜ 이상 되는 경우이며 호우 기간은 월보 상에 강수량의 기재가 시작 된 날부터 끝난 날까지로 하여 정하였으며, 호우 중심은 호우기간 중의 등강수량 선도로부터 얻었다. 또한 호우의 원인은 기상 개황을 참조로 하여 크게 장마전선, 저기압, 열대성 저기압, 기압골 등 4개로 하였다.

선정된 호우를 최대화시켜 추정되는 최대 가능강수량은 우선 주어진 기간 (Duration), 주어진 지역 (Area)에 기록된 강수의 깊이 (Depth)로 정의되는 호우의 DAD를 구한 다음 이를 대기 중의 수증기량으로 최대화시켜서 시간 공간적 최대 가능 강수량 (PMP・DAD)을 산정하였다.

Table 1. Selected heavy storms for the period of 1984-2003 over Geumgang River.

Storm Symbol	Storm Duration		Location of Center	Storm Cause	Storm Symbol	Storm Duration		Location of Center	Storm Cause
A	Aug. 31~Sep. 3,	1984	Geumsan	T	A'	Aug. 23~26,	1995	Chungju	TC
B	Aug. 9~10,	1985	Chupungnyeong	TC	B'	Aug. 30,	1995	Geumsan	T
C	Sep. 15~19,	1985	Chupungnyeong	P	C'	June 16~18,	1996	Geumsan	T
D	June 22~25,	1986	Geumsan	P	D'	June 24~25,	1996	Geumsan	P
E	July 14~19,	1986	Chungju	L	E'	July 20~22,	1996	Daejeon	P
F	July 21~23,	1987	Daejeon	L	F'	June 25~27,	1997	Jangsu	P
G	Aug. 27~31,	1987	Boeun	L	G'	June 30~July 2,	1997	Chungju	P
H	July 9~11,	1988	Boeun	P	H'	July 4~6,	1997	Geumsan	P
I	July 13~15,	1988	Daejeon	P	I'	Aug. 3~5,	1997	Daejeon	L
J	July 15~16,	1989	Daejeon	P	J'	June 25~28,	1998	Jangsu	P
K	July 25~27,	1989	Jangsu	P	K'	Aug. 8~13,	1998	Boeun	TC
L	Aug. 20~23,	1989	Jangsu	L	L'	Aug. 14~16,	1998	Gunsan	L
M	Sep. 13~17,	1989	Chungju	T	M'	Sep. 29~Oct. 1,	1998	Daejeon	TC
N	June 19~21,	1990	Chungju	P	N'	Sep. 9~10,	1999	Daejeon	L
O	July 14~19,	1990	Jangsu	P	O'	Sep. 19~24,	1999	Jangsu	TC
P	July 31~Aug.2	1990	Chungju	T	P'	July 22~23,	2000	Daejeon	L
Q	Aug.20~21,	1990	Jangsu	TC	Q'	Aug. 24~26,	2000	Gunsan	TC
R	Aug. 22~24,	1991	Chupungnyeong	TC	R'	Sep. 13~16,	2000	Chupungnyeong	TC
S	July 15~17,	1992	Jangsu	P	S'	June 18~20,	2001	Jangsu	L
T	Aug. 24~27,	1992	Chungju	T	T'	Aug. 5~8,	2002	Chungju	T
U	June 28~29,	1993	Jangsu	p	U'	Aug. 31~Sep. 2,	2002	Chupungnyeong	TC
V	July 11~14,	1993	Chupungnyeong	P	V'	July 9~11,	2003	Boeun	P
W	Sep. 16~17,	1993	Jangsu	T	W'	July 22~23,	2003	Chungju	P
X	June 30~July 2,	1994	Geumsan	P	X'	Aug. 18~21,	2003	Chupungnyeong	T
Y	Aug. 8~9,	1995	Geumsan	T	Y'	Sep. 12~13,	2003	Chupungnyeong	TC

3.3 호우의 DAD 산정법

3.3.1 호우기간의 결정

호우기간은 선정된 호우의 예비기간에 대한 시간별 강수량에 대한 질량곡선 (mass curve)을 그려 강수의 시작 시각과 종료 시각을 정하였다. Fig. 2는 선정된 호우 중 원인 별로 하나씩 선택하여 얻어낸 질량곡선을 나타낸다.

3.3.2 등강수량 선 안의 누적 평균 강수량

선정된 호우의 호우기간에 대한 강수량의 총량을 얻어 유역에서의 등 강수량선도를 작성한 후 등강수량선 사이의 시간별 누적 평균 강수량은 관측소의 매시간 강수량 자료로부터 등 강수량선도에서 호우 중심지역에서의 질량곡선의 경사가 가장 큰 시간을 기준으로 하고, 각 관측소의 6, 12, …, 72시간의 누적 강수량을 얻어 이로부터 유역 내의 누적 평균 강수량을 구하였다.

3.3.3 호우의 최대 DAD

선정된 호우의 최대 DAD를 얻기 위해 우선 등강수량선 안의 수정 강수량 aP_i는 등강수량선 안의 강수량 자료가 5개 이상인 경우에는

$$aP_i = \frac{1}{N}[P_i]_k \times \frac{aP_t}{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}[P_t]_k} \quad (1)$$

을 사용하였다. 여기서 P는 강수량, i는 호우기간, a는 면적을 나타내는 첨자이다. aP_i는 강수기간 i시간 동안에 a면적에 대한 수정 강수량이다. $(P_t)_N$은 N번째 관측소의 강수량, aP_t는 a면적에 대한 평균 강수량이다.

한편 등강수량선 내에 2~4개의 강수량 자료가 있는 경우에는 관측소를 기준으로 Thiessen 다각형을 그려 관측소에 대한 가중 값을 구하여 다음 식

$$aP_i = \sum_{k=1}^{N} W_k \cdot (P_i)_k \times \frac{aP_t}{\sum_{k=1}^{N} W_k \cdot (P_t)_k} \quad (2)$$

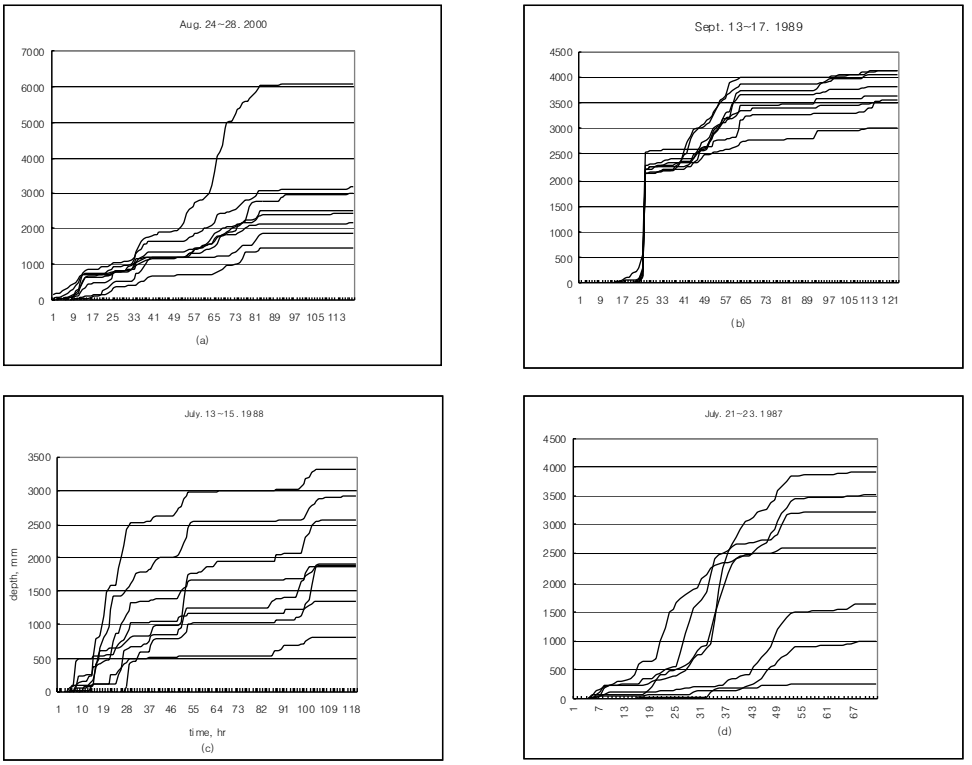

Fig. 2. Mass curves for four representative storms of (a) 24~28 Aug. 2000, (b) 13~17 Sept. 1989, (c) 13~15 July 1988, and (d) 21~23 July, 1987.

으로 수정강수량을 얻었다 (WMO,1969).

여기에서 $W_1, W_2, \cdots, W_N$은 관측소의 가중 값이다. 이렇게 얻어낸 수정강수량으로부터 등강수량선 안의 면적, 호우기간에 따른 누적 최대강수량을 구하였다. 호우의 최대 DAD는 등 강수량선 안의 면적에 따른 호우 기간별 누적 최대 강수량을 반대 수용지에 기입하여 6 시간별로 포락곡선을 그려 이로부터 필요한 면적에 대한 호우기간에 따른 누적 최대강수량을 계산하여 호우의 최대 DAD를 구하였다.

3.3.4 호우의 최대화

선정된 호우는 대기 중의 수분 량을 고려하여 최대화하였다. 대기 중의 수분 량 즉, 가 강수량은 고층 관측 자료의 부족으로 지상 노점온도 자료를 이용하여 가 강수량을 구하여 최대화시켰다.

1) 호우의 수분최대화 비
(Moisture Maximization Ratio)

호우의 최대화는 다음 식으로 구하였다(WMO, 1986).

$$MMR = W_m / W_s \tag{3}$$

여기에서, MMR은 호우의 수분 최대화 비이고, W_m은 호우가 발생한 같은 시기의 지상에서 200mb면까지의 가 강수량의 최대값을, W_s는 지상에서 200mb면까지 호우기간 중 호우중심 부근에서의 가 강수량의 평균값을 의미한다.

가 강수량을 구하기 위해서 지상의 노점온도를 이용하였다. 호우기간 동안 대기가 포화 위단열대기라고 가정하고 지상의 노점온도를 호우와 관련시키려면 순간적보다는 지속성이 있어야 하기 때문에 12시간 지속성 노점온도를 택하였다. 관측소별 12시간 지속성 지상 최대 노점온도는 1984년부터 2003년까지 10일 간격으로 얻었으며, Fig. 3에 나타내고 있다. 관측소별로 12시간 지속성 노점온도를 구한 다음 관측소마다 고도가 다르므로 1000mb면에서의 12시간 지속성 노점온도로 환산하여 200mb면까지의 강수량을 포화 위 단열대기에서의 지상 노점온도로부터 가 강수량을 환산하기 위한 표 (WMO, 1986)를 이용하여 얻었다.

2) 호우의 이전 비 (Transposition Ratio)

호우의 이전 비는 다음 식으로 표현된다.

$$TR = W_t / W_m \tag{4}$$

여기에서, TR은 호우의 이전 비이고, W_m은 선정된 호우와 같은 시기, 같은 장소에서 기대되는 가 강수량의 최대 값을, W_t는 호우기간 중의 저기압 이동 경로 상에서 기대되는 가 강수량의 최대 값을 나타낸다.

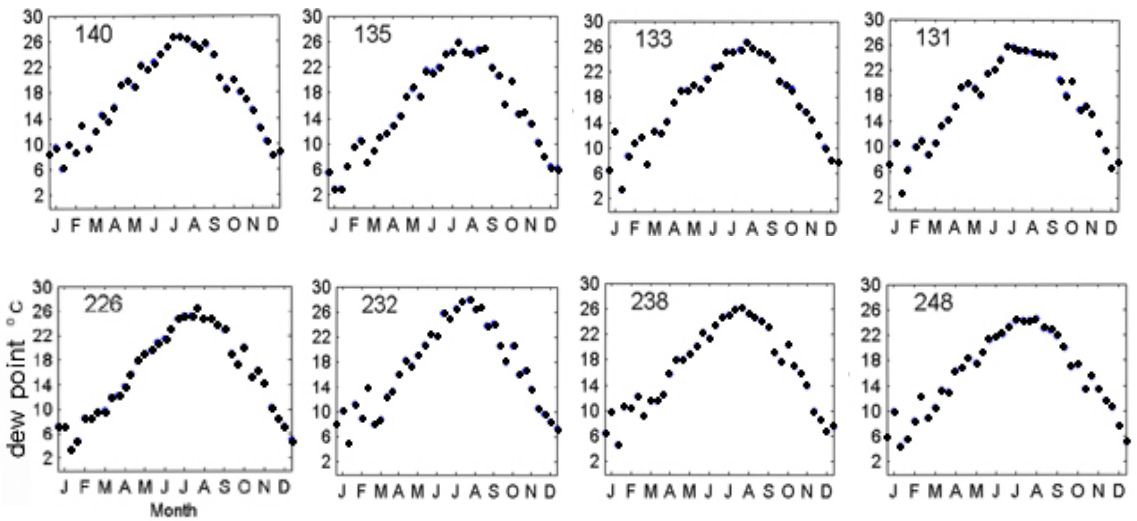

Fig. 3. Monthly variations of maximum 12-hr persisting dew points at 1000hPa level at eight representative stations during the period of 1984-2003. Numbers in each pannel denote the station numbers.

이들을 각각 호우 별로 구하였다.

호우의 최대화 비 (SMR)는 식 (3)과 (4)로부터 다음과 같이 표시된다.

$$SMR = MMR \times TR \quad (5)$$

3) 포락

호우 별로 얻은 시간 공간적 최대 강수량 (DAD)에 호우의 최대화비 (SMR)를 곱하여 구한 시간 공간적 최대 가능강수량 (PMP · DAD)을 포락하여 금강유역에서의 시간 공간적 최대 가능강수량을 구하였다.

4. 결과 및 논의

4.1 호우의 최대 DAD

Table 2는 최근 20년간(1984~2003) 금강유역에서 기록된 호우의 최대 DAD를 나타낸다.

이 표에서 보면 최대 DAD는 호우기간이 48시간 이내 최대 강수지역에서 약 2,000 ㎢까지는 거의 호우 K'가 차지하고 있으며, 이 밖에는 부분적으로 H', I', Q', F, R', P, Q' 호우에 대한 DAD값이 차지하고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 보아 열대 저기압에 의한 호우의 값임을 나타낸다. 과거의 연구 (이광호, 1988)와 비교해 보면 금강유역에서의 최대 DAD는 장마 전선에 의한 호우가 거의 차지하고 있는 것과는 다른 결과임을 알 수 있다. 이는 지구 온난화에 따라 열대 저기압의 발생 빈도가 증가하고 그 강도도 강해지고 있다는 현재의 연구결과를 반영해 준다고 볼 수 있다.

한편, 24시간 최대 지점강수량은 460㎜로서 1972년부터 1986년까지 기록된 호우 최대 DAD값인 312㎜ (이광호, 1988)보다 148㎜나 많은 양이다. 더욱이 조희구 (1970)가 구한 남한 최대 DAD값 중 24시간 최대 지점 강수량 375㎜보다도 더 큰 값을 보이고 있다. 20세기 말에 분석된 우리나라 최대 DAD 중 24시간 최대 지점 강수량보다는 140㎜ 적은 양이다. 이는 지구 온난화에 따른 열대 저기압의 강도가 강해짐에 따라 나타난 결과라고 생각된다. 강수기간이 24시간 뿐 아니라 전 호우기간에 대해서나 금강유역 전체에 대한 최대강수량이 과거보다는 그 값이 전반적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

대기의 종관적인 특성이 변하고 있고 더욱이 온도 상승에 의한 대기 중 수분 량의 증가를 고려한다면 과거 기존 호우의 시간 공간적 최대 강수량은 수정되어야 될 것임을 알 수 있다. 그러므로 계속해서 매년 유역에 기록되는 호우마다 시간 공간 적 해석, 즉, 최대 DAD를 분석해서 기존의 결과를 꾸준히 수정, 보완해야 될 것으로 생각된다.

4.2 호우 원인에 따른 호우의 시간 공간 적 최대강수량 (최대 DAD)

Table 3은 호우원인별로 호우의 시간 공간 적 최대 강수량을 비교한 결과이다. 이 표에서 호우기간이 24

Table 2. Maximum Depth-Area-Duration for the period of 1984 -2003 over Geumgang River (㎜).

AREA (sq. km)	Storm Period(hr)											
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
Max. station	285K'	355K'	415K'	460K'	500K'	520K'	525K'	530K'	540Q'	570Q'	590Q'	596Q'
20	284K'	354K'	414K'	459K'	499K'	519K'	524K'	529K'	539Q'	569Q'	589Q'	595Q'
50	283K'	353K'	412K'	457K'	496K'	516K'	522K'	527K'	538Q'	568Q'	588Q'	594Q'
100	282K'	351K'	410K'	454K'	490K'	505K'	510K'	515K'	536Q'	566Q'	586Q'	592Q'
200	277K'	340K'	400K'	440K'	475K'	490K'	496K'	503K'	525Q'	540Q'	562Q'	568Q'
500	240K'	306I'	355K'	403K'	445K'	460K'	480K'	488K'	496K'	504K'	512K'	520K'
1000	210K'	294I'	337I'	355K'	390K'	420K'	430K'	443K'	453K'	462K'	472K'	480K'
2000	165K'	240I'	274I'	300K'	335K'	309I'	367K'	374K'	381K'	388K'	395K'	405K'
5000	80K'F	135F	165F	190F	207F	225F	230F	240F	257Q'	266Q'	275Q'	284Q'
10000	25P	43P	62P	80P	83I'	94H'	99H'	103R'	112R'	123Q'	135Q'	147Q'

(F, H', I', K', P, Q', R' : storm symbol)

Table 3. Comparison with maximum DAD value for the various storm causes.

Storm Cause	Storm Period (hr)	Area (㎢)				Storm Cause	Area (㎢)			
		Storm Center	10^2	10^3	10^4		Storm Center	10^2	10^3	10^4
Low Pressure System	6	0.51	0.49	0.46	0.07	Changma Front	0.46	0.45	0.34	0.08
	24	[a]1.00	0.99	0.92	0.22		[b]1.00	1.00	0.91	0.29
	48	1.03	1.02	0.96	0.24		1.11	1.11	1.00	0.38
Tropical Cyclone	6	0.62	0.61	0.46	0.04	Trough	0.34	0.34	0.32	0.17
	24	[c]1.00	0.99	0.77	0.14		[d]1.00	0.99	0.97	0.42
	48	1.15	1.12	0.96	0.22		1.35	1.28	1.23	0.64

[a]1.00 = 370㎜ [b]1.00 = 260㎜ [c]1.00 = 460㎜ [d]1.00 = 133㎜

시간인 경우 호우 원인이 열대 저기압일 때 집수면적 1,000 ㎢에까지의 강수의 깊이가 호우 중심지역의 최대강수량의 77% 이상이 되고 있으며, 온대저기압인 경우에는 92% 이상, 장마전선인 경우 온대저기압인 경우와 비슷하게 91% 이상, 기압골인 경우에는 가장 큰 값인 97% 이상을 보인다. 이렇게 나타나는 것은 4가지 호우 원인 중 열대저기압에 의한 강수분포가 비교적 좁은 범위에 강수가 집중되고 있음을 의미한다. 한편, 집수면적에 따른 강수깊이의 변화는 기압골인 경우가 가장 적게 나타나고 있어 넓은 지역에 강수가 되고 있음을 알 수 있다.

호우기간이 6시간일 때 호우원인이 열대저기압인 경우 호우 중심지역에서 집수면적 10,000 ㎢까지의 강수 깊이의 감소율은 58%에 달하고 있으나 온대저기압, 장마전선, 기압골의 경우는 각각 44, 38, 17%에 달하고 호우기간이 24시간 경우와 비슷하다. 또한, 호우기간이 48시간인 경우도 6시간, 24시간의 경우와 비슷하게 나타나고 있음을 보인다.

전반적으로 보아 금강유역에서는 호우원인이 온대저기압, 장마전선, 기압골인 경우보다 열대저기압의 경우가 집수면적이 넓어질수록 강수 깊이의 변화폭이 크게 나타나고 있어 강수가 좁은 지역에 집중되고 있음을 알 수 있다. 한편, 호우기간에 따른 강수 깊이는 호우원인이 열대저기압인 경우 호우기간 6시간에 24시간 강수량의 62%가 기록되고 있는 것으로 보아 강수의 시간에 따른 집중도, 즉, 강우 강도가 4가지 호우원인 중 가장 큼을 나타낸다.

호우기간이 48시간이 되면 호우원인이 기압골인 경우가 가장 큰 값인 1.35를 보인다. 이것은 4가지 호우원인 중 기압골인 경우가 장시간에 걸쳐 강수가 지속됨을 의미한다. 이러한 결과는 강수의 시간 공간 적 분포에 영향을 주는 요소가 지역적인 특성, 계절변화, 발생당시의 종관적인 특성 등이 복합적으로 작용하여 나타난 것으로 생각된다. 장기간에 걸쳐 더 많은 호우에 대한 지역, 계절, 종관적인 특성에 따른 분석을 할 수 있다면 더욱 흥미로운 결과를 얻을 수 있을 것이다.

4.3 호우의 최대화

4.3.1 최대 가 강수량

1984년부터 2003년까지 금강유역에서 기록된 50개의 호우를 최대화시키기 위해 연중 호우가 발생되는 시기인 6월부터 9월까지 순별로 얻은 지상의 12시간 지속성 최대 노점온도로부터 구한 가 강수량의 지역적 분포는 Fig. 4에서 보여준다. 금강유역에서의 최대 가 강수량의 분포는 전반적으로 유역의 북쪽과 서쪽 지역에 높은 값을 나타내는 반면, 유역의 남쪽, 동쪽 지역에 낮은 값을 보임을 알 수 있다. 지역에 따라 최대 가 강수량의 최대값은 7월 중순 또는 하순에 주로 나타나고 있다. 이것은 7월 하순까지 감안한다면 쉽게 설명할 수 있으리라 생각된다. 7월 중순의 최대 가 강수량의 분포를 보면 최대값이 유역의 북쪽지역에서 약 105 ㎜를 나타내는 반면 최저 지역은 유역의 남쪽인 장수지역에서 나타나며 그 값은 81.7㎜이다. 7월 하순의 경우도 7월 중순의 분포와 비슷하게 유역의 북쪽에 최대 지역, 남쪽에 최소지역으로 그 값은 7월 중순보다 약간 크게 나타나고 있다. 또한 8월 초순에도 7월 중순, 하순의 분포와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 한편, 9월 하순에는 최대 가 강수량이 감소하여 그 값이 50~65㎜로 80~105㎜의 분포를 보인 7월 상・중・하순, 8월 상순

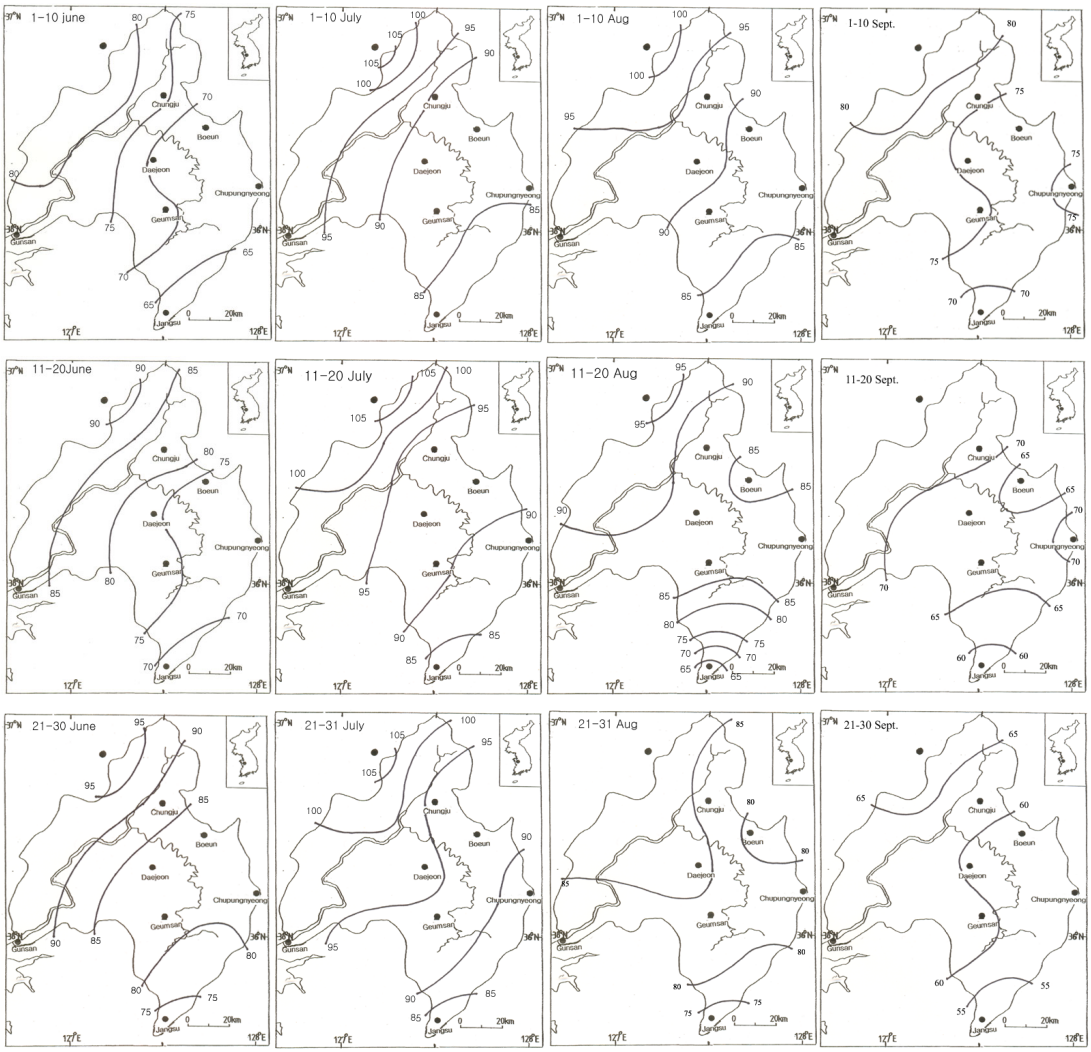

Fig. 4. Maximum precipitable water (㎜) over Geumgang River (1984~2003).

의 값보다 30~40 ㎜ 적게 나타나고 있다. 이렇게 나타나는 것은 장마가 끝나고 수증기의 공급이 줄어들면서 계절에 따른 기온 하강에 기인된다고 할 수 있다.

4.3.2 호우 최대화비

Table 4는 선정된 호우의 수분 최대화비, 호우 이전비, 호우 최대화 비를 나타낸다.

호우 원인에 따른 호우 최대화 비를 보면 기압골인 경우 그 값이 1.12~2.10, 저기압인 경우 1.35~2.31, 열대저기압인 경우 1.03~2.66, 장마전선인 경우 1.19~2.64로 나타나고 있으며, 호우원인이 열대저기압인 경우 그 비가 가장 큰 2.66을 보이고 있다. 대체로 호우원인에 따른 호우 최대화비는 그리 큰 차이가 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

전체적으로 보면 금강유역에 기록된 호우의 최대화비는 1.03~2.66임을 알 수 있으며, 이는 호우원인에 따른 수분 최대화비는 그 값이 기압골에 의한 호우인 경우 1.06~1.83, 저기압인 경우 1.24~1.78, 열대저기압인 경우 1.00~1.82, 장마전선인 경우 1.12~2.24을 보이고 있으며 이는 윤세희・이원환 (1980)이 구한 남한에서의 호우 수분 최대화 비인 1.17~1.41보다 훨씬 큰 값이다. 수분 최대화비의 범위가 열대저기압, 장마전

Table 4. Moisture maximization ratios (MMR), transposition ratios (TR), and storm maximization ratios (SMR) for selected storms over Geumgang River.

Storm Symbol	MMR	TR	SMR	Storm Symbol	MMR	TR	SMR	Storm Symbol	MMR	TR	SMR
				Trough							
A	1.37	1.08	1.48	W	1.49	1.28	1.90	T'	1.32	1.12	1.48
M	1.67	1.10	1.85	Y	1.39	1.16	1.61	X'	1.54	1.13	1.73
P	1.06	1.06	1.12	B'	1.66	1.08	1.79				
T	1.53	1.06	1.62	C'	1.83	1.15	2.10				
				Low Pressure							
E	1.46	1.14	1.67	L	1.29	1.24	1.60	N'	1.31	1.11	1.46
F	1.40	1.11	1.56	I'	1.33	1.13	1.50	P'	1.55	1.11	1.72
G	1.36	1.12	1.60	L'	1.24	1.09	1.35	S'	1.78	1.30	2.31
				Tropical Cyclone							
B	1.29	1.19	1.54	K'	1.39	1.17	1.62	R'	1.00	1.03	1.03
Q	1.11	1.29	1.43	M'	2.29	1.16	2.66	U'	1.77	1.11	1.96
R	1.49	1.11	1.65	O'	1.94	1.34	2.60	Y'	1.82	1.03	1.88
A'	1.41	1.11	1.57	Q'	1.55	1.07	1.66				
				Changma Front							
C	2.08	1.03	2.15	O	1.12	1.33	1.49	F'	1.49	1.33	1.99
D	1.57	1.18	1.85	S	1.56	1.33	2.08	G'	1.31	1.17	1.54
H	1.42	1.18	1.68	U	1.60	1.33	2.13	H'	2.06	1.19	2.46
I	1.34	1.17	1.57	R	1.60	1.21	1.94	J'	1.56	1.33	2.08
F	1.70	1.17	1.19	X	1.22	1.19	1.46	V'	1.90	1.18	2.25
K	1.36	1.29	1.75	D'	2.24	1.18	2.64	W'	1.47	1.17	1.72
N	1.53	1.10	1.68	E'	1.32	1.11	1.47				

선에 의한 호우의 경우가 거의 비슷하게 나타나고 있는 반면 저기압인 경우에 제일 적은 범위를 나타내고 있다. 전반적으로 호우가 발생하였을 때의 강수량보다 최대 2배 정도의 강수량이 더 기록될 수 있음을 보여 주는 결과이다. 같은 지역에 대해 이광호 (1990)가 구한 값 1.17~1.82와 거의 비슷하거나 약간 크게 나타나고 있다. 이 표에서 호우 이전 비는 호우의 이전 한계를 같은 유역내로 보고 호우가 발생하였을 때의 저기압 경로상에서 노점온도가 호우의 중심지역으로부터 20년간 기록된 12시간 지속성 노점온도 중에서 최대가 되는 지역으로 이전시킨 것이다. 호우 이전 비는 수분 최대화비보다 적은 값을 보이며 호우원인별로 거의 비슷한 값, 즉, 기압골인 경우 1.06~1.28, 저기압 1.09~1.30, 열대저기압 1.03~1.34, 장마전선 1.03~1.33이며 이광호 (1990)가 구한 값과도 거의 비슷하게 나타나고 있다. 또한 호우최대화비는 호우 원인이 열대저기압인 경우의 최대화비와 같은 값을 가진다. 즉, 금강유역에서 기록될 수 있는 호우는 기존의 호우의 강수량의 266%까지 될 수 있음을 암시해준다. 금강유역에서 1972~1986년에 기록된 호우의 최대화 비인 1.20~1.64 (이광호, 1990)에 비해 그 범위가 넓어졌다는 사실을 알 수 있다. 즉, 과거보다 최근 호우의 경우 강수량이 훨씬 큰 값을 가질 수 있음을 시사해 주고 있다.

과거의 연구결과 (NOAA, 1977; Khurshid Alam, 1967; 이순탁・박정규, 1986)와 비교해 보면 호우 최대화비의 범위가 훨씬 크게 나타나고 있다. 이렇게 나타나는 것으로 보아 과거 호우와 최근 호우의 종관 특성이 변하고 이에 따라 지역별 강수 기후도 변화하고 있음을 짐작할 수 있다.

4.3.3 금강유역의 PMP・DAD

Fig. 5는 1984년부터 2003년까지 20년간 금강유역

에서 기록된 50개 호우의 DAD값에 호우별 호우의 최대화 비를 곱하여 얻은 면적에 따른 시간별 최대 강수량, 즉, 최대 가능강수량 (PMP · DAD)을 나타낸다. 이 표에서 보면 금강유역에서 내릴 수 있는 호우 중심지역에서의 최대 가능 24시간 강수량은 745㎜가 됨을 알 수 있다. 이광호 (1990)가 구한 같은 지역에서의 24시간 PMP · DAD값보다 약 200㎜ 많은 양이다. 전반적으로 보아 본 연구에서 얻은 PMP · DAD는 집수면적 5,000, 10,000 ㎢에 대한 6, 12시간 최대 가능강수량 값을 제외하고는 강수기간이 길어질수록 PMP의 값의 차이가 커지고 있는 반면, 집수면적이 넓어질수록 그 차이가 적어지고 있다. 대체로 최근에 얻은 PMP 값이 크게 나타나고 있다. 이와 같이 PMP 값이 변하고 있는 것은 종관 특성의 변화에 따른 특히 지구 온난화에 따른 대기 중의 수증기양의 증가와 무관하지 않음을 시사해주는 결과이다.

5. 요약 및 결언

금강유역에서 기록된 호우 50개를 선정하여 호우별로 구한 시간 공간 적 최대 강수량 (DAD)과 시간 공간적 최대 가능 강수량 (PMP · DAD)으로부터 얻어낸 결론은 다음과 같다.

(1) 호우 중심지역에서 24시간 최대강수량이 460㎜로써 과거 (1986년 이전)의 결과보다 148㎜가 많은 양이며, 전반적으로 최대 DAD가 과거의 DAD보다 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다. 종관특성이 변화함에 따른 강수기후 변화의 결과라고 생각된다.

(2) 호우원인별 최대 DAD는 4가지 호우원인 중 열대저기압의 경우 비교적 좁은 범위에 강수가 집중되며, 기압골인 경우 비교적 넓은 지역에 강수가 되는 반면 호우기간이 6~24시간인 경우 열대 저기압, 48시간인 경우 기압골에 의한 값이 가장 커서 열대저기압은 단기간에 좁은 지역에, 기압골인 경우 장기간, 넓은 지역에 강수가 되고 있음을 알 수 있었다.

(3) 호우의 수분 최대화비는 1.00~2.29, 호우이전 비는 1.03~1.34이며, 호우 최대화비는 1.03~2.66으로서 금강유역에 내린 호우 시 기록되는 최대 강수량보다 2~3배 더 많은 강수량이 내릴 수 있음을 알 수 있었다.

(4) 금강유역에서 기록될 수 있는 시간 공간적 최대 가능강수량 (PMP · DAD)은 Fig. 5와 같다. 본 논문에서 얻어낸 금강유역의 PMP · DAD는 매년 종관기상 특성이 변하기 때문에 항상 변할 수 있으며 가장 최근의 호우의 값으로 계속해서 갱신되어야 될 것으로 생각된다. 또한 여기에서 얻은 결과들은 행정 도시로 계획되어 있는 지역에서의 제반 수문사업의 설계 자료로 유용할 것으로 생각된다.

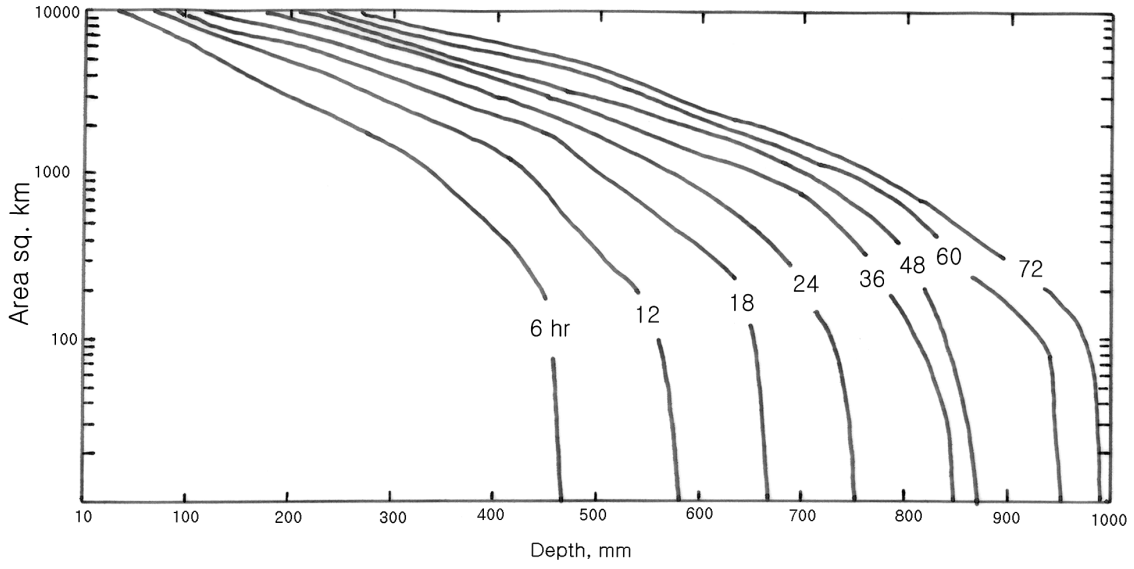

Fig. 5. PMP · DAD curve for various durations over Geumgang River.

감사의 글

이 논문은 2004년도 전북대학교 지원 연구비로 수행되었습니다. 좋은 지적을 해준 심사위원, 논문작성에 도움을 준 정주상, 박경진조교에게 감사를 드립니다.

참고문헌

기상청, 1984~2003: 기상월보

기상청, 1984~2003: 강수량 및 노점온도 data base

건설부, 1988a: 한국 확률강수량도. 수자원관리기법 개발 연구보고서, 제 2권 별책부록.

건설부, 1988b: 한국 가능최대강수량도. 수자원관리기법 개발 연구보고서, 제 3권 별책부록.

윤세희, 이원환, 1980: 우리나라의 최대 가강수량 측정에 관한 연구. *한국수문학회지*, **13**, 77-81.

이광호, 1988: *남한 4 대강 유역에 대한 최대 가능강수량의 특성에 관한 연구*. 연세대학교 대학원 박사학위 논문, 133pp.

_____, 1990: 남한 4대강 유역에 대한 최대 가능강수량의 특성에 관하여. *한국기상학회지*, **26**, 156-177.

_____, 1999: 한국에서 기록된 호우의 수분최대화를 위한 1000hPa면 12시간 지속성 최대 노점에 관한 수문기상학적인 연구. *한국기상학회지*, **35**, 519-530.

_____, 정창희, 1971: 낙동강 유역의 PMP 추정에 관하여. *한국기상학회지*, **7**, 57-63.

이순탁, 박정규, 1986: 하천유역의 설계 용수량 결정을 위한 PMP의 산정 및 적용. *한국수문학회지*, **19**, 75-86.

조희구, 1970: 우리나라 호우의 최대 DAD분석. *한국기상학회지*, **6**, 79-82.

Khurshid Alam, F. C., 1967: Probable maximum precipitation over the Swat Basin (monsoon season). *WMO Water Resources Series*, NO. 30, 178-197.

NOAA, 1977: Probable maximum precipitation estimate, Colorado river and Great basin drainages. *Hydrometeorological Report*, No. 49, U.S. Dept. of Commerce.

Paulhus, J. L. H., and C. S. Gilman, 1953: Evaluation of probable maximum precipitation. *Trans. Amer. Geophy. Union*, **34**, 701 pp.

Sherman, L. K., 1944: Primary role of meteorology in flood-flow estimation. *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, **109**, 369.

U.S. Weather Bureau, 1938: A hydrometeorological analysis of possible maximum precipitation over St. Francis river basin above Wappapello. *WMO Hydrometeorological Report*, No. 8.

_____, 1948: Highest persisting dew points in western United States. *Tech. Paper*, No. 5.

_____, 1951: Tables of precipitable water. *Tech. Paper*, No. 14.

_____, 1966: Generalized probable maximum precipitation and rainfall frequency data for Puerto Rico and Virgin Islands. *Tech. Paper*, NO. 42.

Wiesner, C. J., 1970: *Hydrometeorology.* Chapmann and Hall, 232pp.

WMO, 1973: Manual for estimation of probable maximum precipitation. *Operational Hydrology Report*, No. 1, WMO-No. 332, pp. 171.

_____, 1969 : Probable maximum precipitation over South Platte River, Colorado and Minnesota River, Minnesota. *Hydrometeorological Report*, NO. 44.

_____, 1969 : Manual for Depth-Area-Duration analysys of storm precipitation. WMO, No. 237, TP 129.

_____, 1986 : Manual for estimation of probable maximum precipitation. WMO-NO. 332, 1-52, 246-247.