

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정 - 서울, 대구, 광주, 충주, 부여를 중심으로 -

박 현 옥 · 문 병 채*
경상대학교 교육연구원 · 목포대학교 도서관화연구소
(2002년 12월 6일 접수; 2003년 3월 13일 채택)

The Weather Representativeness in Changma Period Established by the Weather Entropy and Information Ratio - Focused on Seoul, Taegu, Gwangju, Chungju, Puyo -

Hyun-Wook Park and Byung-Chae Moon*

Research Institute of Education, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

*Institute of Island Culture, Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea.

(Manuscript received 6 December, 2002; accepted 13 March, 2003)

The seasonal variation and frequency of rainfalls of Korea peninsula in Changma period show strong local weather phenomenon because of its topographical and geographical factors in Northeast side of Asia. Based on weather entropy(statistical parameter)-the amount of average weather information-and information ratio, we can define each area's weather representativeness, which can show us more constant form included topographical and geographical factors and seasonal variation. The data used for this study are the daily precipitation and cloudiness during the recent ten years(1990-1999) at the 73 stations in Korea. To synthesize weather Entropy, information ratio of decaying tendency and half-decay distance, Seoul's weather representativeness has the smallest in Summer Changma period. And Puyo has the largest value in September.

Key word : Changma, Weather representativeness, Weather entropy, Information ratio, Information theory

1. 서 론

한반도는 한대 대륙기단인 cP 기단과 열대 해양 기단인 mT기단과의 접촉대인 태평양 한대 전선대가 이동하는 중위도의 아시아 대륙 동안에 위치하여 동안기후와 계절풍기후의 특색을 함께 지닌다. 그리고 한반도의 대기흐름은 태백·소백산맥 등의 산악효과로 산악지형에서는 짧은 거리에서도 지역차가 커 기후요소의 값이 크게 변화하며, 반도의 속성인 바다-육지의 열용량 차이에 의한 영향도 크게 받아 특히 해안지역에서는 국지기상은 중관규모 일기계와 지역적 특성이 결합되어 복잡하게 나타난다.^{1,2)}

따라서 한국은 수리적, 지리적 요인에 의해 산지

및 해안지역 등에 따라 기후현상 및 탁월 일기의 다소와 그 계절변화가 크고 이러한 탁월 일기 및 기후현상의 특징은 특히 강수와 운량을 중심으로 한 그 출현율과 월 변화에 잘 반영되고 있다. 특히 각종 기후인자의 영향을 예민하게 반영하고 있는 탁월 일기 및 강수현상은 계절을 통해 다양하게 통과하는 일기 시스템, 복잡한 지형적 요인 및 대기순환양상에 의해 협소한 한반도 내에서도 국지성을 강하게 보인다.^{3~5)} 그러므로 기상 및 천후현상을 정확하게 파악하기 힘들어 정확한 일기예보 및 기후 대표성 설정이 매우 어렵다.

기후환경의 특정한 process가 시·공간상에 편중할 때 기후환경의 지역성 즉, 기후 대표성이 나타나는데 기후환경의 공간적 분포(지역적 차이)나 시간적 변동(계절의 추이)의 현저함은 복수 지점의 여러 기후요소와 상호 관련하여 발생하고 있고, 이에 따라 각 지역의 기후 대표성이 나타난다고 볼 수 있다.^{6~8)}

Corresponding Author : Hyun-Wook Park, Research Institute of Education, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea.

Phone : +82-55-751-6646

E-mail : entropypwh@joins.com

이러한 각 지역의 강수현상 및 일기의 대표성은 정보이론^{9~13)}을 이용하여 얻은 일기의 평균정보량이며 통계학적인 parameter인 일기엔트로피^{14,15)}와 정보비 개념^{16~19)}을 기초로 하면 수리적, 지리적 요인 및 계절변화 등을 포함한 보다 향상적인 모습으로 밝힐 수 있다.

일기엔트로피는 어느 일기도 똑같이 나타날 때 최대가 되며 이때 불확정성이 제일 크고, 출현확률이 특정의 일기에 집중하고 있을 때 작기 때문에 이와 같은 의미에서 일기상태를 나타내는 指標의 하나이다. 정보비는 두 지점의 일기별 도수가 어느 정도 관계가 있는가를 표시하는 지수이므로 일기 정보비를 계산하여 인접하는 두 개 혹은 n개 지역의 기상관측소의 대표범위를 논할 수 있다. 또한 이것은 기후구분예의 응용 및 해설을 가능하게 하며, 기상 예측소의 합리적인 입지선정에 따른 정확한 일기 예보구역 설정과 예보의 적중률 향상 등을 포함한 효율적인 운영에 기여할 수 있고, 기상 재해 예방 및 인문·경제활동의 생산성향상 등 사회의 여러 응용분야에 중요하게 활용되는 각종 기후정보의 분석 및 창출을 가능하게 한다.

그런데 한반도에서는 장마는 대략 6월 하순경부터 시작되고 7월 중순경에 끝나는 여름장마와 8월 하순경부터 시작되고 9월 중순경에 끝나는 가을장마가 존재한다.^{20~23)} 특히 한반도에서는 장마기 일기엔트로피의 분포모양이 여름, 가을장마기에 따라 상당히 탁월한 특징을 보이면서 일기출현의 국지적인 차이가 명확히 반영되어 변화하고, 한반도의 장마기 날씨 및 기후 특성은 일기엔트로피의 대소와 그의 정보비에 잘 반영되고 있다고 할 수 있으므로, 위와 같은 정보이론을 응용하여 얻은 일기엔트로피와 정보비 개념을 이용하면 장마기의 각 지역의 기후 및 일기대표성 설정은 가능하다.

본 연구에서는 각종 기후 인자의 영향을 명확히 반영하여 한반도의 장마기의 날씨 및 기후특성을 잘 나타내는 탁월 일기 및 강수현상의 장마기의 출현빈도와 월변화에 대해, 정보이론을 이용하여 일기엔트로피와 정보비를 추출하고 응용하여 그 공간스케일의 시간적 변동을 살피고, 4대강 유역(서울, 대구, 광주, 충주, 부여)의 일기대표성을 정보비의 거리에 따른 감쇠특성과 정보비의 차에 의해 밝혀 그에 따라 일기대표성(예보구역)을 설정하고자 한다.

2. 자료와 연구방법

2.1. 자료

본 연구에서는 기상청에서 발행한 1990~1999년까지의 기상월보에서 남한의 73개 관측지점(기상대 31

개, 기상관측소 42개)의 매일 기상 자료 중 장마기(여름장마: 6월 하순~7월 중순, 가을장마: 8월 하순~9월 초순)의 운량과 강수량 자료를 추출하고 이를 맑음(강수 없음), 강수(강수량 1mm이상/일)의 2계급으로 분류하여 분석하였다.

이는 우리나라 장마기의 천후 및 기후 특성을 명확히 반영하고 있는 장마기의 탁월 일기의 출현빈도와 월변화의 시, 공간적 특징을 잘 나타내는 일기엔트로피의 특징을 구명하기 위해서이며, 또한 각종 기후인자의 영향을 예민하게 반영하고 있는 장마기 강수현상의 특정한 process가 시, 공간상에 편중할 때 나타나는 장마기의 강수현상(일기)의 대표성을 규명하여 그에 따른 일기 대표범위를 설정하기 위해서다. 본 연구에 이용한 연구지역의 지리적 범위와 기상관측소는 Fig. 1에 나타났다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 일기엔트로피에 관하여

엔트로피는 cybernetics의 일부로 있는 정보이론에서 중요시되는 개념으로써 열역학의 제 2법칙, 「볼츠만의 통계역학」에 있어서의 엔트로피와 똑같은 형이며 또한 정보원의 측도로 정보원에서의 각 요소가 갖는 정보량의 평균값을 나타내는 통계학적인 parameter이다. 이 엔트로피의 기상·기후학에서의 응용은 일기의 평균정보량인 일기엔트로피 및 정보비 개념에 의해 가능하다.

본 논문에서의 일기엔트로피는 다음 식에 의해 계산한다.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \text{ (단위 bits)}$$

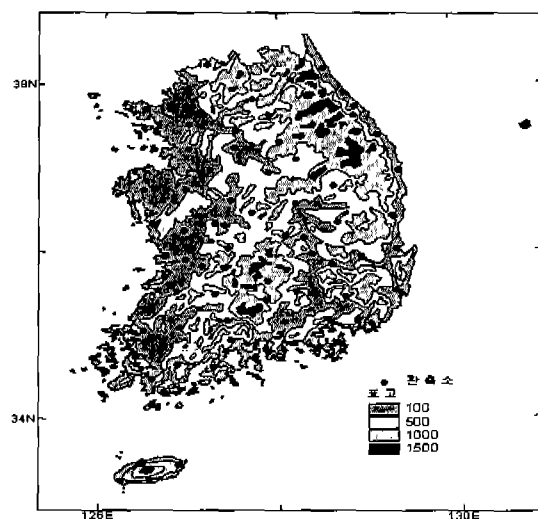


Fig. 1. The map of stations and topography.

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

여기에서 H 는 엔트로피, p_i 는 i 로 되는 날씨의 출현확률이다. i 는 1일 24시간 중에서 강수가 있는가 없는가의 2계급으로 나뉘므로 $i=1$ (맑음), $i=2$ (강수)이다. 엔트로피는 어느 일기도 똑같이 나타날 때 ($p_1=p_2=\dots=p_m$), 최대가 되며 이때 불확정성이 제일 크고, 출현확률이 특정의 일기에 집중하면 작기 때문에, 이와 같은 의미에서 엔트로피는 일기상태를 아는 지표의 1개로 있다. 엔트로피의 값은 계급의 수에 따라 다른데 여기에서는 일기를 2계급으로 분류하였기 때문에 일기엔트로피의 최대는 1.000bits, 최소는 0이다.

일반적으로 일기엔트로피와 탁월 날씨와는 역상관으로 되어 있고, 일기엔트로피는 어느 일기도 다 같이 나타날 때 최대가 되며 이 때 불확정성이 가장 크고, 출현확률이 특정의 일기에 집중하고 있을 때 가장 작기 때문에 이 같은 의미에서 일기상태를 나타내는 지수의 하나이다. 엔트로피가 큰(작은) 곳은 base의 날씨가 변형하기 쉬우므로(어려우므로) 예측이 어려운(쉬운) 지역이라 할 수 있다. 왜냐하면 엔트로피가 작다(크다)는 것은 어느 특정의 사상만이 높은(낮은) 확률로 일어나는 것을 의미하기 때문인데 이것은 한편으로 치우친 극단적인 경우이다. 그러므로 일기엔트로피는 그 자체가 의미가 있고 일기의 출현이 모두 알려져 있다면 정보량의 입장에서 판정을 내리는 것이 가능하다. 즉 무엇인가의 일기가 타 일기보다 많이(적게) 출현한 경우에는 엔트로피가 비교적 작다(크다)라고 표현할 수 있다.

각 지역이 갖는 일기엔트로피는 어느 기간 중 매일 완전한 예측이 그 지역에 부여될 때의 1일 평균 정보량이다. 또한 이 정보량은 불확정성의 감소 비율을 측정하는 양으로 생각될 수 있고, 일기의 불확정성의 측도로 있어 일기일수의 치우친 비율을 나타내고 있다. 또한 어느 지역에 대해 부여된 정보량이 똑같아도 그 지역 개개가 갖는 엔트로피의 대소에 의해 의미가 달라져 온다. 즉 일기엔트로피 값의 대소는 일기출현의 특성을 잘 나타내므로 결국 천후 및 기후특징이 일기엔트로피의 대소에 반영되고 있다고 할 수 있다.

또한 그 일기엔트로피 분포 모양은 시간의 추이에 따라 상당히 탁월한 특징을 보이면서 일기출현의 극지적인 차이를 명확히 하고 변화하므로, 일기엔트로피의 연 변화를 분류하고 일기엔트로피의 정보비를 계산하여 지도상에 플롯하면, 일기엔트로피를 기초로 하는 기상, 기후학에의 응용 및 해석이 가능하여, 과학적으로 설득력 있게 일기대표성(예보구역) 설정을 할 수 있다.

2.2.2. 정보비에 관하여

일반적으로 각 지역이 갖는 일기엔트로피는 어느 기간중 매일 완전한 예측이 그 지역에 부여될 때의 1일 평균 정보량이다. 그런데 예보와 실황과의 일치 정도를 비교하기에는 평균정보량 만으로서는 충분하지 않다. 이는 어느 예보자가 어느 지점에 대해 매일 예보를 냈던 경우, 예보가 완전하게 적중한다면 그 지점 고유의 엔트로피에 똑같은 정보량을 준 것으로 되나 그 지점 고유의 엔트로피의 대소에 의해 그 의미가 달라지기 때문이다.

또한 예보의 일기가 맞지 않으면 평균으로 하여 정보량의 손실이 있게 되고 그 결과의 평균정보량 \bar{I} 는 다음 식으로 계산된다.

$$\bar{I} = \sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log_2 \frac{P_{y_j}(x_i)}{P(x_i)}$$

여기에서 x 는 실황, y 는 예보를 나타내며 $P(x_i, y_j)$ 는 x_i 라는 실황과 y_j 라는 예보가 동시에 일어나는 확률(동시확률), $P_{y_j}(x_i)$ 는 한개 지점에 있어서의 일기 y_j 에 대해 타 지점의 일기(x_i)가 일어나는 확률(조건부 확률, y_j 가 조건), $P(x_i)$ 는 x_i 라는 실황의 출현확률이다.

위의 식은

$$\bar{I} = \sum_i P(x_i) \log_2 \frac{1}{P(x_i)} - \sum_j \sum_i P(y_j) P_{y_j}(x_i) \log_2 \frac{1}{P_{y_j}(x_i)}$$

여기에서 제1항은 일기가 완전히 일치하는 경우의 정보량이며, 제2항은 지역성에 의한 일기의 차이에서 오는 정보량의 손실이다.

결국 평균정보량 \bar{I} 를 처음의 실황 엔트로피에 대한 비로서 표시한 것($IR = \frac{\bar{I}}{H}$)

$$IR = \frac{\sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log_2 [P_{y_j}(x_i) / P(x_i)]}{\sum_i P(x_i) \log_2 \frac{1}{P(x_i)}}$$

가 정보비이다. 이 IR(information ratio)은 2지점의 일기별 도수가 어느 정도 관계가 있는가를 표시하는 기준으로서 사용되는 지수이다. 즉 도수 분포가 완전히 일치할 때는 1, 무관계일 때는 0, 보통은 그 중간의 값으로 된다.

이러한 정보비는 두 지점의 일기별 빈도가 어느 정도 관계가 있는가를 표시하는 지수이므로 일기정보비를 계산하여 인접하는 2개 혹은 n 개 지역의 예보중심의 대표범위를 논할 수 있다. 즉 인접하는 2개의 예보구역의 대표지점을 A, B라고 하고 그 중

간의 지점을 C라고 할 때 일기별 일수의 유사성으로 C점의 A 또는 B로의 소속을 결정하려 한다면, C와 A의 조합의 정보비 IRA와 C와 B의 조합의 정보비 IRB를 계산하여 그 값이 큰 쪽의 지점을 같은 예보구역에 속한 것으로 하면 좋다. 다수의 중간지점의 소속을 이렇게 결정하면 일기대표범위(예보구역) 경계선이 그어진다.

또한 정보비는 일기의 대표성의 거리에 따른 감쇠를 나타내는 척도(測度)로 유효하며 정보비의 거리에 따른 감쇠는 실험식으로 표시될 수 있고, 정보비의 반감거리도 구할 수 있어 기상관측지점의 입지선정과 예보적중률 향상에 합리적이고 과학적인 타당한 근거를 제시할 수 있다.

따라서 시간의 추이에 따른 각 지역의 일기 대표성은 시기별로 일기엔트로피와 정보비 개념을 기초로 하면 수리적, 지리적 요인 및 계절 변화 등을 포함하여 보다 항상적으로 그 모양을 밝힐 수 있다. 이는 일기엔트로피와 정보비의 공간적 분포의 계절에 따른 추이의 특징을 수량적으로 추출하고 시기별로 분류하여 지도상에 plot하면, 인접하는 2개 혹은 n개의 기상예보 중심지에 대한 범위(세력권)를 객관적으로 정확히 정할 수 있어, 일기엔트로피와 정보비를 척도로 하는 일기예보구역 설정은 가능하며 과학적으로도 설득력이 매우 크기 때문이다. 또한 이는 기후구분에의 응용과 해석이 가능하고 기상관측소의 합리적인 입지선정에 따른 효율적인 운영과 예보의 적중률 향상에도 기여할 수 있다.

정보비는 일기대표성이 거리에 따라 감소하는 상황을 잘 나타내는 척도로 유효하며, 정보비의 거리에 따른 감쇠는 다음 실험식으로 표시되어진다.

$$I_R = I_{R0} \exp(-Ax^{1/3}) \quad (1)$$

여기에서 I_R = 정보비(%), I_{R0} = 예보중심(원점)에 있어서의 정보비로서 그 값은 100%, x = 예보중심에서의 거리(km), A = 지형조건, 계절 등에 의해 결정되

는 정수(감쇠계수)이다. 그리고 정보비의 반감거리는 다음과 같이 정의할 수 있으므로^{23,24)} 이것 또한 일기의 대표성을 파악하는 척도로서 활용할 수 있다.

$$\text{정보비의 반감거리 } d = \left(\frac{\log 2}{0.4343A} \right)^3 \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 장마기의 강수, 일기엔트로피 및 정보비의 분포 특성

남한의 73개 관측지점 중 중·남부지방의 인문 및 자연지리적인 중심지이고, 특히 한국의 대부분의 인문, 경제활동이 집중적으로 이루어지고 있는 곳인 4대 강 유역의 중심지인 서울, 충주, 대구, 광주, 부여를 우선 연구대상 지점으로 선정하였다. 1990~1999년의 매일의 일기자료에서 특히 각종 자연 및 기상재해가 두드러지게 나타나는 하계 중 장마기의 강수분포, 일기엔트로피 및 정보비의 분포특성을 살펴본다.

3.1.1. 장마기 강수의 분포 특성

남한 장마기의 순별 강수일수 및 강수강도의 전국적 및 4대 강 유역의 중심지(5대 기준지점)의 분포상황을 Table 1과 Fig. 2a, 2b에 나타냈다.

4대 강 유역의 중심인 5개 기준점의 강수일수를 살펴보면 모두 여름장마기 > 가을장마기로 나타나며 순별로는 7월 중순 > 8월 하순 > 7월 초순 > 6월 하순 > 9월 초순 > 9월 중순 순이며, 지점별로는 서울 > 충주 > 대구 > 부여 > 광주 순이다. 강수일수의 최대값은 충주의 7월 중순으로 53일이고, 최소값은 부여의 9월 중순으로 15일이다. 대체적으로 여름장마기가 가을장마기에 비해 강수일수의 순별 및 지역 차가 크다.

5개 기준지점의 강수강도(Table 2)는 서울을 제외하면 모두 여름장마기 > 가을장마기로 나타나며, 순별로는 6월 하순 > 8월 하순 > 7월 중순 > 7월 초순

Table 1. Rainfall days & weather entropy in Changma period at 1990-1999(unit : days, bits)

location	last/June		1st/July		mid./July		last/Aug.		1st/Sept.		mid./Sept.	
	RD	WE	RD	WE	RD	WE	RD	WE	RD	WE	RD	WE
Seoul	37	0.9507	43	0.9858	49	0.9997	38	0.9300	29	0.8687	16	0.6343
Daegu	33	0.9149	33	0.9149	45	0.9928	38	0.9300	29	0.8687	19	0.7015
Kwangju	35	0.9341	29	0.8687	41	0.9765	40	0.9456	28	0.8555	16	0.6343
Chungju	27	0.8415	37	0.9507	53	0.9974	43	0.9654	29	0.8687	20	0.7219
Puyo	36	0.9427	34	0.9248	44	0.9896	38	0.9300	29	0.8687	15	0.6098
Korea	33.0	0.930	30.7	0.905	40.4	0.969	36.0	0.925	24.8	0.829	16.1	0.656

* RD : Rainfall days, WE : Weather entropy

1st(mid., last) : The first(middle, last) part(period of 10 days) of a month

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

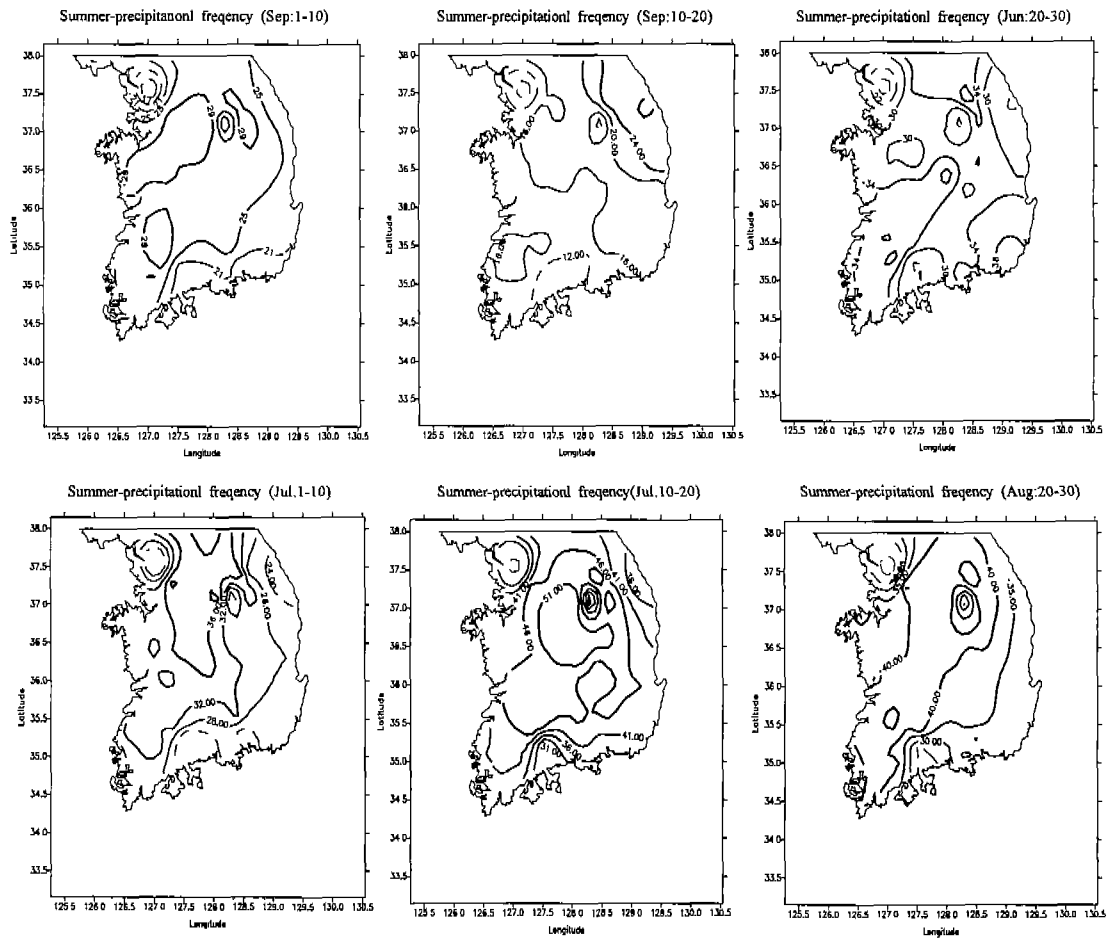


Fig. 2a. The distribution of total rainfall days of a period of 10 days in Changma period for 10 years.
(unit : mm)

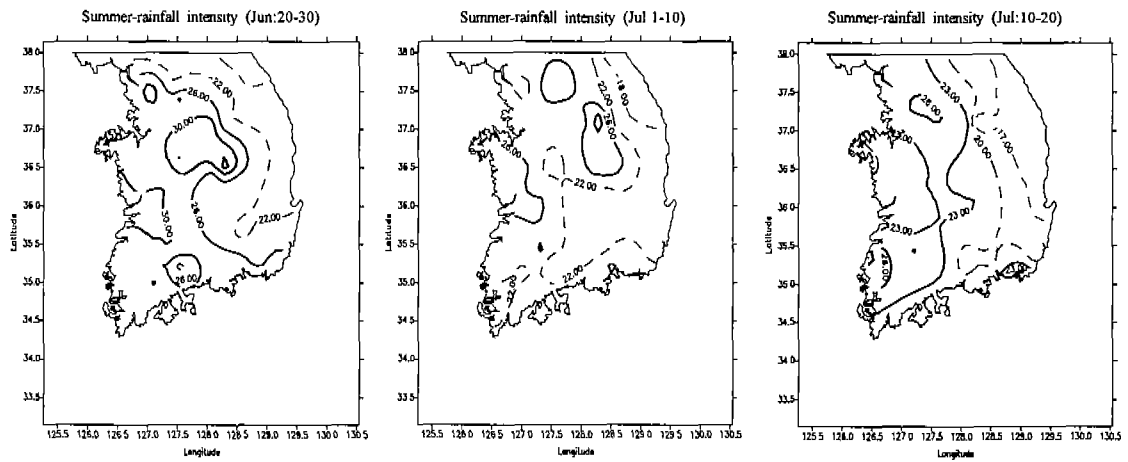


Fig. 2b. The distribution of mean rainfall intensity of a period of 10 days in Changma period for 10 years.
(unit : mm)

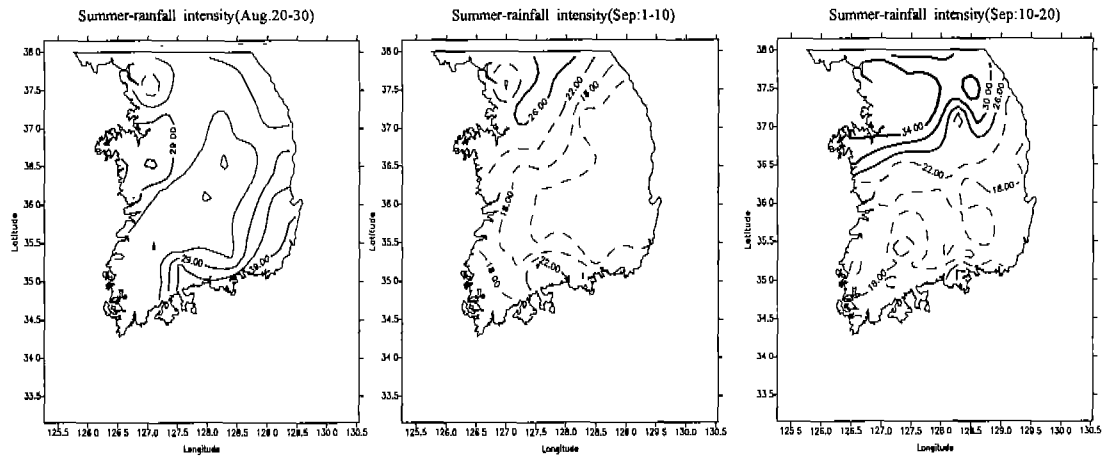


Fig. 2b. Continued.

Table 2. Rainfall intensity & mean rainfall amounts in Changma period at 1990-1999(unit : mm)

period location	last/June.		1st/Jul.		mid./Jul.		last/Aug.		1st/Sep.		mid./Sep.	
	RI	RA	RI	RA	RI	RA	RI	RA	RI	RA	RI	RA
Seoul	24.35	90.09	25.79	110.90	26.35	129.11	32.06	121.84	26.49	76.83	34.43	55.08
Daegu	23.66	78.09	17.66	58.28	21.49	96.72	22.91	87.07	10.41	30.19	16.57	31.49
Kwangju	26.61	93.14	22.36	64.85	28.46	116.69	21.42	85.68	16.20	45.36	13.01	20.82
Chungju	34.66	93.57	20.40	75.49	23.88	126.56	26.49	113.89	21.29	61.75	23.07	46.14
Puyo	30.54	109.95	27.55	93.68	23.19	102.03	32.25	122.56	21.15	61.33	18.42	27.63
Korea	26.02	85.18	24.48	75.28	21.91	88.73	26.76	93.85	17.82	44.89	22.66	37.02

※RI : Rainfall intensity, RA : Rainfall amounts

>9월 중순>9월 초순 순이고, 지점별로는 서울>부여>충주>광주>대구 순이다. 강수강도의 최대값은 충주의 6월 하순으로 34.66mm이며 최소값은 대구의 9월 초순으로 0.41mm이다. 대체적으로 강수강도의 순별 및 지역 차는 충주를 제외하면 모두 하계 장마기가 가을장마기보다 작다. 또한 지점별로는 서울은 여름장마기 중 순별, 강수강도의 차이가 가장 작고 가을장마기에는 충주가 가장 작으며, 순별로는 7월 중순이 강수강도의 지역 차가 가장 작고 9월 중순에 가장 크다.

3.1.2. 일기엔트로피 및 정보비의 분포 특성

1990-1999년 매일의 기상자료에서 운량과 강수량(1mm이상/일)에 주목하고 강수 유무의 2개급으로 분류한 일기자료를 이용한 장마기의 일기의 출현율과 엔트로피의 계산 결과를 이용하여 광주(이하, 대구, 충주, 부여, 서울 순)를 중심으로 남한의 72개 지점 각각에 대해 완전히 맞는 예보를 그대로 적용한 경우의 정보비를 구하고 그를 이용한 값에 의해 광주의 일기대표성을 논한다.

먼저 전 관측지점의 일기엔트로피의 장마기 분포 상황은 Fig. 3에 나타냈다. 4대강 유역의 5개 기준지점을 중심으로 일기엔트로피의 분포특성을 살펴보면 평균적으로 일기엔트로피의 값은 모두 여름장마기>가을장마기로 나타나며 순별로는 7월중 순>8월 하순>7월 초순>6월 하순>9월 초순>9월 중순 순이고, 지점별로는 서울>충주>대구>부여>광주 순이다. 최소 일기엔트로피는 부여에서 9월 중순에 0.6098 bits로 나타나며, 최대값은 서울의 7월 중순에 0.9997 bits로 나타나고 그 다음은 충주의 7월 중순의 0.9974 bits이다. 그런데 일기엔트로피와 탁월 날씨와는 역상관으로 되어있고, 일기엔트로피가 큰(작은) 곳일수록 base의 날씨가 변형되기 쉽고(어렵고) 예측이 어려운(쉬운) 지역이라 할 수 있으므로, 날씨의 지점별로는 서울과 충주의 7월 중순이 가장 예측하기 힘들며 부여의 9월 중순의 날씨가 가장 한 모양으로 안정적이라 할 수 있다. 실제로 부여의 9월 중순의 강수일수는 15일로 5개 기준지점 중 가장 작아 어느 특정의 사상(강수 없음)만이 높은 확률로

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

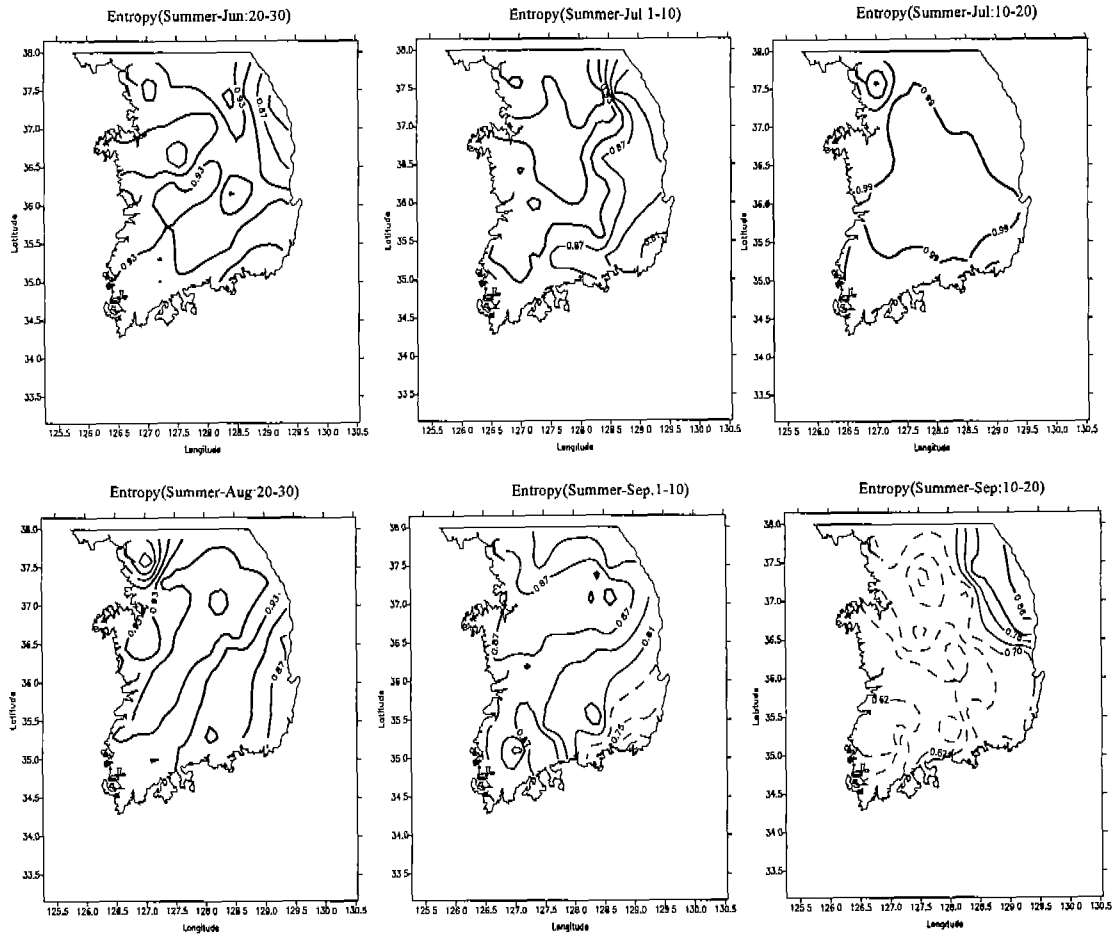


Fig. 3. The distribution of weather entropy of a period of 10 days in Changma period for 10 years(unit : bits).

나타나기 때문에 일기가 가장 상대적으로 안정적이어서 예측하기 쉬우며 일기대표성도 크다고 할 수 있다. 순별로는 9월 중순의 날씨가 가장 안정적이며 7월중순의 날씨는 변형이 쉬우므로 가장 예측하기 힘들다. 따라서 일기대표성은 가을장마기>여름장마기로 크고, 순별로는 9월 중순에 부여를 중심으로 한 금강유역이 가장 크고 7월 중순에는 서울과 충주를 중심으로 한 한강유역이 가장 일기대표성이 작다.

일반적으로 일기의 정보비는 거리, 지형 등의 영향에 따른 일기대표성의 감쇠를 나타내는 測度로서 매우 유효하므로 일기의 정보비를 계산하면 2개의 예보중심지의 대표범위를 논할 수 있다. 여기에서는 한반도의 수리적, 지리적 영향을 잘 반영하여 강수현상의 지역적 특성이 두드러지게 잘 나타나며, 각각 중, 남부 지방의 인문 및 자연지리적 중심지이고 특히 산업, 경제활동이 집중적으로 이루어

지고 있는 곳이며, 일기예보를 포함한 기상 업무 및 방송업무를 핵심적으로 수행하는 행정중심지이고, 4대 강 수계의 중심지이며 해안·평야부·내륙산지 등의 지형적 특성을 잘 반영하고 있는 곳인 서울, 충주, 대구, 광주, 부여를 우선적으로 연구대상지역으로 선정하였다. 이들 5개 기준지점 각각에 대한 일기의 완전 정보를 남한 내 모든 기상 측후소에 제공한 경우에 구한 정보비의 분포 및 정보비의 감쇠계수에 따른 반감거리 등을 기준하고, 일기의 출현율과도 관련깊은 일기엔트로피의 값도 고려하여 5개 예보중심지의 일기대표성 설정을 행한다. 여기에서 언급된 5개 지역의 기상측후소의 정보비는 기준지점 자신과 그 외 72개 기상측후소 각각의 매일의 일기를 대조하여 구했다.

기준지점(광주, 대구, 충주, 부여, 서울)에 대해 완전히 맞는 예보를 정보로 한 경우의 남한 내 정보비의 장마기 분포를 Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e에 나타냈

다. 여기서 기준지점 자신(원점)의 정보비 값은 1.00이다.

먼저, 광주 기준(Fig. 4a)의 6월 하순의 정보비 분포를 살펴보면, 무안(정보비 : 0.80, 기준점과의 거리 : 40.1km), 흑산도(0.61, 108.3km), 거창(0.57, 87.7km), 남해(0.55, 77.3km) 순으로 나타난다. 7월초순은 무안(0.55), 합천(0.50, 95.2km), 밀양(0.46, 127.4km), 마산(0.44, 110.4km) 순으로 나타나며, 7월중순은 거제(0.42, 116.9km), 순천(0.41, 26.5km), 무안(0.40), 부산(0.35, 141.2km)로 나타난다. 8월 하순의 정보비 분포는 남해(0.72), 남원(0.60, 39.3km), 임실·문경(0.59, 56.6km, 181.5km) 순으로 나타나며, 9월초순은 남해(0.86), 남원(0.65), 무안(0.59), 목포(0.58, 51.6km) 순으로 나타나고, 9월중순은 해남·장흥·순천(0.55, 71.7km, 53.9km), 정읍(0.53, 44.5km) 순으로 나타난다.

대구기준(Fig. 4b)의 6월 하순의 정보비의 분포는

영천(0.80, 23.8km), 울산(0.63, 59.0km), 마산(0.55, 78.0km), 진주(0.50, 83.3km) 순으로 나타난다. 7월초순은 남해(0.53, 132.0km), 거창·합천(0.49, 51.9km, 46.0km), 밀양(0.47, 45.4km) 순이며, 7월중순은 영천(0.68), 구미(0.60, 32.6km), 의성·포항(0.56, 52.1km, 54.0km) 순으로 나타난다. 8월 하순의 정보비의 분포는 남해(0.51), 산청·진주(0.48, 70.8km), 밀양·영천(0.44)로 나타나며, 9월초순은 의성(0.58), 동두천(0.55, 246.5km), 남해(0.54), 추풍령(0.50, 54.9km) 순이고, 9월하순은 포항(0.73), 산청(0.64), 거제(0.62, 111.3km), 의성(0.69) 순으로 나타난다.

충주기준(Fig. 4c)의 6월 하순의 정보비의 분포는 청주(0.62, 47.4km), 제천(0.61, 28.4km), 영월(0.60, 45.3km), 동두천(0.55, 116.9km) 순으로 나타난다. 7월초순은 제천(0.69), 영월(0.63), 천안(0.51, 54.3km), 홍천(0.49, 79.8km) 순이며, 7월 하순은 제천(0.72), 이천(0.48, 41.0km), 춘양·청주(0.44, 71.1km) 순으로

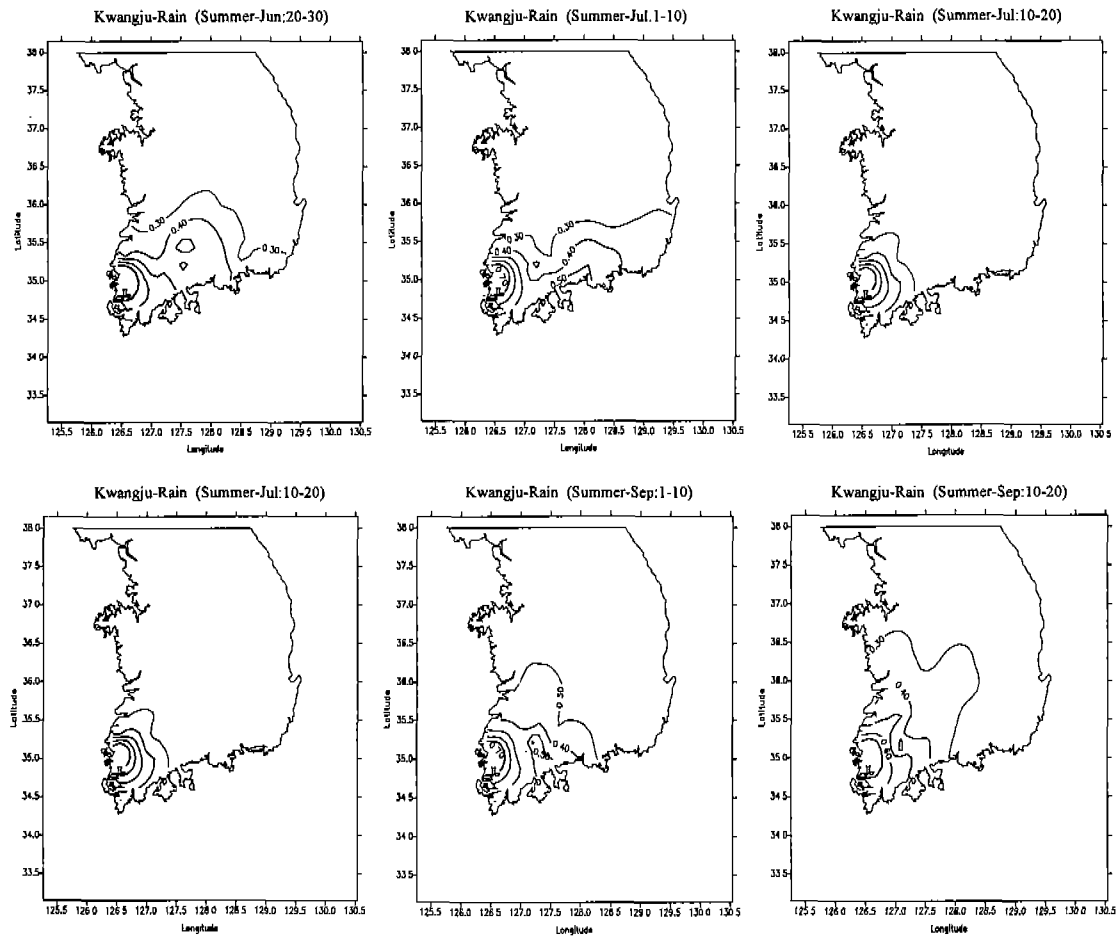


Fig. 4a. The distribution of information ratio of a period of 10 days in Changma period with Kwangju in the center.

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

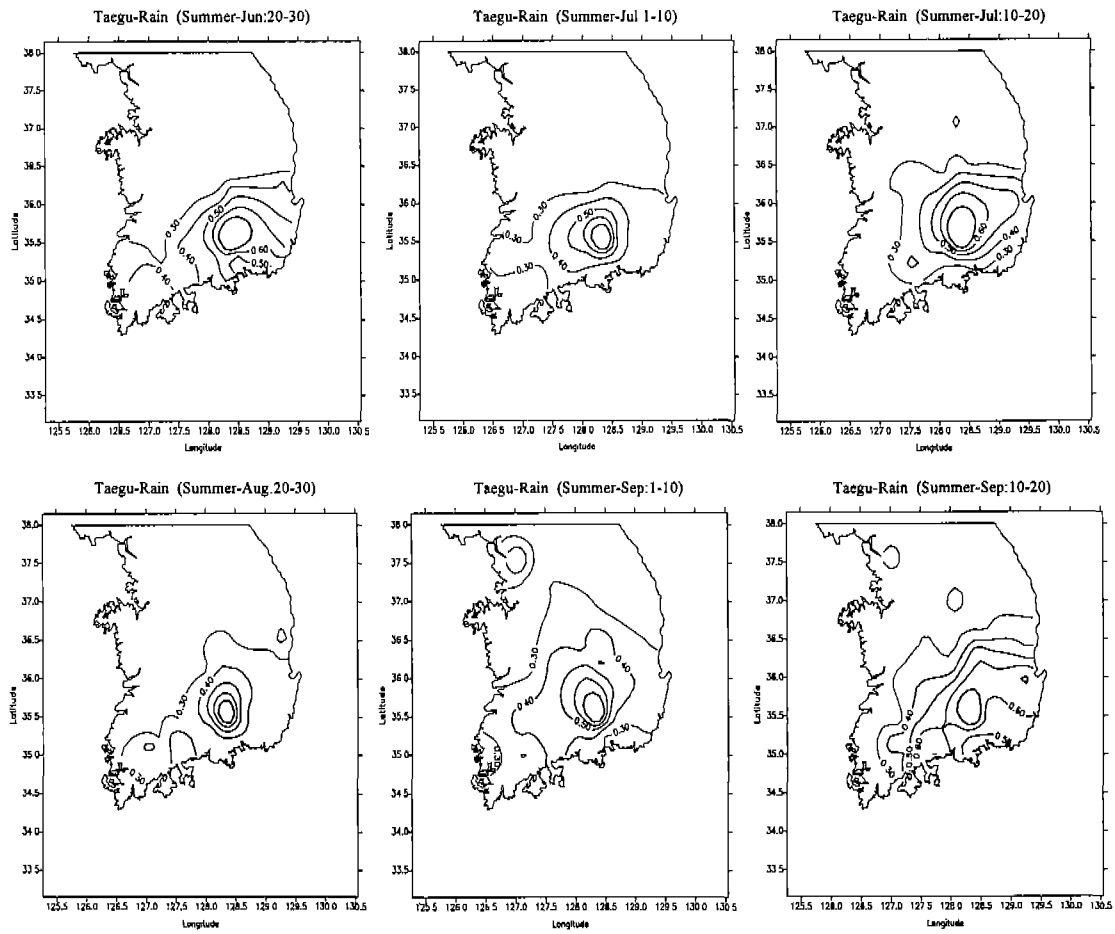


Fig. 4b. The distribution of information ratio of a period of 10 days in Changma period with Daegu in the center.

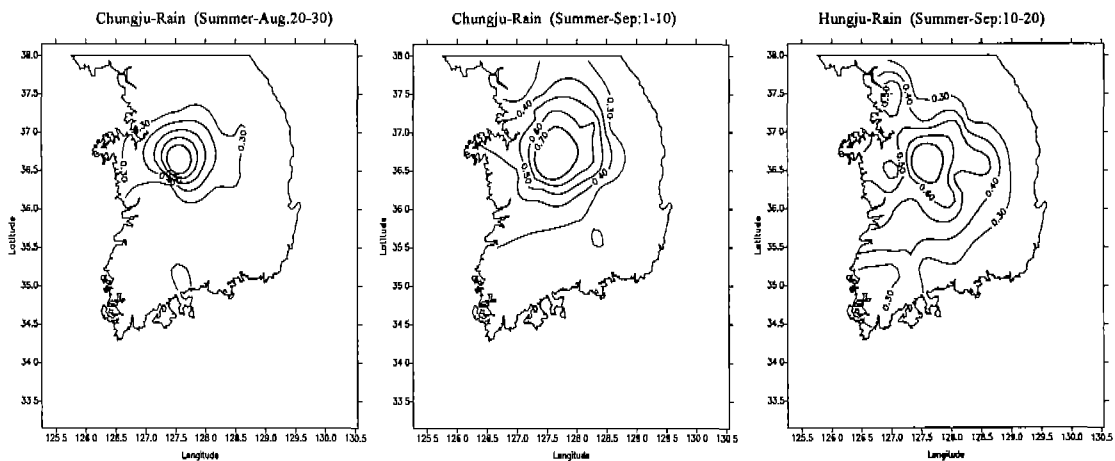


Fig. 4c. The distribution of information ratio of a period of 10 days in Changma period with Chungju in the center.

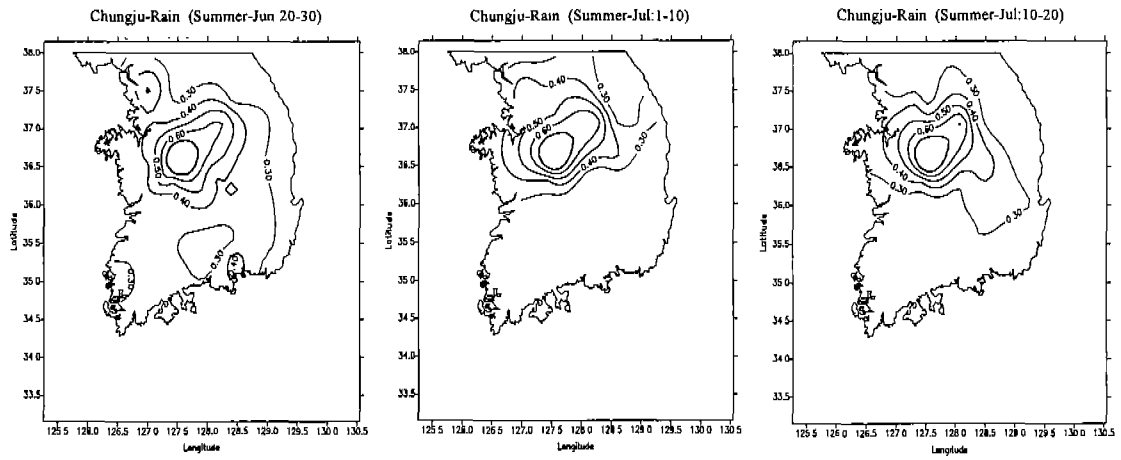


Fig. 4c. Continued.

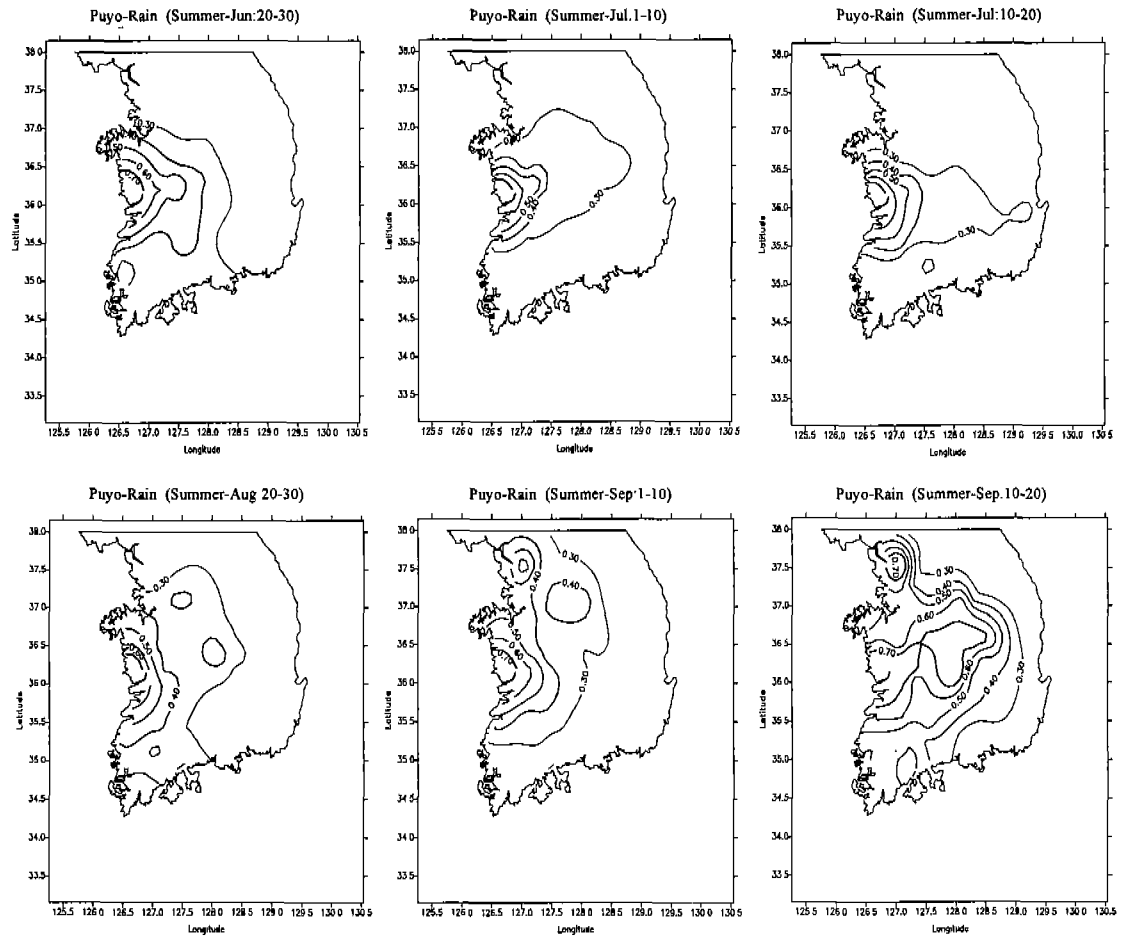


Fig. 4d. The distribution of information ratio of a period of 10 days in Changma period with Puyo in the center.

나타난다. 8월 하순의 정보비의 분포는 산청·천안 타나며, 9월초순은 원주·영월(0.65, 41.1km), 흑산도 (0.38, 172.5km), 안동·제천(0.36, 71.7km) 순으로 나 (0.63, 300.1km), 영주(0.59, 43.0km) 순이고, 9월중순

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

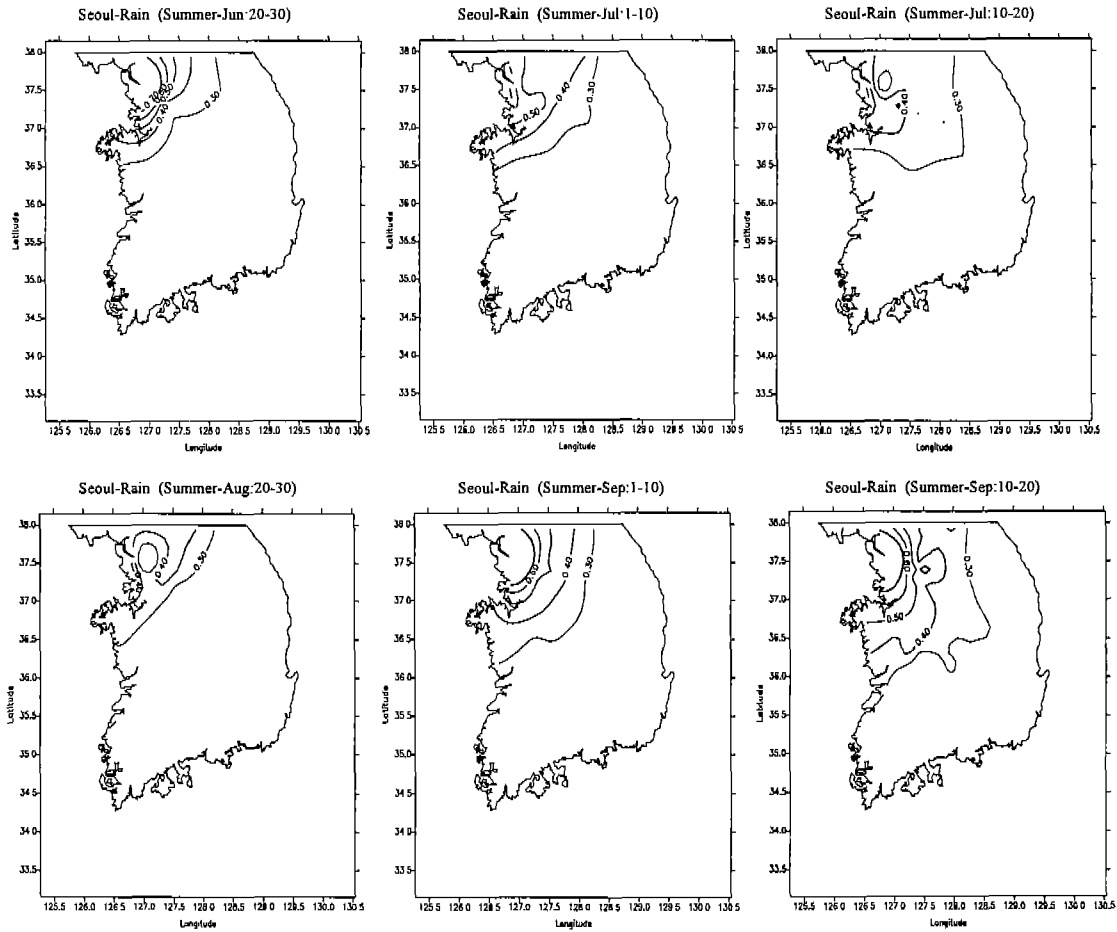


Fig. 4e. The distribution of information ratio of a period of 10 days in Changma period with Seoul in the center.

은 추풍령(0.68, 83.8km), 동두천(0.64), 대전·부여(0.62, 74.9km, 100.5km) 순으로 나타난다.

부여기준(Fig. 4d)의 6월 하순의 정보비의 분포는 보령(0.66, 24.7km), 서산(0.62, 62.5km), 보은·대전(0.61, 58.8km, 31.5km) 순으로 나타난다. 7월초순은 대전(0.61), 충주(0.51, 53.1km), 군산(0.49, 34.6km), 보령(0.47) 순이며, 7월중순은 보령(0.60), 대전(0.52), 전주(0.45, 52.4km), 군산(0.44) 순으로 나타난다. 8월 하순의 정보비의 분포는 남해(0.59, 176.5km), 보령·군산(0.53), 서산(0.51) 순이며, 9월초순은 동두천(0.69, 182.1km), 남해(0.63), 대전·보령(0.58) 순이고, 9월중순은 대전(1.00), 동두천(0.97), 추풍령(0.91, 71.3km), 청주(0.81) 순으로 나타난다.

서울기준(Fig. 4e)의 6월 하순의 정보비의 분포는 동두천(0.94, 37.7km), 수원(0.58, 33.4km), 인천(0.54, 23.8km), 철원(0.51, 68.9km) 순으로 나타난다. 7월초순은 인천(0.68), 양평(0.56, 36.2km), 강화·수원(0.54,

37.0km) 순이며, 7월중순은 양평(0.53), 인천·강화(0.48), 이천(0.47, 48.9km) 순이다. 8월 하순의 정보비의 분포는 인천(0.53), 철원(0.50), 수원(0.48), 양평(0.47) 순이며, 9월초순은 철원(0.54), 홍천·인천·양평(0.51, 61.5km) 순이고, 9월중순은 동두천(0.91), 수원(0.65), 강화·이천·홍천(0.57) 순으로 나타난다.

전체적으로 보면 기준점 별 정보비의 분포는 광주주는 9월 초순이 가장 크고 7월 중순은 가장 작다. 대구는 6월 하순이 크고, 8월 하순은 작다. 충주는 9월 중순이 크고 8월 하순이 작으며, 부여는 9월 중순이 크고 7월 중순은 작다. 서울은 9월 중순이 가장 크고 7월 중순이 가장 작다.

정보비의 분포값이 크다는 것은 기준지점의 일기 국지성이 약해 일기대표범위의 영역이 넓다는 것을 의미하므로 대략 정보비 분포로 살펴본 일기대표성은 가을장마기 > 여름장마기이며, 광주·부여·서울의 7월중순은 일기대표성이 낮고, 서울·충주·부여

의 9월중순은 일기대표성이 크다.

3.2. 일기대표성의 설정

3.2.1. 정보비의 거리에 따른 감쇠특성

3.2.1.1. 실험식의 적용

4대강 유역의 중심인 광주, 대구, 충주, 부여, 서울을 기준으로 한 경우의 정보비의 장마기의 지리적 분포(Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e)는 앞에서 살펴본 바와 같이 대체로 정보비의 분포형은 매우 단순하다. 즉 시기(순별)에 따라 지리적, 지형적 변동은 보이거나 1차적인 요인이라 생각되는 거리에 따른 변동에 비교한다면 지리적, 지형적 변동은 2차적인 것을 알 수 있다.

그런데 정보비의 거리에 따른 감쇠는 실험식으로 표시될 수 있고 이는 일기대표성이 거리에 따라 감소하는 상황을 잘 나타내는 측도로서 유효하다. 따라서 광주, 대구, 충주, 부여, 서울의 기준지점 자신과 그 외 남한의 72개 기상측후소와의 거리와 정보

비의 관계를 ①식에 적용하여 보았다. Fig. 5는 5개 기준지점의 여름장마기(7월 초순, 7월 중순)와 가을 장마기(8월하순, 9월중순)의 정보비가 거리에 따라 감소하는 상황을 잘 나타내고 있다. 그리고 그림에서 점의 흩어짐은 주로 지형조건에 의한 변동을 표현한 것이라고 생각되나 거리에 의한 감소에 비교하면 문제가 안되고 있음을 보여주고 있다.

각 기준지점별로 장마기의 정보비와 거리와의 관계 즉, 반감거리와 감쇠계수 A를 살펴보면 Table 3과 같다.

각 기준지점별로 장마기의 거리와 정보비의 관계 즉, 감쇠계수 A를 살펴보면 다음과 같다.

평균적으로 감쇠계수 A는 여름장마기>가을장마기 순이며, 순별로는 7월초순>7월 중순>8월 하순>9월 초순>6월 하순>9월 중순 순이며, 지점별로는 서울>광주>대구>충주>부여 순이다. 감쇠계수 A의 최대값은 서울의 7월 초순의 0.5058이며, 최소값은 부여의 9월 중순의 0.2022이다. 그런데 감쇠계수 A

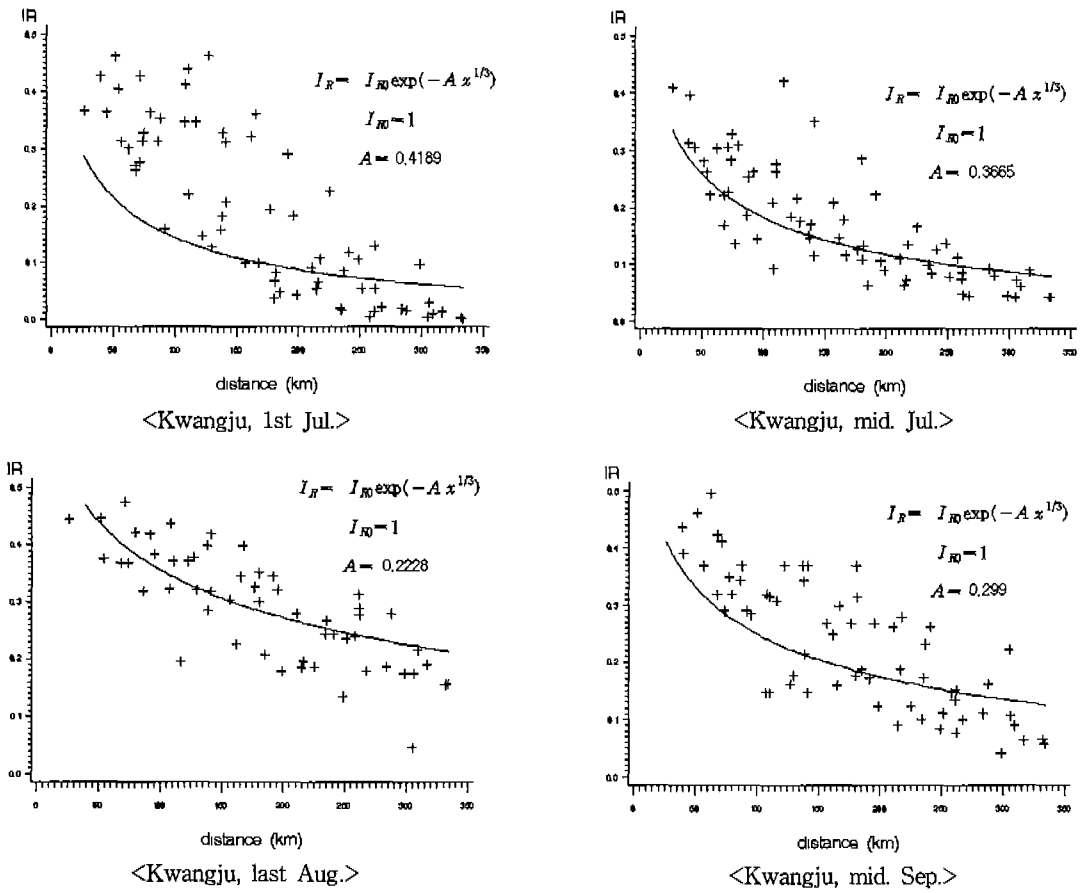


Fig. 5. The decaying tendency and coefficient in Changma period evaluated with the distance of information ratio in order of the period of 10 days.

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

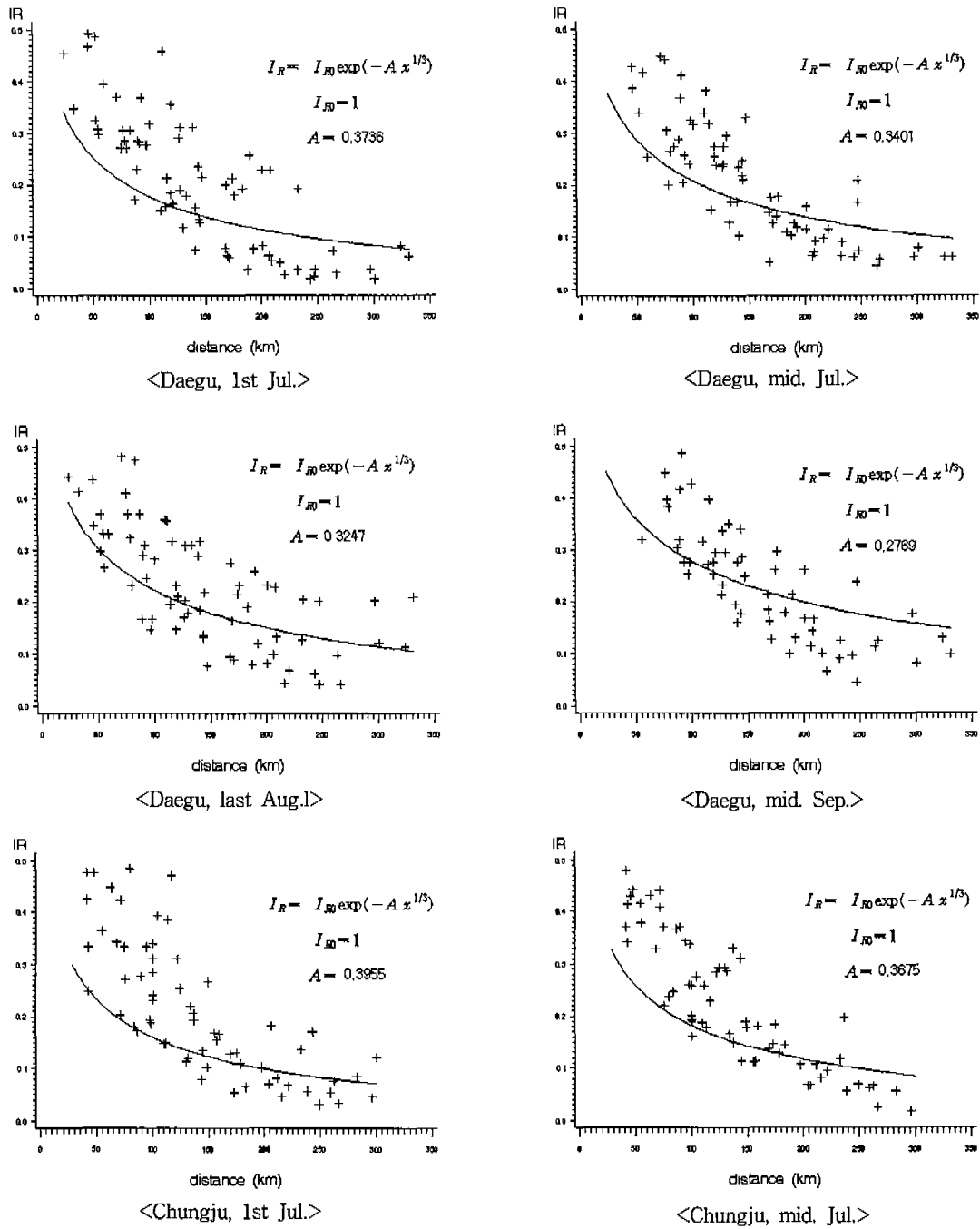


Fig. 5. Continued.

값이 크면(작으면) 일기대표성이 작다(크다)라고 할 수 있으므로 전체적으로 보면 여름장마기, 9월 중순과 부여의 일기대표성이 크고 가을장마기, 7월 초순과 서울의 일기대표성이 가장 작다고 할 수 있다.

3.2.1.2. 정보비의 반감거리

정보비의 반감거리는 지리·지형적 변동보다는 거리에 따른 변동이 우선적이나 일기대표성의 직관적인 척도로서 유효하게 활용할 수 있다. 또한 이것은 기상관측망의 전개 및 입지선정시의 합리적인

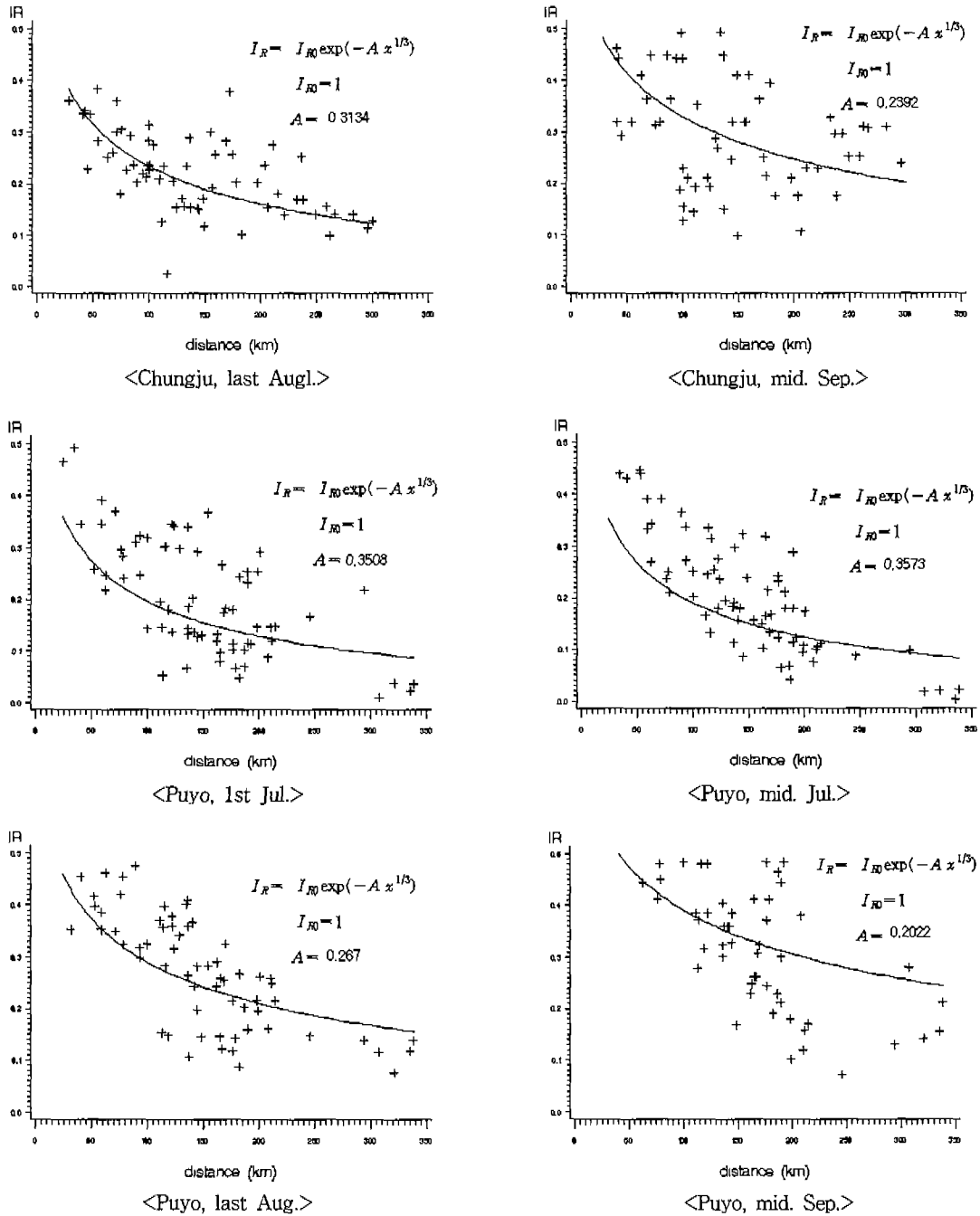


Fig. 5. Continued.

선택을 가능하게 하여 예보적중률을 제고시키는 하나의 지표로서도 활용될 수 있다. ②식에 의해 서울, 대구, 광주, 충주, 부여의 기준지점 자신과 그 외 남한의 72개 기상측후소에 대한 정보비의 반감거리를 하계에 대해 구한 것이 Table 3에 있다.

이 반감거리를 사용하여 4대 강 유역 중심의 5개 기준지점의 장마기 일기의 대표성을 서로 비교하여 보면 다음과 같다. 전체로 보면 장마기의 반감거리는 모두 가을장마기 > 여름장마기로 나타나며, 순별로는 9월 중순 > 6월 하순 > 8월 하순 > 9월 초순 > 7월

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

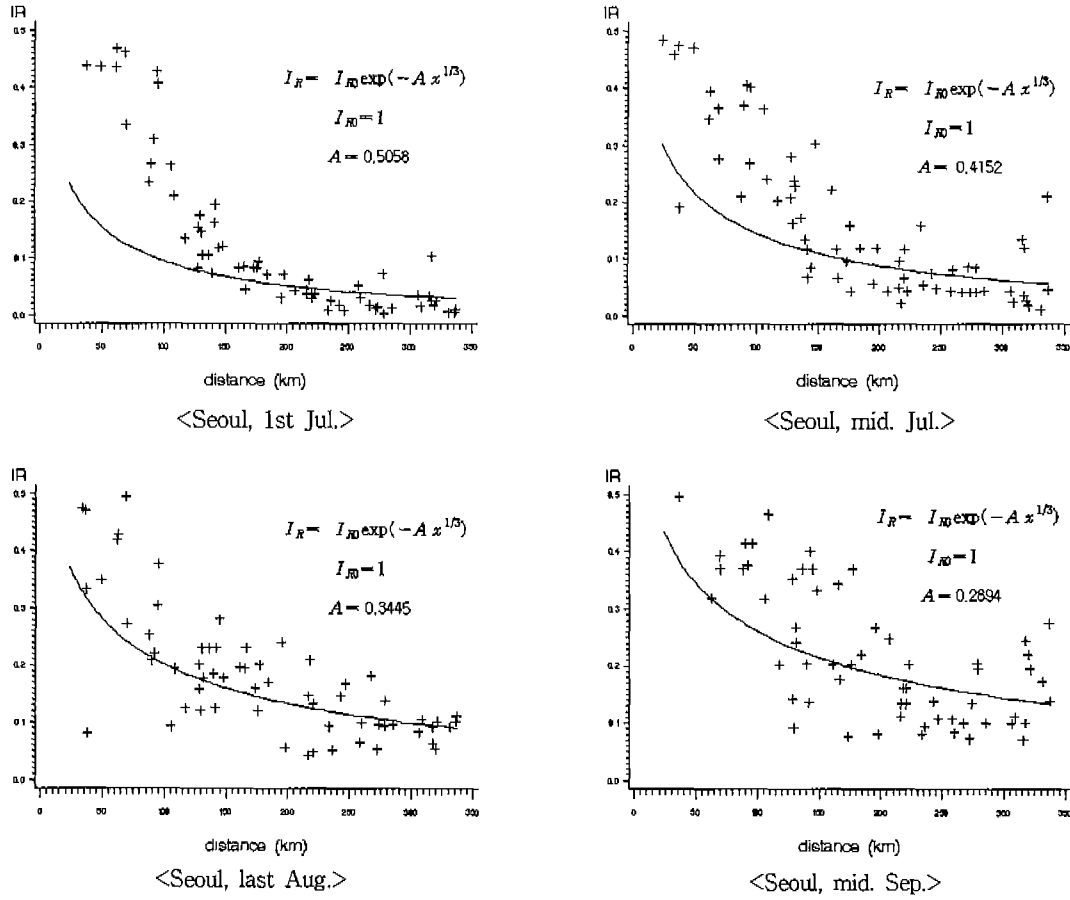


Fig. 5. Continued.

Table 3. Half-decay distance and decaying coefficient of information ratio in Changma period

period \ location	last/Jun.		1st/Jul.		mid/Jul.		last/Aug.		1st/Sep.		mid/Sep.	
	HD	DC	HD	DC	HD	DC	HD	DC	HD	DC	HD	DC
Seoul	101.29	0.3423	31.41	0.5058	56.81	0.4151	99.44	0.3444	103.20	0.3402	167.65	0.2894
Daegu	163.79	0.2917	77.96	0.3736	103.35	0.3401	118.72	0.3247	211.64	0.2678	191.40	0.2769
Kwangju	143.16	0.3050	55.31	0.4188	82.61	0.3660	367.74	0.2227	157.51	0.2955	152.07	0.2990
Chungju	347.12	0.2271	65.72	0.3954	81.90	0.3675	132.04	0.3134	176.75	0.2843	296.99	0.2392
Puyo	182.73	0.2812	94.14	0.3508	89.13	0.3573	213.63	0.2669	185.78	0.2797	491.73	0.2022

* HD : Half-decay distance
DC : Decaying coefficient

중순>7월 초순 순이고, 지점별로는 부여>충주>광주>대구>서울 순이다. 최대 반감거리는 부여에서 9월 중순에 491.73km로 나타나며 최소값은 서울에서 7월 초순에 31.41km로 나타난다. 지점별로 보면 반감거리는 충주를 제외하면 모두 7월 초순에 최소가 나타나나 최대는 서울·부여는 9월중순에, 대구

는 9월 초순에, 광주는 8월 하순에, 충주는 6월 하순에 나타난다. 순별로 보면 반감거리는 9월 중순의 광주를 제외하면 모든 순에서 최소값은 서울에서 나타나며, 최대값은 7월 중순과 9월 중순에는 대구에서, 7월 초순과 9월 초순은 부여에서, 8월 하순에는 광주에서, 6월 하순에는 충주에서 나타난다.

전체적으로 보면 일기대표성은 가을장마기>여름장마기이며, 순 및 지점별로는 각각 9월 중순과 부여를 중심으로 한 금강유역에서 일기대표성이 가장 크게 나타나며, 7월 중순과 서울을 중심으로 한 한강유역은 가장 낮게 나타난다.

3.2.1.3. 일기 대표성(예보구역)의 설정

4대 강 유역의 중심지인 5개 기준지점의 장마기 일기 정보비의 지역분포 변동은 예보중심지에서의 거리에 의한 효과가 일차적이며 지리적, 지형적인 효과는 2차적임을 앞에서 살펴보았다. 또한 그 효과를 표시하는 parameter를 사용하여 하나의 실험식을 도출하고 정보비의 감쇠계수 혹은 반감거리등을 구해 이것에 의해 각 예보 중심지의 일기대표성을 논하였다.

그러나 지리적인 또는 지형적인 효과는 2차적이거나 지리적인 또는 지형적인 효과는 2차적이거나

하여도 인접하는 두개의 관측지점에 관하여 일기의 대표성을 고려하여 그 경계를 논하는 경우에는 지리적, 지형적 효과가 의미있게 된다. 따라서 경계는 양 대표 관측지점에서 부여된 정보비 그것의 대소(정보비차)에 의해 정하는 것이 합리적인 방법이 된다. 그 방법은 다음과 같다.

어느 지점에 대하여 중심 a에서 부여된 정보비를 IRa, 중심 b에서 부여된 정보비를 IRb로 한다면 그 차이의 양과 음에 의해 다음과 같이 소속영역을 정할수 있다.

$$IRa - IRb > 0 : a \text{의 영역}$$

$$IRa - IRb < 0 : b \text{의 영역}$$

따라서 두개의 영역의 경계는 $IRa - IRb = 0$ 으로 되는 선을 연결하면 얻어진다.

정보비 차에 의한 남한 내 5개 지점 기상측후소의 장마기의 순별 일기 대표범위(예보구역) 설정은

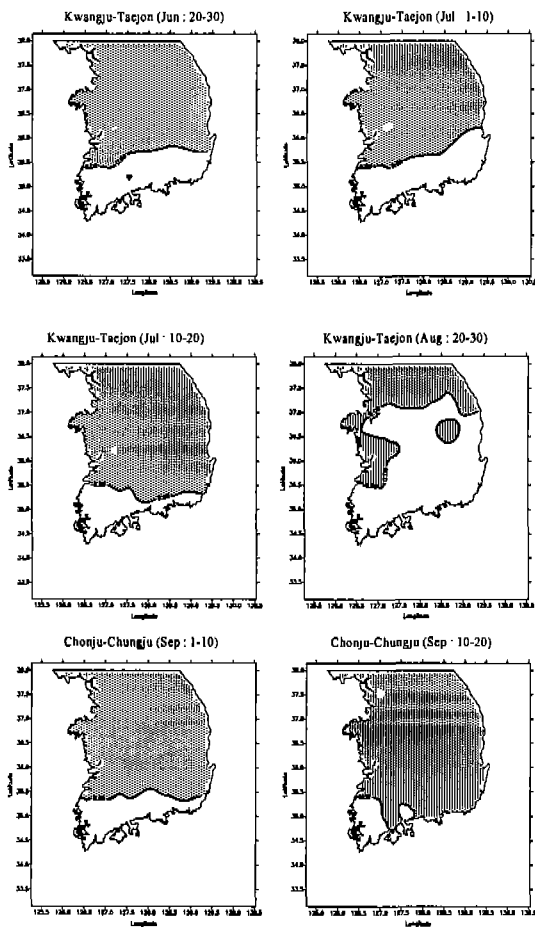


Fig. 6a. The forecast area by information ratio balance between Kwangju & Daejeon.

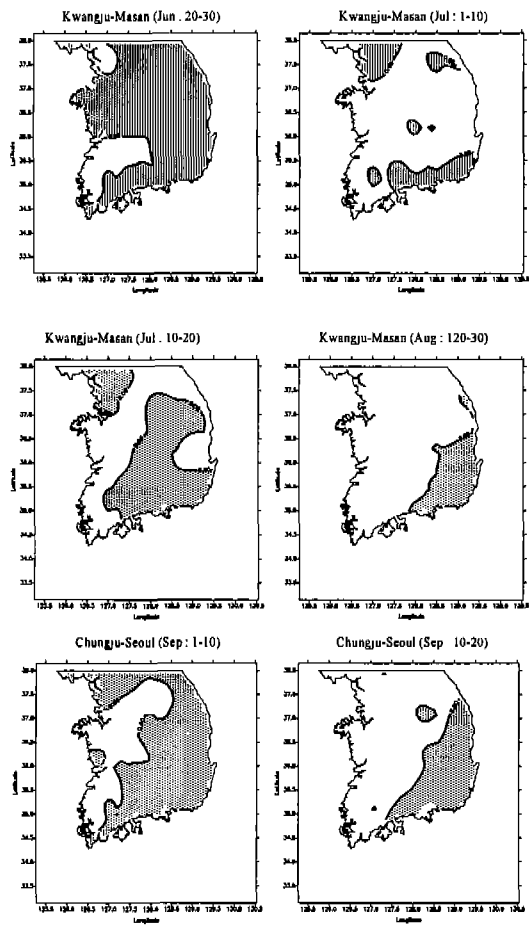


Fig. 6b. The forecast area by information ratio balance between Kwangju & Masan.

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

여기서는 지리적 위치, 지형효과 및 거리등을 고려하여 서울-부여, 서울-충주: 충주-대구, 충주-부여: 광주-부여, 광주-대구, 광주-마산:대구-마산, 대구-부여 등을 기준으로 한 경우 등 수많은 경우를 여러모로 나누어 보아야 한다. 여기서는 광주-대전(부여 대신), 광주-마산, 충주-전주(광주대신), 충주-서울의 것만을 살펴보았다(Fig. 6a, 6b, 6c, 6d).

광주-대전을 기준으로 한 경우(Fig. 6a)의 정보비 차에 의한 장마기의 일기대표 범위(예보구역)는 8월 하순을 제외하면 대전>광주 영역이며 노령산맥이 경계선이 되고 있다. 9월 중순에 광주 영역이 가장 작으며 8월 하순에 가장 크다. 반감거리와 지형 등의 효과를 고려하여 기준점 부여 대신에 대전을 고려했다.

광주-마산을 기준으로 한 경우(Fig. 6b)의 정보비 차에 의한 장마기의 일기대표 범위는 광주영역은 9월 초순·중순과 8월 하순일 때 마산영역보다 크게

나타난다. 6월 하순과 7월 하순을 제외하면 일기대표 범위는 소백산맥의 주향에 따른 지리, 지형적 효과가 의미 있게 나타난다.

충주-전주를 기준으로 한 경우(Fig. 6c)의 정보비 차에 의한 장마기의 일기대표 범위는 대체적으로 차령산맥을 경계로 하여 그 이북은 충주의 영역, 그 이남은 전주의 영역으로 구분된다. 6월 하순의 경우만 전주의 영역이 다소 좁게 나타나고 있다.

충주-서울을 기준으로 한 경우(Fig. 6d)의 정보비 차에 의한 장마기의 일기대표 범위는 순별추이에 따른 큰 변동이 보이지 않으면서 대체적으로 차령산맥을 경계로 하여 그 이북은 서울의 영역으로, 그 이남은 충주의 영역으로 구분된다.

전체적으로 보면 일기의 대표성은 예보 중심지에서의 거리에 따른 효과가 일차적이며, 지리적·지형적 효과는 이차적이나 인접하는 두 개의 관측지점에 관하여 일기의 대표범위(예보구역)를 논하는 경

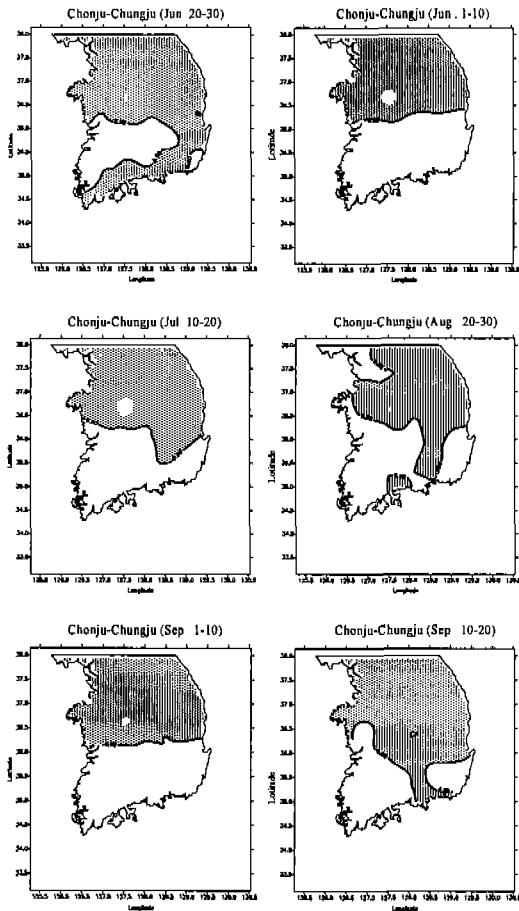


Fig. 6c. The forecast area by information ratio balance between Chonju & Chungju.

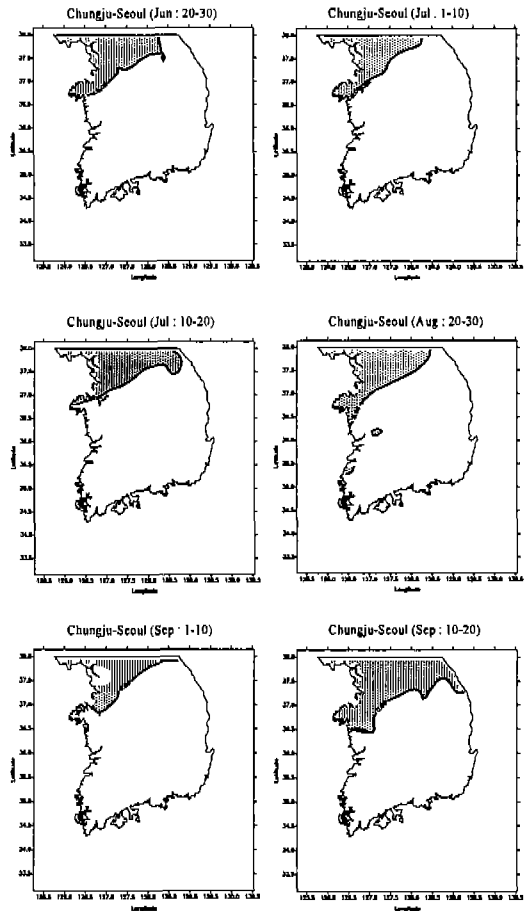


Fig. 6d. The forecast area by information ratio balance between Chungju & Seoul.

우는 지리적 효과와 지형적 효과, 특히 산맥의 주향이 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 각종 기후인자의 영향을 명확히 반영하여 한반도의 장마기 날씨 및 기후특성을 잘 나타내는 탁월 일기 및 강수현상의 장마기 출현다소와 순별변화에 대해 정보이론을 이용하여 일기엔트로피와 정보비를 구해 그 시, 공간적 특성을 살펴보고, 4대강 유역(서울, 대구, 광주, 충주, 부여)의 일기 대표성을 정보비의 거리에 따른 감쇠특성과 정보비의 차에 의해 규명하고 그에 따른 예보구역 설정을 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일기대표성(예보구역)의 설정은 일기의 평균정보량인 일기엔트로피와 정보비 개념을 응용하여 보다 과학적으로 설득력 있게 규명되어 가능하였다.
- 2) 장마기의 순별추이에 따른 강수일수는 여름장마기>가을장마기로 순별·지역차가 크며, 순별, 지점별로는 각각 7월중순과 서울이 강수일수가 가장 많고, 9월중순과 광주가 적다.
- 3) 강수강도는 서울을 제외하면 여름장마기>가을장마기이며, 순별·지점별로는 6월 하순과 서울이 강수일수가 각각 가장 크며 9월 초순과 대구는 가장 작다.
- 4) 일기엔트로피는 여름장마기>가을장마기로 나타나며 순별, 지점별로는 7월 중순과 서울이 각각 일기엔트로피가 가장 크며, 9월 중순과 광주는 가장 작다. 따라서 일기엔트로피의 특성에 따라 일기대표성은 가을장마기>여름장마기로 크며, 9월 중순과 부여중심의 금강유역이 가장 크고, 7월 중순의 서울과 충주중심의 한강유역에서 가장 작다.
- 5) 정보비의 분포는 가을장마기>여름장마기이며, 서울·충주·부여의 9월 중순의 정보비의 분포가 가장 크고, 광주·부여·서울의 7월 중순은 가장 작다. 따라서 전자는 일기의 국지성이 약해 일기대표성이 크고, 후자는 일기대표성이 작다.
- 6) 정보비는 일기대표성이 거리에 따라 감소하는 상황을 잘 나타내는 측도로 유효하며 정보비의 거리에 따른 감쇠는 실험식으로 표시될 수 있다.
- 7) 정보비의 감쇠계수는 가을장마기>여름장마기이며, 9월중순과 부여의 그 값이 가장 작아서 일기대표성이 크고, 7월초순과 서울의 감쇠계수는 그 값이 가장 커서 일기대표성도 작다.
- 8) 정보비의 반감거리는 여름장마기>가을장마기이며, 7월 초순과 서울의 반감거리가 가장 작아서 일기대표성도 작으며, 9월 중순과 부여의 그 값이 가장 커서 일기대표성도 크다.
- 9) 일기대표성은 예보중심지에서의 거리에 따른 효과가 일차적이나 인접하는 두 개의 관측지점에 관해 예보구역 설정시는 지형적(산맥의 주향)효과가 중요하다.

참 고 문 헌

- 1) 김철희, 전종갑, 1992, 종관바람을 고려한 한반도에서의 3차원 수치모의, 한국기상학회지, 28(2), 165-181.
- 2) 전종갑, 유수현, 문병권, 예상욱, 2000, 열대지방의 이상기상 현상이 극동 아시아 강수량 분포에 미치는 영향, 한국기상학회지, 36(5), 537-550.
- 3) 박현욱, 1992, 다변량해석법에 의한 한국의 기후·지역 구분, 전남대학교 박사학위논문.
- 4) 문영수, 김희중, 2001, 한국의 연 및 계절별 강수 지역 구분, 대기(한국기상학회보), 11(1), 259-262.
- 5) 윤원태, 박정규, 이재원, 이현수, 민승기, 2001, 1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석, 한국기상학회지, 37(2), 181-194.
- 6) 박현욱, 문병채, 1998, GIS를 이용한 한국의 기후 지역구분, 대한지리학회지, 33(1), 17-40.
- 7) Kato, H., 1983, Environmental regionality in Hokkaido as revealed by a Multivariate analysis of thermal climatic elements, Environmental Sci, Hokkaido, 6(2), 319-349.
- 8) Rizzo, B. and E. Wiken., 1992, Assessing the sensitivity of Canada's ecosystems to climatic change, Climate Change, 21, 37-55.
- 9) 최병욱(역), 1998, 基礎 情報理論, 형설출판사, 서울.
- 10) Leung, L. Y. and G. R. North, 1990, Information theory and climate prediction, J. Climate, 3, 5-14.
- 11) Pan, G. C. and L. Xia, 1988, The entropy methods for the associations of variables and their applications, Math. Stat. and Applied Prob., 3(1), 7-20.
- 12) Pan, G. C., 1995, Related information Measures for the associations of Earth-Science variables, Mathematical Geology, 27(5), 609-632.
- 13) Shannon, C. E., 1948, The mathematical theory of communication, Bell system Tech. Jour., 27, 379-432, 623-656.
- 14) 박현욱, 1995, 남한의 일기엔트로피의 연변화 유형과 지역구분, 대한지리학회지, 30(3), 207-229.

일기엔트로피 및 정보비에 의한 장마기의 일기대표성 설정

- 15) Singh, V. P., 1987, On derivation of the extreme value(EV) type III distribution for low flows using entropy, *Hydrol. Sci. Jour.*, 32, 521-533.
- 16) 김일곤, 박현욱, 1996, 남부지방의 일기예보구역 설정에 관한 연구, *대한지리학회지*, 31(3), 469-488.
- 17) 우정수, 강석복(역), 1990, 확률의 입문, 자유아카데미, 서울(Ross, S., 1990, Introduction to probability models, 4/e, Academic Press, Boston).
- 18) 古田 章, 1970, 小氣候區の區分について, *研究時報*, 22, 32-35.
- 19) 星野常雄, 1961, 天氣のエントロピによる天氣の局地性評價の試み(3)-天氣の代表性の距離による減衰-, *研究時報*, 13, 861-863.
- 20) 김일곤, 1989, 한국추계강수의 기후학적 특성, 경북대학교 박사학위논문.
- 21) 류상범, 2001, 장마의 정의와 어원, *대기(한국기상학회보)*, 11(1), 263-266.
- 22) 오재호, 김백조, 권원태, 2000, 장마집중감시(KORMEX), *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 2(4), 423-439.
- 23) 李炳高, 1975, 韓國における 長霖と秋長霖の 天候學的 考察-東アジアの 暖雨季との關連して-, *地理學評論*, 48(7), 459-484.
- 24) 星野常雄, 1970, 天氣のエントロピによる天氣の局地性評價の試み(5)-天葉懸内の地區豫報官署の天氣の代表性の季節變化について-, *研究時報*, 22, 281-291.
- 25) Peschel, G. and M. Mokošch, 1991, Interrelations between Geostatistics and Information theory and their practical use, *Mathematical Geology*, 23(1), 3-7.