

ORIGINAL ARTICLE

최근 5년(2008~2012) 간 우리나라에 내린 봄비의 종관기상학적 특성

박소연 · 이영곤* · 김정윤 · 안숙희 · 김백조

국립기상연구소 정책연구과

The Synoptic Meteorological Characteristics of Spring Rainfall in South Korea during 2008~2012

So-Yeon Park, Yong-Gon Lee*, Jung-Yun Kim, Suk-Hee Ahn, Baek-Jo Kim

Policy Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Korea

Abstract

Spring rainfall events were comprehensively analyzed based on the distribution of precipitation amount and the related synoptic weather between 2008~2012. Forty-eight cases are selected among the rain events of the entire country, and each distribution of the 24-hour accumulated precipitation amount is classified into three types: evenly distributed rain(Type 1), more rain in the southern area and south coast region (Type 2), and more rain in the central region (Type 3), respectively. Type 1 constitutes the largest part(35 cases, 72.9%) with mean precipitation amount of 19.4 mm, and the 17 cases of Type 1 are observed in March. Although Type B and C constitutes small parts (11 cases, 22.9% and 2 cases, 4.2%), respectively. The precipitation amount of these types is greater than 34.5 mm and occurred usually in April. The main synoptic weather patterns affecting precipitation distribution are classified into five patterns according to the pathway of low pressures. The most influential pattern is type 4, and this usually occurs in March, April, and May (Low pressures from the north and the ones from the west and south consecutively affect South Korea, 37.5%). The pattern 3(Low pressures from the south affect South Korea, 25%) happens mostly in April, and the average precipitation is usually greater than 30 mm. This value is relatively higher than the values in any other patterns.

Key words : Spring, Rain, Rainfall, Meteorological Characteristics, Cyclones, Trough, Precipitation

1. 서론

강수는 모든 생명체의 근원인 물의 주공급원으로 서 생명이 살아가는 데 없어서는 안 될 필수요소이며, 인간의 삶과 관련된 여러 가지 활동에 크게 영향을 미치는 중요한 기상자원 중 하나이다. 우리나라의 강수는 주로 여름철에 집중되어 있고, 상대적으로 다른 계절에는 강수가 적어 수자원 확보를 통한 용수 공급에 있어 특히 계획된 관리가 요구된다. 특히 봄비는 겨울

동안 부족했던 용수를 보충하고 농업생산에도 큰 영향을 미치기 때문에 다른 어느 계절의 강수보다 우리 생활에 큰 영향을 미친다.

IPCC 4차 보고서에서는(2007) 엘니뇨의 영향으로 인한 이상기후의 증가로 봄철의 가뭄 발생가능성이 높아진다고 예측하였으며, 향후 봄철 가뭄으로 인한 식수, 농업, 산림, 생태, 환경 등 다양한 측면에서의 부정적 영향이 충분히 예측가능한 실정이다. 최근(2012년) 우리나라에서도 봄철 강수 부족현상으로 104년 만의

Received 15 November, 2012; Revised 20 March, 2013;

Accepted 26 March, 2013

*Corresponding author : Yong-Gon Lee, Policy Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Korea
Phone: 070-7850-6503
E-mail: yglee@kma.go.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최악의 가뭄을 겪으면서, 산림, 농업, 생활 부문에서 다양한 영향을 겪은 바 있다. 이러한 배경 아래 봄철 강수에 대한 중요성이 더욱 커지고 있어 그 현상과 특성에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

강수와 관련된 국내 연구는 주로 우리나라에 큰 피해를 주는 집중호우(Hwang 등, 2012; Lee 등, 2011), 와 장마(Seo 등, 2011; Kim 등, 2009), 태풍(Choi, 2007; Kim 등, 2005)에 관한 연구가 대다수이며, 봄철 강수에 관한 기존 연구도 주로 봄철 호우 발생 메커니즘(Byun 등, 1992; Yang, 2001)과 봄 가뭄해갈 시 호우 특성(Lee 등, 2004) 분석이 주를 이루었다. 따라서 전국적으로 적절한 비가 내리는 사례들을 포함하여 봄비의 전반적인 특성에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 5년간(2008~2012년) 봄철 전국적으로 내린 강수에 따른 강수량 분포와 이들 강수에 영향을 미친 종관기상에 대한 특성들을 종합적으로 분석하여 부족한 봄비에 대한 연구를 하고자 한다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1. 자료

본 연구에서는 최근 5년(2008~2012) 간 봄철(3~5

월) 우리나라 강수특성을 분석하기 위하여 기상청에서 제공하는 세 종류의 자료를 이용하였다. 첫 번째 자료는 기후평년 자료를 산출하는 전국 45개소 지점의 자동기상관측장비(AWS)에서 관측된 강수량 자료이다(Fig. 1 left). 이 자료를 이용하여 비가 내린 사례 기간 동안 강수의 시·공간적 특성을 분석하였다. 두 번째 자료는 지상 종관일기도로서 각 사례들에 영향을 미친 종관기상 특성을 분석하는 데 활용되었다. 마지막 자료는 Fig. 1 right와 같이 위성영상(2008~2010년 MTSAT-1R, 2011~2012년 MTSAT-2)으로 강수의 공간적 특성 및 종관기상 분석을 보조하기 위해 사용되었다.

2.2. 분석 방법

강수사례일을 선정하기 위하여 강수량과 강수가 관측된 지점을 고려하여 전국 45개 관측지점 중 40개 지점(88.8%)의 24시간 누적강수량이 0.1 mm 이상일 때를 선정하였다. 또한 하루이상 연속으로 비가 내린 경우, 동일한 현상의 영향인지를 판단하여 사례일의 기간을 결정하였다. 따라서 40개소 이하의 관측지점에서 0.1 mm 이하의 누적강수량을 기록하였다 하더라도 동일 메커니즘에 의해 발생한 강수로 해당 기간 중 위의 사례 선정 기준을 충족할 때에는 강수 사례일

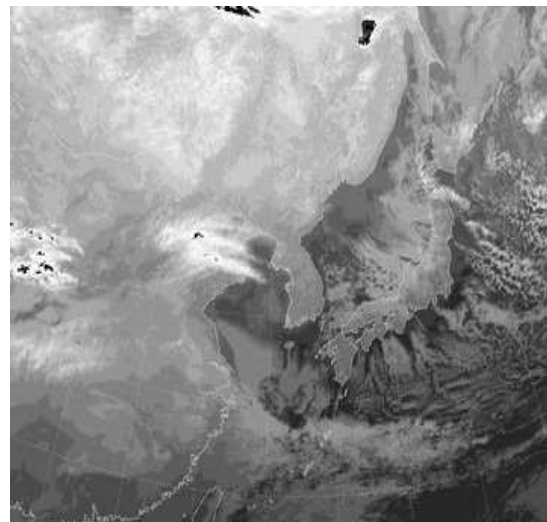


Fig. 1. (Left) 45 observation sites of the precipitation and (right) remote sensing imagery used to analyses a synoptic weather pattern affect to the rainfall event.

로 포함하고 그렇지 않은 경우는 제외하였다. 또한 연속으로 비가 내린 경우라 하더라도 별개의 현상에 의해 발생하였을 경우는 이를 별도의 사례로 분리하여 분석하였다. 이상의 기준으로 2008년부터 2012년까지 5년간 봄철에 내린 강수일수 중 강수 사례일로 선정된 경우는 Table 1과 같이 총 48개 사례(2008년 9사례, 2009년 10사례, 2010년 11사례, 2011년 8사례,

2012년 10사례)로 나타났다.

위 방법으로 선정된 사례들에 대해 Fig. 2 left와 같이 전국 45개 관측지점을 포함한 66개 지점의 강수량 분포도를 분석하였다. 여기서 21개 지점이 추가된 자료를 사용한 것은 강수분포도 분석에 있어 더 많은 자료를 활용함으로써 그래픽에서의 지역적 분포의 구분을 좀 더 정확하게 하기 위해서이다. 이 과정에서 최대

Table 1. Cases selected by identifying the number among the 45 sites where a 24-hour accumulated precipitation amount is larger than 0.1 mm among the rainfall events observed in South Korea for spring season of the recent 5 years (2008~2012)

Number of case	Rainfall period	Number of case	Rainfall period	Number of case	Rainfall period
1	3.22~3.24	10	3.02~3.03	20	3.01~3.01
2	3.29~3.31	11	3.05~3.05	21	3.04~3.06
3	4.06~4.07	12	3.12~3.13	22	3.09~3.10
4	4.09~4.10	13	3.21~3.22	23	3.14~3.15
5	2008 4.22~4.23	14	2009 4.20~4.21	24	2010 3.31~3.31
6	5.04~5.05	15	4.24~4.25	25	4.01~4.01
7	5.13~5.13	16	5.02~5.02	26	4.11~4.13
8	5.18~5.19	17	5.11~5.12	27	4.21~4.23
9	5.28~5.28	18	5.15~5.17	28	4.26~4.29
		19	5.20~5.21	29	5.17~5.19
				30	5.22~5.26

Number of case	Rainfall period	Number of case	Rainfall period	Number of case	Rainfall period
31	3.01~3.01	39	3.02~3.04		
32	3.20~3.20	40	3.05~3.06		
33	4.07~4.07	41	3.16~3.17		
34	2011 4.22~4.22	42	3.22~3.24		
35	4.26~4.28	43	2012 3.30~3.30		
36	4.30~5.01	44	4.02~4.03		
37	5.09~5.10	45	4.10~4.11		
38	5.11~5.12	46	4.21~4.22		
		47	4.25~4.26		
		48	5.14~5.15		

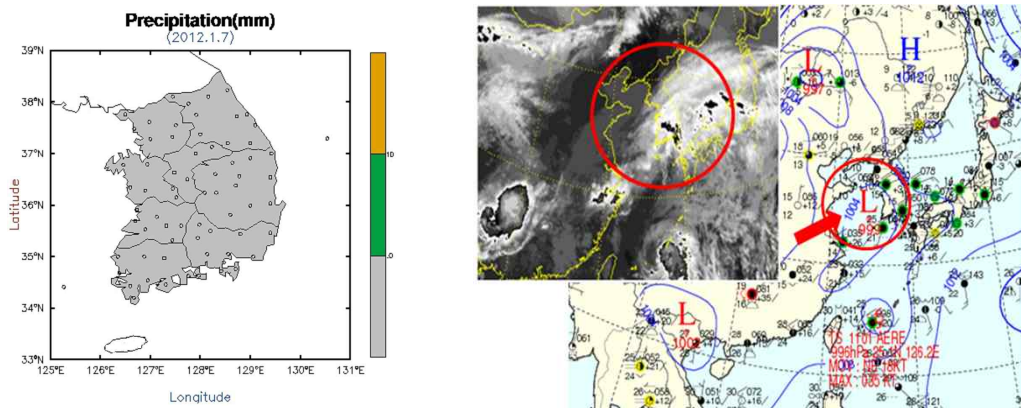


Fig. 2. (Left) a precipitation distribution based on 66 measurements shown as circles on the map including the 45 sites in South Korea and (right) an example of the synoptic analysis for an precipitation event.

강수량이 관측되었던 지역을 중심으로 강수의 지역적 분포 특성을 Type으로 분류하였다. 또한 이 Type에 영향을 준 중관기상 pattern을 분석하기 위해 사례들의 강수 발생 하루 전부터 강수 종료까지의 지상일기도와 위성영상을 이용하여 중관기상 특성을 분석하고 그 pattern을 분류하였다(Fig. 2-right).

3. 결과

3.1. 강수 분포특성

Fig. 2와 같이 사례별 24시간 누적강수량 및 전체 기간의 강수분포를 기반으로 전체 48개 사례들을 3가지 Type으로 분류하였다(Fig. 3). Type A로 정의한 유형은 전국적으로 고르게 비가 내린 사례들로 모두 35건(72.9%)이 여기에 해당되었다(Table 2). 특히 Table 2에서 해당 사례들을 월별로 재분류를 하였을 때 3월

의 사례가 17건으로 가장 많은 부분을 차지하였다. 또한 Type A의 평균 강수량이 19.4 mm로 상대적으로 적은 비가 전국에 고르게 내리는 형태임을 알 수 있다. Type B는 다른 지역에 비해 남부 및 남해안 지역에 많은 비가 내리는 분포 형태이다. Table 2에서 이 형태에 해당되는 사례들은 총 11건(22.9%)로 이중 대다수가 4월에 관측되었다. 또한 평균 강수량도 34.9 mm로 Type A에 비해 약 2배가량 많은 것으로 나타났다. Type C는 중부지방에 상대적으로 많은 비가 내리는 유형으로 전체 48개 사례 중 4월에 단 2차례(4.2%)만 관측될 정도로 매우 독특한 유형이다. 그러나 평균 강수량은 Type B와 유사하게 많은 비를 기록하였다.

3.2. 중관기상 특성

Fig. 3과 같이 세 가지 타입의 강수분포 유형에 주된 영향을 미친 중관기상 특성을 파악하기 위하여 저

Table 2. Distribution types of the 48 precipitation cases classified with the definitions in Fig. 3, including statistics of corresponding numbers in each month and their average precipitation

Type	Month	Case number	Average Precipitation (mm)	
A	3	1, 2, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 31, 32, 39, 40, 41, 42	14.6	19.4
	4	3, 4, 5, 15, 26, 28, 35, 45	14.5	
	5	6, 7, 8, 16, 17, 18, 29, 30, 37, 48	29.2	
B	3	43	25.0	34.9
	4	14, 25, 27, 33, 34, 38, 46, 47	32.4	
	5	9, 19	47.4	
C	4	36, 44	34.7	34.7

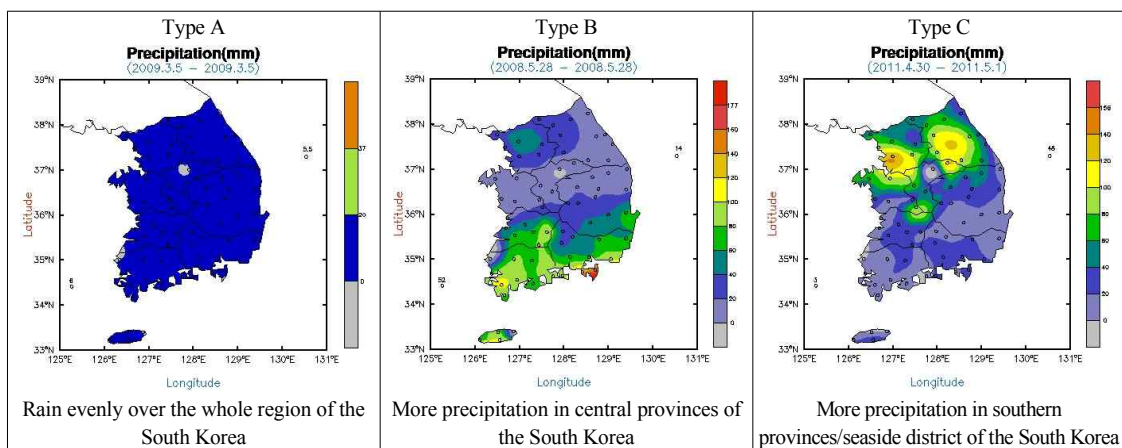


Fig. 3. Three types of the precipitation distributions for the 48 cases. Descriptions for each types are shown under the sample of classic distribution.

기압의 이동경로를 구역별로 구분하여 분석하였다. 각 구역은 Fig. 4와 같이 동서방향으로 100°~130°E를 기준으로, 남북방향으로 40°~50°N, 30°~40°N, 20°~30°N으로 구역들을 나누었다. 사례별로 강수가 최초로 관측되기 하루 전 저기압의 위치를 각 구역에 위치시키고 이를 기준으로 저기압의 이동경로를 조사하였다(Fig 4). 본 연구에서는 저기압이 40°~50°N 구역에서 한반도로 이동한 경우를 북쪽에서, 30°~40°N에서 이동한 경우를 서쪽, 20°~30°N은 남쪽에서 이동하였다고 각각 정의하였다.

각각의 강수사례에 대해 정의된 구역에 위치한 저기압들의 이동 경로를 분석한 결과 Fig. 5와 같이 총 다섯 가지의 종관 패턴으로 분류되었다. 첫 번째 패턴

은 북쪽으로 정의한 구역에 위치한 저기압이 남쪽으로 이동하면서 우리나라 전역에 비를 내린 경우이다. 이러한 종관기상 특성을 가진 강수사례는 Table 3과 같이 4개 사례(8.3%)이며, 이중 대다수가 3개 사례가 3월에 발생하였다. 두 번째 패턴은 서쪽으로 정의된 구역에서 저기압이 한반도로 이동한 경우로 총 48개 사례 중 11개 사례(22.9%)가 여기에 해당된다. 또한 상대적으로 3월 보다는 4월과 5월에 주로 발생하는 종관기상 패턴임을 알 수 있다. 세 번째는 남쪽으로 정의된 구역에서 한반도로 이동한 경우로 12개 사례(25.0%)가 이러한 종관적 패턴을 가지는 것으로 나타났다. 또한 4월에 관측된 강수사례 중 가장 많은 6개 사례가 패턴 3의 강수 메커니즘에 의해 발생하였다.

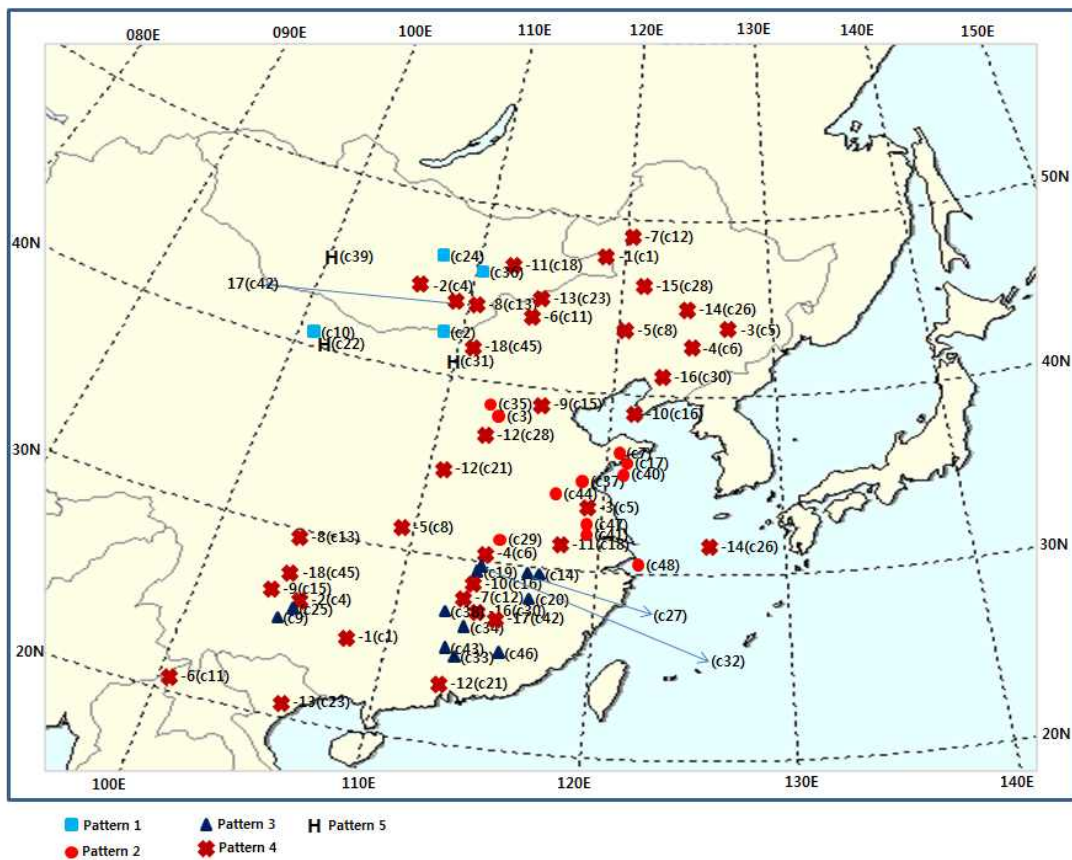


Fig. 4. Classified regions used to analyze paths of cyclone systems affect to the 48 precipitation events in Korea for latest five years(2008~2012). We defined the region of 100°~130°E and 40°~50°N as "northerly", 100°~130°E and 30°~40°N as "westerly", and 100°~130°E and 20°~30°N as "southerly" respectively.

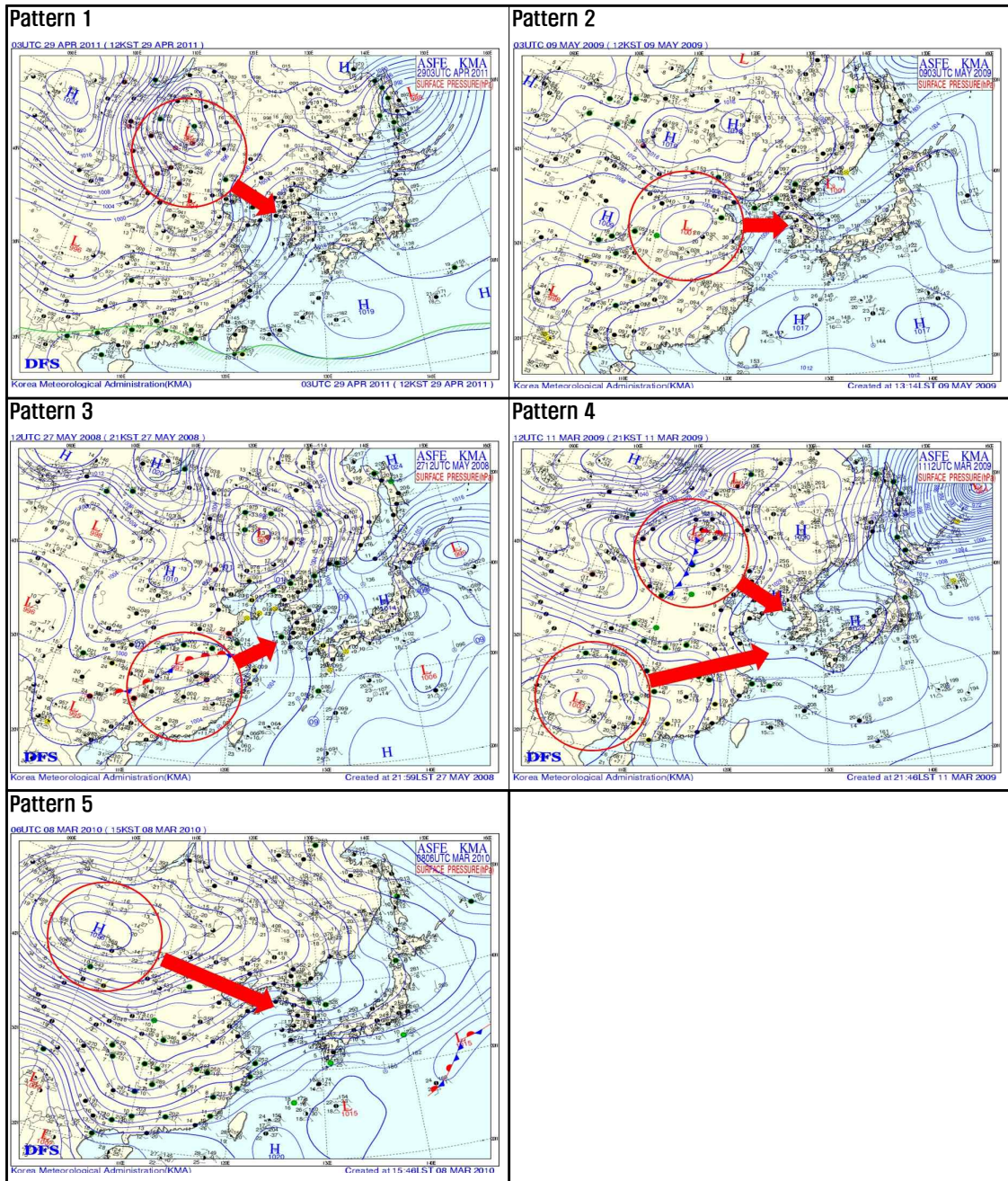


Fig. 5. Five synoptic patterns that effect on the 48 precipitation events. Definitions of the each pattern are described as follow: (Pattern 1) A cyclone system moved from northern part; (Pattern 2) A cyclone system moved from western part; (Pattern 3) A cyclone system moved from southern part; (Pattern 4) More than two cyclone systems moved from northern and western/southern part alternatively; (Pattern 5) A Siberian anticyclone system extends from northern part.

네 번째 패턴은 북쪽으로 정의된 구역에서 다가오는 저기압과 함께 서쪽 또는 남쪽으로 정의된 구역에서 이동한 저기압이 연속적으로 영향을 미친 경우로 최근 5년 간 봄철에 전국적으로 내린 강수로 총 18개 사례(37.5%)가 여기에 해당된다. 또한 이러한 종관기상 특성을 가진 봄철 강수 사례가 특정 월에 국한되지 않고 고르게 나타남을 Table 3에서 알 수 있다. 마지막 다섯 번째로, 지상일기도에서 보다시피 시베리아의 차고 건조한 고기압과 동지해상의 따뜻한 공기가 만나 우리나라 남해안으로 기압골이 만들어져 통과하면서 강수가 내린 경우이다. 이 종관기상 특성을 가지는 3개(6.3%)의 강수사례 역시 겨울이 끝나가는 3월 초에 모두 발생하였다.

각 종관기상 패턴 하에서 발생한 사례별 강수량을 월별로 평균한 결과 주로 3월에서 5월로 갈수록 강수량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 3월 중 강수사례들에 대해서는 종관기상 패턴 3과 4가 영향을 미칠 때 평균 강수량이 18 mm 이상으로 가장 많았으며 패턴 5가 영향을 미칠 때는 평균 6.6 mm로 적었다. 4월의 경우는 패턴 1에 해당하는 한 사례를 제외하고는 남쪽구역에서 저기압이 이동할 때 평균 30 mm 이상의 많은 비가 전국적으로 내렸다. 5월의 경우도 동일한 종관기상 특성을 가지는 강수사례들이 종관기상 패턴과 월별로 구분한 전체 그룹 중 가장 많은 48.1 mm의 평균 강수량을 기록하였다. 총 48개의 사례로는 종관기상

패턴별 평균 강수량의 비교가 충분하지 않을 수 있지만 최근 5년 동안 봄철 강수량의 경우 남부지역으로 정의된 구역에서 저기압이 이동하였을 때 상대적으로 30 mm 이상의 많은 비가 왔음을 Table 3에서 확인할 수 있다.

3.3. 강수분포와 종관기상의 연관성

Table 4는 강수분포 타입과 종관기상 패턴에 따라 각각 분류된 48개 강수 사례들을 하나의 표로 결합한 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 강수에 가장 많은 영향을 미친 종관기상 패턴은 패턴 4(37.5%)로 북쪽으로 정의된 구역에 위치한 저기압이 한반도 쪽으로 남동진하면서 서쪽 또는 남쪽으로 정의된 구역에서 이동한 저기압과 함께 연속적으로 영향을 미친 경우이며, 이 영향을 받았을 경우 전국적으로 비가 고르게 내리는 Type A의 강수 분포형태가 나타났다. 다음으로 많은 영향을 미친 종관기상 패턴은 패턴 3(25%)으로, 남쪽으로 정의된 구역에서 우리나라 쪽으로 북동진한 저기압의 영향으로 다른 지역에 비해 남부 및 남해안 지역에 많은 비가 내린 경우로 Type B의 강수 분포형태에 해당되어 패턴 4와 차이를 보였다. 그리고 서쪽으로 정의된 구역에서 우리나라 부근으로 동진한 패턴 2(22.9%)와 북쪽으로 정의된 구역에서 한반도 부근으로 남동진한 패턴 1(8.3%), 한반도로 확장한 시베리아 고기압의 영향 패턴 5(6.3%)의 순으로 강수 횟수에 영향을 미쳤다. 이 나머지 세 경우들은 패턴 4와

Table 3. Synoptic weather patterns of the 48 precipitation cases subdivided with a path of cyclone system affect to the events. Statistics of corresponding case numbers in each month and their average precipitation are presented in the classification together

Pattern	Month	Case number	Average Precipitation (mm)	
1	3	2, 10, 24	11.7	25.7
	4	36	39.7	
	3	40, 41	15.6	
2	4	3, 35, 44, 47	20.5	22.0
	5	7, 17, 29, 37, 48	30.0	
	3	20, 32, 43	18.6	
3	4	14, 25, 27, 33, 34, 46	30.1	32.3
	5	9, 19, 38	48.1	
	3	1, 11, 12, 13, 21, 23, 42	18.7	
4	4	4, 5, 15, 26, 28, 45	15.4	20.9
	5	6, 8, 16, 18, 30	28.5	
	3	22, 31, 39	6.6	
5	3	22, 31, 39	6.6	6.6

같이 주로 전국적으로 고르게 비가 내린 Type A의 강수 분포형태를 보였다. 이와 같이 우리나라 최근 5년간 봄철의 강수분포형태는 주로 Type A(72.9%)와 B(22.9%)로 나타났으나, 중부지방에 상대적으로 많은 비가 내리는 Type C(4.2%)의 강수 분포형태가 나타난 예외의 경우도 2사례 분석되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 기상청에서 제공하는 세 종류의 자료를 활용하여 최근 5년간(2008~2012년) 봄철(3~5월) 우리나라 강수특성을 분석하였다. 주 분석 자료로 AWS에서 관측된 강수량 자료와 지상 종관일기도를 활용하였으며, 보조 자료로 위성영상을 이용하였다.

강수량과 강수분포로부터 최근 5년 간 봄철 전국적으로 비가 내린 사례는 총 48개 사례로 나타났으며, 강수분포 유형을 3가지 Type 으로 분류할 수 있었다. Type A의 경우는 전체 사례 중 70%(72.9%, 35건) 이상으로 사례 중 대부분이 이 경우에 포함된다. 이 중 3월의 사례가 48%(17건)로 가장 많은 부분을 차지하였고, 평균 강수량은 19.4 mm로 상대적으로 적은 비가

전국적으로 고르게 내린 형태임을 알 수 있다. Type B의 경우 다른 지역에 비해 남부 및 남해안 지역에 많은 비가 내린 분포형태로 전체 사례 중 22.9%(11건) 이상을 차지하였으며, 4월에 많이 관측되었다. 또한 평균 강수량도 34.9 mm로 Type A에 비해 약 2배가량 많은 것으로 나타나 Type A와는 다른 특징을 보였다. 마지막으로 Type C는 중부지방에 상대적으로 많은 비가 내린 경우로 전체 사례 중 4.2%(2건)로 다른 두 Type과 달리 매우 드물게 나타난 유형이다. 하지만 강수량 측면에서는 Type B와 유사하게 평균 강수량이 34.7 mm로 많은 비를 기록하였다.

위 3가지 Type의 강수분포 유형에 주된 영향을 미친 종관기상 특성을 분석하기 위하여 저기압의 이동 경로를 분석한 결과 총 5가지 패턴으로 분류할 수 있었다. 패턴 1은 전체 사례 중 8.3%(4건)에 해당하였으며 주로(3건) 3월에 발생하였다. 패턴 2는 총 사례 중 22.9%(11건) 이상을 차지하고 3월보다는 4월과 5월에 주로 발생하였다. 패턴 3의 경우 전체 패턴 중 2번째로 많은 25.0%(12건)를 차지하였으며, 4월에 주로 발생하였다. 패턴 4는 전체 패턴 중 가장 많이 영향을 준 경우로 37.5%(18건) 이상을 차지하였다. 여기에 속하

Table 4. A matching table of the 48 rainfall cases between precipitation distribution type(PDT) and synoptic weather pattern(SWP) discussed above two subsections. The regrouped cells in the PDT are subdivided into months from March to May

PDT	SWP					
	Month	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4	Pattern 5
Type A	3	2, 10, 24	40, 41	20, 32	1, 11, 12, 13, 21, 23, 42	22, 31, 39
	4		3, 35		4, 5, 15, 26, 28, 45	
	5		7, 17, 29, 37, 48		6, 8, 16, 18, 30	
Type B	3			9, 43		
	4		47	14, 25, 27, 33, 34, 46		
	5			19, 38		
Type C	3					
	4	36	44			
	5					

는 사례들은 특정 월에 국한되지 않고 3, 4, 5월에 고르게 발생하는 것으로 나타났다. 마지막으로 패턴 5는 6.3%(3건)를 차지하였으며 모두 겨울이 끝나가는 3월 초에 발생하였다.

전체 사례의 강수 분포유형과 종관기상과의 연관성을 보면, 먼저 전국적으로 비교적 적은 양의 비를 내린 Type A의 경우는 주로 패턴 4의 영향을 받았다. 다른 지역에 비해 남부와 남해안 지역에 많은 비를 내린 Type B의 경우는 주로 패턴 3의 영향을 받아 30 mm 이상의 평균 강수량을 기록하였다. 그리고 사례 기간 중 독특하게 나타난 Type C의 경우는 패턴 1과 2의 영향으로 상대적으로 중부지방에 평균 강수량 30 mm 이상의 많은 비를 내린 것으로 분석되었다.

또한 최근 우리나라 봄철 강수특징은 주로 북쪽으로 정의된 구역에서 우리나라 부근으로 이동한 저기압과 함께 순차적으로 서쪽과 남쪽으로 정의된 구역에서 우리나라 부근으로 이동한 저기압의 영향을 받아 전국적으로 고르게 적은 양의 비가 내렸으며, 3월에서 5월로 갈수록 강수량은 늘어났다.

본 연구는 봄철 우리나라에 내린 최근 강수에 대한 특성들을 이해하고, 이를 바탕으로 강수로 인한 가뭄 경감, 산불저감, 대기질 개선 등의 다양한 현상들을 분석하는 데 기초자료로 활용 될 것으로 생각된다. 특히 봄철 물 문제와 관련한 가뭄의 지역적 분포 및 특성 분석, 수계별 수자원 확보 예측, 강수량 분포에 따른 봄철 농업용수 관리, 농식물의 지역적 분포 및 이동 분석 등에 관한 기초 자료로 매우 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소의 2012년 주요사업 “NIMR-2012-B-1”에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- Byun, H. R., Kim, J. K., Choi, S. D., 1992, On the Water Vapor Circulation Associated with Spring Season Heavy Rainfalls over 100 mm, *Atmosphere*, 28(4), 479-496.
- Choi, K. S., Kim, B. J., Lee, J. Y., 2007, A Simple Regression Model for Predicting the TC Intensity Change after Landfall over the Korean Peninsula, *Atmosphere*, 17(2), 135-145.
- Hwang, Y. J., Kim, Y. H., Chung, K. Y., Chang, D. E., 2012, Predictability for Heavy Rainfall over the Korean Peninsula during the Summer using TIGGE Model, *Atmosphere*, 22(3), 287-298.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the international Panel on Climate Change*, Cambridge university Press, Cambridge, United kingdom and New York, NY, USA.
- Kim, B. J., Cho, C. H., Chung, H. S., Shin, S. H., 2005, A Study on the Intensity Change of Typhoon Nakri (0208) - Observation and GDAPS Data Analysis, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 41(5), 763-776.
- Kim, K. H., Kim, Y. H., Chang, D. E., 2009, The Analysis of Changma Structure using Radiosonde Observational Data from KEOP-2007: Part I. the Assessment of the Radiosonde Data, *Atmosphere*, 19(2), 213-226.
- Lee, J. B., Lee, D. K., 2011, Impact of Cumulus Parameterization Schemes with Different Horizontal Grid Sizes on Prediction of Heavy Rainfall, *Atmosphere*, 21(4), 391-404.
- Lee, M. A., Byun, H. R., 2004, The synoptic characteristics in the time of spring drought relief, *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS 2004*, 276-277.
- Seo, K. H., Son, J. H., Lee, J. Y., 2011, A New Look at Changma, *Atmosphere*, 21(1), 109-121.
- Yang, J. K., 2001, The heavy rainfall pattern in spring, *Atmosphere*, 11(1), 242-243.