

## 장마철 첫 강수의 경제적 가치

서경환\* · 최진호

부산대학교 지구환경시스템학부 대기환경과학과

(접수일: 2022년 1월 6일, 수정일: 2022년 2월 7일, 게재확정일: 2022년 2월 28일)

### An Economic Value for the First Precipitation Event during Changma Period

Kyong-Hwan Seo\* and Jin-Ho Choi

Department of Atmospheric Sciences, Division of Earth Environmental System,  
Pusan National University, Busan, Korea

(Manuscript received 6 January 2022; revised 7 February 2022; accepted 28 February 2022)

**Abstract** This study evaluates the economic values for the several first precipitation events during Changma period. The selected three years are 2015, 2019, and 2020, where average precipitation amounts across the 58 Korean stations are 12.8, 20.1 and 13.3 mm, respectively. The four categories are used to assess the values including air quality improvement, water resource acquisition/accumulation, drought mitigation, and forest fire prevention/recovery. Economic values for these three years are estimated 50~150 billion won. Among the four factors considered, the effect of air quality improvement is most highly valued, amounting to 70 to 90% of the total economic values. Wet decomposition of air pollution (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, and SO<sub>2</sub>) is the primary reason. The next valuable element is water resource acquisition, which is estimated 9~15 billion won. Effects of drought mitigation and fire prevention are deemed relatively small. This study is the first to estimate the value of the precipitation events during Changma onset. An analysis for more Changma years will be performed to achieve a more reliable estimate.

**Keywords:** Economic value, Changma precipitation, Air quality, Water resource, Drought and fire

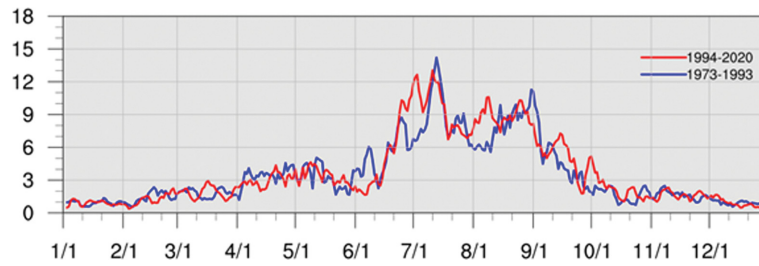
### 1. 서 론

장마(Changma)는 여름철 우리나라의 주요 강수시기로 오랜 기간 지속되는 비 또는 그 시기를 일컫는데, 동아시아 몬순(East Asian monsoon) 시스템의 일부이다. 여름철 우리나라를 포함하는 동아시아 지역은 남쪽의 온난습윤한 공기와 북쪽의 찬 공기가 만나서 형성되는 정체전선의 영향을 받는다. 전선이 걸쳐 있는 지역에는 강한 남서풍으로부터 습윤한 공기의 유입량이 증가하고 장기간 많은 양의 비가 내린다(KMA, 2012). 이렇게 우리나라에서 장마라고 부르는 비는, 중국의 경우 메이유(Meiyu, 梅雨), 일본에서는 바

이우(Baiu, 梅雨) 라고 부른다(Wang, 2006). 매화나무의 열매인 매실이 5, 6월 열릴 때 내리는 비를 의미한다.

장마는 기후학적으로 6월 하순 우리나라 주변으로 상층 제트 기류가 북상하여 강한 경압불안정이 형성되며, 북태평양 고기압의 본격적인 발달과 함께 하층 남서풍에 의해 유입되는 습윤한 공기가 모이고 상승하면서 장마가 시작된다(Seo et al., 2011). 최근 30년(1991~2020) 기후 평균으로 보면 장마는 6월 19일에 제주도에서 시작되며, 남부 지방에서는 6월 23일경, 중부 지방에서는 6월 24일경에 장마가 시작된다. 이후 북태평양 고기압이 점차 북상하고 7월 26일 경에 중부지방에서 가장 늦게 장마가 종료되어, 전국적으로 약 32일의 장마기간이 나타난다. 이후 우리나라는 북태평양 고기압 세력 하에 강수 휴지기에 놓이게 되며 무더위가 기승을 부린다(Seo et al., 2011). 이후 계절 사이클에 의해 북태평양 고기압이 약해져 물러나

\*Corresponding Author: Kyong-Hwan Seo, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Korea  
Phone: +82-51-512-9946, Fax: +82-51-515-1689  
Email: khseo@pusan.ac.kr



**Fig. 1.** Daily precipitation climatology from 1973 to 1993 (blue line) and from 1994 to 2020 (red line) in South Korea (a total of 56 standard station data are used).

면서 우리나라에서는 2차 장마(또는 가을 장마)라는 현상이 나타나게 되며, 대체로 9월 중순까지 앞선 장마 기간과는 또 다른 우기를 겪게 된다. 우리나라 연강수량(1,333 mm)의 50% 정도(약 655 mm)가 이 장마를 포함한 여름철에 집중되어 있다.

장마는 여름철에 집중된 많은 강수로 우리나라에 큰 피해를 주지만 경제적인 측면 및 생활·농업·환경적인 측면, 수자원 확보 등 다양한 긍정적인 영향이 있다(KRI, 2020). 일례로 1979년에서 2008년 30년 동안 강수량 자료를 분석해 본 결과, 연평균 총 강수량 1,343 mm에 대한 경제적 가치가 약 9,097억 원에 달하는 것으로 조사되었고 그 중 장마 기간 평균 강수량은 350~370 mm로 약 2,500억 원에 달하는 것으로 알려지고 있다(KMA, 2012). 이 통계보다 10년이 더 지난 현재 시점에서는 물가 상승률 등을 고려한다면 더욱 큰 가치로 환산될 것이다. 또한 장마 기간 중 매출을 올리기 위한 기업체의 노력으로 기상정보 수요가 늘어나고 있으며, 이를 활용한 기업들의 장마 마케팅이 활성화되어 있다(Lee et al., 2014). 과거 일부의 건설업체의 마케팅에 국한되었던 기상 정보는 식음료 업체 등 다양한 업체의 마케팅으로 활용되는 예가 늘어나고 있다. 이처럼 장마로 인한 경제적 이익의 형태는 다양하다고 할 수 있다(KMA, 2012).

장마는 당연히 우리나라에서 가장 중요한 수자원 공급원이다. 댐에 저장되어 생활용수, 농업용수, 공업용수 등으로 활용된다. 또한 발전을 통해 전기를 생산하기도 한다. 기후변화로 인한 물 부족 현상에 대한 위험이 지속되고 있는 이 시점에 장마로 인한 수자원 확보는 매우 중요하다고 볼 수 있다(KRI, 2020). 또한 환경적인 측면에서는 장마로 인한 대기 정화 효과를 들 수 있다. 공기 중에 떠 있는 먼지와 분진, 중금속 등의 오염물질을 제거하고 미세먼지 농도를 낮추는 역할을 한다. 이러한 대기질 개선 효과뿐만 아니라 습한 대기를 통해 산불을 예방하는 효과도 있다(NFA, 2019). 비교적 건조한 봄철은 때때로 가뭄이 나타나는 경우도 있다. 장마의 시작이 늦게 된다면 가

뭄으로 인하여 고갈된 지하수층에 물의 공급이 줄게 되고 농작물에 충분한 물의 공급이 이루어지지 않는 등 농업·임업·수산업을 비롯한 다양한 생산 분야에서 큰 피해가 발생한다. 이 외에도 수질 개선 효과, 냉방 효과 등 여러 긍정적인 면이 존재한다.

이렇듯이 장마는 아주 많은 부분에서 경제적으로 큰 영향을 미치고 있다. 특히 최근의 기간인 1994년에서 2020년의 기후 평균에서는 6월의 처음 15일간의 강수가 이전의 1973년에서 1993년의 기후 평균에 비해 더 작게 오고 있는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1). 즉 늦봄의 건조한 시기가 더욱 장기화되면서 6월 중순까지 이어져 오고 있는 것이다.

봄철 강수에 대한 경제적 가치를 연구 및 보도사례가 있다(Lee et al., 2010; Park et al., 2014; KMA, 2015). Lee et al. (2010)은 2009년 겨울부터 전국적 가뭄이 지속된 후 2010년 4월 20일부터 21일까지 내린 봄 강수에 대한 경제적 가치에 대한 평가를 처음으로 제안하였다. 한반도 서쪽으로부터 습윤한 남서기류가 유입되면서 전국적으로 많은 비를 내린 가운데 수자원확보(58.5억 원), 대기질 개선(1,754억 원), 산불방지(4.8억 원) 및 가뭄해소(1,086.5억 원) 효과에 대한 총 경제적 가치는 2,900.5억 원으로 평가되었다. Park et al. (2014)은 2008년부터 2012년까지의 봄비 사례에서의 주요 5개 대표 댐의 유출량을 활용하여 수자원 측면에서의 경제적 가치를 평가하였다. 해당 5년간의 5개 댐의 총 유출량은 56억 8,000만 톤으로 추정되었으며, 수자원 측면으로는 2,731억 원의 경제적 가치로 평가했다. KMA (2015)는 2015년 3월 31일 전국에 내린 봄비에 대해 2,500억 원 정도의 경제적 가치를 평가한 바 있다. 해당 일의 전국 평균 강수량은 4.5 mm로 관측되었으며, 다소 적은 비의 양으로도 전국 평균 미세먼지 농도가  $68.3 \mu\text{g m}^{-3}$  정도 감소하여 2,300억 원 정도의 대기질 개선을 평가했으며, 그 다음으로 70억 원 정도의 가뭄 경감 효과를 볼 수 있으며, 수자원 확보 및 산불 예방 측면에서 각각 32.7억, 3.0억 원의 경제적 효과를 환산하였다.

따라서 봄철에 내리는 강수 뿐만 아니라 6월 15일 이후에 내리는 장마의 첫 강수 또한 위에서 열거한 여러 부분에서 그 경제적 효과가 있다. 본 연구에서는 장마의 첫 강수가 가지는 경제적 효과를 정량적으로 추론하고자 한다. 이를 위해 기상청에서 발표한 장마의 시작일을 참고로 하여 2015년, 2019년, 2020년 이 세 해에 대해 장마 첫 강수의 경제적 가치를 추산하고자 한다.

## 2. 자료 및 분석방법

본 연구에서는 앞서 언급한 네 가지 측면(수자원 확보, 대기질 개선, 산불 예방, 가뭄 경감)의 경제적 가치를 추산하기 위해 한반도 장마기간 일평균 강수량을 구하기 위한 관측 값으로 기상청 58개 기상관측소(중부지방 24개, 남부지방 32개, 제주 2개)의 강수 자료를 사용하였다. 또한, KMA (2015)에서 제공하는 경제적 가치에 대한 산출식을 적용하였다. 수자원 확보 측면에서의 산출식은 식(1)과 같이 전국 평균 강수량(mm), 전 국토면적(km<sup>2</sup>), 유출율, 원수판매율 및 m<sup>3</sup>당 댐용수 가격(원 m<sup>-3</sup>)의 곱으로 표현된다(KMA, 2015).

$$\begin{aligned} & \text{수자원 확보 측면에서의 경제적 가치} \\ & = \text{전국 평균 강수량} \times \text{전 국토면적} \times \text{유출율} \\ & \times \text{원수판매율} \times \text{m}^3 \text{당 댐용수가격} \end{aligned} \quad \text{식(1)}$$

여기서 전 국토면적은 해당연도(2015년, 2019년, 2020년)에 대해 각각 100,295.4 km<sup>2</sup>, 100,401.3 km<sup>2</sup>, 100,412.6 km<sup>2</sup>으로 파악되었다(e-나라지표의 국토현황; [https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2728](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2728)). 유출율과 원수판매율은 KMA (2015)와 같이 해당연도에 대해 각각 40%, 36%로 동일하게 적용되었으며, 댐용수 가격은 해당연도에 대해 각각 50.3 원, 52.7원, 52.7원으로 적용되었다(K-water에서 공지한 바와 같이 2016년 9월 23일부터 52.7원으로 요금 단가 적용; [https://www.kwater.or.kr/cust/sub04/sub01/char/char04Page.do?s\\_mid=1966](https://www.kwater.or.kr/cust/sub04/sub01/char/char04Page.do?s_mid=1966)).

대기질 개선 효과에 대한 산출식은 입자상 오염물질(PM<sub>10</sub>)의 경우, 식(2-1)처럼 강수기간 전일과 후일에 대한 전국 평균 오염물질 감소량(μg m<sup>-3</sup>), 전 국토면적(km<sup>2</sup>), 대기경계층 고도(km), 각 오염물질 kg당 사회적 한계비용(원 kg<sup>-1</sup>)의 곱으로 표현된다(기상청, 2015).

$$\begin{aligned} & \text{대기질 개선 측면에서의 경제적 가치(입자상 오염물질)} \\ & = \text{각 오염물질에 대한 전국 평균 감소량} \\ & \times \text{전 국토면적} \times \text{대기경계층 고도} \\ & \times \text{각 오염물질 kg당 사회적 한계 비용} \end{aligned} \quad \text{식(2-1)}$$

여기서, 대기경계층 고도는 1 km로 고정하였으며, 각 오염물질 kg당 사회적 한계 비용은 한국환경연구원에서 제시한 바와 같이 PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>에 대해 각각 26,837원, 8,220원, 6,832원, 9,233원으로 적용하였다. 각 오염물질의 농도는 국립환경과학원의 최종확정자료로부터 제공되는 강수기간 전일과 후일에 대해 산출되었다(에어코리아 > 통계정보 > 최종확정 측정자료 조회; [https://www.airkorea.or.kr/web/last\\_amb\\_hour\\_data?pMENU\\_NO=123](https://www.airkorea.or.kr/web/last_amb_hour_data?pMENU_NO=123)). 단, 가스상 오염물질(NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>)은 식(2-2)처럼 입자상 농도로 변환한 뒤 입자상 오염물질 산출식(식 2-1)에 적용한다.

입자상 농도(μg m<sup>-3</sup>)는 가스상 농도(ppb)와 각 오염물질의 분자량(g)을 곱한 후, 표준대기(0°C, 1 atm)에서의 기체 1 mol의 부피(L)를 나누어서 표현된다(KMA, 2015).

$$\begin{aligned} & \text{입자상 농도} = \text{가스상 농도} \times \text{오염물질 분자량} \\ & \div \text{표준대기의 기체 1 mol의 부피} \end{aligned} \quad \text{식(2-2)}$$

여기서, 각 가스상 오염물질의 분자량은 NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>에 대해 각각 46 g, 28 g, 64 g으로 적용하였고, 표준대기에 대한 기체 1 mol의 부피는 22.4 L로 고정하였다.

산불 예방 효과에 대한 산출식은 식(3)처럼 장마철 첫 강수 이전 20일간 전국에서 발생한 산불 피해 면적(ha = 10,000 m<sup>2</sup>)과 산림피해복구비용(원)의 곱으로 표현된다(KMA, 2015).

$$\begin{aligned} & \text{산불 예방 측면에서의 경제적 가치} \\ & = \text{산불피해면적} \times \text{산림피해복구비용} \end{aligned} \quad \text{식(3)}$$

여기서, 산불피해면적은 산림청에서 제공하는 2011년부터 2020년까지의 일별 산불위치 및 피해면적 자료를 활용하였으며(산림청 > 행정정보 > 산림통계 > 산불통계; [https://www.forest.go.kr/kfswb/kfi/kfs/frfr/selectFrfrStatsArea.do?mn=NKFS\\_02\\_02\\_01\\_05](https://www.forest.go.kr/kfswb/kfi/kfs/frfr/selectFrfrStatsArea.do?mn=NKFS_02_02_01_05)), 산림피해복구비용은 KMA (2015)에서 제시한 바와 같이 ha당 5,414,000원으로 적용하였다.

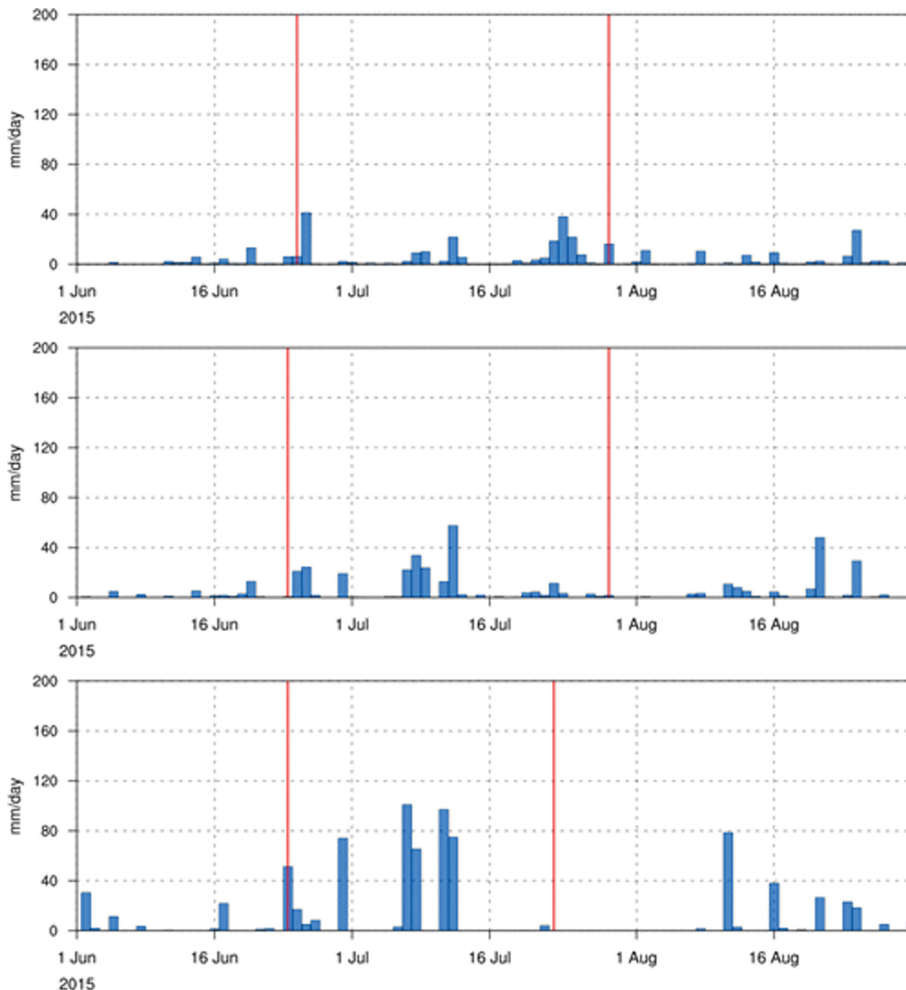
가뭄 경감 효과에 대한 산출식은 식(4)와 같이 해당연도의 장마철 첫 강수 이전 기간에 해당하는 지역의 가구 수와 가구당 가뭄고통비용(원)의 곱으로 표현된다(KMA, 2015).

$$\begin{aligned} & \text{가뭄 경감 측면에서의 경제적 가치} \\ & = \text{가뭄 해당지역 전체 가구 수} \\ & \times \text{가구당 가뭄고통비용} \end{aligned} \quad \text{식(4)}$$

여기서, 가뭄해당지역의 전체 가구수를 산출하기 위해 국가가뭄정보포털에서 제공되는 제한, 운반급수 발생 상세현황 자료를 사용하였으며(<https://www.drought.go.kr/menu/onemap/oneMapMain.do?pagenm=damages>), 가구당 가뭄고통비용은 KMA (2015)에서 제시한 바와 같이 28,721원으로 적용하였다.

**Table 1.** Selected Changma years and individual Changma periods.

Year	Region	Changma Period	Selected Period
2015	Central region	6/25~7/29	6/24~6/27
	Southern region	6/24~7/29	
	Jeju	6/24~7/23	
	Total	6/24~7/29	
2019	Central region	6/26~7/29	6/26~6/29
	Southern region	6/26~7/28	
	Jeju	6/26~7/19	
	Total	6/26~7/29	
2020	Central region	6/24~8/16	6/24~6/25
	Southern region	6/24~7/31	
	Jeju	6/10~7/28	
	Total	6/10~8/16	

**Fig. 2.** Time series of precipitation rate during the Changma period for central, southern and Jeju regions for year 2015. The red vertical lines are denoted as the beginning and termination dates of Changma.

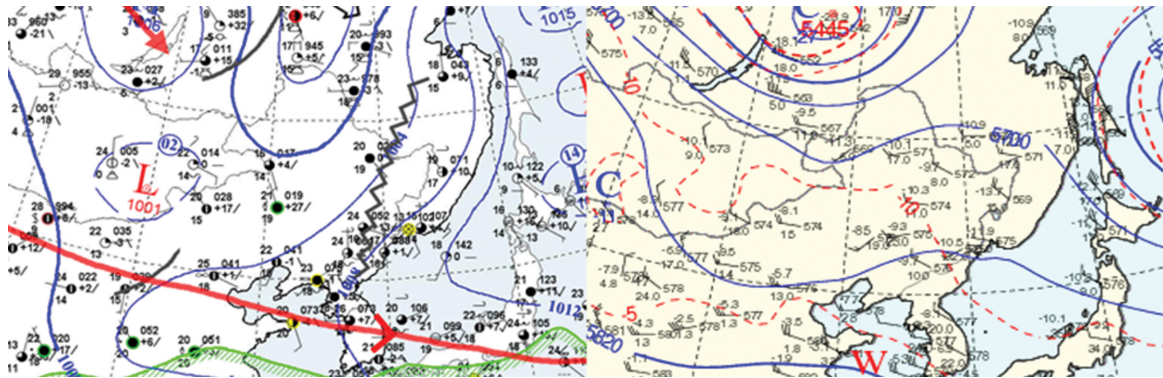


Fig. 3. Surface weather map (left) and 500-hPa geopotential height map (right) at the beginning date (at 2100 LST on June 24) of 2015 Changma.

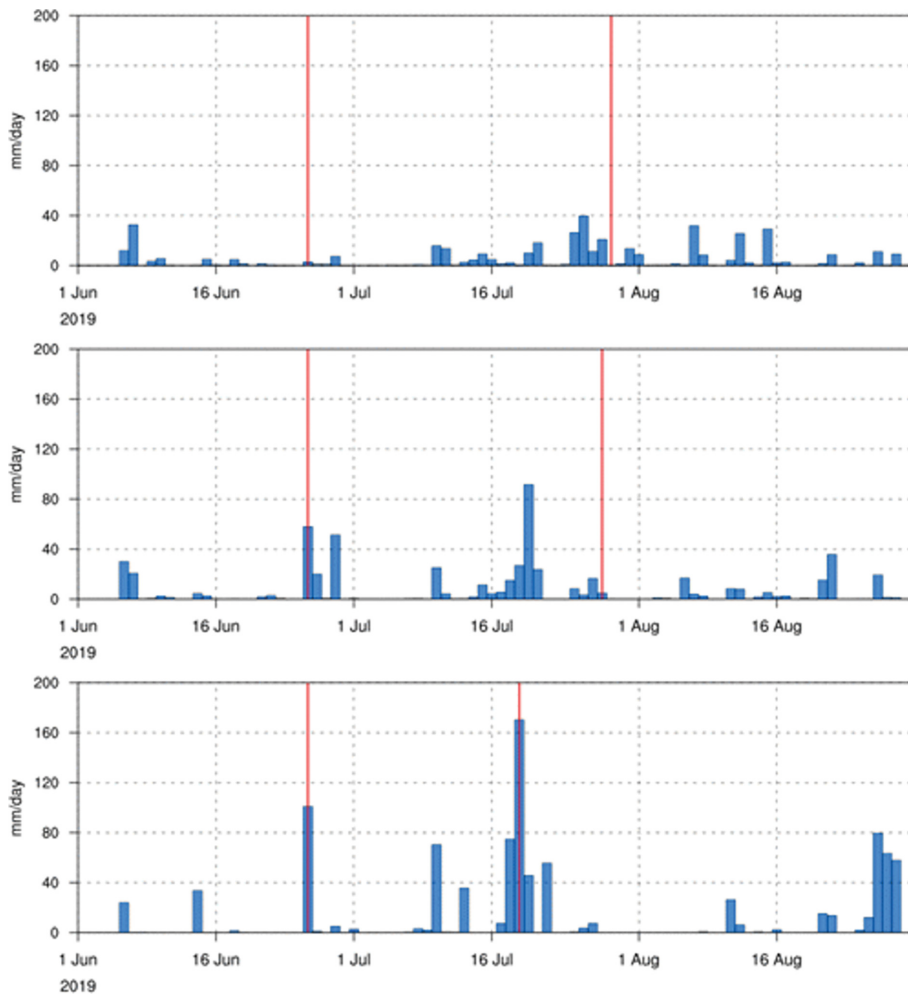


Fig. 4. Time series of precipitation rate during the Changma period for central, southern and Jeju regions for year 2019. The red vertical lines are denoted as the beginning and termination dates of Changma.

### 3. 선정 사례

최근의 장마 사례 중 장마철 처음 내리는 강수에 대한 경제적 가치를 추산하였다. 선정된 사례는 Table 1과 같다. 해당 연도의 중부·남부·제주 등 지역별 장마 시종 및 기간이 나타나 있다. 2015년의 경우, Table 1과 Fig. 2에 제시된 바와 같이, 장마의 시작일은 각각 제주, 남부, 중부 순으로 6월 24일, 6월 24일, 6월 25일이었다. 전국적으로 장마철 첫 강수 기간을 6월 24일부터 27일까지의 4일 간의 강수로 선정하였다. 해당기간의 각 지방별 총 강수량은 각각 337.5 mm(중부), 365.8 mm(남부), 40.8 mm(제주)으로 관측되었으며, 해당기간에 대한 전국 평균 강수량은 12.8 mm으로 관측되었다. 2015년 장마는 지상일기도에서 보이듯이 북태평양고기압 기단과 그 북쪽의 차가운 오호츠크해고기압 기단 사이에 형성된 정체전선이 북진하면서 시작되었다(Fig. 3). 이러한 동서로 뻗어있는 정체전선에 의한 장마의 시작은 전체의 70~80%를 차지하고 있다. 500 hPa 기압면에서는 5820 gpm선이 한반도 남부지방 및 제주도에 걸쳐 있는데 주로 이 등고선이 주로 한반도의 장마 시작을 알리는 선으로 널리 알려져 있다 (Seo et al., 2011). 2015년에는 이렇게 북쪽의 상층 한기의 우세에 의해 장마전선이 주로 한반도 남쪽에 머물러 평년대비 67% 정도의 강수가 내렸다.

2019년의 경우, Table 1과 Fig. 4에 제시된 바와 같이, 장마의 시작일은 전국 모두 6월 26일이었다. 전국적으로 장마철 첫 강수 기간을 6월 26일부터 29일까지의 4일 간의 강수로 선정하였다. 해당기간의 각 지

방별 총 강수량은 각각 103.2 mm(중부), 1,009.8 mm(남부), 53.6 mm(제주)으로 관측되었으며, 해당기간에 대한 전국 평균 강수량은 20.1 mm으로 관측되었다. 2019년의 경우는 지상일기도에서 보이듯이 2015년의 동서로 긴 정체전선에 의한 것보다는 짧게 형성된 정체전선에 의해서 시작되었다(Fig. 5). 북태평양고기압의 배경하에서 남쪽의 열대저압부로부터 습윤한 공기의 북쪽 이류가 많은 상태에서 북쪽에는 찬 기단의 대치로 정체전선이 발생하였고 이 전선이 북진하며 장마가 시작되었다. 500 hPa 기압면에서는 5820 gpm선이 남서-북동 방향으로 기울어져 보이고 한반도 동남부를 지나가고 있다. 장마 이전과 시작 후 이렇게 한반도나 그 부근에 찬 기압골이 존재하여 북태평양고기압과 장마전선의 북상이 저지되는 상황이 빈번히 발생하였다.

2020년의 경우, Table 1과 Fig. 6에 제시된 바와 같이, 장마의 시작일은 각각 제주, 남부, 중부 순으로 6월 10일, 6월 24일, 6월 24일이었다. 전국적으로 장마철 첫 강수 기간을 6월 24일부터 25일까지의 2일 간의 강수로 선정하였다. 해당기간의 각 지방별 총 강수량은 각각 217.5 mm(중부), 455.1 mm(남부), 101.4 mm(제주)으로 관측되었으며, 해당기간에 대한 전국 평균 강수량은 13.3 mm으로 관측되었다. 2020년 장마는 중국에서 발생한 저기압이 북태평양고기압의 북서연변을 따라 한반도 서해를 지나면서 발생하였다(Fig. 7). 서해에서의 많은 수증기를 원천으로 세력을 키우면서 한반도를 관통하면서 장마가 시작되었다. 이 경우 5820 gpm선은 남부지방을 덮고 있다. 이 2020년

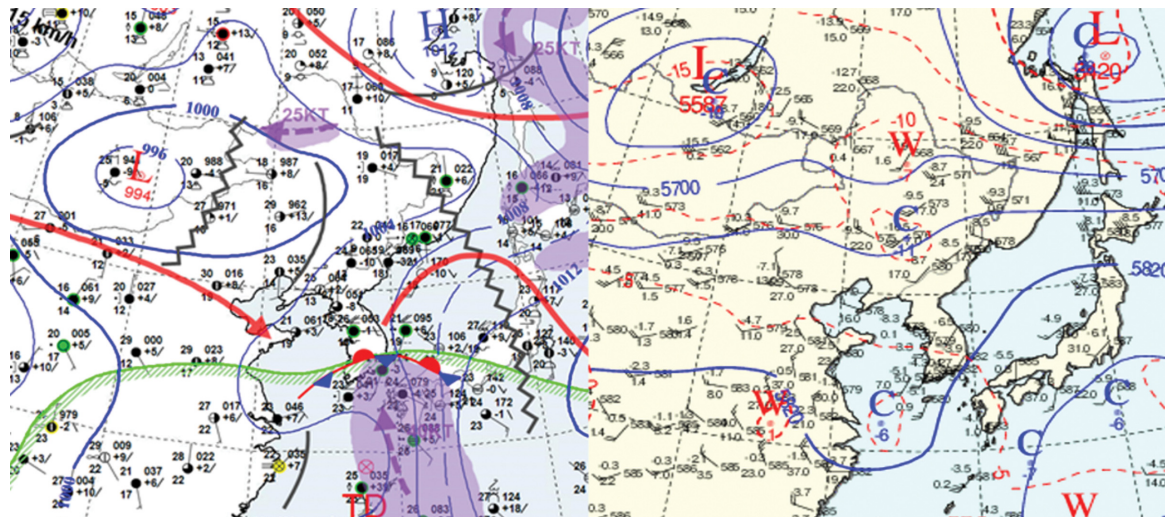
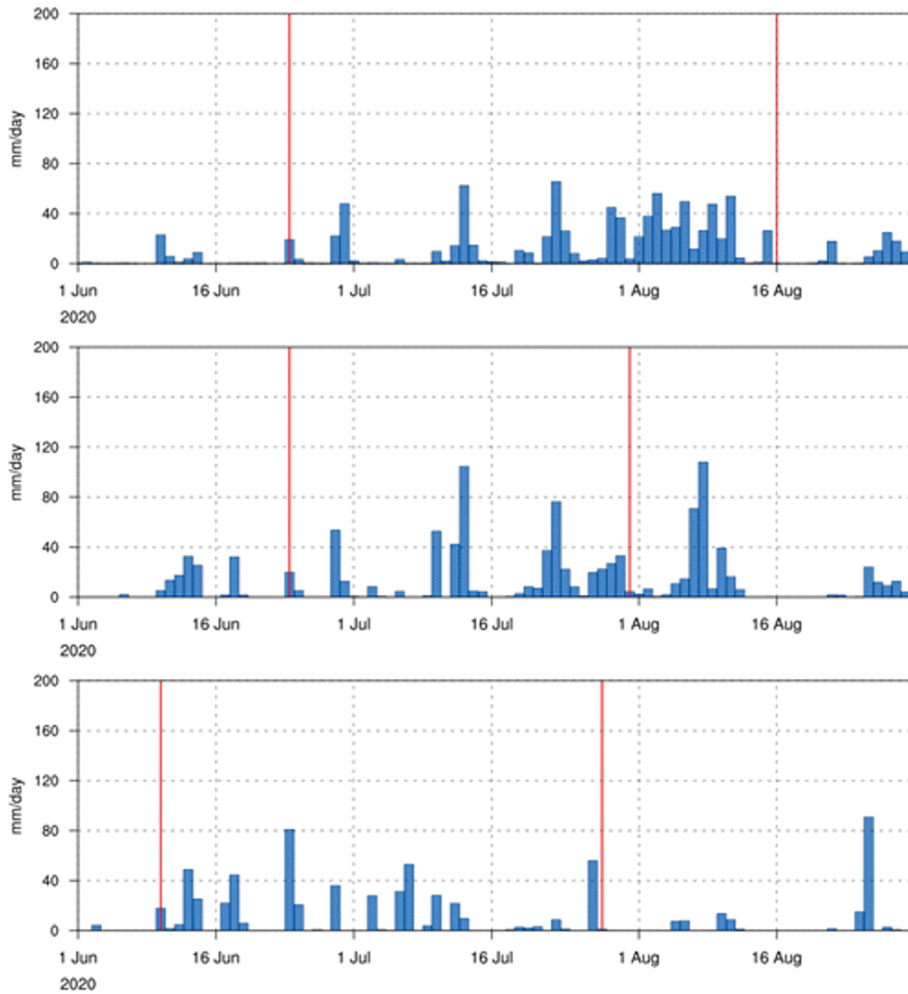
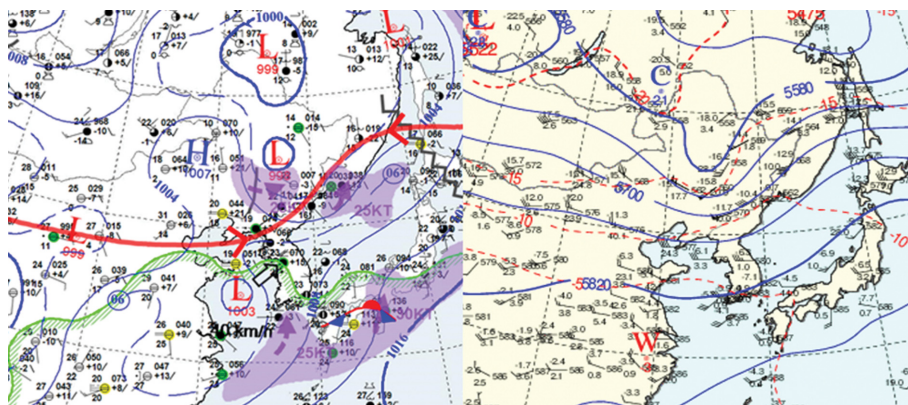


Fig. 5. Surface weather map (left) and 500-hPa geopotential height map (right) at the beginning date (at 2100 LST on June 26) of 2019 Changma.



**Fig. 6.** Time series of precipitation rate during the Changma period for central, southern and Jeju regions for year 2020. The red vertical lines are denoted as the beginning and termination dates of Changma.



**Fig. 7.** Surface weather map (left) and 500-hPa geopotential height map (right) at the beginning date (at 2100 LST on June 10) of 2020 Changma.

장마는 중부지방 기준 최장기간의 장마 기간을 보여 주었고 전국 강수량은 693.4 mm로 1973년 이래 2위를 기록하였다.

#### 4. 분석 및 결과

장마철 첫 강수의 경제적 가치를 추산하기 위해 KMA (2015)에 제시된 것처럼 수자원 확보, 대기질 개선, 산불 예방 효과, 가뭄 경감 효과의 네 항목에 대해서 그 가치를 추산하여 합하였다.

##### 4.1 수자원 확보

수자원 확보 측면에서 Table 1에 제시된 장마철 첫 강수 기간에 내린 전국 평균 강수량의 경제적 가치는

Table 2와 같이 각각 93억, 153억, 101억 원으로 평가되었다. 수자원 확보 산출식은 식(1)에서 제시된 것처럼 전국 평균 강수량, 전 국토면적, 유출율, 원수 판매율, m<sup>3</sup>당 용수 가격으로 표현된다.

##### 4.2 대기질 개선

장마철 첫 강수 기간에 내린 비에 의해 Table 3과 같이 해당 기간을 기준으로 전국 평균 미세먼지 농도가 각각 13.9, 3.5, 15.4  $\mu\text{g m}^{-3}$  정도 감소하는 효과가 나타났다. 이에 대한 경제적 가치는 각각 1,333억, 394억, 894억 원으로 평가되었다. 식(2-1), 식(2-2)에서 제시된 것처럼 입자상(미세먼지, PM<sub>10</sub>) 또는 가스상 오염물질(이산화질소, NO<sub>2</sub>; 일산화탄소, CO; 이산화황, SO<sub>2</sub>)에 따라 산출방법이 다르게 표현된다(KMA, 2015).

**Table 2.** Summary of an economic value for water resource acquisition for selected years.

Year	Average precipitation (mm)	Total land area (km <sup>2</sup> )	Runoff rate	Water sales rate	Water price per m <sup>3</sup> (won)	Economic value (won)	Economic value (hundred million won)
2015	12.8	100,295.4	0.4	0.36	50.3	9,298,683,408	93.0
2019	20.1	100,410.3	0.4	0.36	52.7	15,314,700,247	153.1
2020	13.3	100,412.6	0.4	0.36	52.7	10,134,748,147	101.3

**Table 3.** Summary of an economic value for air quality improvement for selected years.

Year	Selected period	Pollutant	Previous day	Following day	Concentration difference	Economic value (hundred million won)	Total value (hundred million won)
2015	6/24~6/27	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	41.5	27.6	13.9	374.1	1332.8
		NO <sub>2</sub> (ppb)	0.022	0.015	0.007	118.5	
		CO (ppb)	0.454	0.359	0.095	813.7	
		SO <sub>2</sub> (ppb)	0.005	0.004	0.001	26.5	
2019	6/26~6/29	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	33.9	30.4	3.5	94.3	393.6
		NO <sub>2</sub> (ppb)	0.018	0.010	0.008	135.6	
		CO (ppb)	0.396	0.380	0.016	137.2	
		SO <sub>2</sub> (ppb)	0.004	0.003	0.001	26.5	
2020	6/24~6/25	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	37.5	22.1	15.4	415.0	894.4
		NO <sub>2</sub> (ppb)	0.017	0.010	0.007	118.5	
		CO (ppb)	0.415	0.378	0.037	317.3	
		SO <sub>2</sub> (ppb)	0.003	0.002	0.001	26.5	

**Table 4.** Summary of an economic value for forest fire prevention for selected years.

Year	Forest fire area (ha)	Forest damage recovery cost	Economic value (won)	Economic value (hundred million won)
2015	28.0	5,414,000	151,592,000	1.51
2019	3.2	5,414,000	17,324,800	0.17
2020	4.4	5,414,000	23,821,600	0.24

**Table 5.** Summary of an economic value for drought mitigation for selected years.

Year	Total number of households for drought disaster area	Drought disaster cost per household	Economic value (won)	Economic value (hundred million won)
2015	89,044	28,721	2,557,432,724	25.6
2019	4,193	28,721	120,427,153	1.2
2020	5,920	28,721	170,028,320	1.7

**Table 6.** Summary of a total economic values for selected years.

Year	Period	Average precipitation (mm)	Water resource acquisition (hundred million won)	Air quality improvement (hundred million won)	Forest fire prevention (hundred million won)	Drought mitigation (hundred million won)	Economic value (hundred million won)
2015	4 days	12.8	93.0	1332.8	1.51	25.6	1452.9
2019	4 days	20.1	153.1	393.6	0.17	1.2	548.1
2020	2 days	13.3	101.3	894.4	0.24	1.7	997.6

**4.3 산불 예방 효과**

Table 1과 Table 4에 제시된 장마철 첫 강수 이전 20일간 전국에서 발생한 산불피해면적 및 피해복구비용으로 환산된 산불 예방 효과의 경제적 가치는 각각 1억 5천만 원, 1,700만 원, 2,400만 원으로 평가되었다. 산림청에서 제공된 최근 10년간(2011~2020년) 산불통계현황을 바탕으로 장마 시작 전 6월 초부터 발생한 산출피해면적(ha)을 적용하였으며, ha당 피해복구비용은 541만 4천 원으로 적용하였다(KMA, 2015).

**4.4 가뭄 경감 효과**

장마철 첫 강수로 인한 가뭄해소지역의 고통비용을 적용한 가뭄 경감 효과의 경제적 가치는 Table 5와 같이 각각 26억 원, 1억 2천만 원, 1억 7천만 원으로 평가되었다. 가뭄 해당 지역의 전체 가구 수는 국가가뭄정보포털에서 제공되는 제한, 운반급수 발생 상세현황으로 산출하였으며, 해당 연도의 장마철 첫 강수 이전 기간에 해당하는 지역의 가구 수로 적용하였다. 또한 가구당 가뭄고통비용은 가구당 28,721원으로 적용되었다(KMA, 2015).

**4.5 항목별 경제적 가치 산정결과**

최근 우리나라 장마 기간에 해당하는 세 가지 사례를 위주로 장마철 첫 강수의 경제적 가치를 살펴보았다. Table 6과 같이 전반적으로 강수의 세정효과에 따른 대기질 개선 효과가 가장 높았으며, 연간 총강수량의 반 이상을 차지하는 여름철 강수량인 만큼 수자원 확보 효과도 크게 평가되었다. 그 다음으로 가뭄 경감 효과, 산불 예방 측면에서도 경제적 효과를 볼 수 있다. 따라서 장마철 내리는 강수에 대한 다양한

측면에서의 경제적 효과를 산출함으로써 기상자원의 활용률을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

**5. 요약**

장마철 첫 강수의 경제적 가치를 추산하기 위해 수자원 확보, 대기질 개선, 산불 예방 효과, 가뭄 경감 효과의 네 항목에 대해서 그 가치를 추산하여 합하였다. 본 연구는 장마의 시작에 동반된 강수에 의한 경제적 가치를 추산하는 첫 논문에 해당한다. 선택된 세 경우에 대해 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 최근 우리나라 장마 기간에 해당하는 세 가지 사례(2015년, 2019년, 2020년)를 위주로 장마철 첫 강수의 경제적 가치를 평가한 결과, 강수의 세정 효과에 따른 대기질 개선 효과(전체의 70~90%를 차지)가 가장 높았으며, 수자원 확보, 가뭄 경감, 산불 예방 순으로 경제적 효과를 볼 수 있다.
- 2) 장마철 첫 강수의 경제적 가치는 500억~1,500억 정도로 추정된다.
- 3) 한편 물가상승률(국가지표체계; <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4226>)을 고려하였을 때의 경제적 가치는 2019년 및 2020년은 2015년 대비 4.9%와 5.4%의 물가상승률이 있기 때문에 그 때의 548~998억원은 574~1,052억 정도로 추산된다.

본 연구는 장마철 첫 강수에 대한 경제적 가치를 특정한 연도(2015년, 2019년, 2020년)의 특정한 항목(수자원 확보, 대기질 개선, 산불 예방 효과, 가뭄 경감 효과)에 대해 한정적으로 평가하였다. 앞으로 30년 이상의 과거 자료에 이러한 방법을 적용하여 안정

적인 통계를 생산할 필요가 있다. 물론 매해 장마 시작의 모습은 달라서 장마 첫 강수를 정의하기에 쉽지 않을 수도 있을 것이다. 가령 정체전선이나 이동성 저기압에 의해 특정 지역만 아주 짧은 시간에 첫 강수가 내리는 경우라든지 또는 이와 반대로 장마의 시작 후에 장기간 동안 계속하여 한반도에 강수를 내리는 경우 등 다양한 모습이 있기에 이에 대한 각각의 상황을 잘 파악하여야 한다.

또한 본 연구에서 사용한 네 가지 경제적 측면 외에 다양한 부분에서 경제적 효과를 발생시킬 수 있다. 예를 들면, 강수로 인한 댐 유역에서의 물 유입을 통해 수질 개선 효과를 가져올 수 있고 도시의 열섬 효과와 열대야를 악화시키는 냉방효과를 들 수 있다. 더 나아가 장마철 강수로 인한 기업의 마케팅 전략에도 활용될 수 있다. 가령, 장마 기간과 강도를 미리 예측하여 신발, 비옷 등의 판매 및 재고 전략을 통해 기업의 매출을 높일 수 있다. 따라서 다양한 방법에서의 경제적 가치를 모두 고려한다면 본 연구에서에서 측정된 가치보다 훨씬 더 높게 평가될 것으로 사료된다. 좀더 포괄적인 범위에서의 경제적 가치를 산출하기 위해서 경제, 수자원, 환경, 농업, 생활적인 측면 등을 포함한 다양한 측면에서의 평가가 필요할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음. 유익한 제언을 해 주신 심사위원님께 감사드립니다.

### REFERENCES

- KMA, 2012: *White Note on Changma 2011*, Korea Meteorological Administration, 267 pp (in Korean).
- \_\_\_\_\_, 2015: An economic value of spring precipitation during 2015 drought spell? Korea Meteorological Administration, 4 pp [Available online at [http://www.nims.go.kr/?cate=1&sub\\_num=755&pageNo=9&state=view&idx=658](http://www.nims.go.kr/?cate=1&sub_num=755&pageNo=9&state=view&idx=658)] (in Korean).
- KRI, 2020: *K-water Research Institute Annual Report*. K-water Research Institute, 89 pp (in Korean).
- Lee, S. W., K. Lee, J.-Y. Kim, and B.-J. Kim, 2014: Impact of Changma on the retail sales in Jeju. *J. Climate Res.*, **9**, 303-314, doi:10.14383/cri.2014.9.4.301 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.-G., B.-J. Kim, K.-U. Cha, G.-U. Park, and K.-S. Ryoo, 2010: A study on the positive economic values of rain after a long drought: for the rainfall case of 20~21 April, 2009. *Atmosphere*, **20**, 173-186 (in Korean with English abstract).
- NFA, 2019: White Note on Fire Disaster 2018. National Fire Agency, 189 pp (in Korean).
- Park, S.-Y., K.-S. Ryoo, J.-Y. Kim, and B.-J. Kim, 2014: The case study of economic value assessment of spring rainfall in the aspect of water resources. *J. Environ. Sci. Int.*, **23**, 193-205, doi:10.5322/JESI.2014.23.2.193 (in Korean with English abstract).
- Seo, K.-H., J.-H. Son, and J.-Y. Lee, 2011: A new look at Changma. *Atmosphere*, **21**, 109-121, doi:10.14191/Atmos.2011.21.1.109 (in Korean with English abstract).
- Wang, B., 2006: *The Asian Monsoon*. Springer, 845 pp.