

발간등록번호
11-1360000-000085-14



Korea
Meteorological
Administration

장마백서

2011





장마는 태풍과 더불어 자연재해를 일으키는 대표적인 현상 중 하나입니다. 장마 전선에 동반된 집중호우는 지하철, 상가·주택, 농경지 등을 침수시키고, 철도·도로, 교량 등 시설물을 파괴하며, 산사태 등으로 인한 인명 피해를 일으키기도 합니다. 실제로 2006년 장마기간 동안에 내린 집중호우로 2조원이 넘는 재산 피해와 함께 약 2800여명의 이재민이 발생한 바 있습니다.

주로 7월에 집중되는 장마 재해는 전체 기상재해 발생빈도의 30%를 차지하고 있으며, 우리의 일상생활은 물론 산업과 경제활동에도 많은 피해를 주고 있습니다. 장마기간에 내리는 강수량은 400~650mm 정도로서 연강수량의 약 30%를 차지하는데, 이는 수자원 확보 측면에서 매우 중요한 의미가 있습니다. 소위 마른장마 때처럼 장마기간에 강수량이 적고 태풍에 의한 강수도 적은 해에는 이듬해 장마 때까지 심각한 가뭄에 직면할 수 있기 때문입니다.

이와 같이 장마가 우리사회에 직·간접적으로 미치는 영향이 상당히 크기 때문에 장마에 대한 체계적인 연구와 조사가 필요하며, 충분한 사전 대비책이 마련되고 또한 지속적으로 보완될 필요가 있습니다. 1995년에 기상청이 『장마백서』를 처음으로 발간한 이래 지금까지 장마를 포함한 동아시아 몬순현상에 대하여 전세계적으로 괄목할 만한 관측기술의 발전과 함께 특성 규명 등 과학적 이해에 있어서도 큰 진전이 이루어져 왔습니다.

이번에 기상청이 장마의 기후학적 특성과 변동성 등 그동안에 이루어진 연구와 분석결과를 종합적으로 집대성한 『장마백서 2011』을 발간하게 된 것을 매우 뜻 깊고 또한 기쁘게 생각합니다. 아무쪼록 본 백서가 장마철의 재해 방지대책수립 등 정부의 정책결정 과정과 각종 산업 활동에 널리 활용될 수 있기를 바랍니다.

2011. 6.


기상청장 조 석 준

시작하는 글

2011
장마백서

본 장마백서는 우리나라의 주요 강수 시기인 장마의 기본적인 현상을 설명하고, 생성 원인 및 계절내·경년·수십년 변동 특징을 분석한다. 특히 기후학적인 관점에서 장마는 동아시아 몬순 시스템의 일부이며, 열대 및 극지역의 서로 다른 시간규모를 가진 기후 현상들과 서로 긴밀한 상호 작용을 하는 전지구 대기 해양 시스템의 중요한 요소로서 이해 될 수 있다. 이에 본 장마 백서는 1990년대 이후 발표된 많은 연구 결과를 바탕으로 기후학적인 결과를 첨가하여 장마 현상을 기술 하는데 중점을 두었다. 또한, 장마 기간 중의 집중 호우 빈도 및 그에 따른 재해 상황 분석을 통해 자연재해 위험 관리에 대해 논의한다. 또한, 최신 기술의 대기-해양 접합 모형들을 이용해 미래의 장마 변화 양상을 예측한다. 마지막으로, 장마의 긍정적인 측면을 제시한다.

장마는 기상·기후학적으로 중요한 현상일 뿐 아니라, 일상생활과 매우 밀접한 현상이며, 사회·경제적으로 미치는 영향이 크다. 기후학적으로 6월 말경에 시작해서 7월 말경에 종료 되는 첫 번째 장마 기간과 8월 중순 말 또는 하순에 시작해서 9월 초에 종료되는 두 번째 장마 기간 중의 전체 강수량은 우리나라 전체적인 물수지에 가장 중요한 요소이다. 반면 장마 기간 중의 집중 호우는 농업·토목·운송 등 여러 사회·경제적 활동에 큰 재해를 초래할 수 있다. 따라서 본 장마백서가 장마의 원인 및 그 현상을 지배하는 주요 역학·물리 과정을 이해하는 데 도움이 되기를 바라며, 최종적으로 기상 및 기후 위험 관리를 통한 사회·경제적 손실을 줄이는 데 기여할 수 있기를 바란다.



책임 집필 위원
서경환·이준이

요약

장마는 여름철 우리나라에 오랜 기간 많은 비를 내리는 주요 강수 현상으로 동아시아 몬순 시스템의 일부이다. 6월 말경부터 7월 말경까지의 약 한달간의 장마기간 동안 내리는 강수는 400 ~ 650 mm 으로 연 총 강수량의 약 30%를 차지한다. 한국의 장마는 중국의 메이유 및 일본의 바이우와 유사한 특징을 가진다고 인식되고 있지만 실제로 더 복잡한 현상이다. 즉, 일본의 바이우는 해양성 온대 기단과 해양성 한대 기단에 의해 생성되고 경계면에서 온도와 습도차이가 많이 나는 반면, 중국의 메이유는 열대 몬순 기단과 온대 대륙성 기단에 의해 생기며 경계를 따라 습도의 차이가 큰 특징이 있다. 한반도의 장마는 해양성 온대 기단인 북태평양 고기압과 해양성 한대 기단인 오호츠크해 고기압의 대치에 의한 온도와 습도차이에 의해 대체로 형성되지만, 중국의 메이유와 관련된 나머지 두 기단의 영향을 받을 때가 있다. 또한 북극 진동과 관련된 한대 기단이 간헐적으로 남쪽까지 세력을 확장하면서 남쪽의 열대 기단과 경계면을 형성해 장마에 영향을 준다. 따라서 한반도 장마를 이해하기 위해서는 기존에 강조되던 오호츠크해 기단과 북태평양 기단 뿐만 아니라 서로 성질이 다른 5개의 기단의 움직임을 모두 고려해야만 한다. 장마의 발달과 진행에 영향을 주는 주요 대기 순환 요소는 크게 하층 수증기 유입량, 북태평양 고기압의 북상, 상층제트의 강화 등을 들 수 있다.

장마 기간은 장마 시작일 보다 장마 종료일의 변동에 더 크게 좌우되는 특성이 있다. 1차 우기 (장마)의 시작은 북태평양 고기압 세력의 북쪽방향 확장이, 2차 우기 (가을장마)의 시작은 오호츠크해 고기압 세력의 남쪽방향 확장이 주요한 요소로 작용한다. 1990년대 중반(1994~1996) 이후로 장마의 종료 시점 및 2차 우기의 시종 시점이 빨라지는 경향이 있다. 이에 따라 전통적으로 장마와 2차 우기 사이에 존재했던 상대적인 건조기가 짧아지고, 두 강수 시기의 세기가 비슷해지는 경향을 보인다. 한편, 서울의 측우기 관측 자료를 분석한 결과, 한반도의 장마 강수의 최고 시점은 200년 전에 비해 약 20일 정도 늦어진 것에 해당한다.

장마기간에 발생하는 정체전선과 동반된 깊은 대류운 시스템에 의해 집중호우가 발생된다. 최근 10년 동안 호우 및 집중호우 빈도가 증가하였다. 80 mm 이상의 강수가 7월과 8월에 60% 이상 집중되는 특징을 가진다. 장마로 인한 재해는 전체 기상재해 발생 빈도에서 약 30%를 차지하며, 장마 기간인 7월에 집중되는 경향을 보인다. 최근 호우에 의한 재해 발생 빈도는 연 10회 정도 발생한다.

장마를 포함하는 동아시아 몬순은 여러 가지 다른 기후 시스템과 다양한 시간 규모에서 상호작용한다. 연주기와 계절내 변동, 이 두 요소에 의해 장마의 강도, 시작과 종료 시점 및 2차 우기의 시점이 결정된다. 경년 변동의 관점에서 보면, 장마와 필리핀 근해 및 남지나해 지역 몬순인 북서 태평양 몬순은 북서태평양-동아시아 원격 상관계수에 의해 음의 상관관계를 가지며, 장마와 인도몬순은 북반구 전체 원격 상관 패턴을 통해 음의 상관관계를 가진다. 봄철 유라시아 서쪽지역의 눈덮이가 평년에 비해 많고 동쪽지역 눈덮이는 적을 경우 우리나라 여름철 강수가 증가하는 경향을 보인다. 그리고 봄철 강한 양의 북극 진동은 오호츠크해 기압능을 강화시키고 장마를 강화시키는 역할을 한다. 또한 엘니뇨 역시 중요한 관계를 가지는데, 장마 강수는 동태평양의 엘니뇨가 발달하는 시기에 감소하는 경향이 있고 2차 우기의 경우는 동태평양의 엘니뇨가 발달하는 시기에 감소하고 라니냐가 발달하는 시기에 증가하는 경향을 보인다. 해수면 온도와 대기 사이의 상호작용은 대류권 및 동아시아 몬순의 준 2년 주기 진동을 형성한다.

IPCC 4차 보고서에 사용된 역학 수치모델을 이용하여 장마의 미래변화에 대해 예측한 결과 21세기 후반의 한반도 여름철 강수량은 동서방향의 대륙과 해양의 지상 기온 차이의 증가와 하층의 수증기 수송 플럭스의 증가에 의해 20%까지 증가할 것으로 전망 한다. 특히, 적은 대류형 강수량은 대기 불안정도의 증가에 의해 현재보다 최대 40% 이상 증가 할 것으로 예상 된다.

C·o·n·t·e·n·t·s

제1장 장마의 현상 / 11

- 제1절 장마란 무엇인가? 12
- 제2절 해륙 분포 및 티베트 고원의 영향 20
- 제3절 전구 몬순 속의 장마 22

제2장 장마의 기후학적 특성 / 25

- 제1절 우리나라 연강수량의 계절 집중도 26
- 제2절 장마 시종 및 기간 32

제3장 장마 기간 집중호우 특성 / 45

- 제1절 집중호우 통계 46
- 제2절 중규모 호우계의 구조 54
- 제3절 장마 전선대 강수계의 다중규모 구조 60

제4장 장마의 변동성 / 65

- 제1절 장마 변동 특성 66
- 제2절 계절내 변동 및 연주기 68
- 제3절 경년 변동성 72
- 제4절 장주기 변동 92

제5장 장마와 재해 / 99

제1절 호우와 관련된 재해	100
제2절 호우 발생 사례와 재해	106

제6장 장마의 사회·경제적 영향 / 117

제1절 장마의 이점	118
제2절 미디어 속의 장마	126

부 록 / 149

Ⅰ. 사용한 기상·기후 자료 및 분석 기간	150
Ⅱ. 기후변화 시나리오로 본 장마의 미래변화	152
Ⅲ. 연도별 장마	162

참고문헌 / 262

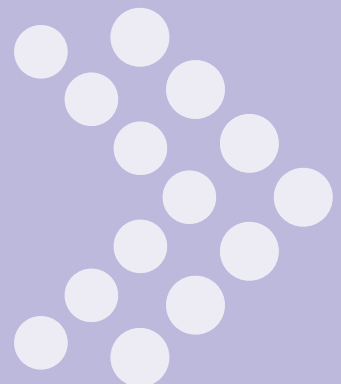


제1장 장마의 현상

제1절 장마란 무엇인가?

제2절 해륙 분포 및 티베트 고원의 영향

제3절 전구 몬순 속의 장마



제1절 장마란 무엇인가?

1 장마의 정의

장마란 오랜 기간 지속되는 비를 일컫는 말로, 1500년대 중반 이후부터 ‘오랜’의 한자어인 ‘장(長)’과 비를 의미하는 ‘마ᄃᆞᆫ’을 합성한 ‘당마ᄃᆞᆫ’로 표현되다가 1700년대 후반 ‘장마’로 표기, 일제강점기 이후에 ‘장마’로 변한 것으로 보인다. 장마의 어원에 따르면 장마란 단순히 오랜 기간 지속되는 비를 의미하지만 현재 통용되고 있는 장마의 의미는 두 가지 관점에서 나뉜다. 첫 번째는 전술한 바와 같이 오랜 기간 지속되는 비를 의미하는 것으로 일반인이 사용하는 장마의 개념이다. 반면, 두 번째는 기상학자들 사이에서 통용되는 개념으로, 장마전선에 의해 내리는 비를 의미 한다 (류상범 2001). 현재 기상청에서는 두 번째 관점에 따라 장마의 시점을 공표하기 때문에 일반인들이 느끼는 시점과 차이가 생길 수 있다. 본 백서 역시 장마 전선의 관점에서 장마를 기술하도록 하겠다.

장마 (Changma)는 우리나라의 주요 강수시기로, **동아시아 몬순** (East Asian monsoon) 시스템의 일부이다. 여름철 우리나라를 포함하는 동아시아 지역은 남쪽의 온난습윤한 열대성 기단과 북쪽의 한랭습윤한 한대성 기단이 만나서 형성되는 **정체전선**의 영향을 받는다. 전선이 걸쳐 있는 지역에는 강한 남서풍에 따른 습윤한 공기의 유입량이 증가하고 장기간 동안 많은 양의 비가 내린다. 이러한 현상을 우리나라는 장마, 중국은 **메이유** (Meiyu), 일본은 **바이우** (Baiu) 라고 부른다.

기후학적으로 6월 하순 우리나라 주변으로 상층 제트 기류가 북상하여 강한 경압불안정이 형성되고, 북태평양 고기압의 본격적인 발달과 더불어 하층 남서풍에 의한 습윤한 공기 유입이 강화되면서 장마가 시작 된다 [그림 1-1].



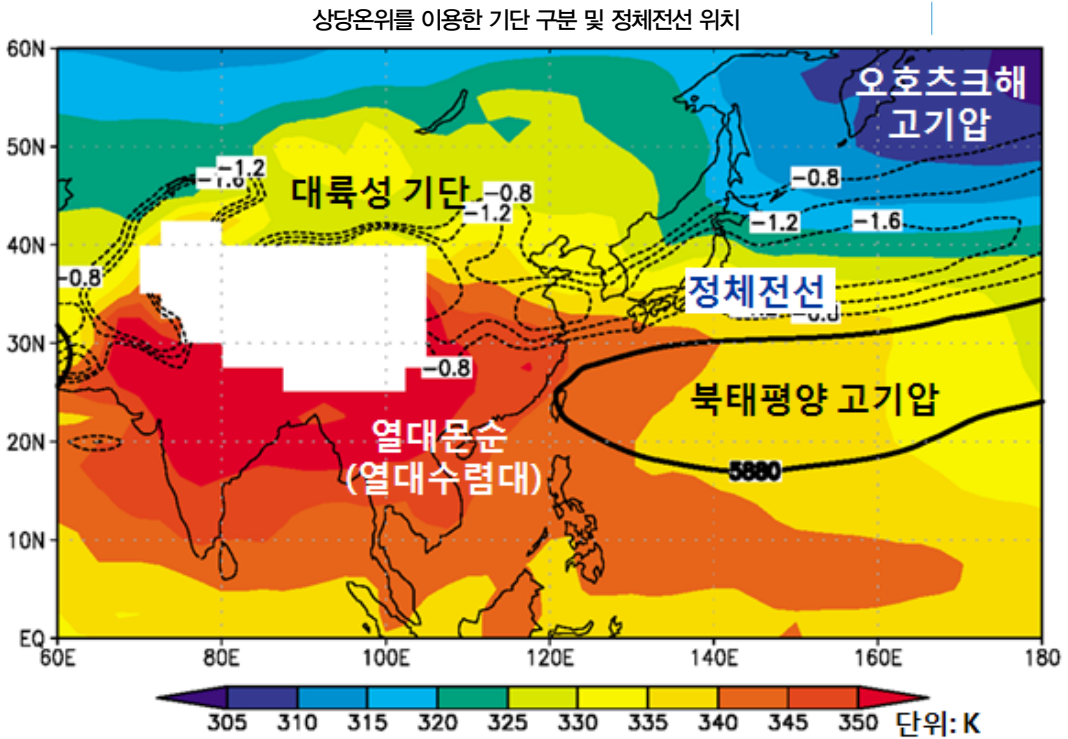
[그림 1-1] 장마 기간 동안 구름띠, 정체전선, 북태평양 고기압, 하층 수증기 유입 및 상층 제트 분포

2 장마 기간 기단 배치

장마의 정확한 이해를 위해서는 장마전선 형성에 영향을 주는 열역학적 성질이 서로 다른 기단들에 대한 이해가 필수적이다. 온도와 습도를 동시에 고려하는 상당온위의 분석을 통해 장마 형성에 영향을 주는 기단들의 배치 및 그에 따른 정체전선의 위치를 파악할 수 있다 [그림 1-2] (이 그림은 30년 평균 자료를 이용하여 그린 것으로, 자료에 대한 자세한 내용은 부록1의 사용한 기상·기후 자료 및 분석 기간을 참조). 일반적으로 메이유는 열대 몬순과 대륙성 기단 사이에서 발달하며, 바이우는 주로 열대 몬순 및 북태평양 고기압과 오호츠크해 기단 세력에 영향을 받는다. 하지만 장마는 다음 모든 기단의 영향을 받기 때문에 더욱 복잡한 특성을 보인다.

- 열대수렴대의 서쪽 끝부분 및 우리나라 남서쪽에 위치한 고온 다습한 열대몬순 기압골과 관련된 기단

- 우리나라 남동쪽에 위치한 온난한 기단으로, 열대 몬순 기단보다는 절대 수증기량이 적은 북태평양 고기압과 관련된 기단
- 우리나라 북동쪽에 위치한 한랭습윤한 오호츠크해 기단
- 우리나라 북서쪽에 위치한 상대적으로 고온건조한 대륙성 기단
- 우리나라 북쪽 고위도의 한대성 극기단



[그림 1-2] 장마 기간 동안 (6월 하순 ~ 7월 중순) 850-hPa 고도의 상당온위 (색, K) 및 상당온위 남북경도 (점선, 10^{-5} K m^{-1}), 그리고 500-hPa 고도의 5880 gpm 선 (굵은 실선) (서경환 등 2011)

북태평양 고기압과 오호츠크해 기단의 대치에 크게 영향을 받는 해가 있는 반면, 열대 몬순 기압골의 영향이 더 큰 해도 있다. 또한 강한 북극진동과 연관된 한대 대륙성 기단이 한반도의 장마에 영향을 강하게 미치는 시기도 있다. 따라서 해마다 정체전선의 형성 및 위치, 장마의 시종, 기간, 강도가 큰 폭으로 변화한다. [표 1-1]은 각 기단의 특징을 요약한 것이며, [그림 1-3]은 각 기단의 배치를 모식화한 것이다.

정체전선은 상당온위의 남북경도가 음의 최소값을 나타내는 지역, 즉 기단들의 열역학적 차이가 가

장 큰 지역에 위치한다 (그림 1-2 흑색 점선). 메이유는 일반적으로 온난습윤한 열대 몬순과 온난건조한 대륙성 기단 사이의 습도 차이가 크게 나타나는 특징이 있는 반면, 바이우는 한랭습윤한 오호츠크해 고기압과 온난습윤한 북태평양 고기압 사이에서 온도와 습도 차이가 모두 크게 나타나는 특징이 있다. 하지만 경도 상으로 중간에 위치하는 한반도의 장마는 주변 모든 기단에 의해 영향을 받으므로 복잡한 양상을 띤다. 즉, 기본적으로 기단 사이 온도와 습도 차가 모두 큰 특징을 보이고 있지만 경년 또는 계절내에서 습도 차이가 많이 나는 기단의 영향을 받을 때도 있다.

[표 1-1] 우리나라 장마 기간에 영향을 주는 기단 및 그 특징

기단 종류	주요 특징
열대몬순 기압골	우리나라 남서쪽 상당온위가 340 K 이상이며 많은 양의 강수를 동반한 영역. 고온다습한 기단
북태평양 고기압	우리나라 남동쪽 500-hPa 고도 5880 gpm 선을 따라 상당온위 값이 335 ~ 345 K 인 영역. 온난하며 열대몬순에 비해 상대적으로 더 건조하지만 오호츠크해 기단에 비해 상대적으로 더 습윤한 기단
오호츠크해 기단	우리나라 북동쪽 상당온위가 325 K 보다 낮은 영역 한랭습윤한 기단
대륙성 기단	우리나라 북서쪽 상당온위가 325 ~ 340 K 인 영역 온난건조한 기단
극 기단	북극진동에 의해 간헐적으로 장마에 영향을 미치는 한대 기단

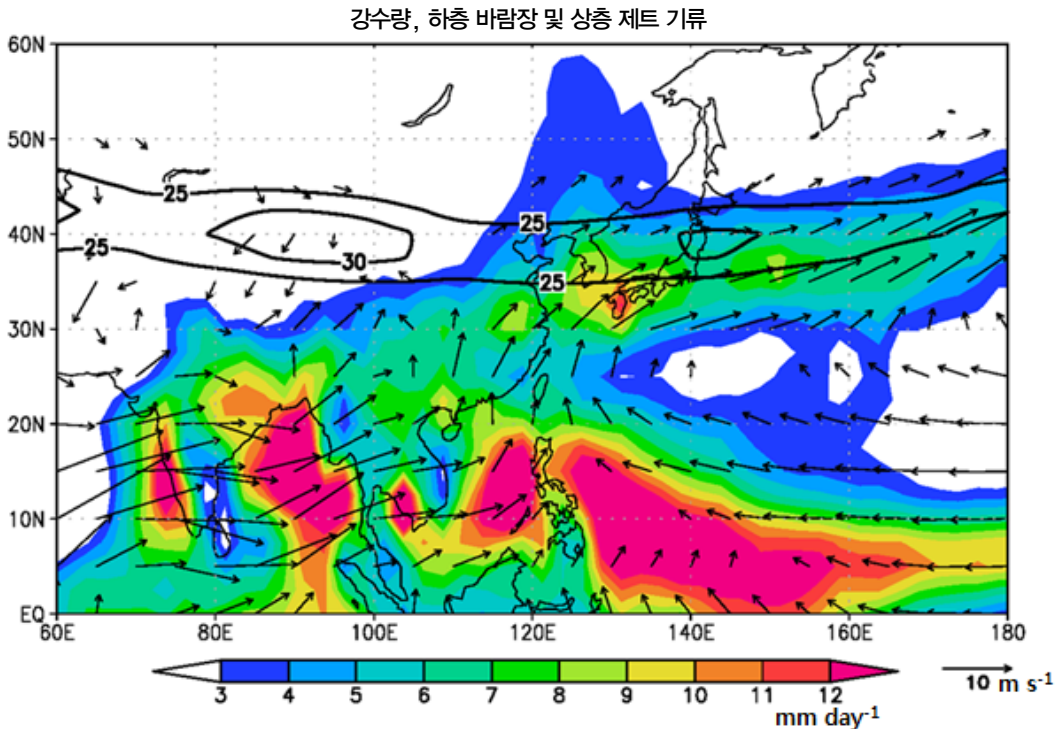


[그림 1-3] 장마 시기 기단의 배치 (서경환 등 2011)

3 장마에 영향을 주는 대기 순환

장마 기간 동안 한반도 주변의 대기 하층부에서는 해양에서 대륙으로의 습윤한 공기 유입이 매우 활발하게 일어난다. 한반도는 북태평양 고기압의 가장자리를 돌아 불어오는 남서/남동 기류와, 멀리 벵골 만과 동남아시아를 거쳐 중국 동해안을 거쳐 불어오는 해양성 남서기류의 영향을 동시에 받게 된다. 때로는 인도양 쪽에서 불어 오는 남서기류가 북태평양 고기압을 따라 부는 남서기류와 합류하여 한반도 장마에 영향을 준다 [그림 1-4].

북태평양 고기압 세력의 변화는 장마 전선의 지속과 활동에 직접적인 영향을 미친다. 북태평양에 중심을 잡은 고기압이 동아시아 대륙이 있는 서쪽으로 세력 확장을 할 경우 고기압 가장자리의 바로 북쪽에 놓여있는 장마 전선이 더 잘 유지가 되고 전선의 위치도 한반도를 걸치는 경우가 많다. 그러나 북태평양 고기압 세력이 약화될 경우 장마 전선 지역으로의 습윤한 공기 유입이 약하여 장마 전선이 일시



[그림 1-4] 장마 기간 동안 (6월 하순 ~ 7월 중순) 강수량 (색), 하층 바람장 (벡터), 그리고 상층 제트 기류 (검정 실선) (서경환 등 2011)

적으로 소멸하기도 한다. 또한 전선이 한반도 이남으로 크게 남하하여, 한반도 지역이 전선의 영향권 밖에 머무르는 경우가 발생하기도 한다.

장마 전선의 유지에는 상층의 역할도 크다. 한반도 상공의 서쪽에서 동쪽으로 부는 **제트기류**는 아시아 여름 몬순이 활발할수록 더 강해지는 경향이 있으며, 이는 제트기류의 강도가 티베트 고원지대의 가열과 깊은 관련성이 있기 때문이다. 태양 일사에 의한 티베트 고원지대의 가열이 활발해지면 대기 연직층이 더욱 두꺼워지고, 이로 인해 티베트 고원지대와 그 북쪽 지역은 강한 기압경도차가 발생하여 서쪽에서 동쪽으로의 강한 상층류가 불 수 있는 조건을 갖추게 된다. 상층기류가 통과 할 때 한반도는 상층 기압골의 동쪽에 놓이는 경우가 많다. 대기 운동 이론에 근거 할 때 상층 기압골의 동쪽은 공기가 흘러지는 발산 지역으로 이를 보충하기 위해 상승류가 하층으로부터 올라간다. 즉, 한반도로 불어 온 해양성 습윤 기류가 상승하여 응결과 강수 과정으로 이어져 많은 비가 내리게 된다.

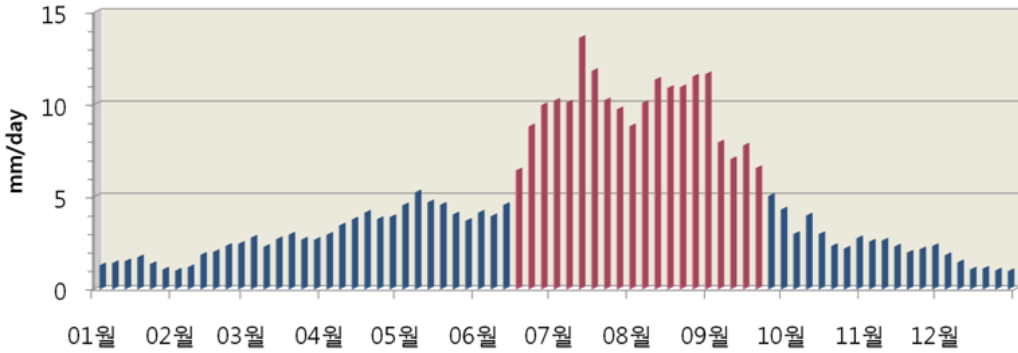
4 기후평균 장마의 시종 및 강수량

최근 30년 기후 평균으로 보면 중국의 메이유와 일본의 바이우는 6월 중순에 시작되며, 장마는 **6월 19일**에 제주도에서 시작된다. 남부 지방에서는 **6월 23일** 경, 중부 지방에서는 **6월 24일** 경에 장마가 시작되어 약 32일간 지속되다가 정체전선이 한반도 북쪽으로 북상하면서 7월 25일 경 종료 된다 [표 1-2]. 이후 우리나라는 북태평양 고기압 세력 하에 강수 휴지기에 놓이게 되며 무더위가 기승을 부린다. 한반도 북쪽으로 북상하면서 약해졌던 정체전선은 8월 중순경 다시 강화되면서 남하하게 되고, 이에 따라 우리나라는 9월 중순까지 2차 우기를 경험하게 된다. [그림 1-5]는 우리나라 60개 관측소 평균 및 5일 평균 강수량 시계열 (최근 30년 기후평균)이다. 일반적으로 5일평균 6 mm day⁻¹ 이상 비가 내릴 때 우리나라 장마를 포함하는 동아시아 몬순의 시작으로 정의된다 (Wang and LinHo 2001). 그림에서 보듯이 우리나라 연강수량의 50 ~ 60 % 이상이 장마를 포함하는 여름철에 집중되어 있다.

[표 1-2] 기후평균 (1981~2010년) 장마 시작, 종료, 지속기간 및 강수량

지역	시작일	종료일	지속기간 (일)	강수량 (mm)
중부지방	6.24 ~ 25	7.24 ~ 25	31 ~ 32	103 ~ 785
남부지방	6.23	7.23 ~ 24	31 ~ 32	73 ~ 653
제주지방	6.19 ~ 6.20	7.20 ~ 21	31 ~ 32	102 ~ 1167

기후평균 강수 시계열 (1981-2010)



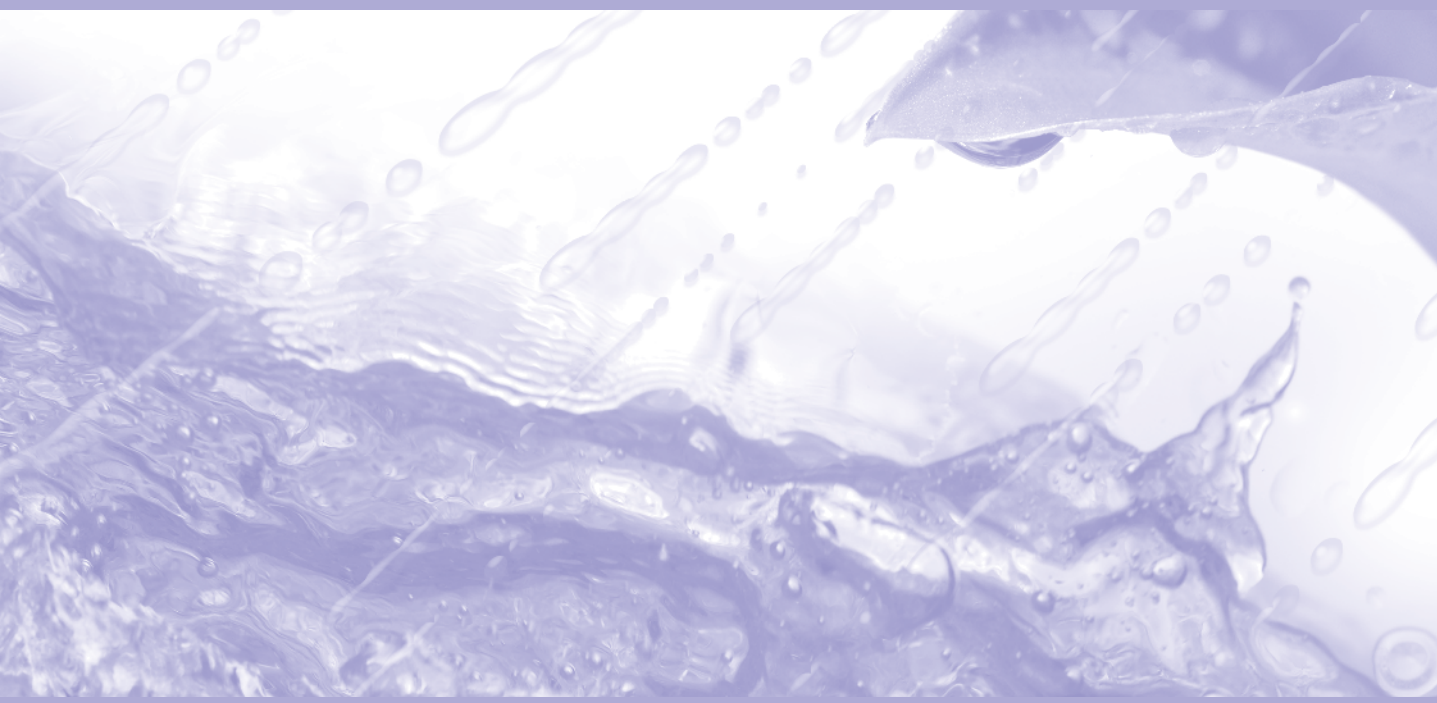
[그림 1-5] 기후평균 (1981-2010) 및 5일 평균 한반도 평균 강수량 (mm/day) 시계열 (60개 관측소 평균)

① 요약

- 장마는 기단 차에 의한 정체전선의 영향으로 장기간 많은 비가 내리는 현상이다.
- 장마에 영향을 주는 주요 대기 순환 요소는 다음과 같다.
 - ① 습윤한 하층 기류 유입
 - ② 북태평양 고기압의 북상
 - ③ 상층 제트의 강화
- 장마와 바이우는 기단 사이의 온도 및 습도 차에 의해 형성된다.
- 메이우는 기단 사이의 습도 차에 의해 형성된다.

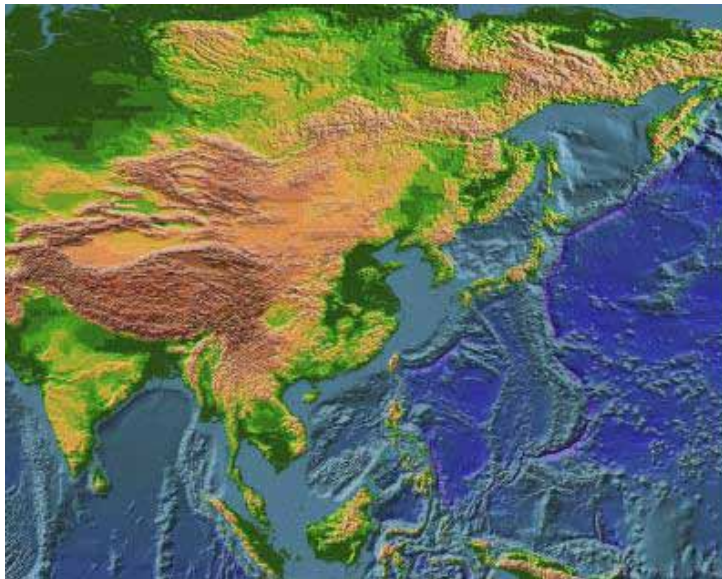
제1절 장마란 무엇인가? •

Changma 2011



제2절 해륙 분포 및 티베트 고원의 영향

몬순은 대륙과 해양 지역의 비열의 차이로 인해 대륙과 해양 사이에 발생하는 **계절풍** 현상이다. 따라서 대륙과 해양의 분포가 몬순 시스템을 형성하는 데 주요한 영향을 미친다. [그림 1-6]은 유라시아 대륙과 서북태평양 및 인도양의 분포, 그리고 산맥의 분포를 나타낸다. 여름의 경우 같은 양의 일사량이 대륙과 해양에 주어졌을 때 비열이 작은 대륙은 빨리 데워져서 대기의 밀도가 감소하여 저기압이 형성되고 상승 기류가 생기는 반면, 비열이 상대적으로 큰 해양 지역은 느리게 가열 되면서 대륙 지역에 비해 상대적으로 대기의 밀도가 큰 고기압이 형성된다. 이러한 기압배치는 하층부 대기에 해양에서 대륙 방



[그림 1-6] 아시아 몬순 시스템 형성에 결정적인 역할을 하는 해륙 및 산맥의 분포

향으로의 (고기압 지역에서 저기압 지역으로) 바람 유입을 가져오며 해양의 습윤한 공기가 저기압의 대륙으로 수송되는 현상이 여름철 동안 지배적으로 나타난다. 이러한 기압배치와 풍향 패턴은 겨울철에는 반대가 된다. 비열이 상대적으로 작은 대륙이 겨울에 빨리 냉각되면서 상대적으로 해양에 비해 고기압이 형성되기 때문이다.

티베트 고원과 히말라야 산맥은 거대한 아시아 여름철 몬순 시스템을 조절하는 주요한 열적·역학적 원천이다. 티베트 고원의 최고 높이는 4,400m (대륙권 중층에 해당하는 높이)에 이른다. 그에 따라 열적인 측면에서 티베트 고원의 가열이 아시아 대륙과 해양 사이의 열적 차를 증가시키고, 역학적 측면에서 가파른 산사면이 공기의 치올림을 증가시켜 몬순 순환을 강화시킨다. 또한 강수 전선이 대륙 경계 해양에서 아시아 대륙 쪽으로 이동되며, 여름철 몬순 기간 총 강수량이 증가 된다 (Liu and Yin 2002; Kitoh 2002, 2010; Abe et al. 2004; Yasunari et al. 2006; Wu et al. 2007; Boos and Kuang 2010). 특히 이들은 동아시아 몬순 형성에 결정적인 역할을 하는 티베트 상층 고기압과 북태평양 고기압의 발달에 큰 영향을 미친다.

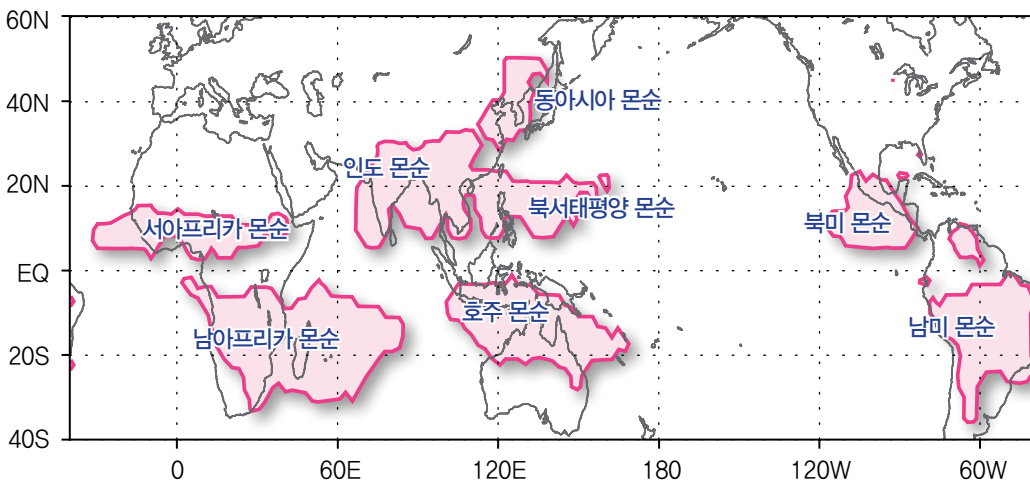
티베트 고원과 히말라야 산맥은 2억에서 5억 만년 전 지각 변동에 의해 융기 되었으며, 그 이후로 대륙-해양 분포는 현재까지 거의 동일하게 유지되고 있다 (Ruddiman and Kutzbach 1989; Sepulchre et al. 2006). 많은 모델링 연구들이 이와 같은 산맥의 융기가 대륙-해양의 열적 차를 심화 시키고 몬순 기후를 더욱 강화시켰다는 점을 지지하고 있다 (Manabe and Terpstra 1974; Ruddiman and Kutzbach 1989 등). 산맥 융기 비율을 조절한 대기-해양 접합 모형 실험들에 의하면, 티베트 고원과 히말라야 산맥의 융기가 없을 경우 장마를 포함하는 동아시아 몬순은 형성되지 않았을 가능성이 높다 (Kitoh 2002; Lee et al. 2011b). 현재와 같은 산맥의 융기가 없는 경우 몬순 강수는 아열대 지역에 한정되며, 산맥의 융기가 현재와 비슷할 때 동아시아 몬순이 현재의 관측과 유사하게 형성되는 것으로 모의되고 있다.

① 요약

- 티베트 고원 및 히말라야 산맥의 역할은 다음과 같다.
 - ① 몬순 순환 강화
 - ② 아시아 대륙 쪽으로 강수대 이동
 - ③ 여름철 몬순 총 강수량 증가
 - ④ 장마 및 동아시아 몬순 형성

제3절 지구 몬순 속의 장마

장마는 열적·수문학적으로 전 지구 대기 순환과 물수지를 조절하는 지구 몬순 시스템의 일부분이다. 과거 몬순은 계절에 따른 바람장의 변화 (Ramage 1971)로 정의 되었다. 하지만 최근 수 십년 동안 전 지구 몬순은 태양 에너지의 연 변동에 의한 대기-해양-지표 상호작용의 반응이라는 새로운 개념이 대두 되고 있다 (Trenberth et al. 2000, 2006; Trenberth and Stepaniak 2005; Wang and Ding 2008; Lee et al. 2010). 이에 따르면 몬순 지역의 구분은 강수량을 이용하는 것이 원래 몬순의 정의인 바람장 (즉, 계절풍)을 이용하는 것 보다 더 적합한 것으로 보여준다. 몬순 강수 영역은 여름철과 겨울철 강수량의 차이가 일정 임계값을 넘는 지역으로 정의된다 (Wang and Ding 2008; Lee et al. 2010). 이에 따라 전 구 몬순 강수 영역은 다음과 같은 8개의 지역으로 나누어질 수 있다 [그림 1-7].



[그림 1-7] 지구 몬순 지역 구분

동아시아 몬순, 북서태평양 몬순, 인도 몬순, 호주 몬순, 북미 몬순, 남미 몬순,
서아프리카 몬순, 남아프리카 몬순

① 요약

- 전구 몬순 지역 구분:
동아시아 몬순, 북서태평양 몬순, 인도 몬순, 호주 몬순,
북미 몬순, 남미 몬순, 서아프리카 몬순, 남아프리카 몬순

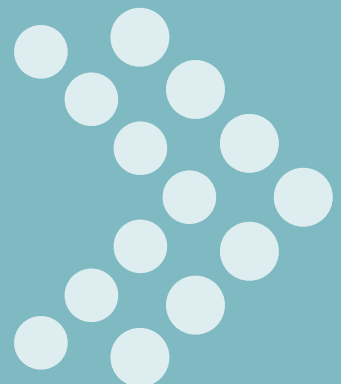


제2장

장마의 기후학적 특성

제1절 우리나라 연강수량의 계절 집중도

제2절 장마 시종 및 기간

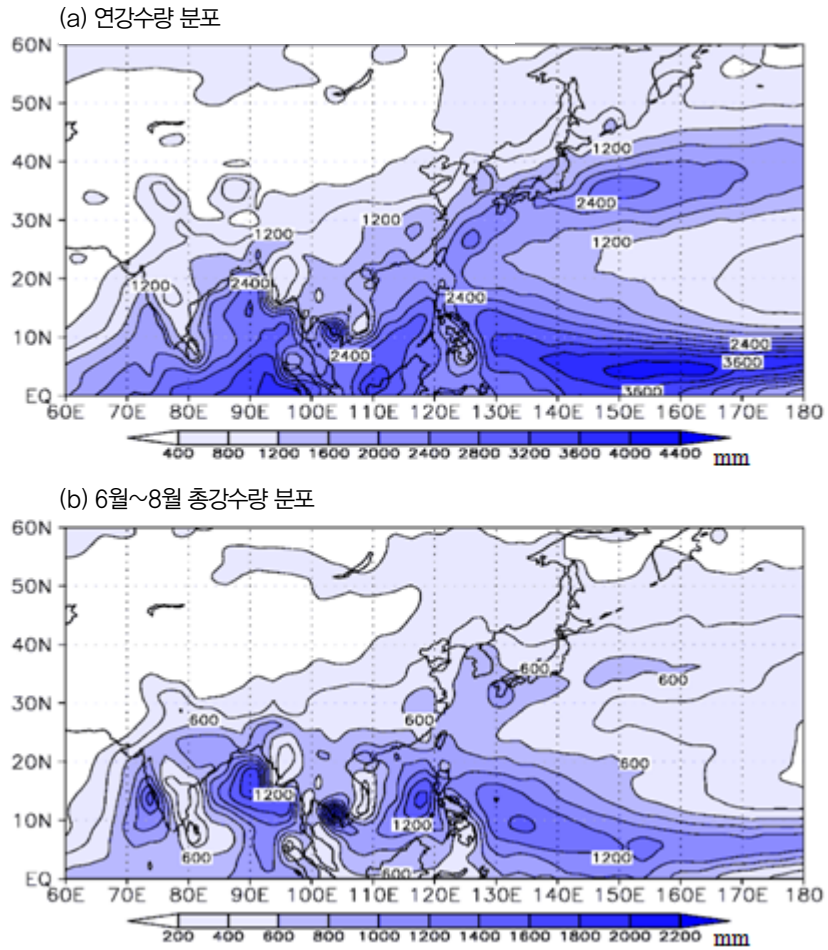


제1절 우리나라 연강수량의 계절 집중도

1 장마를 포함하는 아시아 몬순 강수량

우리나라는 여름철 **동아시아 몬순** 시스템과 겨울철 **북태평양 폭풍 경로** (storm track)에 속하기 때문에 같은 위도대 다른 지역에 비해 많은 양의 연강수량을 나타낸다. 세계 강수량의 많은 부분이 열대 해양 수렴대 (3000 mm 이상)와 열대 몬순 지역 (2400 mm 이상)에 집중되어 나타난다. 하지만 우리나라를 포함하는 동아시아 몬순 지역의 연강수량 역시 1200 ~ 2400 mm 범위를 나타내며 전 세계 물수지 균형에 중요한 역할을 한다. 우리나라 연총강수량은 1200 ~ 1600 mm 범위를 나타낸다. 이러한 수치는 같은 위도대의 아시아 내륙 연총강수량에 비해 상당히 많은 양이다 [그림 2-1] (a).

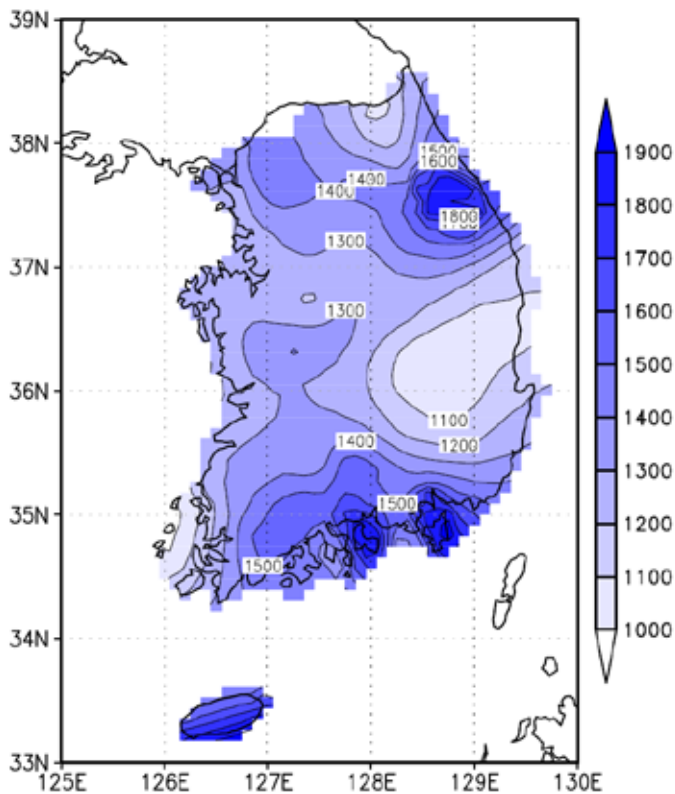
일반적으로 아시아 몬순 지역의 연총강수는 여름철 몬순 시기에 집중되는 경향이 있다 [그림 2-1] (b). 아시아 몬순 지역은 인도 몬순 지역 (인도 대륙과 벥갈만), 북서태평양 몬순 지역 (남지나해, 필리핀 해와 북서태평양), 동아시아 몬순 지역 (중국 남동부, 한국, 일본)을 포함한다. 대부분의 몬순 지역에서 여름철 강수량은 연 총강수량의 50% 이상을 차지한다. 우리나라의 경우도 장마 기간을 포함한 여름에 내리는 강수는 연총강수량의 50 ~ 60%를 차지한다. 반면, 열대 해양 수렴대는 계절에 따른 강수량의 변화가 크게 나타나지 않는다.



[그림 2-1] 30년 기후평균 (1981~2010) 아시아 (a) 연강수량 분포와 (b) 6월~8월 총강수량 분포 (mm). CMAP 자료로부터 산출

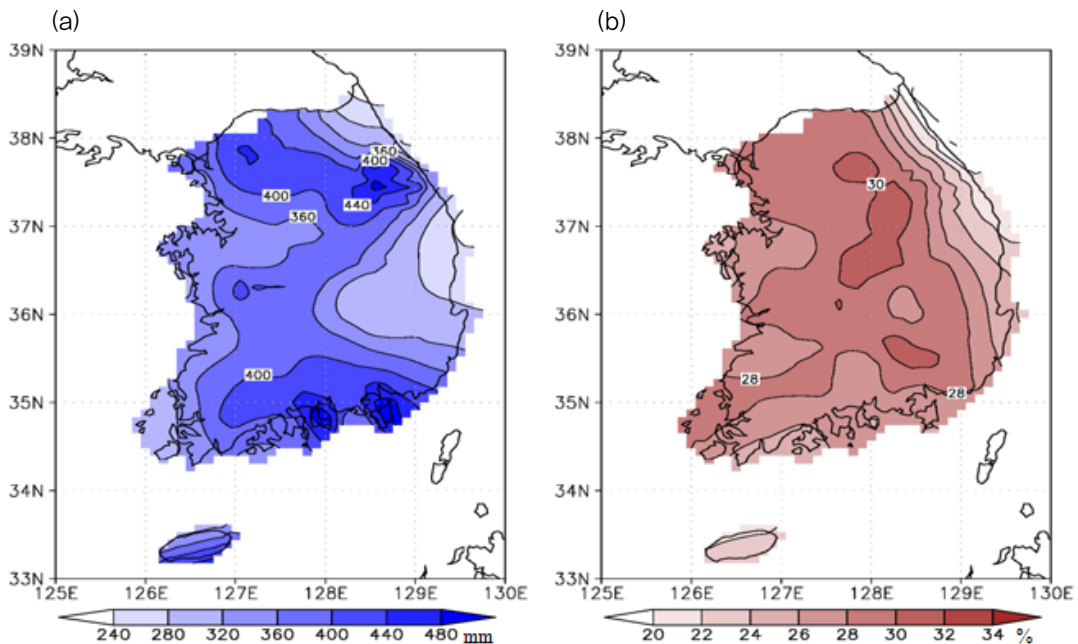
2 우리나라 연총강수량 및 장마 기간 강수량의 지역적 분포

우리나라는 동서 방향으로 좁고, 남북방향으로 긴 대륙의 형태와 태백산맥 및 소백산맥 등 지형의 영향으로 [그림 2-2]와 같이 매우 특징적인 강수량 분포를 나타낸다. 기후학적으로 제주도와 남해안 지역 및 강원도 지역에서 1600 mm 이상의 많은 강수가, 대구를 포함하는 분지 지역에서 1100 mm 이하의 적은 강수가 나타난다. 또한, 서울 및 경기 지역 연강수량의 범위는 1300 ~ 1500 mm 이다.



[그림 2-2] 우리나라 기후평균 (1981~2010) 연강수량 분포 (mm) (서경환 등 2011)

우리나라를 포함하는 동아시아 몬순의 강수는 위에서 설명한 바와 같이 여름철에 집중된다 [그림 2-1]. [그림 2-3]은 최근 30년 기후평균 장마 기간 강수량 및 연총강수량에 대한 장마 기간 강수량 비의 지역 분포이다. 중부 지방 및 내륙 지역에서는 장마로 정의 되는 1차 우기가 연강수량의 많은 부분을 설명하는 경향이 있다. 특히 서울 및 경기 지역에서는 기후학적으로 약 한달 정도 되는 장마 기간 동안 연강수량의 30%에 달하는 비가 내린다. 제주도, 남해안 지역 및 동해안 지역에서는 연강수량에 대한 장마 기간 강수량의 기여도가 상대적으로 낮다. [표 2-1]은 14개 주요 도시의 30년 평균 장마 기간 강수량이다. 서귀포 지역이 가장 많은 장마 기간 강수량 (650.6 mm)을, 포항 지역이 401.3 mm로 가장 적은 강수량을 보이고 있다. 서울 지역은 632.1 mm로 두 번째로 많은 양의 장마 기간 강수량을 기록하고 있다.



[그림 2-3] 기후평균 (1981~2010) (a) 장마기간 (6월말 ~ 7월말) 강수량 분포와 (b) 연총강수량에 대한 장마기간 강수량의 비 (서경환 등 2011)

[표 2-1] 주요 도시의 장마 기간 동안 강수량 (단위: mm). 1981~2010 기후평균

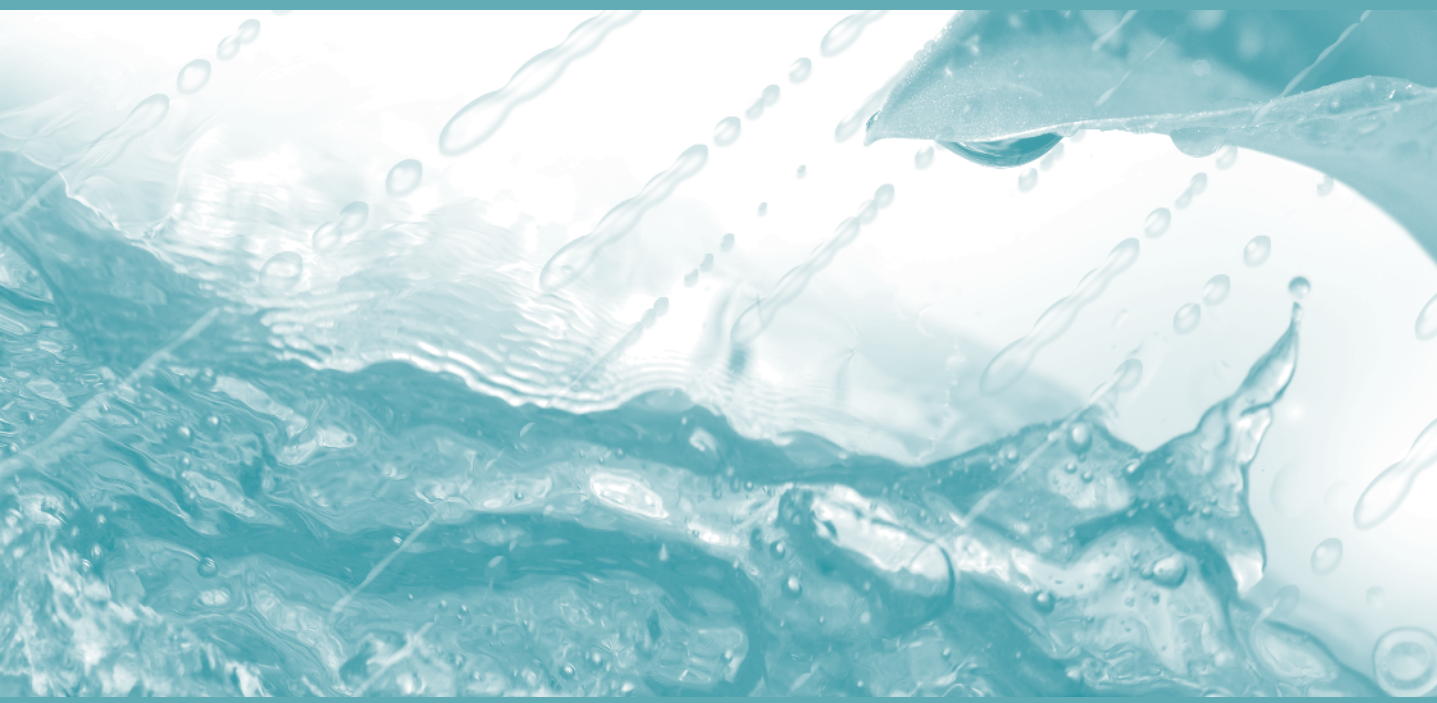
지 방	강수량	지 방	강수량
서귀포	650.6	전 주	558.5
제 주	486.2	대 구	427.5
여 수	568.7	포 향	401.3
목 포	484.1	대 전	572.6
부 산	585.7	인 천	520.3
광 주	586.0	서 울	632.1
울 산	471.1	강 릉	433.5

① 요약

- 아시아 몬순 지역의 연총강수는 여름철 몬순 시기에 집중되는 경향이 있다. 반면, 열대 해양 수렴대는 계절에 따른 강수량의 변화가 크게 나타나지 않는다.
- 우리나라 여름철 강수는 연총강수량의 50 ~ 60% 를 차지한다.
- 장마기간 (1차 우기) 동안 우리나라 평균 총강수량은 400 ~ 650 mm 으로 장마기간 (1차 우기) 강수는 연총강수량의 약 30% 를 차지한다.

제1절 우리나라 연강수량의 계절 집중도

Changma 2011



제2절 장마 시종 및 기간

1 장마 시종의 일반적 정의

기존 연구에서 장마의 시작은 일반적으로 장마 전선에 의해서 해당 지역에 임계치 (일반적으로 3일 동안 $5 \sim 6 \text{ mm day}^{-1}$) 이상의 비가 처음으로 내리기 시작하는 날로 정의된다. 일반적으로 1차 우기 시기에는 장마 전선이 북상하기 때문에 제주도, 남부 지방, 중부 지방의 순서대로 장마가 시작된다. 장마의 종료는 장마 전선이 한반도 북쪽으로 북상하거나 전선 세력의 약화로 강수가 소멸되는 시점으로 정의된다 (이병설·김성삼 1983; 류상범 2001; 서동일·변희룡 2002; Byun and Lee 2002; 허창희·강인식 1988; Ho et al. 2003; Ha et al. 2005).

대규모 관점에서 장마의 시작은 우리나라가 동아시아 몬순을 형성하는 대규모 순환장의 영향을 받는 시점으로도 볼 수 있다. 기후학적으로 동아시아 몬순은 남중국해에서 5월 중순경에 시작된다. 이후 북서태평양 고기압의 확장 (혹은 북상)과 더불어 6월 중순에는 중국의 메이유와 일본의 바이우가, 6월 말에는 장마가 시작된다. 즉, 우리나라 주변으로 상층 제트 기류가 강화되어 강한 경압불안정이 형성되고, 북태평양 고기압의 북상과 더불어 하층 남서풍에 의한 습윤한 공기의 유입이 강화되어 많은 양의 강수가 발생할 때를 장마의 시작으로 볼 수 있다. 한편, 북태평양 고기압이 우리나라 쪽으로 확장되면서 장마전선이 북쪽으로 급격히 이동 될 때 장마가 종료 된다 (Tao and Chen 1987, Tanaka 1992; Ueda 1995; Lau and Yang 1997; Wang and Xu 1997; Kang et al. 1999; Oh et al. 2000; Lau et al. 2000; Lim et al. 2002; Wang and LinHo 2002; 서경환 등 2011).

2 정체전선의 북상 및 남하

1) 정체전선의 이동 특성

6월부터 9월까지 **정체전선**과 **몬순 기압골**은 시기에 따라 대규모 순환장과 함께 북상하였다가 남하하는 특성을 보이며, 그에 따라 동아시아 지역 몬순의 시작과 종료가 결정되어 진다. [그림 2-4]와 [그림 2-5]에서 상당온위 남북경도 ($\frac{\partial \theta_c}{\partial y}$)의 최소값은 온난다습한 **열대 기단** (대체로 상당온위가 335 K 이상)과 한랭건조한 **한대 기단** (상당온위 335 K 이하)의 경계를 나타내며, 일반적으로 5820 gpm의 위치와 일치한다. 상반된 기단들의 대치로 인해 정체전선이 형성되고 많은 양의 비가 내리게 된다. 5880 gpm은 북태평양 고기압의 위치를 나타내며, 아열대 지역에서 6 mm day⁻¹ 이상의 강수를 보이는 지역은 열대몬순 기압골 (혹은 열대 수렴대)을 나타낸다.

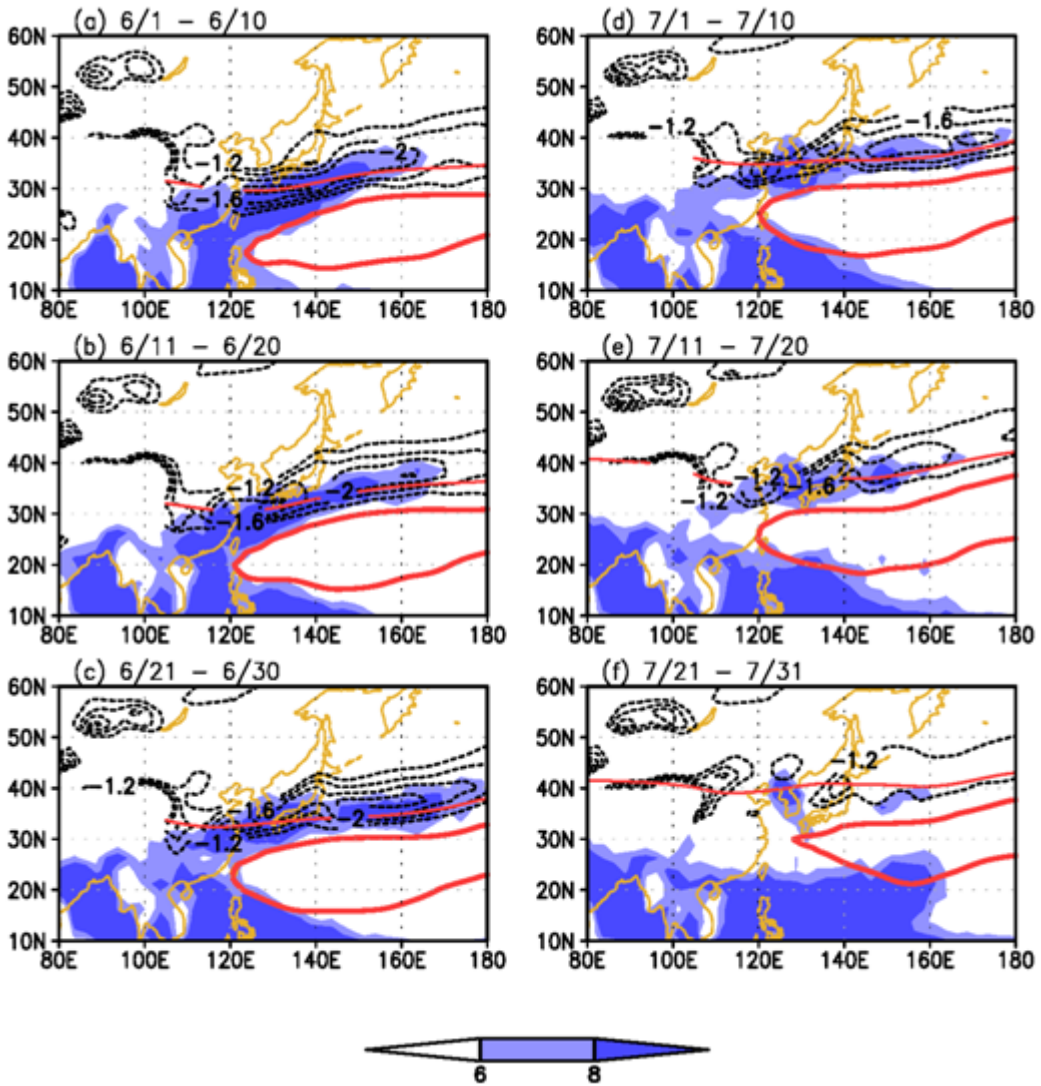
정체전선은 6월 초에 중국 남부와 일본 남쪽에 위치하다가 시기에 따라 북상한다. 6월 중순에는 중국 메이유와 일본 바이우가 시작되고, 6월 말에 우리나라 장마가 시작된다. 한반도 위의 정체 전선은 7월 중순까지 유지되다가 7월말에 약해지면서 한반도 북쪽으로 이동한다. 이 시기에는 열대 기단과 한대 기단의 차이가 약화되면서 정체전선이 약화되거나 소멸된다. 우리나라는 8월 중순까지 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨가 지속된다. 이 기간 동안 강수 현상이 간헐적으로 나타나는 경향이 있는데, 이는 정체전선 보다는 태풍이나 국지성 집중호우에 의한 것이다. 8월말부터 9월초에 **오호츠크해 고기압** 세력이 북상냉각으로 강화되면서 그 남쪽 경계면이 남하한다. 그로 인해 다시 열대 기단과 한대 기단 세력의 차이가 커지면서 정체전선이 강화되고, 우리나라 쪽으로 남하할 때 2차 우기가 시작된다. 2차 우기는 가을장마라 불리기도 하며, 이 시기에는 전선성 강수뿐만 아니라 태풍이나 국지성 집중호우에 따른 강수도 나타난다.

2) 정체전선의 이동에 따른 장마의 시종

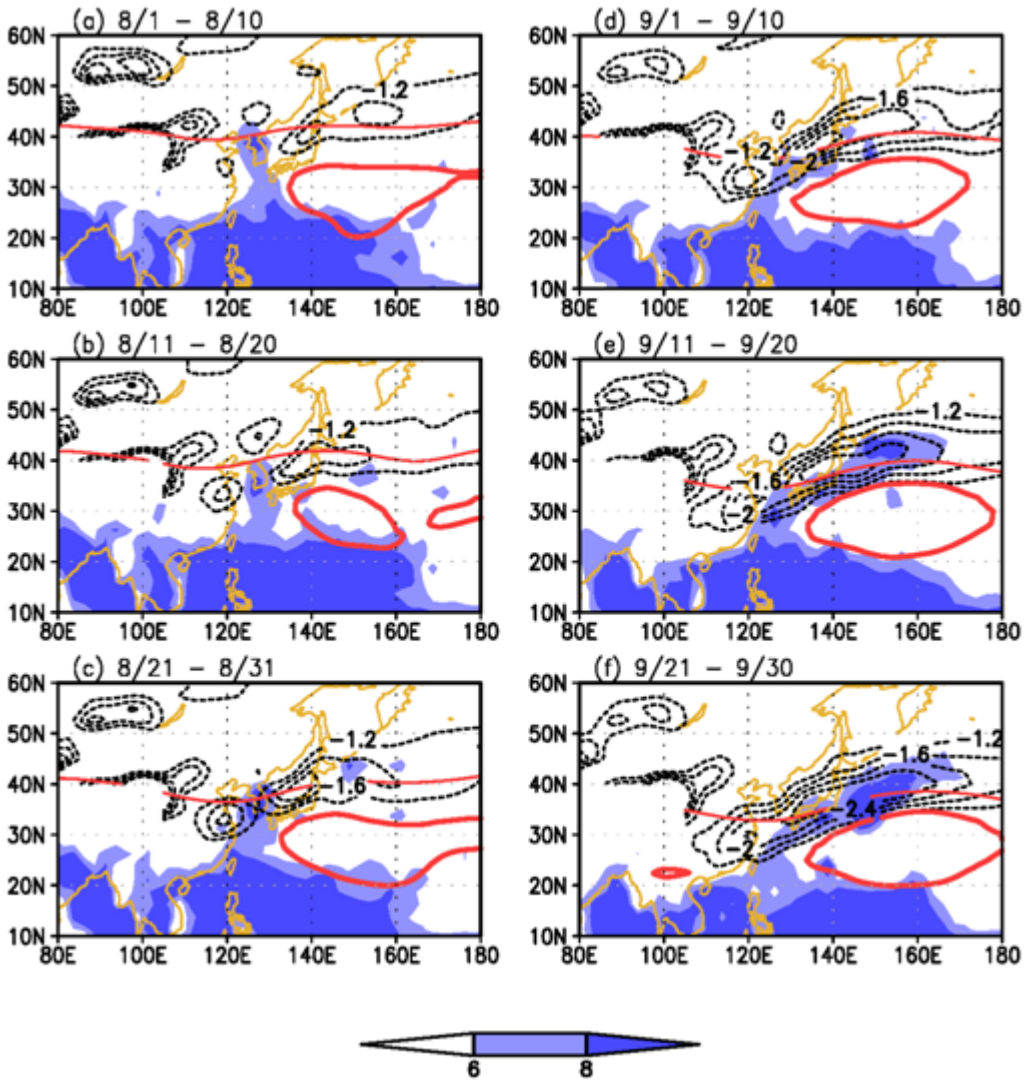
우리나라 부근 지역에서 정체전선 (혹은 몬순 기압골)의 시간에 따른 평균적인 진행 구조를 보면 [그림 2-6], 위에서 기술한 바와 같이 5월 중순 정도에 위도 약 27.5° N 부근에 위치하던 정체전선은 6월 19일 경에 제주도로 북상하며 장마가 시작된다. 장마는 7월 24일까지 지속되다가 이후 정체전선이 한반도 북쪽 40° N 위로 북상하면서 종료된다. 이와 같은 장마의 시종 시기는 기상청 정의에 의한 시기 ([표 2-2] 참조)와 일치한다.

이후 우리나라 지역은 북태평양 고기압 세력의 영향을 받으며 무더위가 시작 된다 ([그림 2-6]에서 노

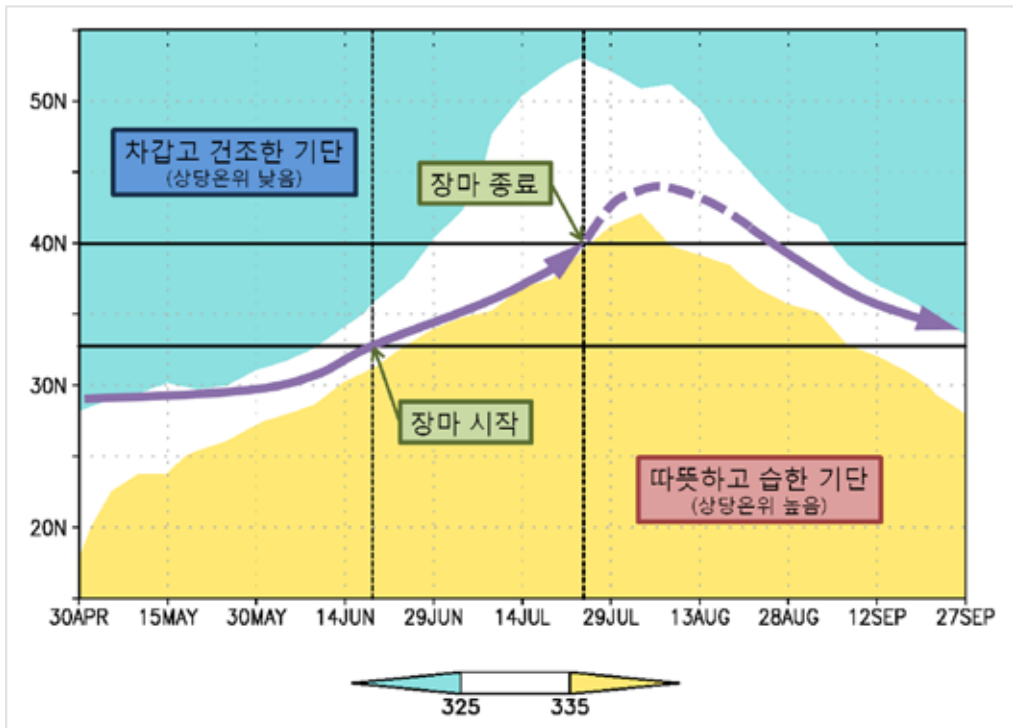
란색의 고온 지역이 한반도를 모두 덮음). 한반도 북쪽으로 북상하면서 약해졌던 정체전선은 8월 중순경에 다시 강화되면서 한반도 쪽으로 남하하게 되고, 이에 따라 9월 중순까지 2차 우기가 시작된다.



[그림 2-4] 6월부터 7월까지 10일 간격 강수량 (색, mm day⁻¹), 850-hPa 상당운위 남북경도 (흑색 점선, 단위 10⁻⁴ K m⁻¹), 5820 gpm (적색 얇은 실선)과 5880 gpm (적색 굵은 실선). 상당운위의 남북경도 절대치가 가장 큰 지역은 일반적으로 5820 gpm 선 위치와 유사하며, 이 지역 위로 상반된 두 기단이 대치해 많은 양의 강수를 동반하는 정체전선이 형성 (서경환 등 2011)



[그림 2-5] 8월부터 9월까지 10일 간격 그림. 자세한 사항은 [그림 2-4]와 같음 (서경환 등 2011)



[그림 2-6] 120°~140°E 지역 평균한 상당온위 (색) 및 정체전선 (화살표)의 이동과 그에 따른 장마의 시종, 점선은 전선이 약화되는 시기를 의미

3 장마 시종일의 결정

1) 기상청 정의

현재 기상청에서는 [표 2-2]에서 보이는 4가지 요소를 이용해 장마의 시작을 사후에 결정한다. 기상청 정의에 의하면 평균적으로 장마는 제주 지방에서 6월 19일에 시작되고, 약 34일 정도 지속되다가 중부 지방에서 7월 24일에 종료 된다 [표 1-2]. 여기서 상당온위를 사용한 정체전선 북상에 의한 장마 시종의 정의 [그림 2-6]와 비교적 잘 일치하는 것으로 보인다.

[표 2-2] 현재 기상청 현업에서 이용되는 장마 시작의 결정 요소

기상청 장마 시작 결정 요소

- 한반도 부근의 하층 수분속 영향 유무
- 장마지수 분석 (200-hPa 지위고도와 바람장을 이용한 순환 지수)
- 지상일기도에서 장마 전선의 형성 유무 및 500-hPa 고도의 5820과 5880 gpm 선의 위치
- 강수량 및 지표 기온, 일사량, 일조 시간의 3일 이동평균 분석

2) 장마 시종 결정의 어려움

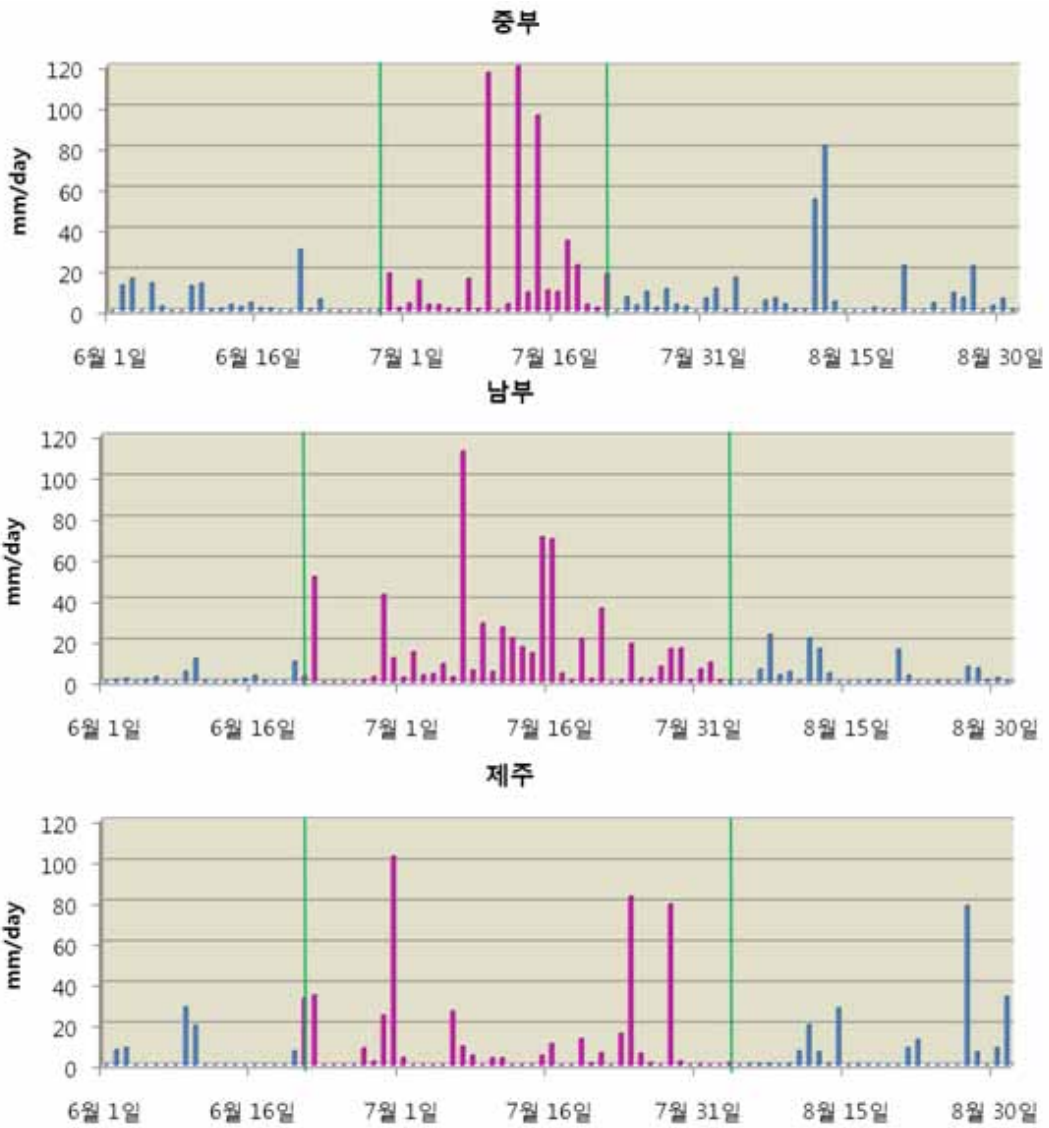
위에서 기술한 바와 같이 기후 평균 **장마의 시종**은 비교적 명확하게 정의 된다. 하지만 매년 장마의 시종을 결정하는 것은 쉽지 않다. 해마다 장마 시종 시점이 매우 큰 폭으로 변할 뿐 아니라, 장마 시종 결정에 고려되는 여러 요소들 사이의 불일치가 발생할 가능성이 높기 때문이다. 즉, 대규모 순환장의 관점에서 장마가 시작되었지만, 하층의 수분속이 충분하지 않거나 다른 이유로 인해 강수가 발생하지 않는 경우가 종종 발생한다. 반대로, 대규모 순환장의 관점에서 장마가 시작되지 않아도, 많은 양의 강수가 지형적 요인에 의해 국지적으로 발생할 수도 있다.

2009년과 2010년은 장마의 시작을 결정하는 데 뚜렷한 차이를 보인다. 2009년은 장마전선 발달과 강수 시작 시점이 일치해서 비교적 시작과 종료가 명확히 정의된다 [그림 2-7]. 제주도와 남부에서는 6월 21일에, 중부에서는 일주일 뒤인 6월 28일에 장마가 시작되었다. 장마 종료 시점은 제주도와 남부에서 8월 3일, 중부에서 7월 21일였다. 장마 기간 강수는 우리나라 전 지역에 걸쳐서 평년 보다 많았다.

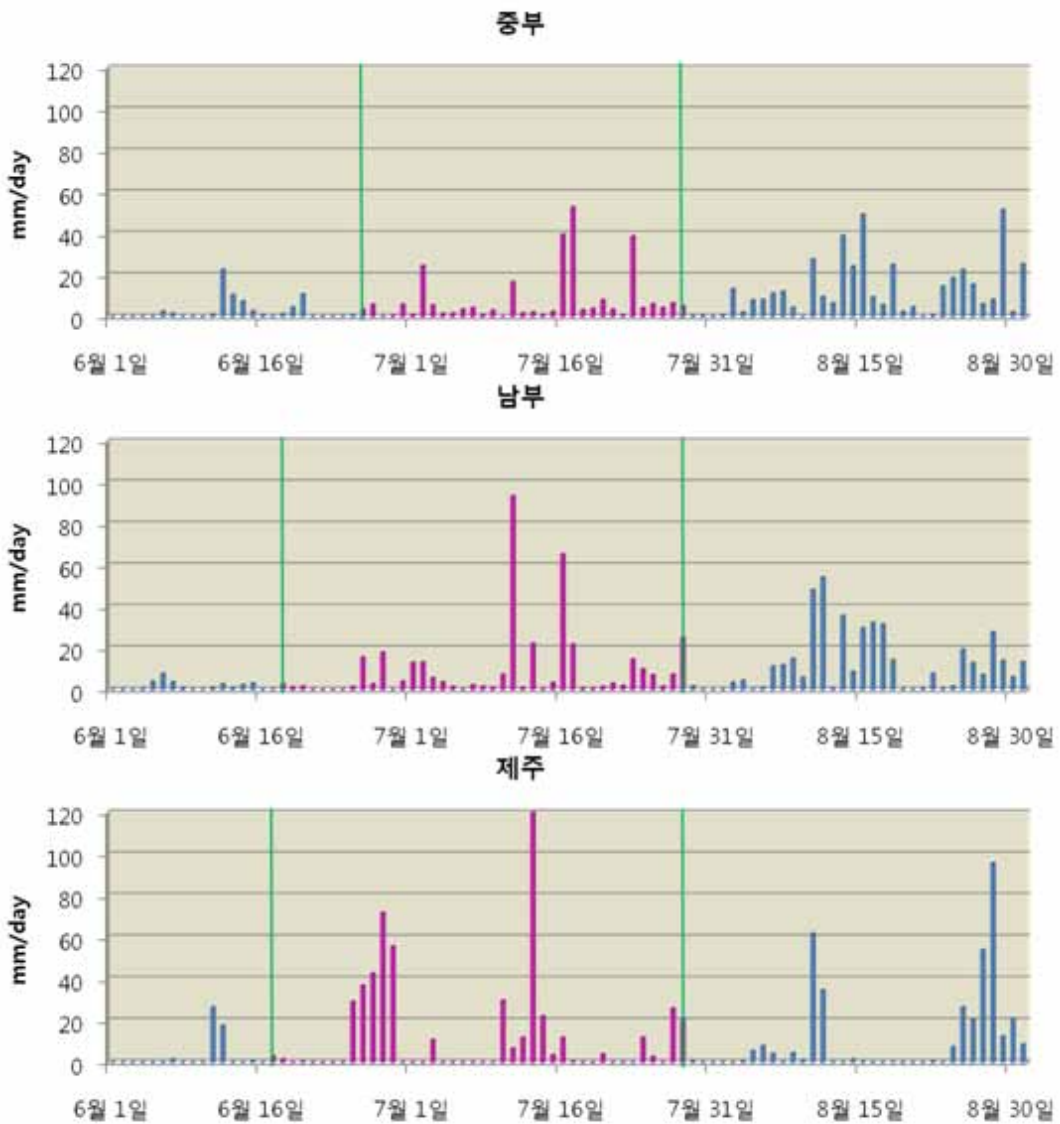
2009년과 달리 2010년에는 전선의 발생과 호우 시작 날짜가 많은 차이를 보인다 [그림 2-8]. 기상청에서는 전선이 제주도 지역에 위치한 시기인 6월 17일을 장마의 시작으로 정의하였으나, 실제적으로 많은 호우는 26일부터 시작하였다. 6월 17일에 제주도를 포함하는 지역에 정체전선이 발생하였으나, 지역적으로 제주도 관측소에서는 적은 양의 강수가 관측되었다.

3) 장마 시종의 경년변동

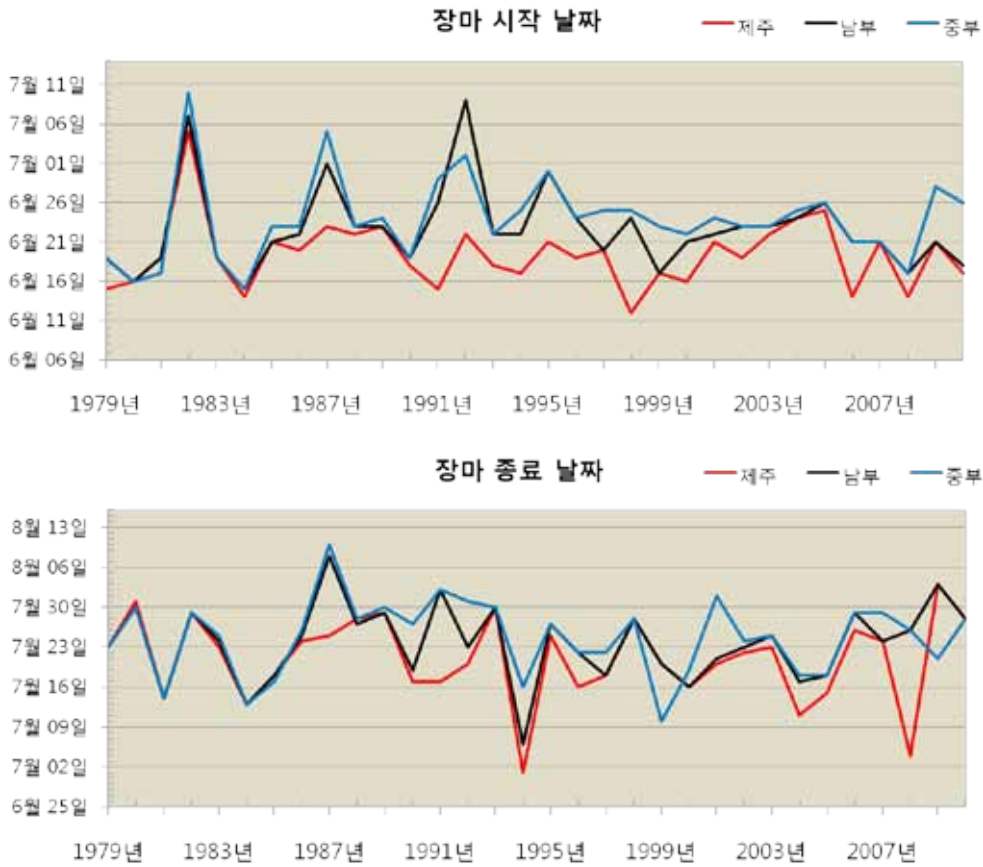
매년 장마의 시작과 종료는 큰 폭으로 변한다 [그림 2-9]. 장마 시작일의 경우 중부와 남부 지역에 비해 제주도의 변동성이 적은 편이지만, 장마 종료일은 세 지역에서 유사한 변동폭을 나타낸다. 1979년부터 2010년 동안 장마가 가장 일찍 시작했던 해는 중부와 남부지방의 경우 1985년, 제주도의 경우 1998년이다. 장마가 가장 늦게 시작했던 해는 중부와 제주도의 경우 1982년이며, 중부의 경우 1992년이다. **부록에 1979년부터 2010년에 대한 매년 장마의 특성을 정리하였다.**



[그림 2-7] 2009년 중부, 남부, 제주 지역 일평균 강수량 시계열과 기상청이 결정한 각 지역의 장마 시작 및 종료 시점 (녹색선), 부록3 참조



[그림 2-8] 2010년 중부, 남부, 제주 지역 일평균 강수량 시계열과 각 지역의 장마 시작 및 종료 시점 (녹색선), 기상청의 장마 시작 시점은 실제 장마 강수의 시작과 많은 차이를 보이는 예



[그림 2-9] 중부, 남부, 제주 지방 평균 (a) 장마 시, (b) 장마 종료 날짜, 위 그림과 아래 그림에서 Y축의 시간 간격이 각각 5일과 7일임

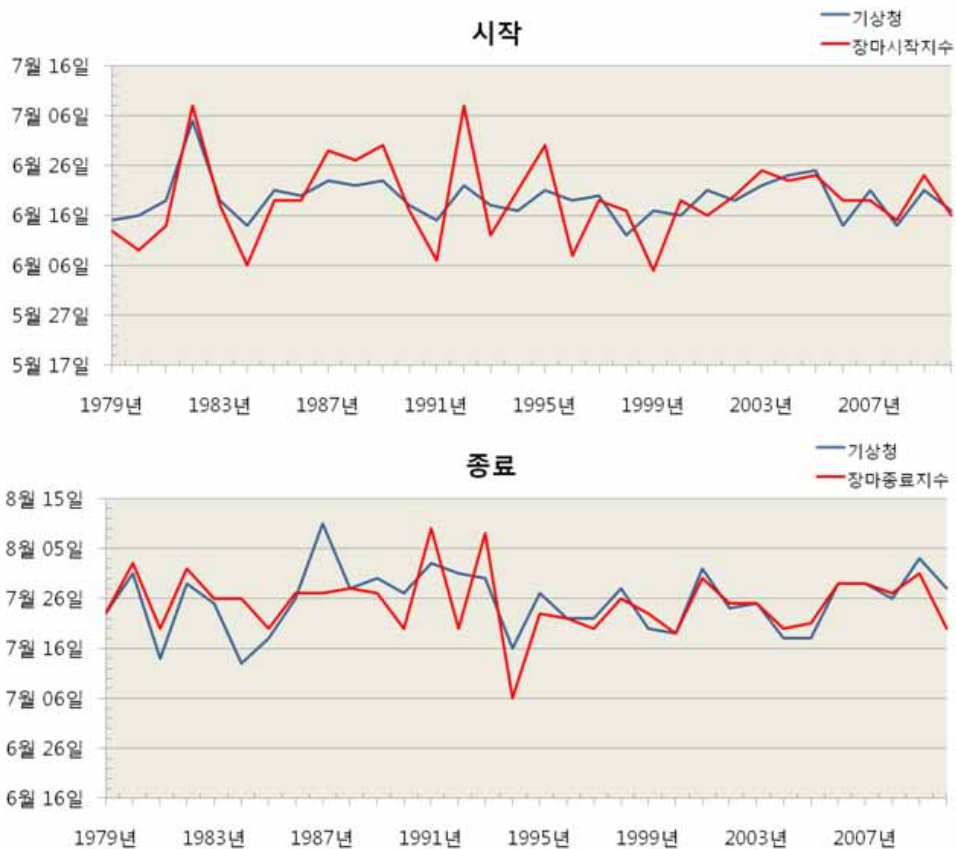
4 장마 시종 지수

정확한 장마 시종 및 강도를 모니터링 하고 예측하는 것은 사회·경제적으로 매우 중요한 사항이다. 그러나 위에서 기술한 바와 같이 기후학적 분포 내에서 장마의 시종 및 기간은 명확하게 구분되지만 매년 나타나는 장마의 시종을 결정하는 것은 매우 어렵다. 장마 시종을 결정하는 방법에 대한 몇몇의 선행연구들 중에서 최신의 연구결과인 서경환 등 (2011)에서 사용한 방법 [표 2-3]을 제시한다.

[표 2-3] 장마 시종 정의 방법

정의 방법	
장마 시작 (다음 세 조건을 동시에 만족할 경우)	<ul style="list-style-type: none"> • 122.5°~135°E 평균 상당온위 335 K 선이 32.5°N 보다 북상해 3일 이상 지속 • 122.5°~135°E 평균 5850 gpm 선이 32.5°N 보다 북상해 3일 이상 지속 • 125°~130°E 평균 상당온위 남북 경도 최저값이 32.5°N 보다 북상해 3일 이상 지속
장마 종료 (다음 두 조건을 동시에 만족할 경우)	<ul style="list-style-type: none"> • 122.5°~135°E 평균 상당온위 남북 경도 최저값이 42.5°N 보다 북상해서 2일 이상 지속 • 122.5°~135°E 평균 200-hPa 동서방향 바람의 남북경도 최고값이 42.5°N 보다 북상해서 2일 이상 지속

서경환 등 (2011)에서 제시한 장마 시작 및 종료 지수는 다른 지수들 보다 기상청에서 사후에 정의된 장마의 시작과 종료 시점에 좀 더 근접 한다(그림 2-10). 특히 1994년 이후에는 장마 시종 지수와 기상청



[그림 2-10] 장마 시작과 종료 지수 및 기상청 사후 분석 결과 시계열 (서경환 등 2011)

사후 정의가 거의 일치한다. 장마 시작의 경우 장마 시작 지수와 기상청 정의 사이의 상관계수는 0.72이며, 장마 종료의 경우 장마 종료 지수와 기상청 정의 사이의 상관계수는 0.63이다. 이는 이전 연구의 다른 지수들이 나타내는 상관계수보다 40 ~ 60% 향상된 것이다. 즉, 본 지수를 이용하여 정체 전선의 이동에 따른 장마의 시작과 종료를 좀 더 객관적이고 효율적으로 정의할 수 있다.

① 요약

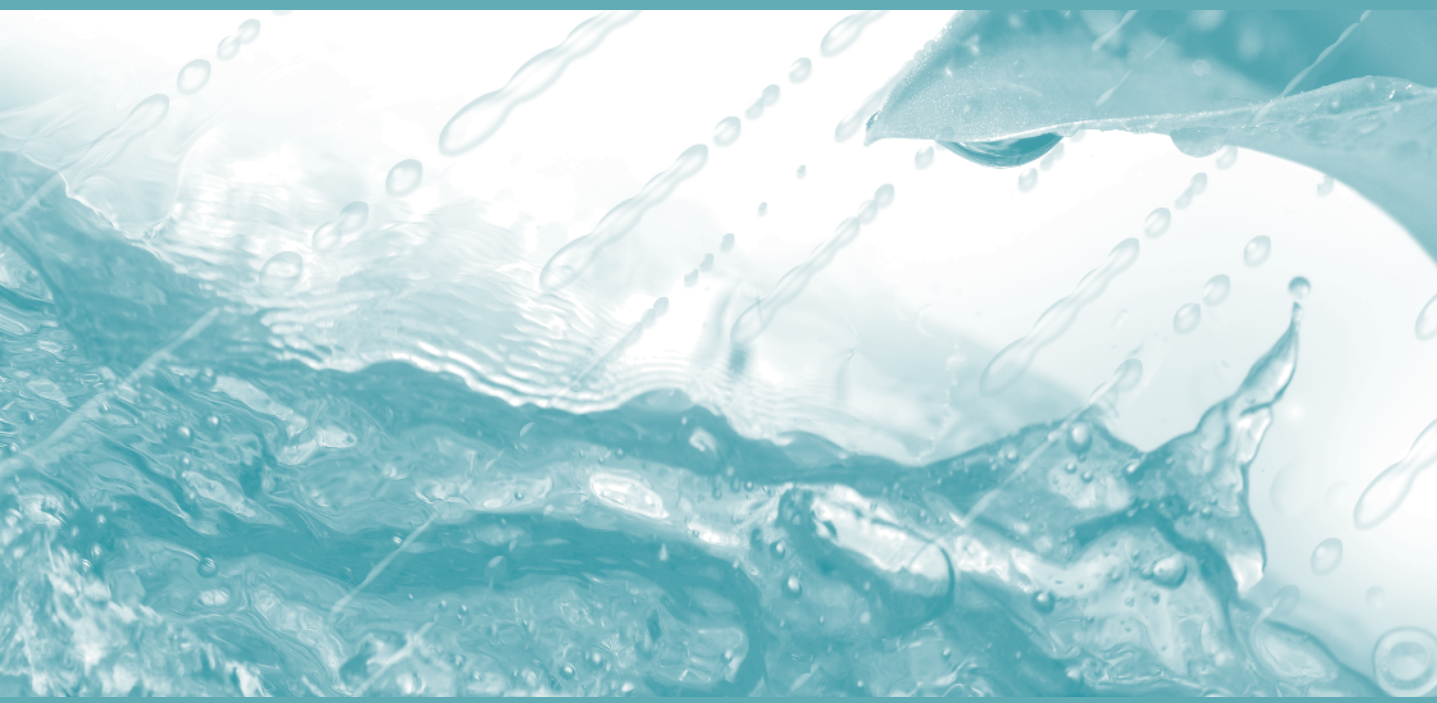
- 장마의 시종은 강수와 대규모 순환의 관점에서 결정된다.
- 1차 우기 (장마)의 시작은 북태평양 고기압 세력의 북쪽방향 확장이, 2차 우기 (가을장마)의 시작은 오호츠크해 고기압 세력의 남쪽방향 확장이 주요요소이다.
- 상당온위 남북경도의 최저치 선은 장마전선을 잘 반영한다.
- 장마 기간의 변동은 장마 종료일의 변동에 더 크게 좌우된다.

	제주	남부	중부
장마 시작일 표준편차	4.3일	5.3일	5.3일
장마 종료일 표준편차	7.5일	6.8일	6.6일

- 개선된 장마 시작 및 종료 지수 : 상당온위, 북태평양 고기압 북쪽 경계선, 상층 제트를 이용하며, 기상청 정의와 유사한 모습을 보인다.

제2절 장마 시종 및 기간

Changma 2011





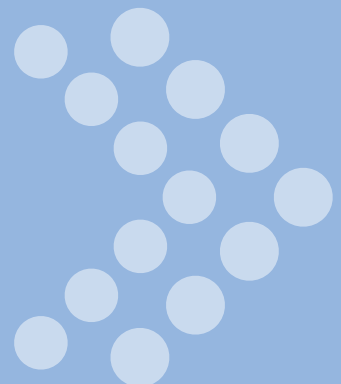
제3장

장마 기간 집중호우 특성

제1절 집중호우 통계

제2절 중규모 호우계의 구조

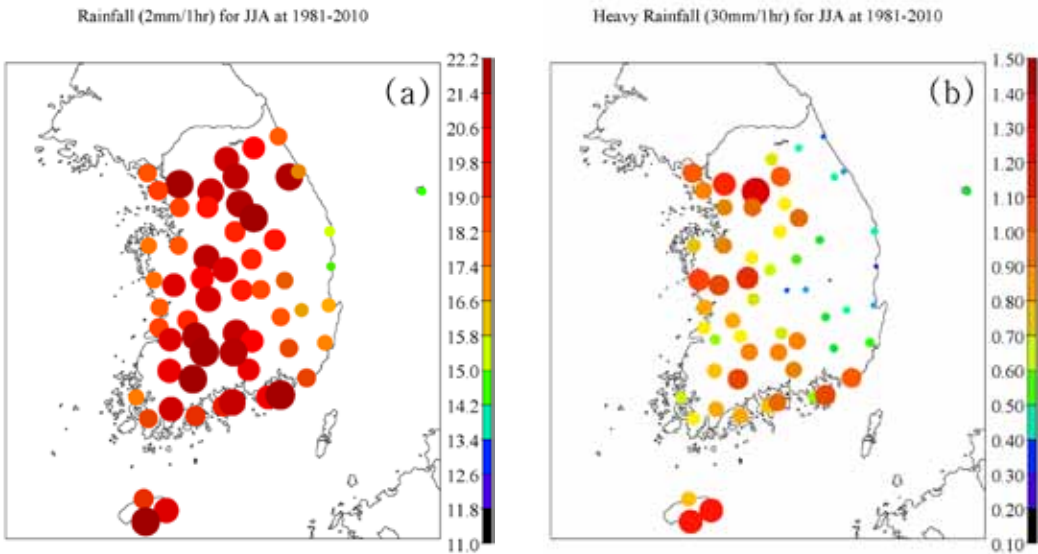
제3절 장마 전선대 강수계의 다중규모 구조



제1절 집중호우 통계

1 기후평균 집중호우 빈도

우리나라의 여름철 강수량은 한반도 물수지에 중요한 요소로, 농업용수, 공업용수, 그리고 식수의 중요한 공급원으로 작용하고 있다. 하지만, 장마기간에 발생하는 정체전선과 동반된 깊은 대류운 시스템에 의해 종종 **집중호우**가 발달되어 많은 인명과 재산피해를 야기 시키고 있다. 그렇기 때문에, 한반도의 집중호우 발생 빈도와 강도 분석은 중요하다.



[그림 3-1] 1981-2010년 기간 중 1년 동안 우리나라 여름철 (6-8월)에 발생한 호우의 빈도.
(a) 일반강수 ($> 2 \text{ mm hr}^{-1}$), (b) 집중호우 ($> 30 \text{ mm hr}^{-1}$)

한반도 자동 기상 관측 시스템의 여름철 강수 자료에서 나타난 일반강수 (2 mm/hr)와 집중호우 (30 mm/hr) 빈도의 특성은 다음과 같다 (그림 3-1). 여기서 빈도수는 각 정해진 기준을 넘어서는 강수가 온 이후 3시간동안 기준을 넘어서는 강수가 없을 때까지를 1회로 간주하여 결정하였다.

- ① 일반강수 빈도는 전체적으로 해안지방보다 내륙에서 높게 나타난다. 이는 여름에 불안정한 대기 조건에서 국지적으로 흔히 발생하는 잦은 대류성 강수 발달에 기인한 것으로 추정된다.
- ② 집중호우 빈도는 황해도, 충청남도, 남해안, 제주도 지역이 높게 나타난다. 이는 여름철에 황해로 유입되는 수증기 량이 많기 때문이며, 남쪽으로 수증기가 다량 유입되는 제주도와 남해안 지역 역시 높은 집중호우 빈도를 보인다. 반면, 동해 지역의 집중호우는 낮은 빈도를 보인다.
- ③ 황해도와 충청남도 지역은 일반강수의 경우 약 20회, 집중호우의 경우 약 1.2회로 높은 발생 빈도를 보인다. 황해에서 유입되는 수증기가 상대적으로 주변 지역에 비해 높은 지형을 만나면서, 지역적으로 더 많은 강수를 만들 수 있는 환경을 만나기 때문이다.
- ④ 남해안 지역의 일반강수 빈도는 약 연 20회로 다른 해안 지역에 비해 비교적 높게 나타나는 경향이 있다. 집중호우 빈도 역시 약 연 1회로 높게 나타난다.
- ⑤ 제주도의 경우 일반강수는 일년에 20회 정도 발생, 집중호우 빈도는 약 1회로 일반 강수와 집중 호우 모두 다른 지역에 비해 높은 빈도를 보이고 있다.
- ⑥ 경상북도 지역은 일반강수 빈도가 약 15회, 집중호우 발생빈도가 약 0.5회로 다른 지역에 비해 훨씬 적게 나타나고 있다. 이는 경상북도 지역이 전체적으로 산으로 둘러싸여 있고 한반도 동편에 위치하는 지리적 특징 때문에 여름철의 전선에 대한 민감도가 작기 때문이다.

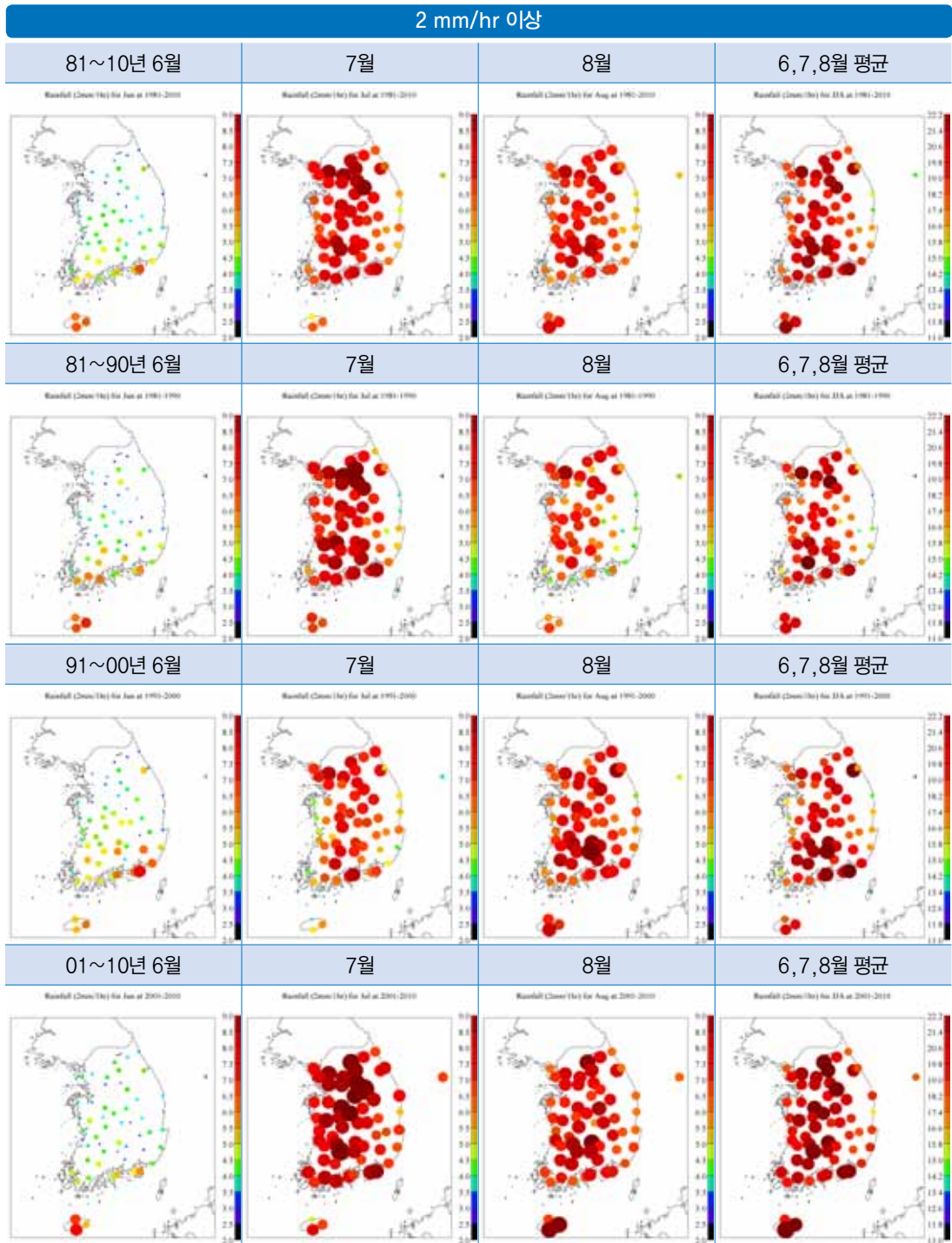
[그림 3-2]와 [그림 3-3]은 전체 30년 기간을 10년 단위로 나누어 6, 7, 8월 각각에 대한 호우빈도를 나타낸 것으로 그 특징은 아래와 같다.

- ① 6월에는 제주도와 남해안 지역에서만 2 mm/hr 이상의 호우 빈도가 높게 나타나지만, 7~8월 기간은 동해안 지역을 제외한 모든 지역의 2 mm/hr 이상의 호우 발생 빈도가 크게 나타났다.
- ② 전체적으로 7월에 2 mm/hr 이상의 호우 빈도가 크게 나타나지만, 1991~2000년에는 7월보다 8월에 좀 더 높은 호우 빈도가 나타나고 있다. 여름철(JJA)의 호우 빈도는 최근 30년 중 2001~2010년 기간이 가장 크게 나타났다.
- ③ 6월에는 전국적으로 30 mm/hr 이상의 호우 빈도는 아주 낮게 나타나고 있으며, 7월과 8월에 집중호우가 많이 발생하고 있다.

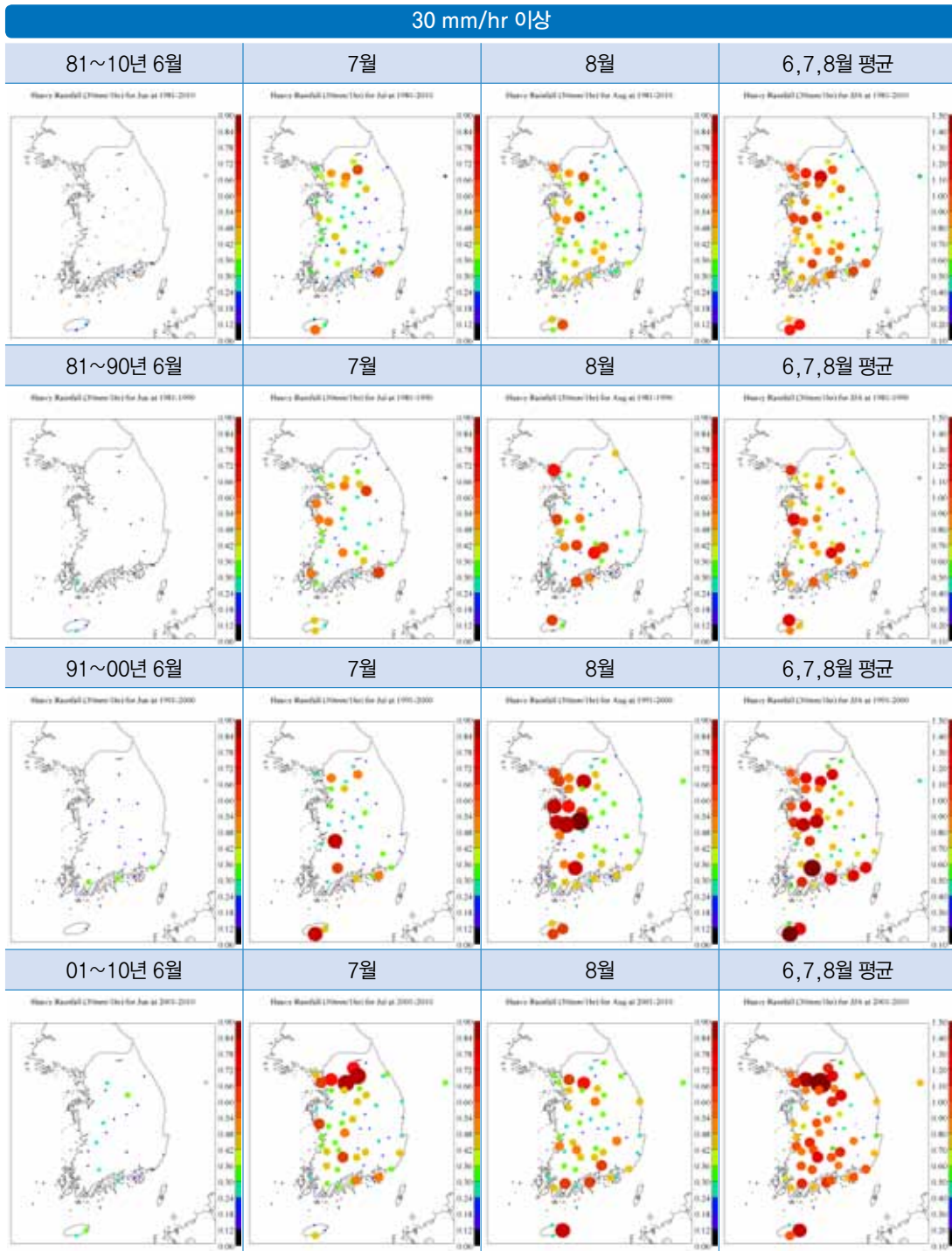
- ④ 30 mm/hr 이상의 집중호우 발생 빈도는 7월보다 8월에 더 많이 발생하고 있다. 이는 7월에는 약한 일반 강수가 많이 내리지만, 8월에는 강한 강수가 더 많이 내리고 있음을 말해준다.
- ⑤ 30 mm/hr 이상의 집중호우 발생 빈도는 중부 지역을 중심으로 점차 증가 추세에 있고, 동부 지역 보다 서부 지역에 집중되는 경향이 있다.

여기서 나타낸 빈도수는 강수가 연속적으로 오랫동안 오더라도 1회로 계산하기 때문에 지속성에 관한 추가적인 분석을 할 필요성이 있다. 그림으로 첨부하진 않았지만 빈도수의 정의를 3시간 연속으로 강수가 왔을 경우를 1회로 간주하면, 전체적으로 일반강수인 경우에는 2.5배 정도를, 집중호우인 경우에는 1.5배 정도 더 많은 빈도수를 보였다. 특히 지리적인 영향을 많이 받는 대관령에 더 많은 빈도수의 강수가 왔음을 확인 할 수 있었다. 그러나 전체적인 분포 경향은 비슷하게 나타났다.

집중호우 발생 빈도는 수증기의 공급양과 지리적 공간 특성과 밀접한 관련이 있다. 따라서 시·공간적으로 다양한 통계분석과 종관적 특징에 대한 이해를 높여, 집중호우로 초래되는 수해와 많은 인명피해를 줄여야 한다.



[그림 3-2] 1981-2010년 기간 중 1년 동안 우리나라 여름철(6-8월)에 발생한 호우의 빈도. (2mm hr⁻¹ 이상)



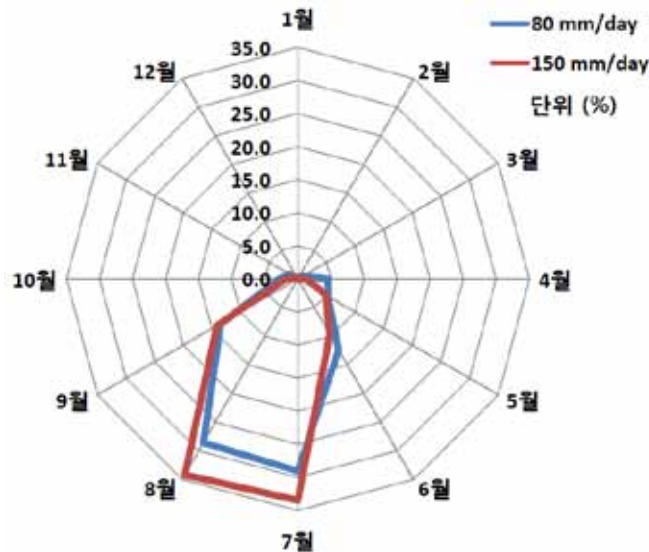
[그림 3-3] 1981-2010년 기간 중 1년 동안 우리나라 여름철(6-8월)에 발생한 호우의 빈도. (30mm hr⁻¹ 이상)

한편, 일강수량 80 mm 와 150 mm 이상의 호우가 내린 날에 대한 과거 30년간의 기후학적인 통계 분석을 하면 다음의 특징으로 요약할 수 있다 [표 3-1] 및 [그림 3-4].

- ① 우리나라는 일강수량 80 mm 이상의 호우가 내린 날이 연평균 27일 정도이나 (즉, 하나의 관측소라도 측정된 날이 27일 정도), 많은 해는 44일 (1998년) 발생한 해도 있다.
- ② 일강수량 150 mm 이상의 강한 호우는 연평균 9일 정도이며, 많은 해는 17일 (1999년) 발생한 해도 있었다.
- ③ 호우는 1년 강수량의 약 84%가 6 ~ 9월중에 발생하고 있으며, 그 중 장마 및 태풍의 영향을 많이 받는 7 ~ 8월에 집중적으로 발생하고 있다 [그림 3-4].

[표 3-1] 월평균 호우 발생일수 (1981년 ~ 2010년)

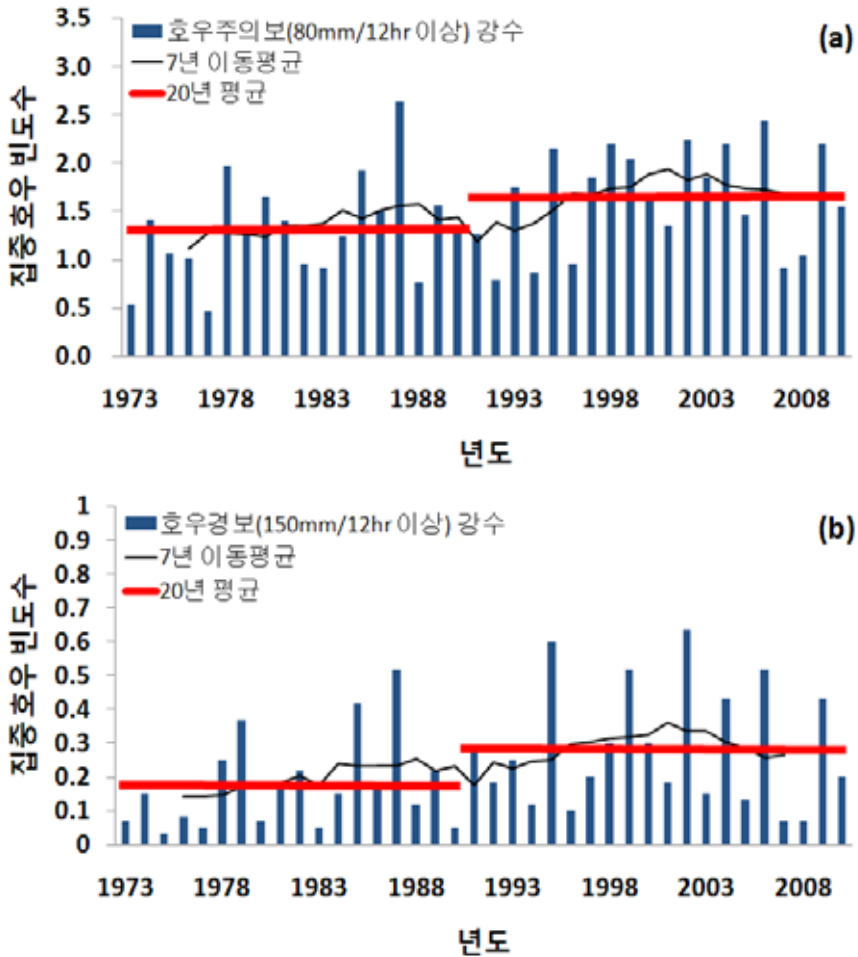
강수량		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
일강수량 ≥80 mm 발생일수	평균	0.1	0.1	0.3	1.3	1.5	3.4	8.1	7.9	3.7	0.8	0.4	0.1	27.8
	비율(%)	0.4	0.5	1.1	4.6	5.3	12.4	29.1	28.6	13.4	2.9	1.6	0.4	100
일강수량 ≥150 mm 발생일수	평균	-	-	-	0.1	0.4	0.9	3.0	3.1	1.3	0.2	-	-	9.0
	비율(%)	-	-	-	1.5	4.9	9.7	33.6	34.3	14.2	1.9	-	-	100



[그림 3-4] 월 평균 호우 발생일수의 퍼센티지 비율 (1981년~2010년).

2 호우 주의보와 경보에 해당하는 강수 빈도 특성

[그림 3-5]는 1973년에서 2010년 사이의 관측소 강수량을 사용하여 기상청의 공식적인 **호우 주의보** 및 **호우 경보** 발령에 해당하는 기준인 12시간 누적 강수량 80 mm 이상과 150 mm 이상인 경우에 해당하는 호우횟수를 60개 관측소로 평균하여 나타내었다. 강수가 80 mm 이상 내리는 빈도수가 많으면 150 mm 이상의 경우도 많은 것을 볼 수 있는데, 두 경우 모두 1990년대 중반이전보다 그 이후의 기간에서 더 큰 발생 빈도를 보여, 전체적으로 최근 15년 정도의 강수 강도가 이전보다 증가한 것을 알 수 있다.



[그림 3-5] 12시간 누적 강수량 (a) 80 mm 이상, (b) 150 mm 이상인 집중호우 발생 빈도 (60개 관측소 평균값으로 표현)

7년 이동평균을 보면, 집중호우 빈도가 1970년대부터 꾸준히 증가하는 모습을 보인다. 하지만 집중호우 빈도수는 1980년대 후반에서 1990년대 초까지 잠시 줄어드는 경향을 보인 후 다시 2010년까지 증가한다. 이러한 모습은 간단하게 1990년을 기준으로 과거 20년과 최근 20년을 평균한 모습에서도 볼 수 있는데, 최근 20년 동안이 과거보다 호우 주의보에 해당하는 강수 빈도는 25%, 호우 경보에 해당하는 강수 빈도는 60% 증가하였다. 따라서 호우 주의보나 경보가 최근 들어 더 많이 발령되는 상황으로, 집중호우에 의한 재산피해가 증가할 수 있으므로 각별한 주의와 대처를 요하는 바이다.

① 요약

- 최근 10년 동안 호우 및 집중호우 빈도가 증가하였고, 집중호우에 대한 위험도는 남부지방이 중부지방 보다 높다.
- 80 mm 이상의 일강수량은 7월과 8월 중에 60% 이상 집중된다.
- 최근 20년이 과거 20년 보다 호우 주의보에 해당하는 강수 빈도가 25% 증가하였고, 호우 경보에 해당하는 강수 빈도는 60% 증가하였다.

제2절 중규모 호우계의 구조

장마전선에서 발생하는 집중호우는 시·공간적으로 다양한 규모를 가질 뿐만 아니라 최근에 그 강수 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 한반도를 중심으로 발생하는 호우의 종관적 분석과 분류가 요구된다.

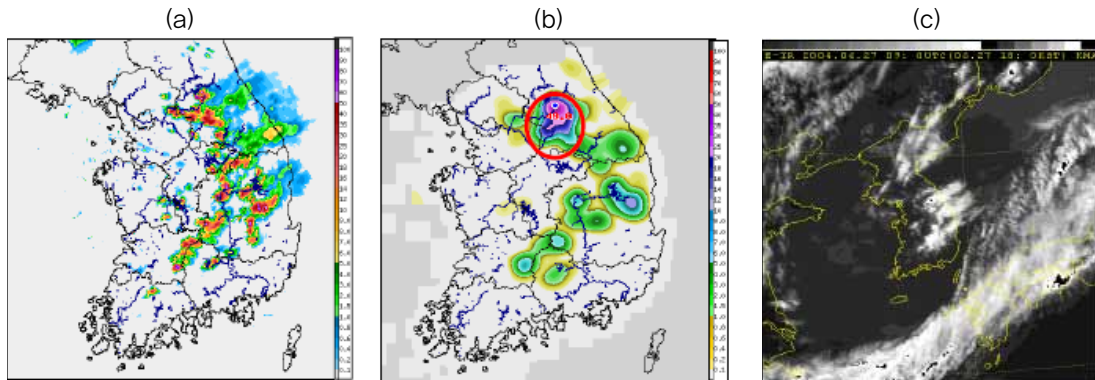
한반도 장마기간을 포함한 여름철 **중규모 호우계**는 여러 가지 형태의 대류 시스템에서 발달한다. 호우 강수계는 크기 및 현상학적인 접근에 따라 다음과 같은 4가지 유형으로 분석 된다 (Lee and Kim 2007): **독립 뇌우** (isolated thunderstorm), **대류 밴드** (convection band), **구름 무리** (cloud cluster), **스콜선** (squall line). [표 3-2]는 2000년에서 2006년 여름기간동안 발생한 총 86개의 중규모 호우계를 4가지 유형으로 분류하여 빈도수를 나타낸 것이다 (태풍의 직접적인 효과는 통계에서 제외). 구름 무리는 전체 호우 강수계의 약 47%로 가장 자주 나타나며, 대류 밴드형 호우계 역시 한반도에서 자주 나타나는 형태로 약 27%정도를 차지하고 있다. 독립 뇌우와 스콜선은 각각 12%와 7%의 빈도로 나타나고 있다. 한반도의 평균 장마기간인 6월말에서 7월말까지의 호우 강수계의 유형별 빈도 및 특징은 여름철 전체와 유사하다.

[표 3-2] 2000~2006년 동안 발생한 호우 강수계의 각각의 유형별 빈도 (Lee and Kim 2007)

유형	독립 뇌우 Isolated thunderstorms	대류 밴드 Convection band	구름 무리 Cloud cluster	스콜선 Squall line	미지정	총
6월	4	2	11	2	3	22
7월	3	17	25	3	4	52
8월	6	12	17	3	1	39
총	13 (11.5%)	31 (27.4%)	53 (46.9%)	8 (7.1%)	8 (7.1%)	113 (100%)

1 독립 뇌우

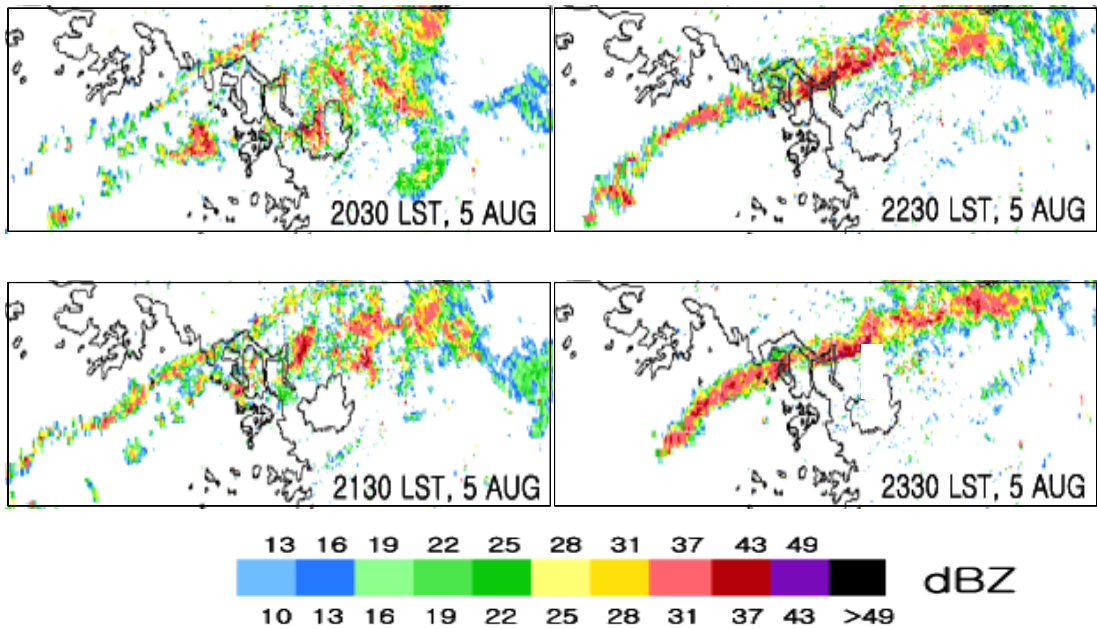
독립 뇌우는 조건부 불안정한 대기 조건에서 발생하는 뇌우로, 하나의 셀 또는 여러 개의 작은 셀이 점점 하나의 거대한 돌풍 셀로 뭉쳐져 집중호우를 내린다. [그림 3-6]은 독립 뇌우의 그림을 나타내고 있는데, 이는 2004년 6월 27일 강원도 지역에 호우가 발생한 경우로, 일본 지역까지 확장해 있는 장마 전선상의 북쪽에 집중호우가 나타나고 있다 [그림 3-6] (c). 레이더를 보면 돌풍의 폭은 30 km 보다 작게 나타나고 있으며 [그림 3-6] (a), 강원도 지역에 내린 호우강수량을 보면 다른 지역에 비해 시간당 강수가 큰 것을 확인 알 수 있다 [그림 3-6] (b). 일반적으로 독립뇌우는 평균 바람의 흐름을 따라 이동하는 경향이 있다.



[그림 3-6] 2004년 6월 27일 17~18 KST 독립 뇌우 그림. (a) 합성장 레이더 영상, (b) 1시간당 강수량, (c) 강조 GMS 영상 (Lee and Kim 2007)

2 대류 밴드

대류 밴드는 일반적으로 직선으로 길게 뻗어 발달하는 형태를 보인다 [그림 3-7]. 밴드의 크기를 살펴 보면 폭은 2~20 km, 길이는 약 200 km 까지 발달하고, 하층 대기의 수렴으로 대류 활동이 일어나는 선을 따라 발생한 호우 강수 셀은 평균 바람의 흐름과 같은 방향으로 밴드를 형성하며, 늘어선 밴드에서 각 셀들은 동시에 빠르게 발달하기도 한다. 대류 밴드는 스콜선(3.4절에서 설명)에 비해 천천히 이동하는 경향이 있으며, 셀들은 독립 뇌우처럼 평균 바람의 흐름을 따라 이동한다.

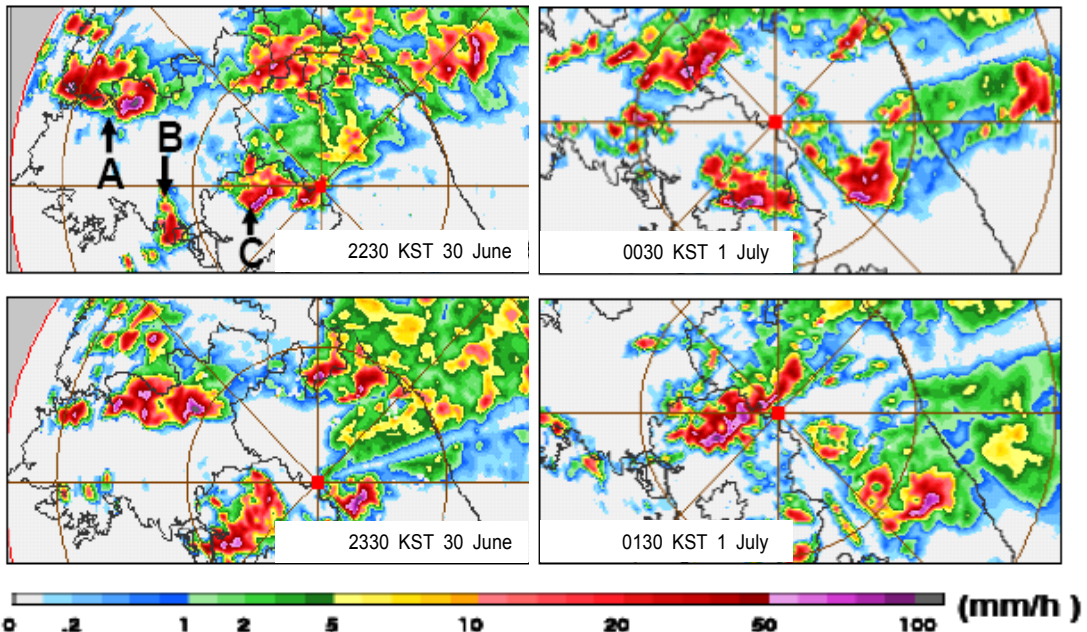


[그림 3-7] 1998년 8월 5일 강화도 부근의 대류 밴드 레이더 영상 (Lee and Kim 2007)

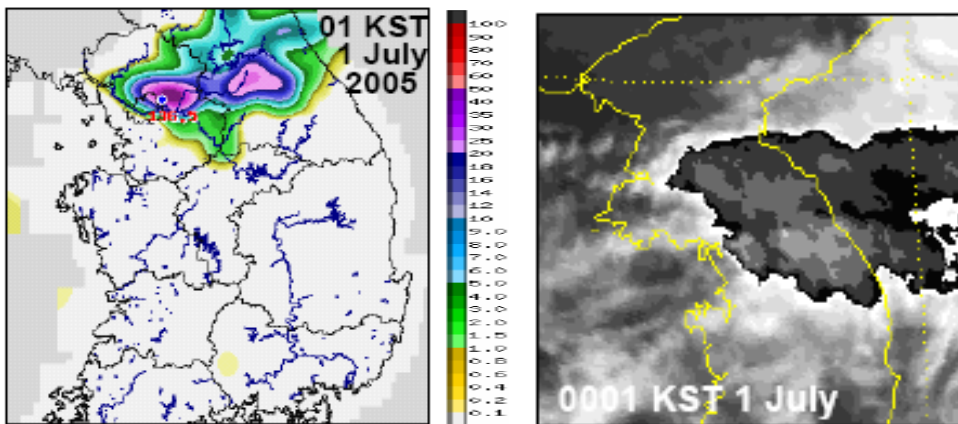
3 구름 무리

구름 무리는 중규모 호우계에서 가장 빈번하게 발생하는 유형으로, 일반적인 형태는 타원으로 발생하지만 정형화된 모습 없이 발달하는 경우도 종종 있다. 구름 무리는 작은 뇌우가 복합체를 이루며, 그 주변으로 층운형 강수가 형성되는 메조- β 규모의 호우계이다. [그림 3-8]은 2005년 6월 30일에서 7월 1일 까지 구름 무리가 발달 하여 이동하는 레이더 영상이다. 다소 형태가 뚜렷하지는 않지만 여러 개의 호우 강수계가 메조- β 스케일로 나타나고 있다.

서울의 북쪽에 위치한 A지역의 뇌우 복합체는 $50\sim 60 \text{ km h}^{-1}$ 의 속도를 가지고 남동쪽으로 이동하고 있으며 ([그림 3-8]의 0130 KST), 또 다른 구름 무리들 (B와 C)은 시간이 지남에 따라 발달하는 것을 볼 수 있다. 자동 기상 관측 시스템에서 관측된 A지역의 1시간당 강수량은 136.5 mm h^{-1} 이며 [그림 3-9] (a), 7월 1일 강조 적외 영상을 보면 대류운이 서울 북쪽에서 남동쪽으로 발달하여 덮혀 있는 것을 확인 할 수 있다 [그림 3-9] (b). 구름 무리의 이동은 보통 전선을 따라 이동하거나 기압계와 함께 움직인다. 하지만 구름 무리 안에 있는 각각의 호우 셀들은 일정한 움직임이 아니라 다양한 이동패턴을 가지고 이동한다.



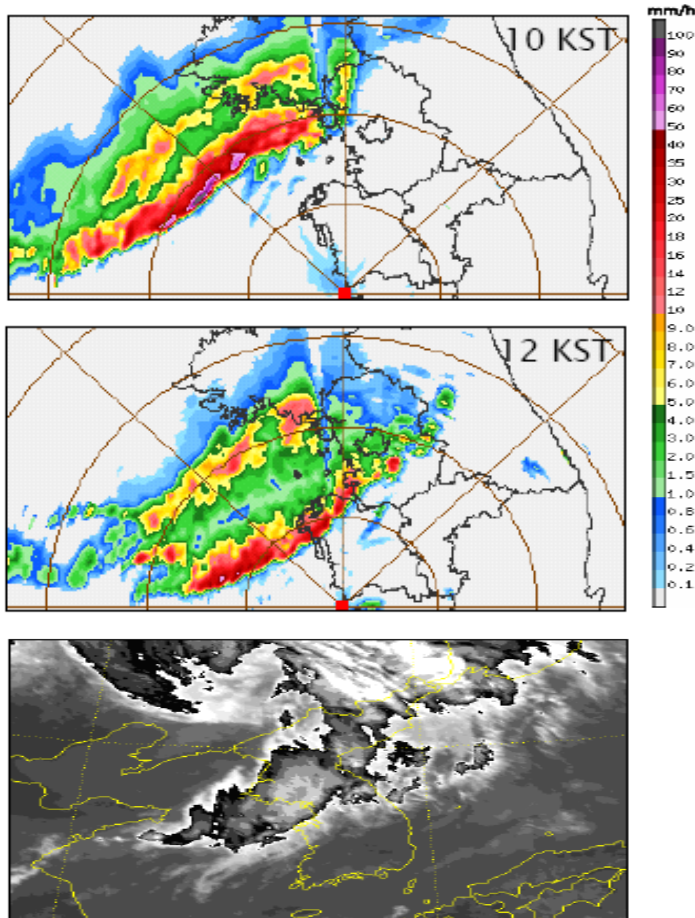
[그림 3-8] 2005년 6월 30일 2230 KST - 7월 1일 0130 KST 구름 무리의 광덕산 레이더 영상. 왼쪽 그림에서 오른쪽 그림으로 넘어갈 때 남동쪽으로 지도의 영역이 이동하였음 (Lee and Kim 2007)



[그림 3-9] 2005년 7월 1일 구름 무리 그림. (a) 1시간당 강수량, (b) 강조 적외 영상 (Lee and Kim 2007)

특히 심층 구름대의 상층부 온도가 -52°C 보다 작고, 그 크기가 $50,000\text{ km}^2$ 보다 크며 (즉 메조- α 규모), 지속시간이 6시간 보다 긴 원형에 가까운 대류성 구름 무리인 **중규모 대류복합체** (mesoscale convective complex)가 장마 전선 상에서 발달하기도 한다.

4 스크선



[그림 3-10] 2003년 8월 6일 스크선 그림. 위에 그림과 중간그림은 군산 공군기지 레이더 영상 이며 아래 그림은 12 KST의 위성 영상 (Lee and Kim 2007)

스콜선의 일반적인 모양은 선의 형태로 존재하며, 폭 10 km, 길이 100 km 정도의 크기를 가지는 호우 강수계이다. 스콜선에 포함 되어 있는 각각의 셀들은 라인을 따라 이동하지만, 스콜선 전체는 스콜선이 뻗어있는 방향과 수직으로 이동한다. [그림 3-10]은 2003년 8월 6일 한반도 서쪽에 스콜선이 지나고 있는 그림으로, 10 KST와 15 KST를 비교해 보면 스콜선은 남서에서 북동으로 길게 늘어져 있지만, 이동은 남동쪽으로 한 것을 알 수 있다. 이 스콜선의 진행방향 앞쪽에서 대류 불안정한 습윤공기가 스콜선이 만들어 내는 한랭 기류의 돌풍 전선면을 타고 상승유입 되어, 이 호우계의 지속적인 발달을 가져오게 된다. 또한 이 스콜선 뒤에 또 다른 강한 강수밴드가 존재하며, 스콜선이 이동하는 반대편에 층운형 강수가 넓은 구역에서 내리는 것을 확인 할 수 있다.

한편, 장마 전선 근처에서 발달하는 중규모 호우계는 4시간에서 최대 12시간까지 발달 지속기간을 가지고 있지만, 일본의 바이유 전선 근처에서 발달하는 호우계보다 지속시간이 2시간 정도 짧은 특징이 있다. 또한 장마 전선 주위에 발달하는 대부분의 메조- β 규모 호우계 들은 전선에서 멀리 떨어져 있는 반면, 메조- α 규모의 호우계는 대부분 전선 근처에서 발달한다. 이러한 차이로 장마 전선 상이나 그 바로 부근에서 온난 습윤한 공기가 지속적으로 유입 되므로, 중규모 호우계가 더 큰 규모로 발달 할 수 있는 것이다.

① 요약

- 여름철 호우 강수계중 구름무리형과 대류밴드형이 75% 차지한다.
- 장마시 중규모 호우계

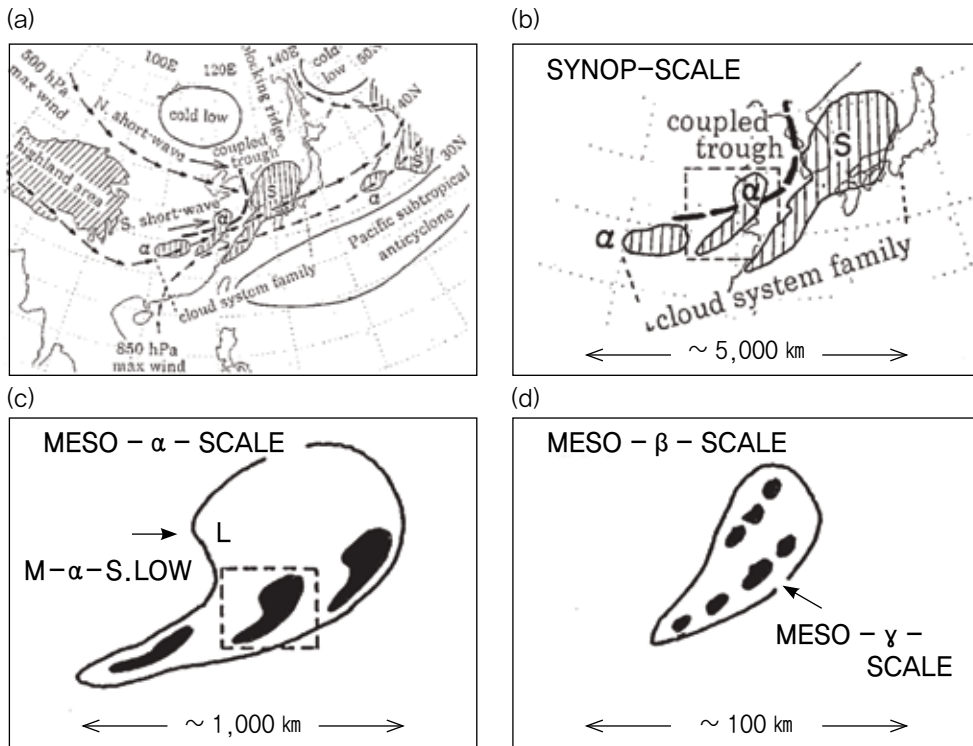
	크기	특성
독립 뇌우	수 km ~ 10 km	하나의 셀, 여러개의 셀로 발달
대류 밴드	수직: 2~20 km 수평: ~100 km	직선의 수렴대 형태로 발달
구름 무리	직경: ~100 km	타원형태의 발달 경향이 크고 메조 베타 규모
스콜 선	수직: ~10 km 수평: ~100 km	한랭기류가 형성한 돌풍전선면을 타고 대류불안정한 습윤기류가 상승유입

제3절 장마 전선대 강수계의 다중규모 구조

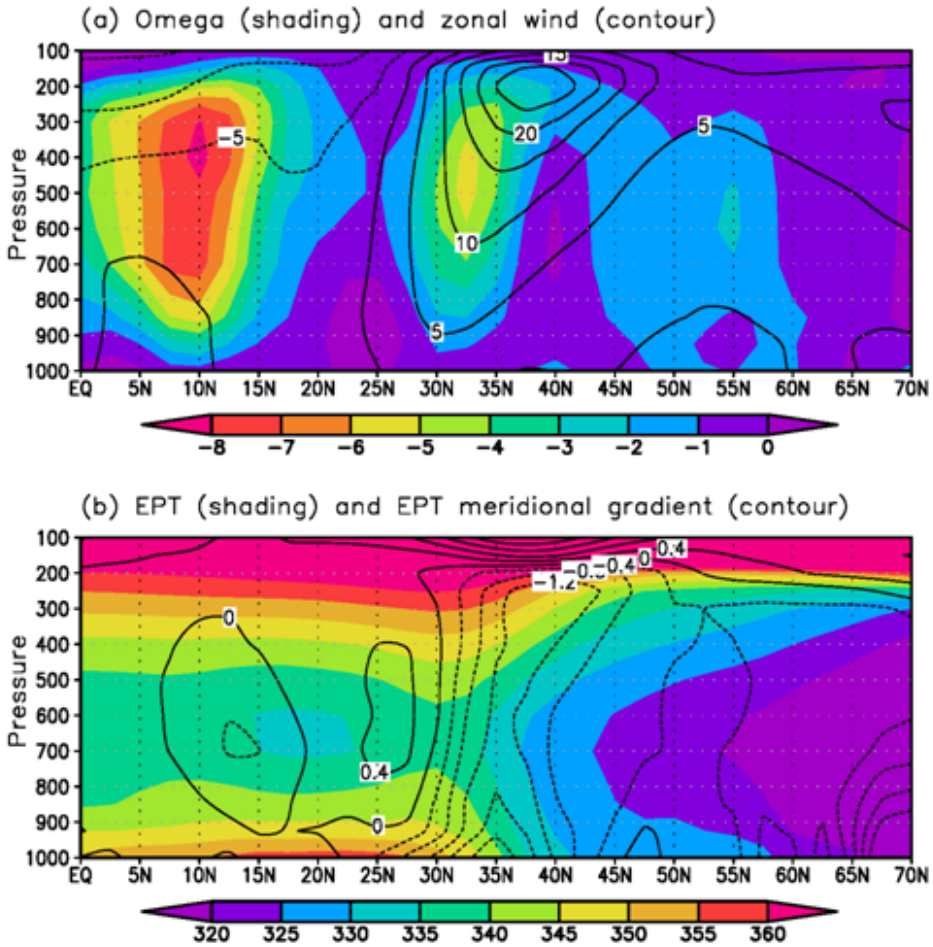
장마의 종관 및 중규모적 특징과, 장마 전선 상에서 발달하는 강수계의 다중규모 구조를 살펴보면 다음과 같다 (예, Ninomiya and Shibagaki 2007). 먼저 장마기간중에 특징적으로 나타나는 종관규모의 구조로 상층 제트가 한반도 상공을 지나고 있고 (그림 3-11) (a)에서 두 500 hPa 제트 사이에 200 hPa의 제트류 존재), 850 hPa 하층 제트류가 북태평양 고기압의 가장자리를 돌면서 습윤한 공기를 한반도 쪽으로 이류 시키고 있다. 따라서 장마 전선 상에서 생성된 강수대는 **상층 제트류의 남쪽, 하층 제트류의 북쪽**에 위치하게 된다. 또한 장마전선면 역시 남북으로 기울어져 있는 연직 구조를 가진다 (그림 3-12). 한편, 상층에서는 한랭저기압이 한반도 북부인 러시아쪽에 위치하였다가 장마기간중 남하하여 한반도 지역에 대류 불안정을 강화시킨다. 또한 러시아와 베링해 지역에 위치한 두 절리 한랭 저기압 사이에 블로킹 능이 존재하여 정체전선의 발달을 지속시킨다.

장마전선대에서 발생하는 강수계는 **다중구조**를 가진다 (그림 3-11) (b), (c), (d). (그림 3-11) (b)는 장마 강수계의 다중구조로 상층의 한대 제트와 아열대 제트가 만나는 한반도 지역의 서쪽에서 남북 두 개의 단파가 결합하여 아중관규모 저기압을 발생시키며, 이 저기압과 연관되어 발생하는 아중관규모 구름계 (그림에서 S로 표시됨)가 발달한다. 이러한 아중관규모 저기압은 2 ~ 3일 간격으로 발생하고 2000 ~ 3000 km의 파장을 가진다. 아중관규모 저기압에서 남서쪽으로 뻗은 장마전선대에서 2 ~ 3개의 메조- α 규모 구름계가 발달한다. 이들 메조- α 규모 구름들과 아중관규모 구름을 통틀어서 **구름계 가족** (cloud system family)이 되며 종관규모의 크기를 형성한다 (그림 3-11) (b). 하나의 메조- α 구름의 규모는 약 1000 km이며, 콤팩트 모양을 나타낸다 (그림 3-11) (c). 이 메조- α 규모 구름 안에 2 ~ 3개의 메조- β 규모 (100 km) 구름이 존재한다. 또한 메조- β 규모 구름 내부에도 더 작은 여러 개의 메조- γ 구름이 발생한다. 이 메조- γ 구름은 구름계가족이 이동하는 풍상측에서 생성 발달 되고, 풍하측에서 소멸한다. 강한 강수는 메조- α 구름내의 메조- β 또는 메조- γ 강수계에서 발생한다. 이 구름 시스템의 이동의 반대방향인 풍하측에서는 층운형 강수가 나타난다. 따라서 장마 전선 상에서 발달하는 강수계는 다양

한 규모의 조직화된 강수계로 이루어져 있다. 그러나 이러한 조직화된 강수계의 형성에 대한 물리적 요인은 아직 명확하게 밝혀져 있지 않다.



[그림 3-11] 장마전선에서 발달하는 강수계의 다중규모 구조에 대한 모식도. (a) 장마전선과 연관된 대규모 순환 및 아중규모(subsynoptic scale) 강수계(S) 및 메조- α 규모 강수계. 한반도의 서쪽에서 시작하는 3개의 화살표는 북쪽에서부터 각각 500, 850 hPa의 최대풍속을 나타냄, (b) 장마전선상의 구름계가족(cloud system family)의 종규모 특성, (c) 구름계 내의 메조- α 규모 구름의 특성, (d) 메조- α 규모 구름내 메조- β 규모 구름의 특성 (Ninomiya and Akiyama 1992; Ninomiya and Shibagaki 2007)



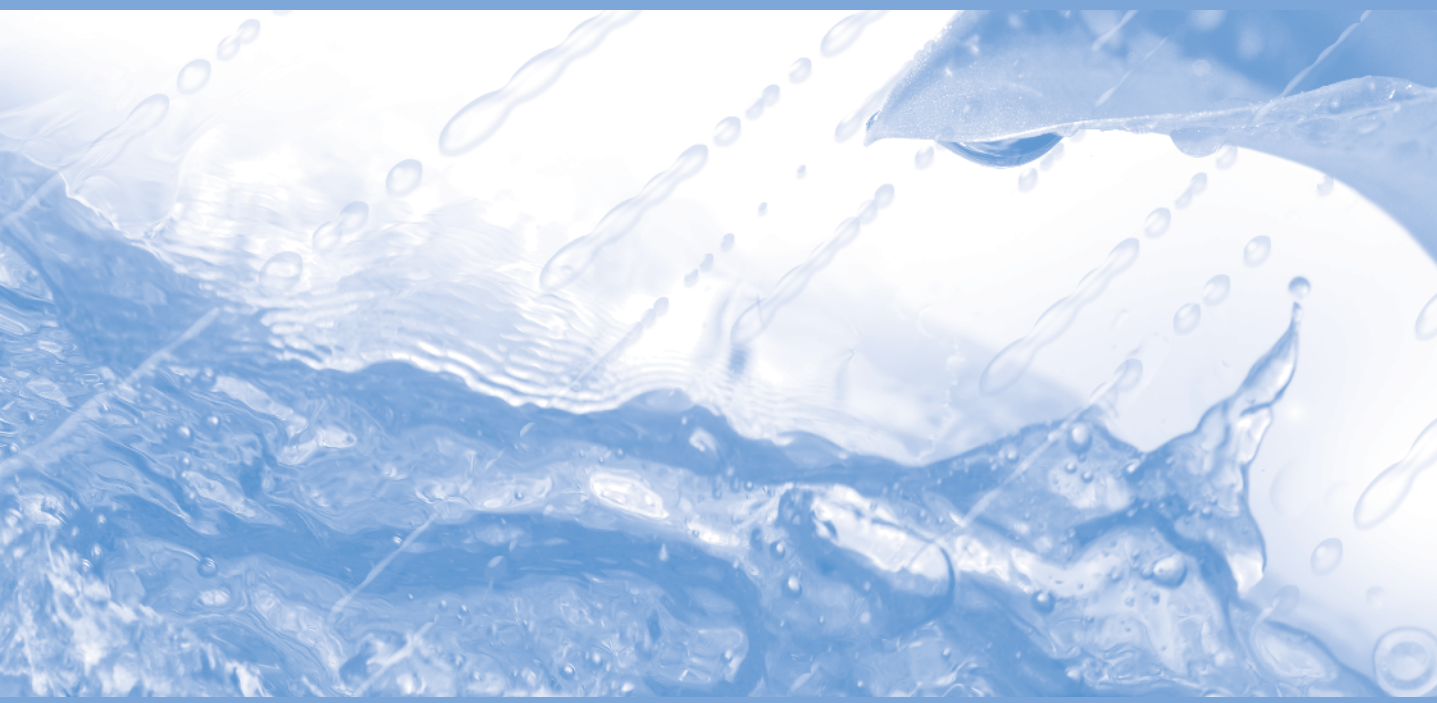
[그림 3-12] 장마기간(6/21~7/20)에 나타나는 연직구조 (a) 연직바람 (색, Pa s⁻¹ × 10²)과 동서바람 (등치선, ms⁻¹), (b) 상당온위 (색, K)와 상당온위 남북경도 (등치선, Km⁻¹ × 10⁵) (서경환 등 2011)

요약

- 장마전선의 위치 : 상층 제트류의 남쪽, 하층 제트류의 북쪽에 위치한다.
- 장마전선의 연직구조 : 하층에서 상층으로 갈수록 북쪽으로 기울어져 있다.
- 장마전선의 강수계 : 종관규모 저기압계 내에 이보다 작은 아종관규모, 메조- α , 메조- β , 메조- γ 의 규모를 가지는 다중구조 형태이다.

제3절 장마 전선대 강수계의 다중규모 구조

Changma 2011

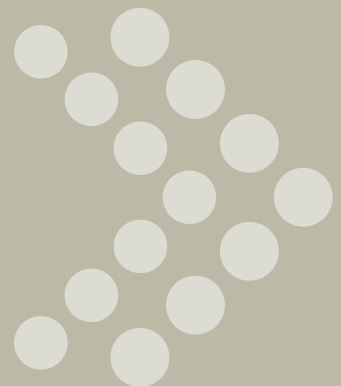




제4장

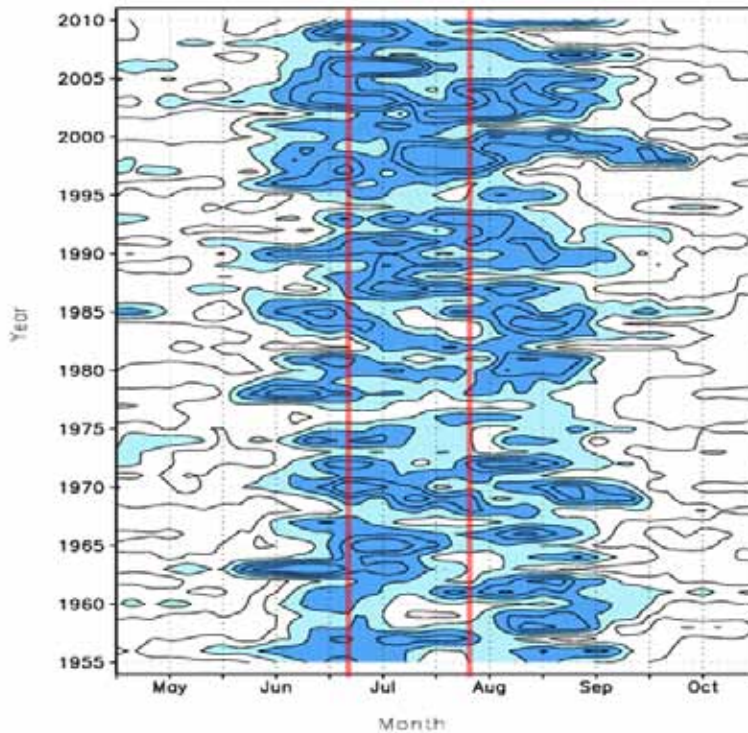
장마의 변동성

- 제1절 장마 변동 특성
- 제2절 계절내 변동 및 연주기
- 제3절 경년 변동성
- 제4절 장주기 변동



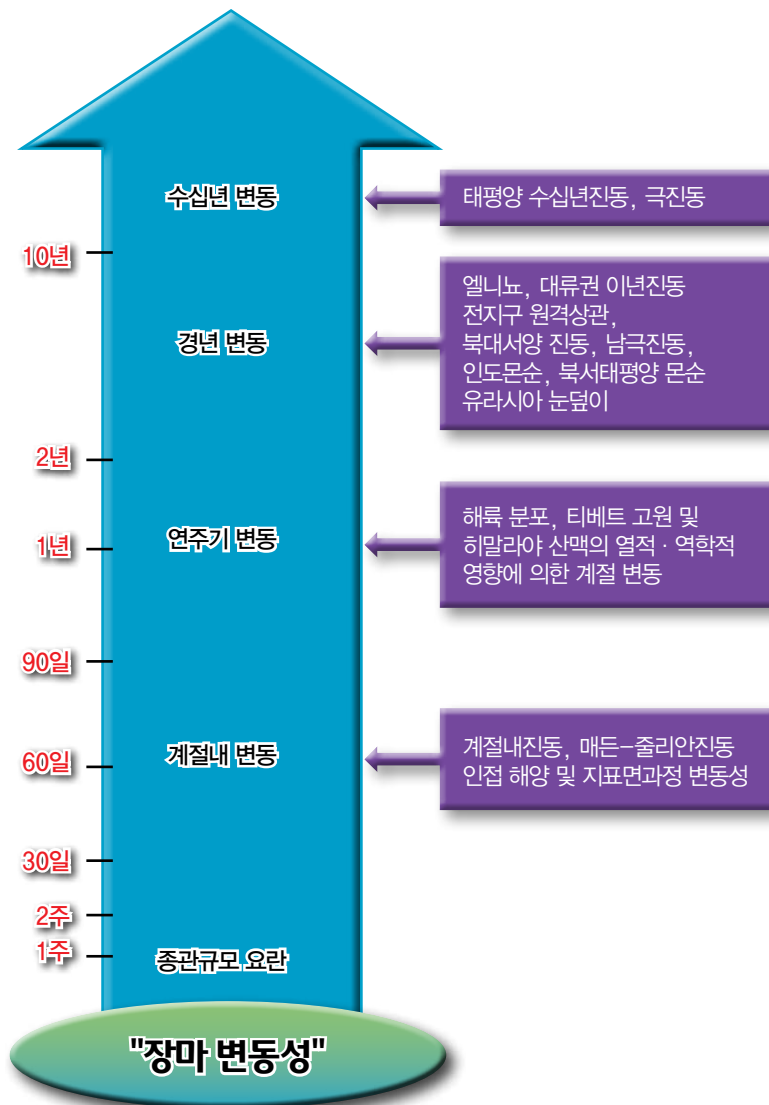
제1절 장마 변동 특성

장마의 시작과 종료 시점, 기간, 그리고 강수량은 매년 큰 폭으로 변한다 [그림 4-1]. 매년 30~80일 간격의 특징적인 계절내 변동에 의해 장마의 시종과 2차 우기의 시종 시점은 상당히 달라진다. 또한, 장마 기간 강수량은 현저한 경년 변동 (2년~9년 주기) 뿐만 아니라 장주기 변동 (10년 이상)을 나타낸다.



[그림 4-1] 한반도 11개 기상청 평균, 5일 평균 강수량. 선은 3 mm day⁻¹ 간격, 붉은 선은 장마기간 표시

장마를 포함하는 동아시아 몬순은 엘니뇨, 대류권 이년 주기변동, 전지구 원격상관, 극진동, 북서 태평양 몬순, 인도 몬순, 유라시아 대륙의 지표 상태, 티베트 고원의 열적 강제력, 인접 해양 변동성 등과 같은 다른 기후 시스템과 다양한 시간 규모에서 상호작용 한다 [그림 4-2]. 그에 따라서 특징적인 계절내 (intraseasonal), 연주기 (annual), 경년 (interannual) 및 장기 (decadal) 변동 특성을 나타낸다.



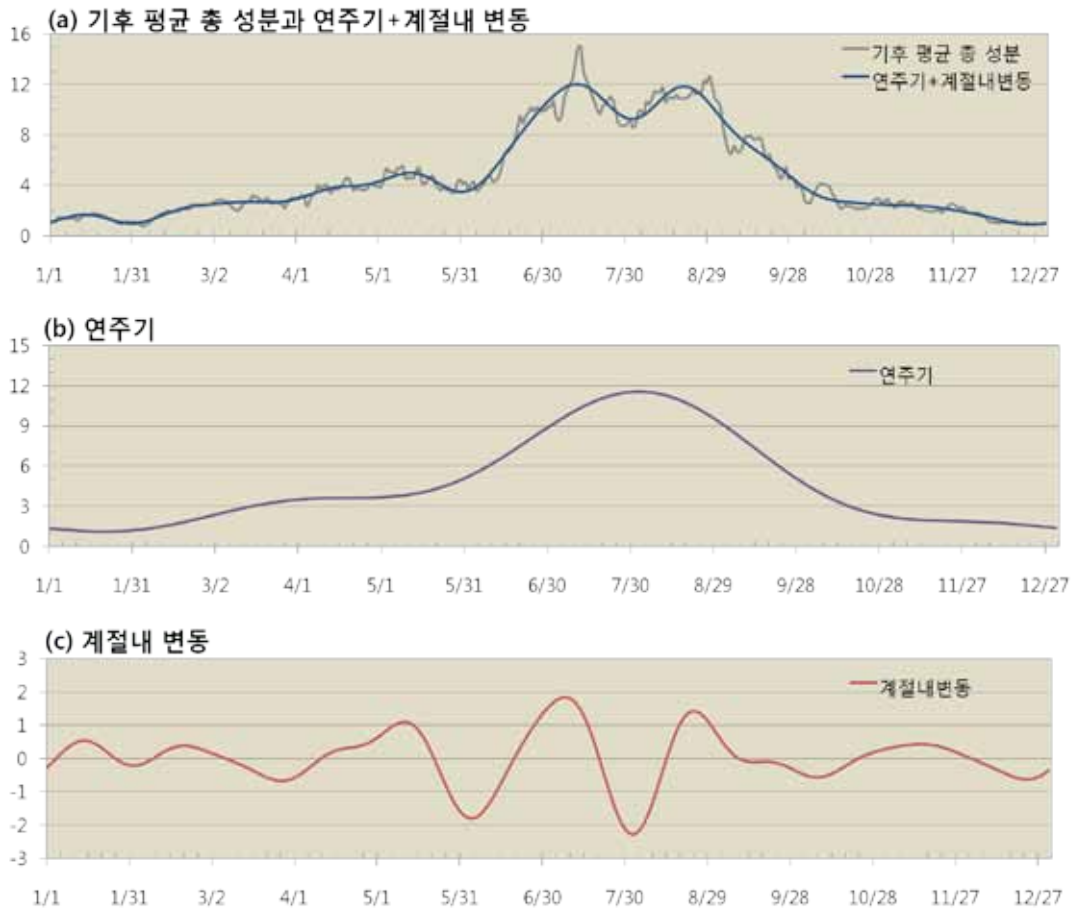
[그림 4-2] 장마를 포함하는 동아시아 몬순 시스템의 고유한 변동 요소 및 다른 기후 시스템과의 상호작용

제2절 계절내 변동 및 연주기

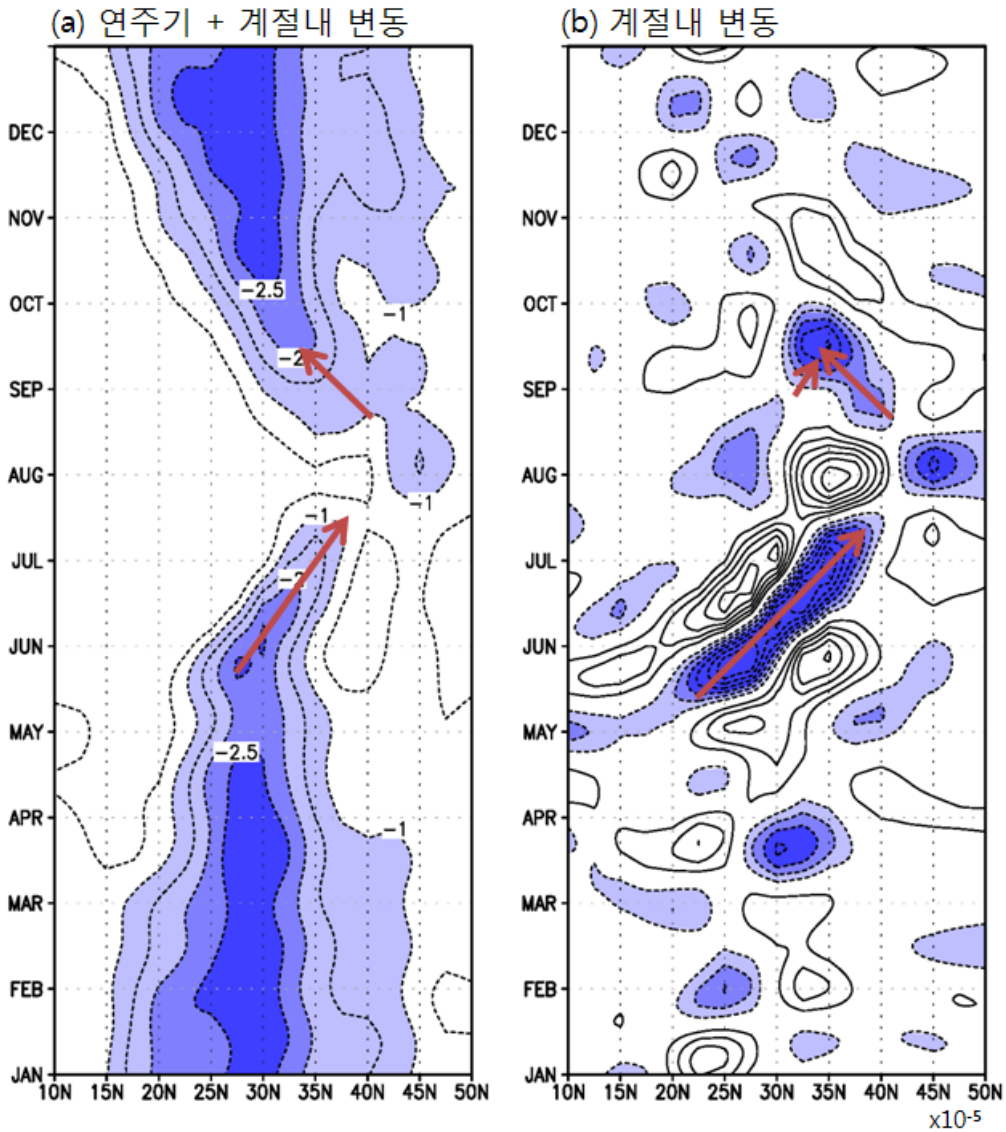
몬순 시스템은 대기 순환 고유의 내부 역학 과정 및 인접 해양과의 상호작용을 통해 뚜렷한 계절내 변동을 나타낸다. 일반적으로 몬순의 시작과 종료는 계절내 변동이 연주기 위상과 맞물리면서 결정되어지며, 이에 따라 특징적인 우기와 건기가 구분된다. 그와 같은 변동성은 아시아 몬순 지역에서 나타나는 극한 기후 현상에 의한 자연 재해에 80% 이상 영향을 미친다 (Webster et al. 1998; Lau and Waliser 2005; Wang 2006). 계절내 변동성은 일반적으로 30일에서 80일 정도 주기를 가지며, 때때로 경년 변동성의 진폭에 상당하는 규모를 가진다 (Kang et al. 1999).

우리나라 기후평균 총 강수량 [그림 4-3] (a)은 뚜렷한 연주기 [그림 4-3] (b) 와 계절내 변동성 [그림 4-3] (c)을 나타낸다. 연주기는 1월 중순에 최소값을, 8월 초순에 최대값을 나타낸다. 계절내 변동은 5월 초·중순과 6월 말~7월 초순에 우기를, 5월 말~6월 초순과 7월 말~8월 초순에 건기를 나타낸다. **장마의 시작과 종료, 2차 우기의 시작과 종료는 연주기와 계절내 변동성이 서로 맞물려서 결정 된다** ([그림 4-3] (a)의 파란선). 장마의 시작은 강수량 시계열의 연주기와 계절내 변동의 합이 6 mm day^{-1} 이상이 되는 6월 20일 경으로 볼 수 있다. 연주기의 최고값은 8월 1일에 나타나는 반면, 계절내 변동의 여름철 일차 최고값은 7월 5일 경에 나타난다. 두 변동 성분의 합으로 우리나라 여름철 장마 기간 중 최고값이 나타나는 시점은 7월 10일 경이 된다.

우리나라 강수량의 연주기와 계절내 변동은 동아시아 몬순 시스템과 정체전선이 시간에 따라 북쪽으로 이동하다가 다시 남쪽으로 이동되는 특성과 연관되어 있다 [그림 4-4]. 우리나라를 포함하는 경도대 ($125^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$)에서 정체전선은 6월 초부터 7월 중순까지 위도 20°N 부근에서부터 우리나라까지 북진한다. 이 정체전선은 그 후 만주 지역으로 북상하면서 약화된다. 8월 중순경 우리나라 북동쪽에서 형성된 정체전선이 남진하면서 한반도 2차 우기가 시작된다. 즉, 이 시기에는 중위도 시스템의 계절내 변동의 영향을 받게 된다. 이와 같이 시간에 따른 정체전선의 이동은 계절내 변동 성분에 의해서 많은 부분이 결정 된다 [그림 4-4] (b).



[그림 4-3] 우리나라 60개 관측소 평균 및 기후 평균 (1981~2010) (a) 총 성분 및 연주기와 계절내 변동 성분 합산, (a) 연주기 성분, (c) 계절내 변동 성분



[그림 4-4] 기후평균 (1981~2010) 상당온위 남북 경도의 시간에 따른 변화 과정. (a) 연주기와 계절내 변동의 합산 성분 (선 표시: $-1, -2.0, -2.5 \times 10^{-5} \text{ K m}^{-1}$), (b) 계절내 변동 성분 (선 간격: $-0.1 \times 10^{-5} \text{ K m}^{-1}$)

① 요약

- 연주기와 계절내 변동, 이 두 요소에 의해 장마의 시종, 2차 우기의 시종이 결정된다.

제2절 계절내 변동 및 연주기

Changma 2011



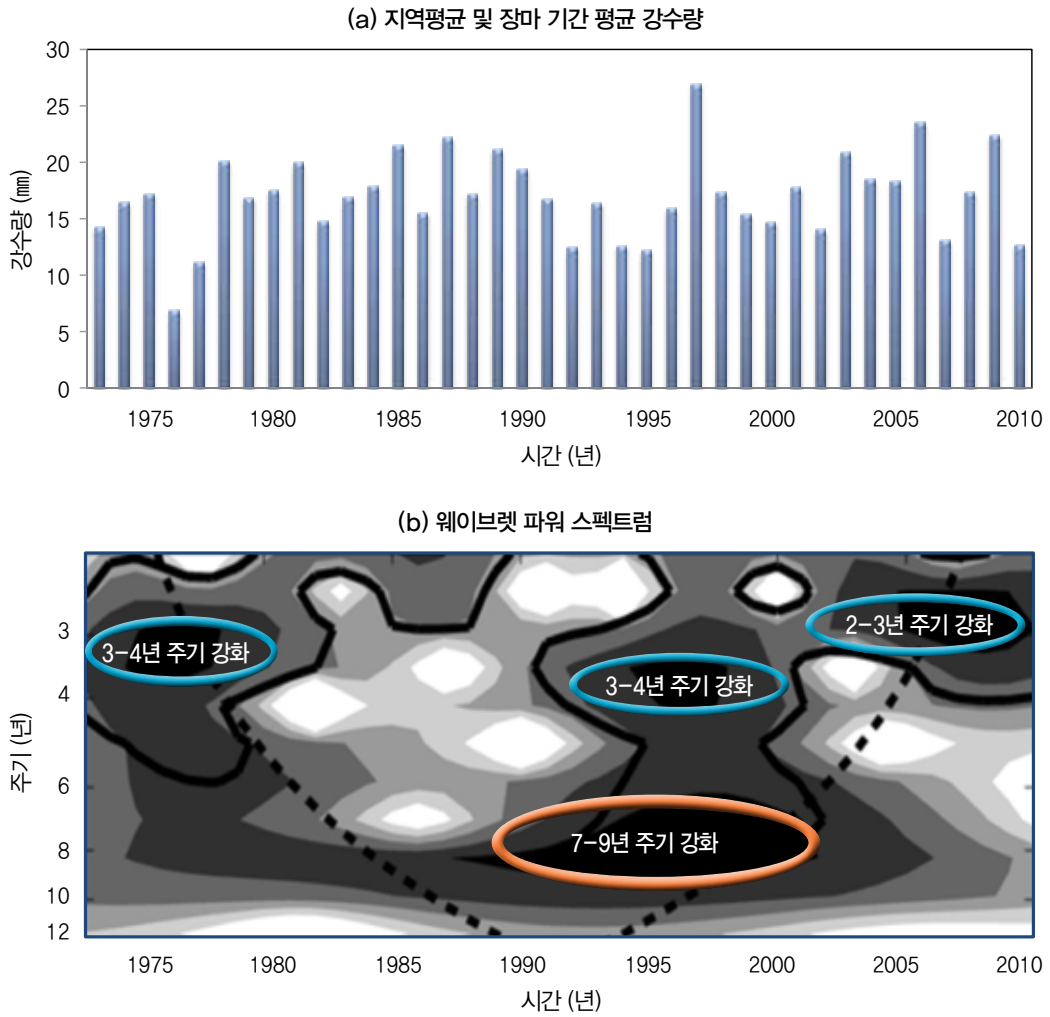
제3절 경년 변동성

장마는 경년변동 시간 규모에서 다양한 기후 시스템과 상호 작용하며 특징적인 변동성을 나타낸다. 장마의 경년 변동 특성을 이해하고, 그 변동성의 원인을 밝히는 것은 장마의 모니터링과 예측뿐만 아니라 미래 장마 변화를 전망하기 위해 매우 중요하다.

장마 기간 동안 강수량은 2~4년 사이 변동성이 가장 크며, 7~10년 사이 변동성도 크게 나타낸다 [그림 4-5] (a). 2~4년 주기 변동성의 경우 1980년대와 1990년 초반에 약하게 나타나는 반면 2000년대에는 비교적 크게 나타나는 경향이 있다.

이 절에서는 먼저 다우 및 과우 장마해를 분류하고, 각 시기의 특성을 분석한다. 그 다음 장마의 경년 변동에 영향을 주는 주요한 기후 요소들을 제시하고, 각 요소들이 어떠한 역학적·물리적 과정을 통해 장마에 영향을 주거나, 혹은 상호작용하는지 기술하고자 한다. 이 절에서 논의할 기후 요소들은 다음과 같다.

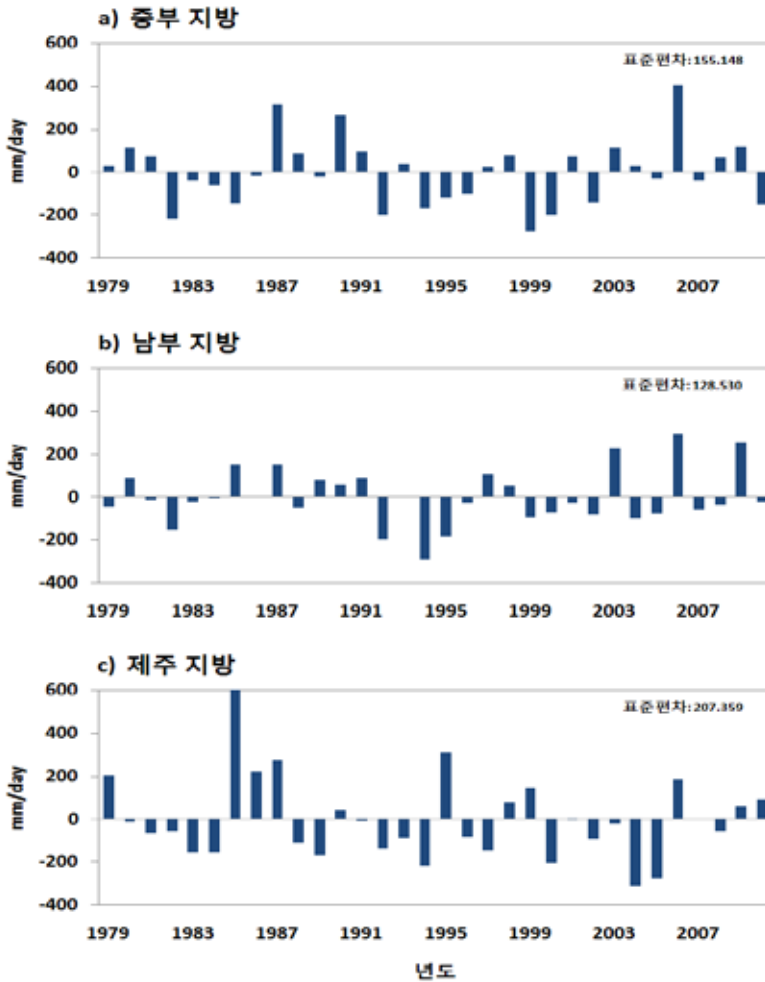
- 북서 태평양 몬순 (Western North Pacific Summer Monsoon)
- 인도 몬순 (Indian Summer Monsoon)
- 엘니뇨/라니냐 (El Nino/ La Nina)
- 대류권 2년 주기 진동 (Tropospheric Biennial Oscillation: TBO)
- 유라시아 대륙 눈덮임 (snow cover)
- 북대서양 진동 (NAO) 혹은 극진동 (AO)
- 티베트 고원 및 히말라야 지표 기온 변동 (티베트 상층 고기압 변동)



[그림 4-5] (a) 우리나라 지역 평균 및 장마 기간 평균 강수량 (1973 ~ 2010), (b) 장마 강수량의 웨이블릿 파워 스펙트럼 분석 결과

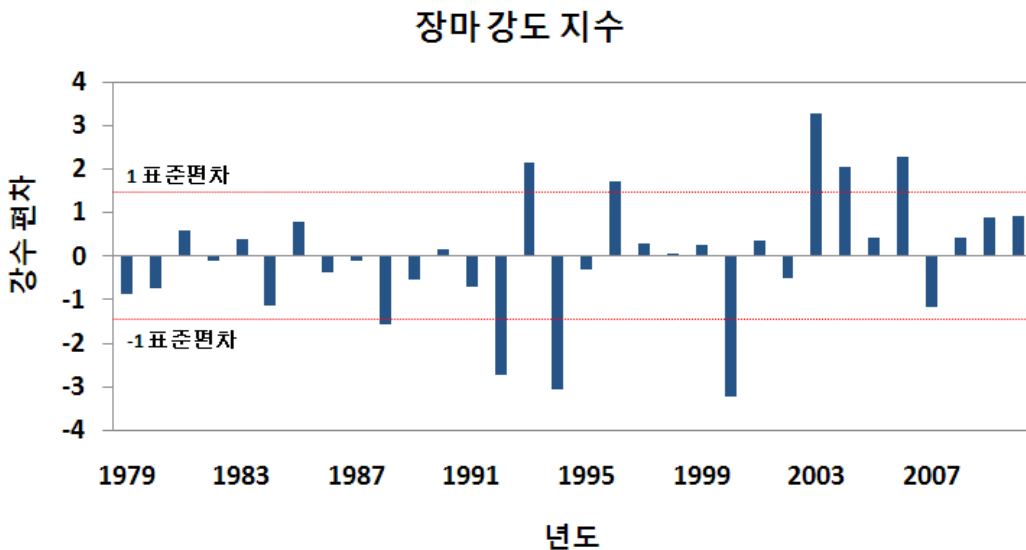
1 강장마와 약장마 특성

일반적으로 중부와 남부는 유사한 경년 변동을 나타내지만, 제주 지방은 두 지역과 사뭇 다른 변동 특성을 나타낸다 (그림 4-6). 중부 지방 장마 강수의 표준편차는 $155.148 \text{ mm day}^{-1}$, 남부 지역은 $128.510 \text{ mm day}^{-1}$, 제주지역은 $207.4 \text{ mm day}^{-1}$ 이다. 즉, 제주 지역 강수의 매년 변동폭이 남부 및 중부 지역 보다 크게 나타난다.



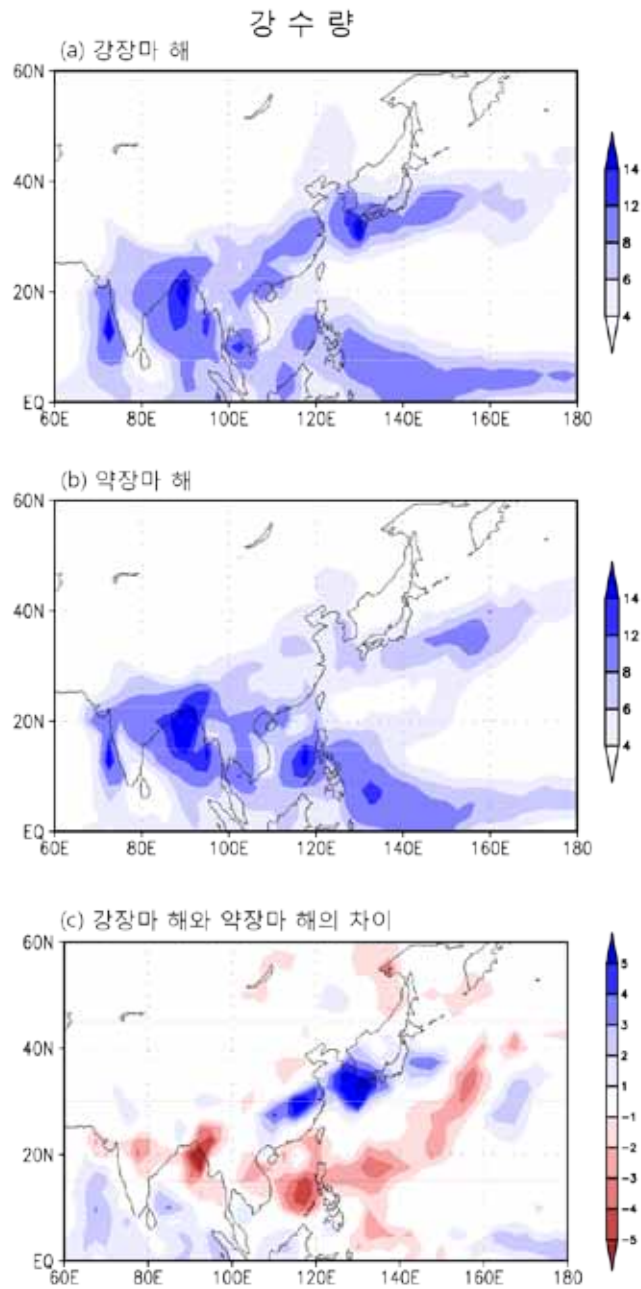
[그림 4-6] 장마 기간 총 강수량 시계열 (1979 ~ 2010) (a) 중부, (b) 남부, (c) 제주지방 평균

우리나라의 평균적인 다우와 과우 장마해를 분리해 내기 위해서 우리나라 지역 평균 강수량을 이용해 장마 강도 지수를 정의하였다. 기본적으로 장마의 세기는 장마의 지속 기간 혹은 장마 기간 동안 내린 총 강수량으로 인식되어 있다. 이들은 주로 장마의 지속기간이 길수록 총 강수량이 많고 지속기간이 짧을수록 총 강수량은 적은 선형적인 관계를 나타내지만 상관계수는 약 0.5로 아주 높지는 않다. 이러한 사실을 보완하여 나타내기 위해 장마 강도는 장마 지속 기간 동안 내린 평균 강수량으로 정의하고, 기상청에서 제공하는 과거 장마기간 통계자료와 강수량 자료를 이용해서 장마 강도에 대한 지수를 만들었다 [그림 4-7]. 장마 강도는 1990년대 초반부터 그 진폭이 강해지는 특성을 보인다. 장마 강도 지수를 이용해서, 지수가 0.75 표준편차 보다 높은 해를 강장마, -0.75 표준편차보다 낮은 해를 약장마로 분류했다. 또한, 이들을 합성장 분석을 통해 강장마의 특징과 약장마의 특징, 그리고 이들의 차이를 분석했다 (Seo and Song 2011).



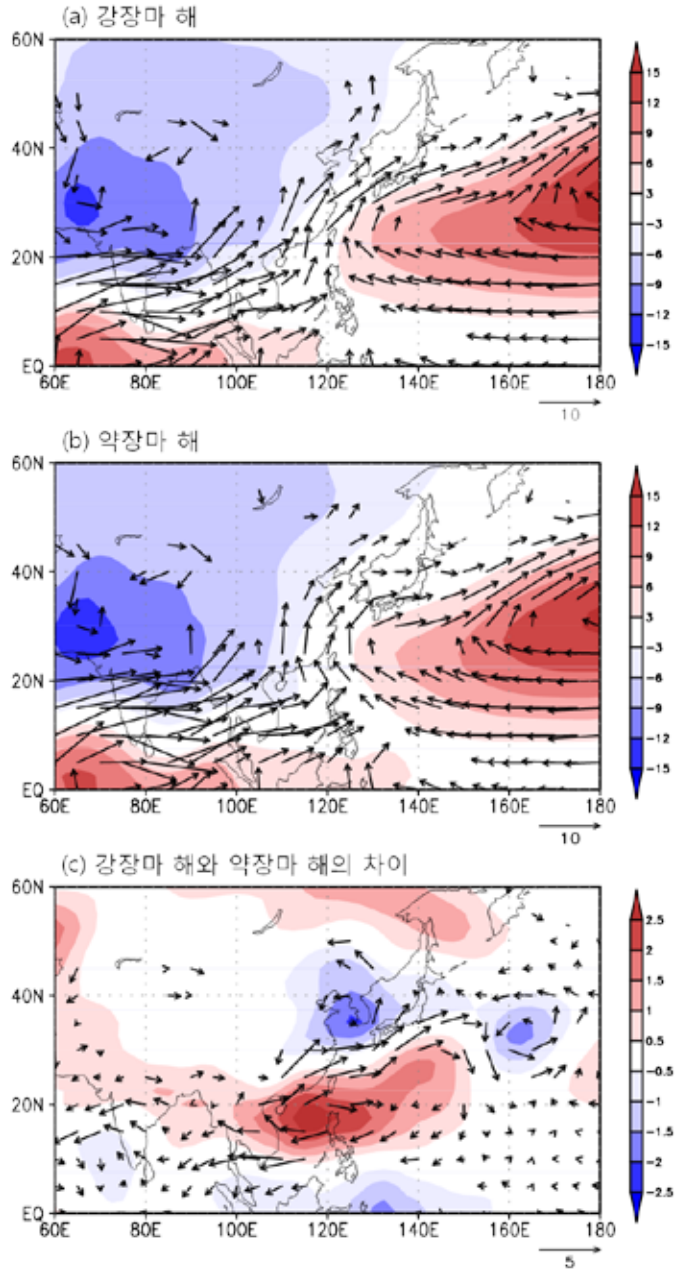
[그림 4-7] 장마 기간 동안 한반도 주변의 강수량 강도 지수 (CMAP)

강장마 해에는 장마 뿐만 아니라 동아시아 몬순 강수가 매우 강하게 나타나며, 북서 태평양 몬순은 약하게 나타나는 경향이 있다 [그림 4-8]. 또한 강장마 해에는 동아시아 기압골이 강화되고 그에 따라 대류권 중층에서 상승기류가 강화되는 특성을 보인다. 반면 북서태평양 몬순 지역에서는 기압골이 약화되고 중층에 하강기류 편차가 형성되어 강수가 약화된다. 이와 같은 패턴은 북서태평양-동아시아 몬순 원격상관 패턴과 유사하다. 이 패턴은 다음에서 자세히 다루었다.



[그림 4-8] a) 강장마 해와 b) 약장마 해의 강수량 합성
c) 강장마 해와 약장마 해의 강수량 차이 (Seo and Song 2011)

유선함수와 바람장

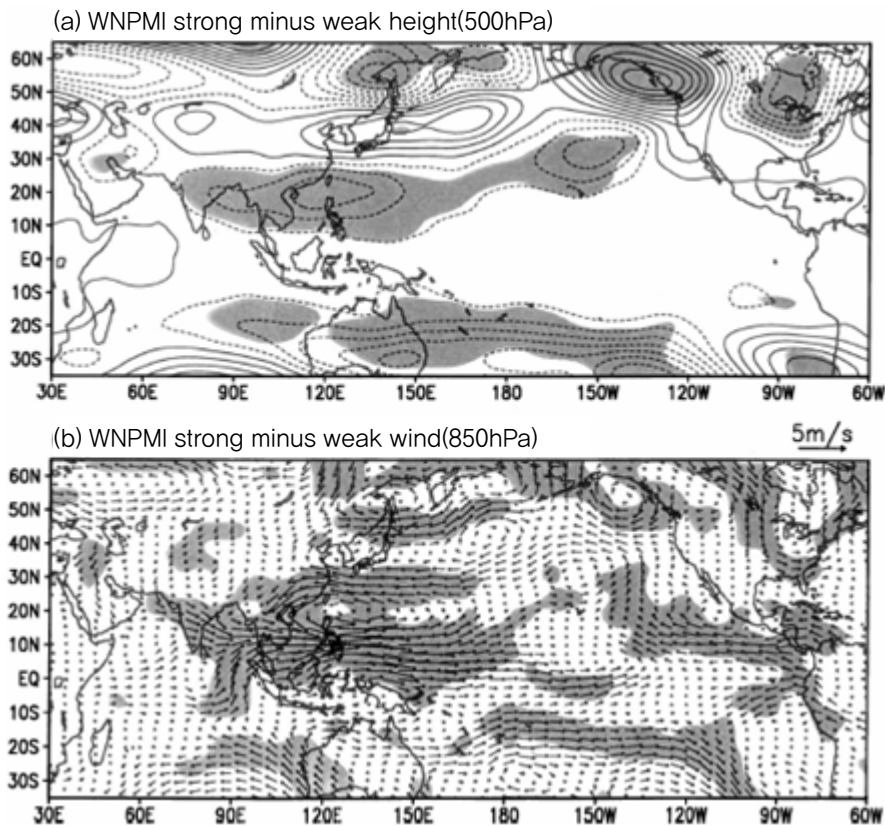


[그림 4-9] (a) 강장마 해와 (b) 약장마 해의 850-hPa 바람장(벡터), 850-hPa 유선 함수(색), (c) 강장마 해와 약장마 해의 차이 (Seo and Song 2011)

2 북서태평양 몬순과 장마의 관련성

위에서 논의한 바와 같이 북서태평양 몬순과 장마를 포함하는 동아시아 몬순은 서로 음의 상관관계를 가진다. 이러한 관련성은 북서태평양-동아시아 몬순 원격상관 (Wang et al, 2001), 혹은 태평양-일본 (P-J) 원격상관 (Nitta 1987)이라고 알려져 있다.

북서태평양-동아시아 원격 상관 패턴은 북서태평양 지역의 활발한 대류 활동에 의해 발생하는 대기의 순압 불안정 (barotropic instability) 모드이거나 로스비 파동의 전파 과정에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다. 여름철 북서태평양 지역에 대류활동이 강화되고 강수가 증가하면 (북서태평양 몬순의 강화), 로스비 파동이 발현되고, 그 전파에 의해 원격상관 패턴이 나타난다 [그림 4-10]. 위도 20°N 부근에



[그림 4-10] 강한 북서태평양 여름몬순과 약한 북서태평양 여름몬순의 합성도 편차. (a) 500-hPa 등고선, (b) 850-hPa 바람. 음영된 부분은 95% 신뢰구간. (Wang et al. 2001)

동서방향으로 길게 뻗은 저기압이 존재하고, 35°N 근처에 우리나라 황해에서부터 날짜 변경선까지 길게 뻗은 고기압이 나타난다. 위도 50°N 근처에서는 고기압성흐름이 나타나고, 이러한 파동 패턴은 북미 대륙까지 연결되어 나타난다 (Wang et al. 2001; Yun et al. 2008). 우리나라의 경우 고기압성 흐름의 영향을 받기 때문에 강수량이 감소하게 된다. 반대로 북서태평양에서 대류활동이 약화되어 강수량이 감소하는 경우에는 우리나라가 저기압성 흐름의 영향을 받게 되고, 장마 강수량이 증가하게 된다 [그림 4-11]. 이와 같은 북서태평양-동아시아몬순 원격상관 패턴은 다음에 설명할 엘니뇨 현상과 관련되어 있다. 일반적으로 엘니뇨가 소멸하는 여름철 북서태평양 지역에 고기압성 흐름이 발달하고 그에 따라 북서태평양 몬순이 약화된다. 이는 장마를 포함하는 동아시아 몬순을 강화시키는 역할을 하게 된다.



[그림 4-11] 북서태평양 몬순-동아시아 몬순 원격상관 패턴 모식도

3

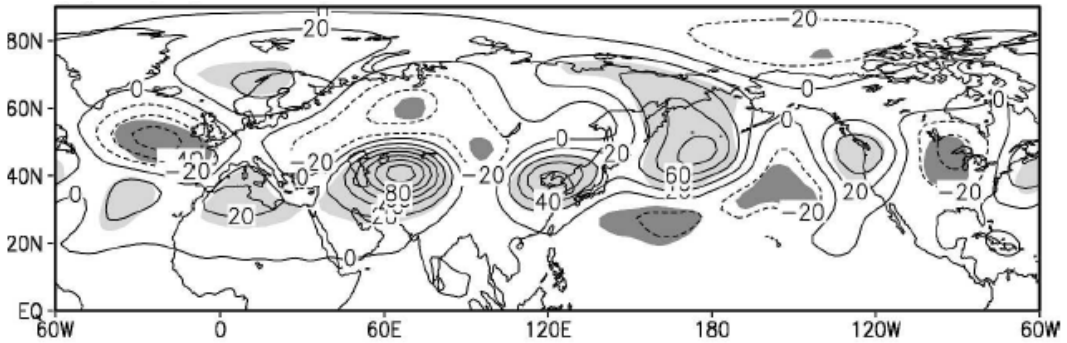
인도 몬순과 장마의 관련성

인도 몬순과 동아시아 몬순은 **여름철 북반구 전체 원격상관 패턴** (Kripalani and Kulkarni 1997; Wang et al. 2001; Krishnan and Sugi 2001; Wu and Wang 2002; Ding and Wang 2005) 및 **실크로드 패턴** (silk road)에 의해 연관된다고 알려져 있다.

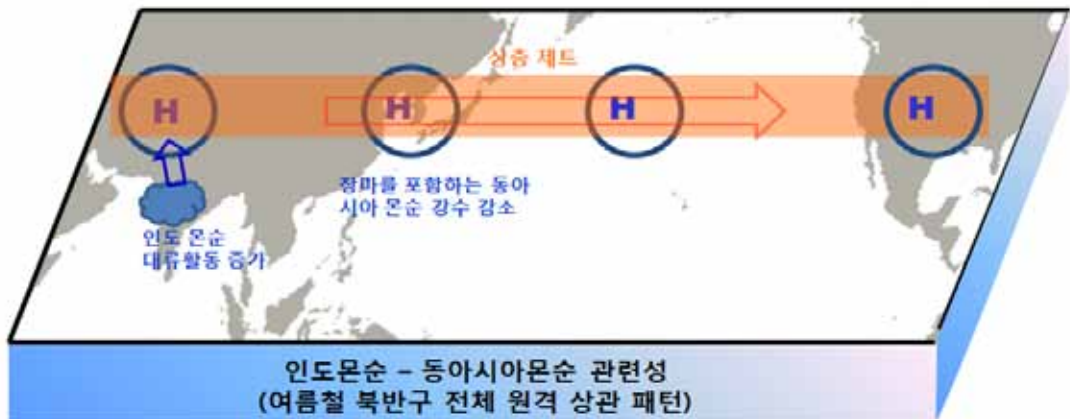
1) 여름철 북반구 전지구 원격상관 패턴 (CGT)

인도 몬순 지역 (특히 인도 대륙)의 활발한 대류활동에 의해 유라시아 대륙부터 북미까지 연결되는 여름철 북반구 전체 원격상관 패턴이 만들어 질 수 있다 (Ding and Wang 2005; Ding et al. 2011; Lee et al. 2011a). 이 원격 상관 패턴은 기존에 알려진 인도 몬순-동아시아 몬순의 음의 상관 관계를 잘 설명할 수 있다 (Kripalani and Kulkarni 1997; Wang et al. 2001; Krishnan and Sugi 2001; Wu and Wang 2002). 또한 동아시아-미국 대륙에 이르는 원격 상관 패턴을 포함한다 (Lau et al. 2004a,b). 인도 몬순 지역에서 평년보다 더 활발한 대류 활동이 있을 경우 티베트 고원 서쪽에 강한 상층 고기압성 흐름이 만들어지며, 이에 따라 한반도를 중심으로 한 동아시아 지역 상층에 강한 고기압성 흐름이 유도된다. 따라서 한반도와 동아시아 지역은 상대적으로 강수량이 감소하고 지표 온도는 평년보다 증가하는 경향을 가진다 [그림 4-12]. 반대로 인도 몬순이 평년 보다 약한 경우, 티베트 고원 서쪽에 저기압성 흐름이 발현 되고, 이에 따라 한반도를 중심으로 한 동아시아 지역 상층에 저기압성 흐름이 유도되어 동아시아 몬순 강수량이 증가하고 지표 온도가 평년보다 감소하는 경향이 있다. 이와 같은 인도 몬순-동아시아 몬순의 연관성을 [그림 4-13]에 도식화 하였다.

인도 몬순 강수량의 경년 변동은 엘니뇨/라니냐와 밀접한 관련을 가진다. 일반적으로 엘니뇨가 발달하는 여름철에 인도 몬순 강수량이 감소되며, 라니냐가 발달하는 여름에는 인도 몬순 강수량이 증가 된다. 인도 몬순과 동아시아 몬순의 연관성 및 인도 몬순과 엘니뇨/라니냐의 연관성은 2009년과 2010년 여름철에 두드러지게 나타났다. 2009년 여름철의 경우 발달하는 엘니뇨와 더불어 인도 몬순이 약화 되었고, 그에 따라 티베트 고원 서쪽과 한반도 주변에 저기압성 흐름이 형성되었으며, 한반도 및 주변 해양 지표 기온이 낮아지고 강수가 증가되었다. 그와 반면 2010년 여름철의 경우 발달하는 라니냐와 더불어 2009년 여름철과 반대 되는 기후 편차를 나타냈다. 즉, 2009년과 2010년은 엘니뇨 발달과 인도 몬순 사이의 음의 상관, 인도 몬순과 동아시아 몬순 사이의 음의 상관, 그리고 엘니뇨 발달과 동아시아 몬순 사이의 양의 상관을 전형적으로 보여준 해라고 할 수 있다.



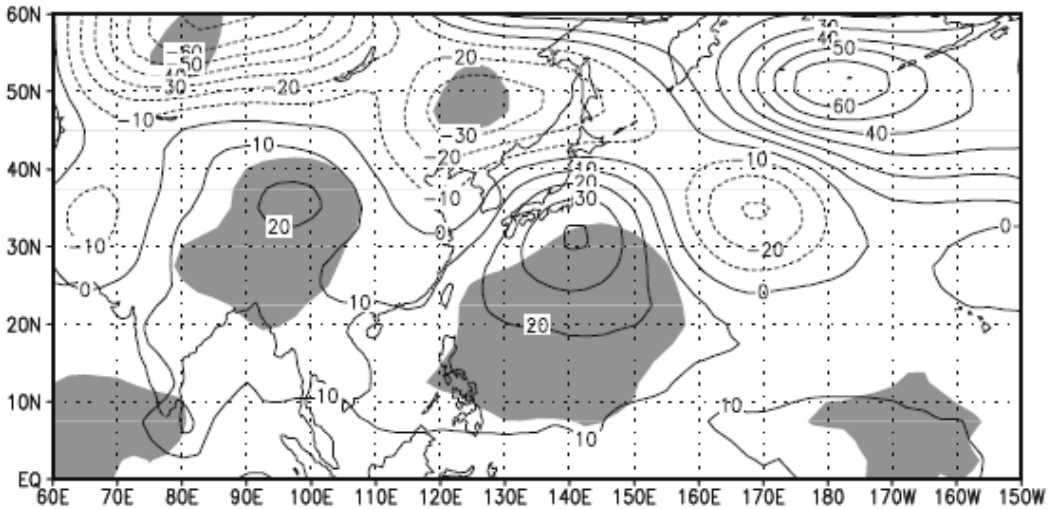
[그림 4-12] 200-hPa 지위 고도에서 나타나는 7월달 북반구 중위도 전체 원격 상관 패턴 (CGT) (Ding and Wang 2005)



[그림 4-13] 여름철 북반구 전체 원격 상관 패턴에 의한 인도 몬순-동아시아 몬순 관련성

2) 실�크로드 패턴

실�크로드 패턴 (Enomoto et al. 2003)은 위에서 기술한 북반구 중위도 원격 상관 패턴과 다소 다른 변동 특성을 나타낸다. 북반구 중위도 전체 원격 상관 패턴의 변동 중심은 티베트 고원 서쪽과 한반도 주변에서 나타나는 반면, 실�크로드 패턴은 티베트 고원 동쪽과 일본 남부 태평양 연안의 보닌섬 주변에 큰 변동성을 나타낸다 [그림 4-14]. 실�크로드 패턴은 주로 8월 벵갈만 지역의 활발한 대류 활동에 의해 발현되는 로스비 파동의 전파로 보여진다. 벵갈만 지역의 대류 활동은 티베트 고원 동쪽과 보닌섬 주변에 고기압성 흐름을 한반도를 포함하는 동아시아 지역에 저기압성 흐름을 형성하며, 동아시아 몬순을 강화시키는 경향이 있다.



[그림 4-14] 벙갈만 지역 대류활동이 증가 할 때 유도되는 500-hPa 고도 순환 패턴 (Ha and Lee 2007)

4 엘니뇨/라니냐와 장마의 관련성

1) 엘니뇨/라니냐와 한반도 기후 연관성에 대한 상반된 의견들

엘니뇨/라니냐는 대기-해양의 상호작용에 의해 열대 태평양의 해수면 온도가 2~7년 주기로 변동하는 현상이다. 엘니뇨/라니냐는 열대 태평양 기후 뿐만 아니라 전지구 기후 시스템을 변동시키는 가장 강력한 기후 현상이다 (Horel and Wallace 1981, 그 외 많은 논문). 특히, 엘니뇨/라니냐 현상은 아시아 몬순 순환의 변동과도 밀접한 연관성을 가지는 것으로 알려져 있다 (Yasunari 1990; Wang et al. 2001). 그러나, 몬순의 영향을 받고 있는 아시아의 여러지역들에 미치는 영향은 지역에 따라 다르게 나타나고 있다.

동태평양의 해수면 온도가 상승/하강 하는 엘니뇨/라니냐 현상이 한반도 기후에 얼마나 많은 영향을 미치는지에 대해서는 아직 논란의 여지가 있다. 일부 전문가들은 엘니뇨/라니냐가 한반도와 거리가 먼 열대 태평양 현상이기 때문에 의미 있는 영향을 주기 힘들다고 주장한다. 한반도 기후는 엘니뇨/라니냐 뿐만 아니라, 다른 기후 요소들에 의해서도 크게 영향을 받기 때문에, 제한된 기간의 관측 자료만으로는 의미 있는 관련성을 찾기가 힘들 수 있다. 하지만, 다른 전문가들은 의미 있는 연관성을 제시하고

있다(안중배 등 1997; 강인식 1998; 차은정 등 1999; Lim and Kim 2007; Kug et al. 2010). 선행 연구에 따르면, 엘니뇨/라니냐와 한반도 기후와의 상관성은 계절에 따라 크게 달라진다. 대부분의 연구에서 한반도 겨울철 기온은 엘니뇨/라니냐와 밀접한 관련성이 있다고 알려져 있다(안중배 등 1997; 강인식 1998). 특히 초겨울에는 한반도 기후는 엘니뇨 시기에는 따뜻하고, 라니냐 시기에는 상대적으로 추운 경향이 나타났다(Kug et al. 2010). 겨울철 기온이 엘니뇨/라니냐와 상대적으로 높은 상관성을 보이며, 대부분의 연구에서 비슷한 결론을 제시하는데 반하여, 여름철 강수에 대한 상관성은 현재까지 연구 결과마다 상이한 관련성을 제시하고 있다.

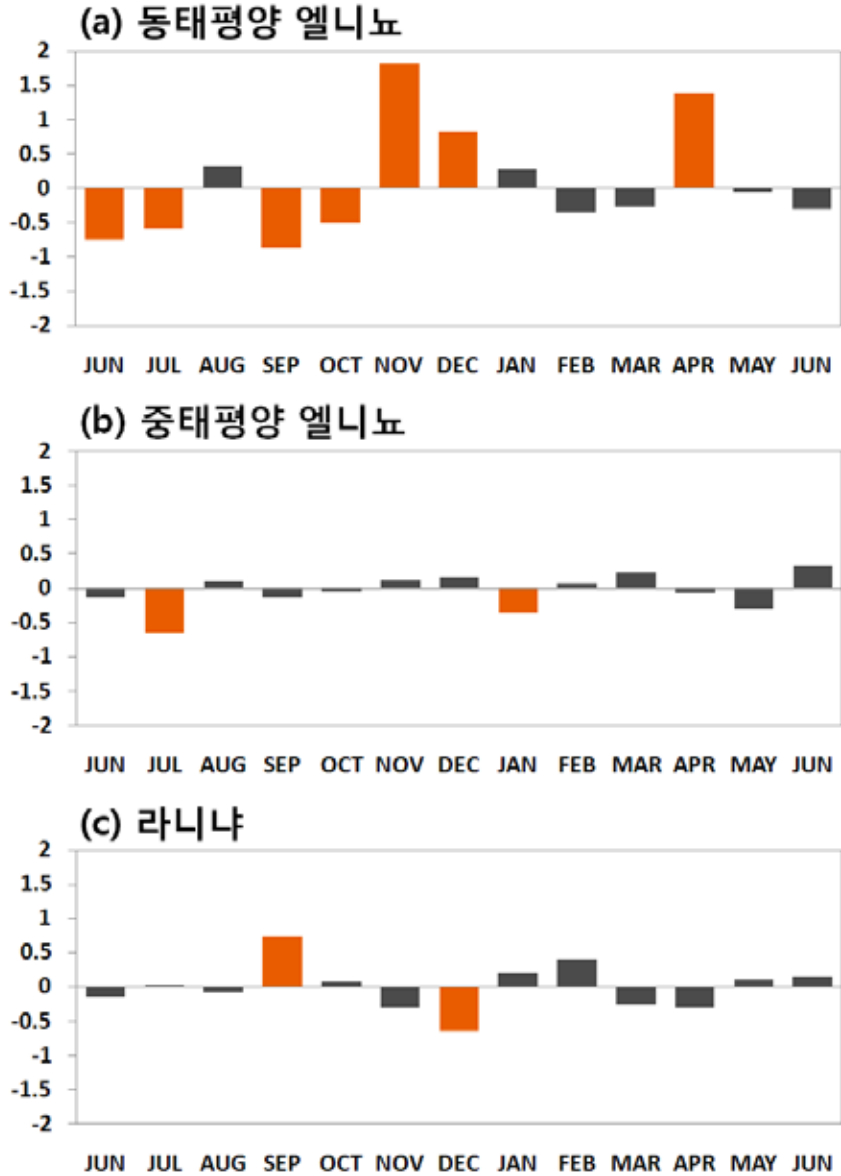
강인식(1998)과 차은정(1999)은 엘니뇨가 발달하는 여름철 강수량의 전반적인 경향은 “평년 비슷 또는 많음”으로 분류하였고, 라니냐에는 특별한 상관성이 없는 것으로 보고하였다. 반면에, 권원태 등(1997)은 우리나라의 강수에 대해서는 엘니뇨 시기에 계절별로 뚜렷한 경향성을 찾기 힘들지만, 라니냐 발생시기에는 강수량이 전반적으로 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다. 이렇듯, 엘니뇨/라니냐 현상과 우리나라 여름철 강수, 장마와의 상관 관계는 엘니뇨/라니냐 현상의 정의, 분석 기간에 따라 서로 상이한 결과를 나타내었다. 특히, 여름철 강수는 분석 시기와 방법에 따라 관련성이 매우 다르게 나타날 수 있다.

2) 엘니뇨/라니냐와 한반도 평균 강수량과의 관련성

대부분의 엘니뇨와 라니냐는 봄철에 발달하기 시작하여 여름, 가을철에 성장하여 겨울철에 절정기에 도달한다. 절정기 이후 해수면 온도가 소멸되며, 그 이듬해 여름철 까지 지속되기도 한다. **엘니뇨(라니냐)가 발달하는 시기의 여름철과 소멸하는 시기의 여름철 열대 태평양의 해수면 온도 패턴은 유사하지만, 이와 연관된 대기 순환 패턴은 매우 큰 차이를 보인다.** 따라서, 같은 엘니뇨 시기라도 엘니뇨의 영향은 매우 다르므로, 발달기와 소멸기를 나누어서 분석해야 한다. 또한 엘니뇨는 동태평양의 해수면 온도가 주로 상승하는 엘니뇨(동태평양 엘니뇨)와 중태평양에서 주로 상승하는 엘니뇨(중태평양 엘니뇨)로 구분되며, 그 형태에 따라 장마를 포함하는 동아시아 몬순에 미치는 영향이 달라진다(Kug et al. 2009, Yeh et al. 2009).

일반적으로 동태평양 엘니뇨가 서태평양 엘니뇨 및 라니냐보다 한반도 강수량 변동에 미치는 영향이 크다[그림 4-15]. 동태평양 엘니뇨가 발달하는 시기에 6~7월의 강수는 감소하는 경향을 보이고, 9~10월에도 감소하는 경향을 보이나, 초겨울(11 ~ 12월)에는 강수가 증가하는 경향을 보인다. 동태평양 엘니뇨가 소멸하는 봄(4월)에는 강수가 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 중태평양 엘니뇨의 경우는 한반도 강수량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 라니냐 시기에는 동태평양 엘니뇨와 반대로 9월

강수가 증가하는 경향이 있으며, 12월에는 강수가 감소하는 경향이 있다.



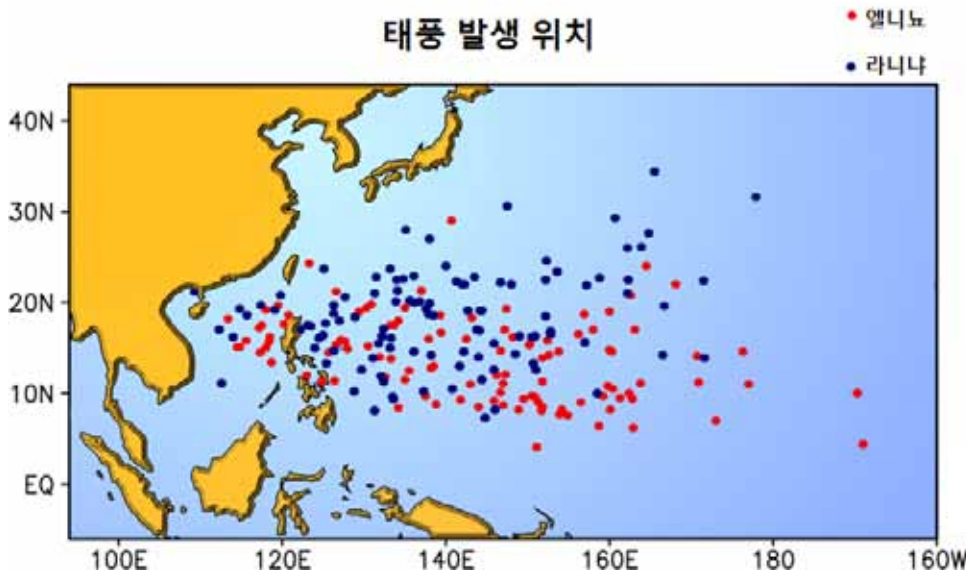
[그림 4-15] 한반도 평균 강수 아노말리의 분포. (a) 동태평양 엘니뇨, (b) 중태평양 엘니뇨, (c) 라니냐 시기. 가로축은 발달기 시기 6월 부터 소멸기 시기의 6월까지 나타냄 (Kug et al. 2010). 적색 막대는 통계적으로 유의한 것을 의미

3) 엘니뇨/라니냐가 2차 우기에 미치는 영향

위에서 보였듯이 동태평양 엘니뇨가 발달하는 시기에 한반도 2차 우기 강수량이 감소하는 경향이 있다. 이는 엘니뇨/라니냐에 따른 태풍 활동의 변화와 관련되어 있다. 엘니뇨/라니냐 변동은 북서태평양의 대기 및 해양의 상태를 변화시키므로, 북서태평양 태풍의 활동을 바꾸게 된다.

엘니뇨/라니냐와 관련해서 북태평양 태풍 생성 지역이 뚜렷하게 변화 한다 [그림 4-16]. 엘니뇨 시기에는 평년에 비해 태풍 발생 지역이 동남쪽으로, 라니냐 시기에는 서북쪽으로 치우쳐서 발생하는 경향이 있다. 엘니뇨 시기에는 북서태평양 지역부터 날짜변경선 근처까지 저기압성 흐름이 존재하므로 이 지역까지 태풍이 발생할 수 있는 좋은 조건을 제공해준다. 반대로 라니냐 시기에는 그 지역에 고기압성 흐름이 존재하므로, 150°N~180°N 지역에서 태풍의 발생을 억제하므로 태풍발생이 서쪽지역에 집중된다 (Wang and Chan 2002).

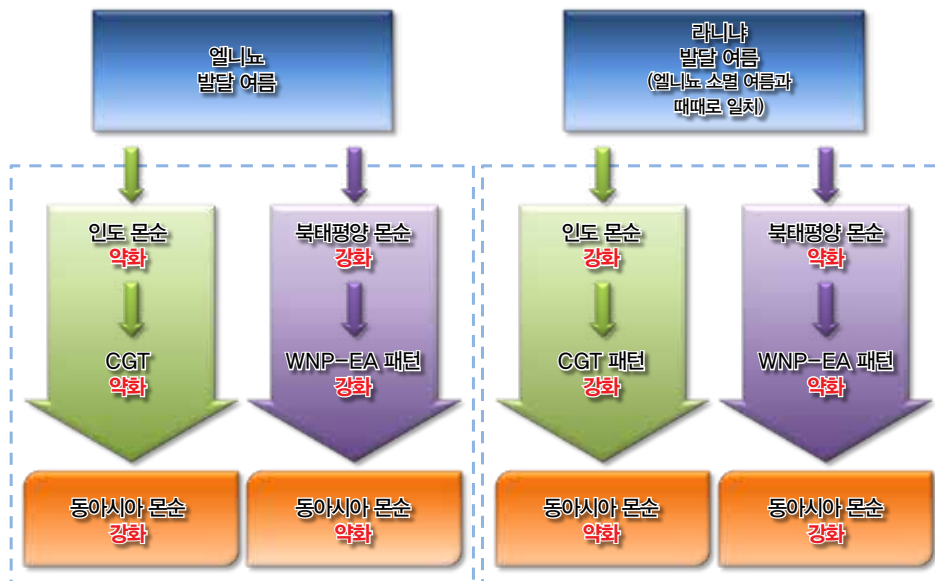
발생 지역의 변화와 더불어 태풍의 진행 경로도 바뀐다. 라니냐 시기에 태풍의 발생 위치가 엘니뇨 보다 서북쪽에 위치하기 때문에, 태풍의 직·간접적인 영향에 의해 한반도 강수가 증가할 가능성이 높아진다. 즉, 엘니뇨가 발달하는 시기에는 2차 우기 강수가 감소하고, 라니냐가 발달하는 시기에는 증가하는 경향이 있다.



[그림 4-16] 7~9월 강한 태풍 생성 위치. 빨간 점은 강한 엘니뇨시기, 파란 점은 강한 라니냐 시기.

4) 엘니뇨/라니냐와 동아시아 몬순, 북서태평양 몬순, 인도 몬순의 관계

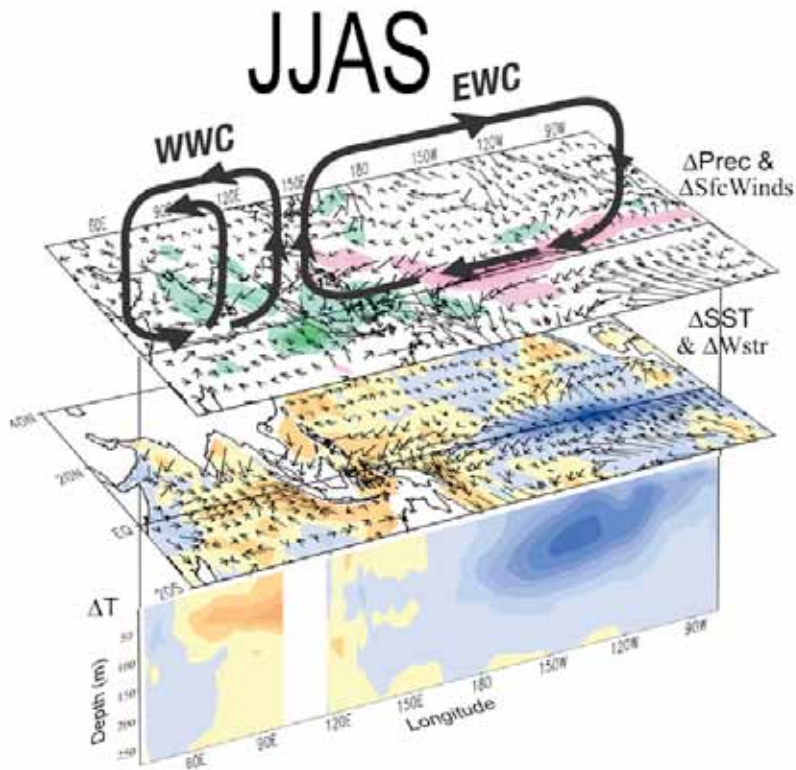
위에서 살펴본 바와 같이 엘니뇨/라니냐는 매우 복잡한 과정을 통해 장마에 영향을 미친다. 앞의 2)와 3) 섹션에서 기술한 바와 같이 장마는 북서태평양 몬순과 인도 몬순을 통해서 엘니뇨의 영향을 받게 된다. 엘니뇨/라니냐 발달 여름에 인도 몬순과 북태평양 몬순 중 어느 쪽이 우세하냐에 따라 장마를 포함하는 동아시아 몬순에 미치는 영향이 달라지게 된다 [그림 4-17]. 엘니뇨가 발달하는 여름 인도 몬순이 약화되는 경우 북반구 중위도 전체 원격상관 패턴 (CGT 패턴)은 음의 값을 가지며, 이에 따라 동아시아 몬순은 강화되는 경향이 있다. 반면, 북서태평양 몬순이 강화되는 경우 북서태평양-동아시아 몬순 원격상관 패턴 (WNP-EA 패턴 : 북서태평양-동아시아 패턴 혹은 P-J 패턴)은 양의 값을 가지며, 이에 따라 동아시아 몬순은 약화되는 경향이 있다. 라니냐가 발달하는 혹은 엘니뇨가 소멸하는 여름철에는 그와 반대이다.



[그림 4-17] 엘니뇨/라니냐가 발달하는 여름에 동아시아 몬순 (장마 포함)과 인도 몬순 및 북서태평양 몬순 관련성

5 대류권 2년 주기 진동 (TBO)과 장마의 관련성

동아시아 몬순을 포함하는 아시아-호주 몬순 (Asian-Australian monsoon) 시스템은 일반적으로 강한 몬순 해와 약한 몬순 해를 반복적으로 나타내는 경향이 있는 데, 이는 대류권 2년 주기 진동 (Tropospheric Biennial Oscillation, TBO)과 관련되어 있다 (Meehl and Arblaster 2002). 대류권 2년 주기 진동은 열대 해수면 온도와 그에 따른 워커 순환 (Walker circulation)의 고유한 이년 주기 변동에 기인한다. 열대 중·동태평양 해수면 온도가 음의 편차 (라니냐 형태)를 보이는 시기에는 열대 인도양 및 서태평양 해수면 온도가 양의 편차를 보이는 경향성이 있으며, 이에 따라 인도양 몬순을 포함하는 남아시아 몬순 지역에 대류 활동이 강화되어 몬순 강수가 증가되고 북서태평양 몬순 강수는 약화되는 경향을 나타낸다. 북서태평양 몬순의 약화에 의해 동아시아 몬순은 강화된다 [그림 4-18]. 이듬해에는 그와 반대의 패턴을 보인다.

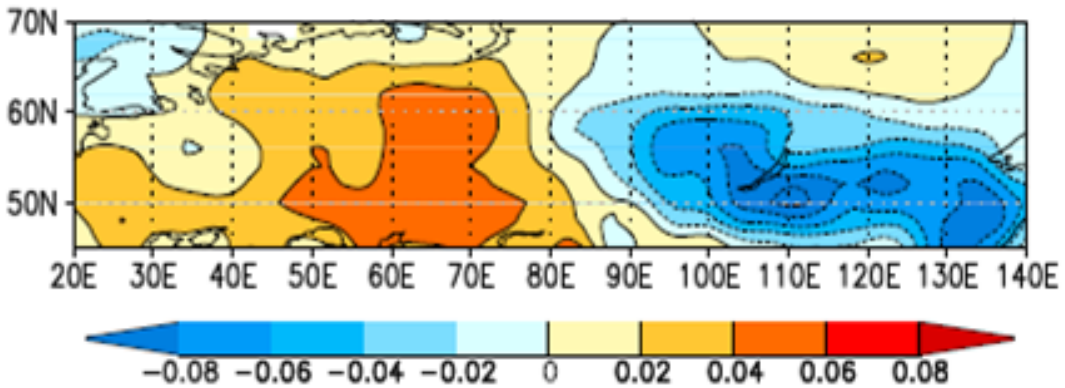


[그림 4-18] 북반구 여름철 (6월부터 9월까지) 대류권 2년주기 진동의 고유한 패턴 (Meehl and Arblaster 2002)

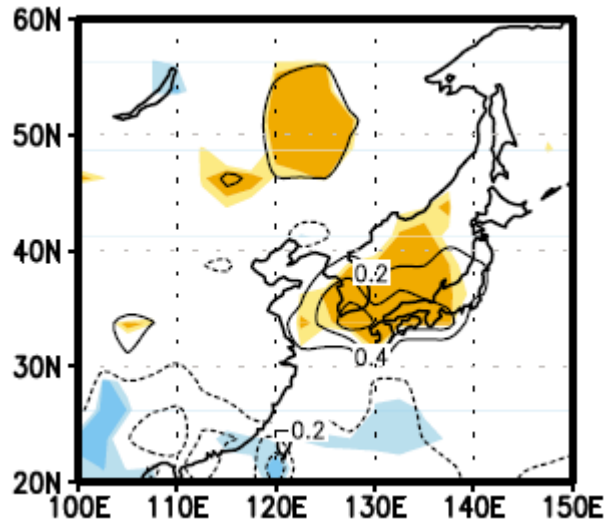
6 유라시아 적설 면적과 장마의 관련성

아시아 여름 몬순의 경년 변동성은 유라시아 대륙의 지면 과정의 영향을 받는다 (Yang and Xu 1994; Kripalani et al. 2003; Liu and Yanai 2002; 하경자 등 2001). 최근 20년간 유라시아 적설 면적과 장마 세기와 상관관계가 높아지는 경향이 있다 (하경자 등 2005). 이는 지구 온난화로 인해 적설 면적이 감소하면서 1970년대 이후 적설 면적의 변화에 장마의 세기가 민감하게 반응하기 때문으로 해석된다 (Liu and Yanai 2002). 특히 2월과 3월 적설 면적과 동아시아 몬순 사이에 양의 상관 관계가 높게 나타난다. 그러나 인도 몬순 강수는 적설 면적과 음의 상관성을 갖는다 (Bamzai and Shukla 1999).

봄철 유라시아 적설 면적은 경년 변동 시간 규모에서 두 가지 특징적인 변동 모드를 나타내며 [그림 4-19], 그 중 동서 지역에서 서로 다른 방향으로 변동하는 두 번째 모드가 우리나라 여름철 강수와 밀접한 관련성 [그림 4-20]이 있다 (Yim et al. 2010). 즉, 유라시아 전 지역에 눈덮이가 일정하게 변동할 경우에는 우리나라 여름철 강수량에 미치는 영향이 적다. 반면, 봄철 유라시아 서쪽 눈덮이가 평년보다 많고, 동쪽에는 평년보다 적을 경우, 우리나라 여름철 강수가 증가하며, 반대의 경우 감소하는 경향이 있다.



[그림 4-19] 봄철 유라시아 적설 면적의 두 번째 모드의 공간 패턴



[그림 4-20] 위 [그림 4-19]의 모드와 관련된 우리나라 여름철 강수량의 패턴

7 NAO와 장마의 관련성

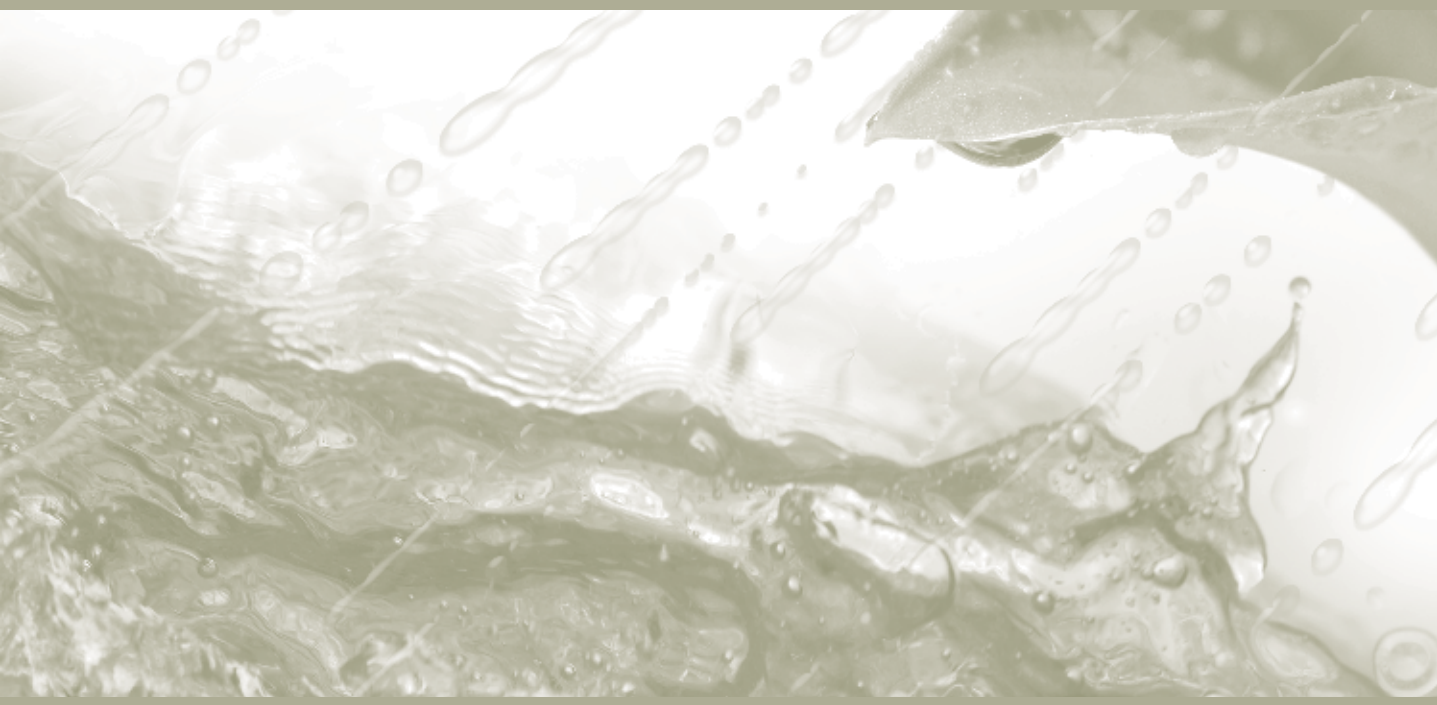
북대서양 진동 (North Atlantic Oscillation, NAO)은 아열대 고기압과 극 한대 저기압의 대규모 순환의 진동을 의미한다 (Walker and Bliss 1932; Wallace and Gutzler 1981). 최근 연구는 1970년 이후 인도 몬순-엘니뇨의 관련성이 약해지고 동아시아 몬순-엘니뇨의 관련성이 강해지는 이유는 NAO가 수십년 주기 변동으로 최근에 양의 값으로 강해지기 때문이라고 주장하고 있다 (Chang et al. 2001). Wu et al. (2009)에 따르면 봄철 북대서양 진동이 북대서양의 해수면 온도 패턴을 조절하여, 이에 따라 봄철 해수면 온도 편차가 여름철까지 유지되어 유라시아 북쪽 및 오호츠크해까지 영향을 미칠 수 있다고 제안하고 있다. 이에 따르면 강한 양의 북대서양 진동은 오호츠크해 기압능을 강화시켜 동아시아 메이우-바이우-장마 전선을 강화시킬 수 있다.

① 요약

- 장마와 북서 태평양 몬순은 음의 상관 관계를 가진다.
- 장마와 인도 몬순은 북반구 전체 원격상관 패턴에 의해 음의 상관 관계를 가진다.
- 장마와 벵갈만 지역 강수는 실크로드 패턴에 의해 양의 상관 관계를 가진다.
- 장마 강수는 동태평양 엘니뇨가 발달하는 시기에 감소하고, 2차 우기는 동태평양 엘니뇨가 발달하는 시기에 감소하며, 라니냐가 발달하는 시기에 증가하는 경향이 있다.
- 엘니뇨시 한반도에 영향을 주는 태풍의 수 감소로 2차 우기 강수량이 감소하고, 라니냐시 한반도에 영향을 주는 태풍의 수 증가로 2차 우기 강수량이 증가한다.
- 해수면 온도와 대기 사이의 상호작용으로 대류권 및 동아시아 몬순은 준 2년 주기 진동을 형성한다.
- 봄철 유라시아 서쪽 눈덮이가 많고 동쪽 눈덮이는 적을 경우 우리나라 여름철 강수가 증가한다.
- 봄철 강한 양의 북대서양 진동은 오호츠크해 기압능을 강화시키고 장마를 강화시킨다.

제3절 경년 변동성

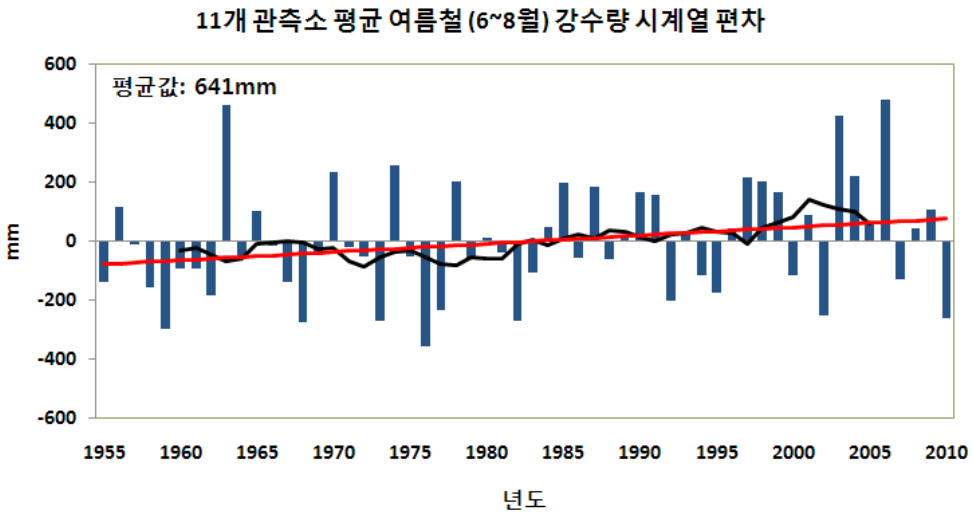
Changma 2011



제4절 장주기 변동

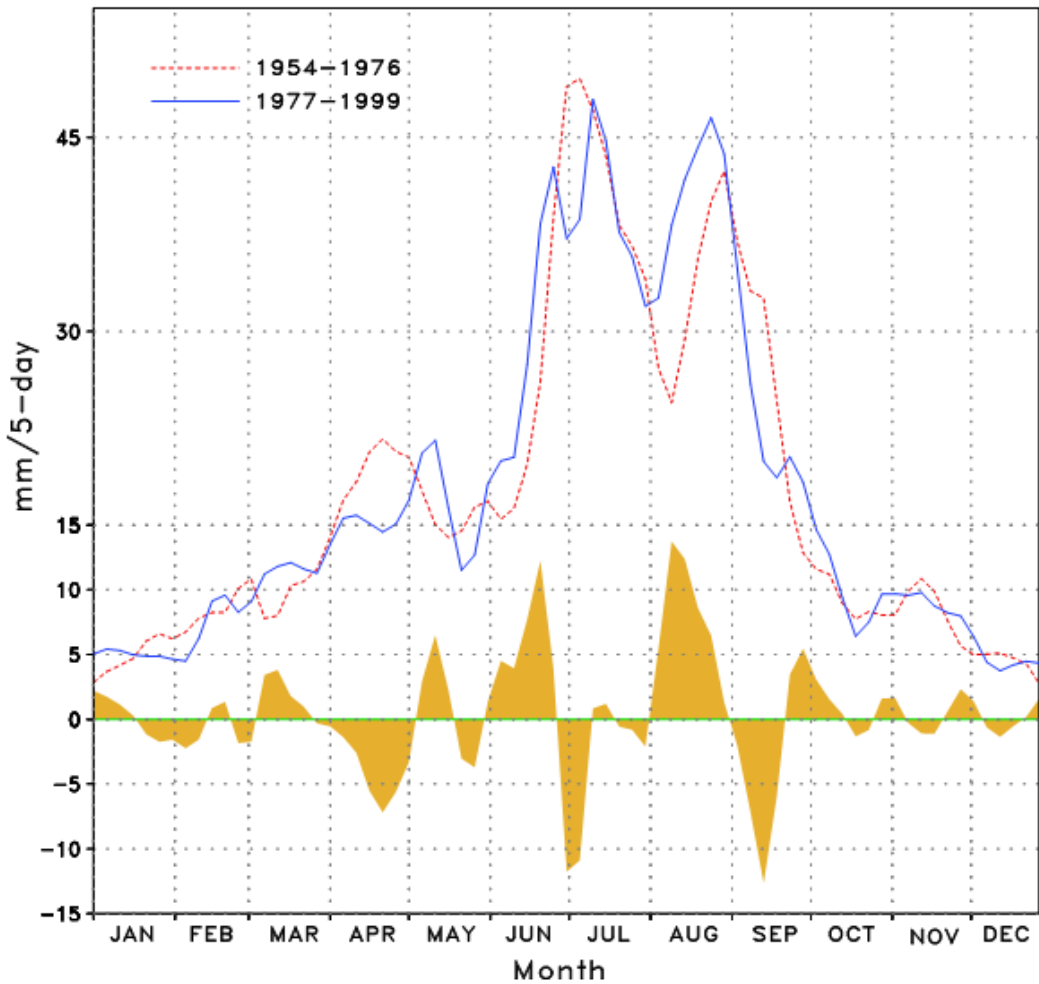
1 한반도 평균 변동 특성

장마는 증가하는 추세 뿐만 아니라 수십년 주기의 현저한 장주기 변동을 나타낸다 [그림 4-21]. 우선 한반도 11개 관측소 평균 여름철 강수는 1954년부터 2010년 동안 증가하는 경향이 있다. 추세 경향은 약 28 mm/10년이다. 또한 11년 이동 평균 그림에서는 약 10년 이상의 장주기 변동을 보이고 있다. 1990년대 후반에서 2000년대 중반까지 강수량은 이전에 비해서 상당량 증가하였다가 2005년 이후 다소 감소하는 경향을 보인다.



[그림 4-21] 11개 관측소 평균 여름철 (6월~8월) 강수량 편차. 이용된 관측소는 강릉, 서울, 인천, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수

여름철 평균 강수량 뿐만 아니라 장마의 시종 시점 및 강수량도 장주기 변화를 나타낸다 [그림 4-22]. 기존 연구에 의하면 우리나라 강수량의 변동 특성은 1970년대 중반 (Ho et al. 2003)과 1993/1994년 (Kwon et al. 2005)을 경계로 뚜렷한 변화를 하였다. 1977 ~ 1999년 기간 동안 장마의 시작은 1954 ~ 1976 기간에 비해 5 ~ 10일 정도 빨라졌으며, 6월달 강수가 상당량 증가하였다. 또한 2차 우기 시작 시점은 15일 정도 빨라지고, 8월 강수량이 많이 증가하였다. 반면 7월 초와 9월 초·중반 강수는 감소하였다.



[그림 4-22] 5일 평균 강수량의 기후학적 시계열. 점선은 1954~1977년 기간, 실선은 1978~2001 그리고 색은 두 시계열의 차 (Ho et al. 2003)

장마의 특징은 1993/94를 기점으로도 상당한 차이를 나타낸다 [그림 4-23]. 1994~2010 기간 동안 장마의 시작일은 1979~1993에 비해 큰 차이가 없다. 하지만 6월 하순의 강수가 증가하고, 7월 초순 강수가 감소하였고, 장마의 종료는 약 7일 정도 빨라졌다. 반면, 2차 우기의 시작이 빨라지면서 8월 초순의 강수가 전 기간 보다 상당량 증가하였다. 2차 우기의 종료 시점도 빨라졌으며, 9월 초순 강수가 상당량 감소하였다. 전반적으로 1994~2010 시기에는 장마의 세기가 2차 우기의 세기와 비슷해지는 경향이 있다. 반면, 7월 말 ~ 8월 초에 뚜렷하게 나타나던 건기가 최근 줄어들어가는 경향을 보이고 있다.

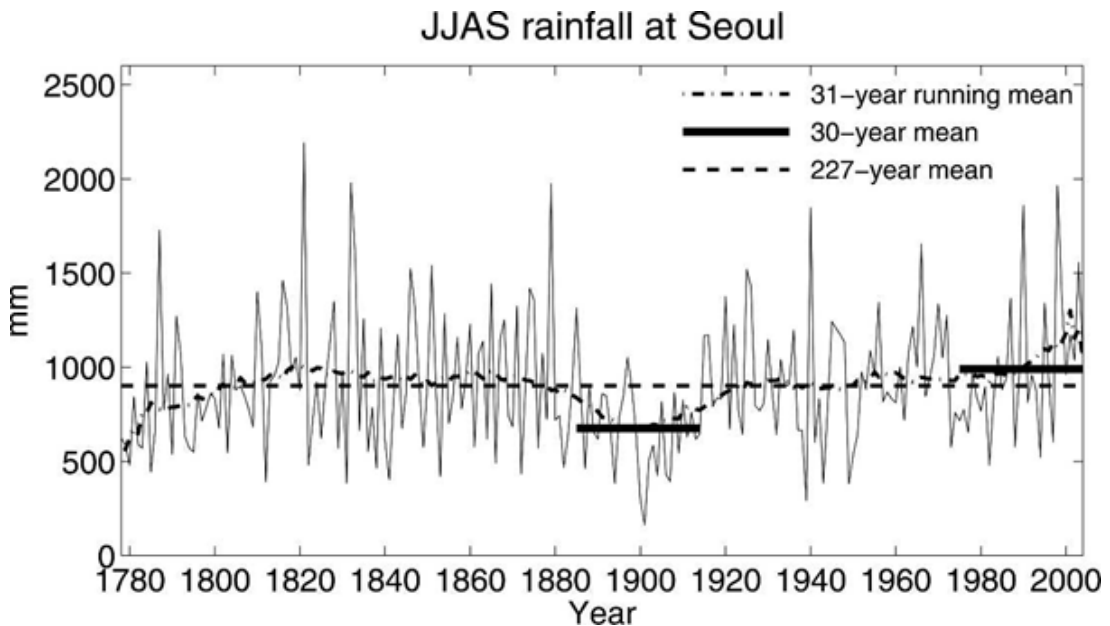


[그림 4-23] 1979~1993, 1994~2010기간 평균 강수 시계열. 60개 한반도 관측소 평균

2 227년 서울 강수 자료를 이용한 장주기 변동성의 이해

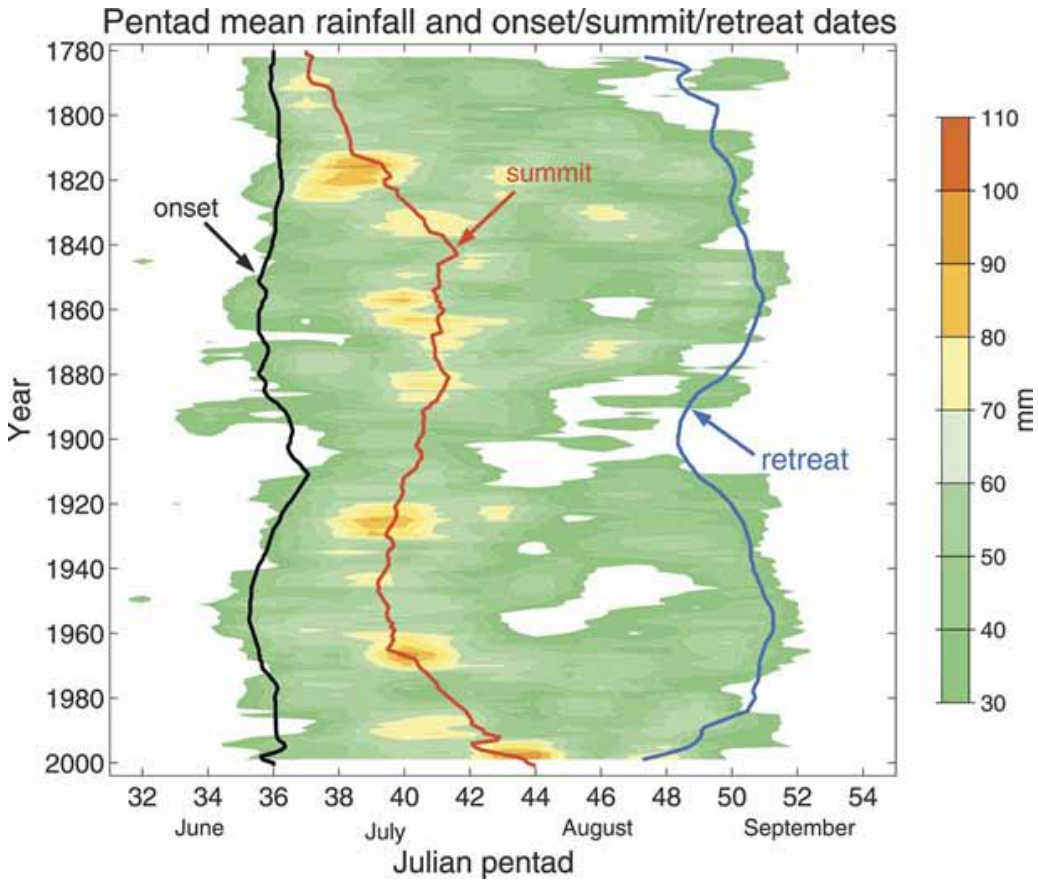
서울은 세계에서 가장 긴 227년 (1778~2004)의 강수 관측 기록을 가지고 있다. 현대 관측이 시작되기 전 1778년부터 1907년까지는 측우기 측정 기록으로부터 강수량 자료를 복원하였다 (Lim et al. 1996; Jhun and Moon 1997). 이러한 자료를 사용하여 Wang et al. (2007)은 한반도에서 특징적으로 나타나는 장마 강우의 장주기 변동성을 분석하였다. 지역 위치 특성상 서울 강수량은 대체적으로 한반도 장마의 변동 특성을 잘 반영하고 있다.

227년 동안 6월부터 9월 평균 시계열은 뚜렷한 수십년 주기 변동을 보일 뿐 아니라, 2년에서 6년 주기 경년 변동의 진폭이 50년을 주기로 변동하는 것을 보이고 있다 [그림 4-24]. 1880~1920년 기간 동안에는 상대적으로 여름철 장마 강수량이 다른 기간에 비해 매우 적고 변동 폭이 작은 반면 최근 30년 기간은 강수량의 절대량이 증가하는 추세를 보이고 그 변동 폭도 증가하고 있다. 일반적으로 심한 가뭄은 4년 주기를 나타내는 반면 심한 홍수는 3년과 19년의 주기를 나타내는 경향이 있다.



[그림 4-24] 1778년부터 2004년까지 6월부터 9월 평균 서울 강수량 시계열 (Wang et al. 2007)

장마의 시작과 종료 및 최고점 시기도 뚜렷한 장주기 변동성을 나타내고 있다 [그림 4-25]. 특히 호우의 최고점 시기와 종료일 (각각 적색선과 청색선)이 큰 변동성을 나타내고 있다. 일반적으로 호우가 강한 시기 (1810 ~ 1839년, 1975 ~ 2004년) 동안에는 강수 기간이 길고 2차 우기 기간에도 강수가 많은 반면, 건기 (1778 ~ 1807년, 1885년)에는 강수 기간이 짧고 2차 우기의 강도가 매우 약한 경향이 있다 [그림 4-25]. 최근 30년동안 전반적으로 주요 장마와 2차 우기의 구분이 적어지는 경향이 있는데 이것은 앞에서 보인 결과들과 일치한다.



[그림 4-25] Julian pentad와 년도의 함수로 표현된 5일 평균 서울 강수량. 장마 시작 (onset, 흑색선), 최고점 (summit, 적색선), 그리고 종료 (retreat, 청색선)는 31년 이동 평균을 적용하여 구함. (Wang et al. 2007)

3 동아시아 몬순-북서 태평양 몬순 관련성의 장기 변화

앞에서 기술한 바와 같이 장마를 포함하는 동아시아 몬순은 아시아 지역의 다른 몬순인 북서 태평양 몬순 및 인도 몬순과 경년 변동 시간 규모에서 연관되어 있다. 최근 연구결과들은 아시아의 지역의 다른 몬순들의 상관성이 장기간의 시간규모 안에서 변하고 있음을 보여주고 있다.

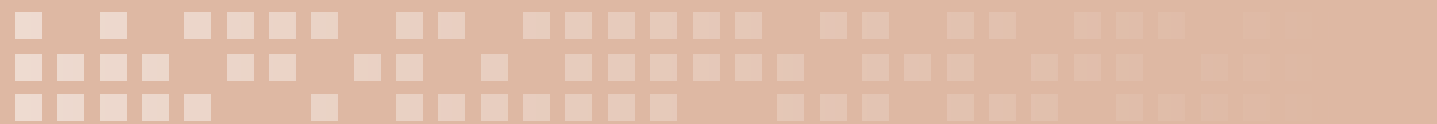
동아시아 몬순과 북서태평양 몬순의 상관성은 십년 이상의 주기를 가지고 변화하는 경향이 있다

(Kwon et al. 2005). 특히 1994년 이전에는 동아시아 몬순과 북서태평양 몬순의 음의 상관성이 -0.38 로 그리 크지 않은 반면 1994~2004년 기간 동안 음의 상관성은 -0.82 로 크게 증가하였다. 이와 같은 상관성의 변화는 통계적으로도 유의한 것으로 나타났는데, 이는 1994년 이후 적도 및 아열대 서태평양 지역의 대류 활동 변동성이 크게 증가해서 북서태평양 몬순과 동아시아 몬순의 결속력이 증가한 것으로 해석된다.

두 몬순 시스템 사이의 관련성 변화는 엘니뇨의 특성 변화와 관련된 것으로 보인다 (Yim et al. 2008). 1994년 이후에 중태평양 엘니뇨가 발생하는 빈도가 동태평양 엘니뇨에 비해 증가하고 있다. 중태평양 엘니뇨가 발달하는 여름철에는 동태평양 엘니뇨에 비해 북서태평양 몬순과 동아시아 몬순의 음의 상관관계가 강화되는 경향이 있는 것으로 보인다. 현재 이와 관련된 연구들이 진행되고 있다.

① 요약

- 1994년 이후 장마의 종료 시점 및 2차 우기의 시종 시점이 빨라지고, 장마와 2차 우기의 세기가 비슷해지는 경향을 보인다.
- 최근 장마 강수의 최고시점 : 8월 초에 나타나고, 약 200년 전에 비해 20일 늦어지는 경향을 보인다.
- 1994년 이후 동아시아 몬순과 북서태평양 몬순의 음의 상관성이 강화되었다.

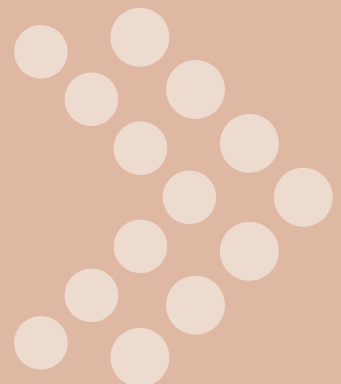


제5장

장마와 재해

제1절 호우와 관련된 재해

제2절 호우 발생 사례와 재해



제1절 호우와 관련된 재해

1

집중호우와 관련된 재해

장마 때 발생하는 기상재해는 다음과 같은 특징을 가진다.

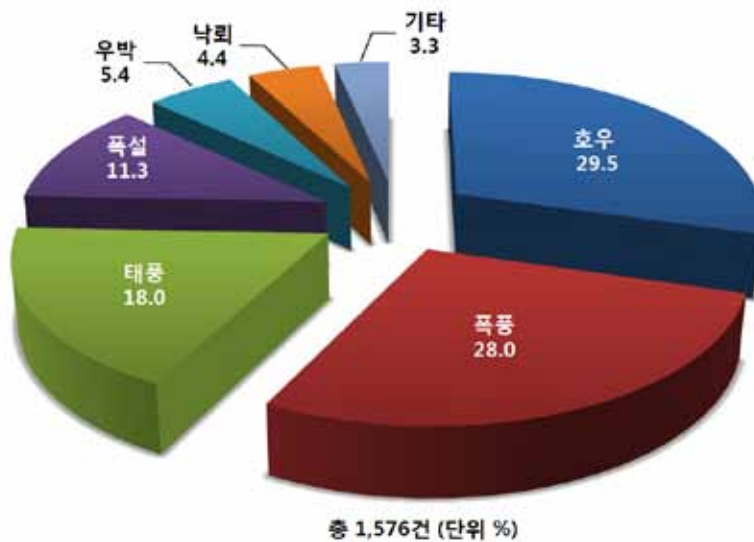
- ① 집중호우로 인한 홍수
- ② 하천 제방이나 댐제방 붕괴로 인한 가옥과 농경지 침수
- ③ 택지 조성지·건설현장의 가설구조물 파손 및 건축물과 저지대 시설물의 침수와 파손
- ④ 도로 및 철도의 유실, 교량의 붕괴, 절개 사면의 붕괴로 인한 도로 차단
- ⑤ 관광객의 조난
- ⑥ 돌발성, 의외성, 국지 소규모성, 동시다발성 등이다.

최근 집중호우가 가져온 많은 인명피해와 재산피해는 시설물의 침수나 붕괴사고에서 주로 발생하였다. 산업의 발전 속도와 규모에 따라 위험에 대한 노출량도 비례적으로 증가하여 재해의 규모가 커지고 그 피해가 점점 확산되고 있다. 또한 레저 시설의 증가와 산간 도로망의 확대, 자동차 인구의 급증 등은 새로운 재해 발생의 원인을 제공하고 있다.

[표 5-1]은 1904 ~ 2009년 (106년간)에 발생한 기상재해의 종류별 발생빈도를 나타낸 것으로 대부분의 재해가 7 ~ 9월에 집중되어 있으며, 그중에서 호우로 인한 재해가 많은 것을 알 수 있다 [그림 5-1].

[표 5-1] 1904년 ~ 2009년 재해 종류별 발생 빈도

원인 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계 (건수)
호우	1	1	5	2	17	59	164	137	56	16	5	2	465
폭풍	45	58	59	56	32	24	23	18	22	29	35	41	442
태풍	-	-	-	-	1	15	81	104	77	7	-	-	285
폭설	69	43	19	5	-	-	-	-	-	-	10	32	178
우박	-	-	-	2	16	30	8	7	8	10	4	-	85
낙뢰	-	-	3	-	4	13	20	26	2	1	-	-	69
해일	8	4	-	4	2	1	5	9	10	3	5	1	52
총계	123	106	86	69	72	142	301	301	175	66	59	76	1,576
비율(%)	7.8	6.7	5.5	4.4	4.6	9.0	19.1	19.1	11.1	4.2	3.7	4.8	100



[그림 5-1] 유형별 기상재해 구성비 (1904년 ~ 2009년).

이러한 호우와 관련된 재해의 특징을 요약하면 다음과 같다.

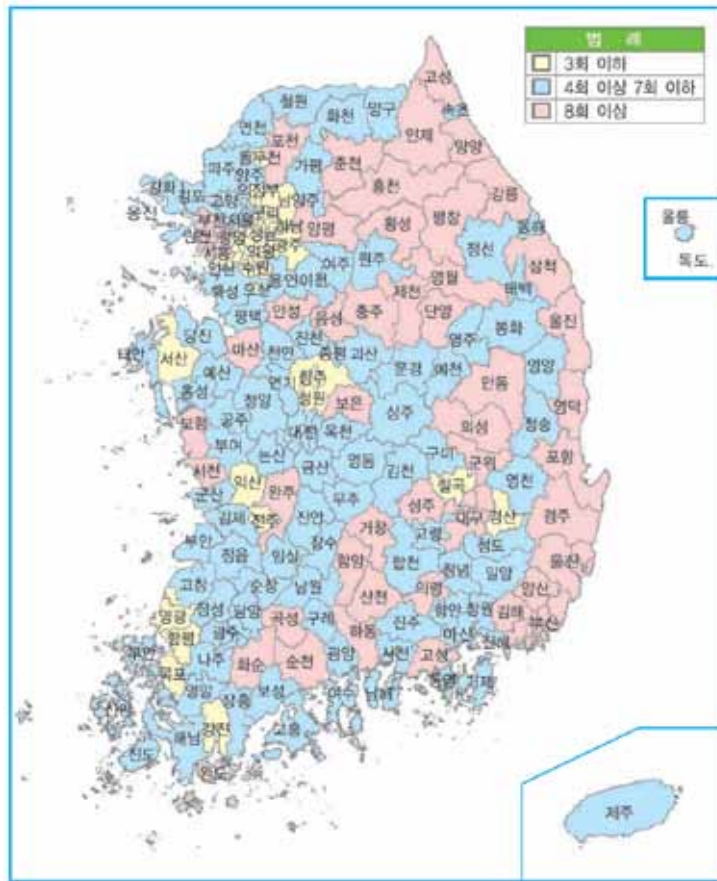
- ① 우리나라는 악기상으로 인해 최근 10년간 (2000년 ~ 2009년) 연평균 140여명의 인명피해 (사망·실종)와 1조 7260여억 원의 재산피해를 입고 있다.
- ② 최근 10년간 발생한 풍수해는 총 161회이며, 그 중 호우로 인한 피해는 약 30%로 많은 비중을 차지하고 있다.
- ③ 호우로 인한 재해의 연평균 발생빈도는 5회 정도이고, 태풍에 의한 피해를 제외한 가장 많은 호우 피해를 가져온 해는 1998년으로 2만 4천여 명의 이재민과 324명의 인명피해, 1조2900여억 원의 피해를 가져왔다. 한편, 호우재해가 한 차례도 발생하지 않았던 해는 1940년 이전인 1905년, 1913년, 1915년, 1923년, 1939년이였다.
- ④ 연대별 발생빈도는 1930년대 이전에는 평균 2.2회로 낮았고, 1940년대부터 1970년대까지는 5.3회, 1980년대는 8.8회, 1990년대는 6.6회, 2000년대는 9.7회로 점차 증가하는 추세이다.
- ⑤ 최근 10년간 (2000년 ~ 2009년) 호우피해가 가장 많이 발생한 지역은 [그림 5-2]와 같이 동해안을 따라 많이 발생하고 있으며, 강원도와 충청북도, 경상북도와 경상남도, 전라남도 일부 지역에서 8회 이상을 기록하였다.

2

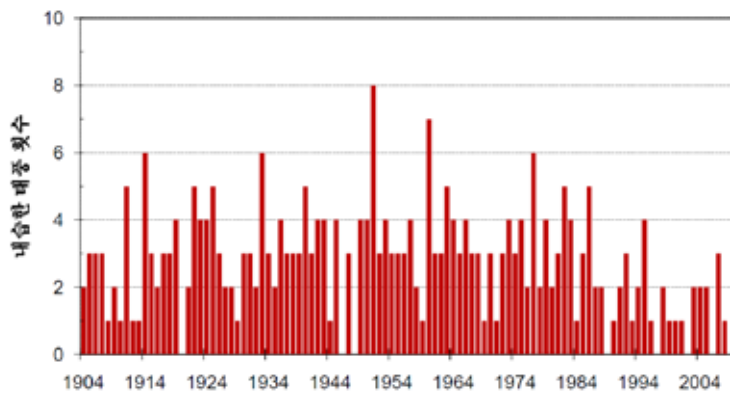
태풍과 관련된 재해

여름철 태풍과 관련된 재해의 특징은 다음과 같다.

- ① 태풍재해는 연평균 3회로 연도별 발생회수가 비교적 고르게 나타나고 있다. 조사 기간 중 태풍재해가 가장 많이 발생한 해는 [그림 5-3]과 같이 1950년 8회, 1959년 7회이며, 그 밖의 해는 연평균 2 ~ 3회의 분포를 보였다.
- ② 최근 10년 (1998 ~ 2007년)간에 태풍으로 인해 연평균 1조원의 피해를 입고 있으며 피해가 가장 심했던 지역은 전남 고흥, 경남 김해지방으로 총 13회였으며 다음은 부산, 강릉지방으로 총 11회였다.
- ③ 장마기간 중 태풍의 내습빈도는 [표 5-2]와 같으며, 1980년부터 2009년까지 30년간의 장마기간 중 22회의 태풍이 내습했고, 연 2회 태풍이 내습한 해도 3회 있었다.



[그림 5-2] 최근 10년간 (2000년 ~ 2009년) 시·군·구별 호우 피해 발생빈도 (소방방재청 2010)



[그림 5-3] 우리나라에 내습한 연도별 태풍 횟수 (1904년 ~ 2010년)

[표 5-2] 장마기간 중 내습한 태풍 (1981년 ~ 2010년)

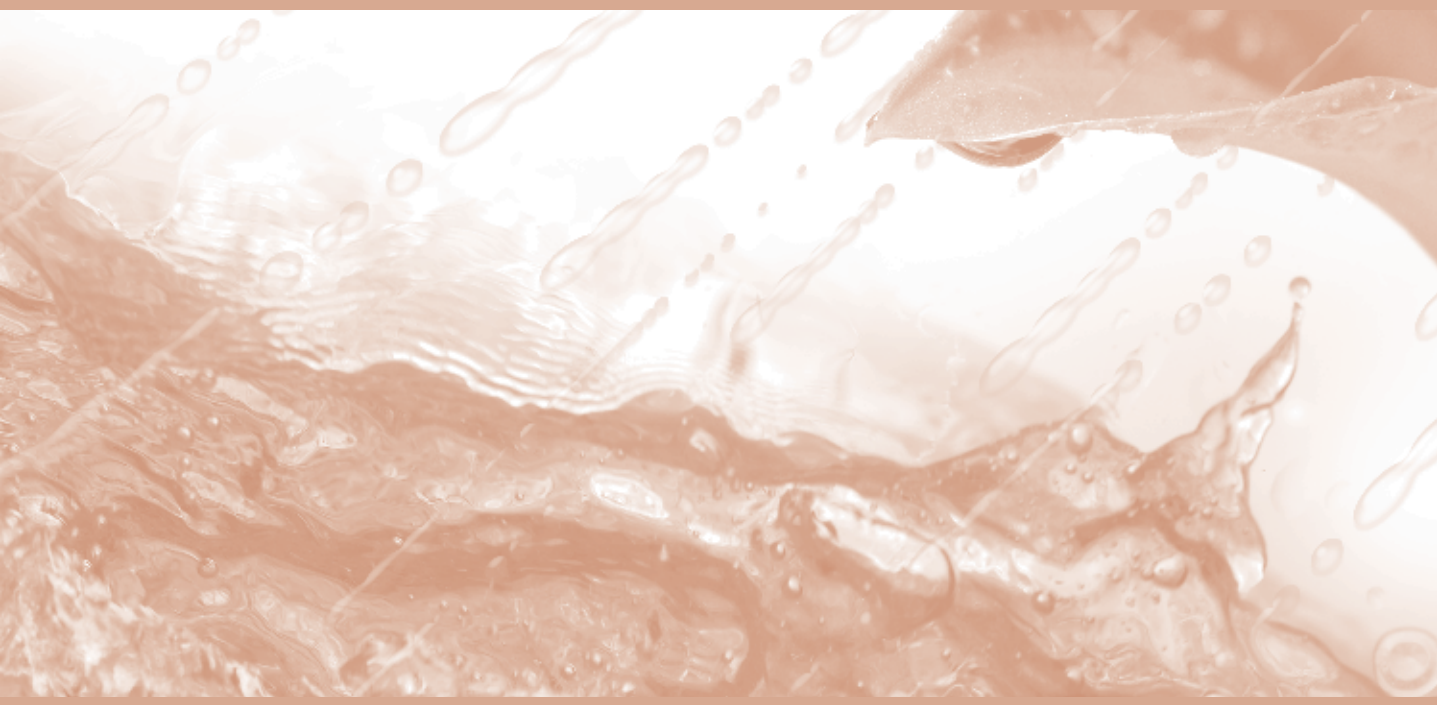
연월일	태풍명	연월일	태풍명
1981. 6.16~17	8104 아이크(IKE)	1995. 7.22~24	9503 페이(FAYE)
1981. 6.21~23	8105 준(JUNE)	1996. 7.18~20	9606 이브(EVE)
1984. 7. 4~ 8	8403 알렉스(ALEX)	1997. 6.27~28	9708 피터(PETER)
1985. 6.27~28	8505 할(HAL)	1999. 7.26~28	9905 닐(NEIL)
1986. 6.24~25	8605 낸시(NANCY)	2000. 7.10~11	0004 카이탁(KAI-TAK)
1987. 7.15~16	8705 셀마(HELMA)	2002. 7. 5~ 6	0205 라마순(RAMMASUN)
1989. 7.28~29	8911 주디(JUDY)	2002. 7.25~28	0209 펑셴(FENGSHEN)
1990. 6.25~26	9005 오펠리아(OFELIA)	2003. 6.18~19	0306 소델로(SOUDELOR)
1990. 7.11~12	9007 로빈(ROBYN)	2004. 7. 3~ 4 2006. 7. 9~10	0407 민들레(MINDULLE) 0603 에위니아(EWINIAR)
1991. 7.28~29	9109 캐틀린(CAITLIN)	2008. 7.19~20	0807 갈매기(KALMAEGI)

① 요약

- 호우에 의한 재해 : 전체 기상재해 발생 빈도에서 약 30% 차지하며, 장마 기간인 7월에 집중된다.
- 최근 호우에 의한 재해 발생빈도 연 10회이다.

제1절 호우와 관련된 재해

Changma 2011

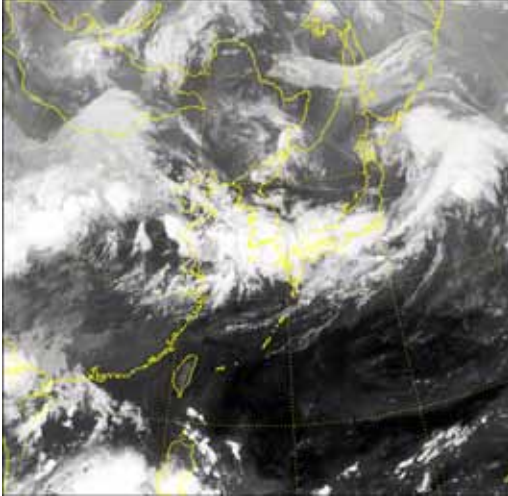


제2절 호우 발생 사례와 재해

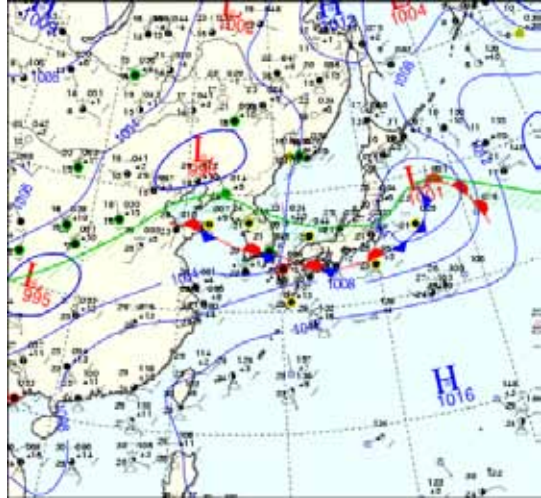
1 2005년 7월 2일 사례

장마기간 중에는 남부지방에 정체하고 있는 장마전선을 향해 아열대성의 온난 습윤한 공기가 유입되어 전선활동이 활발해져 집중호우로 이어지는 경우가 많다. 대표적 사례인 2005년 6월 30일 ~ 7월 2일은 소강상태에 있던 장마전선이 남해상에서 유입되는 온난 다습한 기류에 의해 강화되면서 점차 북상함에 따라 전국이 장마전선의 영향을 받아 천둥·번개를 동반한 게릴라성 집중호우로 많은 비가 내렸다. 이 기간 동안 만주지방의 저기압에 의해 우리나라로 유입된 건조한 북서기류와 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 유입된 온난 다습한 남서기류가 장마전선을 따라 수렴하고 있었다. 또한 상층에는 기압골 후면에서 제트축의 한기역을 따라 차고 건조한 공기가 유입되면서 대류불안정을 증가시켜 상층 발산역을 중심으로 적란운 무리가 발달하였다. 남부지방에 위치하고 있는 발달한 적란운의 운정(雲頂) 온도는 -60°C 이하, 운정고도는 13 km 이상이었고, 서해안에서 적란운이 계속 발달하여 남부지방으로 유입되면서 전라남도와 전라북도를 중심으로 뇌우를 동반한 집중호우가 발생하였다 [그림 5-4]. 이 기간 동안의 최대 강우량은 군산의 281 mm이며, 장수 234.5 mm, 전주 232.5 mm, 거창 226 mm, 금산 206.5 mm, 태백 165.5 mm, 원주 145 mm, 홍천 138.5 mm, 양평 140.5 mm의 비가 내렸다. 이러한 적란운 무리인 중규모 대류계 (Mesoscale convective system, MCS)는 1시간에서 9시간 정도 지속되며 [그림 5-5], 적란운 무리를 포함하고 있는 구름과 강수계로 정의되는데 뇌우와 연속적인 강수가 복합적으로 발생한다. 수평규모는 100 km에서 크기는 1000 km까지 발달하며, 연직규모는 10 km 혹은 그 이상이다.

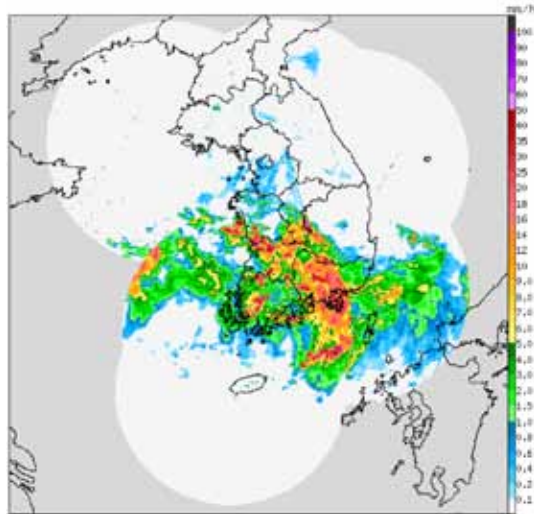
(a)



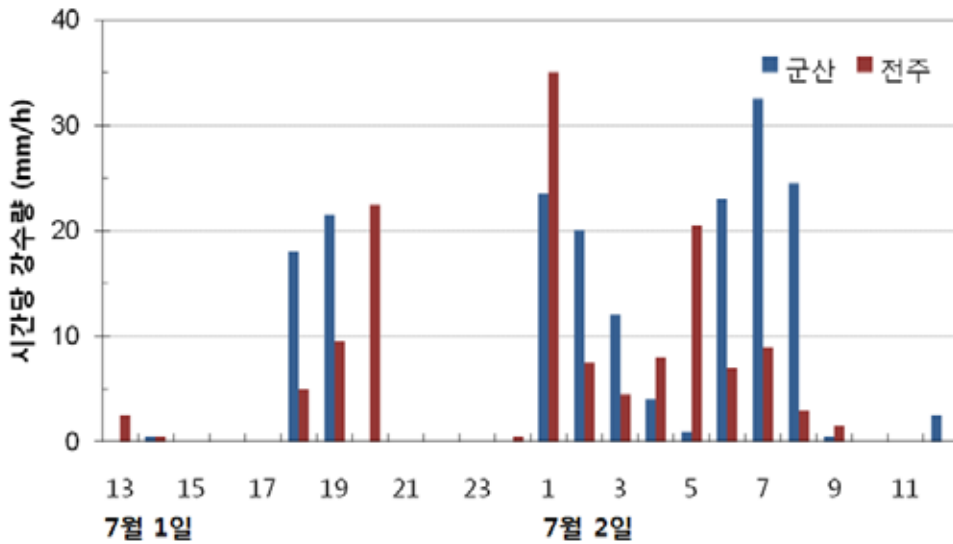
(b)



(c)



[그림 5-4] 2005년 7월 2일 (a) 07시 적외영상과 (b) 09시 지상일기도, (c) 07시 레이더 영상



[그림 5-5] 군산 (183.5 mm), 전주 (136.5 mm)의 시간별 강수량 변화 (2005년 7월 1일 13시 ~ 7월 2일 12시)

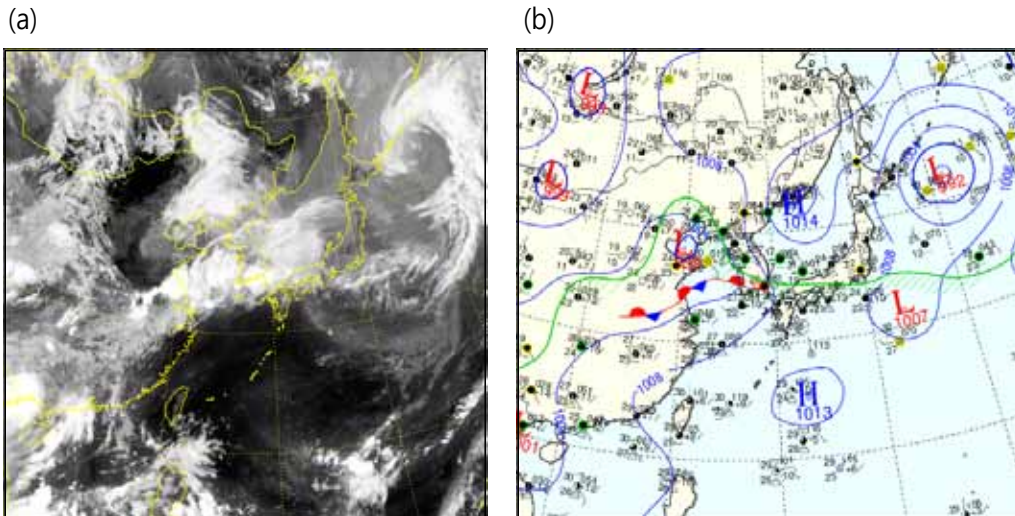
2005년 6월 30일~7월 2일 동안 호우에 의해 피해를 입은 지역은 총 8개 시·도이며 2명의 사망피해가 발생하였고, 123세대 343명의 이재민과 176억 원의 재산피해가 발생하였다. 자세한 피해현황은 [표 5-3]과 같다.

[표 5-3] 2005년 6월 30일 ~ 7월 2일의 피해 현황

구 분	단위	합계
이재민	명	343
주택	동	57
	백만원	995
농경지	ha	145
	백만원	1,206
도로·교량	개소	50
	백만원	1360
하천, 수도, 사방 수리시설	개소	139
	백만원	6,177
그외	백만원	7,204
총 피해액	백만원	17,678

2 2007년 7월 1일 사례

최근 장마초기에 호우가 발생한 대표적 사례는 [그림 5-6]에 나타난 2007년 7월 1~2일이며, 서울, 광주, 충남, 경북, 경남을 중심으로 40억원 정도의 재산피해가 발생하였다 [표 5-4]. **화중지방으로부터 북동진하는 저기압이 장마전선과 합류하면서 전남지방부터 비가 내리기 시작하여** 광주 91.5 mm, 통영 107.5 mm, 여수 103 mm, 진주 90.5 mm, 고흥 102 mm, 남해 111 mm, 부산 88 mm, 순천 93 mm의 일 강수량을 기록하였고, 중부지방으로 강수대가 이동하면서 부여 95.5 mm, 서산 95.5 mm, 서울 76 mm, 홍천 73.5 mm의 일 강수량을 기록하였다.



[그림 5-6] 2007년 7월 1일 (a) 07시 적외영상과 (b) 09시 지상일기도

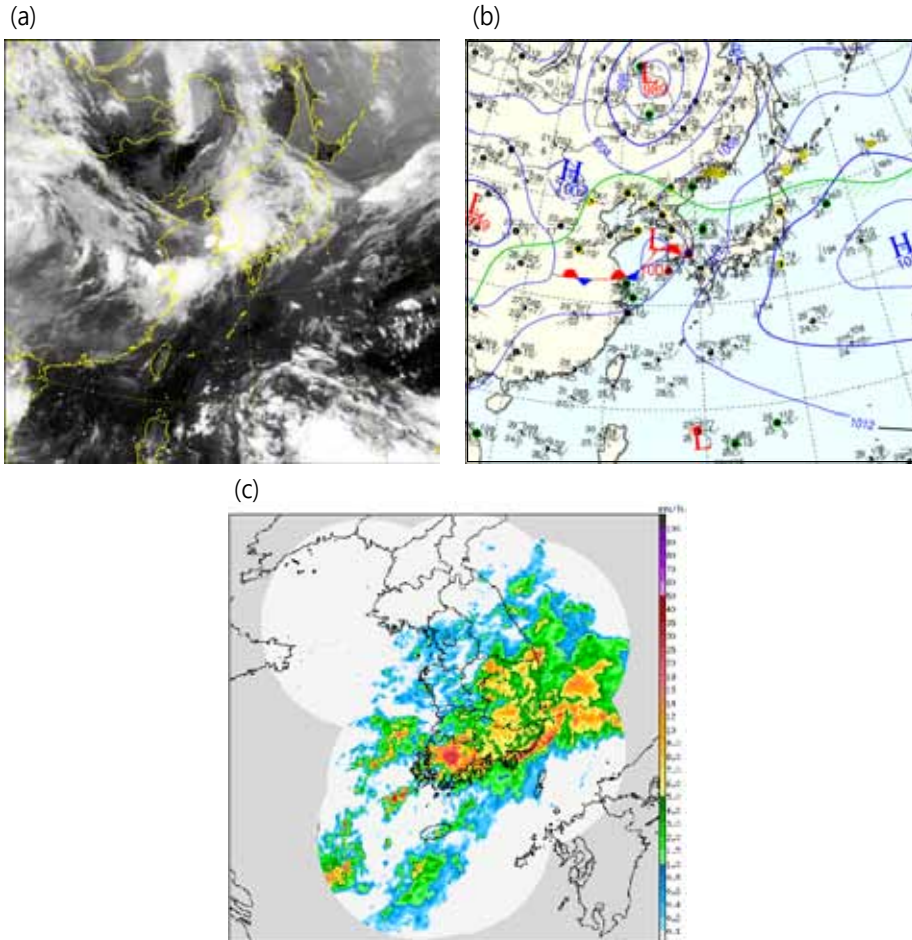
[표 5-4] 2007년 7월 1일 피해 현황

구 분	단위	합계
도로·교량	개소	9
	백만원	3,980
총피해액	백만원	3,980

3 2009년 7월 7일 사례

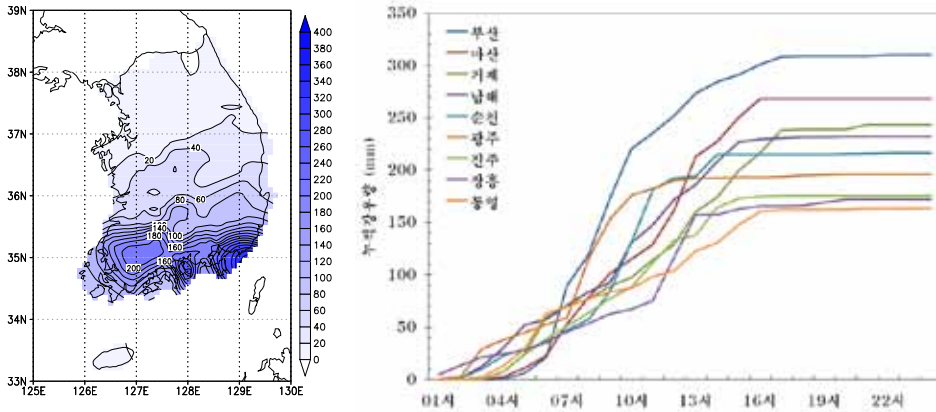
서해 중부지방에 상층 기압골이 접근하고 서해 남부에 저기압이 동진하면서 남부지방에 걸친 장마 전선을 따라 적란운이 발달하면서 남부지방에 집중호우를 발생시켰다 [그림 5-7]. 850 hPa에서 남해안에 강한 하층 제트를 따라 온난 습윤한 공기가 유입되고 상층의 차고 한랭한 공기의 이류로 인해 대류 불안정이 강해지면서 남해안을 따라 강한 비가 내렸다.

[그림 5-7] (c)의 레이더 영상에서는 한랭전선 상의 에코 높이가 10 ~ 12 km에 달할 정도로 매우 발달한 것을 볼 수 있다. 이에 따라 강한 대류에 의한 뇌우, 번개, 우박, 돌풍 등의 기상현상을 동반한 일 강



[그림 5-7] 2009년 7월 7일 09시 (a) 적외영상과 (b) 지상일기도, (c) 레이더 영상

수량 150 mm 이상의 호우가 발생하였다 [그림 5-8]. 중요지점의 경우 누적곡선을 보면 부산을 비롯한 경상남도 마산, 거제, 남해에서 급속한 강우량의 증가를 나타내었고, 부산이 310 mm, 마산 268 mm, 거제 243 mm, 남해 232 mm의 폭우가 쏟아졌다.



[그림 5-8] 2009년 7월 7일의 (a) 일강수량과 (b) 누적강수량

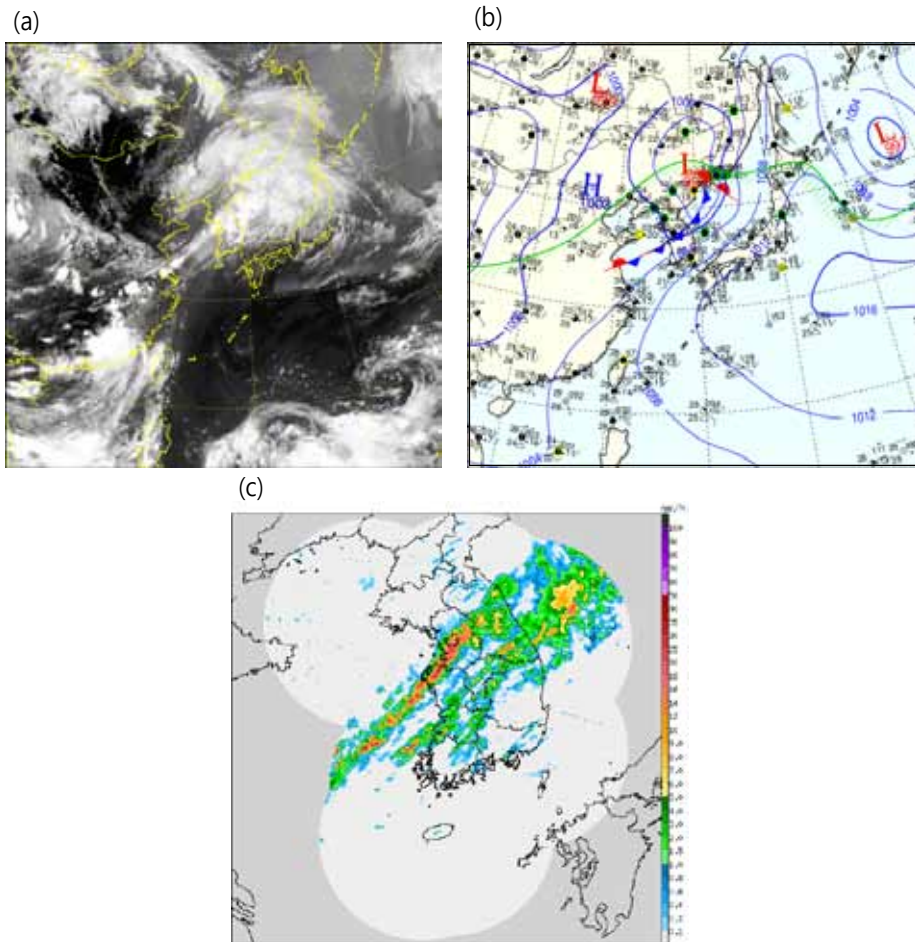
2009년 7월 7일 ~ 8일 동안 호우에 의해 피해를 입은 지역은 총 4개 시·도, 33개 시·군·구이며 2명의 사망 피해가 발생하였고, 672세대 1,503명의 이재민과 209억 원의 재산피해가 발생하였다. 자세한 피해 현황은 [표 5-5]와 같다.

[표 5-5] 2009년 7월 7일 ~ 7월 8일의 피해 현황

구 분	단위	합계
이재민	명	1,504
주택	동	708
	백만원	165
농경지	ha	135
	백만원	1,475
도로·교량	개소	60
	백만원	1,388
하천, 수도, 사방 수리시설	개소	514
	백만원	12,700
그외	백만원	5251
총피해액	백만원	20,979

4 2009년 7월 14일 사례

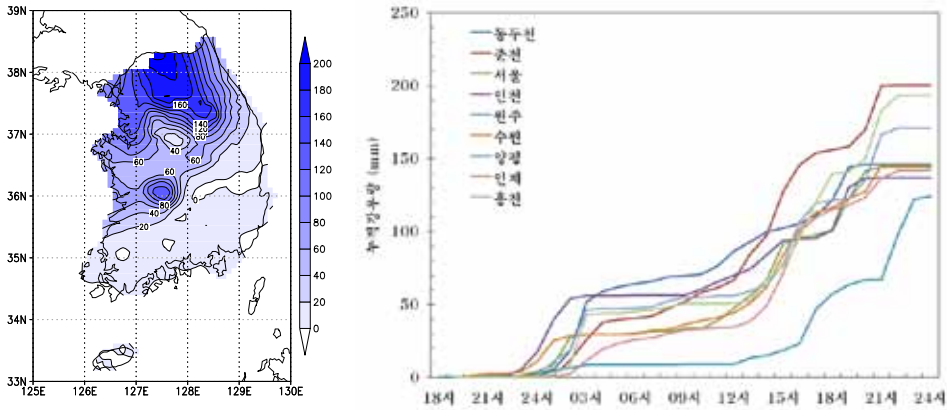
7월 11일부터 장마전선이 북상하고 화중지방에서 동진하는 저기압의 영향을 받으면서 12일부터 경기, 강원 등 중부지방을 중심으로 많은 비가 내렸다. 14일부터는 발해만 서쪽의 기압골 후면에서 찬 공기가 남하하면서 기압골이 강화되고, 이에 따라 지상에서는 한랭전선이 강해지면서 중부지방에 천둥·번개를 동반한 호우가 발생하였다 [그림 5-9]. 850 hPa 일기도에서는 서해중부와 남부 해상에 남서기류가 강하게 나타나고, 서해북부해상에는 서풍 ~ 서북서풍이 불면서 경기만 부근에서 수렴역이 형성되어 경기, 강원, 충청, 전북지방을 중심으로 돌풍과 함께 천둥, 번개를 동반한 시간당 70 mm가 넘는 강



[그림 5-9] 2009년 7월 14일 (a) 18시 적외영상과 (b) 21시 지상일기도, (c) 18시 레이더 영상

한 비가 3시간 이상 지속되어 평균 300 mm 내외의 많은 비가 집중적으로 내렸다. 이 때 대기 중·하층에서는 중부지방까지 확장된 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 하층제트가 형성되면서 많은 수증기를 공급하였다.

[그림 5-9] (c)의 레이더 영상은 강한 대류에 의한 뇌우, 번개, 우박, 돌풍 등의 기상현상을 동반한 호우가 중부지방을 중심으로 발달한 것을 볼 수 있다. 이 때 한랭전선 상의 에코 높이는 10 ~ 12 km까지 발달하였고 중부지방의 일 강수량은 150 mm 이상을 기록하였다 [그림 5-10]. 중요지점의 경우 누적곡선을 보면 경기 지역인 동두천, 양평, 수원과 강원 지역인 춘천, 홍천에서 급속한 강우량의 증가를 나타내었다.



[그림 5-10] 2009년 7월 14일의 (a) 일강수량과 (b) 누적강수량

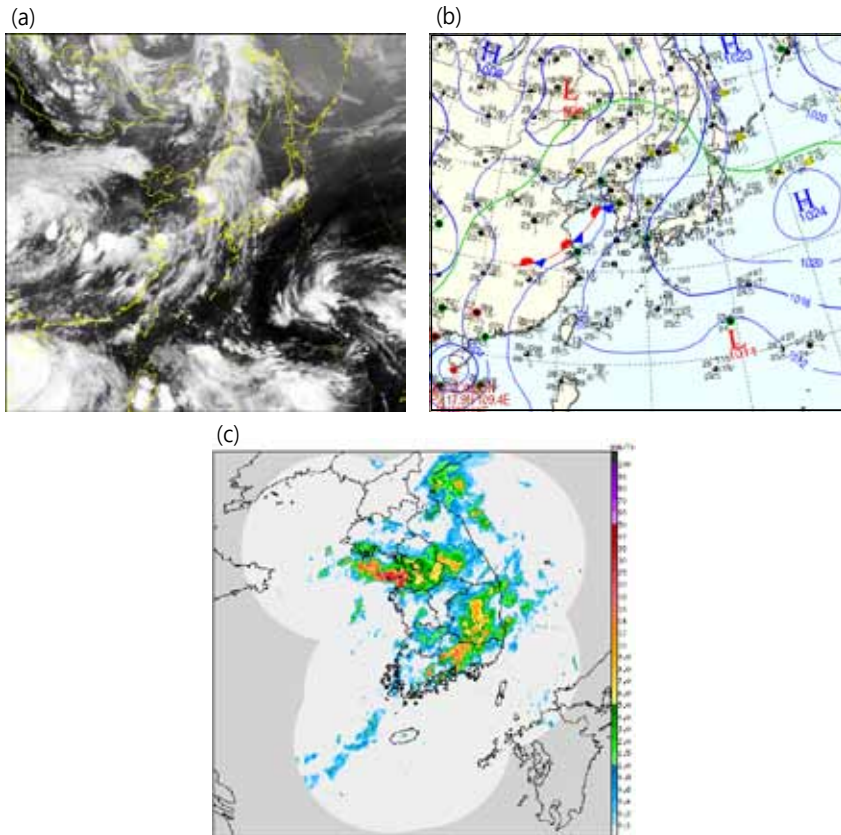
2009년 7월 11일 ~ 16일 동안 호우에 의해 피해를 입은 지역은 총 13개 시·도, 165개 시·군·구이며 10명 (사망 9, 실종 1)의 인명피해가 발생하였고, 4,539세대 10,411명의 이재민과 2300억 원의 재산피해가 발생하였다. 자세한 피해현황은 [표 5-6]과 같다.

[표 5-6] 2009년 7월 11일 ~ 7월 16일의 피해 현황

구 분	단 위	합 계
이재민	명	10,413
주택	동	4,335
	백만원	1,950
농경지	ha	532
	백만원	6,090
도로·교량	개소	716
	백만원	32,337
하천, 수도, 사방 수리시설	개소	2,945
	백만원	138,585
그외	백만원	51,224
총피해액	백만원	230,186

5 2010년 7월 16일 사례

최근 장마 중반 ~ 말기에 집중호우가 발생한 대표적 사례는 [그림 5-11]에 나타난 2010년 7월 16일 사례이다. 7월 11일부터 16일에 걸쳐 전국적으로 많은 비가 내려 여수, 마산, 진주, 합천에서 이 기간 동안 300 mm 이상의 강수량을 기록하였다. 남하했던 장마전선이 북상하면서 7월 16일에 남해안과 서해안을 중심으로 전국적으로 돌풍과 천둥·번개를 동반한 폭우가 내렸다. 특히 전남 여수에는 전국에서 가장 많은 288.0 mm의 폭우가 쏟아졌고, 남해 (259.0 mm), 마산 (137.5 mm), 진주 (165.5 mm), 고흥 (93.5 mm), 문산 (90.0 mm) 등에도 많은 비가 내렸다. 이렇듯 장마 중반 ~ 말기에 전선이 우리나라에 걸쳐 있을 때는 주야 구별 없이 낙뢰와 함께 집중호우가 발생하며 장마전선의 남하나 북상에 의해 곳에 따라 많은 비가 내린다 [그림 5-11]. [표 5-7]에 그 피해 현황을 집계하였다.



[그림 5-11] 2010년 7월 16일 21시 (a) 적외영상과 (b) 지상일기도, (c) 레이더 영상

[표 5-7] 2010년 7월 16일 ~ 7월 18일의 피해 현황

구 분	단위	합계
이재민	명	7
주택	동	128
	백만원	90
농경지	ha	28
	백만원	254
도로·교량	개소	2,416
	백만원	1,239
하천, 수도, 사방 수리시설	개소	9,278
	백만원	4,655
그외	백만원	4,599
총피해액	백만원	10,837



제6장

장마의 사회·경제적 영향

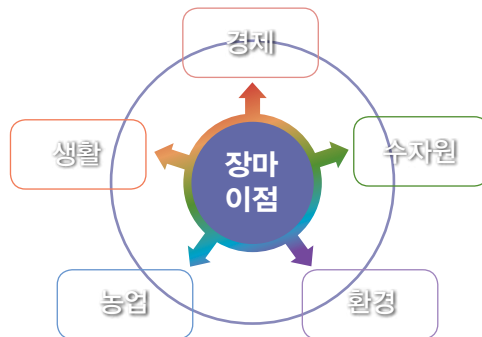
제1절 장마의 이점

제2절 미디어 속의 장마



제1절 장마의 이점

장마는 여름철에 집중된 많은 강수로 우리나라에 큰 피해를 주지만 아래의 [그림 6-1]과 같이 여러 영역에서 다양한 긍정적인 측면이 있다.



[그림 6-1] 장마의 이점

1 경제적인 측면

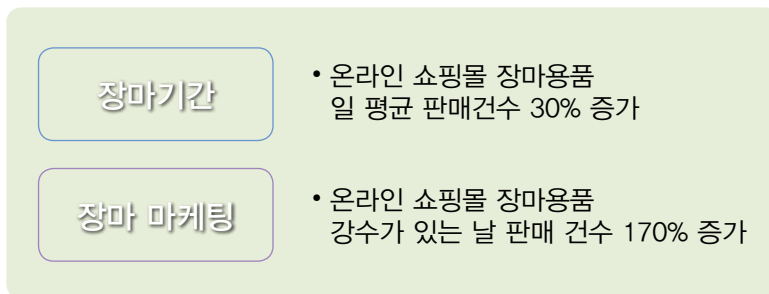
우리나라는 여름철 강수량이 연총강수량의 반 이상을 차지한다. 특히, 장마 기간 중의 강수가 여름철 강수의 상당부분을 차지하므로 이 시기의 강수는 경제적으로 큰 가치를 가진다. 최근 30년(1979~2008년) 동안 강수량 자료를 분석해 본 결과, 연평균 총강수량은 1343 mm로 경제적 가치로 환산하면 약 9097억 원에 해당하고, 그 중 장마 기간 평균 강수량은 364 mm로 약 2470억 원에 달한다 [그림 6-2].

장마로 인해 마케팅 시장도 변하고 있다. 일례로 장마 기간 중 온라인 쇼핑물의 매출은 급격히 증가하는 편이다. 한 온라인 쇼핑물은 전주 대비 일 평균 판매건수가 30% 정도 증가하였다. 강수가 있는 날은 관련 상품을 할인하는 등의 **장마 마케팅**을 펼쳐 평소보다 무려 170% 정도의 판매량을 기록했다. 온라인 쇼핑물뿐만 아니라 홈쇼핑의 경우에도 장마 기간 매출이 약 15% 가량 증가했고, 식품 관련 매출은 일평균 매출 대비 40% 나 급증하였다 [그림 6-3].

이렇듯 장마 기간 중 매출을 올리기 위한 기업체의 노력으로 기상정보 수요가 늘어나고 있으며, 이를 활용한 기업들의 장마 마케팅이 활성화되고 있다. 과거 일부의 건설업체의 마케팅에 국한되었던 기상 정보는 식음료 업체 등 다양한 업체의 마케팅으로 활용되는 예가 늘어나고 있다. 이처럼 장마로 인한 경제적 이득의 형태는 다양하다고 할 수 있다.



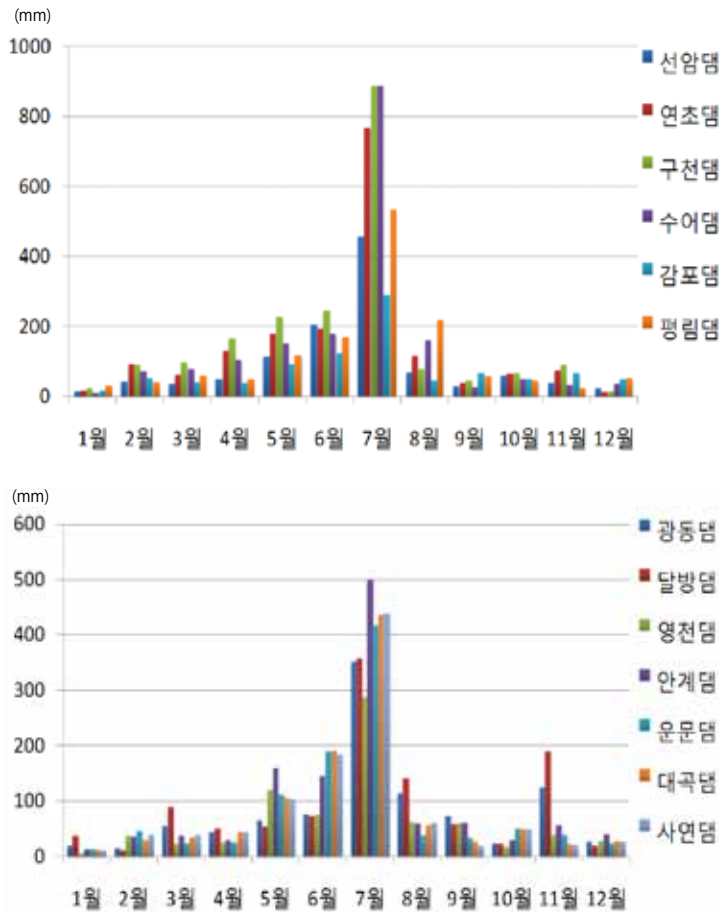
[그림 6-2] 장마의 경제적 가치



[그림 6-3] 장마기간 동안 한 온라인 쇼핑물의 판매량 변동

2 수자원적인 측면

일 년 강수량 중 장마기간 동안 내리는 강수는 우리나라 전체 강수량의 30% 이상으로 많은 양의 비가 내린다. 따라서 장마는 우리나라에 매우 중요한 수자원 공급원이라 할 수 있다. 특히 장마 기간을 제외하곤 강수량이 많지 않은 우리나라에서는 장마로 인한 강수의 활용은 꼭 필요한 부분이다. [그림 6-4] 에서 볼 수 있듯이 장마 기간의 강우량은 다른 기간보다 월등하다. 이는 바로 댐에 저장되어 **생활용수, 공업용수, 농업용수** 등으로 활용되거나 수력 발전을 통해 전기를 생산하기도 한다. 기후변화로 인한 물 부족 현상이 대두되고 있는 이 시점에 장마로 인한 수자원 확보는 매우 중요하다고 볼 수 있다.



[그림 6-4] 장마 기간의 강우량

3

환경적인 측면

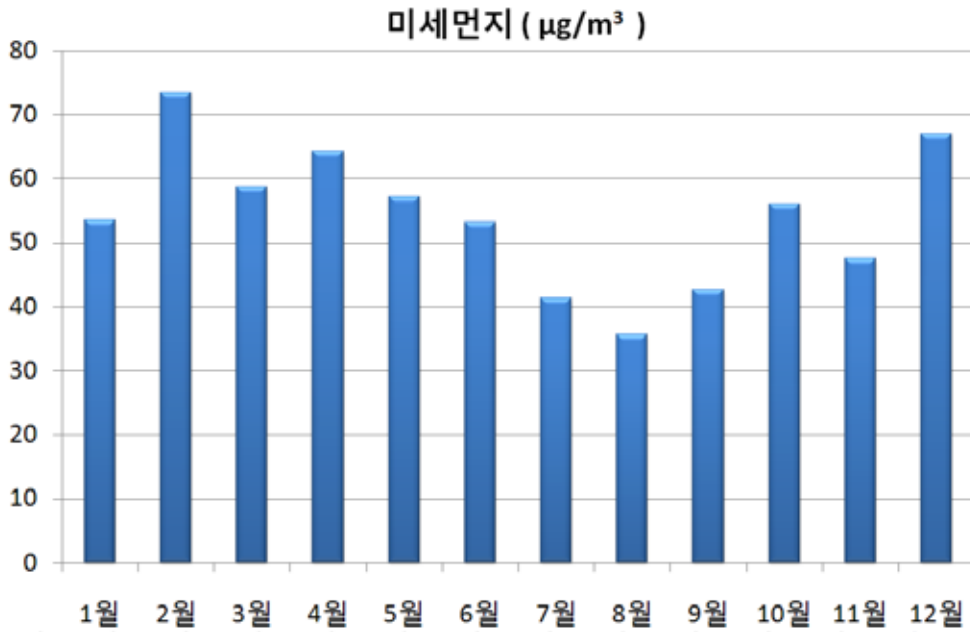
장마는 환경에도 상당한 이익을 준다(그림 6-5). 봄철에 강수가 많지 않은 우리나라에서 장마로 인한 **대기 정화 효과**는 매우 크다. 장마 기간 중의 강수는 공기 중에 떠 있는 먼지와 분진, 중금속등의 오염 물질을 제거하여 미세먼지 농도가 낮아지는 효과가 있다. 따라서 장마는 대기질 개선에 매우 효과적인 역할을 한다. 실제로 2009 년 미세먼지, 이산화질소, 아황산가스의 월별 분포를 보면 장마 기간인 6~8 월동안 대기 중 오염물질의 농도가 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다(그림 6-6, 6-7, 6-8).

장마로 인한 효과는 **산불을 예방**할 수도 있다. 집중되는 강수로 대기는 평소보다 습해지게 되고 이는 여름철에 산불을 볼 수 없는 이유라고 할 수 있다.

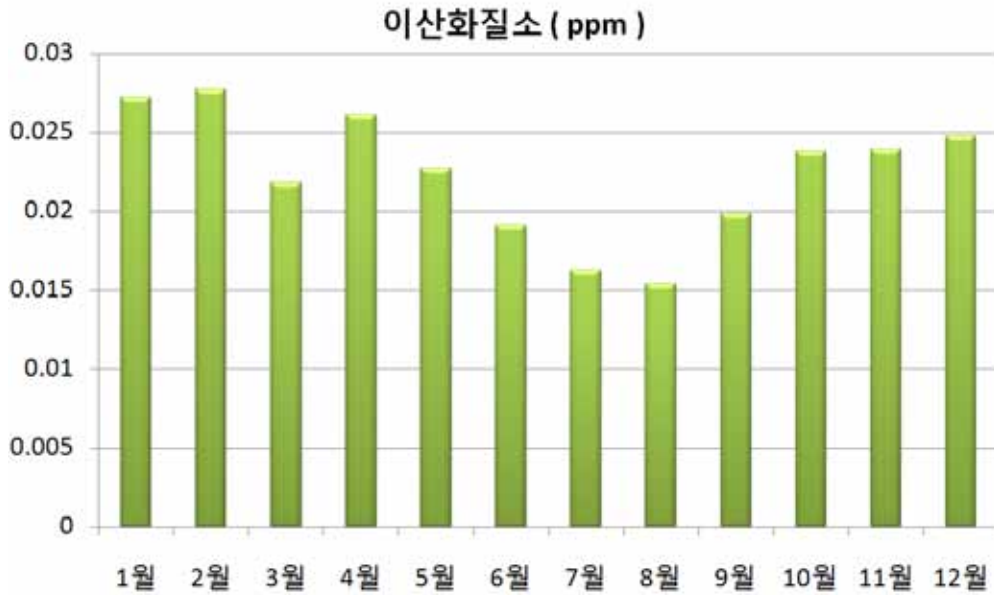
대기뿐만 아니라 장마 기간 중 강수는 **수질을 개선**하는 역할도 한다. 댐 유역에서 10 mm 강수가 있을 때 약 9300 만 m³ 물의 유입이 발생하고 이는 0.26 ppm 정도의 수질 개선 효과를 갖는다(그림 6-9). 이렇듯 장마가 다양한 방법으로 환경에 영향을 미친다. 장마 기간의 강수는 도시의 열섬 효과를 낮추는 **냉방효과**도 만들며 장마가 길어지면 장마기간 종료 후 시작되는 열대야가 늦춰지기도 한다.



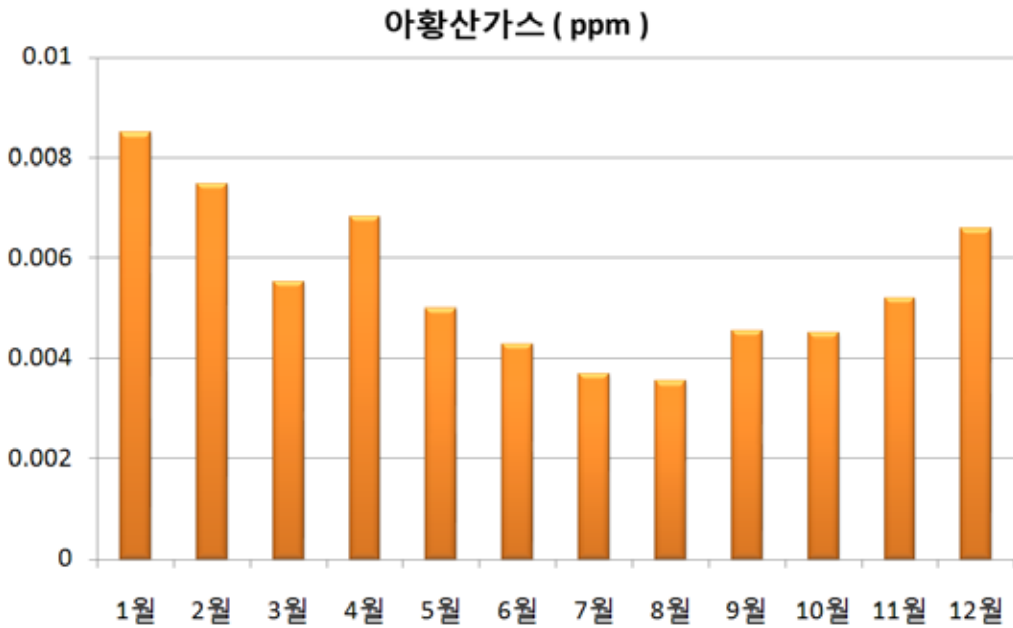
[그림 6-5] 장마의 환경적 이점



[그림 6-6] 2009년 전 도시 월평균 미세먼지 농도



[그림 6-7] 2009년 전 도시 월평균 이산화질소 농도



[그림 6-8] 2009년 전 도시 월평균 아황산가스 농도



[그림 6-9] 장마의 환경적 이점 중 수질개선효과

4 농업적인 측면

장마는 **봄철 가뭄을 해소**하는 작용도 한다. 우리나라의 봄철은 건조하고 강수가 많지 않아 가뭄이 생기기 쉬운데 장마 기간 중의 강수는 이를 해소시키는 중요한 역할을 한다. 장마 기간에 오는 많은 양의 강수는 고갈된 지하수층에 물을 공급하여 말라 있던 농작물에 충분한 물을 공급한다 [그림 6-10, 6-11].



[그림 6-10] 가뭄에 해소 되고 난 뒤 벼의 모습

생활적인 측면



[그림 6-11] 장마기간의 비로 가뭄이 해소된 농촌의 모습



장마 기간에 내리는 비로 인해 대기는 습해지고 사람들의 생활 또한 그에 맞게 변한다. 특히 장마 기간을 공략하여 나온 의류들이 그 예이다. 물이 닿아도 형태가 변하지 않는 고무 소재의 신발과 비옷은 장마 기간 중에 판매량이 급증하며 해마다 매출율이 오르고 있다 [그림 6-12]. 식품 판매도 마찬가지다. 장마 기간 먹을거리의 매출을 보면 파전, 녹두전 등 부침개 매출이 약 2 배정도 오른다. 장마 기간에는 일조량이 상대적으로 줄어들기 때문에 사람들이 우울한 느낌을 가지게 된다. 사람들은 본능적으로 적시에 필요한 영양소를 찾는 경향이 있기 때문에 탄수화물이 풍부한 음식을 찾게 되는 것이다. 또 부침개에 함유된 단백질과 비타민 B는 비 오는 날에 드는 우울한 기분을 해소하는데 도움을 주기도 한다.

이처럼 장마 기간 중에 사람들의 생활패턴이 변하는 것을 알 수 있다. 또한 장마는 여름철 기승을 부리는 모기를 감소시키는 역할도 한다. 장마가 길어질수록 고여 있던 웅덩이를 씻겨내기 때문에 그 안에 있던 모기 알 또한 줄어들게 된다. 따라서 모기의 수가 줄게 되고 이는 장마 기간 중 살충제 판매량이 평소보다 약 30% 가량 감소하는 사실로도 알 수 있다.



[그림 6-12] 다양한 레인부츠

제2절 미디어 속의 장마

한국일보

2005년 06월 27일 a01면



장마 시작

집중호우가 쏟아진 26일 밤 서울 명동 롯데백화점 앞에서 시민들이 귀가를 서두르고 있다. 서울 지역은 저녁 한때 시간당 49mm의 많은 비가 내리는 바람에 일부 등에 경전 사고가 나는가 하면 지하철도가 침수되기도 했다. 황태석기자

서울 호우 정전·침수 피해

중부 오늘까지 200mm 이상... 항공편 무더기 결항

26일 낮부터 중부 지방을 중심으로 전국에 많은 장마비가 내렸다. 27일까지 200mm가 넘는 비가 오는 지역도 있었다.

기상청에 따르면 서울과 경기·강원 지역에 호우경보와 주의보가 내려진 가운데 이날 밤 11시까지 경기 양평 양동면에 189.5mm의 비가 쏟아졌고, 강원 횡성 104.5mm, 경기 여주 114.0mm, 서울 88.0mm 등의 강우량을 기록했다. 27일 오후까지 여주와 양평 일대에는 60~100mm, 서울과 경기 광명, 과천

등에는 60~100mm, 영서지방에는 50~80mm의 비가 더 내릴 전망이다.

중부는 27일 오후 늦게 그치겠으나, 남부는 28일 오전까지 비가 이어질 전망이다. 장마전선은 28, 29일께 잠시 소강 상태를 보이다 30일 다시 전국에 비를 뿌리겠다.

서울 관악구 남현동에서 저녁 8시 40분께 가로수가 꺾여 전선에 닿는 바람에 7,200여 세대에 1시간 가량 전기가 끊겼고 상당 지하철도가 침수됐다. 오후 6시 40분께는 서울외곽순환

고속도로 판교에서 일산 방향 수리터널 인근에서 25인용 버스가 빗길에 전복되는 바람에 승객 조모(47·여)씨가 사망하고 운전자 이모(47)씨 등 3명이 경상을 입었다. 한편 서울-부산행 35편 등 국내선 항공편 64편이 무더기로 결항됐다. 친성훈기자 bluejin@hk.co.kr

안형영기자 promatheus@hk.co.kr

경향신문

2005년 07월 02일 001면



돌풍에 부러진 나무 중부지방에 100mm가 넘는 국지성 집중호우가 내린 1일 새벽 강원 춘천시 남산면 향촌초등학교의 아름드리 나무가 돌풍을 이기지 못해 부러졌다. 연합

주말에도 국지성 집중호우

전국서 침수·돌풍·낙뢰피해 잇따라

이번 주말과 휴일을 비롯해 이달 상순에는 전국적으로 장맛비가 지속적으로 내릴 전망이다.

기상청은 1일 중부지방은 4일까지, 남부지방은 8일까지 비가 계속해서 내릴 것으로 예보했다. 주말인 2일과 휴일인 3일에는 전국적으로 지역에 따라 최고 100mm 안팎의 비가 내리며 국지성 집중호우 가능성이 높을 것으로 예상된다.

이어 4일 이후에도 전국적으로 비가 그쳤다가 다시 내리는 양상으로 전형적인 장마철 강우가 나타나

다 8일쯤에나 일시적으로 그칠 전망이다. 이번 장마는 이달 하순까지 이어진다. | 관련기사 7면

한편 30일 밤부터 1일까지 전국적으로 돌풍을 동반한 국지성 집중호우로 피해가 잇달았다. 1일 오전 9시30분쯤 경북 영주시 이산면 두월1리 개울에서 이 마을 권영기씨(66·여)가 논에 물을 보러갔다가 급류에 휩쓸려 숨졌다. 또 부산 강동농협앞 깃잎밭에서 일하던 박모 할머니(65)가 낙뢰에 숨졌으며, 부산 연동초등학교 인근에서 하수구 보수공사를 하던 인부 연모씨(37) 등 3명이 하천 물에 휩쓸려 실종됐다. 오승주기자·전국종합

한국일보

2006년 07월 13일 a01면



물에 잠긴 정발산역

사오일 최고 69.5mm의 집중호우가 내린 12일 오전 빗물이 쏟아져 물어와 침수된 경기 고양시 마두동 지하철 3호선 정발산역 선로를 한 스카프가 덮여 방범자살판 표정으로 내려다 보고 있다

수도권에 '물폭탄' 곳곳 교통마비

고양 380.5mm... 3호선 일산선 오늘 정상운행

서울 도심 주요 간선도로 통제

경마전선의 영향으로 12일 기습 폭우가 내린 서울-경기지역은 전철역과 도로 곳곳이 물에 잠겨 오전 한때 도시 기능이 마비됐다.

★관악시 23~10면 경기 고양시에는 오전 8시부터 1시간 동안 69.5mm의 장대비가 쏟아지면서 지하철 3호선과 연결된 일산선이 끊기고 평일로 일부 구간이 통제돼 출근길 지각사태가 속출했다. 일부 회사원들은 점심시간이 다 돼 출근하기도 했다. 일산선 대와-구마갈 구간은 이날 밤까지 개통되지 않아 교통대란은 퇴근길까지 이어졌다.

13일 새벽 0시 30분 현재 지역별 강수량은 ▲ 서울 227.5mm ▲ 경기 고양시 380.5mm ▲ 포천시 285mm ▲

안천시 148mm ▲ 강원 홍천군 200mm ▲ 춘천시 183.5mm 등이다.

교통대란

고양시내 일산선 정발산역이 침수돼 오전 8시40분부터 일산선 대와-구마갈 구간과 진동열차 운행이 전면 중단됐다. 한국철도공사는 "13일 오전 5시14분 대와역남 첫차부터 정상 운행 할 예정"이라고 밝혔다. 오전 7시20분경 경의선 일산-백마역과 일산선 마두-삼송역 구간 선로가 한때 침수됐으며 오전 10시15분경 경춘선 판래-미석역 사이 철도에 보수가 유입돼 열차 운행이 일시 중단됐다. 동일선과 경기 동두천시 상행열차 자동 차전용도로, 경기 김포시 전호리 지하

각 지역 강수량 (단위: mm) 12일 오전 0시00분 현재



차도, 경기 의정부시 의정부역 부근 지하차도 등 저지대 차도 곳곳이 물에 잠겼다.

서울에서는 동부간선도로, 상안 지하차도, 검서구 남부 순환도로와 남산 사거리 등 도심 주요 간선도로가 통제됐다. 서울시시설관리공단은 보행자들의 안전을 우려해 오전 3시부터 경계 철 전 구간의 산책로 통행을 금지했다. **사망·실종·탈수**

이날 경기 남양주시 별내면사무소

370여에서 관악지역이 침수되는 등 모두 4명이 사망·실종됐다.

또 고양시 958세대와 김포시 114세대 등 모두 1,119세대가 침수됐으며 농경지 1,362ha가 물에 잠겼다. 오전 9

시50분에는 서울 서대문구 천연동 독립문 공원에서 무악재 방향 번도 3차로 도로변 5m 높이의 측대가 무너져 내려 트러피 데굴렀다.

이밖에 서울 성북구 동암2동의 한 아파트 뒷담과 성북구 성북2동의 테니스장 옆길 측대 등이 무너져 내렸다. 경기 고양시 맥양구 대곡초등학교는 학생들의 안전을 위해 이날 휴교했다.

송두영기자 dyoung@hk.co.kr

국민일보

2006년 07월 17일 002면

태풍+장마전선... 거대한 비구름 형성

왜 이렇게 쏟아졌나

15일 강원도 지방을 시작으로 16일 중부지방에 내린 개성리성 집중 호우는 짧은 시간, 좁은 지역에 몰리면서 큰 피해를 남겼다. 이 지역에 이같은 집중호우가 쏟아진 것은 갖가지 기상 악재가 복합적으로 작용했기 때문으로 풀이되고 있다.

◇기압흔들-태풍-신악지형이 복합 작용=우선 우리나라 북쪽지역에 위치한, 차가운 공기(한기)가 일시적으로 남진한편 7월을 타고 남쪽으로 내려왔다. 이 한기는 중부지방에까지 올라와 있던 북태평양 고기압과 충돌했고 차가운 공기와 따뜻한 공기가 맞부딪치면서 중부지방 상층에는 거대한 비구름이 끊임 없이 만들어졌다. 한기는 우리나라 주변의 낮은 해수면 온도를 바탕으로 움직여 북로 뒤러지 않고 있으며 북태평양 고기압도 태평양의 동부

3호 에워니아, 북태평양 고기압 이끌고 4호 빌리스는 엄청난 수증기 내뿜어 태백산맥에 부딪히며 강압도 큰 타격

한 열대:지로부터 힘을 얻고 있다. 전혀 다른 성질이 두 가지에 우리나라 상층에서 세력 대립을 하며 대기를 불안정하게 만들기 때문에 개성리성 폭우는 한동안 계속될 가능성이 높다. 또다른 요인은 최근 우리나라에 상륙해 적지 않은 피해를 안긴 3호 태풍 에워니아에서 찾을 수 있다. 에워니아는 남쪽 해상에서 비롯되고 한반도 북태평양 고기압 세력까지 우리나라로 밀고 왔다. 반반 읍다운 북태평양 고기압은 쉽게 내려가지 않은 채 우리나라 상공에 세력을 형성하고 있고 장마전선이 고기압 가장자리를 따라 한반도의 북부와 중부 지방을 오르내리고 있다.

우리나라에 직접적인 피해를 주지는 않았지만 제4호 태풍 빌리스는 집중호우의 결정적인 요인도 제공했다. 빌리스는 15일 오후 중국 해남지방에 상륙해 앞대성 지기압으로 세력이 약해졌다. 그러나 이 과정에서 빌리스는 태평양에서 풀고 온 막대한 양의 수증기를 사상으로 내뿜었고 엄청난 양의 수증기가 우리나라 중부 상공에 머물고 있는 장마전선에 유입됐다.

일한 데 밀린 격으로 강압도 여기에 이르면 '신악효과'인 지형적인 원인으로 더해졌다. 장마전선이 강원도에 위치한 태백산맥이 북안정형과 중국에서 유입된 막대한 수증기가 태백산맥



이 우리나라에 직·간접적인 영향을 준 것이 큰 특징이다. 북태평양 고기압은 비가 내리지 않는 남부지방에 막대위와 열대야를 예년에 비해 무더 보람이 나타나고 있다.

전조 사세를 따라 북상에 중의 편두쪽으로 빠져나갈 것으로 전망했던 에워니아가 전날 전도에 상륙하면서 방향을 동쪽으로 틀어 우리나라 중심으로도 올라온 개성리성의 중요변 변화 요인이다. 개성리성 폭우의 최대 원인을 제공했다고

태풍 빌리스를 중국 해남지방으로 밀어내는 역할까지 했다. 결국 빌리스가 틀어낸 막대한 양의 수증기가 우리나라 상공에 유입되면서 우리나라 기상상황에 불타라게 작용했다. 또 우리나라 주변 해수면의 온도가 평소보다 다소 낮아 차가운 공기(한기)가 우리나라 중·북부 지방에 오래 머무른 것도 폭우의 원인이 됐다. 수면이나 지면에 낮게 깔리는 상층류 기단 한기는 낮은 온도의 해수면과 상호작용을 하며 세력을 형성했고 에워니아의 접근은 고온다습한 공기에도 밀리지 않았다. 이후 한기는 북태평양 고기압과 정계산맥 미끄러고 있는 장마전선, 중국에서 유입된 수증기를 모두 충돌시키는 폭내 역할을 했다.

기상청 연구도 동북관은 '평범한 기상현상들이 연달아 최악의 상황으로 번들하면서 비례적으로 많은 양의 비를 뿌리고 있다'고 설명했다. 열기까지



서울 마포구 마포천변지점에 주차했던 차량들이 16일 불어 일기 비스무리한 시황을 드러내다.

지붕만 보이는 버스

김민우 기자

한국경제

2006년 07월 17일 a01면



물에 잠긴 올림픽대로 서울 올림픽대교의 차량 통행이 전면 중단된 16일 여의도-동작대교 구간이 뚝뚝물에 잠겨 있다. 오른쪽 초록색 지붕 건물은 노랑진 수신사당. 김은구 기자 egkeng@hankyung.com

한반도 홍수위기 경보

한강·금강 수계 비상... 여주 1만7000여명 대피지시

장마전선 남부 확산... 오늘 최고 300mm 내릴듯

북한지역으로 물러났던 장마전선이 남하하면서 지난 15일부터 이틀간 서울 경기 강원 등 중부지방을 중심으로 '물 폭탄'이 쏟아졌다.

이 여파로 16일 서울의 안양천 특 일부가 유실되고 한강둔치가 4년 만에 침수됐다. 강원지역에서는 산사태 등으로 30여명이 사망·실종됐고, 영동고속도로 등 열서와 영동지방을 잇는 중추 도로망들이 대부분 마비됐다.

기상청은 장마전선이 이날 오후부터 충청 이남지역으로 세력을

확장하고 있어 17일엔 남부지방을 중심으로 전국에 최고 300mm가 넘는 폭우가 내릴 것으로 전망했다. 기상청은 충청·경북 북부지역에 초우경보, 대구·경남 일부지역에 초우주의보를 발령했다. 이 장맛비는 20일까지 이어질 것으로 보인다.

16일 시간당 최고 30mm 내외의 폭우가 내린 서울에서는 양평 동암교 지점에서 안양천 특이 유실되면서 인근 500여가구 주민들이 긴급 대피했다.

한강 수위가 올라가면서 2002년 이후 처음으로 한강시민공원이 완전 폐쇄됐다. 또 올림픽대교가 전면 통제됐으며 동부간선도로, 강변북로 등 서울시내 주요 간선도로 30여곳의 통행이 금지됐다. 광명댐이 초당 2만2천3t의 물을 방류하면서 이날 오후 8시 현재 한강 수위가 10m(한강대교 기준)까지 뚰어나 홍수경보 수위(10.5m)에 육박했다. 남한강 여주대교 수위가 10m까지 상승, 폭 최고 높이(11m)에 근접하자 경기도 여주군은 오후 7시14분을 기해 지지대의 여주읍 심리, 하리,

홍문리 주민 1만7000여명에게 대피령 직전 단계인 대피지시령을 내렸다.

장마전선의 남하와 함께 충청 이남 지역에 비가 본격적으로 내리면서 오후 7시께 충남 공주시 정안면 일대에 토사가 흘러내려 천안-논산 간 고속도로 통행이 차단됐다. 금강에 대해서는 오후 9시를 기해 홍수 주의보가 발령됐다.

중앙재난안전대책본부는 "장마전선 확장으로 비 피해가 더 커질 것으로 예상돼 전국에 국가위 기경보를 발령했다"고 밝혔다.

김환수 기자 kcs08@hankyung.com

朝鮮日報

2006년 07월 28일 a09면

할킨 자리 또 할퀴고... '장마 38일째' 왜 이리 질길까



서울 27일 서울이 다시 '물폭탄' 을 맞았다. 물이 차 오른 광화문 시거리들 차량들이 물보라를 일으키며 달리고 있다. 주완중기자 韓보그wjjoo.chosun.com



인제 "여기가 깊어있던기." 긴급 수해복구로 겨우 돌렸다가 27일 급류로 다시 유실된 강원도 인제군 인제읍 덕신리-여적리 구간 도로를 한 주민이 지켜보고 있다. 이태경 특약기자

잠자던 장마전선 '개미'가 깨워

<5호 태풍>

예상보다 10일 가까이나 더 머물러 강원 주민들 잇단 물폭탄에 낮아

올여름 유난히 '잠긴 장마' 가 한반도를 뒤덮고 있다. 27일로 벌써 38일째다. 2000년대 들어 가장 길 뿐 아니라 기상청의 단초 예상보다 열흘 가까이 더 머물면서 곳곳에서 수

해(水害)를 일으키고 있다. 한반도의 장마 전선은 이례적으로 장기화되는 경우가 있기는 하지만 평균 한 달 정도 비를 뿌리다 소멸한다. 예년에 비해 올해 장마가 끈덕진

제3호 태풍 에워나와 중국 남부 지방에 상륙한 4호 필리스, 5호 개미가 예년보다 많은 양의 수증기를 우리나라로 유입시켰다"면서 "특히 태풍 개미의 영향으로 주춤하던 북태평양 고기압이 뒤늦게 세력을 확장하면서 장마 전선을 밀어붙이고 있다"고 밝혔다.

막바지 장마 기간 동안 서울·경기와 강원 영서 지방에는 최고 250mm, 충청과 강원 영동 50~100mm, 전북·경북 20~60mm, 전남·경남에는 10~40mm의 비가 더 올 것으로 예상된다. 제주도는 5~30mm의 비가 더 내릴 것으로 보인다.

올해 장마로 가장 큰 피해를 본 곳은 강원도다. 주민들 사이에서는 이날 다시 장대비가 쏟아지자 "하늘이 원망스럽다"는 탄식이 자연스럽게 나오고 있다. 특히 수해를 입어 복구 작업이 한창 진행 중인 곳에서는 "앞

으로 300mm에 가까운 비가 더 온다는데 지금까지 응급 복구한 것이 모두 쓸려 내려가는 것은 아니냐"는 걱정이 이어졌다.

활기를 띠던 수해 복구 활동도 전면 중단됐다. 응급 복구 작업을 벌이던 중장비들의 움직임도 집중 호우와 함께 '을 슝' 했다.

이달 초 개장한 강원도 동해안 해

수욕장은 또 큰 비가 쏟아지자 운상을 짓고 있다. 예년의 경우 휴가철이면 평일 5만 명, 휴일 10만~30만 명의 피서객이 찾아 해수욕장 주변 상업점다 하루 100만~200만원의 매출을 올렸지만 올해는 최근 20여일 동안 피서객이 해수욕장마다 하루 평균 1만여 명을 넘지 않을 정도다.

채성진기자 韓보그adumie.chosun.com

올 장마 길어진 이유



“하늘도 무심...” 옆친데 덮친 비



비야 제발 좀 그만... 최근 집중호우로 큰 피해를 봤던 강원 인제군 인제읍 덕산리의 한 주민이 27일 장마전선의 북상으로 또다시 비가 쏟아지자 원망스러운 표정으로 하늘을 쳐다보고 있다. 인제=이훈구 기자 uloh@donga.com

■ 수심 가득한 중부

장마전선이 활성화되면서 27일 서울에 시간당 30mm가 넘는 폭우가 쏟아지는 등 서울과 경기, 강원 지방에 많은 비가 내려 침수, 교통정체 등의 피해가 잇따랐다.

이날 오후 11시 현재 강수량은 강원 홍천이 221mm로 가장 많았고 경기 김포 201mm, 서울 194.5mm, 경기 동두천 146mm, 강원 인제 141mm 등이었다. 28일에도 서울, 경기, 강원 영서지방을 중심으로 최고 50~150mm(많은 곳 200mm 이상), 강원 춘천과 영동 지방이 50~100mm(많은 곳 150mm 이상)의 비가 더 올 전망이다. 추가 피해가 우려된다.

오늘도 최고 200mm 비... 잠수교 통제

이번 폭우의 원인은 27일 중부지방에 머물던 장마전선에 제5호 태풍 개미로부터 많은 양의 수증기가 서남풍을 타고 공급된 데 있었다.

폭우로 가장 큰 추가 피해가 우려되는 강원지역에서는 27일 오전부터 인제와 평창, 양양 등 3개 군 31개 마을 주민 4522명이 안전지대로 대피했으나 저녁 무렵 대부분 돌아가 270가구 720명으로 줄었다.

경기도에서 가장 많은 비가 내린 김포지역에서는 대곶면 54ha, 김포1·2동 34ha 등 모두 100ha의 농경지가 물에 잠겼다. 한강수력발전처는 오후 10시 30분 현재

청평댐 수문 13개를 38m까지 열고 초당 3730t을 흘려보내 서울의 한강시민공원 반포지구 전체와 강서, 망원, 여의도, 이촌지구 일부가 침수됐다.

서울에서는 이날 폭우로 잠수교와 영동1교 등 서울 시내 일부 도로의 교통이 통제됐으며 청계천 일대와 한남대교 교양시방향~강변북로 진입램프 등 시내 곳곳에서 차량이 시속 20km 이하의 '저속 운행'을 해 퇴근길 교통정체가 빚어졌다.

막바지 장맛비는 중부지방의 경우 토요일인 29일 오전에야 그칠 전망이다.

홍수영 기자 gaee@donga.com

매일경제

2007년 06월 19일 a38면

못말리는 땡벌 ... 장마야 와라

21일부터 전국 장마권 무더위 한풀 꺾일듯

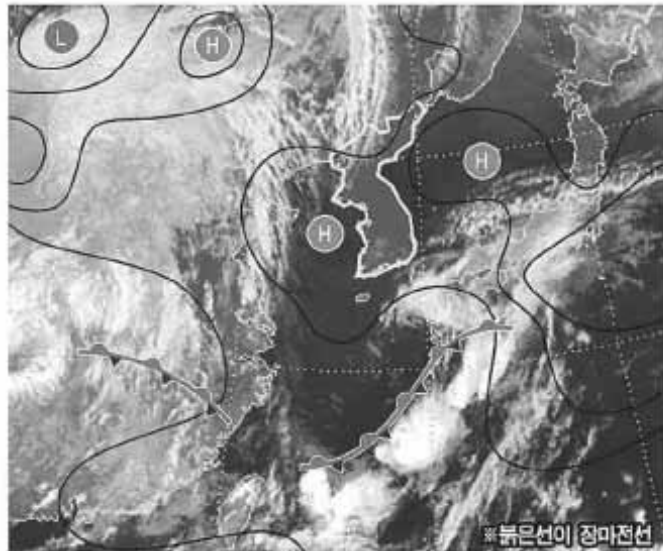
18일 낮 최고기온이 홍천 36.1도, 춘천 34도, 서울 33.2도를 기록하는 등 지난 주말에 이어 전국 대부분이 30도를 웃돌았다.

이에 따라 각 가정과 사무실이 일제히 에어컨을 가동하면서 이날 오후 2시 8분께 순간 전력 사용량이 5369만㎾를 기록하며 지난해 같은 날 승시전력(순간 최대 전력소비량)에 비해 약 300만㎾나 높았다. 이날 땡벌 더위로 서울지역에서는 남동·남서·북서지역 17개구 오존오염도가 오존주의보 발령 기준(시간당 0.120ppm)을 웃돌아 오존주의보가 발령됐다.

기상청은 19일과 20일에도 전국이 30도를 오르내리는 등 이 같은 무더위가 이어질 것으로 내다봤다.

21일부터는 전국이 장마권에 접어들면서 더위가 한풀 꺾일 것으로 전망된다.

기상청은 이날 "현재 중국 화난지방과 일본 오키나와 남쪽 해상에 걸쳐 있는 장마전선이 21일께 북상해 제주도 지방부터 영향을 주겠다"고 밝혔다. 북상한 장마전선은 22일 서



울·경기 지역을 포함한 전국에 장맛비를 뿌릴 전망이다. 기상청은 이비가 서울·충청 등 중부지방은 23일까지, 제주·부산 등 남부지방은 24일까지 이어질 것으로 내다봤다.

기상청 관계자는 "장마전선은 7월

초 일시적인 소강상태를 보이다 하순부터 본격 활성화해 극지적으로 집중호우나 소나기가 오는 곳이 많겠다"고 말했다.

이번 장마는 다음달 하순쯤 끝날 것으로 예상된다. 김명수기자

세계일보

2007년 06월 30일 008면

가장 짧았던 **장마** 1973년 6일
 가장 길었던 1969년 48일

기상청 45년간 자료 분석

올해는 평년과 비슷할 듯

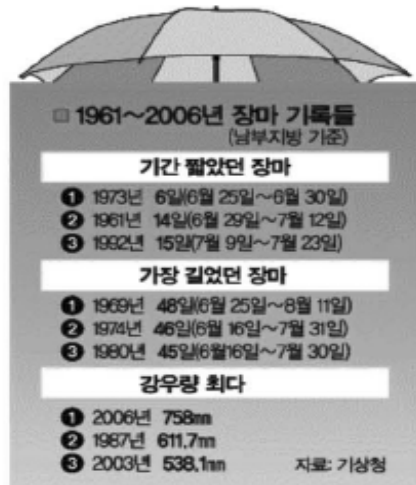
매년 여름 어김없이 찾아오는 '불청객' 장마가 시작된 지 일주일 지났다. 장마 기간은 짧으면 짧을수록 좋다. 길면 사람들의 생활 리듬이 흐트러져 집중력이 떨어지는 등 일상생활에도 좋지 않은 영향을 미친다.

그렇다면 역대 장마의 최단기간과 최장기간은 각각 며칠일까. 가장 짧은 기간은 6일, 가장 긴 기간은 48일이다.

29일 기상청이 1961년부터 지난해까지 45년간 분석한 장마 시작·종료일 및 일수에 따르면 최단기간은 73년 남·중부지방의 6일로, 6월 25일 시작해 30일 끝났다. 같은 해 장맛비 강수량은 380.9mm로 역대 가장 적었다.

남부지방은 1961년 14일, 92년과 94년 각각 15일로 짧은 편이었다. 중부지방은 61년 16일, 72년 17일, 99년 18일을 나타냈다.

반면 가장 길었던 장마 기간은 69년



남부지방에서 진행된 48일이다. 시작은 6월 25일로 평년과 비슷했지만 장마 전선이 8월 11일 돼서야 완전히 물러났다. 74년도 6월 16일 시작한 장마가 7월 31일까지 46일이나 이어졌다. 장마 기간 강수량이 가장 많았던 해는 지난해로 758mm였다. 장마기간은 39일이었으나 폭우성 강우가 많아서였다.

기상청 윤원태 기후예측과장은 "올해는 평년과 비슷한 장마기간과 강수량을 보일 것으로 예상된다"고 말했다. 이진경 기자

세계일보

2007년 08월 13일 012면

7월보다 8월 큰 비 많다

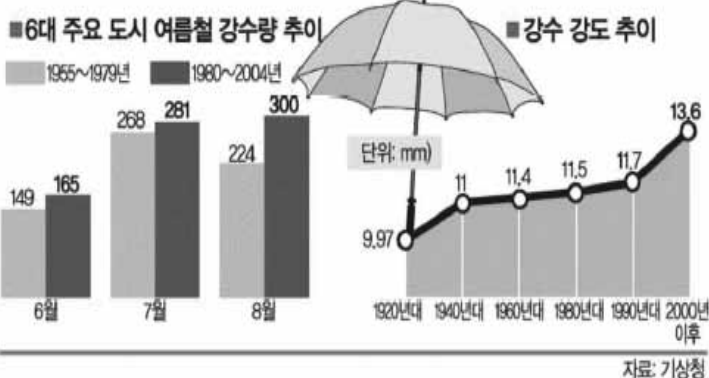
기후변화로 우리나라 여름철 강우패턴이 변하고 있다. 1980년을 기점으로 7월보다 8월 강수량이 많아졌고, 집중호우 일수도 늘고 있다. 이 때문에 올 8월 들어 나타나는 집중호우는 올해만 발생한 특이현상이 아니라 기후변화의 과정이라는 분석이 나오고 있다.

12일 기상청에 따르면 우리나라 6대 도시(서울·강릉·광주·부산·전주·대구)의 여름철(6~8월) 평균 강수량은 1955~79년에는 장마철에 비가 집중되면서 7월이 268mm로 가장 많고, 8월(224mm)·6월(149mm) 순이었으나 1980~2004년에는 8월(300mm)·7월(281mm)·6월(249mm) 순으로 8월과 7월이 순위 바꿈을 했다.

강수강도도 강해지고 있다. 강수강도란 연 강수량을 연강수일수로 나눠 하루에 내린 비의 양을 의미하는 것으로, 강수강도가 높다는 것은 짧은 시간에 많은 비가 왔다는 것이다.

1920년대 강수일수(전국 평균)는 연간 117일, 연평균 강수량은 1166mm로 강수강도는 9.97mm로 나타났다. 그러나 산업화가 진행되면서 1970년대 강수강도는 11.2mm(강수일수 107일·강수량 1199mm)로 50년 전보다 세졌으며, 1980년대에는 11.5mm, 1990년대에는 11.7mm로 시간이 지날수록 더욱 강해지고 있다.

최근에는 더욱 세져 2000~06년 최근 7년의 강수강도는 13.6mm(강수일수 106일, 연강수량 평균 1443mm)로 나타났다. 올해의 경우 장마기(6월21일~7월29일) 강수강도는 8.



온난화 영향 '국지성 호우' 증가 탓 80년대 들어 역전... 강우패턴 변화

7mm였던 데 비해 장마 직후인 7월30일~8월 8일 10일은 16.2mm로 2배에 달한다. 이는 장마 후 게릴라성 국지성 집중호우가 많아진 것이 원인으로, 지구온난화의 영향으로 우리나라 기후패턴이 아열대성으로 바뀌면서 나타난 현상으로 풀이된다.

약(弱)기상의 하안인 집중호우 일수도 많아진다. 서울의 경우 1987~96년 32일이었던 집중호우 일수는 1997~2006년 37일로 늘어났다. 강릉·광주·부산도 22일에서 34일, 19일에서 27일, 21일에서 43일로 각각 증가했다.

기상청 유위태 기후예측과장은 "1970년

대를 기점으로 고온다습한 북태평양 고기압이 확장하면서 8월 강수량에 영향을 주고 있다"면서 "태풍·집중호우 등 악기상은 앞으로 더 자주 발생할 것으로 보인다"고 말했다.

서울대 허창희 교수(지구환경과학부)는 "기후변화로 동아시아 전체의 대기 순환이 바뀌고 있으며, 중국이나 동남아시아 국가에서 발생하는 홍수도 같은 원인으로 추정된다"며 "기후변화는 우리나라만의 문제가 아닌 만큼 다른 나라들과 함께 원인을 분석하고 대비책을 마련해야 한다"고 지적했다.

이진경 기자 lijn@segye.com

중양일보

2007년 08월 14일 011면

여름 내내 거의 매일 비 ... 아열대 기후와 비슷하니

장마 대신 우기로?

(특파)

기상청, 개념 도입 20일 본격 논의



기상청이 여름철에 비 내리는 시기를 '우기(雨期)'로 구분하는 것을 추진하고 있다. 지구온난화의 영향으로 여름 비의 양이 많아지고, 장마가 끝나 뒤에도 비가 계속 내리는 한반도 기후변화를 반영하기 위한 것이다. 이렇게 되면 기상예보에서 장마라는 말은 사라지게 된다. 우기는 아열대

성 기후 지역에서 비가 많이 내리는 시기를 일컫는 용어다.

기상청 측은 예보과장은 "기후전문위원회(20일)와 호우 전문가회의(8월 말)에서 장마를 따로 구분하지 않고 여름철 전체를 우기로 규정하는 문제를 주요 의제로 다룰 것"이라고 13일 밝혔다. 홍 국장은 "기상학적으로 장마전선에 의한 강수와 계절성 폭우는 엄연히 다르다"며 "그러나 시민이 느끼기에는 장맛비나 계절성 호우나 차이가 없어 장마를 구별하는 것의 의미가 약해졌다"고 설명했다. 특히 여름에는 기상청이 장마가 끝났다고 선언(7월 29일) 이후 지역에 따라 보름 가까이 비가 계속 내려 기상청에 대한 불신이 커졌다.

서울대 지구환경과학부 이종규 교수는 "여름철 전체를 우기로 놓고 3~4일 단위로 강수 유무에 대한 세밀한 기상예보를 제공하는 데 집중하는 것이 오히려 줄이고 국민 신뢰도 얻을 수 있을 것"이라고 말했다. 홍 국장은

"기상청이 어떻게 정의할 것이냐보다(장마 대신 우기라는 용어를 사용하는 데 대해) 국민적 합의가 중요해 의견수렴 절차를 거치기로 했다"고 말했다. 김찬수 기자

envirepo@joongang.co.kr

◆**장마**-6~7월에 장마전선이 중간간 정체되면서 지속적으로 많은 비를 뿌리는 현상을 말한다. 오토츠크레고 기압과 북태평양 고기압이 한반도 주변에서 팽팽하게 맞서면서 뚜렷한 전선이 생긴다. 전선은 두 고기압이 세력에 따라 남북을 오르내린다. 보통은 7월 하순에 오토츠크레고 기압이 약화되고 장마전선이 한반도를 지나 북상하면서 끝난다.

◆**우기**-열대-아열대 지방에서 강수량이 많고 비가 오는 날이 집중되는 시기를 말한다. 보통 3~6개월 지속적으로 많은 비가 내린다. 상대적으로 비가 적게 내리는 시기를 건조기라고 구분한다. 대표적인 아열대 기후인 지중해성 기후는 여름에는 아열대 고기압의 영향을 받아 고온건조하고, 반대로 겨울에는 편서풍의 영향을 받아 우기가 된다.

매일경제

2008년 06월 23일 월요일 A30면 사회

마른장마

이번주도 큰비 없을듯
북태평양 고기압이
장마전선 북상 막아

세종로 정부종합청사에 근무하는 공무원 이 모씨는 지난주 장마가 시작됐다는 기상청 예보에 따라 매일 우산을 들고 출퇴근하고 있다. 하지만 비가 오기는커녕 찜통더위만 계속돼 짜증스럽다. 이씨는 "삼마철이라는데 언제 비가 내릴지 몰라 우산을 놓고 다닐 수도 없다"고 말했다.

기상청은 지난 16일 장마전선이 북상해 전국이 본격적인 장마 영향권에 들겠다고 예보했다. 올해 장미기 지난해보다 4일 일찍 발생한 것으로 평년(1971~2000년 평균)보다 2~7일 이르다고 말했다.

하지만 서울 등 삼당수 지역에서 비가 내리지 않아 장마철을 무색케 하고 있다.

장마기는 하지만 비는 안 오는 '마른 장마'다. 전남 일부 지역에 많은 비가 내렸으나 전국에 걸쳐 장마다운 비는 없었다.

기상청은 특히 주말인 21~22일 이틀간 장맛비가 내린다고 예보했으나



22일 새벽에 잠시 비가 내린 것을 제외하고는 이렇다 할 큰 비가 오지 않았다.

앞으로도 상황은 별반 다르지 않은 듯하다. 기상청은 이번주에도 서울 경기 인천 등 중부권은 물론 제주도 등 전국 대부분 지역에서 24일과 25일 두 차례 비가 올 것으로 예보했다. 물론 이 비도 흐리다가 잠깐 내리는 수준으로 총일 비가 오지는 않을 것으로 예상된다.

기상청 관계자는 "북태평양 고기압이 한반도 상공을 장악하면서 장마전선이 아직 본격적으로 북상하지 않고 있다"고 밝혔다.

이 관계자는 "화요일과 수요일에 장마전선이 북상함에 따라 중부지방도 장마 영향권에 들 것으로 보이며, 중부지방에도 큰 비가 올 가능성은

충분히 있다"고 강조했다.

하지만 8월 강수량이 삼마 때보다 더 많아지고, 열대지방에서만 나타나는 스콜(국지성 소나기)이 빈발하는 등 최근 기후변화의 영향도 무시할 수 없다는 분석이다.

기상청 관계자도 "장미기 지나간 후에도 대기 상태가 불안정하면 국지성 호우가 내릴 가능성이 얼마든지 있기 때문에 지속적으로 일기예보에 관심을 기울여야 한다"고 말했다.

이에 따라 기상청은 최근 "올해부터 장마 종료 시점에 대한 예보를 하지 않겠다"고 선언한 바 있다.

올해부터 기상청이 장마 종료 시점을 예보하지 않기로 한 것은 장마전선이 지나가도 비가 계속 내리는 데다 이를 사전에 예측하기 어렵기 때문이다. 박승철기자

중요정보

2008년 07월 09일 수요일 011면 사회



8일 경남 밀양이 최고 36.6도를 기록하는 등 전국적으로 찜통더위가 기승을 부렸다. 서울 광장분수대에서 한 어린이가 시원한 물줄기를 맞으며 더위를 식히고 있다. 김형수 기자

마른 장마에 찜통 더위

대구 연일 34~36도... 전국 열대야

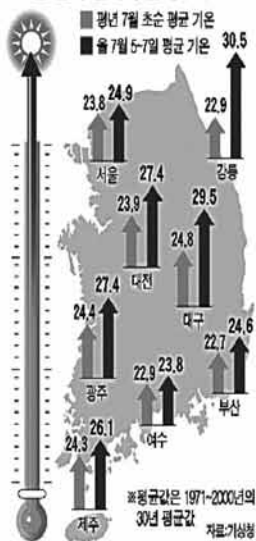
때 이른 불볕더위가 기승이다. 한 낮에 30도를 넘는 무더위가 아침까지 식지 않아 잠 못 이루는 시민도 많고 있다. 8일 서울의 낮 최고기온은 올 들어 처음 30도를 넘었다. 전날보다 5.3도나 높은 32.8도까지 치솟았다. 장마철에 비가 절금 내리는 '마른 장마'로 4일 강원도 강릉에서 시작된 무더위가 백두대간을 넘어 서울과 서해안까지 확대된 것이다. 기상청 김승배 통보관은 "덥고 습한 남서쪽 기류가 약해지면서 구름이 걷히고 일사량이 늘면서 8일에는 한반도 서쪽 지역의 기온도 크게 올랐다"고 말했다.

◆**때 이른 무더위**=이날 대구시 주요 도로에는 살수차가 등장했다. 34~36도의 무더위가 이어지자 달구벌대로와 동대구로 등 시내 주요 간선도로 34곳에 오전·오후 두 차례 지열을 식히기 위한 물뿌리기를 한 것이다.

시민들은 연일 열대야로 잠잠을 설치고 있다. 4일 이후 전국 16곳에서 아침 최저기온이 25도를 웃도는 열대야가 관측됐다. 폭염주의보는 5일 강원도 동해안을 시작으로 6일에는 영남내륙지역, 7일에는 충북 전역과 경기·강원·전북 일부 지역까지 확대됐다. 폭염경보까지 내려진 8일 영남내륙지방의 낮기온은 35도를 웃돌았다.

지난해에는 7월 25일에 폭염주의보가 처음 발표됐다. 7월 27일에 일부 지

요즘 날씨 얼마나 덥나 (단위: °C)



역에 폭염경보가 발표됐던 것과 비교하면 올해는 20일이나 단겨진 것이다.

◆**마른 장마**=기상청은 북한 지방까지 밀려 올라간 뒤 약해졌던 장마전선이 서쪽부터 다시 발달해 10일께 침 최저기온이 25도를 웃도는 열대야가 전국에 비가 내리면서 더위가 꺾일 것으로 전망했다. 하지만 주말부터는 다시 무더위가 계속될 것으로 기상청은 내다봤다. 장마전선이 남부지방을 뚫다가 갑자기 세력이 약해져 중부지방과 경북 북부지방에서는 장마답지 않게 비가 적은 '마른 장마'도 나타나고 있다.

김천수 기자

envirepo@joongang.co.kr

홍보

2009년 07월 08일 수요일 08:59 사회



부산시 동래구 온천천 주변 도로에서 7일 밤경과 '미 구조차량'이 물에 잠긴 차량을 빙글 돌리며 끌어내고 있다. 이날 부산에는 308.5mm의 비가 내린 이후 18년 만에 가장 많은 강수량을 기록했다.

부산=송봉근 기자

하늘이 구멍난 듯 ... 부산 하루 300mm 넘는 '물폭탄'

남부 곳곳 길 끊어지고 역사·침수·붕괴 잇따라

전남지역에서만 농경지 6500여ha 물에 잠겨

7일 오후 3시쯤 부산시 사하구 대저2동 현대아파트 앞 상가 도로, 집중호우도 도로가 침수되면서 차량 6대가 물에 잠겼다. 도차 피하지 못해 차 안에 갇힌 운전자 2명이 긴급 출원한 구조대에 구조됐다. 부산 시소방본부 119구조대는 이날 북구 회명동 매기소 계곡에서 고위험 차모(430여 동) 2명을 구조하는 등 100여 차례 출동해 39명을 구조했다.

부산은 아침부터 양동리로 물러났는 듯한 정태비가 쏟아졌고 곳곳이 물바다로 변했다. 이날 오전 3시부터 내린 비는 오전 7시 무렵 시간당 강수량이 60~70mm를 기록했다. 오전 9시에는 시간당 70mm 이상 퍼붓는다. 오후 물이 그쳤다. 시간당 강수량 70mm는 부산 지역의 7월 강수량으로는 최고 기록이다. 이날 하루 부산 지역 내린 평균 강수량은 311mm, 대전권이 367.5mm로 가장 많았다. 1996년 8월 25일 437mm를 기록한 지 18년 만에 최고 많은 비가 내렸다.

신안군 자은도(300mm), 완수군(271.5mm),

나주시(267.5mm), 순천시(215.5mm) 등 전남 지역에도 장대비가 퍼부었다. 이 때문에는 물을 빼던 신도(60여)나주시 공안면(14)와 임도(77)광안면 영산면(14)가 배수문제 빠져 숨지고 수십 명이 고립됐다가 구조됐다. 곳곳에서 농경지와 가옥이 침수되거나 붕괴되고 교통이 두절됐다.

◆붕괴·고립 잇따라=이날 오전 9시30분쯤 부산시 남구 우암동 석천(600여) 근적 비탈면의 토사가 30m가량 흘러 내려 주차된 차량 5대가 흩어지게 됐다. 남구 용호 일개 지역 해안대 침산(타일) 지하도 일구에도 흩날리가 무너져 내렸다.

전남 신안군 활판면(50) 자연변장은 "비가 워낙 많이 와 밤에 나일 임부조차 볼 수 없었다"며 "바람과 농경지가 물에 잠겨 심경제가 물타다를 이었다"고 전했다. 나주 3000ha, 함평 3482ha, 신안 3438ha 등 6600ha의 농경지가 침수됐다. 주택 침수도 잇따라 자은도(108세), 나주시(88세) 등에서 283대가 피해를 봤다.

◆곳곳에서 교통 두절=이날 오후 3시쯤 전남 삼광진읍 양천의 경부선 철도 상행선(서울 기점 388.8km) 선로 15m 구간의 자갈이 침몰호우로 유실돼 KTX 등 5편의 열차 운행이 지연됐다. 코레일은 사실 원천 중이 같은 사실을 확인해 오후 2시30분 부산발 서울행 제144 KTX(승객 212명)를 긴급 정차시킨 뒤 삼광진역으로 되돌려보내다가 반대편 하행선 선도로 통과시켰다.

오전 11시10분 김해공항 도착 예정인 중국 철도발 상행항공 CA4075편이 회항하는 등 국내선 항공기 2편이 결항했으며, 국내선 25편도 결항되고 25편이 지연됐다. 여수-무안공행은 폭우와 강풍으로 여확하여 예정된 14편의 여객기가 모두 결항했다.

광주-무안고속도로는 일부 구간에서 토사가 유출되면서 오전 8시30분부터 오전 11시30분까지 화행선 전 구간이 통제됐다.

부산전시장 지하차도 등 부산시(1)에서 30곳 이상도 도로가 침수 교통이 마비됐으며, 해운대구 파동 부산-용산고속도로에서도 축대가 무너져 극심한 교통 체증이 일어났다. 국도 1호선 나주 보양동 지점 비탈면은 유실됐으며 나주시나 도로 세 곳도 흩날려 교통이 마비됐다. 광주-부산-이해세결정된 기차

http://koreasport.com



장마전선, 고기압에 막혀 복상 못하고 '심술'

간다전선이 일시적으로 복사하면서 7일 남부지방 일부에는 300mm가 넘는 장맛비가 내렸다. 반면 서울에는 이날 오전 6~8시 1mm 정도의 비만 약하게 뿌렸고 오후에는 하늘이 맑아졌다. 경기·강원 자라도 대부분 10mm 미만의 강수량을 보였다.

이날뿐만 아니라 울며불며 장맛비가 남부지방에만 집중되고 있다. 기상청은 오후 3시에 부산에서 상층 고기압이 버티고 있어 북반구 전체의 기압계 흐름이 정체되고 있는 것이 원인이라고 설명했다. 또 러시아 바이칼호 근처에서부터 남쪽으로 상층 고기압이 길게 발달하면서 한반도 상층에는 기압골이 형성됐다는 것이다. 이로 인해 북해랑과 고기압이 북쪽으로 확장하지 못하고 있다. 그러나 기상청 김승태 홍보관은 "앞으로 북해랑과 고기압이 점차 확장하면서 9~10일에는 중부지방을 중심으로 강풍을 동반한 많은 비와 함께 극저온의 집중호우가 예상된다"고 말했다.

김종수 기자 enr@koreasport.com

8구동성 “무조건 고맙다 장맛비”

(八口同聲)



누가 하늘을 보며 울고 웃을까. 본격적인 '장마 레이스'가 시작되면서 프로야구 순위 경쟁에 큰 변수로 떠올랐다. 12월 4개 구장의 경기가 모두 취소된 가운데 기상청 일기 예보에 따르면 이번 주중까지도 전국적으로 큰 비가 내릴 예정이다. 해마다 장마 레이스의 중요한 변수인 장마가 올래는 어느 팀에 유리하고 불리하게 작용할지 관심이 모아진다.

부상자 많은 LG, 이용규 기다리는 KIA 등 반색
550만 관중 목표 KBO와 구단들은 달갑지 않아

무조건 반갑지

잡힐 듯 잡히지 않는 4강 진입에 마지막 고비를 맞고 있는 7위 LG는 장마가 고맙기까지 하다. LG에는 박명환 최원호 이범준 강철민 배우어 등 부상자들이 유독 많다. 여기에 마무리 이재영마저 어깨 건초염으로 고생하고 있다. 이재영은 급박한 팀 사정상 12일부터는 등반할 예정이었지만 끝맛 같은 '휴가'를 더 얻게 됐다. SK(84경기)에 이어 두 번째로 많은 83경기를 치르고 있는 LG는 올시즌 유난히 '하늘의 도움'을 받지 못하고 있다.

3위 KIA는 2위 두산에 반 경기 차로 따라 붙었지만 그래도 쉬는 편이 낫다. 타선의 침병인 이용규와 김원섭이 이달 안에 복귀할 예정이어서 비로 경기가 미뤄질수록 유리하다. 최근 10경기에서 3승7패로 부진한 하이로즈, 끝까지 한화도 비가 싫지는 않다. 선두권인 SK와 두산도 사정은 크게 다르지 않다. 삼성은 최근 6연승 중이긴 하지만, 진갑용의 갑작스러운 부상 공백을 생각하면 장마가 나쁠 것도 없다.

컨디션 조절과 흥행에는 악재

들쭉날쭉한 일정이 반복되다 보면 선수들

● 프로야구 중간순위

(12일 현재)

순위	팀	승	무	패	승률	승차	연속
1	S K	47	32	5	0.560	-	6패
2	두 산	43	34	2	0.544	3.0	1패
3	K I A	42	34	4	0.525	3.5	2승
4	삼 성	41	40	0	0.506	7.0	6승
5	롯데	41	42	0	0.494	8.0	2승
6	해태	37	42	1	0.463	10.0	3패
7	L G	37	43	3	0.446	10.5	1패
8	한 화	28	49	3	0.350	18.0	1승

은 컨디션 조절이 쉽지 않다. 특히 방문경기가 취소되면 하루종일 숙소에서 지내야 한다. 체력이 고갈될 시점이라 충분한 휴식이 보약이 될 수도 있지만 지나치면 신체 리듬이 오히려 깨질 수 있다.

550만 관중을 목표로 세운 한국야구위원회(KBO)와 구단들도 장마철이 달갑지 않다. 매년 관중은 장마철엔 여름에 급감한다. KBO 관계자는 "장마철엔 경기 시작 직전까지 진행 여부가 불투명하기 때문에 관중이 줄어들 수밖에 없다"고 말했다.

성원희기자 hhsung@hk.co.kr



장맛비는 과연 순위경쟁에 어떤 영향을 미칠까. 지난 9일 마산에서 열린 롯데-삼성전 7회초 경기 도중 갑자기 내린 폭우로 경기가 중단되고 있다. 마산=연합뉴스

朝鮮日報

2009년 07월 15일 수요일 A01면 종합



14일 오후 서울 강남역 인근 버스정류장에서 우산을 든 시민들이 버스를 기다리고 있다. 장마전선의 영향으로 이날 서울을 비롯한 중부지방에는 강풍을 동반한 폭우가 시간당 최대 60mm 쏟아졌다. 기상청은 "중부지방을 덮친 장맛비는 14일 밤과 15일 오전 중 점차 그치고, 남부지방에는 15일 오전까지 비가 내릴 것"이라고 예보했다. * 鄭勇성 chosun.com

온난화가 만든 '난폭한 장마'... 서울 강우량 1940년후 최대

전국 곳곳 침수 피해

14일 서울은 하루 종일 어두컴컴한 상태에서 폭우와 바람이 몰아치면서 오후 10시 현재 140.5mm(종로 기준)의 강우량을 기록했다.

장마철이 시작된 지난 6월 말부터 이날까지 누적 강우량은 총 635.9mm에 달한다. 같은 기간의 강우량으로는 해방 이후 최대 기록이며, 1908년 기상 관측이 시작된 이래 1940년(989.2mm)과 1930년(731.6mm)에 이어 세 번째로 많은 장맛비가 내린 것이다. 특히 장마

철엔 꾸준히 비가 내리던 과거 패턴이 완전히 바뀌어, 올해는 정검다리 식으로 며칠간 맑았다가 하루에 집중 폭우가 몰아치는 '스콜(열대성 소나기)성 물폭탄'의 양상을 보이고 있다.

이런 달 서울에선 지난 2·9·12일에 90mm 이상 많은 비가 쏟아졌지만 나머지 날엔 1mm 이하 강우량을 보이거나 맑았다. 또 서울시 안에서도 하루 강우량이 100mm 넘는 동(洞)과 10mm 미만인 동이 동시에 나올 정도로 초국지적(超局地的) 폭우 형태를 보였다.

기상청 진기범 예보국장은 "지구는 난화는 날씨의 진폭을 굉장히 크게 만든다"며 "지구온난화로 인한 기후 변화의 재앙이 얼마나 무서운지 이번 장

마철을 통해 확인하고 있는 것"이라고 말했다.

수자원공사 물관리센터 김태국 박사는 "지구온난화로 대기 흐름이 틀어지면서 가뭄과 홍수가 '교대 근무' 하듯이 번갈아 오고 있다"고 설명했다.

기상청 윤원태 기후예측과장은 지구온난화로 찾아진 '엘니뇨'(칠레 부근 동태평양 해수면 온도 상승 현상)를 원인으로 들었다. 윤 과장은 "칠레 부근 바다에서 기온이 높아지면 지구 대류 활동에 의해 우리나라 부근엔 저기압이 강해진다"며 "장마전선이 형성된 데다 저기압 활동이 강해져 집중 호우가 내렸다"고 말했다.

이날 경기도 과천 282.0mm, 강원 춘

천 223.5mm, 서울 송파 221.0mm(오후 10시 현재) 등의 강우량을 기록한 중부 지방은 비 피해가 이어졌다.

중앙재난안전대책본부에 따르면 이날 오후로 경기도 남양주시 화도읍 구암리에서 차량이 전복되며 50대 남성 1명이 숨졌다. 또 오후 10시 현재 경기도 지역에서 총 44가구의 주택이 물에 잠기고, 경기 가평군 대곡4리 시가지 도로 등이 일시 침수됐다. 경기와 경남 지방에서는 3가구 6명의 이재민이 발생했다. 또 한강 수위가 올라가 잠수교는 오후 1시부터 사람과 차량이 모두 통제됐고 수원 오산천변 플레이트 등 일부 도로도 통제됐다.

김성모 기자 sungmo@chosun.com



떠내려온 골목길 차량들 16일 시간당 최고 90mm가 넘는 폭우가 쏟아진 부산 수정동 주택가에 토사가 밀려 내려와 차량 10여 대가 매몰됐다. 부산=송봉근 기자

어제 266mm ... 한 달 새 901mm ... 부산 100년 만의 폭우

장마전선의 영향으로 16일 오전 부산에 시간당 최고 90mm, 새벽부터 오후 2시까지 266.5mm의 비가 내렸다. 이날 폭우로 연제구 연산6동 뒷산에

서 산사태가 발생해 주민 신모(54·여)씨가 흙더미에 깔려 숨지고 도심도로 곳곳이 침수돼 출근길 시민들 이 큰 불편을 겪었다. 부산에는 지난

달 20일 장마가 시작된 후 16일까지 901.7mm의 비가 내렸다. 이는 1908년 기상 관측이 시작된 이래 100년 만에 가장 많은 양이다. 기상청 서광신 통

»8면 보관은 “고온다습한 남서풍과 북쪽 찬 공기가 부딪지면서 장마전선이 발달해 16일 집중호우가 왔다”며 “장마전선이 북상해 17일 밤부터 18일까지 중부지방에 많은 비가 내리겠다”고 말했다. 강찬수 기자
envirepo@joongang.co.kr

중양보

2010년 07월 14일 수요일 023면 사회

남부지방만 오락가락 ‘이상한 장마’

서울은 평년 강수량의 42%
북쪽 상층고기압 강한 탓
17일 전국 비 - 8월에 무더위

13일 제주도에는 최고 189mm의 폭우가 쏟아지면서 일부 저지대 주택이 침수되기도 했다. 또 부산과 전남·경남 등 남해안 일대에도 시간당 20mm 안팎의 세찬 비가 내렸다. 하지만 이날 서울과 중부 지방 일부에서는 오히려 늦게 소나기가 내렸을 뿐 장맛비는 오지 않았다.

장마철에 접어들었지만 중부 지

방에는 비가 거의 내리지 않고 남부 지방에만 비를 뿌리는 ‘이상한 장마’가 계속되고 있다.

기상청에 따르면 서울은 지난 달 21일부터 이달 13일까지 87.1mm의 강수량을 기록, 평년(1971~2000년 평균) 기록인 204mm의 42.6%에 그쳤다. 특히 춘천은 같은 기간 강수량이 43.3mm에 불과해 평년의 20.8%밖에 안 됐다. 수원도 평년의 24.8%, 청주는 28.9%에 머물렀다. 반면 광주와 부산·제주 등 남부 지역은 지난달 21일부터 이날까지 300mm 안팎의 강수량을 기록했다. 평년보다 50% 정도 더 많은 양이

다. 중부에 내려야 할 비가 남부에 쏟아진 형국이다.

통상 장마는 중부지방에서 6월 23~24일에 시작돼 7월 23~24일에 끝나며 이 기간 동안 강수량은 전국 평균값으로 338.1mm 정도 된다.

기상청 신기창 통보관은 “한반도 북쪽에 상층 고기압이 강하게 버티고 있는 데다 장마전선을 북쪽으로 밀어 올려주는 역할을 하는 북태평양 고기압의 세력이 약화되면서 장마전선이 계속 제주도 남쪽에 처져 있었다”며 “이 때문에 남부지방에만 비가 많이 내렸다”고 설명했다. 신 통보관은 “15일째 장마전선이 다

시 북상하겠지만 역시 남부 지방에만 영향을 미칠 것”이라고 예상했다. 기상청은 17일께나 돼야 중부 지방을 포함한 전국에 비가 내릴 것으로 내다봤다.

기상청은 이날 장기예보를 통해 이달 하순에는 강수량이 평년보다 많을 것으로 전망했다. 또 장마가 끝나는 8월 초순에는 강수량이 평년 수준에 머물고 기온은 평년보다 높아 무더위가 본격화될 것으로 예상했다. 다음 달 중순에는 기온과 강수량이 모두 평년 수준에 머물 전망이다.

강찬수 기자

envirepo@joongang.co.kr



16일 호우특보가 내려진 경남 함안군 산인면모곡리 한 공사장에서 도로가 무너지면서 트럭이 빠지자 중장비가 동원돼 긴급 복구작업을 벌이고 있다. 함안 연합뉴스

호남·경남 호우경보... 철로 유실 등 피해

주말 수도권 '물폭탄'

서울·경기서북부 최고 150mm
임진강 수계범람 등 수해 우려

16일 북상한 장마전선의 영향으로 호우경보가 내려진 남부 지방에 200mm 이상의 폭우가 쏟아져 산사태·도로침수 등 피해가 속출했다. 기상청은 북상하는 장마전선이 16일 밤부터 17일 새벽 사이 중북부 지방에 영향을 미쳐 시간당 30~40mm의 강한 비를 뿌렸다고 밝혔다.

이날 오후 10시 현재 경남 남해 225.5mm, 하동 191mm, 사천 175.5mm, 함안 151mm, 마산 138.5mm, 의령 110mm의 강우량을 기록했다. 전남에는 오후 9시 현재 여수 288mm를 최고로 기록 93.5mm, 순천 83.5mm 등의 강우량을 기록했다.

특히 여수의 강수량은 1978년 6월18일 기록한 267.6mm 이후 최고 기록이다. 기상청 관계자는 "남풍을 타고 올라온 많은 수증기가 남해안에서 부딪쳐 강한 상승류가 생겼으며, 이로 인해 비구름대가 남해안을 따라 발달해 국지적으로 많은 비가 쏟아졌다."고 설명했다.

호우 특보가 내려진 경남지역은 16일 오전 8시 20분쯤 함안군 산인면 모곡리 경전선 철로 50m가량이 유실됐다. 복구작업으로 진주와 마산 삼랑진을 오가는 열차 운행이 중단되는 등 피해가 이어졌다. 열차를 이용하던 승객들은 경찰이 지원한 대형 버스를 이용하는 등 큰 불편을 겪었다.

또 함안군 산인면 신산리 왕복 2차로 도로 옆

절개지에서 15t의 토사가 흘러내려 한때 차량 통행이 중단되기도 했다. 마산시 진전면 여항리에서도 5t의 토사가 도로를 덮쳤다. 인근 함안군 칠원면 예곡리 마을 주민 30명은 소방대원의 도움을 받아 대피했고, 창원시 내서읍 광려천에서 하천을 건너려던 중학생 7명은 소방대원의 지도 아래 안전한 곳으로 피신했다.

국립공원 출입도 전면 통제됐다. 지리산 등 101개 구간이 통제되고 있으며 지리산 노고단엔 33명의 등산객이 대피했다.

기상청은 앞서 광명·포천·파주 등 경기도 일대와 서울·인천·경기 서해안 지방에 호우주의보를 내렸다. 이 지역에는 17일 아침까지 50~130mm, 많은 곳은 150mm 이상 비가 내릴 것으로 보인다. 육명렬 기상청 예보과장은 "중부지방까지 올라오는 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 고온다습한 공기가 유입돼 많은 양의 비를 뿌리는 집중호우 현상이 나타나는 것"이라며 "북태평양 고기압은 18일 오전까지 북상하다가 경기북부 지역 인근에서 정체할 것으로 보여 칠원·동두천·문산 등에 물폭탄이 쏟아질 수 있다."고 말했다.

17일 밤까지 국지성 호우가 예상되면서 동두천·파주·문산·연천 등 경기 북부 지역은 임진강 수계 범람에 따른 수해 등에 각별한 주의가 요구된다. 이 지역은 1998년 임진강이 범람한 홍수로 158명이 사망·실종됐고, 1만 892명의 이재민이 발생하기도 했다.

윤섭이나기자 sam@seoul.co.kr

매일경제

2010년 07월 17일 토요일 A17면 사회

여수 288mm·남해 259mm...역수처럼 쏟아부었다

끓긴 철도, 할퀴 도로, 잠긴 논...

16일 장마전선의 북상으로 전국적으로 호우특보가 내려진 가운데 전남 여수에 288mm의 돌풍탄이 쏟아지는 등 남해안 지역을 중심으로 폭우가 내리 퍼해가 잇따랐다.

서울 등 수도권 전역에 호우경보 및 주의보가 발효되고 17일 오전까지 지역에 따라 비가 150mm 이상 더 내릴 것으로 예보돼 중부지역의 비 피해도 우려된다.

기상청에 따르면 이날 오후 11시 현재 인천시(강화군 제외)와 경기도 안산시, 경남도 하동군, 산청군, 함천군 등에 호우경보가 발효 중이다. 또 서울과 경기도 전역, 강원도 6개 시·군, 경남도 3개 시·군, 경북도 고령군, 대구시 등에는

장마전선 수도권 북상 호우피해 급속 확산 고리1·2호기 발전중단

호우주의보가 내려져 있다. 집중호우가 내린 남해안 지역과 충청지역은 빗줄기가 약해지며 오후 늦게 호우특보가 해제됐다. 이날 전남 여수의 강수량 288.0mm는 1978년 6월 18일 기록한 267.6mm 이후 최고기록이다. 또 경남 남해 259.0mm, 마산 138.5mm, 충무서산 136.0mm, 인천 110.0mm, 서울 51.0mm 등 많은 비가 내렸다.

이날 오전 8시 20분께 경남 함안군 산인면 모곡리 경전선 철로 50m가량이 유실됐다가 10시간여 만인 오후 6시 30분께 복구작업을



16일 호우특보가 발령된 경남지역에 많은 비가 내리면서 함안군 산인면 모곡리 경전선 철로 50m가량이 유실된 가운데 복구작업이 진행되고 있다. [별시]

마저 열차운행이 정상화됐다. 사고는 철로 인근에서 고속도로 공사용 임시도로를 내면서 하천수로가 변경돼 폭우로 불어난 물이 철로쪽으로 유입돼 발생했다.

오전 11시 56분께는 전남 여수시 덕충동 마래터널 입구에서 50t 가량의 토사가 흘러내리면서 터널 진입로를 막아 차량통행이 5시간 동안 통제됐다.

물폭탄이 쏟아진 여수지역에서는 도로 7곳과 절개지 3곳, 축대 2곳이 유실되고 주택 14동과 농경지 221ha, 양식장 1곳이 침수됐다. 광양에서도 피해가 잇따라 육곡

면, 진상면 등 10곳에서 산사태가 발생하고 도로 16곳과 주택 8동, 농경지 35ha가 물에 잠겼다.

경남 함안군 가야읍과 청원시 북면의 농경지 10여 ha도 침수피해를 입었다. 지리산은 이날 오후 7시 20분부터 호우경보로 인산이 전면 통제됐다.

낙뢰피해도 속출해 이날 오전 5시 12분께 부산 기장군 장안읍 고리원전 1, 2호기의 발전기와 원자로의 가동이 중단되는 사고가 발생했다. 이 사고는 낙뢰에 의한 승선선로 차단이 원인인 것으로 밝혀졌다. 오전 중에는 창원시 북면과 구

산동 일대 전봇대 변압기에 바락이 떨어지면서 많은 기구가 한때 정전이 되기도 했다.

오후 4시 10분께 경기도 용인시 기흥구 고매동 G골프장에서 골프를 치던 이 모씨(51) 등 3명이 바락에 맞아 옮겨졌지만 경상이н 것으로 알려졌다.

침수된 함안군 칠원면 예곡리 곡촌마을 주민 30명이 소방대원에 의해 대피했고, 창원시 내서읍 팔리천에서 하천을 건너려던 중학생 7명이 소방대원의 유도에 따라 안전한 곳으로 피난했다.

함편 현지 비 피해 우려가 커지

면서 소방방재청 지역대책본부에서 모두 1440명의 인력이 비상근무에 들어가는 한편 중앙재난안전대책본부는 16일 오후 2시부터 비상근무를 2단계 강화했다.

기상청은 이번 장마가 17일 중부지방 곳곳에 150mm 이상의 비를 뿌릴 것으로 예상했으며 18일 오전까지 이어질 것으로 내다봤다. 기상청 관계자는 "17일 오전까지는 남부지방에 여전히 돌풍이 불고 천둥, 번개를 동반한 비가 내릴 것으로 보이며, 중부지방엔 17일 오후부터 호우가 예상된다"며 각별한 주의할 당부했다. 이재화 기자

소양댐 저수량 ‘가득’ .. “보기만해도 배 부르네”

예년보다 3억3천㎥ 추가 확보..경제효과 최대 6천43억원
 홍수기 끝자락에 비 자주 내려..보조여수로 완공도 일조

제한수위 넘어선 소양강댐/자료사진장마 전선이 소강상태를 보인 17일 한강 홍수조절의 최후 보루인 소양강댐의 수위가 제한수위(185.5m)를 1.9m가량 넘어선 187.4m를 기록하고 있다. 그러나 계획 홍수위(198m)에는 크게 못미쳐 아직까지는 상당한 여유가 있는 상태다

겨울철 갈수기를 앞두고 다목적댐인 소양강댐의 저수량이 평년보다 크게 웃돌아 댐 유역 시민들을 안심시키는 것은 물론, 용수 확보와 수질 개선 등에 따른 경제효과가 최대 6천43억원에 이르는 것으로 나타났다. 2일 한국수자원공사 등에 따르면 올해 들어 현재까지 소양강댐 유역에 내린 비의 양은 1천281mm로, 현재까지 22억2천㎥의 물을 담수하고 있다.

이에 따라 소양강댐의 수위는 현재 185.63m로, 최근 10년간 1월말 기준 평균 수위인 170m보다 15m가량 상승한 상태다. 이는 홍수기인 6월21일~9월20일 사이 댐 유역에 841mm의 많은 비가 내려 15억7천㎥의 물을 담수한 반면, 홍수 조절을 위한 방류량은 유입량의 24%인 3억8천㎥에 그쳤기 때문. 겨울부터 내년 봄까지 갈수기에 대비해 댐에 물을 가두기 시작하는 홍수기 끝자락인 지난 9월에 비가 자주 내렸기 때문에 방류를 최소화할 수 있었다는 게 댐측의 설명이다. 실제 지난 9월 춘천 등 영서 지역에 비 온 일수는 15일로, 강수량은 448.5mm를 기록했다. 이로 인해 소



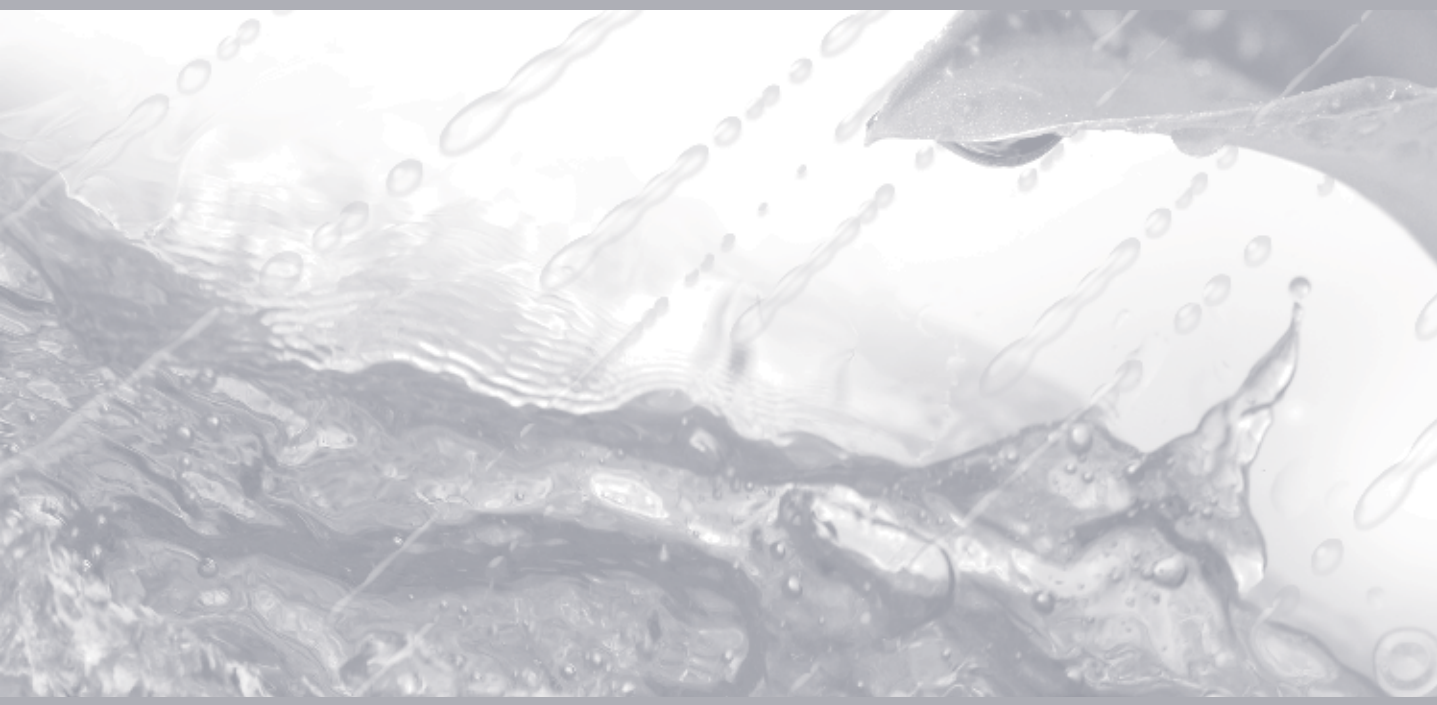
제한수위 넘어선 소양강댐/자료사진장마 전선이 소강상태를 보인 17일 한강 홍수조절의 최후 보루인 소양강댐의 수위가 제한수위(185.5m)를 1.9m가량 넘어선 187.4m를 기록하고 있다. 그러나 계획 홍수위(198m)에는 크게 못미쳐 아직까지는 상당한 여유가 있는 상태다

양강댐은 예년 평균 18억9천㎥보다 3억3천㎥의 물을 추가로 확보한 셈이다. 이를 경제적 가치로 환산하면 ▲댐 방류량 증가로 인한 하천수질개선 효과 134억원 ▲원수 판매 160억원(㎥당 47.93원) ▲동일 용량의 신규 댐 건설비용 6천43억원 등 최소 134억원에서 최대 6천43억원에 이른다. 게다가 소양강댐 보조여수로가 지난 6월 완공됨에 따라 내년부터는 홍수기 제한수위도 190.3m로 기존(185.5m)보다 4.8m 가량 상향돼 앞으로는 더 많은 수량을 담수할 수 있게 됐다. 한국수자원공사 관계자는 “홍수기 말기인 지난 9월부터 10월까지 많은 비가 내린데다 이 중 상당량을 그

대로 담수해 수량이 풍부하다”며 “이에 따라 가뭄 등 내년 홍수기 전까지 안정적인 용수 공급이 가능할 것으로 기대된다”고 말했다. 이 관계자는 그러나 “저수량 증가에 따른 경제효과는 말 그대로 가상의 수치에 불과할 뿐 실제 수익으로 이어지는 것은 아니다”고 덧붙였다. 한편 북한강 수계 최상류 댐인 화천댐 수위도 지난해보다 4m 가량 높은 176m를 기록하면서 4만9천248MWh의 저장 전력이 확보됨으로써 49억원의 경제 효과가 예상된다. 이재현기자 jlee@yna.co.kr

제2절 미디어 속의 장마

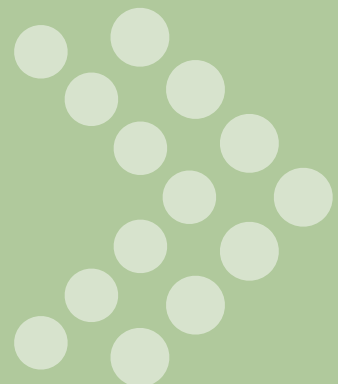
Changma 2011





부 록

- I 사용한 기상·기후 자료 및 분석 기간
- II 기후변화 시나리오로 본 장마의 미래 변화
- III 연도별 장마
 - 1. 연도별 장마 시종과 기간
 - 2. 지역별 장마 기간 중 강수
 - 3. 연도별 장마 개요
 - 1979 ~ 2010년의 장마 개요



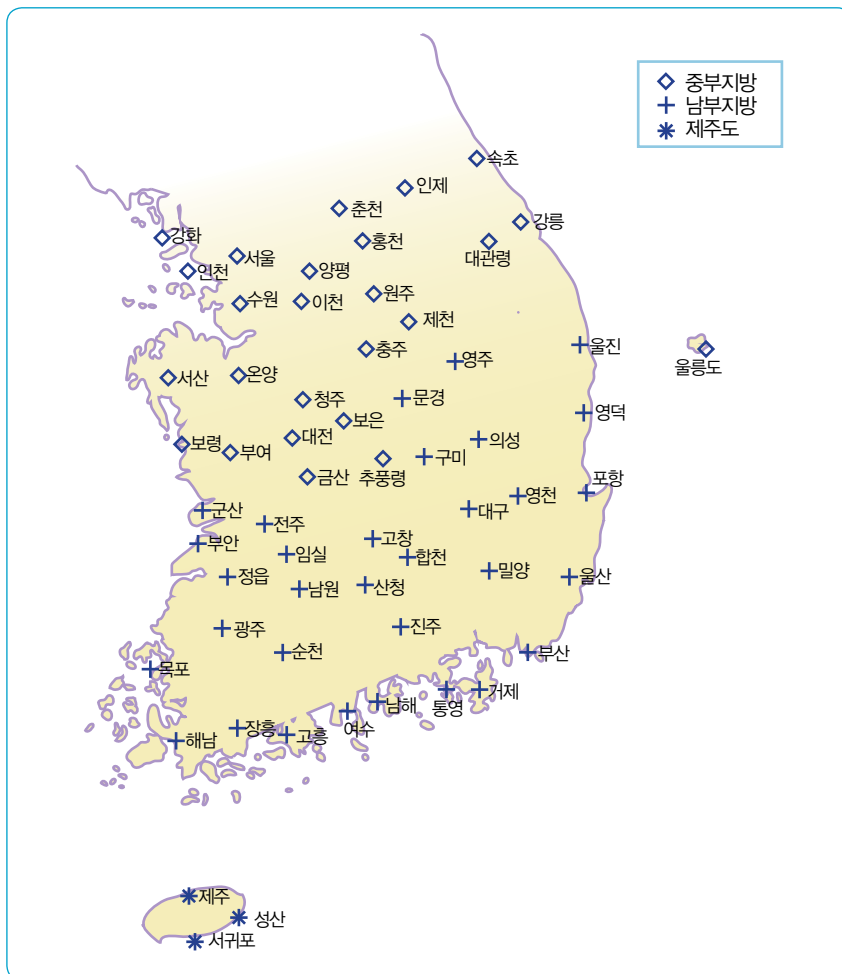
부록 I

사용한 기상·기후 자료 및 분석 기간

- 본 백서는 1979 ~ 2010 년 (32년) 동안 발생한 우리나라 장마의 특성을 시작, 종료, 기간, 그리고 강도의 측면에서 분석하였다. 기후 평균 (Climatology)은 1981년부터 2010년 까지 30년 동안 구하였다 (분석 시 다른 기후 평균 기간을 사용한 경우도 있음).
- 기후 평균한 장마의 시작일과 종료일을 바탕으로 6월 말에서 7월 중순까지 발생하는 우기를 장마 (혹은 1차 우기)로 정의하였으며, 장마기간 이후에 8월 중순부터 9월 중순까지 다시 강수가 지속 되는 기간을 2차 우기로 정의하였다. 따라서 매해의 실제적인 장마 또는 2차 우기의 시작일과 종료 일은 차이가 있을 수 있다. 본 백서의 대부분의 분석은 1차 우기인 장마를 대상으로 이루어 졌다.
- 다음은 전국 기상관서 분류이며, 우리나라 평균은 전체 60개 관측소 관측 값의 산술 평균으로 구하였다.
 1. 중부 지방 (25 개소)
 2. 남부 지방 (32 개소)
 3. 제주도 지방 (3 개소)
- 우리나라 관측소 관측자료를 포함하여 다음과 같은 자료들이 1979 ~ 2010년 동안 이용되었다.
 1. 한반도 60개 관측소 관측 자료
 2. 전지구 강수량 자료: Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP) data (Xie and Arkin 1997)
 3. 지표 기온, 표준 기압고도의 온도, 수평 및 수직 바람, 지위 고도, 상당 온위, 비습: NCEP/ Department of Energy (DOE) Reanalysis II (NCEP R2) data (Kanamitsu et al. 2002) 과 ERA-40 (ECMWF Newsletter 101), ERA-Interim data (ECMWF Newsletter 110)

4. 해수면 온도: Improved Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (SST) Version 2 (ERSST V2) data (Smith and Reynolds 2004)
5. 1778년부터 2004년 사이에 관측된 서울 강수 자료 (1778년부터 1907년 까지는 측우기 측정 기록으로부터 강수량 자료를 복원)

한반도 지상관측 지점 정보



부록 Ⅱ

기후변화 시나리오로 본 장마의 미래변화

1 기후 모델의 미래 장마 모사

최근 수십년 동안 지표와 해양의 표층 온도가 꾸준히 상승하는 지구 온난화가 진행되고 있다. 온실 가스를 계속적으로 배출하는 인류 활동에 의해 지구 온난화는 앞으로도 계속적으로 진행될 것으로 전망된다. 지표와 해양 표층 온도의 상승은 대기 순환을 활발하게 하고 대기 내 수분을 증가시키며, 장마를 포함하는 전지구 몬순의 패턴과 강수량을 변화시킬 수 있다.

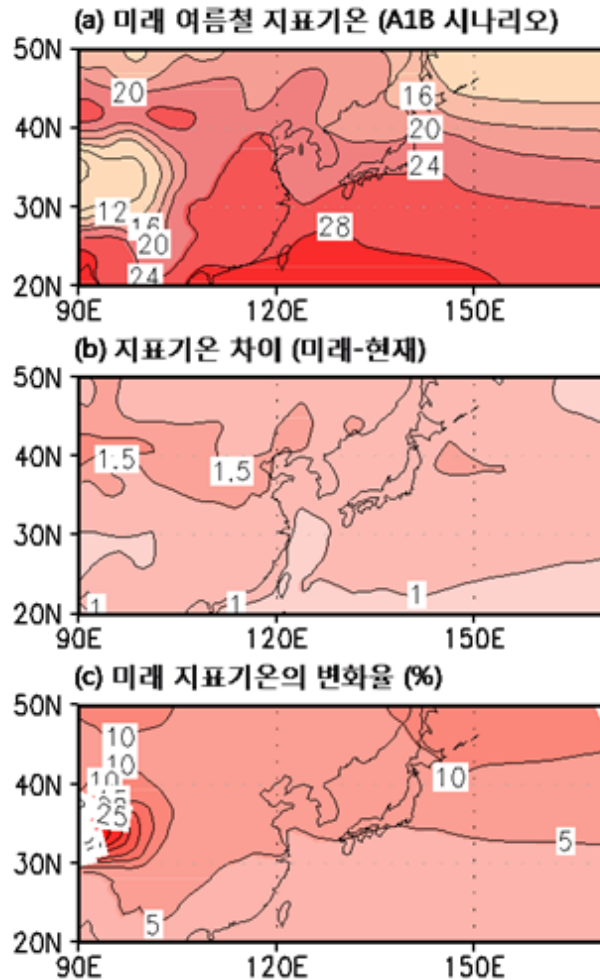
이 장에서는 기후 변화에 관한 정부간 패널 (IPCC) 4차 보고서에 참여한 22개 대기해양결합 대순환 모델들의 고성장 사회 균형 (A1B) 시나리오를 분석하여 장마의 미래 변화를 전망한다. 고성장 사회 균형 시나리오는 대기 중 이산화탄소 농도가 현재에 비해 (368 ppm 수준) 2100년에 두 배로 증가 (720 ppm) 한다는 가정을 하며, 경제 성장과 함께 온실가스 배출량이 정점에 도달한 후 감소하는 시나리오로 각 에너지 섹터에서의 발전의 균형을 중시한다.

모델들이 모의한 시나리오의 불확실성을 줄이기 위해 22개 모델 중 현재 기후 (1979~1999)의 메이유-장마-바이우 전선을 잘 모의하고 있는 6개의 모델을 통계적 기법을 이용해 선정하였다. 선정된 모델은 GFDL-CM2.0, GFDL-CM2.1, CNRM-CM3, ECHAM5, MIROC3.2_hires, UKMO-HADCM3 이며, 모델들의 평균값을 취해 미래 예측값을 구한다. 다음 두 절은 2020~2040년과 2079~2099년 기간 동안 강수량 변화에 영향을 주는 지표 기온과 대기 순환의 변화 및 강수량 변화를 전망한다 (Seo and Ok 2011). 하지만 현재의 기후 모델링 기술이 한계가 있으므로 장마의 미래 변화에 대한 예측은 여전히 불확실성이 존재한다는 사실에 유의해야 한다.

2 2020~2040년 기간 여름철 전망

1) 지표 기온

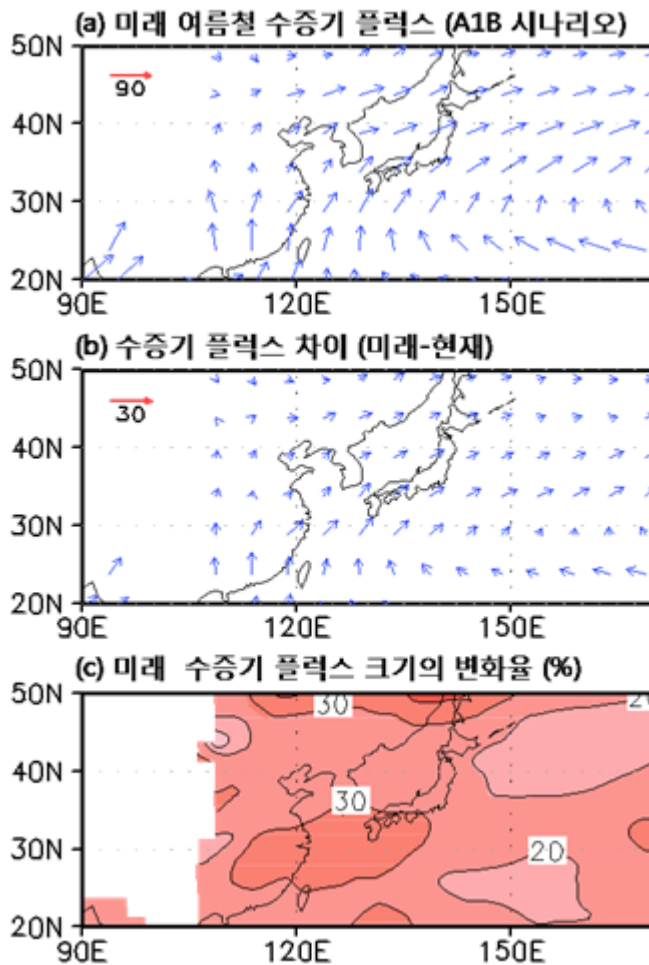
2020~2040년 기간에는 동아시아 지역 평균적으로 지표 기온이 1 ~ 1.5℃ 상승될 것으로 전망된다 [그림 A-1]. 이는 현재 지표 기온에 비해 5~10% 증가하는 것이다. 한반도의 지표 기온도 5 ~ 10% 증가할 것으로 예측된다. 티베트 고원은 최대 30%까지 상승할 것으로 전망되며, 오호츠크해 지역은 10% 이상 상승할 것으로 보인다. 즉, 동서 방향의 대륙과 해양 온도차는 현재에 비해 다소 증가할 것으로 예상되나, 한반도 남쪽과 북쪽의 온도 차이는 미약하게 감소할 것으로 예상된다.



[그림 A-1] 2020~2040년 여름철 동아시아 지표 기온 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)

2) 하층 수증기 플럭스

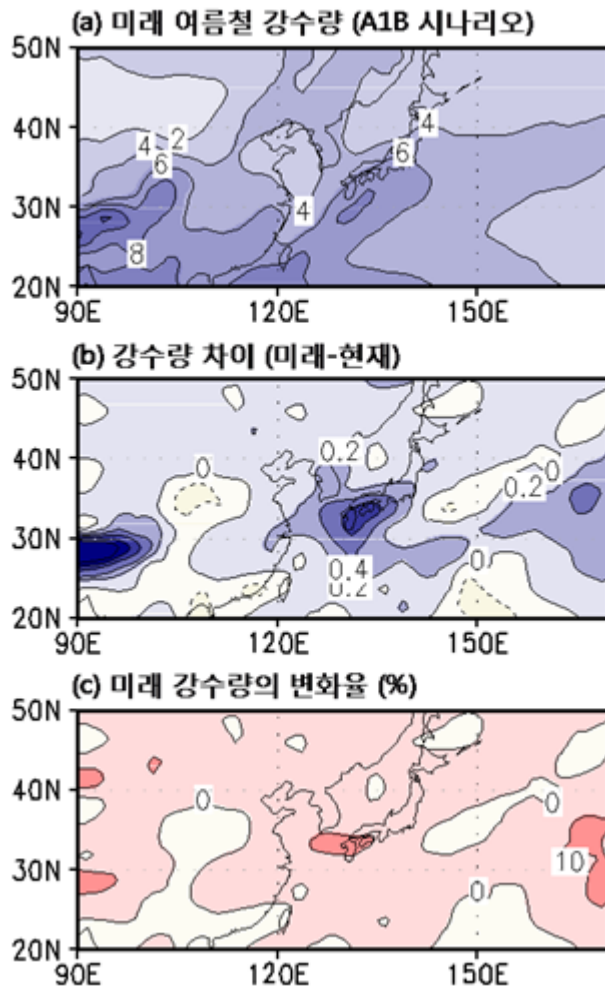
우리나라 남쪽으로 수렴되는 하층 수증기 플럭스는 현재에 비해 30% 이상 증가할 것으로 예측 된다 [그림 A-2]. 이는 동서방향의 대륙과 해양 온도차가 증가해 하층 제트가 강화되고, 해수면 온도의 증가로 대기 속 수분이 증가하기 때문으로 보인다. 장마뿐만 아니라 메이유와 바이우 지역으로 수렴되는 하층 수증기 플럭스는 30% 이상 증가되는 것으로 전망된다.



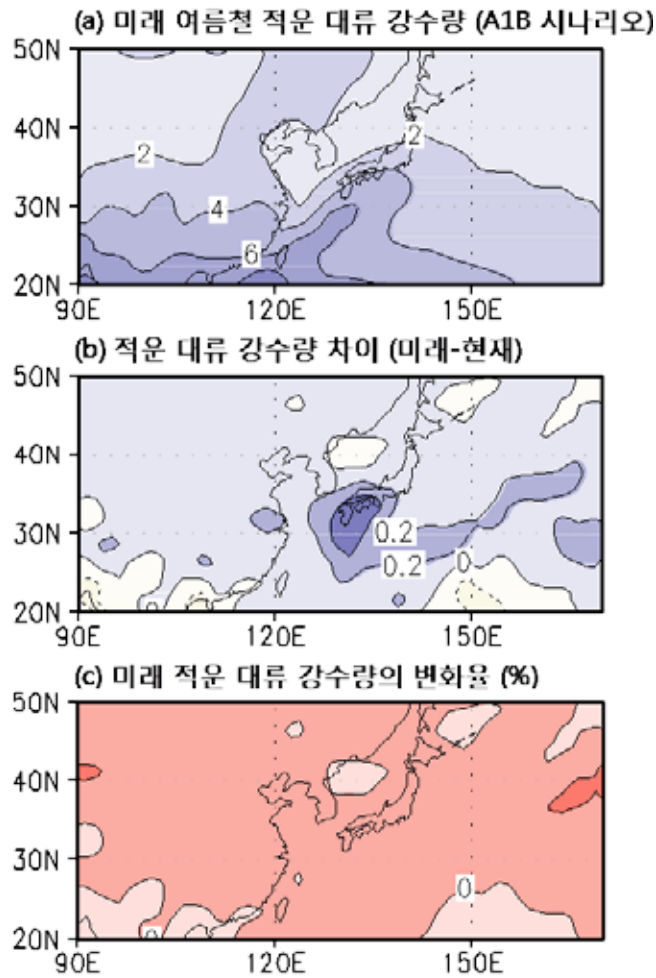
[그림 A-2] 2020~2040년 여름철 동아시아 하층 수증기 플럭스 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)

3) 강수량

대륙과 해양 온도차의 증가와 하층 수증기 플럭스의 증가에 따라 장마 강수량은 현재에 비해 5 ~ 10% 정도 증가할 것으로 전망된다 [그림 A-3]. 전체 강수량의 경우 제주도과 일본 남부에서 다소 큰 증가율을 보인다. 하지만 하층 수증기 플럭스 증가율에 비해서는 다소 낮은 증가율을 보이는 것이다. 적운대류강수량도 전체 강수량 증가량과 비슷하게 5 ~ 10% 정도 증가될 전망이다.



[그림 A-3] 2020~2040년 여름철 동아시아 강수량 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)



[그림 A-4] 2020~2040년 여름철 동아시아 적운 대류 강수량 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)

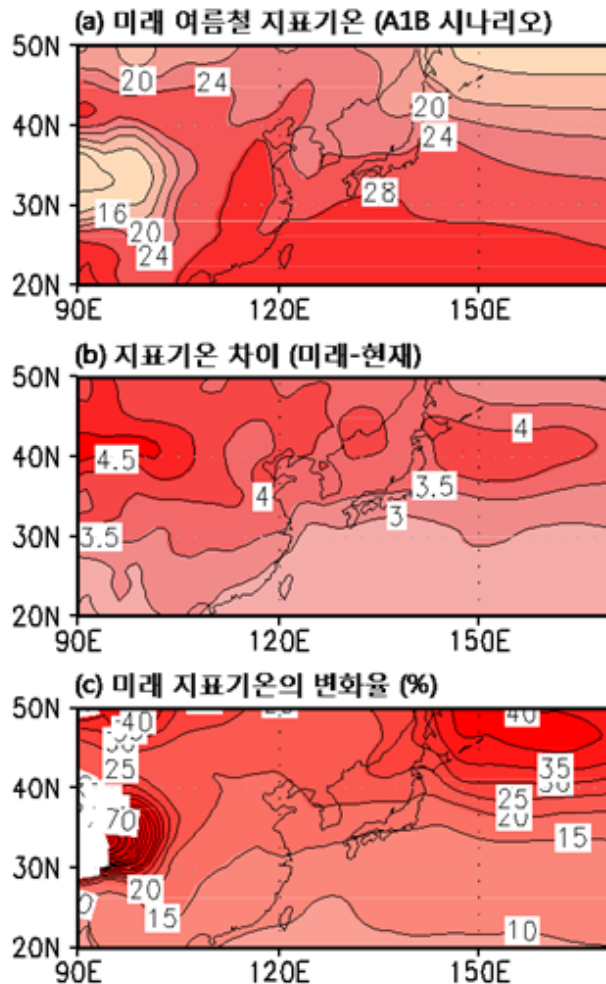
2020~2040년 기간 동안

동서방향 대륙-해양 지표 기온 차이와 하층 수증기 플럭스의 증가로 한반도 여름철 전체 강수량과 적운 대류 강수량은 5~10% 증가할 것으로 전망된다.

3 2079~2099년 기간 여름철 전망

1) 지표 기온

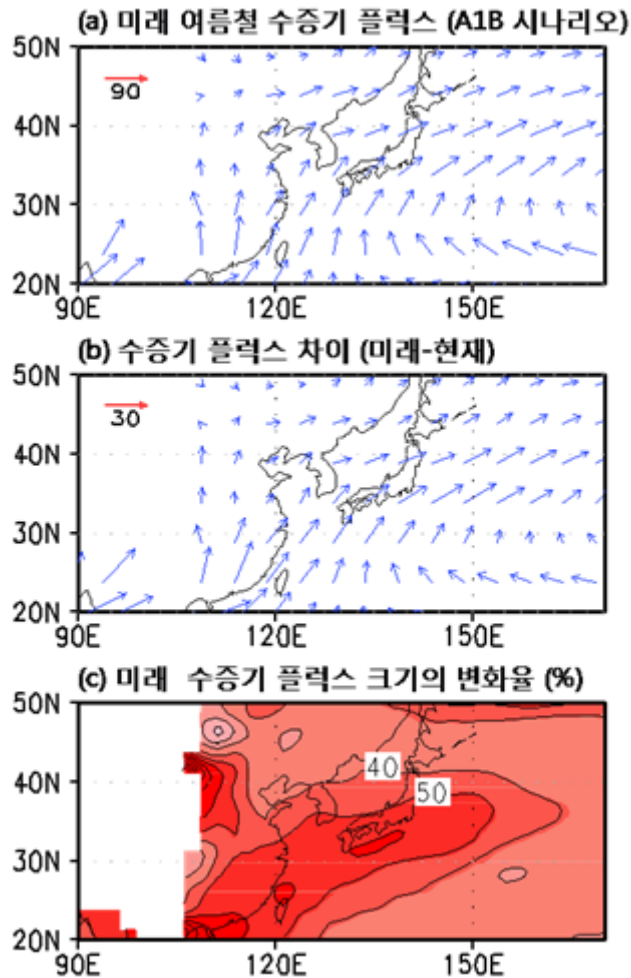
2079~2099년 기간에는 우리나라 지표 기온이 3.5 ~ 4℃ 상승될 것으로 전망된다 [그림 A-5]. 이는 현재에 비해 20~25% 증가하는 것이다. 동아시아의 모든 지역이 2020~2040년 기간에 비해 세배 이상 지표 기온이 증가한다. 특히 티베트 고원 지역은 최대 80%까지 지표 기온이 상승되는 것으로 예측된다. 동서 방향의 대륙과 해양 온도 차이는 크게 증가하고, 해양에서 남북 간의 온도차이가 크게 감소할 것으로 보인다.



[그림 A-5] 2079~2099년 여름철 동아시아 지표 기온 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)

2) 하층 수증기 플럭스

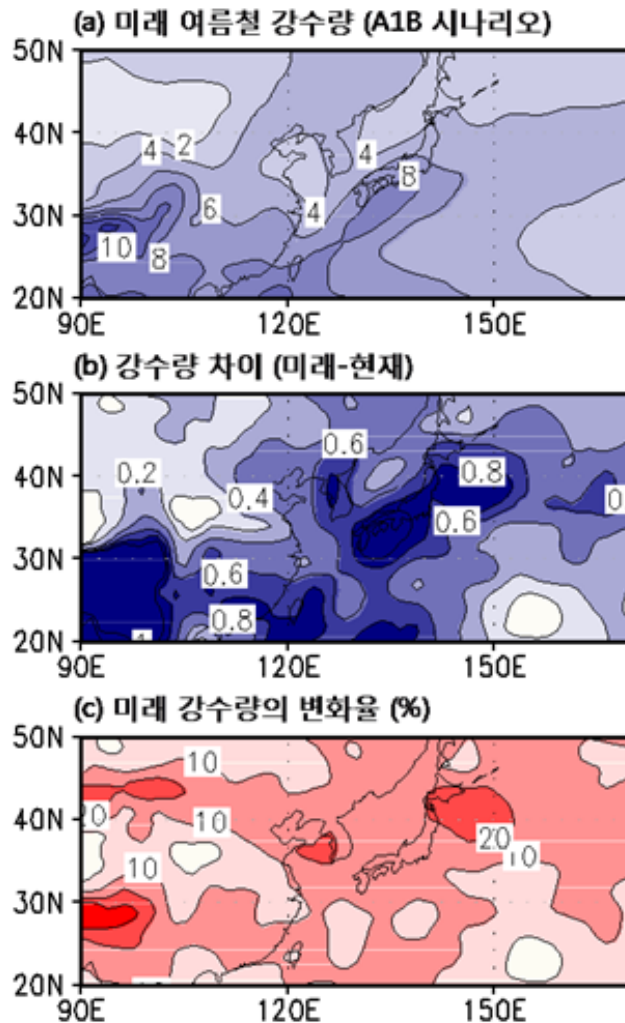
동서방향 대류과 해양의 온도차가 현저하게 증가하고, 해양 온도의 증가에 의한 대기 수증기량이 증가하면서, 우리나라 남쪽으로 수렴되는 하층 수증기 플럭스는 현재에 비해 40 ~ 50% 증가하는 것으로 전망된다 [그림 A-6]. 특히 메이유와 바이우 지역은 50% 이상 증가된다.



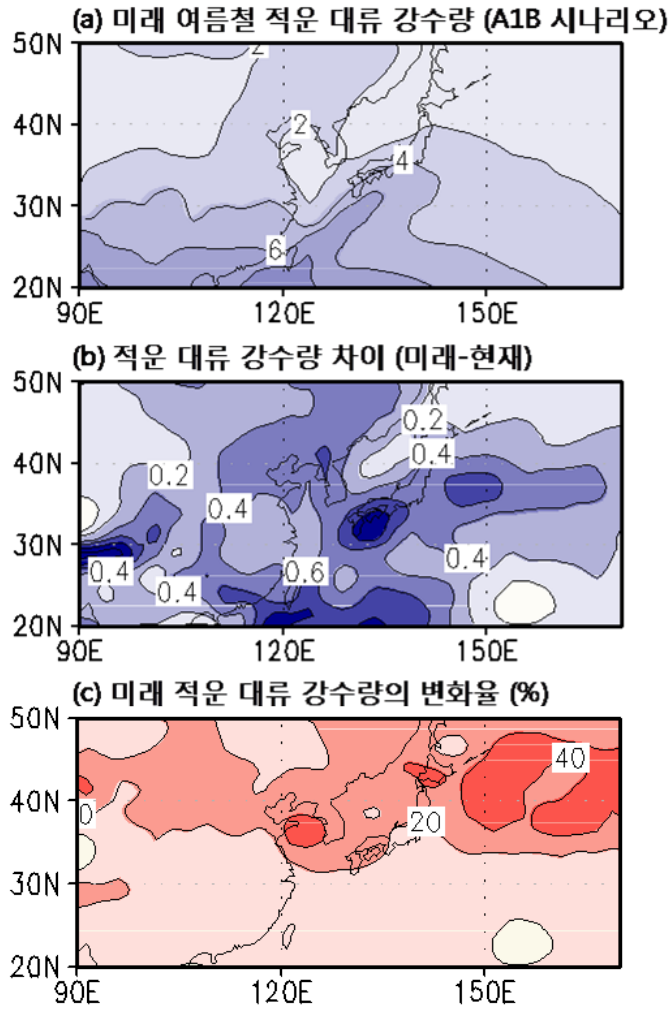
[그림 A-6] 2079~2099년 여름철 동아시아 하층 수증기 플럭스 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)

3) 강수량

2079~2099년 기간 동안 현저하게 강화되는 몬순 순환에 의해 한반도 여름철 강수량은 10 ~ 20% [그림 A-7], 적운 대류 강수량은 30% 이상 [그림 A-8] 증가할 것으로 예상된다. 특히 30°N 이북지역에서는 적운대류 강수량이 한반도의 서쪽지역과 북태평양 지역에서 40% 이상의 높은 증가율을 보일 것으로 전망된다.



[그림 A-7] 2079~2099년 여름철 동아시아 강수량 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래 변화율 (Seo and Ok 2011)



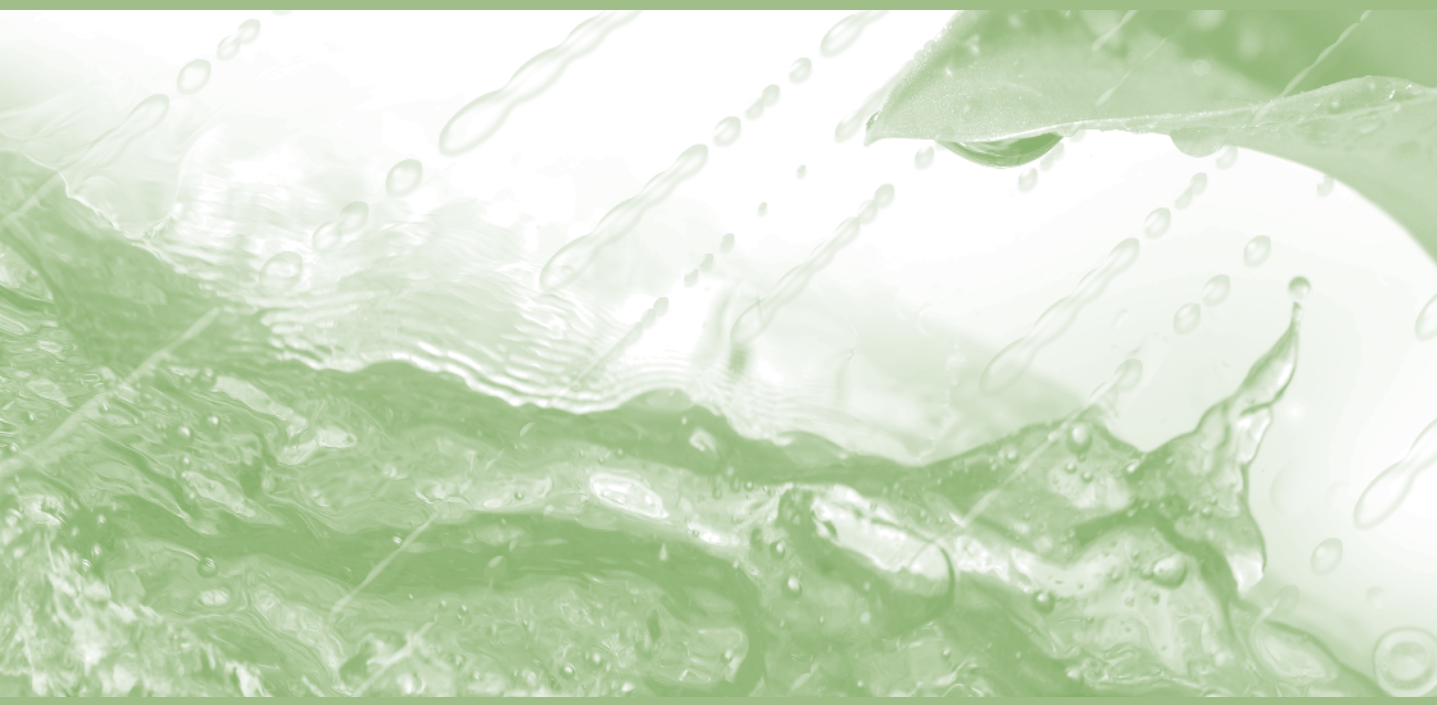
[그림 A-8] 2079~2099년 여름철 동아시아 적운 대류 강수량
 (a) 미래 예측, (b) 미래와 현재 차이, (c) 미래
 변화율 (Seo and Ok 2011)

2079~2099년 기간 동안

동서방향 대륙-해양 지표 기온 차이와 하층 수증기 플럭스의 증가로 한반도 여름철 강수량은 10~20%, 적운 대류 강수량은 최대 40% 이상 증가할 것으로 전망된다.

부록 II 기후변화 시나리오로 본 장마의 미래변화

Changma 2011



부록 Ⅲ 연도별 장마

1 연도별 장마 시종과 기간

구분	제주도			남부			중부		
	시작	종료	기간	시작	종료	기간	시작	종료	기간
1973	6.25	7.1	7	6.25	6.30	6	6.25	6.30	6
1974	6.16	7.31	46	6.16	7.31	46	6.17	7.31	45
1975	6.17	7.28	42	6.21	7.28	38	6.23	7.29	37
1976	6.17	7.17	31	6.17	7.16	30	6.21	7.17	27
1977	6.15	7.19	35	6.22	7.19	28	6.23	7.19	27
1978	6.15	7.20	36	6.15	7.21	37	6.17	7.20	34
1979	6.15	7.23	39	6.19	7.23	35	6.19	7.23	35
1980	6.16	7.31	46	6.16	7.30	45	6.16	7.30	45
1981	6.19	7.14	29	6.19	7.14	26	6.17	7.14	28
1982	7.5	7.29	25	7.7	7.29	23	7.10	7.29	20
1983	6.19	7.23	35	6.19	7.24	36	6.19	7.25	37
1984	6.14	7.13	30	6.15	7.13	29	6.15	7.13	29
1985	6.21	7.18	28	6.21	7.18	28	6.23	7.17	25
1986	6.20	7.24	35	6.22	7.25	34	6.23	7.26	34
1987	6.23	7.25	33	7.1	8.8	39	7.5	8.10	37
1988	6.22	7.28	37	6.23	7.27	35	6.23	7.28	36

구분	제주도			남부			중부		
	시작	종료	기간	시작	종료	기간	시작	종료	기간
1989	6.23	7.29	37	6.23	7.29	37	6.24	7.30	37
1990	6.18	7.17	30	6.19	7.19	31	6.19	7.27	39
1991	6.15	7.17	33	6.26	8.2	38	6.29	8.2	35
1992	6.22	7.20	29	7.9	7.23	15	7.2	7.31	30
1993	6.18	7.30	43	6.22	7.30	39	6.22	7.30	39
1994	6.17	7.1	15	6.22	7.6	15	6.25	7.16	22
1995	6.21	7.25	35	6.30	7.27	28	6.30	7.27	28
1996	6.19	7.16	28	6.24	7.22	29	6.24	7.22	29
1997	6.20	7.18	29	6.20	7.18	29	6.25	7.22	28
1998	6.12	7.28	47	6.24	7.28	35	6.25	7.28	34
1999	6.17	7.20	34	6.17	7.20	34	6.23	7.10	18
2000	6.16	7.16	31	6.21	7.16	26	6.22	7.19	28
2001	6.21	7.20	30	6.22	7.21	30	6.24	8.1	39
2002	6.19	7.22	34	6.23	7.23	31	6.23	7.24	32
2003	6.22	7.23	32	6.23	7.25	33	6.23	7.25	33
2004	6.24	7.11	18	6.24	7.17	24	6.25	7.18	24
2005	6.25	7.15	21	6.26	7.18	23	6.26	7.18	23
2006	6.14	7.26	43	6.21	7.29	39	6.21	7.29	39
2007	6.21	7.24	34	6.21	7.24	34	6.21	7.29	39
2008	6.14	7.4	21	6.17	7.26	40	6.17	7.26	40
2009	6.21	8.3	44	6.21	8.3	44	6.28	7.21	24
2010	6.17	7.28	42	6.18	7.28	41	6.26	7.28	33

2 지역별 장마기간 중 강수 (1973년 ~ 2010년)

연도	중부지방	남부지방	제주지방	총강수량
1973	93.6	63.1	28.4	73.6
1974	323.5	578.2	604	477.6
1975	405.9	362.6	290.9	376.3
1976	132.1	88.6	260.9	114.6
1977	248.4	120.4	223.3	176.8
1978	491.7	474	331.3	473.9
1979	406.9	314.8	616.7	366.7
1980	493.2	448.8	398.4	464
1981	453.7	346.8	342.6	389.4
1982	160.3	212	358.5	198.7
1983	340.8	339.1	255.5	335.6
1984	319.4	358.8	256	337.9
1985	230.5	511.2	1167.4	431.7
1986	362	363.7	633.5	376.5
1987	693.5	512.1	688.5	593.5
1988	465.4	312.5	301	373.1
1989	356.2	441.1	244.3	397.3
1990	643.9	420.8	453.5	511.7
1991	475.6	447.6	401	456.5
1992	178.8	162.7	275	174.7
1993	414.9	361.7	323.6	381.1
1994	210.1	73.2	195.5	134.1
1995	261.2	176.6	718.5	237.5
1996	278.2	334.1	325.5	311.3
1997	404.8	470.9	265.2	434.2
1998	455.7	415.4	490.7	435.3
1999	103.9	270.4	556.8	218.1
2000	177.3	288.5	205.7	239.9

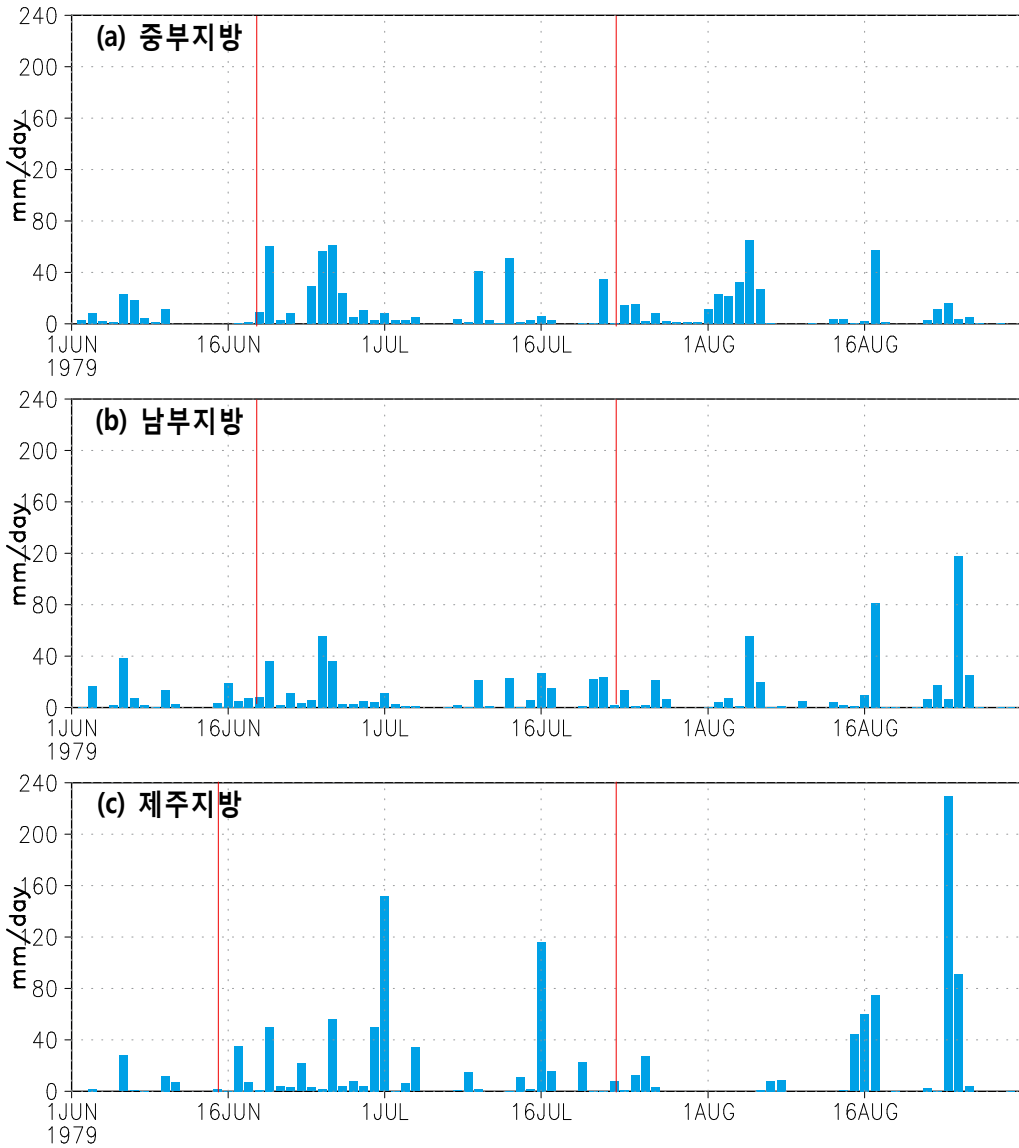
연도	중부지방	남부지방	제주지방	총강수량
2001	454.6	336	409.7	387.1
2002	234.3	281.5	320.2	264.5
2003	491.8	585.4	389	538.2
2004	406.9	258.9	101.8	310.2
2005	350.5	284.3	137	303.4
2006	785.4	653.2	596.8	703.3
2007	341.4	300.5	416.7	322.7
2008	449.7	324.5	357.2	376.2
2009	494.7	614.7	469.2	559.4
2010	229.2	340.5	504.2	304.2

※ 중부 24지점, 남부 33지점, 제주 3지점, 전국 60지점

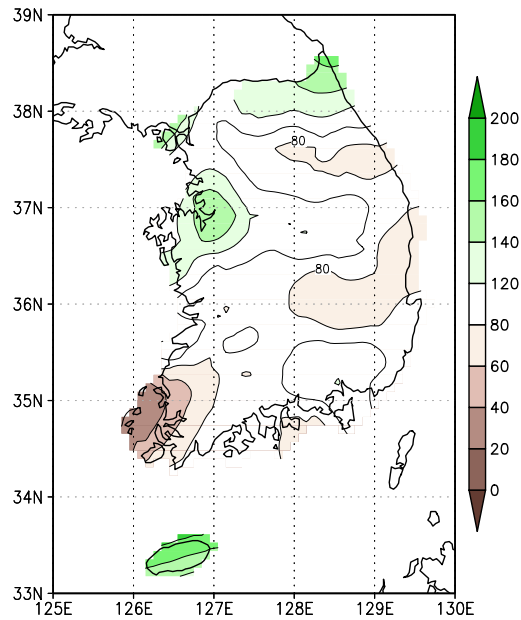
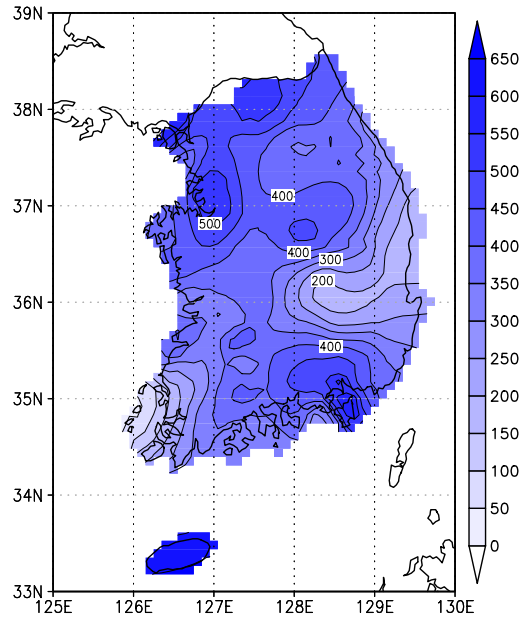
3 연도별 장마 개요

■ 1979년의 장마

(1) 강수량 시계열 (적색선은 기상청에서 사후분석한 장마의 시작일과 종결일)

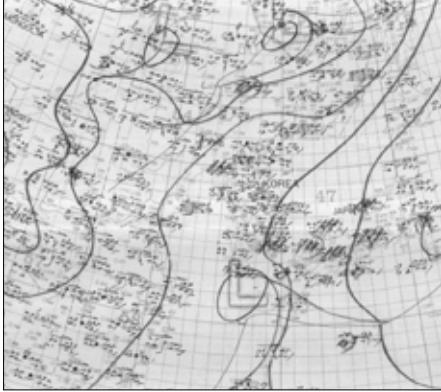


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1979년 6월 15일 ~ 7월 23일) (평년비는 %로 표현)



(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'79. 6. 15. 21시



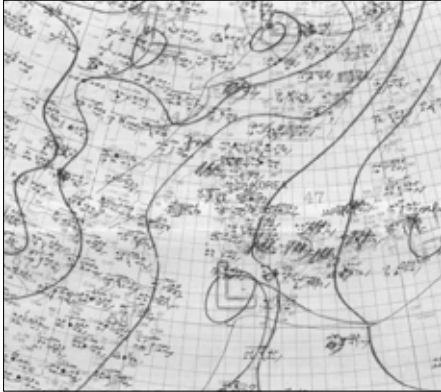
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'79. 7. 1. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

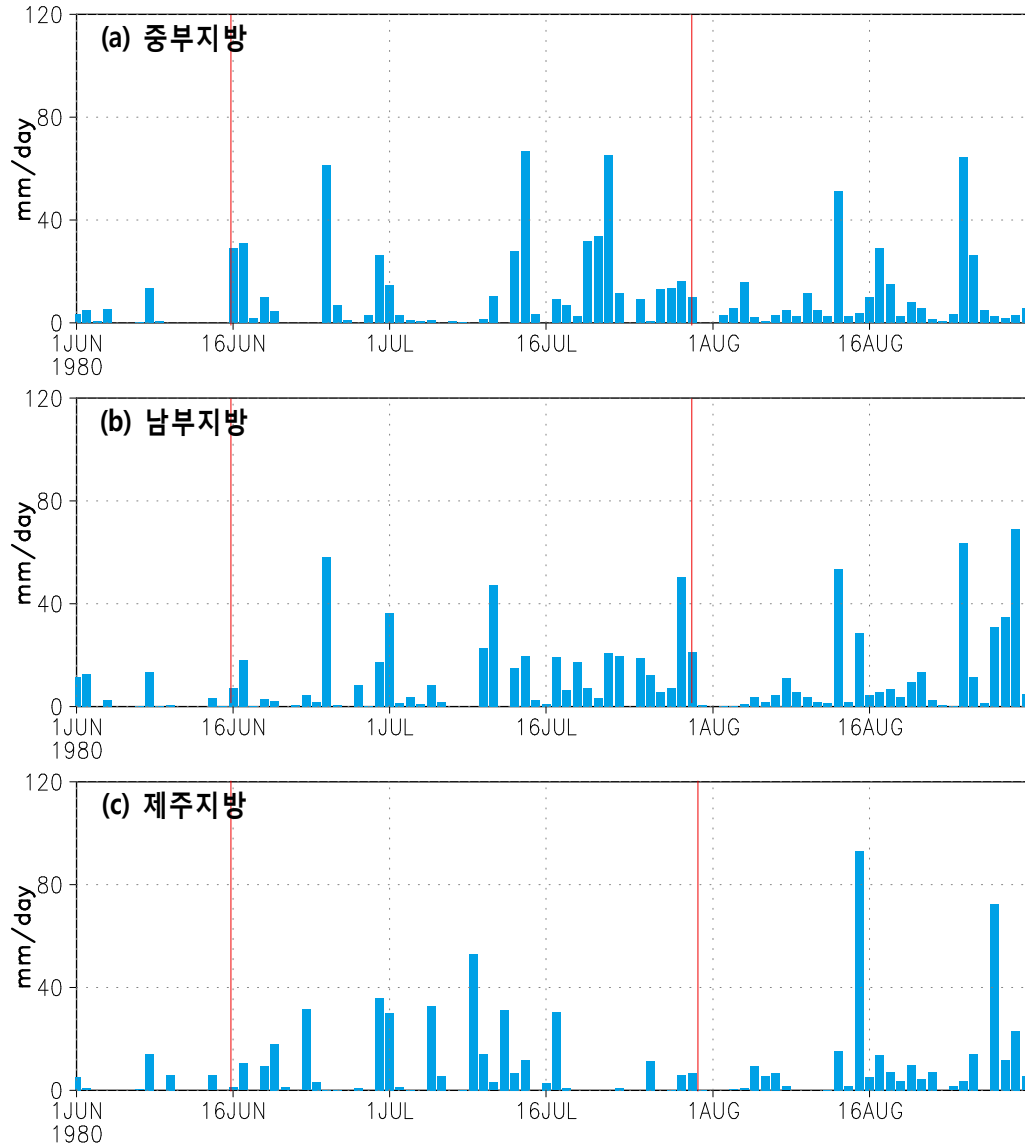


'79. 7. 23. 21시

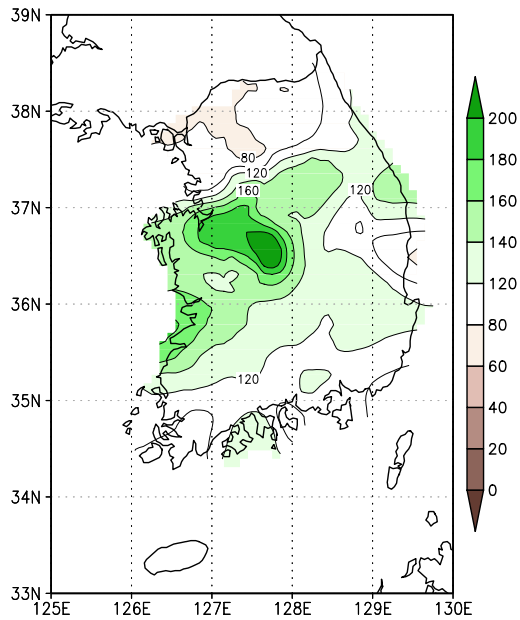
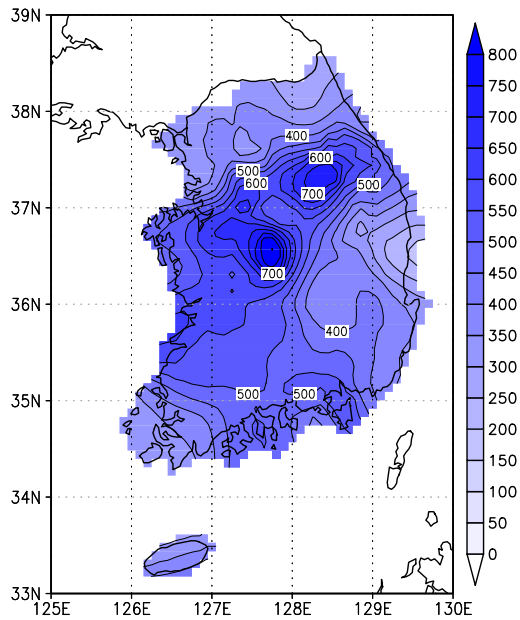


■ 1980년의 장마

(1) 강수량 시계열

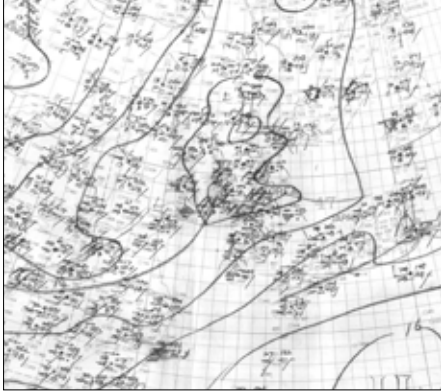


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1980년 6월 16일 ~ 7월 31일)

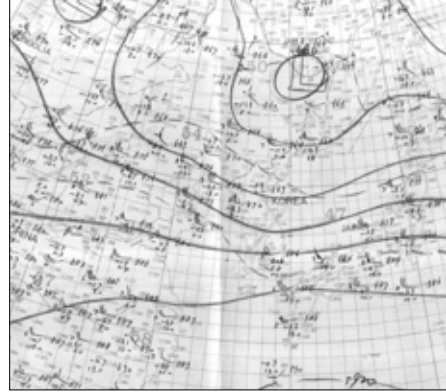


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

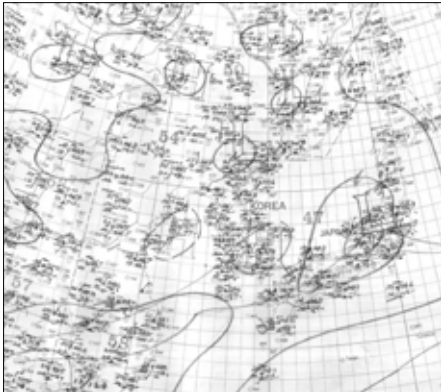
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



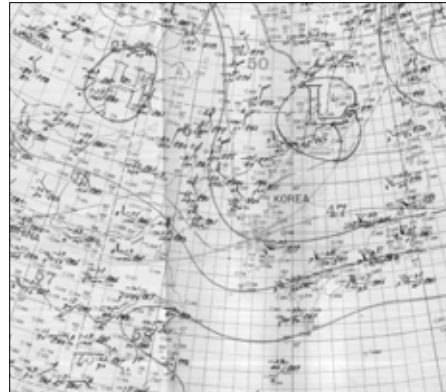
'80. 6. 16. 21시



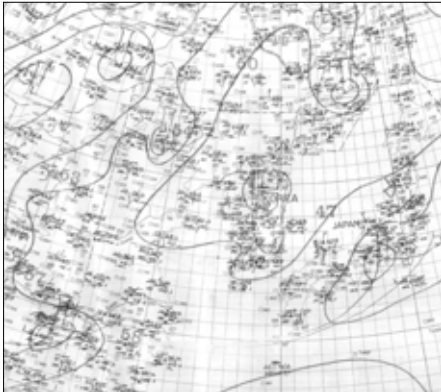
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'80. 7. 11. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

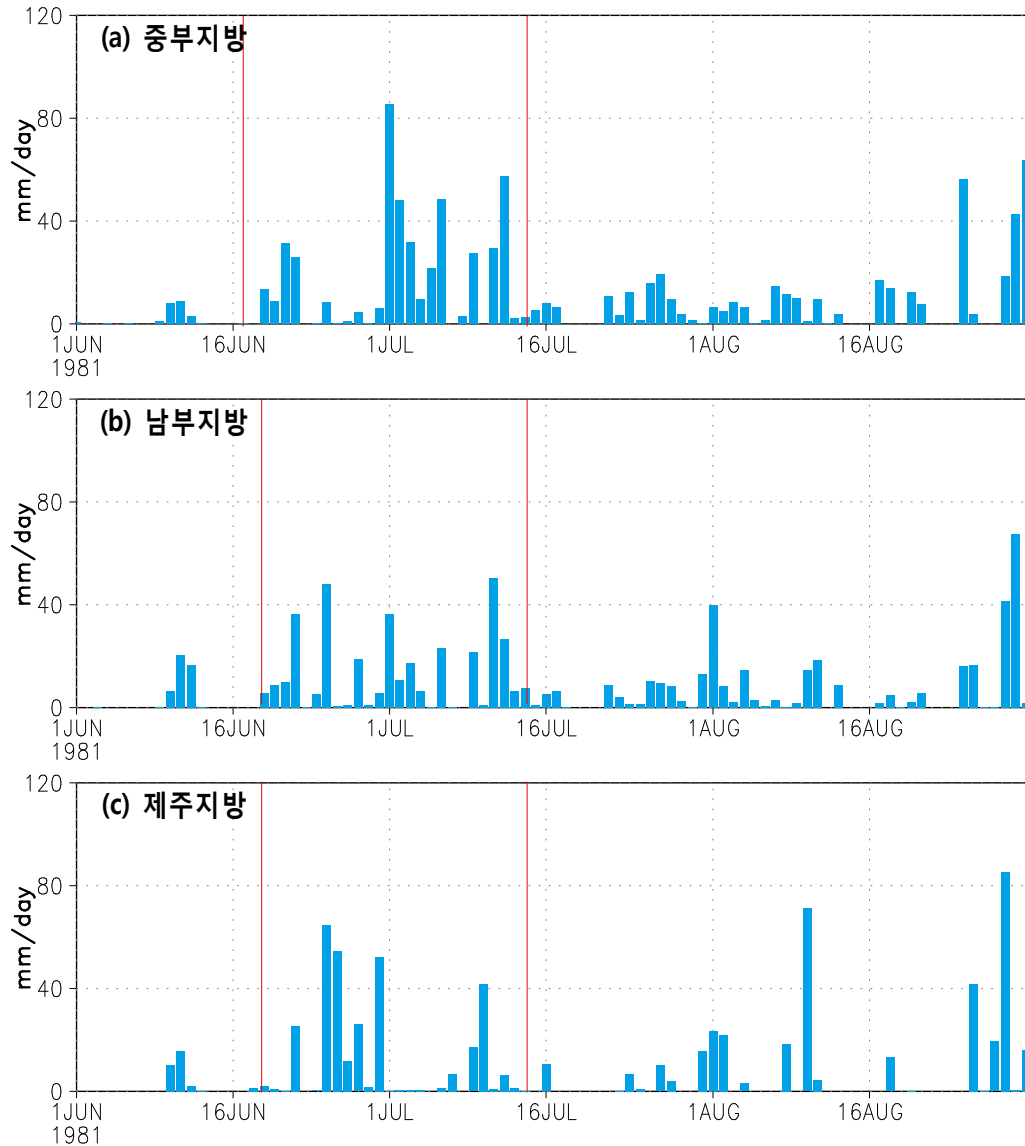


'80. 7. 31. 21시

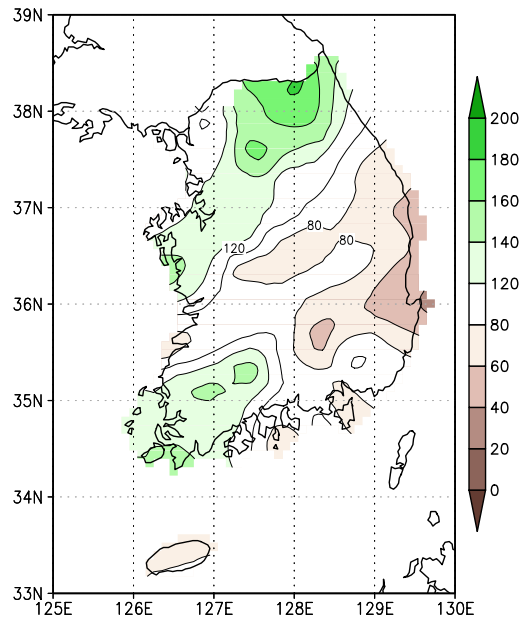
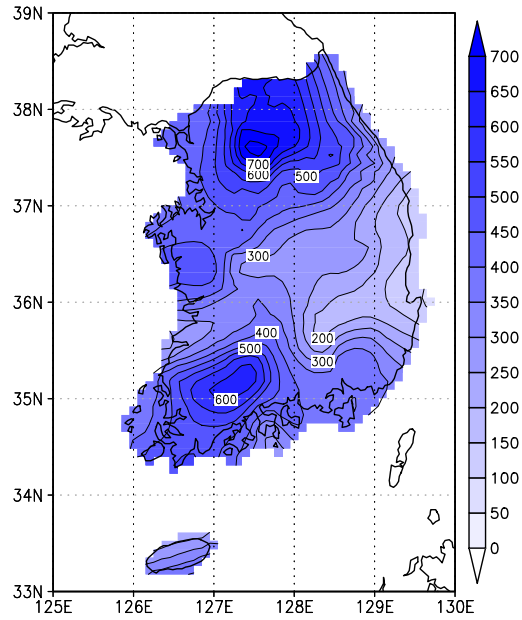


■ 1981년의 장마

(1) 강수량 시계열

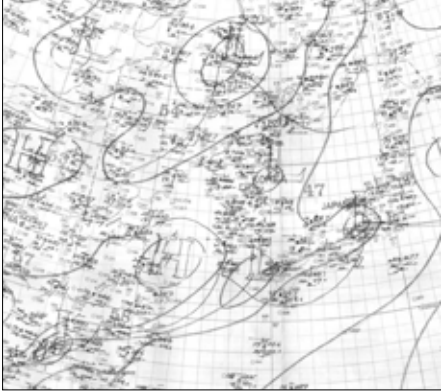


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1981년 6월 19일 ~ 7월 14일)



(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

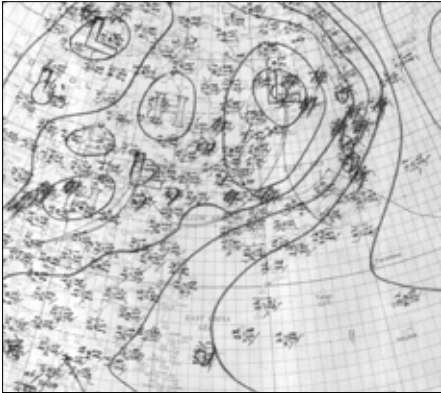
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'81. 6. 19. 21시



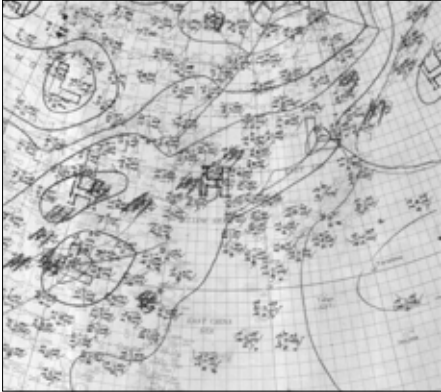
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



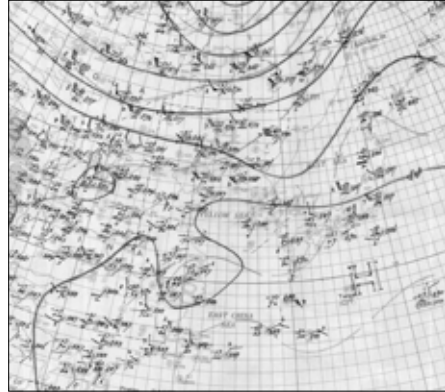
'81. 7. 5. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

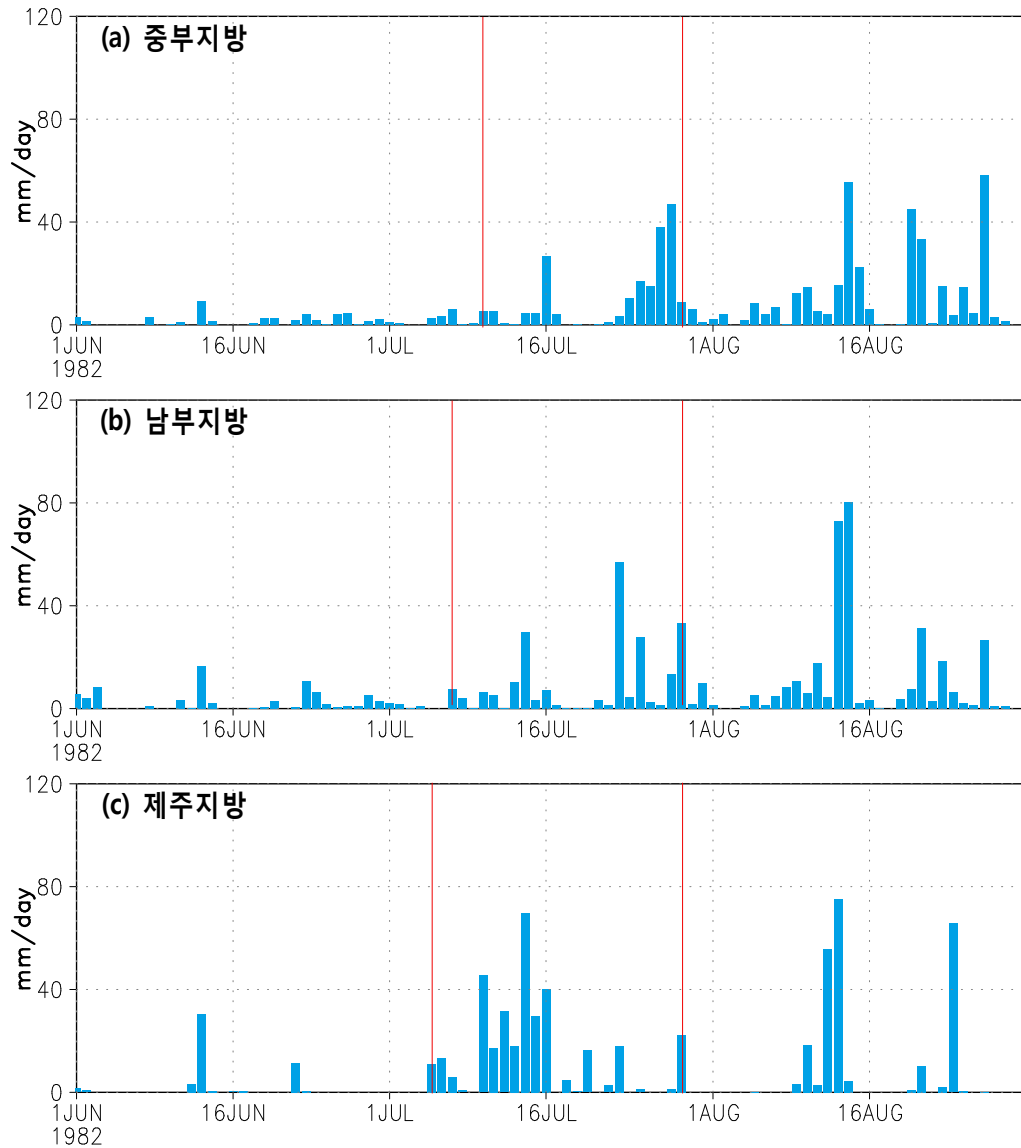


'81. 7. 14. 21시

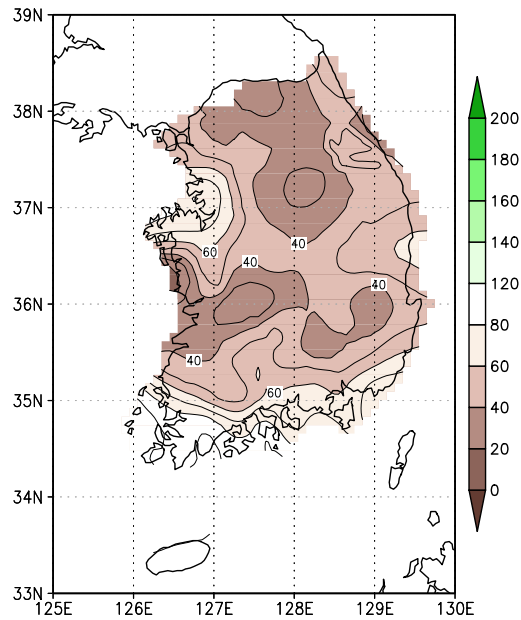
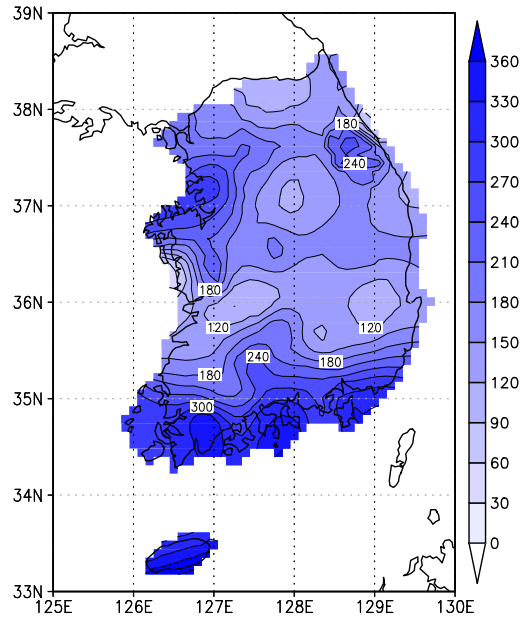


■ 1982년의 장마

(1) 강수량 시계열

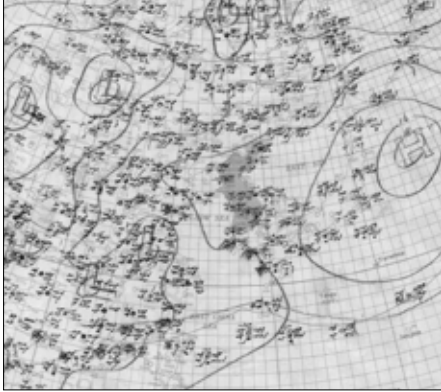


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1982년 7월 5일 ~ 7월 29일)

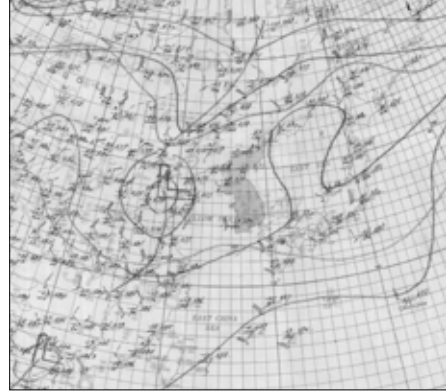


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

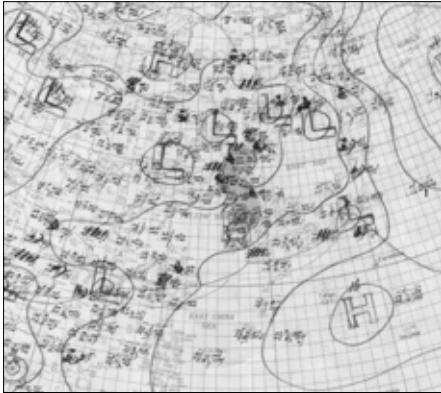
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



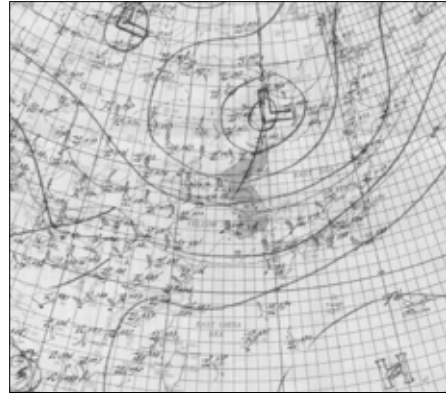
'82. 7. 5. 21시



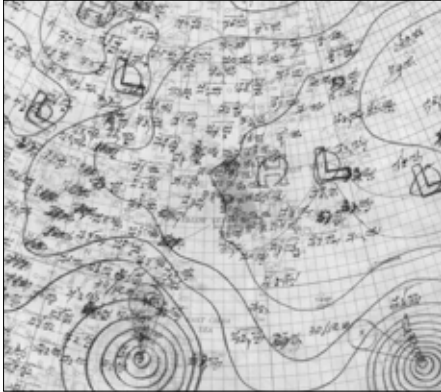
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



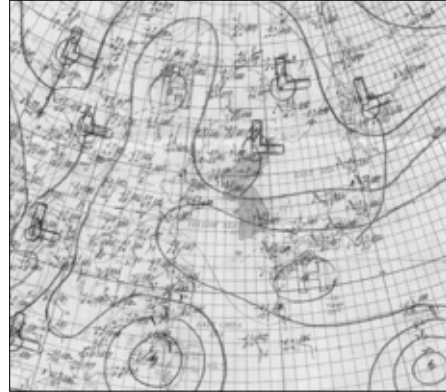
'82. 7. 17. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

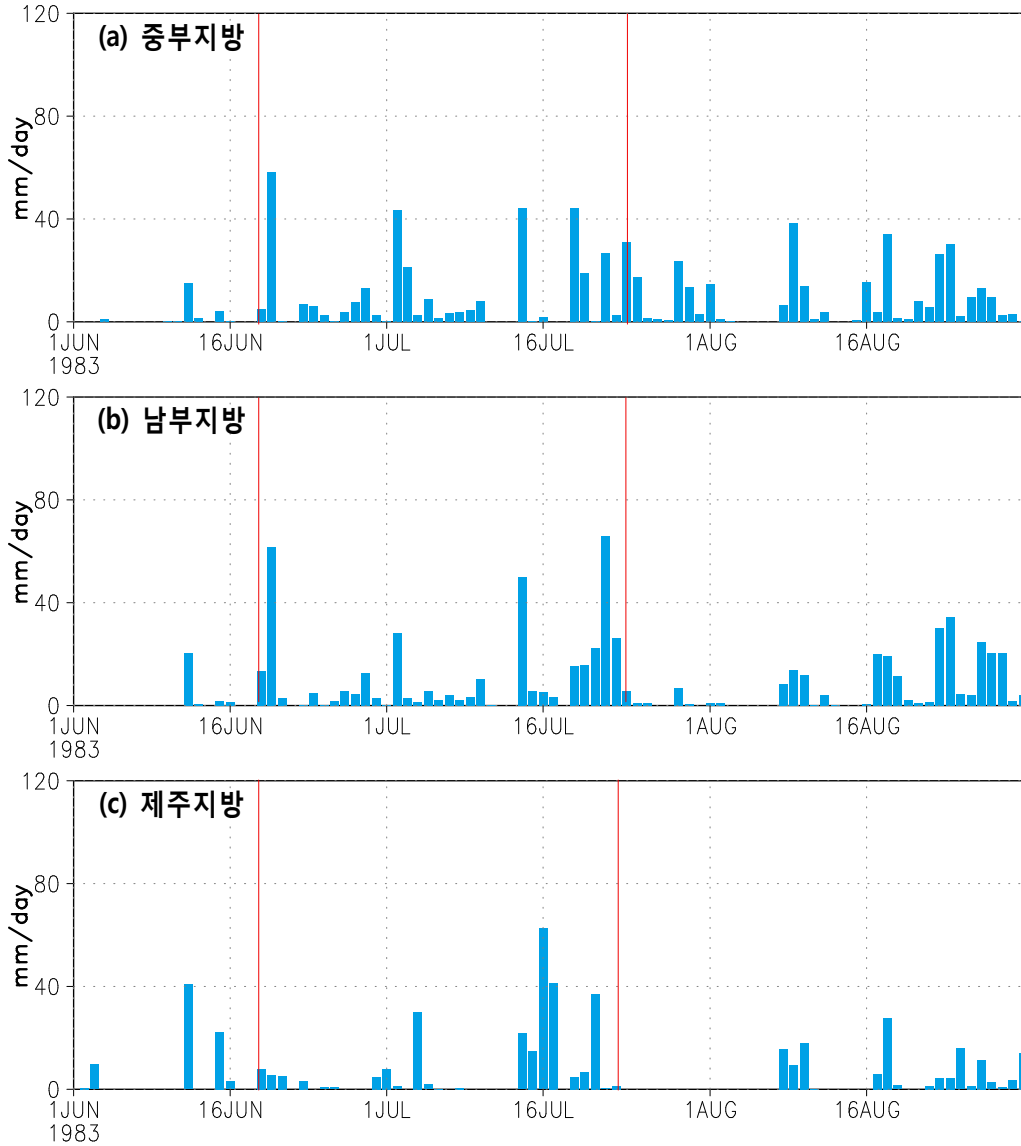


'82. 7. 29. 21시

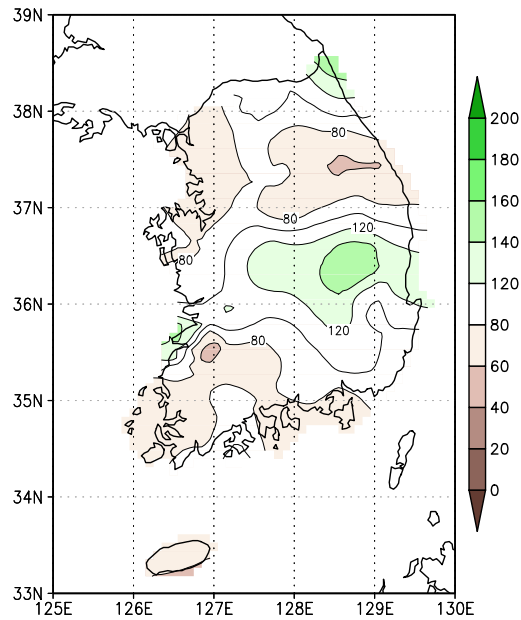
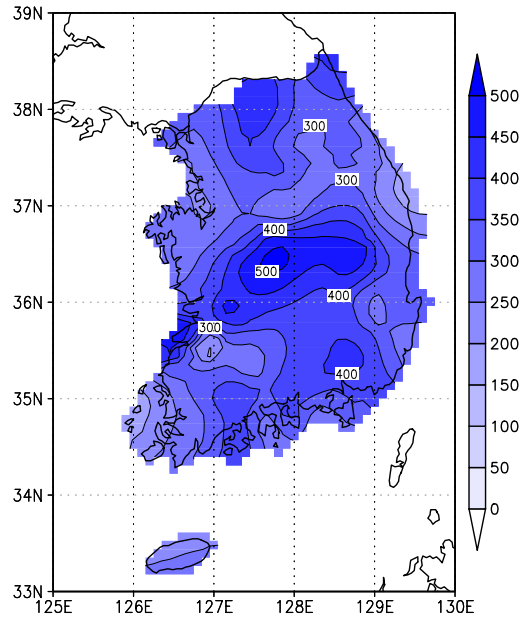


■ 1983년의 장마

(1) 강수량 시계열

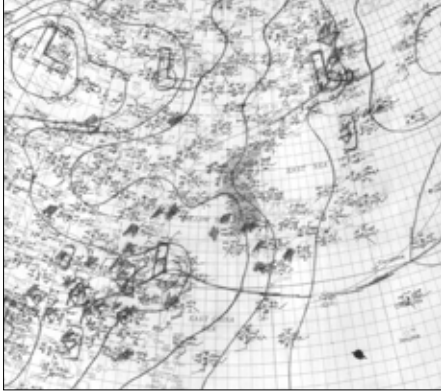


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1983년 6월 19일 ~ 7월 25일)

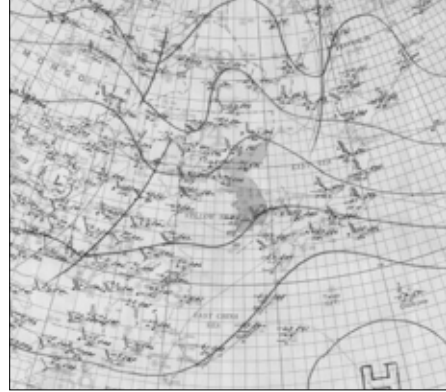


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

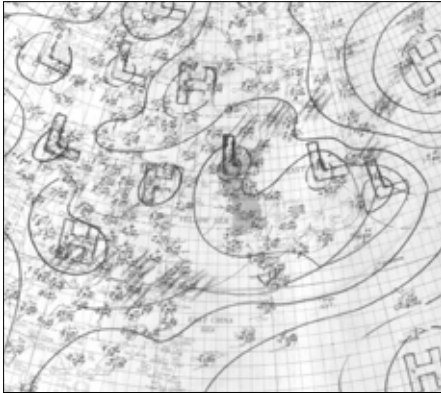
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



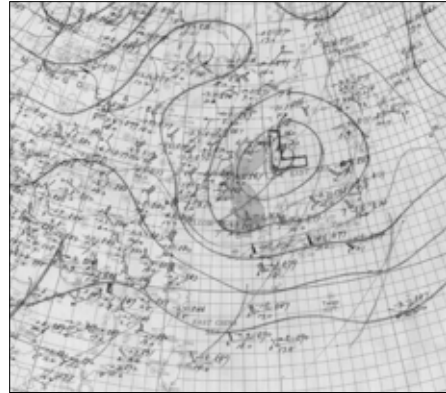
'83. 6. 19. 21시



● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'83. 7. 5. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

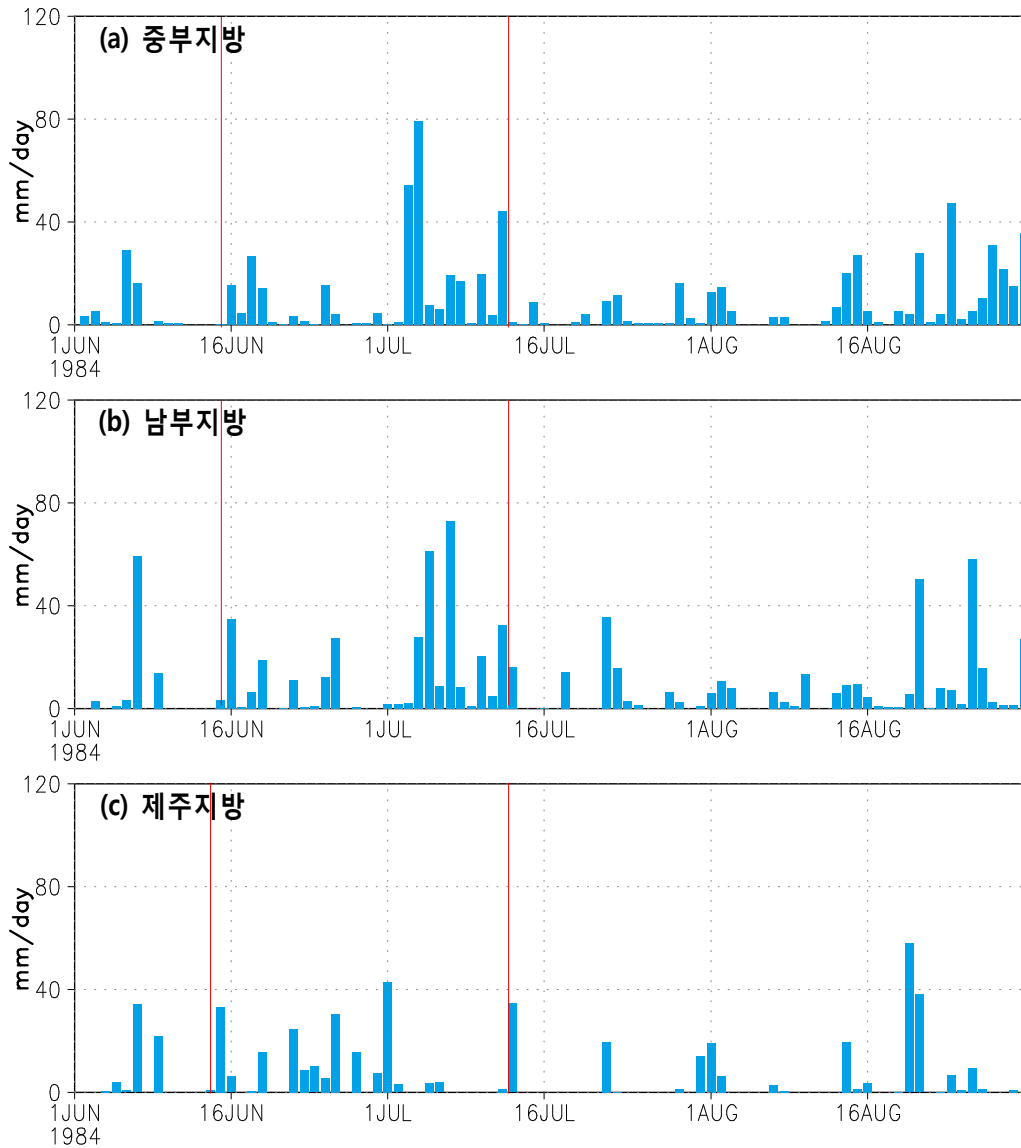


'83. 7. 25. 21시

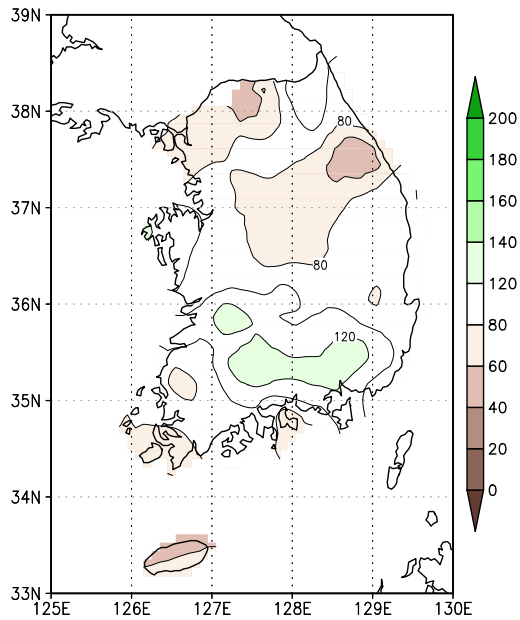
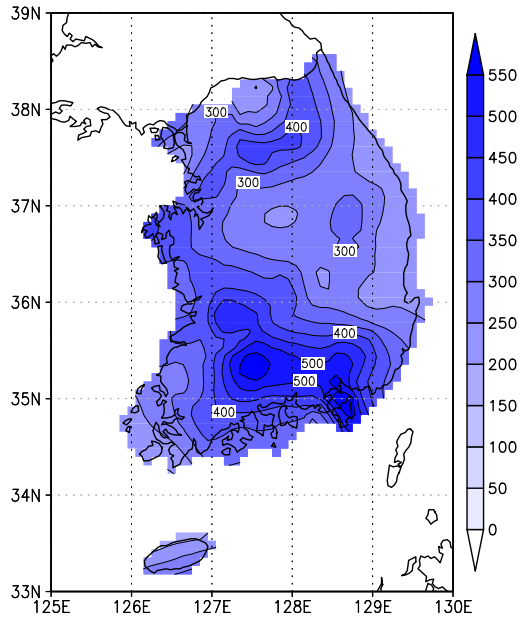


■ 1984년의 장마

(1) 강수량 시계열

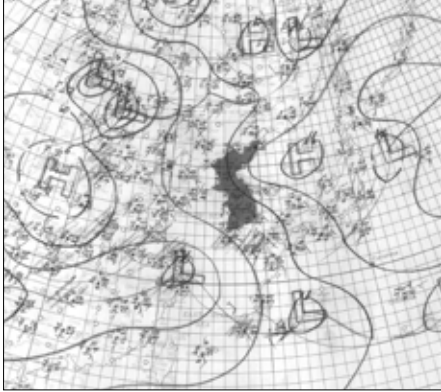


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1984년 6월 14일 ~ 7월 13일)

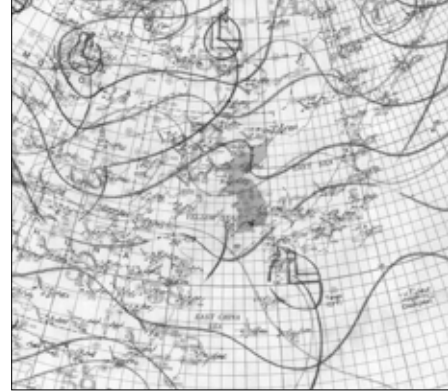


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

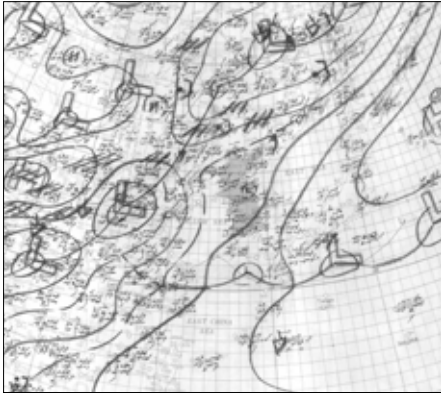
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



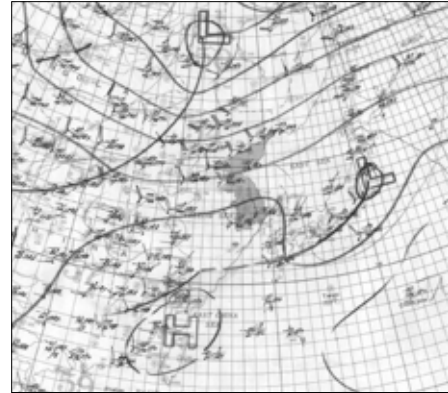
'84. 6. 14. 21시



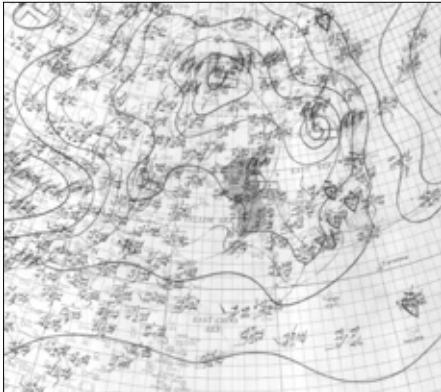
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



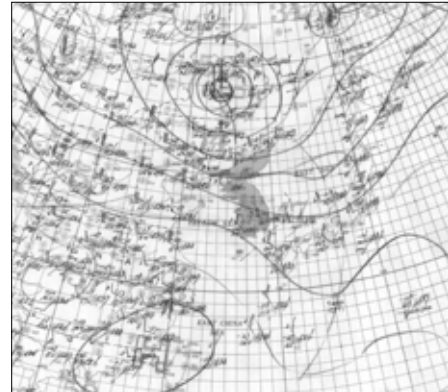
'84. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

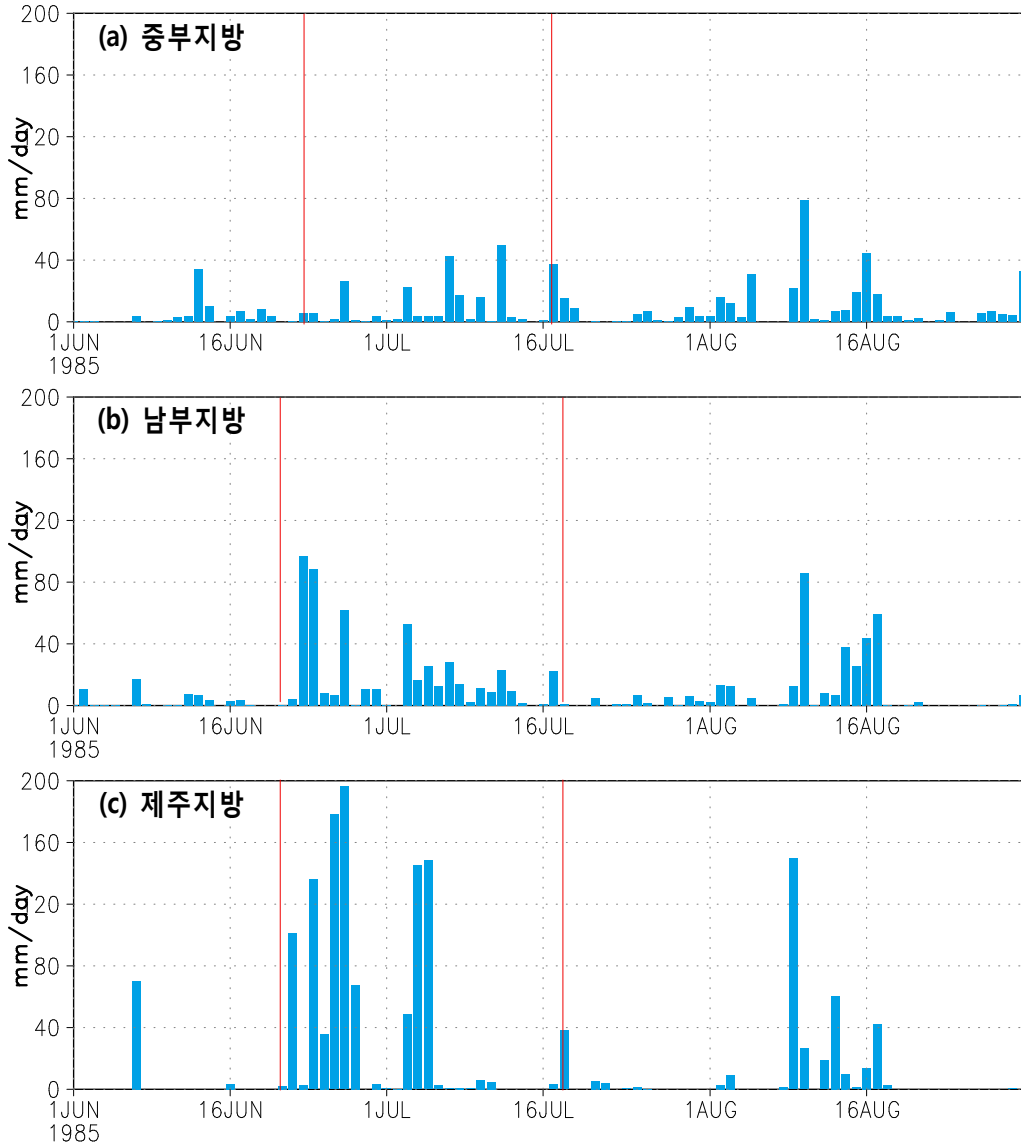


'84. 7. 13. 21시

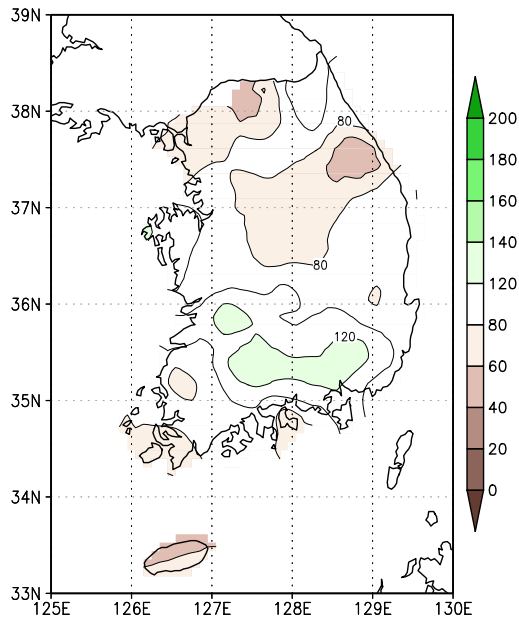
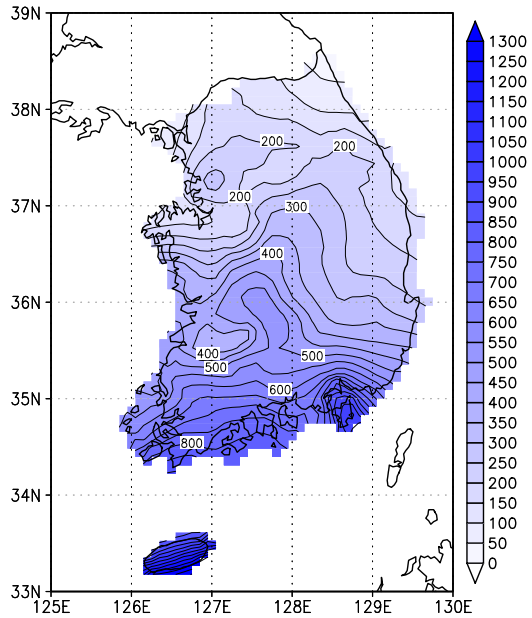


■ 1985년의 장마

(1) 강수량 시계열

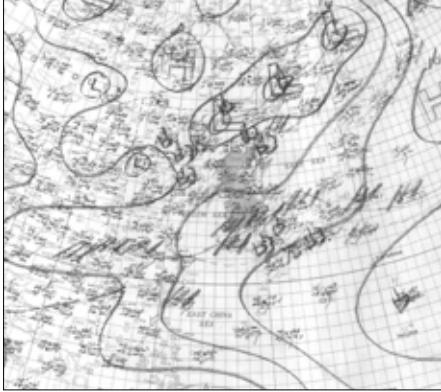


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1985년 6월 21일 ~ 7월 18일)

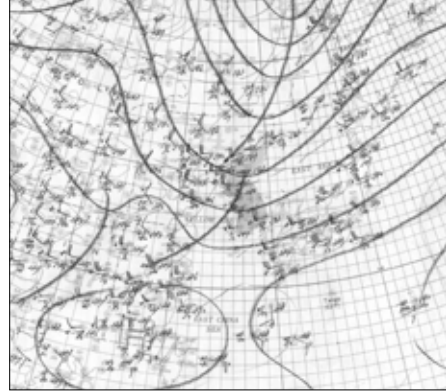


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

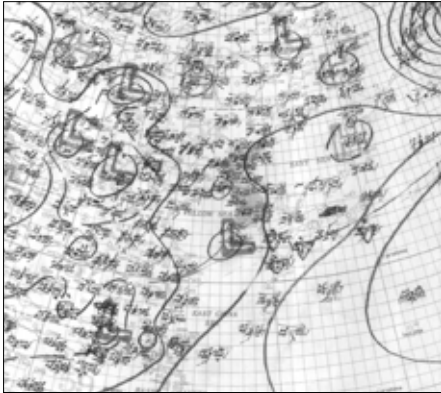
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



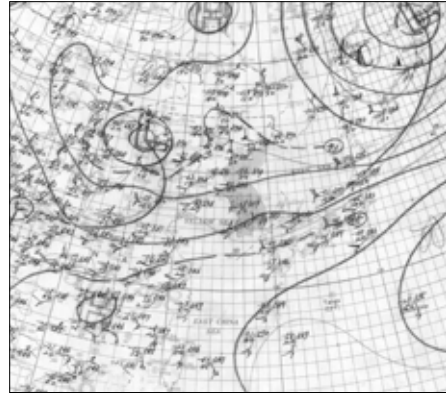
'85. 6. 21. 21시



● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



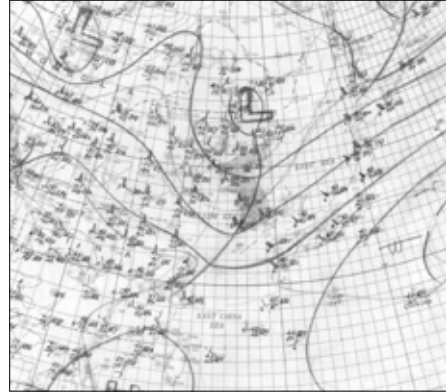
'85. 7. 2. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

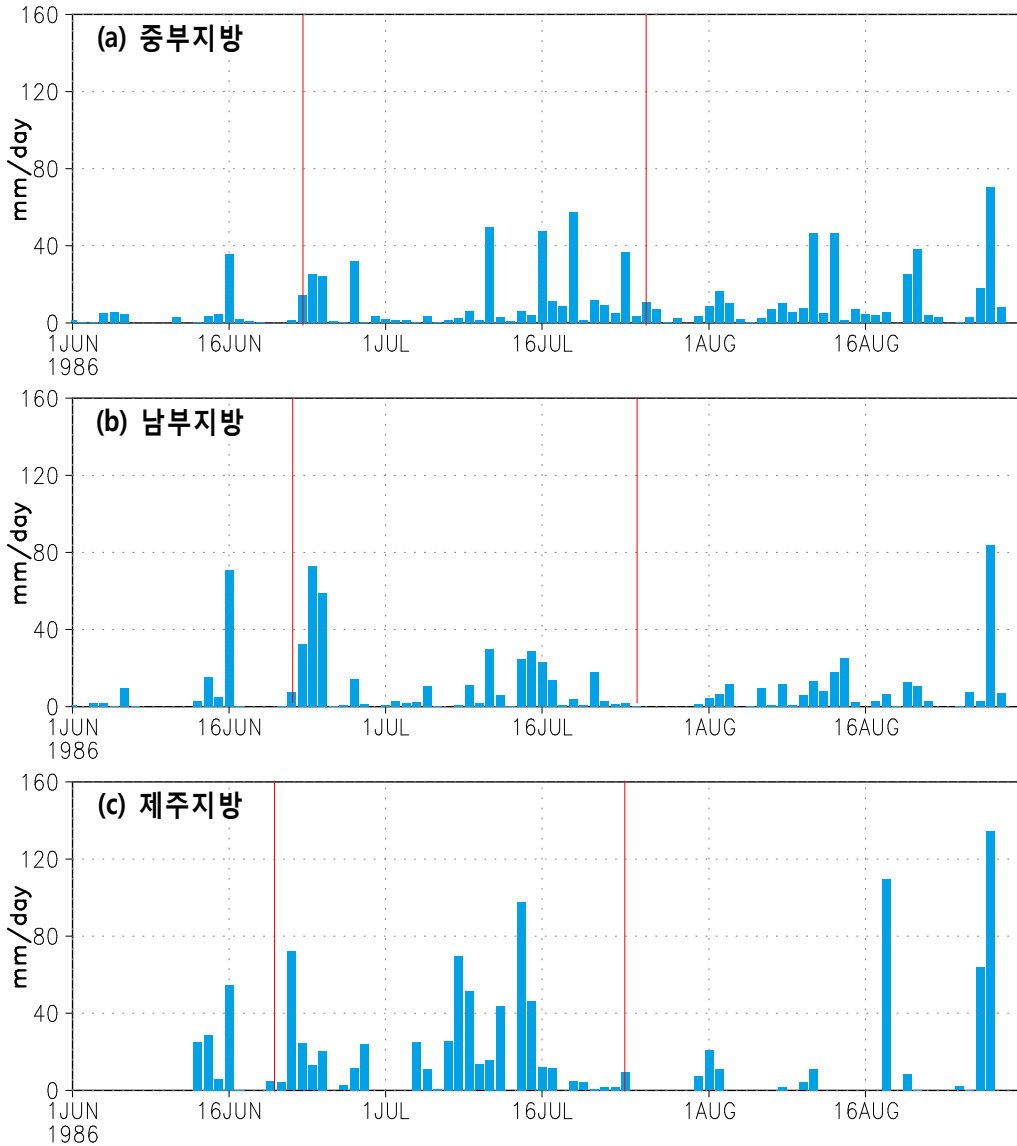


'85. 7. 18. 21시

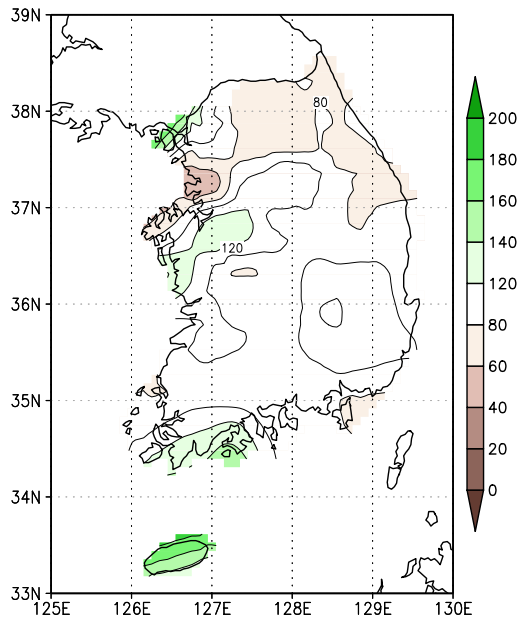
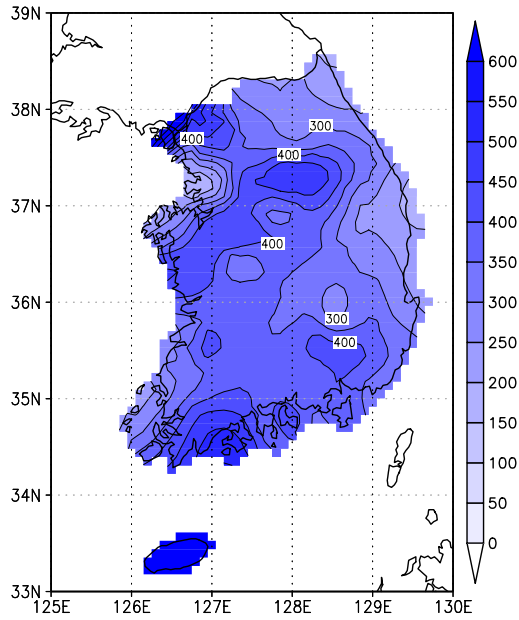


■ 1986년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1986년 6월 20일 ~ 7월 26일)

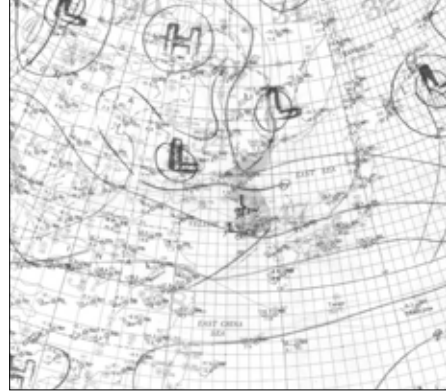


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

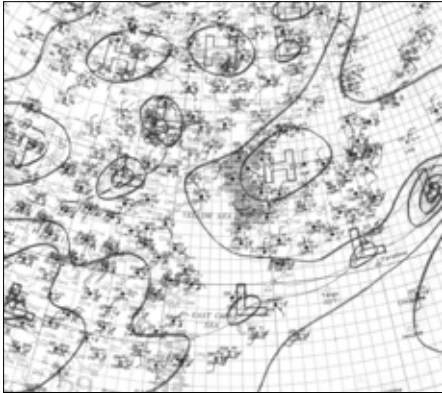
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



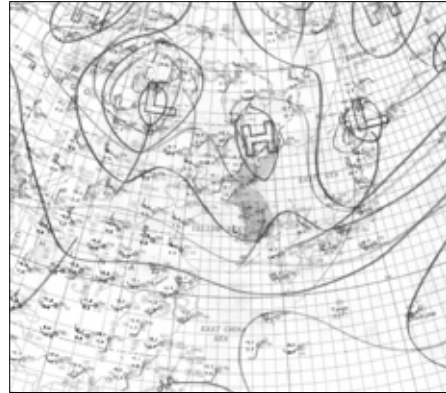
'86. 6. 20. 21시



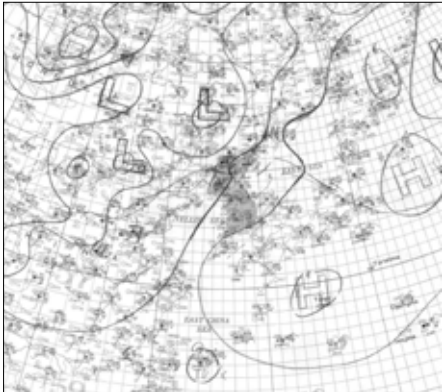
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



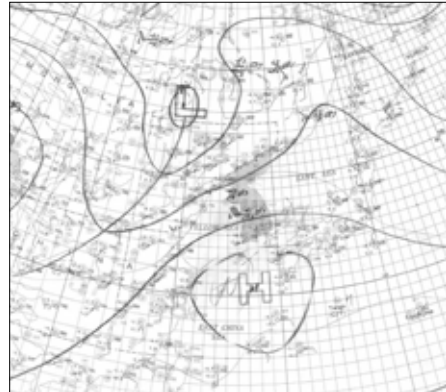
'86. 7. 3. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

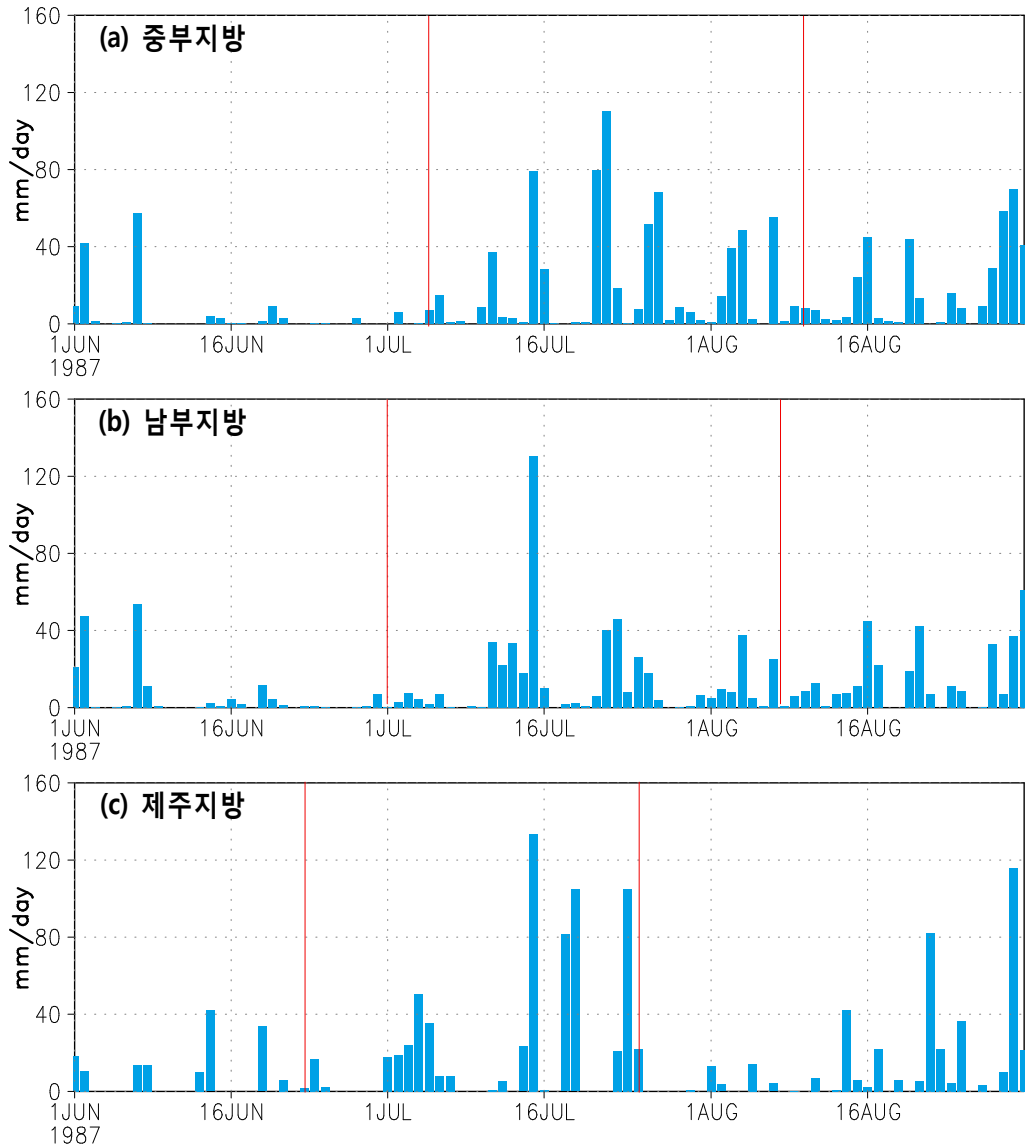


'86. 7. 26. 21시

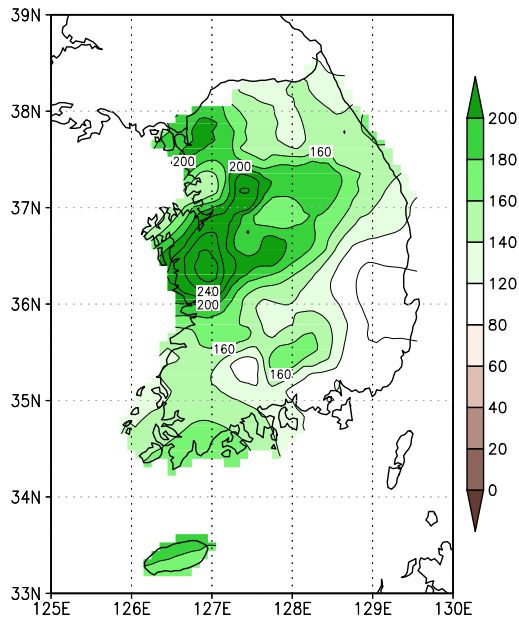
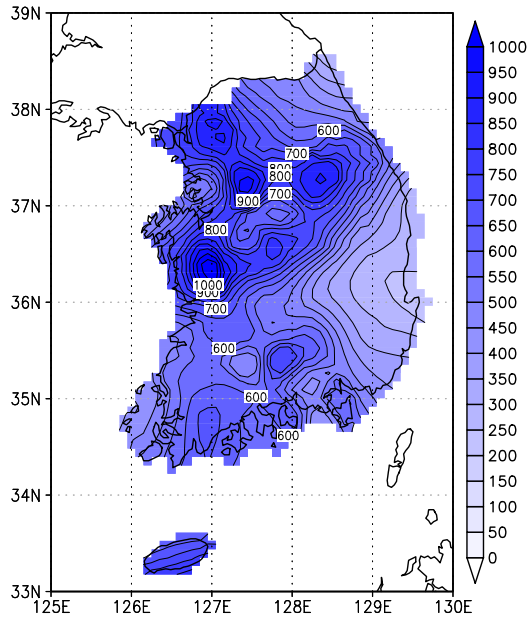


■ 1987년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1987년 6월 23일 ~ 8월 10일)

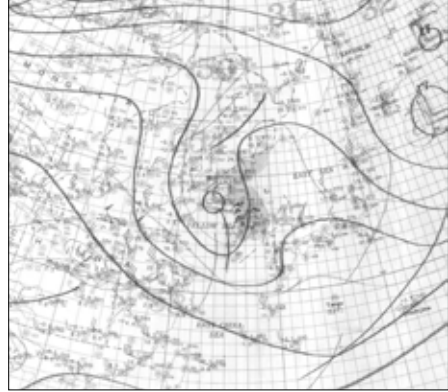


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

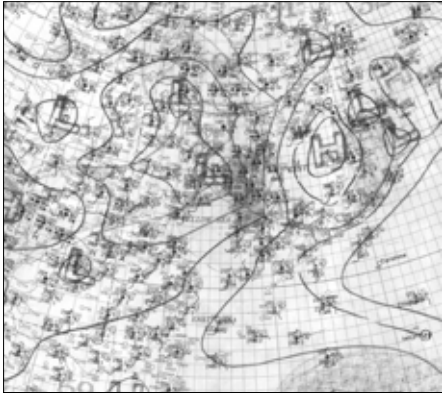
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'87. 6. 23. 21시



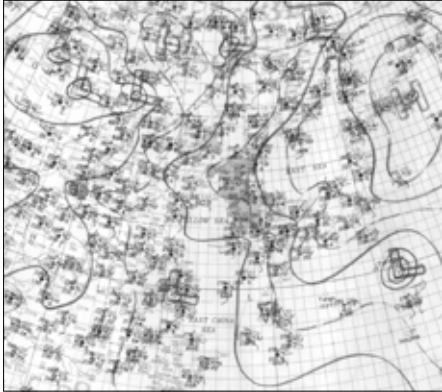
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



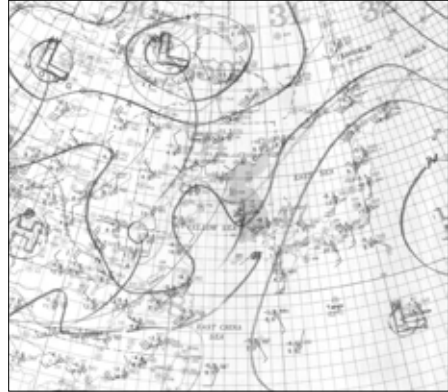
'87. 7. 10. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

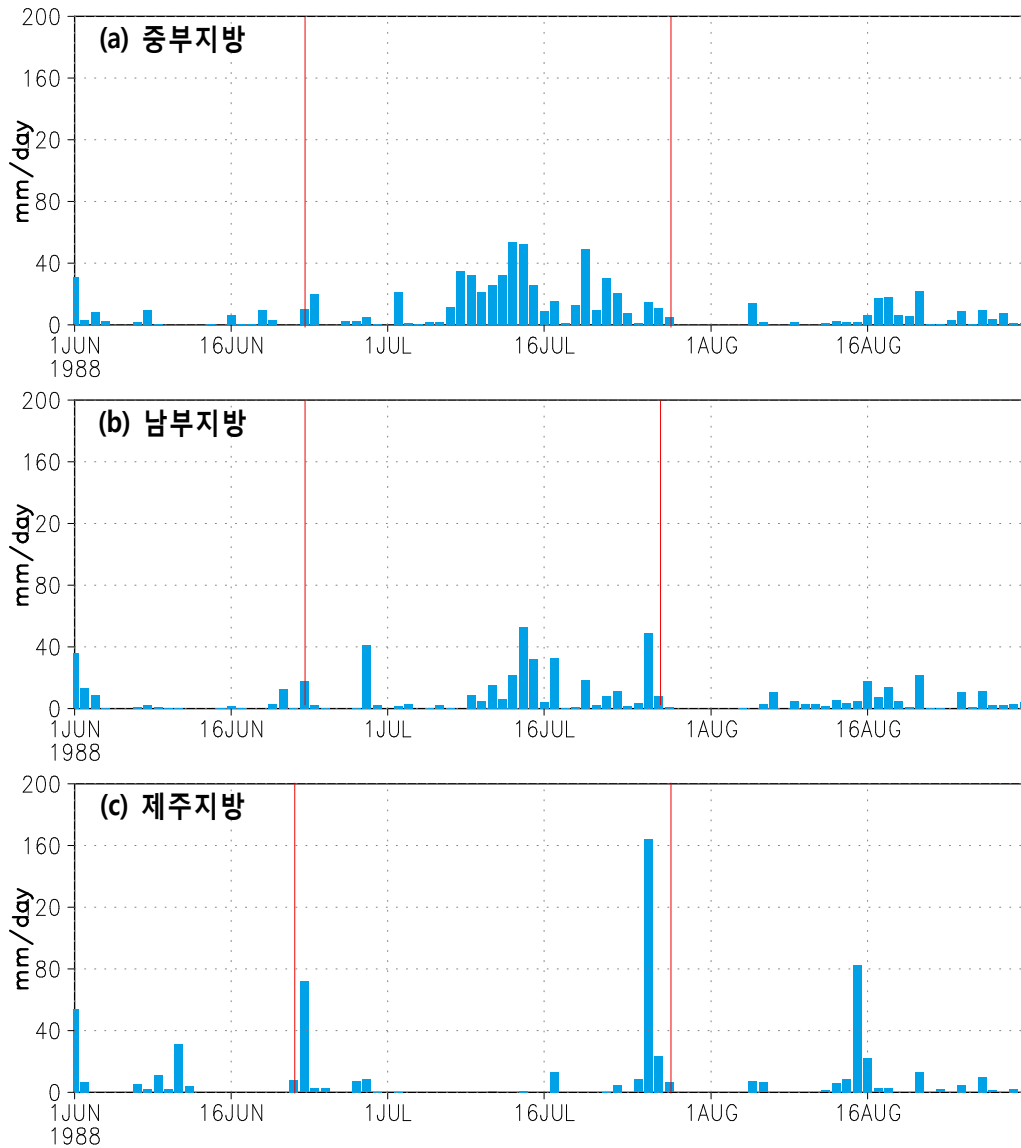


'87. 8. 10. 21시

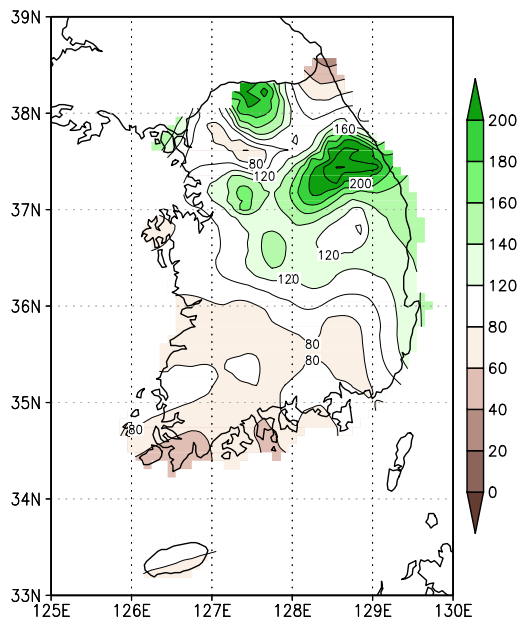
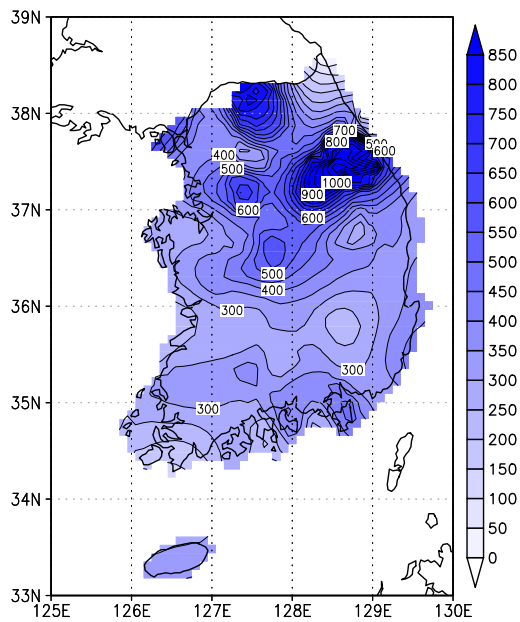


■ 1988년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1988년 6월 22일 ~ 7월 28일)

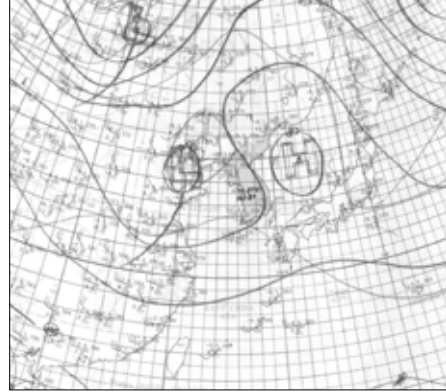


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

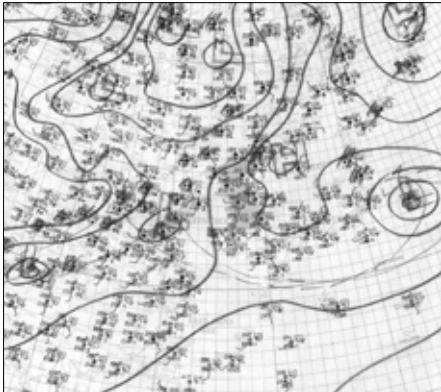
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



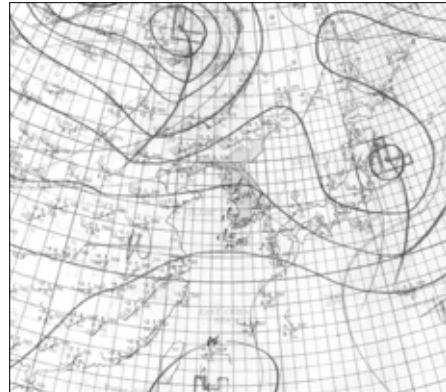
'88. 6. 22. 21시



- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



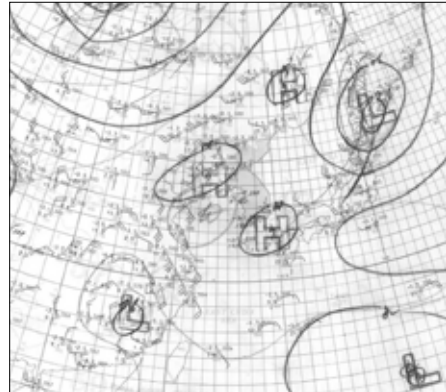
'88. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

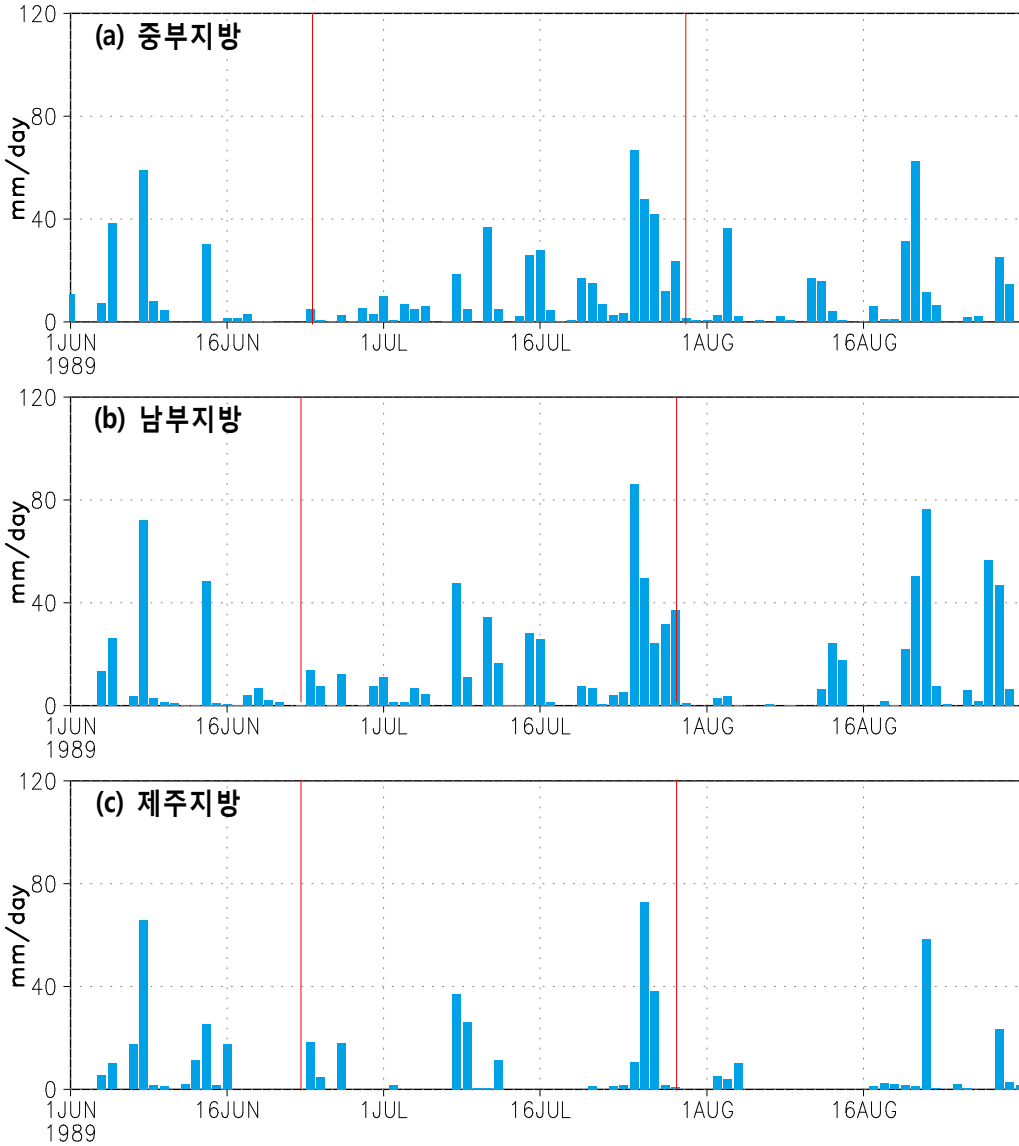


'88. 7. 28. 21시

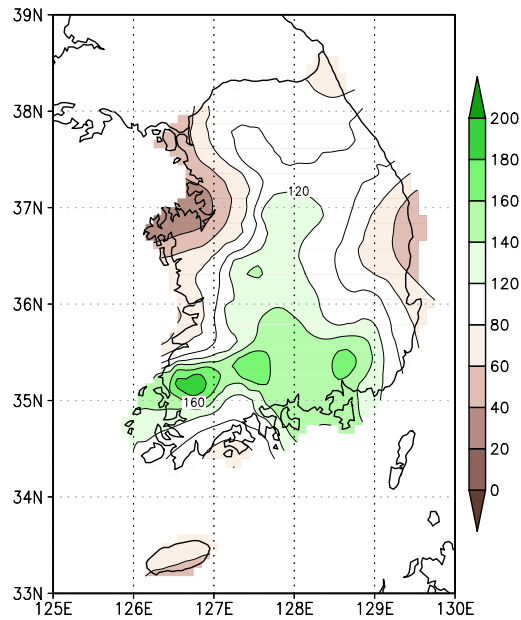
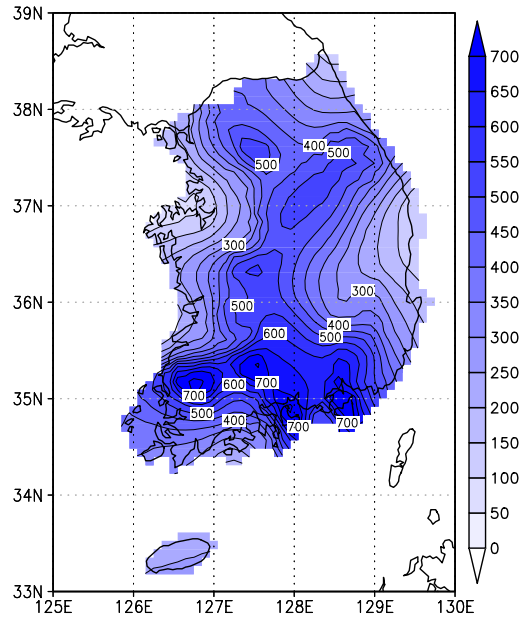


■ 1989년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1989년 6월 23일 ~ 7월 30일)



(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

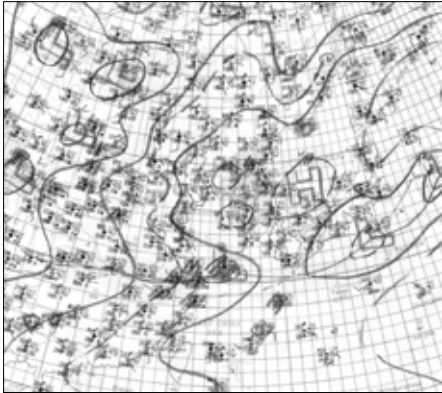
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



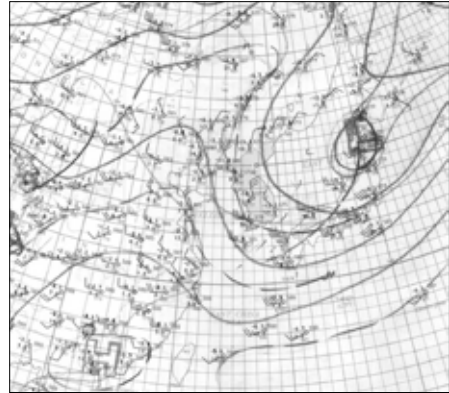
'89. 6. 23. 21시



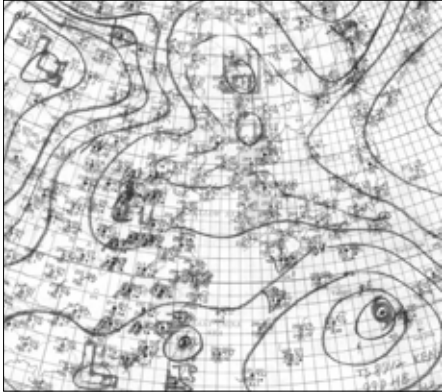
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'89. 7. 4. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

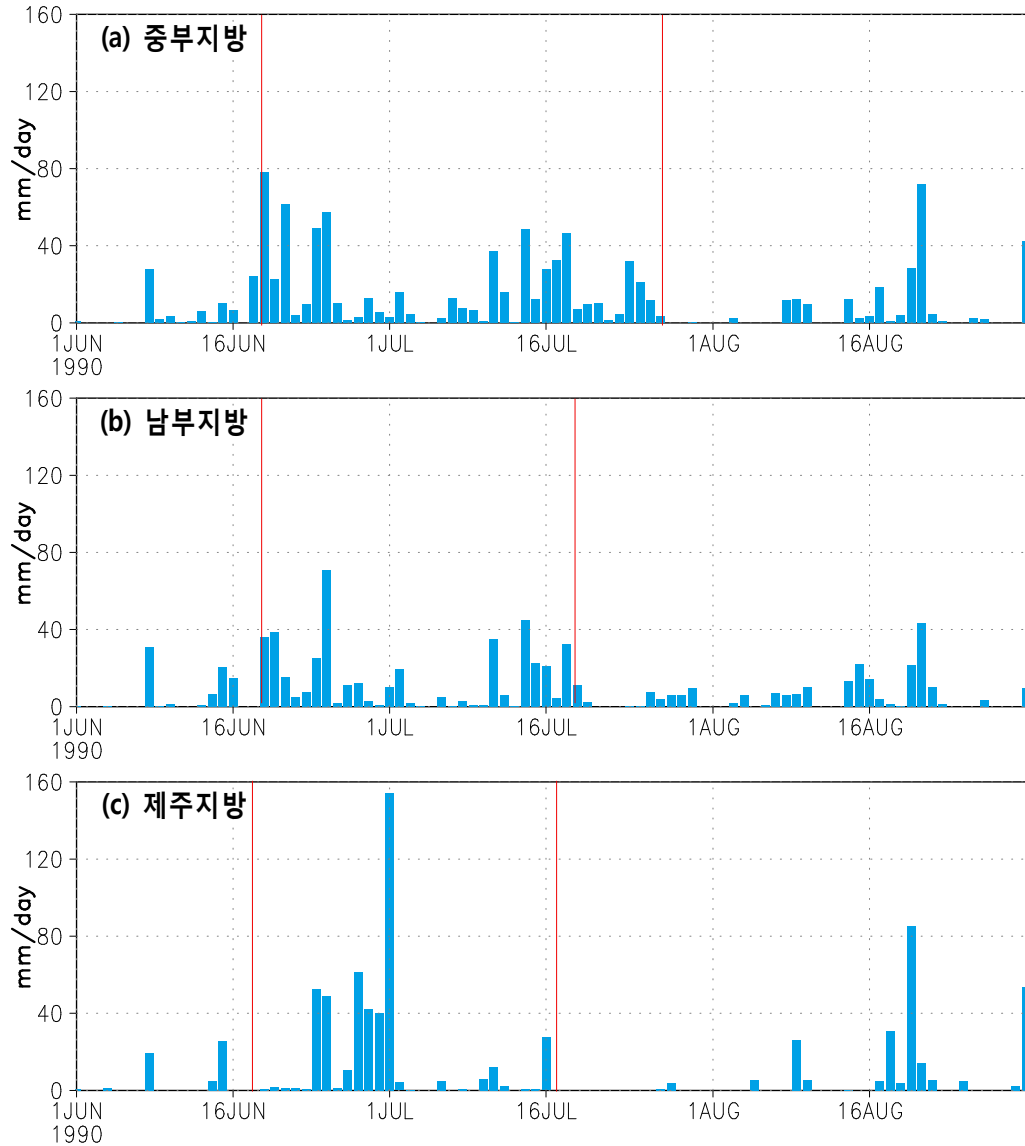


'89. 7. 30. 21시

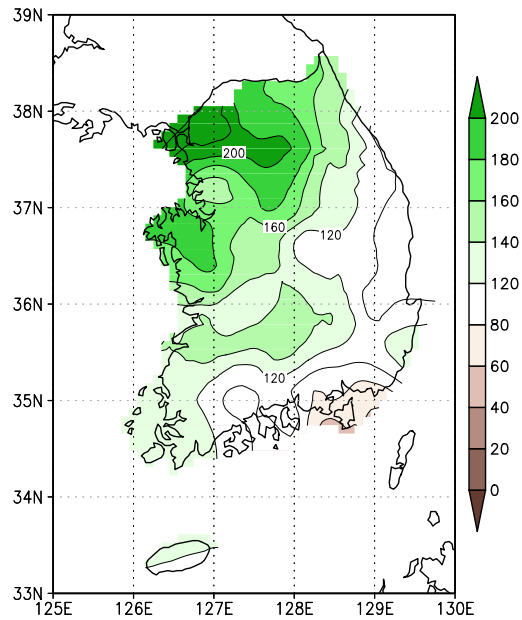
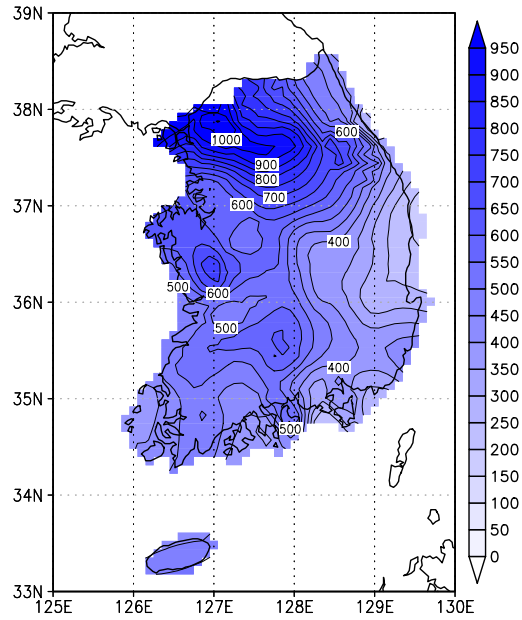


■ 1990년의 장마

(1) 강수량 시계열

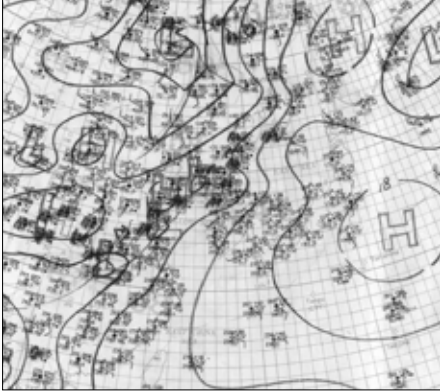


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1990년 6월 18일 ~ 7월 27일)

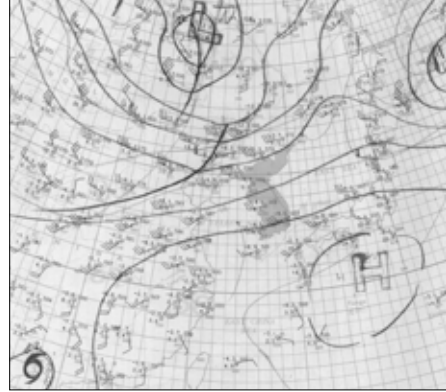


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

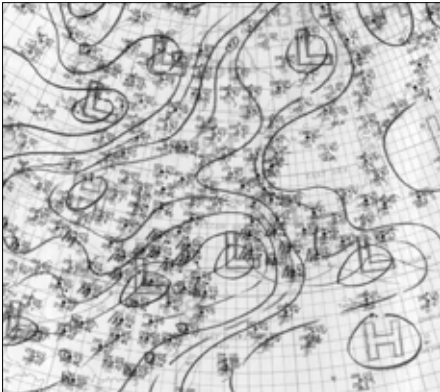
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



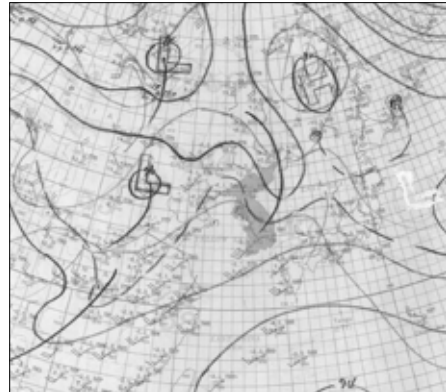
'90. 6. 18. 21시



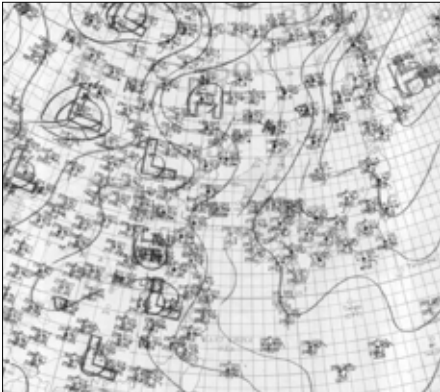
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'90. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

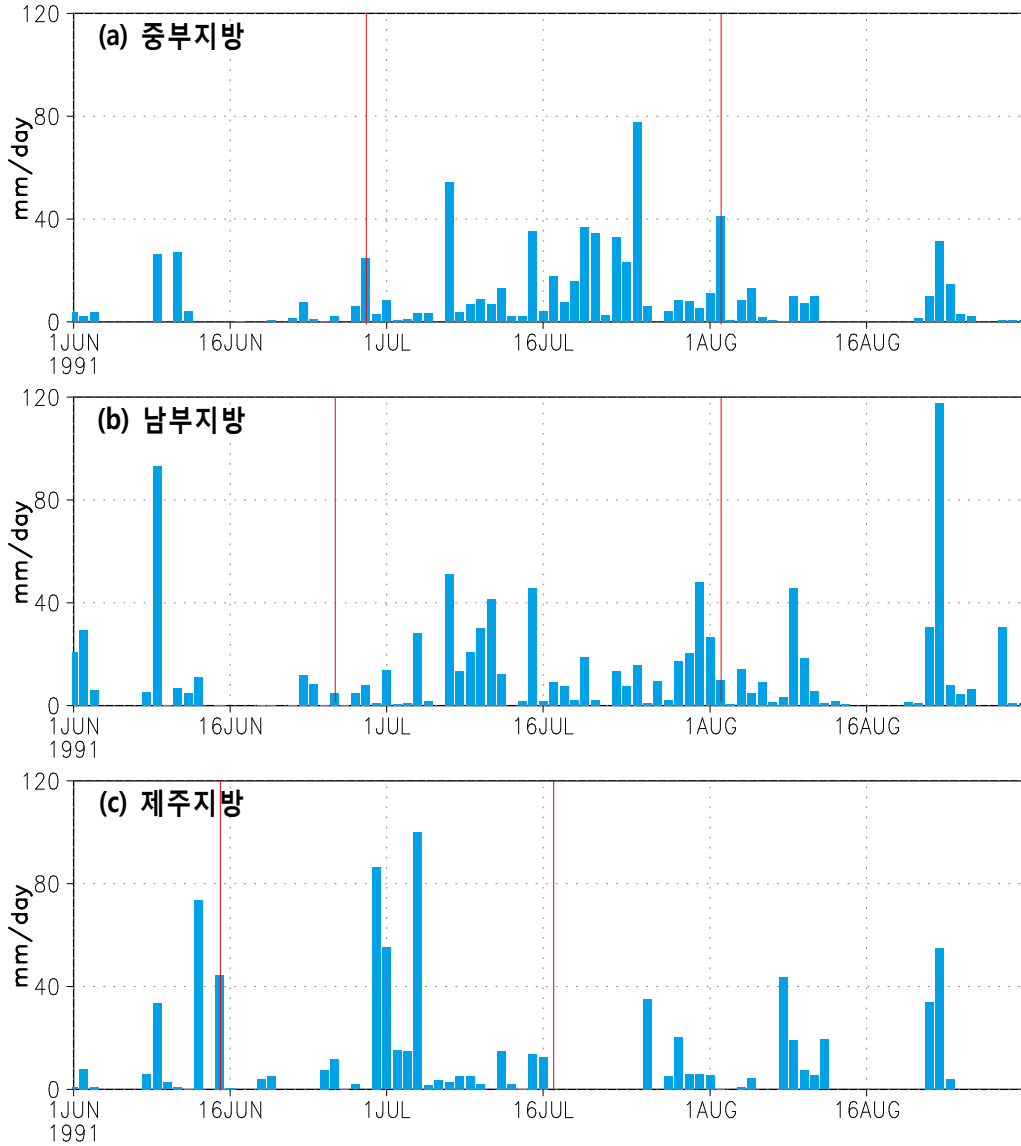


'90. 7. 27. 21시

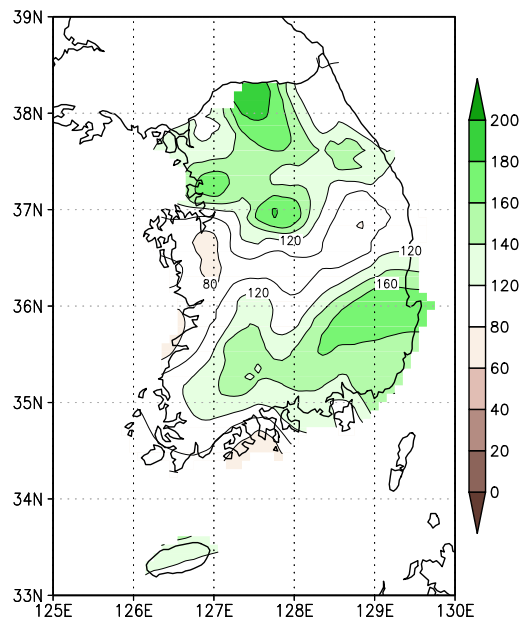
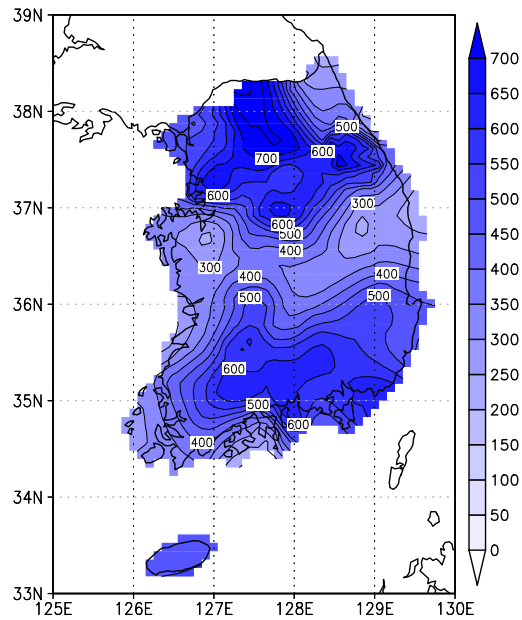


■ 1991년의 장마

(1) 강수량 시계열

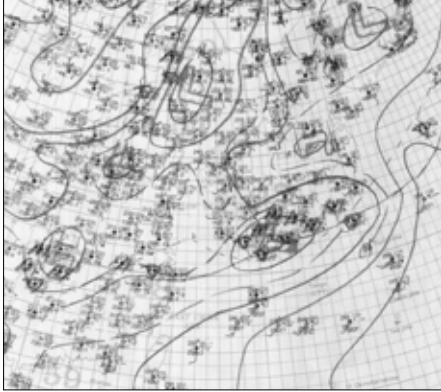


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1991년 6월 15일 ~ 8월 2일)

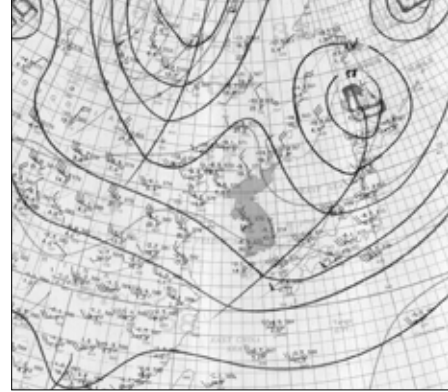


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

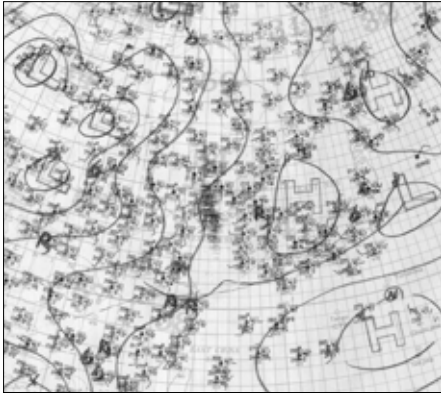
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'91. 6. 15. 21시



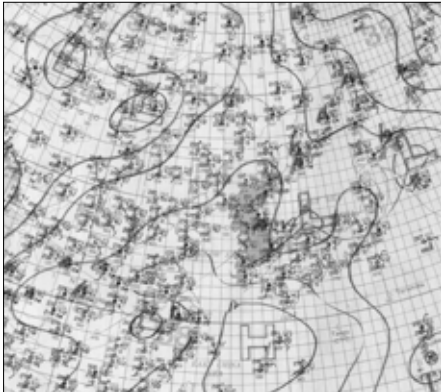
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



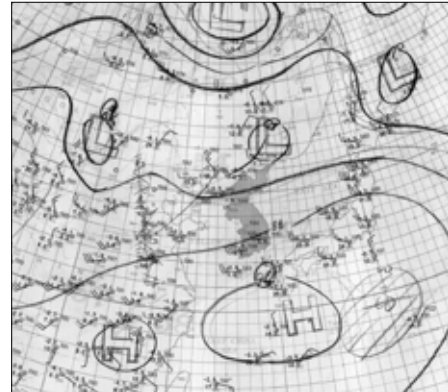
'91. 7. 13. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

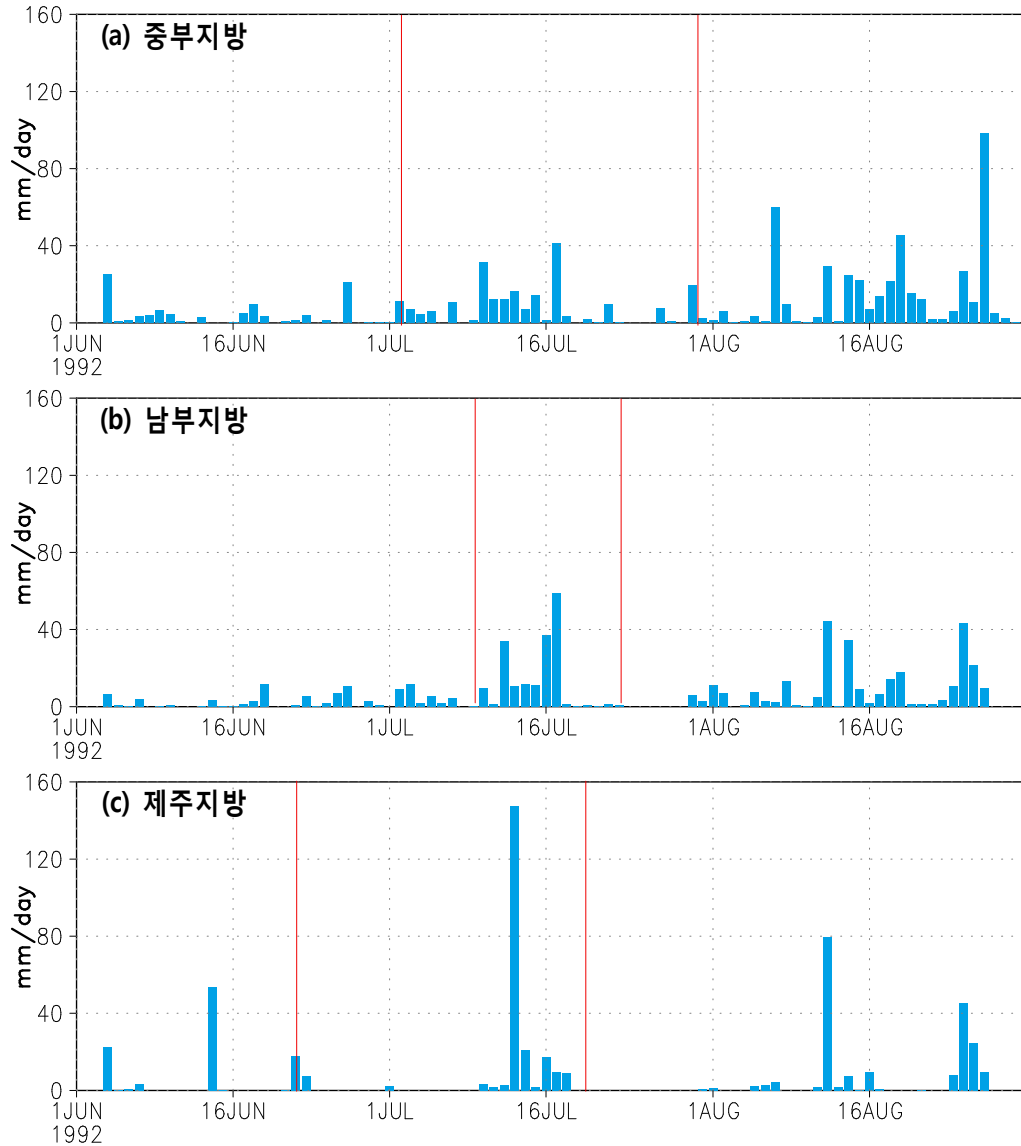


'91. 8. 2. 21시

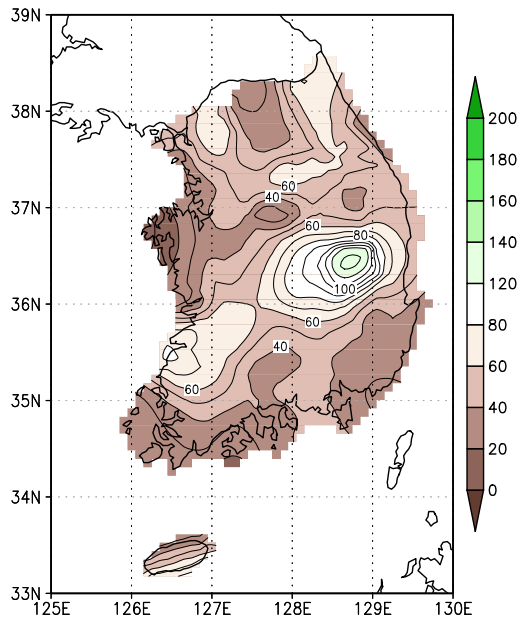
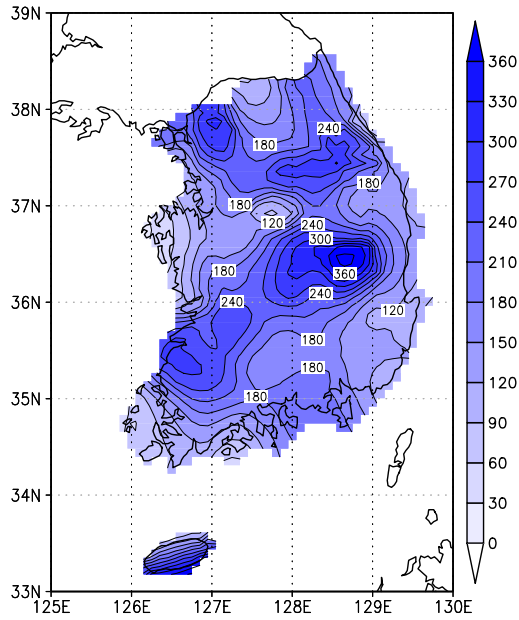


■ 1992년의 장마

(1) 강수량 시계열

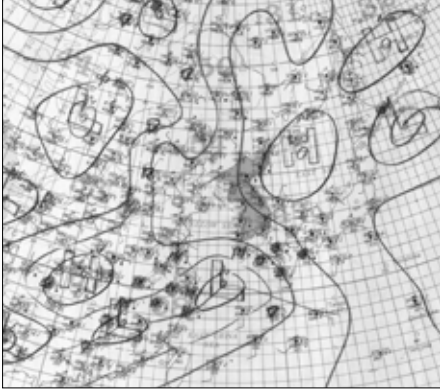


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1992년 6월 22일 ~ 7월 31일)



(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

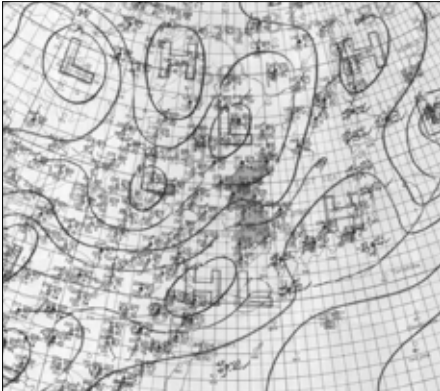
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'92. 6. 22. 21시



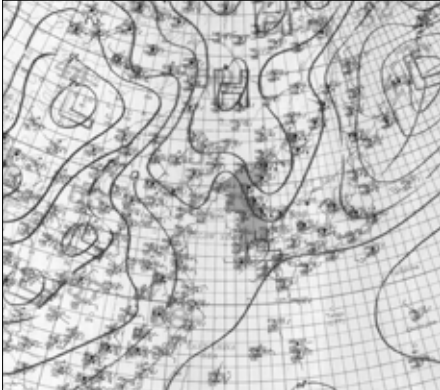
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'92. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

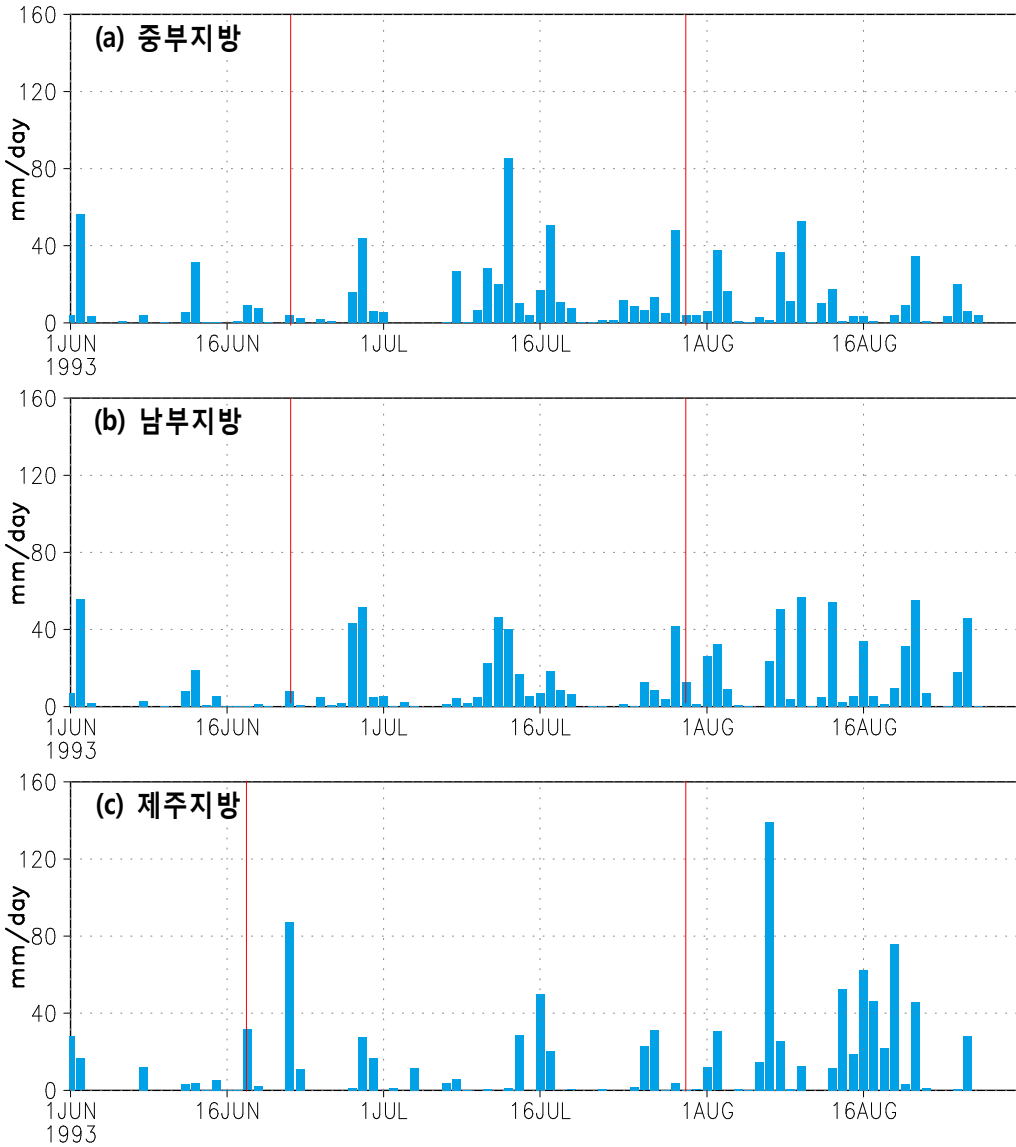


'92. 7. 31. 21시

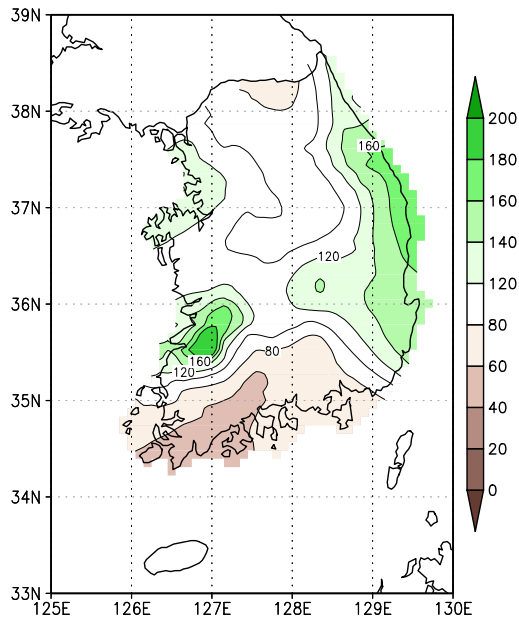
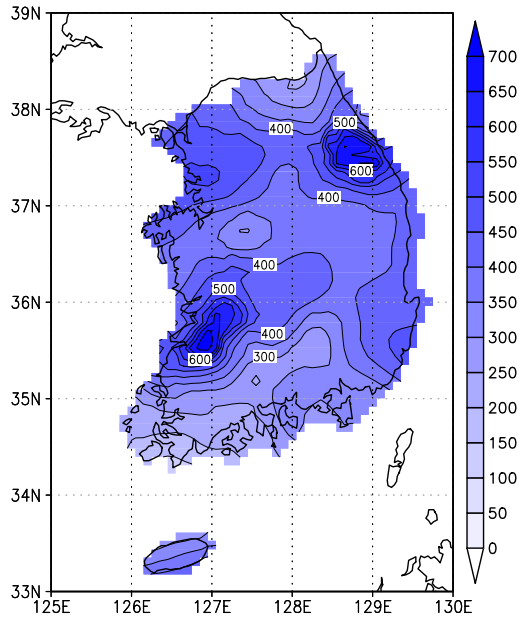


■ 1993년의 장마

(1) 강수량 시계열

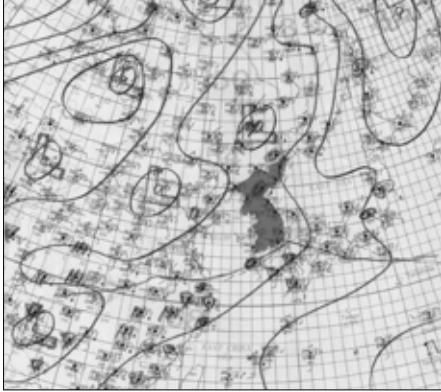


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1993년 6월 18일 ~ 7월 30일)

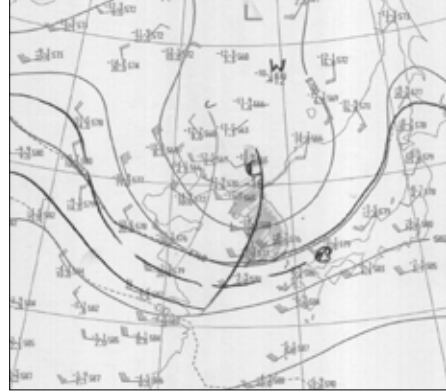


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

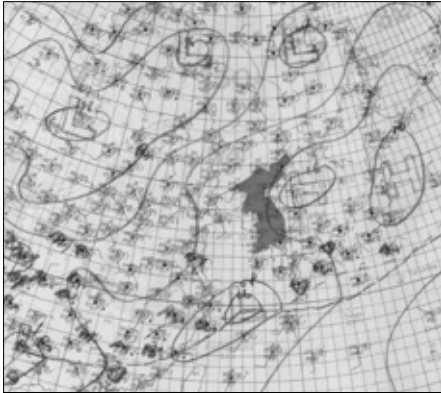
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



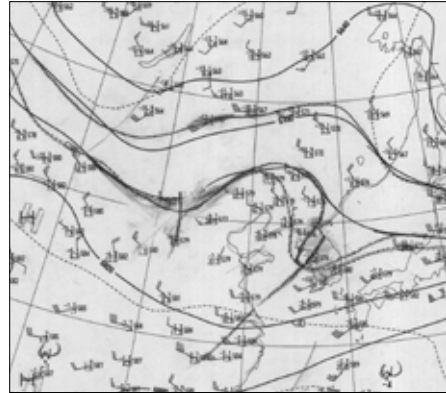
'93. 6. 18. 21시



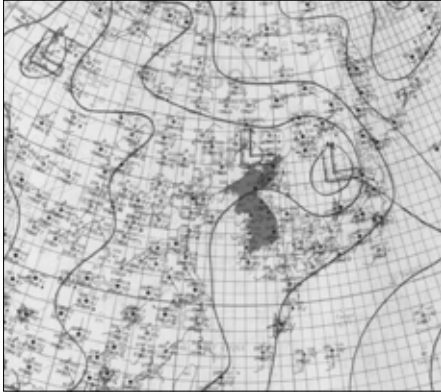
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



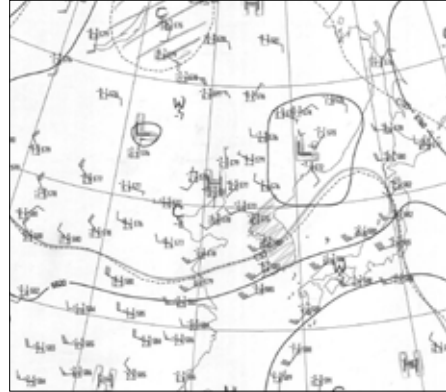
'93. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

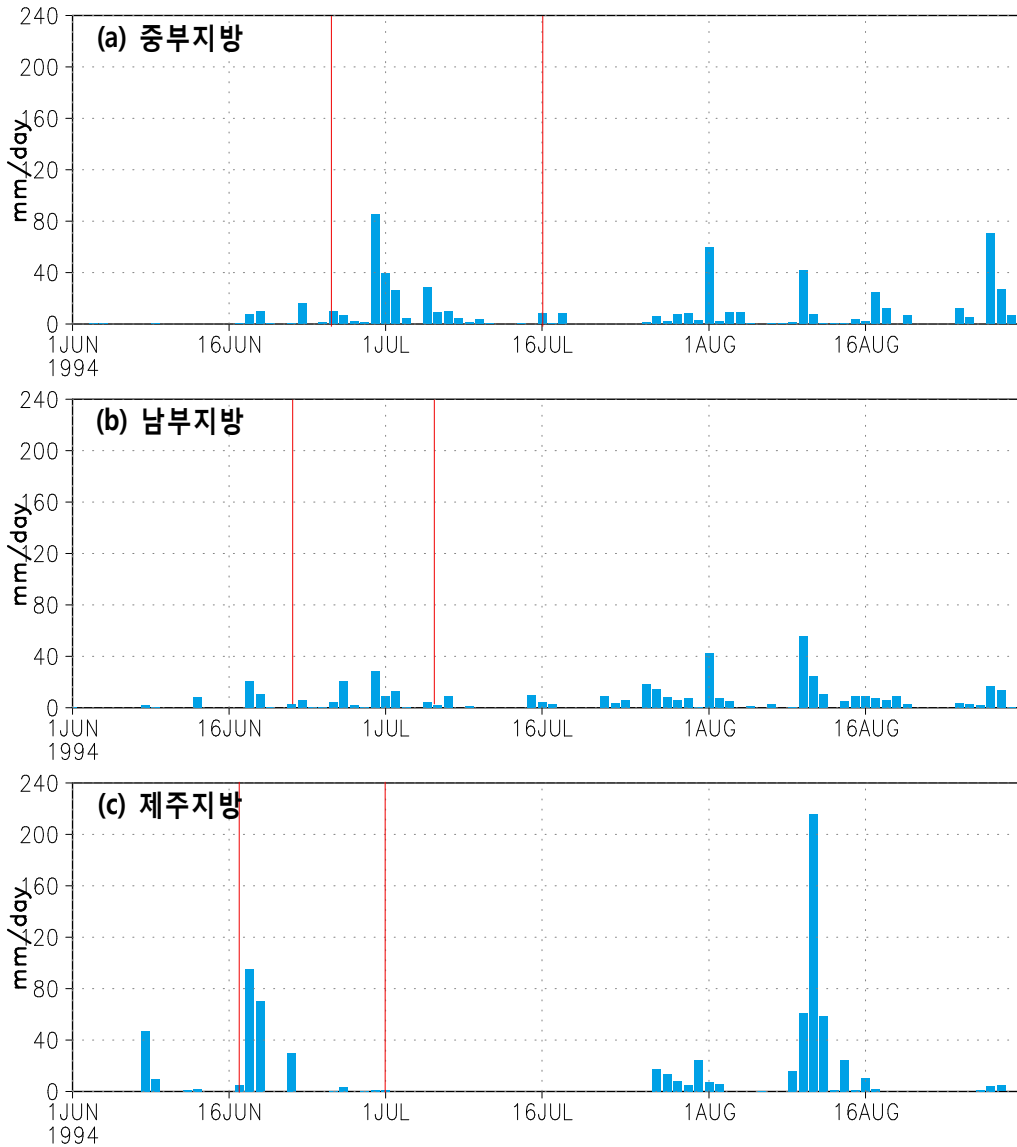


'93. 7. 30. 21시

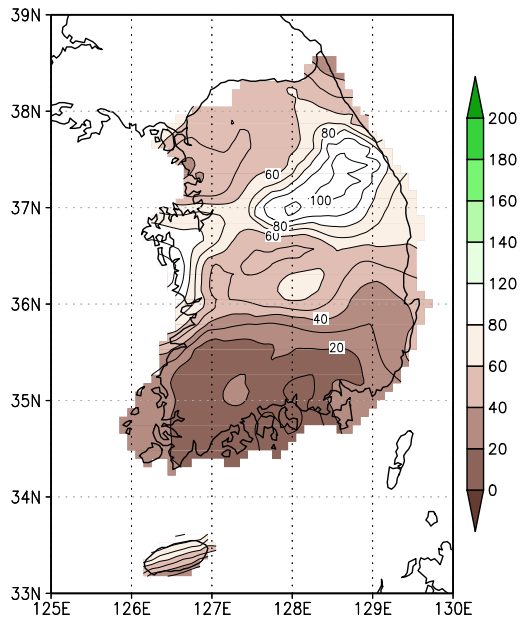
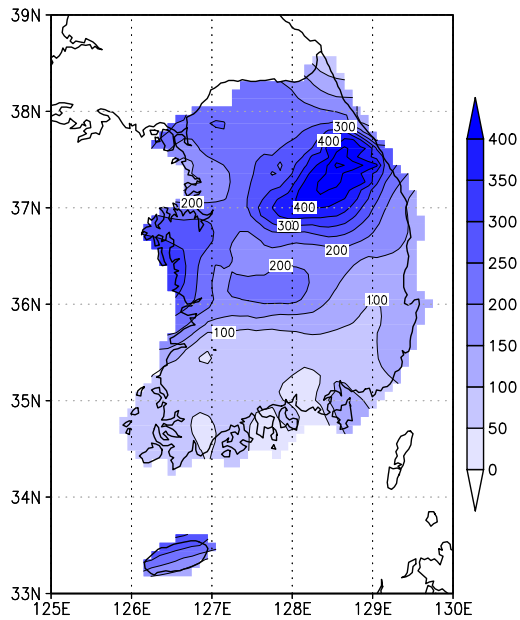


■ 1994년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1994년 6월 17일 ~ 7월 16일)

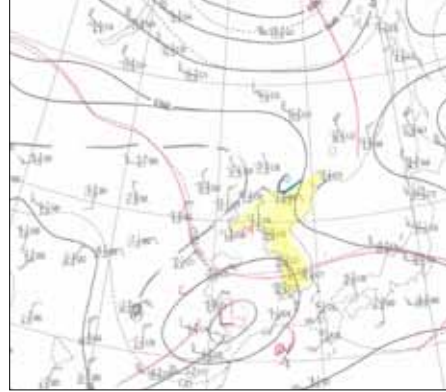


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

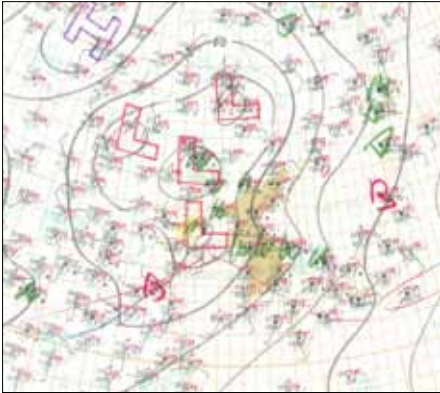
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



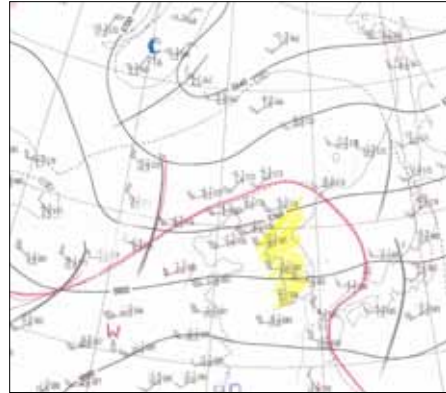
'94. 6. 17. 21시



- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



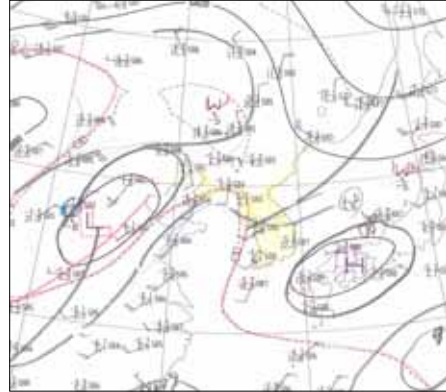
'94. 6. 30. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

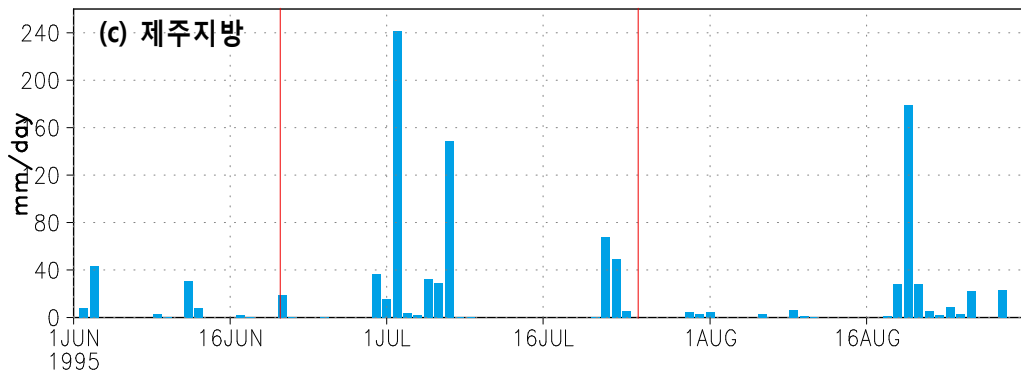
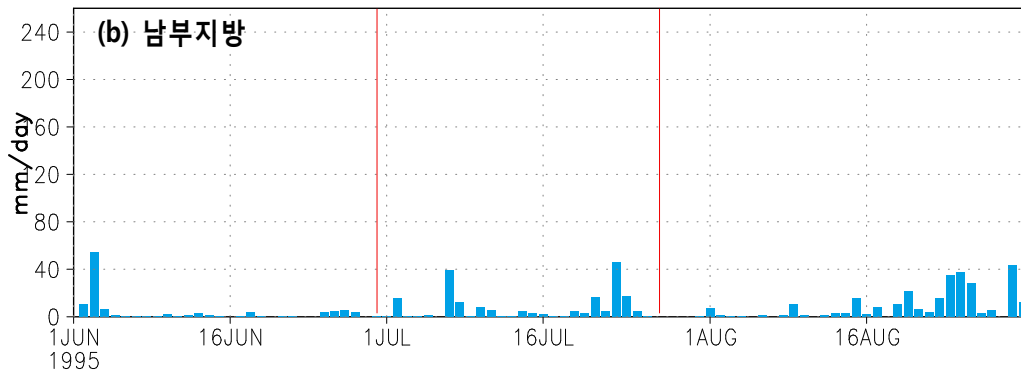
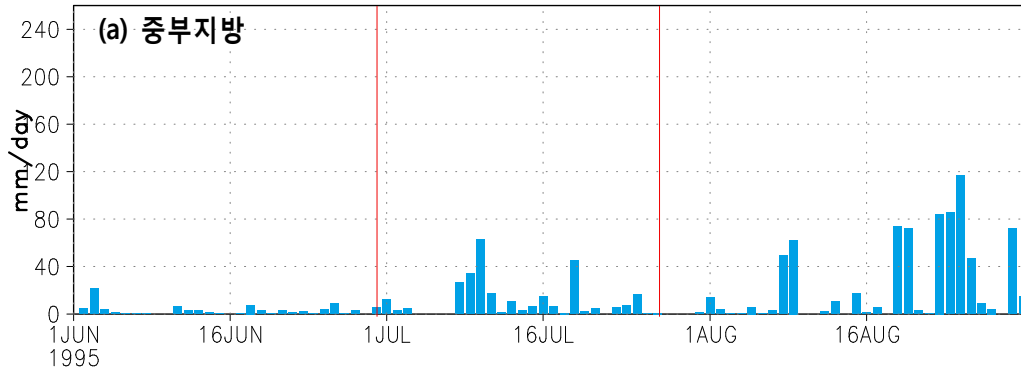


'94. 7. 16. 21시

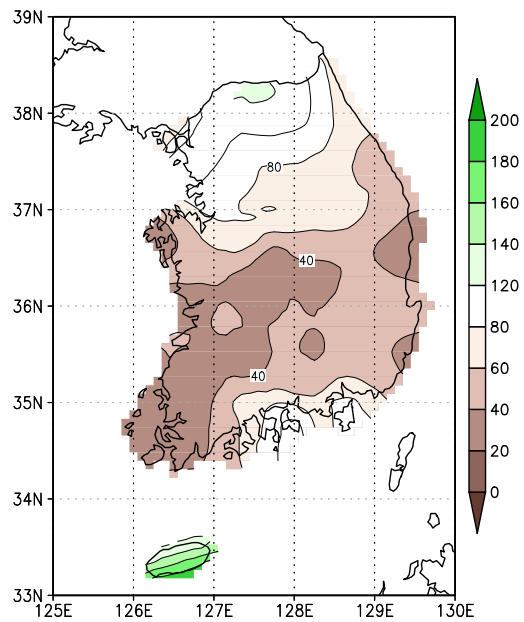
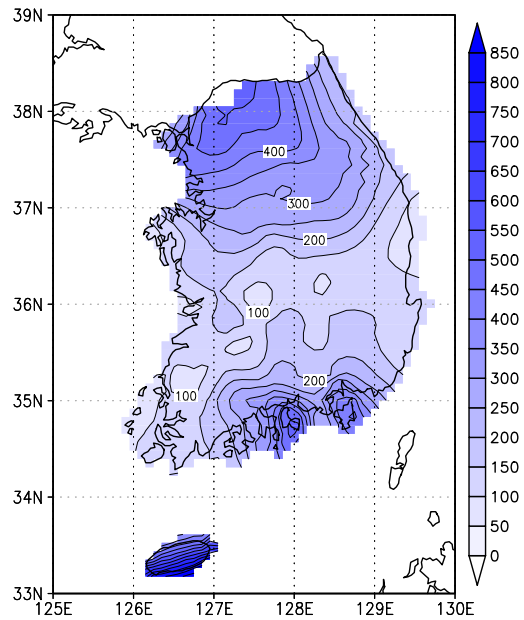


■ 1995년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1995년 6월 21일 ~ 7월 27일)

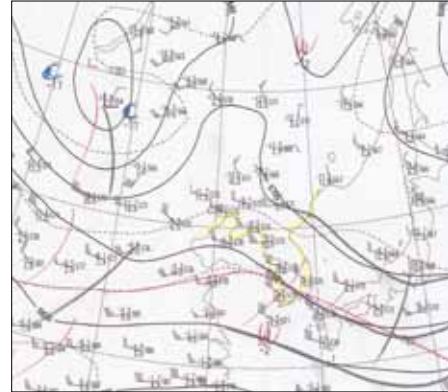


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

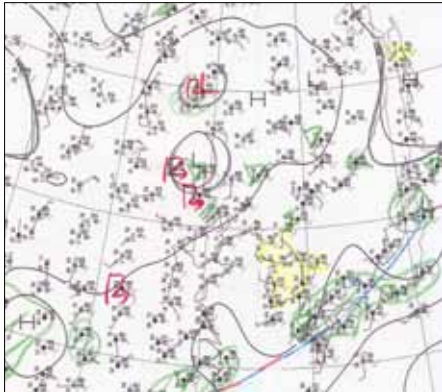
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'95. 6. 21. 21시



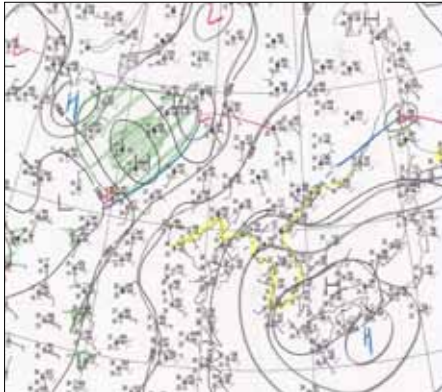
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



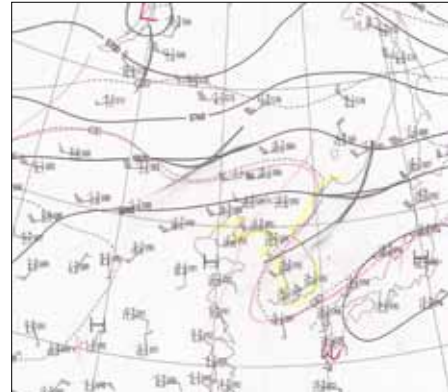
'95. 7. 3. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

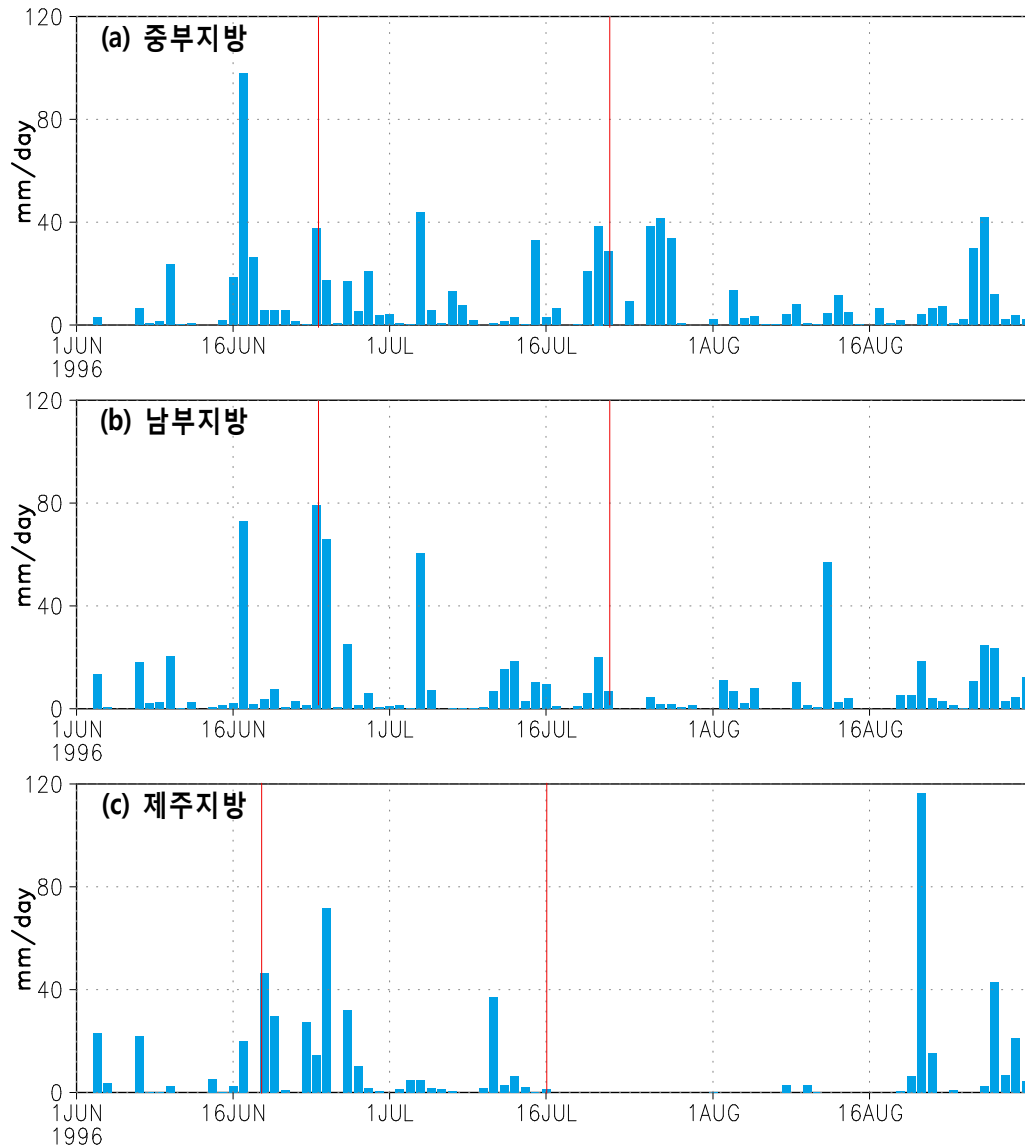


'95. 7. 27. 21시

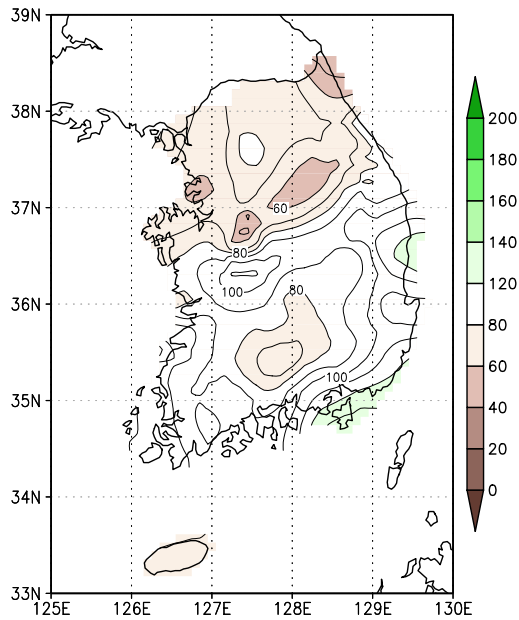
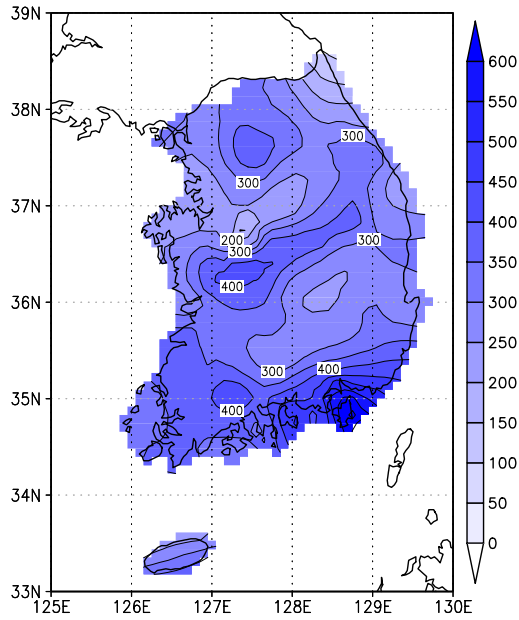


■ 1996년의 장마

(1) 강수량 시계열



(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1996년 6월 19일 ~ 7월 22일)

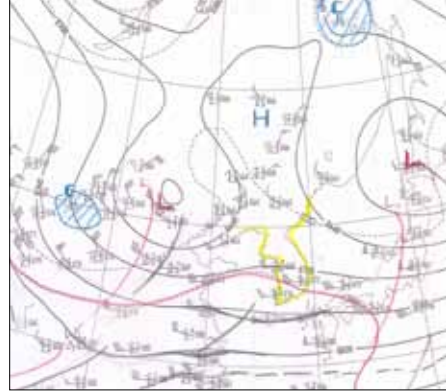


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

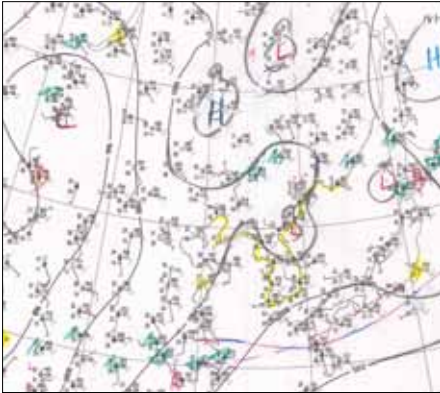
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



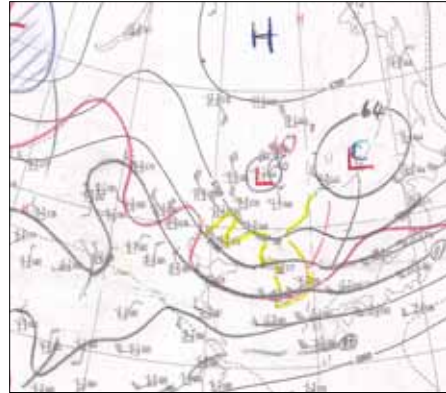
'96. 6. 19. 21시



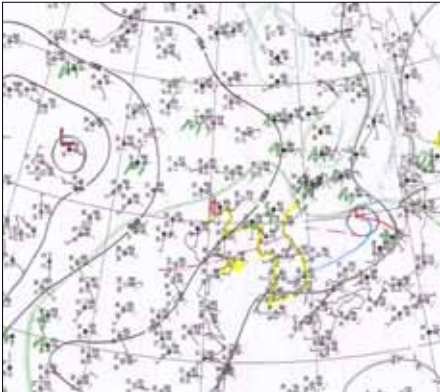
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



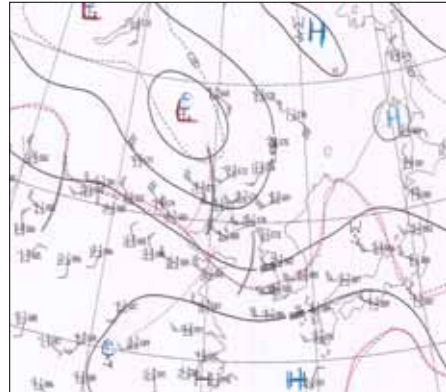
'96. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

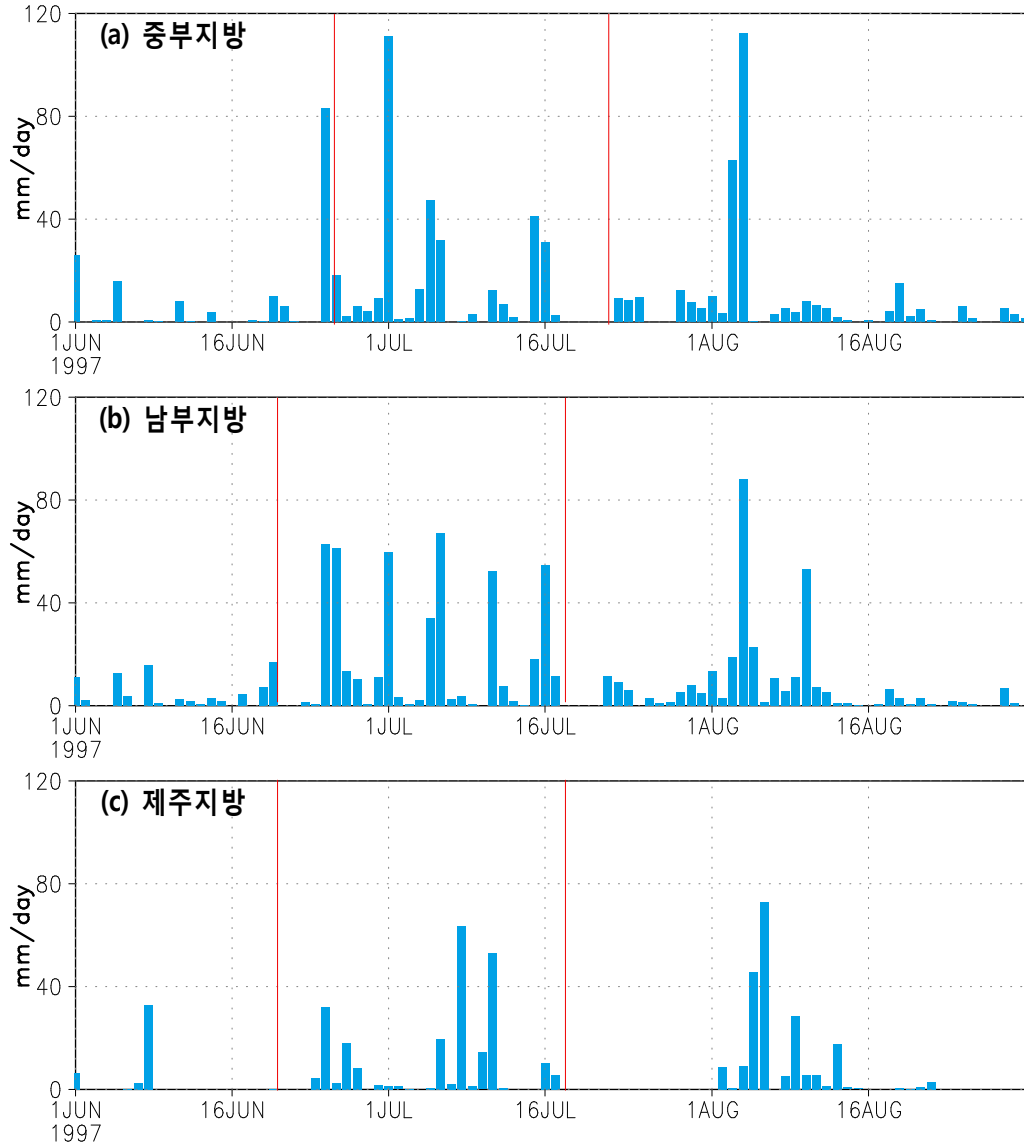


'96. 7. 22. 21시

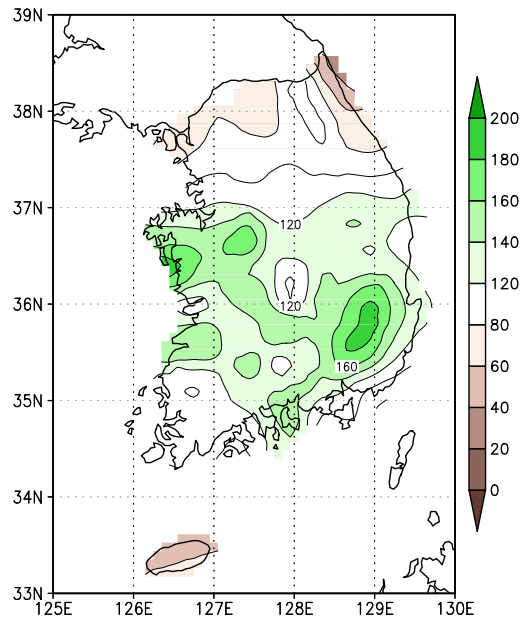
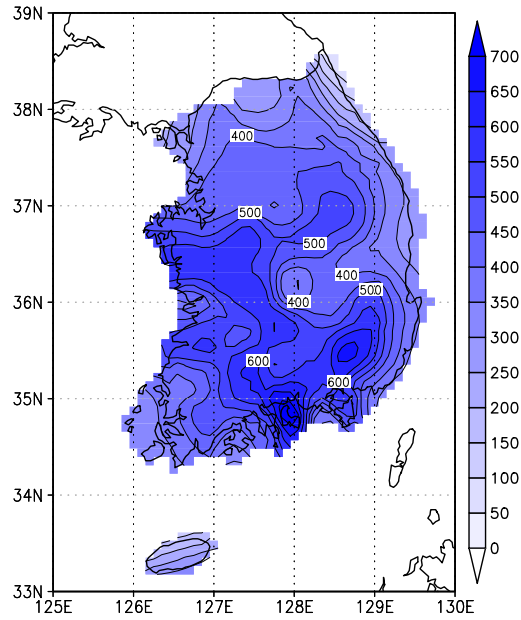


■ 1997년의 장마

(1) 강수량 시계열

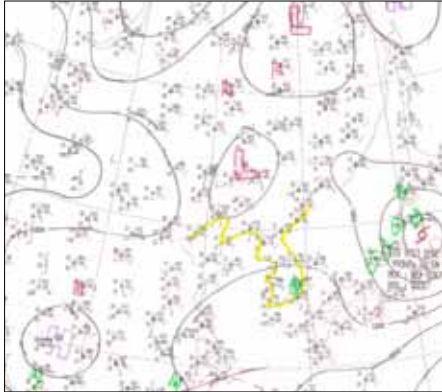


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1997년 6월 20일 ~ 7월 22일)

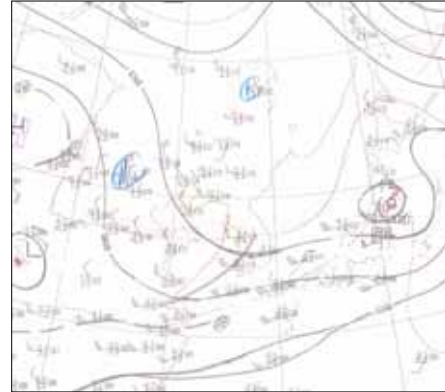


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



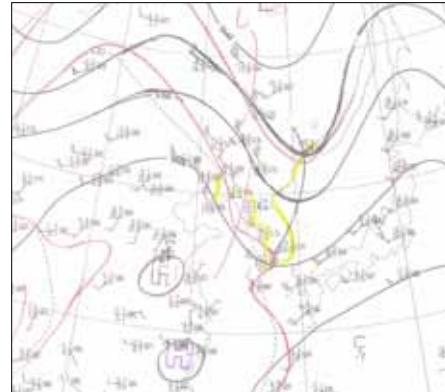
'97. 6. 20. 21시



● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



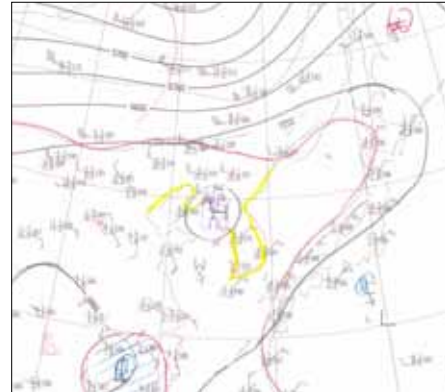
'97. 7. 1. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

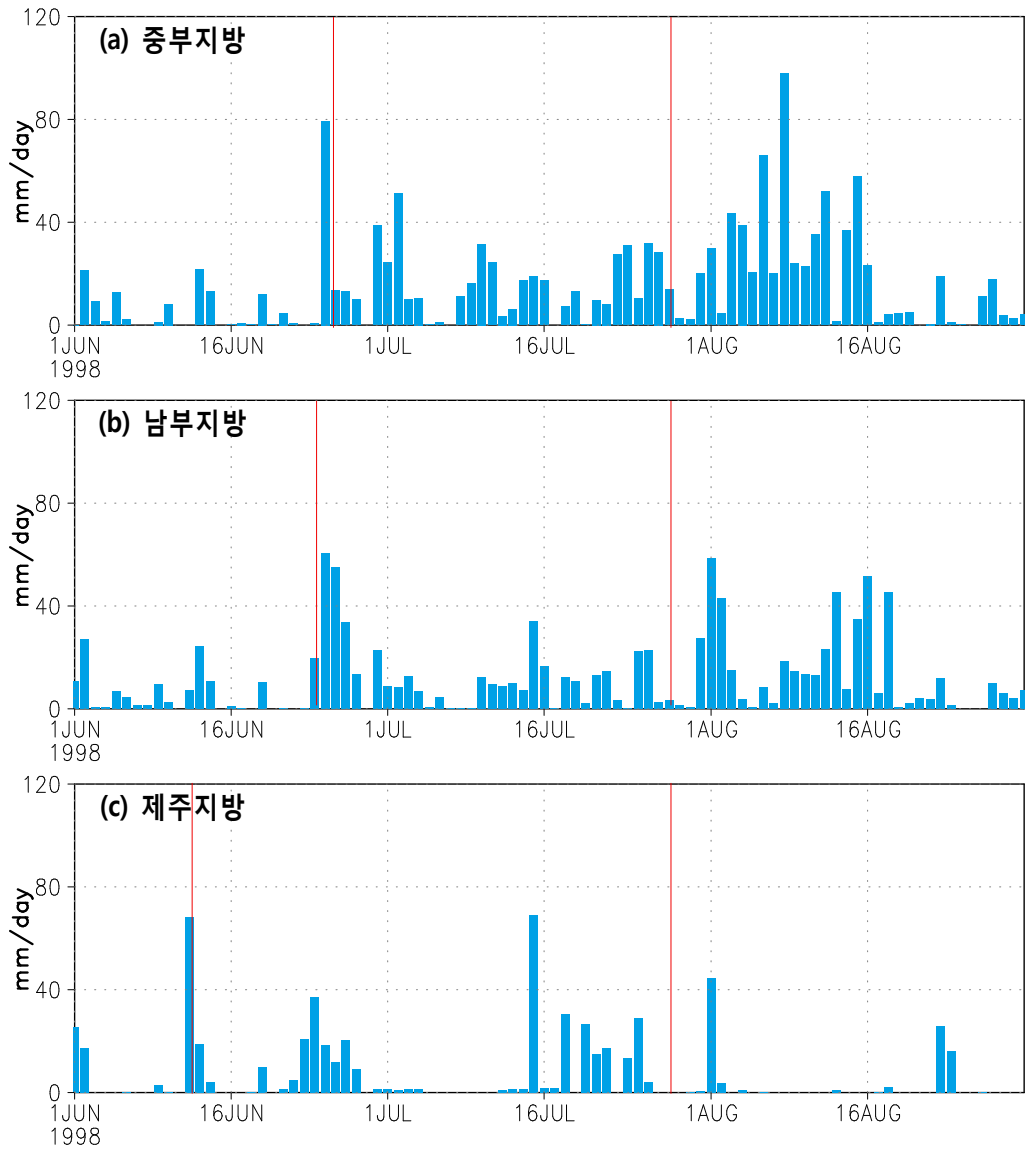


'97. 7. 22. 21시

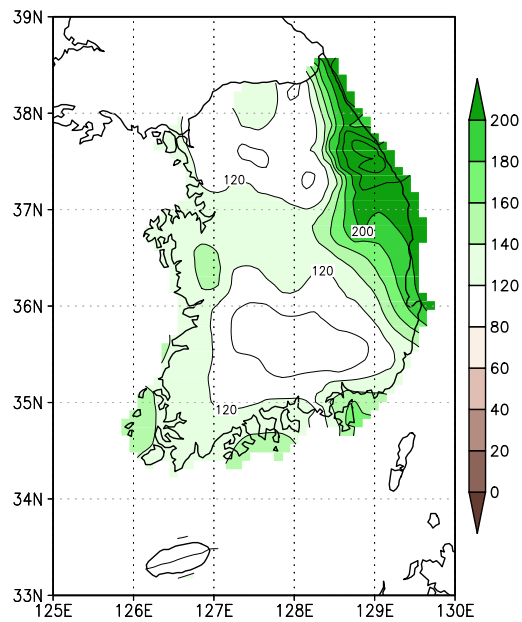
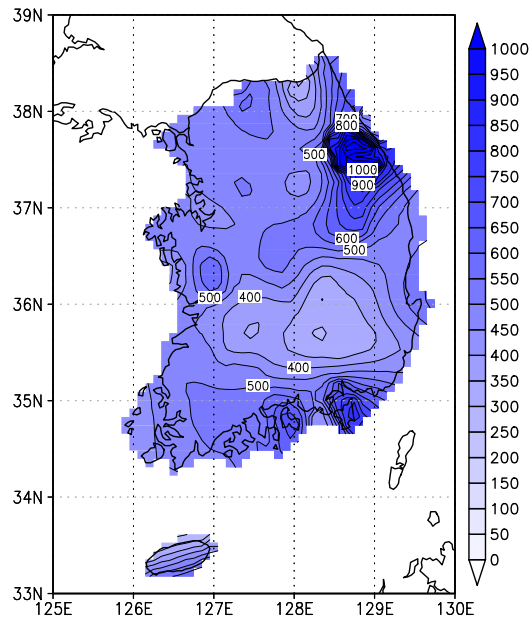


■ 1998년의 장마

(1) 강수량 시계열

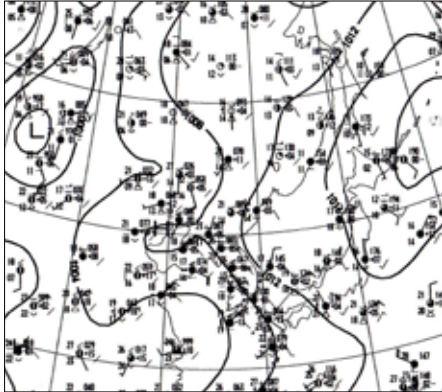


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1998년 6월 12일 ~ 7월 28일)

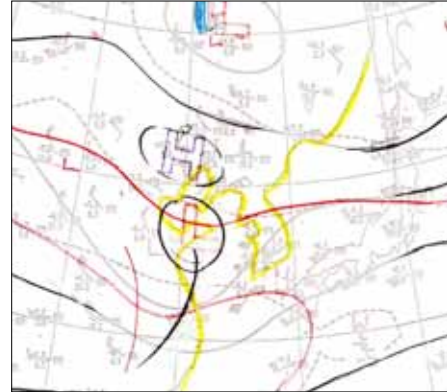


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

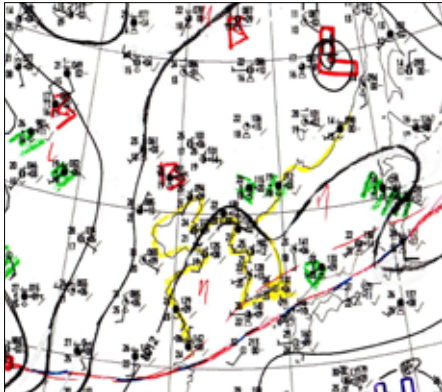
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



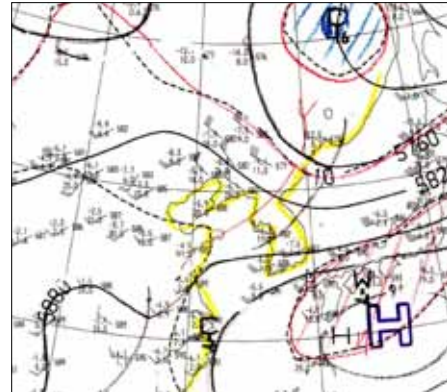
'98. 6. 12. 21시



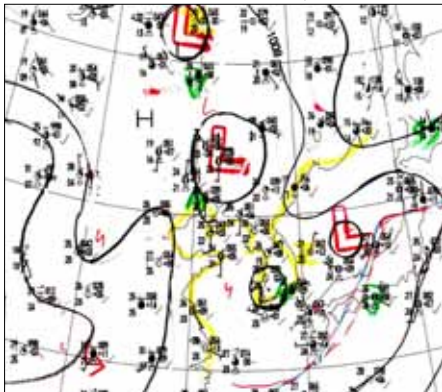
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



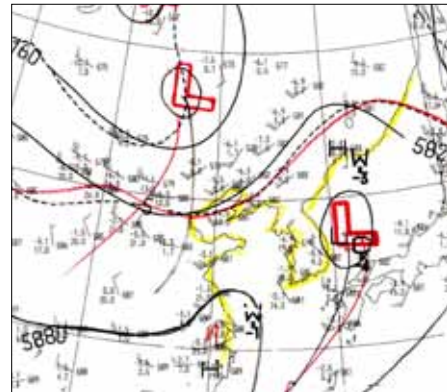
'98. 7. 4. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

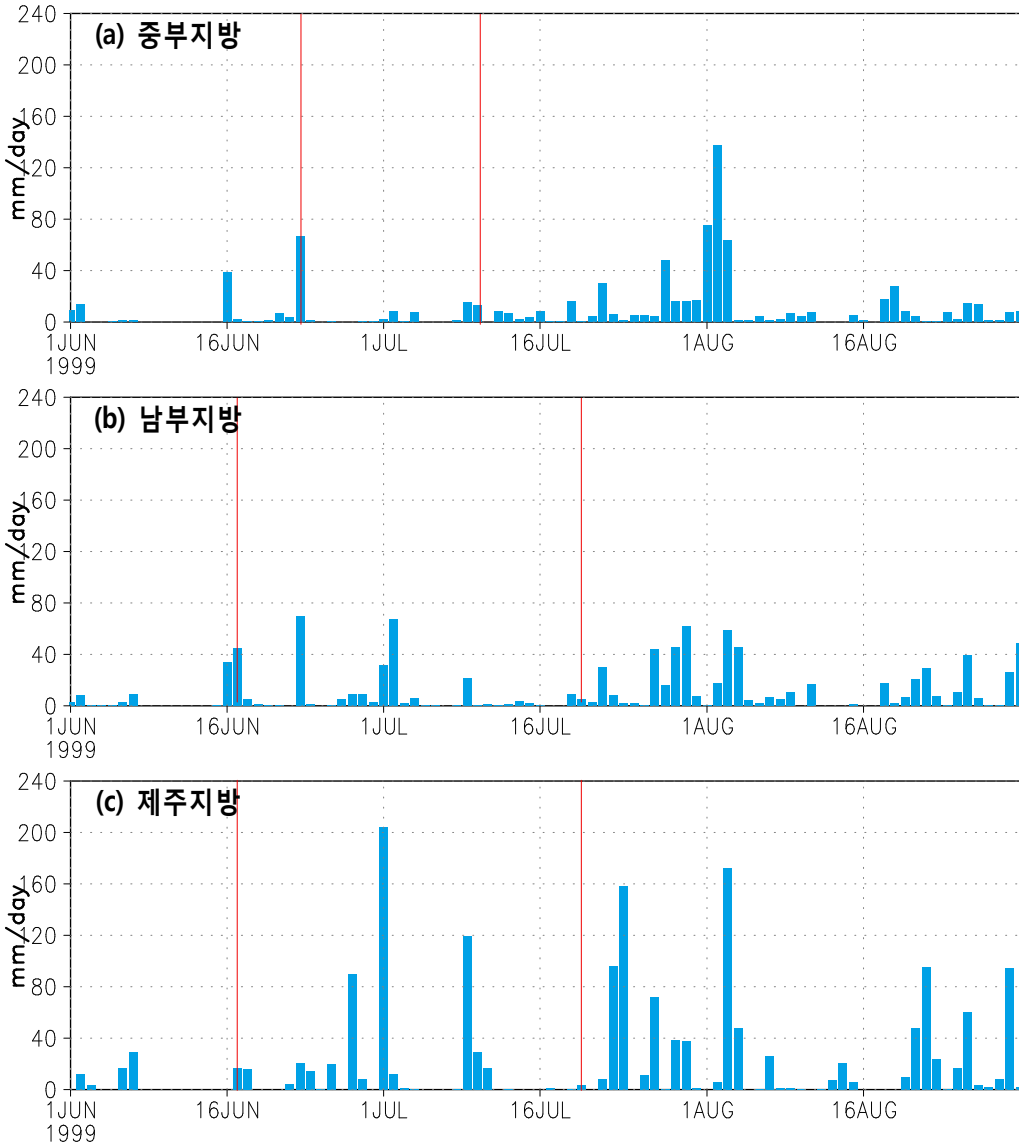


'98. 7. 28. 21시

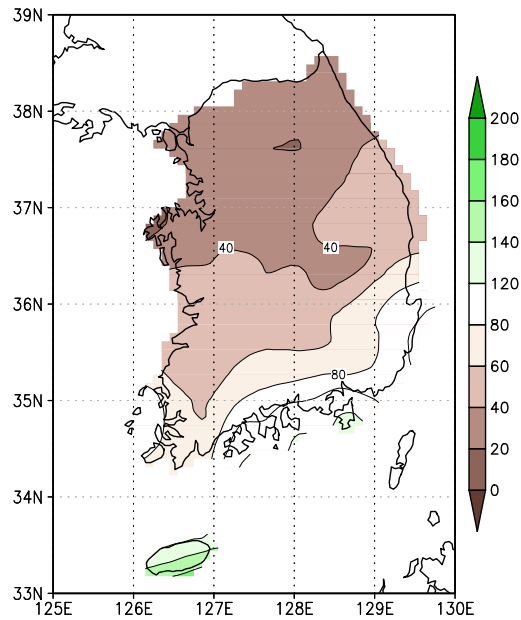
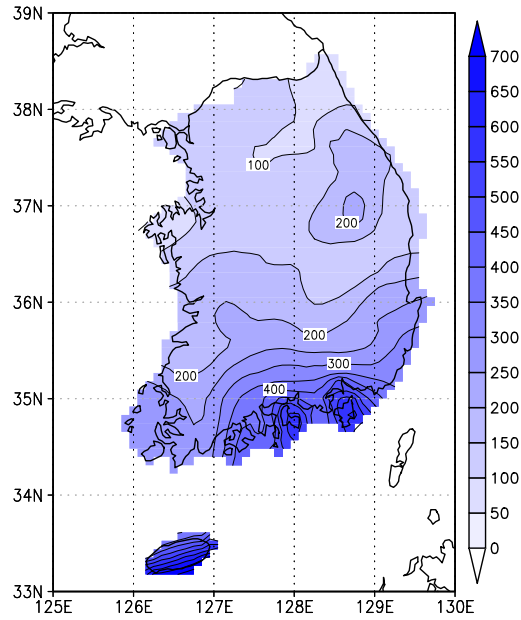


■ 1999년의 장마

(1) 강수량 시계열

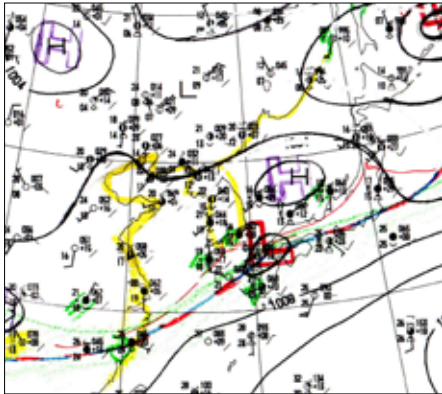


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 1999년 6월 17일 ~ 7월 20일)

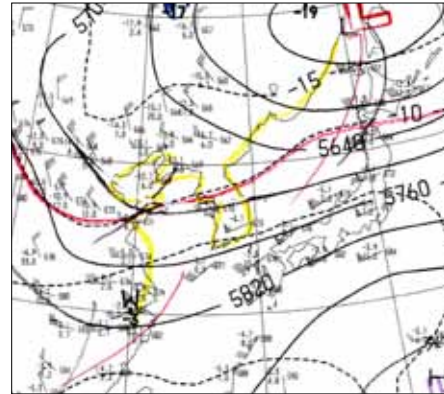


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

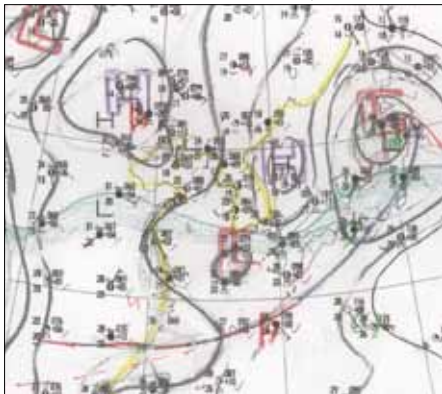
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



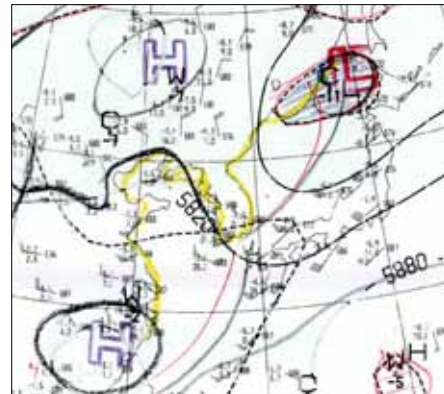
'99. 6. 17. 21시



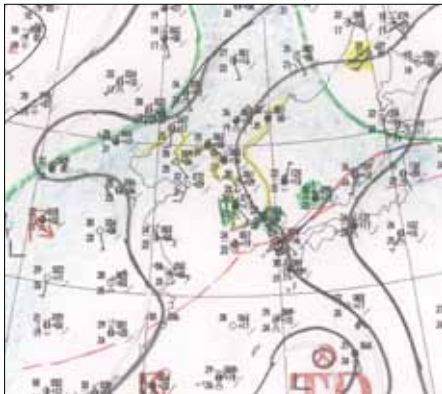
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



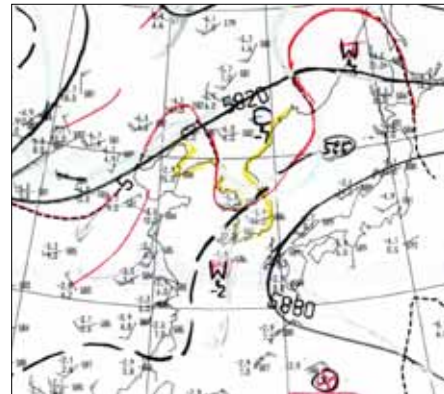
'99. 7. 3. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

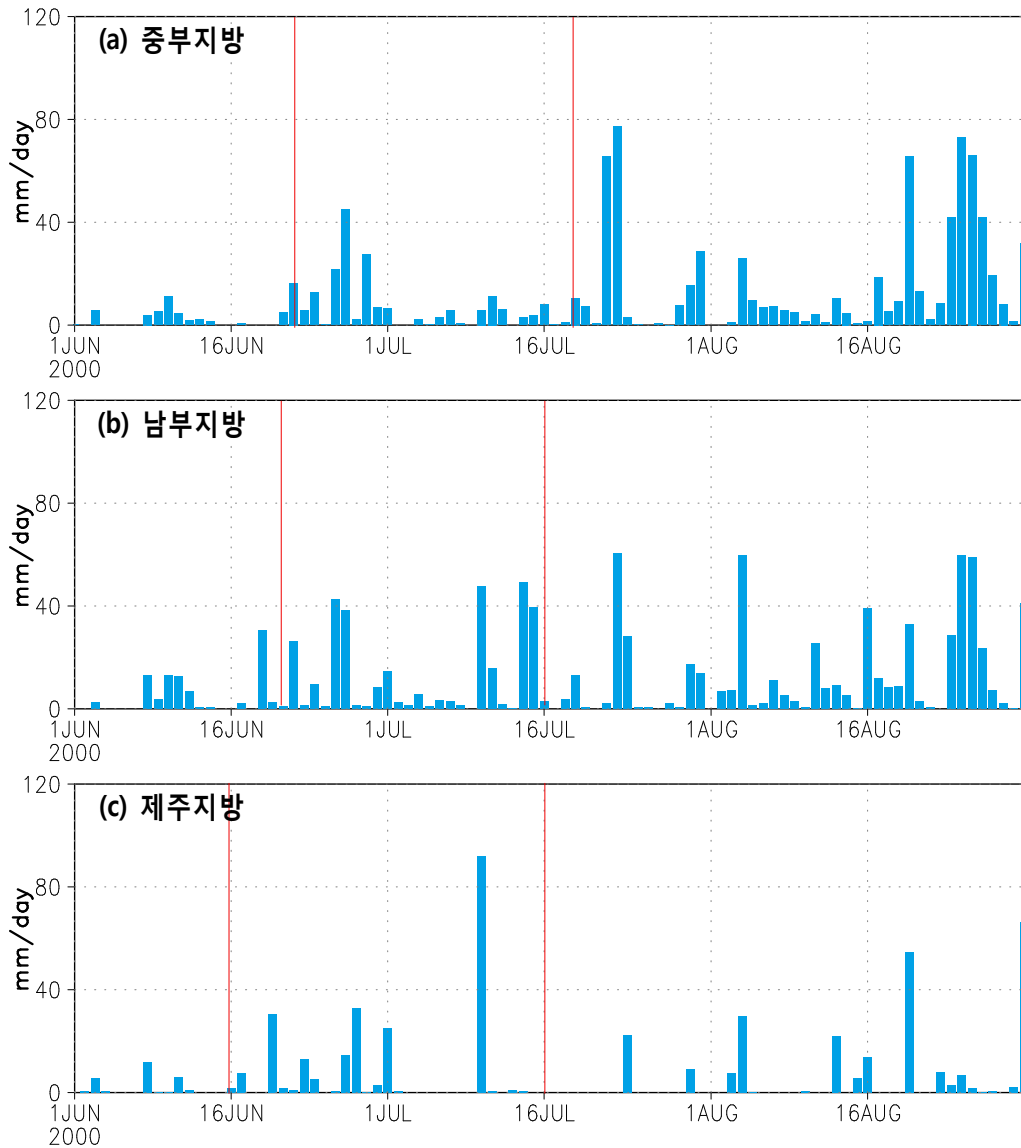


'99. 7. 20. 21시

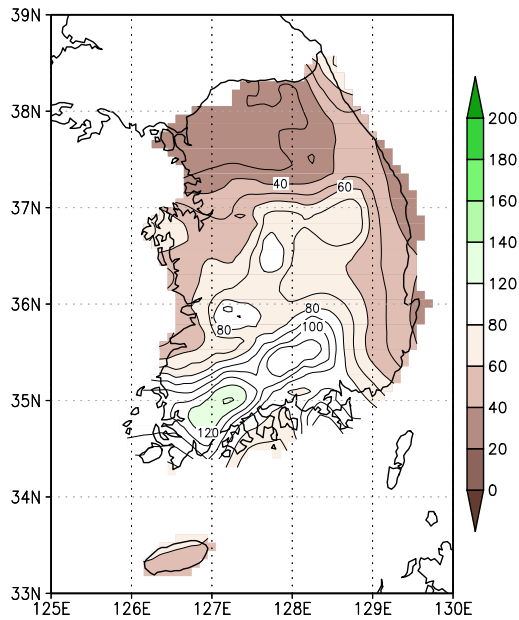
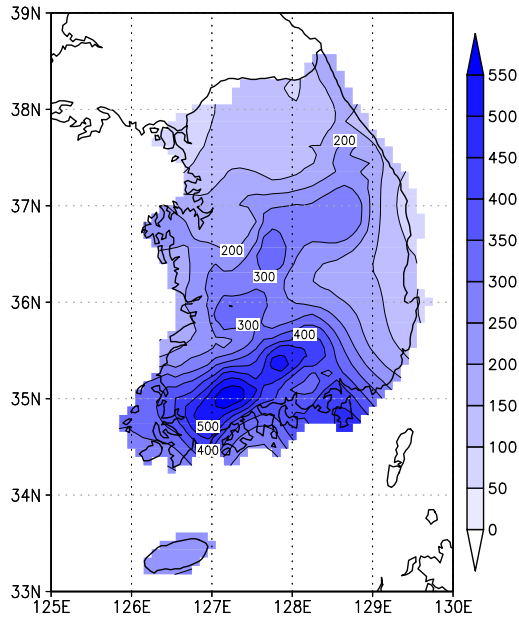


■ 2000년의 장마

(1) 강수량 시계열

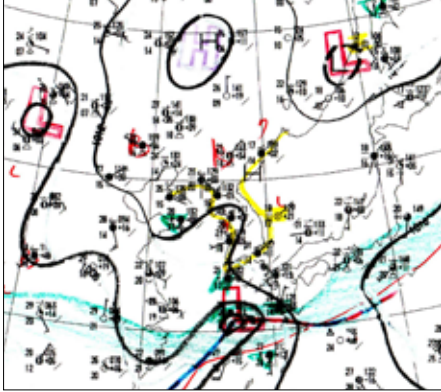


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2000년 6월 16일 ~ 7월 19일)

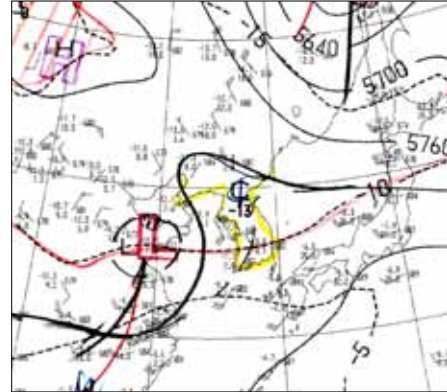


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

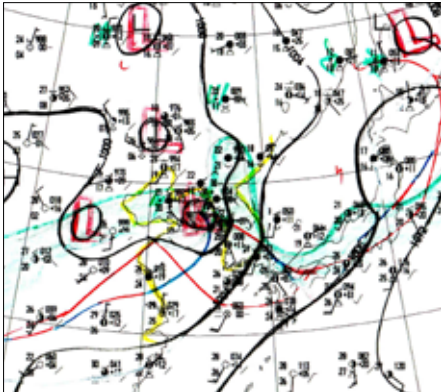
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



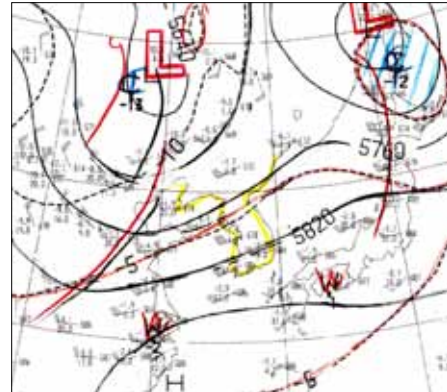
'00. 6. 16. 21시



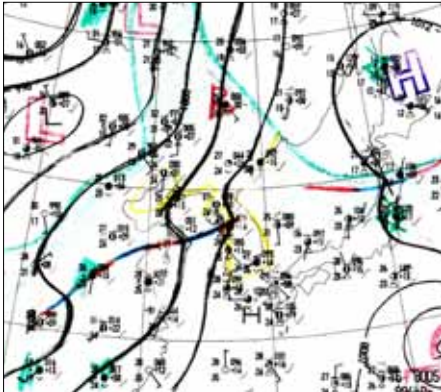
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



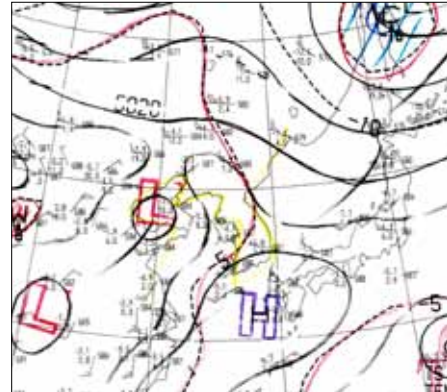
'00. 6. 29. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

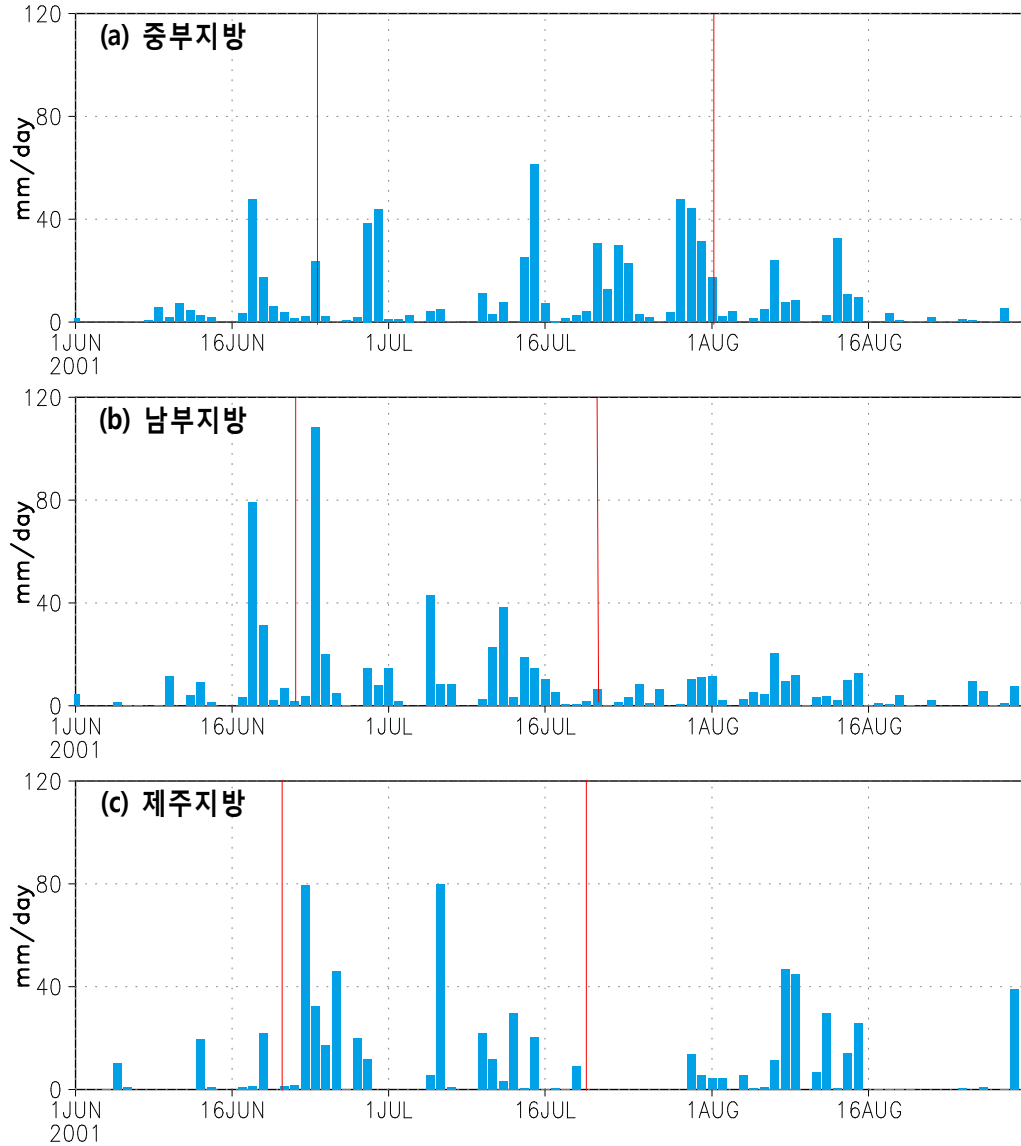


'00. 7. 19. 21시

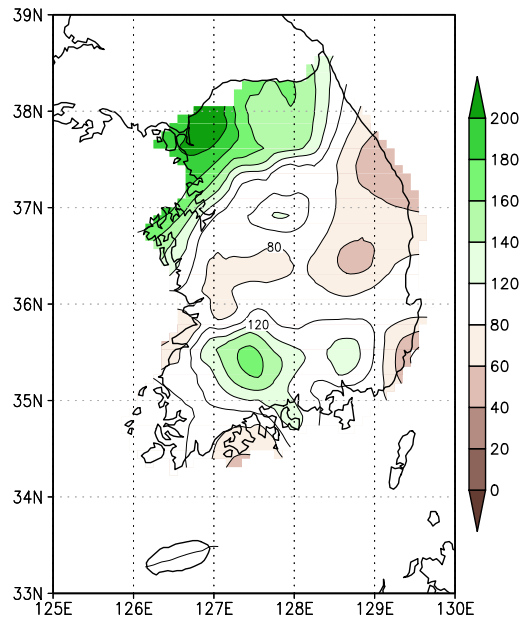
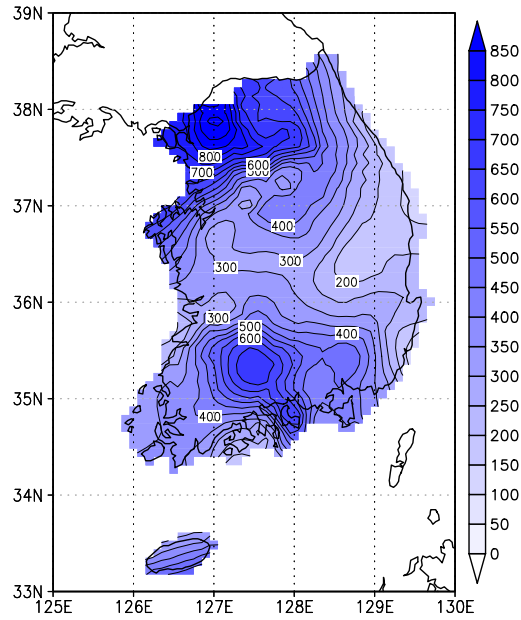


■ 2001년의 장마

(1) 강수량 시계열

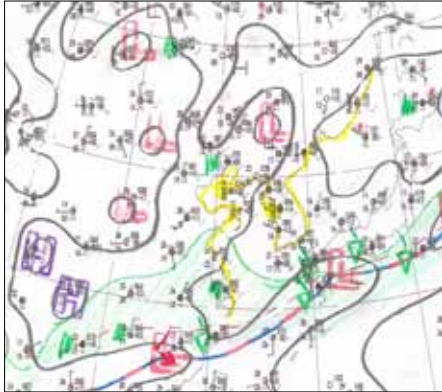


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2001년 6월 21일 ~ 8월 1일)

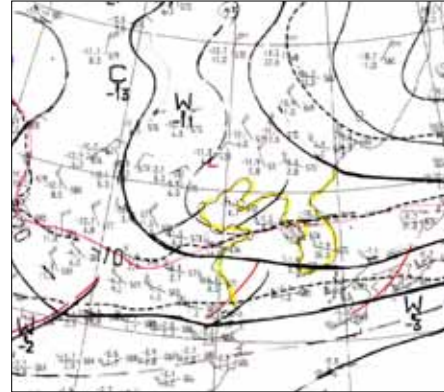


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

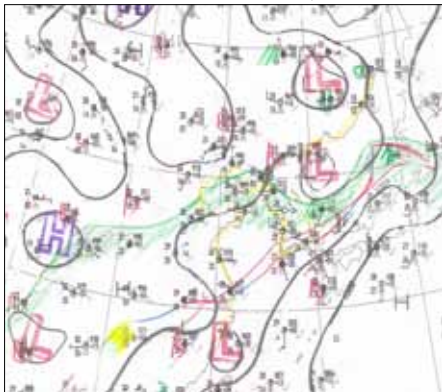
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



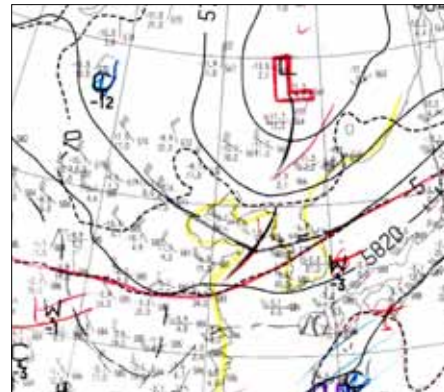
'01. 6. 21. 21시



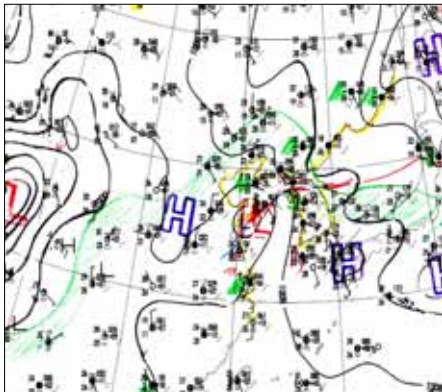
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



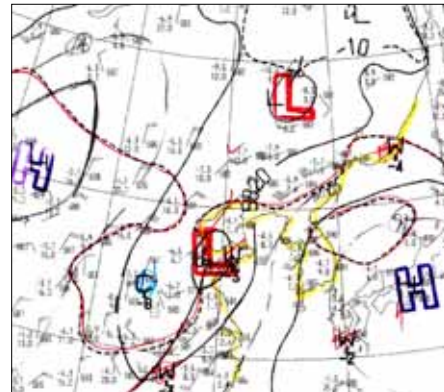
'01. 7. 12. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

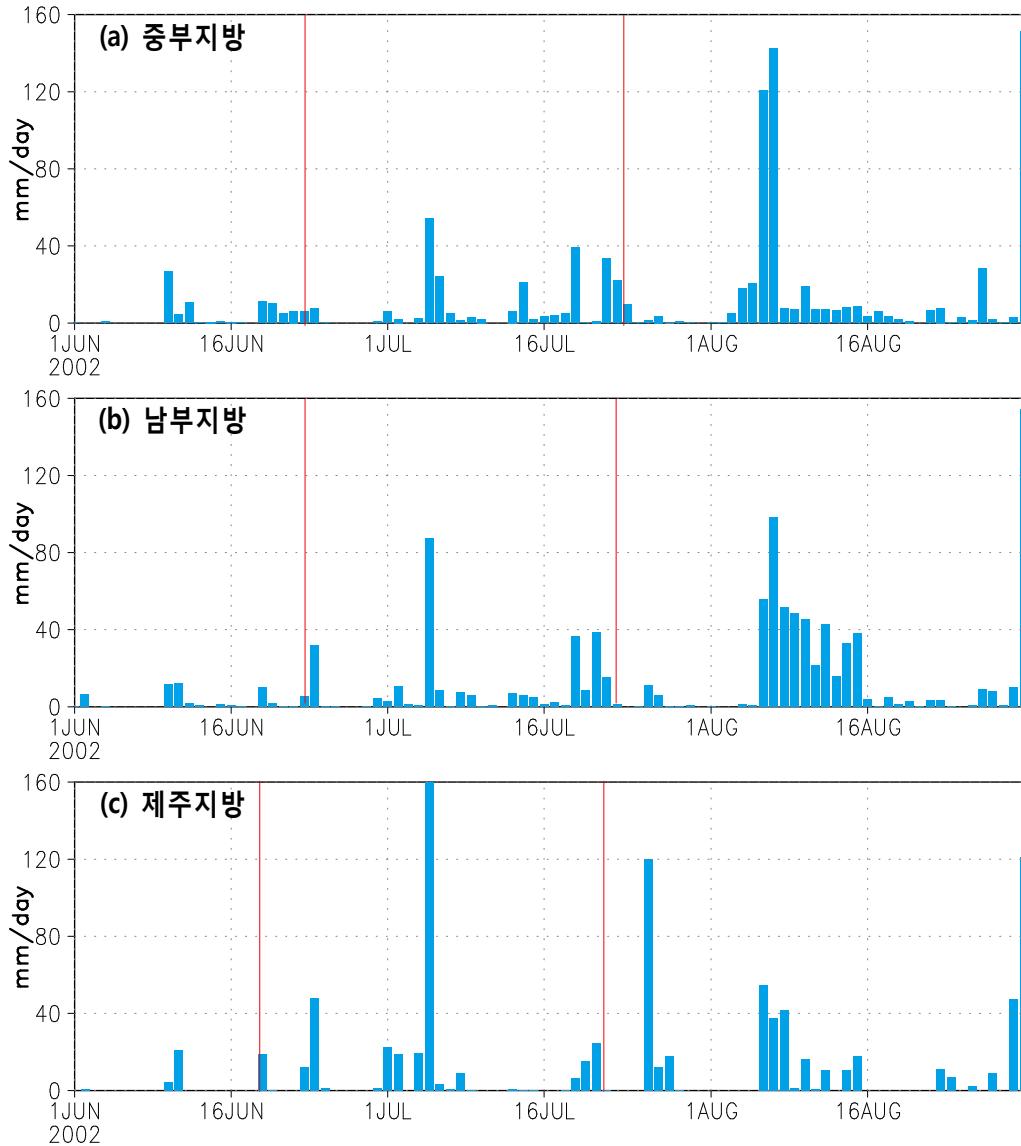


'01. 8. 1. 21시

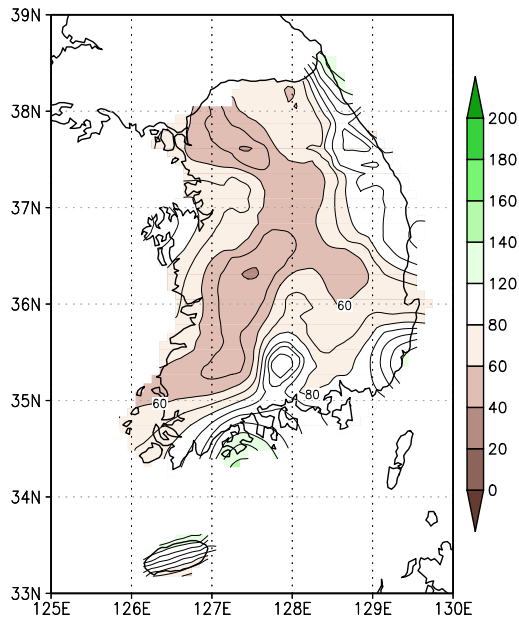
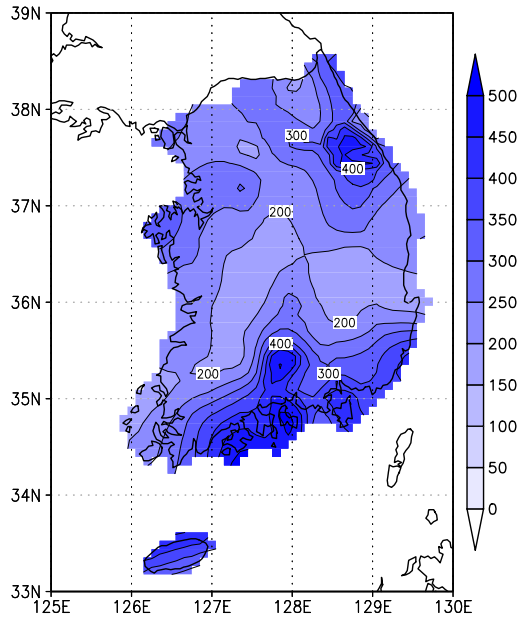


■ 2002년의 장마

(1) 강수량 시계열

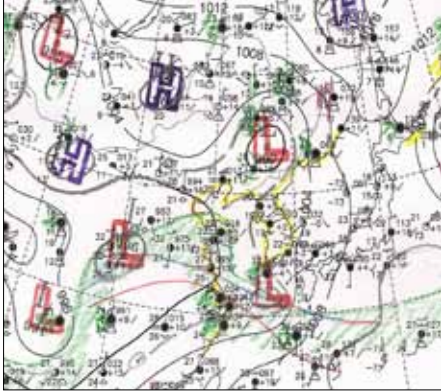


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 :2002년 6월 19일 ~ 7월 24일)

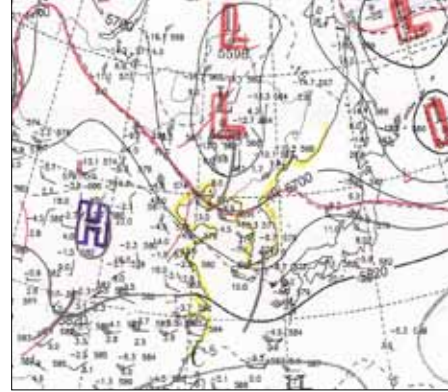


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'02. 6. 19. 21시



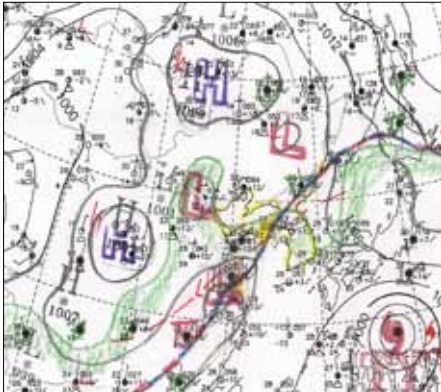
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



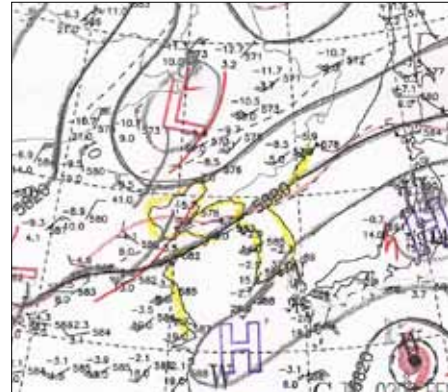
'02. 7. 2. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

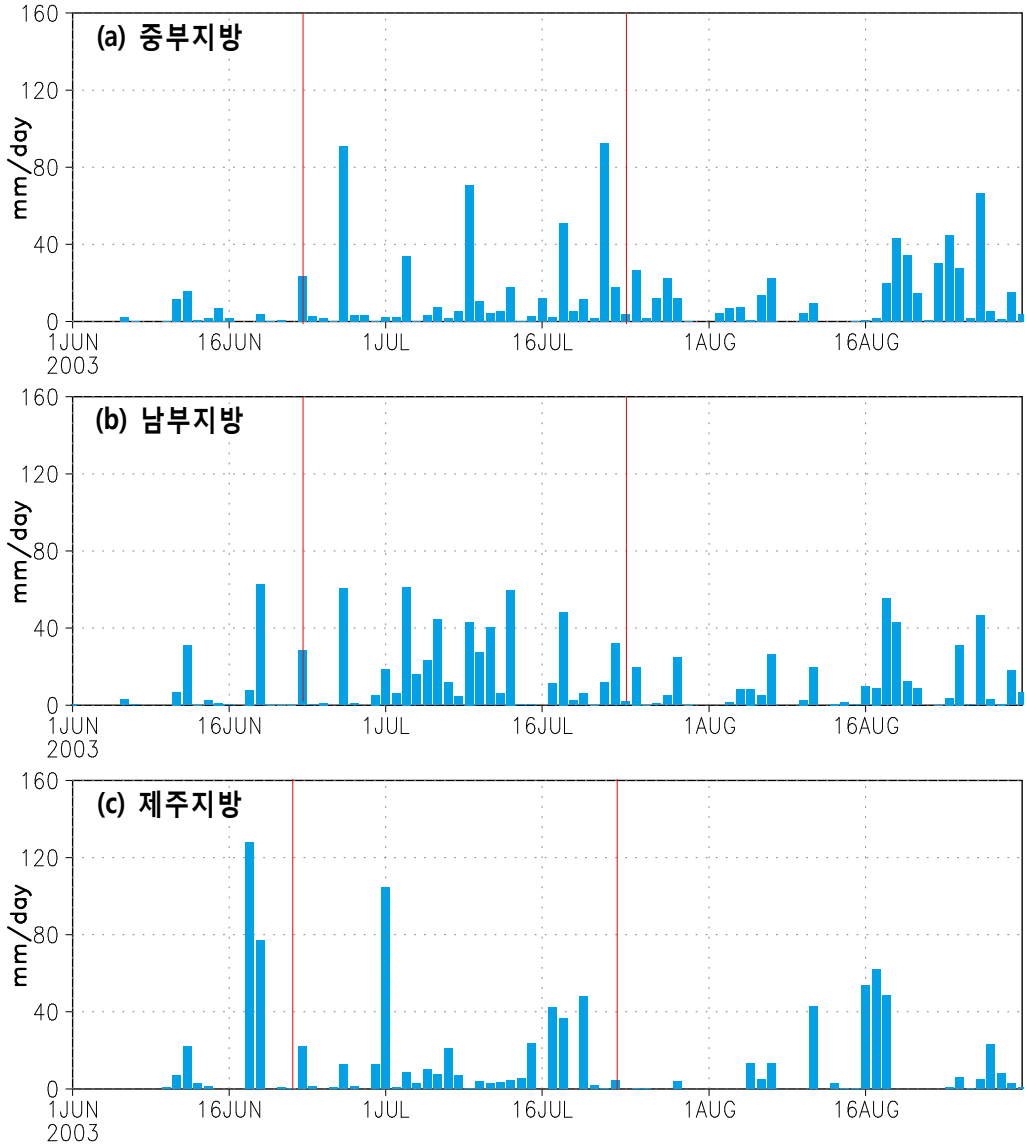


'02. 7. 24. 21시

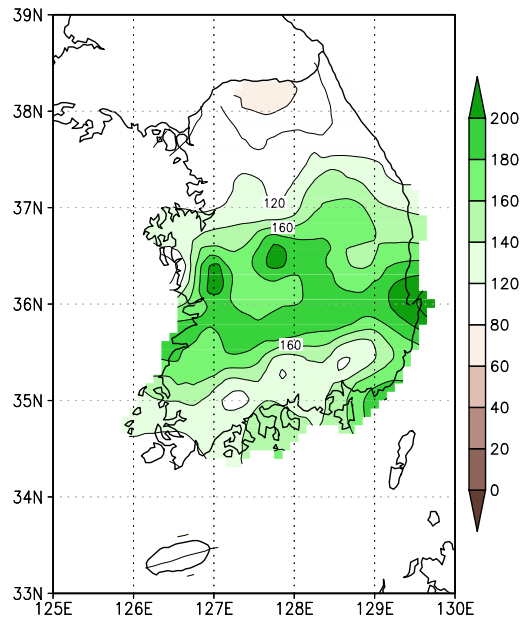
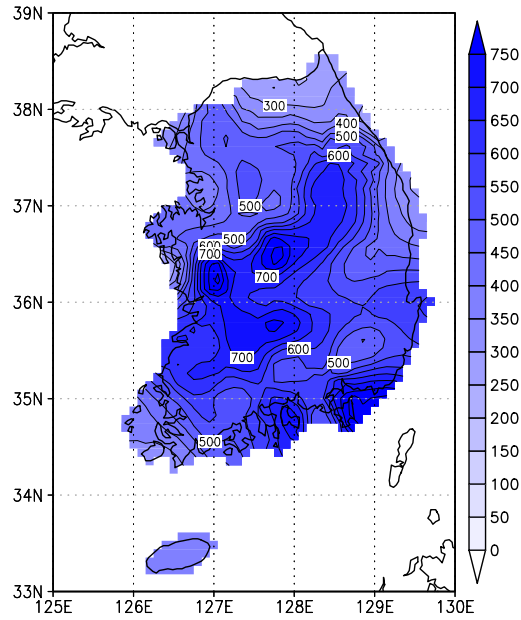


■ 2003년의 장마

(1) 강수량 시계열

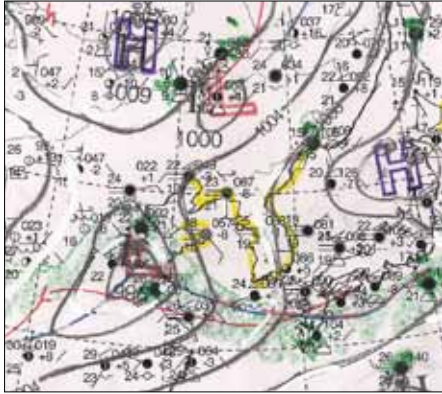


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2003년 6월 22일 ~ 7월 25일)

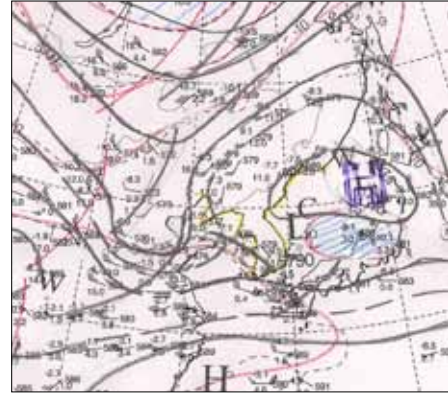


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



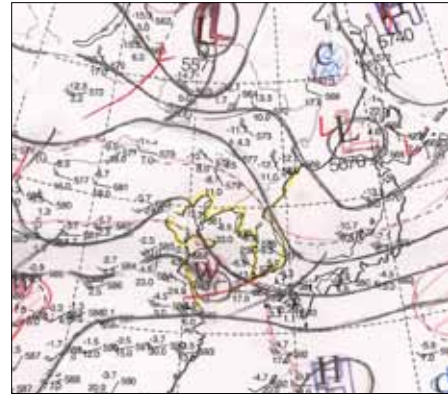
'03. 6. 22. 21시



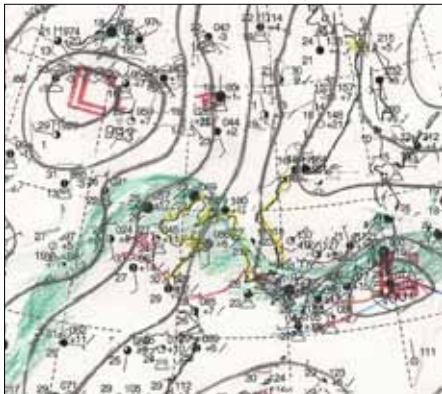
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



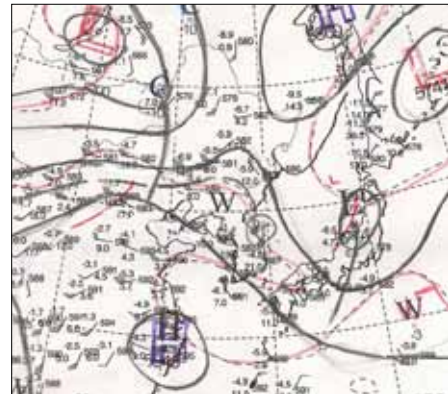
'03. 7. 1. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

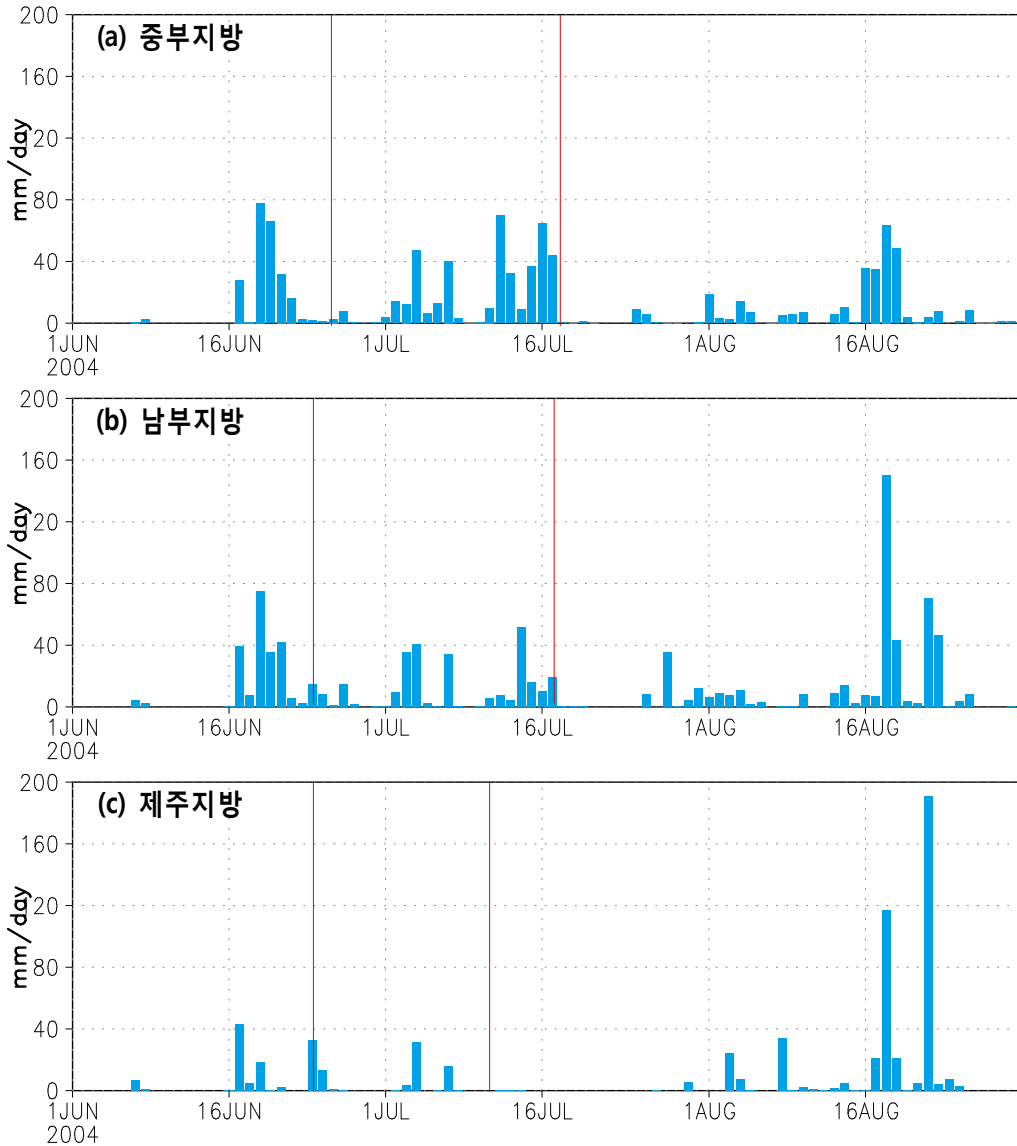


'03. 7. 25. 21시

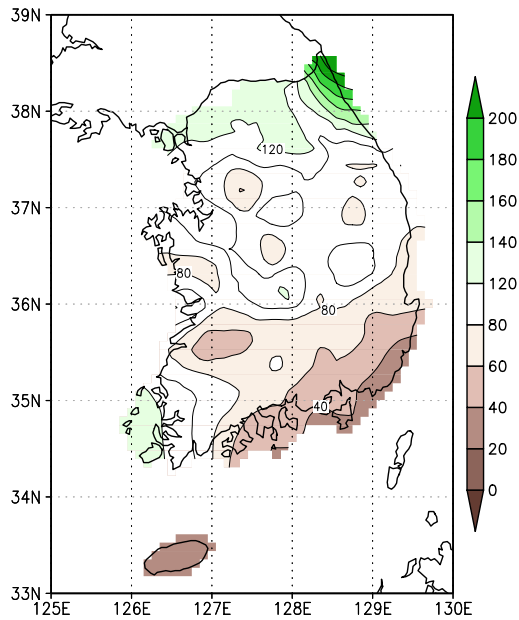
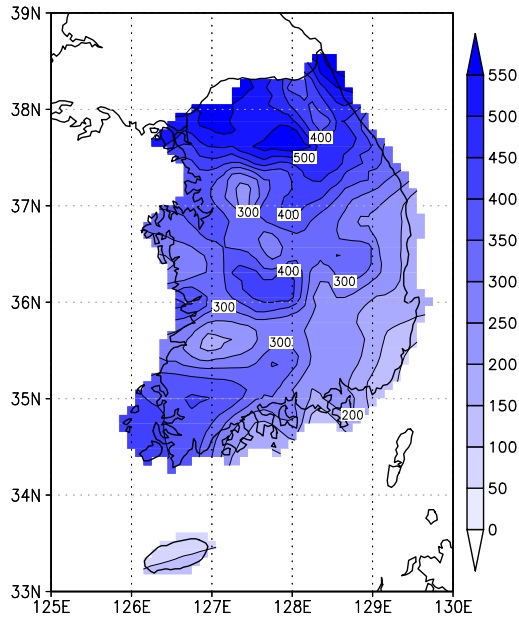


■ 2004년의 장마

(1) 강수량 시계열

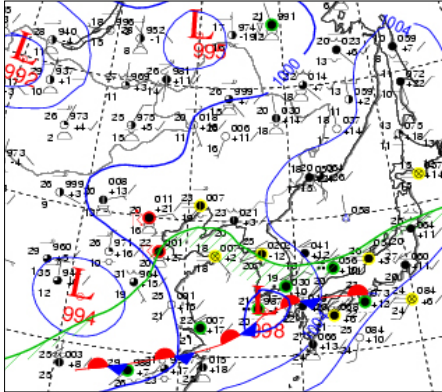


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2004년 6월 24일 ~ 7월 18일)

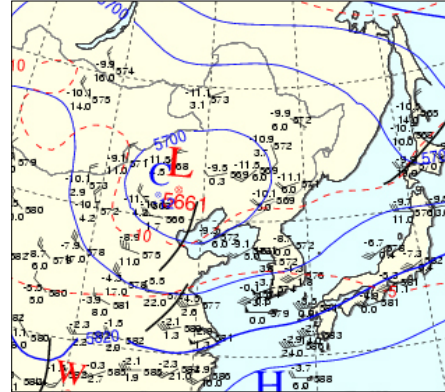


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



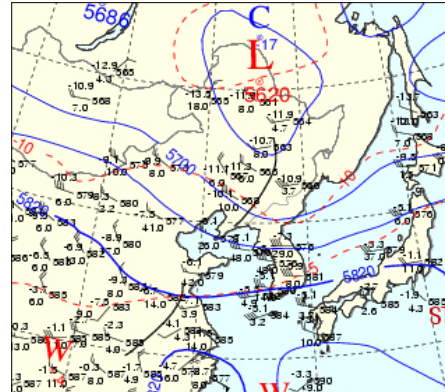
'04. 6. 24. 21시



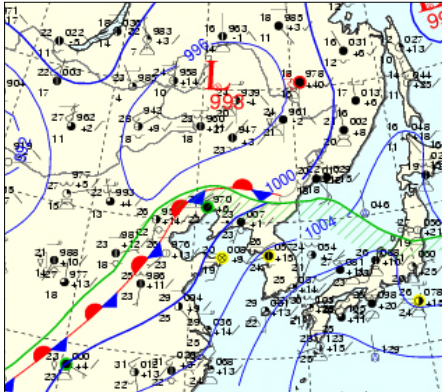
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



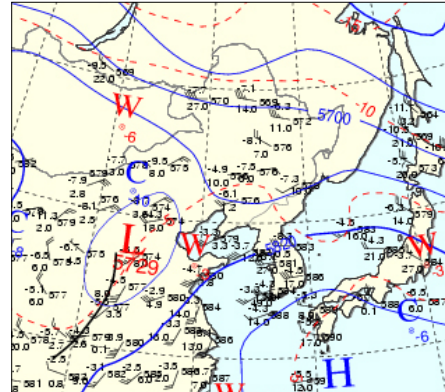
'04. 7. 2. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

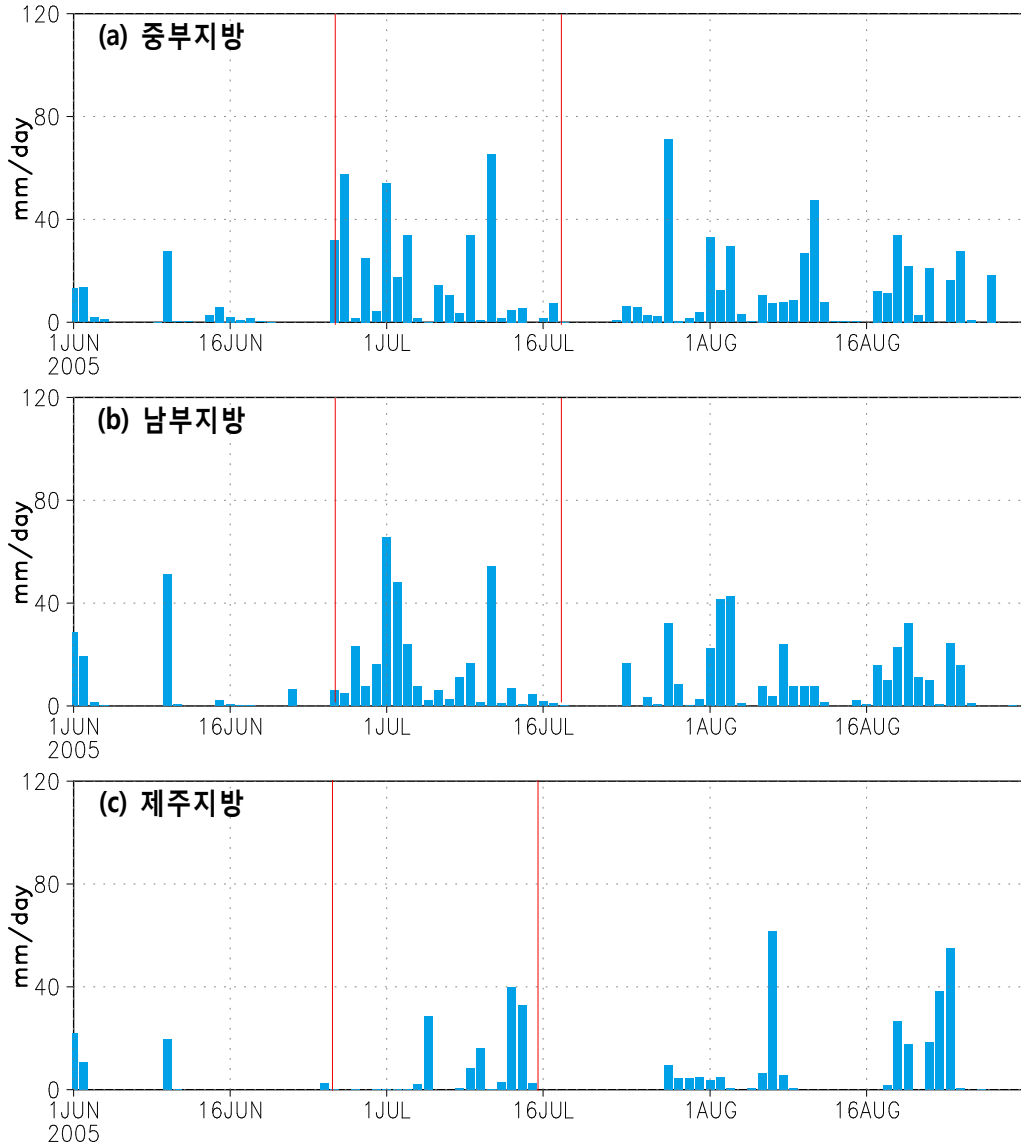


'04. 7. 18. 21시

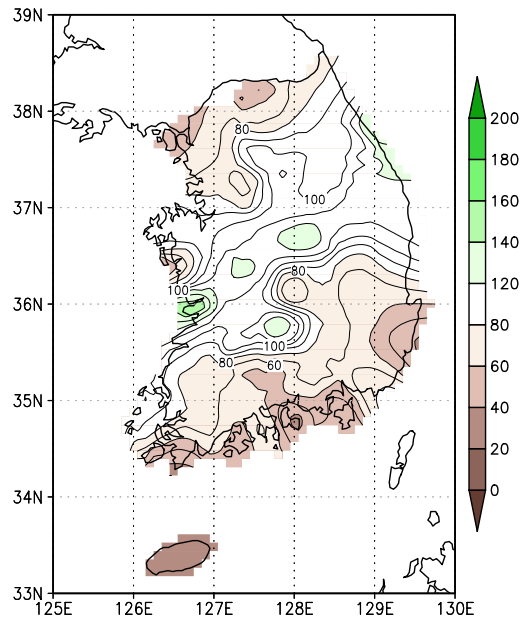
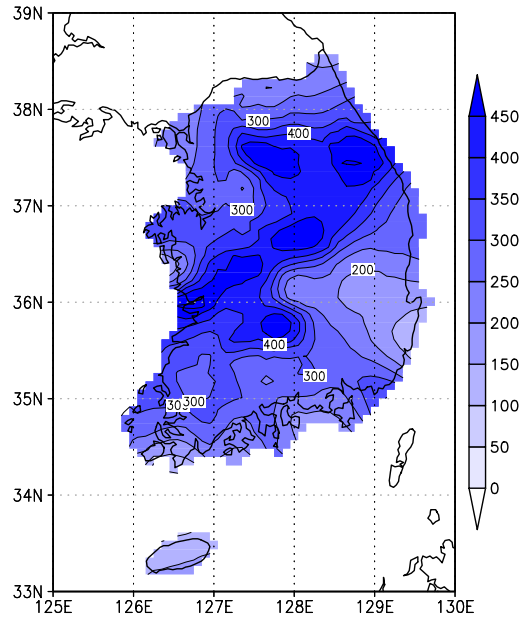


■ 2005년의 장마

(1) 강수량 시계열

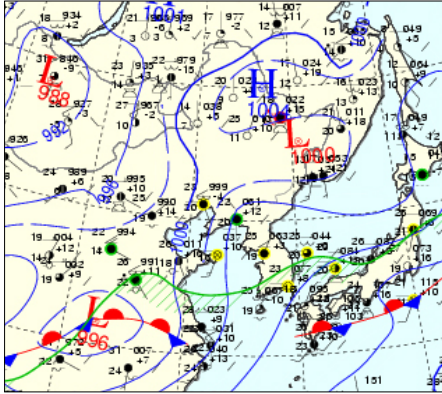


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2005년 6월 25일 ~ 7월 18일)

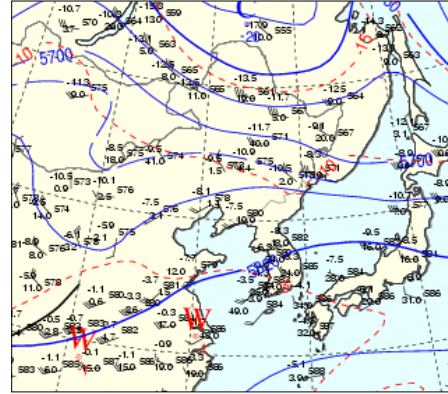


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

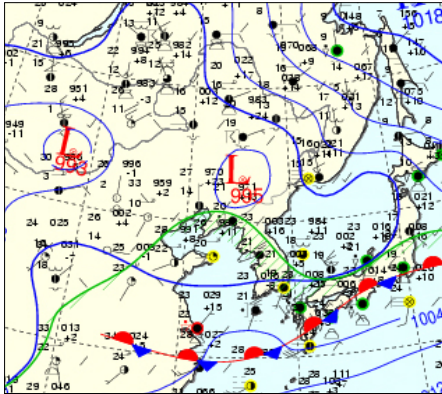
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



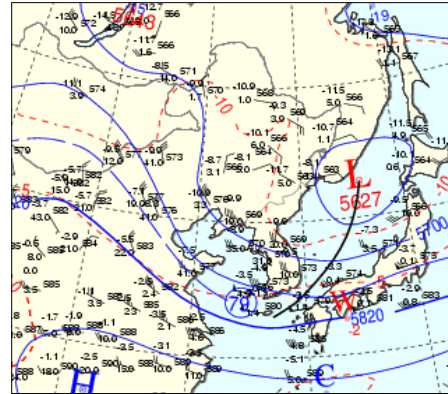
'05. 6. 25. 21시



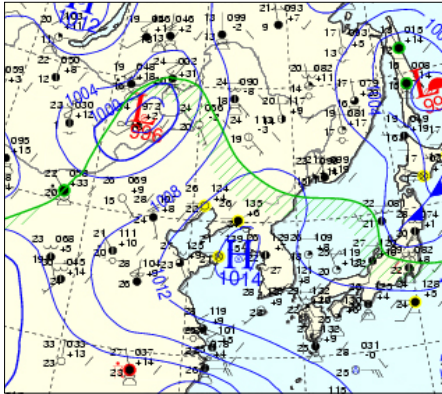
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



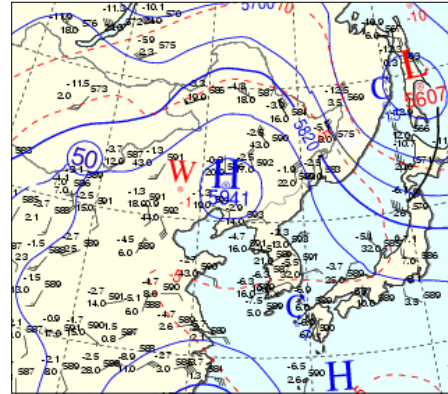
'05. 7. 5. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

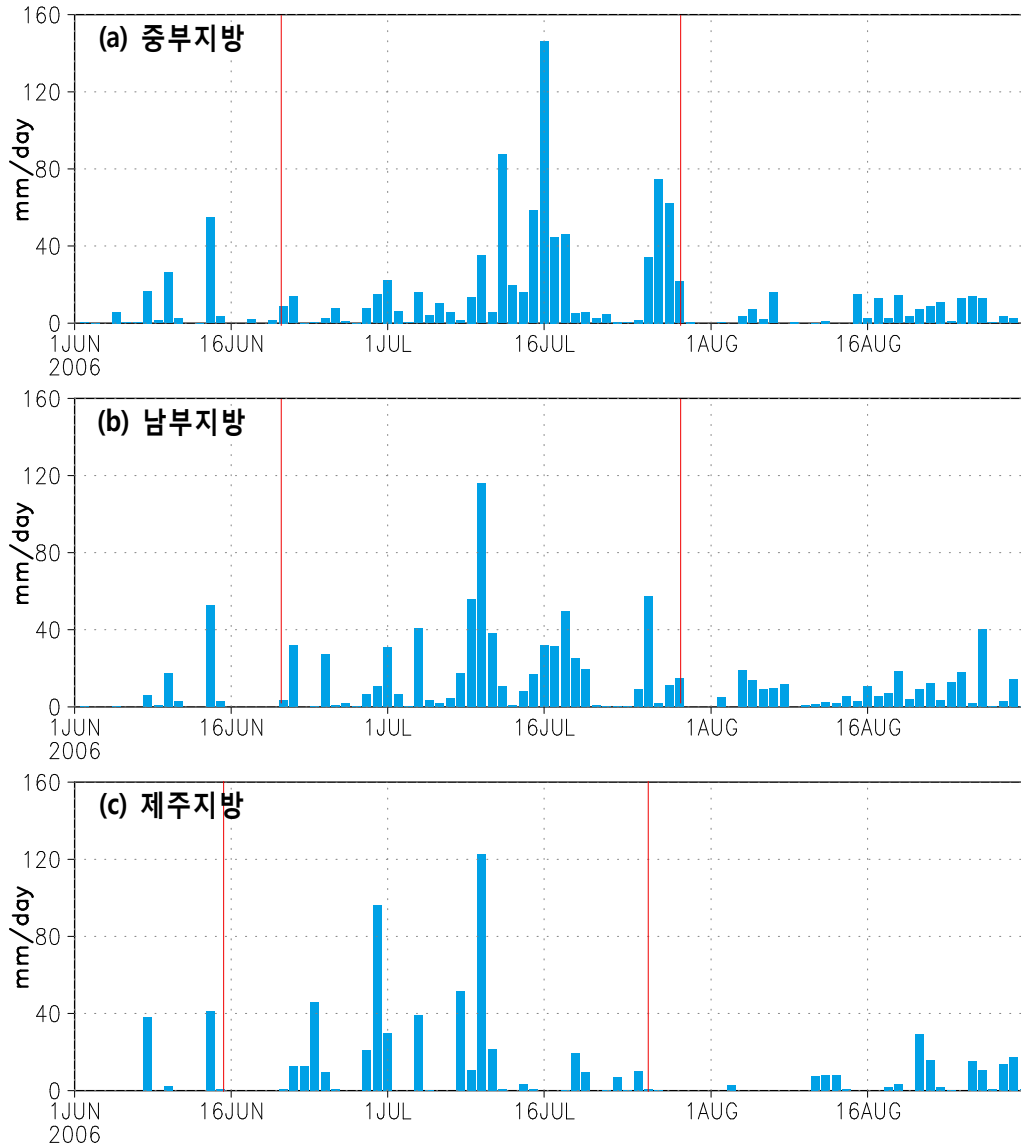


'05. 7. 18. 21시

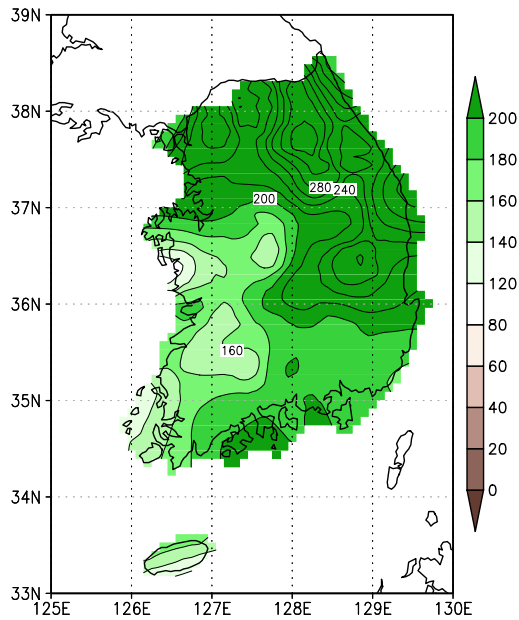
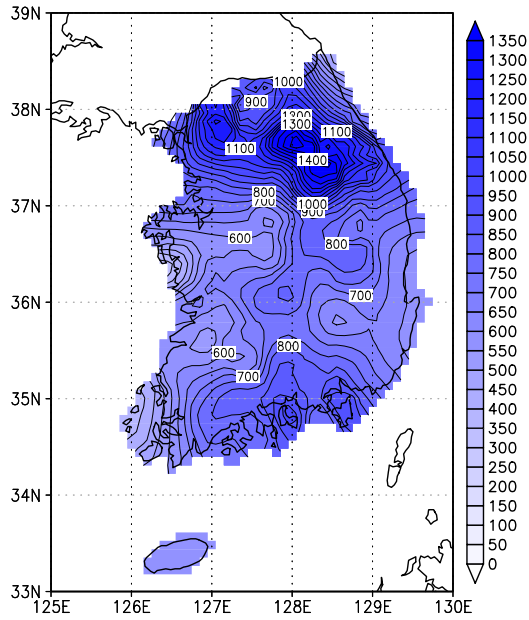


■ 2006년의 장마

(1) 강수량 시계열

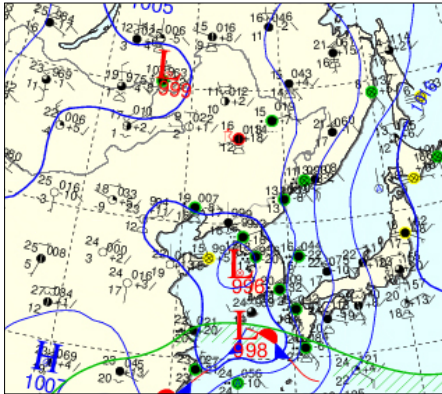


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2006년 6월 14일 ~ 7월 29일)

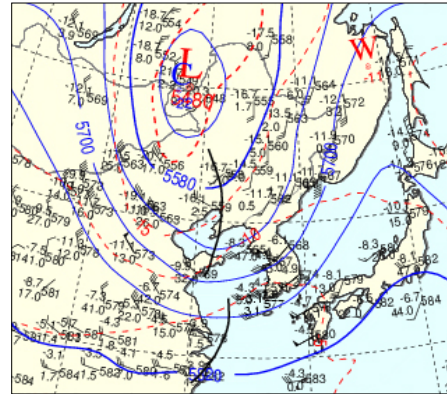


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

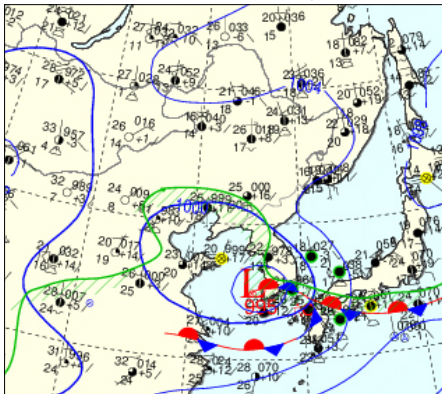
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



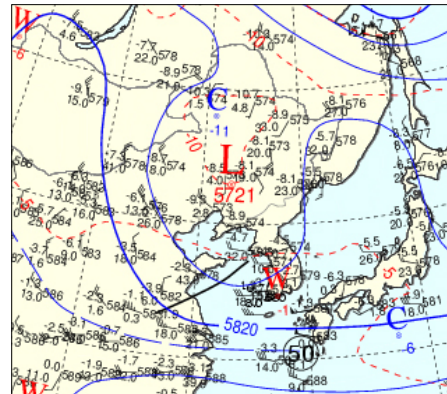
'06. 6. 14. 21시



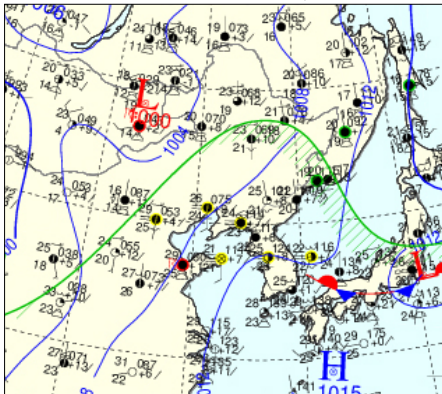
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



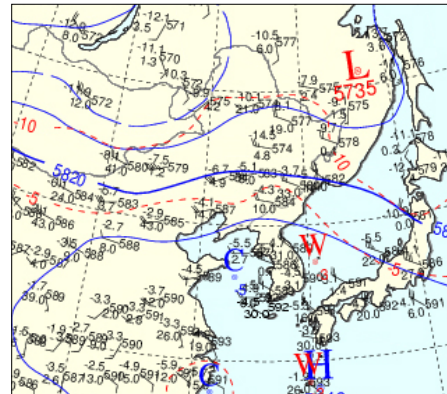
'06. 7. 4. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

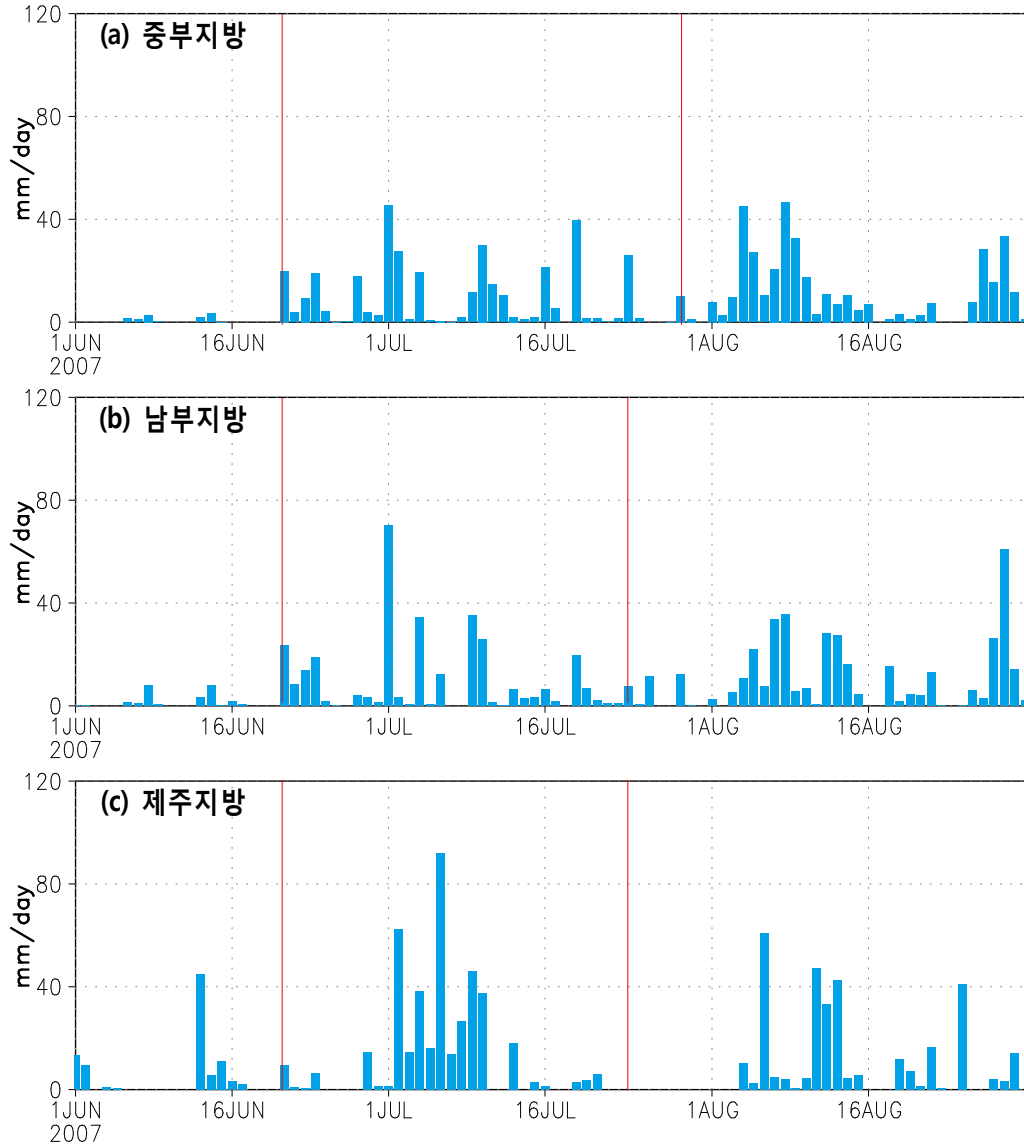


'06. 7. 29. 21시

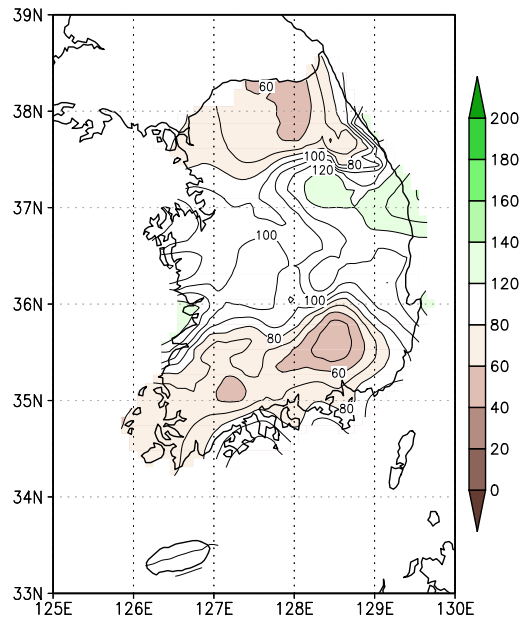
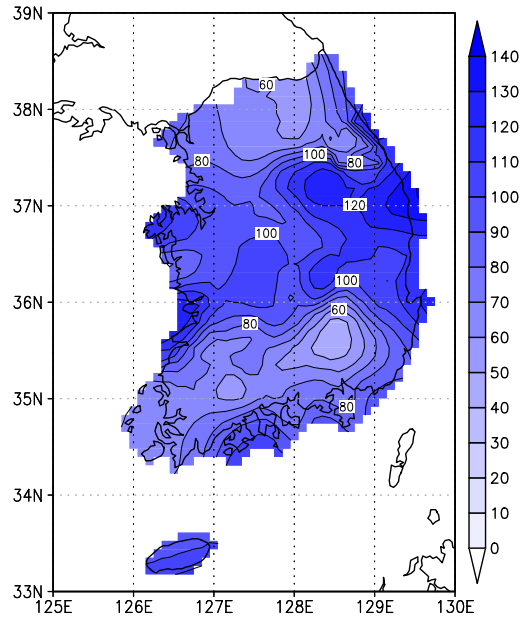


■ 2007년의 장마

(1) 강수량 시계열

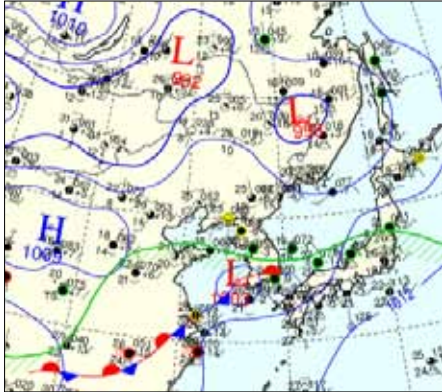


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2007년 6월 21일 ~ 7월 29일)

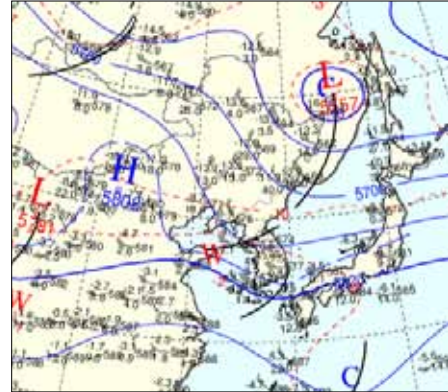


(3) 장마 시종 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

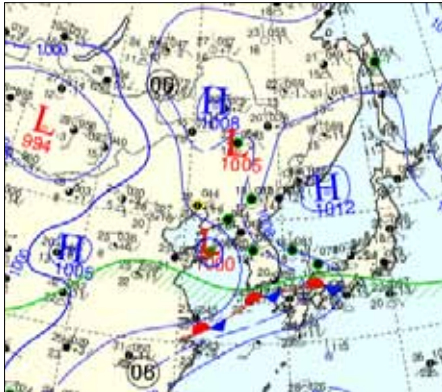
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



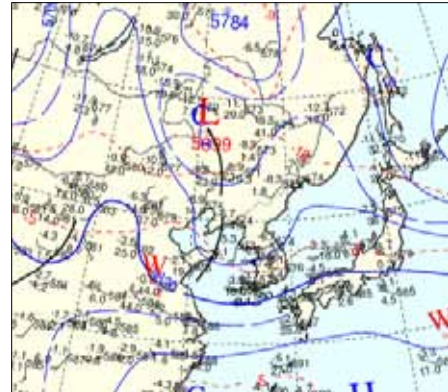
'07. 6. 21. 21시



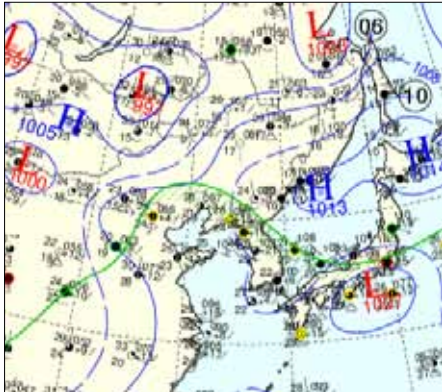
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



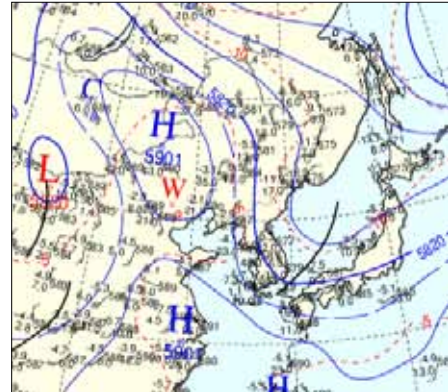
'07. 7. 1. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

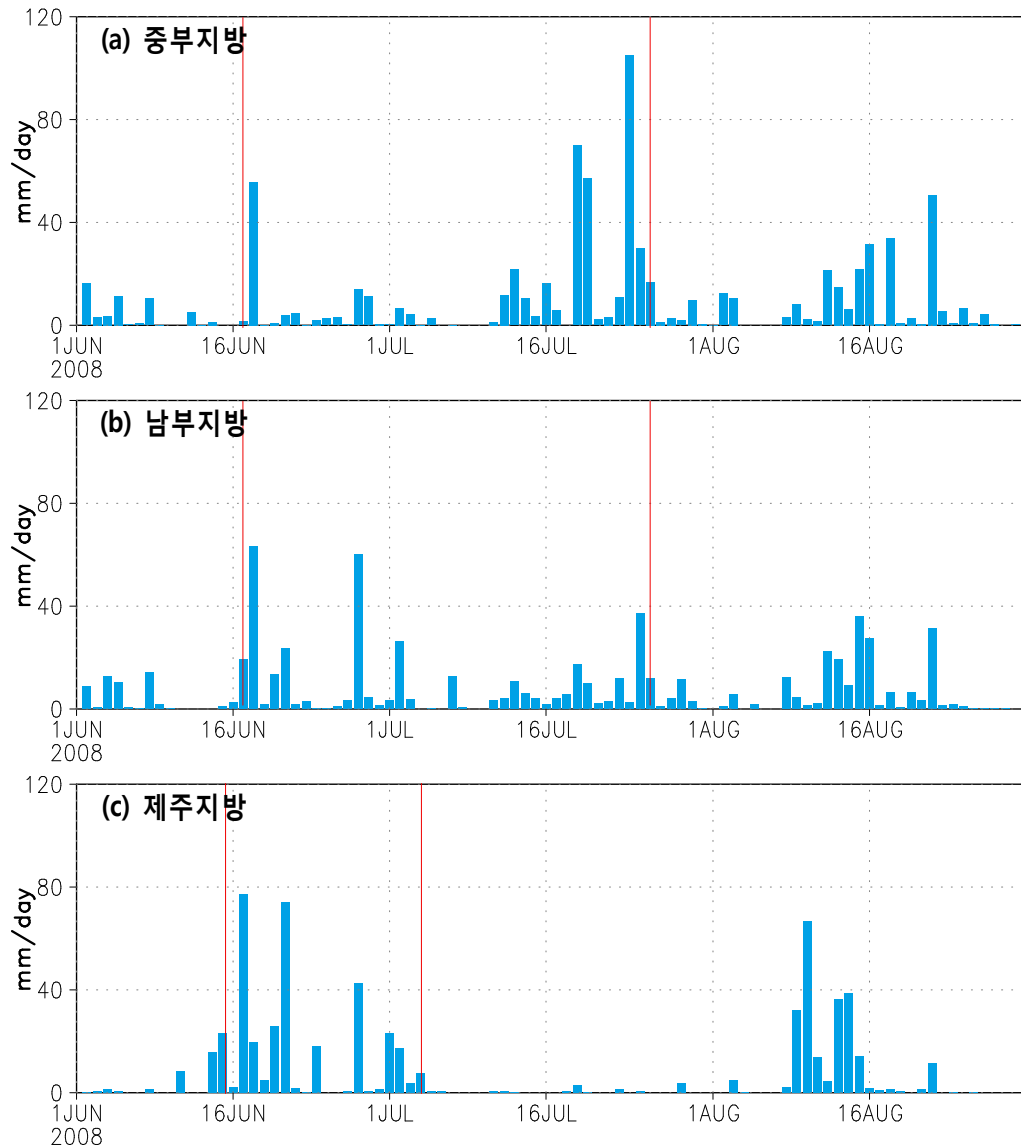


'07. 7. 29. 21시

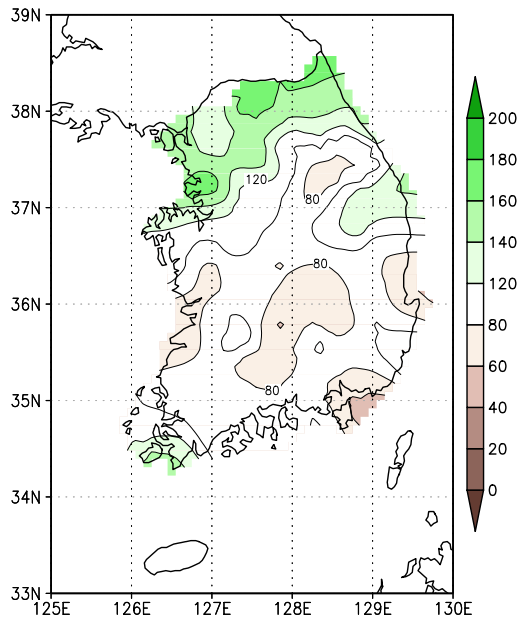
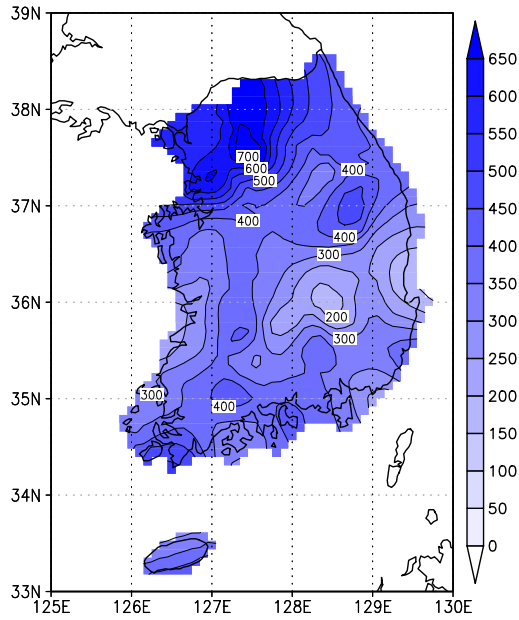


■ 2008년의 장마

(1) 강수량 시계열

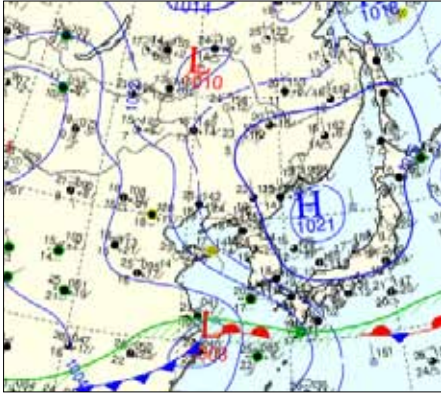


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2008년 6월 14일 ~ 7월 26일)

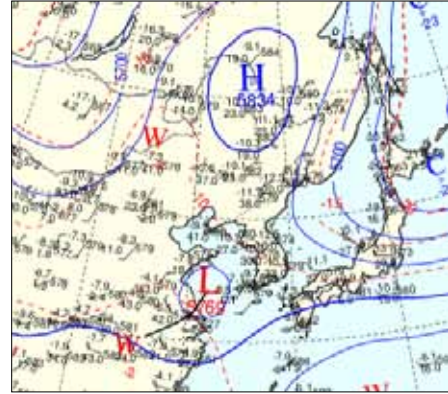


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

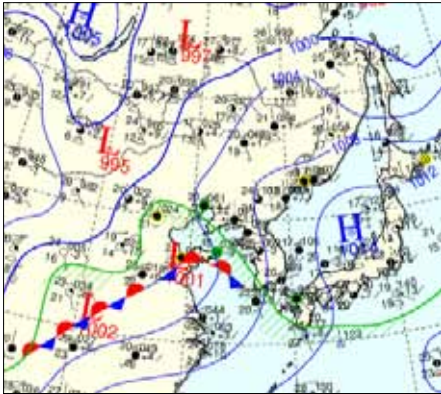
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



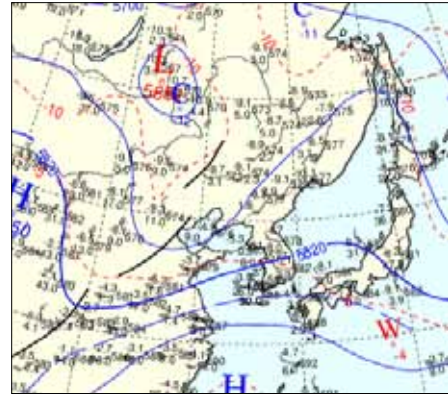
'08. 6. 14. 21시



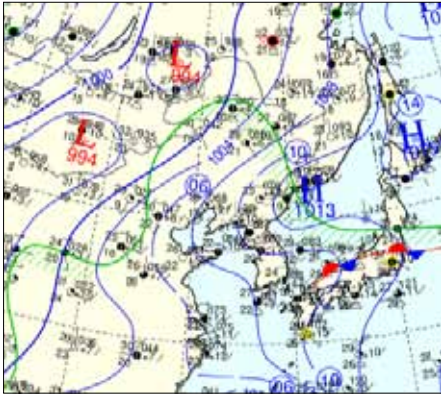
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



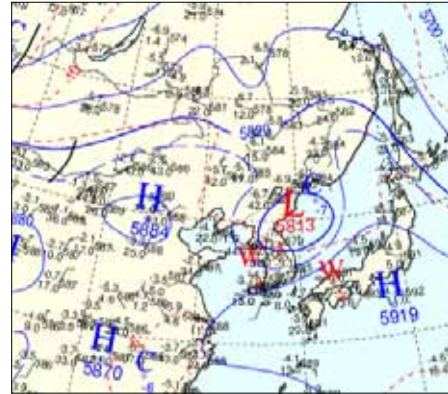
'08. 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

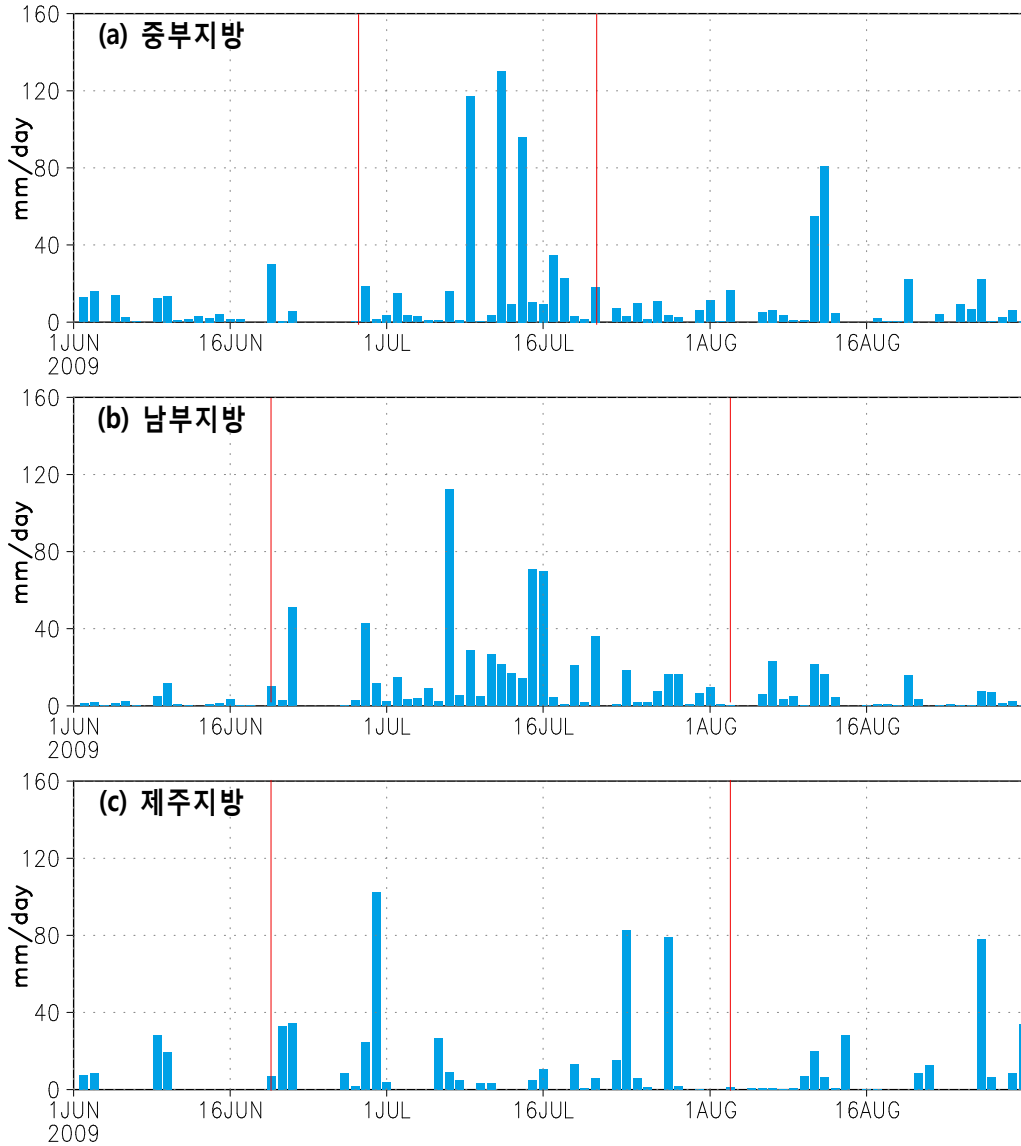


'08. 7. 26. 21시

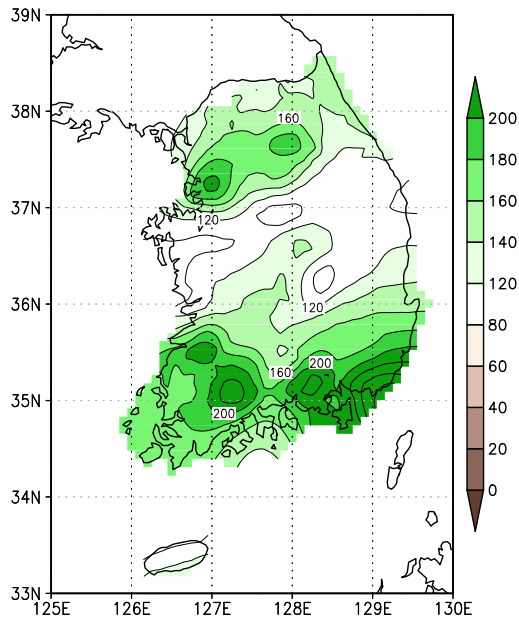
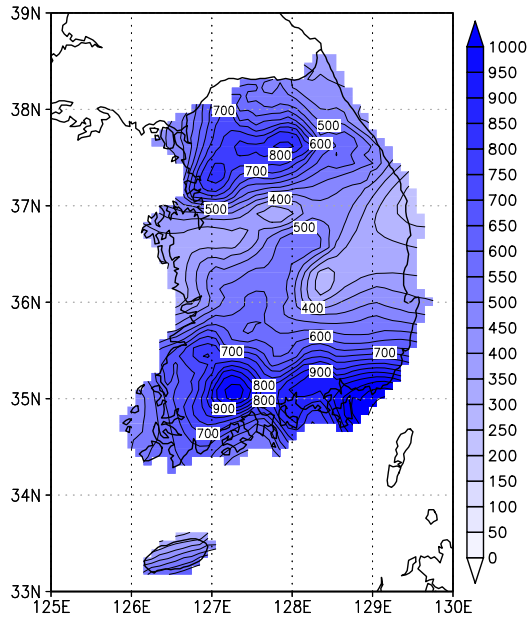


■ 2009년의 장마

(1) 강수량 시계열

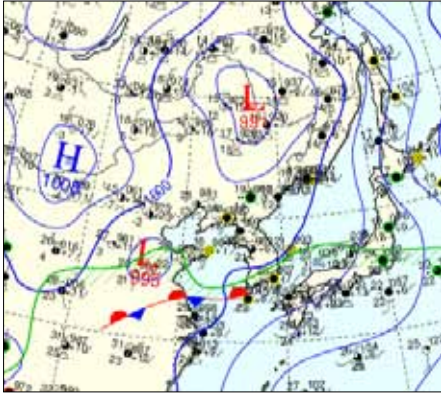


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2009년 6월 21일 ~ 8월 3일)

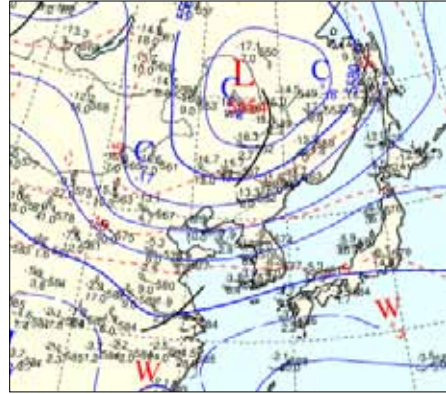


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

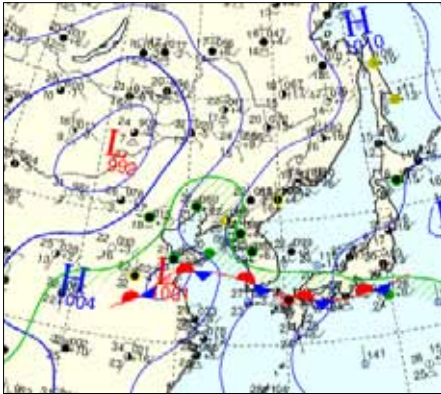
● 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



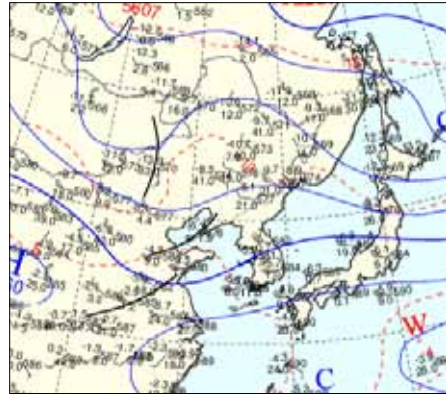
'09. 6. 21. 21시



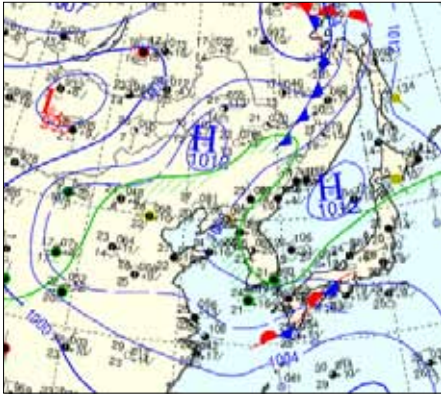
● 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



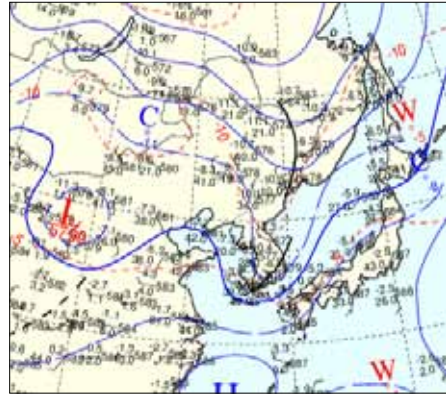
'09 7. 11. 21시



● 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)

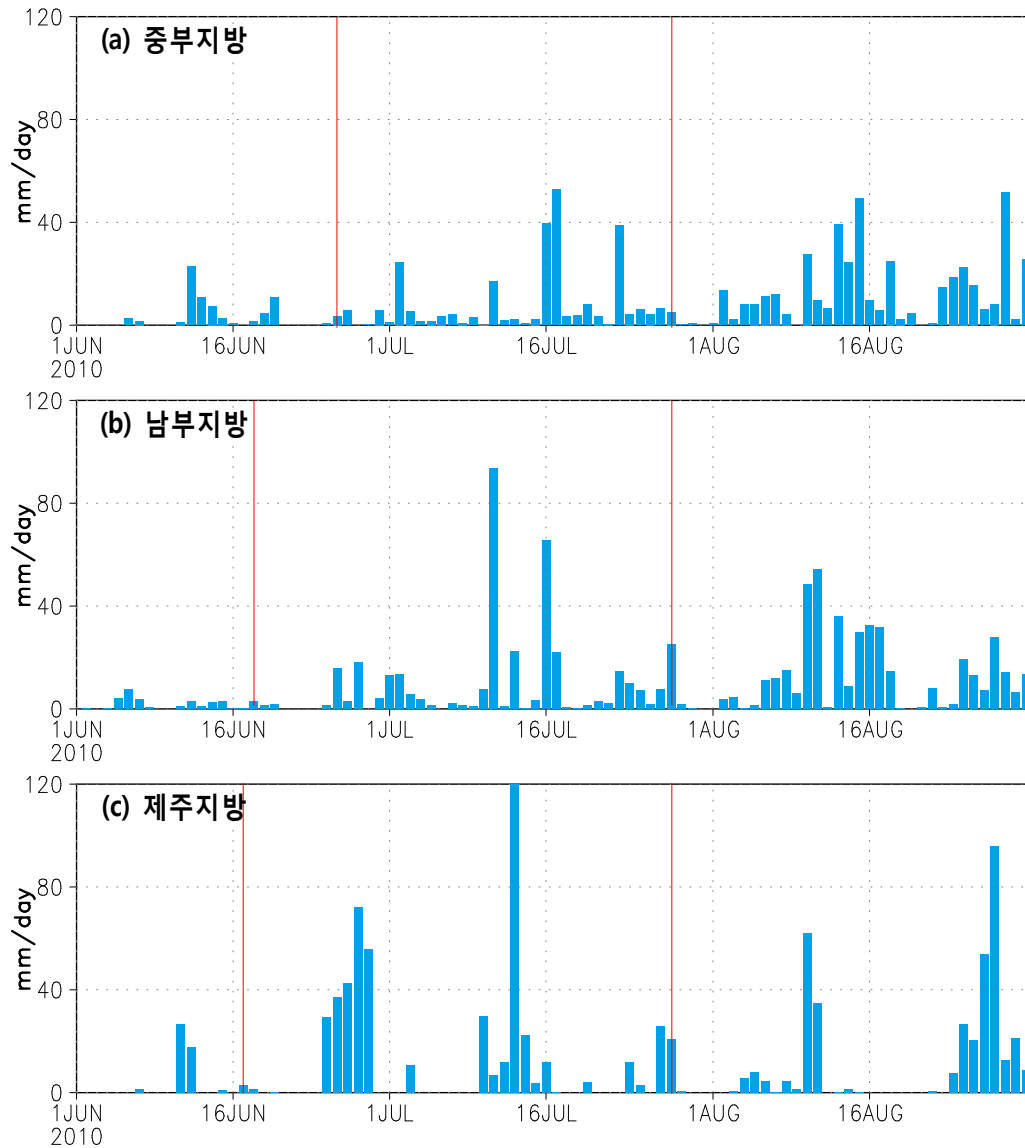


'09. 8. 3. 21시

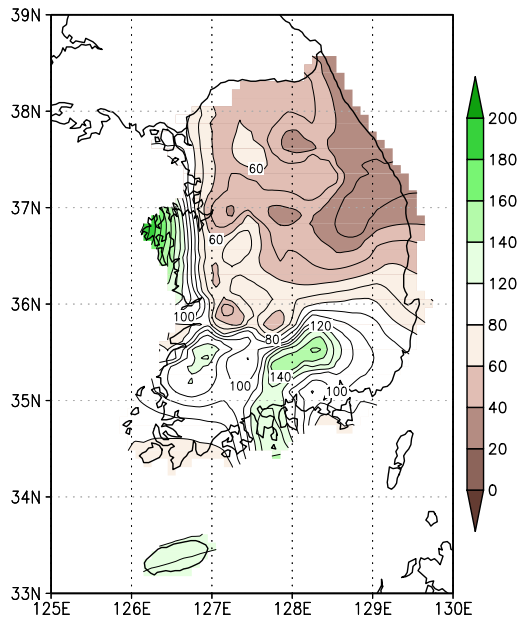
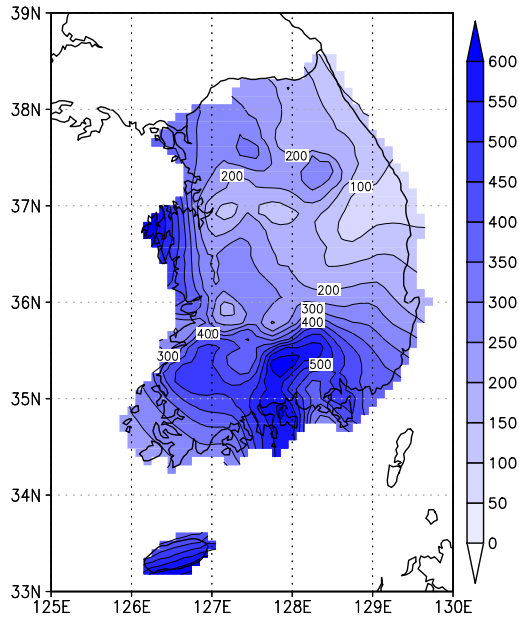


■ 2010년의 장마

(1) 강수량 시계열

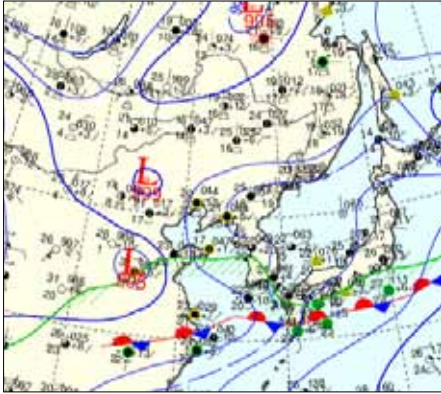


(2) 강수량 및 강수량의 평년비 (기간 : 2010년 6월 17일 ~ 7월 28일)

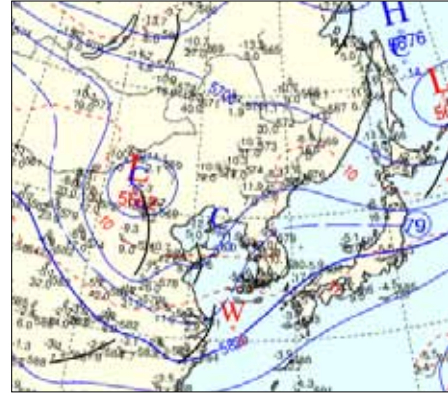


(3) 장마 시중 및 장마시 지상 및 500hPa 일기도

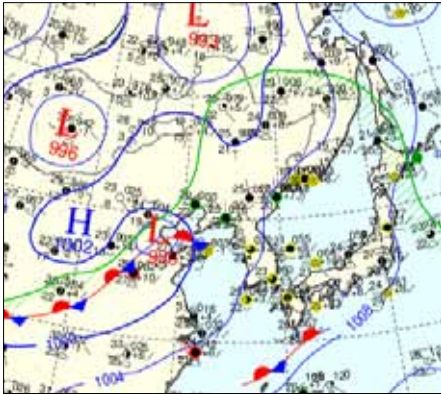
- 장마 시작일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



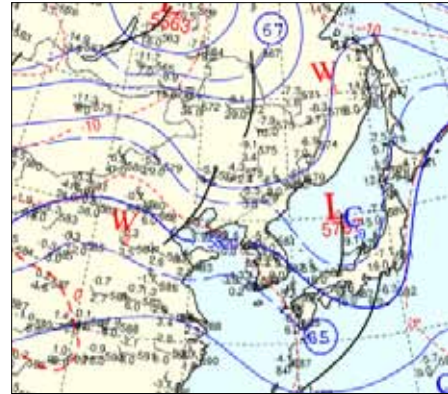
'10. 6. 17. 21시



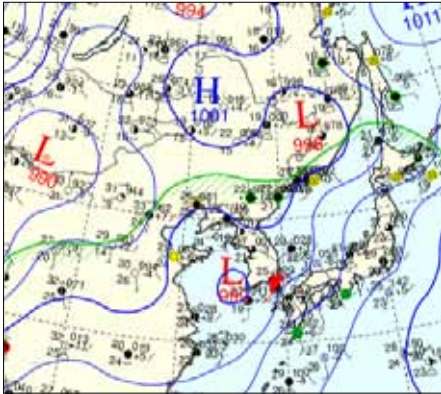
- 장마 기간 중 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



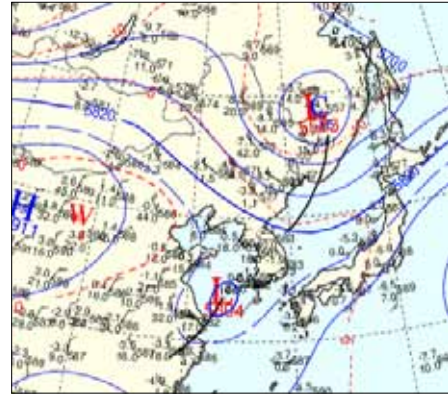
'10 7. 1. 21시



- 장마 종료일 일기도 (좌: 지상, 우: 500 hPa)



'10. 7. 28. 21시



참고문헌

- 강인식, 1998: 엘니노와 한반도 기후변동의 관련성. *한국기상학회지*, **34**, 390-396.
- 권원태, 황승언, 박문영, 1997: 엘니노 발생시의 우리나라 기후 변동 경향. *한국기상학회 1997년 가을 학술 발표회 초록집*, 182-183.
- 류상범, 2001: 장마의 어원과 정의에 대하여. *한국기상학회지*, **11**, 6-12.
- 서경환, 손준혁, 이준이, 2011: 장마의 재조명. *한국기상학회지*, **21**, 109-121.
- 서동일, 변희룡, 2002: 한반도 여름·가을 우기의 기간 정의와 발생요인. *한국기상학회지*, **12**, 402-405.
- 소방방재청, 2009: *2009 재해연보*. 소방방재청, 841 pp.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범, 1997: 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와의 상관관계에 관한 연구. *한국기상학회지*, **33**, 487-495.
- 이병설, 김성삼, 1983: 장마계의 종관적 특성. *한국기상학회지*, **19**, 1-11.
- 차은정, 전종갑, 정효상, 1999: 엘니노/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **35**, 98-117.
- 하경자, 서영경, 서애숙, 정효상, 손병주, 2001: 동아시아 몬순 강수의 경년 변동과 관련된 El-Nino와 지표의 상호작용. *한국기상학회지*, **37**, 381-398.
- 하경자, 윤경숙, 전종갑, 박정규, 2005: 하계 몬순 기간중의 장마의 시작, 종료 및 세기의 정의. *한국기상학회지*, **41**, 927-942.
- 허창희, 강인식, 1988: 한국지역 강수의 변동성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **24**, 38-48.
- Abe, M., T. Yasunari, and A. Kitoh, 2004: Effects of Large-scale Orography on the Coupled Atmosphere-Ocean System in the Tropical Indian and Pacific Oceans in Boreal Summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 745-759.
- Bamzai, A. S., and J. Shukla, 1999: Relation between Eurasian Snow Cover, Snow Depth, and the Indian Summer Monsoon: An Observational Study. *J. Climate*, **12**, 3117-3132.
- Boos, W. R., and Z. Kuang, 2010: Mechanisms of poleward-propagating, intraseasonal convective anomalies in cloud-system resolving models. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 3673-3690.
- Byun, H.-R., and D.-K. Lee, 2002: Defining three rainy seasons and the hydrological summer monsoon in Korea using available water resources index. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 33-44.

- Chang, C.-P., P. Harr, and J. Ju, 2001: Possible roles of Atlantic circulations on the weakening Indian monsoon-ENSO relationship. *J. Clim.*, **14**, 2376-2380.
- Ding, Q., and B. Wang, 2005: Circumglobal teleconnection in the Northern Hemisphere summer. *J. Climate*, **18**, 3483-3505.
- Ding, Q., B. Wang, J. M. Wallace, and G. Branstator, 2011: Tropical-Extratropical Teleconnections in Boreal Summer: Observed Interannual Variability. *J. Climate*, **24**, 1878-1896.
- Enomoto, T., B. J. Hoskins, and Y. Matsuda, 2003: The formation mechanism of the Bonin high in August. *Quart. J. Roy Meteor Soc.*, **129**, 157-178.
- Ha, K.-J., S.-K. Park, and K.-Y. Kim, 2005: On interannual characteristics of climate prediction center merged analysis precipitation over the Korean peninsula during the summer monsoon season. *Int. J. Climatol.*, **25**, 99-116.
- Ha, K.-J., and S.-S. Lee, 2007: On the interannual variability of the Bonin high associated with the East Asian summer monsoon rain. *Clim. Dyn.*, **28**, 67-83.
- Ho, C.-H., J.-Y. Lee, M.-H. Ahn, and H.-S. Lee, 2003: A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s. *Int. J. Climatol.*, **23**, 117-128.
- Horel, J. D., and J. M. Wallace, 1981: Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 773-788.
- Jhun, J.-G., and B.-K. Moon, 1997: Restorations and analyses of rainfall amount observed by Chukwookee (in Korean). *J. Korean Meteor. Soc.*, **33**, 691-707.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.
- Kang, I.-S., C.-H. Ho, Y.-K. Lim, and K.-M. Lau, 1999: Principal modes of climatological seasonal and intraseasonal variations of the Asian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 322-339.
- Kitoh, A., 2002: Effects of large-scale mountains on surface climate—SA coupled ocean-atmosphere general circulation model study. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 1165-1181.
- Kitoh, A., 2010: Effects of Mountain Uplift on East Asian Summer Climate Investigated by a Coupled Atmosphere-Ocean GCM. *J. Climate*, **17**, 783-802.
- Kripalani, R. H., and A. Kulkarni, 1997: Rainfall variability over southeast Asia—Connections with Indian monsoon and ENSO extremes: new perspective. *Int. J. Climatol.*, **17**, 1155-1168.
- Kripalani, R. H., A. Kulkarni, S. S. Sabade, and M. L. Khandekar, 2003: Indian monsoon variability in a global warming scenario. *Natural Hazards*, **29**, 189-206.
- Krishnan, R., and M. Sugi, 2001: Baiu rainfall variability and associated monsoon teleconnection. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 851-860.
- Kug, J.-S., M.-S. Ahn, M.-K. Sung, S.-W. Yeh, H.-S. Min, and Y.-H. Kim, 2010: Statistical Relationship between two types of El Niño events and climate variation over the Korean Peninsula. *Asia-pacific J. Atmos. Sci.*, **46**, 467-474.
- Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An, 2009: Two-types of El Niño events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño. *J. Climate*, **22**, 1499-1515.

- Kwon, M., J.-G. Jhun, B. Wang, S.-I. An, and J.-S. Kug, 2005: Decadal change in relationship between east Asian and WNP summer monsoons. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16709, doi:10.1029/2005GL023026.
- Lau, K.-M., and D. E. Waliser, 2005: *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*. Springer, 474 pp.
- Lau, K.-M., and S. Yang, 1997: Climatology and interannual variability of the southeast Asian summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, **14**, 141-162.
- Lau, K.-M., K.-M. Kim, and S. Yang, 2000: Dynamical land boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, **13**, 2461-2482.
- Lau, K.-M., K.-M. Kim, and J.-Y. Lee, 2004a: *Interannual variability, global teleconnection and potential predictability associated with the Asian summer monsoon*. East Asian Monsoon, C. P. Chang, Ed., World Scientific, 564 pp.
- Lau, K.-M., J.-Y. Lee, K.-M. Kim, and I.-S. Kang, 2004b: The North Pacific as a regulator of summertime climate over Eurasia and North America. *J. Climate*, **17**, 819-833.
- Lee, J.-Y., B. Wang, I.-S. Kang, J. Shukla, A. Kumar, J.-S. Kug, J. K. E. Schemm, J.-J. Luo, T. Yamagata, X. Fu, O. Alves, B. Stern, T. Rosati, and C.-K. Park, 2010: How are seasonal prediction skills related to models' performance on mean state and annual cycle? *Clim. Dyn.*, **35**, 267-283.
- Lee, J.-Y., B. Wang, Q. Ding, K.-J. Ha, J.-B. Ahn, A. Kumar, B. Stern, and O. Alves, 2011a: How predictable is the Northern Hemisphere summer upper-tropospheric circulation? *Clim. Dyn.*, In press, doi:10.1007/s00382-010-0909-9.
- Lee, J.-Y., B. Wang, A. Kitoh, J. Liu, and K.-H. Seo, 2011b: Effects of mountain uplift on global monsoon. *Clim. Dyn.*, submitted.
- Lee, T.-Y., and Y.-H. Kim, 2007: Heavy precipitation systems over the Korean Peninsula and their classification. *J. Korean Meteor. Soc.*, **43**, 367-396.
- Lim, G.-H., J.-G. Jhun, and J.-H. Oh, 1996: *Assessment of climatological precipitation amount in the Korean peninsula in terms of the precipitation records of Korean rain gauge and precipitation model output (in Korean)*. KOSEF 93-0700-06-02-3, 165 pp.
- Lim, Y.-K., and K.-Y. Kim, 2007: ENSO impact on the space-time evolution of the regional Asian summer monsoons. *J. Climate*, **20**, 2397-2415.
- Lim, Y.-K., K.-Y. Kim, and H.-S. Lee, 2002: Temporal and spatial evolution of the Asian summer monsoon in the seasonal cycle of synoptic fields. *J. Climate*, **15**, 3630-3644.
- Liu, X., and M. Yanai, 2002: Influence of Eurasian spring snow cover on Asian summer rainfall. *Int. J. Climatol.*, **22**, 1075-1089.
- Liu, X., and Z.-Y. Yin, 2002: Sensitivity of East Asian monsoon climate to the uplift of the Tibetan Plateau. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **183**, 223-245.
- Manabe, S., and T. B. Terpstra, 1974: The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 3-42.
- Meehl, G. A., and J. M. Arblaster, 2002: The tropospheric Biennial Oscillation and Asian-Australian monsoon rainfall. *J. Climate*, **15**, 722-744.
- Ninomiya, K., and Akiyama, T., 1992: Multi-scale features of Baiu, the summer Monsoon over Japan and the East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 467-495.

- Ninomiya, K., and Shibagaki, Y., 2007: Multi-scale features of the Meiyu-Baiu front and associated precipitation systems. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 103-122.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **65**, 373-390.
- Oh, J. H., R. Y. Lu, W. T. Kwon, and S. B. Ryoo, 2000: The 500-hPa geopotential fields in the mid-high latitudes associated with Changma. *J. Korean Meteor. Soc.*, **3**, 83-95.
- Ramage, C. S., 1971: *Monsoon meteorology*. International geophysics series, 296 pp.
- Ruddiman, W. F., and J. E. Kutzbach, 1989: Forcing of Late Cenozoic Northern Hemisphere Climate by Plateau Uplift in Southern Asia and the American West. *J. Geophys. Res.*, **94**, 409-427.
- Seo, K.-H., and J. Ok, 2011: A new assessment of east Asian summer monsoon in future climate. *Mon. Wea. Rev.*, submitted.
- Seo, K.-H., and E.-J. Song, 2011: Characteristics of strong and weak Changma. *Mon. Wea. Rev.*, submitted.
- Sepulchre, P., G. Ramstein, F. Fluteau, M. Schuster, J.-J. Tiercelin, and M. Bruner, 2006: Tectonic uplift and eastern Africa aridification. *Science*, **313**, 1419-1423.
- Smith, T. M., and R. W. Reynolds, 2004: Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997). *J. Climate*, **17**, 2466-2477.
- Tanaka, M., 1992: Intraseasonal oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over the east, southeast and western north Pacific region using GMS high cloud amount data. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 613-629.
- Tao, S., and L. Chen, 1987: A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. Monsoon Meteorology. C.-P. Chang and T. N. Krishnamurti, Ed., Oxford University Press, 60-92.
- Trenberth, K. E., B. Moore, T. R. Karl, and C. Nobre, 2006: Monitoring and prediction of the Earth's climate: A future perspective. *J. Climate*, **19**, 5001-5008.
- Trenberth, K. E., D. P. Stepaniak, and J. M. Caron, 2000: The global monsoon as seen through the divergent atmospheric circulation. *J. Climate*, **13**, 3969-3993.
- Trenberth, K. E., D. P. Stepaniak, and L. Smith, 2005: Interannual Variability of Patterns of Atmospheric Mass Distribution. *J. Climate*, **18**, 2812-2825.
- Ueda, H., T. Yasunari, and R. Kawamura, 1995: Abrupt seasonal change of large-scale convection activity over the western Pacific in northern summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 795-809.
- Walker, G. T., and E. W. Bliss, 1932: World Weather V. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **4(36)**, 53-84.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.
- Wang, B., 2006: *The Asian Monsoon*. B. Wang, Ed., Springer/Praxis Publishing Co., New York, 787 pp.
- Wang, B., and J. C. L. Chan, 2002: How strong ENSO events affect tropical storm activity over the Western North Pacific. *J. Climate*, **15**, 1643-1658.
- Wang, B., J.-G. Jhun, and B.-K. Moon, 2007: Variability and singularity of Seoul, South Korea, rainy season(1778-2004). *J. Climate*, **20**, 2572-2580.

- Wang, B., and LinHo, 2002: Raniy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate*, **15**, 386-398.
- Wang, B., and Q. Ding, 2006: Changes in global monsoon precipitation over the past 56 years. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L06711, doi:10.1029/2005GL025347.
- Wang, B., and Q. Ding, 2008: The global monsoon: Major modes of annual variations in the tropics. *Dynamics of Atmos. and Ocean*, **44**, 165-183.
- Wang, B., R. Wu, and K-M. Lau, 2001: Interannual Variability of the Asian Summer Monsoon: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, **14**, 4073-4090.
- Wang, B., R. Wu, R., and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian Teleconnection: How Does ENSO Affect East Asian Climate? *J. Climate*, **13**, 1517-1536.
- Wang, B., and X. Xu, 1997: Northern Hemisphere summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation. *J. Climate*, **10**, 1071-1085.
- Webster, P. J., V. O. Magana, T. N. Palmer, J. Shukla, R. A. Tomas, M. Yanai, and T. Yasunari, 1998: Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, **103**, 14451-14510.
- Wu, G., Y. Liu, T. Wang, R. Wan, X. Liu, W. Li, Z. Wang, Q. Zhang, A. Duan, and X. Liang, 2007: The influence of mechanical and thermal forcing by the Tibetan Plateau on Asian climate. *J. Hydrometeorol.*, **8**, 770-789.
- Wu, R., and B. Wang, 2002: A contrast of the east Asian summer monsoon-ENSO relationship between 1962-77 and 1978-93. *J. Climate*, **15**, 3266-3279.
- Wu, Z., J. Li, B. Wang, and X. Liu, 2009: Can the Southern Hemisphere annular mode affect Chinese winter monsoon? *J. Geophys. Res.*, **114**, D11107, doi:10.1029/2008JD011501.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observation, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539-2558.
- Yang, S., and L. Xu, 1994: Linkage between Eurasian winter snow cover and regional Chinese summer rainfall. *Int. J. Climatol.*, **14**, 739-750.
- Yanai, M., and G.-X. Wu, 2006: Effects of the Tibetan Plateau in The Asian Monsoon. Springer, New York, 513-549.
- Yasunari, T., 1990: Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the tropical Pacific. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **44**, 29-41.
- Yeh, S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. Kirtman, and F.-F. Jin, 2009: El Niño in a changing climate. *Nature*, **461**, 511-514.
- Yim, S.-Y., J.-G. Jhun, R. Lu, and B. Wang, 2010: Two distinct patterns of spring Eurasian snow cover anomaly and their impacts on the East Asian summer monsoon. *J. Geophys. Res.*, **115**, D22113, doi:10.1029/2010JD013996.
- Yim, S.-Y., J.-G. Jhun, and S.-W. Yeh, 2008: Decadal change in the relationship between east Asianwestern North Pacificsummer monsoons and ENSO in the mid-S1990s. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L20711, doi:10.1029/2008GL0357514.
- Yun, K.-S., K.-H. Seo, and K.-J. Ha, 2008: Relationship between ENSO and Northward Propagating ISO in the East Asian summer Monsoon System. *J. Geophys. Res.*, **113**, D14120, doi:10.1029/2008JD009901.



집 · 필 · 후 · 기

장마 백서를 2011년 새롭게 발간하기로 결정한 이후 가장 먼저 시작한 일은 장마와 관련된 기존의 다양한 참고 문헌을 찾고 정리하는 것이었다. 편집위원들과 집필진 등은 이전 장마백서, 교과서, 세계의 과학 저널 논문, 인터넷 등 가능한 모든 자료를 찾았지만 만족스럽게 장마 현상에 대한 과학적인 기술을 한 참고 문헌은 많지 않았다. 장마의 기본적인 정의와 역학에 대한 이해가 많이 부족하다는 것을 깨닫게 되었다. 즉, 기존에 장마에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 대부분 단편적으로 진행된 연구들이었다. 따라서 선행 연구들 사이의 연속성이 다소 결여되어 있었고, 내용 측면에서 있어 장마의 기본적인 구조와 역학에 대한 이해보다는 통계적 특성이나 응용에 치우쳐 있었다. 특히 ‘장마란 무엇인가?’ 라는 가장 근원적인 정의와 관련된 기단의 대치 및 변동성에 대한 연구가 존재하지 않았기 때문에 한반도의 관측소 강수자료와 NCEP 및 ECMWF의 재분석 자료 등을 사용하여 강수의 변동성 및 상당 온위를 계산함으로써 이에 대한 해답을 찾고자 하였다. 이를 통해 장마의 시종을 대규모의 입장에서 객관적으로 결정할 수 있게 되었다.

한편, 장마의 중규모적 구조에서부터 기후학적 특성까지 종합적인 연구를 위해서 대규모의 예산이 투입되는 기획 과제를 통해서 장마의 특별 관측이 필요하며 중규모 기상학자와 기후 연구 전문가 그룹이 상호 협력하여야 한다. 일례로 미국, 일본, 중국, 대만, 인도 등 대기과학 분야의 선두 국가 또는 아시아 몬순과 관련된 국가들은 몬순에 대하여 순차적이고 조직화된 특별 관측/분석 프로그램을 최신 관측 장비(인공 위성, 레이더 및 라이다 원격 탐사 장치, 관측 선박, 부이, 존데 등)를 활용하여 수년전부터 진행시켜 오고 있다. 또한, 장마가 동아시아 몬순 시스템의 일부로 많은 역학적 구조와 변동 특성을 중국의 메이우 및 일본의 바이우와 공유하므로 아시아·태평양 지역에서 동아시아 몬순을 연구하는 그룹들과의 협력이 필수적인 것으로 사료된다. 본 장마 백서의 작성에 있어서 하와이 대학교의 Bin Wang 교수와 일본 쿠마모토 대학의 Tomihiko Tomita 교수가 많은 제언과 도움을 주었다. 이들과 동아시아 몬순을 연구하는 다수의 과학자들로 이루어진 전문가 네트워크의 형성을 통해서 차후 장마 및 동아시아 몬순에 대한 심도 깊은 연구가 진행될 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로 새롭게 발간된 2011 장마백서가 ‘백서’의 의미를 뛰어넘어 장마의 ‘바이블’이 될 수 있기를 기원한다.

2011
장마백서

2011년 6월 15일 인쇄
2011년 6월 22일 발행

발행처 기상청
책임집필위원 서경환·이준이
집필진 서경환 (부산대)
이준이 (University of Hawaii)
하경자 (부산대)
예상욱 (한양대)
임영권 (NASA GSFC)
이규원 (경북대)
국종성 (한국해양연구원)
정준석 (기상청)
김지영 (기상청)
집필보조 손준혁·한상대·송은지·옥정·이상헌·이현주·김고운
최진호·안지연·허기영·이승언 (부산대)
