

여름철 장마, 발생 원인과 예측의 한계에 대한 이해

이제 계절적으로 여름철로 구분되는 6월이 시작되었다. 기상학적으로 볼 때 6월은 봄철에서 여름철로 넘어가는 시기로 볼 수 있다. 즉 6월은 우리나라 서쪽에서부터 이동해 오는 고기압이나 저기압의 영향과 더불어 북태평양에서 확장하는 고기압의 영향도 간접적으로 받는 형태로 바뀌는 전환의 시기에 해당한다. 특히 여름의 초입에 해당하는 6월에는 장마란 매우 중요한 기상현상과 만나게 된다. 장마는 우리나라를 비롯한 동아시아지역에서 아주 오랜 기간 매년 반복되어 왔던 기상현상이다.

기상청에서 발간한 '장마백서'에 따르면 1500년대 중반 이후부터 '오랜'의 한자인 '장(長)'과 비를 의미하는 '마(雨)'를 합성한 '당마(唐馬)'로 표현되다가 1700년대 후반부터 '장마'로 표기된 이후 일제 강점기부터 '장마'로 표현되기 시작한 것으로 알려져 있다. 하지만 자연적 현상으로서의 장마는 대규모 조산운동을 통하여 아시아 대륙이 만들어진 이후부터 나타나기 시작한 것으로 보는 것이 타당할 것 같

다. 왜냐하면 장마란 현상은 다음에서 설명할 동아시아 몬순 시스템의 일부로서 나타나는 현상이기 때문이다.

수자원 효율적 관리에 중요

장마는 비단 우리나라에서만 나타나는 현상은 아니다. 나라에 따라 그 성격이 조금씩 다르긴 하지만 중국과 일본에서도 각각 메이유(Meiyu)와 바이우(Baiu)라고 불리는 현상이 있다. 중국과 일본에서는 이를 한자로 매우(梅雨)라고 쓰고 있다. 즉 매실(梅實)이 열리는 시기에 내리는 비라는 의미를 지닌다. 우리나라에서도 장마철에 즈음하여 재래시장이나 대형마트에 가면 제철을 맞은 매실을 흔히 볼 수 있다. 옛날이나 지금이나 한국, 중국, 일본 어느 나라에서도 매실이 한창 나오는 시기에 장마와 같은 현상이 나타나는 것이 공통적인 것으로 보인다.

장마는 기상학적 측면뿐 아니라 수문 및 방재 측면에서도 매우 중요한 현상이다. 한편으로는 기후의 변화 측면에서도 장마의 장기적 변화는 여러 가지로 중요



글 김지영

기상청 관측기반국
국가태풍센터 기상연구관
aceasia@korea.kr

글쓴이는 경북대학교 지구과학
교육과 졸업 후 천문기상학과
에서 석사학위를, 서울대학교
지구환경과학부에서 박사학위
를 받았다.



한 의미를 내포하고 있다. 통계적 측면에서는 기본적으로 장마의 시작과 종료 시기는 물론이고 장마의 지속기간, 장마기간 중의 강수패턴, 강수의 시·공간적 분포 등이 중요하고, 이러한 요소들은 수자원의 효율적 관리는 물론이고 수해로 인한 재해예방 측면에서도 매우 중요하다. 따라서 장마와 관련된 내용들을 종합적으로 조망해 보는 것은 의미가 있는 일이다.

초여름에 비가 자주 내리게 되면 대부분의 사람들은 이를 장마로 생각하게 된다. 기상학적으로 볼 때 이와 같은 경우의 상당 부분은 장마에 해당하는 경우가 많다. 하지만 어떤 지역에 강수현상이 빈번하게 나타나고 굵은 날씨가 계속해서 나타나는 것을 모두 장마라고 할 수는 없다. 왜냐하면 우리나라에 내리는 여름철의 강수는 여러 가지 원인에 의해 서로 다른 강수 메커니즘을 통해 발생할 수 있기 때문이다. 기압골이나 저기압의 영향으로 인해 비가 내리는 경우가 있는가 하면 때로는 지형적인 영향(특히, 우리나라 동쪽에 위치한 고기압에 의해 바람이 동해에서 내륙 쪽으로 불어올 때 영동 지방에서 자주 내리는 비)이나 낮 동안의 지면가열에 의한 대류성 구름이 적운이나 적란운의 형태로 높게 발달하면서 소나기성 비가 내릴 수도 있기 때문이다.

기후학적으로 볼 때 6월 하순이 되면 전국이 장마권에 들게 된다. 장마는 일반적으로 제주도를 시작으로 남부지방이 빠르고 북쪽으로 갈수록 시작 시기가 늦어진다. 하지만 어떤 해에는 우리나라 서쪽으로부터 접근하는 저기압의 영향 등 한반도 주변의 종관적 상



▶▶ 중국과 일본에서 장마와 같은 현상을 매우(梅雨)로 표기하고 있다. 이는 사실과 장마가 오래 전부터 깊은 관련이 있음을 보여 준다.

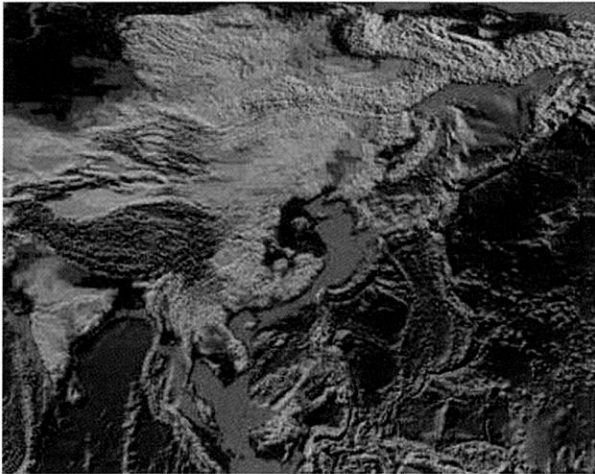
황에 따라 중부지방 또는 남부지방에서부터 장마가 시작되기도 한다. 장마의 시작 시기는 해마다 다르고 매우 불규칙하기 때문에 그 시작 시기를 미리 정확하게 예측한다는 것은 기술적으로 매우 어렵다. 특히 다른 기상현상에 비해 장마기간에는 예측기간이 길어질수록 예측의 정확도가 상당히 낮아질 수 있기 때문에 장마철에는 가급적 단기간 동안의 일기예보를 자주 업데이트하여 보는 것이 좋다. 최근 40년 동안의 기록(즉, 1973년 이후)을 살펴보면 장마의 시작이 가장 빨랐던 해는 1998년으로서 제주도에서 6월 12일에 장마가 시작되었고, 가장 늦게 시작된 해는 1982년으로서 중부지방에서 7월 10일에 시작된 것으로 분석되고 있다. 장마는 보통 약 32일 정도 지속되다가 7월 중순 경에 종료되는 것으로 분석되고 있다.

장마는 동아시아 몬순 시스템의 일부

그렇다면 장마란 현상은 어떻게 정의할 수 있을까? 기상청에서는 현재 장마전선에 의해 내리는 비를 장마로 정의하고 있다. 장마전선은 온난전선이나 한랭전선과는 다른 형태인 정체전선의 한 종류이다. 즉 남쪽에서 북쪽으로 향하는 온난전선과 북쪽에서 남쪽으로 향하는 한랭전선이 만나 서로 일정한 세력을 유지하면서 정체될 때 장마전선이 만들어진다. 전선의 남쪽은 우리가 잘 알고 있는 고온다습한 성질을 가진 북태평양기단이 위치한다.

하지만 전선의 북쪽을 이루는 기단은 어떤 특정한 기단으로 구분 지을 수는 없지만 대개 한랭습윤한 성질을 띤 오호츠크해기단이나 중국 내륙에서 형성되는 대륙기단이 주류를 이룬다. 장마가 어떤 과정을 통해 어느 위치에서 형성되고 발달하느냐에 따라 장마전선 북쪽에 위치한 기단의 종류나 특성이 다르다고 볼 수 있다. 다만 북태평양고기압과는 기단의 물리적인 특성이 다른 것만은 분명하다. 장마전선을 경계로 서로 다른 성질을 가지는 두 기단이 만난다는 사실은 장마와 관련된 집중호우 등을 이해하는데 매우 중요하다.

장마가 발생하는 근본적인 원인은 1년 동안의 사이클을 그리며 반복되는 동아시아 몬순 시스템을 통하여 설명할 수 있다. 즉 태양의 연중 고도 변화에 따라 지표에 유입되는 일사량의 변화를 통해 같은 에너지



▶ 아시아 몬순 시스템 형성에 중요한 역할을 하는 대륙과 해양의 분포도(출처: 기상청 장마백서)

가 유입되더라도 육지와 해양의 비열이 차이가 나기 때문에 대륙과 해양 사이에 온도차가 생기게 되고 그에 따라 겨울철에는 아시아 대륙으로부터 해양(북태평양) 쪽을 향해 바람이 불고 여름철에는 해양으로부터 대륙 쪽으로 바람이 부는 순환의 사이클이 형성된다. 이를 소위 동아시아 몬순이라 부른다.

따라서 장마는 크게 보면 겨울에서 여름철로 넘어가는 순환의 경계에 있다고 말할 수 있다. 특히 동아시아 몬순은 지구 상에서 가장 큰 대륙인 유라시아 대륙과 가장 큰 해양인 태평양을 경계로 만들어진 시스템이기 때문에 전 세계적으로도 널리 알려져 있다. 그리고 우리나라는 사실상 동아시아 몬순의 한가운데 위치해 있다고 볼 수 있는데 이에 따라 지난 수 십년 동안 우리나라를 포함하여 중국 및 일본의 수많은 과학자들이 동아시아 몬순에 대하여 연구해 왔다.

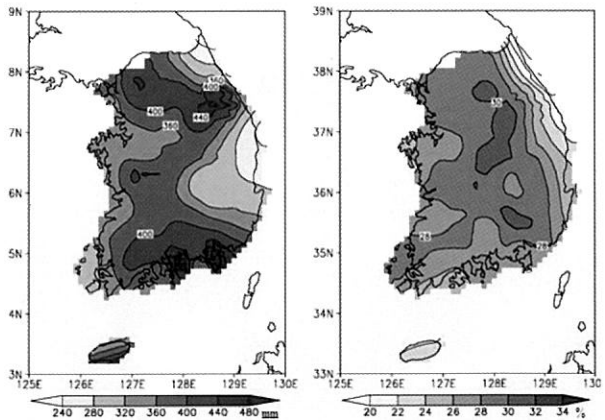
장마전선, 두 개의 능선 사이에 놓은 계곡

그렇다면 장마철에 비가 자주 내리고 때로는 많은 비가 내리게 되는 이유는 뭘까? 물론 앞에서 언급한 것처럼 장마전선이 정체전선이므로 전선이 정체하면서 지속적으로 비가 내리는 것으로 생각하면 문제가 간단해 보일 수도 있다. 하지만 장마전선이 가지고 있는 고유한 특성과 그 주변으로 형성된 중관기상학적 여건을 과학적 측면에서 좀 더 깊이 살펴볼 필요가 있다. 앞서 언급한 것처럼 장마전선은 전선을 경계로 남

쪽과 북쪽에 위치한 서로 다른 성질을 가진 두 기단이 만나면서 만들어진다. 이들 두 기단은 열역학적으로 성질이 다르기 때문에 열적으로 불안정한 상태를 이루게 되며, 이러한 열적인 불균형과 차이를 해소하기 위한(즉 열적인 균형을 가지는 안정한 상태를 이루기 위해) 일환으로 대기의 연직운동이 활발하게 일어나게 된다. 또한 장마전선을 형성하는 원인을 제공하는 두 개의 기단은 고기압의 형태로 존재한다. 따라서 지형으로 표현하자면 장마전선을 경계로 두 개의 산봉우리 또는 능선을 형성하고 있는 것이다.

장마전선은 그 두 개의 능선 사이에 놓인 계곡에 해당한다. 따라서 우리나라 남서쪽으로부터 유입되는 다량의 수증기는 산을 거슬러 올라갈 수 없으므로 장마전선이 걸쳐져 있는 계곡과 같은 골짜기를 따라 지나갈 수밖에 없게 된다. 그런데 이 기압의 계곡은 열적으로 매우 불안정하여 대류 운동이 활발하게 일어나는 지역이므로 강한 강수가 자주 나타날 수 있게 되는 것이다. 또한 전선을 동반한 발달한 저기압이나 태풍이 이동해 오면서 장마전선과 합쳐지는 경우 집중호우의 강도나 규모가 더욱 커질 수 있으므로 이러한 경우에는 각별한 주의가 필요하다.

장마전선은 남북으로 놓인 두 기단의 세력에 따라 전선이 남북으로 오르내리는 경우가 많은데 어떤 경우에는 두 기단의 세력이 거의 비등하여 한 곳에 계속 정체하는 경우도 있다. 이때는 장마전선 상의 불안정도도 매우 커지기 때문에 대기가 연직적으로 급격하



▶▶ 최근 30년(1981~2010년) 동안의 평균적인 장마기간 강수량 분포(좌측그림)와 연간 총강수량에 대한 장마기간 강수량의 비(우측그림). 출처: 서경환 등(2011)



게 발달하는 특성을 보이게 되며 우리나라 서쪽으로 부터의 수증기 유입이 많은 때에는 장시간에 걸쳐 어느 한 지역에 계속적으로 호우성 강수가 나타날 수 있다. 이와 같은 경우에는 침수 피해나 산사태, 홍수와 같은 수재의 위험도가 그만큼 더 커지게 된다.

장마 장기 예측은 불확실성 내포

우리나라 여름철 강수량은 보통 연강수량의 50~60%를 차지하는데, 이 중 장마기간에 내리는 강수량은 400~650mm 정도로서 연강수량의 약 30%를 차지하는 것으로 분석되고 있는데, 장마기간에 너무 많은 비가 계속해서 내리는 것도 수해의 원인이 될 수 있지만 강수량이 너무 적을 경우에도 큰 문제가 야기될 수 있다. 장마기간에 비가 적게 내리는 경우는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 그 중 한 가지는 우리나라 북쪽에 위치한 기단의 세력이 강하여 우리나라가 이 기단의 영향을 장기간 받을 때 나타난다. 기본적으로 우리나라 북쪽의 고위도에 중심을 둔 기단은 대체로 차고 서늘한 특성을 가진다. 따라서 이 기단의 영향을 장기간 받게 되는 경우에는 각종 농작물들이 냉해를 입기 쉽다. 1993년에 나타났던 여름철 냉해가 그 대표적인 예라고 할 수 있다.

또 다른 한 가지는 북태평양고기압의 세력이 조기에 확장하는 경우이다. 이때에는 가뭄과 함께 여름철 무더위가 일찍 찾아와 무덥고 습한 여름이 장기간 계속되게 된다. 장마와 관련된 대기의 특성은 해마다 큰 차이를 보이고 매우 불규칙하기 때문에 장마의 장기 예측은 많은 불확실성을 내포하고 있다. 한편으로는 기후변화에 따른 장마기간의 강수 패턴 변화로 이에 대한 장기 예측성의 한계에 거의 도달한 것으로 볼 수도 있다. 이와 같은 사실들은 수년 전부터 기상청이 장마의 시중시기에 대한 장기예측을 더 이상하지 않기로 결정한 이유와도 무관하지 않다. 장마기간에 충분한 비가 내리지 못하고 8~10월에 내습하는 태풍에 의한 강수도 적을 경우에 우리나라는 그 이듬해 장마가 시작될 때까지 심각한 물 부족을 겪을 가능성이 매우 높다.

여름철 강수량 증가 예상

마지막으로 기후변화의 관점에서 미래의 장마를 잠



▶ 장마기간에 내리는 비는 그 강도와 빈도, 그리고 지속성의 여부에 따라 사회경제적으로 다양하게 영향을 미친다.

시 살펴보자. 기후예측 모델의 특성상 여러 가지 불확실한 면이 있기는 하지만 기후변화에 관한 정부 간 협의체인 IPCC의 4차 보고서에 참여한 기후변화 예측 모델(대기-해양 결합 대순환 모델)을 사용하여 미래의 장마를 전망한 결과를 살펴보면, 21세기 후반에는 동서방향 대륙-해양 지표기온의 차이가 증가하고 대기하층으로부터 수증기 유입량이 증가하기 때문에 한반도 여름철 강수량은 현재에 비해 10~20% 증가할 것으로 예상된 바 있다. 특히 호우성 강수를 유발할 수 있는 적운대류 형태의 강수량은 40% 이상 증가할 것으로 전망되었다. 이는 앞으로 장마를 포함한 여름철 호우에 대한 대비를 더욱 철저하게 해야 할 필요가 있음을 시사하는 결과이다.

장마는 경제적 측면에서는 각종 온라인 쇼핑물이나 홈쇼핑 및 식품관련 매출을 크게 증가시키고, 환경적 측면에서는 강수에 의한 세정효과를 통해 대기를 정화시키고 수질을 개선시키며 도시의 열섬 효과를 감소시키는 등 여러 가지의 다양한 긍정적 측면을 가지고 있다. 또한 봄 가뭄의 해소나 농사에 필요한 물을 충분하게 공급하는 역할을 하고 수자원 확보 측면에서도 긍정적인 역할을 하는 것으로 평가되고 있다. 올여름 장마는 또 어떤 모습을 보이며 전개될까? 현재로서는 정확하게 예단하기는 어렵다. 앞에서 언급한 장마의 여러 긍정적인 측면에도 불구하고 장마 기간 중에 발생하는 집중호우에 따른 인명과 재산의 피해를 예방하기 위해 더 많은 관심과 주의가 필요하다. ㉓