

김백조*,이용희,오재호,류찬수¹기상연구소 예보연구실, ¹조선대학교 지구과학과

1. 서론

한반도 여름철 강우는 대체로 6월말에 시작하여 7월말에 끝나는 1개월간의 장마기간에 집중되며 특히 연 강수량의 20.6%가 7월에 내린다. 최근 10년간(1989~1998)의 기상재해 현황을 볼 때 대부분의 기상재해는 6, 7, 8월의 여름철에 집중되어 나타나는 데 그중에서 최대 발생빈도를 보이는 기상재해는 집중호우이다. 이러한 집중호우의 발생빈도는 최근 들어 증가하는 추세에 있으며 인명과 재산 피해의 규모도 대형화되는 양상이다.

한반도의 집중호우는 장마 전선 상에서 발달하는 중규모 요란, 태풍, 북태평양 고기압의 가장자리에서의 대기 불안정성 등의 요인에 의해 주로 발생하며, 수평규모는 100~200km, 지속시간은 2~3시간정도인 중규모 기상현상이다. 이러한 집중호우의 정확한 예측은 복잡한 지형에 의한 국지 대기순환의 영향과 주변 해양의 영향 때문으로 매우 어려운 실정이다. 하지만 집중호우에 대한 국내의 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며 특히 집중호우의 원인 규명에 관한 연구는 매우 활발히 진행되고 있다. 먼저 김성삼(1973)은 여름철 북태평양기단(mT)의 가장자리에서 발생하는 중규모 요란을 그 원인으로 지적하였으며, 박순웅 등(1986)은 태풍이 중국의 화남지방으로 상륙하면서 화남지방에 수증기가 변압풍에 기인한 하층 제트에 동반하여 한반도로 유입되면서 대류 불안정이 증가되고, 상층 제트의 남하로 호우지역에서 2차 순환에 의한 상승류, 단파 곡의 남하, 한기가 장벽과 같은 역할을 하면서 수증기가 수렴되어 한반도에 호우가 내렸음을 사례연구를 통하여 밝힌 바 있다. 또한 홍성유(1992)는 강한 대기 경압하에서 대류 불안정과 대칭 불안정이 호우를 유지시키는 메카니즘으로 규명하였고, 이동규와 홍성유(1991)는 최근 10년간의 한반도 호우 사례에 대해 종관규모 기상환경의 특징을 조사한 결과, 상·하층 제트의 존재, 대류 불안정, 와도, 혼합비의 분포가 대부분의 집중호우 사례에서 매우 유사하게 나타남을 보였다. 최근 Cha and Choi(1998)은 한반도 중부지방에 형성된 수렴대에 양쯔강 유역으로부터 고온 다습한 기류가 유입되었음을 지적하였다.

따라서, 본 연구에서는 1999년 7월 31일에서 8월 2일까지 3일간 경기 중북부지방에 총 강수량이 120~750mm의 집중호우에 대해 기상청 산하 기상대 및 자동기상관측소의 강우량 자료를 토대로 강우의 시, 공간적인 분포 특성을 조사하고 종관 일기도, 위성 및 레이더 영상자료를 이용하여 종관 기상학적 특성과 집중호우의 원인을 알아보려고 한다. 또한 최근 1996년과 1998년에 발생한 이 지역의 집중호우 사례와 비교하여 그 유사점과 차이점을 밝히고자 한다.

2. 자 료

1999년 집중호우의 강우 특성을 알아보기 위하여 경기 중북부지방에 위치하는 기상청 산하 9개소의 기상대(서울, 강화, 철원, 춘천, 인제, 양평, 동두천, 수원, 인천)와 기상청 운영 자동기상관측소(AWS)의 시간별 강우량 자료가 사용되었으며 이들 자료들은 기상청과 전용회선이 연결되어 온라인으로 실시간 기상자료를 수집하고 있다. 이들 자료에는 집중호우에 의한 통신장애로 인해 결측 자료가 포함되어 있으며 본 연구조사에서는 결측 부분은 강우가 없는 것으로 가정하였다. 그리고 기상청의 종관 일기도와 위성 및 레이다 영상자료를 이용하여 집중호우와 관련된 기상 특성을 분석하였다.

3. 강우 특성

표 1은 집중호우기간동안 서울·경기지방의 최대 강우강도, 강우 지속시간 그리고 평균 강우강도를 나타낸 것이다. 여기서 평균 강우강도는 총 누적강우량을 강우 지속시간으로 나눈 것으로 정의하였다. 집중 호우의 최대 강우 강도는 시간당 48.5mm/hr (동두천, 강화)이며, 평균적으로 10~40mm/hr의 강우 강도를 보였다.

표 1. 집중호우기간(7. 31~8. 2)동안 서울·경기지방의 최대 강우강도, 강우 지속 시간 및 평균 강우강도

분석요소 관측소	최대	강우	평균
	강우강도	지속시간	강우강도
철 원	42.6	72.0	10.5
동두천	48.5	67.3	10.8
서 울	39.1	56.2	8.4
인 천	46.2	56.2	8.0
강 화	48.5	57.8	10.1
양 평	24.0	41.3	4.0

7월 31일부터 8월 1일까지 3일간의 서울·경기지방에 위치한 6개 관측지점들에서의 시간별 강우량의 시계열을 살펴보면 강우가 3일간 지속되었고 강우 강도의 변화는 대략 12~24시간의 주기로 강약을 반복하는 경향을 가짐을 볼 수 있다. 특히 야간과 이른 오전에 강한 강우 강도를 보였다. 철원의 시간별 최대 강우량은 42.6mm이었고 2시간 최대 강우량은 84.1mm이었다. 그리고 연속적으로 20mm이상의 강우량이 7시간 지속되었다. 동두천의 경우 시간별 최대 강우량은 48.5mm이었으며 2시간 최대 강우량은 88.4mm로 나타났다. 철원과 함께 20mm이상의 강우량 발생빈도수가 12회이었다. 또한 다른 관측소와 달리 8월 1일 0300~0400LST에는 집중호우가 다소 소강상태로 나타났으며, 30mm이상의 강우량이 7월 31일 밤에 3시간정도 지속되었다. 인제의 시간별 최대 강우량은 8월 2일 0500LST에 34.0mm로 나타났으며 2시간 최대 강우량은 49.0mm이었다. 20mm이상의 강우량 발생빈도가 6회로 철원과 동두천보다 그 빈도수가 작으며 8월 1일 밤에 발생한 1차 호우의 경우보다 8월 2일의 오후에 나타난 2차 호우시에 강우이 많이 기록되었

다. 서울의 시간별 최대 강우량은 8월 2일 0900LST의 39.1mm였으며 2시간 최대 강우량은 59.5mm로 경기 북부지방의 철원과 동두천보다 다소 적었다. 또한 호우세포의 통과에 따라 8월 1일 0400~0600LST와 8월 2일 0800~1300LST에 강우가 집중되었다. 춘천의 경우 시간별 최대 강우량이 27.3mm로 다른 관측소들보다 많은 차이가 있다. 마지막으로 강화에서는 시간별 강우량이 40.0mm인 경우가 8월 1일 0100LST와 0800LST 그리고 8월 2일 0600LST에 나타났으며 동두천과 마찬가지로 8월 1일 이른 오전에 집중호우가 다소 소강상태였다. 시간별 최대 강우량은 48.5mm이었으며 2시간 최대 강우량은 82.5mm로 나타났다.

4. 기상 특성

경기 중북부지방의 집중호우와 관련된 종관 기상상태의 특성을 파악하기 위하여 1999년 7월 31일에서 8월 2일까지 3일간의 지상, 500hPa, 200hPa면의 일기도를 분석한 결과, 먼저 7월 31일을 살펴보면 발해만까지 뻗어 있었던 한랭전선과 열대 저압부에서 약화된 저기압이 서로 합쳐지면서 기압골이 만주에서 화중지방까지 이어져 강하게 발달하고 있었으며, 이 기압골이 점차 남동진하여 이와 북태평양 고기압 사이에 놓인 한반도 중부지방에서는 점차 수렴대기 강화되었다. 경기 중북부지방에 집중호우가 내리기 시작한 7월 31일에 200hPa면의 상층 제트가 한반도와 만주 국경부근까지 남하하면서 상층 발산에 따른 하층에서의 수렴(2차 순환)이 강화되기 시작하였고, 하층에서 남서류가 동반된 하층 제트가 출현하였다. 8월 1일의 종관기상상태는 7월 31일의 그것과 매우 유사하며, 8월 2일의 경우는 태풍 올가(OLGA)의 북상으로 한반도 중부지방에 형성되었던 수렴대가 태풍의 회전 때에 합류되면서 한반도 중부지방으로 유입되는 강한 남서기류가 차단되었고 경압성이 크게 약화된 것으로 사료된다. 이러한 종관상태에서 한반도 중부지방에 상층 발산에 따른 수렴역(상승역)이 위치한다. 하층 제트는 산동반도 부근에 열대 저압부에 의한 저기압성 요란 및 북태평양 고기압의 가장자리에서 빠져 나오는 남서기류가 한반도 중부지방을 중심으로 합류되어 나타난다. 한반도 북서쪽으로 한기가 유입되고 상층 제트가 남하하면서 발생하는 상층 발산이 하층으로부터 유입되는 열과 수증기의 상승을 가속화시켜 한반도 경기 중북부지방으로 강한 수증기 수렴역을 형성한 것으로 사료된다.

또한 7월 31일부터 8월 2일까지 습기장(T-Td)의 분포에서 31일경 북쪽과 남쪽에서 각각의 수증기가 중부 지방에 합류되면서 소위 전형적인 "습설(濕靄)"의 형태를 보였다. 이 습윤장은 급격히 상층으로 확산되고 31일 오후 9시경에는 500hPa 고도까지 확장되었고, 특히 기온과 이슬점 온도의 차가 4도 이하 ($T-Td \leq 4^{\circ}C$)인 상층 습윤역 분포는 지상의 호우발생 지역과 매우 잘 일치한다.

5. 요약

경기 중북부지방을 중심으로 남쪽의 열대기단과 북쪽의 한대기단으로 형성된 수렴대가 1999년 7월 31일에서 8월 2일까지 3일간 유지되면서 누적 강우량이 철원에서 752.9mm으로 최대를 기록되었으며 그 다음으로 동두천의 724.9mm이었다. 이러한 누적 강우량은 서울, 경기북부, 강원북부지방 등 호우지역의 연 평균 강수량의 35~45%에 해

당된다. 집중 호우의 최대 강우 강도는 시간당 48.5mm/hr (동두천, 강화)이며, 평균적으로 10~40mm/hr의 강우 강도를 보였다. 특히 호우가 내린 3일동안의 강우 강도는 낮동안에 다소 약하였다가 밤부터 점차 강해져 새벽무렵에 최대를 나타내는 뚜렷한 일일 주기성을 보였다. 또한 수렴대에 의한 경기 중북부지방의 집중호우는 8월 2일까지 지속되었으며 8월 3일 제 7호 태풍 “올가(OLGA)”가 북상하면서 우리나라 남부와 중부지방의 일부 지역에 집중호우를 내렸다.

집중호우와 관련된 기상특성으로 호우 전에 점차 상층 Jet가 남하하면서 중부지방에서 경압성이 증가되고 상층 발산에 의한 하층에서 상승류가 발달되고 있었으며, 7월 31일 상층 기압골이 산동반도 부근의 열대 저압부와 연관하여 서해상에 정체·회전하면서 강한 수분과 에너지를 수송하였다. 집중호우 전부터 지속적으로 북태평양 고기압 가장자리에서 유입되었던 남서류와 합류(하층제트)되어 중부지방으로 강하게 유입되었고, 유입된 수증기와 에너지가 상층 제트에 의해 형성된 상승류를 타고 오르면서 수증기가 중부지방에서 수렴되어 발생한 것으로 보인다. 한편, 태풍 올가가 북상하면서 중부지방에서 형성되었던 이러한 종관 상태를 약화시키면서 수렴대가 태풍의 밴드내로 합류되어 빠른 속도로 북상하여 중부 지방에서 집중호우는 종료된 것으로 사료된다.

이와 더불어 3일 동안 강수가 지속되면서 강약을 반복한 이유는 1) 제 7호 태풍 올가에 의하여 북태평양고기압이 한반도에서 세력을 유지하며 지속적으로 남서류가 유입되었고, 2) 서해상에서 정체하면서 회전하고 있었던 저기압성 요란이 12~24시간을 주기로 한반도로 열과 에너지를 공급하면서 강수대의 강약이 반복되었던 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 김성삼, 1973 : 우리나라 중부지방 대홍수의 기상조건에 대하여, 한국기상학회지, 9, 73-80.
- 박순용 등, 1986 : 호우의 종관적 특징분석, 한국기상학회지, 22(1), 42-81.
- 오재호, 1999 : 기후학 (I) -기후와 대기순환, 아르케, 362pp.
- 이동규, 홍성유, 1991 : 집중 호우 모의에 있어서 중규모 수치모델의 초기화 실험, 한국기상학회지, 27(2), 144-164.
- 홍성유, 1992 : 한반도에서 발생한 집중호우의 수치모의, 서울대학교 대학원박사학위논문, 246pp.
- Cha, E. J., Y. J. Choi and J. H. Oh, 1998 : Analysis on the Characteristics of Climate, 26(1), 31-41.