

중부지방에서 발생한 1990년 9월 9~11일 豪雨에 관한 연구

이 현 영* · 이 승 호**

◀目 次▶	
1. 서 론	4. 사례 호우의 종관적 특성
2. 연구방법 및 자료	5. 사례 호우의 강수 분포
3. 한반도 호우의 특성	6. 결 론

主要語：豪雨，安定度 指數，上·下層 제트，南西氣流，綜觀系，局地的 擾亂

1. 서 론

중위도의 대륙 동안에 위치한 우리나라는 4계절을 지배하는 기단의 변화에 따라서 건기와 우기가 뚜렷하게 구분되며, 해양성 기단의 영향을 받는 여름철에는 연강수량의 50% 이상이 집중되어 나타난다. 특히 여름철의 강수량은 종종 단시간에 집중되어 호우의 형태로 나타나므로 매년 그로 인한 홍수 피해를 겪고 있다. 일반적으로 호우는 중관규모보다는 작은 중간규모의 요란에 의해 야기되므로 이런 현상은 중관일기도에서 분석이 쉽지 않아 호우의 예측이나 그 피해에 대한 대책을 수립하는 일은 어려운 과제로 대두되고 있다.

호우란 많은 양의 비가 단시간에 내리는 강우를 뜻하나 그 정의가 일정하지 않다. 우리나라 기상청에서는 일강수량이 80mm 이상이 예상될 경우에 호우주의보를 발표하고 있으나 1시간 강수량이 20mm 이상이 되거나 일강수량이 100mm 이상인 경우, 또는 일일 강수량이 연강수량의

5%를 초과하는 경우 등을 호우로 정의하기도 한다. 그러나 호우는 홍수를 유발하므로써 재해를 초래하는 경우가 많은 점을 고려할 때 단순히 강수량에만 준거하기 보다는 그 지역의 환경을 고려해야 할 것이다. 즉, 일반적으로 하천이나 사면은 자연 상태에서 그 지역의 보통 강우에는 견딜 수 있으므로 호우에 대한 적응력은 강수 특성과 더불어 지형, 토양 등 그 지역의 자연환경에 따라 다르게 나타나기 때문이다. 二宮(1975)¹⁾은 연강수량의 10%에 해당하는 비가 하루에 집중되면 재해가 발생하므로 일강수량이 연강수량의 10%에 달할 때 이를 호우로 정의하였다. 二宮의 정의에 따르면 중부지방의 경우, 일강수량이 120~150mm가 되면 호우라고 할 수 있으나, 본 연구에서는 재해를 유발한 강수만을 호우로 정의하였다.

호우에 관한 연구는 기상학적, 기후학적, 행태지리학적 측면에서 접근되고 있다. 기상학적 연구는 주로 특정 호우를 사례로 종관 특성에 관하여 연구되었다(손형진, 1971²⁾; 윤개영, 1973³⁾; 이광호와 김문일, 1982⁴⁾; 박종서와 이

* 건국대학교 이과대학 교수

** 건국대학교 대학원 박사과정

이 논문은 1992년 6월 26일 대한지리학회에서 발표된 논문임.

1) 二宮洗三, 1975, 雨とメソシステム—集中豪雨のメカニズムを探る—, 東京堂出版, 東京.

2) 손형진, 1971, “停滯前線上에 發生한 豪雨,” 한국기상학회지, 제 7권 2호, pp. 49-56.

3) 윤개영, 1973, “湖南地方의 8월 20日 豪雨에 대하여,” 한국기상학회지, 제 9권 1호, pp. 35-42.

4) 이광호·김문일, 1982, “集中豪雨의 綜觀氣候學的 研究,” 한국기상학회지, 제 18권, 2호, pp. 11-17.

내영, 1985⁵⁾). 특히 신경섭(1991)⁶⁾과 변희룡 외(1992)⁷⁾는 본연구와 같은 1990년 9월 9~11일에 발생한 호우를 사례로 연구하였다. 각각 호우 예보시에 綜觀系에 의한 강한 수증기의 유입과 상·하층 제트기류의 중요성을 강조하였는데, 전자는 종관계에 의한 호우 예측을 위해서 동적 개념의 안정도지수 개발이 필요하다고 제안하였다. 이밖에도 호우의 빈도(전종갑, 1979⁸⁾; 기상연구소, 1978⁹⁾; 양진석, 1980¹⁰⁾; 이충구 외, 1987¹¹⁾)와 호우의 지역성(양진석, 1981¹²⁾; 서학용, 1988¹³⁾), 호우시의 기상조건(김성삼, 1973¹⁴⁾), 강수량과 호우 면적과의 관계(조희구, 1970¹⁵⁾) 등이 연구되었다. 중앙관상대(1973)¹⁶⁾는 호우에 대한 유형 및 계절별 발생 상태를 조사한 바 있다. 한편, 홍수에 대한 사회적 측면에서 접근한 연구도 이루어지고 있는데, 이문종(1974¹⁷⁾, 1971¹⁸⁾)과 김송미(1984)¹⁹⁾가 각각 하천 유역 주민을 대상으로 행한 홍수에 대한 知賞 연구가 이에 속한다.

한국의 호우는 여름에 집중되어 있으나(74.2%), 가을(15.9%)과 봄(8.8%)에 발생하기도 한다. 가을철의 호우는 대부분의 경우, 온대성 저기압이나 태풍에 의하여 발생하므로 그 피해가 남해안 지방에 심한 것이 일반인데 1990년 9월

9~11일의 호우는 중부지방에서 발생하였고, 지역에 따라서 일강수량 100~300mm를 기록하였다. 그리고 한강 하류지역의 행주대교 부근 북쪽 제방을 무너뜨려 경기도 고양군 일대를 물바다로 변화시켰고 인명, 재산 상의 막대한 피해를 입힌 바 있다²⁰⁾. 당시의 호우는 강수의 원인과 강수의 지리적 분포가 일반적인 가을철의 호우와 상이하므로 본 연구에서는 당시의 기상상태의 종관적 분석을 통하여 호우의 원인을 재조명하고, 호우의 강도 및 규모의 국지성을 밝히고자 한다.

2. 연구방법 및 자료

본 연구에서 사용한 자료는 1990년 9월 9일부터 11일까지의 기상청 산하 20개 기상관측소의 시간별 강수량 자료와 6시간 간격의 기온, 해면기압, 풍향, 풍속 자료, 그리고 건설부 산하 54개 우량관측소의 시간별 강수량 자료, 같은 기간의 00Z, 12Z의 지상일기도 및 12Z의 상층(850, 700, 500, 300, 200mb) 일기도, 00Z, 12Z의 오산 지방 단열선도, 구름사진, 관악산 기상 radar echo 등이다. 또한 기상청 산하 관측소(分室)가 관측을 개시한 1972년부터 1991년까지의 강수량

- 5) 박종서·이내영, 1985, "1980년 8월 25~26일 남한에서 발생한 집중호우의 종관기상학적 연구," 한국기상학회지, 제21권 3호, pp. 44-52.
- 6) 신경섭, 1991, "1990년 9월 한강 대홍수 사례의 기상역학적 고찰," 예보기술, 제 2권 2호, pp. 13-26.
- 7) 변희룡·김용상, 1992, "상, 하층 제트에 의해 유도된 집중호우의 사례연구," 한국기상학회 학술발표 초록집, p. 13.
- 8) 전종갑, 1979, "우리나라 豪雨의 統計的 分析," 기상연구소 연구논문집, 제 1권 1호, pp. 51-56.
- 9) 중앙기상대 기상연구소, 1978, "集中豪雨의 상습지역에 대한 調査研究".
- 10) 양진석, 1980, "남한의 우기 호우에 관한 연구," 청주대학교 논문집, 제13집, pp. 75-84.
- 11) 이충구·김우규·김동호, 1987, "우리나라 호우의 발생빈도 조사," 氣象研究論文集, pp. 9-16.
- 12) 양진석, 1981, "한국의 호우와 상위극치와의 상관에 관한 연구," 청주대학교 논문집, 제 14집, pp. 45-53.
- 13) 徐鶴溶, 1988, "우리나라 雨期 豪雨의 地域的 區分에 관한 研究," 地理教育論集, 제19호, pp. 49-70.
- 14) 김성삼, 1973, "우리나라 中部地方 大洪水의 氣象條件에 관하여," 한국기상학회지, 제 9권 2호, pp. 73-85.
- 15) 조희구, 1970, "우리나라 호우의 최대 DAP 분석," 한국기상학회지, 제 6권 2호, pp. 79-82.
- 16) 중앙관상대 연구조사부, 1973, "호우를 중심으로한 기상특성별 일기도 분류(1968~1972)," 중앙관상대, MR-73-1.
- 17) 이문종, 1974, "4대강 유역 주민들의 洪水에 대한 Perception 연구," 지리학, 제 9호, pp. 55-66.
- 18) 이문종, 1971, "한강의 洪水와 그에 대한 適應類型에 관한 研究," 서울대학교 교육대학원 석사학위 청구논문.
- 19) 김송미, 1984, "榮山江 下流 住民의 洪水에 關한 Perception 분석," 無等地理, 제 2호, pp. 57-75.
- 20) 이 기간동안 중앙재해대책본부에서 집계한 피해내역을 보면, 이재민 52,082세대에 187,265명과 사망 126명, 실종 37명, 건물 전파 1,125동, 반파 1,883동, 유실 506동, 농경지 유실·매몰 7,795.59정보, 농작물 47,087.8정보, 도로 739개소, 하천(제방·기타) 1,505개소, 철도 132개소, 축대·담장 466개소, 가축 1,281,965두 등 재산 총 피해액이 520,312,144천원에 달하였다.

료를 한반도의 발생원인별 호우의 빈도 분석에 이용하였다. 호우의 발생원인은 기상청²¹⁾의 분석결과를 이용하였다.

지상 일기도와 상층 일기도를 시간별로 분석하여 호우를 유발한 기압계의 이동 경로와 발달 상태, 수증기의 분포 상태를 파악하고, 호우시의 한반도와 그 주변지역의 대기의 수직적인 상태를 파악하기 위하여 오산지방의 단열선도와 중국의 北京(54/511), 大連(54/662), 한국의 오산(47/122), 포항(47/138), 일본의 米子(47/744) 지방을 잇는 선의 단면도(이하 A 단면도라고 함)와 중국의 秋山, 上海, 한국의 광주(47/158), 오산을 잇는 선의 단면도(이하 B 단면도라고 함)를 분석하였다.

하층에서의 수증기 유입상태를 파악하기 위하여 850mb 고도에서 기온과 노점 온도의 편차가 2°C 이하인 경우를 습윤구역으로 정하고, 그 분포와 하층 제트기류의 위치를 파악하였다. 그밖의 등고선과 등온선은 일본 기상청에서 분석한 일기도를 이용하였다.

사례호우 중 9일의 강수와 10~11일의 강수는 그 機構가 다르므로, 각각 분류하여 분석하였다. 10~11일의 강수는 중관계 규모와 그 보다 작은 규모의 요란이 결합되어 형성된 강수라고 판단되므로, 국지적인 요란을 분석하기 위하여 중부지방의 등압선을 10일 09시부터 6시간 간격으로 분석하여, 지상의 강수 분포와 국지적인 기압계와의 관계를 분석하였다. 또한 지형이 국지적인 강수의 분포에 미친 영향을 파악하기 위하여 소축척의 지형도에 3시간 간격의 강수량 등치선을 중첩하여 분석하였다.

3. 한반도 호우의 특성

호우는 우리나라에 기상재해를 일으키는 요인 중에서 빈도가 가장 높은 것이다. 그림 1은 1904년부터 1990년까지 재해를 유발한 호우의 빈도를 나타낸 것인데, 1980년 이후에 현저한 증가 추세를 보이고 있으며 근년에는 연간 5~10회 정도의 높은 빈도를 나타내고 있다.

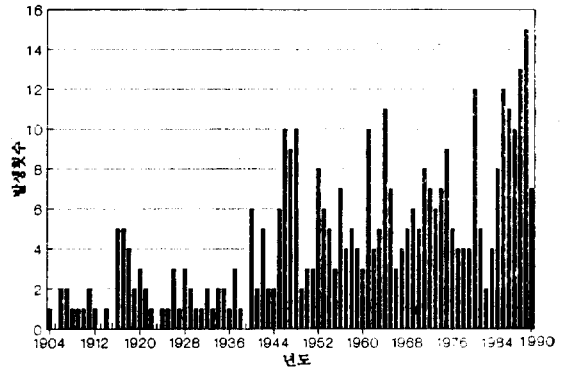


그림 1. 재해를 유발한 호우의 빈도(중앙기상대, 1990)

일반적으로 한반도상의 호우는 華北지방, 양쯔강 유역, 동중국해상에서 발생하여 이동해 오는 온대성 저기압과 장마전선이나 태풍 또는 국지적인 가열에 의한 상승기류와 지형성 강우에 의하여 발생하고 있다. 이러한 온대성 저기압, 태풍 및 전선상의 파동 등은 중관규모의 기상 상태를 배경으로 하고, 그 중에서 중간 규모(meso α scale)의 요란이 연속적으로 발생하면, 단시간 내에 다량의 호우를 유발한다. 중규모 요란의 시간적 규모는 수시간 내이며, 공간적 규모는 100km 정도이므로 특정지역에 집중되어 나타나는 경우가 많아 집중호우라고도 한다.

호우를 가져오는 수증기원은 여러가지이나, 주로 소위 습설이라고 불리는 아열대 고기압으로부터의 습윤공기의 유입에 의한다. 일반적으로 아열대 고기압의 서측은 다우·다습 상태로 기층이 불안정하나 동측은 소우·건조 상태이며, 기층도 안정상태이다. 한반도에 호우를 일으키는 태풍, 온대성 저기압, 장마전선상의 파동은 이 아열대 고기압의 서측에 위치한다.

태풍이 내습하는 경우는 북태평양 고기압의 연변부가 우리나라 남해안까지 덮고 있고, 태풍이 필리핀 동쪽의 해상에서 비교적 느린 속도로 북상하면서 고온다습한 기류를 장시간 우리나라의 상공에 유입시키는 경우에 심한 호우가 나타난다. 또 태풍이 대만 부근을 지나서 일단 중국에 상륙한 후 전향하여 우리나라로 진행하는 경우에도 심한 호우가 발생한다. 태풍에 의한 호우는 대체로 8월(51.5%)에 집중되고, 태풍이

21) 기상청, 1972~1991, 기상연보.

통과하는 경로에 따라 호우역의 지역 차이가 심하다. 태풍의 통과 횟수가 가장 많은 곳은 낙동강 하류지역이므로, 영남 해안지방에는 태풍에 의한 호우가 빈번하게 발생하고 있다. 그외에도 남해안과 동해안에서도 비교적 높은 빈도로 나타난다.

장마전선이 우리나라에 걸쳐있는 경우에도 전선상에서 집중호우가 발생할 수 있다. 북태평양 고기압이 한반도의 남부지방까지 덮고 있을 때, 전선이 남북으로 진동하면서 전선상에서 파동상의 저기압이 형성되어 동진하면서 호우를 내리게 한다. 장마전선에 의한 호우는 7월(67.8%)에 집중적으로 분포한다.

중국에서 발생한 온대성 저기압이 통과할 때 역시 호우가 많이 발생한다. 중국 일원이 저압부로 되어 있고 북태평양 고기압의 연변부가 우리나라까지 덮고 있을 때, 山東반도 부근에서 저기압이 동진하면 고온다습한 기층에서 다량의 강우가 유발된다. 온대성 저기압에 의한 호우는 8월(42.5%)에 집중적으로 발생한다.

국지적인 가열이나 지형적인 요인에 의하여 발생하는 상승기류(중규모; meso γ scale)도 호우를 야기할 수 있다. 그러나 일강수량 100mm 정도의 호우를 내리기 위해서는 수평적인 수렴에 의한 상당량의 수증기가 공급되는 등, 중간(meso α)규모 정도의 수렴이 있어야 호우가 발생할 수 있다. 그러므로 우리나라와 같이 지형의 규모가 작은 경우에는 지형 자체 만에 의한

호우보다는 다른 중간규모의 요란을 더욱 발달시키는 역할이 더 중요하다.

4. 사례 호우의 종합적 특성

1) 지상 일기도 분석

집중호우가 있었던 1990년 9월 9일~11일의 지상 기압계 이동을 분석하기 위하여 9월 7일부터 12일까지의 기압계의 이동 상황을 파악하였다. 9월 7일 09시 현재 한반도는 동해상에 중심을 둔 변질된 북태평양 고기압의 영향권에 포함되어 전국이 맑은 날씨를 보였다. 한반도의 북서쪽에는 중심기압 995mb의 발달한 온대성 저기압이 전선을 동반하고 위치하여 있었으며, 티벳고원에서 발달한 이동성 고기압이 화북 지방에 위치하고 있었다. 한편 필리핀의 북동쪽 해상은 중심기압 960mb인 17호 태풍 Dot가 북서진하고 있었다. 동해상에 위치한 북태평양 고기압은 이동성 고기압으로 변질된 상태에서 세력이 점차 약화되었으며, 화북 지방의 이동성 고기압은 계속 동진하였다. 북서쪽의 한냉전선은 30kts 정도의 속도로 계속 동진하였고, 태풍 Dot도 계속 북서진하였다. 9월 9일 09시 현재 한반도는 북서쪽에 위치한 대륙성 고기압과 일본 혼슈의 태평양 연안에 위치한 해양성 고기압 사이에 형성된 한냉전선의 영향을 받고 있다. 9월 21시에는 한냉전선은 동해상으로 벗어나 한반도는 그 후면에 위치하게 되었으며, 華中 지방에는 북서쪽

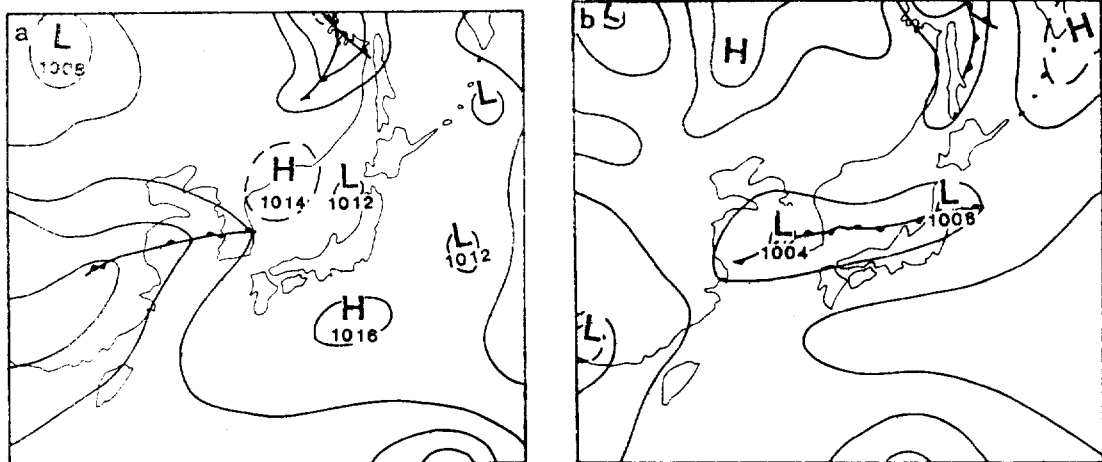


그림 2. 1990년 9월 10일 21시 (a), 11일 21시 (b)의 지상 일기도

의 대륙성 기단과 남쪽의 열대성 저기압과 해양성 기단사이에 새로운 전선대(정체전선)가 형성되어 5~10kts의 속도로 남동진하기 시작하였다. 10일까지 비슷한 상황이 계속되었으며, 11일 09시에는 전선대에서 중심기압 1,003mb의 저기압이 형성되어 30kts 정도의 속도로 동진하여 11일 21시에는 그 중심이 중부지방에 위치하였다(그림 2).

2) 상층 일기도 분석

850mb면은 하층의 수증기의 유입 상태를 파악하기에 적합하며, 850mb면의 바람장은 하층에 분포되어 있는 수증기의 수송 및 수렴에 중요한 역할을 한다. 즉, 850mb면은 대류권 하부층으로서 하층운의 고도와 일치하고 있어 강수의 가능성을 판단할 수 있으며, 하층의 강한 바람은 수증기를 수송하는 역할을 한다. 9월 9일 850mb면의 상황을 보면, 한반도는 동해상에 위치한 저기압의 후면에 놓여 있었으며, 습윤구역은 화남지방에 위치한 열대성 저기압과 華中지방에서부터 한반도의 남부 지방에 걸쳐 분포하고 있었다. 10일에는 대륙성 고기압과 해양성 고기압의 사이에 형성된 기압골이 한반도에 영향을 미치고 있었으며, 하층 제트가 한반도의 중부지방을 통과하고 있었다. 습윤구역은 華南에서 華中 지방을 통과하여 한반도의 남부에 영향을 미쳤다. 11일에는 한반도 전역이 중부지방에 중심을 둔 저기압의 영향권하에 포함되었고, 하층제트는

남동진하여 광주와 포항 상공을 통과하고 있었다. 북태평양 고기압과 대륙성 고기압의 사이에 전선대를 따라 형성된 습설은 華南지방에서 동중국해상을 거쳐 한반도의 남부까지 확장되었는데, 이는 하층 제트를 따라 중부지방으로 유입되었다(그림 3).

9월 9일 500mb상에서도 태풍 Dot는 열대성 저기압으로 약화되어 華南의 내륙 지방에 정체하고 있으며, trough는 원산만 부근에 위치하고 있고 평양과 원산을 잇는 선으로 수렴대가 형성되어 있었다. 10일에는 새로운 trough가 華北지방에 형성되었으며, 한반도에는 강한 남서기류가 유입되고 있었다. 태풍 Dot는 온대성 저기압으로 변질되었으며, 수렴대는 남동진하여 북부지방의 남부에 위치하고 있었다. 11일에 trough는 서해상으로 이동하였고, 수렴대는 남동진하여 중부지방을 통과하고 있었다.

300mb 고도의 바람장을 보면 한반도의 북동쪽에 최대풍속 40kts 이상에 달하는 강풍대가 위치하고 있었다. 중부지방은 그 강풍대 입구의 남측에 위치하며, 강한 남서기류의 영향을 받고 있었다(그림 4).

3) 단열선도 및 대기단면도 분석

9월 21시 오산 단열선도는 습윤층이 지상 7km까지 분포하고 있으며, 1.5km에서 6.5km까지 대류불안정층이 존재하고 있다는 것을 보여준다. 2km 고도까지 강한 남서기류가 유입되고 있으

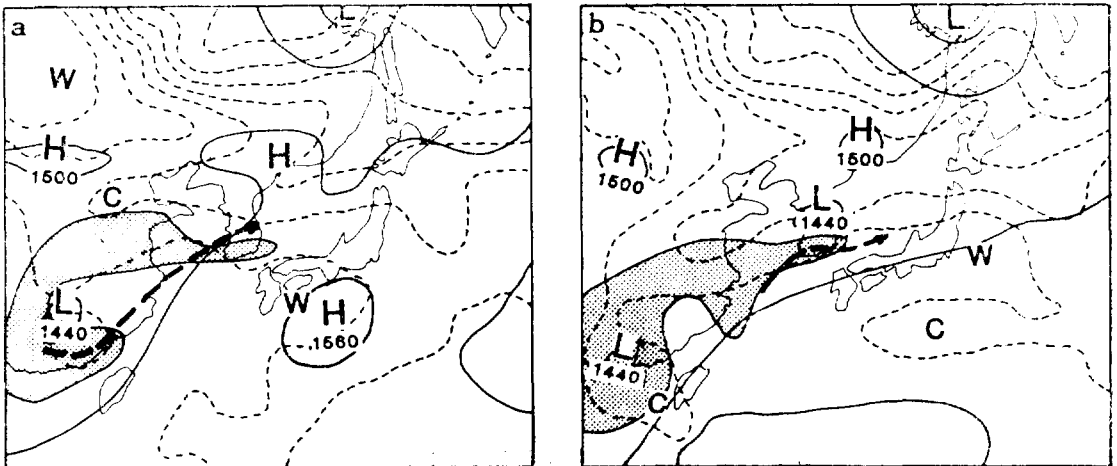


그림 3. 1990년 9월 10일 21시 (a), 11일 21시 (b)의 850mb 일기도

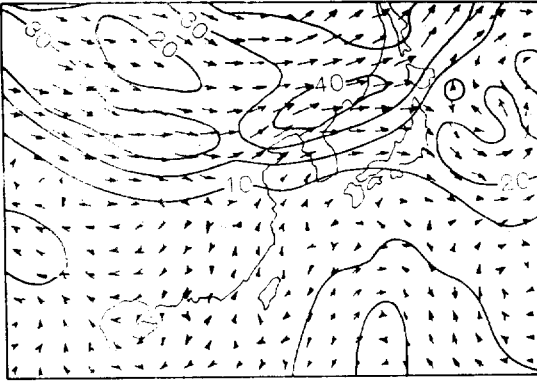


그림 4. 1990년 9월 10일 21시의 300mb 고도 바람장
며, 수직적인 바람의 분포는 순전(veering)하고
있다. 850mb 고도의 혼합비는 13g/kg이다. 10일
09시까지 남서기류가 강하게 유입되면서 하층의
기온이 상승하였다. 이러한 상태는 11일 09시까

지 계속되다가 11일 21시부터 습윤층의 고도가
낮아지고 혼합비도 11.5g/kg으로 낮아졌다. 11
일 09시에는 혼합비가 14g/kg으로 가장 높은 값
이다. 또한 10일 21시부터는 500mb고도까지 남
서기류가 유입되고 있으며, 특히 하층의 남서기
류가 강화되었다. 사례호우 기간 중 대기의 안
정도(SS1)는 9일 09~21시 사이에는 -2.5~-1
로 불안정한 상태이지만, 10일 03시 이후부터는
양의 값을 나타낸다. 호우가 가장 집중되었던
시간대인 10일 21시에는 +3으로 기층은 강우
강도에 비하여 매우 안정되어 있다.

10일 09시의 대기 단면도를 보면 하층에는 전
반적으로 습윤층이며, 상층에도 남서기류가 유
입 되면서 습윤해졌고, Jet기류는 大連지방의 상
공에 위치하고 있다. 오산 상공 700mb 고도에는
풍속 40kts의 하층 Jet가 형성되어 있다. 21

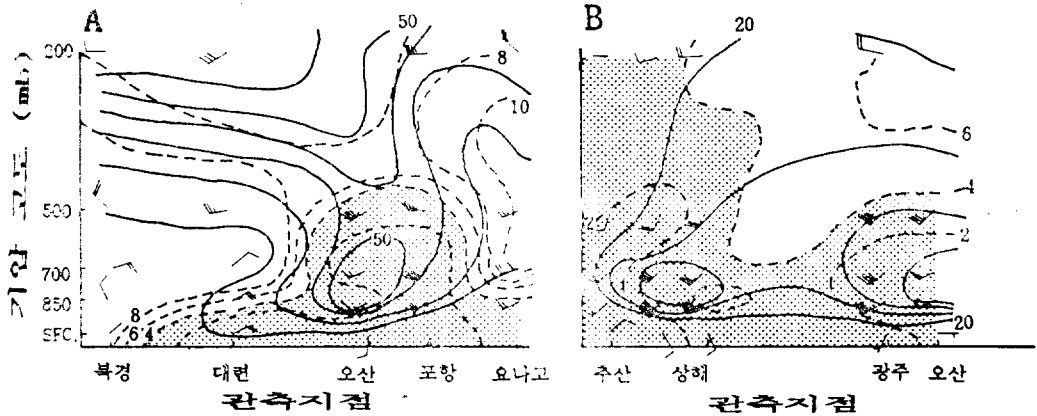


그림 5. 1990년 9월 10일 21시의 동아시아지역의 대기 단면도
(—: 등풍속선, - - -: 등포차선, ▨: 습윤구역)

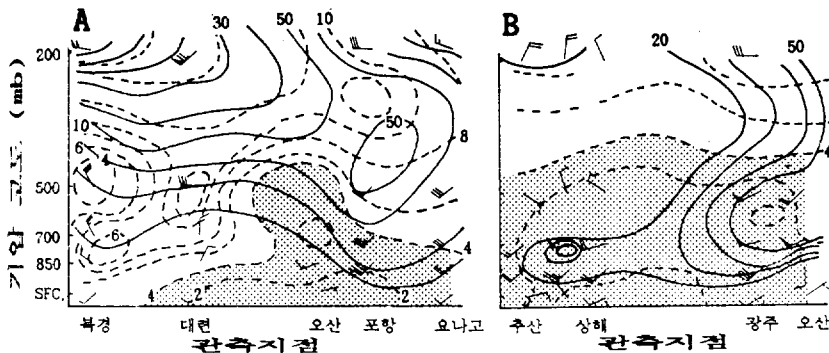


그림 6. 1990년 9월 11일 21시의 동아시아지역의 대기 단면도
(—: 등풍속선, - - -: 등포차선, ▨: 습윤구역)

시의 A 단면도에서는 전지역의 하층에 습윤층이 분포하며, 한반도 부근에서는 상층의 500mb 고도까지 습윤층이 나타난다. 또한 850mb 고도에서는 풍속 55kts에 달하는 강한 남서류의 하층 Jet가 형성되어 있다. B 단면도상에서는 秋山에서 上海에 이르는 구역에 200mb 고도까지 습윤층이 있으며, 500mb 고도까지 남서기류가 유입되고 있어 수증기가 계속 유입될 것임을 나타낸다(그림 5). 11일 09시 A 단면도 상에서는 한반도에서 중국의 大連 지방까지 500mb 고도까지

습윤층이 분포하며, 北京 상공에서는 건조 구역이 확대되고 있다. 하층의 바람은 계속 남서풍이지만, 오산 상공의 하층 Jet의 축은 포항 상공으로 이동하였고 풍속은 전 시간에 비하여 약화되어 30~40kts이다. 11일 21시에는 前시간에 北京 상공에 분포하던 건조 구역이 점차 확대되고 있으며, 오산 지방에는 여전히 500mb 고도까지 습윤구역이 분포한다. 강풍 축은 포항 상공의 500mb 고도로 이동하였다. B 단면도 상에서는 전구역이 500mb 고도까지 다시 습윤구역에 포

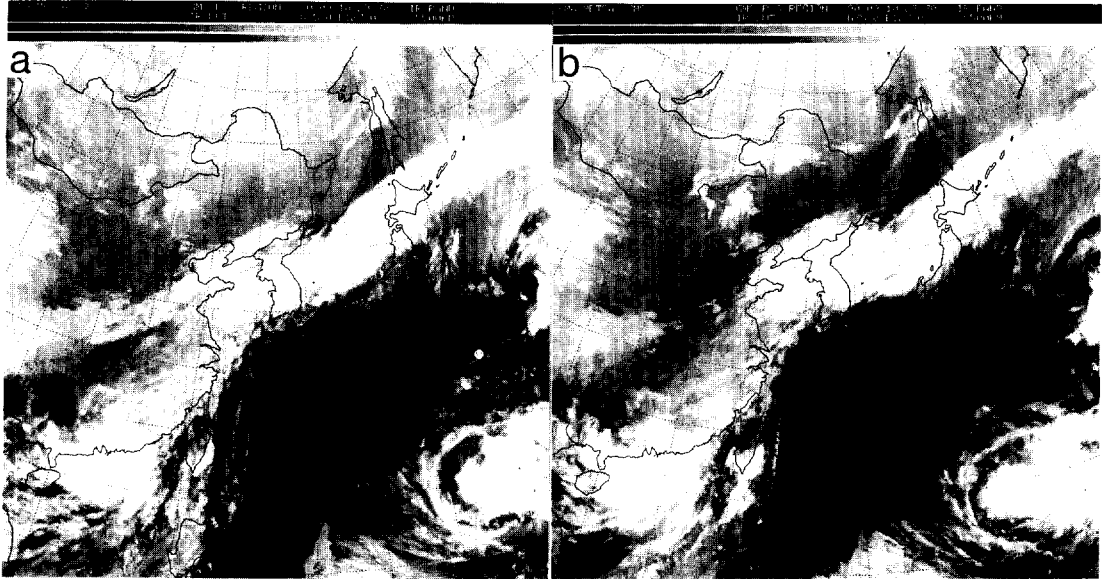


사진 1. 1990년 9월 10일 20시 30분 (a), 23시 30분의 구름사진(GMS-IR 영상)

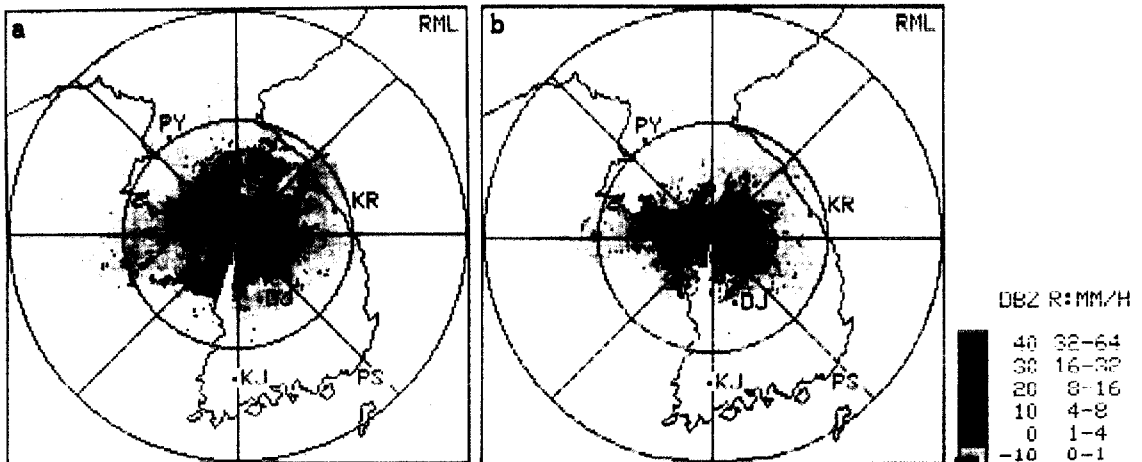


사진 2. 1990년 9월 10일 18시 (a), 21시 (b)의 관악산 기상 radar의 echo

함되었으며, 강풍대의 속도 광주 상공으로 이동하고 있어 수증기의 유입경로가 점차 남쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다(그림 6).

4) 구름사진 및 Radar Echo 분석

9일 21시에 열대성 저기압에 동반된 나선형의 구름대는 계속 북상하고 있으며, 발해만 부근에서도 구름이 발달하고 있다. 10일 03시에는 나선형 구름대는 북동진 하였고, 발해만의 구름대는 점차 발달하면서 남동진 하고 있다. 10일 09시에 서해상에서 합쳐진 남북의 구름대는 수렴대의 남하와 함께 한반도의 전지역을 덮고 있으며, 山東반도 남쪽의 서해상에는 강한 강수 cell이 발달하여 동진하고 있다. 10일 21시에는 수렴대를 중심으로 구름대의 폭은 좁아졌으나 각각의 cell은 더욱 발달하고 있다(사진 1). 11일 03시에는 강한 적운형 구름이 중부와 북부의 경계를 따라 동서로 분포하고 있으며, 또 하나의 새로운 강수 cell이 서해상에서 접근하고 있다. 09시까지 계속 비슷한 상황으로 발달하다가 15시부터 구름대는 점차 약화되면서 남동진 하여 12일 03시에는 중부지방은 구름대의 영향권에서 벗어났다.

10일 관악산에서 관측한 Radar echo(사진 2)는 운정이 7~8km이며, 강도는 중정도인 상태로 동~북동진하고 있다. Echo는 클러스터(cluster)

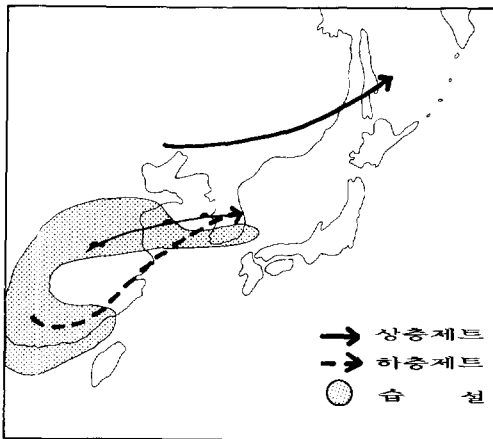


그림 7. 호우시 상하층 Jet와 습설의 위치 (1992년 9월 10일 21시)

형으로 발달하고 있으며, 개개의 cell은 동진하지만 서해상에서 계속새로운 cell이 유입되고 있어 한반도의 강우대는 확장, 정체의 상태가 계속되었다. 사례 호우기간 동안 echo는 일반적으로 전선상에서 발달하는 선형과는 달리 대부분 클러스터형으로 머물 형성하면서 발달하고 있는 것이 특징이다.

5) 결 토

지상 일기도와 상층 일기도를 분석한 결과, 9일의 강수는 온대성 저기압에 동반된 한냉전선에서 형성된 강수 cell에 의한 것이며, 10~11일의 강수는 정체 전선상에서 발생한 요란에 의해 형성된 것이다.

호우를 유발하려면 충분한 수증기의 공급과 강력한 상승기류, 기압계의 정체 등의 조건이 필요한데, 10~11일의 호우의 경우에는, 수증기의 공급과 중부지방에서의 주된 상승기류는 중관계의 지배를 받았다. 즉, 열대성 저기압인 태풍 Dot에 의해서 華南지방으로 유입된 수증기는 강한 하층 제트에 의해서 한반도로 유입되었다. 이러한 수증기는 한반도의 북부에 위치한 상층 제트와 중부지방의 남쪽에 위치한 하층 제트 사이에서 발생한 2차순환에 의한 강력한 상승기류와 결합되어 호우의 조건이 마련되었다(그림 7). 그러나 호우기간 중의 radar echo를 보면 강한 echo band는 일반적으로 전선상에서 형성되는 선형과는 달리 클러스터형으로 나타난다. 이는 당시의 호우가 중관계의 영향과 더불어 국지적인 요인이 작용하여 형성된 호우임을 나타낸다.

9일의 강수 예측에는 대기의 안정도가 유용하였는데 반하여 10~11일에는 강수량에 비하여 대기가 안정된 상태였다. 이에 대하여 선행연구에서는 안정도지수(SSI)가 중관계의 영향이 강한 호우를 정확하게 예측하려면 동적인 안정도지수의 개발이 필요하다고 주장하고 있다²²⁾. 그러나 본 연구에서는 호우의 강도로 보아 중부지방의 대기는 상당히 불안정한 상태인데 반하여, 고층관측소가 위치한 오산지방은 호우역의 남쪽

22) 신경섭, 1991, 앞의 논문, p. 18.

에 있어서 호우역과는 다른 대기 구조를 이루고 있었다고 추정된다. 따라서 중부지역의 강수를 예측할 경우, 종관계의 영향이 탁월할 때에는 오산지방의 안정도지수를 사용할 수 있으나, 국지성이 강한 강수일 경우에는 오산지방의 대기 안정도 값을 중부지방 전체에 적용하는 것은 부적합하다고 할 수 있다. 그러므로 국지성이 강한 호우의 예측을 보다 정확히 하기 위하여는 동적 안정도지수의 개발이 필요할 뿐만 아니라, 현재 설치되어 있는 오산, 광주, 포항, 제주(고산)의 고층관측소 이외에 호우가 빈번한 지역에 새로운 고층 관측시설의 확충이 요청된다.

5. 사례 호우의 강수분포

그림 8은 사례호우 기간 중 중부지방의 강수분포를 나타낸 것이다. 대체로 차령산맥과 광주산맥, 태백산맥으로 둘러싸여 있는 중부의 남부지역 중 남서기류에 대한 풍상측에서 높은 값을 나타내고 있다. 그림 9는 9일의 강수량 분포를 나타낸 것으로, 강수의 집중역이 강화에서 충주 부근으로 이어지면서 하나의 선형으로 나타난다. 이는 강수의 cell이 한반도의 북서쪽에서 형성되어 남동진하면서 강수를 내렸기 때문에 나타난 현상이라고 생각된다. 한편 10~11일의 강수량

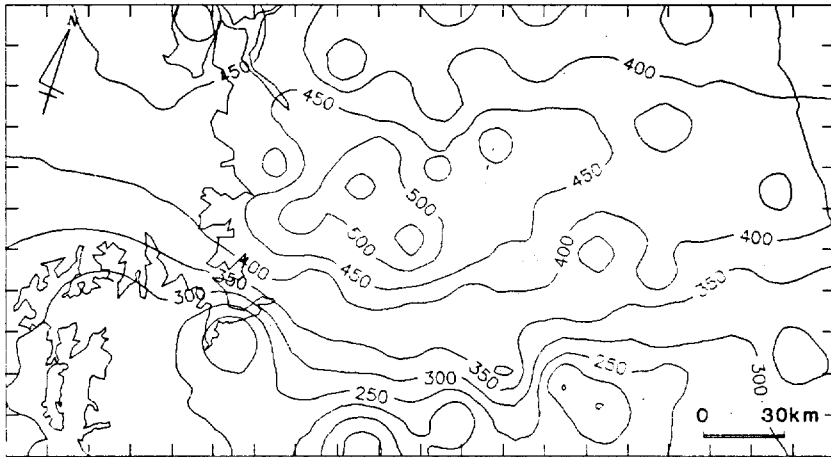


그림 8. 1990년 9월 9~11일의 강수분포(50mm 간격)

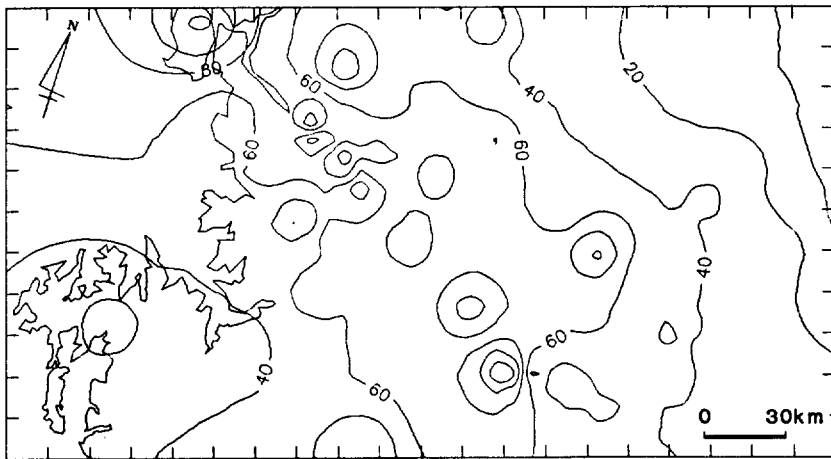


그림 9. 1990년 9월 9일의 강수분포(20mm 간격)

은 그림 10과 같이 강수의 집중역이 차령산맥과 광주산맥 사이에 분포하고 있다. 이 때의 강수량은 하나의 전선이 이동하면서 형성된 강수임에도 불구하고 강수의 집중역이 선형으로 나타나지 않고 클러스터형으로 나타난다. 이는 종관계 뿐만 아니라 도시지역의 승온효과, 지형적인 원인 등에 의한 중규모 이하의 요란이 이때의 강수에 영향을 미쳤음을 나타낸다.

강수의 국지성을 파악하기 위하여 강수량을 3시간 간격으로 누적하여 분석하였다. 국지적인 상승기류는 도시의 승온효과나 지형 등의 영향으로 발생할 수 있기 때문에, 각 관측점을 도시화의 정도와 호우기간 850mb 고도의 탁월 풍향인 남서기류와 사면의 방향과의 관계에 따라 5개의 群으로 분석에 고려하였다(표 1).

중서부 지방은 9일 자정을 전후로 강수가 시작되었으며, 내륙지방은 새벽 3~6시부터 본격적으로 강수대의 영향권에 포함되었다. 9일의 강수는 강화, 서울, 충주 지방에 비교적 집중되어 내렸다. 그림 11은 각 시간대별로 40mm 이상의 강수구역을 나타낸 것으로, 강수의 cell은 한반도의 북서쪽에서 남동진하면서 이동하였다. 이는 이날의 강수가 지형이나 도시의 승온효과보다는 종관계의 이동에 의해 그 분포 상태가 결정되었음을 나타낸다. 9일 오후부터는 비가 그치고 맑은 날씨를 보이다가 10일 09시를 전후하여 정체전선이 접근하면서 강수가 다시 시작되었다. 강수의 초기에는 시간당 강수량이 3mm내

표 1. 사면의 방향과 도시화정도에 의한 관측지점의 분류

지역의 특성	관측 지점
도시지역	서울, 인천, 의정부, 수원, 춘천, 주청, 안양
남서기류에 대한 풍상지역	원주, 홍천, 양평, 제천, 충주, 고안, 가평, 영월, 내촌, 여주, 성곡, 용인, 퇴계원, 경안, 상동, 경선, 평창, 진부, 충주댐, 원통, 상남
남서기류에 대한 풍하지역	인제, 강화, 이천, 서면, 성남, 화악, 양성, 청풍, 사북, 안흥, 괴산, 철원
남서기류 통과 지역	청평, 단양, 영춘, 현리, 강촌, 용대
산악지역	관악산, 대관령
동해안 지역	속초, 강릉, 삼척

외이었으나 12시부터 강수 강도가 강해졌으므로, 12시 이후부터 분석하였다. 12시부터 15시 사이의 강수량은 서산과 속초를 연결하는 선의 북서쪽에 비교적 집중되었고, 그 남동쪽은 5mm 이하의 분포를 나타내었다. 15~18시 사이에도 前 시간대와 비슷한 분포를 보이나, 집중역이 남동진하여 양지산(667m), 태화산(644m), 함봉산(306m) 줄기의 서사면 지역인 경안천 유역과 용인 지방에 강수 강도가 커졌다. 또 하나의 집중역은 용문산(1,157m)과 오음산(930m) 줄기와 광주산맥, 태백산맥 사이의 춘천과 서면

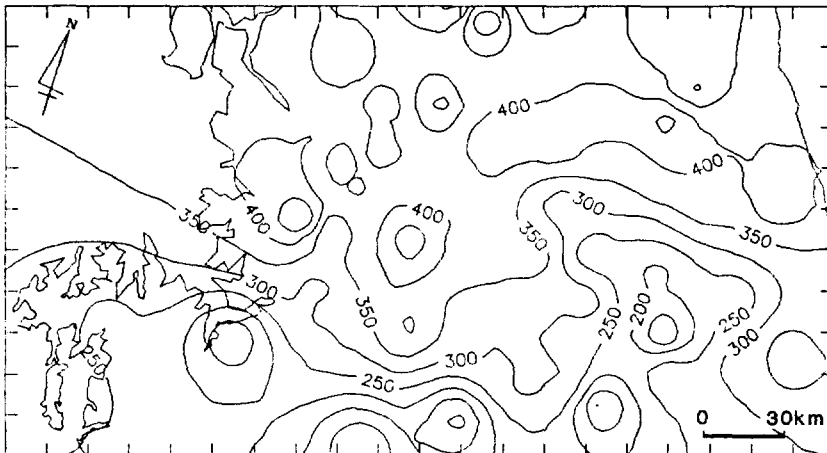


그림 10. 1990년 9월 10~11일의 강수분포(50mm 간격)

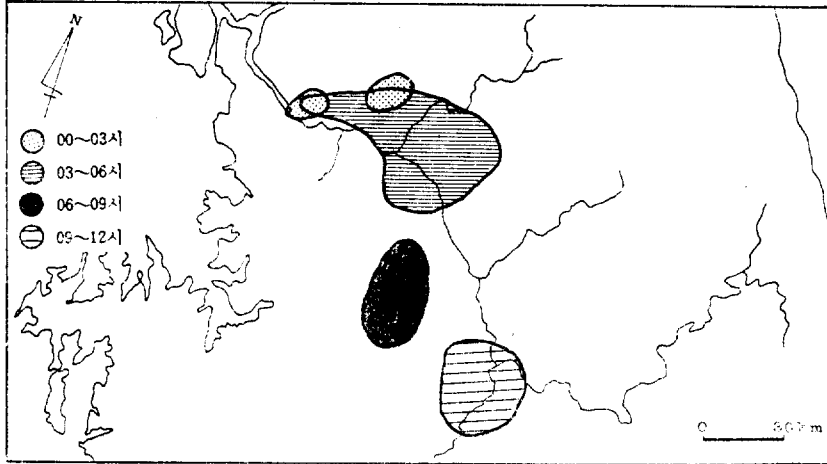


그림 11. 1990년 9월 9일 강수대의 이동(3시간 간격, 40mm 이상 지역)

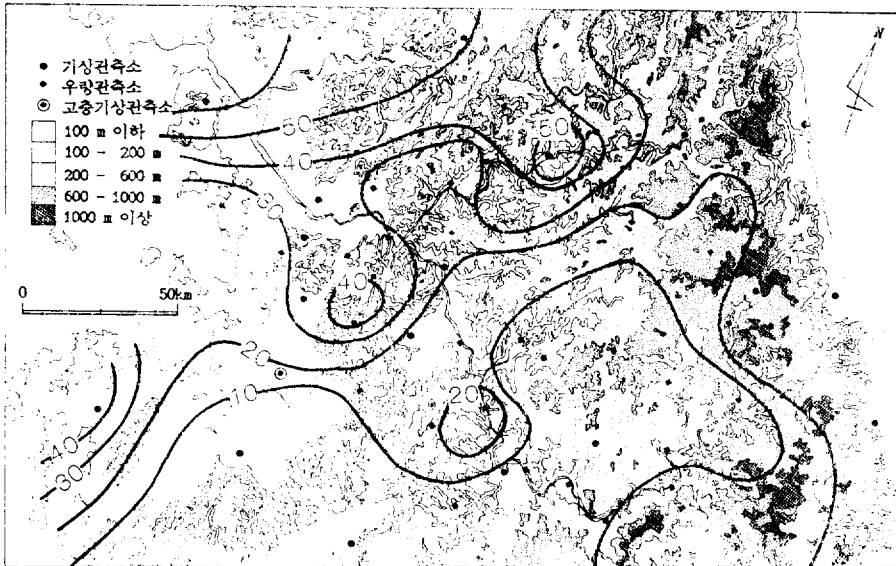


그림 12. 1990년 9월 10일 15~18시의 강수분포(10mm 간격)

관측소에 분포하였다(그림 12). 이들 지역은 남서기류에 대하여 풍상지역에 해당한다. 18~21시에는 대부분 지역에서 강수의 강도가 강해졌다. 집중역은 광주산맥과 차령산맥 사이의 남서기류에 대한 풍상측에 분포하였다. 21~24시에는 강수 cell의 중심이 18~21시와 같이 수원 지방에 위치하고 있어, 前시간대와 비슷한 강수 분포를 나타내었다. 강수의 강도는 더욱 강화되어 사례호우기간 중 가장 높은 강도를 보였으며, 수원에서는 151.5mm를 기록하였다. 이시간

대는 하층제트가 가장 강화되어 남서기류에 대한 풍상지역에서 강수 강도가 특히 강하였다(그림 13).

11일 00시 이후부터는 강수의 강도가 서서히 약화되기 시작하였으며, 집중역도 남동진하여 차령산맥의 서사면과 소백산맥의 서사면에 분포하였다. 03~06시에는 강수 강도는 뚜렷하게 약화되었으며, 집중역은 광주산맥과 차령산맥, 비룡산(527m) 줄기로 둘러싸여 있는 남한강과 섬강의 합류지점에 위치하였다(그림 14). 06시 이

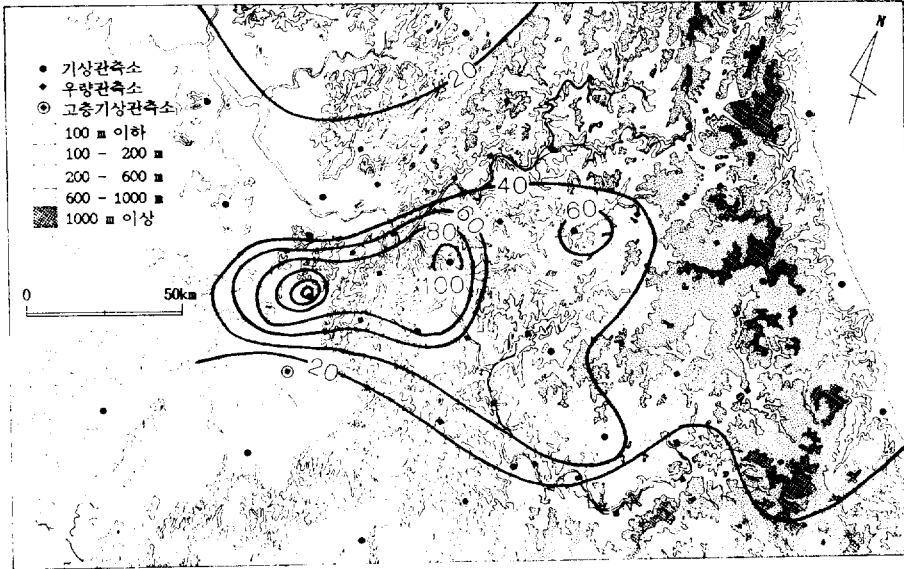


그림 13. 1990년 9월 10일 21~24시의 강수분포(20mm 간격)



그림 14. 1990년 9월 11일 03~06시의 강수분포(10mm 간격)

후부터 850mb 고도의 풍속이 점차 약화되기 시작하였으며, 06~09, 09~12시간대에는 대도시 지역인 인천과 서울에 강수의 강도가 비교적 강해졌다(그림 15). 이는 도시의 승온효과가 강수

에 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다. 강수현상이 있는 날에도 도시지역에서는 1~2°C의 열섬이 형성되며(박혜숙, 1983²³⁾; 기상연구소, 1986²⁴⁾), 1°C 정도의 열섬도 폭우를 유발할 수 있다(Parry,

23) 박혜숙, 1983, "서울 夏季氣溫의 都市氣候學의 研究—幹線道路에 따른 觀測을 中心으로—," 이화여자대학교 대학원 석사학위 청구논문.

24) 기상연구소, 1986, "서울의 도시기후 조사 (1) (4~9월)," 기상연구소 연구보고서 MR 86-5, p. 121.



그림 15. 1990년 9월 11일 06~09시의 강수분포(10mm 간격)



그림 16. 1990년 9월 11일 15~18시의 강수분포(10mm 간격)

1956)²⁵⁾는 것은 이미 연구 보고된 바 있다. 12시 이후부터 850mb 고도의 풍향은 남동~북동으로 바뀌었으며, 15~18시간대에는 동풍계에 대하여 풍상지역인 이천에 집중역이 위치하였다(그림 16). 18시 이후는 850mb 고도의 바람은

북동으로 바뀌고 풍속도 5kts 정도로 약화되었다. 이후부터 강수대는 서서히 남동진하면서 약화되어 중서부 지방은 강수대의 영향권에서 벗어났으나, 대관령 등 산악지방과 충주에서는 비교적 많은 강수가 있었다.

25) Parry, M. 1956, "An urban rainstorm in the Reading area," *Weather*, Vol. 11, pp. 41-48. 재인용.

6. 결 론

본 연구는 1990년 9월 9일~11일 중부 지방에서 발생한 호우를 사례로 호우시 종관계의 특성과 지형, 도시화 등 국지적인 요인이 호우에 미친 영향을 파악하고자 하였다.

사례호우 중 9일의 강수는 온대성 저기압에 동반된 한냉전선상에서 형성된 것이었으며, 강수 분포는 종관계의 영향을 우세하게 받았다. 10~11일의 강수는 정체전선상의 파동에 의한 것이었으며, 호우시 수증기는 하층 제트에 의해 공급되었으며, 국지적인 요란은 지형 및 도시의 승온효과와 밀접하게 관련되어 형성되었다. 특히 850mb 고도의 풍향과 지형조건이 결부되어 풍상 지역에 강수가 집중되었음을 볼 수 있었다. 즉, 사례호우의 경우, 이동이 빠른 한냉전선상에서 형성되는 강수는 종관계의 영향이 우세하였으나, 정체전선에서의 강수는 지형 등의 국지적인 요인이 강하게 작용하였다. 그러므로 장마기와 같이 정체전선이 영향을 받는 경우는 강수 예측을 할 때 종관계의 분석과 더불어, 풍향과 지형조

건을 고려함이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

호우기간 중 10~11일의 대기 안정도는 비교적 높은 값을 갖는데, 이는 고층기상 관측지점이 호우지역에서 벗어나 있어서 나타난 결과라고 생각된다. 그러므로 특히 최근들어 호우 발생 빈도가 증가하였고, 도시화로 인하여 막대한 피해를 입고 있는 한강 유역의 국지적인 호우 예측을 보다 정확하게 하기 위해서는 지역내의 고층 관측지점의 설치가 절실히 필요하다는 것을 본 연구결과는 보여주고 있다.

보다 정확한 호우 예측을 하고, 호우에 대한 대비책을 마련하여 그 피해를 절감시키기 위하여 기상청과 관련기관에서 많은 노력을 기울이고 있음에도 불구하고 도시화 및 산업화로 인하여 인명 및 재산 상의 피해는 오히려 매년 증가하고 있는 실정이다. 따라서 호우의 원인, 과정의 이해 및 예보 기법의 개선 등 기상·기후학적 연구는 물론 관련기관과 더불어 지역 주민들의 홍수 대비책에 관한 관심을 고조시키는 등 사회·경제·문화적인 측면의 연구를 통하여 호우로 인한 피해를 절감시켜야 할 것이다.

(投稿 1992년 8월 25일)

A Study of the Heavy Rains over Central Korea

Hyoun-Young Lee* · Seungho Lee**

Summary

The characteristics of the heavy rains over Central Korea from September 9 through 11, 1990 were analyzed as a case study to clarify the influences of the local topography and urbanization as well as the synoptic system of a region. Hourly precipitations from 20 stations of the Korea Meteorological Administration and 54 rain-gauge sites of the Ministry of Construction, surface(00, 12Z) and upper level(12Z) charts of East Asia, adiabatic charts at Osan station, weather cross-sections of East Asia, IR imageries from Geostationary Meteorological Satellite and weather radar echoes at Kwanaksan station were major data used in this study.

The heavy rains of September 9, 1990 were associated with the cold front of an extratropical cyclone which approached from northeast China and passed toward southern Japan through Korea, and the distribution of rainfall shows a strong influence of synoptic system of East Asia. On the contrary the heavy rains of September 10 and 11, 1990 were associated with the wave of the stationary front between a continental air

mass over northern China and both of a marine air mass over the northern Pacific and a tropical depression(DOT) over southern China. Even though the supply of moistures of the tropical depression through a low-level jet played a definite role in the precipitation, topography and urbanization caused local disturbances of air and brought about uneven rainfall distribution. In weather analysis for the forecast of heavy rains from stationary fronts during rainy season such as *changma*, local wind direction related to topography and urban areas should be taken into account as well as synoptic system. Stability indices at Osan, Kwangju, Pohang and Cheju, are in use for weather analysis of entire Korea, and during September 10 and 11, 1990 the index was relatively high in the study area. However, the index represents the condition at the Osan station located outside of the heavy rain area. More upper-air stations are required to reduce flood disasters in the Han River Basin through accurate weather forecasts.

Key words: heavy rain, stability index, upper. low-level jet, southwest flow, synoptic system, local disturbance