

## 2007년도 9월 집중호우의 기상학적 특성 분석



**이용희** ▶  
국립기상연구소 예보연구팀  
기상연구관  
yhlee@metri.re.kr



**하종철** ▶  
국립기상연구소 예보연구팀  
기상연구사  
bellfe@metri.re.kr



**이희상** ▶  
국립기상연구소 예보연구팀  
팀장  
heesanglee@kma.go.kr

32.1%나 증가하였다(기상청 기후자료팀). 이런 현상들은 9월 중순에 계속해서 우리나라에 직·간접적으로 영향을 준 태풍 나리(Nari)와 위파(Wipha)의 영향에 의한 것으로 분석되고 있으나, 온난화의 영향으로 가을철에도 강한 태풍이 우리나라에 직접적인 영향을 줄 가능성이 커지고 있음을 의미한다고 볼 수도 있다.

기상청에서는 이러한 집중호우와 같은 악기상에 대한 집중관측을 실시하여 그 예측성을 향상시키고자 전라남도 해남에 국가악기상집중관측센터를 운영하고 있다. 해남 국가악기상집중관측센터에는 수직측풍기(wind profiler), 라디오미터(radiometer), 오토존데(auto-sonde), 마이크로 강우레이더(micro rain radar), 광학강우강도계(optical rain gage), 플렉스 타워 등의 각종 첨단관측장비가 설치되어 시·공간적으로 고분해능의 집중관측 자료를 생산하고 있다(기상연구소, 2006).

이 논고에서는 기상청에서 운영하고 있는 국가악기상집중관측센터에 설치된 첨단관측장비를 활용하여 9월 15일에서 16일까지의 남부 및 제주 지역에 있었던 집중 호우의 특성을 살펴보고자 한다.

### 1. 서론

2007년 9월에는 강수량, 일교차, 일조시간, 운량 등의 각종 기후기록이 경신되었다. 강수량은 411.7mm로 평년 149.5mm에 비해 2.8배나 많이 내려서 1973년 이후 가장 많은 강수량을 기록하였다. 강수일수도 평균 17.0일로 평년 8.6일에 비해 8.4일이 많아 최고를 기록하였다. 월평균 일교차는 7.1℃로 평년 10.0℃에 비해 2.9℃가 작아 최소를 기록하고, 월 평균일조시간은 97.9시간으로 평년 184.3시간에 비해 무려 86.4시간이 줄어들어 최소를 기록했다. 운량은 하늘 전체를 10으로 보았을 때 7.4로 평년 5.6에 비해

### 2. 태풍 나리와 관련된 강우분포의 특성

각종 기록 경신 중에서도 태풍 나리의 북상에 따라 9월 15일과 9월 16일에 걸쳐 남부지방에 최고 150mm가 넘는 일강우량이 기록되면서 홍수가 발생하였다. 그림 1에는 2007년 9월 15일~16일까지의 남부지방과 제주도에 내린 일 강우량을 나타내었다. 태풍 나리가 한반도로 북상함에 따라 15일에는 간접적인 영향을 받다가 16일부턴은 제주도를 거쳐 고흥에

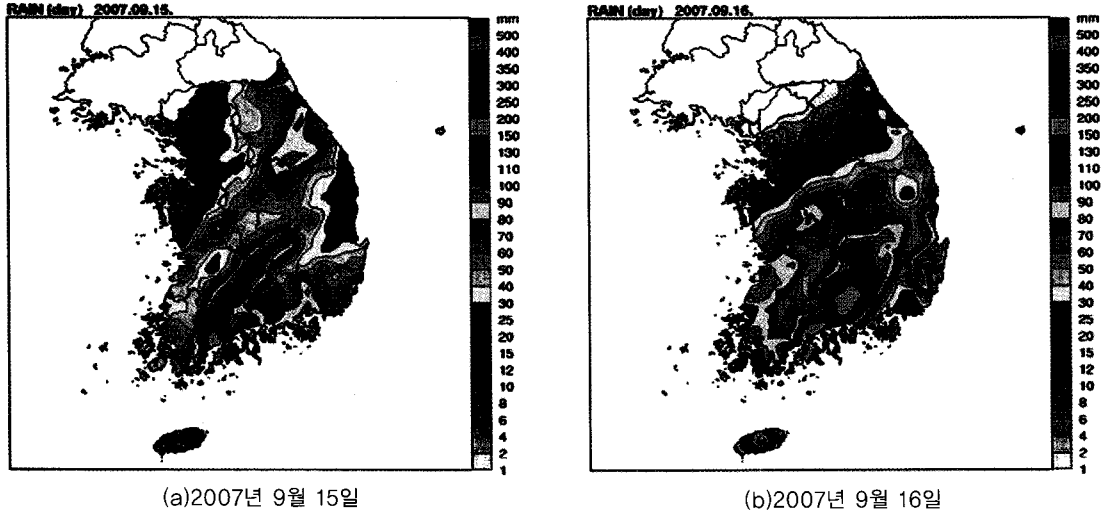


그림 1. 기상청 자동기상관측장비에 의한 일강우량(mm)

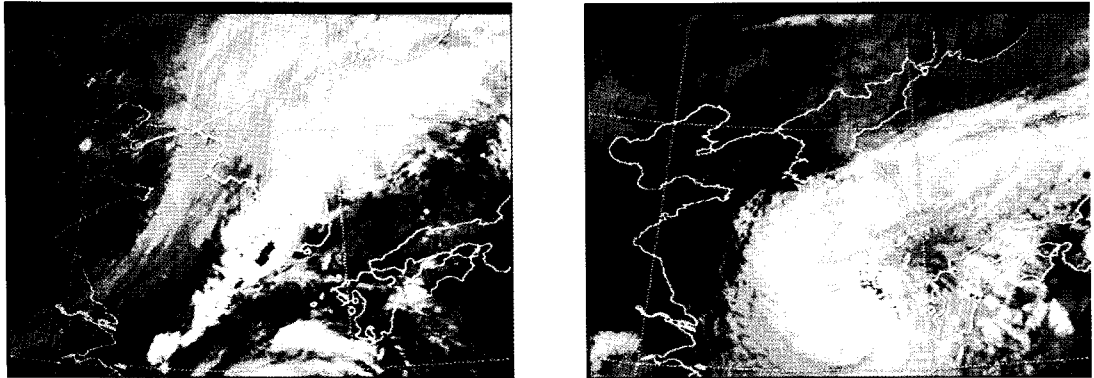


그림 2. 태풍 나리의 전면 구름대와 뇌우(보성 최대 강우시각), 태풍 나리의 상륙에 따른 강우(제주 최대 강우시각). 낙뢰관측자료는 빨간색 +로 표시

상륙함에 따라 직접적인 영향을 받게 되었다. 남부지방과 제주도에 대홍수를 유발하였던 강우의 지역적 분포를 살펴보면 15일과 16일의 일 강우량의 분포가 매우 유사하게 보이나 그 발생 메커니즘은 다르다.

그림 2에는 2007년 9월 15일 0400KST와 2007년 9월 16일 1000KST에서의 정지기상위성 MTSAT-1R의 적외영상과 기상청의 낙뢰관측망에 의해 감지된 낙뢰를 함께 표시하였다. 태풍 나리의 간접적 영향을 받은 9월 15일에는 남북으로 길게 늘어선 태풍 전면대 구름의 영향이 형성되었으며 이 구름대를 따라

남부지방에 좁고 길게 낙뢰 활동이 감지되고 있어 강한 대류활동이 있었음을 알 수 있다. 이러한 대류 활동은 그림 1에서와 같이 전라남도 보성을 비롯한 남부 지방에 띠형태의 강한 강우대를 만들었다. 9월 16일에 태풍 나리가 제주도 남단에 위치한 시각 제주도에 는 낙뢰활동을 동반하지 않고 태풍의 강한 소용돌이에 의한 강우가 나타나는데 이러한 경향은 태풍의 이동에 따라 북상하면서 전체적인 강우 분포는 다소 동진하였으나 9월 15일과 유사한 지역에 강한 강우를 동반하였다.

그림 2에서 위성사진과 낙뢰 관측자료를 바탕으로 보았을 때 9월 15일과 9월 16일에 발생한 호우는 그 발생과 유지 메커니즘이 다를 수 있음을 추정해 볼 수 있다. 이를 기상학적 관점에서 보다 세부적으로 확인하기 위하여 특별 관측 자료를 사용하여 확인하였다.

### 3. 집중관측을 통해 본 집중호우의 특성

이 연구에서는 이들 첨단 관측장비 중에서 수직측 풍기와 라디오미터를 이용하여 기상학적 불안정도를 구하였다. 해남 국가약기상집중관측센터에 설치된 수직측풍기는 1.3 GHz의 주파수대를 사용하여 시간적으로 높은 분해능의 바람장을 제공한다. 라디오미터는 20~30 GHz의 주파수대에서 21개의 채널, 51~59 GHz 주파수대의 14개의 채널을 가지고 연직 기온, 습도, 수액량을 추정해 낼 수 있다. 수직측풍기의 바람장을 이용하여 동역학적인 불안정지수인 Storm Relative Helicity (SREH)를 구하고, 라디오미터로부터 얻은 연직 기온과 습도 자료를 이용하여 열역학적인 불안정지수인 Convective Available Potential Energy (CAPE)를 구하였다. 이 2가지 불안정 지수와 전라남도 보성과 제주시의 강우량을 비교함으로써 태풍 전면대 구름에 의한 강우와 태풍의 직접적인 영향을 받았을 때의 강우의 특징을 비교해 보았다.

#### 3.1 SREH(Storm Relative Helicity)

Helicity는 스톰의 상대적인 유입류에서 연직쉬어의 정도를 나타내고 스톰의 상승류의 회전에 대한 잠재력을 나타낸다(Djuric, 1994). Helicity가 와도의 수평성분과 관련이 있으나 상승류에 의해 휘어진다면 중규모 저기압에 관련된 와도의 수직성분으로 나타낼 수 있다. Helicity의 값은 양 또는 음의 값을 가질 수 있다. 양의 값은 바람이 시계방향으로 순전하거나 평

균장에 비해 오른쪽으로 스톰이 이동하는 경우이며, 음의 값은 바람이 반시계 방향으로 반전하거나 평균장에 비해 스톰이 왼쪽으로 이동하는 경우이다. 이 면적은 1km에서 3km까지 유입류의 벡터로 둘러싸인 영역이다. 여기서는 1~3km의 SREH를 구하였다. SREH는 오른쪽으로 전향하는 거대세포의 바람 벡터를 나타낸다. SREH의 계산을 위해서 0~6km 밀도에 가중된 평균바람장을 이용하여 방향에 30°를 바람크기의 70%를 더하여 기존 스톰의 바람을 계산한다.

표 1. SREH와 스톰의 강도 분류

지 수	가 능 성
SREH > 150	Super Cell Storm
150 < SREH < 299	Weak Tornadoes
300 < SREH < 449	Strong Tornadoes
SREH < 450	Violent Tornadoes

#### 3.2 대류 가용 위치에너지(Convective Available Potential Energy, CAPE)

CAPE는 임의의 고도에서 상승한 공기덩이가 중립 상태가 되는 고도까지의 총 위치에너지로서 습윤 대기의 불안정도를 측정하는 유용한 척도가 된다(Bhat et al., 1996). CAPE는 대류가 일어날 수 있는 잠재적 에너지를 나타내며 양의 구역에 해당된다. 단위는 에너지를 나타내는  $Jkg^{-1}$ 이며 지수가 의미하는 값은 다음과 같다. 큰 CAPE가 있으면 중규모 저기압 발생에 있어서 작은 바람 쉬어(wind shear)에서도 가능하지만, 작은 CAPE는 강한 바람 쉬어가 필요하다. 자유대류고도(LFC)와 평형 고도(EL) 사이에서 각 고도의 공기괴에 대한 온위와 환경 온위를 계산함으로써 CAPE가 계산된다. CAPE는 LFC 위에서 상승하는 공기괴가 주변 온도보다 높은 상태에서 얻은 운동에너지에 비례한다. 일반적으로 CAPE의 큰 값은 점진적으로 활발하게 발달하는 대류를 의미한다. 그러나 만약 스톰의 상대적인 SREH가 클 때 CAPE

값은 적은 상태에서도 강한 스톰이 형성될 수 있으며 대류의 강도는 상승하는 공기가 가지는 부력에 의해 결정된다. 이러한 열역학적 불안정성은 한반도와 미국에서 매우 다른 양상을 보인다(Hong, 1997).

표 2. CAPE에 따른 대류 활동

지 수	가 능 성
300 < CAPE < 1,000	Weak activity
1,000 < CAPE < 2,500	Moderate Activity
2,500 < CAPE < 5,300	Strong Activity

### 3.3 불안정성과 관련된 집중호우의 특성

제주와 보성에서 관측된 10분 누적강우량(mm)의 시계열을 그림 3에 나타내었다. 제주에서 9월 15일 0400 KST부터 분당 5mm 이상의 강우가 6시간 동안 지속되다가 잠시 소강상태를 보였다. 9월 16일 0300KST부터 태풍 나리가 북상함에 따라 직접적인 영향으로 10분당 10mm가 넘는 강우가 내렸다. 특히 9월 16일 0900 KST에는 최고 22mm의 집중호우가 발생하였다. 이러한 강한 강수는 12시간을 지속하면서 제주도에 홍수를 유발하였다. 반면에 보성에서는 태풍 전면대에서 발달한 구름대의 영향으로 14일 오후부터 강우가 시작되어 15일 0400KST에는 최고 23mm의 매우 강한 강수가 발생하였다. 이후에 다소

소강상태를 보이다가 16일 오후부터 태풍나리가 고힘 반도에 상륙함에 따라 다시 10분 누적강우량 3mm 정도의 강우가 10시간 동안 지속되었다. 제주와 보성의 강우 시계열을 비교해 보면 15일에는 보성에서 집중호우가 발생하였고 16일에는 제주의 강우가 강하게 나타났다.

그림 4에는 해남 악기상집중관측센터의 수직측풍기와 라디오미터에서 산출한 SREH와 CAPE의 시계열을 10분 간격으로 나타내었다. SREH는 15일 오후부터 300  $m^2s^{-2}$ 로 강한 역학적 불안정을 보이다가 16일에는 태풍이 접근함에 따라 시간이 지나면서 지수함수적으로 증가하여 최고 1500  $m^2s^{-2}$ 까지 도달하였다. 반면에 CAPE은 14일 2000KST부터 15일 0200KST까지 700  $Jkg^{-1}$ 이상으로 다소 높게 나타났으며 최고 1100  $Jkg^{-1}$ 까지 나타났다. 이러한 높은 CAPE은 뇌운을 동반하였으며 CAPE이 해소되는 시각부터 뇌우가 나타났다. 반면에 태풍 나리가 상륙한 시점인 9월 16일에는 50  $Jkg^{-1}$ 의 약한 CAPE이 존재하여 열역학적 불안정이 거의 나타나지 않았다.

그림 3의 보성과 제주의 강우시계열과 그림 4의 불안정 지수를 각각 살펴보면 15일에 남부지방을 중심으로 나타난 집중호우는 CAPE와 관련된 열역학적 불안정성과 관련된 대류성 집중호우였으며, 16일 태풍나리의 북상과 직접 관련되어 나타난 제주를 중심으로 한 남부지방의 집중호우는 SREH와 직접 연관

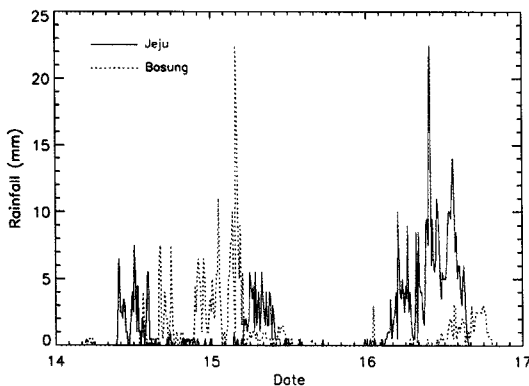


그림 3. 제주와 보성 관측지점의 10분 누적 강우량의 시계열

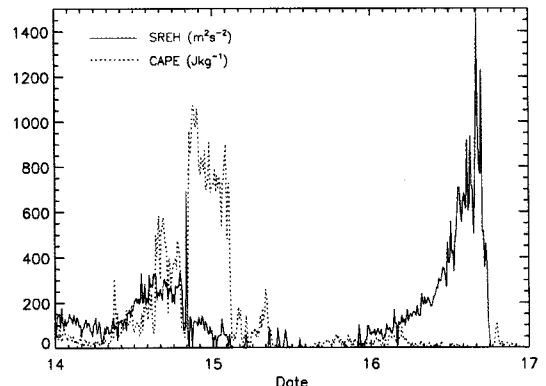


그림 4. 수직측풍기와 라디오미터로 산출된 SREH와 CAPE의 시계열

된 동역학적 불안정성에 의해 발생한 것으로 볼 수 있다. 9월 15일과 16일에 일어난 집중호우는 분포와 형태는 비슷해 보이나 그 발생과 유지의 메커니즘이 서로 달랐다.

#### 4. 결론

2007년 9월은 각종 기후학적인 기록들이 경신되었으며 특히 태풍 나리의 한반도 상륙과 관련하여 9월 15일과 9월 16일에 걸쳐 남부지방에 일강우량이 최고 150mm가 넘는 강우가 기록되면서 홍수가 발생하였다.

이 연구에서는 해남 국가악기상집중관측센터에 설치하여 운영 중인 수직측풍기와 라디오미터를 사용하여 열역학적 불안정을 진단할 수 있는 CAPE와 동역학적인 불안정을 진단할 수 있는 SREH를 시간적으로 산출하여 강수의 메커니즘과 연관시킨 설명을 시도하였다. 그 결과 9월 15일 태풍 전면대 구름에서 뇌우를 동반한 집중호우는 열역학적 불안정성에 의한 것이었으며, 9월 16일의 태풍 나리의 직접 상륙에 의한 강우는 동역학적 불안정성과 밀접하게 연관되어 있었음을 확인할 수 있었다.

수직측풍기와 라디오미터를 이용한 이러한 시도는 국내에서 처음 시도된 것으로 CAPE와 SREH 등에 대한 장기간의 관측 자료가 확보되면 기후변화에 따른 한반도 주변의 불안정성의 변화를 감지할 수 있게 된다. 이러한 불안정성의 변화에 동반된 강수 형태의 변화는 기후변화에 따른 수자원 확보 전략 등의 국가

정책을 수립하는데 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

#### 5. 사사

이 연구는 국립기상연구소에서 수행한 주요사업 “단시간 강수예측능력향상 연구(metri-2007-B-2)”의 일환으로 수행되었으며, 수직측풍기와 라디오미터 관측자료는 “한반도 악기상 집중관측 사업”에서 생산된 자료입니다.

#### 참고문헌

- 기상연구소 (2006). 한반도 악기상 집중관측(II-1). MR060F38, p. 327.
- Bhat, G.S., J. Srinivasan, and S. Gadgil (1996). Tropical deep convection, convective available potential energy and sea surface temperature. *J. Meteor. Soc. Japan*, 74, pp. 155-166.
- Djuric, D. (1994). *Weather Analysis*, Prentice Hall (Pub.).
- Hong, S.-Y. (2004). Comparison of heavy rainfall mechanisms in Korea and the Central US, *J. Meteor. Soc., Japan*, 5, pp. 1469-1479. ●