

뇌우와 토네이도

제10장

대기과학 및 실험 (2021)



박 기 현

과학영재학교 경기과학고등학교

2021년 11월 24일



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의

발달과 발생

토네이도의

파괴와

토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보



Cyclone

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



nave a diameter
contrast, hurr:
across, and to
(0.16 mile), aru

Q) 사이클론 용어가 사용되는 세 가지에 대해
기술하시오.

Q) 중위도 저기압, 토네이도, 허리케인의 풍속과 규
모를 비교하시오.

In parts of the Great Plains,
cyclone is a synonym for
tornado. The nickname for
the athletic teams at Iowa
State University is the
Cyclones.*

◀ Figure
10.1 The
term cyclone

Sometimes
the use of
the term
cyclone can be



①





명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보



뇌우

뇌우 : 번개와 천둥을 생성하는 폭풍우
천둥, 번개, 바람, 우박을 동반하는 경우가 많음
공기의 강력한 상하 움직임

가변적 특성 : 독자적으로 생기기도 하며, 사이클론과 연관되어 생기기도 함
중위도 저기압의 한랭 전선을 따라 뇌우가 형성되기도 하며, 허리케인은 뇌우 활동을 넓게 확대

뇌우의 종류

기단 뇌우: mT 기단과 같은 따뜻하고 습한 공기가 불안정한 환경에서 상승하여 적란운을 형성.
위험 뇌우: 풍속이 매우 빠르고, 우박과 홍수, 토네이도를 형성 지표의 불균등 가열, 전선면에서의 상승, 수렴대에서 형성

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



뇌우

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

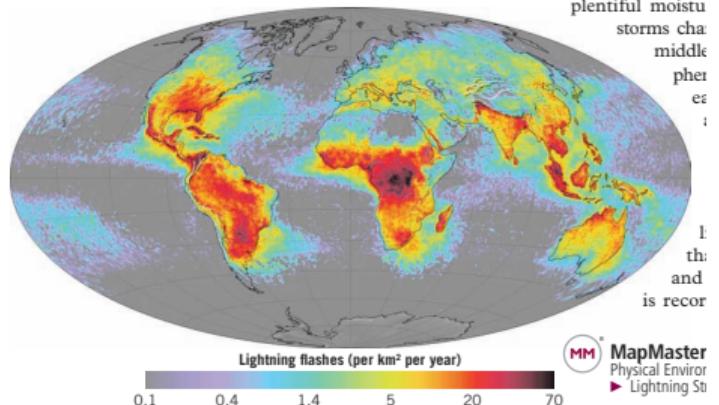
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



▲ Figure 10.2 World distribution of lightning Data from space-based optical sensors show the worldwide distribution of lightning, with color variations indicating the average annual number of lightning flashes per square kilometer.

plentiful moistu

storms cha

middle pher

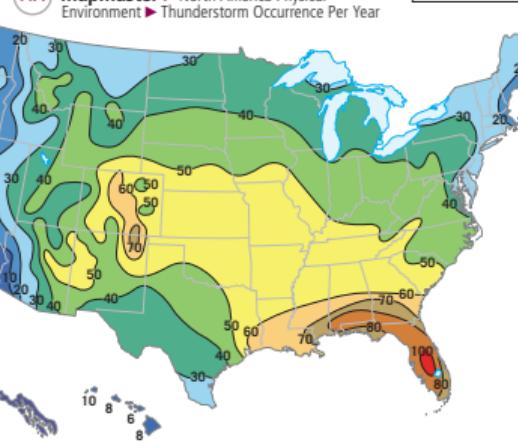
ea i

l th

and is recor

storms

greatest armth,



thunderstorms
begin of the Unit
same is true for

Q) 뇌우가 가장 빈번한 곳은 지구 전체에서, 미국에서 어디일까?

뇌우

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

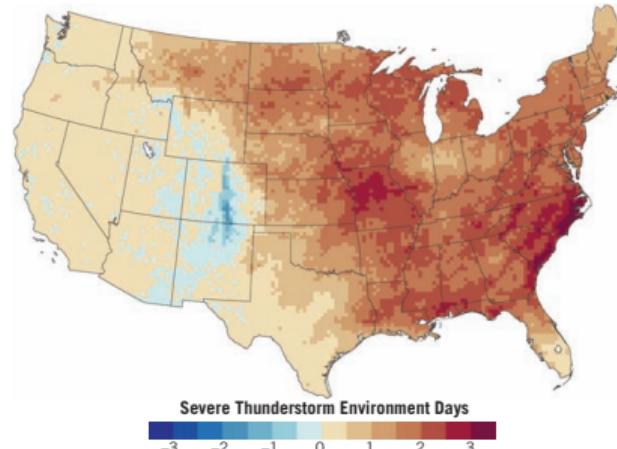
토네이도의

발달과 발생

토네이도의

파괴와

토네이도 예보



▲ **Figure 10.4 Future thunderstorm activity** This map shows changes in the number of days per year when the environmental conditions that promote severe thunderstorm activity occur. The map is based on a climate model comparing summer climate during 2072–2099 with a similar span during 1962–1989. Most of the area east of the Rocky Mountains is projected to experience an increase in these environmental conditions.

Q) 미래에 로키 산맥 동쪽과 미국의 동부, 남부의 위험 뇌우 활동은 어떻게 변화하겠는가?

Q) 뇌우 형성의 최우선 조건은 무엇인가?

Q) 뇌우가 가장 활발한 계절과 시간은 언제인가? 이유와 함께 설명하시오.



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보

기단 뇌우 (air-mass thunderstorms)

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

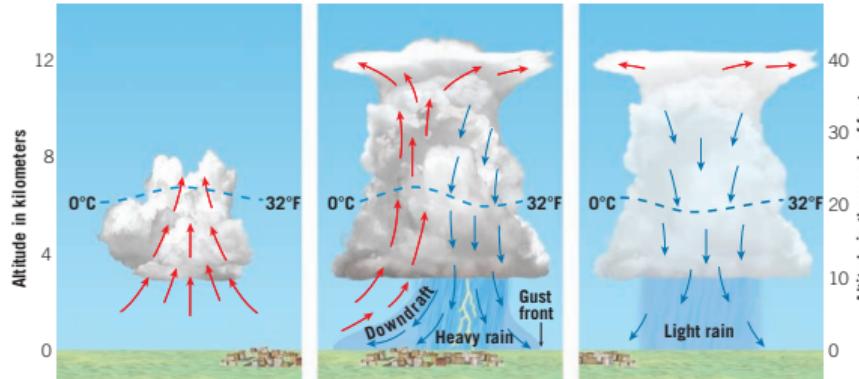
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



During the cumulus stage, strong updrafts provide moisture that condenses and builds the cloud.

The mature stage is marked by heavy precipitation. Updrafts exist side by side with downdrafts and continue to enlarge the cloud.

When updrafts disappear, precipitation becomes light and then stops. Without a supply of moisture from updrafts, the cloud evaporates.

of the falling precipitation to evaporate (a cooling process),

Q) 기단 뇌우가 형성되는 과정을 세 단계로 설명하시오.

적운 단계(cumulus stage)

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

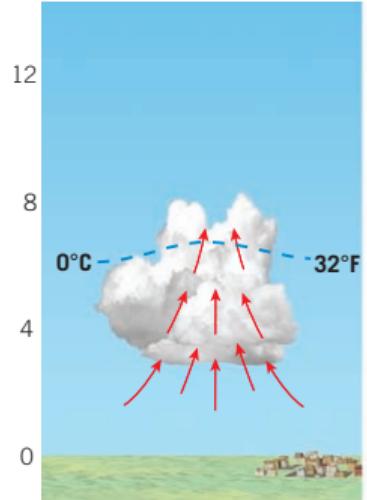
번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와

토네이도 예보

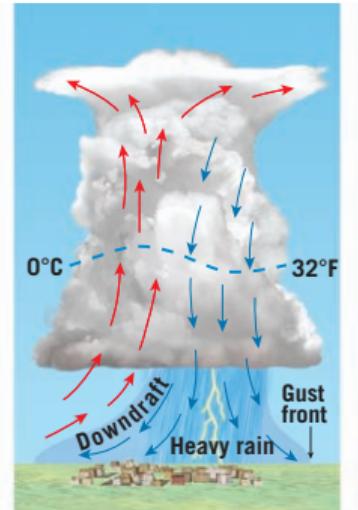


지표의 불균등 가열에 의해 생성, 공기의 상승류로 이어짐
부양하는 열기포가 갠날 적운을 형성 (왼 그림)

갠날 적운의 증발로 습윤한 공기가 공급되며, 습기가 충분해지면 구름이 증발하지 않고 계속 연직(수직운)으로
발달(오른 그림)

성숙 단계(mature stage)

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



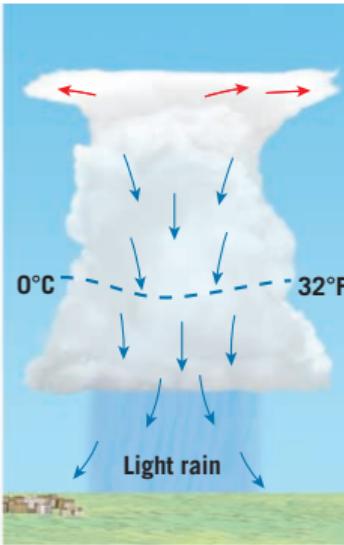
결빙 고도 위까지 구름이 발달하면 Bergeron 과정에 의해 강수 발생. 구름 내부 강수의 누적으로 상승 기류가 강수를 지지하기 어려워 짐. 강수가 공기와 함께 하강하여 하강 기류 시작.

주변 한랭 건조 공기가 구름 안으로 유입(entrainment)되면 하강 기류 강화

하강 기류가 구름 밑면을 떠나 강수가 방출되면 '성숙단계' 시작
상승 기류와 하강 기류가 나란히 존재하며 구름을 계속 성장시킴
뇌우 발달단계에서 가장 활발한 시기이며, 돌풍, 번개, 폭우가 발생하고 때론 작은 우박이 동반되기도 함

Q) 유입이 뇌우의 하강 기류를 강화하는 이유는 무엇인가?

소멸 단계(dissipating stage)



하강 기류가 시작되면 주변의 한랭 건조 공기가 더 많이 유입되어 구름 전체를 하강 기류가 지배

강수의 냉각효과와 상층의 차가운 공기 유입으로 인해 상승 기류를 통한 습기 공급이 중단되어 구름이 증발됨

기단 뇌우 내의 응결된 수증기의 80%가 다시 대기로 증발

Q) 기단 뇌우의 수명이 짧은 이유는 무엇인가?

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

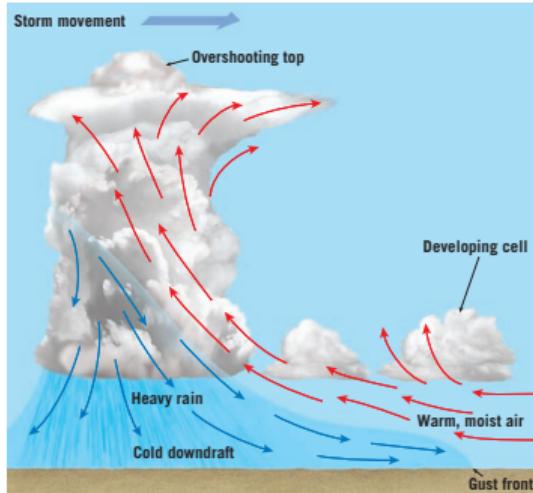
6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보

위험 뇌우(Severe thunderstorms)

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



▲ Figure 10.7 Diagram of a well-developed cumulonimbus tower. The cloud is characterized by updrafts, downdrafts, and an overshooting top. Precipitation forming in the tilted updraft falls into the downdraft. Beneath the cloud, the denser cool air of the downdraft spreads out along the ground. The leading edge of the outflowing downdraft acts to

위험 뇌우는 풍속이 93 km/h 이상이거나, 지름 2.5 cm 이상의 우박을 동반하거나, 토네이도 생성하는 경우를 말한다. 미국에서 발생하는 연간 10만 여 개의 뇌우 가운데 10% 가량 위험 뇌우에 도달함.

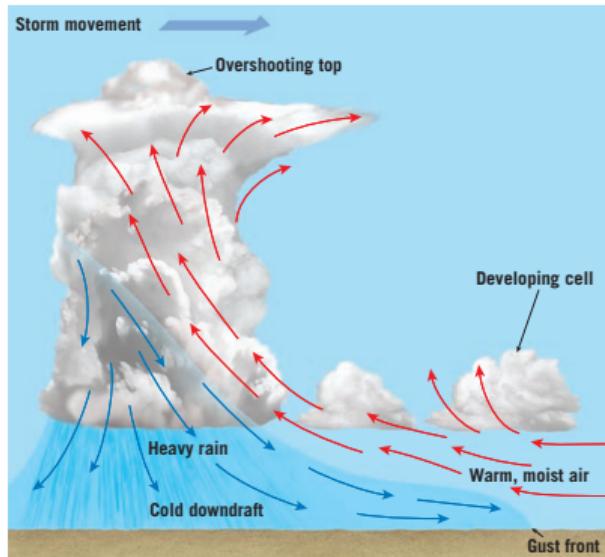
Q) 일부 뇌우의 수명이 기단 뇌우보다 긴 이유는 무엇인가?



위험 뇌우(Severe Thunderstorms)

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우

위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



▲ Figure 10.7 Diagram of a well-developed cumulonimbus tower The cloud is characterized by updrafts, downdrafts, and an overshooting top. Precipitation forming in the tilted updraft falls into the downdraft. Beneath the cloud, the denser cool air of the downdraft spreads out along the ground. The leading edge of the outflowing downdraft acts to

Video MM
Forecasting
Thunderstorms



적란운 하부에는 밀도가 높은 한랭한 공기가 지면을 따라 퍼져 나가, 이 하강 기류의 전방 경계는 쐐기의 역할을 하여 온난 습윤한 지표 공기를 뇌우 속으로 밀어넣음 이를 통해 하강 기류가 상승 기류를 유지하는 역할을 하여 뇌우를 지속시킴
하강 기류의 차가운 공기가 온난한 공기 속으로 전진하며 '미니 한랭 전선' 역할을 함(돌풍 전선)

두루마리 구름

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

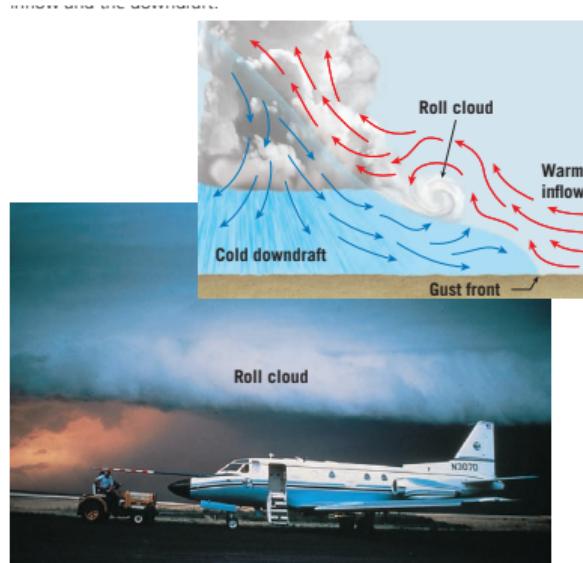
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



돌풍 전선이 이동함에 따라 강한 난류가 먼지와 흙을 끌어 올려 전진하는 경계가 눈에 보이게 되는데, 이때 두루마리 구름이 형성되기도 한다.

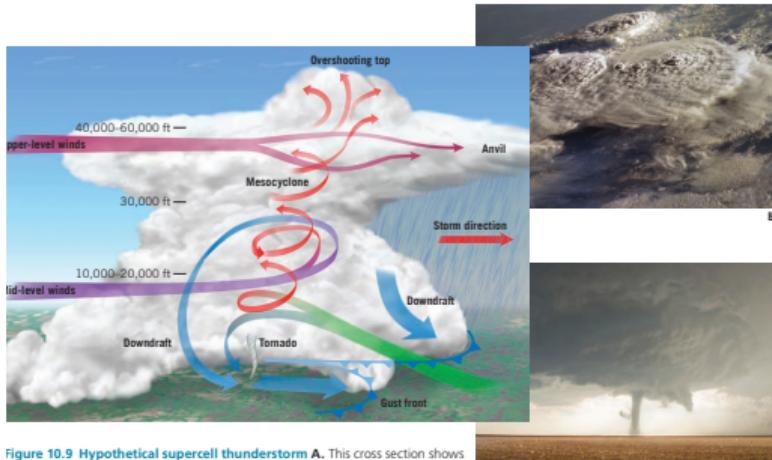
Q) 돌풍 전선이란 무엇인지 설명하시오.

Q) 위험 뇌우 안의 하강 기류가 상승 기류를 유지하기 위한 역할은 무엇인가?

Q) 위험 뇌우가 발달하는 과정을 돌풍 전선의 역할과 관련지어 서술하시오

거대 세포 뇌우 (Supercell thunderstorms)

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



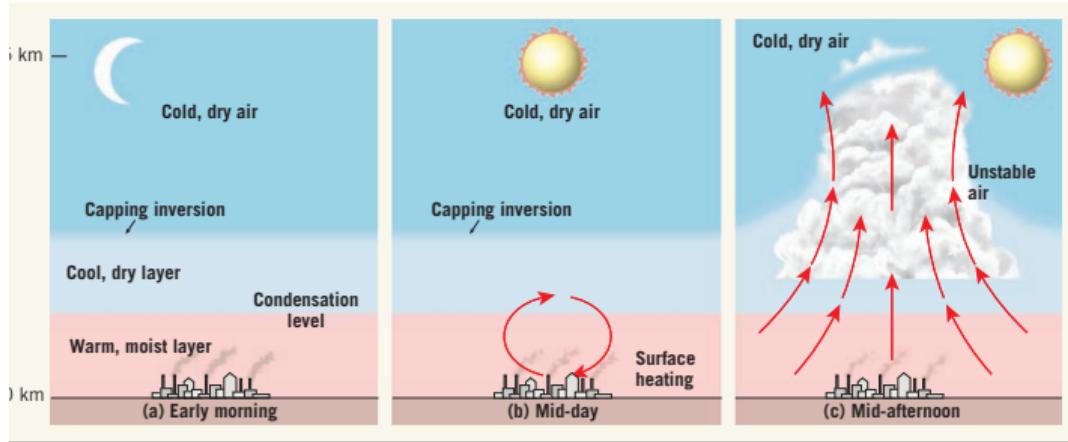
매우 위험한 기상을 유발함 높이가 20 km가 넘는 하나의 강력한 단일 세포이며 직경은 20 ~ 50 km

Mesocyclone(중규모 저기압)

초대형 세포 뇌우 안에서 저기압성으로 회전하는 공기기둥

저기압성으로 회전하는 공기기둥이 연직 쉬어에 의해 수직으로 비틀어져 형성 토네이도가 종종 형성

마개 역전(capping inversion)



◀ **Figure 10.10**
Capping inversion
The formation of severe thunderstorms can be enhanced by the existence of a temperature inversion located a few kilometers above the surface.

Q)

거대 세포를 지속시키기 위해 필요한 잠연을 얻을 수 있게 하는 조건은 무엇이며, 어떤 과정으로 조건을 만족시키는가?

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보

스콜선(Squall lines)



스콜선 : 뇌우가 비교적 좁은 띠 형태로 이루어진 것
온난 건조한 대륙성 열대 기단이 중위도 저기압의 온난역을 밀면서 한랭 전선 앞쪽 100 ~ 300 km에서 발달하며, 유방 구름 하늘이 스콜선 앞에 나타남.

대부분의 스콜선은 한랭 전선을 따라 발생한 강한 상승으로 만들어진 것이 아니며, 일부는 지표의 온난 습윤한 공기와 활발한 상층 제트류의 결합으로 생성.

스콜선은 제트류로 인한 발산과 그에 따른 상승이 남쪽에서 강하고 지속적으로 유입된 온난 습윤한 하층류와 만날 때 형성 수증기량이 급변하는 건조 전선을 따라 자주 발생함.

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보

스콜선(Squall lines)

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

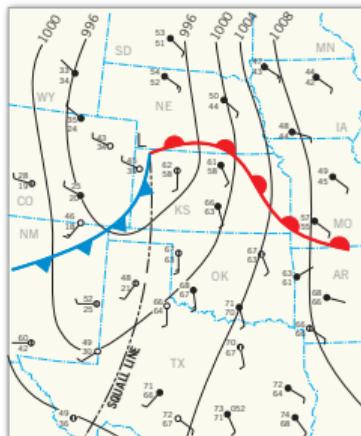
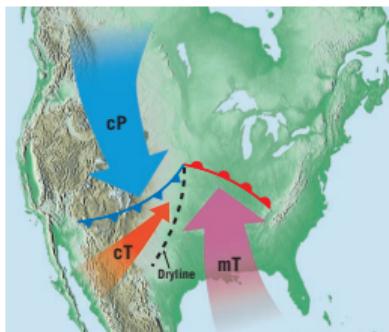
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

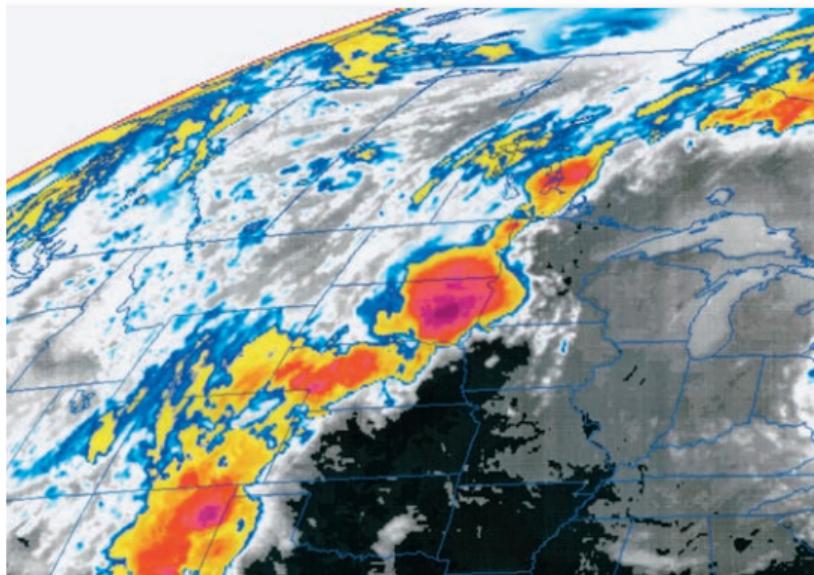


▲ Figure 10.13 Squall line on a weather map The squall line of this middle-latitude cyclone was responsible for a major outbreak of tornadoes. The squall line separates dry cT air and very humid mT air. The dryline is easily identified by comparing dew-point temperatures on either side of the squall line. The dew point (°F) is the lower number at each station.

Q) 건조 전선을 따라 스콜선이 형성되는 과정을 설명하시오.

중규모 대류 복합체

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



중규모 대류 복합체 (Mesoscale convective complexes, MCC)는 타원형 내지 원형 무리로 구성된 많은 수의 개별 뇌우로 구성됨. 최소 $100,000 \text{ km}^2$ 의 영역을 뒤덮음. 보통 느리게 이동하여 12시간 이상 지속되며, 보통 미국의 대평원에서 형성되는 경향이 있음. 는 악기상을 동반하기만 농업지대에 상당향의 강우를 제공하는 유익한 측면도 있음.

돌발 홍수

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



짧은 시간 동안 많은 양의 비를 내리는 국지적 홍수로 가파른 비탈로 인해 빗물이 좁은 계곡으로 빨리 흘러갈 수 있는 산악 지대에서 흔히 발생.

돌발 홍수

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

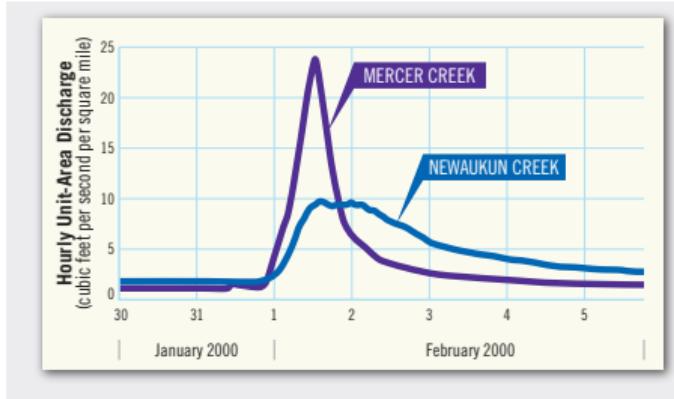
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



Q) 머셔 크리크가 뉴오컨 크리크에 비해 시단 당 단위 면적 유출량이 급격히 증가하는 이유는 무엇인가?



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보



번개(lightening)

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보

Table 10.1 | Lightning Casualties in the United States,
by Location or Activity

Rank	Location/Activity	Relative Frequency
1	Open areas (including sports fields)	45%
2	Going under trees to keep dry	23%
3	Water-related activities (swimming, boating, and fishing)	14%
4	Golfing (while in the open)	6%
5	Farm and construction vehicles (with open exposed cockpits)	5%
6	Corded telephone (number-one indoor source of lightning casualties)	4%
7	Golfing (while mistakenly seeking "shelter" under trees)	2%
8	Using radios and radio equipment	1%

Source: National Weather Service.

Q) 미국 내에서 번개에 의한 사망자 수는 얼마나 많은가?

번개(lightening)



구름이 이동하며 음전하를 띤 구름 하부가 지표의 양전하를 유도

구름 내부 또는 구름과 구름 사이 또는 구름과 지면 사이의 전하차이로 인해 방전되며 번개 형성

공기는 약전도체(강절연체)이기 때문에 번개가 발생하기 위해서는 전위차가 매우 커야 한다.

▲ Figure 10.15 Summertime lightning display A storm is classified as a thunderstorm only after thunder is heard. Because thunder is produced by lightning, lightning must also occur.

구름-지면 번개를 통한 구름의 방전

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

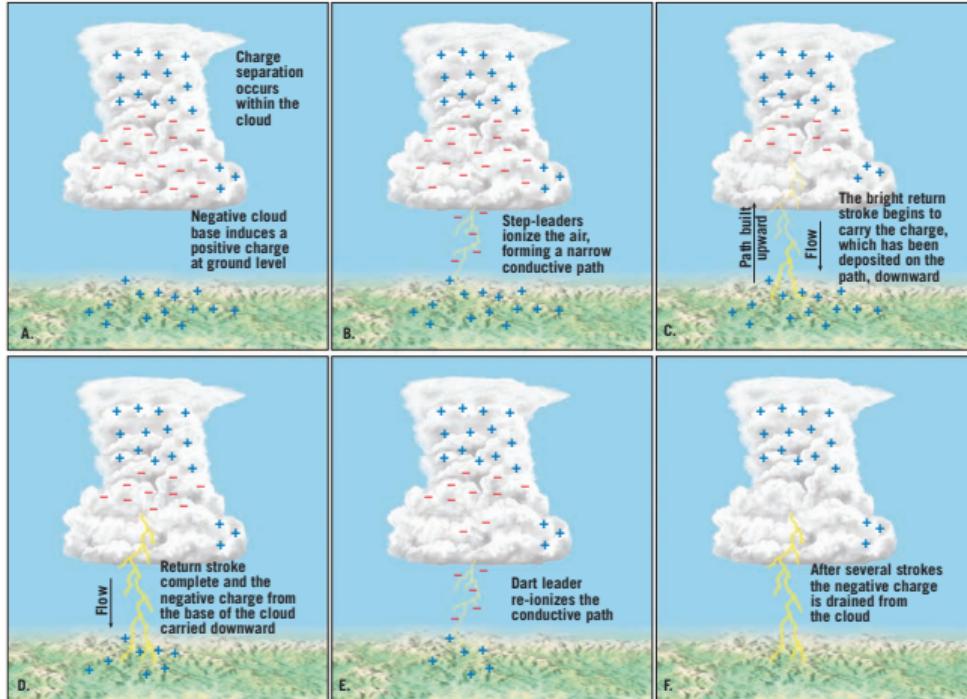


Figure 10.16 Discharge of a cloud via cloud-to-ground lightning Examine this drawing carefully while reading the text.

전하 분리가 구름 안에서 발생함.

구름 밑면 음전하가 지면의 양전하를 유도함.

계단 선도가 공기를 이온화 시켜 좁은 도전로를 형성

밝은 되돌이 뇌격이 경로에 쌓여 있던 전하를 아래로 옮기기 시작함.

되돌이 뇌격이 완성되고, 구름 밑면에서 온 음전하가 아래로 이동함.

화산 선도가 도전로를 재 이온화 시킴.

몇 차례 뇌격 후 구름에서 음전하가 빠져나옴.

섬광과 뇌격

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥

토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



▲ Figure 10.17 Multiple lightning stroke of a single flash as recorded by a moving-film camera

섬광(flash): 몇 십분의 1초 동안 광선 형태로 나타나는 총 방전
뇌격(stroke): 섬광을 구성하는 개별 요소 (뇌격은 아래로 전파되는 선도로 이루어짐)

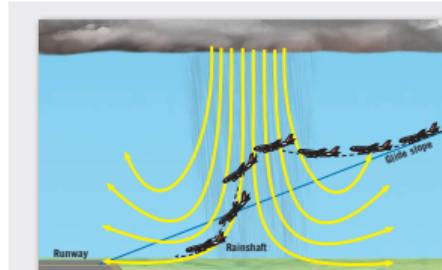
되돌이 뇌격(return stroke): 도전로 하단에 있던 전자가 지면 쪽으로 이동하면서 경로 위쪽에 자리잡고 있던 전자가 아래로 이동. 전자 흐름의 통로가 계속 위로 확대되기 때문에 동반하는 방전 (경로 내의 음전하가 지면으로 이동)

선도(leader): 전기장에 의해 구름의 전자가 방출될 때 공기가 이온화되어 형성된 도전로

화살선도(dart leader): 첫번째 뇌격 후 추가 뇌격이 뒤따라 오면서 구름 내부 더 높은 지역의 전하를 끌고 오게 됨. 뇌격이 이어질 때마다 화살선도로 시작, 경로를 다시 이온화시키고 구름 전위를 땅으로 이동.

계단선도(step leader): 구름 밑면의 전자가 선도 아래로 유입되어 선도 말단의 전위가 증가하고 도전로가 늘어나 이온화가 더 진행되는데, 이와 같이 초기 경로가 보이지 않은 채 지면 쪽으로 확대되는 것을 의미

마이크로버스트(Microburst)



▲ Figure 10.E Airport hazard The arrows in this sketch represent the downward and outward movement of air in a downburst. An airplane passing through a downburst as it attempts to land initially experiences a strong headwind and lift. That is followed by an abrupt descent, caused by the downward motion of air, and a rapid loss of air speed.

일부 뇌우 아래에서 하강버스트 (downburst)라는 강한 국지적 하강 기류 발생 규모가 4 km보다 작을 때 마이크로버스트라 부름

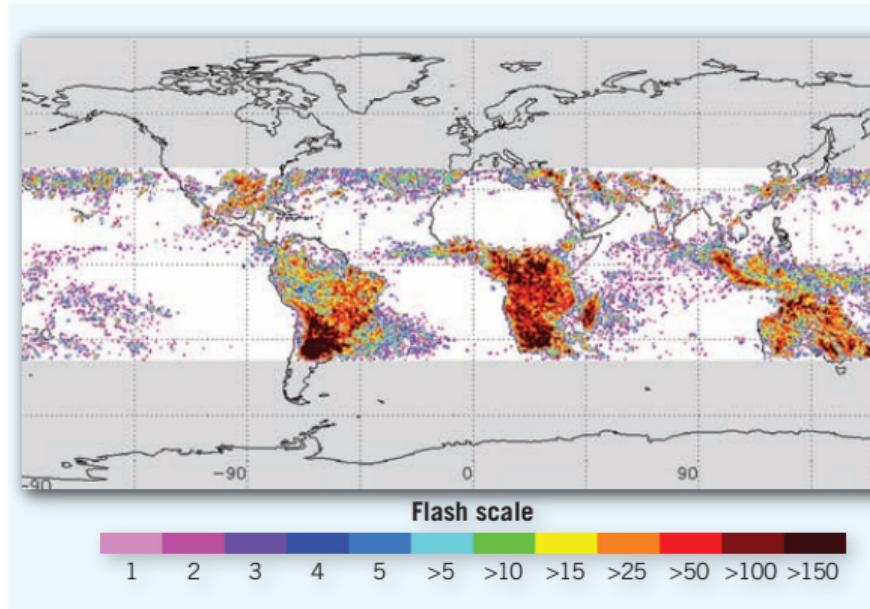
증발냉각에 의해 하강 기류가 강화될 때 발생하여 2 ~ 5분 지속 차가운 공기는 지표에서 엄청나게 빨라 (160 km/h 이상) 큰 피해 강한 하강 기류로 인해 이착륙하는 항공기에 큰 위협이 됨

Q) 마이크로버스트에서 강한 하강 기류를 만드는 두 가지 요인을 설명 하시오.



번개

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



Q) 그림의 섬광 척도는 3개월치 자료의 합성이다. 6 ~ 8월, 12 ~ 2월 중 언제인가?



천둥

번개에 의해 1초도 안되는 시간에 공기가 $33,000^{\circ}\text{C}$ 까지 가열됨. 단기간에 데워짐에 따라 폭발적으로 팽창하여 듣게 되는 음파

Q) 천둥이 어떻게 만들어지는지 설명하시오.

광속에 비해 음속은 느리다. 그러므로 번개는 바로 보이지만, 음파는 330 m/s 의 음속에 따라 전달된다. 거리에 따라 번개 발생후 천둥이 들리는 시간까지의 차이를 측정하면 번개가 친 곳까지의 거리를 추정할 수 있다.

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보



토네이도



평균 지름: 150 ~ 600 m, 평균 이동 속도: 45 km/h

이동 경로: 26 km, 이동 방향: NE

지속 시간: 3분 미만 ~ 3시간 이상

평균 풍속: 150 ~ 500 km/h 전체 토네이도의 40 %이상이 봄철에 발생하며, 트위스터(twister), 사이클론(cyclone)이라 부르기도 함.

단기간 지속되는 회전하는 공기기둥 형태의 파괴적인 바람폭풍

토네이도 내부 기압은 바깥쪽보다 10 % 이상 낮음
기압이 급속도로 떨어져 공기가 단열 팽창하여 수증기가 응결되어 먼지, 파편과 함께 창백하고 어두운 구름을 형성.

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

토네이도

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



Q) 토네이도의 풍속이 빠른 이유는 무엇인가?

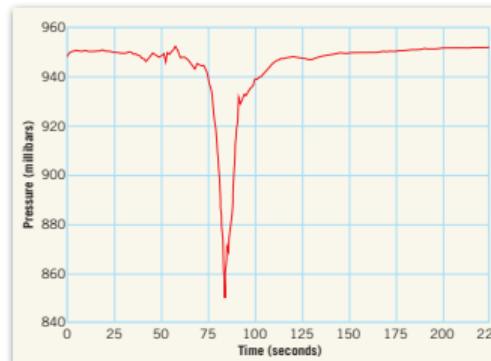
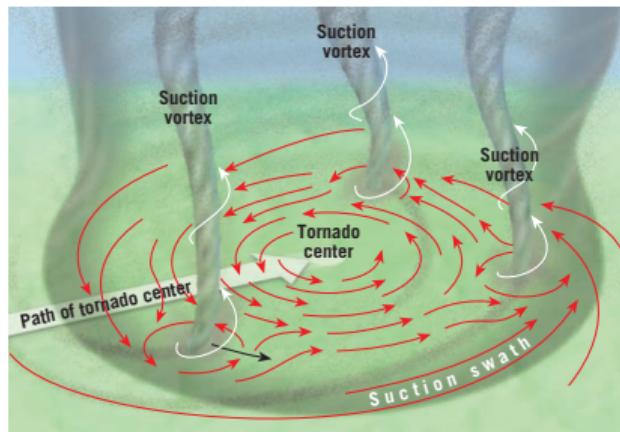
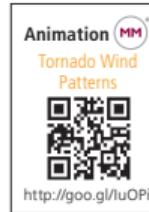


Figure 10.21 Pressure change with the passage of a tornado
This graph shows the dramatic pressure change of 100 millibars in just 10 seconds that occurred as a violent tornado passed directly over a specially designed probe that had been placed in the

다중 소용돌이 토네이도(multiple-vortex tornado)

▼ **Figure 10.20 Multiple-vortex tornado** Some tornadoes have multiple suction vortices. These small and very intense vortices are roughly 10 meters [30 feet] across and move in a counterclockwise path around the tornado center. Because of this multiple-vortex structure, one building might be heavily damaged and another one, just 10 meters away, might suffer little damage.



강력한 토네이도는 큰 토네이도의 중심 주위를 궤도를 그리며 도는 흡입소용돌이(suction vortex)라 불리는 작지만 강력한 소용돌이를 내포.

이런 경우를 다중 소용돌이 토네이도(multiple-vortex tornado)로 분류한다.

흡입소용돌이의 지름은 약 10 m, 지속시간은 1 분 이내

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

1 명칭의 의미

2 뇌우

3 기단 뇌우

4 위험 뇌우

5 번개와 천둥

6 토네이도

7 토네이도의 발달과 발생

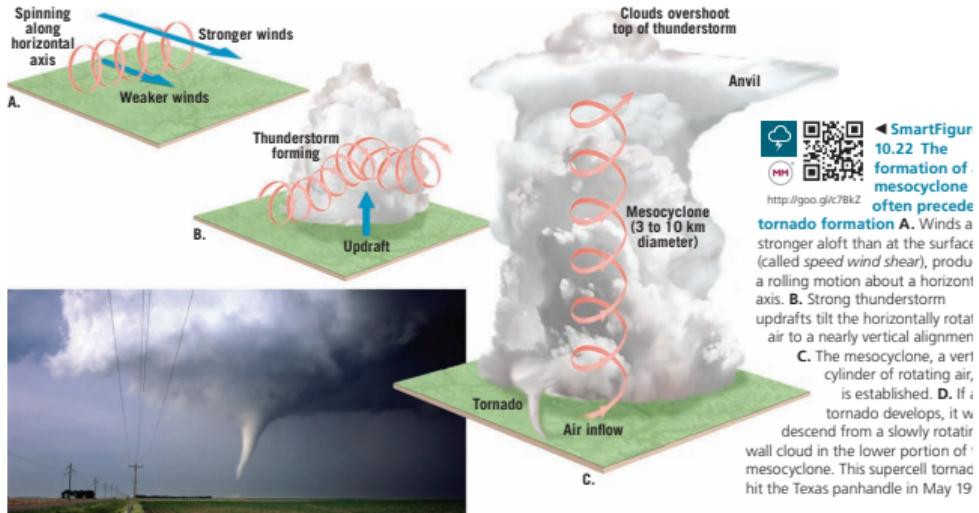
8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보

토네이도의 생성과 발달

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



상층 바람이 지상 바람보다 강해 수평축 방향 회전 존재 (연직바람 시어 존재)

뇌우가 형성되면 상승 기류가 수평으로 회전하는 공기를 수직으로 기울임

회전하는 공기의 연직 원기둥인 중 규모 저기압이 형성

수평으로 좁아지고, 회전 속도 증 가하고, 벽구름이 형성되고, 깔대 기 구름이 나와 지면 접촉

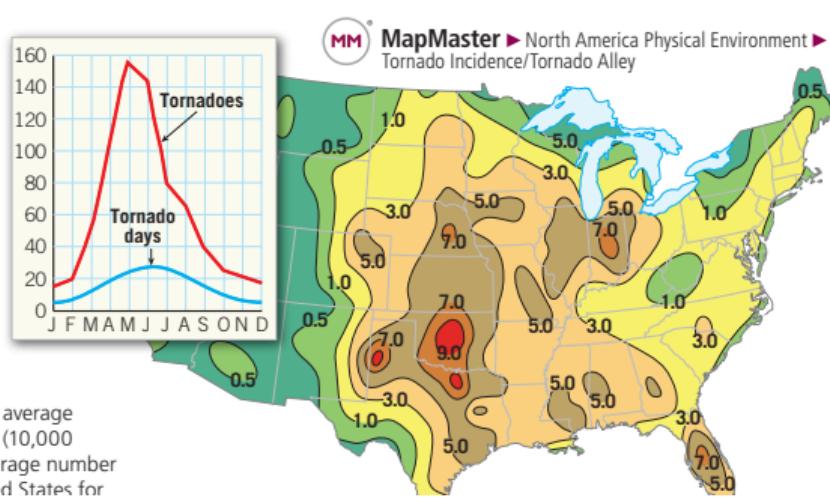


토네이도의 특징

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
트네이드

토네이도의 발달과 발생

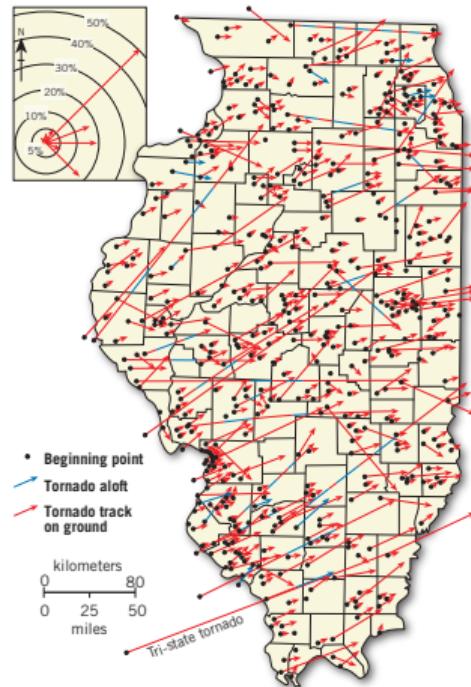
토네이도의
파괴와
토네이도 예보



Q) 토네이도 시즌은 언제이며, 그 시기에 발생하는 이유는 무엇인가?

토네이도의 특징

Q) 토네이도의 이동방향을 설명하시오.



명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



토네이도의 극한치

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

Table 10.2 | Tornado Extremes

Tornado Characteristic	Value	Date	Location
World's deadliest single tornado	1300 dead, 12,000 injured	April 26, 1989	Saluria and Manikganj, Bangladesh
U.S. deadliest single tornado	695 dead	March 18, 1925	MO–IL–IN
U.S. deadliest tornado outbreak	747 dead	March 18, 1925	MO–IL–IN (includes the Tri-State Tornado deaths)
Biggest 24-hour total tornado outbreak	147 tornadoes	April 3–4, 1974	13 central U.S. states
Calendar month with greatest number of tornadoes	753 tornadoes	April 2011	United States
Widest tornado (diameter) [*]	Nearly 4000 m (2.5 miles) in width	May 22, 2004	Hallam, NE; EF-4 tornado
Highest recorded tornadic wind speed [†]	135 m/s (302 mph)	May 8, 1999	Bridge Creek, OK
Highest-elevation tornado	3650 m (12,000 ft)	Jul 7, 2004	Sequoia National Park, CA
Longest tornado transport	A personal check carried 359 km (223 miles)	April 11, 1991	Stockton, KS, to Winnetoon, NE

Source: National Weather Service, Storm Prediction Center.

^{*}The National Weather Service now defines “widest” as the maximum width of tornado damage.

[†]By necessity, this value is restricted to the small number of tornadoes sampled by mobile Doppler radars.

Video
The Deadliest



토네이도

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

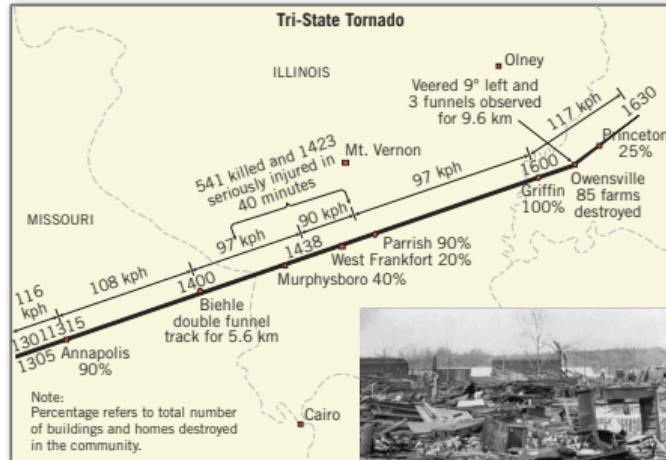
토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



November tornado



meters (219 miles), killing 695
ately above the track line are a
historic black-and-white image
i, 3 days after the Tri-State



B.



명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보

- 1 명칭의 의미
- 2 뇌우
- 3 기단 뇌우
- 4 위험 뇌우
- 5 번개와 천둥
- 6 토네이도
- 7 토네이도의 발달과 발생
- 8 토네이도의 파괴와 토네이도 예보

토네이도 강도

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생
토네이도의
파괴와
토네이도 예보

Table 10.3 | Enhanced Fujita Scale*

Scale	Wind Speed		Damage
	km/hr	mi/hr	
EF-0	105–137	65–85	<i>Light.</i> Some damage to siding and shingles.
EF-1	138–177	86–110	<i>Moderate.</i> Considerable roof damage. Winds can uproot trees and overturn single-wide mobile homes. Flagpoles bend.
EF-2	178–217	111–135	<i>Considerable.</i> Most single-wide mobile homes destroyed. Permanent homes can shift off foundations. Flagpoles collapse. Softwood trees debarked.
EF-3	218–265	136–165	<i>Severe.</i> Hardwood trees debarked. All but small portions of houses destroyed.
EF-4	266–322	166–200	<i>Devastating.</i> Complete destruction of well-built residences, large sections of school buildings.
EF-5	>322	>200	<i>Incredible.</i> Significant structural deformation of mid- and high-rise buildings.

*The original Fujita scale was developed by T. Theodore Fujita in 1971 and put into use in 1973. The Enhanced Fujita Scale is a revision that was adopted in February 2007. Wind speeds are estimates (not measurements) based on damage and represent three-second gusts at the point of damage. More information about the criteria used to evaluate tornado intensity can be found at www.spc.noaa.gov/efscale/.

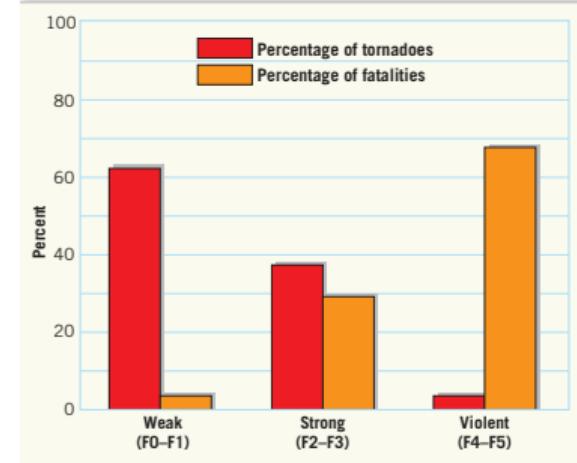


Figure 10.29 Tornado intensity and fatalities The bar graph compares the percentage of tornadoes in each intensity category with the

강도: 증보 후지타 척도(Enhanced Fujita scale)로 폭풍에 의한 가장 큰 피해를 기준으로 등급 매김



토네이도의 흔적

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보

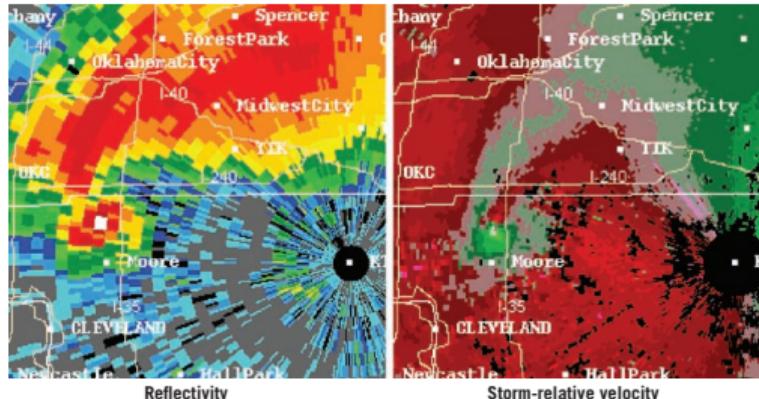


▲ **Figure 10.G Aftermath of the storm** The quarter-mile-wide tornado had wind speeds reaching 240 miles per hour. The destruction at Parsons Manufacturing was devastating.

도플러 레이더

명칭의 의미
뇌우
기단 뇌우
위험 뇌우
번개와 천둥
토네이도
토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



movement in clouds is determined by comparing the frequency of the reflected signal to that of the original signal.

◀ **Figure 10.32 Doppler radar images** This is a dual-Doppler radar image of an EF-5 tornado near Moore, Oklahoma, on May 3, 1999. The left image (reflectivity) shows precipitation in the supercell thunderstorm. The right image shows motion of the precipitation along the radar beam—that is, how fast rain or hail is moving toward or away from the radar. In this example, the radar was unusually close to the tornado—close enough to make out the signature of the tornado itself. (Most of the time only the weaker and larger mesocyclone is detected.)



도플러 레이더

명칭의 의미

뇌우

기단 뇌우

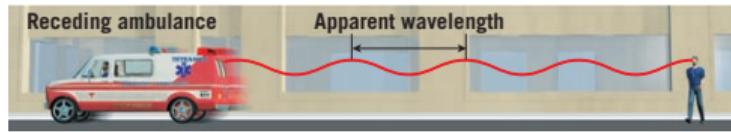
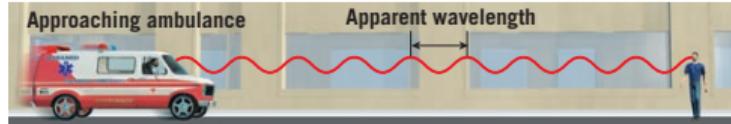
위험 뇌우

번개와 천둥

토네이도

토네이도의
발달과 발생

토네이도의
파괴와
토네이도 예보



▲ **Figure 10.33 Doppler effect** This everyday example of the Doppler effect illustrates the apparent lengthening and shortening of wavelengths caused by the relative movement between a source and an observer.

