

발간등록번호
11-1360000-000017-10

낙뢰연보

ANNUAL LIGHTNING REPORT

2009



기상청

Korea Meteorological Administration

차 례

I. 총론	1
1. 뇌우	1
가. 뇌우의 형성조건	1
나. 번개와 천둥 그리고 낙뢰	2
2. 낙뢰연구의 역사	4
3. 뇌운 속의 전하분포 이론	4
4. 낙뢰관측의 원리 및 관측시스템의 종류	6
가. 낙뢰관측의 원리	7
나. 낙뢰관측시스템의 종류	10
5. 선진국의 낙뢰관측 현황	11
가. 미국	11
나. 일본	11
다. 유럽	12
6. 우리나라의 낙뢰관측 현황	12
가. 기상청의 낙뢰관측 현황	12
나. 한국전력거래소의 낙뢰관측 현황	20
다. 한국전력연구원 낙뢰관측 현황	20
7. 선진국의 낙뢰연구동향	20
8. 대기전기학의 발전방향	22
II. 분석	24
1. 낙뢰분석방법	24
2. 낙뢰발생 현황 분석	25
가. 월별 낙뢰발생 횟수 및 일수 분포	25
나. 계절별 낙뢰발생 횟수 및 일수 분포	27
다. 연간(2009년 1~12월) 낙뢰발생 횟수 및 일수 분포	27
3. 지역 낙뢰발생 횟수 분석	45
가. 도시별 낙뢰발생 횟수 분석	45

나. 도별 낙뢰발생 횟수 분석	64
다. 서울 구별 낙뢰발생 횟수 분석	83
4. 낙뢰발생 횟수 도표 분석	84
가. 월별	84
나. 계절별	96
다. 연간, 시간별	98
라. 연간, 월별	105
5. 강도 및 극성을 도표 분석	112
가. 월별 평균강도	112
나. 월별 극성을 빈도	115
다. 월별 최대 강도 및 일시	119
6. 연도별 낙뢰발생 횟수	120
Ⅲ. 부 록	121
A. 전국 기상관서 실측 낙뢰 일수(2009년)	121
B. 낙뢰에 대한 안전대책	122
C. 낙뢰용어해설	125

I. 총론

1. 뇌우

뇌우(雷雨)는 적운이나 적란운이 모여서 발달한 국지적인 폭풍우로서, 강한 돌풍과 심한 난류, 번개, 맹렬한 소나기, 우박 등을 동반하는 경우가 대부분이며, 심한 경우에는 토네이도가 발생할 수도 있다. 우리가 흔히 말하는 뇌운과 적란운은 사실상 같은 의미이며, 그 차이점은 단지 천둥(雷聲)이 존재하는가에 달려 있다. 즉, 천둥과 번개를 동반하는 것이 뇌운인 것이다. 뇌우는 뇌운(雷雲)의 위쪽에 차고 밀도가 높은 공기가 존재하고, 아래쪽에 따뜻하고 습도가 높은 공기가 존재하는 경우에 발생한다. 대표적인 뇌운의 높이는 8~12km이고 최저기온이 -40°C 정도이지만, 가장 큰 뇌운의 경우는 높이가 20km, 최저기온이 $-50^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$ 에 달하는 것도 있다(그림 1).

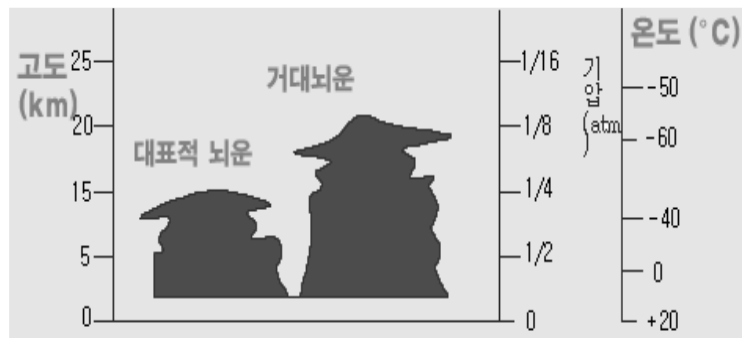


그림 1. 뇌운의 위치, 크기, 온도 분포

가. 뇌우의 형성조건

뇌우가 발생하기 위한 기본적인 조건에는 불안정한 대기와 상승작용, 그리고 높은 습도가 있다. 이 3가지 조건에 의한 뇌우의 성장에는 하층의 가열을 비롯한 대류, 수렴, 기계적 상승, 상층냉각 등의 요인에 의한 촉발(trigger)작용이 선행되어야 한다. 이 가운데 하나의 요인만이라도 충족되면 뇌우의 발생이 가능해지며, 이 3가지 조건을 모두 만족할 때 그 일생(발달기, 성숙기, 소멸기)을 시작한다. 그림 2는 뇌우의 전형적인 전하분포를 나타내고 있다.

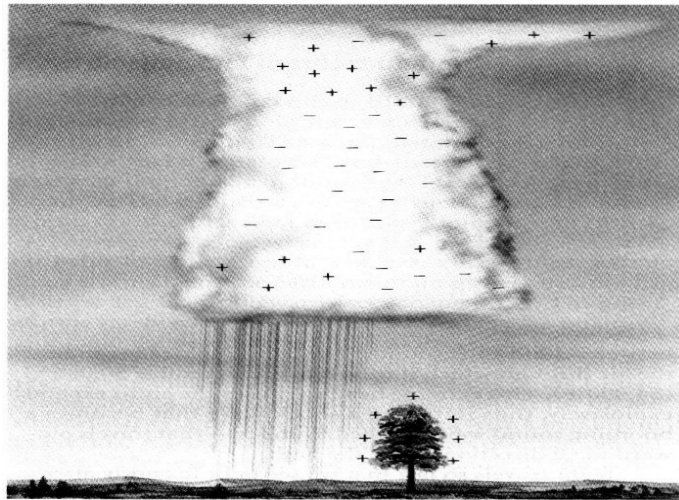


그림 2. 뇌우의 전형적인 전하 분포

나. 번개와 천둥 그리고 낙뢰

1) 번개

번개가 전기현상에 의한 것이라는 것은 250여년전 벤자민 프랭클린에 의하여 밝혀졌으나, 본격적인 해명이 시작된 것은 1928년 Boys camera에 의하여 번개가 사진으로 찍히기 시작하면서부터이다. 이때부터 진보된 관측 기술에 의하여 그 전모가 상당 부분 밝혀졌지만, 아직도 많은 부분이 알려져 있지 않은 상태이다. 번개는 일반적으로 적란운과 함께 나타나지만 난층운이나 눈보라, 먼지폭풍과 더불어 분출하는 화산으로부터 나오는 먼지나 가스와 함께 나타나기도 한다. 뇌우가 있는 동안에 번개는 구름 안에서, 구름들 사이에서, 구름과 공기 사이에서, 또는 구름과 땅 사이에서 나타날 수 있다. 번개를 발생시키는 뇌운은 주로 적란운(積亂雲)이며, 이 적란운은 상층과 하층의 대기가 불안정할 때 발생한다.

2) 천둥

천둥은 번개(lightning)에 의하여 만들어지기 때문에 두 개의 현상은 함께 발생한다. 번개는 적란운이 발달하면서 구름 내부에 분리 축적된 음전하와 양전하 사이에서 일어나는 불꽃방전을 말한다. 그러나 대기는 전도체가 아니기 때문에 전하를 분리하기 위하여 상당한 전위를 가져야 되는데, 양쪽 전하 중심 사이의 전위차가 수백만~수억 볼트에 이르면 방전이 발생하게 된다. 이때 번개 방전은 수 cm의 직경을 갖는 공기의 채널을 경로로 하여 일어나며, 이 좁은 경로 속의 공기를 가열하여 순식간에 20,000~30,000° C까지 기온

을 상승시킨다. 그런데 이렇게 공기가 갑자기 가열되면 폭발적으로 팽창하고, 그 충격으로 인해 폭발음과 같은 소밀파(疎密波)가 발생한다. 이것을 천둥 또는 뇌성(雷聲)이라고 한다. 천둥이 들리는 범위는 보통 약 20km이나, 때에 따라서는 약 40km나 떨어진 먼 곳으로부터 들려오는 경우도 있다.

3) 낙뢰

적란운이 발달하면서 구름 내부에 분리 축적된 음전하와 양전하의 사이에서 일어나는 불꽃방전을 번개라고 한다. 이러한 번개 중에서도 구름 속에서 일어나는 방전현상을 구름방전이라 하고, 구름 하단의 음전하와 지면으로 유도된 양전하 사이에 발생하는 방전을 낙뢰라고 한다.(그림 3). 일반적으로 적란운에서 발생하는 방전의 90% 이상을 구름방전이 차지하며, 낙뢰 즉 대지방전(對地放電)이 차지하는 비율은 10% 미만이다.

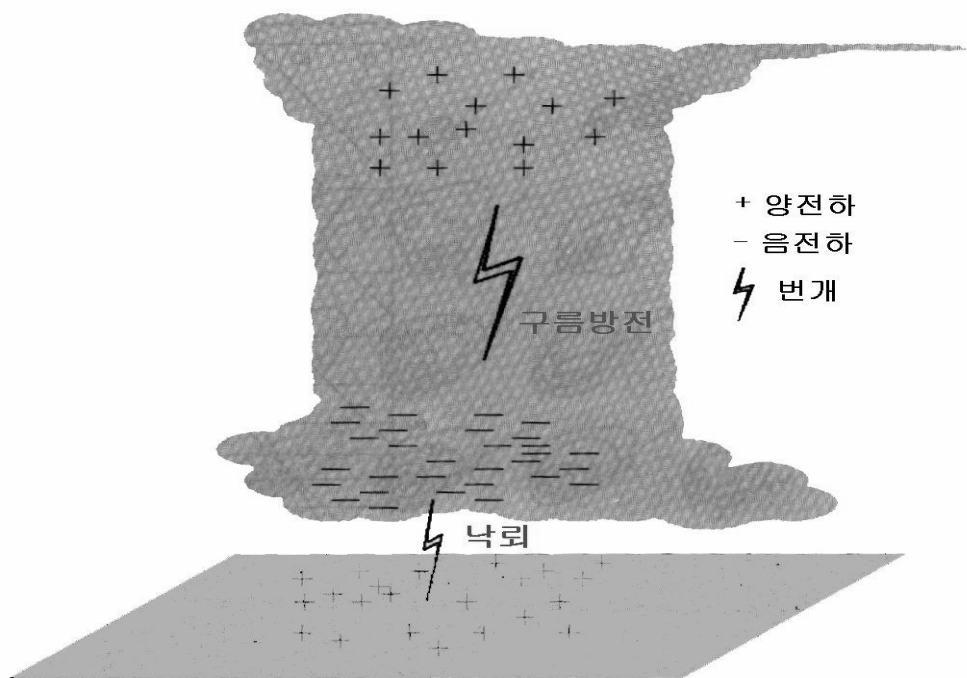


그림 3. 방전의 종류

2. 낙뢰연구의 역사

역사적으로 낙뢰에 대한 피해기록은 전 세계에 걸쳐 광범위하게 존재하고 있으나, 체계적이고 과학적인 방법을 이용한 연구기록은 18세기부터 시작되었다. 18세기 후반 미국의 프랭클린이 연을 이용해 뇌방전(Lightning Discharge)이 전기적 현상이라는 사실을 실험적으로 증명한 것이 그 대표적인 예이다. 이후 번개가 뇌운 속의 전기현상으로 존재한다는 것이 과학적으로 증명된 이래 2세기가 넘게 경과된 현재에 이르기까지, 많은 과학자들이 뇌운 속의 전하분리구조, 뇌운 속의 전하분포, 뇌방전의 물리구조 등 “번개”와 관련된 다양한 주제를 연구대상으로 하여 활발하게 연구를 진행하여 왔다. 전자기학 기술의 비약적인 발달로 최근에 다양한 낙뢰측정장치가 개발되어, 이 들로부터 얻어진 자료를 이용한 연구결과는 괄목할 만한 성과를 거두고 있다. 1966년 미국의 뉴먼이 플로리다만에서 로켓을 쏘아 올려 인공적인 낙뢰유도에 성공한 것을 비롯해, 1977년에는 프랑스와 독일에 이어 일본이 4번째로 낙뢰유도에 성공한 것을 시작으로 현재까지 낙뢰에 관한 연구를 계속하고 있다.

3. 뇌운 속의 전하분포 이론

금세기에 들어와 뇌운의 전하분포와 이것을 초래하는 전하분리의 구조에 대한 문제는 대기전기학의 중요한 과제로서 활발한 연구가 진행되고 있으나, 이 분야에 있어서는 Wilson과 Simpson의 논쟁이 유명하다.

Simpson은 낙뢰의 번개가 거의 대부분 하향으로 분기되는 것을 관측하고, 실내 방전실험의 경우에도 양의 전극에서 발진하는 방전 쪽의 분기가 많다는 것으로부터 뇌운 하부는 양(+)으로 대전(帶電)되어 있고 상부는 음(-)으로 대전되어 있다고 생각하였다. 또한, 전하분리의 구조로서 수적분열설(水滴分裂說)을 들어 뇌운의 대전을 설명하였다. 즉, 큰 입자의 물방울이 낙하 중에 분열되고, 그 분열로 생긴 작은 물방울은 양(+)으로 대전되며, 대기 중에는 여기에 대응하는 수만개의 음(-)이온이 발생한다는 것을 실험을 통하여 증명한 것이다. 나아가, Simpson은 분열되어 생긴 작은 물방울이 뇌운의 상승기류로 인하여 더 이상 낙하되지 않고 뇌운의 하부에 양(+)전하 영역을 형성하고, 음이온은 상승기류에 의하여 상향으로 운반된 후 뇌운 상부의 구름

입자에 부착되어 상부에 음(-)전하 영역을 형성한다고 생각하였다.

이에 비하여 Wilson은 많은 지점에서, 그리고, 뇌운에 대한 다양한 상대 위치에서 지표 전기장과 뇌방전에 의한 전기장의 급변화를 기록한 후, 그 결과를 검토하여 이들 기록이 상부가 양(+)으로, 하부가 음(-)으로 대전된 뇌운에 의하여 발생된 것이라는 결론을 도출하였다. 그리고 그 전하분포를 설명하는 전하분리의 구조로서 구름 속을 낙하하는 얼음입자 및 빗방울이 음(-)이온만을 선택하여 흡수한다는 선택 접촉설(분극설)을 제창하였다.

이와 같이 뇌운의 전하분포에 대하여 두 사람은 정반대의 생각을 주장하였기에 학계에서도 많은 논쟁이 있었다. 나아가, 당시의 Simpson은 영국의 기상대장으로서, 그리고, Wilson은 노벨상을 수상한 물리학자로서, 모두 이 분야에 있어서 선도적인 학자라 할 수 있었기에, 세계적으로도 대기전기학의 학자가 2파로 나뉘어져 이에 대한 논의를 하게 되었다.

Simpson은 지금까지 뇌운의 전하분포를 조사해 왔던 방법은 모두 지표의 전기장 측정으로부터 추정하는 것이기에 반드시 불확실성을 동반하고 있으며, 이러한 불확실성을 제거하기 위해서는 기구를 이용하여 구름 속의 전기장을 직접 측정해야만 한다고 생각하고 기구에 탑재하여 자기기록이 가능한 전기장 계측기를 개발하였다. 이 장치를 고도 측정용 기압계와 함께 기구에 부착하여 뇌운 속으로 띄어 보낸 후, 고도 8km에 도달하면 측정기구가 자동적으로 분리되어 낙하산을 이용해 안전하게 지표에 떨어지도록 하였다. 그리고 측기의 개발에 5년, 기록의 횟수 및 관측자료의 분석에 4년을 소비하여 논문을 발표하였다.(Simpson and Scrase, 1937)

이 논문에서 Simpson은 하나의 뇌운 속에 몇 개의 다른 경로로 기구를 띄우는 관측을 실시하여, 뇌운의 전하분포가 위에서부터 양(+), 음(-), 양(+)의 3극구조(三極構造)를 갖고 있다는 결론을 내렸다. 또한, 하부의 양전하는 운저에 가까운 작은 영역에 분포하고 있고, 그 양은 상부의 양전하 및 음전하의 약 1/4정도라고 생각하였으며, 그는 이것을 포켓 양전하(Pocket Positive charge)라 명명하였다.

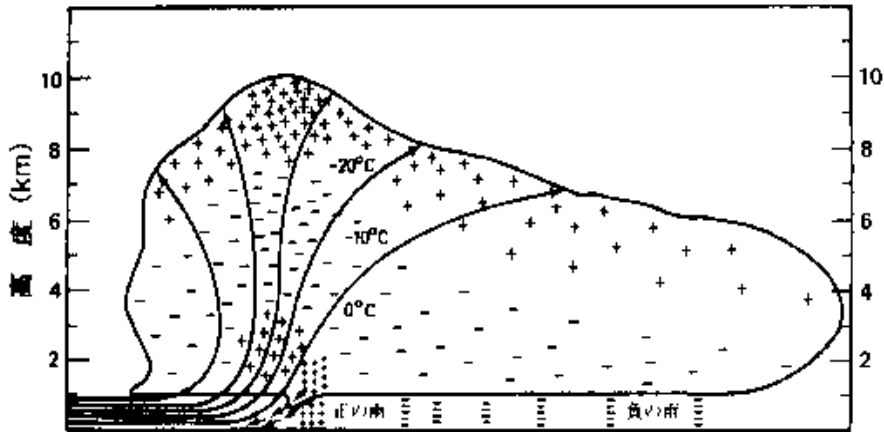


그림 4. 뇌운의 전하분포와 기류를 나타내는
Simpson의 모델도(Simpson and Scrase, 1937)

그림 4는 Simpson and Scrase(1937)가 10년에 걸친 연구에 근거하여 도출해 낸 뇌운의 모델도이다. 이 모델로 Simpson은 뇌운 전하분포의 모순을 해결하였을 뿐만 아니라, 그 연직구조와 기류분포를 명확하게 하여 뇌운의 연구를 크게 발전시켰다. 그러나 당시의 전하분리구조에 대한 학설들은 모두 과학적 해명에 불충분한 점들이 있어 이후의 연구 성과를 기다려야만 했기에, 당시의 Simpson의 연구에 있어 주목할 만한 성과는 3극구조의 전하분포를 발견한 것에 한정되었다. 한편, Simpson의 연구 이후에도 포켓 양전하를 고려하지 않고 뇌운의 전하분포를 상부에 양전하, 하부에 음전하라는 2극구조로 생각하는 논문이 많이 발표되었으나, 1989년에 발표된 Williams의 광범위한 정리에 의하여 뇌운은 성숙기 초기에 반드시 3극구조를 갖는다는 점이 밝혀졌다. 또한, 운정 고도가 낮은(6km 이하) 겨울철의 뇌운도 기간은 매우 짧지만(10분 이하) 3극 구조를 갖는다는 것이 보고되어 있다(Michimoto, 1993).

4. 낙뢰관측의 원리 및 관측시스템의 종류

구름 속의 양(+전하)과 음(-전하) 사이에서 발생하는 방전을 구름방전이라고 하며, 구름 속의 전하가 대지로 방전하는 것을 낙뢰라고 한다. 그런데, 구름방전이나 낙뢰를 발생시키는 뇌운의 길이는 2~20km이고, 중화되는 전하량은 1~1000C으로 그 스케일이 클 뿐만 아니라 중화되는 전하가 뇌운이

라고 하는 거대한 체적 속에 공간 전하로 분포하고 있기에, 뇌운의 방전구조는 대단히 복잡하다고 할 수 있다. 한편, 방전구조에 대한 연구는 번개를 카메라에 기록하는 것으로부터 시작되었다. 그 대표적인 예로 Walter는 셔터를 오픈시킨 카메라를 낙뢰의 방향으로 향하게 하고, 연직 축 주위로 회전시키면서 번개를 촬영하여 시간 경과에 따라 방전을 조사한 결과, 하나의 낙뢰속에서 번개가 같은 경로를 통하여 몇 차례 방전되는 다중방전이 발생하는 경우가 많다는 것을 알아내었고, Schonland(1938)는 시간 분해능이 높은 회전카메라를 사용하여 다중낙뢰의 구조를 상세하게 설명하였다. 이후, 뇌방전에 의한 전자기장변화의 기록 기술이 발전됨에 따라 번개의 시간분해촬영과 전자기장변화를 동시에 기록할 수 있게 되었으나, 이 또한 방전구조의 해명에 많은 도움이 되고 있다.

낙뢰관측의 경우, 최근에 수십km 간격으로 여러 지점에 센서를 설치하여 낙뢰의 위치를 측정하는 시스템이 개발되어 있다. 이 시스템의 종류에는 우선, 동시에 여러 지점에서 방위를 측정하여 낙뢰지점의 위치를 정하는 시스템(LLP)과, 여러 지점에서 관측된 전자파의 도달시간차를 측정하여 방전의 위치를 정하는 시스템(LPATS)이 있으며, 위상차를 측정하여 방전로(放電路)의 공간 분포를 정하는 시스템(SAFIR) 등도 실용화되고 있다. 그리고 이들 시스템을 이용하여 관측된 자료는 뇌방전 연구 및 악기상 감시에 유용하게 활용되고 있다.

가. 낙뢰관측의 원리

1) 낙뢰관측방법의 종류

낙뢰의 관측방법에는 크게 TOA(Time Of Arrival)방식과 MDF(Magnetic Direction Finding)방식이 있다. TOA방식은 번개가 발생한 후 각각의 센서에 도달한 시간을 이용하여 낙뢰의 발생위치를 구하는 방법이고, MDF방식은 번개가 발생한 방향을 관측하여 낙뢰의 발생위치를 구하는 방법이다. 따라서 TOA방식을 이용한 낙뢰탐지의 경우는 시간적인 정확도가, MDF방식의 경우는 진북을 정확하게 설정하는 것이 중요한 변수로 작용된다. 기상청에서 운영중인 낙뢰센서는 IMPACT ESP 센서와 LDAR II 센서이다. IMPACT ESP 센서는 TOA방식과 MDF방식을 합성하여 낙뢰의 위치를 결정하고 있으며, LDAR II 센서는 TOA방식을 이용하여 구름방전의 위치를 결정하고 있다. 현 시스템에서 각각의 낙뢰 센서는 GPS안테나가 부착되어 시각 동기

화가 이루어지고 있으며, TOA방식과 더불어 MDF방식을 사용하고 있는 IMPACT ESP 센서에서는 태양추적(Sun Tracking)으로 진북을 결정한다.

2) TOA방식(2개의 센서를 이용한 낙뢰관측)

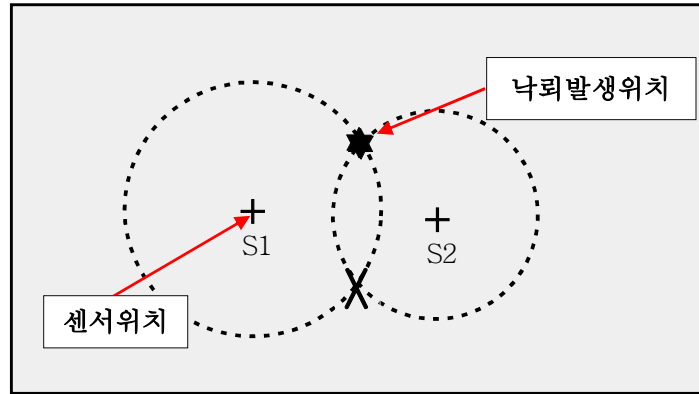


그림 5. 2개 센서를 이용한 낙뢰위치 결정(TOA)

TOA방식만을 이용하여 2개의 센서로 낙뢰를 탐지할 경우, 실제의 낙뢰 위치(그림에서 별표)가 아닌 다른 위치(그림에서 X로 표시)를 낙뢰위치로 잘못 계산 할 수 있다(그림 5). 따라서 TOA방식을 이용하여 정확한 낙뢰 위치를 얻기 위해서는 최소한 3개 이상의 낙뢰 센서가 필요하다.

3) TOA방식(3개 센서 이상을 이용한 낙뢰관측)

3개 이상의 센서를 이용해 TOA방식으로 낙뢰 위치를 계산할 경우, 아래의 그림 6과 같이 정확한 낙뢰 위치를 결정할 수 있다.

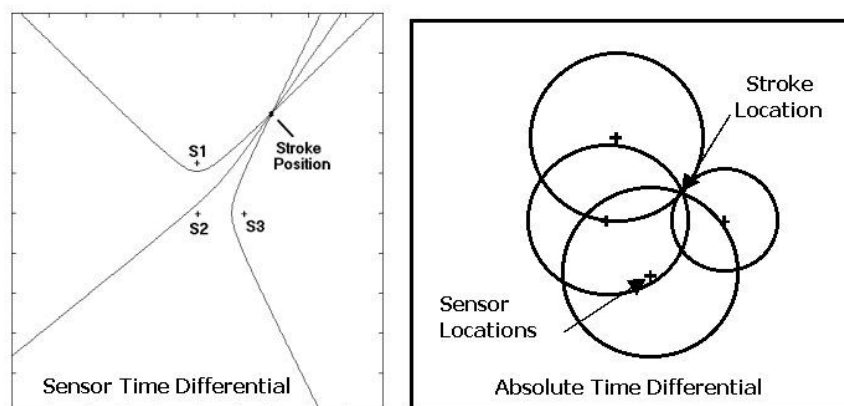


그림 6. 3개 센서 이상을 이용한 낙뢰위치 결정(TOA)

4) MDF방식을 이용한 낙뢰 관측

방향탐지방법(MDF)은 낙뢰로부터 발생한 전자파가 도달되는 방향을 측정하여 2개의 안테나로부터 낙뢰의 위치를 결정하는 방식이다.

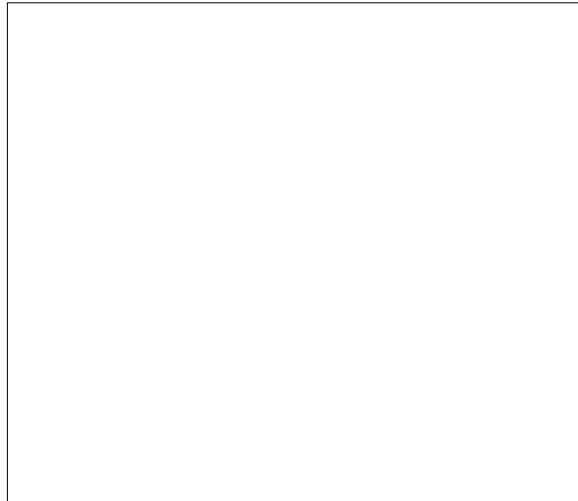


그림 7. MDF방식에 의한 낙뢰위치 결정

따라서 MDF방식에서는 진폭을 정확하게 설정하는 것이 중요하다. 그림 7은 방향탐지방법에 의한 낙뢰위치 결정방법을 보이고 있다.

5) TOA방식과 MDF방식의 합성에 의한 낙뢰 관측

TOA방식과 MDF방식을 합성하여 낙뢰를 관측하는 방법으로써 TOA방식만을 사용하였을 때 발생하는 위치 부정확성의 문제를 방지할 수 있어, 보다 정확한 낙뢰의 위치를 관측할 수 있다(그림 8).

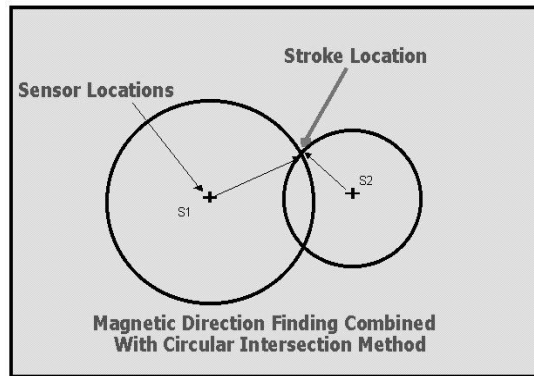


그림 8. TOA방식과 MDF방식의 합성에 의한 낙뢰위치 결정.

나. 낙뢰관측시스템의 종류

낙뢰관측시스템에는 방향탐지법을 이용한 LLP(Lightning Location and Protection)시스템과 시간도달차법을 이용한 LPATS(Lightning Positioning and Tracking System) 및 간섭계방식을 이용한 SAFIR (System de Surveillance et d'Alerte Foudre par Interferometrie)가 있으며, 도달시간차 방법과 방향탐지방법을 혼합한 IMPACT 방법도 상품화되어 운영되고 있다. 앞에서 기술한 관측장비 중에 SAFIR는 낙뢰뿐만 아니라 구름방전도 관측이 가능한 시스템이며, IMPACT ESP의 경우는 낙뢰(대지방전)를 주로 탐지하지만 일부의 구름방전(최대 30%까지)도 관측이 가능한 장비이다.

1) LLP(Lightning Location and Protection)

이 시스템은 미국의 Uman과 Krider 등이 고안한 것으로 DF(Direction Finding)방식을 이용한다. 즉, 직교 LOOP 안테나와 전기장안테나에 의해서 방위를 탐지함과 동시에, 전자기장의 파형을 분석하여 낙뢰를 추출하고 극성 및 전류의 세기를 측정한다. 낙뢰의 위치를 결정하기 위해서 최소 2개 이상의 안테나가 필요한 LLP시스템은 1980년대 중반에 상품화되어 전력회사를 중심으로 전 세계에서 널리 사용되고 있다.

2) LPATS(Lightning Positioning and Tracking System)

이 시스템은 복수의 관측점에 전자파가 도달한 시각의 차를 분석하여 낙뢰위치를 결정하는 것으로, GPS기술을 채용하고 있기 때문에 정확도 높은 낙뢰 위치를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 이 LPATS는 LLP시스템의 단점을 보완하기 위하여 개발된 것이다.

3) SAFIR(System de Surveillance et d'Alerte Foudre par Interferometrie)

이 시스템은 1990년대 초 프랑스의 ONERA(국립우주공학연구소)에 의해 고안되어 Dimensions 사에서 생산되었으며, 간섭계방식을 이용하여 방전의 위치를 결정함으로써 구름방전을 포함한 전체의 방전현상을 측정할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 일본기상청을 비롯한 전 세계 여러 나라에서 운영 중에 있다. (Dimensions 사는 2000년 2월에 핀란드 Vaisala사에 흡수되었다.)

4) IMPACT(IMProved Accuracy from Combined Technology)

이 시스템은 1993년 기존의 DF방식에 시각도달차(Time Of Arrival)방식을 추가하여 제작된 방식으로, 미국 및 캐나다에서 사용되고 있다. 현재 낙뢰관측시스템은 미국의 GAI사를 흡수, 통합한 Vaisala사가 기존의 DF방식과 TOA방식을 합성한 IMPACT시스템을 생산하고 있다. (GAI사는 2002년 3월에 핀란드 Vaisala사에 흡수되었다.)

5. 선진국의 낙뢰관측 현황

가. 미국

초기의 미국 낙뢰관측망은 뇌방전의 자장(磁場)을 측정하는 방향탐지(DF : Direction Finder)방식으로 구축되어 있었으나, 1993년에는 이 관측망에 기존의 DF방식에 시각도달차(TOA)방식을 추가하여 제작한 IMPACT방식을 부분적으로 부가해 관측망을 재구축하였다. 그리고 시각도달차방법을 이용하는 LPATS 70여개와 TOA방식과 DF방식을 혼합하여 낙뢰위치를 결정하는 IMPACT센서 약 50개로 네트워크를 구성하여, 미국 전역에서 발생하는 낙뢰현상을 감시하였다. 2003년부터 새로운 IMPACT 약 113개로 업그레이드 하여 낙뢰현상 감시에 활용하고 있다. NLDN(낙뢰관측시스템)은 GAI사에서 운영하였으며 현재는 Vaisala사에 통합되어 운영되고 있다. USPLN은 TOA System사가 구축한 미국 낙뢰관측망이다. 관측 자료는 미국기상청 및 전력회사 등에 유료로 제공되고 있다.

나. 일본

일본은 1980년대부터 전력회사 등이 LLP시스템과 LPATS를 설치하여 운영 중에 있으며, 1990년대 후반에는 일본기상청 및 기상협회, 칸사이(関西)전

력 등에서 SAFIR를 도입하여 설치, 운영 중에 있다.

일본 전역을 관측하는 민간 기상회사 Franklin Japan은 1998년 10월부터 전국규모의 낙뢰관측 네트워크(JLDN)의 운영을 개시하여 현재 전국 29개소의 센서로 낙뢰위치, 시각, 강도 등을 관측하고 있다.

다. 유럽

프랑스와 스웨덴 기상청에서는 1980년대 후반부터 낙뢰관측시스템을 설치하여 운영 중에 있고 캐나다, 뉴질랜드, 스페인 기상청에서는 1990년대 후반부터 낙뢰관측시스템을 도입하여 설치, 운영 중에 있다.

6. 우리나라의 낙뢰관측 현황

가. 기상청의 낙뢰관측 현황

기상청은 1987년에 낙뢰위치표정시스템(Lightning Location and Protection. Inc)을 도입한 이래, 한반도에서 발생하는 낙뢰현상을 관측해 예보업무에 활용하여 왔다. 그러나 장비의 노후화로 인한 관측정밀도 저하 등의 문제가 발생하여 2001년 초에 낙뢰관측시스템(IMPACT 및 LDAR II)을 도입 및 설치하였고, 2002년 상반기부터는 이 낙뢰관측시스템을 이용한 본격적인 낙뢰관측을 하고 있다. 이 최첨단 낙뢰관측시스템에는 기존의 시스템에서 관측할 수 없었던 구름방전을 포함한 다양한 관측 자료의 생산을 비롯해 많은 편리한 기능이 탑재되어 있다.

1) 낙뢰관측시스템의 구성

낙뢰관측시스템은 센서부, 분석기 및 표출기부로 구성되어 있다. 센서의 종류에는 낙뢰, 즉 대지방전을 주로 감지하는 IMPACT ESP센서와 구름방전을 관측할 수 있는 LDAR II 센서가 있으며, 기상청은 IMPACT ESP센서 7대와 LDAR II 센서 17대로 낙뢰관측을 위한 네트워크를 구성하고 있다(그림 9).

우선 IMPACT ESP 센서(IMPproved Accuracy from Combined Technology Enhanced Sensitivity and Performance)는 전자기장을 이용하여 낙뢰를 탐지하는 센서로, TOA방식의 장점과 MDF방식의 정확성을 결합시켜 탐지효율과 위치정확성을 한층 더 높인 센서라고 할 수 있다. 관측되는 주파수대는 LF(Low Frequency)/VLF(Very Low Frequency)이며, 시각은 GPS에

의하여 동기화 되고 있으며, 정확한 방전위치를 탐지하기 위해서는 3개의 IMPACT센서가 필요하다. 한편, LDAR II(Lightning Detection And Ranging System) 센서는 TOA방식을 이용하여 구름방전의 위치를 결정하는 센서로, VHF(Very High Frequency) 주파수대를 사용하고 있으며, 구름방전의 3차원적인 모습을 관측하기 위해서는 최소 5개의 센서가 이차원적인 모습의 관측을 위해서는 최소 4개의 구름방전센서가 필요하다.

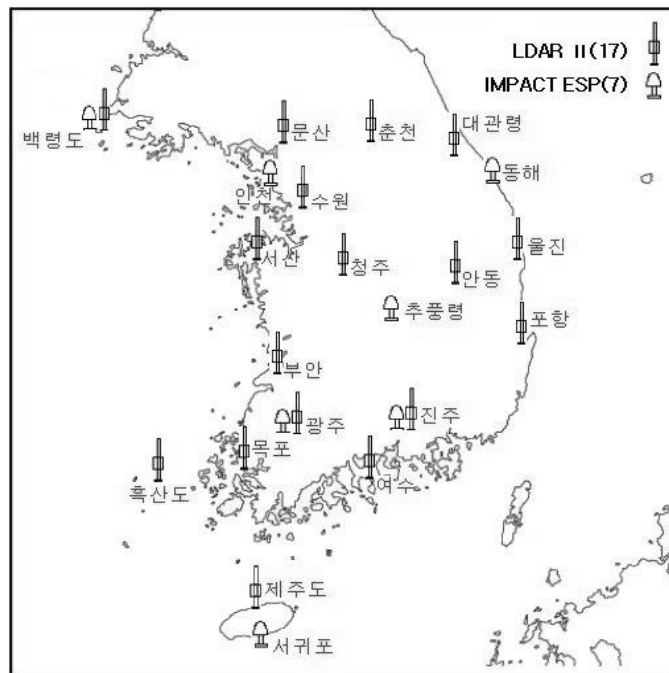


그림 9. 낙뢰관측망

낙뢰감지센서(IMPACT) 7조 및 구름방전감지센서(LDAR II) 17조는 그림 9에 나타나듯이 전국 21 곳의 기상대에 설치되어 운영 중이며, 센서의 모양은 각각 그림 11 및 그림 12와 같다. 그리고 그림 10은 낙뢰탐지범위를 나타낸 것이다.

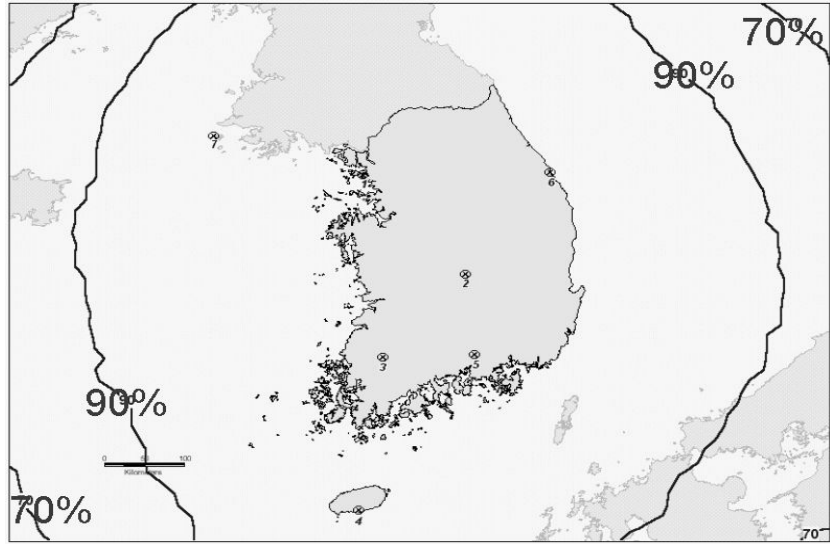


그림 10. 낙뢰탐지범위



그림 11. 대지방전 센서(IMPACT)



그림 12. 구름방전 센서(LDAR)

분석기는 낙뢰 즉, 대지방전 관측 자료를 분석하는 LP2000과 구름방전관측자료를 분석하는 LP3000으로 구성되어 있으며, 표출기는 전체방전(Total lightning)을 2차원으로 표출하는 LTraX표출기와 구름방전을 3차원으로 표출하는 LTS(Lightning Tracking System) 표출기가 있다. 그리고 낙뢰분석기 및 표출기는 기상청 통합전산실과 국가기상센터에 설치되어 낙뢰관측영상을 실시간으로 제공하고 있으며 특히 실시간으로 낙뢰자료를 표출하는 LTraX는 위험지역으로 설정한 장소에 낙뢰가 접근할 경우 경고음을 발생하는 기능을 비롯하여, 사용자가 관심이 있는 영역에 낙뢰가 언제 도달할지를 실시간으로 계산하여 알려주는 기능 등 많은 편리한 기능이 포함되어 있다 (그림 13).

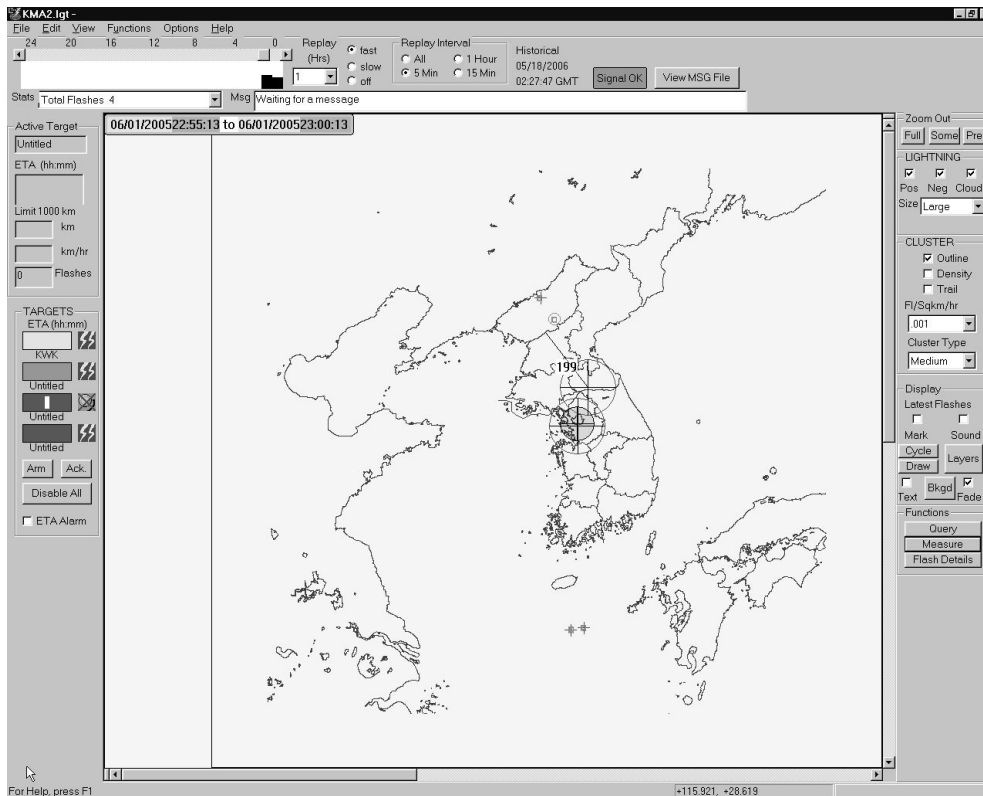


그림 13. 표출기(LTraX)의 낙뢰관측 화면

구름방전(3D events)자료를 실시간으로 표출하는 LTS 표출기의 전체적인 모습은 그림 14에 나타나 있다. 구름방전은 낙뢰가 발생하기 전에 구름 속에서 선행하여 발생하는 미세한 방전으로 LTS는 구름방전시에 방출되는 VHF파를 검출한 후, 시간도달차 방법으로 방전의 위치를 결정한다. 그러나 정확히 말해 LTS는 3차원 공간(위도, 경도, 고도)에서 발생하는 구름방전 분포를 그림15에 나타나는 3D 격자 방법으로 나타내고 있다.

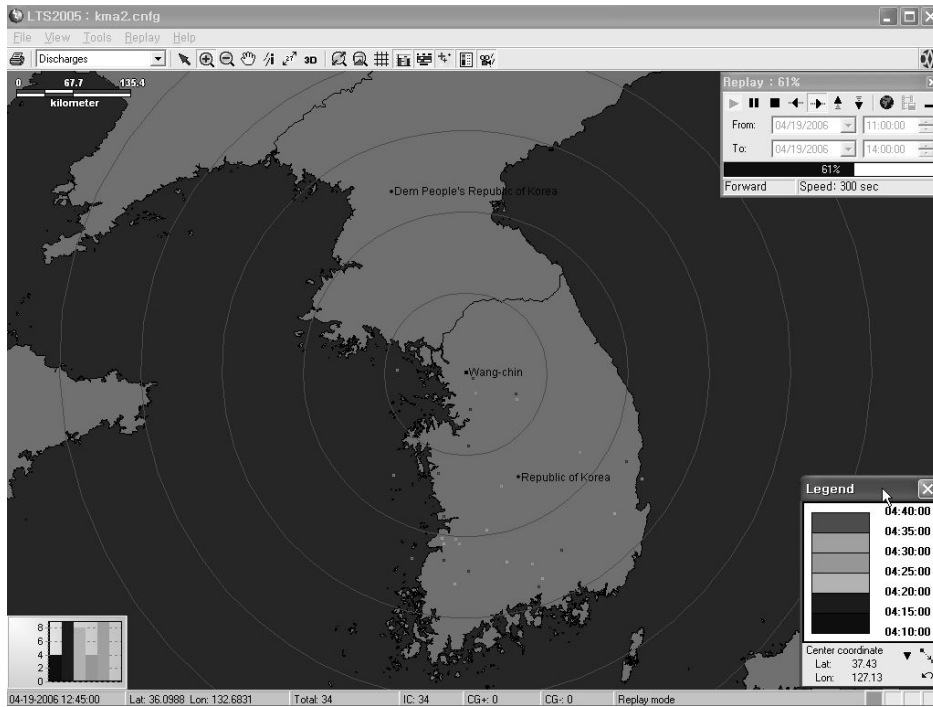


그림 14. LTS(Lightning Tracking System)의 표출 화면

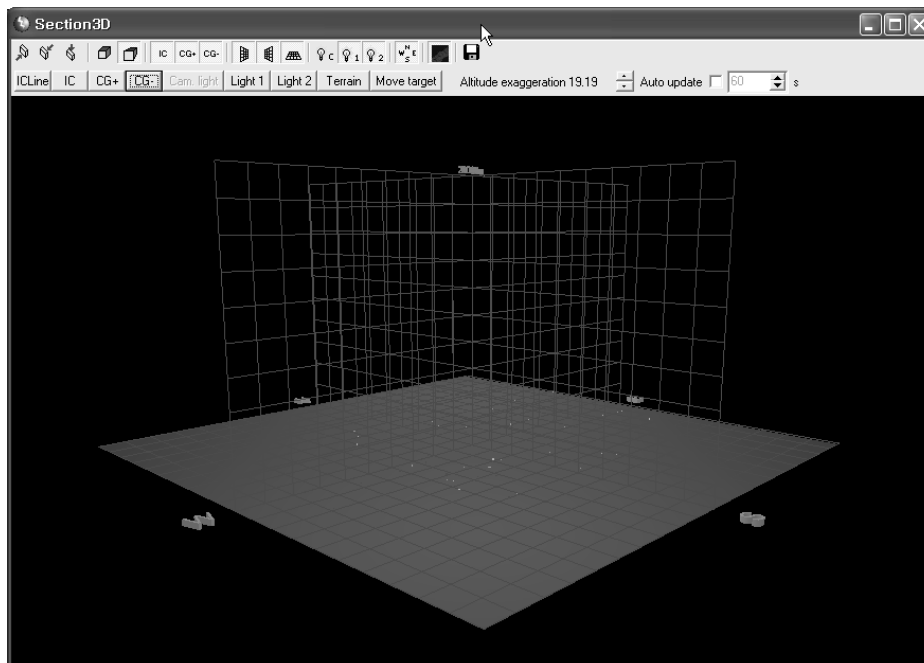


그림 15. LTS 3차원 관측 영상

2) 낙뢰관측시스템자료의 제공

o. 낙뢰자료의 제공

한반도에서 발생하는 낙뢰를 실시간으로 관측한 후, 낙뢰의 위치 및 강도와 극성 등을 실시간으로 출력하여 악기상 감시에 활용하고 있다. 낙뢰의 관측 범위는 레이더의 관측범위보다 넓기 때문에, 집중호우 등 악기상을 조기에 감시 및 추적하는 데에 많은 도움을 준다. 그림 16은 기상청에서 실시간으로 제공하고 있는 낙뢰영상의 한 예이다.

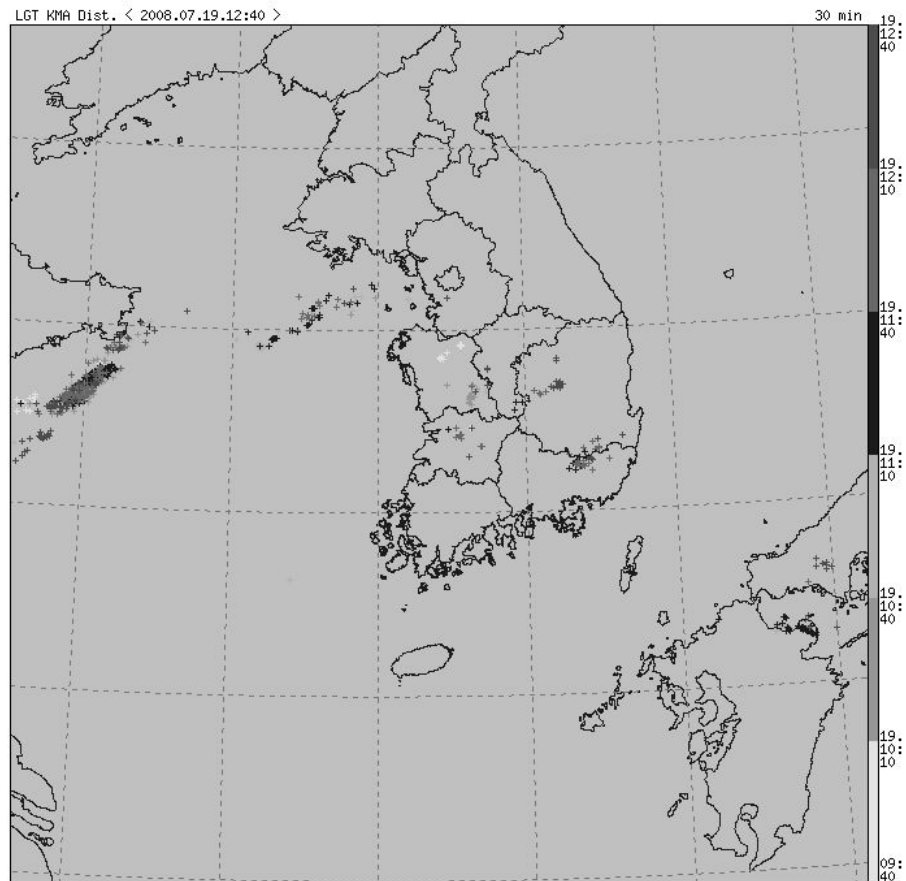


그림 16. 낙뢰영상

o. 낙뢰 문자(SMS) 정보 제공

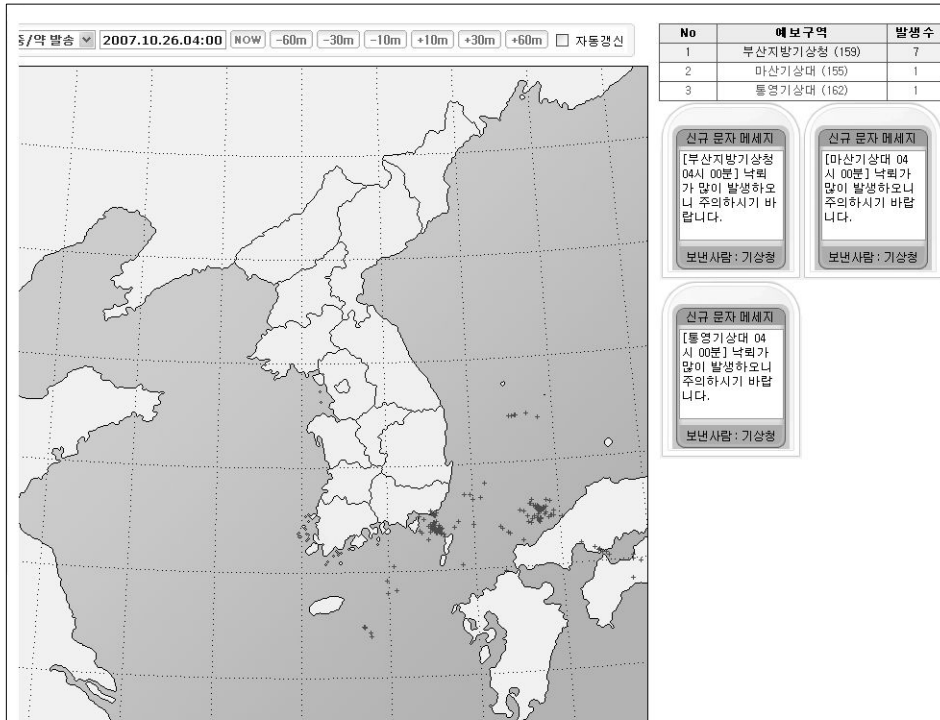


그림 17. 낙뢰 문자정보제공 영상

2007년부터 낙뢰 발생시 휴대전화(SMS)(그림 17)를 활용하여 해당지역의 방재기관 담당자에게 낙뢰발생정보를 제공하는 시스템을 개발하여 수도권부터 시범 실시 운영하였으며, 2008년 6월부터는 전국으로 확대하여 낙뢰정보를 신속하게 제공하고 있다.

o. 낙뢰연보의 발간

낙뢰관측시스템에 의하여 한반도에서 발생한 낙뢰현상을 관측한 후, 그 자료를 분석 및 정리하여 매년 낙뢰연보를 출간하고 있다. 그리고 이 낙뢰연보는 기상관서 및 유관기관에 배포되어, 낙뢰연구 및 낙뢰재해의 경감에 유용하게 활용되고 있다. 한편, 낙뢰연보는 1987년에 도입하여 설치한 낙뢰관측시스템(LLP)에 의해서 관측된 자료를 이용하여 1993년에 최초로 발간된 이래 매년 발간되고 있으며, 그 내용은 1년 동안 관측된 낙뢰의 발생횟수 및 일수분포, 월별·계절별·연별의 낙뢰일수 및 횟수의 빈도분포 등을 분석, 정리한 것이다. 또한, 주요 6개 대도시 및 6개 도별, 국지해상별의 낙뢰발생 시계열 발생빈도 및 낙뢰극성별 발생빈도, 낙뢰강도분포 등도 분석되어 있다.

나. 한국전력거래소의 낙뢰관측 현황

한국전력거래소는 1994년에 LPATS를 도입한 후, 시험운용을 거쳐 1995년 7월부터 정상운동을 실시하고 있으며, 속초, 울진, 보은, 태안, 강진, 창원 등 6개소에 설치하여 주로 송전선에서 단전 사고가 발생하였을 때 사고원인 및 지점을 밝히는 데에 사용하고 있다. 기상청에서는 한국전력거래소에서 관측한 이러한 낙뢰자료를 수신하여 예보의 참고자료로 활용하고 있다.

다. 한국전력연구원 낙뢰관측 현황

한국전력연구원은 2005년에 도달시간차 (TOA : Time Of Arrival) 방식을 이용하여 낙뢰를 감지하고 있다. 속초, 평해, 보은, 창공, 제주, 강진, 대천, 인천 등 8개소에 센서를 설치하여 운영하고 있으며, 자료를 실시간으로 웹 (<http://www.lightning.or.kr>)에서 제공하고 있다.

7. 선진국의 낙뢰연구동향

근대적인 낙뢰의 연구는 제2차 세계대전 이후 영국과 남아프리카를 중심으로 시작되었으나, 최근에는 질적, 양적으로 미국과 프랑스에서 낙뢰에 대한 연구를 주도하고 있다.

미국의 경우, 뇌방전 및 뇌전하(雷電荷)에 관한 연구는 뉴욕주립대학(Orvill), 플로리다대학(Uman), 뉴멕시코 공업대학(Brook, Krehbiel), 애리조나대학(Krider) 등을 중심으로 이루어지고 있다. 이들 대학은 인공위성을 비롯한 미사일과 항공기 등의 낙뢰피해를 방지하기 위하여, NASA, NOAA와 함께 종합적인 연구를 수행하고 있으며, 이외에도 전력 및 군관계의 연구소에서도 활발한 연구가 진행되고 있다.

영국의 맨체스터대학(Illingworth 등)에서는 뇌전하의 생성구조에 관한 연구를 실시하고 있으며, 프랑스에서는 Hubert를 중심으로 원자력청(CEA)을 포함한 4개의 연구기관이 협력하여 대규모 로켓을 이용한 낙뢰유도실험이 성공리에 추진되고 있다. 유럽의 이들 연구팀과 미국의 4개 대학 사이에는 긴밀한 협력관계가 유지되고 있다.

국제 뇌방전(雷放電) 공동연구체(Thunderstorm Research International Program : TRIP)는 로켓을 이용한 낙뢰유도실험을 비롯한 대규모의 공동연구를 뉴멕시코 및 케네디우주센터가 있는 플로리다주에서 실시하고 있다. 그

리고 이 연구에 있어 높은 구조물에서의 낙뢰 관측은 케네디우주센터의 발사대(지상에서 400피트 높이)를 이용하고 있으며, 여기에는 LLS(Lightning Location System)의 고안자인 Uman, Krider 등이 참가하고 있다.

Krider는 전자기장 관측에 있어 관측기기의 시간 분해능을 향상시킴과 동시에 전파에 의한 파형변화를 고려한 100km 이내의 해상전파기록을 분석하였다. 그리고 그 결과에 의하면 종래의 귀환뇌격(Return stroke)에는 기록되지 않았던 급격한 변화가 포함되어 있다는 사실이 밝혀졌고, 발사시간은 40~200ms이며, 전기장변화로 추정되는 전류속도가 50~75KA/ μ A(종래의 값의 2~3배)로 알려져 있다.

Uman은 귀환뇌격을 통한 전자기장 측정에 의하여 Model에 대응하는 자료를 수집한 후, 귀환뇌격에 의한 전기장변화의 수평성분을 측정하여 송·배전선, 통신선으로의 유도에 대한 새로운 자료를 제공하고 있다. 또, Krider가 주축인 연구모임은 공군의 학자 등과 공동으로 항공기 측정, 지상의 다요소 측정을 포함한 종합관측을 실시하고 있다.

광학적 관측의 분야에서 Orvill 등은 전자 셔터를 이용하여 주간에도 기록이 가능하고 시간 분해능이 높은 스트로크 카메라를 제작하여 뉴멕시코와 플로리다에서 수행한 TRIP에 참가하여, 귀환뇌격의 2차원 속도를 측정한 후 기존의 관측값과 비교하고 있다. 또한, Brook과 Krehbiel 등은 방전전기장의 다지점 동시측정과 VHF방전로의 표정(標定) 및 연구용 레이더와 도플러레이더에 의한 뇌운 관측을 병행하면서, 뇌운 셀의 발달초기에 있어 뇌운과 뇌운의 방전활동을 3차원적으로 추적하는 종합적인 관측을 실시하고 있으며, 이 관측에는 TRIP도 참가하고 있다. 또 NSSL(National Severe Storms Laboratory)의 연구팀은 미시시피대학, 오클라호마대학과 공동으로 뇌운 셀의 종합적인 관측을 수행하였다.

대기 중의 낙뢰관측에서 Brook 등은, NASA의 협력을 얻어 U-2기에 광센서와 전자기장 센서를 탑재하여 성층권에서의 구름방전과 낙뢰를 관측한 결과, 낙뢰에 있어서의 선도 및 귀환의 특성을 명확하게 밝힐 수 있었다.

뇌우가 발생한 때에 항공기를 이용하여 항공기로의 뇌격특성이나 뇌방전 전자기장을 측정하는 공중관측은 미국의 공군 관계자나 NASA의 연구팀이 중심이 되어 국립연구소나 대학의 학자와 함께 미국 각지에서 연구를 진행하고 있다.

또한 유럽, 일본, 미국에서 독자 혹은 공동연구의 형태로 인공위성을 이

용한 낙뢰관측연구가 시도되고 있다. 일본 오사카대학 가와사키 연구실에서 최근 발사된 과학위성에 간접계방식의 VHF 낙뢰관측장비가 탑재된 것으로 추정되고 있다. 낙뢰현상연구를 통하여 태양의 여러 형상을 규명하려는 연구가 시도되고 있다.

8. 대기전기학의 발전방향

대기전기학의 발달로 인한 대기전기현상의 많은 연구 결과가 인접분야의 발전에 크게 기여함과 동시에 실생활에도 많은 도움을 주고 있다. 특히, 대기 이온의 연구에서는 작은 이온의 생성과정이 명확하게 규명되고 있으며, 에어러솔의 연구 및 대기 중의 방사성가스의 연구 또한 크게 발전되고 있기에, 지구를 둘러싼 대기환경에 대한 연구가 크게 발전될 것으로 기대된다.

또한, 뇌방전(雷放電)구조에 대한 연구는 전력계통, 통신계통의 낙뢰피해 방지에 기여하고 있으며, 최근에 들어서는 뇌방전의 전자기장계측시스템이 낙뢰예측과 낙뢰피해경감에 크게 공헌하고 있다. 그리고 반도체 소자를 사용하고 있는 전자기기 및 컴퓨터 등은 특히 낙뢰에 의한 서지(Surge)의 피해를 받기 쉬워 이로 인한 낙뢰의 피해건수가 급증함에 따라 이 대책에 관한 연구결과도 실용화되고 있다.

나아가, 뇌운의 전하분리구조에 대한 설명은 대기전기학의 핵심과제로서 많은 학설이 반복적으로 제창되고 있으나, 현재로서는 Takahashi(1978, 1984)의 싸라기눈과 빙정의 충돌에 의한 “착빙전하발생기구설”이 가장 타당한 학설로 되어 있다. 그러나 이 학설 역시 물의 분자구조, 결정구조, 계면현상 등에 관한 설명이 미흡하며, 이것을 보충하기 위해서는 대기전기학과 연계한 구름물리학의 발전이 필요하다.

한편, 지금까지 지구의 전하를 보충하고 유지하는 문제는 지구와 함께 지구를 둘러싼 고도 50km 정도의 도전층(導電層)에 의한 구각(球殼)축전지모델을 이용하여 그 설명이 이루어지고 있으나, 오늘날에는 기상위성과 전리층 관측위성 등 각종 인공위성의 활약으로 인하여 열권 및 그보다 더 상층의 대기 상황이 자세하게 밝혀지고 있다. 그렇기에 앞으로도 지구 주위의 전하 입자운동에 대한 새로운 연구가 이루어져야만 할 것이다.

마지막으로 최근 들어 주목을 끌고 있는 현상에 대하여 이야기하면 다음과 같다. 1994년 미국 중서부에서는 2대의 항공기에 의한 동시관측으로부터 뇌운의 운

정에서 상층대기로 방전이 발생하는 것을 발견하였으며, 이후에도 미국 여러 대학과 연구기관에서 이런 종류의 방전이 1,000회가 넘게 관측되었다. 그리고 이 방전에는 2가지 타입이 있으며, 발광색(發光色)과 발광형태에 따라 레드 스프라이트(Red Sprite)와 블루 제트(Blue Jet)라 명명되었다. 또한, 방전의 도달 고도는 레드 스프라이트가 95km(전리층 하면), 블루 제트가 40km(성층권 하층)로 추정되고 있고, 그 빈도는 양쪽 모두 2분에 1회 정도이며, 레드 스프라이트와 블루 제트 현상이 있는 경우에는 지표에서 낙뢰가 발생하였다. 더욱 흥미로운 것은 우주에서 촬영한 지구영상사진을 검토한 결과, 이런 종류의 방전은 미국 중서부에만 국한되지 않고 남미, 호주, 아프리카 등에서도 발생하는 것이 확인되어 전 지구적인 현상으로 인정되었다. 그리고 이러한 새로운 방전 현상은, 대기전기학을 연구하는 학자들이 연구 분야를 확대하여 지구전자기학을 비롯한 고층기상학 등의 학자들과 함께 새로운 대기전기학의 분야를 개척할 필요가 있다는 것을 시사하고 있다.

II. 분석

1. 낙뢰분석방법

2001년 10월에 새로 도입하여 설치한 낙뢰관측시스템(대지방전 : IMPACT)으로 관측된 자료를 이용한 낙뢰자료의 분석영역은 탐측범위를 고려하여 32~40° N, 124~132° E로 한정하고 분석방법은 아래와 같다.

○ 낙뢰발생 일수 및 발생횟수 분포도 분석

낙뢰발생 횟수 및 일수를 월별, 계절별, 년으로 구분하여 등치선으로 나타내었으며, 구체적인 수치들은 각 격자점(55km×55km) 블록에 기입하여 정리하였다.

○ 지역별 낙뢰발생 횟수

낙뢰발생의 지역별 분포의 특성을 알아보기 위하여 4월에서 9월까지의 낙뢰발생현황을 서울, 부산, 대전, 광주, 인천, 강릉의 도시별로 나누고, 경기도, 강원도, 충청도, 경상도, 전라도, 제주도의 도별로 나누어서 분석하였고, 지도에 표시한 지명은 기상관서 및 자동기상관측장비가 설치된 지점이다

○ 낙뢰발생 횟수 도표 분석

낙뢰발생 횟수를 월, 계절, 년으로 구분하여 일별 및 시간별로 분석하여 도표로 나타내었고 2003~2009년까지 최근 7년간의 연간 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내어 분석하였다.

○ 강도 및 극성을 도표 분석

낙뢰발생 강도를 최근 7년간 월별로 평균 강도 및 극성을 빈도를 도표로 나타내었고, 2009년 월별로 최대 강도를 분석하였다.

○ 연도별 낙뢰발생 횟수

신(新) 낙뢰시스템 도입 이후 2002년부터 총 발생 횟수를 도표로 분석하였다.

2. 낙뢰발생 현황 분석

가. 월별 낙뢰발생 일수 및 횟수 분포

○ 2009년 1월

경북남부동해안에 주로 발생하였으며 최고 발생횟수는 최고 70회로 1월은 주로 우리나라 남부지방의 동해안에 많은 분포를 보였다. 발생일수는 경남북동해안을 중심으로 최대 4~16회로 나타났고, 그 밖의 내륙에는 4회 이하로 발생횟수가 적었다(그림1(a), 그림1(b)).

○ 2009년 2월

경남북동해안 및 동해상과 전라도 지방의 남부지방에 주로 발생하였으며, 일본 근해에 최고 214회로 발생횟수를 보였다. (그림2(a), 그림2(b)).

○ 2009년 3월

경북남부 동해안과 경남 동해안 및 전라도 지방 등을 중심으로 폭넓게 발생하였고, 경북남부동해안에서 14일의 낙뢰일수 최대값을 나타내었고, 낙뢰발생횟수는 남해면바다에서 최고 550회 발생하였다.(그림3(a), 그림3(b)).

○ 2009년 4월

경북남부동해안에서 11일의 낙뢰일수 최대값을 보였다. 낙뢰횟수를 살펴보면 서해상에서 최고 63회 발생하였다(그림4(a), 그림4(b)).

○ 2009년 5월

낙뢰발생 일수는 경북남부지방과 동해안, 전라도 지방을 중심으로 주로 발생하여, 경북남부지방과 전라도지방에서 최대 10일 발생하였다. 낙뢰발생횟수는 주로 전라도지방과 경북북부, 강원도 내륙지방을 중심으로 발행하였고, 경북북부지방에서 최대 261회로 최대값을 나타내었다(그림5(a), 그림5(b)).

○ 2009년 6월

낙뢰발생 일수는 전라북도 지방에서 최대 20일 발생하였고, 서해상에서 최대 22일로 나타났다. 낙뢰발생횟수는 경기, 강원도 지방을 중심으로 주로 발생하여, 강원남부내륙지방에서 최대 8,705회 발생하였다(그림6(a), 그림6(b)).

○ 2009년 7월

낙뢰발생 일수는 전라도와 경상도를 걸쳐서 최대 27일 발생하였다. 낙뢰 발생 횟수는 경남서부남해안지방에서 6,108회로 최대값을 보였다. 그밖에도 경기남부지방에서 3,359회, 서해상에서 3,503회의 분포를 보였다(그림7(a), 그림7(b)).

○ 2009년 8월

낙뢰발생일수는 전라북도와 서해안지방에서 최고 24일 발생하였고, 강원도 지방은 5일 이하로 적게 발생한 지역도 나타났다. 낙뢰발생 횟수는 남해상일대에 집중되어 나타났고, 최대 11,670회를 기록했다(그림8(a), 그림8(b)).

○ 2009년 9월

내륙에서는 경남남부 동해안에서 최고 13일 발생하였고, 전라북도 부근의 서해상 일부지방에서 13일, 남해동부해상에서 최대 14일 발생하였다. 낙뢰발생횟수는 8월에 비해 현저하게 감소하였고, 중부지방 및 북한지방에서 주로 발생하였고, 북한지방에서 최대 777회 발생하였다(그림9(a), 그림9(b)).

○ 2009년 10월

주로 전라남도 남부해안지방에서 최대 24일 발생하였고, 경상북도 남부지방과 충청남도 일부지방의 발생일수는 5일 이하로 줄어들었다. 낙뢰발생횟수는 주로 서해상에서 많이 발생하였고, 경기남부앞바다에서 최대 2,875회 발생하였다(그림10(a), 그림10(b)).

○ 2009년 11월

낙뢰발생일수가 15일 이하로 줄어들었고, 동해안과 남해안 일부를 제외하면 대부분 5일 이하로 발생일수가 줄어들었다. 경남동해안지방에서 최대 13일 발생하였고, 낙뢰발생횟수는 서해중부해상에서 최대 4,289회 나타났다. 내륙지방에서는 인천부근에서 최대 1,253회를 기록하였다(그림11(a), 그림11(b)).

○ 2009년 12월

전국 낙뢰일수는 경상남북도 동해안일부의 최대 16일과 전라남도 남해안의 최대 8일을 제외하면 대부분 5일 이하로 나타났다. 해상에서는 동해남부 앞바다에서 최대 18일 발생하였다. 낙뢰발생횟수는 동해안에 집중되어 나타났으며, 최대 동해상에서 268회를 기록하였다(그림12(a), 그림12(b)).

나. 계절별 낙뢰발생 횟수 및 일수 분포

○ 2009년 봄(3~5월)

봄철 낙뢰분포는 경남동해안과 경북남부동해안지방과 전라도 지방을 제외하고 내륙에서는 10일 이하로 나타났고, 경북남부동해상에서 최대 35일 발생했다. 낙뢰발생횟수는 남해상에서 최대 625회로 나타났다(그림13(a), 그림13(b)).

○ 2009년 여름(6~8월)

경북북부 동해안일부와, 경기남부 일부를 제외하고, 전국 대부분의 내륙지방에서 30일 이상의 낙뢰가 발생하였고, 전라북도 내륙에서 최대 68일, 전라북도 인근 해안에서 최대 70일의 발생일수를 보였다. 낙뢰발생횟수는 남해상에서 최고 14,983회를 기록했다. 내륙에서는 강원남부에서 최대 9,392회를 기록하였다(그림14(a), 그림14(b)).

○ 2009년 가을(9~11월)

남해안을 중심으로 주로 발생하였으며, 남해안에 최고 38일과 그 외 해상에도 20일이상의 발생일수를 보였다. 내륙의 분포는 충청, 경북남부일부, 강원동해안 일부 지방에서 10일 이하로 나타난 것을 제외하면 대부분 10일 이상 발생하였다. 가장 많이 발생한 지역은 서해남부해상과, 서해중부, 경기만 인근으로 서해남부해상에서 최대 3,662회를 기록하였다(그림15(a), 그림15(b)).

○ 2009년 겨울(12~'10.02월)

경남북동해안과 동해상, 전라도 해안지방을 제외한 내륙에는 5일 이하로 낙뢰발생횟수가 줄어들었고, 경북남부동해안에서 최대 34일 발생하였다. 낙뢰발생횟수는 내륙에서는 주로 남해안과 경남동해안에서 많이 발생하여, 전라남도 남해안에서 최대 184회를 기록하였다. 해상에서는 서해남부해상과 남해상, 동해상에서 많이 발생하였고, 서해남부해상에서 최대 566회를 기록하였다(그림16(a), 그림16(b)).

다. 연간(2009년 1~12월) 낙뢰발생 일수 및 횟수 분포

2009년에 발생한 낙뢰의 일수분포는 그림 17(a)와 같으며, 강원도 동해안 일부 지방을 제외하고는 전국적으로 40일 이상의 발생분포를 보였다.

2009년의 낙뢰 발생 횟수분포는 그림 17(b)와 같으며 내륙에서는 강원남부내륙에서 최대 10,040회 발생하였고, 해상에서는 남해면해상에 최대 15,522회로 나타났다.

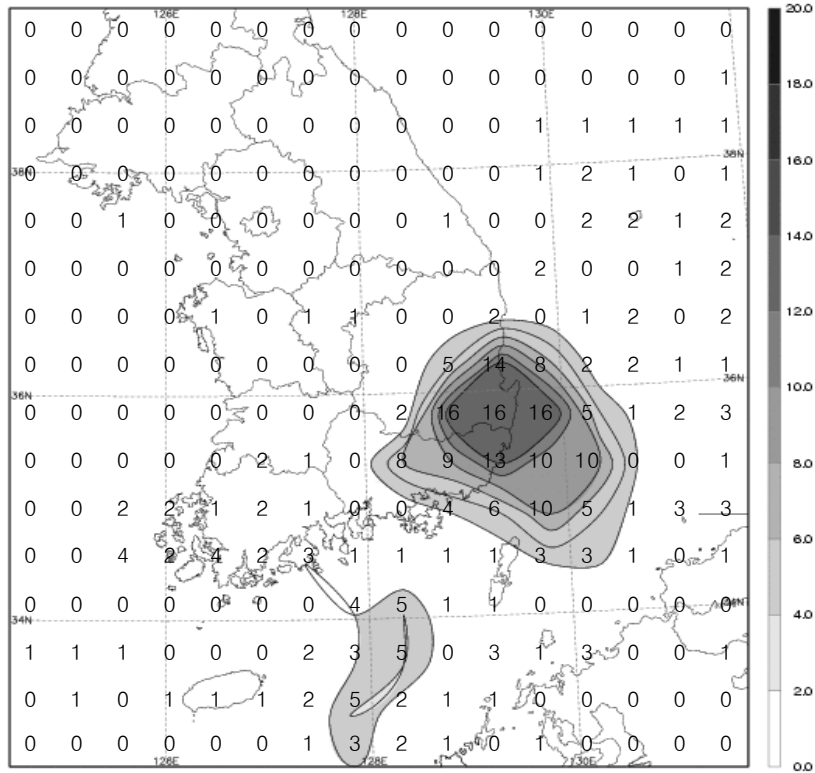


그림 1(a). 2009년 1월 낙뢰발생 일수 분포

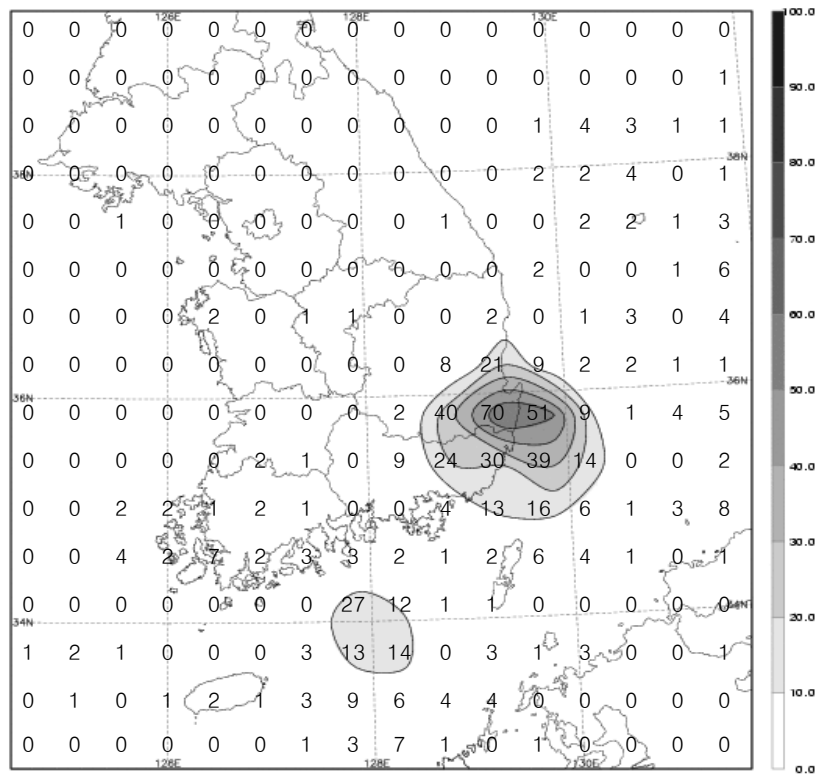


그림 1(b). 2009년 1월 낙뢰발생 횟수 분포

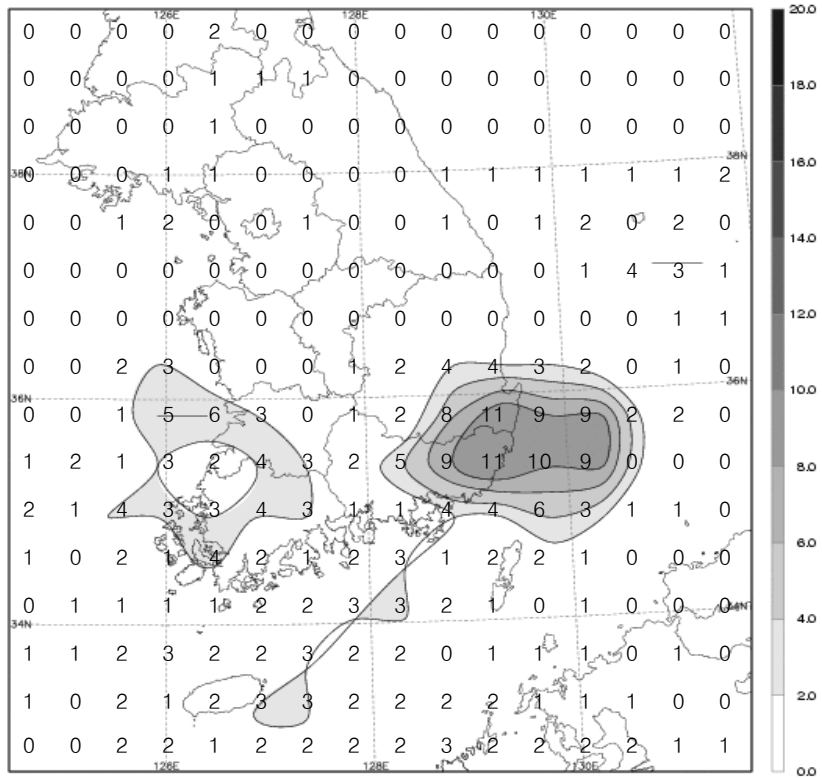


그림 2(a). 2009년 2월 낙뢰발생 일수 분포

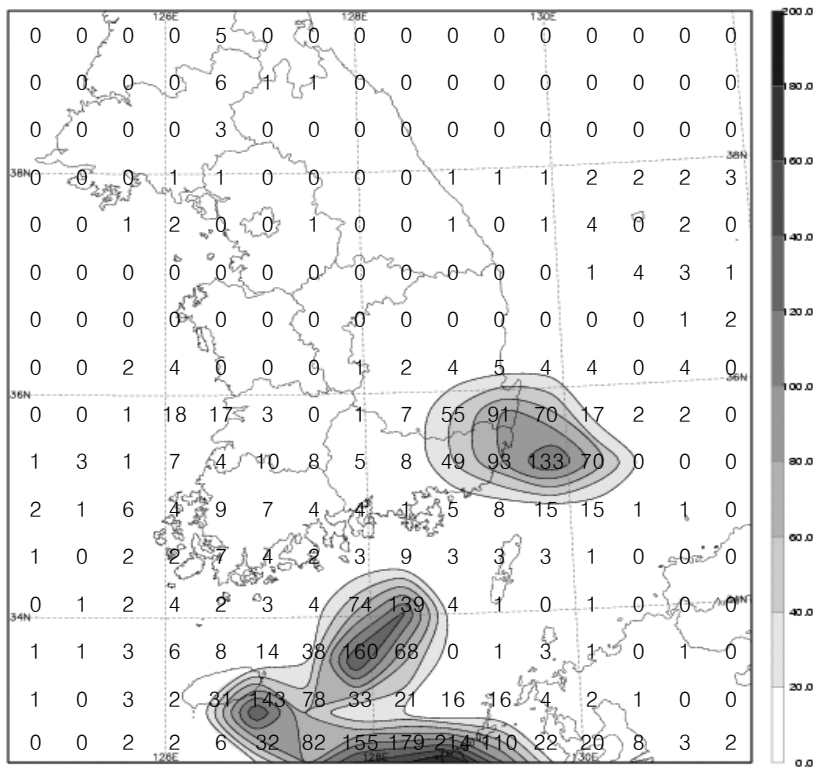


그림 2(b). 2009년 2월 낙뢰발생 횟수 분포

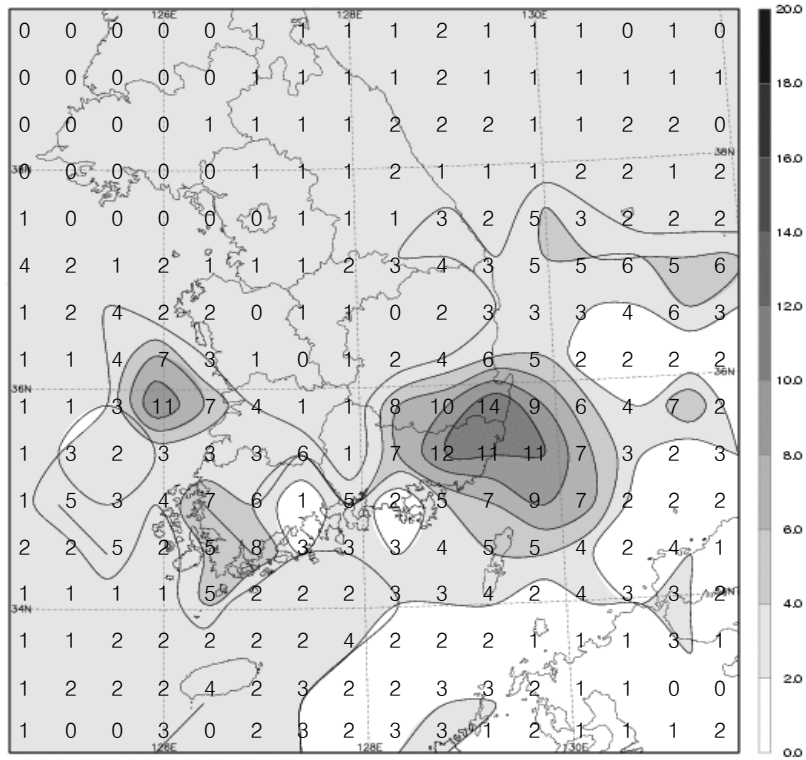


그림 3(a). 2009년 3월 낙뢰발생 일수 분포

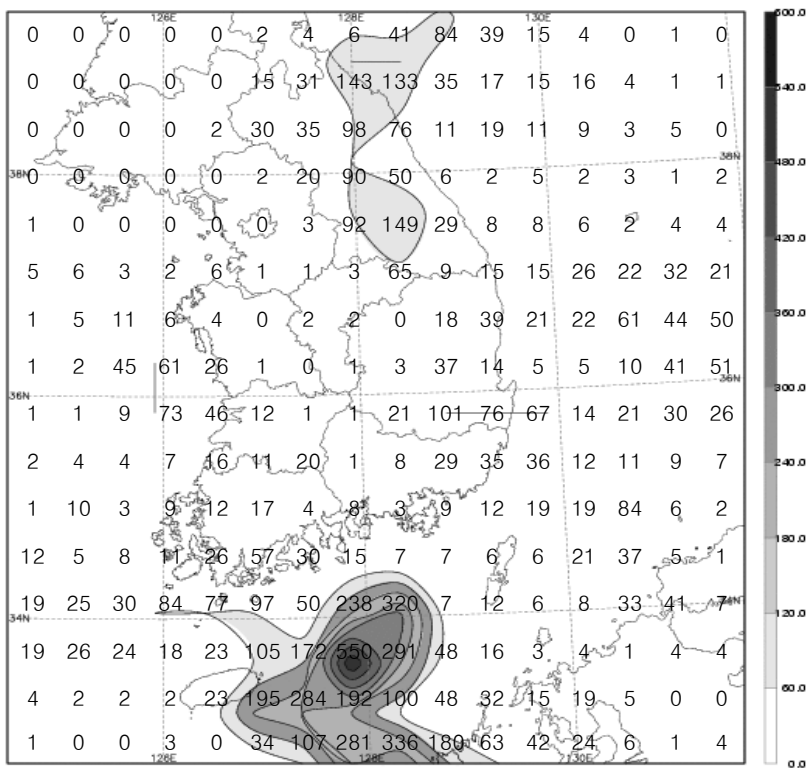


그림 3(b). 2009년 3월 낙뢰발생 횟수 분포

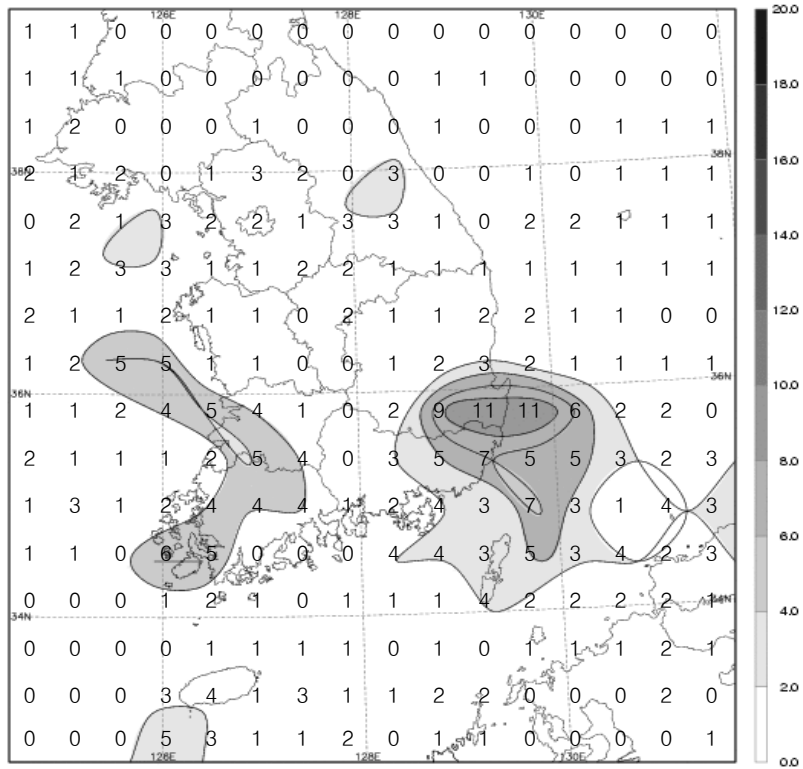


그림 4(a). 2009년 4월 낙뢰발생 일수 분포

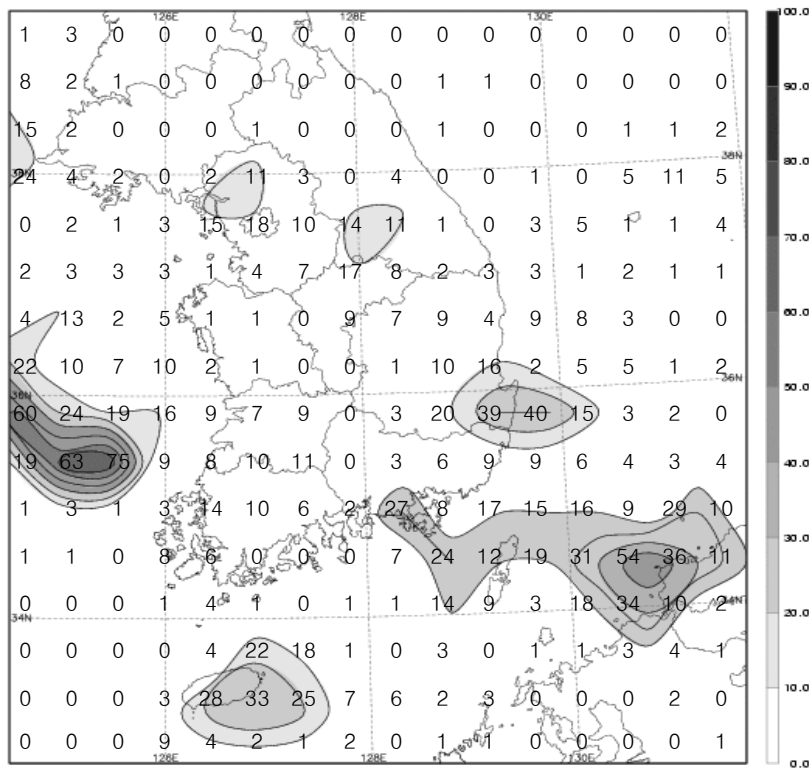


그림 4(b). 2009년 4월 낙뢰발생 횟수 분포

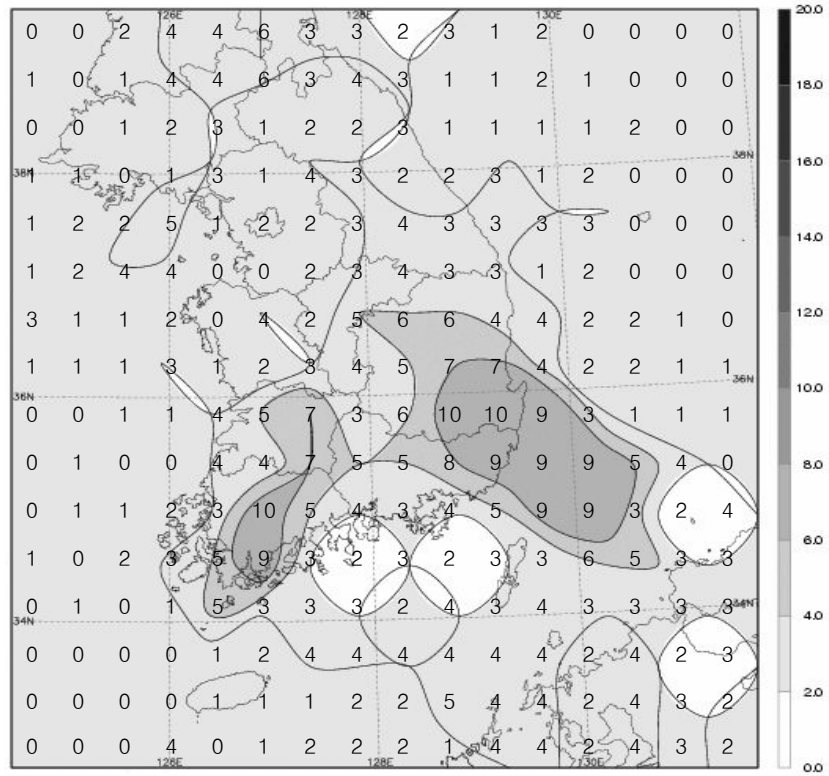


그림 5(a). 2009년 5월 낙뢰발생 일수 분포

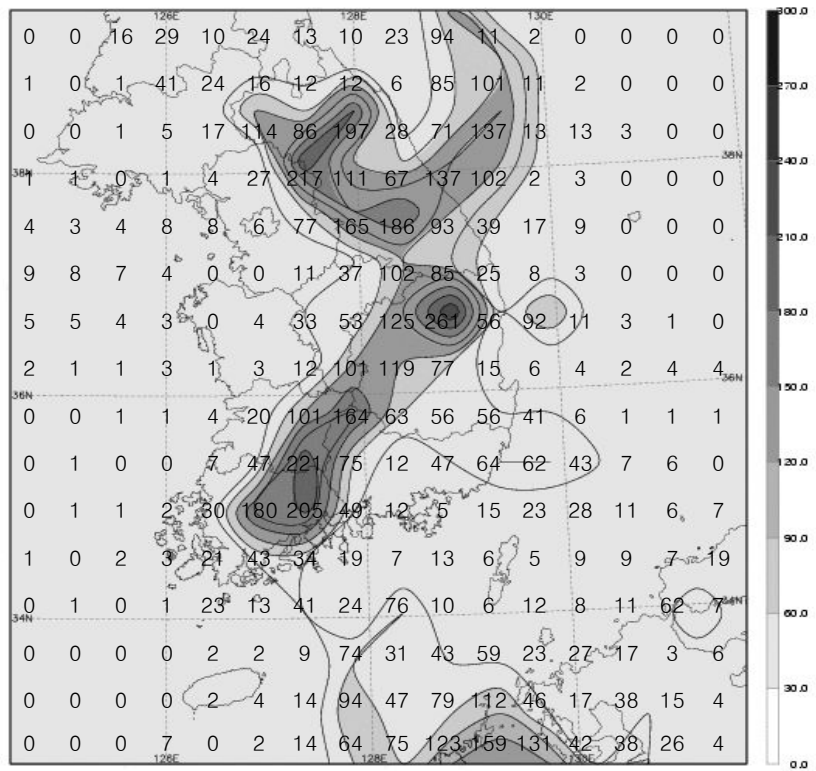


그림 5(b). 2009년 5월 낙뢰발생 횟수 분포

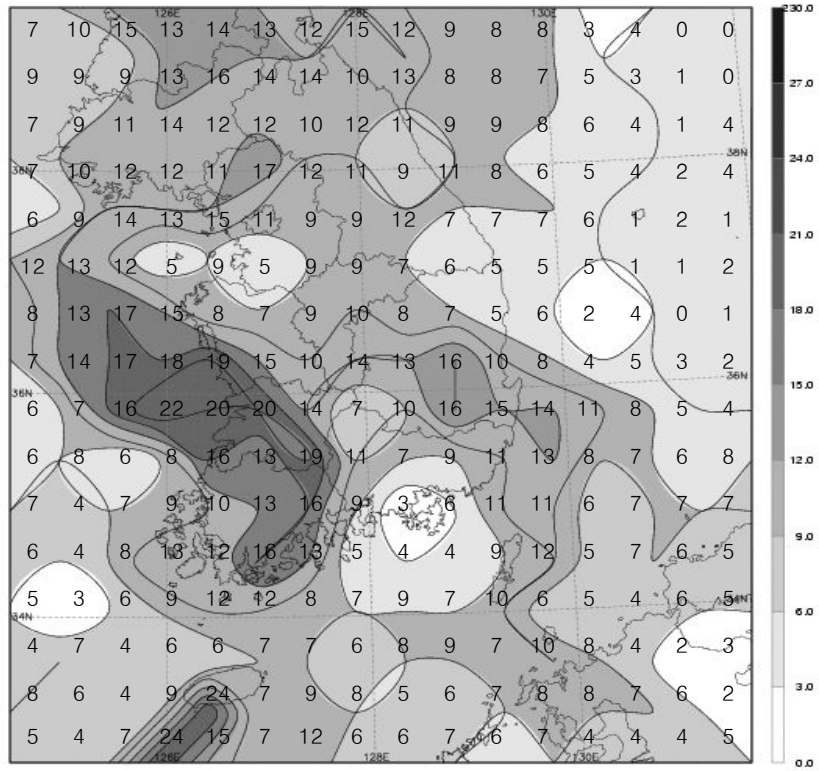


그림 6(a). 2009년 6월 낙뢰발생 일수 분포

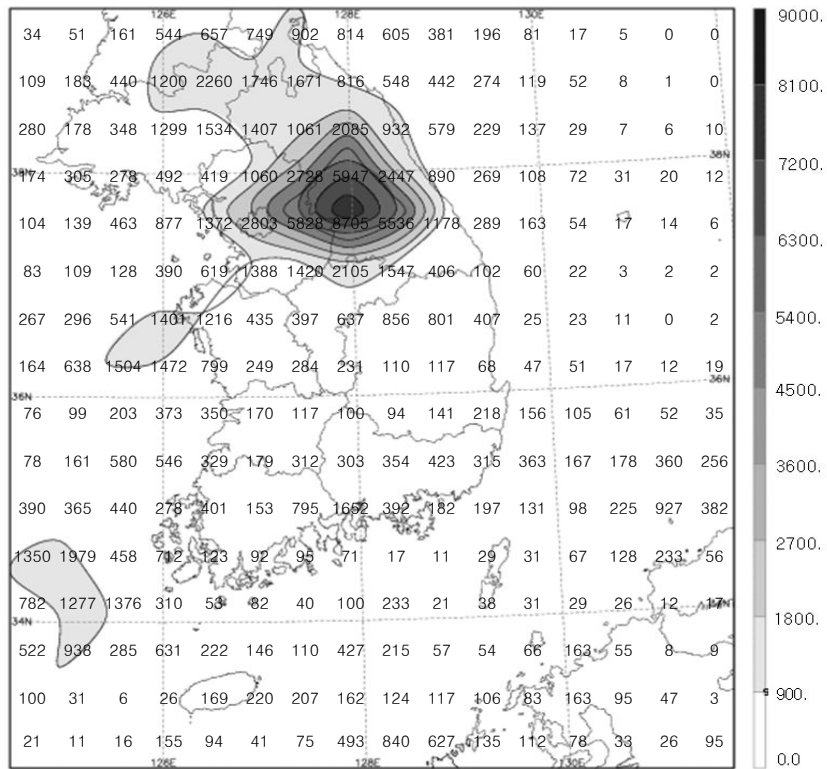


그림 6(b). 2009년 6월 낙뢰발생 횟수 분포

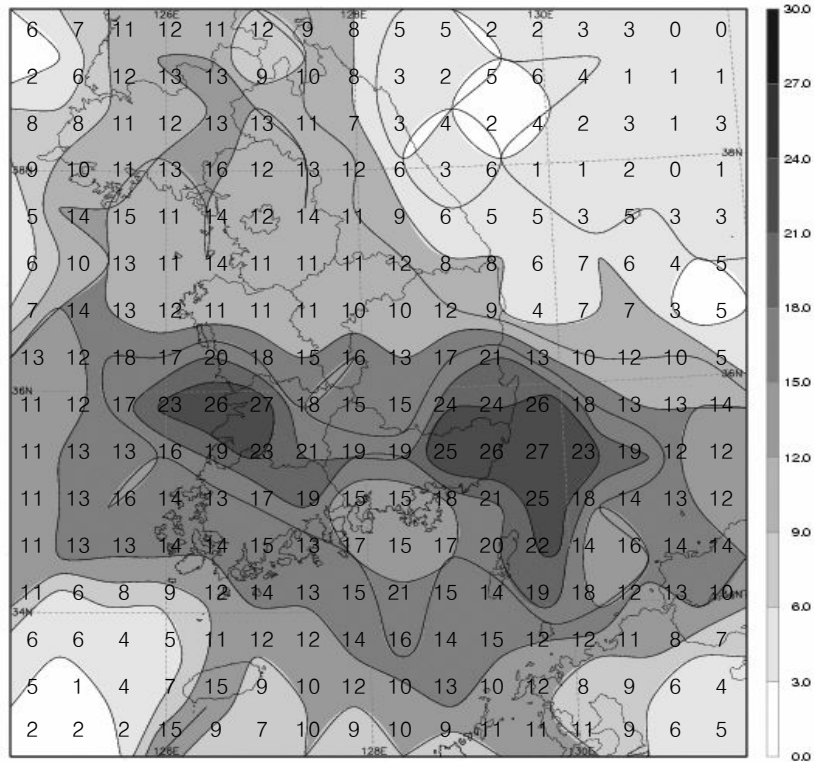


그림 7(a). 2009년 7월 낙뢰발생 일수 분포

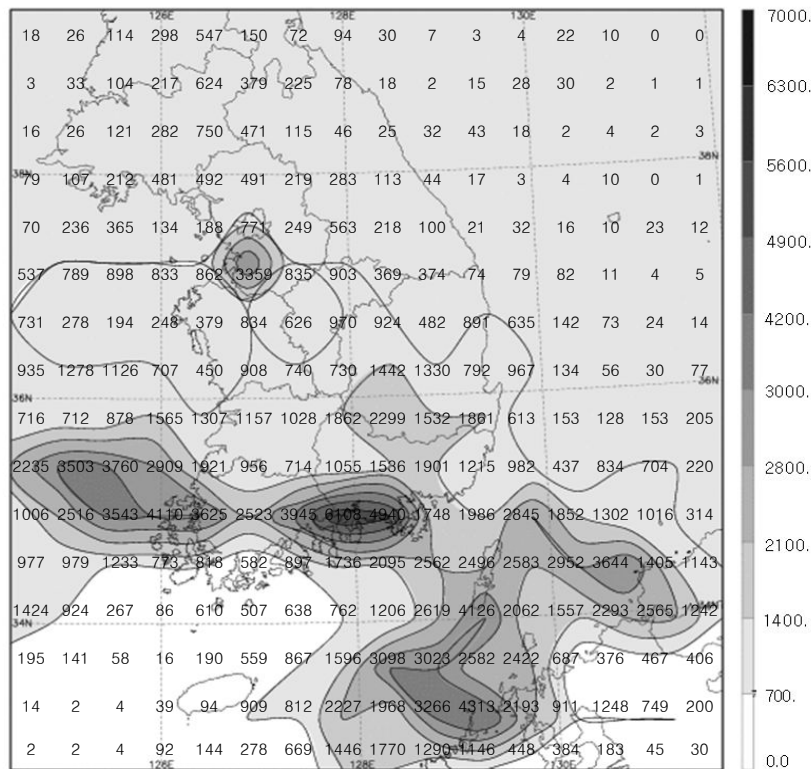


그림 7(b). 2009년 7월 낙뢰발생 횟수 분포

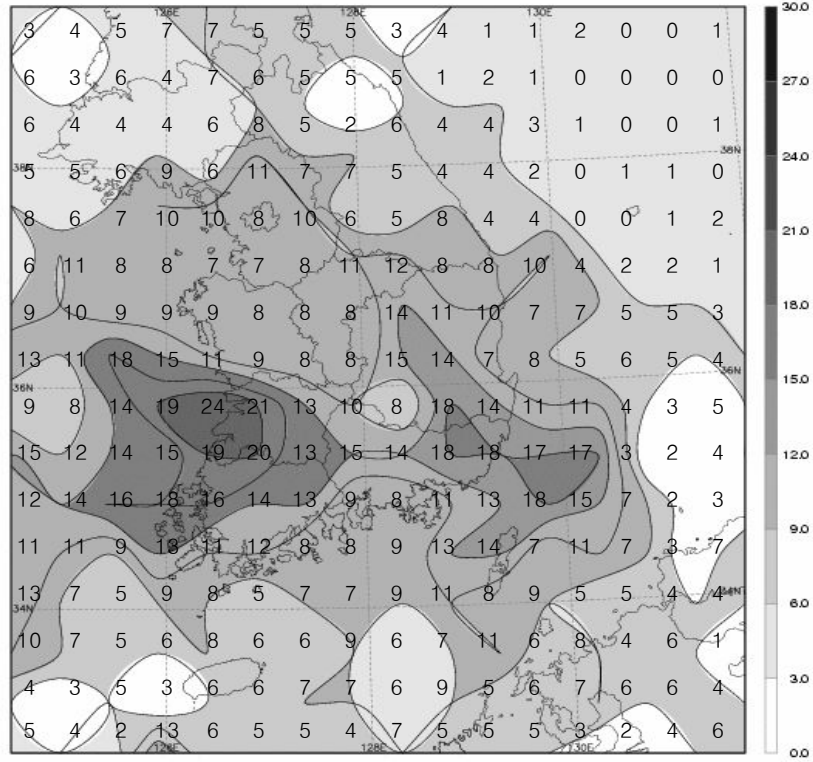


그림 8(a). 2009년 8월 낙뢰발생 일수 분포

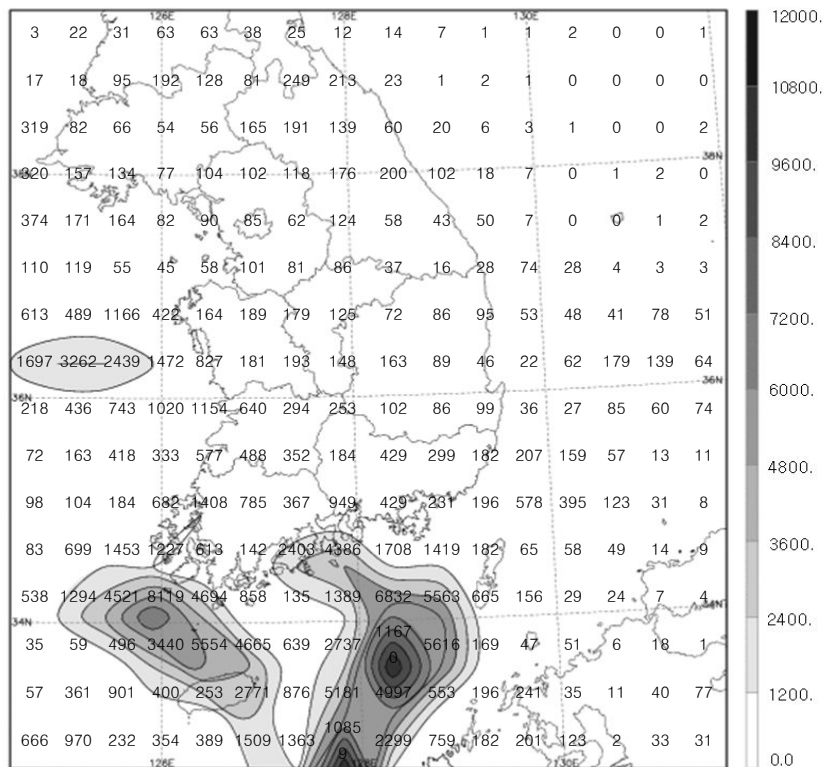


그림 8(b). 2009년 8월 낙뢰발생 횟수 분포

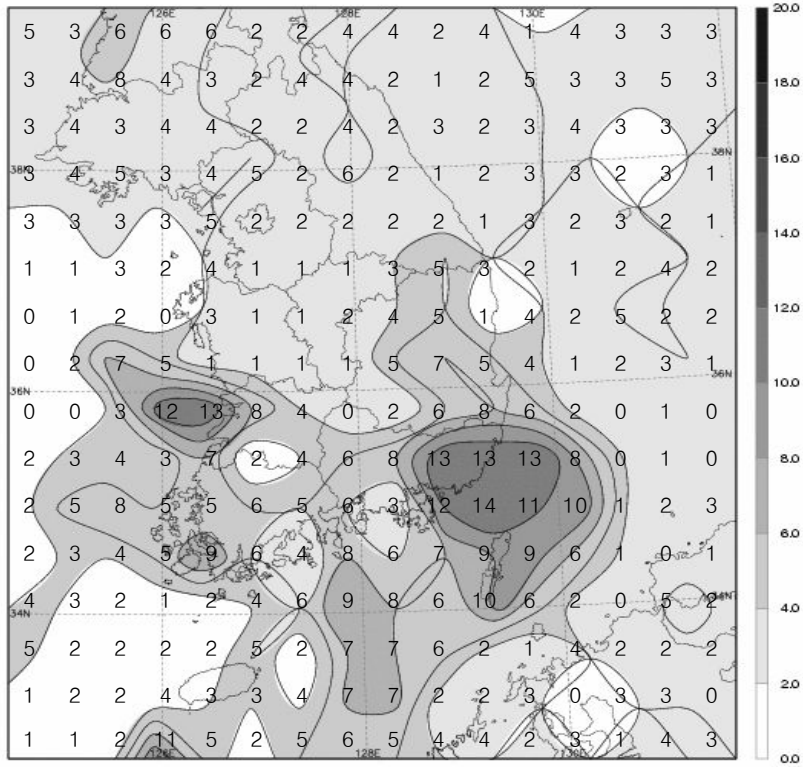


그림 9(a). 2009년 9월 낙뢰발생 일수 분포

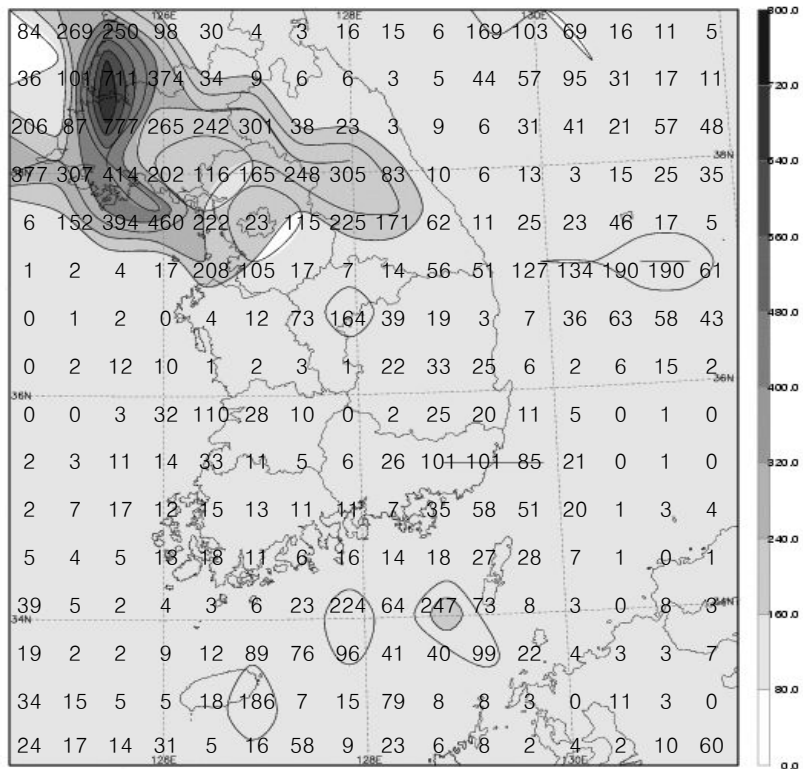


그림 9(b). 2009년 9월 낙뢰발생 횟수 분포

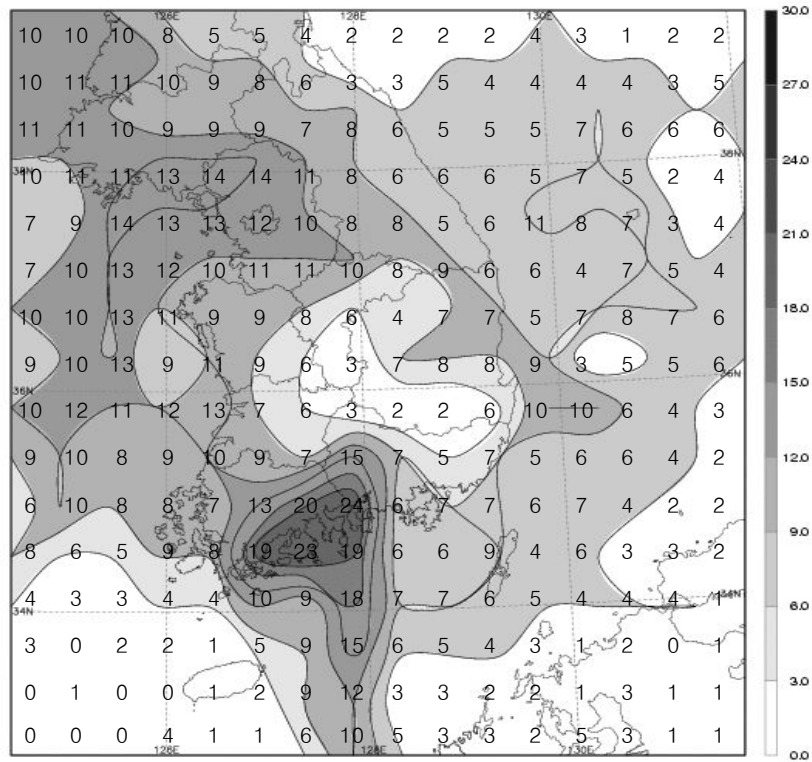


그림 10(a). 2009년 10월 낙뢰발생 일수 분포

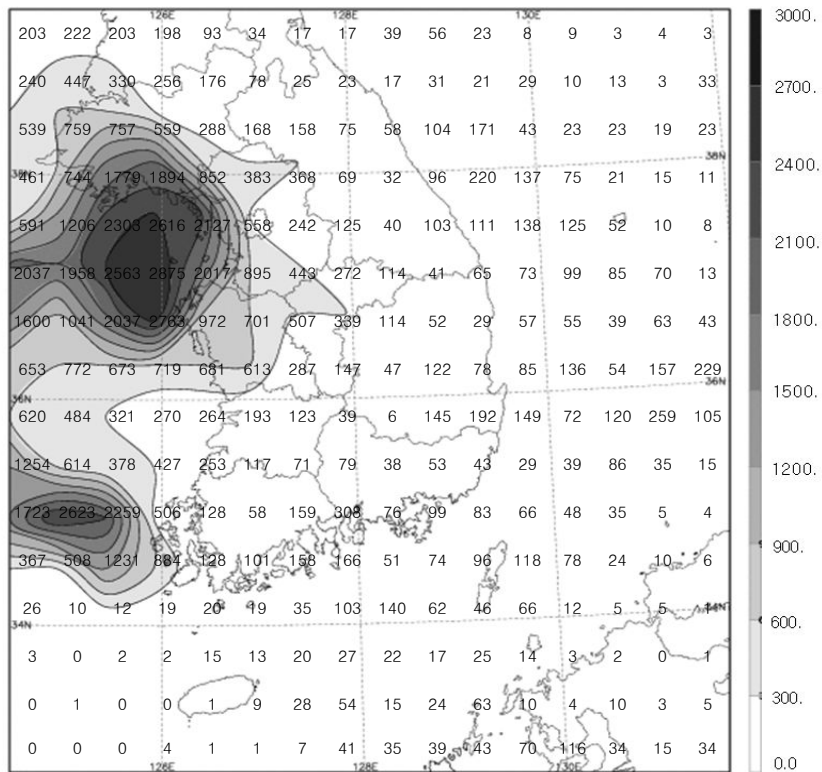


그림 10(b). 2009년 10월 낙뢰발생 횟수 분포

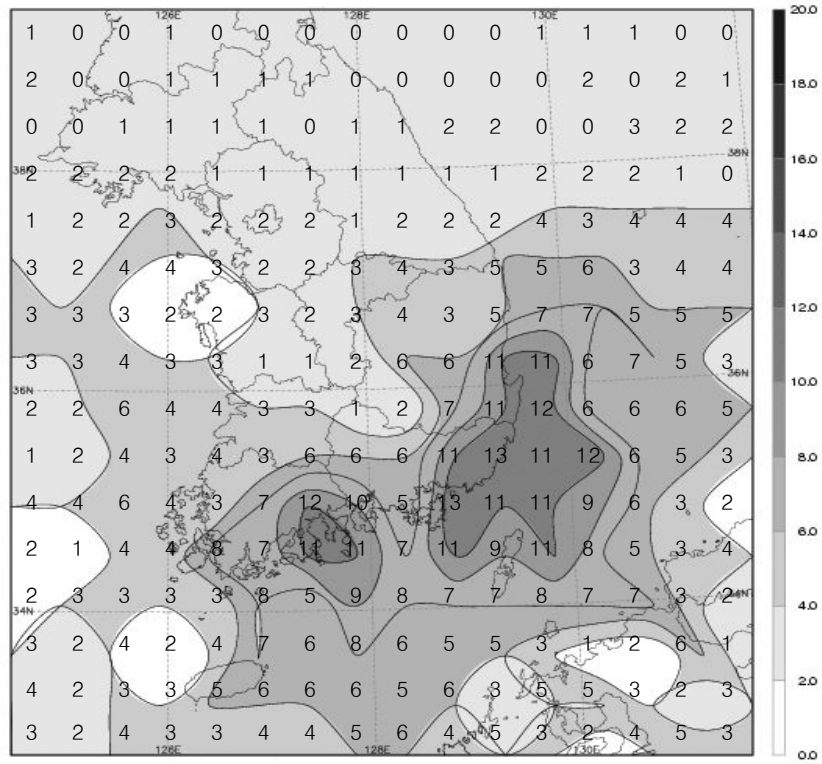


그림 11(a). 2009년 11월 낙뢰발생 일수 분포

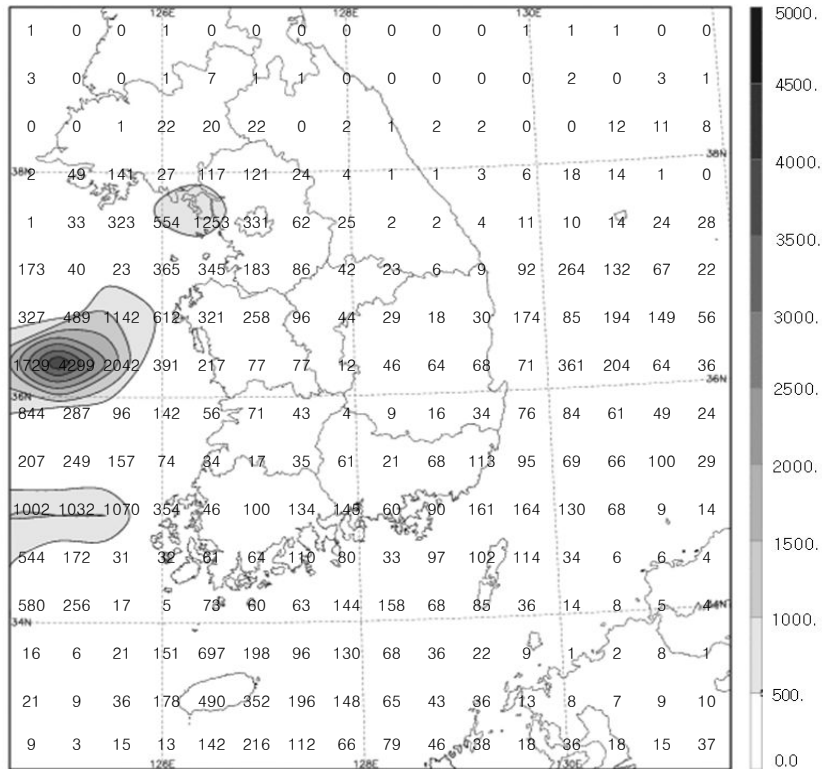


그림 11(b). 2009년 11월 낙뢰발생 횟수 분포

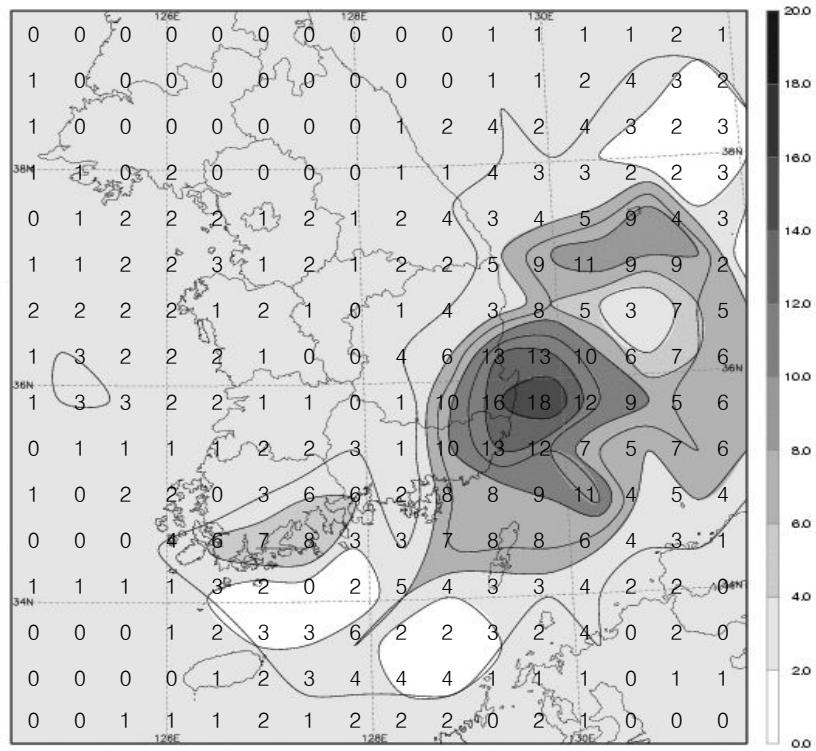


그림 12(a). 2009년 12월 낙뢰발생 일수 분포

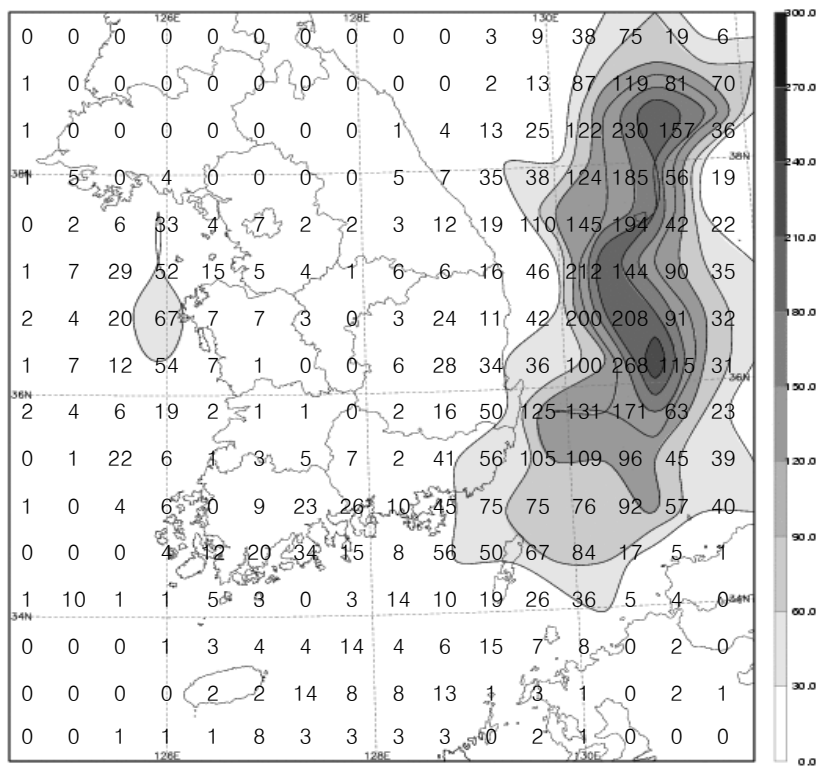


그림 12(b). 2009년 12월 낙뢰발생 횟수 분포

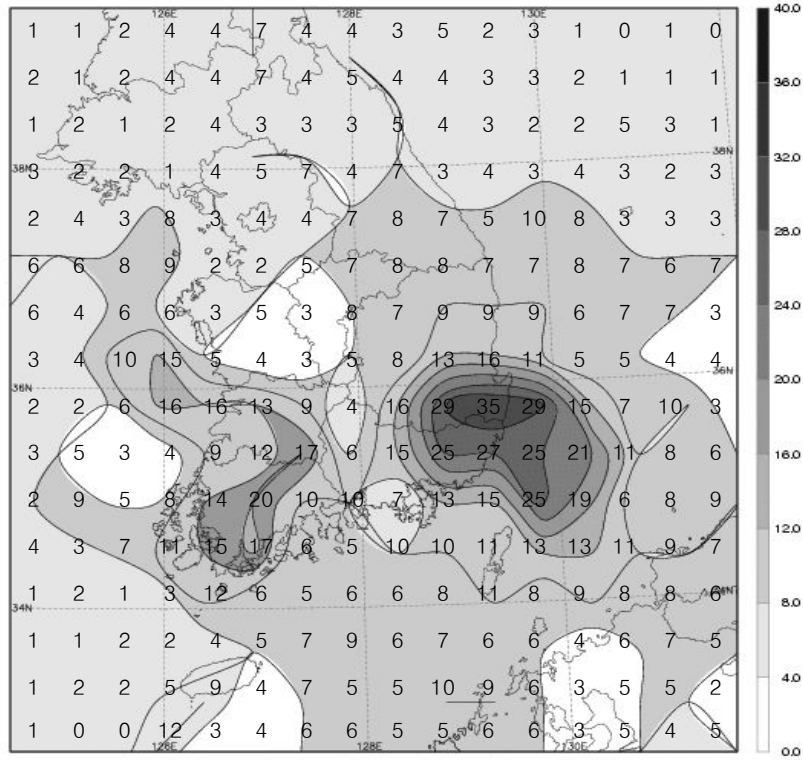


그림 13(a). 2009년 봄철(3-5월) 낙뢰발생 일수 분포

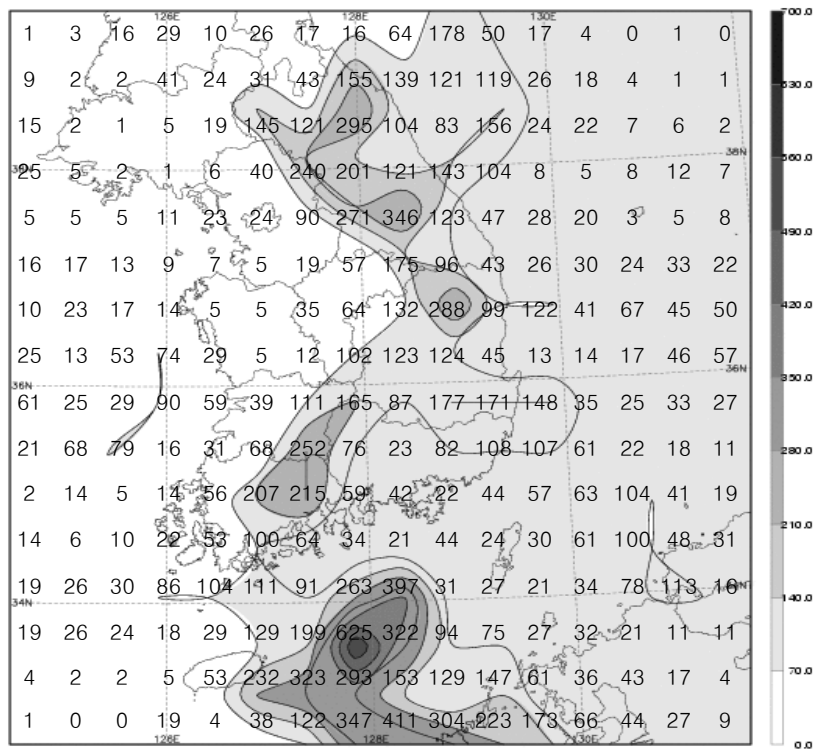


그림 13(b). 2009년 봄철(3-5월) 낙뢰발생 횟수 분포

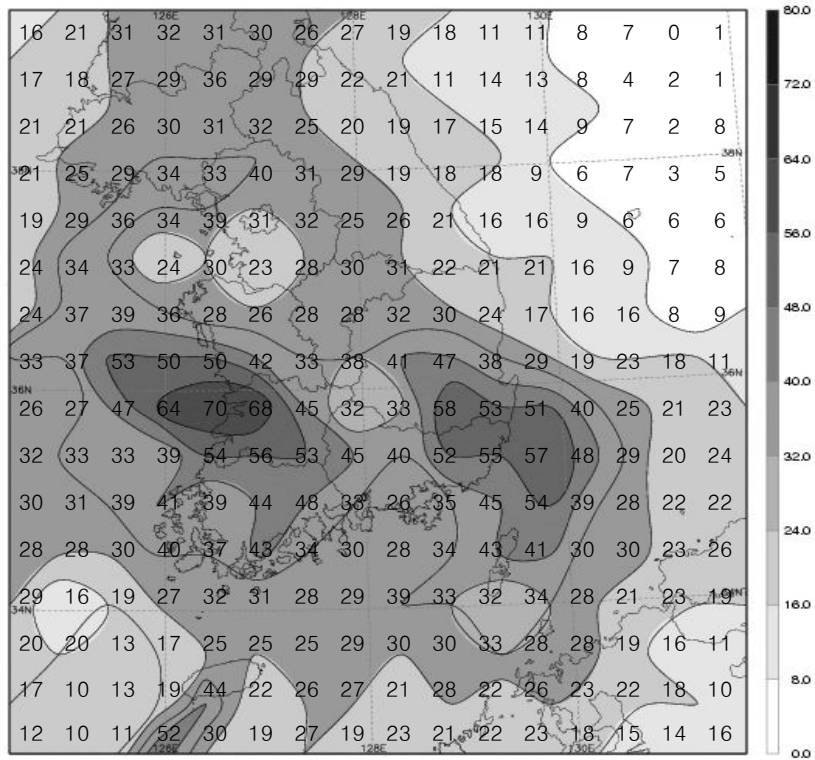


그림 14(a). 2009년 여름철(6-8월) 낙뢰발생 일수 분포

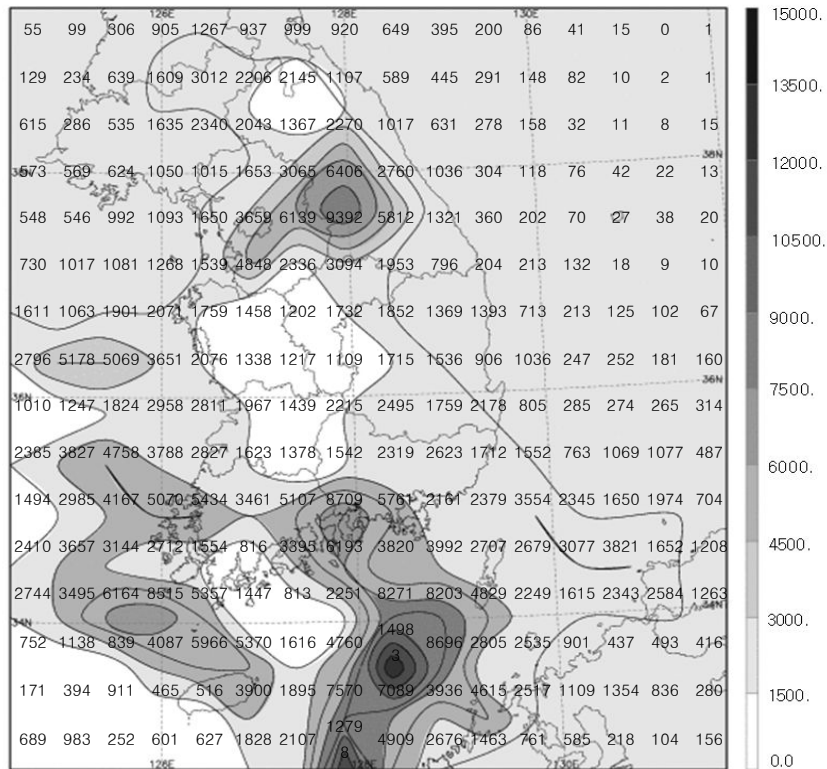


그림 14(b). 2009년 여름철(6-8월) 낙뢰발생 횟수 분포

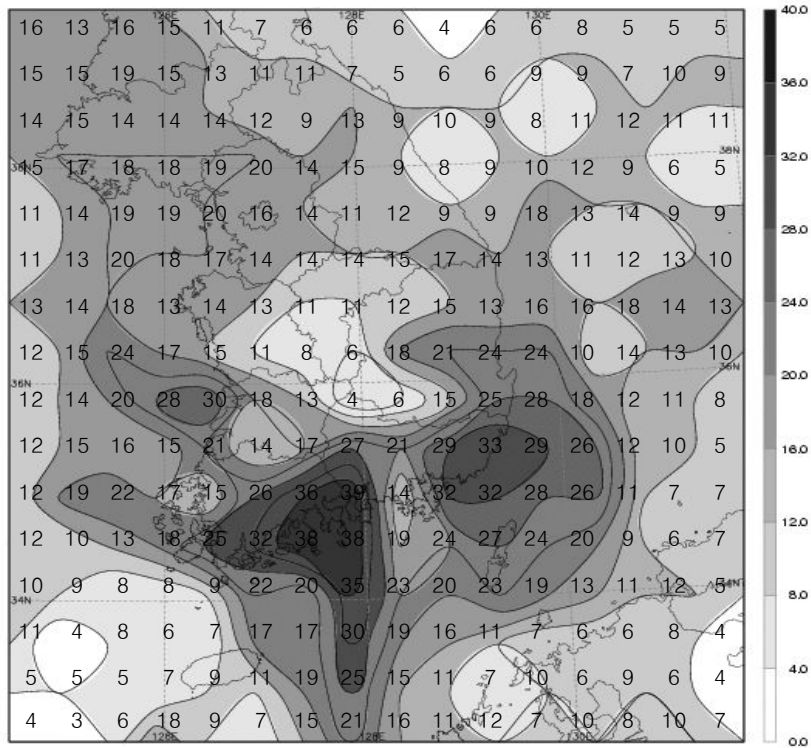


그림 15(a). 2009년 가을철(9-11월) 낙뢰발생 일수 분포

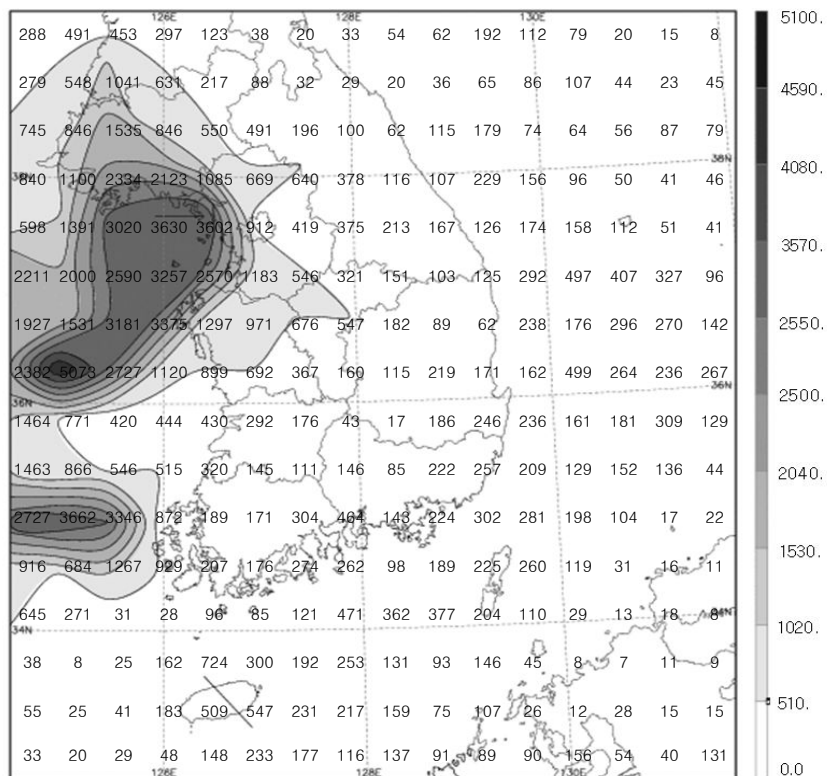


그림 15(b). 2009년 가을철(9-11월) 낙뢰발생 횟수 분포

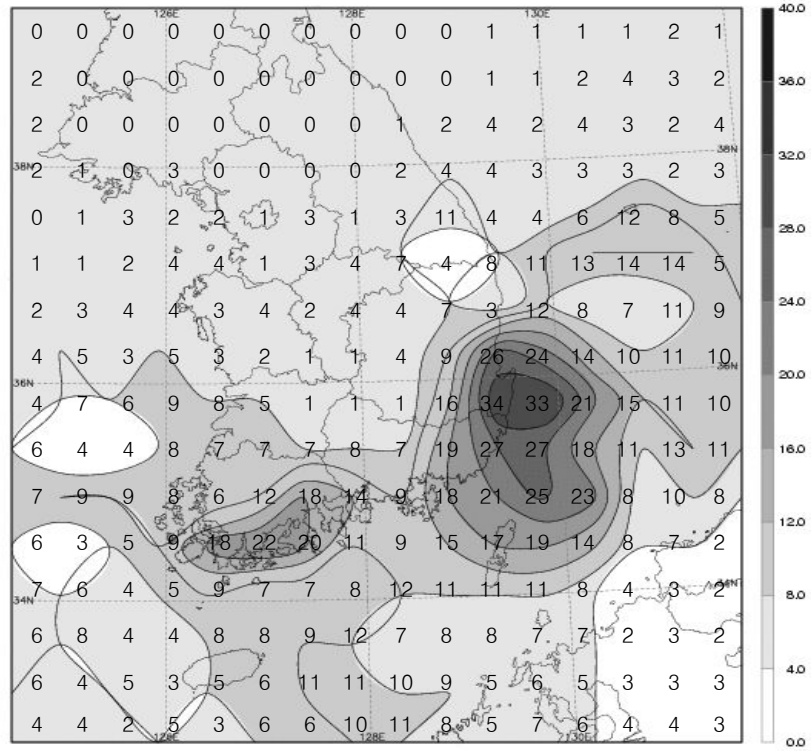


그림 16(a). 2009년 겨울철(12-2월) 낙뢰발생 일수 분포

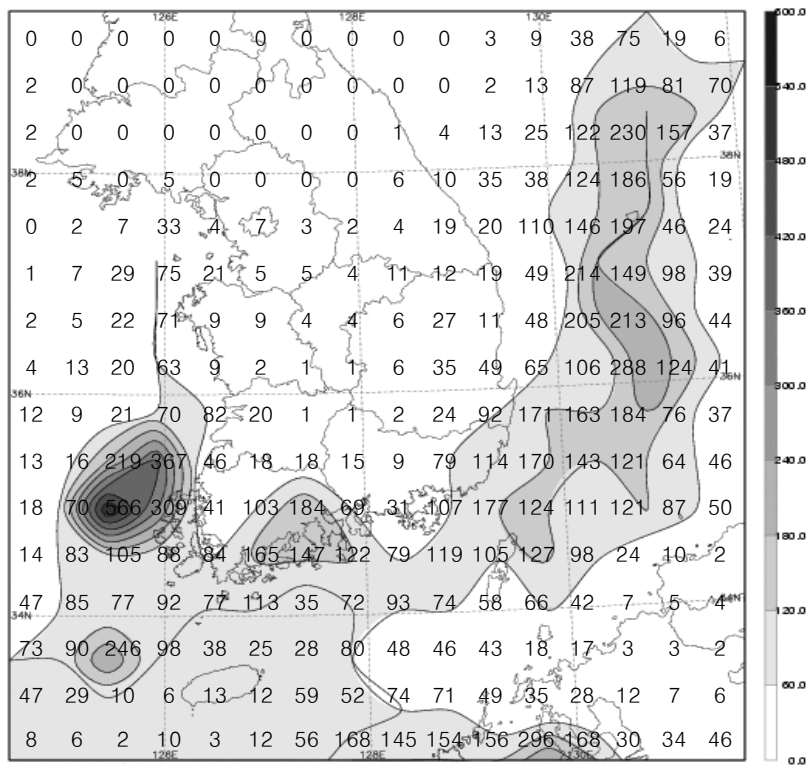


그림 16(b). 2009년 겨울철(12-2월) 낙뢰발생 횟수 분포

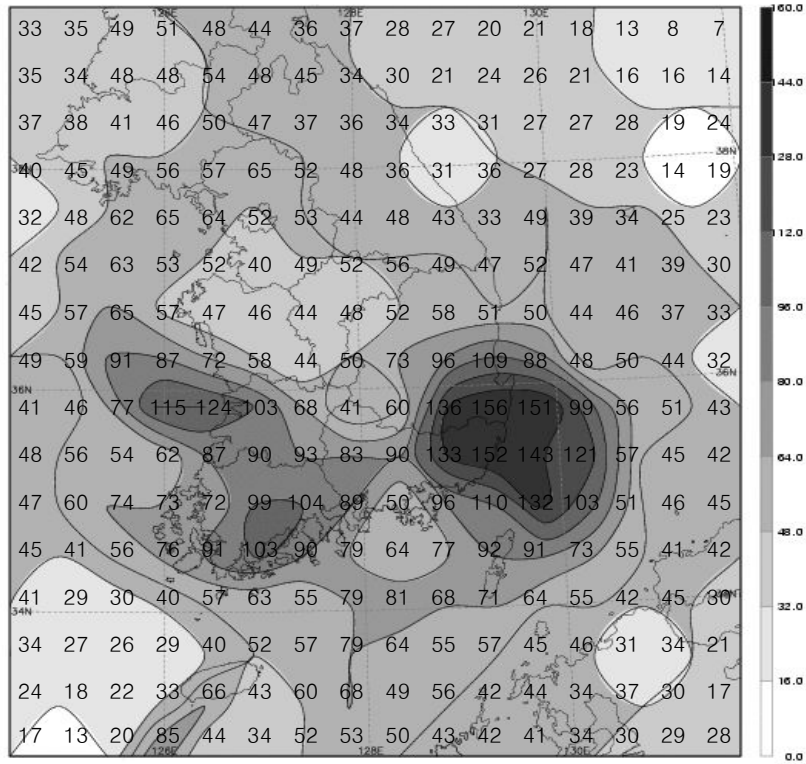


그림 17(a). 2009년 낙뢰발생 일수 분포

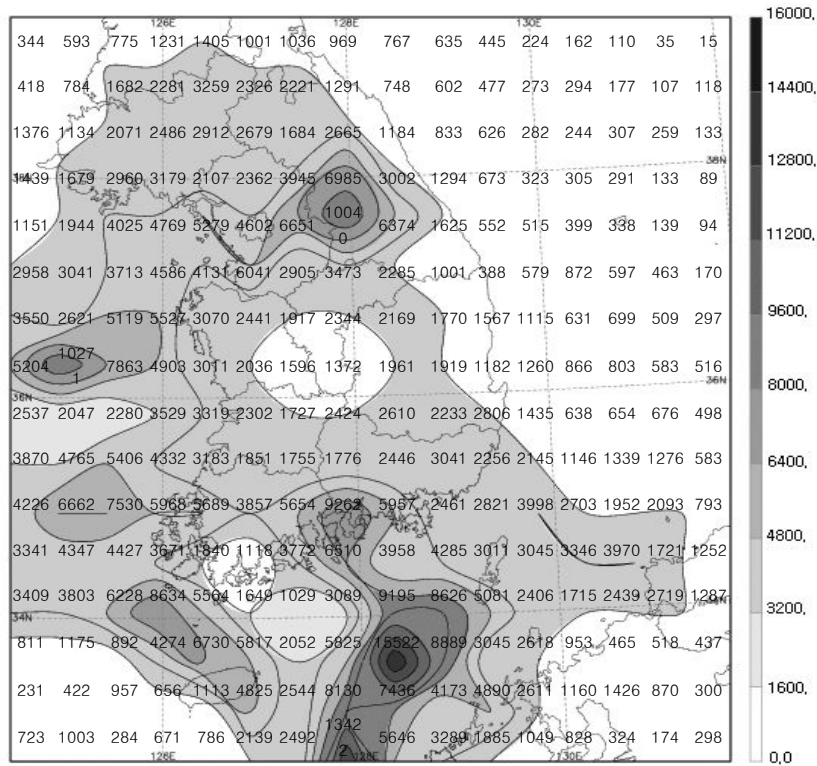


그림 17(b). 2009년 낙뢰발생 횟수 분포

3. 지역 낙뢰발생 횟수 분석

가. 도시별 낙뢰발생 횟수 분석

지역별 낙뢰발생 횟수 분석을 위해서 서울, 부산, 대전, 광주, 인천, 강릉 지역을 더 조밀하게 분석하였다. 낙뢰가 거의 발생하지 않는 겨울철은 제외하고, 4월~9월 동안 월별 낙뢰발생 횟수를 분석하였다.

1) 서울

서울은 4월 관악구, 도봉구, 은평구 1회, 강북 2회 발생하였고, 5월에는 낙뢰가 서울에는 발생하지 않았으며, 6월은 관악구가 81회로 최대값을 나타냈고, 7월은 관악구가 67회, 강서구가 79회로 서울에서는 7월이 낙뢰가 가장 많이 발생하였다. 8월은 마포구가 3회 발생하여 8월은 낙뢰발생 횟수가 적었다. 9월은 은평구 4회, 광진구 6회, 성동구 7회 순으로 발생했다(그림 18(a) ~ 그림 18(f)).

2) 부산

부산은 4월에는 낙뢰가 발생하지 않았으며, 5월 1회, 6월 5회, 7월 10회, 8월 10회, 9월 1회로 각각 최대값을 나타낸다(그림 19(a) ~ 그림 19(f)).

3) 대전

대전은 4월, 5월, 9월에는 낙뢰가 발생하지 않았으며, 6월 4회, 7월 10회, 8월 2회로 각각 최대값을 나타낸다(그림 20(a) ~ 그림 20(f)).

4) 광주

광주는 4월 1회, 5월 2회, 6월 2회, 7월 11회, 8월 13회, 9월 1회로 각각 최대값을 나타낸다(그림 21(a) ~ 그림 21(f)).

5) 인천

인천은 5월에는 낙뢰가 발생하지 않았으며, 4월 1회, 6월 11회, 7월 23회, 8월 2회, 9월 14회의 최대값을 보였다(그림 22(a) ~ 그림 22(f)).

6) 강릉

강릉은 4월에는 낙뢰가 발생하지 않았으며, 5월 1회, 6월 3회, 7월 5회, 8월 1회, 9월 1회의 최대값을 보였다(그림 23(a) ~ 그림 23(f)).

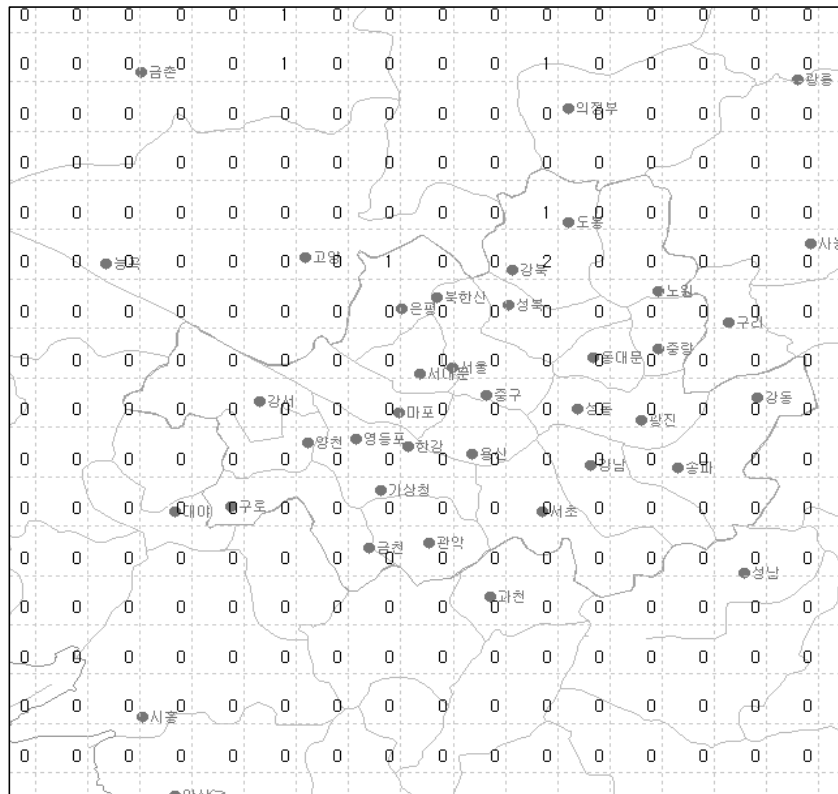


그림 18(a). 2009년 4월 서울지역 낙뢰발생 횟수

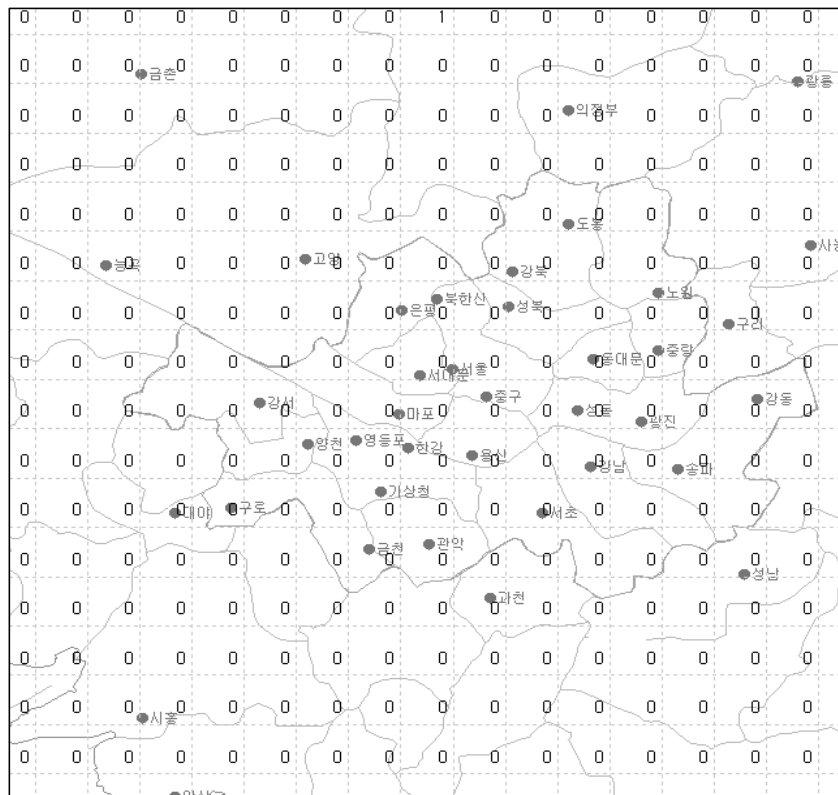


그림 18(b). 2009년 5월 서울지역 낙뢰발생 횟수

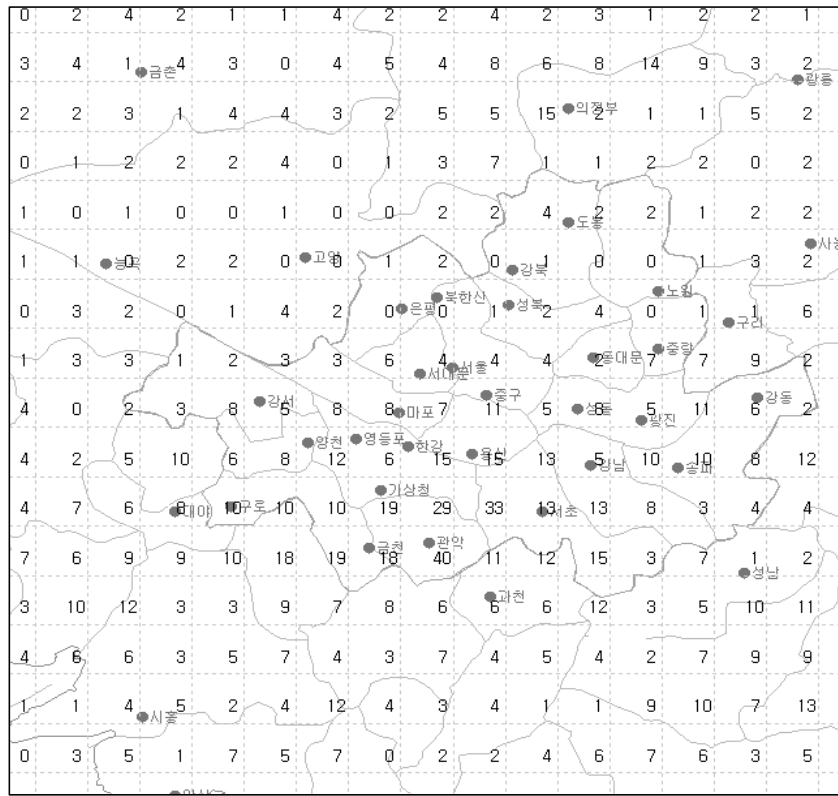


그림 18(c). 2009년 6월 서울지역 낙뢰발생 횟수

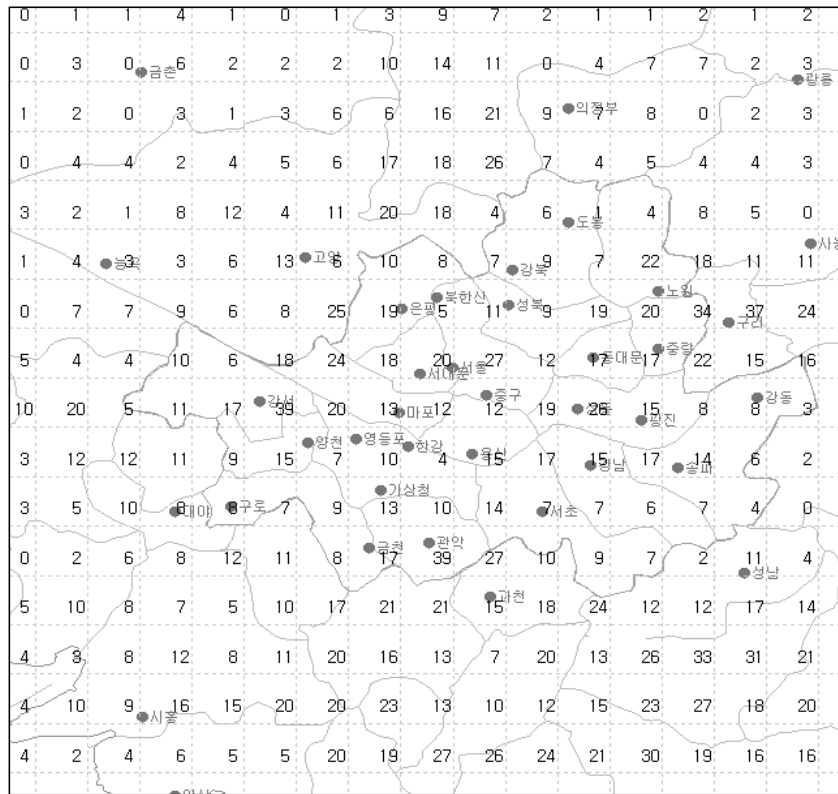


그림 18(d). 2009년 7월 서울지역 낙뢰발생 횟수

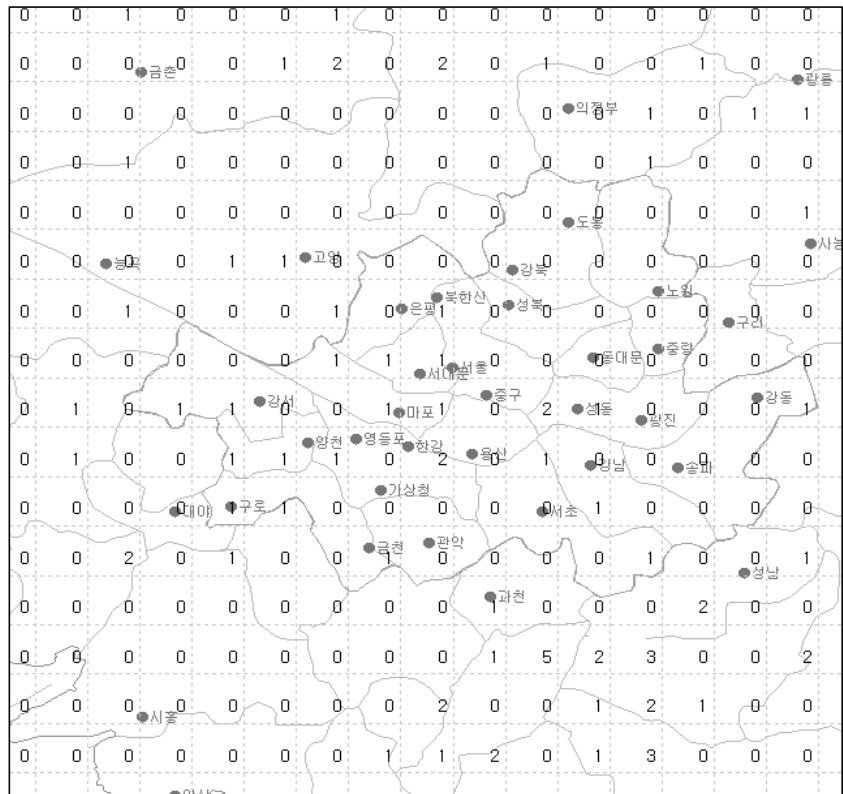


그림 18(e). 2009년 8월 서울지역 낙뢰발생 횟수

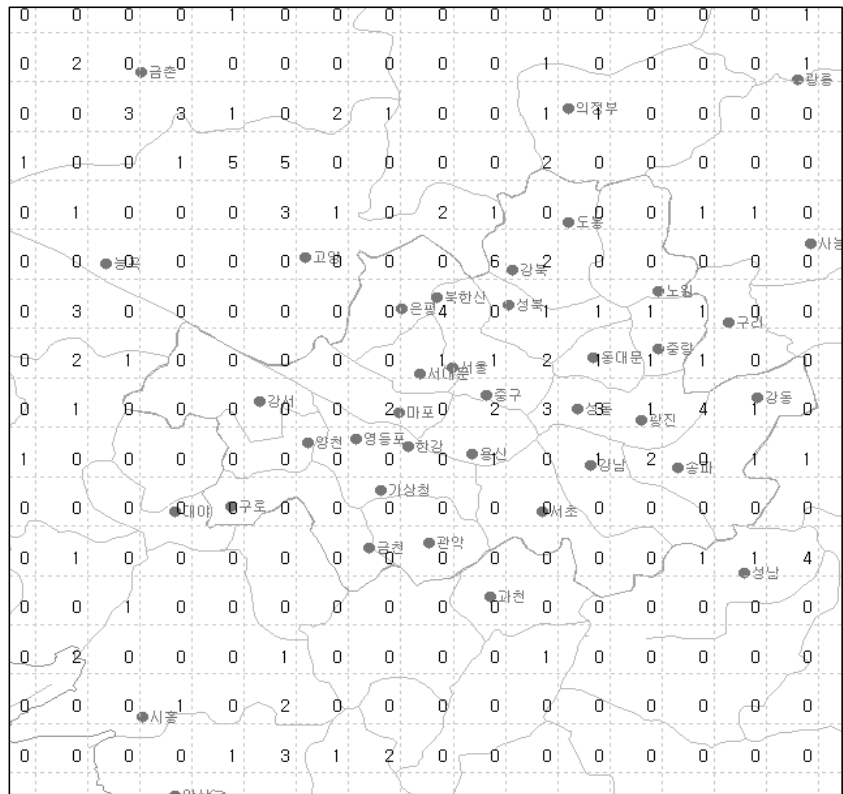


그림 18(f). 2009년 9월 서울지역 낙뢰발생 횟수

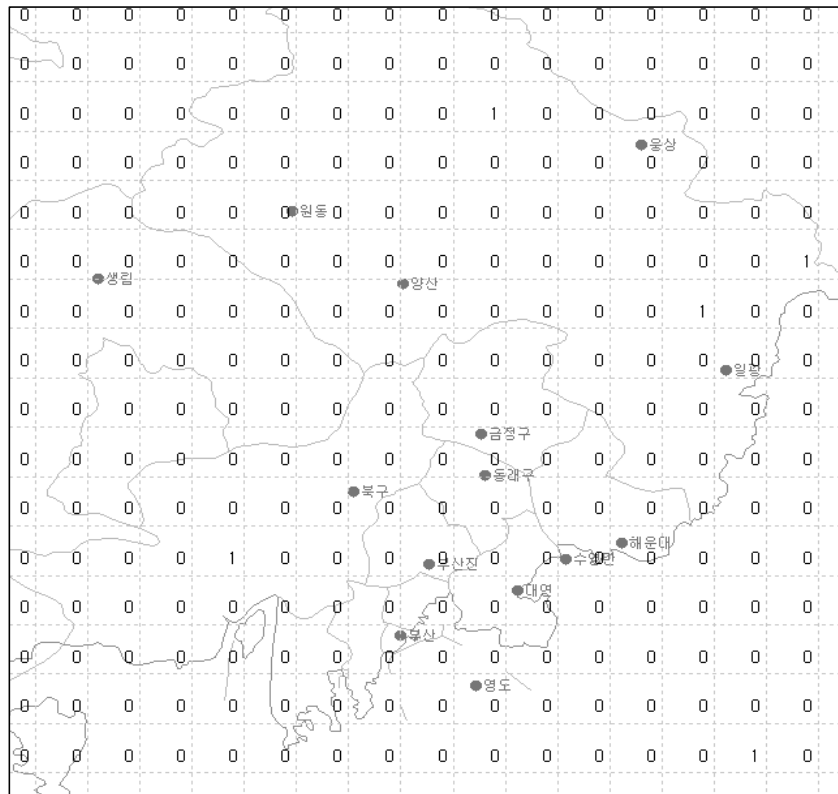


그림 19(a). 2009년 4월 부산지역 낙뢰발생 횟수

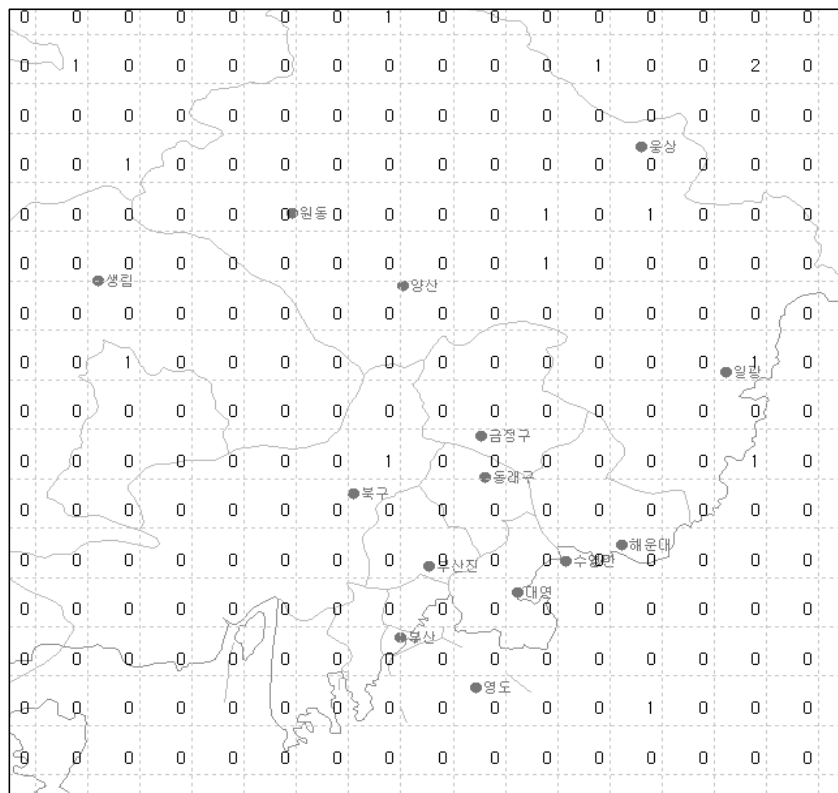


그림 19(b). 2009년 5월 부산지역 낙뢰발생 횟수

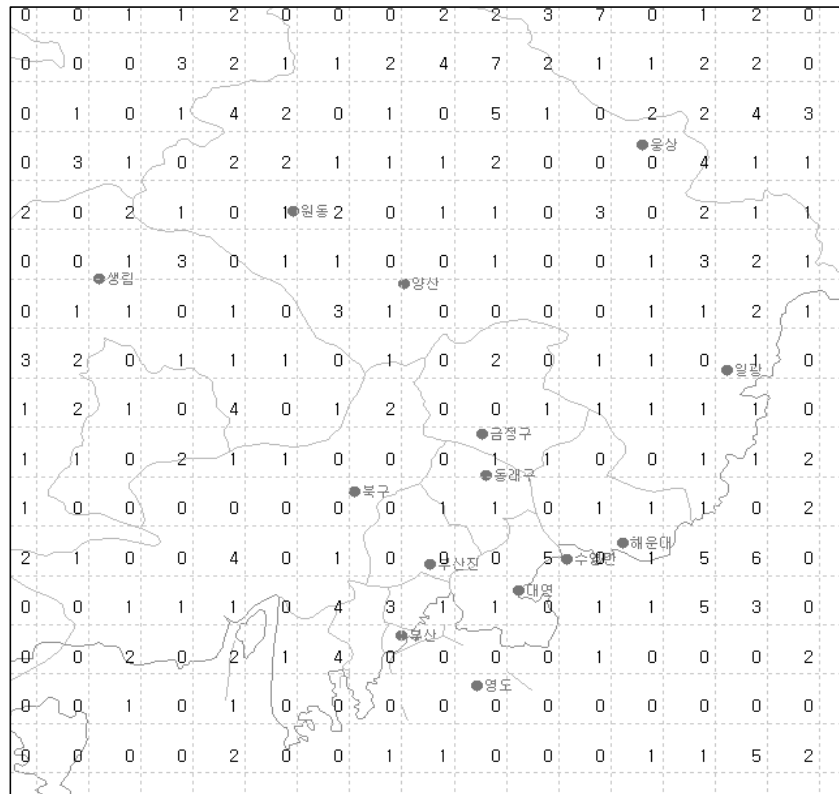


그림 19(c). 2009년 6월 부산지역 낙뢰발생 횟수

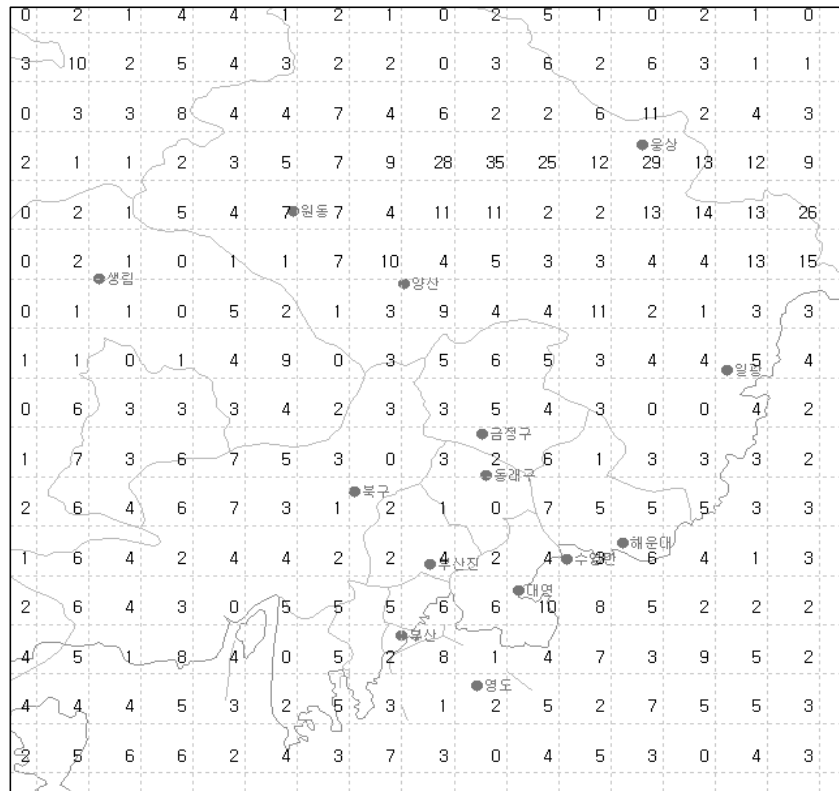


그림 19(d). 2009년 7월 부산지역 낙뢰발생 횟수

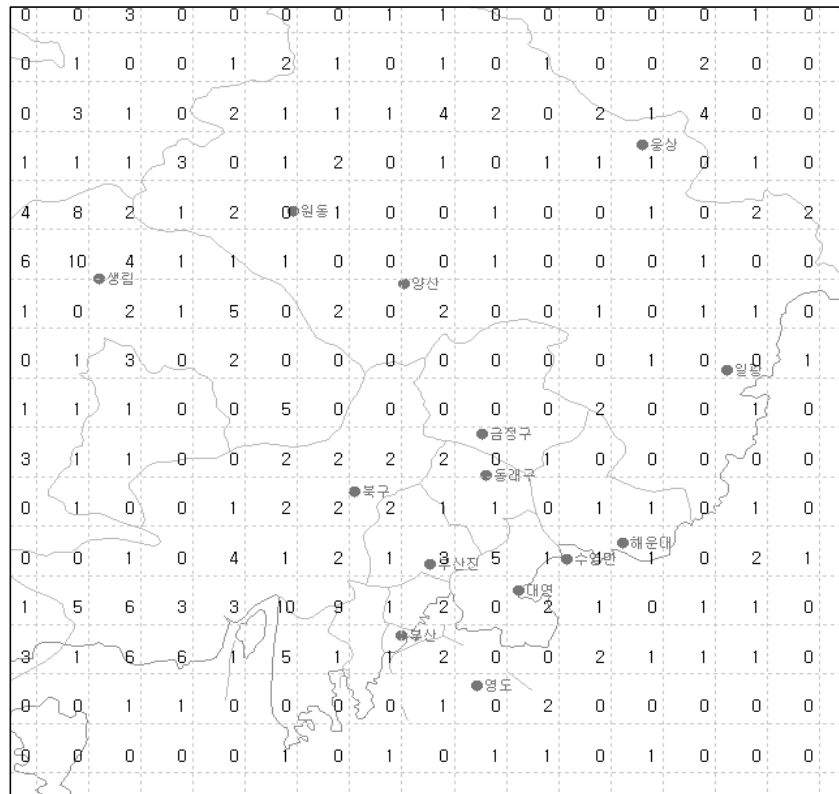


그림 19(e). 2009년 8월 부산지역 낙뢰발생 횟수

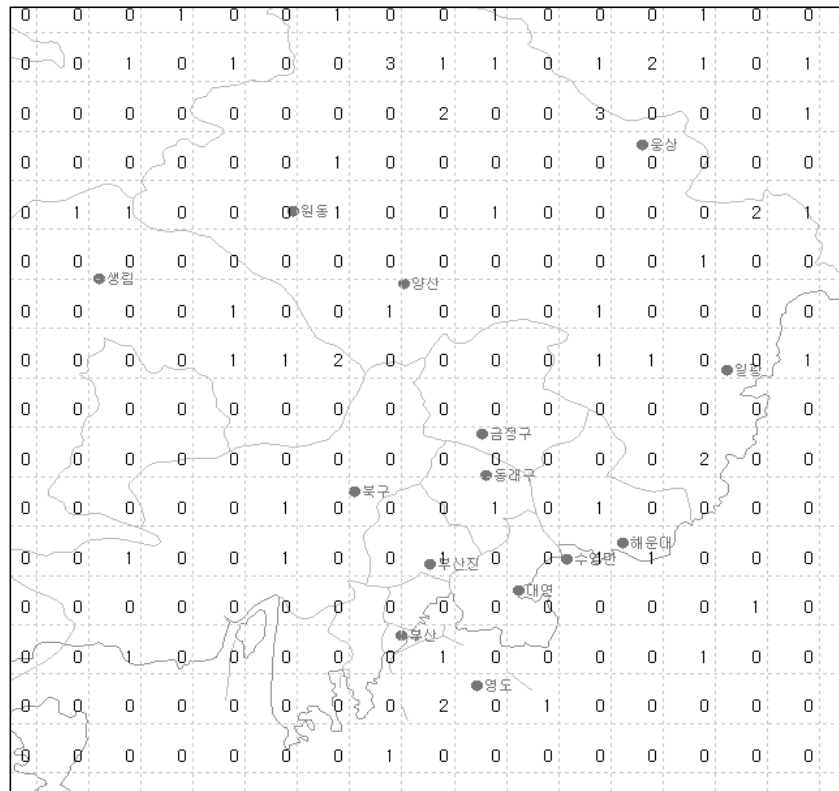


그림 19(f). 2009년 9월 부산지역 낙뢰발생 횟수

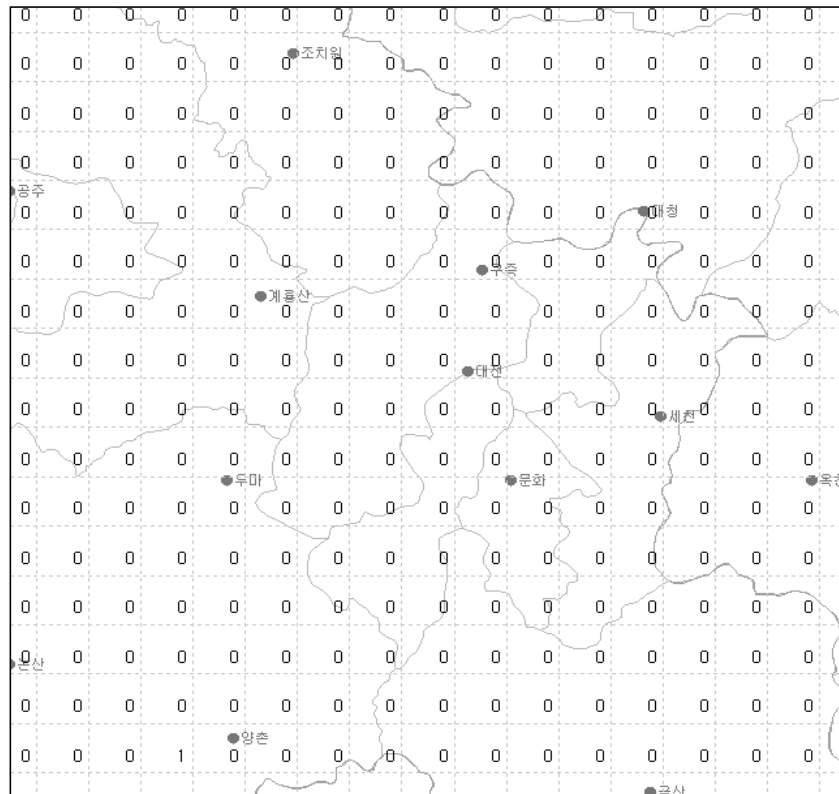


그림 20(a). 2009년 4월 대전지역 낙뢰발생 횟수

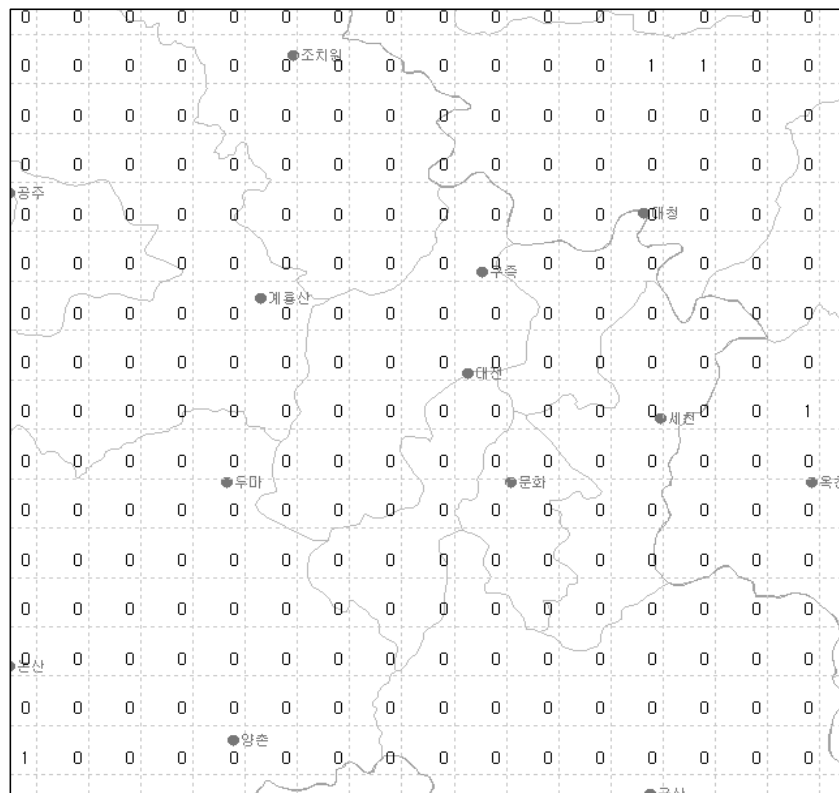


그림 20(b). 2009년 5월 대전지역 낙뢰발생 횟수

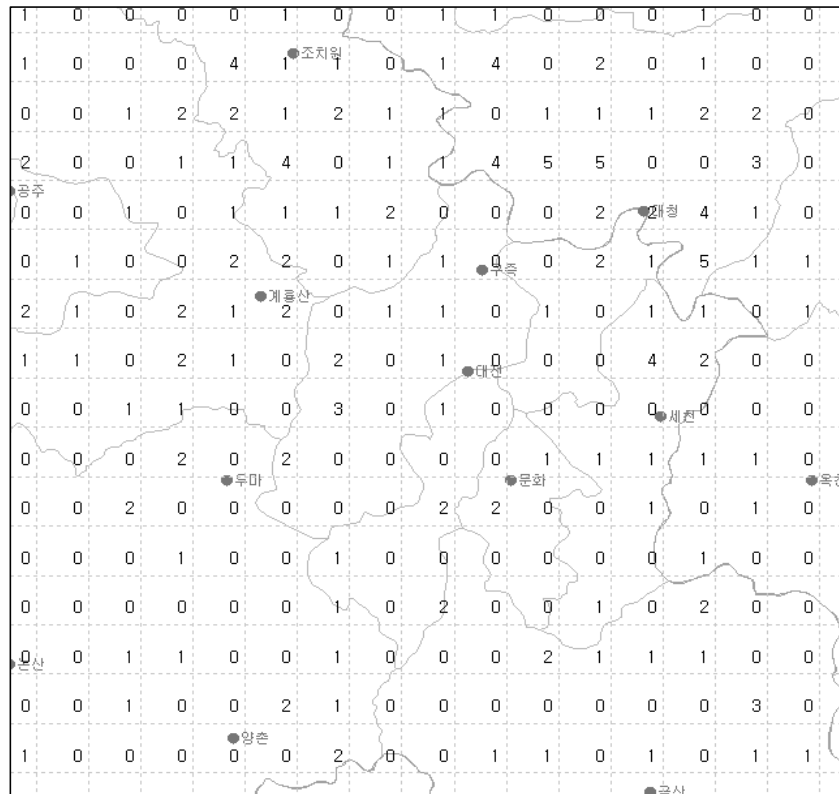


그림 20(c). 2009년 6월 대전지역 낙뢰발생 횟수

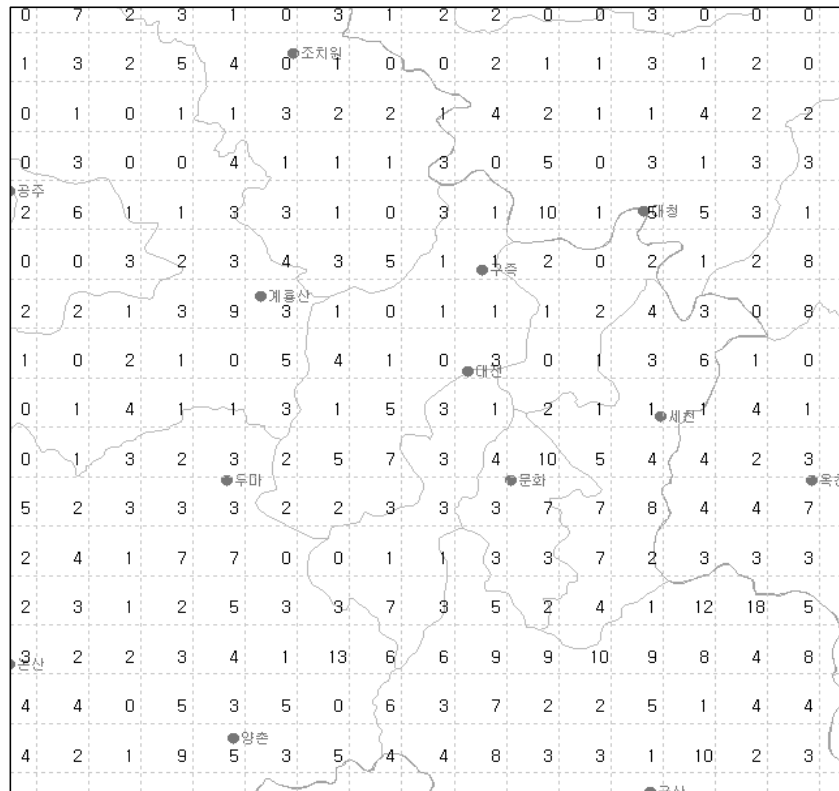


그림 20(d). 2009년 7월 대전지역 낙뢰발생 횟수



그림 20(e). 2009년 8월 대전지역 낙뢰발생 횟수

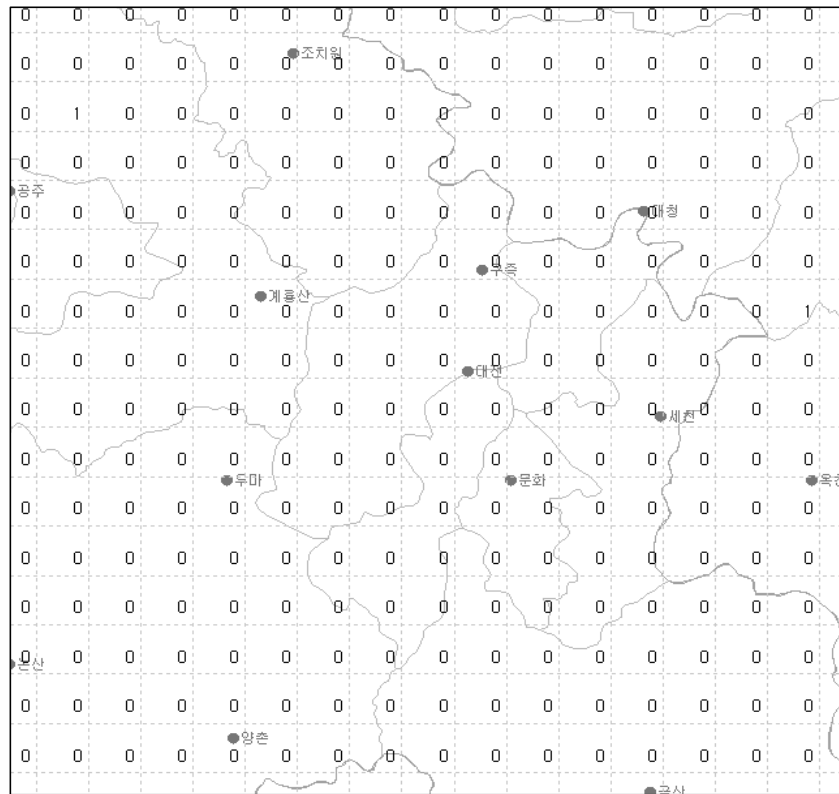


그림 20(f). 2009년 9월 대전지역 낙뢰발생 횟수

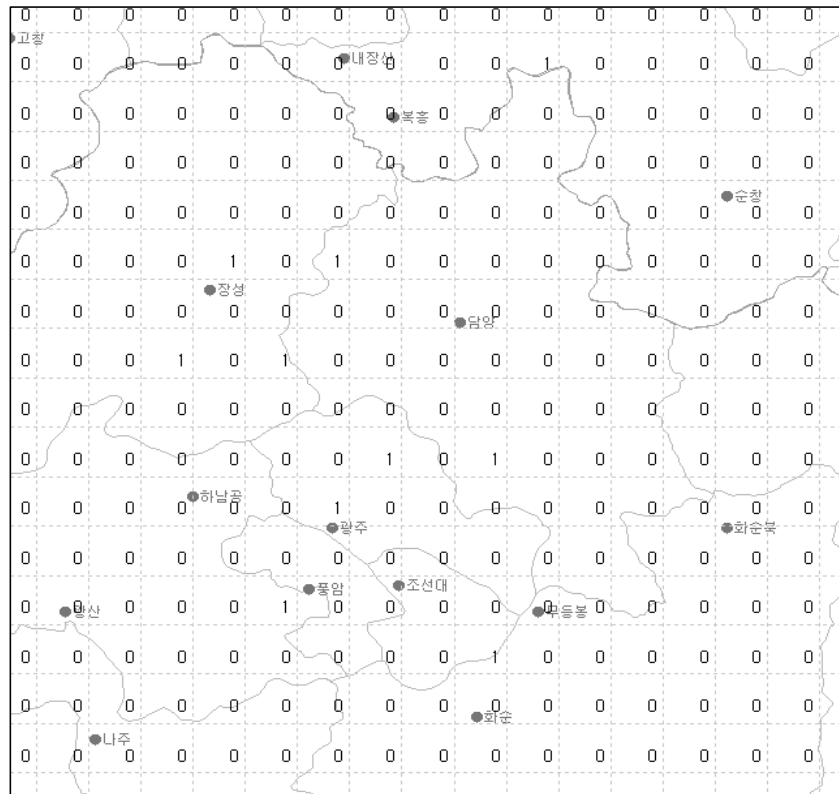


그림 21(a). 2009년 4월 광주지역 낙뢰발생 횟수

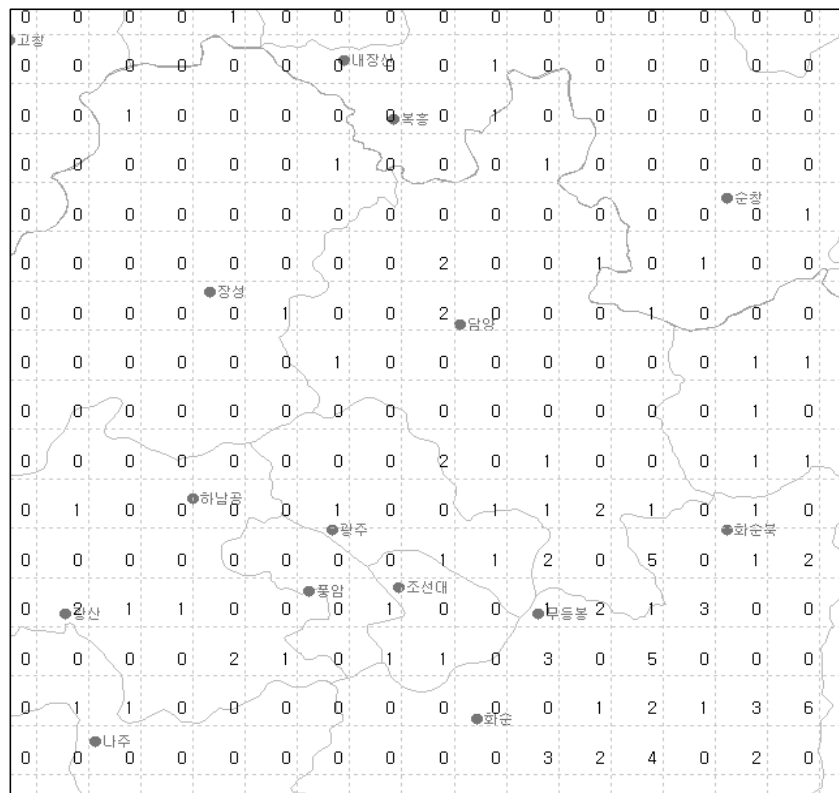


그림 21(b). 2009년 5월 광주지역 낙뢰발생 횟수

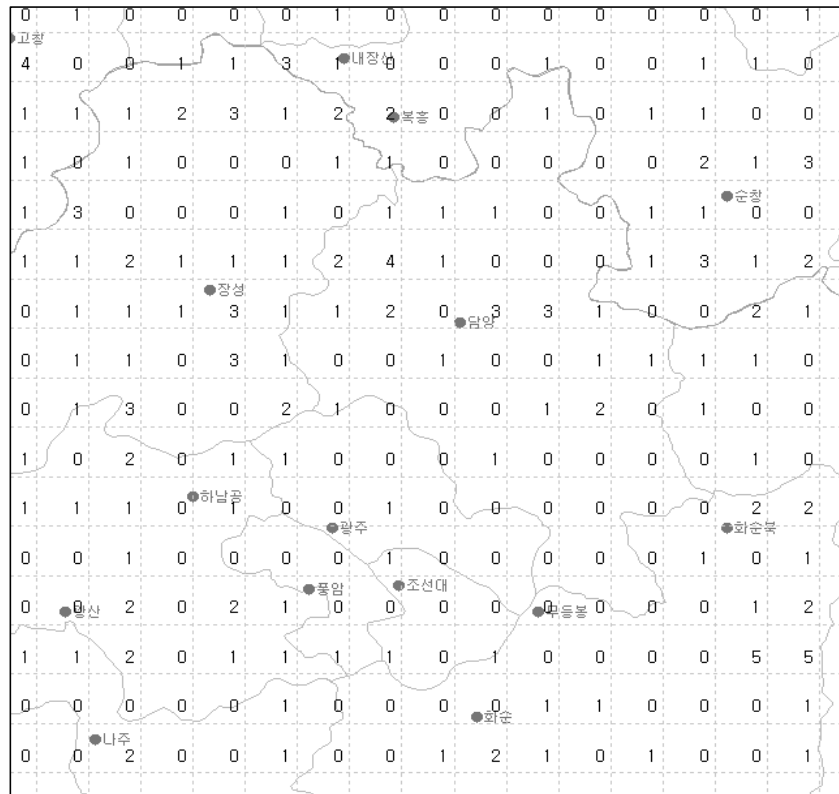


그림 21(c). 2009년 6월 광주지역 낙뢰발생 횟수

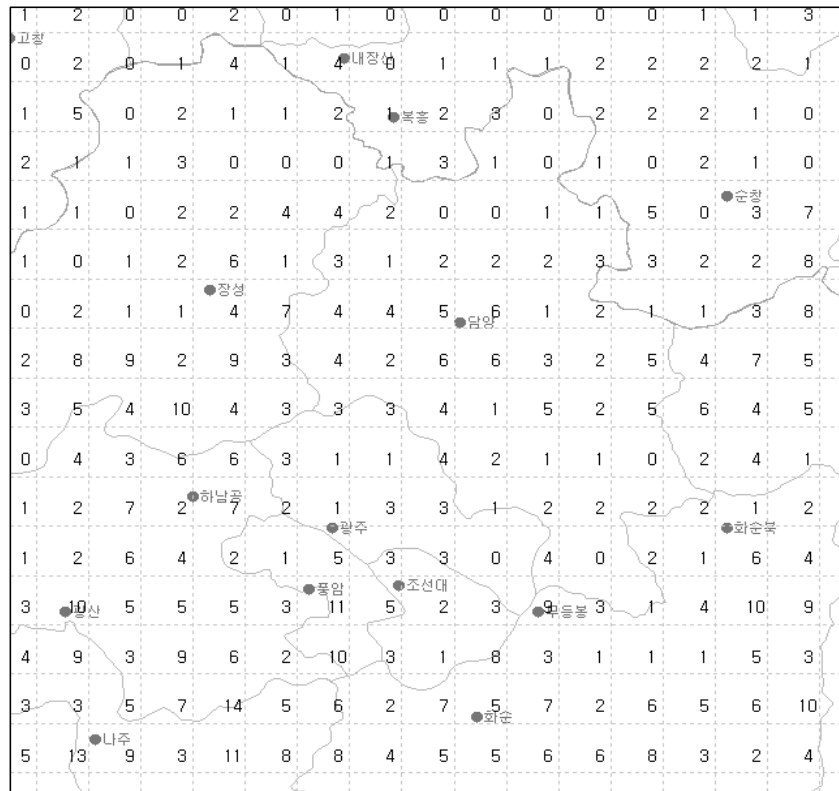


그림 21(d). 2009년 7월 광주지역 낙뢰발생 횟수

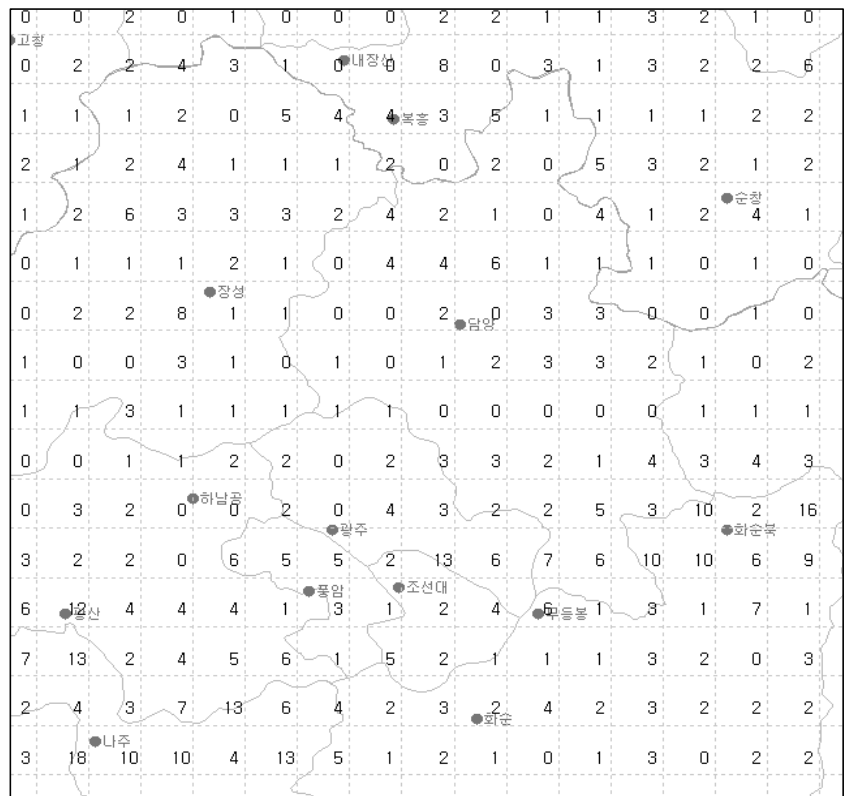


그림 21(e). 2009년 8월 광주지역 낙뢰발생 횟수

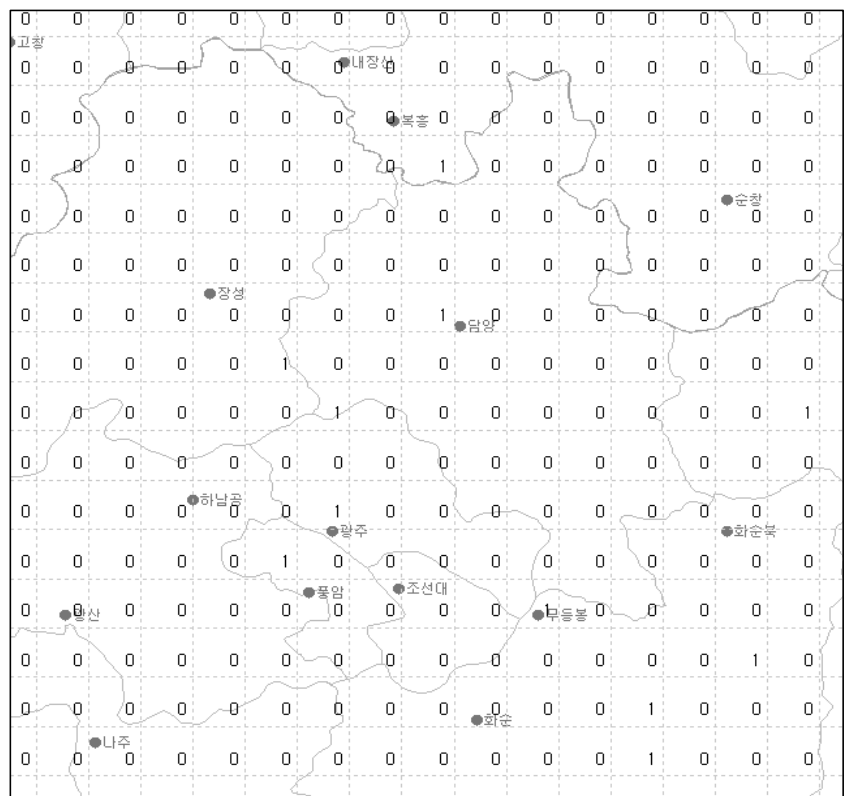


그림 21(f). 2009년 9월 광주지역 낙뢰발생 횟수

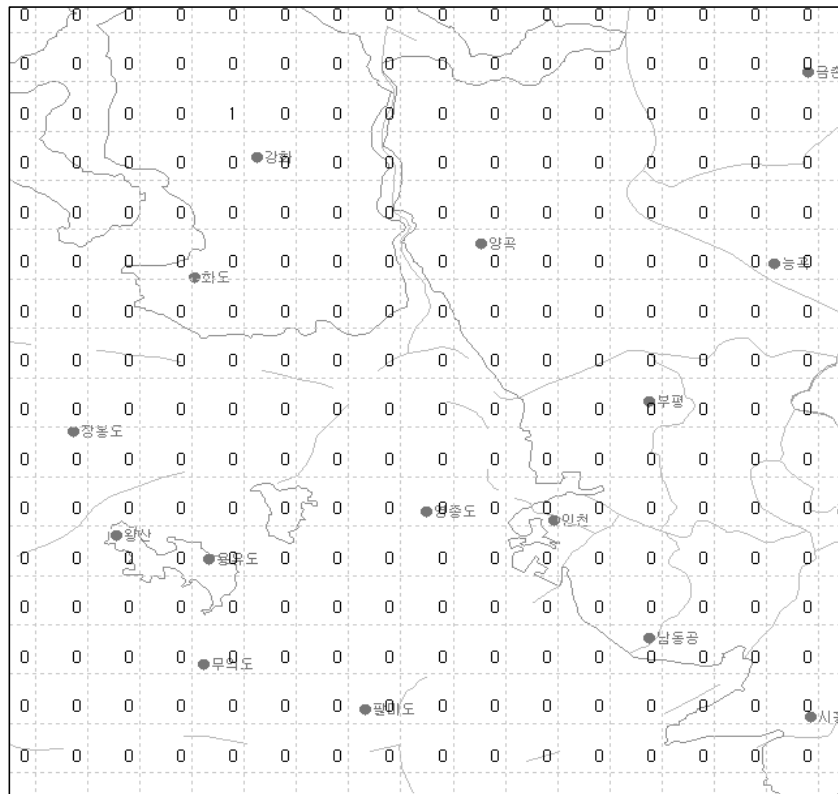


그림 22(a). 2009년 4월 인천지역 낙뢰발생 횟수

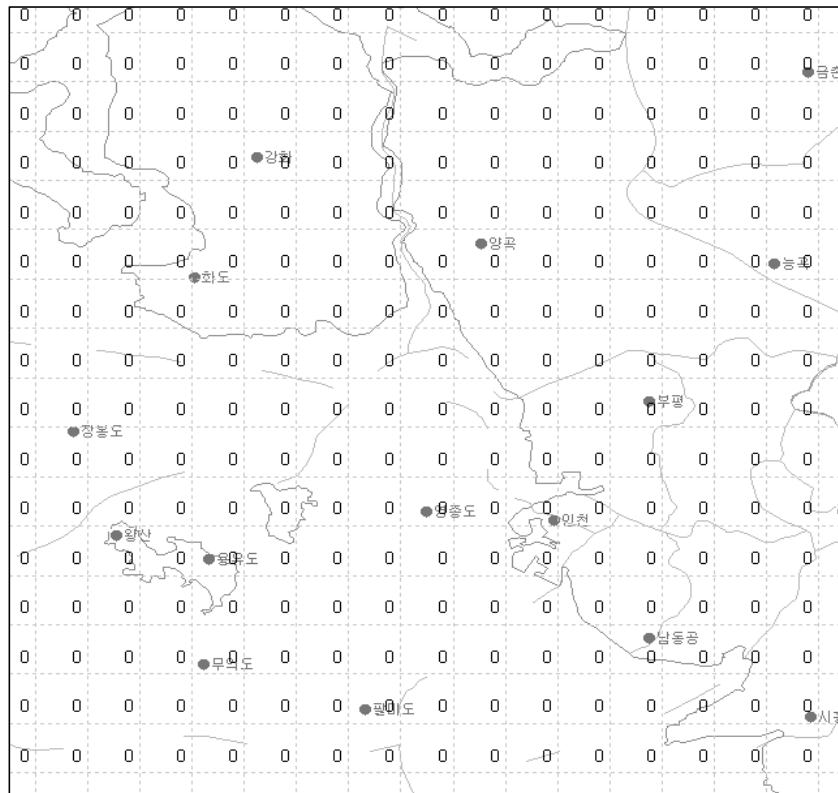


그림 22(b). 2009년 5월 인천지역 낙뢰발생 횟수

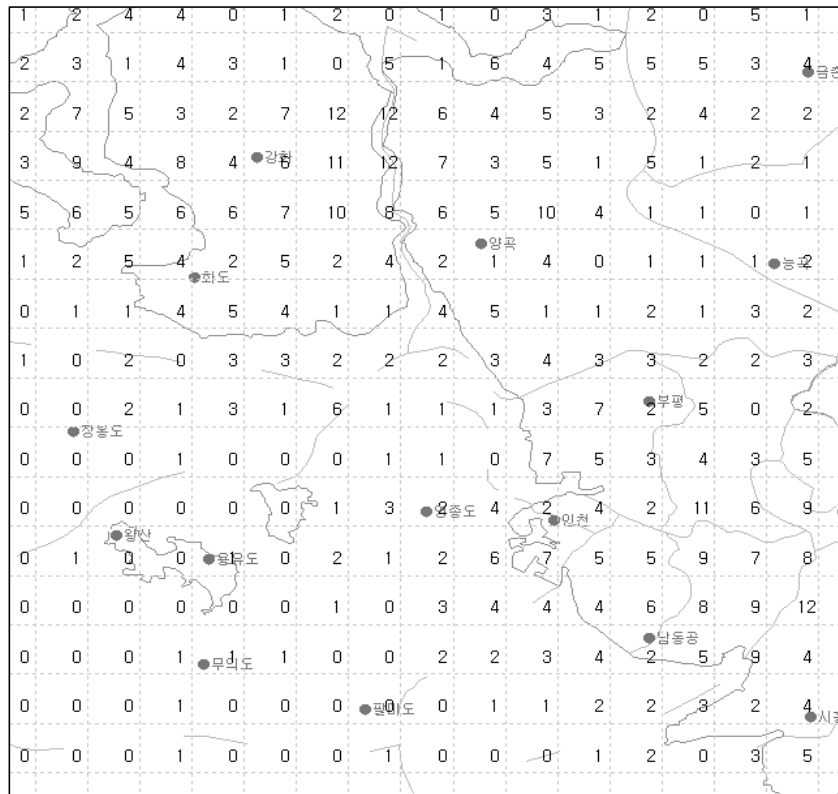


그림 22(c). 2009년 6월 인천지역 낙뢰발생 횟수

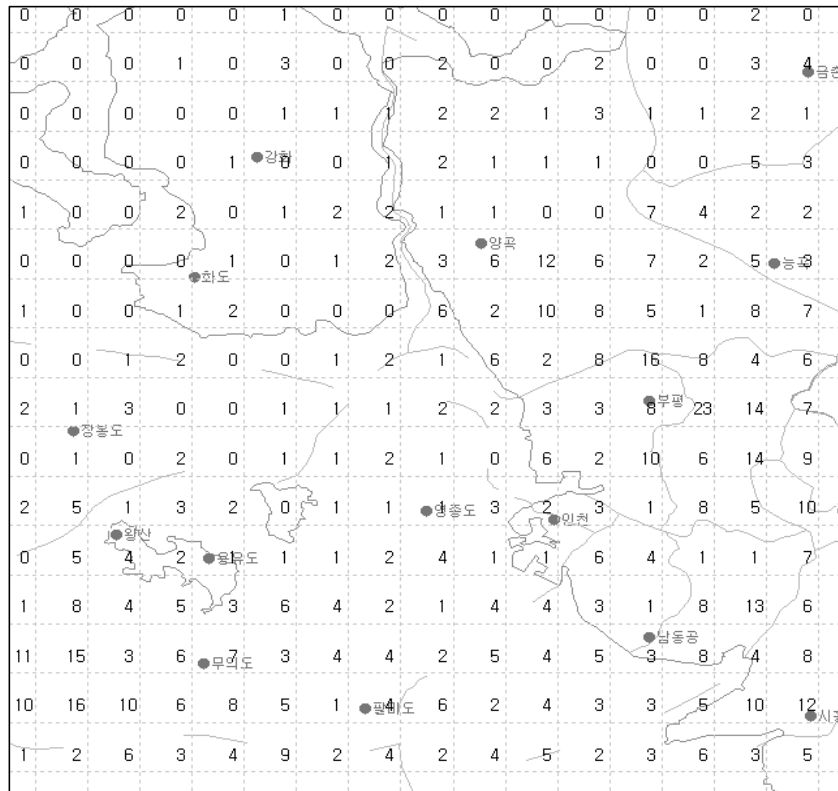


그림 22(d). 2009년 7월 인천지역 낙뢰발생 횟수

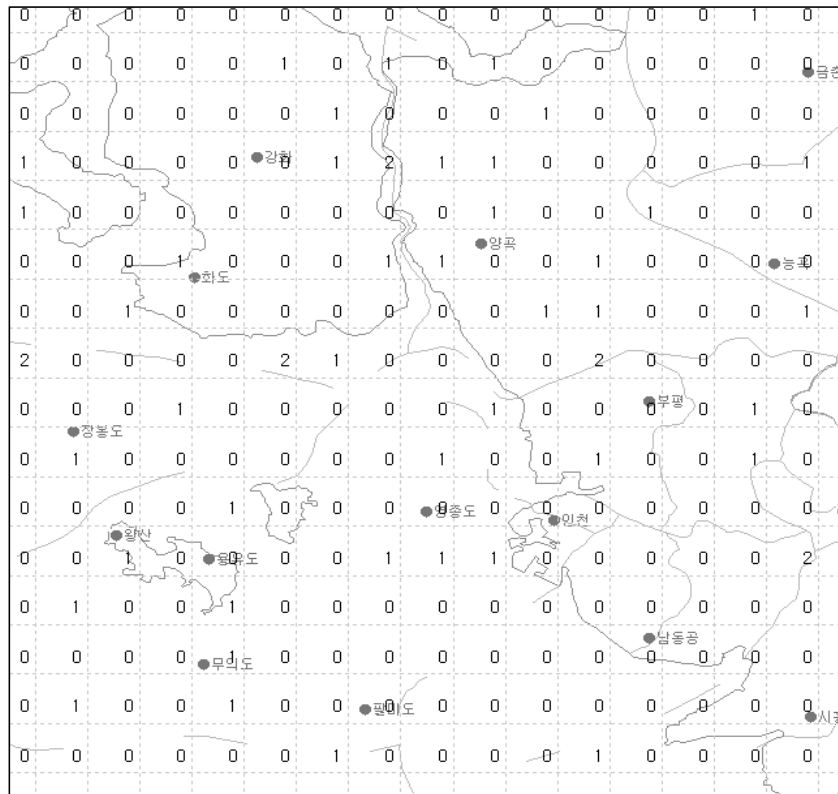


그림 22(e). 2009년 8월 인천지역 낙뢰발생 횟수

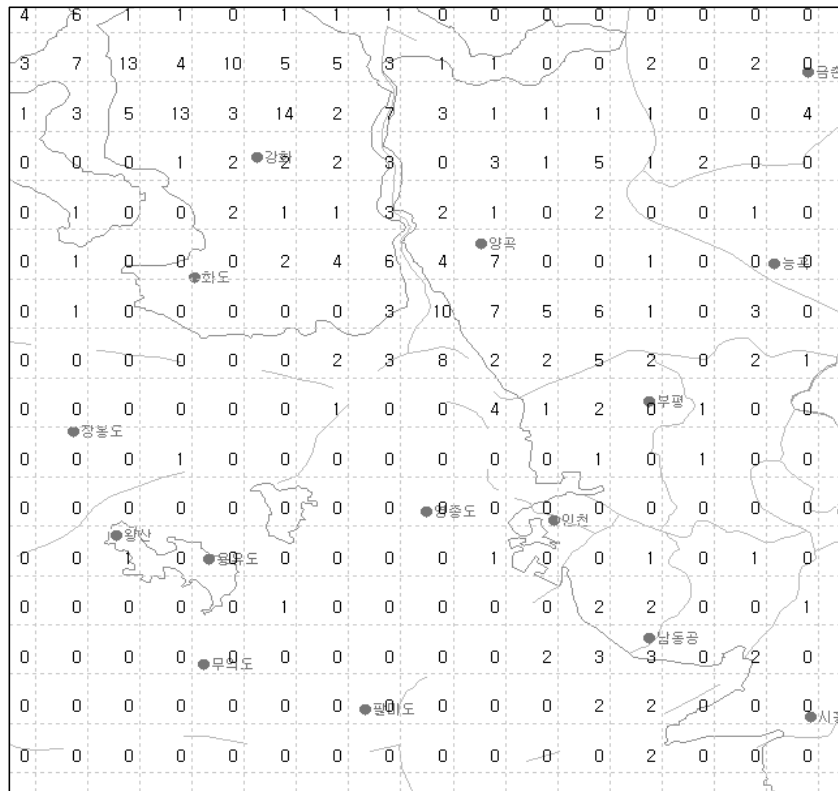


그림 22(f). 2009년 9월 인천지역 낙뢰발생 횟수

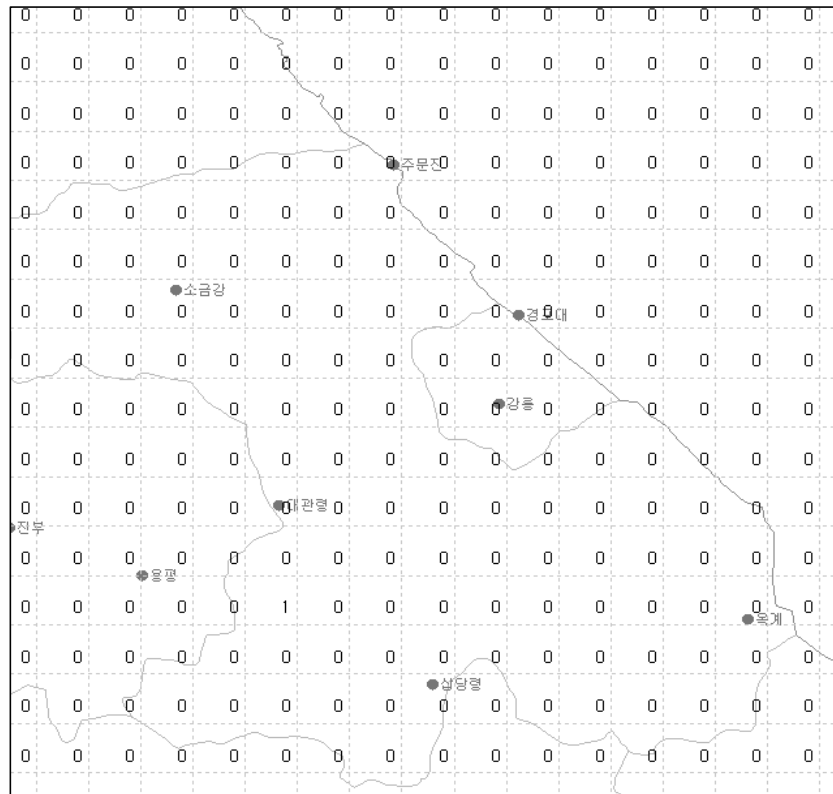


그림 23(a). 2009년 4월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

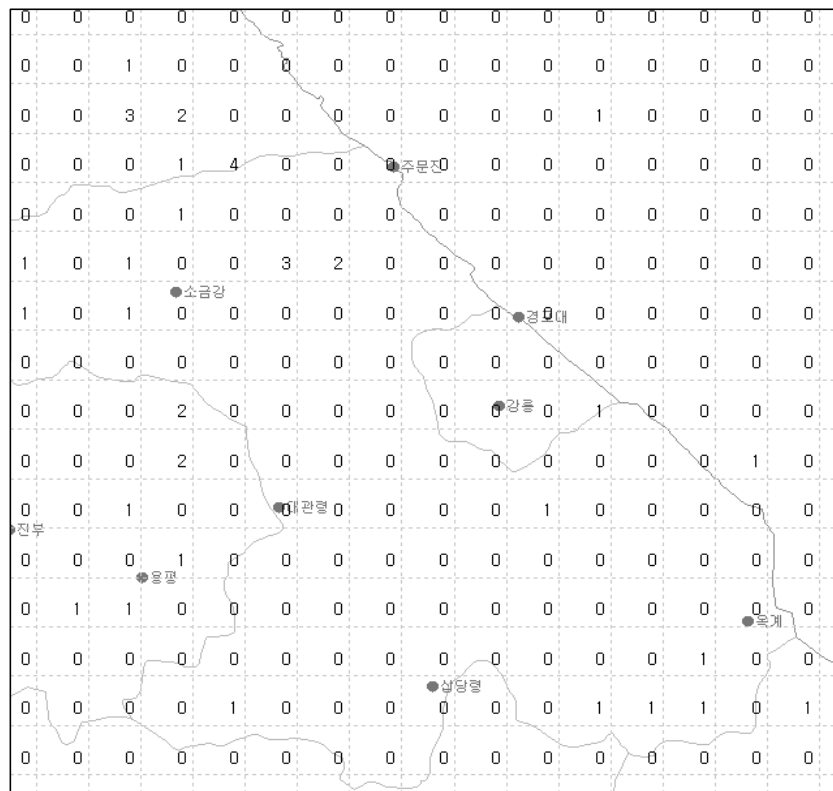


그림 23(b). 2009년 5월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

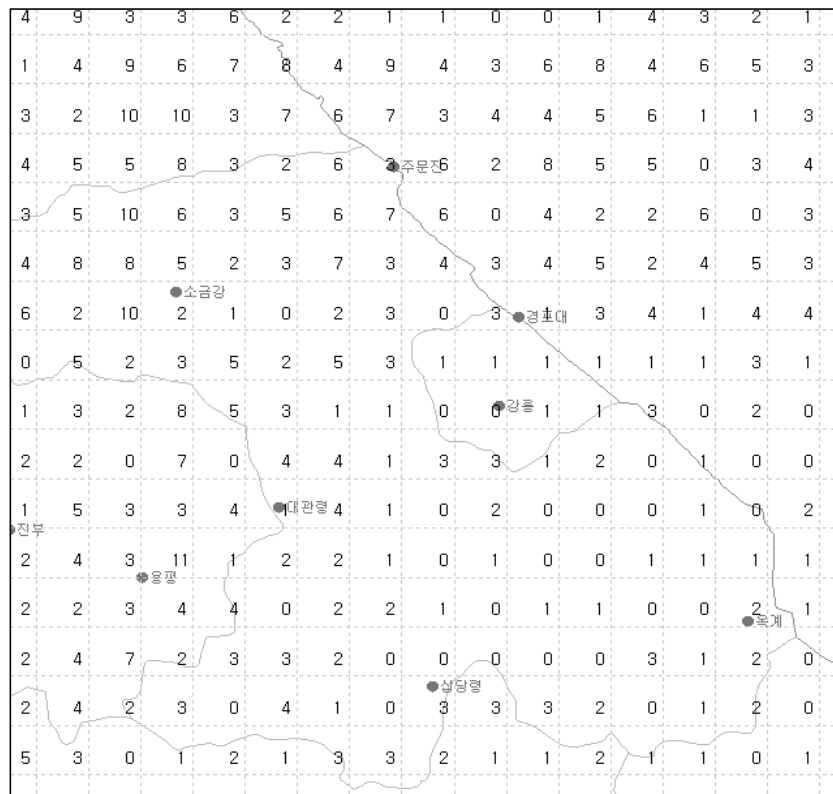


그림 23(c). 2009년 6월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

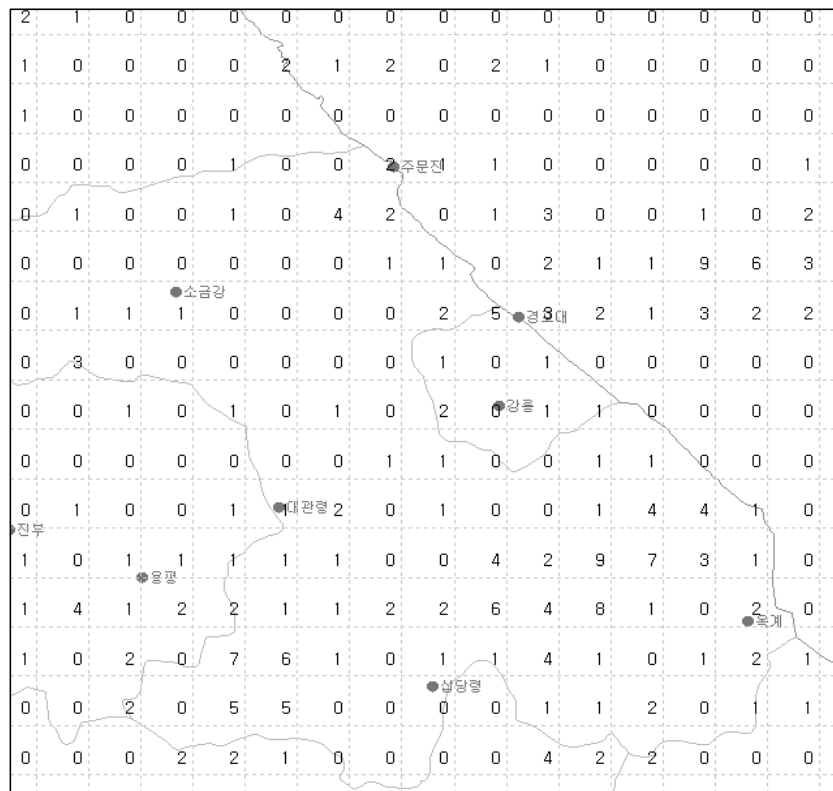


그림 23(d). 2009년 7월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

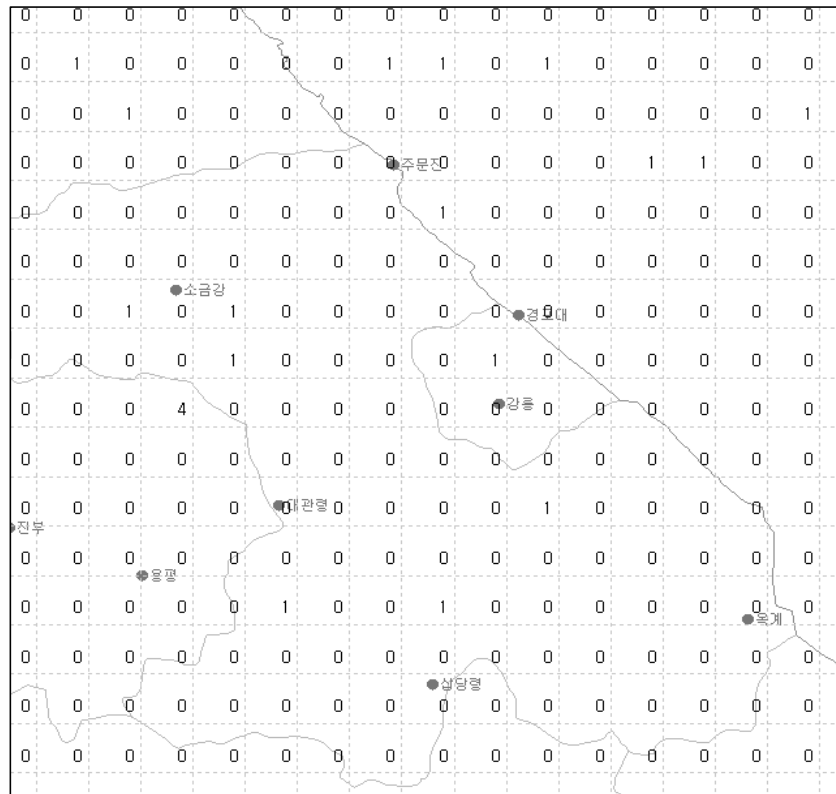


그림 23(e). 2009년 8월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

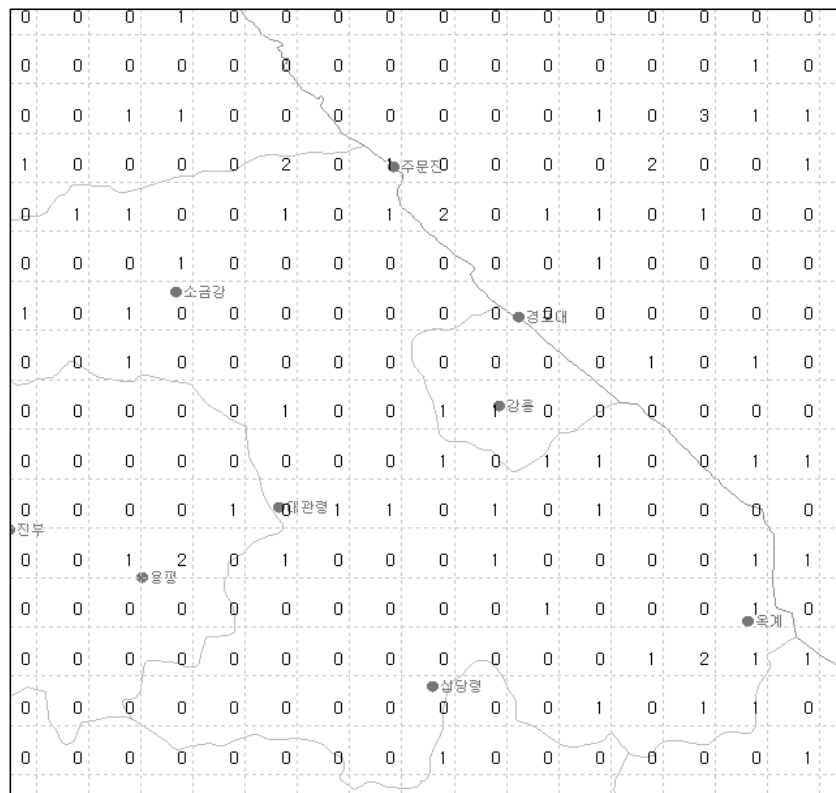


그림 23(f). 2009년 9월 강릉지역 낙뢰발생 횟수

나. 도별 낙뢰발생 횟수 분석

경기도, 강원도, 충청도, 경상도, 전라도, 제주도로 나누어 분석하였다.

1) 경기도

낙뢰가 4월, 5월에는 경기북부지방에서 4회, 6월에는 동두천 일대에서 295회, 7월 수원에서 356회, 8월 경기남부 33회, 9월 김포일대 53회로 최대값을 보였다(그림24(a) ~ 그림24(f)).

2) 강원도

낙뢰가 4월에는 횡성지역 7회, 5월에는 인제지역에 97회 발생하였으며, 6월에는 화천 일대에서 1721회로 최대값을 보였고, 7월에는 인제에서 137회, 8월에는 강원 북부의 양구에 54회, 9월에는 철원지역에 50회 발생하였다(그림25(a) ~ 그림25(f)).

3) 충청도

4월에 1회, 5월에는 충북 괴산일대에 7회, 6월에 태안군 부근 226회, 7월에는 충남 연기군 일대 141회, 8월에는 충남 보령부근 126회, 9월에는 충북 북부 단양 일대 37회 발생하였다(그림26(a)~그림26(f)).

4) 경상도

낙뢰가 4월에는 경주, 포항에 8회, 거제 최대 9회, 5월에는 경북북부 봉화 일대 39회, 6월에는 경남 남해 504회, 7월에는 경남남해안 일대 1784회, 8월에는 경남서부남해안 일대 286회, 9월에는 경남 양산일대에 30회 발생하였다(그림27(a) ~ 그림27(f)).

5) 전라도

낙뢰가 4월에는 전라북도 완주군에 7회, 5월에는 전라북도 남원과 순천 일대에서 46회, 6월에는 전라남도 목포에서 176회, 7월에는 여수, 남해안 일대에서 1128회, 8월에는 추자도 인근에서 3157회, 9월에는 여수부근 남해안 일대 2541회 발생하였다(그림28(a)~그림28(f)).

6) 제주도

낙뢰가 4월에는 성판악, 성산일대에 1회, 5월에는 제주시 동북부지역에 1회, 6월에는 성산 12회, 7월에는 제주 동부지역에 16회, 8월에는 제주 동북부 지역에 221회, 9월에는 제주 남동해안지역에 3회 발생하였다(그림29(a)~그림29(f)).

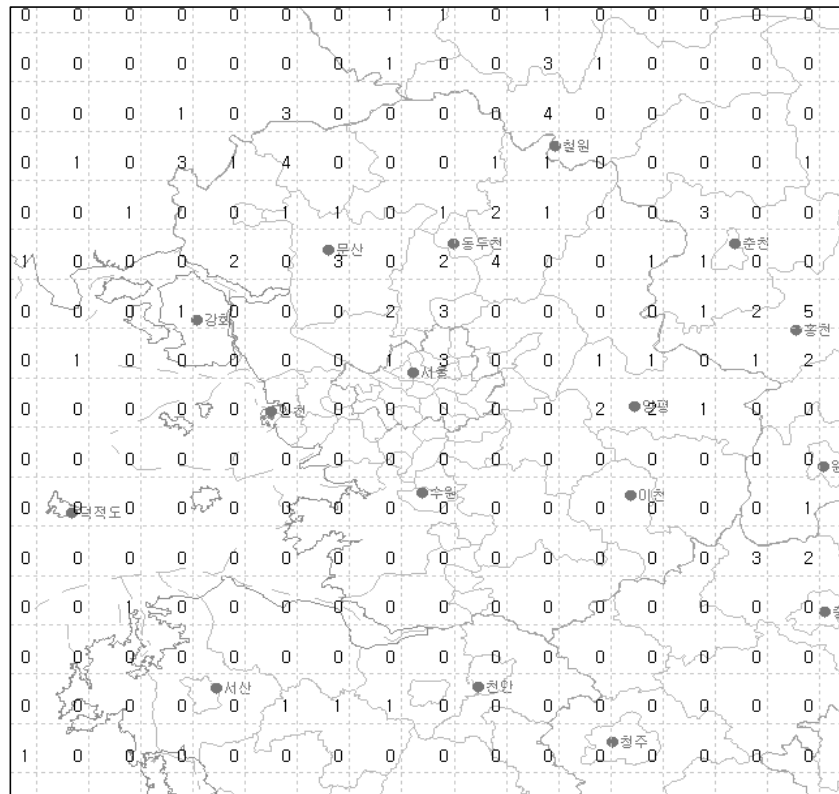


그림 24(a). 2009년 4월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

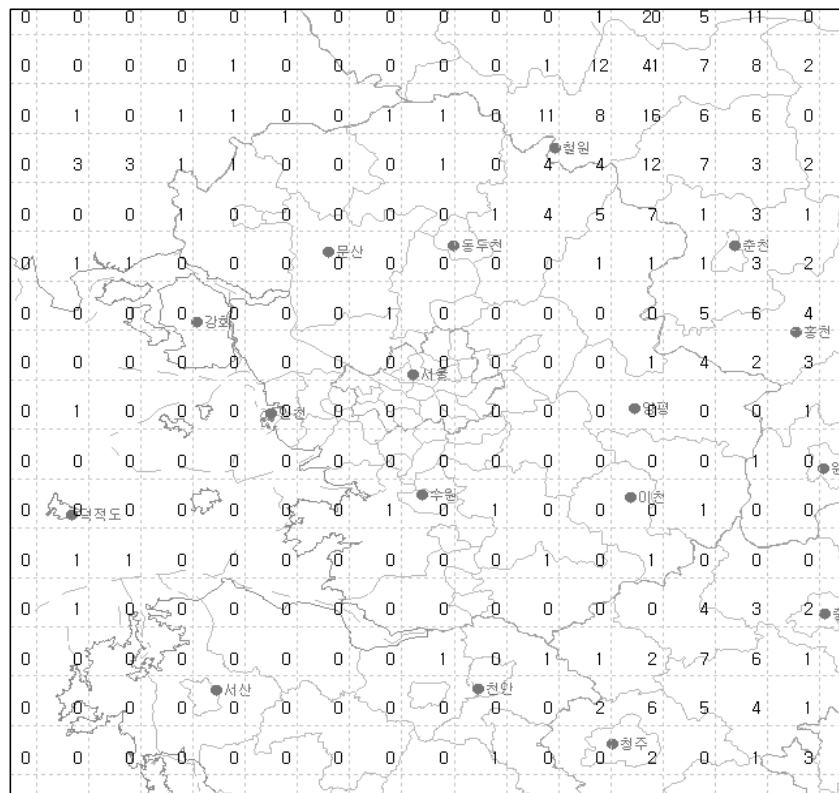


그림 24(b). 2009년 5월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

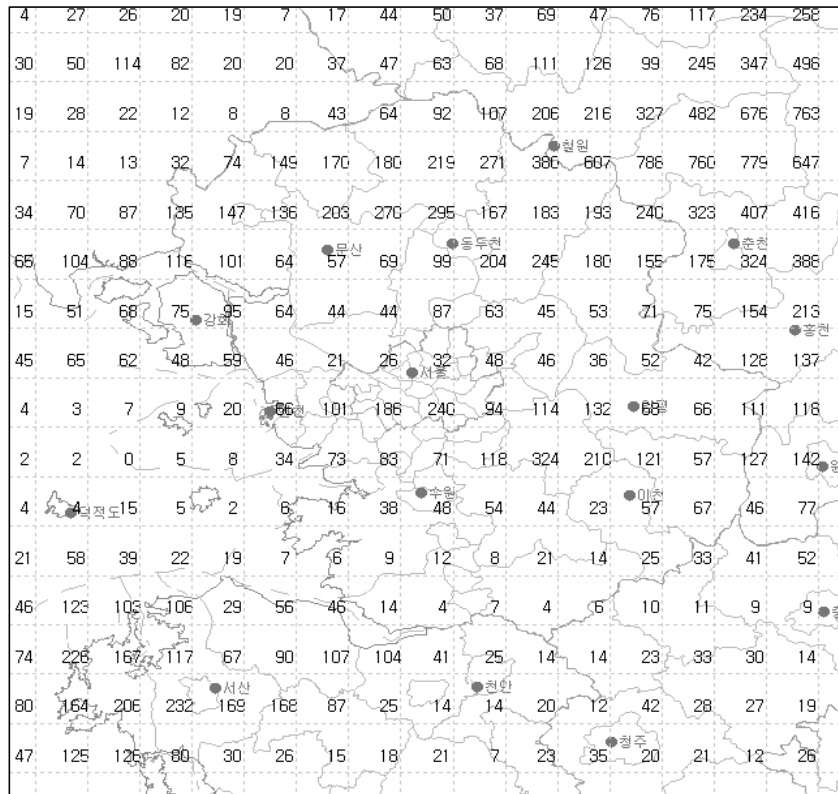


그림 24(c). 2009년 6월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

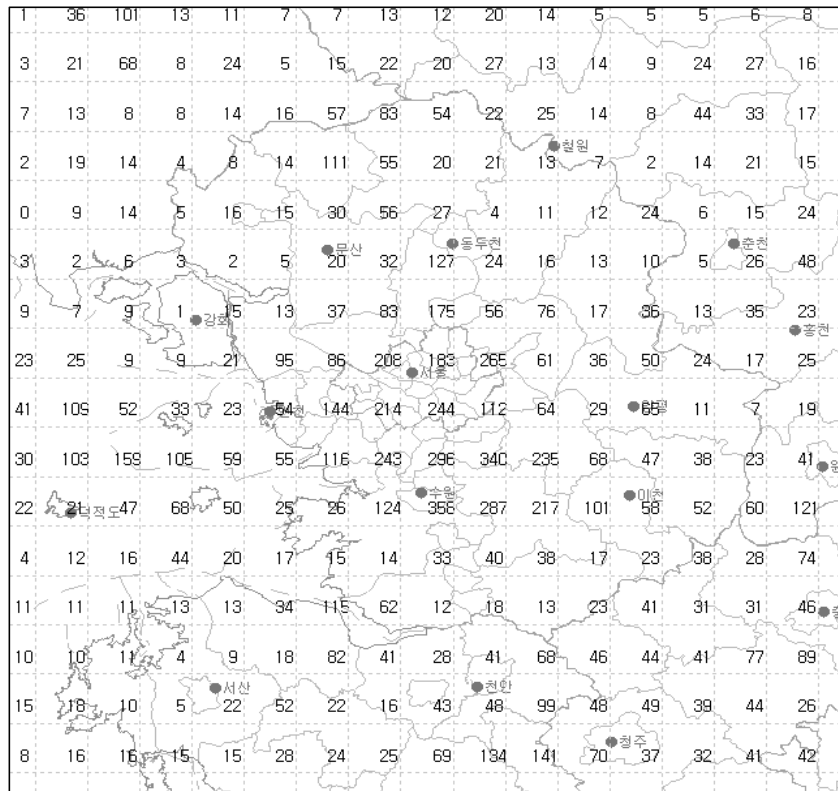


그림 24(d). 2009년 7월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

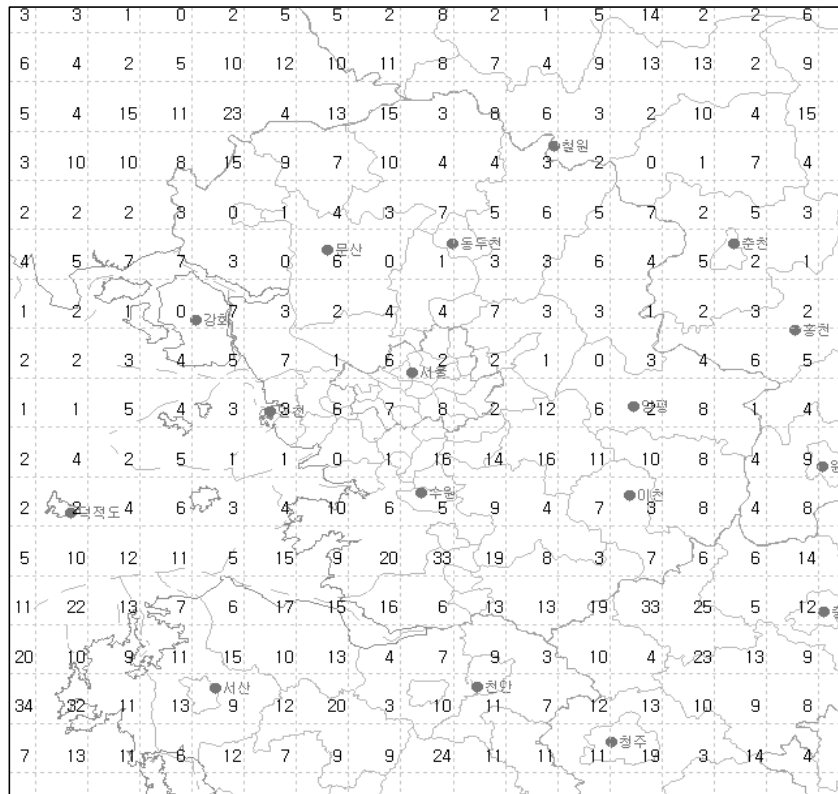


그림 24(e). 2009년 8월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

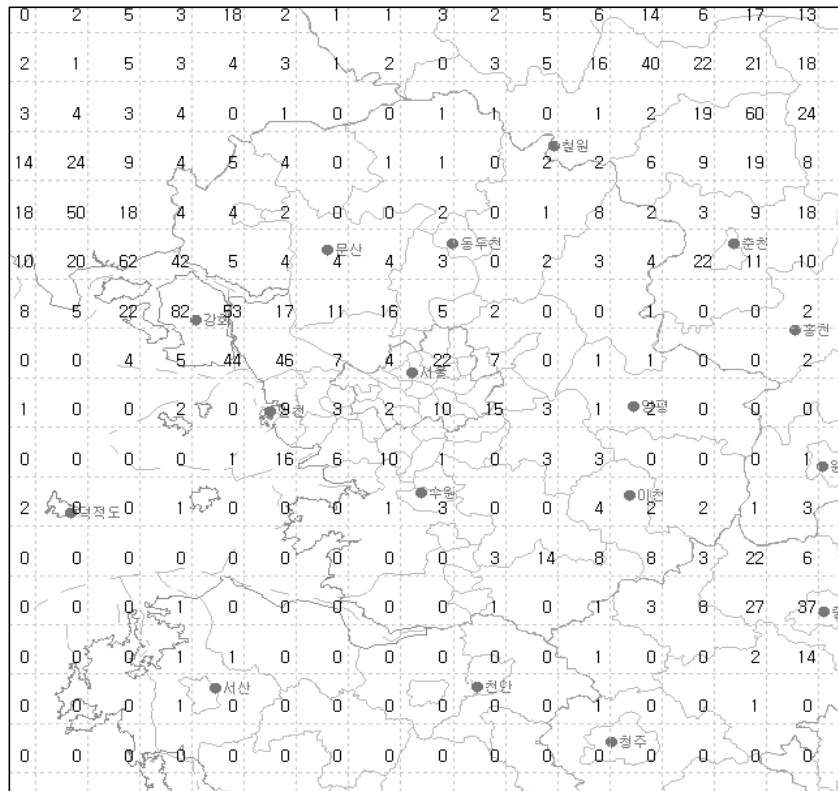


그림 24(f). 2009년 9월 경기도지역 낙뢰발생 횟수

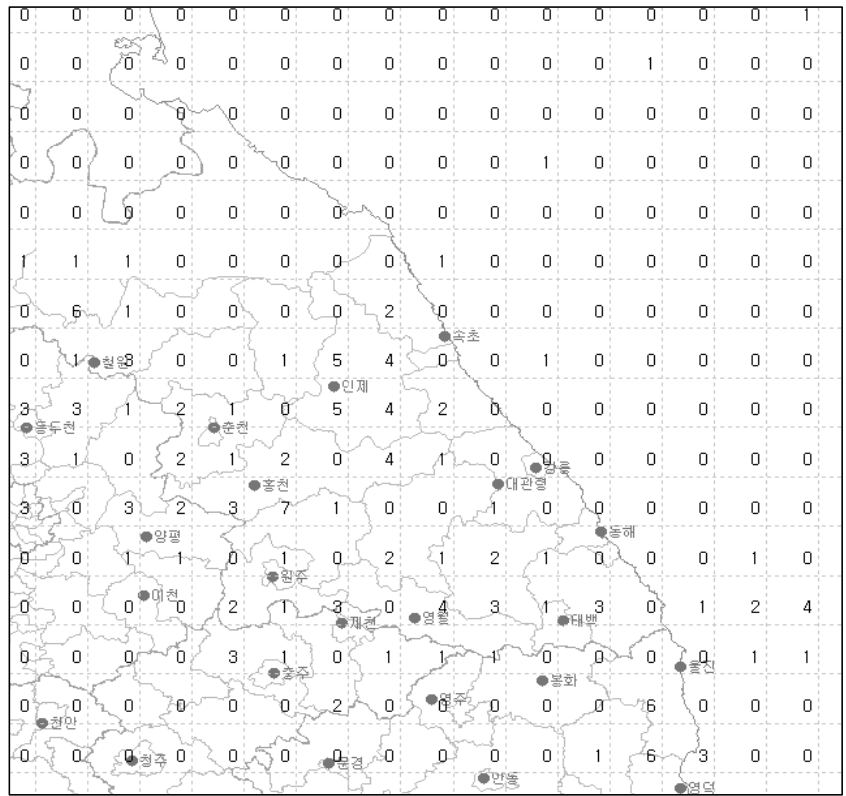


그림 25(a). 2009년 4월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

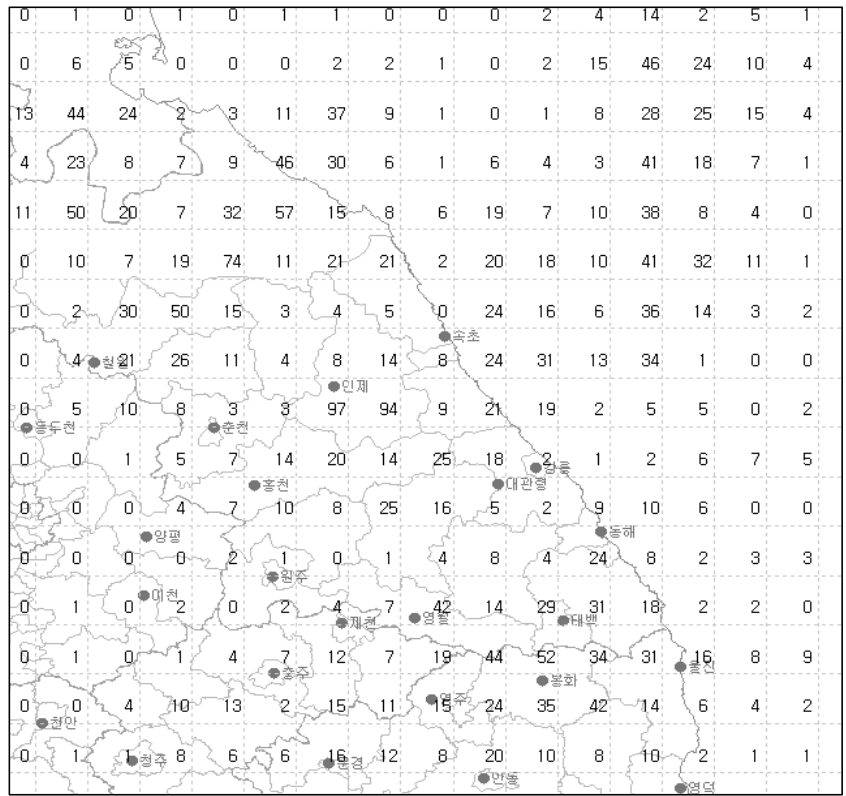


그림 25(b). 2009년 5월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

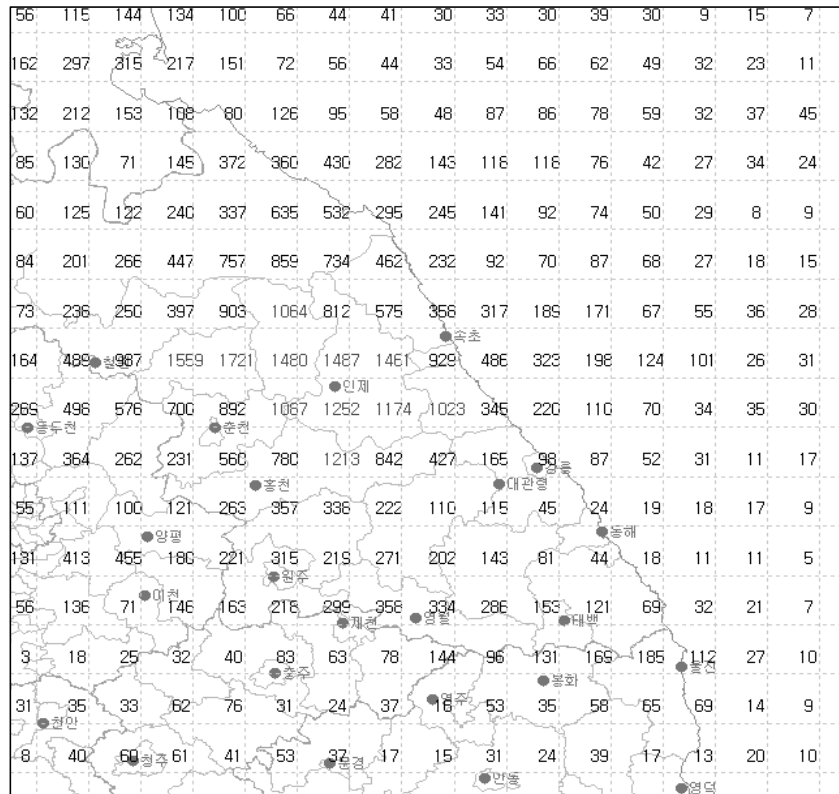


그림 25(c). 2009년 6월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

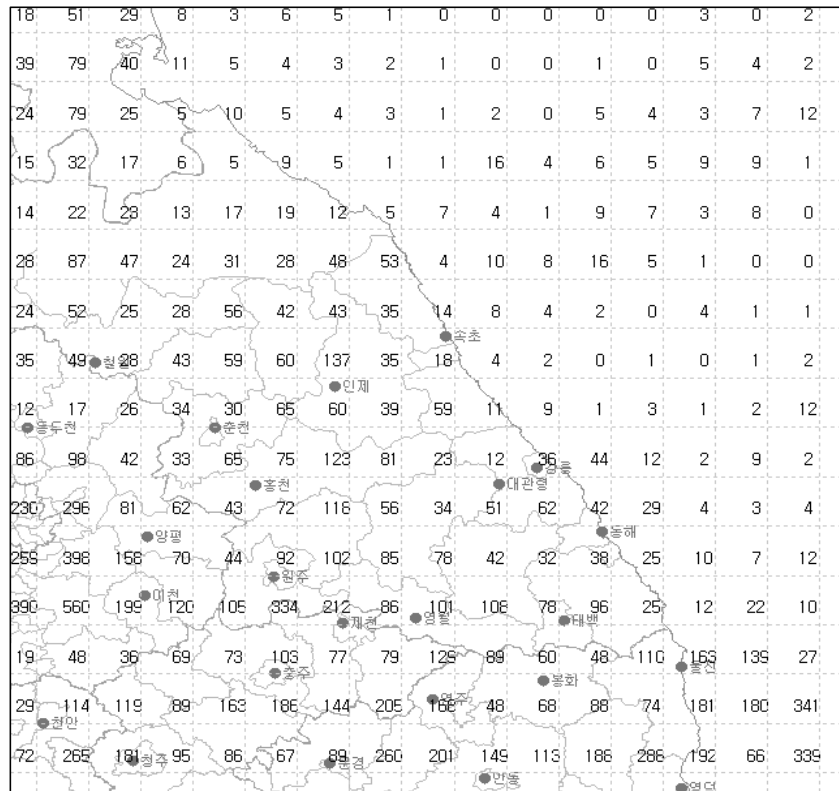


그림 25(d). 2009년 7월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

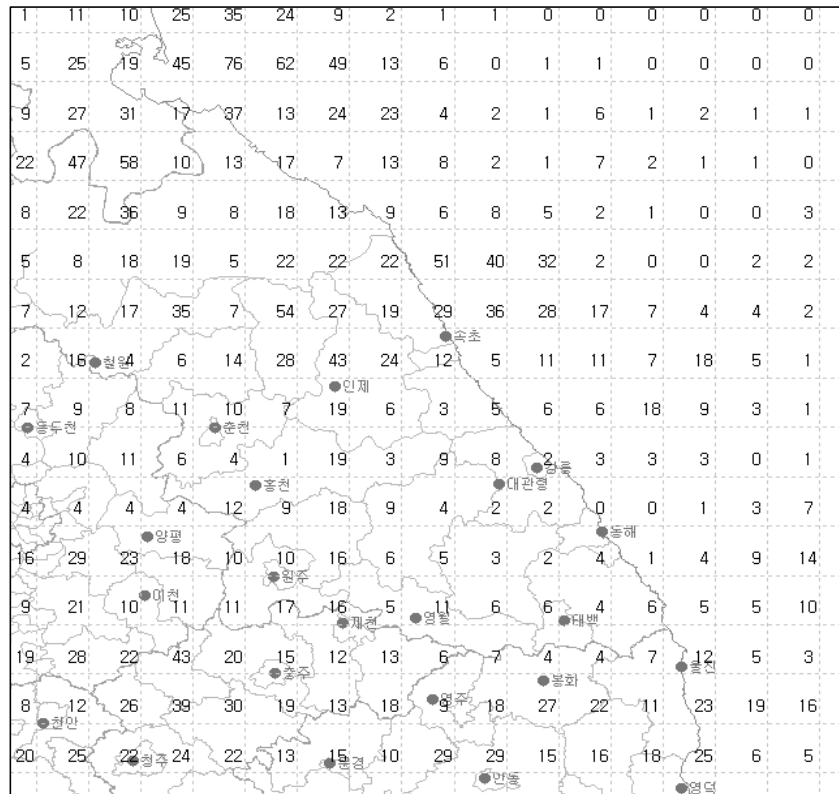


그림 25(e). 2009년 8월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

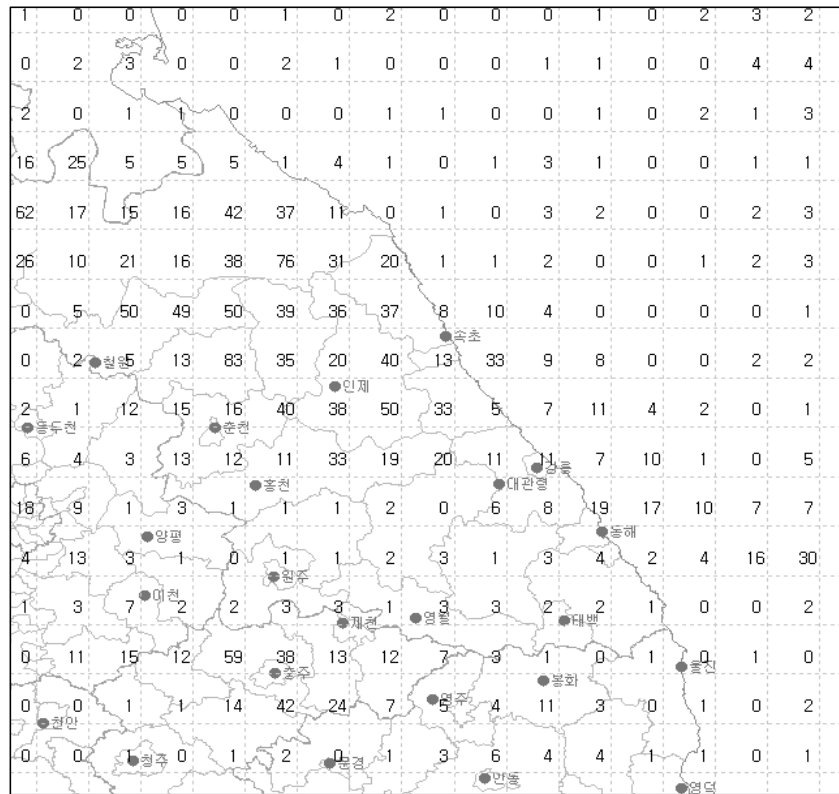


그림 25(f). 2009년 9월 강원도지역 낙뢰발생 횟수

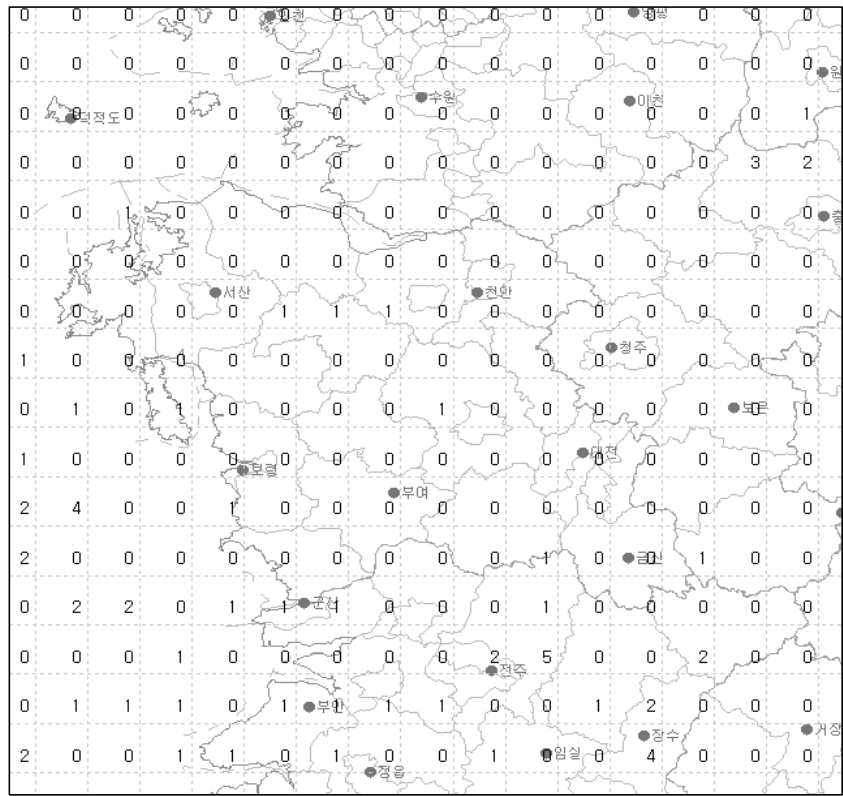


그림 26(a). 2009년 4월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

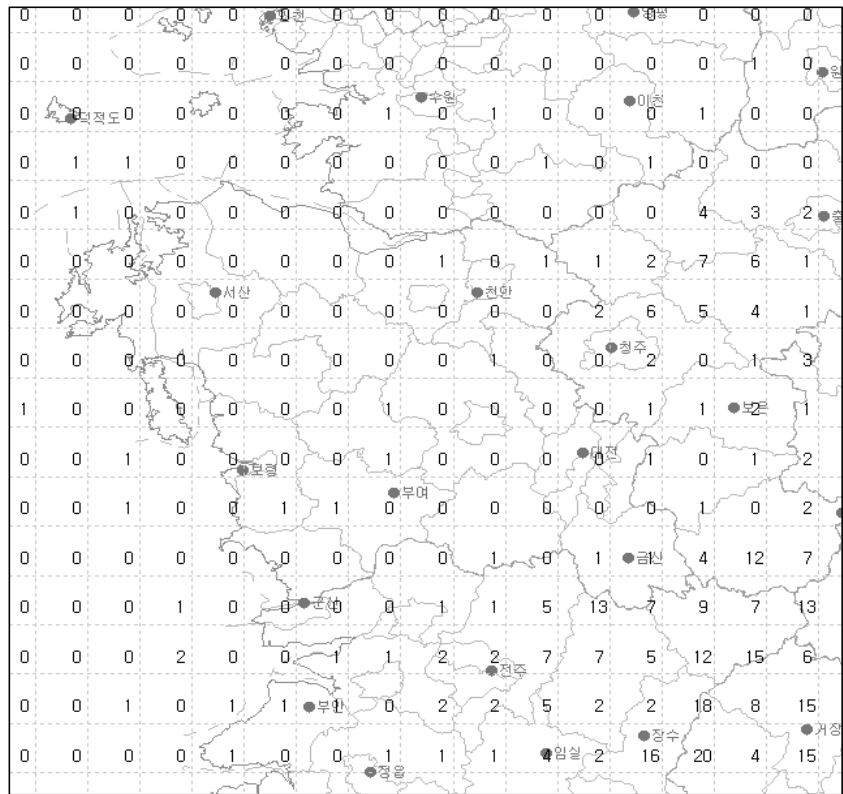


그림 26(b). 2009년 5월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

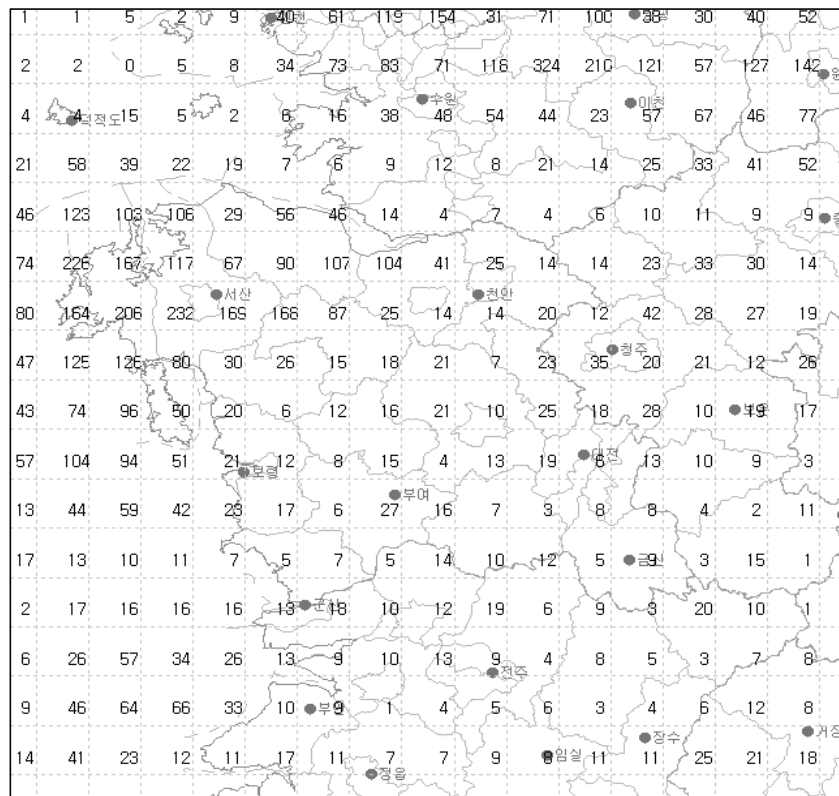


그림 26(c). 2009년 6월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

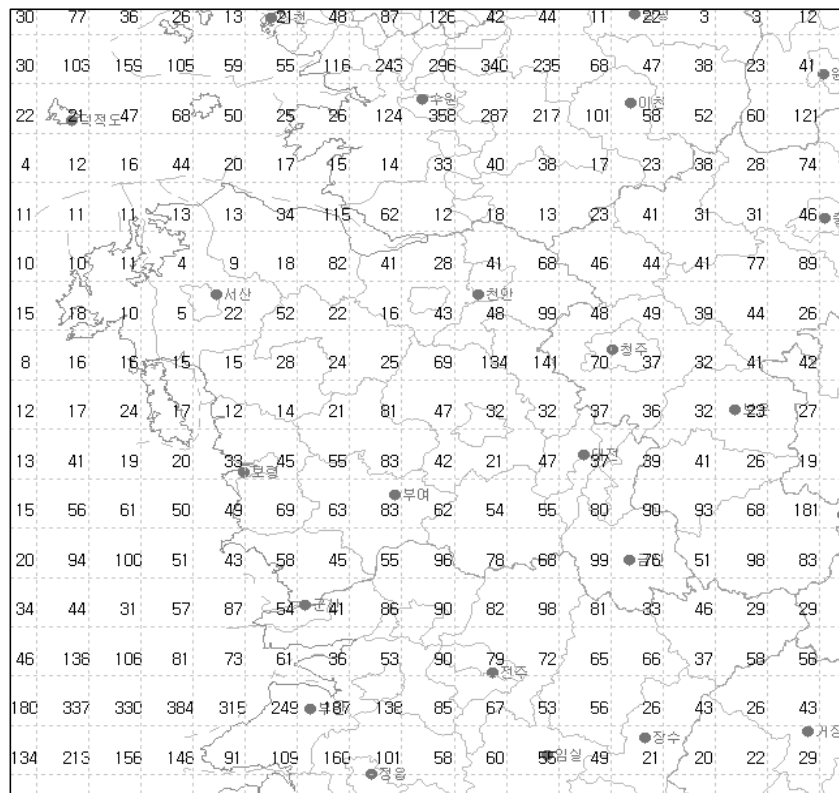


그림 26(d). 2009년 7월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

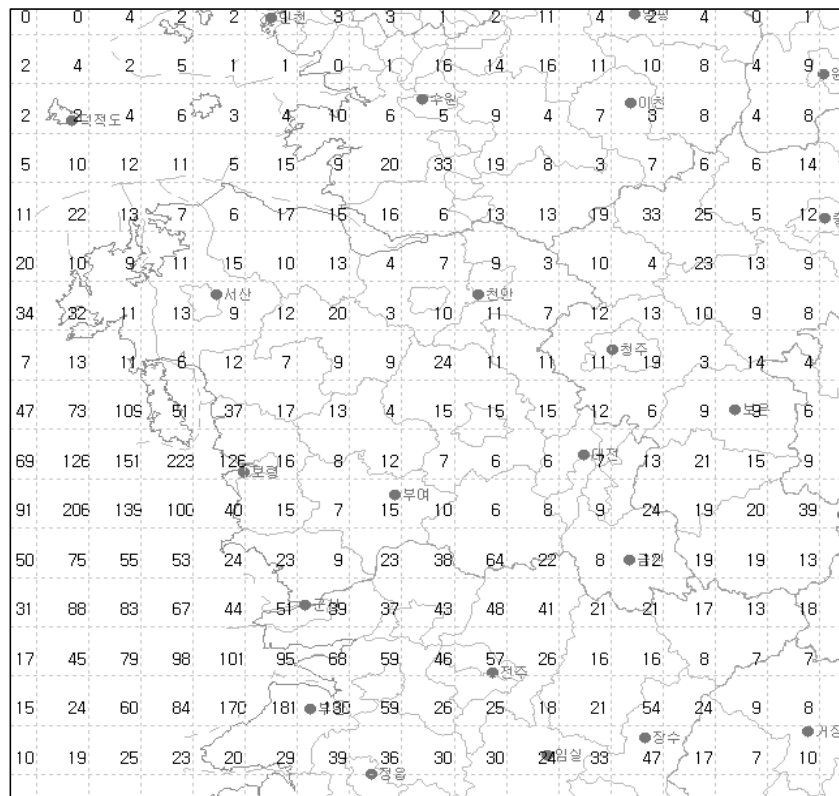


그림 26(e). 2009년 8월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

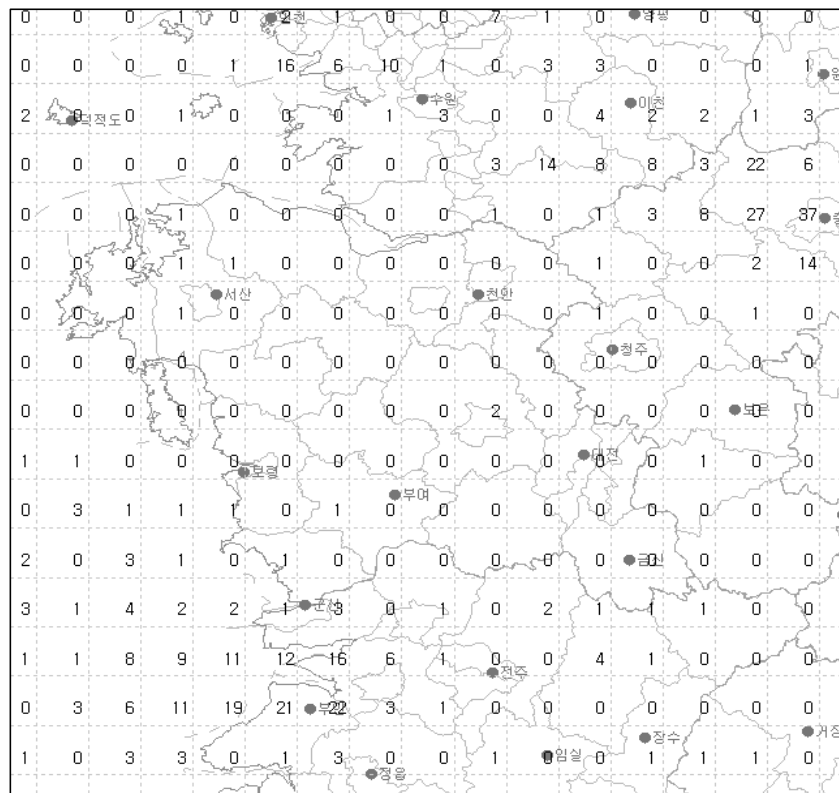


그림 26(f). 2009년 9월 충청도지역 낙뢰발생 횟수

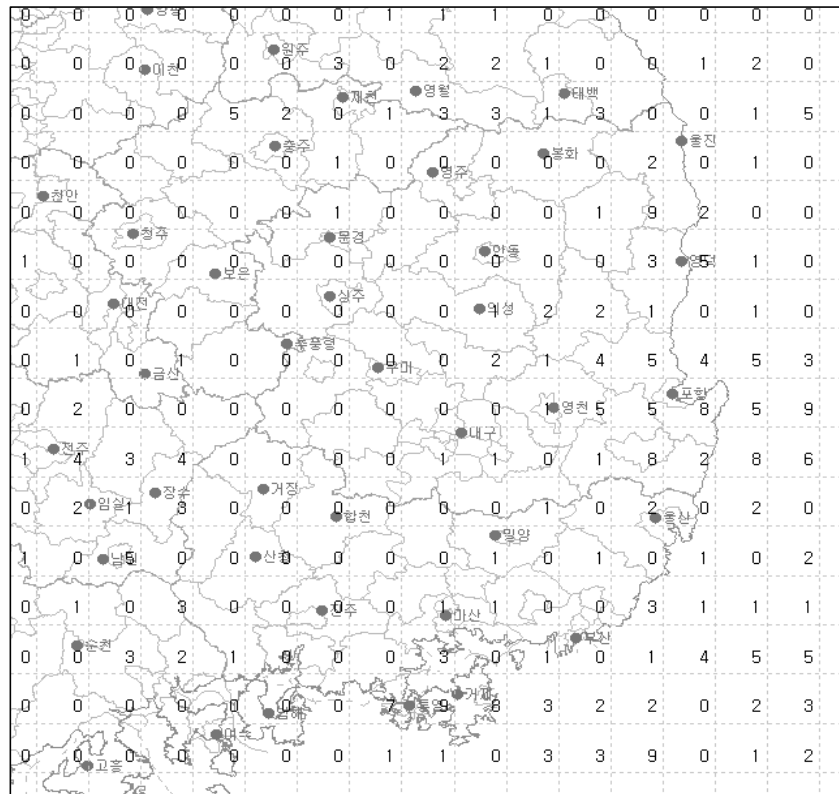


그림 27(a). 2009년 4월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

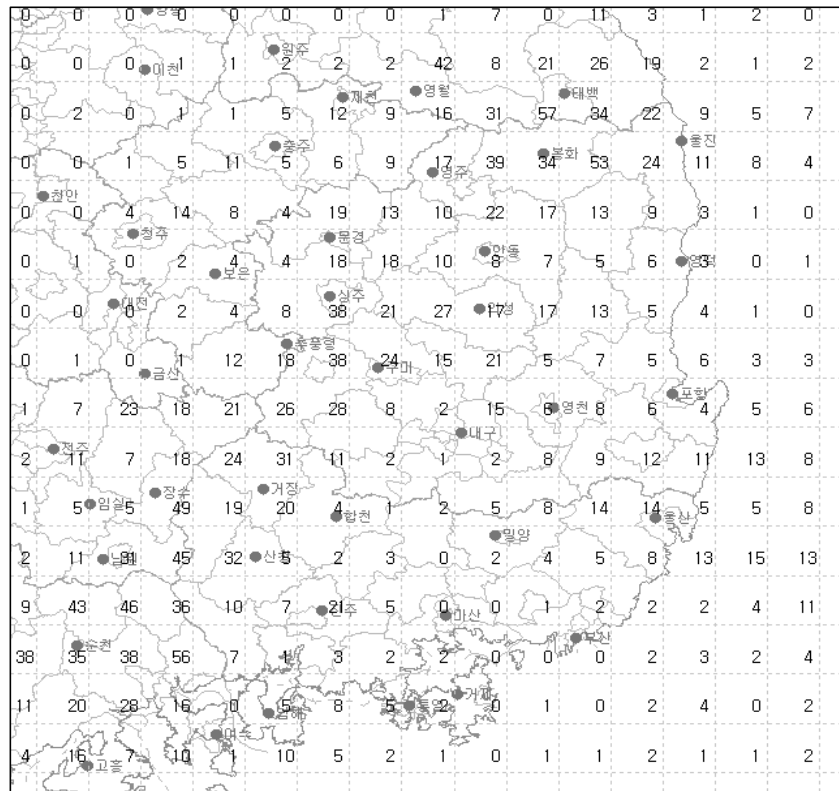


그림 27(b). 2009년 5월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

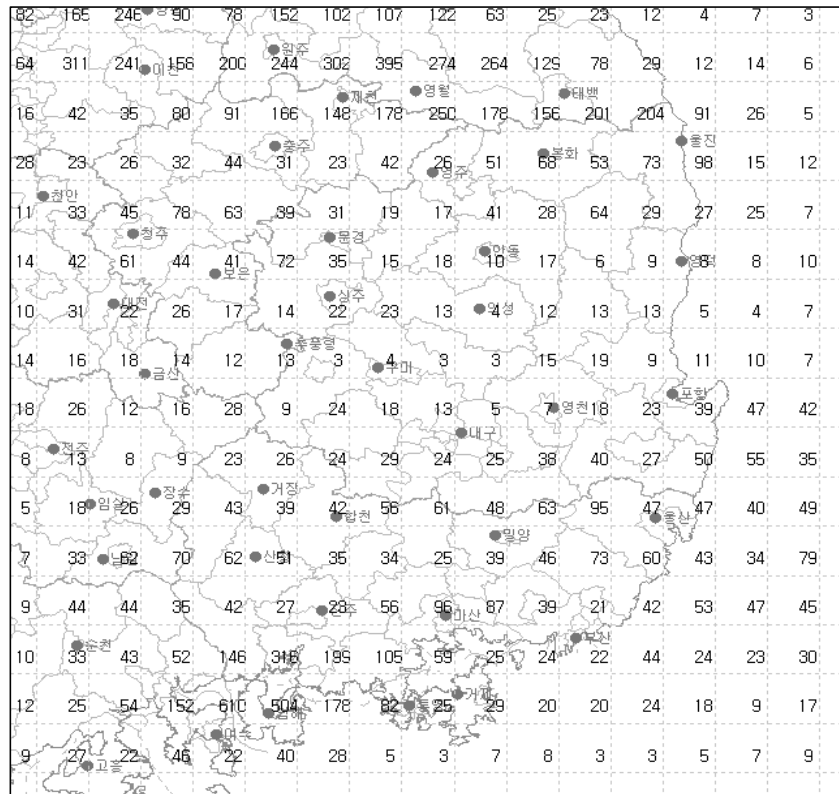


그림 27(c). 2009년 6월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

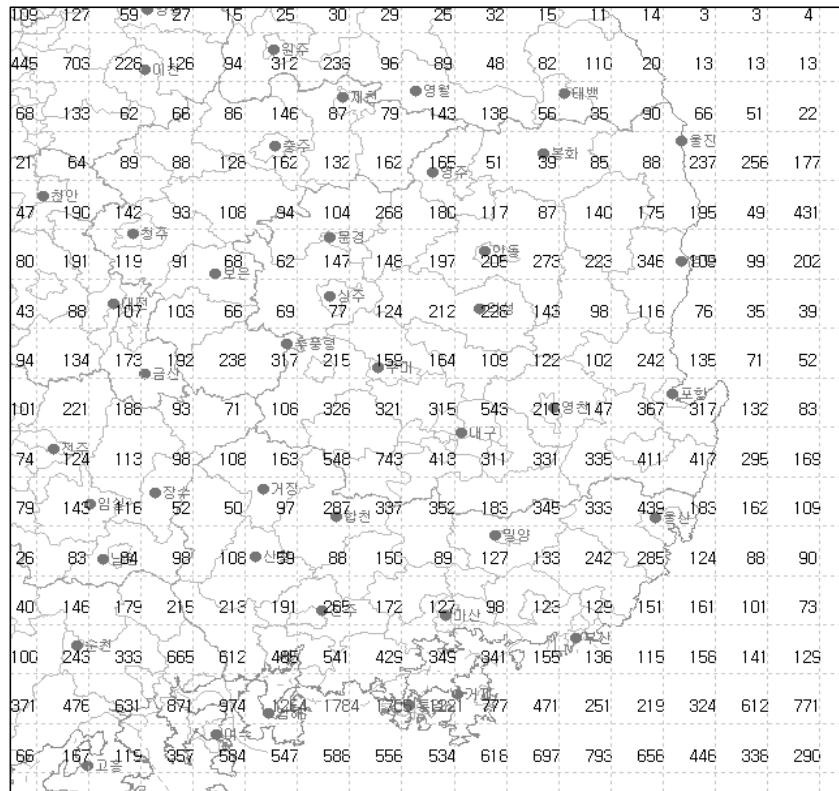


그림 27(d). 2009년 7월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

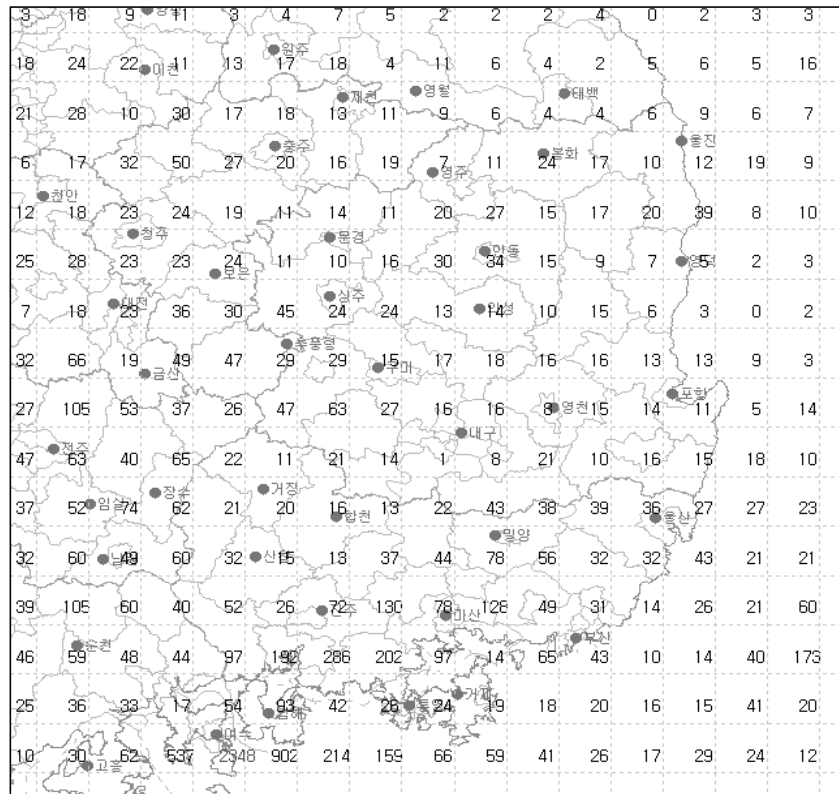


그림 27(e). 2009년 8월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

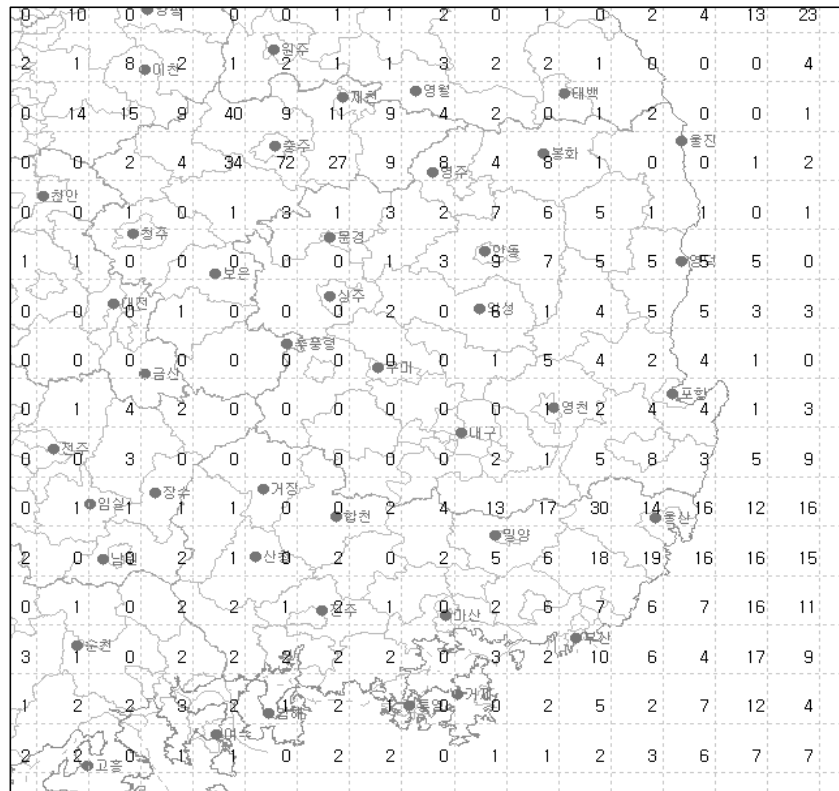


그림 27(f). 2009년 9월 경상도지역 낙뢰발생 횟수

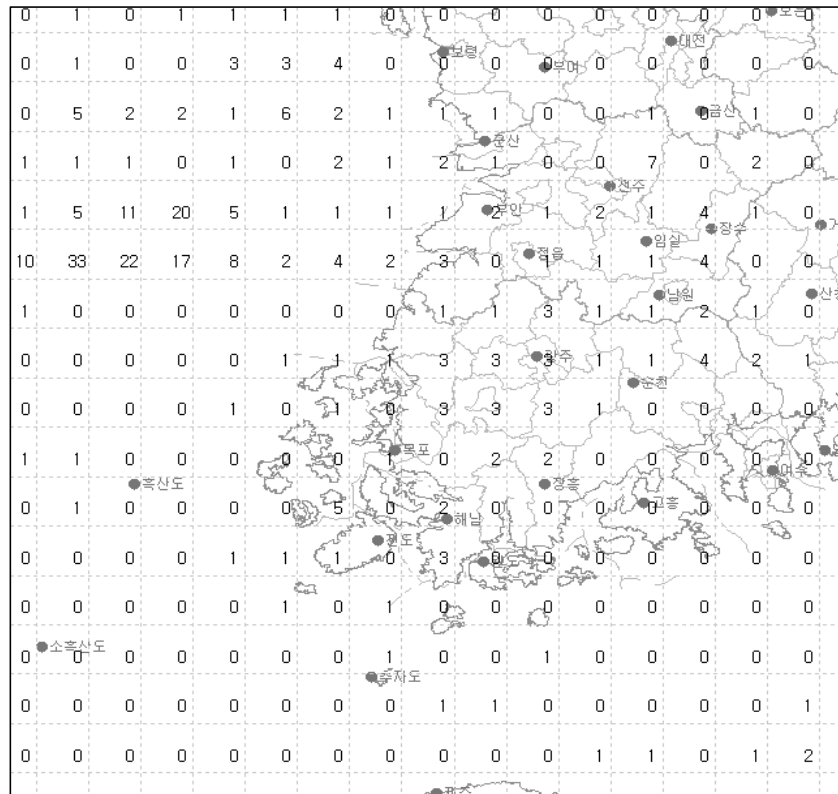


그림 28(a). 2009년 4월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

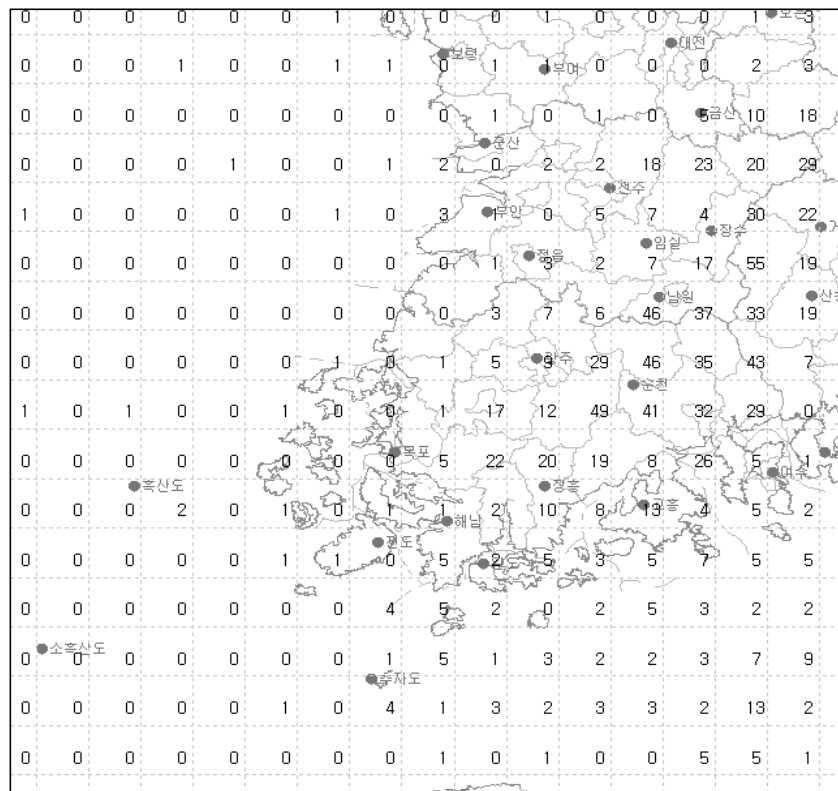


그림 28(b). 2009년 5월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

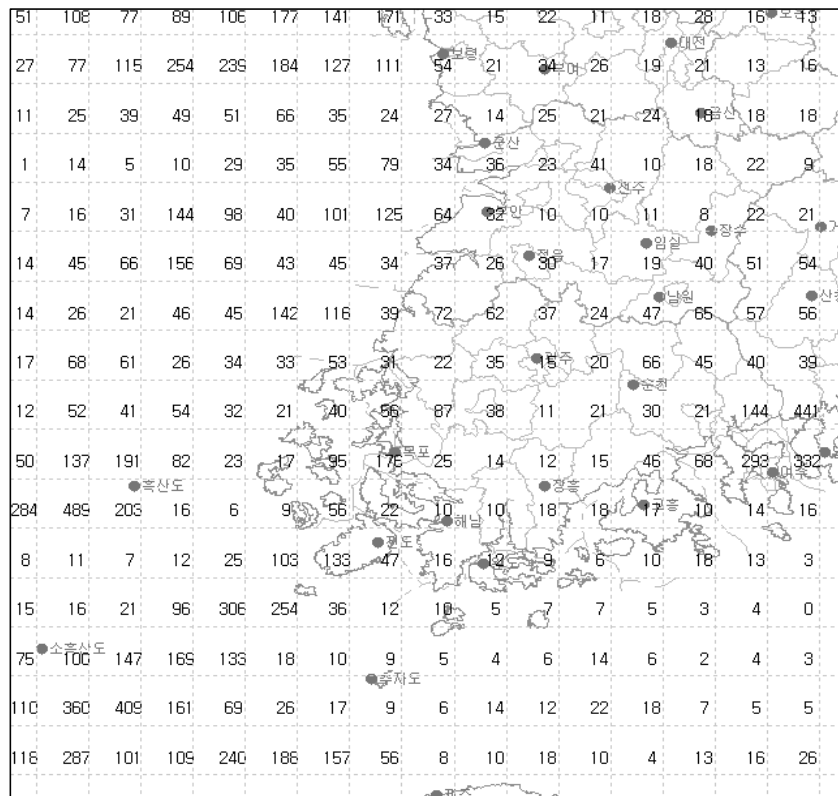


그림 28(c). 2009년 6월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

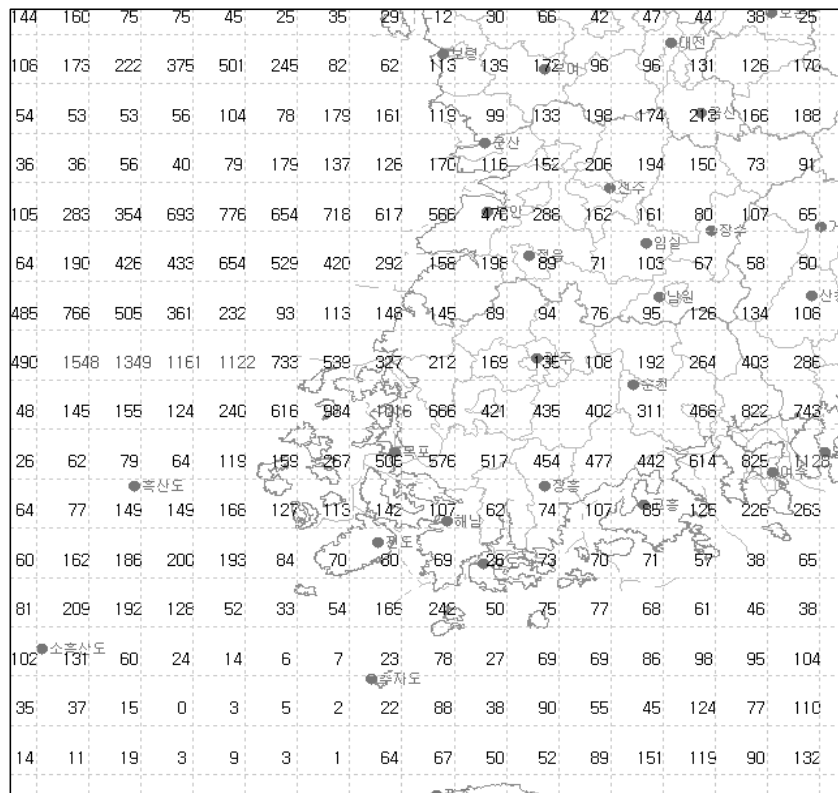


그림 28(d). 2009년 7월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

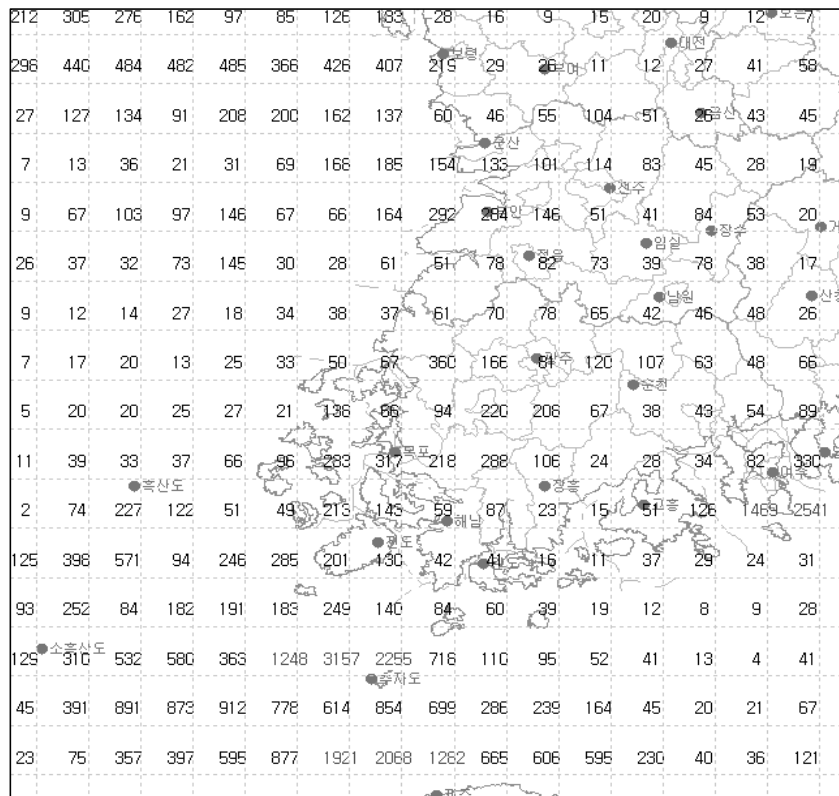


그림 28(e). 2009년 8월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

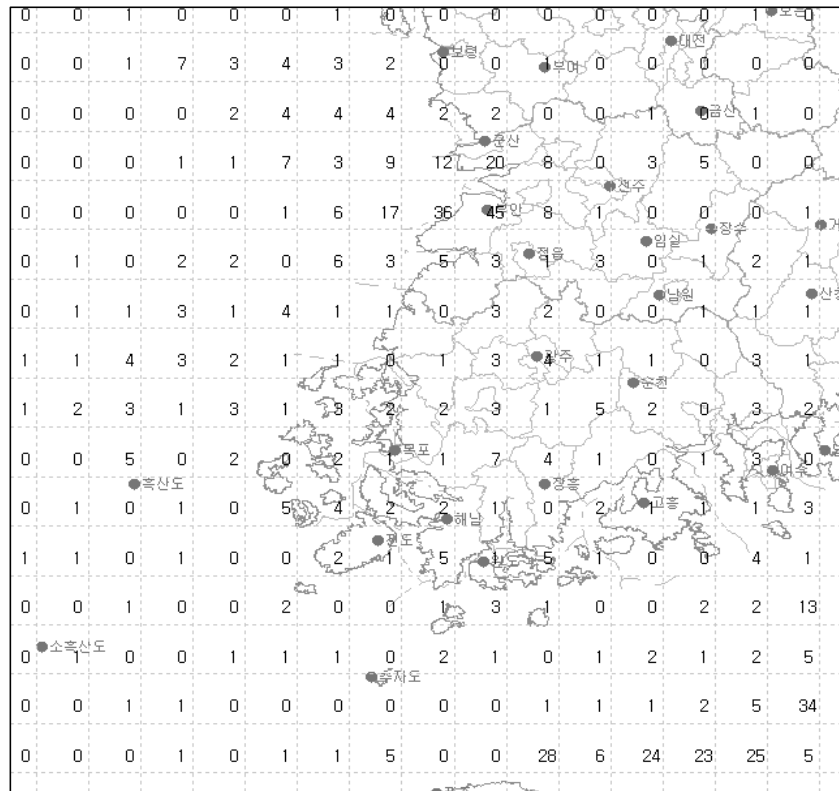


그림 28(f). 2009년 9월 전라도지역 낙뢰발생 횟수

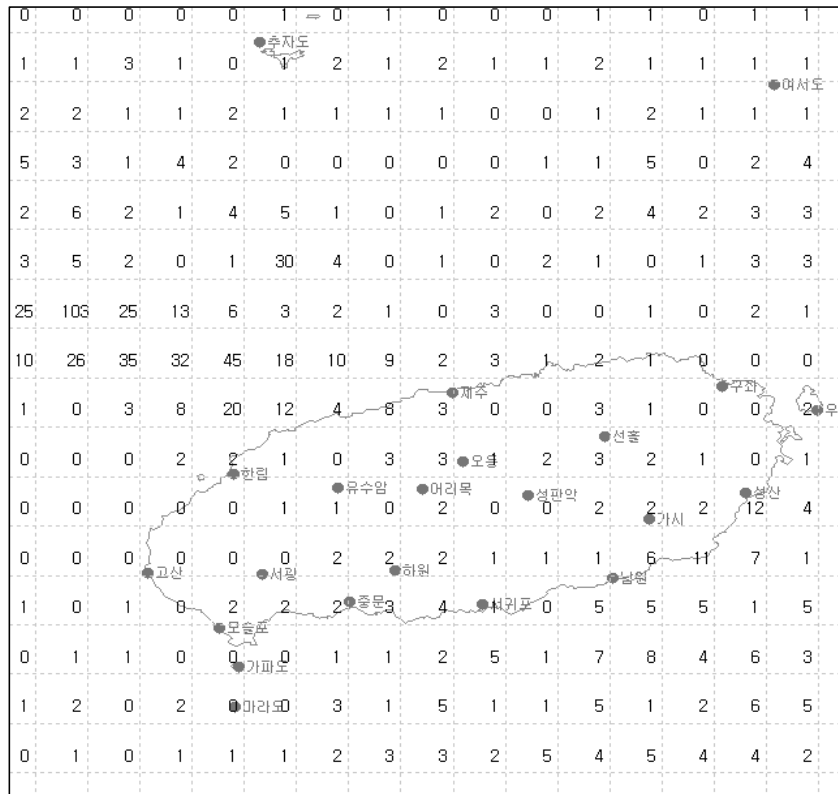


그림 29(c). 2009년 6월 제주도지역 낙뢰발생 횟수

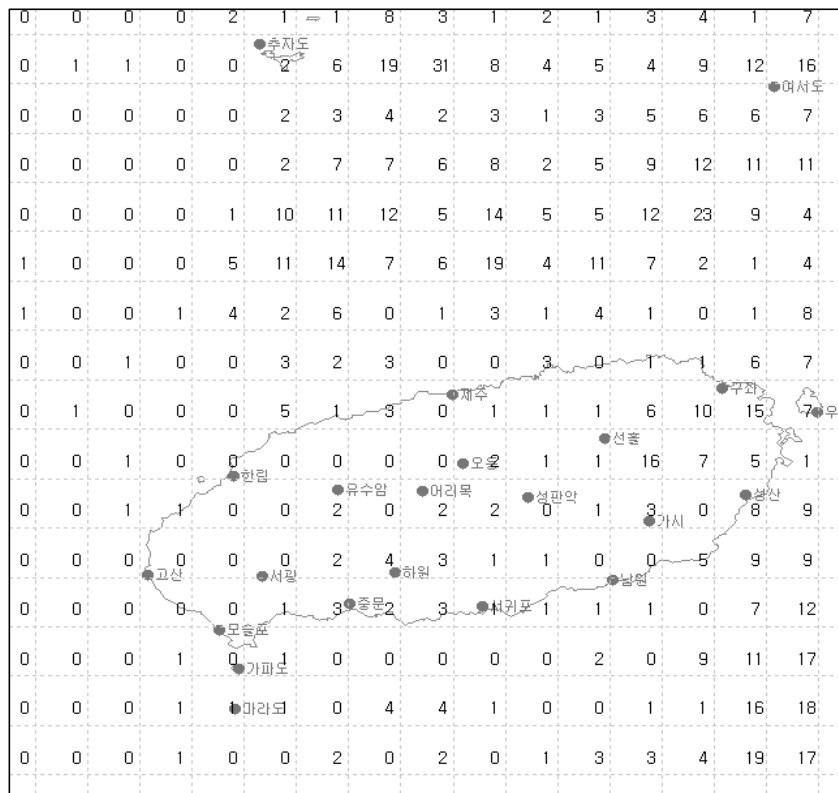


그림 29(d). 2009년 7월 제주도지역 낙뢰발생 횟수

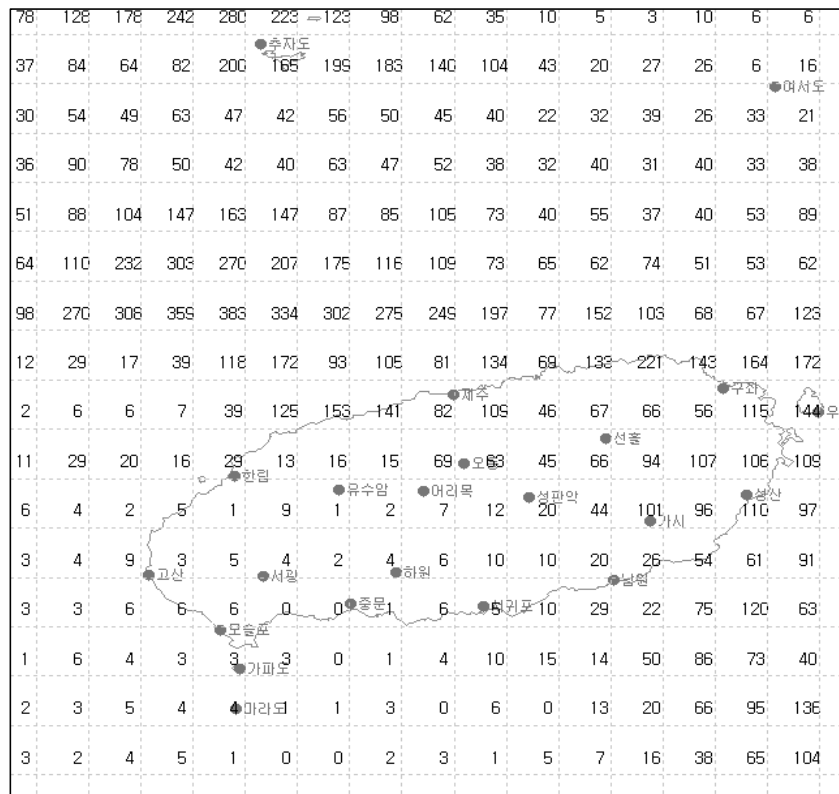


그림 29(e). 2009년 8월 제주도지역 낙뢰발생 횟수

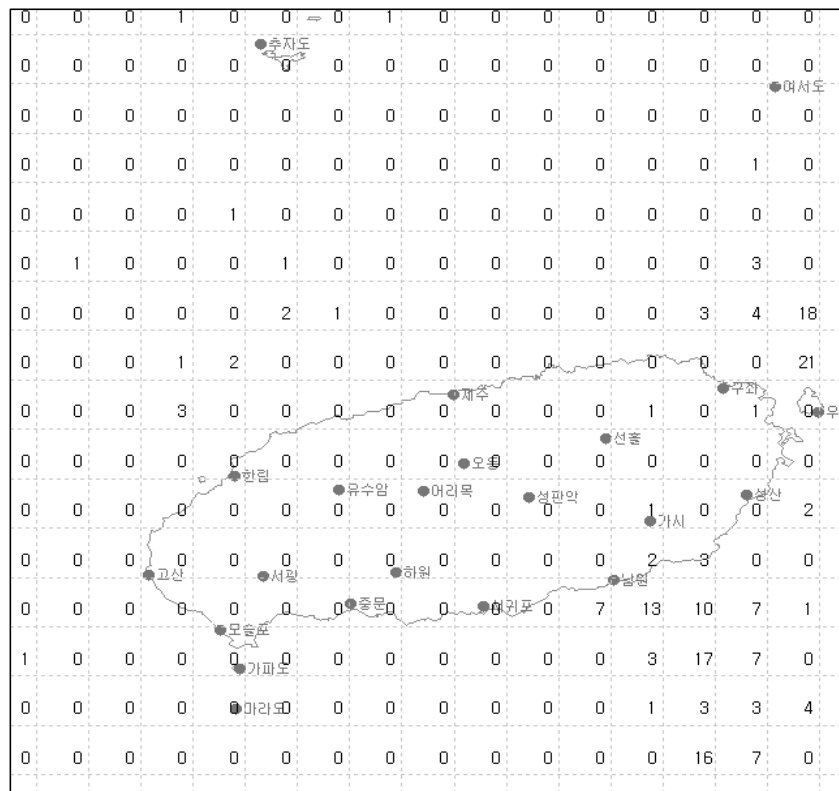


그림 29(f). 2009년 9월 제주도지역 낙뢰발생 횟수

다. 서울 구별 낙뢰발생 횟수 분석

서울지역의 낙뢰분포는 5월을 제외하고 4월에서 12월에 걸쳐 나타났고, 7월에 가장 많은 790회의 낙뢰가 발생했으며, 지역적으로 관악구에서 6월에 81회로 가장 많이 발생했다(표 1).

표 1. 서울 월별 낙뢰발생 횟수

월 지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
강남구	0	0	0	0	0	28	46	1	3	8	2	0
강동구	0	0	0	0	0	16	21	1	2	3	1	0
강북구	0	0	0	2	0	4	15	0	2	10	2	0
강서구	0	0	0	0	0	14	79	0	0	22	0	0
관악구	0	0	0	1	0	81	67	1	0	15	0	0
광진구	0	0	0	0	0	16	30	0	6	9	0	0
구로구	0	0	0	0	0	13	15	2	0	24	2	0
금천구	0	0	0	0	0	34	17	0	0	11	0	0
노원구	0	0	0	0	0	4	46	1	0	16	0	0
도봉구	0	0	0	1	0	2	10	0	0	12	3	0
동대문구	0	0	0	0	0	3	23	0	3	2	0	0
동작구	0	0	0	0	0	33	9	1	0	2	3	0
마포구	0	0	0	0	0	20	50	3	2	17	3	0
서대문구	0	0	0	0	0	5	35	2	2	7	4	0
서초구	0	0	0	0	0	71	49	2	0	13	2	0
성동구	0	0	0	0	0	9	40	1	7	6	1	0
성북구	0	0	1	0	0	6	35	0	3	3	0	0
송파구	0	0	0	0	0	25	27	0	0	9	2	0
양천구	0	0	0	0	0	15	31	1	0	10	3	1
영등포구	0	0	0	0	0	19	29	0	0	15	6	0
용산구	0	0	0	0	0	26	27	2	3	20	2	0
은평구	0	0	0	1	0	3	37	0	4	26	1	0
종로구	0	0	0	0	0	5	23	1	0	6	1	0
중구	0	0	0	0	0	4	29	0	1	3	0	0
중랑구	0	0	0	0	0	7	53	0	1	2	0	0
총횟수	0	0	1	5	0	456	790	19	38	269	38	1

4. 낙뢰발생 횟수 도표분석

가. 월별

1) 2009년 1월

1월의 낙뢰 발생 횟수가 많았던 날은 18일로써, 92회에 가까운 낙뢰가 발생하였다(그림30(a)). 시간별 발생횟수는 오전과 오후 비슷한 분포를 보였다(그림 30(b)).

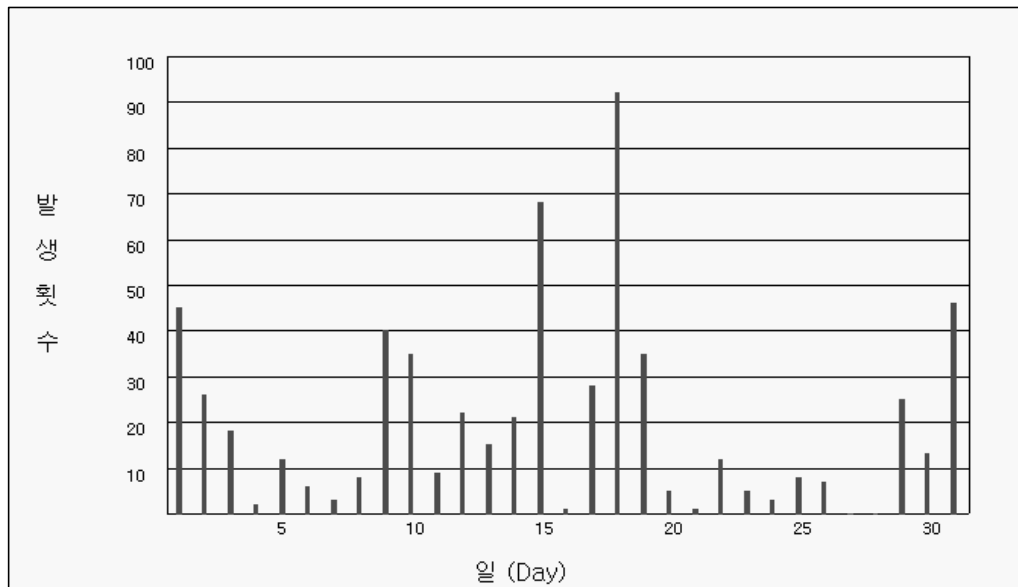


그림 30(a). 2009년 1월 일별 낙뢰발생 횟수

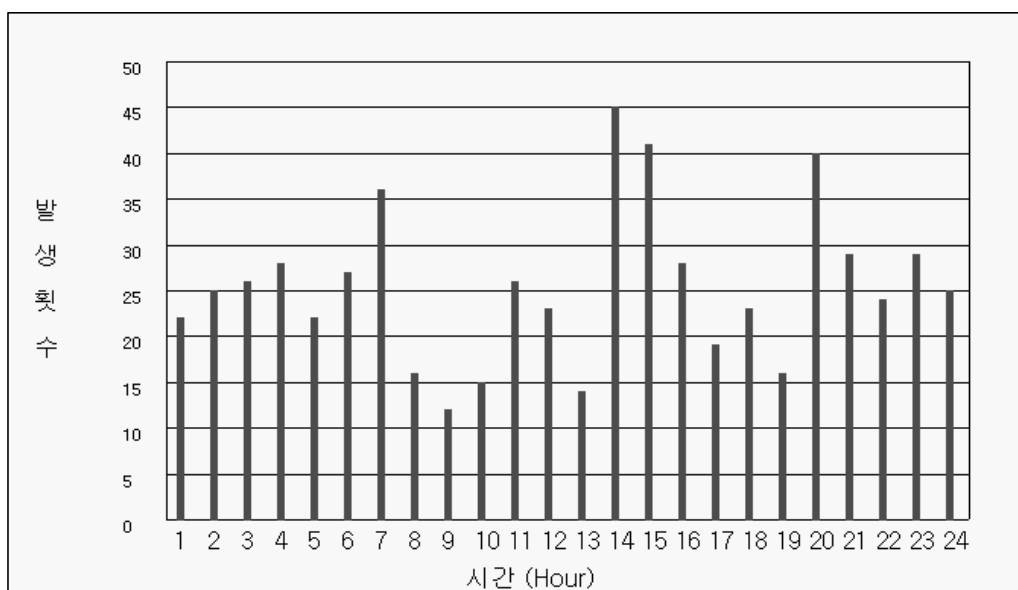


그림 30(b). 2009년 1월 시간별 낙뢰발생 횟수

2) 2009년 2월

2월의 낙뢰 발생은 주로 24일과 25일에 집중되어 있고, 1,300회 이상에 달하는 낙뢰가 발생하였다(그림 31(a)). 시간별 발생횟수는 주로 야간에 낙뢰가 발생한 것으로 나타났다(그림 31(b)).

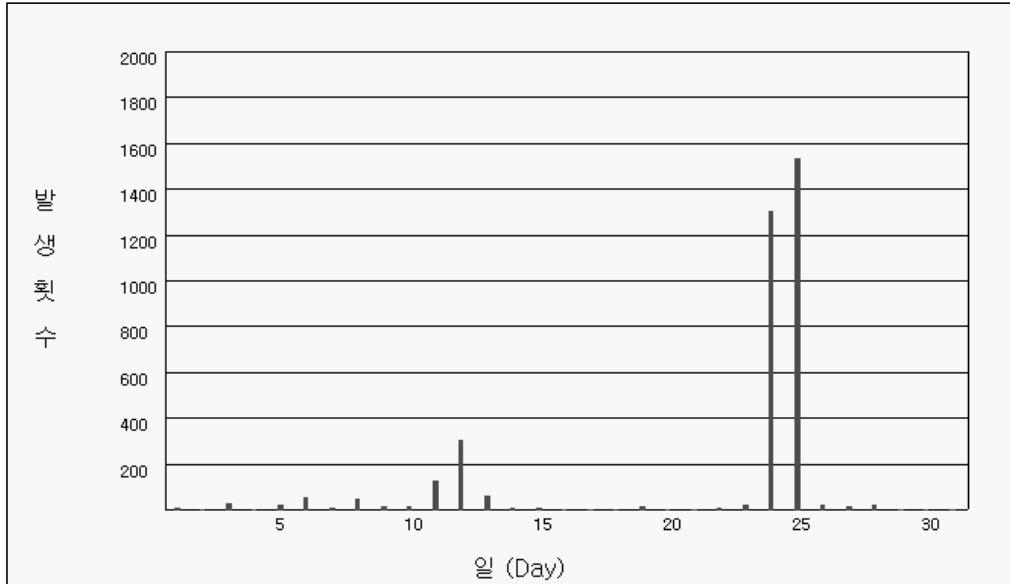


그림 31(a). 2009년 2월 일별 낙뢰발생 횟수

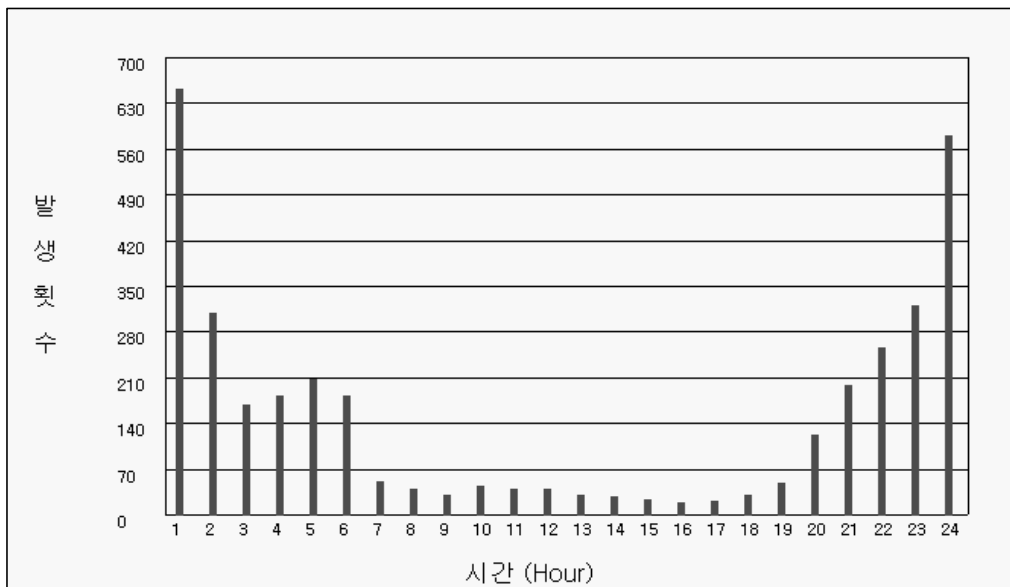


그림 31(b). 2009년 2월 시간별 낙뢰발생 횟수

3) 2009년 3월

3월은 19일에서 22일사이에 대부분의 낙뢰가 발생하였다. 22일의 경우 약 4,600회에 달한다(그림 32(a)). 하루 중 낙뢰발생 횟수 분포는 오전 5시, 6시에 1,000회 이상의 낙뢰가 발생하였다(그림 32(b)).

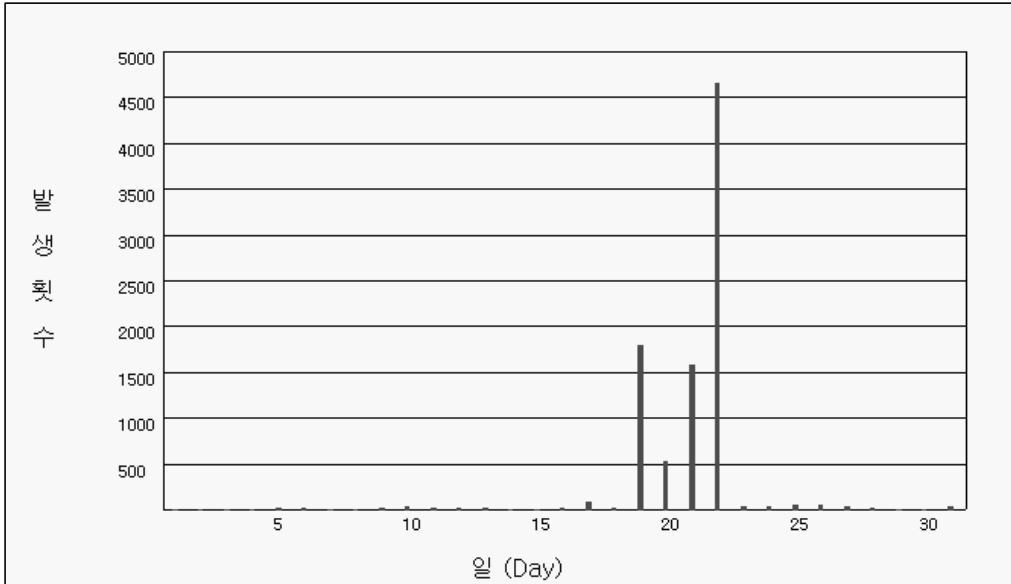


그림 32(a). 2009년 3월 일별 낙뢰발생 횟수

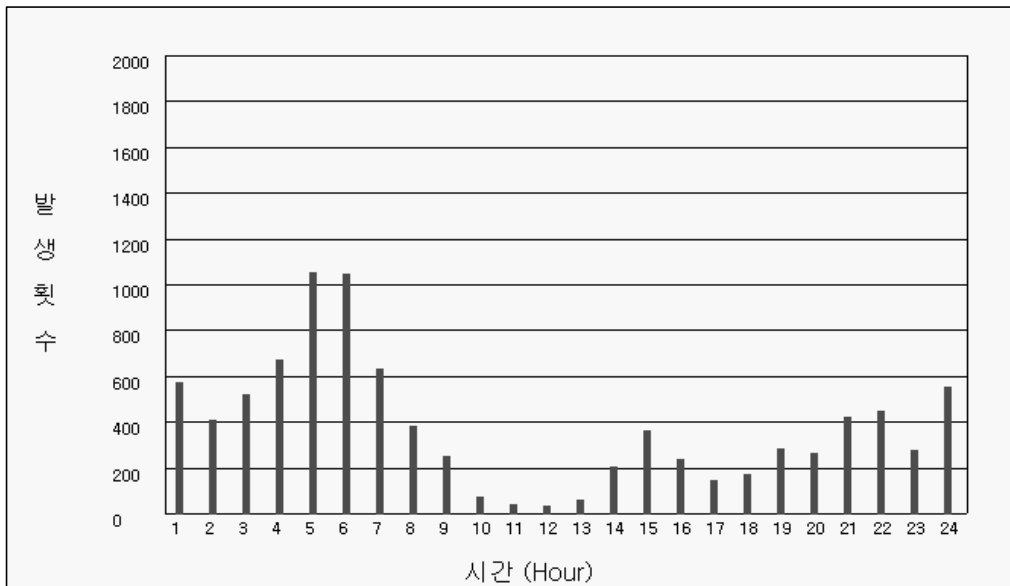


그림 32(b). 2009년 3월 시간별 낙뢰발생 횟수

4) 2009년 4월

4월은 15일에 가장 많은 낙뢰가 발생하였고, 발생 횟수는 약 480회이다(그림 33(a)). 시간별 발생 분포는 그림 33(b)와 같다.

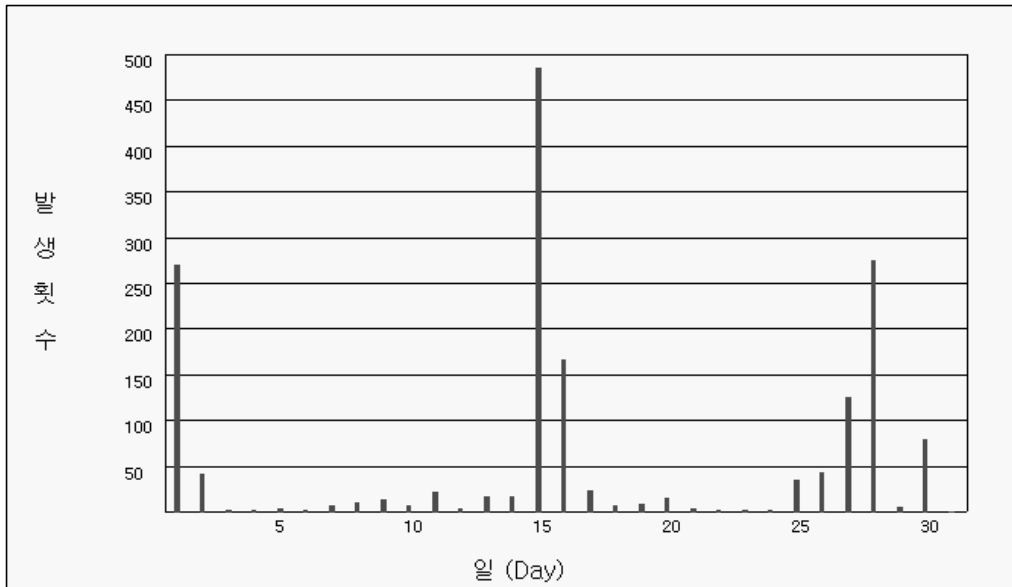


그림 33(a). 2009년 4월 일별 낙뢰발생 횟수

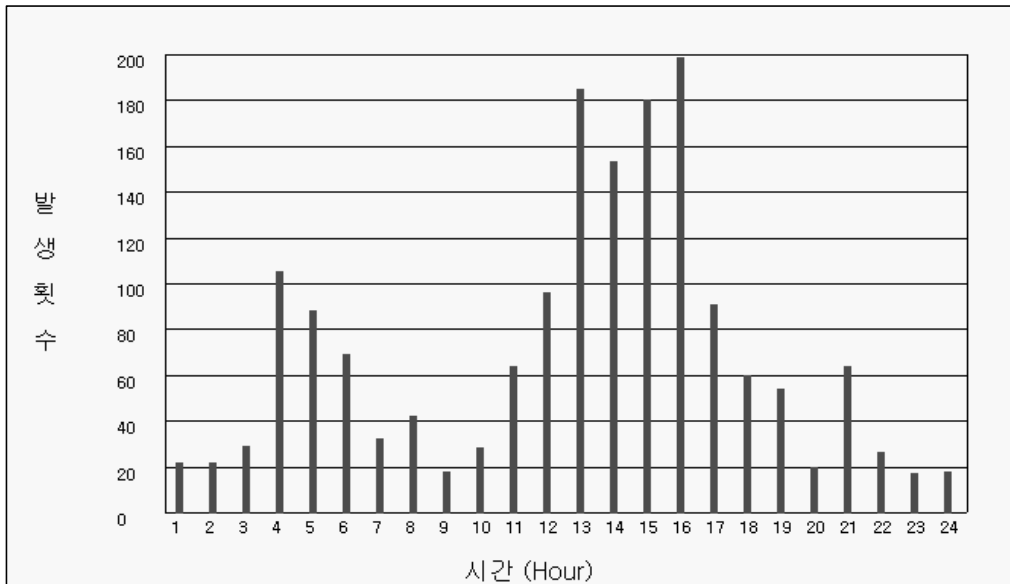


그림 33(b). 2009년 4월 시간별 낙뢰발생 횟수

5) 2009년 5월

5월은 낙뢰 발생 횟수가 26일에 약 2,200회로 가장 많이 발생하였으며, 주로 20일 이후의 말경에 낙뢰의 발생 횟수가 높았다(그림 34(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수를 보면 오후에 발생횟수가 높은 것으로 나타났다(그림 34(b)).

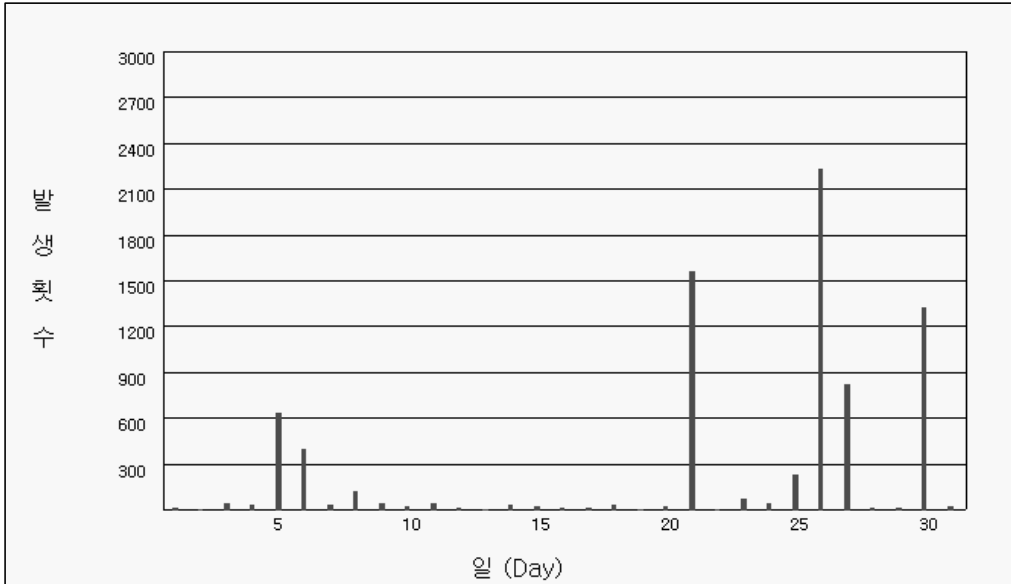


그림 34(a). 2009년 5월 일별 낙뢰발생 횟수

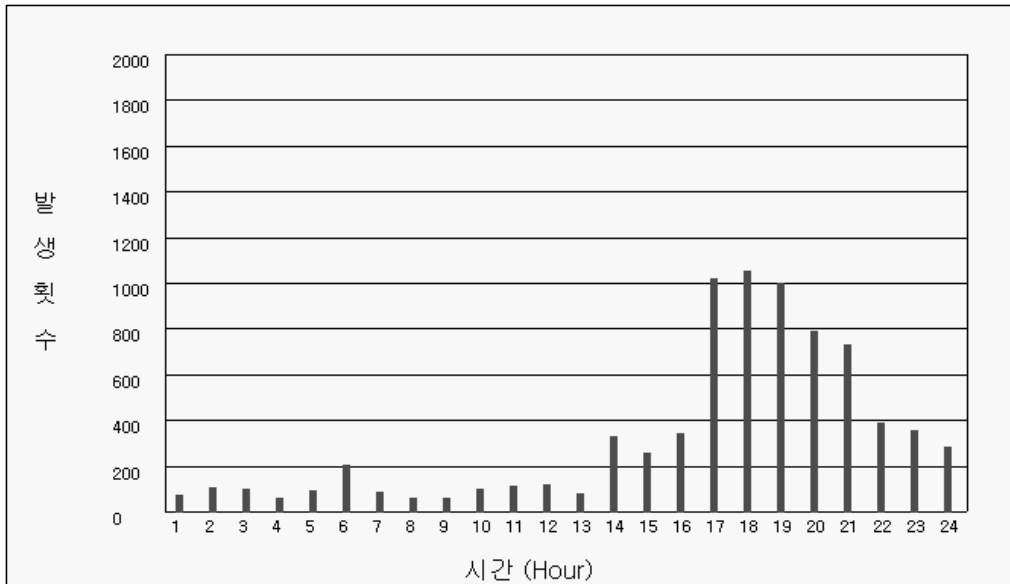


그림 34(b). 2009년 5월 시간별 낙뢰발생 횟수

6) 2009년 6월

6월은 낙뢰 발생 횟수가 초순에 가장 많이 발생하였다(그림 35(a)). 2일에 약 48,000회로 가장 많은 낙뢰가 발생하였다. 시간별 낙뢰발생 횟수는 그림 35(b)와 같다.

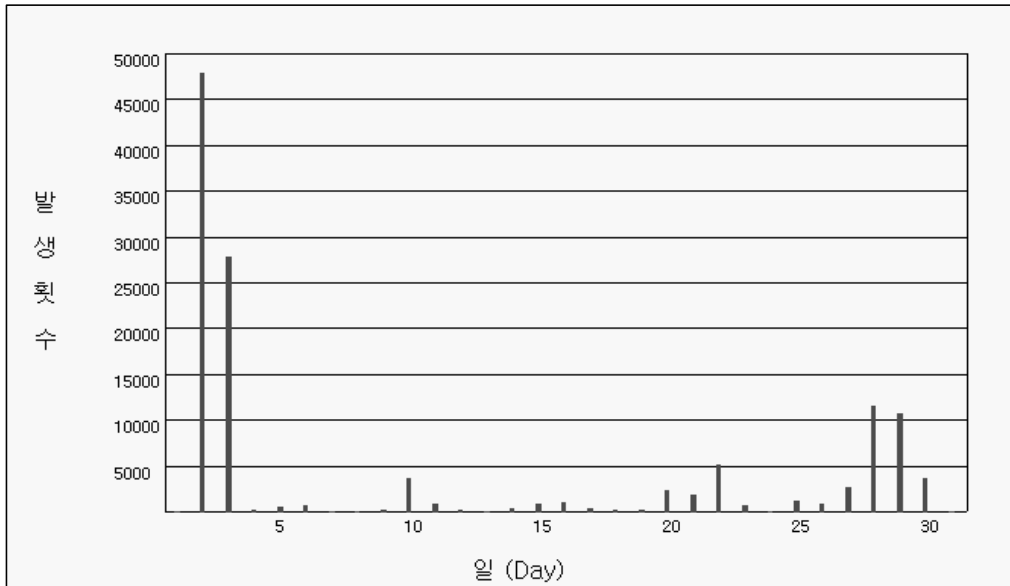


그림 35(a). 2009년 6월 일별 낙뢰발생 횟수

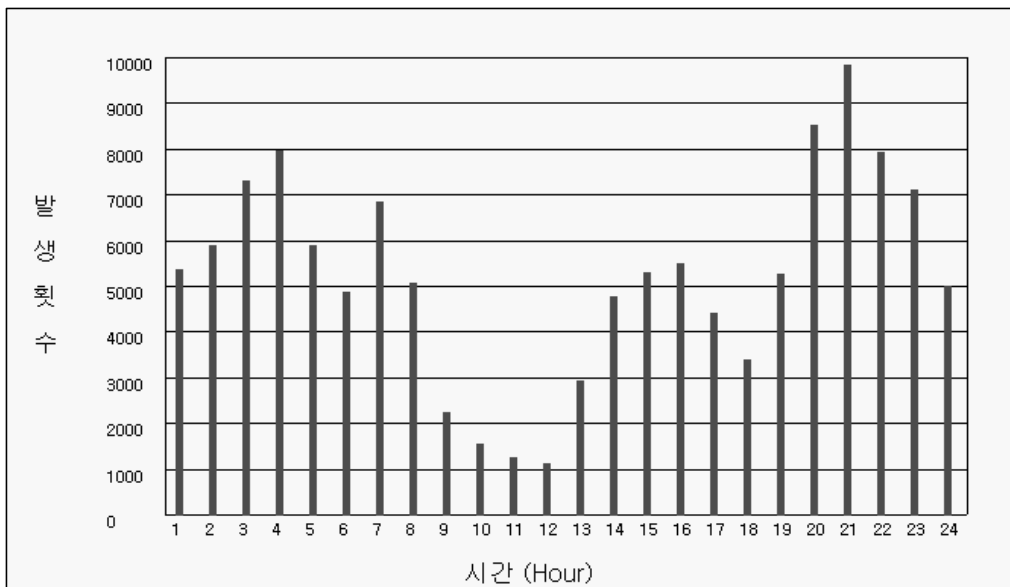


그림 35(b). 2009년 6월 시간별 낙뢰발생 횟수

7) 2009년 7월

7월은 2009년 중 전국적으로 낙뢰가 가장 많이 발생하였으며, 발생 횟수는 21일에 약 54,000회로 가장 많이 발생하였다(그림 36(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수를 보면 오전과 오후 비슷한 분포를 보인다(그림 36(b)).

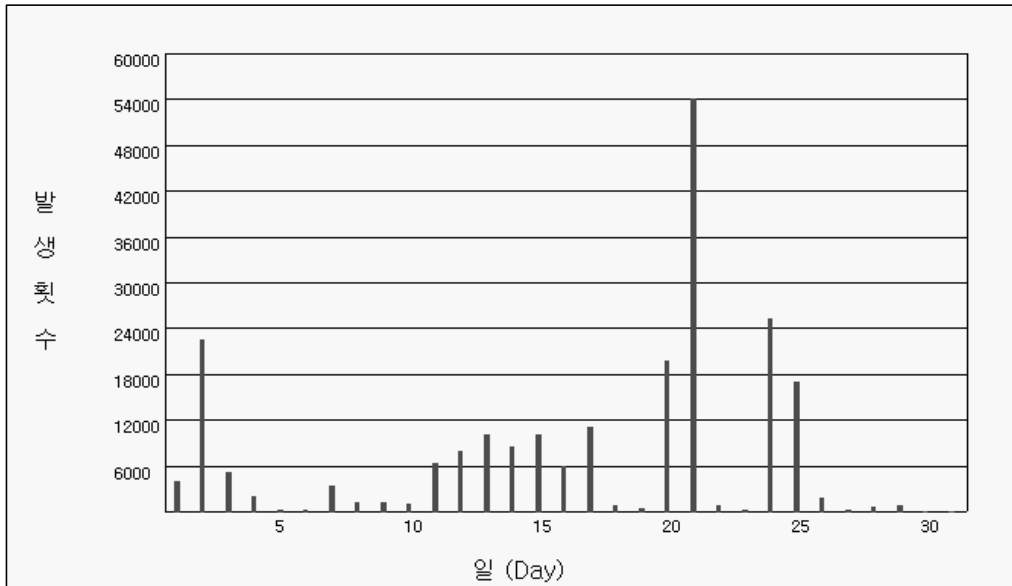


그림 36(a). 2009년 7월 일별 낙뢰발생 횟수

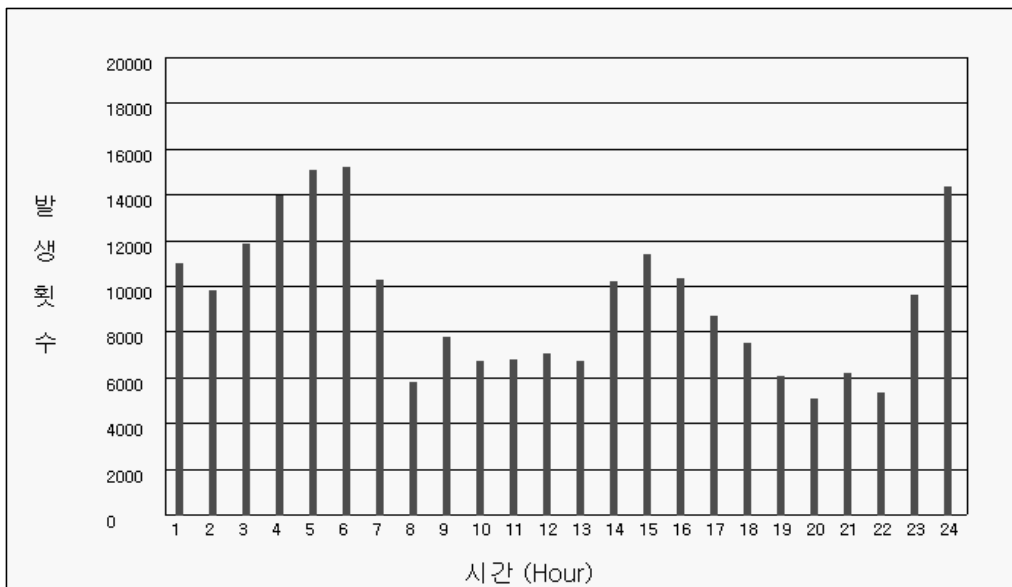


그림 36(b). 2009년 7월 시간별 낙뢰발생 횟수

8) 2009년 8월

8월은 27일과 28일에 집중되어 낙뢰가 발생하였고, 특히 28일에 약 79,000회로 가장 많이 발생하였다(그림 37(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수는 오후보다 오전에 발생빈도가 높은 것으로 나타났다(그림 37(b)).

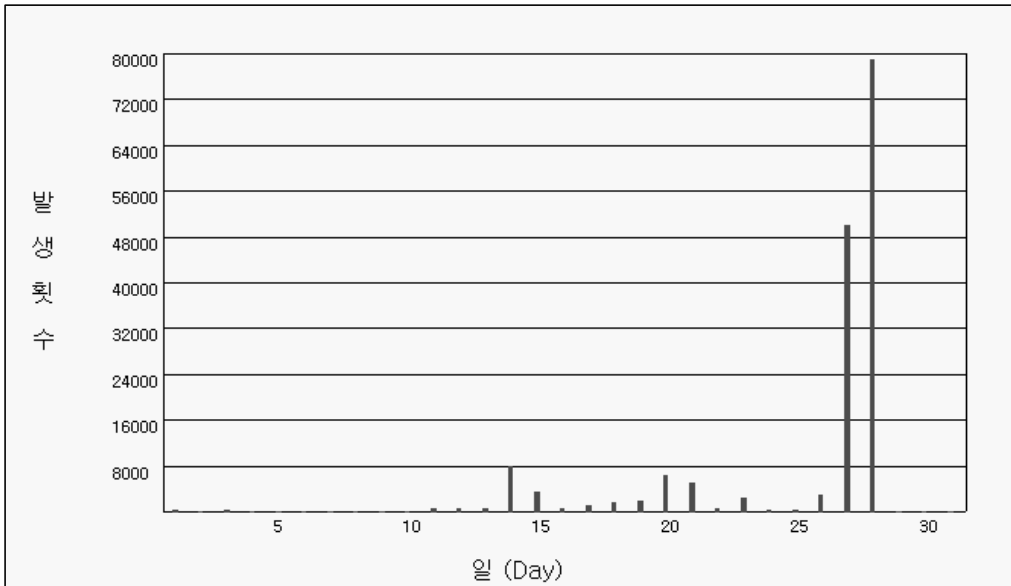


그림 37(a). 2009년 8월 일별 낙뢰발생 횟수

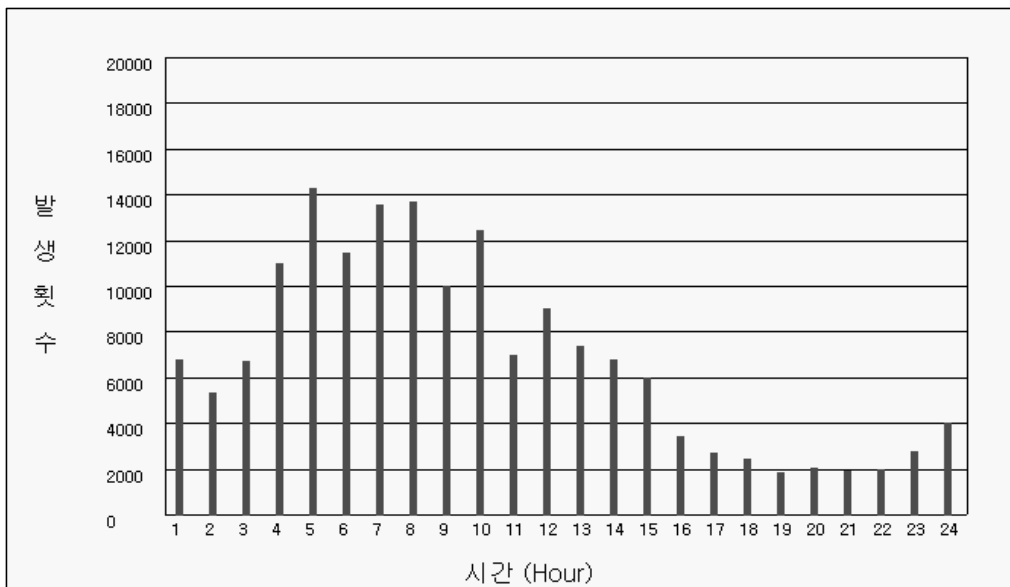


그림 37(b). 2009년 8월 시간별 낙뢰발생 횟수

9) 2009년 9월

9월은 12일에 낙뢰가 약10,000회로 가장 많이 발생했다(그림 38(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전 4시에 가장 많이 발생했다(그림38(b)).

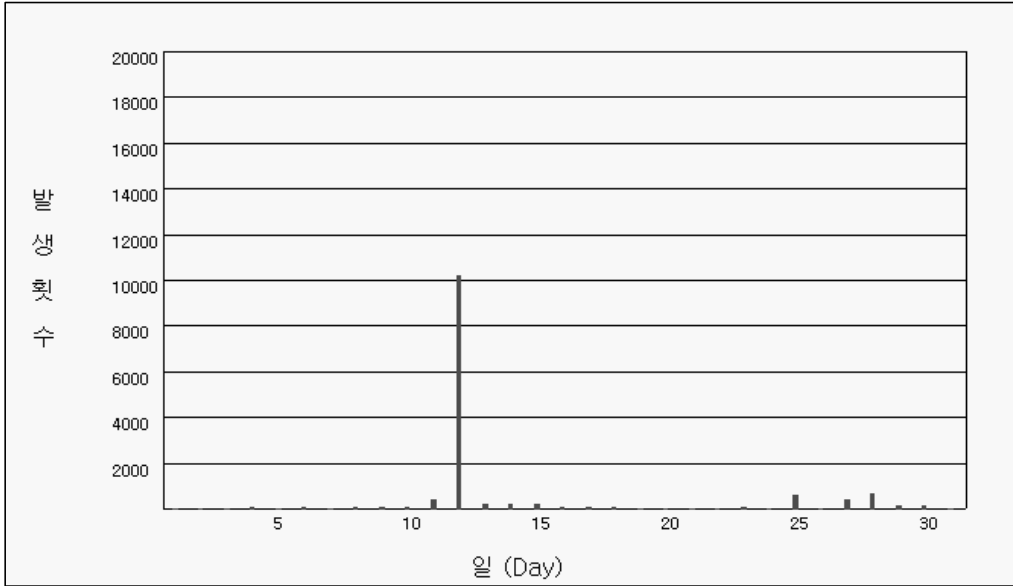


그림 38(a). 2009년 9월 일별 낙뢰발생 횟수

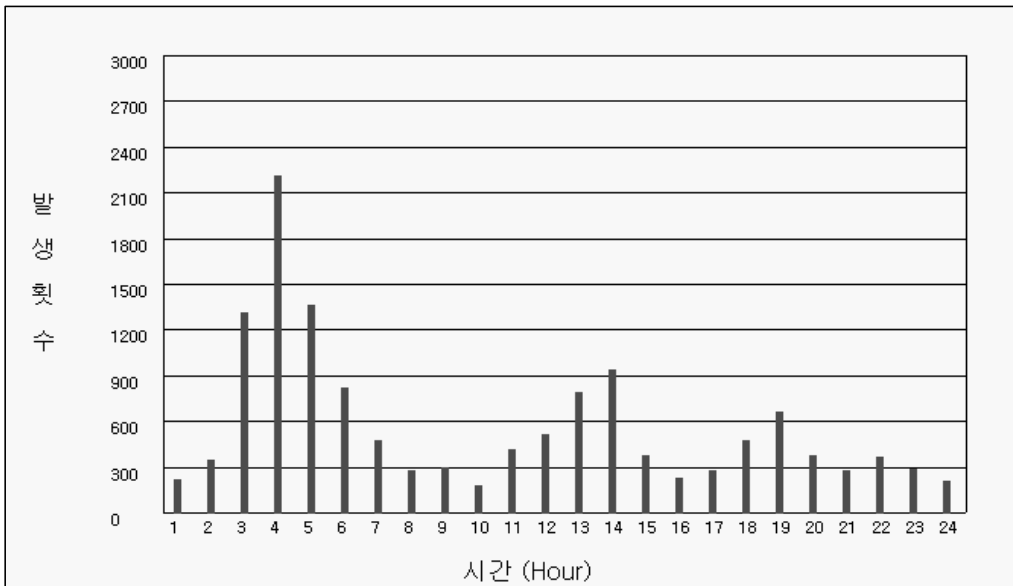


그림 38(b). 2009년 9월 시간별 낙뢰발생 횟수

10) 2009년 10월

10월의 낙뢰는 16일에 최대 약 2,600회 발생 하였으며 나머지는 전반적으로 1,000회 이하로 발생하였다(그림 39(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수는 오후 21시~23시가 2,000회 이상으로 높게 나타났다(그림 39(b)).

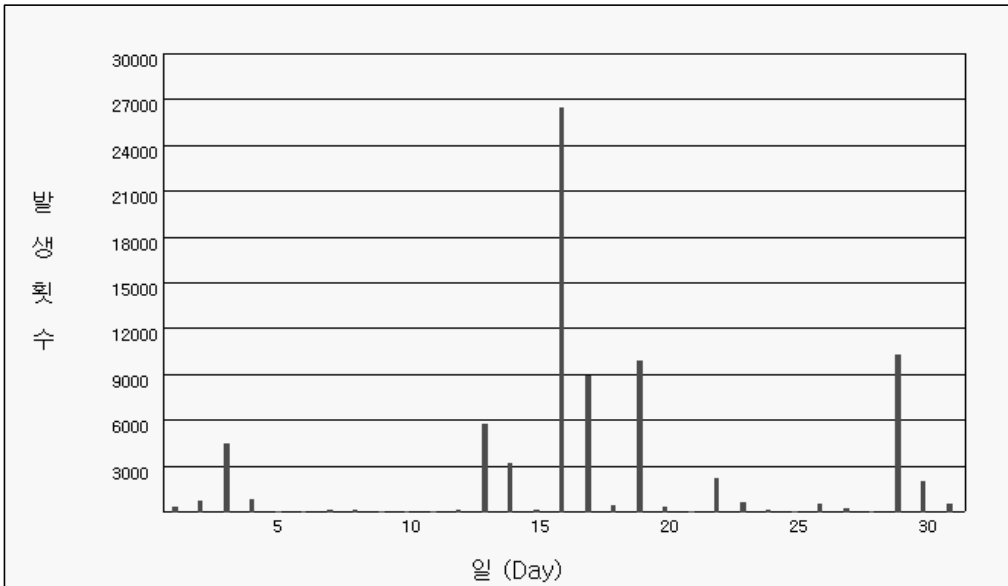


그림 39(a). 2009년 10월 일별 낙뢰발생 횟수

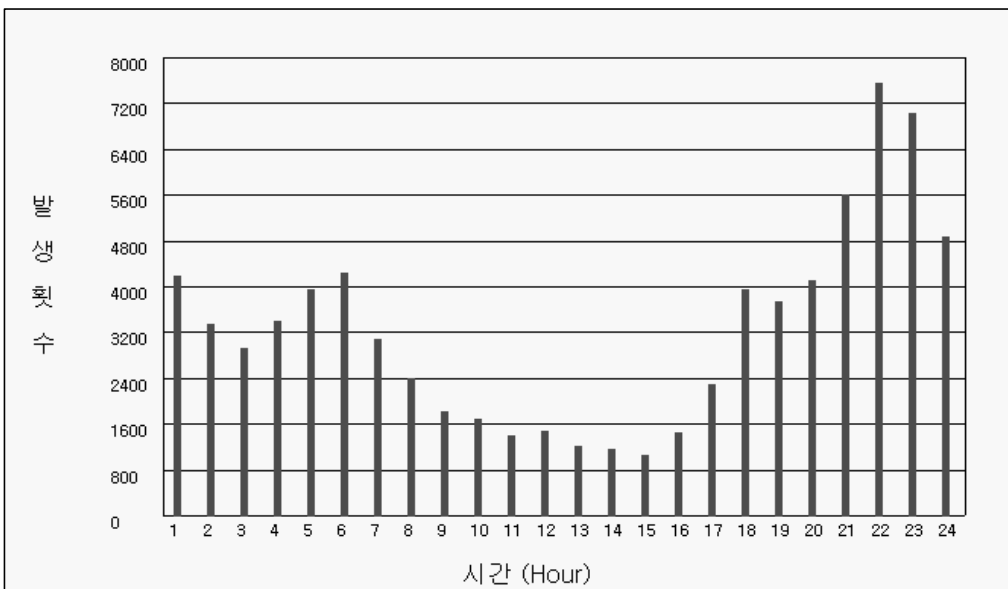


그림 39(b). 2009년 10월 시간별 낙뢰발생 횟수

11) 2009년 11월

11월은 8일에 최고 약 27,000회 발생하였으며, 나머지 대부분은 3,000회 이하로 낙뢰가 발생하였다(그림40(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수는 1시~6시에 2,500회 이상으로 높은 분포를 보였다(그림40(b)).

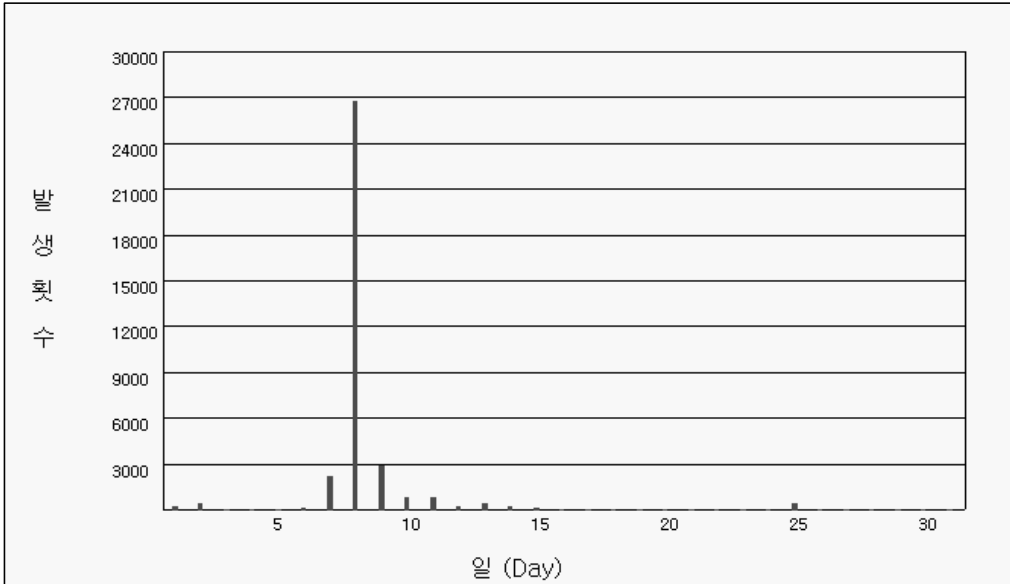


그림 40(a). 2009년 11월 일별 낙뢰발생 횟수

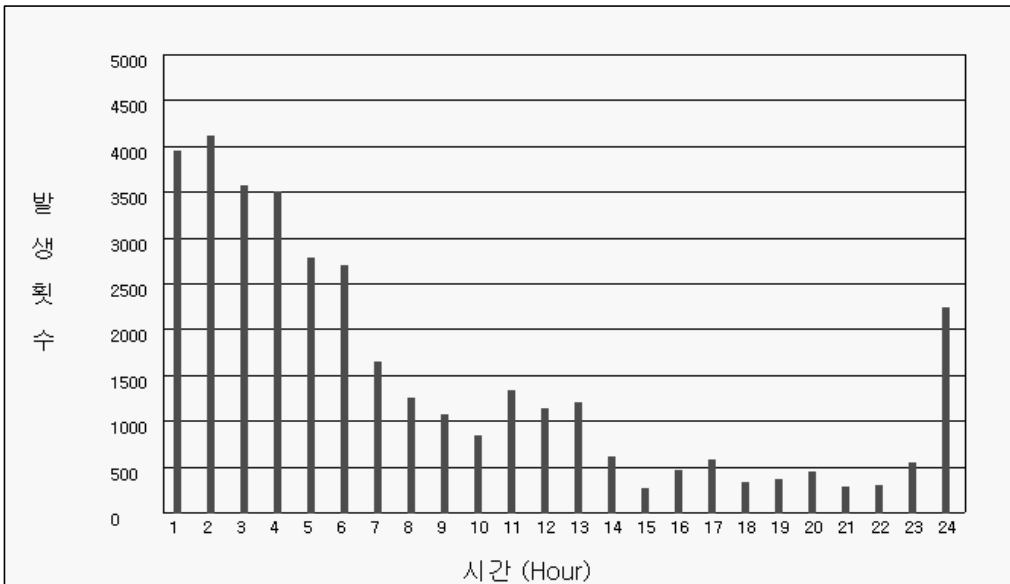


그림 40(b). 2009년 11월 시간별 낙뢰발생 횟수

12) 2009년 12월

12월에는 5일에 최고 약 4,900회 발생하였으며, 나머지 대부분은 400회 이하로 낙뢰가 발생하였다(그림41(a)). 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전 8시에 약 1,650회로 최대 횟수가 발생하였다(그림41(b)).

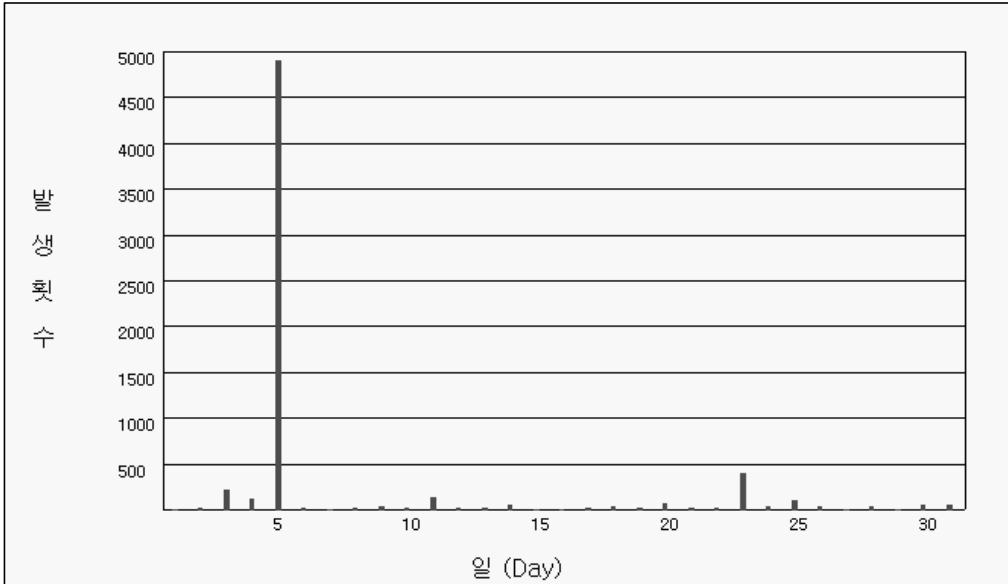


그림 41(a). 2009년 12월 일별 낙뢰발생 횟수

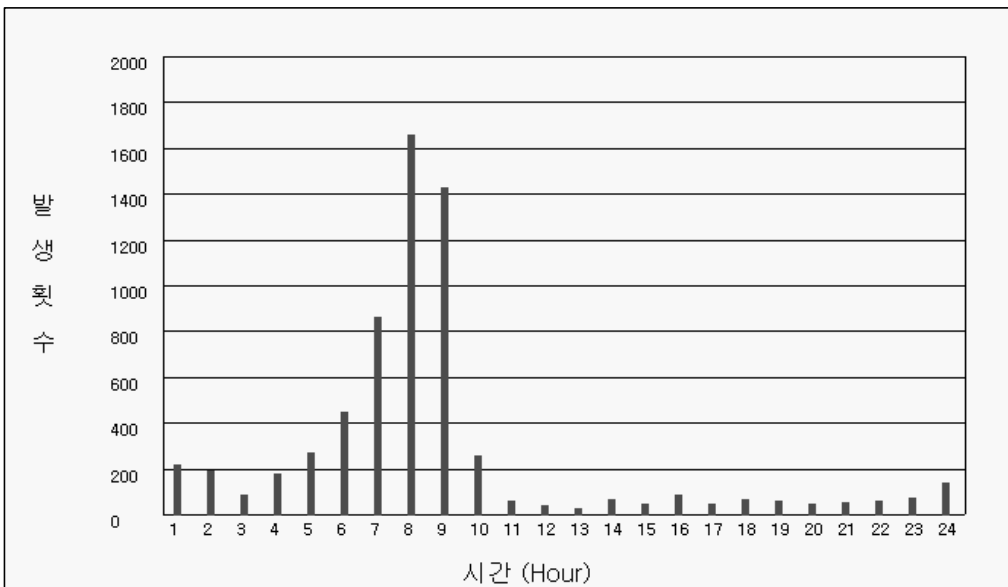


그림 41(b). 2009년 12월 시간별 낙뢰발생 횟수

나. 계절별

봄철에는 일출과 일몰 시간에, 여름철에는 전 시간대 걸쳐 발생 하였으며, 가을철에는 밤에, 겨울철에는 새벽 및 오전 시간대에 주로 발생하였다.

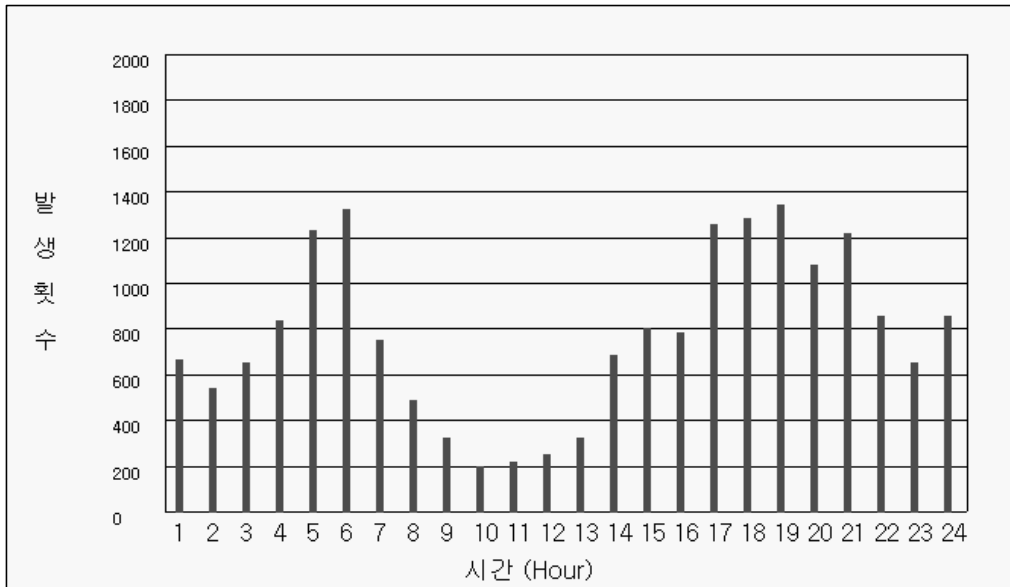


그림 42. 2009년 봄(3~5월) 시간별 낙뢰발생 횟수

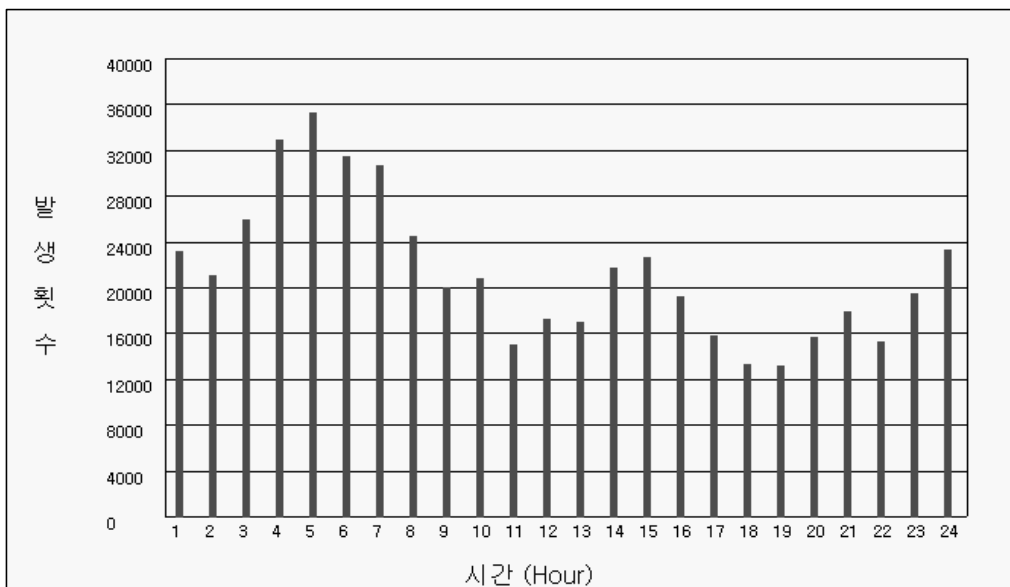


그림 43. 2009년 여름(6~8월) 시간별 낙뢰발생 횟수

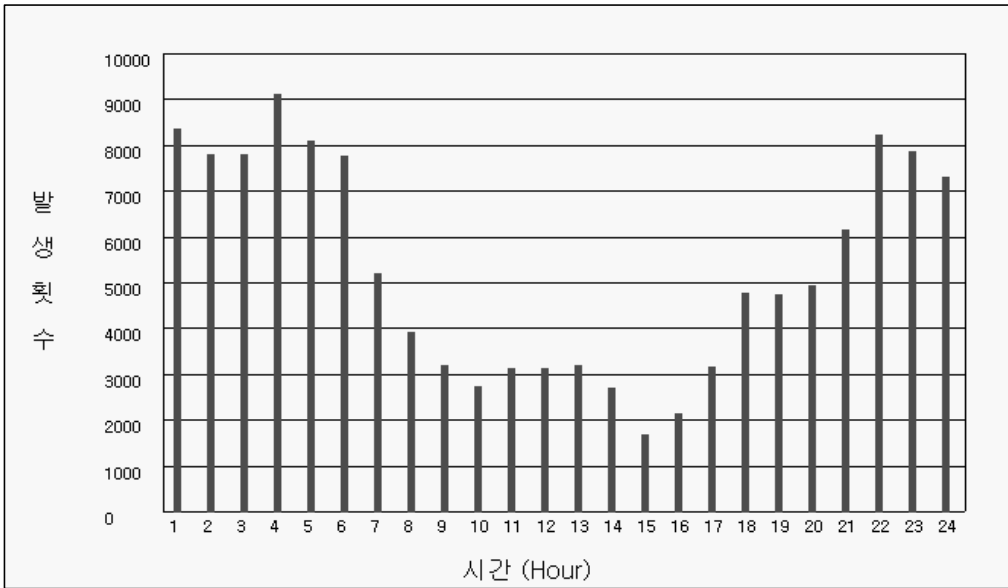


그림 44. 2009년 가을(9~11월) 시간별 낙뢰발생 횟수

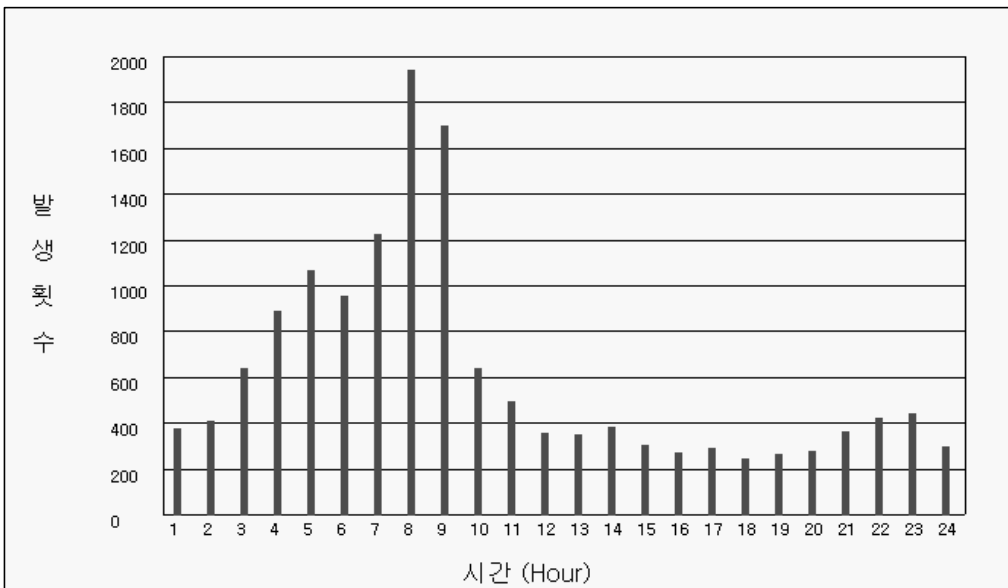


그림 45. 2009년 겨울(12~'10.2월) 시간별 낙뢰발생 횟수

다. 연간, 시간별

1) 2003년

그림 46(a)와 그림 46(b)에 2003년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 7, 8월에 2시~7시 사이에 많이 발생하여 전체적으로 0시~8시에 많이 발생했다.

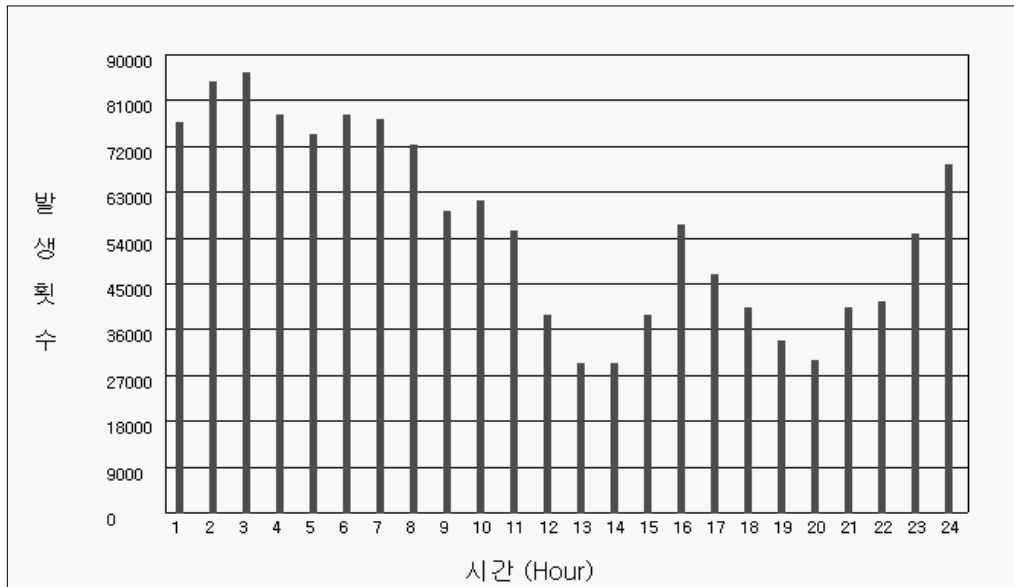


그림 46(a). 2003년 시간별 낙뢰발생 횟수

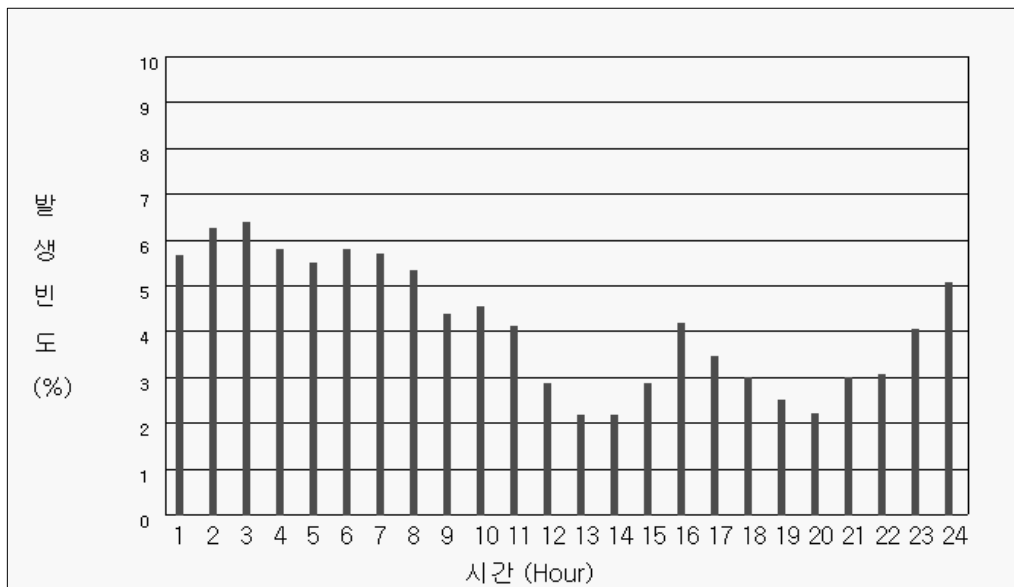


그림 46(b). 2003년 시간별 낙뢰발생 빈도

2) 2004년

그림 46(c)와 그림 46(d)에 2004년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전에 7시~8시경, 오후에는 15시~18시경에 많이 발생했다.

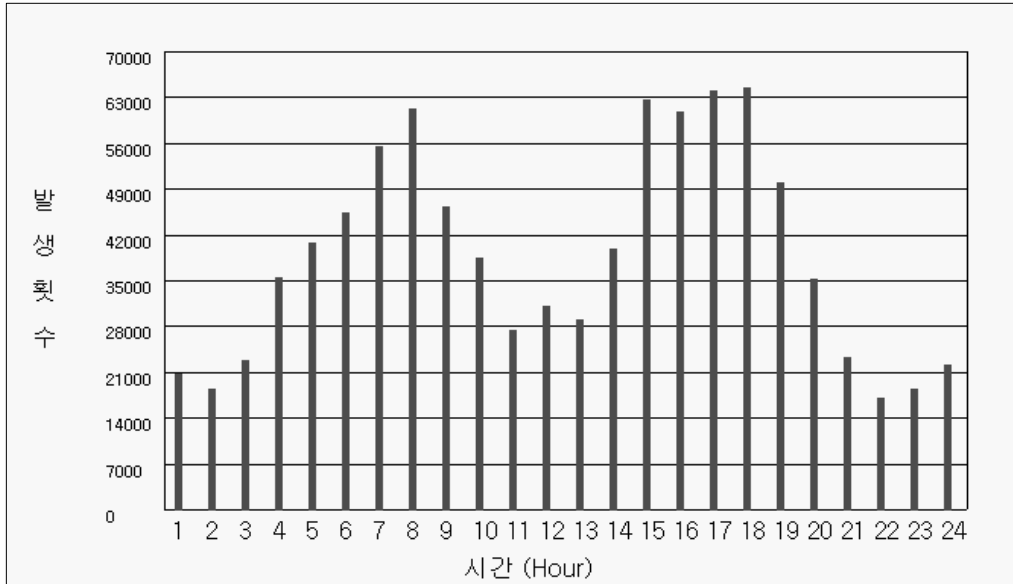


그림 46(c). 2004년 시간별 낙뢰발생 횟수

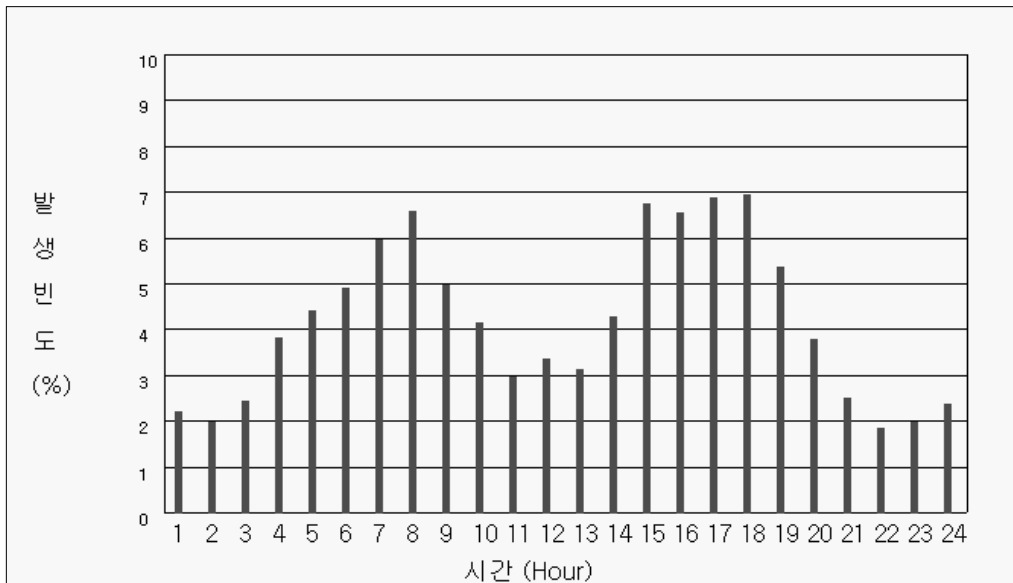


그림 46(d). 2004년 시간별 낙뢰발생 빈도

3) 2005년

그림 46(e)와 그림 46(f)에 2005년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰 발생횟수는 오전에는 6시경, 오후에는 17시경에 많이 발생했으며 상대적으로 낮 10시~12시에는 적게 발생했다.

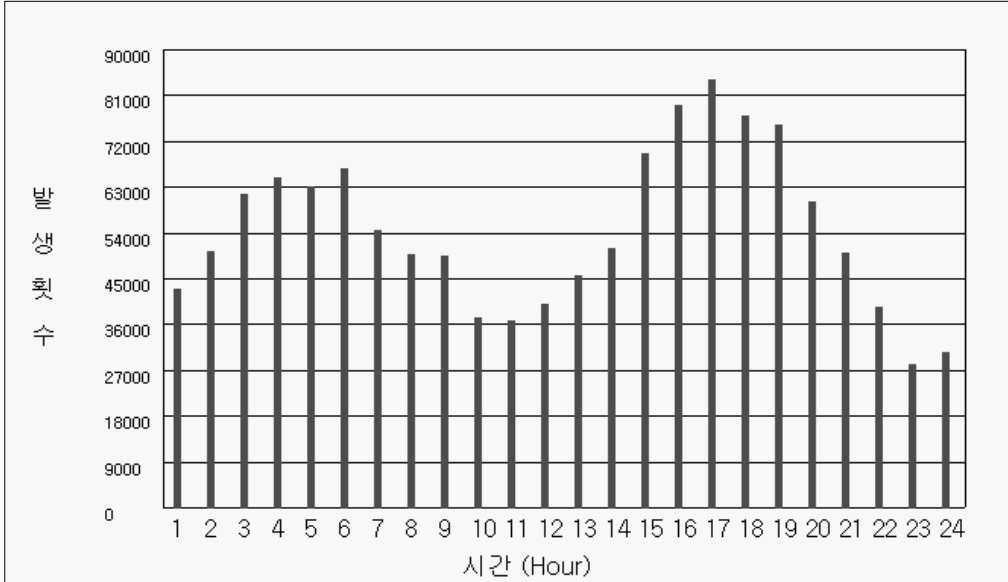


그림 46(e). 2005년 시간별 낙뢰발생 횟수

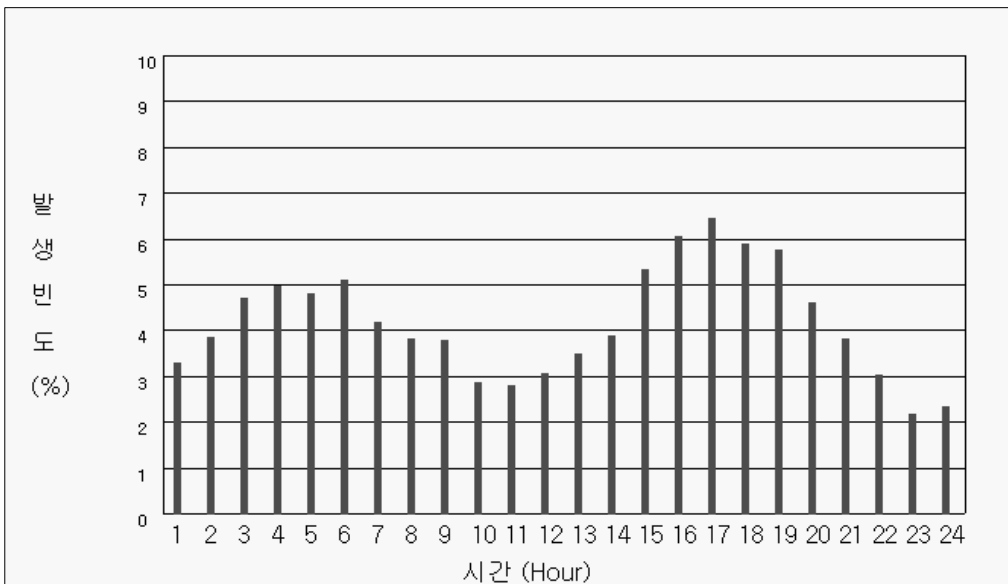


그림 46(f). 2005년 시간별 낙뢰발생 빈도

4) 2006년

그림 46(g)와 그림 46(h)에 2006년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전에는 7시경, 오후에는 16시~17시경에 많이 발생했으며 상대적으로 오후에 더 많이 발생했다.

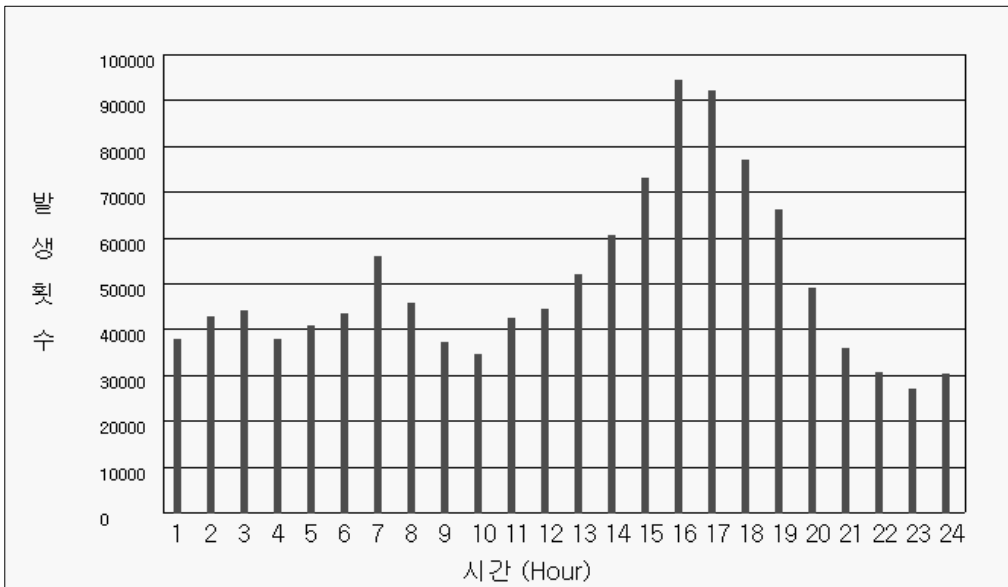


그림 46(g). 2006년 시간별 낙뢰발생 횟수

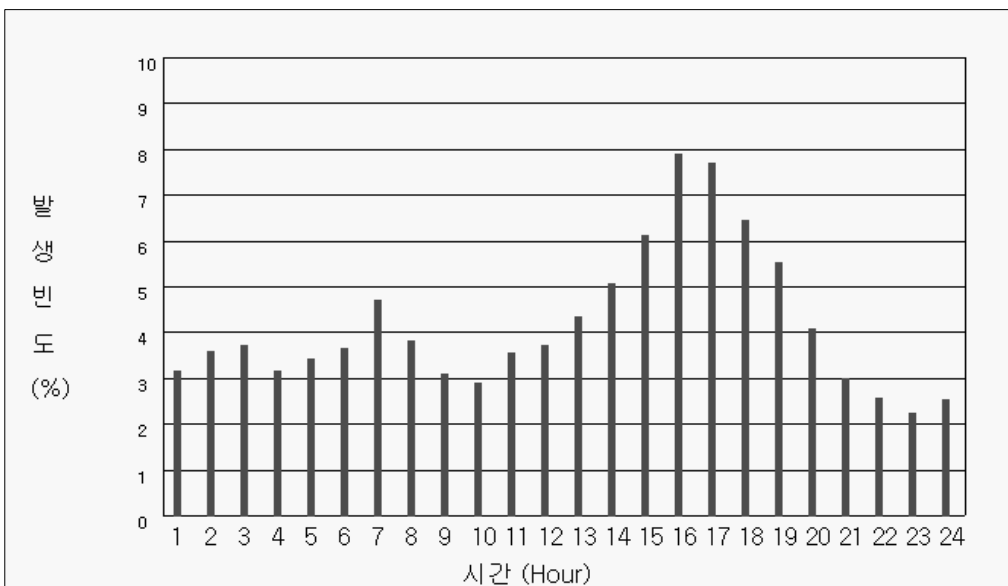


그림 46(h). 2006년 시간별 낙뢰발생 빈도

5) 2007년

그림 46(i)와 그림 46(j)에 2007년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전에 7~9시경, 오후에는 13~17시경에 많이 발생했으며 상대적으로 밤보다 낮에 많이 발생했다.

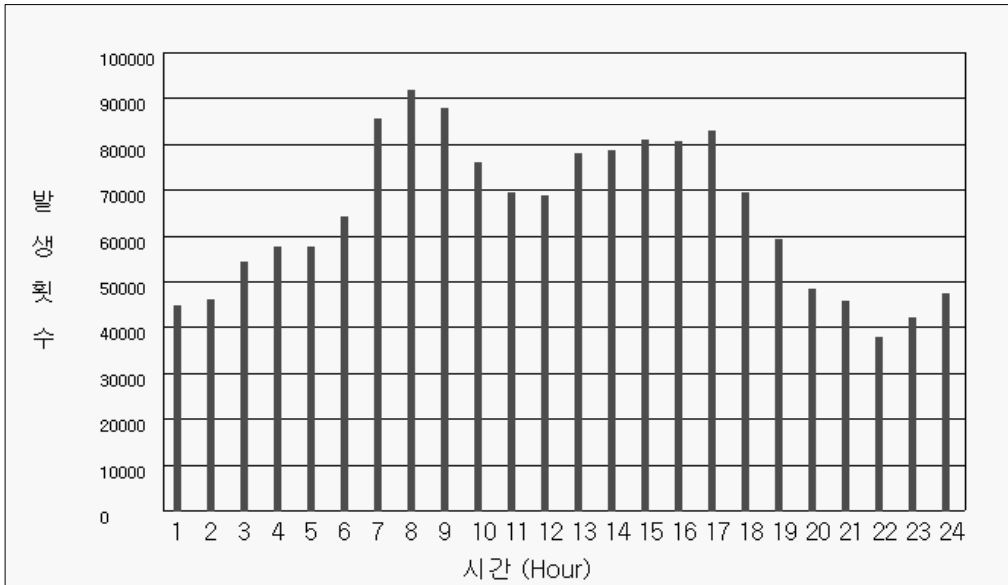


그림 46(i). 2007년 시간별 낙뢰발생 횟수

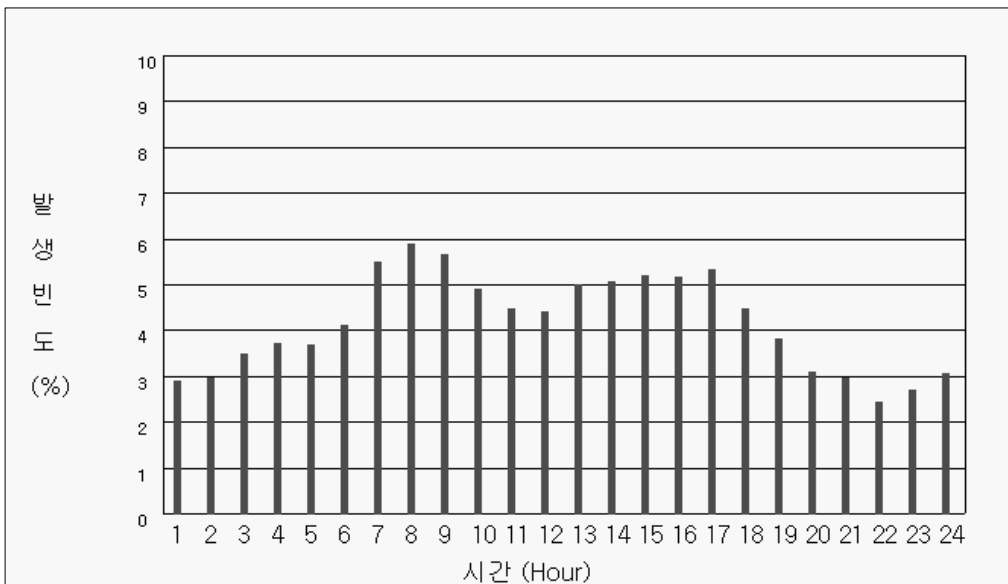


그림 46(j). 2007년 시간별 낙뢰발생 빈도

6) 2008년

그림 46(k)와 그림 46(l)에 2008년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 오후 19시경에 최대의 분포를 보였다.

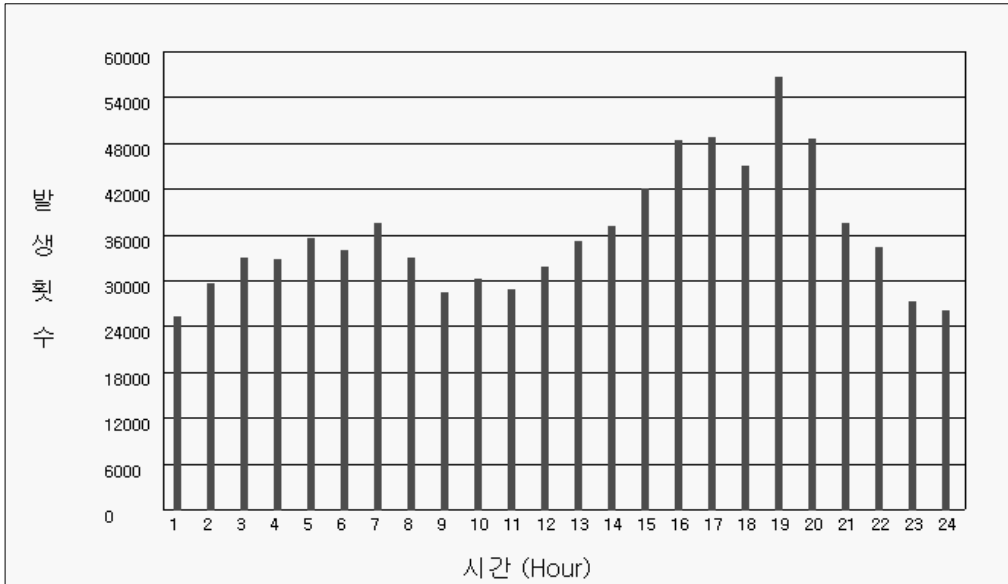


그림 46(k). 2008년 시간별 낙뢰발생 횟수

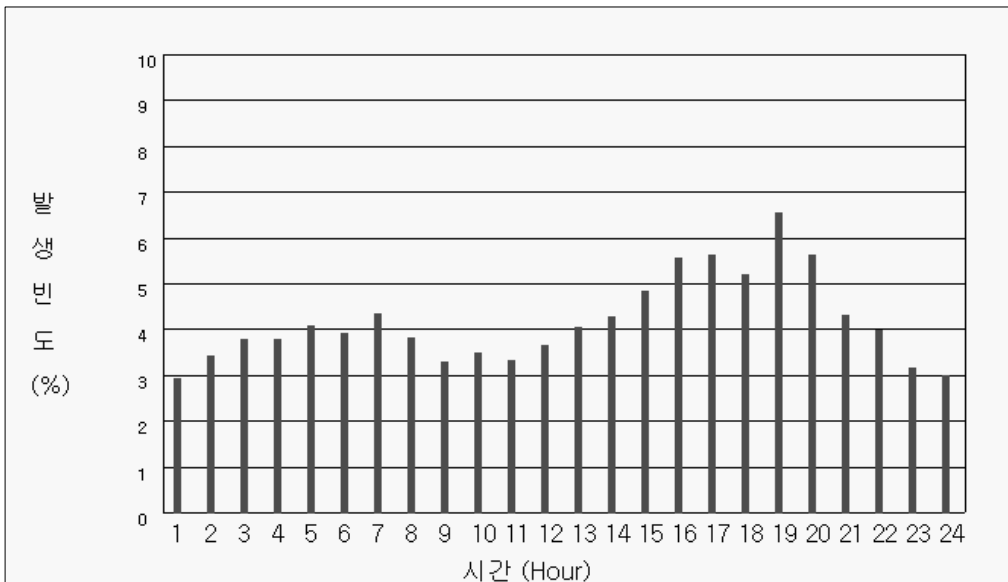


그림 46(l). 2008년 시간별 낙뢰발생 빈도

7) 2009년

그림 46(m)와 그림 46(n)에 2009년 시간별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 시간별 낙뢰발생 횟수는 오전에 4~6시경, 오후에는 23~24시경에 많이 발생했으며 상대적으로 낮보다 새벽이나 밤에 많이 발생했다.

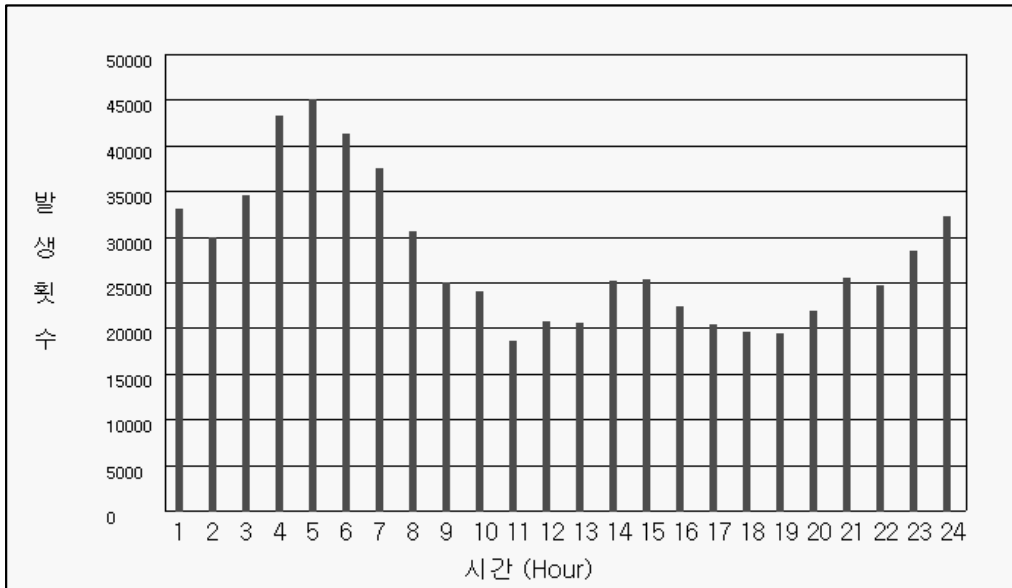


그림 46(m). 2009년 시간별 낙뢰발생 횟수

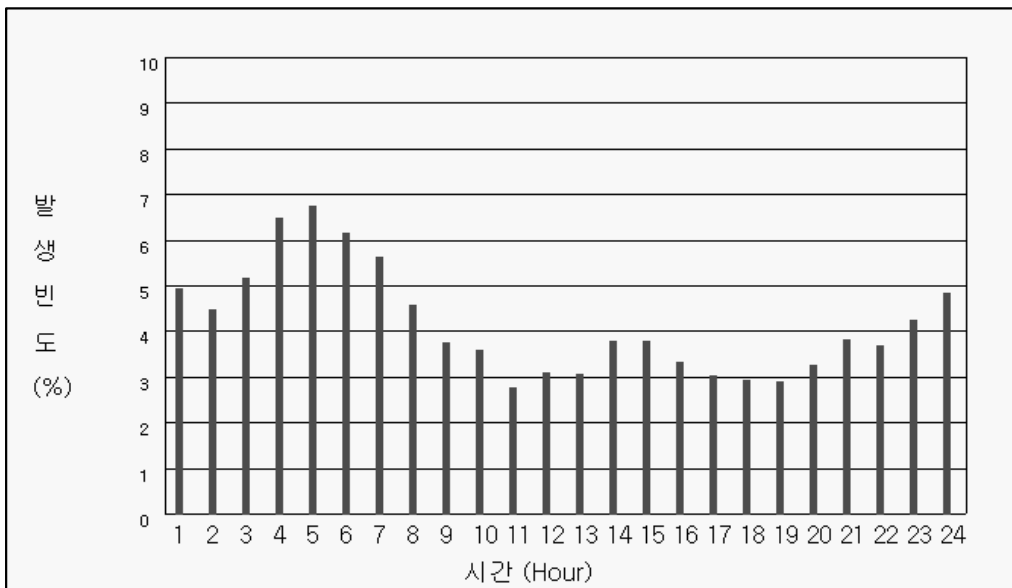


그림 46(n). 2009년 시간별 낙뢰발생 빈도

라. 연간, 월별

1) 2003년

그림 47(a)과 그림 47(b)에 2003년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 낙뢰는 여름철인 7월에 약 420,000회, 8월에 약 540,000회 발생하였고 발생빈도가 7월에 30%, 8월에 40%로 두 달 동안 70%가 발생했다.

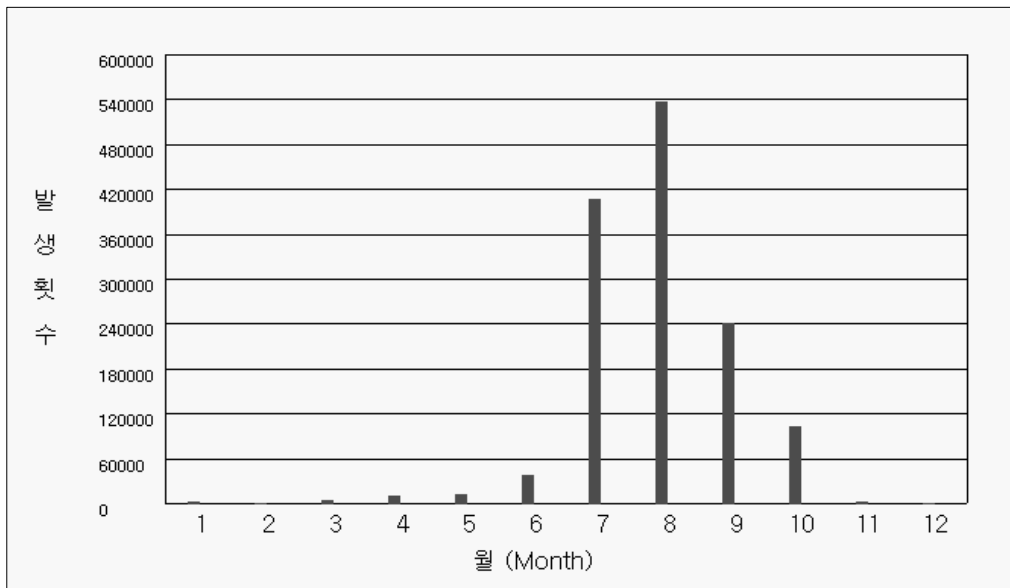


그림 47(a). 2003년 월별 낙뢰발생 횟수

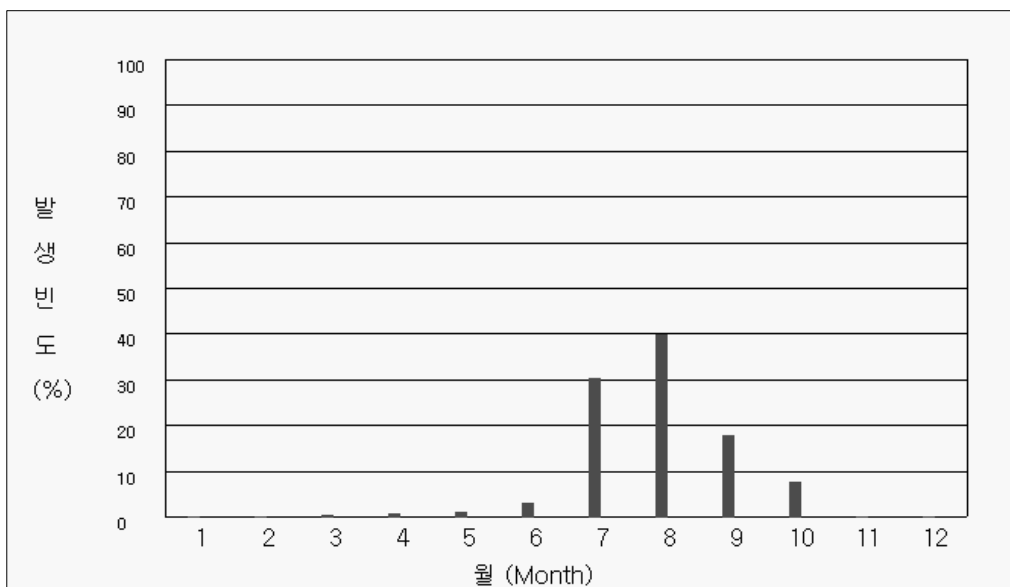


그림 47(b). 2003년 월별 낙뢰발생 빈도

2) 2004년

그림 47(c)과 그림 47(d)에 2004년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 낙뢰는 여름철인 7월에 390,000, 8월에 270,000회 발생하였고, 발생 빈도가 7월에 42%, 8월에 30%로 두 달 동안 72%가 발생했다.

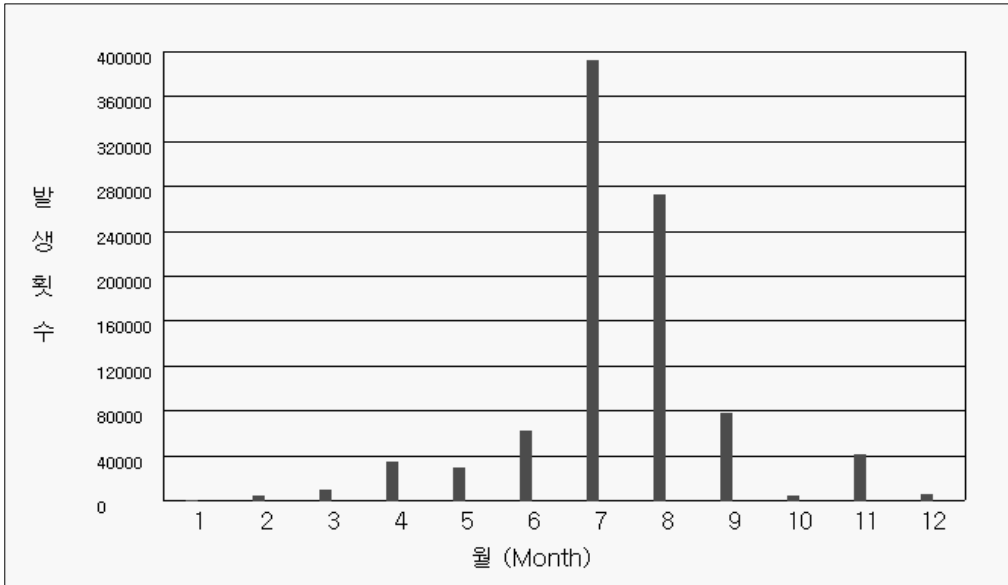


그림 47(c). 2004년 월별 낙뢰발생 횟수

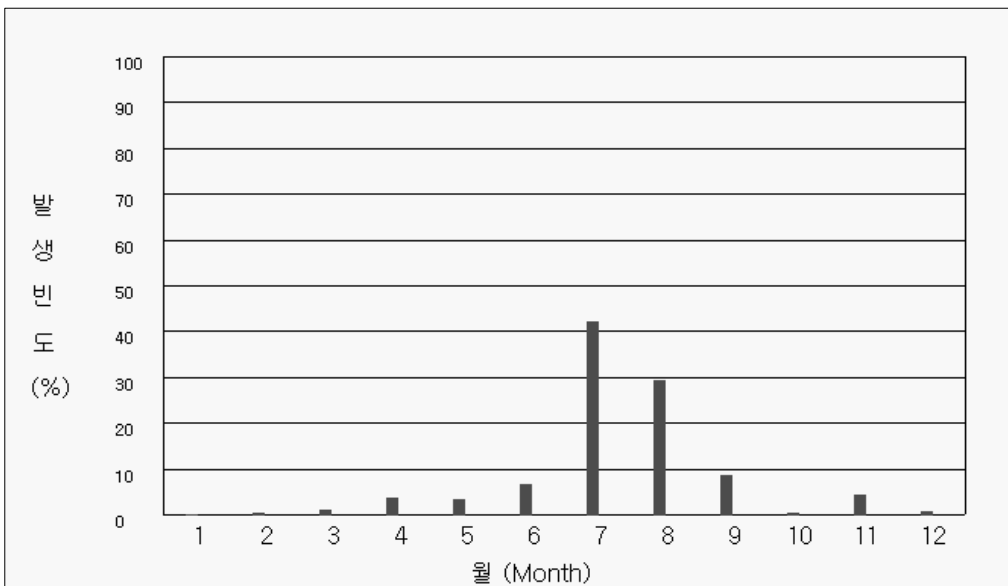


그림 47(d). 2004년 월별 낙뢰발생 횟수

3) 2005년

그림 47(e)과 그림 47(f)에 2005년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었고, 이 도표에서 낙뢰는 여름철에 많이 발생하였으며, 특히 8월에 610,000회 발생하였고, 발생빈도가 47%로 절반정도 나타났다.

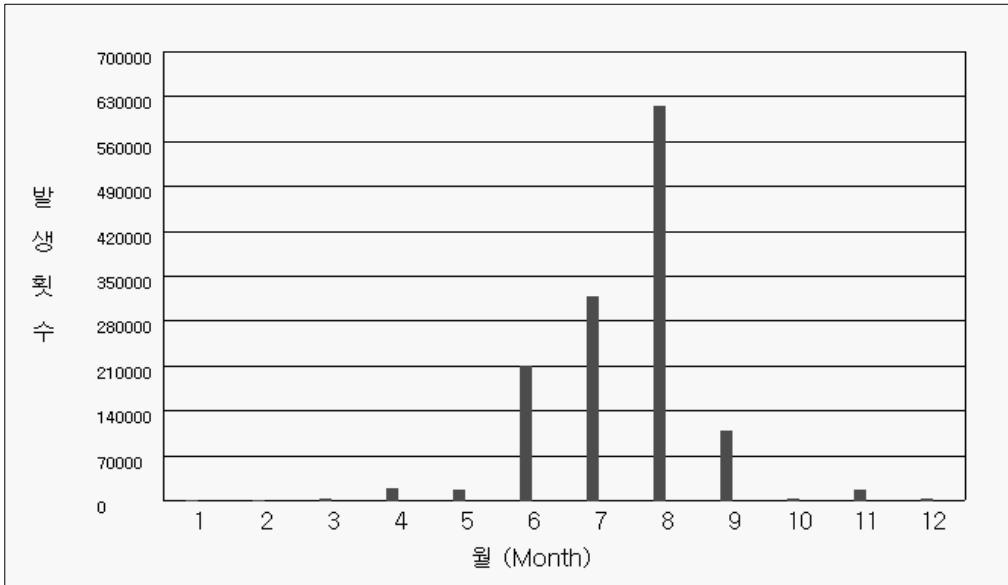


그림 47(e). 2005년 월별 낙뢰발생 횟수

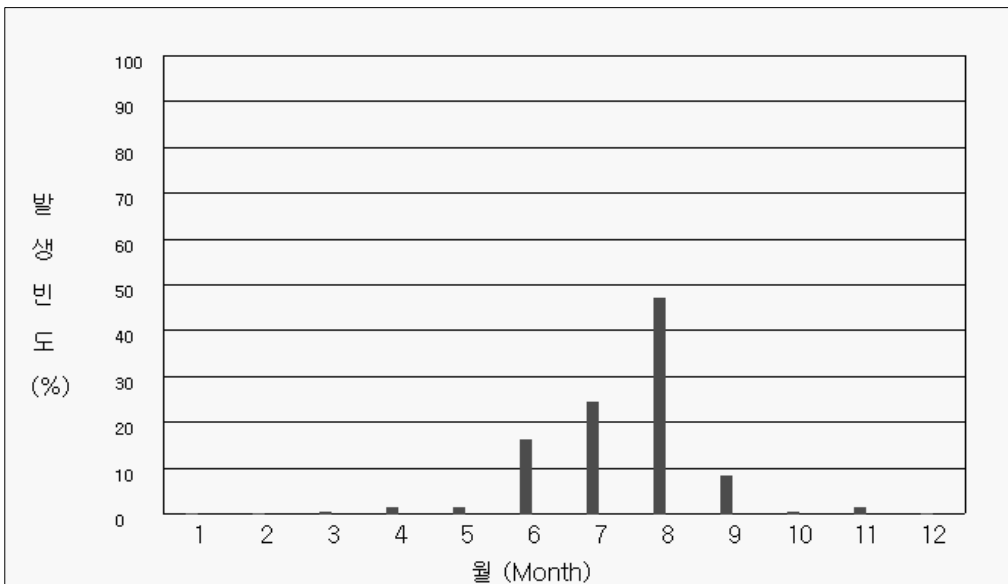


그림 47(f). 2005년 월별 낙뢰발생 빈도

4) 2006년

그림 47(g)과 그림 47(h)에 2006년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었다. 이 도표에서 낙뢰는 6월에 360,000회, 7월에 250,000회, 8월에 280,000회 발생하였고, 여름철 세 달 동안의 발생빈도가 75%로 대부분의 낙뢰가 여름철에 발생했다.

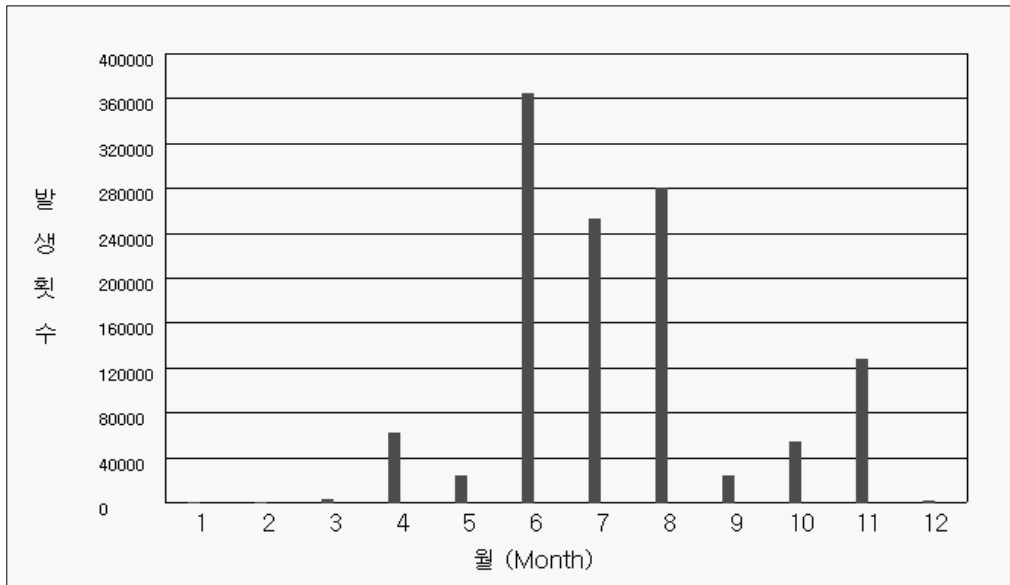


그림 47(g). 2006년 월별 낙뢰발생 횟수

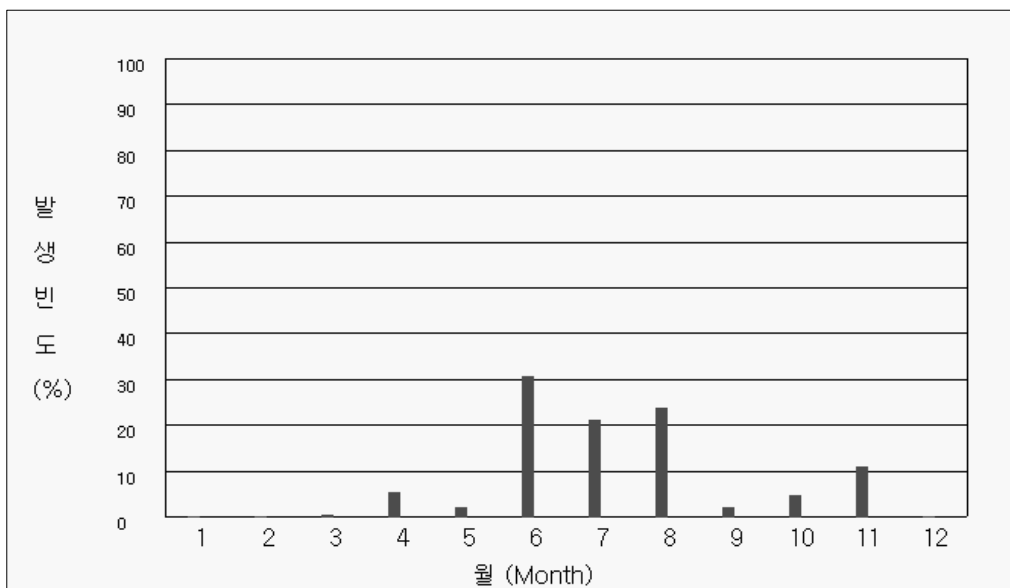


그림 47(h). 2006년 월별 낙뢰발생 빈도

5) 2007년

그림 47(i)과 그림 47(j)에 2007년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었다. 이 도표에서 낙뢰는 8월에 650,000회 발생하였으며, 발생 빈도는 59%로 8월에 가장 많이 발생했다.

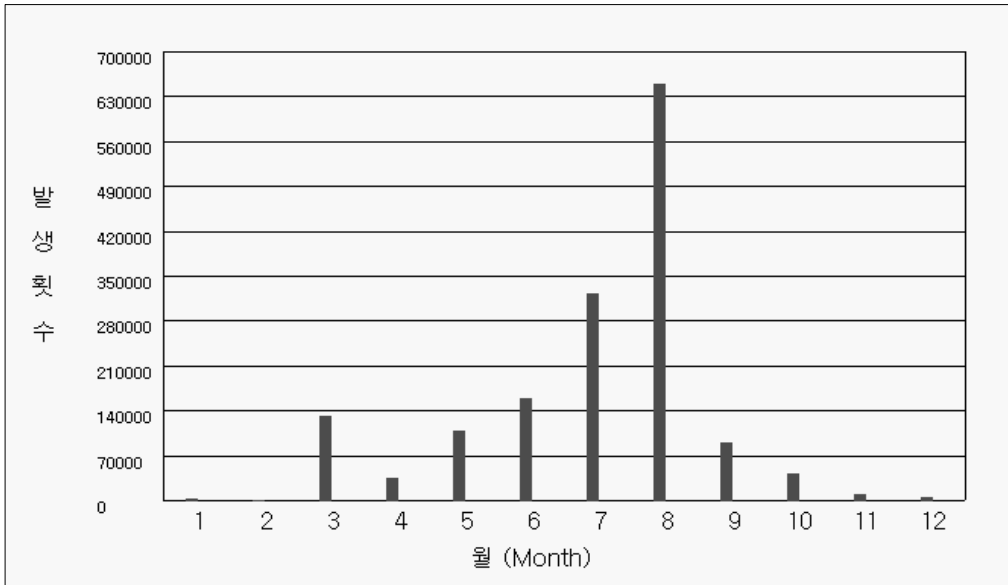


그림 47(i). 2007년 월별 낙뢰발생 횟수

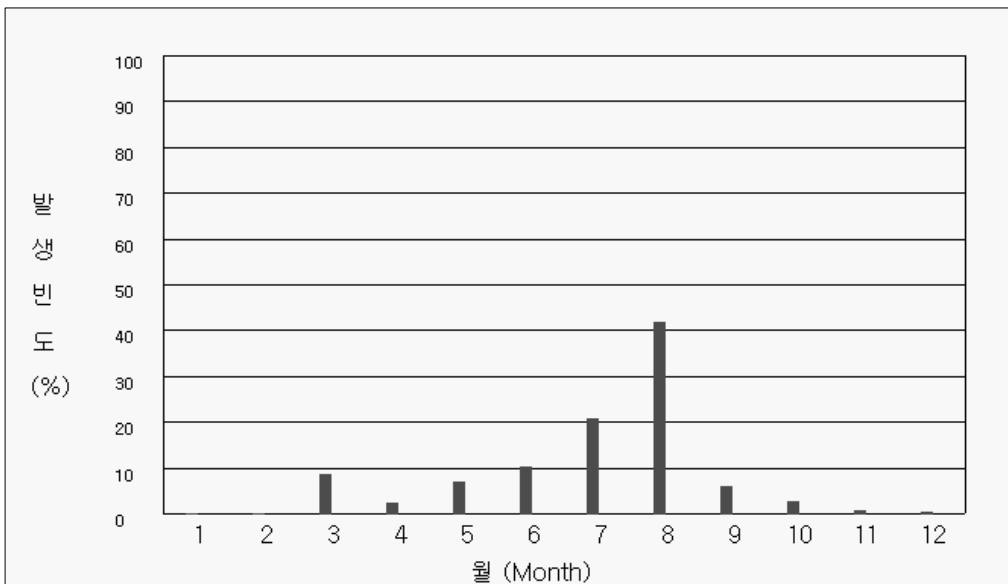


그림 47(j). 2007년 월별 낙뢰발생 빈도

6) 2008년

그림 47(k)과 그림 47(l)에 2008년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었다. 이 도표에서 낙뢰는 8월에 400,000회로 가장 많이 발생하였고 8월 한달 동안의 발생빈도가 48%로 가장 많이 차지했다.

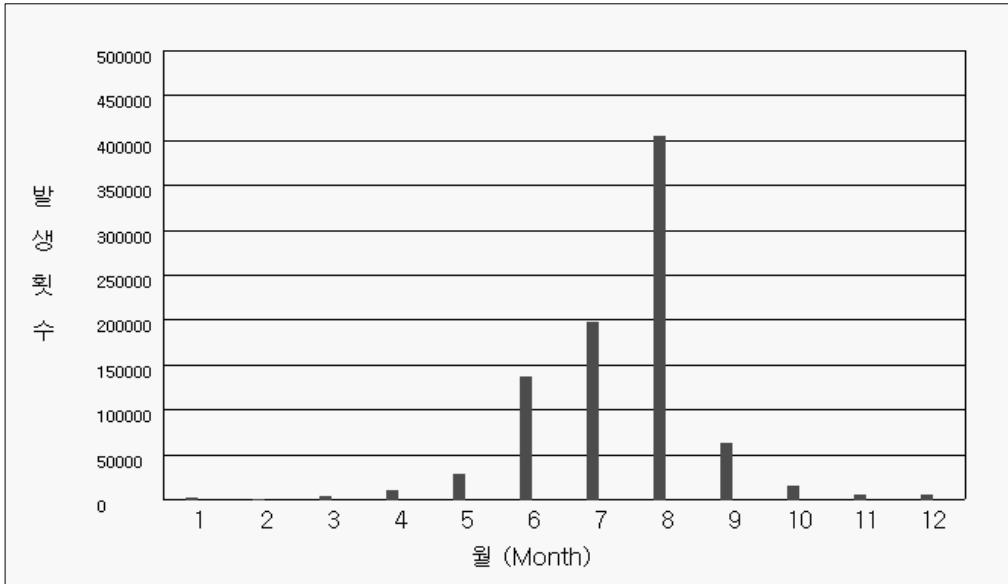


그림 47(k). 2008년 월별 낙뢰발생 횟수

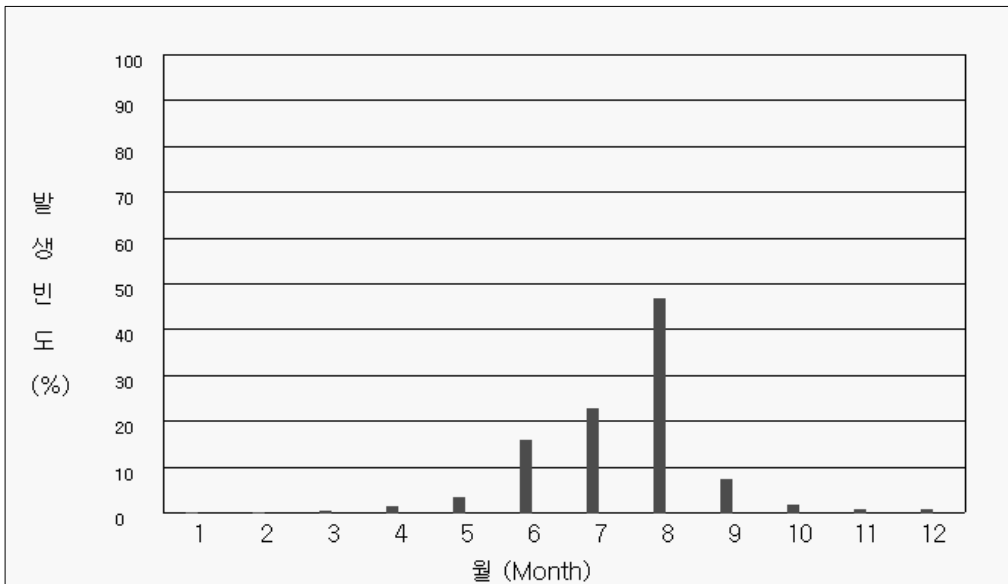


그림 47(l). 2008년 월별 낙뢰발생 빈도

7) 2009년

그림 47(m)과 그림 47(n)에 2009년 월별 낙뢰발생 횟수 및 빈도를 도표로 나타내었다. 이 도표에서 낙뢰는 7월에 약 220,000회 발생하였으며, 발생 빈도도 7월이 33%로 가장 많았다.

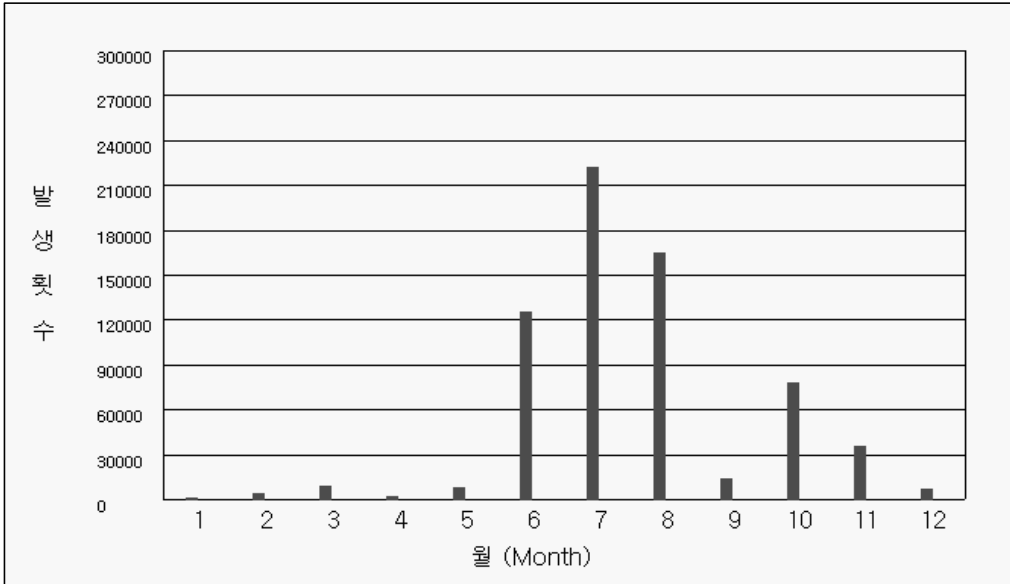


그림 47(m). 2009년 월별 낙뢰발생 횟수

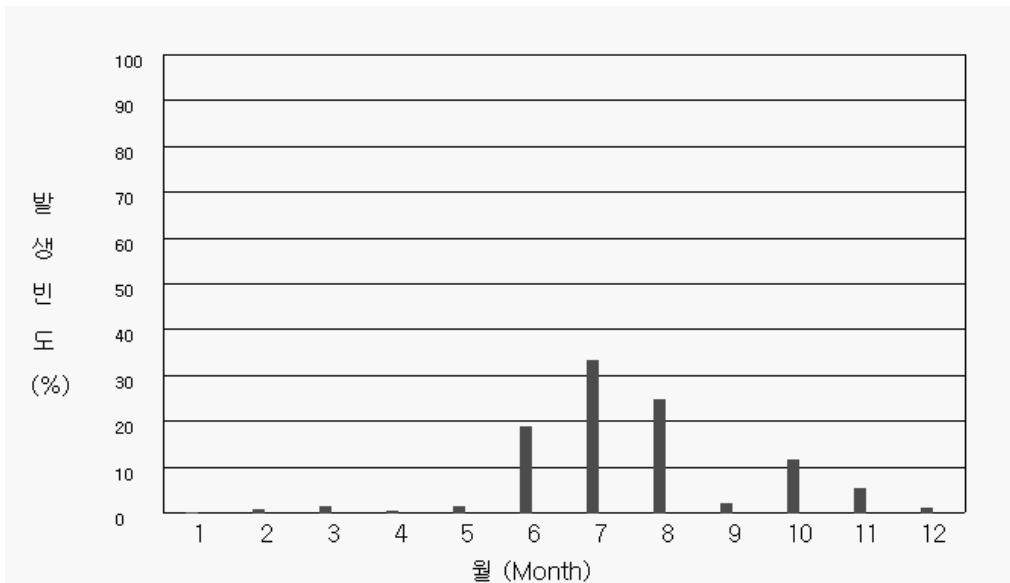


그림 47(n). 2009년 월별 낙뢰발생 빈도

5. 강도 및 극성을 도표 분석

가. 월별 평균강도

최근 7년간 낙뢰의 평균 강도는 그림 48(a), 그림 48(b), 그림 48(c), 그림 48(d), 그림 48(e), 그림 48(f), 그림 29(g)의 도표에서와 같이 겨울철에는 정극성이 크며 여름철에는 상대적으로 낮다. 또한 극성을 간 강도 차도 겨울철에 크며 여름철에는 작다. 부극성 낙뢰의 평균 강도는 월별 차이가 거의 없으며, 7년 모두 7, 8, 9월에 부극성 낙뢰 강도가 정극성 낙뢰 강도보다 큰 값을 가진다.

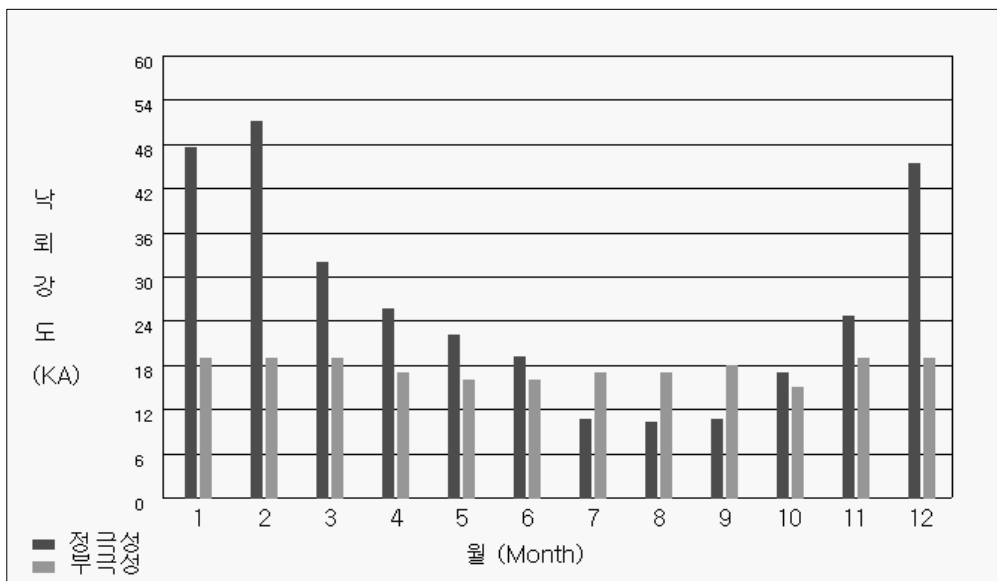


그림 48(a). 2003년 월별 평균 강도

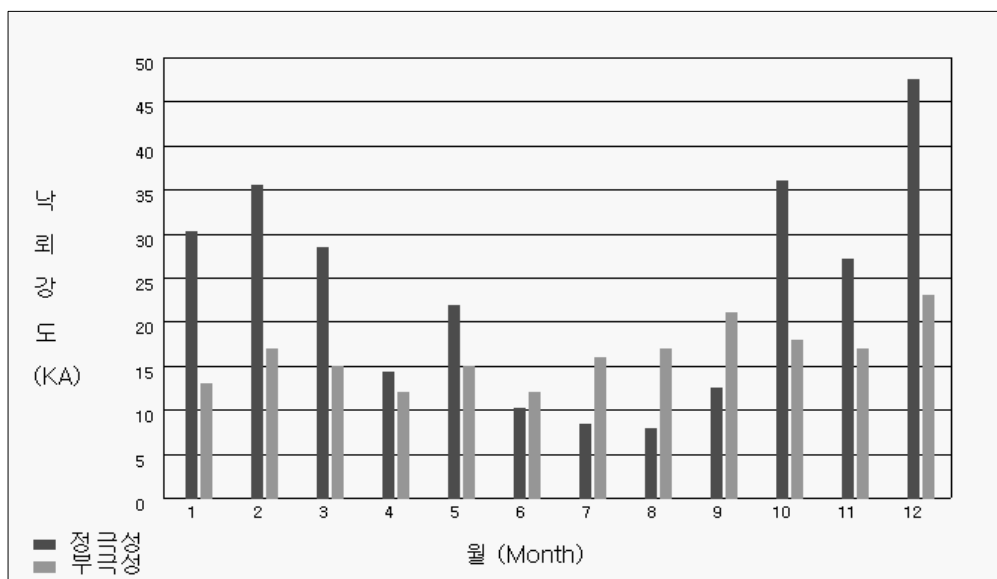


그림 48(b). 2004년 월별 평균 강도

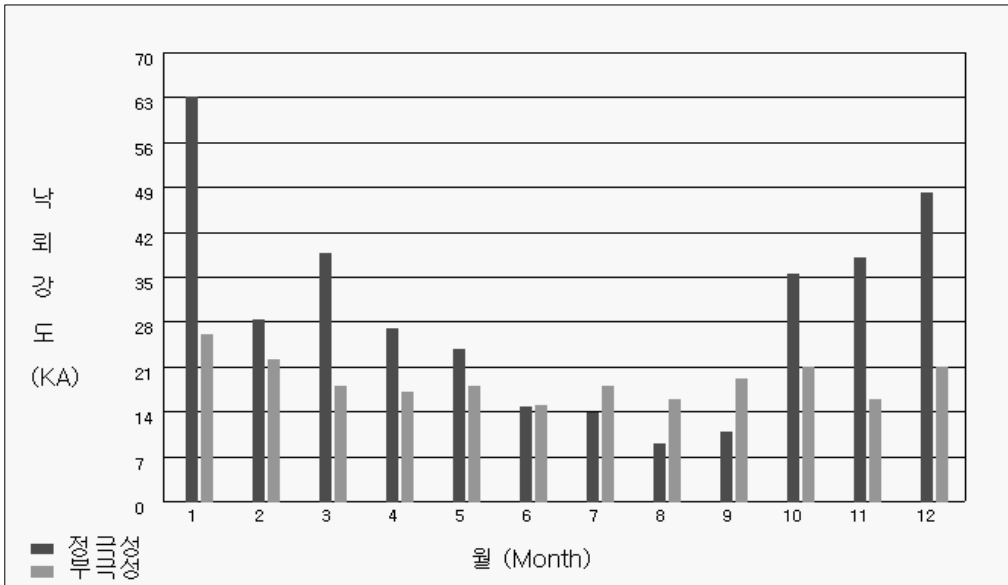


그림 48(c). 2005년 월별 평균 강도

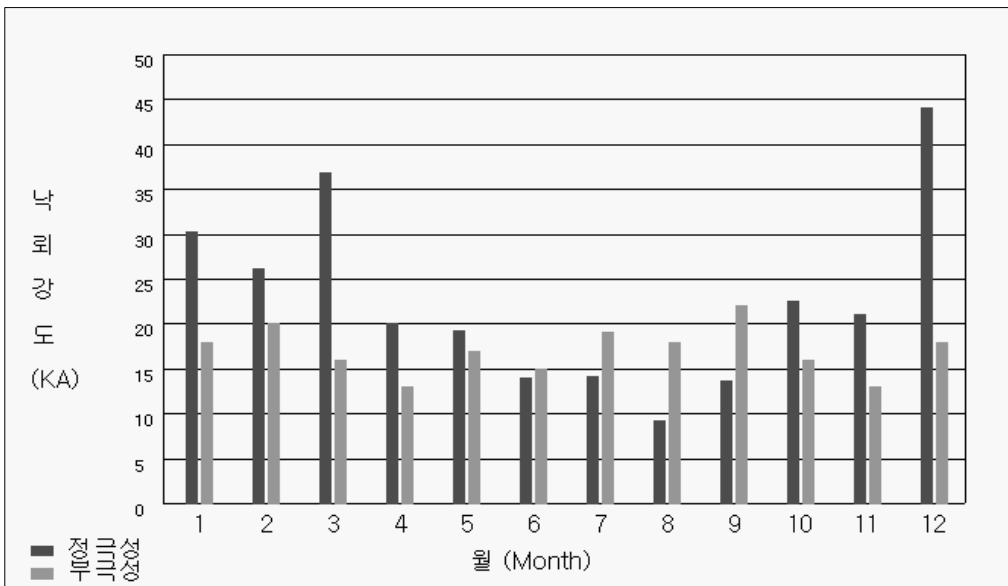


그림 48(d). 2006년 월별 평균 강도

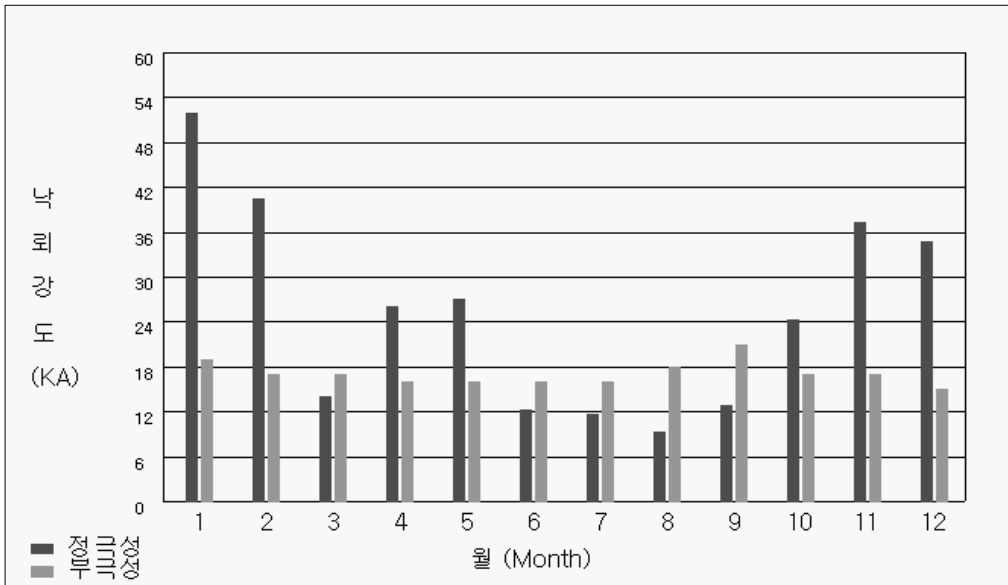


그림 48(e). 2007년 월별 평균 강도

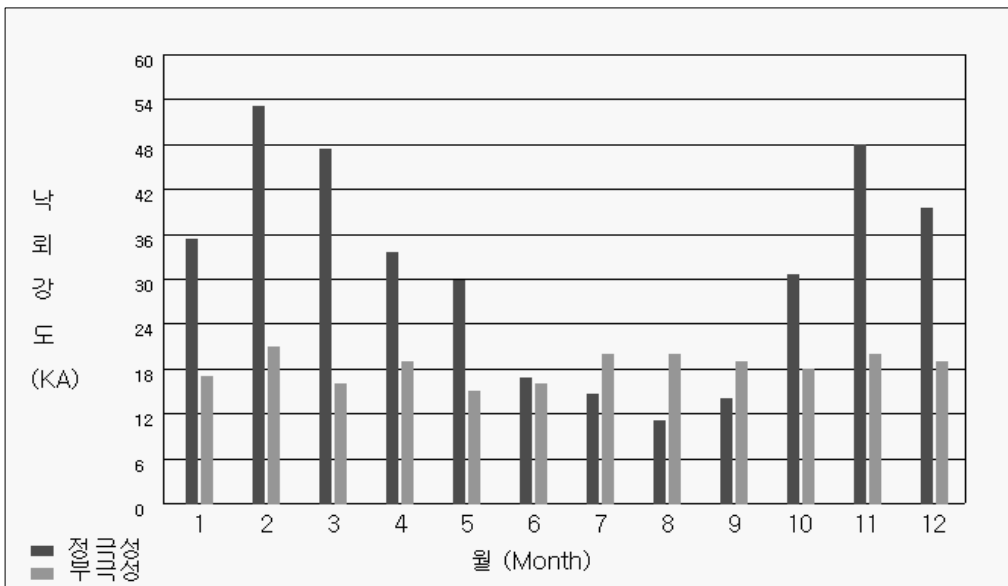


그림 48(f). 2008년 월별 평균 강도

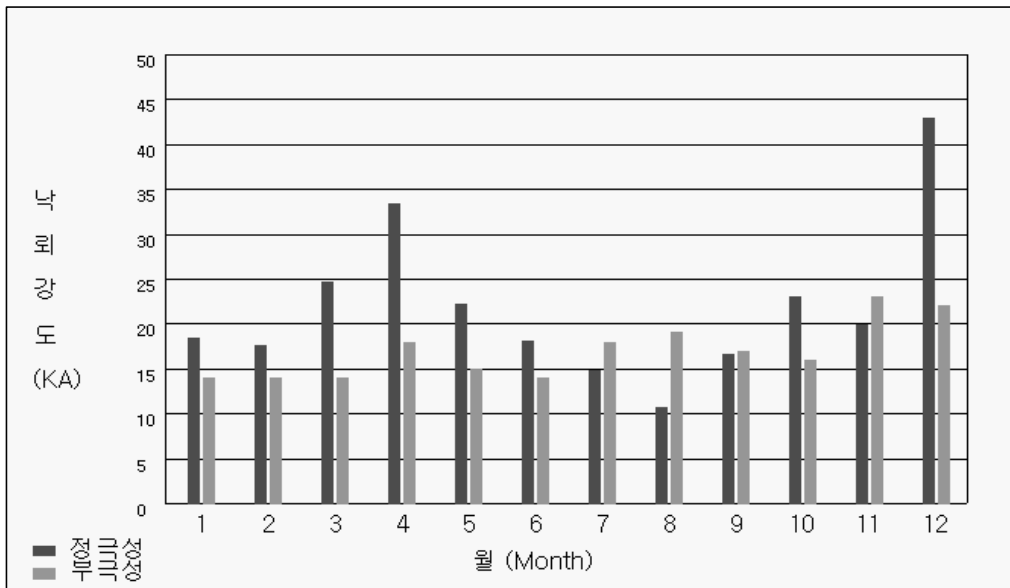


그림 48(g). 2009년 월별 평균 강도

나. 월별 극성을 빈도

최근 7년간 나뎡의 월별 극성은 그림 49(a), 그림 49(b), 그림 49(c), 그림 49(d), 그림 49(e), 그림 49(f), 그림 49(g)의 도표에서와 같이 상대적으로 부극성 빈도가 크다. 여름철에 부극성이 정극성에 비해 상대적으로 80~90% 이상 높게 발생 하였고 정극성 빈도가 작다. 2004년 1월과 2006년 2월, 2009년 1월에는 정극성 나뎡의 발생비율이 더 높게 나타났고, 2007년 3~10월은 부극성이 80~90%로 일정하게 분포한다.

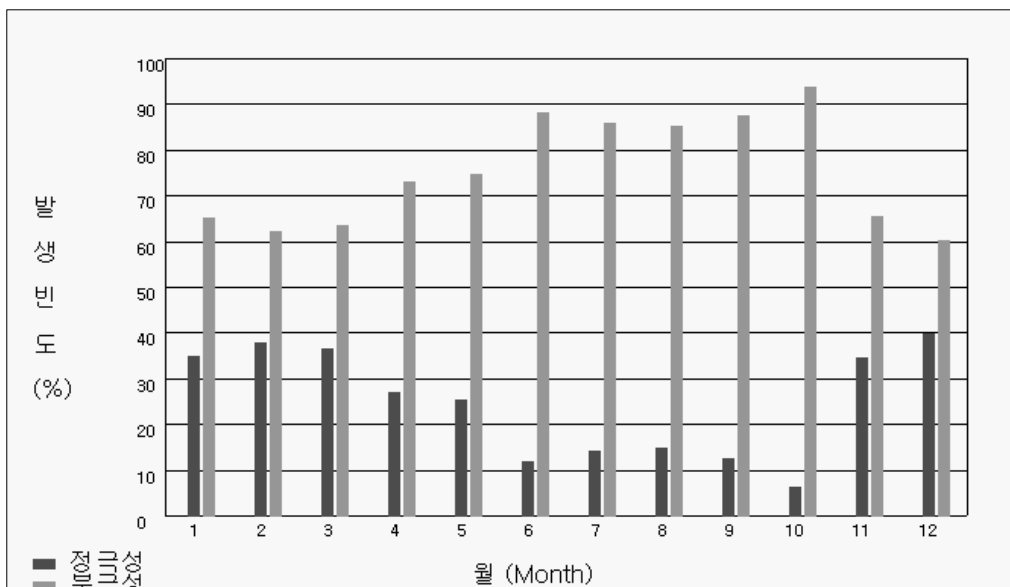


그림 49(a). 2003년 월별 극성 빈도

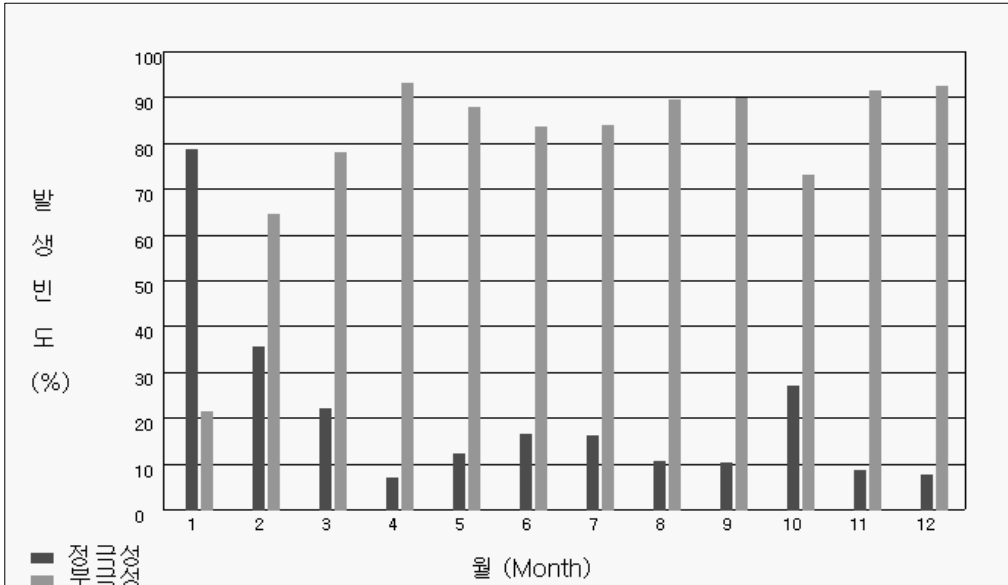


그림 49(b). 2004년 월별 극성풍 빈도

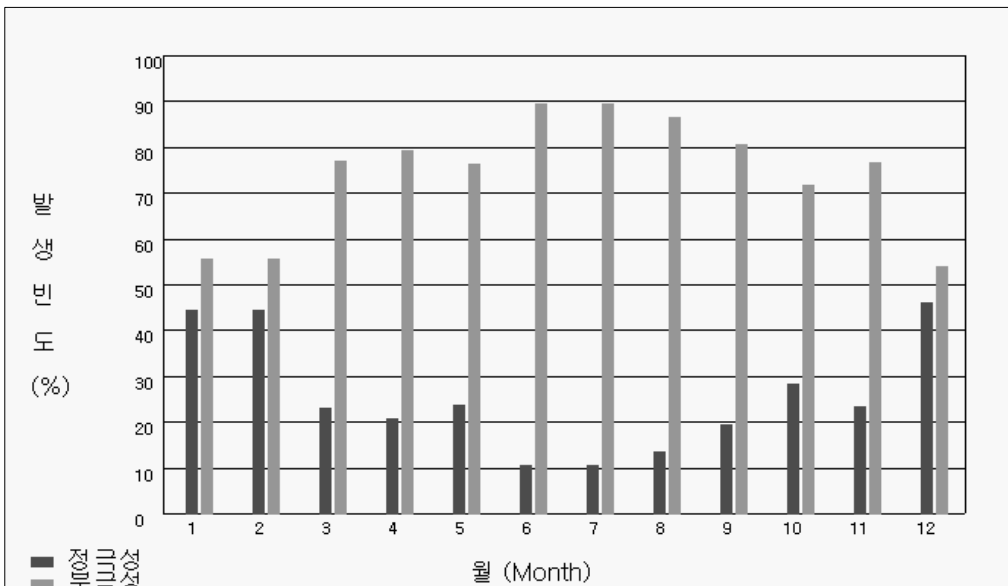


그림 49(c). 2005년 월별 극성풍 빈도

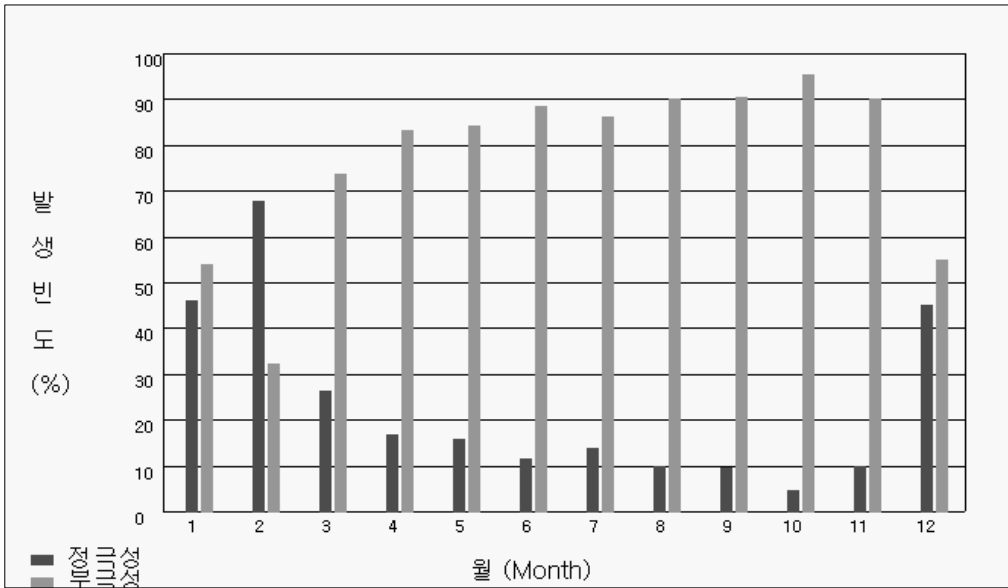


그림 49(d). 2006년 월별 극성율 빈도

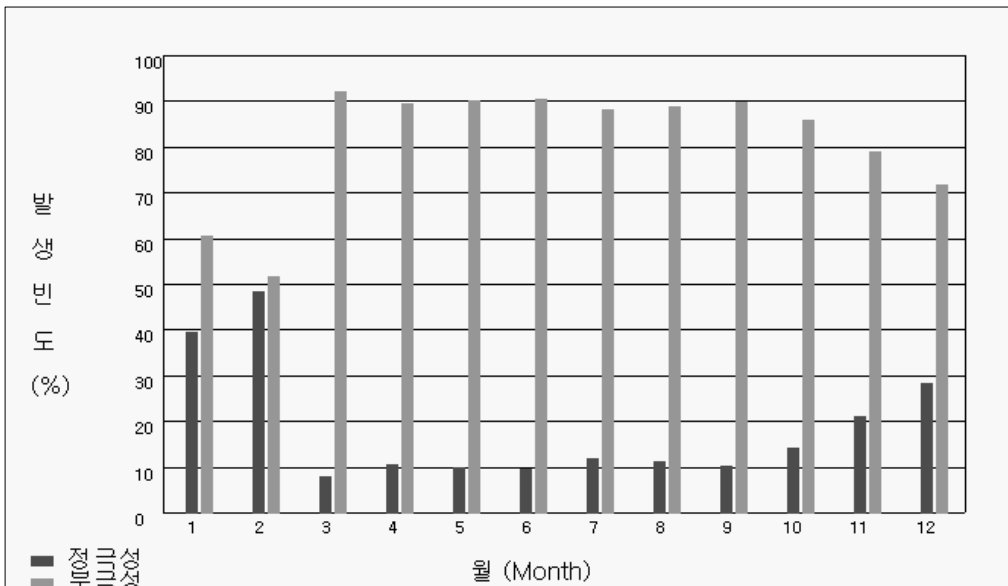


그림 49(e). 2007년 월별 극성율 빈도

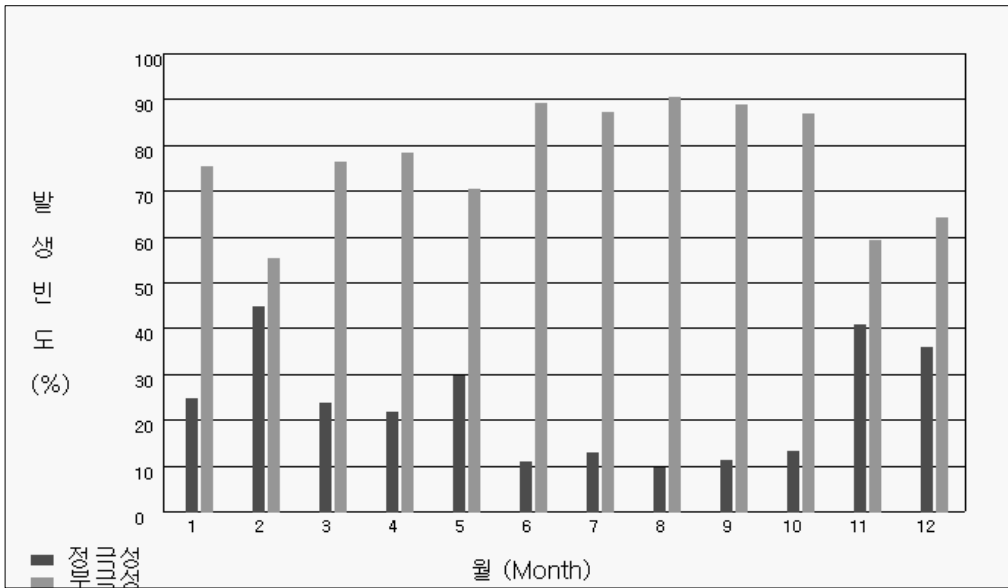


그림 49(f). 2008년 월별 극성풍 빈도

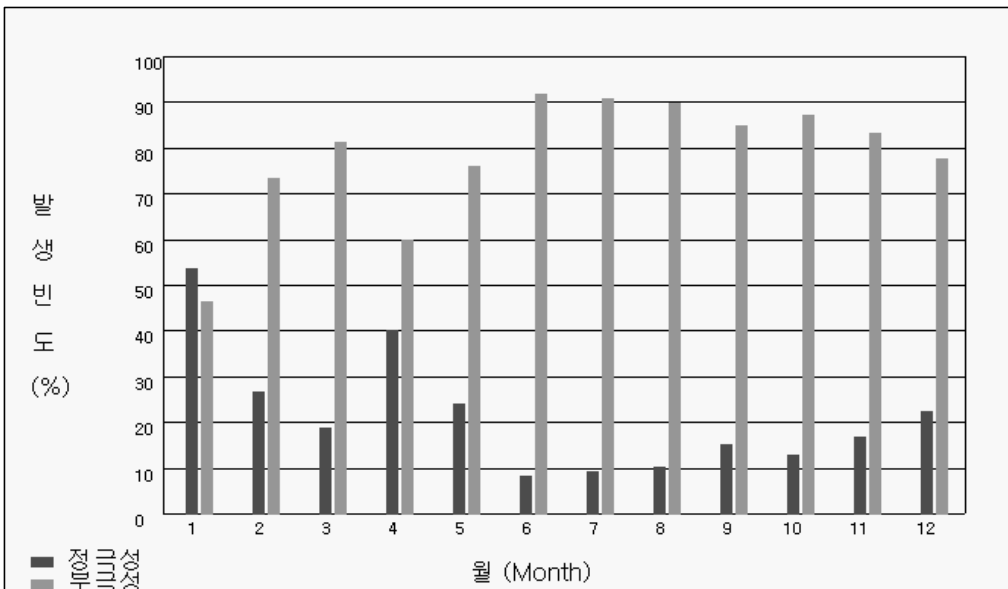


그림 49(g). 2009년 월별 극성풍 빈도

다. 월별 최대 강도 및 일시

표 2. 2009년 월별 낙뢰 최대강도 발생시간 및 위치

월	일	극성	시:분:초	위도	경도	강도(KA)
1	12	정극성	20:47:42	33.66	131.97	+287.8
	18	부극성	14:22:21	32.35	128.14	-90.7
2	05	정극성	03:09:31	38.35	130.89	+217.1
	24	부극성	20:41:18	32.40	126.15	-94.7
3	25	정극성	02:49:31	35.55	131.57	+253.3
	31	부극성	22:49:03	39.08	131.26	-191.5
4	01	정극성	05:42:04	37.17	129.73	+220.2
	15	부극성	10:15:29	36.05	124.27	-127.8
5	04	정극성	18:28:15	39.20	127.41	+224.7
	27	부극성	05:12:4	37.13	129.91	-140.4
6	26	정극성	11:11:21	39.12	126.92	+198.5
	23	부극성	23:34:44	32.20	131.53	-157.6
7	25	정극성	18:19:06	33.14	130.71	+193.2
	14	부극성	20:33:03	36.70	125.01	-198.7
8	28	정극성	09:01:50	34.00	130.21	+201.4
	21	부극성	11:12:37	34.07	124.84	-252.0
9	12	정극성	00:33:38	37.55	131.00	+163.4
	28	부극성	08:43:57	34.36	129.08	-149.3
10	26	정극성	14:25:33	39.0	126.88	+304.9
	02	부극성	16:39:12	32.57	131.92	-175.8
11	08	정극성	06:56:53	37.45	125.61	+340.3
	09	부극성	03:11:12	35.18	128.92	-232.8
12	04	정극성	23:10:34	37.78	125.10	+364.4
	05	부극성	07:09:04	39.84	131.08	-206.1

표 2에서는 2009년 동안 월별 낙뢰의 최대 강도가 나타난 위치와 시간을 보여준다. 정극성 낙뢰의 경우 12월 4일에 최대값 364.4KA, 부극성 낙뢰의 경우는 8월 21일 -252.0KA가 연 최대값이다.

6. 연도별 낙뢰발생 횟수

신(新) 낙뢰 시스템이 도입(2001. 10월)된 이후 2002년부터 년 낙뢰 횟수는 아래 그림 50과 같이 최고값은 2007년에 155만회, 최소값은 2009년에 66만회로 약 89만회의 편차를 보였다. 지난 8년간 낙뢰발생 횟수를 분석해 보면 2008년까지 격년으로 증가하고 감소하는 경향을 보였고, 2009년은 2008년보다 더 감소하는 경향을 보였다. 또한 대부분의 해에서는 7월과 8월에 낙뢰발생 횟수의 최고값이 나타났으며, 2009년에는 7월에 가장 많이 발생했다.

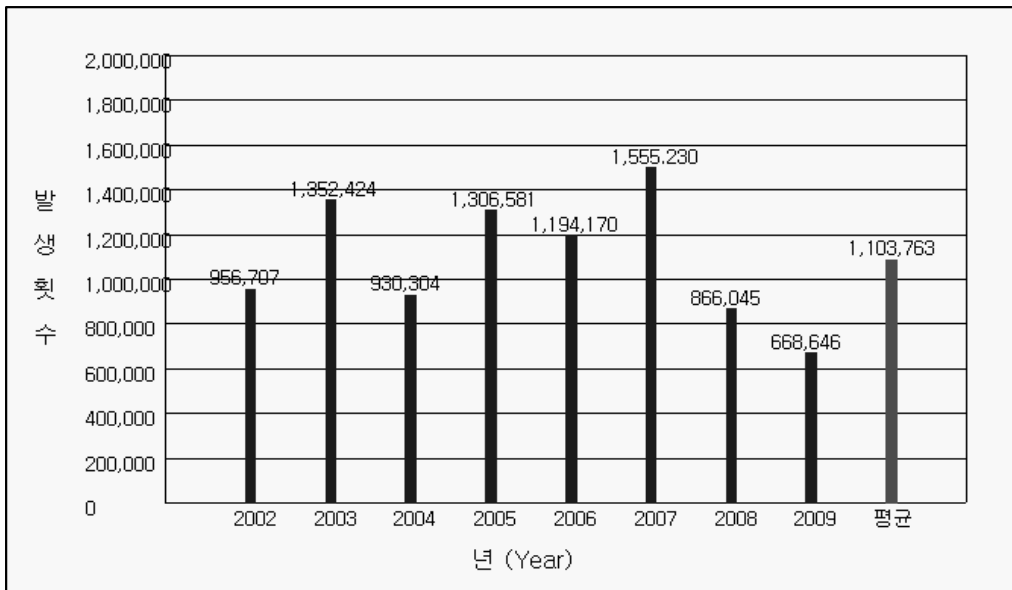


그림 50. 연도별 낙뢰발생 횟수

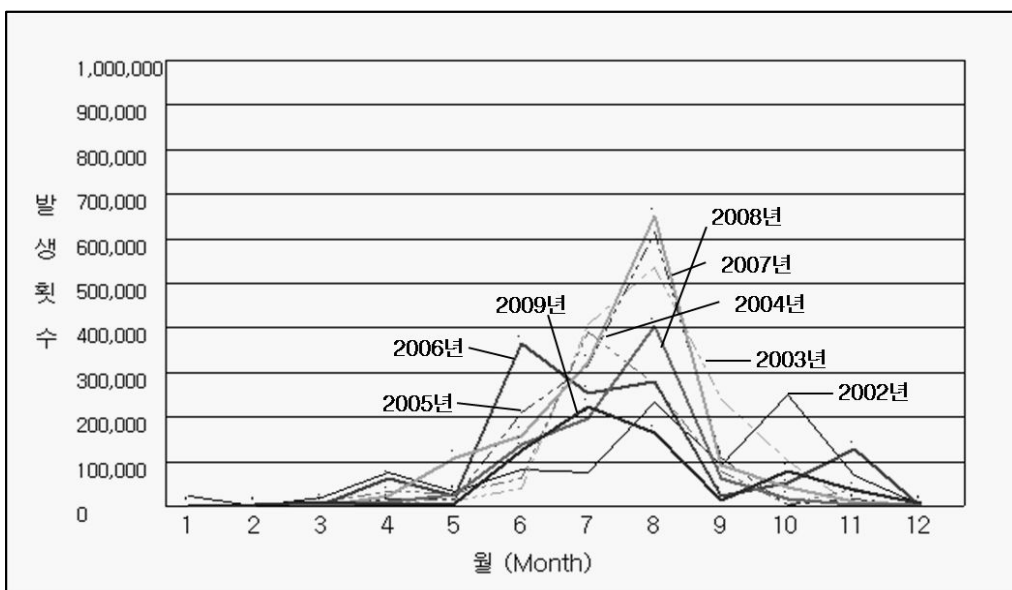


그림 51. 연도에 따른 월별 낙뢰발생 횟수

Ⅲ. 부 록

A. 전국 기상관서 실측 낙뢰 일수(2009년)

지명	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
속초	-	-	1	-	3	2	3	1	1	1	-	-	12
철원	-	-	-	1	1	6	4	2	-	4	1	-	19
동두천	-	-	-	2	-	3	2	2	1	6	1	-	17
문산	-	-	-	1	-	2	3	1	1	8	1	-	17
대관령	-	-	1	-	1	2	4	1	1	1	-	-	11
춘천	-	-	-	1	-	6	4	3	1	3	1	-	19
백령도	-	-	-	-	-	4	1	2	-	5	-	-	12
북강릉	-	-	3	-	3	3	2	2	1	2	1	-	17
동해	-	-	-	-	3	3	1	1	1	1	-	-	10
서울	-	-	-	-	-	1	5	2	1	6	2	-	17
인천	-	-	-	-	-	1	5	1	-	8	1	-	16
원주	-	-	-	-	-	2	4	1	-	3	1	-	11
울릉도	-	-	3	-	-	2	-	-	2	2	1	1	11
수원	-	-	-	-	-	2	5	1	-	4	1	-	13
영월	-	-	1	1	3	3	8	3	1	1	1	-	22
충주	-	-	-	-	1	1	7	3	1	3	1	-	17
서산	-	-	-	-	-	3	3	1	-	5	1	-	13
울진	-	-	1	-	2	2	1	2	-	-	1	-	9
청주	-	-	-	-	1	2	4	1	-	3	1	-	12
대전	-	-	-	-	1	2	5	3	-	3	1	-	15
추풍령	-	-	-	-	2	2	5	3	-	3	1	-	16
안동	-	-	-	-	1	3	4	2	-	-	-	-	10
상주	-	-	-	-	2	2	6	2	-	2	1	-	15
포항	-	-	-	-	-	1	4	-	-	-	-	-	5
군산	-	-	-	-	-	4	5	-	-	2	1	-	12
대구	-	-	-	-	1	2	7	1	-	1	-	-	12
전주	-	-	-	-	-	1	6	2	-	3	-	-	12
울산	-	-	-	-	-	3	7	1	-	1	-	-	12
마산	-	-	-	-	-	2	5	1	-	1	1	-	10
광주	-	1	-	1	4	3	6	3	-	2	-	-	20
부산	-	-	-	-	-	1	6	2	-	-	-	-	9
통영	-	-	-	-	1	1	5	2	-	2	-	-	11
목포	-	-	-	-	-	3	7	2	-	4	-	-	16
여수	-	-	1	-	1	2	7	2	-	1	1	1	16
흑산도	-	-	1	-	-	3	6	1	-	5	1	-	17
완도	-	-	1	-	1	2	6	2	-	2	-	-	14
진도	-	-	1	-	-	2	4	2	-	2	-	-	11
제주	-	1	1	-	-	4	-	3	-	1	1	-	11
고산	-	-	1	-	-	5	1	3	-	-	1	-	11
성산	-	-	1	-	-	3	3	4	-	1	1	-	13
서귀포	-	1	1	1	-	6	1	3	-	-	2	-	15
진주	-	-	-	-	1	2	7	2	-	1	-	-	13
이천	-	-	-	-	-	2	4	-	-	3	1	-	10
천안	-	-	-	-	-	1	3	1	-	3	1	-	9
보령	-	-	-	-	-	3	2	1	-	2	1	-	9
정읍	-	-	-	-	-	3	5	1	-	2	-	-	11
남원	-	1	-	-	3	2	4	3	-	2	-	1	16
고창	-	-	-	-	-	2	6	2	-	2	-	-	12
순천	-	-	-	-	4	1	5	4	-	1	-	-	15
구미	-	-	-	-	2	-	6	1	-	-	-	-	9
거창	-	-	-	-	3	3	7	2	-	1	-	-	16

(현상기호 70:뇌전, 72:번개 관측자료)

B. 낙뢰에 대한 안전대책

가. 낙뢰의 성질

낙뢰의 위치를 예측하는 것이 어렵다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그렇다면 과연 낙뢰는 어떠한 곳에 떨어지는 것일까? 간단하게 말해 낙뢰는 전기를 축적하고 있는 뇌운의 위치에 따라 해면, 평야, 산악 등의 어떠한 곳이라도 떨어진다. 그러나 방전이 뇌운에서 지면을 향해 내려올 때 부근에 높은 물체가 있으면 그것을 통해서 낙뢰가 떨어질 가능성이 높다는 사실은 잘 알려져 있다. 그리고 피뢰침은 이러한 성질을 이용하여 가까운 곳에 떨어지는 낙뢰를 능동적으로 끌어 들여 뇌운의 전기를 안전한 대지로 흐르게 하는 장치라 할 수 있다.

나. 낙뢰발생을 어떻게 알 수 있는가?

지극히 당연한 대답이지만 낙뢰의 발생은 각자의 오감으로 느낄 수 있으며, 적란운이 자신의 머리 위에서 발달하는 것이 느껴지면 위험한 신호라고 생각해야만 한다. 그리고 “우르릉” 하는 천둥이나 “번쩍”하고 빛나는 번개, 후텁지근한 더위 속에서 이상하리만치 시원한 바람, 즐기차게 내리는 싸라기눈, 맞으면 아플 정도로 쏟아지는 소나기 등등은 모두 인체의 오감을 통하여 느낄 수 있는 낙뢰의 징조들이다. 나아가, TV나 라디오, 신문 등의 일기예보로부터도 미리미리 정보를 얻어 마음의 준비를 하는 것이 중요하다. 한편, 천둥이 들리는 범위는 주위의 환경에 따라 다르지만 보통 20km 정도로 보는 것이 일반적이다. 따라서 멀리서 “우르릉” 하는 소리가 들려오면 다음에 이어질 낙뢰를 발생시키는 구름이 바로 자신의 머리 위에 있다고 생각하는 것이 좋기에, 천둥이 들리면 곧바로 안전한 장소로 피하는 것이 바람직하다.

다. 야외에서 높은 물체를 이용해 낙뢰를 피하는 방법

앞서 피뢰침의 원리 및 높은 건물에 낙뢰가 떨어지기 쉽다는 성질을 간단히 소개한 바 있다. 이들을 좀 더 자세하게 고찰해 보면 그 높이의 기준은 30m 정도가 된다. 즉, 높이가 30m 이하인 탑이나 수목 등은 그 기둥을 중심으로 높이와 같은 반경을 갖는 원내에 진행하여 오는 방전을 유인하므로 그 원내에 낙뢰가 직격으로 떨어질 가능성이 낮아진다. 그러나 높이가 30m를 넘는 경우는 그 안전범위가 높이에 따라 높아지는 것은 아니다. 바꾸어 말하면 높이가 100m 정도의 건물이 있어도 뇌운에서 진행하여 오는 방전을 끌어

들일 수 있는 거리는 대략 반경 30m의 원내로 한정된다는 것이다. 따라서 갑자기 낙뢰가 발생되면 30m 정도의 건물인 경우는 일시적인 피난 장소로서 건물의 가장 높은 부분을 45도 이상으로 볼 수 있는 범위 안으로 대피하고 30m 이상의 높은 건물인 경우는 반경 30m의 원내로 피난하는 것이 무난하다. 단, 이것은 어디까지나 일시적 피난에 불과하므로 가능한 한 빨리 건물 안이나 자동차로 피난하는 것이 가장 좋다. 다시 말해 통상적인 낙뢰의 경우 하나의 낙뢰에서 다음의 낙뢰가 떨어질 때까지 약 1분 정도의 시간이 소요되기에 낙뢰의 모양을 보면서 안전한 건물 내부나 자동차로 피난하는 것이 가장 안전한 방법이 될 것이다.

라. 금속물체를 인체에 부착하고 있으면 낙뢰를 유인하는가?

인체에 낙뢰가 떨어지면 낙뢰전류는 전기가 흐르기 쉬운 내부조직을 흘러서 대지로 흘러 들어간다. 동시에 피부표면의 곳곳에 부분적인 방전을 일으키면서 방전전류가 흐른다. 따라서 금속을 부착하고 있으면 연면 방전을 촉진시키기 때문에 화상의 원인은 되나, 사망의 원인으로서는 되지 않는다. 왜냐하면 금속물체를 부착하고 있으면 치명적인 영향을 주는 체내전류를 감소시키는 효과가 있기 때문이다. 따라서 금속을 떼어낸다 하더라도 조금도 안전하지 않으며 금속제품이나 금속 핀을 몸에 부착한 채 피난하는 것이 오히려 목숨을 건질 가능성이 있다. 골프채, 금속 봉, 양산과 같은 긴 금속물체의 경우는 머리보다 낮게 신체와 수평으로 갖고 있으면 낙뢰를 받았을 때 생명을 구할 가능성이 더욱 높다. 그러나 양산이나 낚싯대 등이 머리 위로 돌출되어 있으면 서 있는 것 보다 더 위험해져 낙뢰가 바로 떨어지고 고무장화나 비옷은 낙뢰로부터의 보호에 조금도 도움이 되지 않는다.

마. 방전에너지는 어느 정도의 크기인가?

지금까지 연구된 뇌방전의 관측결과를 종합하면 하나의 낙뢰 또는 구름 방전의 총에너지는 약 300kWh로 알려져 있다. 그리고 여름의 격렬한 뇌운은 10초에 1회 정도의 비율로 뇌방전을 일으키고 있으며, 이때의 뇌운은 중간 규모의 발전소 정도의 발전능력을 발휘하고 있는 것이 된다. 따라서 뇌방전 에너지는 대단히 유용한 에너지로 볼 수 있으나 문제는 이것을 쉽게 이용할 수가 없다는 것이다. 이는 뇌방전이란 길이 5,000m의 초대형 불꽃방전을 하면서 300kWh라고 하는 큰 에너지가 전파, 빛, 소리로 하늘에서 분산되기 때문이다.

바. 낙뢰에 대한 안전한 규칙

자동차나 버스, 열차 그리고 콘크리트 내부는 낙뢰에 대하여 비교적 안전한 장소이다. 그러나 일반가옥의 내부에서는 전등선, 전화선, 안테나선, 접지선 등으로부터 약 1m 이상 떨어져 있어야 하며 전원플러그는 모두 뽑아 두는 것이 좋다.

낙뢰를 본 후 30초가 안되어서 천둥소리가 들린다면 실내로 이동해야 한다. 마지막 천둥소리를 들은 후 30분 동안 실내에 머무르는 것이 안전하다.

사. 낙뢰에 대한 잘못된 상식

1) 비가 안오면 낙뢰에 대한 위험도 없다

낙뢰는 종종 폭우가 내리는 지역의 바깥쪽에서도 발생하기도 하며 비가 내리는 지역에서 멀리 떨어진 곳에서 발생할 수도 있다.

2) 신발의 고무 밑창이나 차의 고무바퀴가 낙뢰를 맞는 것으로부터 보호해 줄 것이다

고무 밑창 신발이나 고무 타이어 등은 낙뢰를 맞는 것으로부터 보호해 주지 않는다. 그러나 윗면이 단단한 철 구조물로 되어있는 차량은 금속과 접촉하고 있지 않다면 낙뢰로부터 보호성을 증가시킨다. 또한 차가 낙뢰를 맞아서 부상을 당하더라도 밖에 있는 것 보다 차량 안이 훨씬 더 안전하다.

3) 낙뢰를 맞은 사람은 전하를 가지고 있으므로 만지면 안 된다

낙뢰를 맞은 희생자는 전하를 가지고 있지 않으며, 즉시 응급조치를 취해야 한다.

C. 낙뢰용어해설

간헐뇌격 : 연속전류를 동반하지 않는 뇌격

감전(感電) : 인체에 전류가 흘러 생리적 변화를 일으키는 것. 생리적 변화는 전원(電源)이 교류인가 직류인가 또는 낙뢰(落雷)와 같은 충격과인가에 따라 다르며 전류가 인체 내를 흐르는 통로에 따라서도 달라진다. 즉, 인체의 생리적 변화는 전압의 크기보다는 전류의 세기와 통로에 의해 결정된다고 할 수 있다. 그러므로 피부의 건조도와 전원에 접촉된 강도에 따라 그 영향이 크게 변한다. 다시 말해 피부가 건조하고 전원에 약하게 닿을 때는 아무런 위험이 없으나 땀이 나 있거나 젖어 있는 피부에 닿으면 목숨을 잃는 경우도 있다. 또한, 전류가 흐른 시간에 따라서 위험이 더해질 수도 있다. 인체의 감전에 따른 생리적 변화의 양상은 먼저 통과하는 전류가 어떤 수치에 이르면 처음으로 자극을 느끼고 전류가 더욱 증가되면 근육에 경련을 일으킨다. 그리고 전류의 증가에 따라 그 범위가 더욱 넓어져 어느 정도에 다다르면 몸을 움직일 수 없게 되는데 이 전류를 불수전류(不隨電流)라고 한다. 나아가 전류가 더 증가하면 호흡장애와 함께 의식을 잃게 되고 심장장애·신경장애·화상 등으로 죽음에 이른다. 한편, 최소 감지(感知) 전류는 사람에 따라 다르나 대체로 교류의 경우는 1mA, 직류의 경우는 5mA 정도이다. 또 운동에 지장이 없는 최대한의 전류를 가수전류(可隨電流)라 하는데 이것도 개인차가 있어 성인남자·성년여자·어린이 순으로 작아진다. 교류의 경우에는 대체적으로 성인남자가 9mA, 성년여자가 6mA 정도이고, 직류의 경우에는 각각 62mA, 41mA 정도이나 20mA 이상일 때는 화상이 생겨 인체의 저항값이 감소되어 전류가 급증될 위험이 발생한다. 또 100mA에 가까우면 심장경련을 일으켜 치명적인 위험이 따르는데 이 값은 연소자나 노약자일수록 작아진다. 감전의 응급조치는 먼저 전원을 끊고 환자를 전원에서 떼어 내는 것이 우선이다. 이때 구조자 자신이 감전되지 않도록 건조한 고무나 가죽제의 장갑과 신발을 착용하고 바닥에는 담요를 깔아서 전류가 닿지 않도록 해야 한다. 환자가 의식을 잃고 가사상태에 있는 경우에는 중추신경이 마비되어 있기 때문에 보통의 방법으로 사망을 확인할 수 없는 경우가 많다. 따라서 체온의 냉각 및 사후경직이 없는 한은 장시간 인공호흡을 해야 한다.

구름사이 방전(雲間放電) : 2개의 떨어져 있는 구름 사이에서 일어나는 방전

구름속 방전(雲內放電) : 1개의 구름 속에서 분극(分極)되어 있는 전하(電荷)사이에서 일어나는 방전

구전(球電) : 지름 약 30cm의 둥근 모양을 한 번개로 상당히 지속성이 있으며 바람에 의해 움직인다.

계단형 선도(Stepped leader) : 가장 첫 번째 발생하는 선도뇌격을 말한다. 일반적으로 번개는 한줄기 빛으로 보이지만 실제로 살펴보면 번개가 실린 구름에서 선도뇌격이 구름을 출발하여 전진과 휴지를 반복한다. 이 선도뇌격이 대지나 지상의 물체에 접근하면 대지나 물체에서 상향의 스트리머(streamer)가 생기며 이 양자가 결합할 때 뇌운에서 대지 또는 물체에 이르는 방전로가 형성된다. 제1 선도뇌격은 제2 및 그 후의 것과 다른 특성을 가진다. 지속시간이 10배 정도로 길고 빛은 20m 진행할 때마다 약 50 μ sec의 정지시간을 두며 이 정지시간에 20m씩 하강하므로 계단형 선도(steped leader)라 불린다. 제1 뇌격시에 휴지시간을 동반하는 계단형 선행방전의 형태를 취한다.

귀환뇌격(resturn stroke) : 복귀뇌격을 가리킨다.

낙뢰 : 뇌운과 대지(大地) 사이의 방전

낙뢰사 : 인체에 낙뢰에 의한 직접 또는 간접적인 상해를 끼쳐 일어나는 죽음을 말한다. 직접적인 경우로는 사람이 몸에 지니고 있던 우산, 낚싯대 등에 낙뢰를 맞는 경우가 있고 간접적인 경우로는 나무나 건물 등을 매개체로 하여 측격(側擊)전류가 인체로 흐르는 경우를 말한다. 사람이 낙뢰를 맞은 경우는 화상, 골절, 내장파괴 외에도 전문(電紋)이라고 하는 나뭇가지 모양이나 번갯불 모양 등의 피부홍반(皮膚紅斑)이 나타난다. 낙뢰로 인한 죽음의 원인은 호흡이나 기타 중추신경마비, 심장장애, 과열 등이며, 다행히 살아남은 경우에도 시신경의 위축이나 백내장 등 눈에 장애가 일어나는 경우가 많다.

뇌격(雷擊) : 육안으로는 한 가닥으로 보이는 번개일지라도 Boys camera로 촬영하면 여러 가닥의 번개(성분방전)가 서로 겹쳐져서 이루어져 있다는 것을 알 수 있는데 그 개개의 번개를 뇌격이라고 한다. 뇌격에는 구름 밑면으로부터 출발하여 지면을 향하는 선행방전(또는 선행뇌격)과 지면에서 구름 밑면을 향하는 복귀방전(또는 복귀뇌격)이 있다.

뇌격거리 : 상향 방전과 선구방전이 만나는 점과 지면까지의 거리를 말하며 전기장 강도가 크고 대지에 축적된 전하량이 많을수록 길어진다. 피뢰침의

보호범위는 뇌격거리와 밀접한 관계가 있으며 일반적으로 뇌격거리를 반경으로 하는 반구의 내부가 피뢰침의 보호영역으로 된다.

뇌격점(Point of strike) : 낙뢰가 대지의 구조물 또는 피뢰설비와 접촉하는 장소.

뇌우(thunderstorm) : 천둥과 번개를 동반한 강우(降雨). 적란운이나 거대한 적운에 수반되어 발생한다. 매초 10m 이상의 격심한 상승기류가 있는 것이 특징이며, 이와 같은 상승기류가 일어나는 것은 대기가 불안정한 상태로 되어 있을 때이다. 전선(前線)에 수반되어 발생하는 것을 전선성 뇌우, 저기압의 중심 부근에서 일어나는 것을 저기압뢰 또는 와뢰(渦雷)라 하며 여름철 오후나 강한 일사(日射)에 의하여 발생하는 것을 열뢰(熱雷)라고 한다. 뇌운(雷雲)은 몇 개 이상의 셀로 구성되나 각 셀은 지름 5~10km의 소규모 순환계를 이루며 상승기류와 하강기류를 동반한다. 셀의 수명은 30분에서 3시간이며 발생기에는 상승속도가 느리지만 전성기에는 30m/sec의 상승속도를 가지기도 한다. 적란운이 발달하여 뇌우가 발생하는 때는 구름이 수직으로 발달하여 구름의 바닥부분 기온이 0°C 이하이고 꼭대기 부분이 -20°C 정도로 되는 때이다. 한편, 적도지대에서는 기온이 0°C 이하가 되지 않더라도 뇌우가 발생하는 예가 있으나 대부분의 뇌우는 위에서 말한 조건의 적란운에서 발생한다.

뇌우의 코(Nose of thunderstorm) : 뇌우가 통과할 때 자기지(自記紙) 상에서 관측되는 기압의 급상승부분을 말한다. 자기기압계의 기록지에 코와 같은 돌출부가 나타나는데 이것은 뇌우 아래에 생기는 찬 공기의 하강에 의하여 기압이 상승하기 때문에 생기는 것이다.

뇌우고기압(Thunderstorm high) : 뇌우에 동반되는 중규모의 고기압으로 뇌운(雷雲) 아래에 형성되는 차가운 공기덩어리의 무게에 의하여 생성된다. 한편, 이 차가운 공기덩어리는 뇌운 밑에서 빗방울을 포함한 공기덩어리가 습윤단열적으로 하강해오기 때문에 생긴다고 보고 있으나, 이러한 차가운 공기덩어리가 흘러나와 주위의 따뜻한 공기를 밀어 올려 새로운 뇌운을 만들고 이것이 연쇄 반응을 거듭하여 뇌우 셀이 무리를 지어 생성된 후 다수의 셀을 가진 차가운 공기덩어리가 뭉치어 중규모의 고기압이 형성된다.

뇌운강수(thunderly precipitation) : 적란운 등 뇌운으로부터 내리는 소나기성 강수를 말한다. 전형적인 기단강수이다.

다중도(multiplicity) : 하나의 낙뢰 속에 포함되는 귀환뇌격(歸還雷擊)의 수를 그 낙뢰의 다중도라 한다.

다지점 낙뢰(multi-point strike) : 하나의 낙뢰 속에 포함되는 귀환뇌격(歸還雷擊)중에서 일정거리 이상 떨어져 1초 이내에 동일 극성으로 발생하는 낙뢰를 말한다.

다중뇌격(Multiple stroke) : 벼락은 단 한번의 뇌격으로 끝나는 것과 몇 회에서 수십회의 뇌격을 반복하는 것이 있는데 이를 다중뇌격이라 부른다.

번개 : 적란운이 발달하며 구름내부에 분리 축적된 음(-)전하와 양(+전하) 사이에서, 또는 구름 속의 전하와 지면에 유도되는 전하 사이에서 발생하는 불꽃방전을 말한다.

벼락, 번개, 천둥, 우레, 낙뢰 : 모두 비슷한 말들이지만 조금씩 그 의미가 다르다. 즉, 번개는 섬광 같은 빛줄기를 가리키며, 요란한 소리는 천둥 또는 우레라 한다. 그리고 벼락은 이 모든 현상을 통칭하는 말이기 때문에 벼락은 번개와 천둥으로 이루어졌다고 말할 수 있다. 한편, 천둥은 원래 천동(天動)이라는 한자가 변한 말이며, 낙뢰는 벼락이 치는 것을 일컫는 말이나, 벼락은 간단히 말해 땅과 구름사이에 전기가 통하는 현상이라 할 수 있다. 그리고 주로 여름철에 나타나는 구름 중에 바닥은 평평하면서 웅장한 산봉우리 모양으로 하늘 높이 솟아오르는 “적란운”이라는 것이 있으며, 바로 이것이 벼락을 내리게 하는 뇌운(雷雲)이다.

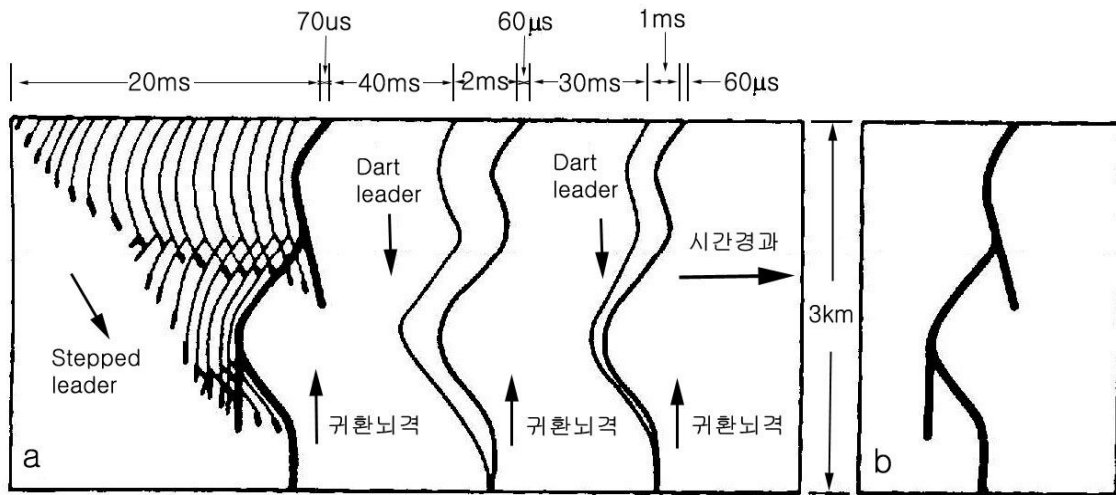
벼락(Cloud-to-Ground discharge) : 번개의 일종으로 구름과 지면 사이에서 발생하는 대지방전을 말하며 벽력(霹靂)·낙뢰(落雷)라고도 한다. 이때 구름과 지면 사이로 이어지는 불꽃 방전로의 기울기는 5~6°, 직경은 0.2~3.5cm이며, 이때 흐르는 전류의 세기는 약 30~40kV, 온도는 20,000~30,000°C 이다.

복귀뇌격(return stroke) : 귀환뇌격이라고도 한다. 번개는 한줄기 빛으로 보이지만 실제로 그 생성과정을 보면 다음과 같다. 우선, 번개가 실린 구름에서 선도뇌격이 구름을 출발하여 대지 쪽으로 흐른다. 이후 이 선도뇌격이 대지나 지상의 물체에 접근하면 대지나 물체에서 상향의 스트리머(streamer)가 생기고 이 양자가 결합할 때 뇌운에서 대지나 물체에 도달하는 방전로가 형성된다. 그리고 이 방전로에 대지 쪽에서 많은 전하가 유입되어 주방전로가 생기고 주방전로를 통하여 지면으로부터 구름을 향한 상향의 매우 밝고 빠른 속도의 방전이 발생하며 이를 복귀뇌격(return

stroke)이라 한다(그림 A).

부극성 낙뢰 : 구름밑면이 음(-)전하를 띠고 대지가 양(+전하로 대전되어 있을 경우에 발생하며 낙뢰의 90% 이상이 부극성 낙뢰에 속한다. 평균 뇌격전류는 33kA이다.

연결 스트리머(Connecting Streamer) : Stepped leader가 지상 수십m에 도달하면 지상의 돌출물에서 상향의 Connecting streamer가 Stepped leader의 선단을 향해서 출발한다. 이와 같은 상향의 streamer를 connecting leader 또는 connecting방전이라 부르고 있다.



(a)삼중낙뢰의 시간경과를 보이는 모델도

(b)정지도

그림 A. 카메라에 잡힌 낙뢰발생과정의 모형도

선구방전(Down Leader) : 뇌운에서 대지로 향하는 뇌전하의 흐름을 말하며 선도방전, 선도뇌격(leader stroke), 선구방전 모두가 동일한 의미이다.

선도뇌격(leader stroke) : 구름밑면에서 지표면을 향한 뇌격(雷擊)을 말한다.

세인트엘모의 불(Saint Elmo's fire) : 지표의 돌출된 부분에서 대기 속을 향하여 방출되는 다소 지속적인 방전현상(放電現象)으로 주로 피뢰침의 끝, 풍력계(風力計), 배의 돛대 등에서 볼 수 있으며, 비행 중인 항공기의 날개 끝이나 프로펠러에 나타나기도 한다. 세인트엘모의 불은 보통 파란색 또는 녹색이나 때로는 보라색 및 흰색을 나타내기도 한다. 이것은 뇌운(雷雲)이 그 장소의 정상(頂上)에 와서 대기 중의 전위경도(電位傾度)가 커졌

을 때에 일어나기 쉽고 방전할 때에는 보통 작은 소리를 낸다. 산봉우리 등 물체의 뾰족한 끝에 세인트엘모의 불이 보이면 번개에 의한 강한 전기장이 걸려 있다는 증거이다.

운간 방전 (Intercloud discharge) : 뇌운(雷雲)과 뇌운 사이에서 일어나거나 하나의 뇌운에서 일어나는 번개를 가리킨다. 이때 번개 그 자체는 낙뢰 때의 번개와 거의 비슷하지만 자세히 살펴보면 전격이 1회에서 끝나 낙뢰 때에 볼 수 있는 귀환뇌격(歸還雷擊)에 해당하는 것이 없다. 그러므로 방전에 의하여 운반되는 전기량도 낙뢰에 비하여 훨씬 적다. 방전로의 길이는 1km에서부터 긴 것은 10 km에 달한다.

연간뇌우일수(IKL, Isokeraunic level) : 일정한 지역에서 천둥소리를 듣거나 번개를 눈으로 확인한 일수를 1년간 합계한 일수.

연속뇌격 : 연속전류를 동반하는 뇌격으로 뜨거운 번개(hot lightning)라고도 한다.

연속전류 : 뇌격과 뇌격사이의 시간간격은 보통 40msec 정도이나 복귀뇌격(return stroke)이 있는 뒤 방전로에 잔광이 계속되어 그 사이 방전전류가 계속해서 흐르는 경우가 있고 이를 연속전류라고 한다. 연속전류는 일반적인 뇌격 간격보다 오래 지속될 때가 있으며 때로는 300msec에 이른다.

열뢰(熱雷) : 심한 열적 상승기류에 의하여 상공으로 운반된 수증기로 이루어진 뇌운이다. 화산의 분출에 동반된 화산뢰(火山雷)나 여름철 오후 내륙 지방에 나타나는 천둥이 이러한 성질의 것이다.

와뢰(渦雷) : 저기압이나 태풍중심 부근에서 상승기류가 왕성한 곳에 나타난다.

유도뢰(Induced overvoltages due to nearby strokes) : 근처의 수목과 건축물에 낙뢰가 떨어진 경우 방전로를 따라 흐르는 전류에 의하여 선로 근처 전자기장이 급변하여 생기는 과전압.

적란운(Cumulonimbus) : 10종 기본 구름형(雲形)의 하나로, 수직으로 발달한 커다란 구름. 썬비구름이라고도 한다. 모양은 적운(積雲)과 비슷하지만 수직으로 현저히 발달한 구름덩어리가 산이나 탑 모양을 이룬다. 구름의 상부는 빙정(氷晶)으로 이루어진 섬유 모양의 구조로 되어 있으며 하부는 난층운(亂層雲)과 비슷하다. 구름 속에는 전하(電荷)가 집적(集積)되어 있어 구름사이 방전(雲間放電)이나 대지방전(對地放電:낙뢰)이 일어나기도 하며 심한 소나기나 우박이 오기도 하므로 뇌운(雷雲)이라고도 한다. 여름철에 잘 발달하지만 겨울철에도 전선을 따라서 생성된다.

전선뇌우 : 한랭전선에 자주 동반되는 것으로, 따뜻한 기류가 차가운 기류의 경계면을 따라 밀려 올라갈 때 나타난다.

정극성 낙뢰 : 구름밑면이 양(+)전하로, 대지가 음(-)전하로 대전되었을 때 발생하며 낙뢰의 10% 이하가 여기에 속한다. 그러나 정극성 낙뢰의 경우 평균 뇌격전류가 75kA 정도로 낙뢰의 피해가능성이 상대적으로 적지만 (10% 미만) 일단 피해를 입게 되면 부극성 낙뢰보다 몇 배 이상의 피해를 입는다.

천둥(Thunder) : 번개현상이 있을 때 발생하는 소리를 말한다. 낙뢰가 흐르는 통로의 공기는 30,000°C의 고온이므로 이 통로주변의 공기는 초음속으로 팽창하며 이로 인해 발생하는 충격파가 천둥이다. 천둥 그 자체는 0.5초 이하의 단시간 현상이지만 방전로의 길이가 2~14km에 이르고 있기에 사람의 귀까지 도달하는 시간차이로 인하여 소리가 길게 들리며 천둥이 들리는 범위는 30km 정도이다. 한편, 빛의 속도는 초당 30만km이며, 소리의 속도는 초당 340m 정도로 빛이 소리보다 훨씬 빠르기 때문에 번갯불을 본 다음 천둥소리를 듣게 된다. 따라서 번갯불과 천둥소리 사이의 시간간격이 짧을수록 번개가 가까운 곳에서 치고 있기에 조심을 할 필요가 있다.

천둥번개(Thunder and lightning) : 뇌우에 동반되어 번개와 천둥이 함께 나타나는 경우를 말한다.

피뢰침 : 낙뢰(落雷)에 의한 충격전류를 대지(大地)로 안전하게 유도하여, 낙뢰로 인한 건물의 화재, 파손 및 인축(人畜)에 대한 상해를 방지할 목적으로 설치하는 장치.

플뢰헨블리츠 : 적란운 꼭대기로부터 발생하여 맑은 하늘에서 나는 극히 보기 드문 번개를 가리킨다.

화살형 선도(Dart leader) : 제 2 및 그 이후에 나타나는 선도뇌격은, 제1 선도뇌격이 이미 만들어 놓은 방전로를 따라 약 40m의 가늘고 긴 발광부가 하강하는 방전으로 관측되어 화살형 선도(Dart leader)라 불린다. 제1 뇌격후 계단형으로 되지 않고 연속적으로 리더가 내려오는 경우이다.

발행 목록

- 제 1권 낙퇴연보(1988~1992)
- 제 2권 낙퇴연보(1993)
- 제 3권 낙퇴연보(1994)
- 제 4권 낙퇴연보(1995)
- 제 5권 낙퇴연보(1996)
- 제 6권 낙퇴연보(1997)
- 제 7권 낙퇴연보(1998)
- 제 8권 낙퇴연보(1999)
- 제 9권 낙퇴연보(2000)
- 제 10권 낙퇴연보(2001)
- 제 11권 낙퇴연보(2002)
- 제 12권 낙퇴연보(2003)
- 제 13권 낙퇴연보(2004)
- 제 14권 낙퇴연보(2005)
- 제 15권 낙퇴연보(2006)
- 제 16권 낙퇴연보(2007)
- 제 17권 낙퇴연보(2008)
- 제 18권 낙퇴연보(2009)

2010년 6월 일 인쇄
2010년 6월 일 발행

낙뢰연보
ANNUAL LIGHTNING REPORT

발행 : 기상청
편집 : 관측기반국 관측정책과
인쇄 : 동진문화사
