

초급 예보관 훈련용 교재

대기관측 및 해석



목차

1장. 대기 관측

2장. 기상 관측 전문 해석

3장. 일기도 기입 모형

1장. 대기 관측

1.1 대기관측 일반

1.2 기압

1.3 기온

1.4 습도

1.5 바람

1.6 구름

1.7 강수

1.8 시정

1.9 기상현상

학습목표

- 대기관측의 필요성과 요소들에 대해서 이해한다.
- 관측자의 역할과 관측소 선정 기준에 대해서 이해한다.
- 대기관측에 사용되는 측기의 일반 요구조건과 관측 요소의 단위를 이해한다.
- 대기관측 요소별 요구 조건들과 측정 방법에 대한 일반적인 내용을 이해한다.
- 대기관측 요소별 측기들의 종류에 대해서 개략적으로 이해한다.
- 대기관측이 이루어지는 기상현상들에 대해서 이해한다.

1.1 대기관측 일반

1.1.1 대기관측의 개관

1.1.1.1 대기관측의 필요성

대기과학이라는 학문이 다른 분야의 그것과 구분되는 가장 요소는 과거와 현재의 대기 상태를 토대로 미래의 대기의 변화를 예측하는 것이 포함된다. 는 것이라고 할 수 있다. 따라서 명확한 기상예보를 위해서는 대기의 열역학적, 운동역학적 특성을 명확하게 이해하고, 적절한 분석 기법, 모델 자료 등을 활용하여 미래의 대기 상태를 예측하는 능력이 필요하다.

그렇지만 여기에는 현재 대기 상태에 대한 정확한 정보를 가지고 있다는 중요한 전제가 따르게 된다. 즉, 과거와 현재의 대기 상태에 대한 정확한 정보가 없이는 어떠한 뛰어난 대기과학적 지식이나 분석 및 예보 도구도 무용지물이 될 수밖에 없다. 이는 고전적인 종관규모 예보에서부터 최신 수치예보에 이르기까지 필요불가결한 사실이다.

기상업무는 관측, 수집, 분석, 예보 및 전파 과정을 순환하는 과정을 거치게 되는데, 대기 관측은 현업기관의 분석, 예보, 경보를 준비하는 과정뿐만 아니라, 기후, 국지 기상, 수문 및 농업기상, 대기과학 관련 연구에 있어서 최우선 고려 요소가 된다.

세계기상기구(WMO)는 보다 정확하고 표준화된 대기관측에 대한 일반적인 지침을 제공하기 위해 「대기관측 측기와 방법에 관한 지침(Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation)」을 발행하여 현업 기관에서 활용하도록 하고 있다. 이 지침서는 WMO 산하에 있는 기상대에서 관측해야 하는 기상요소들과 이에 필요한 측기들 그리고 이들을 운영 유지하는데 필요한 상세한 내용들을 포함하고 있으며, 이번 장에서 다루는 많은 내용들은 이 지침서의 내용을 준용한 것이다.

1.1 대기관측 일반

1.1.1.2 대기관측의 대표성(Representativeness)

대기관측의 대표성이란 특정한 목적에 필요한 기상 변수들의 값이 얼마나 정확하게 설명되어지는가를 의미한다. 따라서 대표성이란 어떤 특정한 관측 값을 의미하는 것이 아니라, 관측 도구, 특정한 적용에 필요한 관측 주기와 대푯값 여부 등을 종합 판정해서 결정되어진다. 예를 들어, 종관 관측은 일반적으로 관측소 주변 100km 지역까지를 대표할 수 있는 곳에서 이루어져야 하는 반면, 중규모나 국지규모 기상에 필요한 관측은 10km 이하의 대표성을 가져도 된다.

대표성은 평균을 위한 시간적 공간적 규모, 관측소 밀도, 기상현상의 수평 규모 등에 따라서 결정되는데, 농업기상의 경우에는 아주 작고, 전구 규모의 장기 예측을 위해서는 상대적으로 큰 관측 주기와 수평 해상도를 가지게 된다. 예보 규모는 기상 현상의 시간 규모와 밀접하게 관련되어 있다.

초단기 예보의 경우에는 시간적 공간적 규모가 작은 기상 현상들을 탐지해야 하기 때문에 그 만큼 좁은 지역에 조밀한 관측망을 구축해서 짧은 주기로 관측해야 빠르게 발달하고 소멸하는 제대로 관측하고 예측할 수 있는 것이다. WMO 보고서와 다양한 연구 결과를 토대로 기상 현상의 수평규모는 다음과 같이 구분할 수 있다

- (a) 미세규모(Microscale) : 100m 미만의 수평 규모를 가지며 주로 농업기상학에 적용되고 주요한 관측 요소는 증발량이 있다.
- (b) 국소(Toposcale) 혹은 국지규모(Local scale) : 100m에서 3km까지의 수평규모를 가지며, 대기 오염이나 토네이도 활동 등과 관련되어 있다.
- (c) 중규모(Mesoscale) : 3km에서 100km의 수평규모를 가지며 뇌우, 해륙풍, 산악풍 등이 이에 해당한다.
- (d) 대규모(Large scale) : 100km에서 3,000km의 수평규모를 가지며 전선, 다양한 저기압, 구름 무리 등이 이 규모에 해당한다.
- (e) 행성규모(Planetary scale) : 3,000km 이상의 수평규모를 가지며, 대류권 상층의 장파가 이에 해당한다.

1.1 대기관측 일반

대표성을 확보할 수 있는 좋은 대기관측은 관측기술, 훈련, 장비와 지원 등이 충분히 이루어져야 가능하고, 적용되는 기상 업무에 따라 관측 주기도 다르게 구성되어야 한다.

항공기상의 관측은 수분 단위로 이루어져야하고, 농업기상은 수 시간 단위로, 기후학은 최소 일 단위의 관측 주기를 가지고 있어야 한다. 따라서 기상 자료를 저장하는 주기도 저장 공간과 사용목적에 적절하게 부합하도록 이루어져야 한다.

대기관측의 대표성을 고려할 때 명심해야 할 것은 원하는 규모 전체를 대표할 수 없는 지역에 고립되어 설치되어 있는 관측기구에서 관측된 값은 관측이 없을 때 보다 더 큰 오차를 가져 올 수 있다는 사실이다.

산악지역이나 해안선 부근에 위치한 관측소는 대규모나 중규모 기상현상을 예보함에 있어서는 대표성을 가지지 못하지만, 시간적인 균질성을 가지고 있다면 오랜 시간 동안 자료가 쌓일 경우 기후학적 연구에는 매우 유용하게 사용될 수 있기 때문에 공간적인 대표성이 없다고 해서 무조건 나쁜 관측 값이라고는 할 수 없다.

1.1 대기관측 일반

1.1.2 대기관측 체계

요구도 부합하는 대기관측을 위해서는 다양한 센서들을 구비한 적절한 관측기구와 원격탐사 체계가 필요하다. WMO는 전구규모, 지역규모, 국가규모의 관측을 위해서 필요한 대기관측 체계에 관한 지침을 제공하고 있다. 전구규모의 관측에 부합하기 위해서는 지상 기반의 하부체계와 위성 기반의 하부체계가 통합된 형태의 대기관측 체계를 구축하여야 한다. 지상 기반 하부체계는 지상 종관 기상대, 고층관측, 기후관측 등을 포함하며, 위성 기반 하부체계는 기상위성과 자료 송수신 체계를 포함한다. 지역규모와 국가규모의 관측은 주로 지상 기반의 관측 체계로 구성되어진다. 정보통신 기술의 발달과 함께 다기능 기상관측 센서를 가진 자동관측 체계들을 네트워크로 연결하는 기상관측 체계가 대세를 이루고 있다.

1.1.2.1 지상관측소의 대기관측 요소들

기상관측의 목적과 체계에 따라 다양한 요구 조건들이 주어지지만 WMO에서 권고하고 있는 일반 지상관측소에서 관측해야 할 대기관측 요소들은 다음과 같다.

현재 기상
과거 기상
풍향과 풍속
운량
운형
운저 고도
시정
온도
상대습도
기압
강수량
적설
일사/태양복사량
토양온도
증발량

1.1 대기관측 일반

이들 요소들 이외에도 지상관측소 중에서 일부에서는 특정한 센서들을 활용하여 고층 관측, 토양 습도 관측, 오존 관측, 대기 조성 관측 등이 이루어지고 있다. 위에서 언급한 관측 요소들 중에서 운형을 제외한 나머지 요소들을 자동으로 관측할 수 있는 센서들은 이미 개발되어 활용되고 있다.

그러나 센서와 정보통신 기술력을 모두 통합한다고 하더라도 현재 기상, 과거 기상, 운량과 운고, 적설과 같은 기상 요소들을 완벽하게 망라할 수 있는 대기관측 체계는 존재하지 않기 때문에 결국 사람에 의한 관측은 기술 발전과 무관하게 매우 중요하고 가장 정확한 방법으로 남아있다.

1.1.2.2 자동기상 관측소

중관, 기후, 항공기상 분야에서 필요한 대부분의 기상요소들은 자동 관측 장비를 통해서 관측할 수 있다. 자동기상 관측체계의 발전과 함께 전체 관측소에서 순수한 자동기상 관측소가 차지하는 비율이 관측자에 의한 관측소에 비해서는 여전히 작지만 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다. 다만, 자동기상 관측소에서 관측된 값들이 대표성과 유용성을 확보하기 위해서는 적절한 관측지점 선정, 주기적인 센서 교환과 정비 활동 등이 반드시 필요하다.

1.1 대기관측 일반

1.1.2.3 관측자의 중요성

비록 자동기상 관측 체계들이 발달하고 있다고 하더라도 다음과 같은 몇 가지 이유들로 인해서 관측자들의 역할은 여전히 중요하다.

- (a) 종관/기후 관측에 있어서 적절한 관측 도구의 도움을 받아 불확실성을 제거하고 관측 값들이 대표성을 가질 수 있도록 관측이 이루어져야 한다.
- (b) 관측기구들의 상태를 양호하게 유지하고, 관측자료들을 관리하는 등 관측소가 좋은 상태를 유지할 수 있도록 한다.
- (c) 자동 코딩이나 통신망이 갖추어지지 않은 지역에서의 긴급한 관측과 전송이 필요한 경우가 많다.
- (d) 자동화되어 있지 않은 관측소의 주간/월간 단위 기후학적 자료 정리와 기록이 필요하다.
- (e) 자동관측 체계는 다양한 이유로 인해서 필요한 관측 요소를 관측하지 못하거나 관측 체계 전체가 고장날 수 있기 때문에 보조 혹은 백업 관측이 반드시 필요하다.
- (f) 다양한 전문적인 관측 요구에 부응할 수 있다. 따라서 관측자는 필요한 표준화된 관측을 할 수 있도록 훈련되어지고 검증된 기상 기관에서 자격을 부여받은 사람이어야 한다. 관측자는 관측기구의 사용법에 대해서 이해하고 있어야 하며 관측기구를 통해 필요한 관측 요소들을 적절하게 관측할 수 있도록 훈련되어야 한다.

1.1 대기관측 일반

1.1.3 관측소의 선정

관측소 선정의 가장 큰 기준은 관측값이 대표성을 가지도록 하는 것이다. 종관 관측망에 포함되어 있는 관측소는 종관 규모 요구도에 부합하도록 선정되어야 하며, 항공기상을 지원하는 관측소는 국지(공항)에 특화된 특수한 조건들에 부합하도록 위치가 선정되어야 대표성을 확보할 수 있다. 관측소의 설치와 구성에 관한 내용은 WMO 지침에 상세하게 규정되어 있는데 지역규모 혹은 국가규모 관측망에 포함되는 전형적인 종관규모 관측소는 다음과 같은 선정 기준이 제시되고 있다.

- (a) 외부에 설치되는 관측기구들은 지상으로부터 일정한 높이에 설치되어야 하며, 전체 관측 야장은 $25\text{m} \times 25\text{m}$ 보다 큰 규모를 권장하지만 부득이한 경우에는 최소한 $10\text{m} \times 7\text{m}$ 까지 축소할 수 있다. 관측소의 바닥은 짧은 잔디나 주변 지표면 특성을 대표할 수 있는 토양으로 구성되어 있어야 하고, 관측 장비가 설치된 구역은 바람이 통하는 울타리를 설치하여 비인가 인원의 출입을 막아야 한다. 관측 구역 내에 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 의 맨 땅을 만들어 지표면 상태와 토양 온도를 관측할 수 있도록 하여야 하는데 토양 온도는 20cm 미만의 깊이에서 관측하여야 한다.
- (b) 관측소 주변에는 가파른 지형이 없어야 하며 우묵한 곳이나 공동 구역에 설치하지 않아야 하는데 이러한 규칙이 지켜지지 않으면 관측소는 대표성을 확보할 수 없다.
- (c) 관측소는 나무, 건물, 벽, 장애물 등으로부터 충분히 멀리 떨어져 있어야 한다. 우량계는 울타리를 포함한 우량계 주변의 장애물이 우량계 높이보다 2배 이상 떨어져 있도록 설치되어야 하는데 가능하면 4배 이상 떨어져 있는 것이 좋다.
- (d) 일사/복사 측정기, 우량계, 풍향풍속계는 동일한 장소에 서로 충분히 노출되도록 설치되어야 한다.

1.1 대기관측 일반

- (e) 풍향풍속계는 장애물에 의해서 왜곡이 심할 가능성이 높기 때문에 어떠한 경우에도 장애물로 둘러싸여 있어서는 안 되며, 항상 사방이 열린 곳에 설치되어야 한다.
- (f) 대부분의 측기는 사방이 완전히 열려있는 것이 유리하지만, 우량계의 경우에는 강한 바람에 의해서 강수량이 왜곡될 수 있기 때문에 바람의 영향을 적게 받도록 어느 정도의 엄폐 장치가 필요하다.
- (g) 일사나 복사량 관측에 있어서 측기가 나무나 건물 등과 같은 장애물로 가려져 수평적인 관측이 크게 제한을 받은 경우 충분한 관측이 가능하도록 대체 장소를 찾아야 한다.
- (h) 구름이나 시정을 관측하는 지점은 가능한 사방의 관측이 가능한 열린 곳이어서 주변 지역과 하늘을 충분히 관측할 수 있는 곳이어야 한다.
- (i) 해안에 설치되는 관측소는 바다가 보이는 방향으로 설치하는 것이 좋다. 그러나 관측소가 너무 해안에서 가깝거나 절벽에 위치하는 경우에는 장애물에 의한 난류 발생으로 바람과 강수량 관측에 영향을 미칠 수 있다.
- (j) 구름과 시정을 야간에 관측할 경우에는 외부 불빛으로부터 영향을 받지 않는 지역에서 실시하여야 한다.

위에서 언급된 관측소 선정 조건들을 하나하나 따져보면 서로 상치되는 부분들이 존재한다는 것을 알 수 있다. 따라서 관측소 선정을 할 때는 다양한 요소들을 고려해서 최상의 관측값을 얻을 수 있는 조건을 적절히 조합하여 선정하여야 한다.

1.1 대기관측 일반

1.1.3.1 관측소 좌표

관측소의 위치는 세계측지체계 1984(WGS-84)와 지구측지모델 1996(EGM96)의 기준에 따라 정확하게 좌표로 지정되어야 한다. 관측소 좌표는 위도와 경도값은 $1/1000^{\circ}$ 까지 상세하게 보고되어야 하며, 관측소의 높이도 해발고도로 미터(m) 단위로 보고되어야 한다.

관측소의 좌표는 실제 관측이 이루어지는 지점을 의미하며 같은 이름의 도시나 마을, 공항의 위치를 의미하는 것이 아니다. 종관 관측이 이루어지는 관측소의 높이는 일반적으로 해발고도로 우량계가 서 있는 지역의 높이를 의미한다. 우량계가 없는 관측소는 백엽상의 높이를 의미한다. 공항과 같이 관측소 기압이 매우 중요한 지역의 경우에는 관측소의 높이는 실제 기압 관측이 이루어지는 고도에 맞추는 것이 좋다.

1.1.3.2 측기의 특성과 균질성의 변화

관측소의 특성은 나무의 성장이나 주변 건물의 신축 등과 같은 요소들에 의해서 시간에 따라 계속해서 변화할 수 있기 때문에 관측소는 이러한 환경의 변화가 최소화될 수 있는 지역에 설치되는 것이 좋다. 가능하면 관측소 주변 환경의 변화를 지속적으로 기록하여 필요한 경우에는 적절한 대체 장소를 선정하는데 활용하여야 한다.

측기의 교체나 위치를 변경할 경우에는 그 영향이 최소화될 수 있도록 방법을 강구하여야 한다. 비록 새로운 장비의 물리적인 특성은 잘 알려져 있다고 하더라도 현업에 활용하기 위해서는 반드시 그 지역의 기후학적 특성에 맞추어 적절하게 보정되어야 한다.

WMO는 새로운 측기를 설치하여 운영하는 경우에 이전 장비를 철수하기 전에 최소한 1년 정도의 비교 관측을 통해서 안정성을 확보하도록 권고하고 있다. 이러한 기준은 관측 장소를 옮겼을 경우에도 동일하게 적용된다.

1.1 대기관측 일반

1.1.4 측기의 일반적인 요구 조건

1.1.4.1 측기의 바람직한 특성들

대기관측에 이용되는 측기의 가장 중요한 요구조건들은 다음과 같다.

- (a) 불확실성. 특정한 변수들에 대해서 어느 정도의 불확실성을 가지는지 명확해야 한다.
- (b) 신뢰성과 안정성
- (c) 작동의 편의성, 원활한 보정과 정비
- (d) 디자인의 단순함
- (e) 내구성
- (f) 측기, 소모품, 부속품의 합리적인 유지비용

측기가 가지는 계통적인 불확실성, 신뢰성과 안정성은 측기가 일단 설치되면 오랜 기간 동안 운영 유지되어야 한다는 점에서 가장 중요한 고려 요소가 된다. 측기를 운영하는 초기에 불확실성 정도에 대한 정확한 정보를 가지고 있는 것이 측기를 운영하는 전 과정 동안 발생할 수 있는 문제점을 사전에 인지하는데 유리하다.

일반적으로 측기의 초기보정은 이상적인 값과 관측값 사이의 편차를 줄이는 과정에서 중요한 의미를 가지며, 측기들은 운영하는 동안 지속적인 정비 활동과 검증 및 보정 작업이 필요하며, 보정 작업이 필요한 시기와 이상 징후에 대한 정확한 정보가 관측자에게 주어져야 한다.

디자인의 단순함과 내구성은 장비설치, 운영 및 유지에 있어서 중요한 고려 요소가 된다. 왜냐하면 보통 기상 측기는 연중 무중단 운영되며 전문적인 수리가 가능한 지역에서 멀리 떨어진 곳에 설치 운영되는 경우가 많기 때문이다.

1.1 대기관측 일반

내구성은 기상 측기 자체가 다양한 기상현상과 온도와 습도 변화에 그대로 노출되어 운영되기 때문에 중요한 고려 요소가 될 수 있다. 디자인의 단순함과 내구성은 바로 장비의 운영 유지비 절감과 연결되어 있다. 기상관측을 통해서 얻어지는 이익에 비해서 운영 유지에 들어가는 비용이 초과된다면 관측을 지속적으로 실시하는데 필요한 예산 확보에 대한 합리적인 설명을 제공할 수 없을 가능성이 높기 때문이다.

1.1.5 관측값들의 단위와 상수

1.1.5.1 측기에서 수치로 제공되는 관측값의 단위

관측을 실시하는 목적은 관측 지점의 대기의 상태에 대한 물리적 대기과학적으로 정량화된 값을 제공하는데 있다. 대기과학적 측면에서는 측기에서 표출되는 변수들을 ‘대기압’, ‘온도’, ‘풍속’ 등으로 표현하지만 대부분의 경우 앞 쪽에 관측값을 표시하고 바로 이어서 단위를 표시한다(예, 풍속 10m/s). 기상정보는 전 세계에 통용되어야 하기 때문에 대기관측에서 사용되는 단위들은 국제표준단위(SI)를 사용할 것을 권장하지만 대기과학에서만 적용되는 단위들을 사용하기도 한다. 그리고 기상 변수들에는 그것이 무엇을 의미하는지를 기호로 나타내기도 한다. 예를 들어 대기압은 ‘ p ’를 사용하여 기압임을 표시한다.

다음의 단위들은 대기관측에서 사용되어야 하는 단위들이다.

- (a) 대기압, p , 단위 : 헥토파스칼(hPa)
- (b) 온도, t , 단위 : 섭씨(°C) 혹은 켈빈 온도, T , 단위 : 켈빈(K)
- (c) 지상풍과 상층풍 풍속, 단위 : 초속(m/s)
- (d) 풍향, 불어오는 방향을 표시. 36은 북풍, 09는 동풍을 의미, 단위 : 도(°)
- (e) 상대습도, U , 단위 : 퍼센트(%)

1.1 대기관측 일반

- (f) 강수량, 단위 : 밀리미터(mm) 혹은 단위 면적당 무게(kg/m^2)
- (g) 강수 강도, R_i , 단위 : 단위 시간당 밀리미터 혹은 단위 시간당 면적당 무게 ($kg/m^2/h$)
- (h) 강설량, 단위 : 단위 면적당 무게(kg/m^2)
- (i) 증발량, 단위 : 밀리미터(mm)
- (j) 시정, 단위 : 미터(m)
- (k) 조도, 단위 : 단위 면적 당 와트(W/m^2)
- (l) 복사량, 단위 : 단위 면적 당 주율(J/m^2)
- (m) 일사 시간, 단위 : 시간(h)
- (n) 운고, 단위 : 미터(m)
- (o) 운량, 단위 : 옥타(Oktas)
- (p) 상층 지위 고도, 단위 : 지위고도 (gpm)

1.1.5.2 상수

다음은 대기관측에서 사용되는 상수들이다.

- (a) 어는 점(T_0)에서의 절대 온도 = $273.15K$ ($t = 0.00^\circ C$)
- (b) 물의 삼상변화 절대 온도 $T = 273.16 K$ ($t = 0.01^\circ C$)
- (c) 표준 중력가속도(g_n) = $9.80665(m/s^2)$
- (d) $0^\circ C$ 에서의 수증 농도 = $1.359\ 51 \times 10^4 (kg/m^3)$

1.2 기압

1.2.1 기압관측 일반

1.2.1.1 기압의 정의

주어진 표면에서의 대기의 압력(이하 기압)은 표면 상공의 공기의 무게에 의해서 단위 면적당 가해지는 힘으로 정의된다. 따라서 기압은 지표면에서 대기의 상단까지 뻗어있는 공기 기둥의 무게와 같다. 실제 기압과 별도로 기압의 변화 경향도 잘 측정되어야 한다. 기압변화 경향은 관측 시간 바로 이전 3시간 동안의 기압 변화량을 의미한다. 기압변화 경향은 기압 자체의 변화와 기압변화 특성으로 나누어질 수 있다. 기압 자체의 변화는 문자 그대로 일정한 시간 간격을 두고 관측된 처음과 끝의 기압 값의 차이를 의미한다. 기압변화 특성은 일정한 시간 동안 기압이 어떻게 변화해 왔는지에 대한 표시를 의미한다. 예를 들어 기압이 지난 3시간 동안 하강한 후에 상승했는지, 서서히 상승하다가 급하게 상승했는지가 기압변화 특성이 된다.

1.2.1.2 단위와 척도

기압 측정의 기본 단위는 파스칼(Pa 혹은 N/m^2)이다. 일반적으로 대기관측에서 기압값은 앞에 100을 의미하는 두문 ‘헥토(hecto)’를 붙여서 보고하는데 이때 사용되는 단위는 헥토파스칼(hPa)이 된다. 따라서 기압 $1hPa$ 은 기압 $100Pa$ 을 의미하는 것이다. 기존에는 기압의 단위로 많이 사용되었던 밀리바(mb)와 hPa 은 같은 값으로 볼 수 있다. 아직까지 몇몇 기압계들은 그 눈금 단위를 밀리바나 수은인치($mmHg$)로 표시한 것들을 발견할 수 있다. 표준 대기상태에서 수은주는 기압이 $1013.25hPa$ 일 때 $760(mmHg)$ 의 높이를 가지게 된다.

기압의 단위는 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$1hPa = 0.750062(mmHg)_n, 1(mmHg)_n = 1.333224hPa$$

일반적으로 공학에서 사용되는 밀리미터와 인치 사이에는 $1in = 25.4mm$ 의 관계식을 가지게 되므로 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$1hPa = 0.029530(inHg)_n$$

$$1(inHg)_n = 33.8639hPa$$

$$1(mmHg)_n = 0.03937008(inHg)_n$$

1.2 기압

대기관측에서 사용되는 수은 기압계의 눈금은 바로 실제 기압을 표준 단위로 읽을 수 있도록 눈금으로 표시되어야 한다. 모든 측기들은 표준 기온 0°C , 중력 가속도 9.80665 ms^{-2} 에서 정해진 값이 표현되도록 유지되어야 한다.

기압계에는 보통 1개 이상의 눈금이 표시되어 있는데, hPa 과 $mmHg$ 혹은 hPa 과 $inHg$ 가 동시에 표시되어 있고 표준 대기 상태에서 기압계는 정확하게 보정되어 사용되어야 한다. 그런데 대기관측에서 항공기상과 같은 특별한 목적이 있는 경우를 제외하고는 기압값을 보고할 때는 hPa 단위로 표시하여야 한다.

1.2.1.3 기압 관측 요구 조건들

분석된 기압장은 대기과학적인 측면에서 볼 때 가장 필요한 요소이다. 기압장은 현재의 대기의 상태를 분석을 통해서 예측으로 이어지는 일련의 기상 업무에서 가장 기본적인 요소이므로 반드시 관측이 이루어져야 한다. 기압 관측은 기술이 허용하는 한 정확하여야 하며, 관측 도구들은 균질한 관측이 보장될 수 있도록 철저하게 보정이 이루어진 후에 관측에 투입되어야 한다.

기압관측은 다음과 같은 요구 조건들을 만족하여야 한다.

관측 범위 : 관측소 기압과 해면기압 모두 $500hPa \sim 1080hPa$

불확실성(오차) : $0.1hPa$ 이하

보고 단위 : $0.1hPa$

관측 센서 지속 시간 : 20초

자료 표출 주기 : 1분 이하

위에서 언급된 요구조건들을 만족시키기 위해서는 새로운 기압관측 측기들을 설치할 경우 장비를 현장에 설치하기 이전에 적절한 장비가 구비되고 엄격한 환경에서 검증을 통과한 측기로 보증을 받은 제품을 사용하는 것이 우선되어야 한다. 기압계들은 단독으로 설치 운영되는 경우보다 복합 기상 관측 장비의 일부로 구성되어 있거나, 네트워크로 연결되어 사용될 가능성이 높기 때문에 장비를 현장에 설치할 때는 사전에 이러한 조건들을 만족하는지를 강제적으로 확인할 필요가 있다. 또한 장비를 설치 운영하는 동안 지속적인 유지 보수와 보정 작업을 통해서 위의 요구 조건들에 계속해서 부합되도록 관리되어야 한다.

1.2 기압

1.2.1.4 기압의 측정과 관측 방법들

대기과학적 목적을 위해 기압은 일반적으로 전자 기압계, 수은 기압계, 아네로이드 기압계 등을 통해서 측정한다. 아네로이드 기압계는 액체의 끓는 점과 기압과의 상관관계에 크게 의존하고, 사용 범위도 기압고도계 등으로 제한적이기 때문에 항공기상 분야를 제외하고는 크게 활용되지 않고 있다. 대기과학 분야의 현업 기관에서 사용되는 기압 측기(기압계)는 다음과 같은 요구 조건들에 부합해야 한다.

- (a) 기압계는 적절한 승인된 절차를 이용하여 표준 기압계와의 비교를 통해 규칙적으로 보정되고 통제되어야 한다. 보정 주기는 기압계의 오차 범위 내에서 기압계가 작동할 수 있도록 가능한 충분히 짧게 잡는 것이 좋다.
- (b) 사용되는 기간에 상관없이 기압계의 정확도의 변동은 기압계의 기계적인 허용 범위를 벗어나서는 안 된다. 만약 기압계가 사용되는 동안 계속해서 보정되어 온 기록이 있다면, 정확도를 보장하기 위해서 보다 짧은 보정 주기를 가져야 한다.
- (c) 기압계에서 읽혀지는 기압값은 온도 변화에 영향을 받지 않아야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 (i) 온도의 영향을 반영하여 기압값을 조정해서 정확성을 확보할 수 있어야 하고, (ii) 기압 센서가 작동하는 환경의 온도가 안정되어 정확성의 확보에 문제가 없어야 한다. 최근 만들어지고 있는 기압 센서들은 주변의 온도를 측정하여 온도의 영향을 보상할 수 있도록 설계되어 지고 있다. 따라서 기압계를 보정하는 표준 절차에는 온도 변화 보상 부분이 충분히 포함되어 있어야 한다.
- (d) 기압계는 외부 환경에 의해서 측정 오차가 발생하지 않는 환경에 위치해야 한다. 외부 환경의 영향에는 바람, 일사, 온도, 충격과 진동, 전압의 변동, 기압 충격 등이 포함된다. 특히 수은 기압계의 경우 설치 위치 선정에 매우 신중을 기해야 한다. 관측자들은 기압계의 측정값을 읽을 때 정확도에 영향을 미칠 수 있는 요소들이 어떤 것들이 있고, 어떻게 영향을 주는지 충분히 이해하고 있어야 한다.

1.2 기압

(e) 기압계는 쉽고 빠르게 그 값을 읽을 수 있어야 하며, 표시되는 값의 변동 범위가 정해진 절대 정확도보다 1/3 이내에 있어야 한다.

(f) 만약 기압계를 관측 장소에서 멀리 떨어진 곳에서 보정할 경우에는 기압계의 안정성이나 정확성에 영향을 주지 않는 수송 방법을 택해서 운반하여야 한다. 운반 도중에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 물리적인 충격과 진동, 수직적인 변위, 주변 공기의 큰 기압변화 등을 들 수 있다.

최근 만들어지고 있는 기압계들은 센서에서 측정된 값들을 기압 관련 값으로 변환하는 변환기를 가지고 있는데, 이 변환기들은 집적회로와 평활화 알고리즘을 통한 자료 획득 시스템으로 구성되어 있다. 종관규모 기압 관측을 위한 기압계의 시간 상수는 약 10초가 적절하고 20초를 넘기지 않는 것이 좋다. 다만 수은 기압계에서 시간 상수는 별로 중요한 요소가 아니다.

대기의 기압을 관측하는 방법들은 여러 가지가 있다. 역사적으로 가장 광범위하게 사용된 방법은 공기가 누르는 힘에 의해서 액체의 기둥이 올라가는 정도를 측정하는 방법이었는데, 다양한 액체들을 활용한 기압 측정이 시도되었는데 상대적으로 정확성과 안정성을 확보할 수 있는 액체로 수은이 선택되었다.

수은 기압계가 비교적 오랜 기간 동안 정확성과 안정성을 제공해 준다고 하더라도 최근 들어 그 선호도가 떨어지고 있는데 그 이유는 상대적으로 동일한 수준의 정확성을 가지면서도 측정된 값을 읽기 쉬운 전자 기압계가 상용화되었기 때문이다

1.2 기압

고유한 탄성계수를 가진 물질을 얇은 막으로 만들어 끝단을 고정시켜 놓은 상태에서 한쪽의 기압이 다른 쪽보다 클 경우 그 모양에 변형이 발생하게 되는 성질을 이용하여 기압을 측정하는 방법도 있다.

이 방법은 외부 기압으로부터 변형이 되는 것을 막아줄 수 있는 강력한 스프링이 내장된 완전히 혹은 부분적으로 진공 상태인 금속 캡슐 속에 얇은 금속막을 고정하여 만든다. 이러한 상태에서 캡슐 안쪽과 바깥쪽의 기압 차이에 의해서 금속막의 변형 정도를 기계적인 혹은 전기적인 수단을 통해서 측정하는 방법이 사용되는데 아네로이드 기압계가 이 방법을 사용한다.

아네로이드 기압계는 기압 센서가 얇은 니켈 금속 실린더 속에 들어있고 주변이 진공상태인 형태를 가진다. 이러한 형태의 실린더의 자연 공명 진동수는 실린더 내부와 외부 공기의 기압 차이에 의해서 변동하게 되고 이 진동수의 변화를 측정하여 기압을 측정하는 방법이 사용된다.

절대 기압 변환기로는 크리스털 석영이 주로 사용되는데 기압에 의해서 크리스털에 작용하는 압축력에 의해서 그 아래에 위치한 놓인 얇은 막에 변형을 가져오게 된다. 압전저항소자는 휘트스톤 브리지로 불리는 저항 측정장치를 통해 막의 변형 정도를 측정하여 기압을 매우 정확하게 측정하게 된다.

1.2 기압

1.2.2 기압계의 종류

1.2.2.1 수은 기압계

최근 들어 수은 증기의 독성이 알려지면서 수은 기압계의 사용률이 크게 떨어지고 있다. 수은은 공기 중에 노출되면 알루미늄 금속을 부식시키는 특성을 가지고 있기 때문에 수은 기압계는 특수한 납유리로 만들어진 관 속에 수은을 넣어서 만든다. 수은 기압계는 매우 민감하고 이동이 어려우면서 깨끗한 수은의 상태를 유지하는 것이 어렵기 때문에 운영 유지에 많은 노력을 기울여야 한다. 최근 기술의 발달로 전자 기압계의 정확도와 안정성이 수은 기압계에 접근하면서 수은 기압계가 전자 기압계로 바뀌고 나가고 있는 추세이다.

1.2.2.2 전자 기압계

최근 대기관측에 사용되는 대부분의 기압계는 센서에서 측정된 기압과 관련된 전기적인 변수 즉, 아날로그 신호, 전압, 디지털 신호 등과 같은 변수들을 이용하여 기압을 측정한다. 자동관측장비는 보통 전자 기압계를 사용하는데 아날로그 신호를 디지털로 전환하여 쉽게 기압을 측정하도록 도와준다. 최근 디지털 기압계 기술은 상대적으로 오랜 기간 동안 관측을 실시하여도 안정성과 정확성을 담보할 수 있는 수준까지 발전하였다. 보통 전자 기압계는 3개의 완전히 독립된 센서와 기압 변환기와 마이크로프로세스로 구성되어 있고, 내부에 자동 온도 보상 센서를 부착하여 온도에 의한 기압 영향을 최소화할 수 있도록 설계되어 있다. 1개가 아닌 3개로 구성된 전자 기압계는 오랜 기간 동안 지속적으로 사용하여도 안정성과 정확성을 담보할 수 있도록 한다. 또한 3개의 기압 센서에서 나온 기압값을 상호 비교하여 각 센서들의 작동 상태를 지속적으로 감시함으로써 정확도와 안정성을 보장하게 한다.

전자 기압계를 사용하는 관측소는 아래와 같은 사항에 유의하여야 한다.

- (a) 수령된 디지털 기압계의 보정 세팅을 지속적이고 규칙적으로 수정하여 안정된 기압 측정이 이루어질 수 있도록 한다.
- (b) 일정 기간이 지난 디지털 기압계는 규칙적으로 인증된 기관 입고하여 새롭게 보정하여 사용하여야 한다.
- (c) 어떤 형태의 디지털 기압계는 이동이 용이한 장점이 있지만 단기적인 안정성을 가지므로 이동시 표준 절차를 준수하여야 한다.

1.2 기압

(d) 디지털 기압계를 선정할 때는 설명서에 기술되어 있는 사양뿐만 아니라 사용 환경과 정비 능력 등도 충분히 고려하여야 한다.

1) 아네로이드 변위 기압계

전자 기압계 중에 하나인 비접촉 아네로이드 캡슐 변위를 전기적인 신호로 변환하여 기압을 측정하는 아네로이드 변위 기압계는 정밀한 기압 측정 도구로 실제 대기관측에서 광범위하게 활용되고 있다. 변위 기압계는 용량성 변위 탐지 장치, 전위차 변위 탐지 장치, 센서 상의 주요 지점에 위치하는 변형 게이지, 기압에 무관하게 센서의 범위를 유지하는 균형 서보센서 등으로 구성되어진다. 모든 민감한 부품들은 구조된 틀 속에 들어가 있어야 한다. 이 금속 틀은 전동 발열 장치를 통해서 온도가 상온으로 유지되도록 하여야 하며, 틀 내부에서 물의 응결이 발생하지 않도록 하여야 한다. 이를 위한 효과적인 기술은 습도계를 장착하거나 실리콘으로 봉합하거나 긴 튜브를 연결해서 틀 내부의 습기들이 빠져 나가도록 하는 방법 등이 제시되고 있다. 기압 센서는 완전히 밀폐되어 있어야 하며, 외부의 부품과 연결되어 측정된 기압 신호를 전자적으로 읽고 디지털로 전환할 수 있도록 설계된다.

2) 디지털 압전저항소자 기압계

압전소자 기압계는 압전저항 효과를 이용하여 기압을 측정하는 측기이다. 다양한 형태가 있지만, 일반적인 구성은 탄력성을 가진 단결정 실리콘 막에 4개의 저항기를 달고 이 저항기들을 휘트스톤 브리지(전기 저항 측정기) 회로와 연결하는 형태를 가지고 있다. 단결정 실리콘 막 위에 투명한 석영을 축대칭 형태로 올려놓게 이 석영이 실리콘 막을 누르는 힘을 저항기로 측정하여 기압을 산출하는 방식을 사용한다. 투명한 석영이 사용되는 이유는 압전저항 효과 좋고, 안정된 주파수 특성을 가지며, 온도 변화에 크게 영향을 받지 않아 정밀한 기압 측정이 가능하기 때문이다. 기압이 작은 진공 통 속의 센서에 전달되면 저항기는 압축력과 인장력을 측정하게 되고, 압전저항 효과에 의해서 저항값이 기압에 비례한다는 사실을 통해서 저항값의 변화를 기압의 변화로 계산하게 된다. 온도에 의한 오차를 줄이기 위해서 센서가 들어있는 통은 온도 조절 장치가 설치되는 것이 보통이다. 측정된 저항값이 휘트스톤 브리지 회로를 통해 직류 형태의 전기로 전달되면 증폭기가 이를 받아서 표준 신호 형태로 변환하게 된다. 회로를 통해서 전달된 신호들은 주파수의 선형 함수를 이용하여 보정한 다음 마이크로프로세서를 통해 기압으로 계산되어 지게 된다.

1.2 기압

3) 원통형 공명 기압계

원통형 공명 기압계는 니켈 합금으로 만들어진 얇은 실린더를 기압 측정 센서로 사용하는 측기이다. 실린더는 외부로 둘러 싸인 부분과 내부 실린더로 구성되는데 내부와 외부 실린더 사이에는 진공 상태를 만든다. 내부 실린더에는 코일이 감겨져 있어서 진동 주파수를 측정할 수 있도록 한다. 기압은 진동에 의한 자연 공명 주파수의 변화를 통해서 측정하게 된다. 외부 실린더 주변의 공기에 의해서 내부 실린더와 외부 실린더 사이의 진공인 부분을 향해 압력(기압)이 작용하면 그 힘에 의해서 내부 실린더의 벽이 진동을 하게 되고 내부 실린더의 벽에 감겨져 있는 코일에서 이 진동을 측정하여 자연 진동 주파수에서 얼마나 변화가 있었는지를 측정해서 외부의 기압이 증가하면 진동 주파수가 올라가는 특성을 이용해서 외부 기압을 측정하는 방식이다. 자연 진동 주파수는 변화가 없지만 진동 주파수의 변화와 기압과의 관계식이 지속적으로 유지되기 위해서는 진공 상태 유지, 하부 고정, 충분한 보정, 온도와 공기 밀도의 영향 등을 최소화하여야 한다.

1.3 기온

1.3.1 기온관측 일반

1.3.1.1 기온의 정의

WMO는 온도를 물체(고체, 액체, 기체) 속의 분자들의 평균 무작위 운동으로 특징 지워지는 물리량으로 정의하고 있다. 온도는 두 개의 물체가 어떤 형태로 접촉하여 동등한 온도로 가고자 하는 행위로 특징 지워진다. 따라서 온도는 물체의 열역학적 상태와 두 물체 사이에서의 순수한 열 이동을 결정하는 물리량으로 표현된다. 두 개의 물체 사이에서 열을 잃는 물체를 높은 온도라고 표현한다. 그러나 물체의 상태와 관련해서 온도의 물리량을 정의하는 것은 매우 어려운 일이다. 국제적으로 인정받고 있는 온도 척도는 물의 삼중점과 어는점을 이용하는 방법이다. 최근 국제적인 공인 온도 척도는 국제온도척도 1990(ITS-90)이다. 대기과학적 온도 범위($-0^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$)에 대해서 이 온도 척도는 백금의 전기 저항과 273.16K 로 정의되어지는 물의 삼중점과의 선형 관계식을 기초로 하여 만들어진 것이다.

대기관측에 있어서 온도는 다양한 매체를 상대로 측정한다. 가장 일반적인 측정 변수는 다양한 고도에 대한 기온이고, 다른 것들로는 지표면, 토양, 잔디, 해수면 온도 등이다. WMO는 기온을 “태양의 직접 복사로부터 차폐된 곳의 공기 중에 노출된 온도계가 가리키는 온도”로 정의하고 있다. 비록 이 정의가 그 자체의 열역학적 물리량으로 정의되는 것은 아니지만 광범위하게 적용되고 있다.

1.3.1.2 단위와 척도

켈빈 단위(K)를 가지는 열역학적 온도(T) 혹은 켈빈 온도가 기본 온도가 된다. 켈빈은 물의 삼중점으로부터 열역학적 온도가 $1/273.15$ 씩 변화하는 단위를 말한다. 열역학적 온도에 대응하여 대기과학에서 주로 사용하는 섭씨($^{\circ}\text{C}$) 단위로 나타내는 온도(t)는 아래의 방정식 (1.1)과 같이 정의된다.

$$t/^{\circ}\text{C} = T/K - 273.15 \quad (1.1)$$

1.3 기온

섭씨(°C) 1도의 온도 차이는 켈빈 온도(K) 1도 단위와 같다. K 단위는 도(°)와 함께 표시하지 않는다는 점에 주의해야 한다. 열역학적 온도 척도에 있어서 온도의 측정은 절대온도 0도(0K)와의 차이로 표현되는데, 절대 온도 0K에서 모든 물질의 분자들은 운동 에너지를 갖지 않는다.

ITS-90에서 사용되는 온도 척도는 몇 가지 물질들의 재생 가능한 평형 상태에서의 값을 기준으로 하며, 온도 관측 표준 장비들은 이 온도에 맞춰 보정된다. 국제표준온도 척도는 각 물질들의 이상적인 열역학적 온도와 실제 온도와와의 차이를 측정하여 관측기구의 불확실성 정도를 결정한다.

1.3.1.3 온도 관측 요구 조건들

1) 일반 조건

대기관측에서 온도 관측은 다음과 같은 대상을 상대로 실시한다.

- (a) 지표면 근처 대기
- (b) 지표면
- (c) 다양한 깊이의 토양
- (d) 해수면과 대형 호수면
- (e) 상층 대기

온도 관측들은 공동으로 혹은 단독으로, 국지적으로 혹은 전지구적으로 실시하며 관측된 온도들은 수치예보 모델 초기자료, 수문학, 농업기상, 기후변화의 척도 등에 활용된다. 국지적 온도는 전 세계인들의 일일 생리학적 활동에 직접적으로 큰 영향을 미친다. 온도의 측정은 지속적으로 이루어져야 하며 일정한 시간 간격을 두고 실시되어야 한다.

1.3 기온

2) 정확도 요구도

온도 측정의 범위, 보고 해상도와 불확실성 등에 대한 정보는 1절에서 언급한 규모에 따라 실시하는 것이 바람직하지만, 실제 관측에 있어서는 모든 조건을 완벽하게 맞출 수 있는 온도계를 구비하는 것이 경제적으로 비효율적인 측면이 있다. 차라리 싼 온도계들을 표준에 맞추어 보정해서 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다.

물론 대기관측에 사용되는 온도계들은 보정 범위와 계산 오차의 크기가 정해진 기준 이내에 들어있는 것을 사용해야 한다. 또한 온도계의 운영 범위는 국지적인 기후 범위에 맞추어 선택되어야 한다. 표 1.1은 온도계의 허용 가능한 보정 및 오차 범위를 보여주고 있다.

[표 1.1] 온도계의 허용 가능한 보정 및 오차 범위

온도계 종류	정규 온도계	최고기온 온도계	최저기온 온도계
온도척도 범위 (°C)	-30 ~ 45	-30 ~ 50	-40 ~ 40
보정 범위 (°C)	-30 ~ 40	-25 ~ 40	-30 ~ 30
최대 허용 오차	<0.2K	0.2K	0.3K
정해진 범위 내에서의 최고, 최저 보정 값들 사이의 차이	0.2K	0.3K	0.5K
10°C 단위 마다 최대 보정 변위	0.1K	0.1K	0.1K

모든 온도계들은 적절한 불확실성, 운영 기준, 보정 증명서 등을 기록한 같은 보증서와 함께 제공되어야 한다. 초기 시험과 보정은 국가 기관에서 보증한 연구실에서 실시되어야 하며, 운용 중인 온도계도 일정한 시간 간격을 두고 지속적으로 체크하고 보정되어야 한다.

일반적인 대기 관측에서 온도계는 아주 작은 시간 상수와 지연계수를 가지고 있다. 따라서 온도계를 읽을 때 시간 상수를 너무 길게 잡으면 짧은 온도 변화 경향을 평활화 시켜버릴 수 있고, 너무 짧게 잡으면 큰 범위의 온도 변화 경향을 보는데 불리하다.

1.3 기온

보통의 경우 온도계의 감응시간은 20초를 기준으로 삼는다. 온도의 변화는 일일 기상 예보 생산과 지원뿐만 아니라 특히 기후변화 연구에 매우 중요한 자료가 될 수 있다.

온도는 지표면 상태, 식생, 건물의 존재, 백엽상의 모양 등과 같은 주변 환경의 변화에 매우 민감하게 변화하기 때문에 온도 자료를 저장할 때는 관측 환경의 변화에 관해서도 동시에 기록하는 것이 좋다. 이렇게 어떤 기상 변수에 대한 정보를 기록하는 것을 ‘자료에 대한 자료(Metadata)’라고 부른다.

1.3.1.4 온도 관측 방법들

어떤 물체의 온도를 측정할 때, 온도계는 해당 물체가 가진 온도와 동일한 값을 제시하여야 한다. 이를 열역학적 균형이라고 부른다. 또한 온도계는 온도계 자신의 온도를 측정할 수 있어야 한다.

다른 방법으로 온도는 열적 균형과 상관없이 복사계를 통해서도 결정할 수 있다. 물질의 물리적 특성이 온도에 따라 변화하는 어떠한 물질도 온도계의 기준으로 사용할 수 있다. 대기관측에서 사용되는 온도계는 온도에 따른 물질의 열적 팽창과 전기적 저항 변화를 이용한다.

복사선 측정 방식 온도계는 전자기적 스펙트럼 중에서 적외선 범위를 이용하여 지상에서 뿐만 아니라, 위성 센서를 통해서 지구상의 물체에 대한 온도를 측정할 때에도 다양하게 활용된다.

대기 온도를 측정하기 위해서 최근에는 초음파 주사 방식이 사용되기도 하는데, 대기의 속도를 결정하기 위해서 만들어진 이 방식은 대기 분자들의 평균 온도를 측정하여 이에 상응하는 온도로 환산하는 방식을 사용한다. 온도계 중에서 탁월온도(Prevailing Temperature)를 나타내는 것을 정규 온도계라고 부르고, 관측하는 기간 동안 최고 기온과 최저 기온을 측정하는 온도계를 각각 최고기온 온도계, 최저기온 온도계라고 부른다.

1.3 기온

1.3.1.5 온도계의 설치

태양, 구름, 지표면 그리고 다른 주변 물체들로부터의 복사는 대기를 통과 하면서 대기의 온도를 크게 변화시키지 않지만, 외부에 그대로 노출되어 있는 온도계는 복사량 중에서 상당량을 흡수할 수 있다. 따라서 복사의 강도와 흡수되어 열로 전환되는 정도에 따라서 온도계가 나타내는 온도가 실제 대기의 온도와 크게 차이가 날 수 있다.

매우 순도가 높은 금속 전선이 외부로 노출되어 저항을 측정하는 전기저항 온도계와 같은 경우에는 그 차이가 아주 작거나 무시할 정도이지만, 일반적인 온도계의 경우에는 부적절한 상태에서 측정을 실시할 경우 심하게는 실제 대기의 온도와 온도계가 가리키는 온도가 25K까지 차이날 수 있다. 따라서 온도계가 실제 대기 온도를 측정하게 하기 위해서는 온도계는 적절한 가림막이나 차폐 장치(주로 백엽상 속에 온도계를 설치함)를 통해 직접적인 복사 영향을 받지 않도록 설치되고 관측되어야 한다.

가림막이나 차폐 장치는 온도계가 강수의 영향을 받지 않으면서도 주변 공기와 자유롭게 섞이도록 설계되어야 한다. 만약 강수가 직접 센서에 도달하게 되면 주변 자유대기 흐름과 작용하여 대기온도계가 마치 습구온도계처럼 작동하게 만들 수 있다.

백엽상 속 온도계에 대한 자유로운 대기의 흐름을 보장하는 과정에서 문제가 될 수 있는 요소는 겨울철에 백엽상이나 온도계 센서에 서리가 쌓이는 경우가 될 수 있다.

이러한 상황에서 발생할 수 있는 온도 오차를 줄이기 위해서 백엽상에 인공적인 통풍 장치를 달아서 습도를 조절하는 방법을 사용한다. 물론 통풍 장치가 강수, 이슬비, 안개 입자 등을 증발시키면서 또 다른 오차를 만들어 낼 수 있다는 점도 간과하여서는 안 되기 때문에 비교 관측을 통해서 오차를 줄일 수 있도록 조치하여야 한다.

1.3 기온

일반적인 대기관측 기준으로 대기온도 측정은 가능하면 넓은 지역의 공기와 관측소의 공기가 섞이고, 지상 1.2m에서 2m의 높이에서 관측되어야 한다.

대기의 최하층에는 큰 연직 온도경도가 발생할 수 있기 때문에 지상으로부터 일정한 높이를 띄워서 관측을 실시한다. 대기온도 관측에 가장 좋은 위치는 주변이 평평하고, 태양이나 바람이 나무, 건물 혹은 다른 장애물로부터 가려지거나 막히지 않는 곳에 설치된 백엽상이 된다.

경사가 큰 언덕이나 움푹 팬 지역은 절대로 피해야 하고, 도심 지역이나 특이 지역은 외곽 지역에 비해서 대기가 주변 환경의 영향을 더 많이 받을 수 있다. 건물 옥상에서 온도를 관측하는 것은 의심의 여지가 없이 큰 오차를 가질 수 있다.

왜냐하면 대기 온도가 큰 수직 온도 경도와 건물 자체 온도의 영향을 직접 받을 수 있기 때문이다.

1.3 기온

1.3.2 온도계의 종류

1.3.2.1 유리 속 액체 온도계(Liquid-in-Glass Thermometer)

대기온도, 최고/최저기온, 습구온도 등을 측정할 때 여전히 많이 통용되고 있는 온도계는 막대 형태의 유리관 속에 특정한 액체가 들어가 있는 유리 속 액체 온도계이다.

이 온도계는 순수한 액체가 물질이 온도에 따라 팽창하고 수축하는 고유한 특성을 이용해서 온도를 측정하는 것으로 온도계의 구조는 긴 막대형 긴 튜브 아래에 액체를 포함한 구가 달려서 얇은 천공을 통해서 팽창 혹은 수축된 액체가 막대형 튜브를 따라 위 아래로 움직이고 온도계에 표시된 척도의 값을 읽어서 온도를 측정하도록 하고 있다.

막대형 온도계 속에 들어가는 액체의 부피는 표준 온도계에 맞춰서 보정된 양으로 결정된다. 일반적으로 많이 사용되는 막대형 온도계는 수은 온도계인데 일반적으로는 수은의 어는점인 -8.3°C 이상의 환경에서 매우 정확하게 반응한다. 대기의 온도가 수은의 어는점보다 낮게 내려가는 지역에서는 에틸알코올이나 다른 액체가 사용된다.

온도계의 유리는 보통의 유리나 봉규산염 유리가 많이 사용된다. 온도계 하부의 구는 가능한 얇게 만들어서 열의 전도를 촉진하도록 만들어야 한다. 막대 속의 천공이 좁을수록 온도계 속의 액체가 더 많이 오르내리기 때문에 정밀한 측정이 가능하지만 일정한 길이 내에서 기온 측정이 가능하도록 천공의 두께가 결정되어야 하며, 유리의 수명에 따른 오차를 줄이기 위해서 충분히 강화된 유리를 사용하여야 한다.

1.3 기온

대기관측에서 주로 사용되는 막대형 액체 온도계는 4가지 형태를 가지고 있다.

- (a) 이중 원통형(칼집 모양)으로 척도가 온도계 기둥에 새겨져 있는 형태
- (b) 이중 원통형으로 척도가 온도계 외부 유리 내부에 있는 반투명 유리에 새겨져 있는 형태
- (c) 외부 유리가 없이 온도계 막대에 척도가 표시되며 금속, 자기 애자, 나무에 불박이 형태로 온도계가 붙어 있으며 척도를 가리키는 숫자가 금속, 애자, 나무 등에 기록되어 있는 형태
- (d) 외부 유리가 없고 온도계의 척도가 막대에 새겨져 있는 형태

(a)와 (b)형태의 온도계는 (c)나 (d)형 온도계보다 내구성이 높고 외부 충격으로부터 보호가 잘되는 장점과 시차 오차가 작은 장점을 가지고 있다.

(c)와 (d)형 온도계는 시간이 지남에 따라 표시를 새로 해 줘야하는 단점이 있지만 쉽게 제작할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

이중 원통형이나 불박이형 온도계는 높은 열용량을 수용하기 위해서 과도하게 크게 만들어져서는 안 되며 동시에 취급과 이동 시 손상을 방지하기 위하여 보통의 충격에 잘 견딜 수 있도록 단단하게 만들어져야 한다.

최고기온 온도계로 많이 사용되는 유리 속에 액체 수은이 들어있는 온도계의 경우에는 수은주 위쪽이 완전히 진공이 되도록 만들어져야 한다.

1.3 기온

1) 정규 온도계

정규 온도계는 대기관측에서 활용되는 모든 온도계 중에서 가장 정확한 것 이어야 하며 주로 유리 막대에 액체 수은이 들어있는 온도계(수은온도계)가 사용된다. 수은 온도계의 척도는 0.2K나 0.5K 단위로 유리 막대에 새겨지며, 척도가 다른 온도계에 비해서 길게 표시된다. 정규 온도계는 일반적으로 복사 효과를 없애기 위해 백엽상 속에 설치하며 백엽상 하부로부터 일정한 높이에 걸어두며 아래쪽 유리구의 모양은 원통 형태나 과뿌리 모양으로 만들어진다. 두 개의 온도계를 동시에 설치하여 습구온도와 건구 온도를 측정할 수 있도록 설계한다.

2) 최고기온 온도계

최고기온 온도계로 추천되는 온도계는 아래쪽 구에 작은 천공을 내서 수은이 온도에 따라 수직으로 움직이고 척도가 처음부터 시작되는 수은 온도계이다. 수은주가 아래의 구에 비해서 좁게 만드는 이유는 온도가 내려가더라도 수은이 구 안쪽으로 빨려 들어가는 것을 방지하기 위함이다. 물론 수은이 전부 구 안쪽으로 빨려 들어갔다고 하더라도 거꾸로 들고 있으면 중력에 따라 수은주가 움직이게 되고, 수은주 사이에 공백이 없어지면 다시 온도계로 사용할 수 있다. 최고기온 온도계는 수평 상태에서 앞쪽으로 약 2° 정도 기울여서 고정시켜서 중력의 영향으로 수은이 내려가는 것을 방지해야 한다. 수은주가 움직이는 관이 위쪽으로 갈수록 약간씩 넓어지는 것이 좋은데 그 이유는 수리 시에 쉽게 떼어낼 수 있기 때문이다.

3) 최저기온 온도계

최저기온 온도계로 가장 많이 사용되는 것은 알코올 속에 2cm 정도 잠긴 검은 유리 눈금을 가진 알코올 온도계이다. 알코올 온도계의 상부에 증발되고 남은 증기가 남을 수 있기 때문에 상단에 안전 구멍을 만들어서 50℃ 이상에서 온도계가 손상되는 것을 방지해야 한다. 최저기온 온도계도 최고

1.3 기온

기온 온도계를 설치 운영하는 것과 비슷하게 수평 상태에서 기울여야 한다. 최저기온 온도계에는 다양한 액체들이 사용되는데 에틸알코올, 펜틴, 톨루올 등이 사용된다. 액체들을 선택할 때 중요한 것은 가능하면 순수한 액체를 선택해서 액체가 빛에 노출되거나 시간의 흐름에 따라 중합되는 것을 방지해야 한다. 예를 들어 에틸알코올의 경우 아세트산으로부터 완전히 분리되어야 한다.

4) 토양 온도계

토양 온도는 막대 부분의 척도가 표시된 부분 이하가 오른쪽이나 적절한 방향으로 흰 수은 온도계를 깊이 20cm 정도까지 묻어서 측정한다. 온도계의 구 부분이 땅 속에 묻혀있게 되고 온도를 바깥쪽에서 측정하기 때문에 온도계의 척도는 묻히는 부분보다 위쪽에 표시되어야 한다. 온도계의 나머지 부분이 대기의 온도의 영향을 계속해서 받을 수 있기 때문에 수은 온도계의 막대 부분의 끝에 안전 구멍을 만들어 주어야 한다.

수은 온도계를 이용하여 지중 20cm의 토양 온도를 측정할 때에는 온도계를 나무, 유리, 혹은 플라스틱 관에 넣고 아래의 구 부분은 밀랍이나 금속으로 칠할 필요가 있다. 겨울철 기온이 많이 떨어지고 눈이 많이 내리는 지역의 경우에는 적설에 대비해서 충분히 긴 막대형 수은 온도계를 사용하여야 한다. 금속관 속에 온도계를 넣어서 토양 온도를 측정하는 것은 토양 온도의 일변화 경향을 적절하게 측정할 수 없기 때문에 사용이 바람직하지 않다.

특히 건조한 토양에서 토양 온도를 통해서 토양의 열적 특성을 파악하는 목적으로 관측을 실시하는 경우에는 지표면 부근에서의 열전도 현상으로 인해서 큰 오차를 만들어 낼 수 있기 때문에 금속관의 사용은 추천되지 않는다.

1.3.2.2 전기 온도계(Electrical Thermometers)

최근 들어 전기적 특성을 활용해서 온도를 측정하는 전기 온도계가 자동관측장비를 중심으로 광범위하게 적용되고 있다. 전기 온도계의 가장 큰 장점은 센서와 떨어진 곳에서도 온도 측정이 가능하고, 온도 정보의 기록, 저장, 송신이 원활하게 이루어진다는 것이다. 가장 많이 사용되는 전기온도계의 센서는 전기 저항 온도계, 반도체 온도계, 열전기쌍 온도계 등이다.

1.3 기온

1) 전기 저항 온도계

물체의 전기적인 저항이 온도에 따라서 변하는 성질을 이용해서 전기 저항의 변화를 측정하여 온도로 환산하는 것이 전기 저항 온도계이다. 작은 온도 변화에 따른 순수한 금속의 저항의 변화는 온도의 변화에 비례하게 되는데 이것을 방정식으로 표현한 것이 식 (1.2)이다.

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (1.2)$$

여기에서 $(T - T_0)$ 가 작으면, R_T 는 금속의 온도 T 에서 정해진 전기 저항값이 되고, R_0 는 기준 온도 T_0 에 대한 기준 저항값이 된다. 또한 α 는 T_0 부근에서의 온도 저항계수를 나타낸다.

0℃를 기준 온도로 놓으면 식 (1.3)은

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (1.3)$$

이 된다.

온도의 변화가 큰 경우 있어서의 어떤 금속합금의 저항은 식 (1.4)과 같이 표현될 수 있다.

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2] \quad (1.4)$$

마찬 가지로 0℃를 기준 온도로 높으면 식 (1.5)은

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2) \quad (1.5)$$

가 된다.

위의 방정식들을 통해 실제 온도계의 저항값의 변화가 온도 변화와 비례함을 알 수 있기 때문에 계수 α 와 β 는 온도계의 보정을 통해서 알아낼 수 있게 된다. 이러한 결과를 토대로 저항 R 의 함수인 t 를 역함수를 풀어서 구할 수 있게 된다. 이 역함수를 $(R_0 - R_T)$ 의 선형 급수로 전개하면 $t = t(R_0 - R_T) = c_1(R_0 - R_T) + c_2(R_0 - R_T)^2 + \dots$ 으로 전개할 수 있다.

1.3 기온

좋은 금속 저항 온도계는 다음과 같은 요구 조건을 만족해야 한다.

- (a) 온도 측정 범위 내에서 금속의 물리적 화학적 특성은 동일하게 유지되어야 한다.
- (b) 온도 측정 범위 내에서 금속의 전기 저항은 온도 상승에 따라 일정하게 증가해야 한다.
- (c) 습기, 부식, 물리적 변형과 같은 외부 영향이 금속의 저항 특성을 변형시켜서는 안 된다.
- (d) 금속의 이러한 특성들이 최소한 2년 이상 안정적으로 유지되어야 한다.
- (e) 금속의 저항 계수와 열 계수가 측정 회로에서 인식할 수 있을 만큼 충분히 커야 한다.

이러한 요구 조건에 가장 잘 부합하는 금속으로는 순수한 백금을 들 수 있다. 이러한 특성 때문에 백금 저항 온도계는 국제표준척도에서 가장 기본적인 표준 온도계로 제시되고 있으며, 현업 기관에서도 온도 센서로 광범위하게 활용되고 있다. 실제 대기관측에서 많이 사용되는 금속은 순수한 백금이 아닌 백금과 니켈 혹은 텅스텐을 합금한 금속을 사용하며, 온도 센서 부분은 세라믹으로 밀봉하여 외부의 전자기적 환경으로 인한 변형을 방지하도록 설계되어 있다.

2) 반도체 온도계

전기 저항 온도계와 함께 저항 측정 소재로 널리 사용되고 있는 것이 서미스터(온도가 오르면 전기저항이 감소되는 반도체 회로 소자)이다. 이 반도체 소자는 온도 저항계수가 음의 값을 가지던 양의 값을 가지던 상관없이 실제 물질에 따라 절대값 자체가 상대적으로 크기 때문에 많이 활용되고 있다. 주로 소결 금속 산화물들의 혼합물이 서미스터를 만드는데 적합하는데 그 형태는 원반형, 막대형, 구형 등으로 다양하고 유리코팅되어 있다. 온도에 따른 서미스터의 저항 변화는 다음 식 (1.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = a \exp(b/T) \quad (1.6)$$

1.3 기온

여기에서 a 와 b 는 상수이고 T 는 서미스터의 온도를 켈빈으로 나타낸 것이다. 서미스터를 이용한 온도계의 장점은 다음과 같다.

- (a) 큰 온도 저항계수를 가지기 때문에 전기 저항 온도계와 비교했을 때 저항기 브리지들에 필요한 전압이 작아도 같은 민감도를 가질 수 있고, 도선의 저항을 무시할 수 있다.
- (b) 반도체 온도계의 서미스터 센서는 아주 작게 만들 수 있기 때문에 열용량이 작아 작은 시간 상수만 필요하다. 그러나 센서가 너무 작으면 자기 발열로 인한 오차가 증가하는 단점도 발생할 수 있다. 전형적인 서미스터의 저항은 온도 -0°C 에서 40°C 범위에서 계수 100에서 200 사이로 변동한다.

1.3 기온

3) 열전(기)쌍 온도계

1821년 Seebeck은 두 개의 다른 금속이 접촉하면 아주 작은 접촉 기전력이 발생한다는 사실을 발견했다. 만약 어떤 회로가 2개의 다른 금속으로 구성되어 있고 같은 온도에서 결합되어 있다면 회로 내에서는 합성 기전력이 발생하지 않는다. 왜냐하면 각 기전력의 방향이 반대가 되어 서로 상쇄되기 때문이다.

이런 환경에서 한쪽 접합기의 온도가 변화하게 되면 더 이상 기전력의 균형은 유지되지 않고 회로 내에서 일정한 방향으로 순 기전력이 발생하게 된다. 만약 회로가 여러 개의 접합기로 구성되어 있으면 합성 기전력은 독립적인 기전력의 대수합으로 표현될 수 있을 것이다. 접촉 기전력의 크기와 방향은 구성 물질의 종류와 접합점의 온도에 따라 결정될 것이고 이것을 경험식으로 나타내면 다음과 같다.

$$(E_T - E_S) = \alpha(T - T_S) + \beta(T - T_S)^2 \quad (1.7)$$

여기에서 E_T 는 주어진 온도 T 에서의 접촉 기전력이고, E_S 는 표준 온도 T_S 에 대한 기전력이 되며, α 와 β 는 상수이다. 만약 각각의 온도 T_1 과 T_2 를 가지는 두 개의 물질이 접촉하면 순 기전력 E_n (열적 기전력)은 $(E_1 - E_2)$ 로 표시될 수 있고, 여기에서 E_1 은 온도 T_1 에서의 기전력을 E_2 는 온도 T_2 에서의 접촉 기전력이 된다. 따라서 순 기전력 E_n 은 $(E_T - E_S)$ 의 2차 방정식 형태로 바꾸어 표현할 수 있다.

$$E_n = E_1 - E_2 \quad (1.8)$$

$$E_n = a(T_1 - T_2) + b(T_1 - T_2)^2 \quad (1.9)$$

여기에서 a 와 b 는 두 개의 물체에 대한 상수 값이고 대기관측용으로 만들어 질 때에는 b 의 값이 a 에 비해서 상대적으로 아주 작기 때문에 무시할 수 있다.

1.3 기온

열전쌍 온도계는 두 개의 다른 금속으로 만든 금속선을 용접하거나 납땀하여 만드는데 그 접합점이 아주 작기 때문에 열용량은 무시할 수 있다. 열전기쌍 온도계에서 온도를 측정할 때는 한쪽 접합점에서 알려진 표준 온도에서의 기전력을 세팅하고 동일한 기전력을 가지기 위해서 다른 접합점의 금속이 가져야 할 온도를 계산하는 방식을 사용한다.

이 방식의 온도계는 시간 상수가 1초에서 2초에 불과하기 때문에 현업 기관에서 보다는 주로 연구용으로 많이 사용되어진다.

1.4 습도

1.4.1 습도관측 일반

1.4.1.1 습도의 정의

WMO는 대기 중의 습도를 나타내는 정의들을 제시하고 있는데, 대기과학에서 자주 사용하는 대기 중의 습기의 척도를 나타내는 변수들은 다양하다.

혼합비(r) : 건조 공기 질량 대 수증기 질량의 비

비습(q) : 습윤 공기 질량 대 수증기 질량의 비

노점 온도(T_d) : 주어진 기압에서 포화 혼합비와 주어진 혼합비가 같아 습윤 공기가 포화되는 온도

상대습도(U) : 같은 온도와 기압에서 물의 포화 수증기압에 대한 관측된 수증기압의 비를 %로 나타낸 것

수증기압(e') : 공기 중의 수증기의 분압

포화 수증기압(e'_w 와 e'_i) : 물과 얼음의 표면과 공기가 평형을 이루는 상태의 수증기압

1.4.1.2 단위와 척도

대기 중의 수증기와 관련된 변수들의 단위와 척도는 다음과 같이 정리할 수 있다.

(a) 혼합비(r)와 비습(q) : kg/kg

(b) 공기의 수증기압 (e', e'_w, e'_i)과 기압(p) : hPa

(c) 온도(T), 습구 온도(T_w), 노점 온도(T_d), 빙점 온도(T_f) : K

(d) 온도(t), 습구 온도(t_w), 노점 온도(t_d), 빙점 온도(t_f) : $^{\circ}C$

(e) 상대 습도(U) : %

1.4.1.3 습도 관측 요구 조건들

지표면 부근의 습도 관측은 기상 분석 및 예보, 기후 연구, 수문학, 농업기상학, 항공기상, 환경 연구 등을 위해서 반드시 필요한 요소이다. 대기 속에서의 물의 상변화는 기상현상의 발생에서 소멸까지 매우 중요한 변수가 될 수 있다. 습도 관측 시 고려해야할 관측 범위, 해상도, 정확도는 아래 표 4.1과 같다. 표 1.2에서 제시된 정확도들은 작동 상태가 양호하고 정비가 잘 이루어진 관측장비를 기준으로 한 것이다. 여전히 많은 관측소에서는

1.4 습도

백엽상에 설치된 단순한 습도계를 이용해서 습도를 관측하기 때문에 운영 성능이 많이 떨어지는 것이 현실이다.

[표 1.2] 지상 습도 관측 요구 조건들

요구 조건	습구 온도	상대 습도	노점 온도
관측 범위	-10℃ ~ +35℃	5% ~ 100%	-60℃ ~ 35℃
정확도(불확실성)	0.1K(높은 상대습도) 0.2K(보통 상대습도)	1% (높은 상대습도) 5% (보통 상대습도)	0.1K(높은 상대습도) 0.5K(보통 상대습도)
허용 관측 오차	0.2K	3% ~ 5%	0.5K
보고 해상도	0.1K	1%	0.1K
센서 시간 상수	20초	40초	20초
평균 시간	60초	60초	60초

1.4.1.4 온도 관측 요구 조건들

1) 습도계(Hygrometer)

대기 중의 습도를 측정하는 모든 기구를 습도계라고 통칭한다. 습도를 관측하는 센서들은 보통 백엽상 속에 온도계들을 이용하는 경우가 대부분으로 다음과 같은 사항들에 유의 해야 한다.

- (a) 태양복사, 대기 오염, 비와 바람의 직접적인 영향 최소화
- (b) 센서나 습기 채취 도구가 들어있는 구조물 내부에서의 수증기 흡수 혹은 방출

습도계를 통한 관측 과정에서는 다음과 같은 요소들에 의해서 습도 측정에 오차가 발생할 수 있다.

- (a) 열, 수증기 방출과 소멸에 의한 공기 샘플의 변화
- (b) 먼지나 해염에 의한 센서의 오염
- (c) 기압 보정, 센서의 온도 계수, 전기적 인터페이스 등의 보정 오차
- (d) 물/얼음 상변화에 대한 부적절한 대처
- (e) 막대형 습구 온도계에서의 열전도와 같은 부적절한 디자인
- (f) 상태 평형 유지 실패와 같은 부적절한 운영

습도계를 통해서 습도를 측정하는 물리적인 원리와 방법은 다양하다.

1.4 습도

(1) 중량측정식 습도측정방법

이 방법은 일정한 부피의 공기를 건조시켜 수증기 흡수량을 측정하는 방식으로, 공기 중에 들어있는 절대 수증기량을 혼합비의 형태로 제공한다. 먼저 채취된 공기에서 수증기를 제거한 후 제거된 수증기의 질량을 수증기를 흡수하기 전과 후의 건조부의 무게 차이를 통해서 결정한다. 건조 공기의 질량은 무게를 재거나 부피를 재서 결정한다. 중량측정형 습도측정법은 매우 정밀한 기구들이 필요하기 때문에 다른 습도계들을 보정하는 기준 습도계로 주로 사용되며 국가 수준의 보정을 위한 연구소에 설치 운영된다.

(2) 응결식 습도측정방법

① 차가운 거울 방식(노점 혹은 빙점 습도계)

온도가 T , 기압이 p , 혼합비가 r_w (혹은 r_i)인 습윤공기가 냉각되면 결국은 물(낮은 온도에서는 얼음)에 대한 포화점에 도달해서 이슬(혹은 서리)로 침착되게 되는데, 거울과 같은 고체면에 침착된 물의 양을 측정하여 대기 중의 수증기량을 얻을 수 있다. 포화점에서의 온도가 노점온도 T_d (빙점온도 T_f)가 된다. 차가운 거울 방식 습도계는 절대적인 물의 양을 측정하기 보다는 노점온도와 빙점온도를 측정해서 습도를 계산하는 방식을 사용한다. 이 습도계는 표면이 반짝이는 금속판과 펠트에 효과(다른 종류의 금속 접촉면에 약한 전류가 흘렀을 때 열이 발생 또는 흡수되는 현상)를 이용한 냉각장치, 응결여부를 확인하는 광학 탐지장치 등으로 구성된다. 실제 대기관측에도 사용되지만 대부분 표준 습도계로 활용된다.

② 소금 용액 가열 방식(수증기 평형 습도계, 이슬점계)

동일한 온도에서 포화된 소금 용액 표면의 평형 수증기압은 순수한 물 표면의 평형 수증기압보다 작다. 이러한 원리는 모든 소금 용액에 적용되지만 특히 리튬 염화물의 경우에는 상대적으로 아주 낮은 평형 수증기압을 가지게 된다. 평형 수증기압이 주변 수증기압에 비해서 낮은 수용성 소금 용액을 가열하면 평형 수증기압이 주변 수증기압을 넘어서는 단계까지 이르게 된다. 이 한계점에서 균형은 응결에서 증발로 바뀌게 되고 결국은 액체 용액에서 고체 수산화물(투명 결정체) 형태로 상의 변화가 일어난다. 이 전환점은 결정화가 진행되면서 용액의 전기 전도율이 줄어드는 특성을 통해서 검출할 수 있다. 주변 수증기압에 해당하는 용액의 온도를 측정하는 것이 중요하기 때문에 이때 용액의 온도를 측정하는 온도계는 열전도율이 높아야 한다. 주변 노점온도는 순수한 물과 소금 용액 사이의 수증기압과 온도와의 상관관계를 활용한 경험식을 이용하여 구한다. 가장 많이 사용되는

1.4 습도

소금 용액은 리튬 염화산염이며, 자동기상관측장비에서 많이 사용된다.

③ 건습구 습도계 방식

건습구 습도계는 백엽상 내에 두 개의 온도계를 나란히 설치하고 그 중에 하나는 공기 중에 그대로 노출하여 건구 온도를 측정하고, 나머지 하나는 온도 센서를 얇은 물이나 얼음막이 감싸고 있는 형태를 가지는데 보통의 경우에는 온도계의 구 부분을 얇은 형질을 싸고 아래쪽의 물과 연결해서 형질이 항상 젖어 있는 상태가 되게 해서 물의 증발에 따른 효과를 반영한 습구 온도를 측정한다. 일반적으로 물이 증발하면 온도를 뺏어가는 성질이 있기 때문에 습구 온도는 건구 온도에 비해서 낮으며, 건구 온도와 습구 온도의 차이를 통해서 대기 중의 습도를 측정하는 방식이 건습구 습도계 방식이다. 주변 공기의 습도가 낮으면 증발량이 많아져 건구 온도와 습구 온도의 차이가 많이 나게 되고 습도계 계산식을 이용하여 습도를 측정한다. 이 건습구 습도계는 대기관측에서 습도를 측정할 때 가장 일반적으로 널리 사용되는 방식이다.

④ 흡착 방식

특정 물질들은 수증기와 접촉하면 화학적 물리적 특성들이 변화하는 특징을 가지고 있어 그 변화량을 통해서 주변 공기의 습도를 측정하는 센서로 충분히 활용할 수 있다. 수증기가 물질의 표면에 흡착되면 물질의 내부 쪽으로 흡수되는데 이 과정은 물질의 포화 수증기압이 주변 공기보다 낮은 상태에서는 지속적으로 흡수가 일어나고 주변 공기보다 높아지면 다시 방출하는 특성을 가지고 있다. 물질이 수증기를 흡착하면 다음과 같은 물리적 화학적 변화가 일어난다.

(a) 흡습성 물질의 부피 변화

특정 물질들은 습도에 따라 부피가 크게 변화하는데 자연 섬유상 물질들은 습도 변화에 비례해서 부피가 커지는 특성을 가지고 있다. 따라서 섬유상 물질을 실 형태로 만들어 레버 시스템을 부착해 두면 습도 변화에 따라 실의 길이가 늘어나고 줄어드는 것을 측정할 수 있고 이를 토대로 경험식으로 습도를 측정할 수 있다. 사람의 모발이 흡착 방식 습도 측정에 가장 널리 사용되고 있다. 최근 들어 모발을 대체하기 위하여 합성 섬유를 활용하는 방법이 적용되고 있지만, 흡착에 따른 부피 변화에 시간 지연이 많이 일어나기 때문에 10℃ 이하에서는 사용할 수 없는 한계가 있다. 인간의 모발 대신 동물의 창자를 얇은 막 형태로 만들어서 사용하는 방식도 널리 사용되는데 지표면 부근의 습도 측정보다는

1.4 습도

상층 대기의 습도를 측정하는데 많이 사용된다.

(b) 흡습성 물질의 전기적 특성 변화

특정 흡습성 물질들은 주변 공기의 상대습도 변화에 따라 전기적 특성의 변화를 일으키는데 이러한 전기적 특성 변화를 측정하여 습도의 변화를 유추할 수 있다. 이 방식은 주변 공기의 온도 변화에 대한 의존성이 낮은 장점을 가지고 있다. 전기 상대습도 센서는 습도계에서 측정된 습도를 원격에서 곧바로 표시하는 자동기상 관측장비에 많이 설치 운영된다.

1.4.2 습도계의 종류

1.4.2.1 건습구 습도계

1) 일반 사항

건습구 습도계는 건구 온도계와 습구 온도계를 동시에 설치하여 온도를 통해서 습도를 계산하는 일반적인 형태의 습도계로 다음과 같은 권고 사항을 준수해서 실제 관측에 활용되어야 한다.

- (a) 통상적으로 대기관측에서 습도 측정을 위해서 사용되는 온도계는 해면 고도를 기준으로 공기가 최저 2.2m/s에서 최대 10m/s의 속도를 가지고 흘러가도록 설계되어야 한다. 고도가 높아짐에 따라 공기의 흐름은 대기의 밀도에 반비례해서 적절히 조절되어야 한다.
- (b) 습구 온도계와 건구 온도계는 직접적인 복사로부터 적절히 보호되어야 한다. 강제로 통풍이 일어나는 아스만 건습구계와 같은 습도계는 윤이 나면서 색이 칠해지지 않고 차폐되어야 한다.
- (c) 습도계가 지붕창으로 가려져 있고, 강제 통풍장치가 되어 있는 경우에는 두 개의 온도계는 서로 분리된 관 속에 따로 설치하여야 한다. 통풍관의 입구는 실제 주변 공기의 온도를 측정할 수 있도록 외부까지 연결되어 설치되어 있어야 하고, 내부 순환되지 않도록 완전히 내부 공기가 빠져나갈 수 있도록 설계되어야 한다.

1.4 습도

(d) 가장 주의를 기울여야 할 것은 흡출기의 열이 온도계로 전달되는 것을 방지하는 것이다.

(e) 습구 온도 측정을 위한 물통과 심지는 물이 직접 습구 온도계에 도달해서 분명하게 습구 온도를 측정할 수 있도록 하여야 하며, 건구 온도계에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.

2) 습구 온도계 주머니

습구 온도계는 항상 온도 측정구가 물에 적셔져 있을 수 있도록 온도계 하단부에서 2cm 높이까지 천으로 감싸고 면이나 섬유 재질의 심지를 내려서 물통과 연결하는 구조를 가진다. 이때 온도계를 감싸는 천이나 섬유는 가능한 얇은 것이 좋으며, 온도계에 설치되기 전에 0.5%의 나트륨 중탄산염(NaHCO_3) 수용액에 담근 후 증류수로 여러 차례 행궤야 한다. 다른 방법으로는 순수한 세정제를 물에 타서 사용할 수 있다. 심지나 온도계를 감싸고 있는 천이 오염되거나 변색되면 새것으로 대체해야 하며 사람 손에 의해서 오염되지 않도록 유의하고, 반드시 습구 온도계에 사용되는 물은 증류수를 사용하여야 한다. 관측자들은 주기적으로 천과 심지를 교환해 주어야 하는데 주 단위로 교체하는 것이 좋으며 물도 주기적으로 새로 보충해 주어야 한다.

3) 아스만 습도계

아스만 습도계는 2개의 수은 온도계를 윤이 나는 크롬이나 니켈 틀에 수직으로 나란하게 세우고 각 온도계는 스프링이나 작은 전기 모터로 작동하는 흡출기가 달린 관과 연결되어 있는 형태를 가지고 있다. 그 중에 한 온도계는 증류수로 충분히 적셔진 무명천과 심지로 연결되어 습구 온도를 측정한다. 온도계는 동축 금속관 속에 설치하여 외부로 부터의 열 복사가 온도계로 전달되지 않도록 하여야 하며 금속관들도 단열이 되어 서로 영향을 주지 않아야 한다. 간단한 온도 관측 절차는 다음과 같다.

- (a) 습구 온도계를 적신다.
- (b) 태엽이나 전기 모터를 작동하여 흡출기를 작동한다.
- (c) 습구 온도계가 안정되도록 2~3분 기다린다.
- (d) 건구 온도를 읽는다.
- (e) 습구 온도를 읽는다.
- (f) 습도 계산식을 이용하여 습도를 계산한다.

1.4 습도

4) 백엽상 습도계

2개의 온도계를 백엽상 내에 수직으로 매달아 둔다. 이때 온도계의 구 반지름은 10mm 정도 되는 것이 적당하고 2개의 온도계 중에 하나는 습구 온도 관측을 위해 온도계 아랫부분에서 2cm 높이까지 무명천으로 감싸고 심지가 아래의 물통과 연결되어 충분히 젖어있도록 하여야 하는데 충분한 습기 공급을 위해서는 물통의 입구가 온도계 하부와 비슷하거나 조금 낮도록 설치되어야 한다.

심지는 가능한 일직선으로 유지되어야 하며 그 길이는 습기가 습구 온도계에 충분히 전달될 수 있을 정도여야 한다. 백엽상 습도계도 주변 공기의 온도를 정확하게 측정할 수 있도록 공기가 3m/s의 속도로 흘러 갈 수 있도록 필요시에는 인공적인 통풍 장치를 만들어 주어야 한다. 이때 공기가 온도계를 수평으로 흘러가도록 설계되어야 하고 백엽상 내부에서 재순환이 일어나지 않도록 하여야 한다.

5) 가열식 습도계

가열식 습도계의 원리는 공기의 단위 질량 당 수증기량은 가열된다고 하더라도 변하지 않는다는 원리에서 기인하며 영하의 기온에서도 습도를 측정할 수 있는 장점을 가진다.

가열식 습도계의 구조는 다른 건습구 습도계와 비슷하지만 전기 가열 장치가 연결된 관이 건구 온도계와 습구 온도계 그리고 물통이 들어있는 독립된 공간에 설치되어 있다는 점이 차이가 난다. 가열 장치 통제 회로는 공기의 온도가 10℃ 미만으로 떨어지지 않도록 자동 제어되어 물이나 심지가 영하의 날씨에서도 얼지 않고 계속해서 건구 온도와 습구 온도를 측정할 수 있도록 한다.

온도가 10℃ 이상으로 올라가면 가열 장치는 자동으로 작동을 멈추고 일반적인 건습구 습도계처럼 작동하도록 한다. 최근 만들어진 자동 관측용 습도계들은 온도계와 물통이 들어있는 공간을 외부에서 확인하지 않아도 자동으로 온도와 습도가 표시된다. 가열식 습도계에는 별도로 건구 온도계를 가열장치와 연결된 관의 후미에 설치하여 주변 공기의 온도를 측정해서 습도를 계산할 수 있도록 한다.

1.4 습도

1.4.2.2 모발 습도계

흡수하는 성질을 가진 물질은 주변의 온도와 습도와 평행을 이루려는 성질을 가진다. 물질 표면의 수증기압은 온도와 물질에서 튀겨 나오는 수증기의 양으로 결정된다. 이때 기압과 주변 공기의 수증기압의 차이는 물 분자의 교환으로 균형을 이루게 된다.

지방 성분이 제거된 모발의 길이의 변화가 근본적으로 상대습도의 변화에 기인한다는 사실을 근거로 만들어진 것이 모발 습도계이다. 모발은 일반적으로 상대습도가 0에서 100% 변할 때 2%에서 2.5% 길이가 늘어난다. 이러한 성질을 이용해서 상대습도와 모발의 길이 변화를 선형적인 함수로 계산하여 상대습도를 계산하는 방법을 사용하는 것이다.

가장 일반적으로 사용되는 모발 습도계는 자기습도계이다. 자기습도계는 모발 다발을 스프링 사이에서 약한 팽창력을 갖도록 설치하고 모발 다발의 길이 변화를 기록할 수 있는 펜을 그 끝에 달아 천천히 회전하는 기록지에 길이의 변화량을 연속적으로 기록하도록 구성되어 있다. 기록지는 펜에 수직으로 세워진 통에 감겨져 있으며 시간에 따라 습도의 변화가 수직으로 그려지고 그 값을 읽어서 습도를 계산하는 방법으로 습도를 측정한다. 이때 관측하는 과정에서 인위적인 변경이 일어나는 것을 방지하기 위해서 펜과 기록지는 유리 상자에 넣고 모발은 외부 공기에 노출하는 형태를 가지고 있다.

1.4.2.3 차가운 거울 노점 습도계

거울 노점 습도계는 거울 표면의 온도를 측정하는 센서부, 응결 여부를 확인하는 광학 탐지부, 거울의 온도를 높이거나 낮추는 온도 조절부, 거울 표면 온도를 나타내는 표시부와 보조 장치 등으로 구성된다.

센서부는 2mm에서 5mm 사이의 반지름을 가지는 얇은 금속 거울과 펄티에 효과를 이용해 거울의 온도를 조절하는 회로, 거울 하부에 깔려서 온도를 측정하는 백금 저항 온도계로 구성되어 있다. 거울은 높은 열 전도성, 광학적 반사율, 반부식성, 낮은 수증기 침투성 등을 가진 물질로 만들어지는데 주로 금, 로듐도금 은, 크롬도금 구리, 스테인리스강으로 만들어진다.

1.4 습도

광학 탐지부는 서보 제어계를 통해 거울의 온도를 일정하게 유지하게 한 후 응결 발생 여부를 투과된 빛의 투과율이나 산란율 변화를 광검출기를 통해서 탐지하도록 만들어져 있다. 펄티에 효과를 제공하는 회로는 거울에 열을 공급하거나, 냉각시켜 일정한 온도를 유지하도록 만들어진다.

거울의 온도는 전기 온도계를 통해서 측정되며 관측자들은 디지털로 표시되는 이 값을 노점온도 값으로 관측하거나 연속적으로 기록된 값들을 일정한 시간 간격으로 추출하여 관측에 활용한다. 이러한 전자적인 장치 이외에도 현미경을 달아서 0℃ 이하에서 거울에 응결된 것이 과냉각 수적인지 서리인지 구분하는 장치를 가지고 있다.

물과 얼음은 서로 다른 포화수증기압을 가지고 있기 때문에 거울에 응결된 형태에 따라서 노점온도가 크게 차이 날 수 있다.

1.4 습도

1.4.2.4 염화리튬 응결 습도계(듀셀 혹은 노점계)

듀셀 습도계는 포화된 염화리튬 용액의 수증기압과 주변 공기의 수증기압이 균형을 이루는 온도를 측정하여 습도를 측정하는 방식을 사용한다. 이때 사용되는 계산식은 경험적인 온도함수식인데 순수한 물과 염화리튬 용액의 포화 수증기압을 기준으로 해서 순수한 물에 대한 주변 공기의 수증기압과 노점온도의 변화를 측정한다. 실제로 염화리튬 용액의 포화수증기압은 용액의 농도와 온도의 함수이지만 포화된 수용액은 온도만의 함수이기 때문에 온도가 상승하면 포화수증기압이 상승한다.

염화리튬 용액은 흡습성이 있고 큰 전도성을 가지고 있지만 용액에서 결정질이 만들어지면 전도성이 떨어지게 된다. 염화리튬 습도계는 이러한 성질을 이용해서 염화리튬 용액을 바깥 공기에 의해서 따뜻하게 해서 그 포화수증기압을 주변 공기의 수증기압과 같은 포화용액을 만들어 그 용액의 온도를 측정해서 노점온도로 정하는 방법을 사용한다.

1.4.2.5 전기 저항용량 습도계

특정 흡습성 물질들은 온도에 무관하게 주변 상대습도의 변화에 따라 저항이나 용량과 같은 전기적인 특성들이 변화하는 특성을 가진다. 이러한 특성을 이용해서 직접 전기적으로 상대습도를 측정해서 표시하는 방식들이 주로 자동기상관측장비를 중심으로 광범위하게 활용되고 있다.

센서들은 플라스틱과 같은 비전도성 물질에 전도성 물질을 입힌 형태를 가지며 이들 센서들의 전기 저항성이 주변 상대습도에 따라 변화하는 정도를 측정하여 이를 역으로 습도로 전환하여 표시한다. 이러한 형태의 센서들은 수증기에 대해서 흡수성은 없지만 흡착성이 뛰어나기 때문에 주변 공기의 상대습도 변화에 민감하게 반응하는 특성을 가진다.

전기 저항의 변화뿐만 아니라 전기 용량의 변화도 상대습도 측정에 활용되는데 고체, 흡습성 절연물질 등 중에서 주변 공기의 상대습도에 민감하게 반응하여 전기 용량이 변화하는 물질을 이용하는데 합성 물질들이 주로 사용된다. 수증기가 화학 중합체에서 튕겨 나오면 물 분자가 양극화 모멘트를 가지기 때문에 전기적인 특성이 변화하게 된다. 습도 측정 센서는 두 개의 전극 사이에 얇은 폴리머 포일을 샌드위치 모양으로 만들어 축전기 형태를 만들고, 전기적 임피던스를 측정해서 상대습도로 환산하여 관측값으로 사용한다.

1.5 바람

1.5.1 바람 관측 일반

1.5.1.1 바람의 정의

풍속은 대규모 조직화된 기류에 편승되어 있고, 공간적, 시간적 무작위 변동 폭이 상대적으로 작은 3차원 벡터 값으로 표현할 수 있다. 바람을 공기의 수직적 수평적 흐름의 속도라고 표현할 수 있지만 대기 오염이나 항공기 이착륙 등과 같은 특수한 상황을 제외하고 일반적으로는 풍속은 이차원 벡터 즉 수직방향과 속도 성분만을 가지는 것으로 정의한다.

일반적 바람과 별도로 빠르게 풍향과 풍속이 변화하는 것을 순간풍(돌풍) 혹은 돌풍성이라고 부른다. 대부분의 경우 바람 자료는 풍향과 풍속이 극좌표계로 표시된 평균된 바람장이 된다. 좀 더 상세한 바람 정보가 필요할 때는 바람의 변동성과 돌풍성이 추가로 반영되어야 하는데 이 경우에는 최대 순간풍과 풍속과 풍향의 표준 편차 정보가 포함된다.

평균풍은 10분에서 60분 평균된 수평 바람 정보를 말하는데 보통 기상예보에 활용하는 경우에는 10분 평균 바람 정보를 이용하고 기후통계 연구에서는 시간 단위 혹은 주야간 단위 바람장을 활용하고 항공기상 업무에서는 더 짧은 주기의 바람 정보를 필요로 한다. 수 분 단위의 평균된 바람은 자연적인 난류성 요란을 평활화 시키지 못하기 때문에 ‘1분 평균’ 바람은 긴 순간풍이라고 표현한다.

순간 최대풍은 일정한 시간 간격 동안 관측된 최대 풍속을 의미한다. 1시간 단위 관측에서 순간 최대풍은 1시간 동안 나타났던 최대 풍속을 의미한다.

순간풍 기간은 순간 최대풍이 관측되었던 기간을 의미하는데, 느리게 반응하는 관측장비의 경우에는 실제 순간풍을 실제 보다 낮게 나타낼 수 있고 너무 빠르게 반응하는 장비는 짧은 시간에 파동 형태의 풍속 변동을 보여 탁월풍을 한 눈에 알아보기 힘들게 할 수도 있다.

1.5 바람

1.5.1.2 단위와 척도

종관관측에서 풍속은 10분 평균된 값으로 반올림하여 0.5m/s 혹은 1kts 단위로 보고한다. 다만, 항공기상 분야에서는 더 짧은 평균 값을 사용하는 것이 일반적이다.

종관관측에서 풍향은 10분 시간 평균된 값을 10° 단위로 보고하고 01에서 36까지 2자리 수로 보고한다. 만약 02라고 보고되면 이것은 풍향이 15°에서 25° 사이임을 의미한다.

풍향은 바람이 불어오는 방향을 의미하는데 그 방향은 지리학적 북쪽인 진북 방향으로부터 시계방향으로 돌면서 10°씩 더해간다.

‘무풍’은 평균 풍속이 1kts 미만인 경우에 보고하고 이 경우에 풍향은 00으로 보고한다.

풍향 풍속을 나타내는 방위각 고리는 0을 그리니치 0° 자오선에 맞추어야 한다. 정확한 방위각의 선택은 특히 항공기가 이착륙하는 공항의 항공기상 업무에서 매우 중요한 요소가 된다. 풍향은 진북 방향에 대한 관측소의 방위각 세팅을 한 후에 관측하며, 공항에서는 풍향의 관측과 보고는 2분 단위로 자북 방향을 중심으로 이루어지는 특징을 가지고 있다. 물론 공항에서 관측된 자료를 종관관측 보고에 포함시킬 경우에는 10분 평균값과 진북 방향으로 전환하여 보고하여야 한다.

1.5 바람

1.5.1.3 바람 관측 요구 조건들

바람 관측은 기상 감시와 예보, 기후, 바람 피해 가능성 탐지, 풍력 에너지 활용 가능성 연구, 지표면 플럭스와 증발량 추정, 오염 물질 확산 추정, 농업기상 등에 광범위하게 활용된다.

풍속의 정확도는 평균 풍속 5m/s 이하에서는 0.5m/s, 평균 풍속 5m/s 이상에서는 그 풍속의 10% 미만이면 충분하고 풍향은 5° 범위 내에서 정확도를 가지고 있어야 하는데, 최근 관측장비들은 이러한 요구 조건들을 충분히 만족할 만큼 정확도가 뛰어나다.

바람의 관측에서 있어서 장비의 성능보다 더 어려운 문제는 적절한 풍속계 설치 위치를 선정하는 것이다. 넓은 지역의 바람을 대표할 수 있는 관측 장소를 찾는 것은 거의 불가능하기 때문에 예비 관측을 통해 관측소 오차를 추정하는 작업이 필요하다. 바람의 돌풍성에 관한 정보는 항공기의 이착륙, 풍압 통계, 오염 확산 문제 등에 있어서 매우 중요한 요소이기 때문에 정확한 정보가 보고되어야 한다.

1.5.1.4 바람 관측 방법들

바람을 관측 할 때는 풍속계를 사용하는데 풍속계는 풍향지시날개와 컵이 달린 형태이거나, 지시날개와 프로펠러가 달린 형태가 사용된다. 그런데 관측장비가 일시적으로 고장이 나거나 없는 경우에는 풍향과 풍속을 주관적으로 추정해서 보고해야 한다(표 1.3은 일반적으로 활용되는 풍속 추정 방법을 정리한 것이다).

바람 관측 센서는 회전식 컵이나 프로펠러에 풍향지시날개가 달린 형태가 일반적인 모습인데, 컵과 지시날개, 프로펠러와 지시날개, 독자적인 프로펠러 형들이 복합적으로 사용된다. 고전적인 방식으로는 피토판 방식이 있는데 현재는 일반적인 관측에서 거의 활용되지 않고 있다.

1.5 바람

앞에서도 설명되었지만 바람에 대한 정보는 순간적인 정보가 아닌 평균된 바람장과 순간풍 정보를 동시에 포함하고 있어야 하기 때문에 바람 관측장비는 관측 센서뿐만 아니라 데이터처리와 기록 시스템이 포함되어 있어야 한다. 바람 관측자료를 처리할 때에는 평균, 표준편차 계산 등에서 오류가 발생하지 않도록 해야 하고 순간 최대풍에 대한 정보가 평활화되어 없어지지 않도록 유의해야 한다. 고전적인 방식이긴 하지만 풍향 풍속 기록계를 계속해서 사용하는 것도 이러한 오류를 최소화하고 관측 기간 내에 발생했던 바람의 변동을 한눈에 알아볼 수 있기 때문이다.

[표 1.3] 바람 추정 방법

보우퍼트 풍력계급	표준 고도 10m에서 관측된 값			지상에서 풍속 추정 방법
	kts	m/s	km/h	
0 고요	<1	0~0.2	<1	고요, 연기가 수직으로 상승
1 실바람	1~3	0.3~1.5	1~5	연기로 바람방향 판단 가능 풍향계는 움직이지 않음
2 남실바람	4~6	1.6~3.3	6~11	얼굴에 바람을 느낌, 잎이 흔들림, 풍력계 움직임
3 산들바람	7~10	3.4~5.4	12~19	잎과 잔 가지가 지속적으로 움직임, 작은 깃발 날림
4 건들바람	11~16	5.5~7.9	20~28	먼지나 종이 날림, 나뭇가지 움직임
5 흔들바람	17~21	8.0~10.7	29~38	작은 나무 흔들림, 호수면에 풍랑이 보임
6 된바람	22~27	10.8~13.8	39~49	큰 나뭇가지 움직임, 전선에서 바람소리 발생, 우산 사용 어려움
7 센바람	28~33	13.9~17.1	50~61	모든 나무 흔들림, 바람 속을 걷기 어려움
8 큰바람	34~40	17.2~20.7	62~74	나뭇가지 부러짐, 부산물 발생
9 큰센바람	41~47	20.8~24.4	75~88	약한 건축물 피해 발생
10 노대바람	48~55	24.5~28.4	89~102	나무 뽑힘, 건축물 피해 발생
11 왕바람	56~63	28.5~32.6	103~117	대규모 바람 피해 발생
12 싹쓸바람	> 64	> 32.7	> 118	

1.5 바람

1.5.2 바람 추정

바람 관측장비가 없는 경우에는 추정을 통해 풍향과 풍속을 관측해야 한다. 이 경우에 실제 바람과의 오차는 클 것이기 때문에 사용에 주의해야 하고 어떻게 추정한 것인지 밝히는 것이 좋다. 만약 비교적 긴 기간 동안 관측장비가 아닌 관측자의 추정에 의한 바람 관측이 계속되어야 한다면 그 내용을 관측 기록에 명기해서 사용에 혼란을 없애주어야 한다.

1.5.2.1 풍속 추정

풍속의 추정은 주로 바람에 날리기 쉬운 대상을 관찰하는 것이다. 이때 그 대상은 바람에 날리는 어떠한 것이 되어도 좋지만 보우퍼트 풍력계급에서 주어진 방법에 따를 것을 권장한다. 바람을 추정하는 과정에서 관측자는 가능한 장애물이 없는 평지에서 지형지물의 움직임을 파악해야 한다. 바람을 추정하는 과정에서 관측자가 항상 기억해야 할 것은 아주 작은 장애물이라고 하더라도 풍속과 풍향을 크게 변화시킬 수 있다는 사실이다. 특히 장애물의 풍하측에서 이런 변화가 심하게 일어난다.

1.5.2.2 풍향 추정

관측장비가 없는 경우에는 사방이 열린 지역에 위치한 높은 굴뚝 연기의 흐름, 나뭇잎의 움직임, 깃대에 걸린 깃발의 방향 등을 지속적으로 관측해서 풍향을 추정한다. 공항의 경우에는 활주로 부근에 설치된 바람 주머니를 이용해서 풍향을 추정하는데 유리하다. 그렇지만 바람 주머니는 일정한 풍속 이상의 바람이 불어야 일정한 방향으로 움직인다는 사실도 인지하고 있어야 한다. 풍향을 추정할 때는 높은 곳에 위치한 참조점과 관측자가 위치한 고도 차이에 의한 풍향의 차이가 발생할 수 있고 건물이나 언덕과 같은 장애물에 의한 풍향의 변화도 충분히 고려해야 한다. 하층운의 움직임을 통해서 바람의 방향을 추정하기도 하지만 정확도는 떨어진다. 풍향과 풍속을 관측자가 추정하는 과정에서 발생할 수 있는 문제점은 순간풍이나 바람의 표준편차를 구할 수 없다는 점이다.

1.5.3 단순 바람 관측장비들

모든 기상 관측소에 전형적인 바람 관측장비를 설치하지 못하는 경우가 있는데, 이를 대신해서 비교적 낮은 비용과 간단한 장비를 통해서 관측자의 목측에 의한 바람 추정보다 훨씬 정확한 바람 관측이 가능하다.

1.5 바람

1.5.3.1 풍속 관측

단순한 휴대용 풍속계를 사용해서 관측을 실시할 때는 사용 설명서를 충분히 읽어야 한다. 휴대용 장비를 사용할 때는 사방이 열린 곳에서 실시하여야 하고, 건물, 나무, 언덕과 같은 장애물의 풍하측에서는 관측을 실시해서는 안 된다. 장애물을 회피할 수 없는 상황인 경우에는 풍하측에서는 최소한 장애물 높이의 10배 이상 떨어진 곳에서 풍상측이나 옆쪽에서는 장애물 높이의 2배 이상 떨어진 곳에서 관측을 실시하여야 한다.

1.5.3.2 풍향 관측

풍향은 긴 막대 위에 달린 풍향지시계나 깃발을 통해서 결정할 수 있는데 이때 풍향지시계나 깃발은 나침반에서 정한 16방위를 충분히 표현할 수 있는 위치에 설치되어야 한다. 만약 풍향지시계의 방향이 진동하면 지속적인 관측을 통해서 평균적인 방향이 어느 곳인지를 결정해야 한다.

1.5.4 컵-프로펠러 풍속 센서

컵-프로펠러 풍속계는 풍속을 결정하는데 일반적으로 사용하는 장비로 회전자와 신호 생성기로 구성되어 있다. 성능이 우수한 장비는 컵이나 프로펠러 회전자의 각속도나 프로펠러 회전 회전속도가 풍속에 직접 비례하도록 설계되어 있으며, 공기의 밀도와 무관하게 풍속과 회전자의 속도가 선형성을 가지고 일정하게 나타나고, 관측 범위의 안정성이 뛰어나다. 보통 컵이나 프로펠러 풍속 센서는 4m/s 이하에서도 풍속이 정확하게 관측되어야 하는데, 풍속과 회전 속도 사이의 선형성이 떨어지면 보정 작업을 해 주어야 한다.

대부분의 컵-프로펠러 풍속 센서는 가속에는 빠르게 반응하는 반면 감속에서는 느리게 반응하는 경향을 가지기 때문에 회전 속도가 실제 풍속에 비해서 과도하게 추정되는 경향을 가질 수 있다. 또한 바람의 성분 중에서 연직 속도 변동이 컵과 프로펠러의 회전에 영향을 미쳐 바람이 수평이 아닌 비스듬하게 컵이나 프로펠러에 도달하도록 작용해서 10% 정도 풍속을 강하게 추정하는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 부작용을 극복하기 위해서는 감속에도 빠르게 반응하는 풍속계를 선택하거나 컵이나 프로펠러가 연직 운동에 의한 코사인 반응이 제거되도록 설계되어야 한다. 컵-프로펠러 풍속 센서는 풍동 터널에서 정확하게 보정하거나 다른 정밀한 풍속 관측장비와의 비교 관측을 통해서 지속적으로 보정해 주어야 한다.

1.5 바람

신호생성기의 성능은 데이터 처리 프로세서의 성능에 의존한다. 따라서 신호생성기는 낮은 회전 속도에서도 반응하고, 마찰 토크나 원심력에 너무 많이 반응하지 않도록 설계되어야 한다. 자료들이 긴 선을 통해서 전송되는 경우 저항에 의해서 전압 신호가 약해질 수 있고, 이에 따라 펄스의 주파수가 약화될 수 있기 때문에 이를 최소화 할 수 있도록 설계되어야 한다.

1.5.5 풍향 지시계

풍향 관측의 목적에 충실하기 위해서 풍향 지시계는 실제 바람이 불어오는 방향을 지향하여야 하며, 수직방향으로 반응하지 않도록 설계되어야 한다. 보통 가장 많이 사용하는 화살형태의 풍향 지시계는 지주에 방위판이 놓여 있고, 철택로 된 기둥위에 풍향에 따라 움직이는 화살 모양의 지시계를 올려놓은 형태를 가지고 있다. 실제 풍속이 아닌 난류 성분에 과도하게 풍향이 자주 변하거나 진동하는 것을 막기 위해 난류 성분을 충분히 감쇠할 수 있도록 설계되어야 한다.

1.5.6 기타 바람 센서들

전통적인 컵-프로펠러 풍속계나 풍향지시계가 아닌 다양한 물리 법칙들을 통해서 풍속과 풍향을 측정하는 방법들이 제시되고 있으며 각각 고유한 장단점을 가진다.

- (a) 피토크 풍속계는 바람 벡터의 방향과 나란하게 놓인 풍향 지시계의 관의 과압을 측정하여 풍속으로 전환하는 방식을 사용한다. 피토크 방식은 풍속과 기압 사이의 2차원 관계식 때문에 풍속을 평균하는데 어려움이 있지만 전기 없이도 돌풍성분에 대한 값들을 얻을 수 있다는 장점을 가진다.

1.5 바람

- (b) 음파 풍속계는 초음파가 방출되어 일정한 거리에 떨어진 곳에서 반사되어 되돌아 오는 시간을 측정하여 풍속을 결정하는 방식이다. 음파 풍속계는 움직이는 부품이 없기 때문에 내구성이 뛰어나고 정확도의 변화가 없는 것이 특징이다. 음파가 강수에 의해서 흡수되는 경향성 때문에 비가 오는 날에는 사용할 수 없는 단점을 가지고 있었지만 최근에는 강수가 있는 경우에도 작동할 수 있는 음파 풍속계가 속속 개발되고 있고, 가격도 크게 낮아져서 기존 수동식 풍속계와 비슷한 수준으로 내려가고 있다
- (c) 디스크 풍속계는 최근 개발된 방식으로 디스크에 배열된 칩들의 온도 경도를 측정하여 풍향과 풍속을 결정하는 풍속계이다. 정확도가 매우 높고 내구성이 뛰어난 장점을 가지고 있지만 여전히 실제 대기관측보다는 실험용으로만 사용되고 있다.
- (d) 선형 풍속계는 가열된 선의 냉각 정도를 측정하여 풍속을 측정하는 방식을 사용하는데 내구성이 떨어지고 흐린 날이나 습기가 많은 날에는 오차가 큰 단점을 가지고 있기 때문에 실제 대기관측에서는 많이 활용되고 있지 않다.
- (e) 고전 방식인 회전판식 풍향지시계는 목측 관측보다 크게 장점이 없기 때문에 더 이상 사용되고 있지 않다.
- (f) 음파, 레이저, 전자기파를 활용해서 풍속을 측정하는 방식은 대기 오염을 관측하는 도구로 많이 개발되었지만, 최근에는 대기관측용으로도 꾸준히 개발되고 있다. 이러한 형태의 측정 방식은 원격 탐사가 가능하고 여러 개의 측기들을 네트워크로 연결해서 광역 감시가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

1.6 구름

1.6.1 구름 관측 일반

운형을 관측하고 지표면으로부터의 운저고도를 추정하거나 측정하는 것은 여러 가지 목적에서 중요한 요소이다. 특히 항공기상과 응용기상 분야에서 그 중요성은 무시할 수 없다. 기본적으로 관측자와 예보관들은 구름의 형태와 특성에 대해서 충분히 이해하고 있어야 한다.

1.6.1.1 구름의 정의

구름 : 관측 지점에서 인지가 가능한 아주 작은 수적, 얼음 알갱이 혹은 두 가지의 혼합물들의 집합체로 지표면 상공에 떠 있는 것을 의미한다. 구름 속 수적입자는 반지름이 $200\mu\text{m}$ 미만으로 반지름이 이것보다 커지면 그 수적은 이슬비나 비로 추정한다. 아주 특별하고 드물게 나타나는 진주모운이나 야광운, 성층권 하부에서 가끔 발생하는 권운의 경우를 제외하고는 거의 대부분의 구름의 발생은 대류권 내로 제한된다. 구름은 대류활동, 지형에 의한 강제상승, 저기압, 전선과 같은 대규모 연직 운동 등과 같은 공기의 연직 운동의 결과로 만들어진다. 구름이 형성에는 적절한 기온감률과 대기 중 습기, 하층 난류 등과 같은 작은 요인들도 작용한다. 기온이 0°C 이하인 상태에서도 구름 입자들은 전부 수적으로 이루어질 수 있는데 보통 층운의 경우에는 -0°C 까지 대류운의 경우에는 -5°C 까지 과냉각 수적의 형태로 존재한다. 이 온도 기준보다 낮아지면 수적들이 얼음 알갱이로 변하고 구름 속에는 과냉각 수적과 얼음이 혼합되어 존재하게 된다.

운량 : 구름이 하늘을 덮고 있는 정도를 추정한 값을 운량이라고 하는데, 단일 운형의 운량과 모든 운형의 운량을 동시에 관측한다. 운량은 보통 하늘을 8등분으로 나누어 어느 정도로 덮고 있는지를 옥타(Okta) 단위로 표시하며 구름이 전혀 없는 경우는 0, 구름이 완전히 하늘을 가린 경우는 8로 표시한다.

운저 : 지표면에서 구름 최하부까지의 높이를 운저라고 하는데, 보통 지상 고도를 말한다. 항공기상관측소에서는 지상 고도로 공식적인 공항 해발고도를 사용한다.

운형은 다양한 방법으로 구분한다.

(a) WMO는 1975년 기본 운형 10종을 결정하고 보다 세부적인 분류는 다음과 같은 기준을 따른다고 정의하였다.

1.6 구름

- (i) 구름의 종류(구름의 형태와 구조)
- (ii) 구름의 상이성(구름의 배열과 투명도)
- (iii) 부가적인 형태와 부속 구름들(모루구름, 유방구름, 꼬리구름, 강수구름, 아치구름, 깔대기구름, 삿갓구름, 연막구름, 토막구름)
- (iv) 원래 구름으로부터 새로운 구름이 만들어지면 ‘파생’이란 의미의 Genitus를 사용해서 나타내고, 원래 구름 자체가 변해서 새로운 형태로 바뀌면 ‘전환’이란 의미의 Mutaus를 붙여서 세부 구름으로 분류한다. 예를 들면 Stratocumulus Cumulogenitus, Stratus Stratocumulomutatus 등의 구름 분류가 가능하다.

(b) 다양한 구름의 종류를 고도에 따라 상층운, 중층운, 하층운으로 분류할 수도 있다. 대류권 내에서는 상층운은 6~12km(20,000~40,000ft), 중층운은 지표~6km(0~20,000ft), 하층운은 지표~1.5km(0~5,000ft)로 고도에 따라 분류한다. 상층운은 권운, 권적운, 권층운이 있고, 중층운은 고적운, 고층운(기준 고도보다 높은 높이에서 발생하기도 함), 난층운(고도가 낮기도 하고 높기도 함)이 있고, 하층운은 층적운, 층운, 적운, 적란운(상층운 고도까지 높게 발달함)이 있다. 종관관측에서는 분류 기준에 따라 9종을 사용하는데, 상층운, 중층운, 하층운으로 분류하고 각각 CH, CM, CL의 부호를 사용해서 나타낸다. 종관규모에서는 각 구름의 형태보다는 전체적인 하늘 상태가 주가 되기 때문에 보다 간략한 분류법을 사용한다.

수직시정 : 관측자가 자신의 위치에서 아래쪽이나 위쪽에 위치한 물체를 식별할 수 있는 최대 거리를 의미한다. 구름이 끼어 있는 상태에서 수직 시정은 목측에 의존하기 힘들기 때문에 빛이나 전자기파를 수직으로 방사해서 얻어지는 연직 프로파일을 통해서 구하는 것이 일반적이다.

1.6.1.2 단위와 척도

구름의 높이는 미터를 주로 사용하고 항공기상에서는 피트를 사용한다. 구름의 운량에 대한 단위는 옥타(okta)를 사용하는데 이 값은 관측자가 하늘을 보았을 때 둥글게 보이는 하늘을 8등분하여 구름이 덮인 양을 의미한다.

1.6 구름

1.6.1.3 구름 관측 요구 조건들

대기관측에서 구름관측은 운량, 운형, 운저고도를 모두 파악해야 한다. 종관관측에서는 WMO가 정한 특정한 부호에 맞게 관측해서 지표면에서 상층까지 구름의 상태를 가장 적절하게 나타내 주어야 한다. 위성을 통해서 우주에서 구름을 관측할 경우에는 운량과 운정온도를 측정한다. 위성을 통한 구름 관측의 시작은 기상분야 발전의 획기적인 계기를 제공하였다. 구름 관측의 정확도는 종관, 기후, 항공기상 목적에 따라 다를 수 있는데 가장 정확한 구름 관측이 요구되는 분야는 항공기상 분야이다.

1.6.1.4 구름 관측 방법들

1) 운량

가장 효과적이고 많이 사용되는 운량 관측은 관측자의 목적에 의한 것이다. 관측장비를 사용하는 방법은 여전히 개발 중이지만 알고리즘을 이용하여 하층운에 대한 운량을 추정하는 정도에 그치고 있다. 운량은 식별되는 층의 운량과 전체 층의 총운량이 동시에 보고되어야 한다. 총운량은 보이는 모든 구름들을 모았을 때 전체 하늘을 가리는 정도를 옥타로 표현한 것이다. 층별 부분 운량은 동일한 구름의 형태나 구름의 층이 하늘을 가리는 정도를 의미하는데 부분 운량을 모두 합치면 총운량이나 8옥타를 넘을 수도 있다. WMO가 정한 운량에 대한 코드는 다음과 같다.

[표 1.4] 운량에 대한 코드

WMO 코드	8등분(옥타)	10등분(1/10)
0	0 구름 없음	0 구름 없음
1	1 옥타 미만	1/10 미만
2	2 옥타	2/10 ~ 3/10
3	3 옥타	4/10
4	4 옥타	5/10
5	5 옥타	6/10
6	6 옥타	7/10 ~ 8/10
7	7 옥타 이상 8옥타 미만	9/10 이상 10/10 미만
8	8 옥타	10/10
9	하늘이 안개와 같은 다른 기상 현상으로 인해서 완전히 가려진 상태	
/	하늘이 기상현상이 아닌 다른 이유로 식별할 수 없거나, 관측을 하지 못한 경우	

1.6 구름

2) 운저 고도

구름의 운저고도는 항공기상을 비롯한 기상업무에 매우 중요한 요소이기 때문에 대부분 관측장비를 사용해서 관측하지만 여전히 관측자에 의한 목적측에 의존하는 경우도 많다. 구름 관측을 보고할 때는 관측장비의 정확도에 대한 정보가 같이 포함되어야 하는데 특히 항공기상에서 운저 고도는 항공기 운항 조건을 결정하는 요소이므로 매우 높은 정밀도를 요구한다. 운저고도 관측장비는 빔, 풍선, 레이저 등을 구름으로 방사해서 구름의 높이를 측정한다.

3) 운형

운량과 마찬가지로 현재까지 운형을 파악할 수 있는 유일한 수단은 관측자의 목적측 밖에 없다. 관측자들은 운형 사진과 운형 도감을 활용해서 다양한 형태의 운형에 대해서 인지하고 있어야 한다.

1.6.2 운량, 운저고도, 운형 추정 및 관측

1.6.2.1 효과적인 구름 추정을 위한 준비

구름을 관측하고 운량, 운저, 운형 등을 추정하기 위해서는 하늘을 최대한 관측할 수 있는 전망이 좋은 지점을 선택하여야 하고, 빛과 같이 관측에 장애를 초래할 수 있는 요인들이 없도록 조치해야 한다.

특히 야간 관측시에는 관측자가 충분한 시간을 가지고 눈이 어둠에 적응할 수 있도록 해야 한다. 야간에는 운량을 정확하게 관측하기 어렵기 때문에 전 시간에 이루어진 구름 관측 정보와 위성사진 등을 충분히 활용해야 하며, 다양한 구름들의 구조적 특성에 대해서 충분히 파악해야 한다. 항공기상에서는 조종사 기상보고를 통해서 구름에 대한 정보를 얻는 것도 효율적인 방법이다.

1.6 구름

1.6.2.2 운량 추정

관측자들은 관측지점 상공뿐만 아니라 낮은 각도를 통해 먼 곳에 위치한 상공의 구름까지 충분히 관측해서 운량을 추정해야 한다. 구름이 매우 불규칙하게 분포하고 있는 경우가 가끔 발생하기도 하는데, 이 경우에는 하늘을 4등분하여 각 분면별로 운량을 관측해서 총운량을 추정하는 방법을 사용한다.

안개, 강설 등으로 인해서 관측자가 운량을 추정할 수 없을 때는 운량 관측 코드 9를 사용하여 이를 나타낸다. 달빛이 없는 밤에는 하늘에서 별빛이 희미해지거나 완전히 안 보이는 정도를 파악해서 운량으로 대체한다. 그러나 연무나 안개가 있는 밤에는 이로 인해 별빛조차 보이지 않을 수 있다는 점도 명심해야 한다.

관측자는 부분 운량도 추정해야 하는데 상층의 구름이 하층 구름에 의해서 가려지는 경우에는 하층운의 이동 속도가 상층운에 비해서 빠르기 때문에 시간을 충분히 두고 상층운이 하늘을 완전히 가리고 있는지 부분적으로 가리는지를 판단해야 한다.

다양한 운형들이 있을 때, 운량 추정은 부분 운량의 합이 총운량이나 8옥타를 넘을 수도 있는 점을 인지하고 총운량과 무관하게 독립적으로 이루어져야 한다는 점을 명심해야 한다.

1.6 구름

1.6.2.3 운저 고도 추정

운고 측정 장비가 없는 관측소에서 운저 고도를 추정할 때는 다양한 주변의 지형지물을 활용해야 한다. 산악 지역의 경우에는 산에 구름이 걸리는 경우 산의 높이를 이용해서 운저 고도를 추정할 수 있다. 따라서 관측소에는 관측소에서 눈으로 볼 수 있는 거리에 위치한 주요한 지형지물들의 위치와 높이를 표시한 지형 도표를 만들어 두면 구름의 높이를 추정하는데 유용하다. 원근법에 따라서 가까운 거리의 구름이 멀리 떨어져 있는 산꼭대기보다 높은 고도에 있는 것으로 보일 수도 있기 때문에 관측지점의 운저 고도와 같을 것으로 판단하지 말아야 한다.

모든 환경 속에서 성공적인 구름 관측이 이루어지기 위해서는 운형과 구름의 일반적인 특성들에 대해서 충분히 이해해야 구름의 운고를 적절하게 추정할 수 있다.

표 1.5는 온도지역에 해면고도가 150m 이하인 관측소에서 관측할 수 있는 구름들의 운저 고도 범위를 보여주고 있다. 해발 고도가 높은 곳에 위치한 관측소에서는 구름의 형태에 따른 운저 고도가 표보다 낮게 나타날 수 있다. 다른 기후구, 특히 건조한 열대 지역에서는 구름들의 운저 고도가 훨씬 높게 나타날 수 있어서 운형에 따라 운고를 추정하는 것이 불가능할 수도 있다.

예를 들면 항공 관측을 통해서 대류가 활발한 열대지역에서 관측을 실시했을 때, 하층운인 대류운의 운저 고도가 2,400m(8,000ft) 이상인 경우가 많았고 심한 경우에는 3,600m(12,000ft) 이상인 경우도 많이 관측된다. 따라서 이 경우에 일반적인 지식만으로 지상에서 운저 고도를 추정할 경우에 큰 오차가 발생할 수 있다. 관측자들이 오류를 범하는 이유는 2가지가 있을 수 있는데 보통 적운 계열의 구름을 ‘하층운’으로 생각하고 그 고도가 2,000m(6,500ft) 이하일 것이라고 인지하고 있거나 구름들이 모여서 광학적 착각을 불러일으킨 경우이다. 야간에 운저 고도를 추정할 때는 구름의 형태를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 가장 어려운 경우는 밤에 고층운이 하늘을 덮고 있는 경우로 고층운의 운저 고도는 기상 조건에 따라서 크게 차이가 나기 때문에 운저를 파악하기 곤란하고, 운형이 고층운인지 식별하기도 힘들기 때문이다.

1.6 구름

[표 1.5] 온대지역에서의 운형 별 운저 고도 분포

운형 10 종	일반적인 운저 고도 범위		확장된 운저 고도 범위	
	(m)	(ft)	(m)	(ft)
하층운				
층운	지표~600	지표~2,000	지표~1,200	지표~4,000
층적운	300~1,350	1,000~4,500	300~2,000	1,000~6,500
적운	300~1,500	1,000~5,000	300~2,000	1,000~6,500
적란운	600~1,500	2,000~5,000	300~2,000	1,000~6,500
중층운				
	(km)	(ft)		
난층운	지표~3	지표~10,000	종관관측에서 난층운은 운고와 무관하게 중층운으로 분류하며, 고층운이 점점 두꺼워져 난층운이 되기도 함	
고층운	2~6	6,500~20,000		
고적운				
상층운				
	(km)	(ft)		
권운			겨울철에는 적란운이 소멸되면서 발생한 권운이 6km(20,000ft) 이하에 형성될 수 있고, 권층운은 고층운으로 발달할 수 있음	
권층운	6~12	20,000~40,000		
권적운				

1.6.3 관측장비를 이용한 운량 관측

현재까지 지상에서 총운량을 정확하게 측정할 수 있는 관측 센서는 개발되지 않았다. 가시 영상이나 적외영상을 통해서 넓은 지역의 구름 분포를 파악하고 이를 통해 운량을 추정할 수 있기는 하지만 위쪽에서 내려 보는 상태이기 때문에 제일 높은 층의 구름의 운량만을 추정할 수 있고 그 아래 가려진 낮은 구름의 운량은 추정할 수 없다.

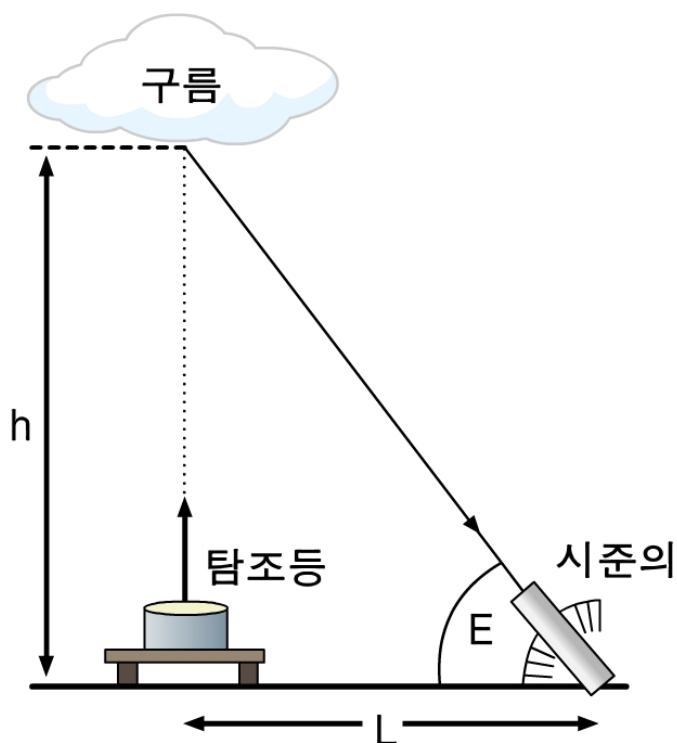
하층운의 운량은 운고계를 연속적으로 작동해서 시간 평균을 통해서 운저 고도와 운량을 추정하는 방법이 사용되는데 이 방법은 종관관측에서는 어느 정도 합리적인 하층운 운량 정보를 제공해 줄 수 있지만, 항공기상에서는 오차의 범위가 너무 크기 때문에 사용할 수 없는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 높은 수평해상도를 가지는 운고계 관측망을 구축해서 네트워크로 연결해서 운량을 추정하는 방법이 제시되고 일부 선진국에서는 활용되고 있지만, 그 정확도를 담보하기 힘든 것이 현실이다.

1.6 구름

1.6.4 탐조등을 통한 운저 고도 관측

1.6.4.1 관측 방법

그림 1.1에서 볼 수 있듯이 탐조등이 구름 하부에 닿은 지점을 시준의를 통해서 관측했을 때의 고도각(E)을 알고, 탐조등과 시준의(관측지점)의 거리(L)를 알고 있을 때 운저 고도(h)는 $h = L \tan E$ 로 계산할 수 있다. 일반적인 대기관측에서 적절한 탐조등과 시준의 사이의 거리는 300m로 알려져 있다. 만약 두 지점간의 거리가 너무 길면 구름 하부에 탐조등이 닿는 지점을 찾기 힘들고, 너무 가까우면 600m(2,000ft) 이상의 구름을 관측하는데 어려움이 있을 수 있다.



[그림 1.1] 탐조등을 이용한 운저고도 측정

1.6 구름

1.6.5 풍선을 이용한 운저 고도 관측

1.6.5.1 관측 방법

낮 동안의 운저 고도 관측은 수소나 헬륨이 채워진 작은 고무풍선이 상승하여 구름의 운저에 도달하는 시간을 통해서 고도를 결정하는 방법이 있다. 구름의 운저는 풍선이 구름 속으로 들어가서 완전히 사라지는 시점으로 결정한다. 풍선의 상승률은 풍선에 들어가는 헬륨이나 수소의 양에 따른 풍선의 자유 상승률에 따라서 결정된다. 풍선이 지상을 떠나 구름 속으로 사라질 때까지의 시간을 스톱워치를 통해서 측정한다. 만약 풍선이 분당 n 미터의 속도로 상승하고, 공중에 떠 있는 시간을 t 라고 하면, 구름의 운저 고도는 $n \cdot t$ 미터가 된다.

그러나 이 방법을 사용할 때는 아주 주의해야 할 사항이 있다. 지표면 근처에서 난류가 심한 경우에는 풍선이 바로 상승하지 못하고 지표면 부근을 표류한 후에 난류층을 벗어난 이후에 자유 상승을 시작하게 된다. 이 경우에 시간 측정은 난류층을 벗어나서 자유 상승을 하는 시점에서부터 결정하여야 하는데, 그 시점을 제대로 결정하기 위해서는 관측자들이 현재 대기의 안정도와 안정도에 따른 풍선의 상승 특성에 대해서 정확하게 인지하고 있어야 한다.

상층풍 관측용 풍선을 통해서 중층운의 고도를 결정하는 경우가 있기는 하지만, 일반적으로 풍선을 통해서 운저 고도를 측정할 때는 600m(3,000ft) 이하의 하층운을 상대로 실시하는 것이 좋다. 바람이 강하게 부는 경우에는 풍선이 바람에 날려 구름의 하부에 도착하기 전에 시야에서 사라져 버리는 경우가 있으므로 유의해야 한다.

강수 또한 풍선의 상승에 영향을 줄 수 있기 때문에 약한 강수가 아닌 경우에는 사용을 자제하는 것이 좋다. 야간에도 탐조등을 통해서 풍선을 추적할 수는 있지만 측광 랜턴을 사용하지 않는 것이 좋다.

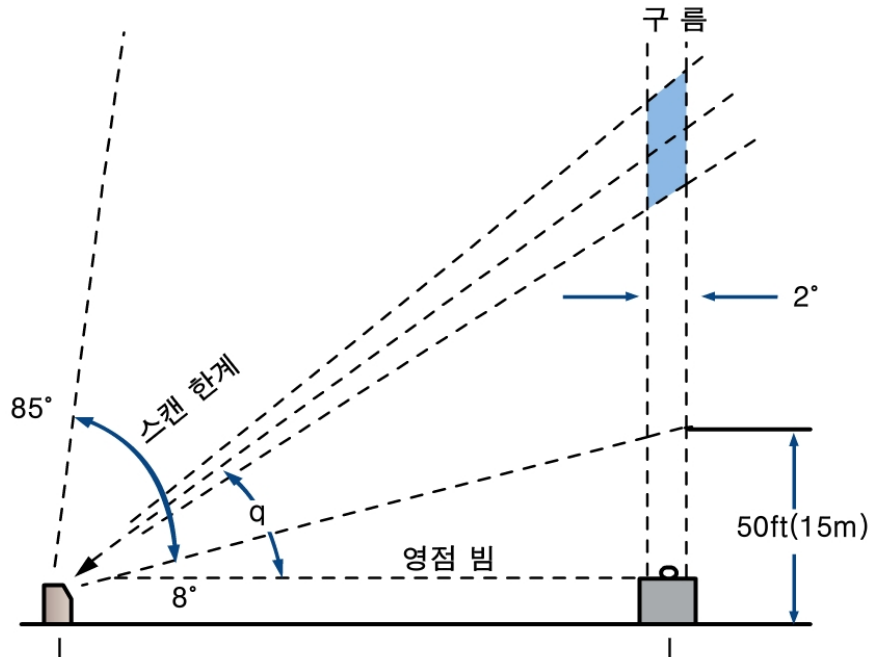
1.6 구름

1.6.6 회전-빔 운고계

1.6.6.1 관측 방법

회전-빔 운고계(RBC : Rotating-beam Ceilometer)는 일정한 상승각을 가지고 스캔하는 빔이 구름에 의해서 산란되기 시작할 때 일정한 거리에 떨어진 수신부의 광전자 셀이 그 산란 정도를 계산해서 구름의 운저 고도를 결정한다(그림 1.2 참조). 이 장비는 빔 송신기, 수신기 그리고 기록 장치로 구성된다. 빔 송신기는 2° 의 각도를 가지는 좁은 빔을 방사하는데 이 빔의 파장은 근적외선인 $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ 의 길이를 가진다. 따라서 이 빔의 파장은 구름 속의 수적의 반경과 비교했을 때 작아서 수적에 의한 산란을 탐지할 수 있다. 이 빔은 8° 에서 85° 까지 움직이면서 1kHz 정도의 진폭 변화를 준다.

수신부는 광전자 셀과 가시각 제한기로 이루어지는데 제한기는 빛이 수직으로 하강해서 광전자 셀에 도달하도록 도와준다. 기록부에는 펜이 달려서 송신 빔이 구름에 도달하는 신호를 받아서 동시에 기록한다.



[그림 1.2] 회전-빔을 이용한 운저고도 측정

1.6 구름

1.6.7 레이저 운고계

1.6.7.1 관측 방법

레이저 운고계는 송신기에서 방사된 레이저 빔이 구름에 닿은 후 산란되어 수신기로 되돌아오는 시간을 측정해서 구름의 높이를 결정하는 방식으로 라이다(LIDAR : Light Detection and Ranging) 원리를 차용한 것이다. 송신기에서 구름을 향해 수직으로 방사된 레이저 빔이 구름에 도달하면 구름 속의 수적에 의해서 산란되게 되는데, 대부분의 빔은 위쪽으로 산란이 되고 나머지 빔들이 아래쪽으로 산란되어 수신기의 광전자 탐지장치에 도달하게 되는데 후방 산란되는 양을 거리의 제곱에 반비례하는 성질을 이용한다.

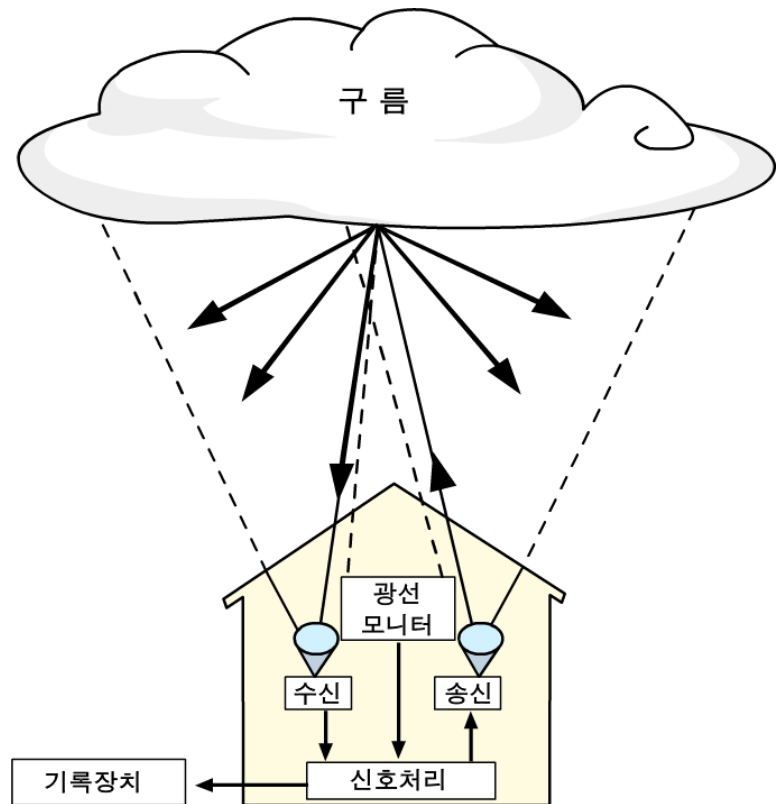
레이저 운고계(그림 1.3)는 송-수신부와 기록 장치로 구성된다. 송신기와 수신기는 하나의 하우징(틀) 속에 나란히 세워지며 신호탐지기와 신호 처리 장치와 함께 구성되며, 기록 장치는 하우징 외부에서 처리된 신호를 수신하여 구름의 높이를 기록한다. 레이저 운고계에 사용되는 레이저는 비화갈륨 반도체 레이저로 $1kHz$ 의 주파수에서 $110ns$ 의 지속시간을 가지는 $75W$ 의 빛 펄스를 제공한다. 이때 레이저 빔의 파장은 $900nm$ 이다. 송신기의 렌즈는 레이저 발사체와 수신기 탐지부와 일치되도록 맞추어준다. 렌즈의 반사에 따른 $900nm$ 레이저의 송신 성능 저하를 방지하기 위해서 레이저 송신기의 렌즈는 난반사 코팅을 한다.

송수신기가 들어있는 하우징의 천정부분은 유리로 만들고 난반사 코팅을 해서 레이저의 산란을 방지하고, 약 20° 의 기울기를 가지게 해서 빗물이 흘러내리도록 설계한다. 수신기의 설치에 레이저 빔 방사장치가 광전 다이오드나 광학 필터로 대체되는 것을 제외하고는 비슷하다.

1.6 구름

레이저 운고계의 송신기와 수신기가 나란하게 설치되기 때문에 송신되는 레이저 빔과 수신 부가 약 5m 상공에서부터 서로 겹치는 현상이 발생한다. 송수신기 하우징에는 항온장치가 설치되어 광학 장비의 표면에서 응결이 발생하는 것을 방지하고, 건조기를 설치해서 습기를 제거한다. 하우징 지붕의 나머지 부분은 덮개를 덮어 직사광선을 피하도록 설치한다.

탐지기에서 나온 산출물들은 신호처리 장치에서 ‘거리 게이트(Range Gate)’별로 연속적으로 처리된다. 거리 게이트는 최소 탐지가능 고도 증가 값이다. 방사된 레이저들이 ‘구름’과 ‘구름 없음’이 거리 게이트에 의해서 결정된다. 거리 게이트의 문턱 값은 계기가 ‘보이는’ 구름을 탐지하지 못하거나 ‘안 보이는’ 구름을 탐지할 가능성이 없는 정도에서 결정된다. 최신 레이저 운고계는 탐지거리 내에서 반사되는 에너지의 합을 이용해서 연직 시정을 추정해주는 기능도 가지고 있지만 WMO의 비교 관측 실험 결과 여전히 현업 대기관측에서 활용하기에는 신빙성이 낮은 것으로 평가되었다.



[그림 1.3] 일반적인 레이저 운고계 구성

1.7 강수

1.7.1 강수 관측

본 절에서는 지상 관측소에서의 강수량 관측 방법에 대해서 알아본다. 따라서 레이더나 위성과 같이 강수의 구조나 특성에 따라 다른 특수한 관측 방법이나 장비에 대해서는 상세하게 다루지 않는다. 강수량 관측에 있어서 강수량의 지역 대표성은 매우 민감한 사안이 될 수 있는데, 강수량이 설치 위치, 바람, 지형에 따라 가변적이기 때문에 강수량 보고에는 별도의 관측 환경에 대한 설명이 더해지는 것이 좋다. 강수량은 한 지점이 아니라 넓은 지역을 포괄하는 것이 분석에 유리하기 때문에 여러 개의 계기들을 네트워크로 연결하여 강수량 정보를 얻을 것을 권장한다.

1.7.1.1 강수의 정의

강수는 수증기가 응결하여 구름에서 지상으로 떨어지거나 공기 중으로 침착되는 액체 혹은 고체 형태의 물질로, 비, 우박, 눈, 이슬, 서리, 언 서리, 안개비 등이 있다. 총 강수량은 정해진 기간 동안 지상에 도달한 강수를 물로 환산해서 지표면에 펼쳤을 때 가지는 수직 깊이로 정의한다. 강설량은 새롭게 내려서 지표면을 덮은 눈의 깊이로 정의한다.

1.7.1.2 단위와 척도

강수의 단위는 액체형 강수의 경우에는 mm(부피/면적), 혹은 kg/m^2 (질량/면적)이 사용된다. 일 강수량은 0.2mm 이상일 때만 보고하며, 주 단위 혹은 월 단위 강수량은 1mm 이상일 때만 보고한다. 일 강수량의 측정은 전체 강수 관측 망을 상대로 동일한 시간을 정해서 측정한다. 강수량이 0.1mm 미만이면 흔적(Trace)으로 기록한다. 강수의 강도는 단위 시간 당 강수량으로 표시하며, 강설량은 cm 단위로 측정하며 0.2cm 이상일 때만 보고하고 그 이하는 Trace로 보고한다. 적설량은 보통 하루에 한번 관측해서 cm 단위로 보고한다.

1.7.1.3 강수 관측 요구 조건들

종관, 기후, 수문학적 목적을 위해서 강수량은 보통 1시간, 3시간, 24시간 단위로 관측되어야 하며, 정확도는 오차가 5% 이내여야 한다. 아주 짧은 시간에 강도가 센 집중호우가 내리는 경우에는 관측 시간을 줄여서 관측할 필요가 있다. 기후와 같은 특수한 목적을 위해서 관측된 강수를 그대로 저장하는 우량계의 경우에는 주 단위 혹은 월 단위로 관측하고, 산악이나 사막의 경우에는 연간 단위로 관측하기도 한다.

1.7 강수

1.7.1.4 강수 관측 방법들

1) 관측장비들

강수량계(혹은 우량계)는 가장 많이 사용되는 강수 관측장비이다. 일반적으로 우량계는 상부에 강수를 모으는 용기가 있고, 아래에 모인 강수량을 측정할 수 있는 원통 형태의 실린더를 가지는데 전체적인 모양은 깔때기 형태이다.

우량계의 높이나 구멍의 크기 등은 국가나 기관에 따라 다르고 명확하게 정해진 표준 규격은 없다. 다만, 우량계의 높이는 수집구가 최대 적설 높이보다 높아야 하며, 강수 입자가 지표면을 맞고 튕겨 오르는 높이보다는 높아야 하는데 보통 50cm에서 1m 정도의 높이를 가진다. 강수 측정은 설치 장소와 바람에 따라 큰 차이를 보일 수 있다(그림 1.4 참조). 전자광학 기술의 발전과 함께 광학적 산란을 이용한 광학 우량계가 현업 기관에서 운영되기 시작했지만 대부분은 기존 우량계와 병행해서 사용한다.

지점별 강수 관측은 지역 강수 분석의 기초적인 자료를 제공하지만 지점 관측은 제한된 지역만을 대표하고 누적 기간의 길이와 자연지리학적 균일성, 지형, 강수 과정 등에 크게 좌우되는 한계를 가진다. 최근에는 레이더와 위성 자료를 이용하여 정량적 강수량과 공간적인 분포를 결정하는 기술이 크게 발전하고 있다. 강수량 자료의 객관성과 활용성을 높이기 위해서는 지점별 관측 보다는 네트워크를 활용한 강수 관측을 통해 지역 강수 추정의 정확성을 향상시켜야 한다.

강수 관측은 우량계의 설치 위치에 따라 민감한 차이를 보이기 때문에 강수 관측자료에는 우량계 주변의 특이한 장애물의 수직각, 우량계의 구성, 우량계 입구의 높이, 바람 관측장비의 높이 등과 같은 관측 환경에 대한 부가적인 정보가 포함되어야 한다. 한 지점에서의 다른 형태의 우량계 사용, 우량계 위치나 높이의 변화 등은 강수 관측자료의 시간적 불균일성을 가져올 수 있고, 지점 별로 다른 형태의 우량계 사용, 설치 특성의 차이는 공간적인 불균일성을 가져와 강수 관측의 체계 오차를 만들어 낼 수 있는데 가장 큰 요인은 바람에 의해서 강수 입자가 수평적으로 날리는 현상이다.

1.7 강수

1.7.2 우량계의 설치

종관, 중규모, 미세규모를 떠나서 강수 관측의 목적은 어떤 지역에 내리는 실제 강수량에 가까운 샘플을 확보하는 것이다. 따라서 우량계의 설치 위치는 우량계의 체계적인 오차와 직접적인 관련이 있기 때문에 매우 중요한 요소이다. 정해진 지역 내에 우량계의 위치와 숫자는 지역적인 강수 관측의 대표성을 보장하는데 중요하다. 지역 강수를 계산 할 때는 바람과 지형의 효과를 동시에 고려해서 보정해 주어야 한다. 바람과 지형 효과는 실제 지역 전체에 내리는 강수량보다 과소 혹은 과대 관측이 일어나게 하는 주요 요인이기 때문이다.

일반적으로 우량계의 주변에 장애물이 있는 경우에는 장애물 높이의 2배 이상 떨어진 곳에 우량계를 설치하고 언덕이나 건물 옥상에 우량계를 설치하는 것을 피해야 한다. 강설량이나 적설량을 측정하기 위해서 관측 장소를 정할 때는 바람에 의해서 눈이 날리는 것을 방지하도록 차폐 장치를 설치하는 것이 좋다. 강설량이나 적설량을 측정하기 가장 좋은 장소는 숲이나 과수원의 평평한 곳이나 관목 사이가 좋은데 이들 장소가 바람으로부터 눈이 날리는 것을 막을 수 있는 자연적인 차폐물을 제공하기 때문이다.

바람에 의한 강수량 오차를 줄이기 위해서는 다음과 같은 방법을 사용하는 것이 좋다.

- (a) 균질하고 밀집된 식생 지역 : 적절한 깎기를 통해 식생의 높이와 우량계의 높이가 동일하게 만들어 주어야 한다.
- (b) 다른 지역에서는 (a)의 방법과 비슷한 효과를 낼 수 있도록 펜스를 설치한다.
- (c) 우량계 주변의 방풍 장치의 설치하고, 주변을 짧은 잔디로 덮거나 자갈, 널빤지 등을 깔아 주는 것이 좋은데 콘크리트와 같이 너무 단단한 표면은 빗방울이 지상에 튀어서 다시 우량계로 들어 올 수 있기 때문에 피하는 것이 좋다.

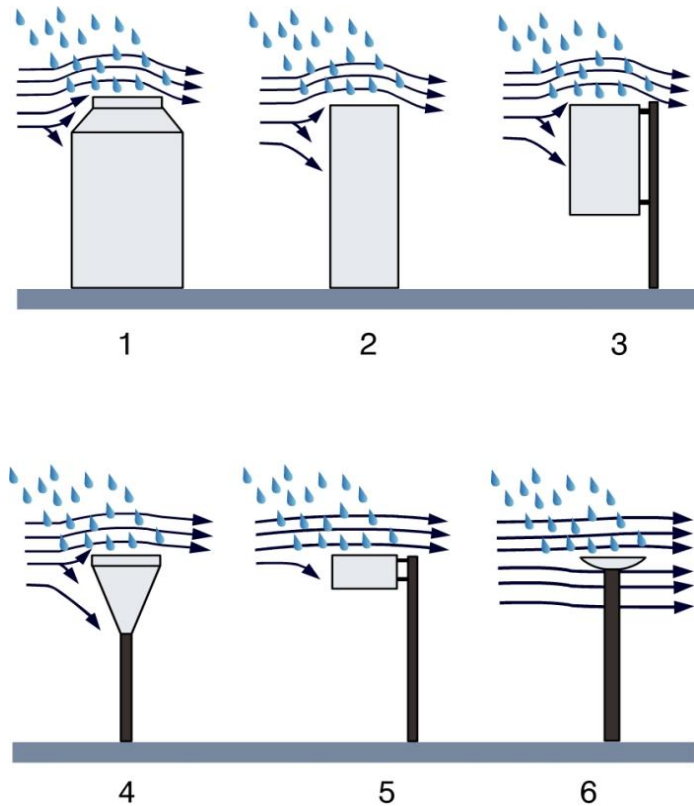
1.7 강수

1.7.3 비기록식 우량계

1.7.3.1 보통 우량계

1) 강수 관측 도구들

모든 형태의 보통 우량계는 강수량 수집부, 깔때기 모양의 입구에 원통이 달린 용기로 구성되어 관측 시간 동안 비나 눈을 저장해서 누적 강수량을 측정하도록 하고 있다. 그림 1.4는 일반적으로 사용되는 다양한 우량계의 형태와 바람에 의해서 발생할 수 있는 강수 관측 오차 원인을 보여주고 있다. 첫 번째 (1) 형태의 우량계가 우량계 상부의 강수입자 수집 용기 부분에서 바람장의 변형이 가장 많이 일어나고, 마지막 (6) 형태의 우량계 주변에서 가장 작은 바람장 변형이 일어나고 있음을 보여주고 있다.



[그림 1.4] 표준 우량계의 다양한 형태들. 화살표와 실선은 바람의 유선을 점선은 강수 입자의 궤적

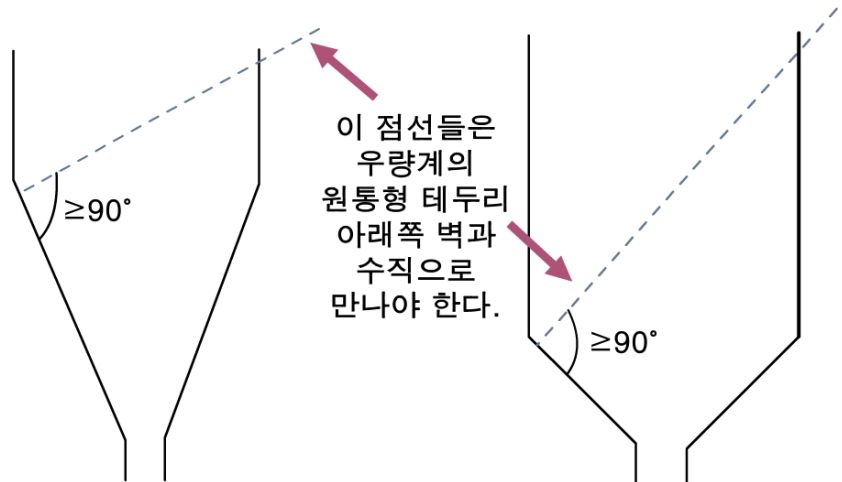
한편 눈과 같은 고체형 강수관측은 정확도를 높이기 위해 강설 시점이 시작 되면 우량계의 깔때기를 없애거나 특수 눈 펜스를 만들어 바람에 의해서 눈이 날리는 것을 방지하는 등의 조치를 하는 것이 좋다.

1.7 강수

우량계 주변에 방풍벽을 설치하는 것은 우량계 상공에서의 기류 변화나 날림눈이 우량계 속으로 들어가는 등의 오차를 만들 수 있는 요소를 줄여주는 효과를 발휘한다. 우량계 속에 저장된 물을 측정할 때는 우량계에서 물을 쏟아내서 측정하는 방법과 우량계에 척도가 표시된 자를 넣어서 직접 측정하는 방법이 사용된다.

강수를 수집하는 우량계 상부의 용기 크기는 액체 형태의 강수에서는 큰 의미가 없지만 고체형 강수에는 민감할 수 있기 때문에 강수량 측정의 품질을 보장하기 위해서 용기의 넓이가 200 cm^2 에서 500 cm^2 사이 인 것을 권장한다. 우량계가 갖추어야 할 구비 조건은 다음과 같다.

- (a) 강수 수집부의 테두리는 날카로운 단면을 내부 경사를 크게 해서 강수가 수집부 내부로 수직으로 떨어지도록 해야 한다.
- (b) 강수 수집부에서 포착한 강수입자가 저장 통으로 들어가는 입구의 구멍은 전체 면적의 5% 정도가 되는 것이 좋고, 이 구멍의 크기는 장비가 관측에 활용되는 동안에는 동일한 크기를 유지해야 한다.



[그림 1.5] 우량계 외부 원통과 내부 깔때기 사이의 적절한 각도

- (c) 강수 수집부는 우량계 내부에서 강수 입자가 튕겨져 나가거나 외부에서 튕겨져 들어오지 않도록 수직 벽을 높게 하거나 깔때기의 경사가 적어도 45° 이상으로 급하게 만들어져야 한다. 가장 적절한 모양은 그림 1.5와 같은 형태이다

1.7 강수

- (d) 우량계는 우량계 자체가 물에 젖어서 발생하는 강수 관측 오차가 없어야 한다.
- (e) 강수 저장용기는 좁은 입구와 복사 영향을 최소화해서 물이 증발되는 것을 방지할 수 있도록 조치되어야 한다. 산악 등과 같이 주 단위 혹은 월 단위로 강수량을 측정하는 우량계는 저장용기의 용량이 큰 것을 선택해야 한다. 강수 측정 원통은 보통 깨끗한 유리나 플라스틱으로 만들어 지는데 열적 팽창 계수가 명시되어 있어야 한다. 강수 측정 원통의 반지름은 외부 원통의 33% 정도가 적당한데 입구가 작을수록 정밀한 강수 측정이 가능하다. 외부 원통에는 0.2mm 단위로 표시하고 0.1mm 마다 선을 새겨 놓는다.

강수량의 측정에 사용되는 척도의 오차는 2mm 이상의 강수에서는 $\pm 0.05\text{mm}$, 2mm 미만의 강수에서는 $\pm 0.02\text{mm}$ 이하여야 한다. 강수량이 적은 지역에서 강수량을 측정할 때는 정확성을 보장하기 위해서 측정 원통 내부가 아래로 갈수록 좁아지도록 만들어져야 한다.

외부에서 눈으로 강수량을 측정하는 경우에는 측정 원통을 수직으로 세운 상태에서 시각에 의한 오차가 발생하지 않도록 눈높이와 강수의 높이를 맞추어서 측정한다. 강수 측정을 위한 자는 삼목이나 다른 물질로 만들어 물을 완전히 흡수하는 것이 아니라 모세관 효과에 의해서 물을 함유하도록 해야 한다. 나무로 만든 측정 잣대는 증발을 방지하기 위해서 기름을 넣어 놓은 관측 원통에서는 사용하지 않는 것이 좋고 이때는 금속 등과 같이 기름을 바로 닦아 낼 수 있는 재질을 사용하는 것이 좋다.

금속으로 만들어지지 않은 측정 잣대는 청동으로 손잡이 부분을 만들어서 닳는 것을 방지해야 하며, 우량계 구멍의 단면 크기에 따라 척도가 표시되어야 하며, 척도는 적어도 10mm 단위로 표시되어 있어야 한다. 강수량 측정에 자를 이용할 경우 부피 측정을 통해서 강수량 표시(깊이)가 적절한지 비교 검증해야 한다.

1.7 강수

1.7.3.2 저장식 우량계

저장식 우량계는 원거리나 사람이 살지 않는 지역의 계절 총강수량을 측정할 때 사용한다. 저장식 우량계는 깔때기를 가진 수집부와 계절 강수량을 충분히 담을 수 있는 저장부로 구성된다.

저장부에는 물의 증발을 방지하기 위한 적절한 기름을 5mm 정도 넣어 둔다. 이 기름은 강수는 자유롭게 통과시키면서 증발은 방지하는 성질을 가지고 있어야 하며, 겨울철에는 강설량을 강수량으로 전환해서 측정할 수 있도록 부동액을 섞어 주는 것이 좋다. 단위 질량 당 37.5% 염화칼슘과 62.5%의 순수한 물을 섞은 용액이 부동액으로 적당하다.

염화칼슘에 비해서 부식성이 낮으면서 우수한 부동 성능을 가지는 에틸렌 글리콜 수용액도 대체 물질로 사용되지만 가격이 비싼 단점이 있다. 일부 국가에서는 부동액의 사용이 환경오염 문제를 야기한다는 점을 들어 사용을 제한하기도 한다. 계절 총강수량은 저장부에 저장된 물의 무게나 부피를 측정하여 결정한다. 물론 이 과정에서 처음 섞어두었던 부동액의 무게나 부피는 계산에서 제외해야 한다.

저장식 우량계의 보정은 보통 우량계의 보정 방식과 동일하다. 계절 총강수량 측정을 위한 저장식 우량계의 위치가 원거리에 떨어져 있는 경우가 대부분이므로 우량계 입구가 눈으로 막히거나 측정을 위해 접근성이 떨어지는 경우가 많기 때문에 적절한 감시 장치를 설치하는 등 운영 관리에 유의해야 한다.

1.7 강수

1.7.4 기록식 우량계

자동으로 강수량을 기록하는 우량계는 관측자에 의한 강수량 측정에 비해 서 시간 해상도가 높은 장점을 가지고 있어서 증발이나 젖음에 의한 강수량 손실을 막을 수 있는 장점을 가진다.

일반적으로 사용되는 기록식 우량계는 무게 기록식, 기울어진 버킷식, 부유식 등이 있다. 이 중에서 무게 저장형 우량계만이 모든 형태의 강수를 측정할 수 있고 나머지 두 가지는 액체형 강수만 측정할 수 있는 단점을 가지고 있다.

최근 사용되는 자동 우량계는 강수를 움직이는 부품이 없이 고정식으로 측정하는데 콘덴서 소자, 기압 변환기, 광학 혹은 작은 레이더 장비로 구성되어 강수의 강도에 비례해서 그 강도가 변하는 전자 신호를 이용해서 강수량을 측정하는 방식을 사용한다. 기록식 우량계에서 빠져서는 안 되는 중요한 정보는 시간 간격과 기록 일시에 대한 정보이다.

1.7.4.1 무게 기록식 우량계

무게 기록식 우량계는 스프링 방식이나 균형 무게 방식을 이용해서 강수를 포함한 저장부의 무게를 연속적으로 기록하기 때문에 액체형 강수와 고체형 강수를 모두 측정할 수 있고, 이 저장부의 물을 비워주는 것 이외에는 특별한 준비 과정이 필요 없는 장점을 가진다.

무게 기록식 우량계는 보통 150mm에서 750mm까지의 저장 범위를 가지는데, 저장부 내부에 기름을 섞거나 수막을 형성하는 방법 등으로 증발을 막는 방법을 강구하여야 한다.

기계식 무게 기록식 우량계는 강풍에서 균형을 맞추기 위해서 우량계가 진동하는 경우가 있어 기름이 물에 섞이는 단점을 가지고 있지만, 최신 마이크로프로세스를 활용한 우량계는 고정형이기 때문에 진동에 의한 영향은 없다.

1.7 강수

이러한 무게 기록식 우량계는 눈, 우박, 진눈깨비 등의 측정에 유리한데, 무게를 측정하는 방식으로 고체형 강수를 녹여서 측정할 필요가 없기 때문이다.

겨울철에는 강수 수집부가 얼지 않도록 부동액을 섞어서 눈을 녹여서 측정하는데 얼마나 많은 부동액을 섞어야 하는지는 강수량과 최저 기온에 따라 달라진다. 보정된 스프링을 통해 강수량을 측정하는 우량계는 지레장치나 도르레 장치를 통해 수직운동을 각운동으로 전환해서 무게를 측정한다. 각운동은 끝에 달린 드럼에 기계적으로 전달되어 기록지에 연속적으로 무게 변화를 측정하도록 하거나 변환기를 통해 디지털 방식으로 기록되도록 한다. 이 우량계의 정확도는 측정 혹은 기록 특성에 따라 크게 차이를 보인다.

1.7.4.2 기울어진 버킷식 우량계

기울어진 버킷식 우량계는 총 강수량이나 강수 강도를 측정하는데 주로 이용하지만, 강한 집중호우가 발생하면 비선형 오차가 발생하기 때문에 정확도를 보장할 수 없는 단점을 가지지만 비선형 오차가 발생하기 위해서는 시간당 250mm 이상의 강도를 가져야 하기 때문에 강한 대류성 강수가 발생하는 열대 지역을 제외하고는 사용에 큰 문제점을 가지지는 않는다.

이 방식의 우량계의 작동 방식은 아주 간단하다. 한쪽에는 가벼운 금속으로 만들어진 작은 버킷이 있고, 그 반대쪽에는 동일한 무게의 추를 달아서 수평적으로 균형을 이루게 만든다.

비가 수집부를 거쳐 아래로 내려오면 버킷에 담기게 되고 무게가 증가함에 따라 기울어지게 되며 일정한 무게가 넘으면 아래쪽의 물받이 통으로 기울어져 담긴 물을 쏟아내고 다시 균형 상태로 돌아오는 방식을 사용한다. 이런 방식으로 계속해서 강수량을 측정하게 되는 것이다.

버킷의 물을 쏟고 다시 제자리로 돌아오는 시간이 짧기 때문에 그 사이에 놓칠 수 있는 강수량은 0.2mm 이내이다. 만약 시간당 250mm 이상의 비가 내리면 물을 쏟고 다시 올라오는 시간 동안 다시 그 만큼의 비가 내리기 때문에 측정이 불가능하지만 이런 경우는 거의 없다.

1.7 강수

강한 집중호우 상태에서 버킷을 비우는 시간 사이의 측정 불연속에 의한 오차를 제거하기 위해서 칸막이를 만들어 버킷을 비우는 동안 강수를 모은 다음 다시 아래로 내려 보내는 방식을 사용한다. 강수량을 디지털로 바로 전환해서 기록하고 데이터 로그를 통해서 그 값을 바로 읽을 수 있는 기울어진 버킷식 우량계의 장점 때문에 자동 기상관측 장비의 일부분으로 많이 활용되고 있다.

1.7.4.3 부유식 우량계

이 우량계는 비가 통으로 내려가면 부력에 의해서 물에 뜨는 성질을 가진 물질이 위로 움직이는 것을 읽어서 강수량의 변화를 관측자가 읽거나 자동으로 기록되는 방식을 사용하는데 기록 방식은 펜으로 기록지에 기록하거나 디지털로 전환하여 저장하는 방식이 있다.

부유식 우량계는 24시간 동안 지속적인 기록이 가능하도록 비교적 큰 저장부를 가지고 있어야 하고, 저장부에 일정한 양 이상의 비가 채워지면 자동적으로 매우 짧은 시간에 이를 비워서 지속적인 강한 비가 내리더라도 강수 측정 기록이 단절되지 않도록 해야 한다.

겨울철 동안 저장부의 물이 얼어서 측정이 불가능한 상황을 방지하기 위해서 가열 장치를 설치할 필요가 있다. 가열 장치는 특별한 장치가 아닌 작은 전등이나 가열 소자면 충분하다. 가열을 너무 많이 하면 물이 가열되어 부피가 증가하거나 증발이 발생할 수 있기 때문에 가열 장치를 설치할 때 이 점에 유의해야 한다.

1.7 강수

1.7.5 이슬, 얼음누적, 안개 강수의 측정

1.7.5.1 이슬과 나뭇잎 젖음 측정

이슬의 침착은 야간 사이에 발생하는 현상으로 그 양이 작고 국지성이 크기 때문에 건조한 지역에서 의미를 가진다. 왜냐하면 건조한 사막과 같은 지역에서 이슬이 맺히는 양은 강수량과 맞먹을 정도의 크기를 가지기 때문이다. 외부에 노출된 식물의 잎에는 이슬, 안개, 강수 등으로 인해 물 맺힘 현상이 발생하는데 이때 응결되는 양은 식물의 질병, 곤충 활동, 작물의 생장에 큰 영향을 미친다. 이슬의 수문학적 기여를 평가하기 위해서는 이슬 형성 특성을 구분할 필요가 있다.

- (a) 대기 중 습기의 하방 수송의 결과로 차가운 물체 표면에 습기가 응결되는 이슬 침강
- (b) 토양이나 식물로부터 증발된 수증기가 차가운 물체 표면에 응결되는 증류 이슬
- (c) 잎으로부터 수분이 배출되는 식물 표면 배수에 의한 이슬

위 세 가지의 형태는 눈으로 보기에는 같은 이슬처럼 보이지만, 이슬 침강의 경우에는 지표면 부근에 습기를 공급하는 역할을 하지만, 증류 이슬과 배수 이슬의 경우에는 순수한 의미에서 지표면이 습기를 잃는 역할을 한다. 이슬의 양은 kg/m^2 혹은 mm 단위로 측정한다.

1.7.5.2 얼음 누적 측정

얼음이 표면에 누적되는 경우는 여러 가지가 있을 수 있다. 어는 강수가 물체의 표면에 닿으면서 바로 투명한 얼음 막을 형성하는 현상(착빙)은 나무, 관목, 전화선, 전기선에 피해를 주거나 도로나 활주로 상태를 매우 위험하게 만들 수 있다.

된 서리는 노점 온도가 영하인 공기가 냉각에 의해서 포화 상태에 이르렀을 때 물체에 침착되어 형성되는데 그 입자의 크기가 작은 것이 특징이다. 흰 서리는 과냉각 수적이 차가운 물체의 표면에 접촉하면서 얼어붙어 형성된 것으로 흰색이거나 불투명한 색깔을 가지고 있다.

1.7 강수

대기 관측에서 얼음 누적 관측은 정량적인 방식 보다는 정성적인 방식을 사용하는데 그 이유는 여전히 얼음 누적을 측정할 수 있는 적절한 센서가 개발되어 있지 못하기 때문이다. 얼음 누적으로 인한 피해가 자주 발생하는 지역의 관측소에서는 양극화된 알루미늄을 이용해서 어는 강수, 서리의 형성들을 관측하고 보고한다. 정성적인 관측 이외에 단위 면적당 누적된 양을 무게로 측정하여 보고하는 정량적인 관측도 일부 활용되고 있다.

최근 센서 기술의 발달로 도로나 활주로 상에 얼음이 형성되는 현상을 측정하여 표면 상태 경고를 제공하는 방법이 활용되고 있는데 두 개의 전극을 도로나 활주로에 심고 표면의 수분 상태에 따른 전기 전도성 변화를 측정하여 표면이 건조한지 젖어 있는지를 측정한다. 또한 이온 편광성을 이용하여 두 개의 전극 사이의 순간적인 전기 방전을 측정해서 표면의 상태가 건조한지, 젖었는지, 서리인지, 눈인지를 결정하는 기술도 개발 활용 중에 있다.

1.7.5.3 안개 강수 측정

안개는 미세한 크기의 수적으로 구성되어 있는 구름이 지표면 부근에 형성되어 있는 것으로 정의할 수 있다. 안개 입자의 크기는 $1\mu m \sim 40\mu m$ 이고 종말속도는 $1cm/s \sim 5cm/s$ 로 다양하다. 입자의 크기가 매우 작고 종말속도가 아주 작기 때문에 안개 입자는 약한 바람에도 수평으로 이동하는 성질을 가진다.

안개가 형성되면 수평 시정이 5km 이하로 떨어지는데, 온도와 노점온도의 차이가 $2^{\circ}C$ 이상 나는 경우는 거의 없다. 일반적으로 대기과학에서는 안개를 시정 장애 요소로 파악하지 강수의 형태로 판단하는 경우는 거의 없다.

그러나 수문학적 관점에서 보면 안개가 자주 발생하는 고산 숲 지대의 경우에는 구름이 이동하면서 산에 걸리는 경우가 많기 때문에 이를 단순한 안개로 관측해서 강수량을 과소 추정하는 결과를 초래 할 수도 있다.

최근 들어 안개가 고산 지대에서의 수분 공급의 원천으로 인식되면서 적절한 관측이 이루어져야 한다는 주장이 제기되고 있다. 안개 강수의 관측에 많이 사용되는 관측 방법은 일반 우량계의 상부에 반지름 10cm, 높이 22cm, 망의 격자 크기 $0.2cm \times 0.2$ 의 금속 망사로 된 원통을 설치해서 안개 입자를 포집해서 강수량으로 전환해서 측정하는 방식이다.

1.7 강수

1.7.6 강설량과 적설량 관측

강설량은 일정한 기간(보통 24시간) 동안 내린 새로운 눈의 깊이(양)를 말하는 것으로 바람에 의해서 낮게 혹은 높게 날리는 눈은 그 측정 대상에서 제외한다. 강설량은 고체형 강수를 총괄하는 의미로 싸락눈, 착빙, 우박, 강수로부터 직간접적으로 형성되는 얼음 조각 등을 모두 포함해야 한다. 적설량은 관측 시간 동안 지표면에 깔린 눈의 깊이를 의미하며 적설의 수상당량은 적설을 녹였을 때의 물의 깊이를 의미한다.

1.7 강수

1.7.6.1 강설량 관측

강설량은 열린 지표면에 척도가 표시된 자나 척도를 이용해서 직접 깊이를 재는 방식을 통해서 측정할 수 있다. 눈이 바람에 날려서 불규칙적으로 쌓일 수 있기 때문에 여러 곳을 측정해서 평균된 값을 사용해서 대표성을 높인다. 강설량은 새롭게 내린 눈을 측정해야 하기 때문에 관측이 끝난 후에는 눈을 치우거나 그 위에 나무판과 같은 적절한 물질을 덮어서 새로운 눈의 양을 측정하고 총 강설량도 동시에 측정한다. 강설량의 관측은 적설판을 사용해서 그 깊이를 재는 방식이 일반적이다. 적설판은 흰색의 나무판에 기둥을 세우고 그 기둥에 척도를 표시해서 적설량을 잴 수 있도록 하는 장비이다.

1.7.6.2 적설량 관측

적설량은 눈이 새롭게 내리거나 멈추거나에 상관없이 현재 지표면에 쌓여 있는 눈의 깊이를 측정하는 것으로 일반적으로 자나 척도가 표시된 막대기를 수직으로 찢러 넣어서 지표면에 도달하는 깊이를 측정한다.

그러나 적설량을 직접 관측하는 것은 바람에 의해서 눈이 몰려 있거나, 아래 얼음이 깔려 있어서 더 이상 깊이를 잴 수 없는 등의 관측상의 오차가 발생 할 가능성이 높기 때문에 지역 대표성을 가지기 힘든 단점을 가지기 때문에 여러 곳을 측정하고 얼음층이 있으면 이를 제거하고 수직 깊이를 측정하는 등의 부가적인 노력이 필요하다.

겨울철 동안 지역의 대표성을 가진 적설량을 추정하는 바람직한 방법은 다양한 색깔의 척도를 가진 기둥들을 세워서 지표면으로부터 적설의 깊이를 확인하는 방법이다. 기둥 주변에서의 태양 흡수에 의한 눈녹음을 방지하기 위해서 흰색으로 칠하는 것이 좋다. 눈이 많이 내리는 넓은 지역의 적설을 절절히 확인하기 위해서 기둥에 수평 막대를 설치해서 평균적인 높이를 측정하는 방식을 사용한다. 최근 자동관측장비에는 초음파 거리 측정 장비를 이용해서 눈의 깊이를 재는 방식이 사용되는데 불확실성이 $\pm 2.5\text{cm}$ 이내인 것으로 알려져 있다.

1.7 강수

강설량이나 적설량은 수상당량으로 전환해서 구할 수 있는데 투명한 관을 이용해서 일정한 부피를 측정하고 그 눈을 녹여서 깊이를 재거나 무게를 재는 방식을 사용하거나 우량계에 내린 눈을 그대로 녹여서 강수량으로 바꾸어 측정하는 방식을 사용한다.

고전적인 방식으로는 적설량을 그대로 강수량으로 전환하는 방식으로 보통 1cm의 눈을 1mm의 강수량으로 전환하는 방식을 사용하는데, 실험 결과에 의하면 눈의 종류에 따라서 눈과 수상당량의 비율이 0.03에서 0.4까지 큰 가변성을 가지기 때문에 정확도가 크게 떨어지는 단점을 가지고 있다.

수상당량으로 바뀌서 강설량의 측정하는 다른 방식으로는 눈 베게(Snow Pillows), 방사선동위원소, 자연감마선 등이 있는데 모두 누적된 눈을 적절한 방식으로 녹이거나 무게를 측정해서 수상당량으로 전환하는 방식을 사용한다.

1.8 시정

1.8.1 시정 관측 일반

1.8.1.1 시정의 정의

대기관측의 목적에서 시정은 초기에는 관측자의 목적에 의해서 추정되는 정량적 가시거리로 정의되었고 현재까지 그 방법이 광범위하게 적용되고 있다. 그러나 이러한 시정의 추정은 관측자의 주관이나 물리적 요소들이 크게 작용할 수 있기 때문에 객관적인 정의라고 할 수 없다. 대기과학에서 시정은 정량적인 값을 가지고, 객관적으로 측정이 가능한 대기의 투명도를 의미하는 기상광학거리(MOR : Meteorological Optical Range)로 정의된다.

기상광학거리는 색 온도가 $2700K$ 인 백열등의 시준 빔의 광플럭스가 대기를 통과하면서 줄어들어 원래 값의 5%에 도달하는 데까지의 경로 길이로 정의된다. 이때 광플럭스의 세기는 국제조명위원회의 광도계 광도의 함수로 평가된다.

대기관측에서 사용하는 시정은 주간시정과 야간시정으로 구분되는데, 주간시정은 낮 동안 지표면에 있는 적정한 규모의 검은 색깔의 물체가 보이고 식별되는 거리로 정의되고, 야간시정은 보통의 광도를 가진 불빛이 보이고 인지되는 거리로 정의되는데, 주간시정과 야간시정 모두 객관적인 값보다는 관측자의 주관에 의존한다.

가시거리(Visual Range) : 주어진 물체가 주변에 대해서 가지는 대조(Contrast) 정도를 관측자가 동일하게 인지할 수 있는 거리.

공기광(Airlight)은 태양 빛이 대기를 통과하면서 공기 분자에 의해 산란되어 관측자의 눈에 보이는 것으로 태양 빛 뿐만 아니라 대기에서 지표면으로 방출되는 복사에너지도 더해진 값이다. 공기광은 관측자의 시각에 영향을 미쳐 주간 중에 검은 물체의 구별 능력을 떨어뜨리는 역할을 한다.

다음의 광도 관련 값들은 국제전자기술위원회(IEC)에서 표준을 정한 것이다.

- (a) 광플럭스 (기호 : F (혹은 Φ), 단위 : 루멘(광속 단위)) : 국제조명위원회가 정한 표준 광도에 따라 방사된 복사선이 가지는 복사 플럭스의 값
- (b) 광도 (기호 : I , 단위 : 칸델라 혹은 lm/sr) : 단위 각 당 광플럭스
- (c) 휘도 (기호 : E , 단위 : 룩스 혹은 lm/m^2) : 단위 면적 당 광도

1.8 시정

소광 계수(기호 σ)는 색온도 2700 K의 백열등으로부터 방사된 시준 빔의 광플럭스가 단위 거리의 대기를 통과하면서 대기의 흡수나 산란에 의해서 감쇄되는 비율.

휘도 대조(기호 C)는 물체와 주변의 휘도 차이가 가지는 주변 휘도에 대한 비율.

대조 경계(기호 ϵ)는 인간의 눈으로 탐지할 수 있는 휘도 차이 최소값으로 주변에 대해서 물체를 확인할 수 있는 가장 작은 휘도 값.

휘도 경계(기호 E_t)는 주어진 주변 휘도에서 인간의 눈으로 확인할 수 있는 가장 작은 불빛으로 주변 환경에 따라 값이 크게 차이가 난다.

투과 계수(기호 T)는 색온도 2700K의 백열등으로부터 방사된 시준 빔이 대기 중의 정해진 광학 경로를 가로질러 지난 후에 남는 광플럭스의 비율.

1.8.1.2 단위와 척도

시정 혹은 기상광학거리는 m 단위나 km 단위를 가지는데, 관측 거리 기준은 응용 분야에 따라 다양하다. 종관관측에서는 최저 100m에서 최대 70km까지 시정 값을 관측하는 반면, 항공기상에서는 시정을 10km까지만 관측하고, 항공기의 이착륙에 필수적인 정보인 활주로 가시거리는 50m에서 1,500m까지 관측한다. 시정관측의 오차 범위는 시정이 늘어날수록 증가하기 때문에 시정관측의 척도는 시정이 낮을수록 더 작아진다. 종관관측에서는 100m에서 5,000m까지의 시정은 100m 단위로, 6km에서 30km까지는 1km 단위로, 30km에서 70km까지는 5km 단위로 관측하고 보고한다. 항공기상에서 관측 단위는 더 세밀하게 구분된다.

1.8.1.3 시정 관측 요구조건들

대기과학에서 시정은 2개의 차별된 개념으로 뚜렷하게 구분된다. 첫 번째로 시정은 기단의 특성을 판단하는 요소로 종관기상과 기후에서 중요한 의미를 가지는데 여기에서 시정은 대기의 광학적 상태를 대표해야 한다. 두 번째로 시정은 실제 현업에서 활용하는 기상변수로 특정한 마크나 불빛이 보이는 거리로 표현되는데 특정한 기준이나 적용 분야에 따라 요구되는 조건이 다르다. 특히 항공기상에서 시정은 항공기 운항에 매우 결정적인 기상변수가 된다.

1.8 시정

대기과학에서 시정관측은 다른 기상학적 조건들과 무관하게 이루어져야 하며, 일반적인 대상이 정상적인 상태에서 보이는 거리와 비교해서 직관적으로 결정하는 개념이다. 기상광학거리는 주야간을 막론하고 관측장비를 통해서 관측하는 것이 편리하며, 기상광학거리와 다른 시정 개념들 사이의 관계를 잘 이해하고 있어야 한다. 기상광학거리는 WMO에서 공식적으로 채택한 시정관측으로 일반적인 목적과 항공 목적에 동시에 사용되는 개념이다.

1.8.1.4 시정 관측 방법들

시정은 대기 중에 부유해 있는 고체나 액체 입자들에 의해서 발생하는 빛에 대한 대기의 소광계수의 지배를 받는 복잡한 광학적 물리적 현상이다. 빛의 소광은 대기에 의한 빛의 흡수보다는 산란에 의해서 발생한다. 시정의 추정치는 빛의 특성이나 투과율과 같은 객관적인 것뿐만 아니라 개인적인 지각력과 이해력에 따라서 큰 차이를 보일 수 있기 때문에 시정의 추정은 다분히 주관적으로 이루어질 가능성이 높다. 따라서 관측자가 시정을 추정할 때는 물체의 광도나 규모 특성뿐만 아니라, 관측자가 주변 배경과 그 물체를 구분할 때 주관적으로 사용하는 대조 경계가 중요한 역할을 한다.

야간 시정 관측은 원천 불빛의 강도, 배경 월광도, 관측자의 어둠 적응 정도에 따라 추정치가 유동적일 수 있다. 앞에서 정의한 야간시정은 주간시정과 동일한 수준으로 추정되어야 하며, 여명이나 박명시에 시정을 추정하는 과정에서 인위적인 수정이 발생하지 않아야 한다. 특히 항공기상에서 야간시정을 추정할 경우에는 특별한 주의를 기울여서 관측 오차가 발생하지 않도록 유의해야 한다.

관측자의 목적에 의해서 시정을 관측할 경우에 인간의 눈은 가시광선 스펙트럼 내의 단일 복사에 대해서만 효과적인 능력을 발휘하기 때문에 광순응 정도가 매우 중요하게 된다. 광순응 시각과 암순응 시각은 각각 눈이 주간 동안에 주변 휘도에 적응하는 정도와 야간에 눈이 어둠에 적응하는 정도를 의미한다. 광순응은 눈의 망막에 입사되는 빛의 자극에 대해서 눈이 정상적으로 반응하여 주변의 사물을 충분히 구별할 수 있는 상태를 의미하며, 암순응은 망막이 아니라 색깔이나 뚜렷한 대상에는 작용하지 않고 아주 약한 빛에서만 작용하는 시신경 간상체가 효과적으로 작용하여 어둠 속에서도 사물을 구별할 수 있는 상태를 의미한다.

1.8 시정

1.8.2 기상광학거리의 시각적 추정 방법

1.8.2.1 일반 사항

관측자는 나무, 산, 건물, 빛 등과 같은 자연적인 대상이나 인위적인 대상과의 이격 거리를 통해서 기상광학거리를 시각적으로 추정할 수 있다. 따라서 관측소에는 주야간에 시정을 관측할 수 있도록 주변의 주요한 시정 기준점들을 정해서 시정도표를 만들어 두고 관측에 활용하고 있고 관측자는 이 시정도표를 충분히 숙지하고 있어야 한다.

대기관측에 종사하는 관측자는 정상적인 시력과 적절한 관측 관련 교육을 이수한 자격자가 실시하여야 한다. 시정 관측을 실시할 때는 창문을 통해서 관측하거나 망원경 등을 사용해서 관측하는 것을 지양해야 하는데 특히 야간 관측에서 이 원칙은 반드시 지켜져야 한다.

시정관측은 관측자의 눈높이(약 1.5m)를 중심으로 이루어져야 하며 높은 전망대나 건물에서 시정관측을 실시하지 말아야 한다. 시정이 좋지 않고 방향에 따라 가변적인 시정을 가지고 있는 경우 종관관측에서는 가장 낮은 값만을 보고하고, 항공기상 관측에서는 우시정과 부분 시정을 동시에 관측하고 보고해야 한다.

1.8.2.2 주간 기상광학거리 추정

주간 관측에서 시각적 추정으로 정해진 시정은 실제 기상광학거리와 거의 일치하는데, 이를 보장하기 위해서는 관측소에서 다양한 거리에 떨어져 있는 대상들을 차례로 식별해 나가는 것이 좋다.

그리고 관측에 활용되는 대상은 가시 영역에서 하늘과 쉽게 구분이 되는 검은 색이나 검은 색에 가까운 것이 좋고 가능하면 알베도가 25%를 넘는 것은 대상으로 선택하지 않는 것이 좋다. 왜냐하면 강한 일사가 있는 경우 관측 대상이 주변 지형과 구별되지 않을 가능성이 높기 때문이다. 따라서 하얀색 집은 부적절하고 어두운 나무들로 구성된 숲은 좋은 대상이 된다. 다른 곳과 뚜렷하게 구별되는 산, 언덕, 강과 같은 주변 지형도 시정 추정대상이 될 수 있다.

1.8 시정

1.8.2.3 야간 기상광학거리 추정

야간에 인간의 시각을 이용해서 기상광학거리를 추정할 경우에는 관측소 주변의 광원을 활용한다. 거리 추정에 광원을 활용할 경우에는 시정을 명확하게 파악할 수 있는 장소에 일정한 강도를 가진 불빛을 선택하는 것이 좋은데, 작은 점 형태의 불빛이나 좁은 입체각을 가지는 불빛은 활용하지 않는 것이 좋다.

야간 시정 관측에서 불빛을 이용할 경우에는 관측소 주변의 휘도 변화, 눈부심 효과, 다른 광원에 의한 간접 효과 등을 충분히 고려해서 시정을 추정해야 한다. 결국 어둠 속에서 정확하고 신뢰할 수 있는 방법은 적절한 대상을 선택하는 것이 최우선 과제가 된다.

야간에 관측에 임하는 관측자는 특히 정상적인 시력을 보유하고 있어야 하며, 5분에서 15분의 충분한 암순응 시간을 통해서 주변의 휘도에 시신경이 적절히 작동하도록 해야 한다.

1.8 시정

1.8.3 관측장비를 통한 기상광학거리 측정

1.8.3.1 일반 사항

관측장비를 이용해서 기상광학거리를 추정할 때는 특정한 가정을 토대로 전자광학적 파장의 변화를 시정으로 전환하는 방법을 이용한다. 일반적으로 주간 동안에 관측장비를 이용해서 기상광학거리를 측정하는 것이 목측을 통해 직접 정해진 참조점 관측을 통해 거리를 추정하는 방법보다 항상 유리한 것은 아니다. 그러나 야간 관측이나 참조점이 없는 지역이나 자동관측장비에서는 센서를 활용한 관측장비가 매우 유용하게 사용될 수 있다. 기상광학거리를 측정하기 위한 장비는 크게 두 가지 범주로 나뉜다.

- (a) 수평으로 놓인 원통 속의 공기의 소광 계수나 투과 계수를 측정하는 방식으로 빛이 공기 속이 일정한 거리를 지나면서 공기 입자의 산란이나 흡수에 의해서 약화되는 정도를 이용한다.
- (b) 작은 부피의 공기로부터 빛의 산란 계수를 측정하는 방식으로 일반적으로 자연적인 안개의 경우에는 빛의 흡수 효과를 무시할 수 있기 때문에 산란 계수를 그대로 소광 계수로 활용할 수 있다는 점을 이용한 방식이다.

1.8.3.2 소광 계수 측정방식 장비

격측광도계(Telephotometric)

하늘을 배경으로 일정한 거리에 떨어진 물체들의 겉보기 휘도를 비교해서 소산 계수를 측정해서 주간 시정을 계산하는 격측광도계들이 활용되고 있지만 여전히 주간 시정 관측에는 목측이 많이 활용되고 있다. 그렇지만 일정한 거리를 넘어서는 곳까지의 기상광학거리를 외삽을 통해서 측정할 때는 유용한 방법이다.

시각 소광 미터(Visual Extinction Meter)

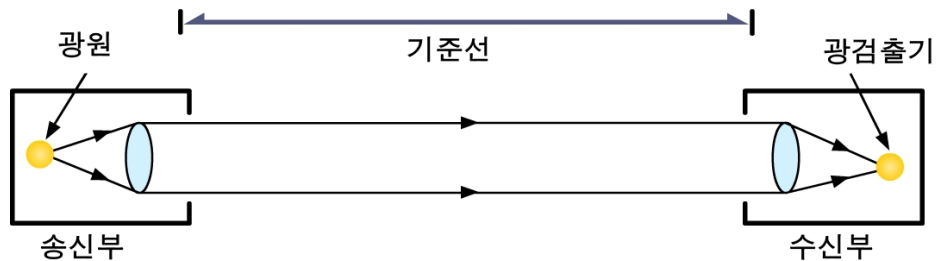
일정한 거리에 떨어져 있는 빛을 등급별 중립 필터를 이용해서 감쇠되는 비율을 통해서 거리를 측정하는 간단한 장비로 빛이 가시적으로 보일 때만 사용할 수 있는 단점이 있다. 시각 소광 미터는 관측자와 광원 사이의 대기의 투명도를 측정하고 이것을 통해서 소광 계수를 계산하는 방식을 사용한다.

1.8 시정

이 장비의 정확도는 관측자의 눈의 민감도와 광원의 복사 강도 변화에 따라 다양하게 변한다. 이 장비의 장점은 서로 떨어져 있는 3개의 광원만을 활용해서 100m에서 5km까지의 기상광학거리를 합리적인 정확도를 가지고 측정할 수 있다는 점이다.

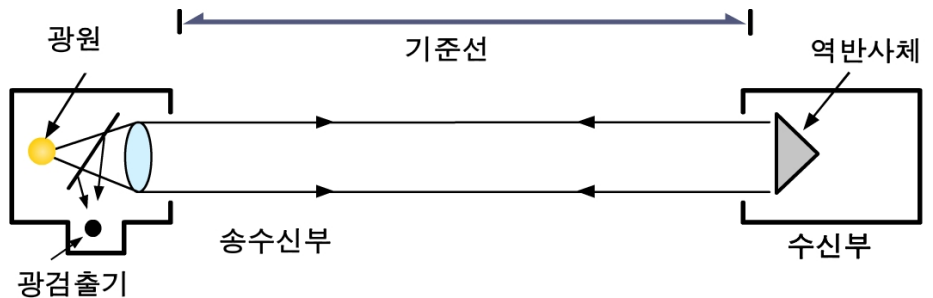
투과율계(Transmissometer)

투과율계는 송신기와 수신기 사이에 수평으로 놓인 원통 속 공기의 소광 계수를 측정하는 방식을 사용한다. 송신기는 일정한 평균 전압을 가진 광원의 변조된 광플럭스를 원통으로 내보내고, 수신기는 광검출기를 통해 원통을 지나온 광원의 광플럭스 세기를 측정한다. 가장 많이 사용하는 광원은 할로젠램프나 제논 펄스 방전 튜브이다. 투과 계수는 광검출기 출력으로부터 구해지는데 이 투과 계수를 통해 소광 계수를 구해서 기상광학거리를 결정하게 된다. 투과율계는 가시광학거리를 시준 빔으로부터 소멸되는 빛으로부터 구해지기 때문에 실제 기상광학거리 정의와 일맥상통한다. 따라서 투과율계 시정계를 통한 기상광학거리 측정은 매우 높은 정확도를 가지는 특성을 가지고 있다. 투과율계에는 두 가지 종류가 있다.



[그림 1.6] 투과율계 방식 A

(a) 그림 1.6에서 보이는 투과율계 A는 일정한 거리를 두고 떨어진 송신부와 수신부로 구성되고, 송신부에는 광원이 있고 이 광원이 대기를 수평으로 통과해서 수신부의 도달하면 광검출기가 측정하는 방식이다.



[그림 1.7] 투과율계 방식 B

1.8 시정

(b) 그림 1.7에서 보이는 투과율계 B는 송신기와 수신기가 같은 곳에 위치해서 일정한 거리를 갔다가 역반사체에서 반사되어 되돌아오는 빛을 광검출기를 통해서 측정하는 방식을 취한다.

두 가지 방식의 기준선은 수 m에서 150m 정도의 거리를 가지는데 그 기준선의 길이는 기상광학거리 측정목적과 적용 분야에 따라서 다양하다. 투과계수와 기상광학거리 사이의 관계식은 안개 입자의 크기에 좌우되지만, 일반적으로 시정은 비와 눈과 같은 대기 수상이나 대기 중 먼지 등에 의해서도 떨어질 수 있기 때문에 일반적인 관계식의 적용에 신중을 기해야 한다.

1.8.3.3 산란 계수 측정방식 장비

대기 중에서의 빛이 감쇠는 산란과 흡수에 의해서 이루어지는데 산업 시설이 가까운 지역에서의 오염 물질, 먼지, 얼음 알갱이 등에 의해서 빛이 많이 흡수된다. 그러나 일반적으로 빛이 대기 중에서 감쇠되는 효과 면에서 흡수는 산란에 비해서 무시할 만한 수준으로 주로 대기 중의 입자들에 의한 산란에 의해서 감쇠가 일어난다. 대부분의 시정 감소는 대기 중의 수적들에 의한 빛의 반사, 굴절, 회절 등에 의해서 일어나는데 이 모든 효과를 산란 효과라고 부른다. 따라서 소광 계수와 산란 계수를 동일한 것으로 볼 수 있기 때문에 산란 계수를 측정해서 이것으로부터 기상광학거리를 측정하는 것이 가능하다. 산란 계수 측정은 작은 공기 체적에 시준 빔을 집중시킨 후 충분히 큰 입체각에 따라 산란된 빛의 정도를 광도계로 읽어서 그 평균값을 취하는 방식을 주로 사용한다.

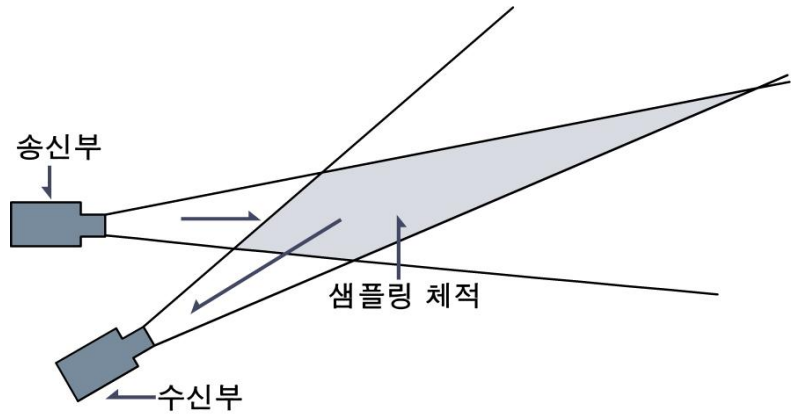
산란 계수 b 는 다음과 같이 식을 통해서 표현할 수 있다.

$$b = \frac{2\pi}{\Phi_v} \int_0^\pi I(\phi) \sin(\phi) d\phi$$

여기에서 Φ_v 는 체적 V 의 공기 속으로 들어가는 광플럭스의 양이고, $I(\phi)$ 는 입사 빔에 상대적인 방향 ϕ 로 산란되는 빛의 강도이다. 이때 산란 계수 b 를 측정하기 위해서는 모든 각으로부터의 산란을 적분해야 한다.

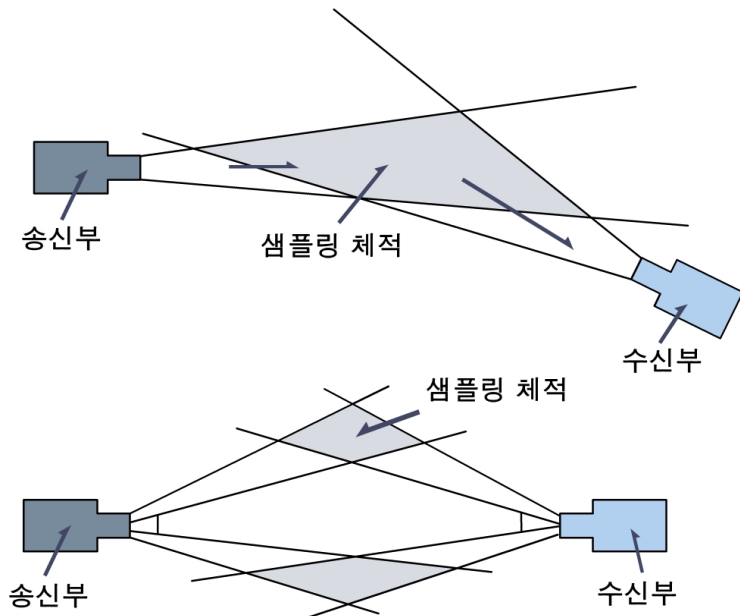
산란 계수를 이용한 기상광학거리 측정 장비는 후방산란 방식, 전방산란 방식, 여러 각의 산란을 적분하는 방식 등 3가지 종류가 있다.

1.8 시정



[그림 1.8] 후방산란 방식

- (a) 후방산란 방식 장비 : 그림 1.8에 보이는 것과 같이 송신부로부터 나온 빔이 송신기 앞에 있는 작은 체적의 공기에 집중되면, 같은 하우스 내부에 송신기 보다 아래쪽에 설치된 수신기에서 대기로부터 후방 산란되어 들어오는 양을 측정한다. 후방 산란 계수와 시정과의 직접 관계식을 구하기 위한 다양한 연구가 진행되었지만 여전히 만족할 만한 수준은 아니다.

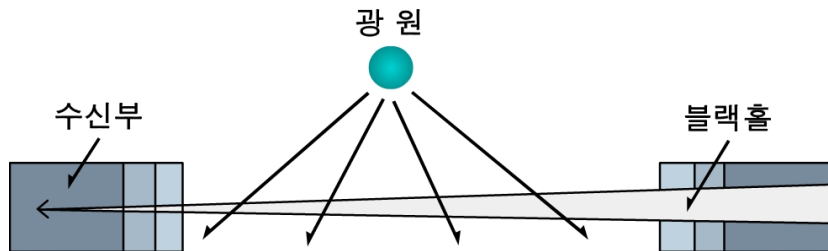


[그림 1.9] 전방산란 방식

- (b) 전방산란 방식 장비 : 송신부에서 방사된 빔이 공기 체적을 통과하면서 발생한 전방 산란을 전면에 위치한 수신부에서 측정하는 방식으로, 가장 좋은 샘플링 각도는 20° 에서 50° 사이인 것으로 알려져 있기

1.8 시정

때문에 송신기에서 나오는 입체각과 수신부에서 수신하는 입체각이 이 각도 이내에 머물도록 송신기와 수신기를 설치한다(그림 1.9).



[그림 1.10] 여러 각 산란 적분 방식

(c) 여러 각의 산란을 적분하는 방식 : 그림 1.10에서 보는 바와 같이 적분 네펠로미터라고 불리는 이 장비는 0° 에서 180° (실제 관측에서는 0° 에서 120° 각도 사용)에 달하는 넓은 각도에 걸쳐서 산란을 측정해서 각도별로 측정된 산란을 적분해서 전체 산란량을 결정하는 방식을 사용한다. 수신부는 여러 각도로 빔을 내보내는 광원에 수직인 곳에 설치한다. 이론적으로는 이 방식의 장비가 가장 좋은 산란 계수 즉 소광 계수를 제공하지만 실제로는 대기 중의 산란을 샘플링하는 과정에서 정보가 손실되는 것을 방지하는 것이 아주 어렵기 때문에 실제 관측에서 정확도가 그 만큼 높게 나타나지는 않는다. 대기관측에서 점점 이 방식의 기상광학거리 측정 장비 사용이 증가하고 있지만 여전히 대기오염을 연구하는 분야에서 주로 사용한다.

위에서 언급된 장비들은 수신부에 광검출기 셀들이 들어있고, 사용되는 빔은 크세논 방전을 통해서 만들어진다. 이 장비들은 크기가 1m~2m에 불과하기 때문에 주간 관측을 위한 참조 지점이나 야간 관측을 위한 광원이 없는 경우에 대안으로 활용하기 충분하다. 비록 이들 장비를 이용한 기상광학거리 측정이 작은 공기 체적을 대상으로 하는 것이기 때문에 전체 지역에 대한 대표성을 가지지 못하고 단점이 있지만 샘플링 숫자와 측정 횟수가 늘어나면 대표성을 충분히 가질 수 있을 것이다.

과거에는 산란 방식의 관측장비를 통한 기상광학거리 측정에 대한 신뢰성이 떨어지는 것이 사실이었지만, 최근 기술의 발전과 함께 산란 계수와 기상광학거리의 상관관계를 충분히 받아들일 수 있는 수준에 도달해서 많은 자동관측장비의 시정 관측 센서로 활용되고 있다.

1.8 시정

1.8.3.4 장비 설치와 위치

기상광학거리 관측장비의 설치와 관측값의 대표성을 확보할 수 있는 곳이어야 하기 때문에 일반적인 종관관측 목적으로 사용하기 위해서는 장비는 연기, 산업 오염물질, 도로 부유물 등과 같은 국지적인 대기 오염 물질의 영향을 받지 않는 곳에 설치하는 것이 좋다. 또한 소광 계수나 산란 계수를 구하기 위한 공기 체적 샘플링은 목측이 이루어지는 높이인 1.5m 부근에서 이루어지는 것이 좋다. 투과율계나 산란 계수를 이용하는 장비 모두 태양 복사의 직접 입사의 영향을 받지 않도록 남북 방향으로 설치하는 것이 좋으며, 그렇지 못한 경우 가림막을 설치해서 태양광을 막아 줄 필요가 있다.

1.9 기상현상

1.9.1 기상현상 관측 일반

1.9.1.1 기상현상의 정의

대기관측에서 기상현상은 대기의 상태와 이와 관련된 다양한 현상으로 기본적으로는 정량적인 측정을 염두에 두는 것이 아니다. 기상현상은 대기 중이나 지표면 부근에서 관측되는 정성적인 현상으로 정의될 수 있는데, 기상현상에는 강수(대기를 통해서 떨어지는 대기수상), 부유하거나 날리는 입자(대기수상과 먼지), 광학 현상(대기빛현상) 혹은 전기적 현상(대기전기현상) 등이 있다.

대기수상은 대기 중에 떠 있거나, 대기를 통해서 지상으로 떨어지거나, 지표면 부근에서 바람에 날리거나, 지표면이나 자유 공기에 침착되는 액체 혹은 고체 입자를 의미한다.

먼지현상은 지표면으로부터 바람에 날려서 대기 중에 떠 있는 고체형 입자들의 종합체를 의미한다.

대기빛현상은 태양빛이나 달빛이 대기 중의 물질에 의해서 반사, 굴절, 회절, 간섭되어 나타나는 발광 현상을 의미한다.

대기전기현상은 대기의 전기적 작용에 의해서 시각적, 청각적으로 나타나는 현상을 말한다.

대기관측에서 기상현상은 관측시간 현재 발생하고 있는 기상현상을 의미하는 현재기상과 관측시간 사이에 발생한 특이한 기상현상을 의미하는 과거기상으로 나누어 보고한다. 또한 최근에는 기후학적인 이유로 인해서 토양의 습도나 상태, 지표면을 덮고 있는 수성 혹은 비수성 입자들을 포괄하는 지표면 상태도 함께 보고하는 경우도 있다.

1.9.1.2 단위와 척도

관측자에 의해서 목측이 이루어지는 관측소에서는 현재기상, 과거기상, 지표면 상태를 정량적인 자료로 묶어서 보고한다. 목측에 의한 기상현상의 관측은 관측자의 지각에 의해서 관측한 기상현상을 적절히 설명할 수 있는 표준화된 단위와 척도를 사용해서 보고해야 한다. 1990년대부터 자동관측장비가 현업화되기 시작하면서 관측된 기상현상들을 바이너리 코드나 문숫자 코드와 같은 정량적인 형태로 전환해서 송신하기 위한 WMO 차원의

1.9 기상현상

노력이 이루어지고 있지만, 기상현상을 직접 관측할 수 있는 자동기상관측 장비들에 의한 현재기상과 과거기상 보고는 그 복잡성 때문에 충분한 신뢰성을 가지지 못한다.

1.9.1.3 기상현상 관측 요구 조건들

현재기상, 과거기상, 지표면 상태는 기상현상들을 정성적으로 설명하는 것이 가장 중요한 목적이다. 기상현상에 대한 관측은 종관기상 시스템에 대한 이해와 예보를 위한 가장 기초적인 요구 조건임과 동시에 인간의 삶, 수송 안전 등에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 정확하게 관측되어야 한다. 세부적인 각 기상 요소별 관측 요구조건들은 1.2절에서 1.8절까지 상세하게 다루었고, 각 요소별 예보법도 2장, 7장에서 다룰 예정으로 여기에서 상세한 설명은 생략한다.

관측되어야 할 현재기상, 과거기상은 크게 3가지의 범주로 분류할 수 있는데, 강수(낙하하는 대기수상), 대기 차폐와 부유물(먼지현상과 대기수상의 부유와 날림), 기타 기상현상(갈매기 구름, 스콜선, 번개 등)으로 분류할 수 있다.

액체형 강수나 안개가 언 형태로 물체의 표면에 침착되더라도 분류상으로는 각각 강수나 부유하는 대기수상 범주에 들어간다. 번개를 제외한 대기빛 현상이나 대기전기현상은 특별한 기상 조건하에서 만들어지는 요소로 적절하게 보고되는 것이 좋지만, 표준 관측에서 현재기상과 과거기상에 반드시 포함되어야 할 주요한 기상현상은 아니다.

1.9.1.4 기상현상 관측 방법들

첨단 과학기술이 발달한 현재에도 전혀 다른 형태의 기상현상들을 전체적으로 관측할 수 있는 시스템은 구축되어 있지 않기 때문에 대부분의 관측은 숙련된 관측자의 시각과 청각에 의존할 수밖에 없다.

그러나 숙련된 관측자를 만들기 위해서 필요한 비용과 시간을 무시할 수 없기 때문에 비숙련 관측자의 업무를 보충해 줄 목적으로 자동기상관측장비의 이용이 점점 확대되고 있다.

1.9 기상현상

기초 연구에 의하면 자동기상관측장비에서 모아진 각종 자료들을 통합해서 국지분석하면 이와 관련된 기상현상들을 유추할 수 있음을 보여주고 있으나, 코드화 된 기상현상을 적절히 분류해서 관측할 수 있는 단일 센서는 없고 다만 시정, 온도, 노점온도, 바람, 눈비의 구분 등이 가능한 개별 센서들이 개발됨에 따라 이들 자료를 통합해서 기상현상을 유추할 수 있는 알고리즘의 개발 연구가 진행 중에 있다.

기상현상의 관측을 위한 최적의 선택은 숙련된 예보관이라는 것은 여전히 불변의 사실이지만, 비록 자동기상관측 센서들이 모든 기상현상을 탐지하지는 못한다고 하더라도 이들 센서를 통해서 관측된 값들이 어떤 기상현상과 관련되어 있을 것이라는 사실을 유추할 수 있기 때문에 비용 대 효과면에서 완전히 무시할 수준은 아니다.

1.9 기상현상

1.9.2 현재기상과 과거기상 관측

기상관측 전문에서 현재기상과 과거기상은 강수(비, 이슬비, 눈, 싸락눈, 가루눈, 다이아몬드 먼지, 우박 등), 대기 차폐와 부유물(연무, 먼지, 연기, 박무, 안개, 날림눈, 먼지폭풍, 모래폭풍등), 깔때기 구름, 스콜선, 번개 등의 범주에 따른 고유한 구분 번호(헤더)를 가진다. 현재기상의 범주에 드는 현상이 관측시간에 관측소 상공이나 관측범위 내에서 관측되면 지난 시간 동안의 경과와 강도, 현상 등을 종합해서 적절한 현재기상 코드 숫자를 선택해서 어떤 기상현상인지를 보고해야 한다.

1.9.2.1 강수

1) 관측 대상

강수 특성은 내리는 형태에 따라 소낙성, 단속성, 연속성 강수로 나눌 수 있는데, 소낙성 강수는 물리적으로 대류운과 관련된 강수현상을 의미한다. 관측자(혹은 관측장비)는 강수의 강도를 내리는 강도나 관련된 시정악화와 같은 현상을 참고해서 약함, 보통, 강함으로 분류해야 한다.

강수 특성과 형태(비, 이슬비, 눈, 우박)는 강수 강도의 척도를 정하는데 영향을 미친다. WMO의 산하에 설치된 관측장비와 방법, 기본 관측시스템 전문가 위원회 연합은 관측자의 현재기상들에 대한 정량적이고 주관적인 이해와 관측장비에서 측정된 정량적 변수들 사이의 보다 보편적인 관계를 얻기 위한 표를 개발해왔다(부록 참조). 낮은 온도에서 내리는 비나 이슬비와 어는 강수를 명확하게 구분해야 한다. 정의에 의하면 어는 비나 어는 이슬비는 그 자체가 대기 중에서 얼어붙는 것이 아니라 어떤 고체형 물체에 닿아서 만들어지는 것이다. 비나 이슬비가 대기 중에서 얼게 되면 다이아몬드 먼지, 가루눈, 별모양의 눈 입자, 싸락눈, 우박 등의 형태로 내리고 이것들은 어는 강수와 구분되어야 한다.

1.9 기상현상

1.9.2.2 대기 차폐와 부유물

1) 관측 대상

관측이 이루어지는 동안 관측되는 연무는 기상 조건을 고려해서 박무나 물안개와 구분해야 한다. 연무는 상대적으로 건조한 공기에서 만들어지는 반면 박무나 물안개는 비교적 높은 상대습도에서 수적이나 서리입자가 잔디나 나뭇잎 등에 내려앉는 현상을 가진다. 만약 관측소에 관측장비가 구비되어 있다면 상대습도가 80% 미만이고, 수평시정이 1km 이상, 수직 시정이 2km 이상인 상태에서 시정 차폐 현상이 관측될 경우 이것은 연무로 판단할 수 있다. 박무는 80% 이상의 상대습도에서 시정이 1km 이상일 때 관측한다. 종관관측에서 안개는 물안개나 얼음안개를 불문하고 지표면의 수평시정이 1km 이하로 줄어든 때 안개로 관측하고 보고한다. 서리 침착은 안개 속의 수적이 영하의 온도에서 고체 물질에 닿아서 고체 형태로 침착되는 현상이다. 현재기상과 과거기상 코드에서는 서리의 형태별 차이를 별도로 구분하지는 않는다. 보고된 전문의 현재기상과 과거기상 코드에서 안개와 관련된 용어가 나타나면 세심한 주의를 기울여야 한다. 낮게 날리거나 높게 날리는 눈은 이미 지표면에 내린 눈이 날리는 현상으로 관측자의 눈높이보다 높게 날리면 높날림눈(Blowing Snow), 낮게 날리면 땅날림눈(Drifting Snow)로 구분하고 현재기상 코드에서는 별도로 보고한다.

바람에 의해서 지표면의 먼지나 모래가 공기 중에 부유해 있는 현상을 먼지 폭풍이나 모래폭풍으로 정의하는데 이들 현상은 시정을 떨어뜨리며 강한 경우에는 깔때기 형태의 회오리를 동반하기도 하는데 일반적으로 기타 현상으로 분류한다.

1.9.2.3 기타 기상현상들

1) 관측 대상

인간의 생명과 재산의 보호를 위해서 중요한 현상으로는 깔때기 구름의 관측이다.

깔때기 구름(토네이도 혹은 용오름) : 깔때기 구름은 수직으로 형성된 원통형 혹은 원뿔형 구름으로 격렬한 회오리바람을 동반하는 기상현상으로 독립적으로 발생하거나 적란운의 운저에서 만들어져 빠져 나오는 경우도 있다.

1.9 기상현상

칼때기 구름은 지표면 근처까지 내려오는 경우가 있는데 반드시 지표면에 도달해야 하는 것은 아니다. 만약 지표면에 도달하면 물, 먼지, 모래, 쓰레기 등을 위로 끌어올리며 그 반지름은 수 m에서 수백 m까지 다양한 크기를 가진다. 잘 발달된 칼때기 구름에 동반된 강한 회전 기둥이 지표면에 닿으면 용오름이나 토네이도를 만드는데 칼때기 구름에 동반된 강한 토네이도의 경우 순간 풍속이 150m/s에 도달하기도 한다.

먼지/모래 회오리(Dust Devils) : 빠른 회전속도를 가지는 공기 기둥을 따라 지표면의 건조한 먼지나 모래, 가벼운 물질들이 공중으로 휘몰아 올라가는 현상을 먼지/모래 회오리라고 한다. 회오리의 반경은 수 m에 불과하고 그 높이도 60m에서 90m에 불과하다.

스콜선 : 갑자기 시작되어 수 분정도 불다가 사라지는 강한 바람을 스콜선이라고 부르는데 보통 한랭전선의 통과와 관련되어 있다. 한랭전선에 동반된 스콜선은 급한 온도 하강, 바람 순전, 상대습도 증가, 롤 모양의 구름 등을 동반한다.

뇌우는 특히 관측자에 의해서만 특정지어질 수 있는데 뇌우로 보고하기 위해서는 번개와 함께 천둥을 동반해야 하기 때문이다. 따라서 번개는 관측도구를 통해 감지할 수 있다고 하더라도 천둥을 동시에 관측할 수 있는 장비는 없다.

2) 기타 기상현상을 관측하는 장비들

칼때기 구름이나 토네이도는 기상감시용 레이더를 통해서 확인할 수 있다. 특히 도플러 레이더는 시선속도 차이를 통해서 중규모소용돌이(Mesocyclone)를 효과적으로 파악하는데 큰 도움주기 때문에 목측에 의한 감시보다 훨씬 우수한 성능을 발휘한다.

스콜선은 풍속과 풍향의 연속적인 관측을 통해서 풍향과 풍속의 급격한 변화를 읽고, 이와 함께 온도계, 습도계 등을 통해서 주변 기상장의 변화를 관측하면 그 존재를 확인할 수 있다.

뇌우 속의 번개는 낙뢰탐지기를 통해서 낙뢰 지점, 강도, 시간당 횟수 등을 탐지할 수 있고 뇌우는 보통 강한 비와 바람을 동반하므로, 낙뢰가 감지되고 보통 이상의 비를 동반하고 있으면 뇌우로 판별할 수 있다. 다만, 뇌우의 정의에서 말하는 천둥 소리는 목측에 의해서만 판별이 가능하다.

1.9 기상현상

1.9.2.4 하늘 상태

1) 관측 대상

하늘상태는 관측시간 동안의 구름의 변화를 의미하는데, 구름 운량과 운저 고도의 변화, 운형의 변화 등이 관측 대상이 된다. 운저고도는 운고계를 통해서 매우 높은 정확도로 측정할 수 있지만 운량과 운형을 관측할 수 있는 단일 센서는 여전히 존재하지 않는다. 다만, 연속적인 관측과 운고계 네트워크를 통해서 일정한 지역의 운고를 관측해서 운량을 결정하는 방법은 현업에서 제한적으로 활용되고 있다.

1.9.3 지표면 상태

1.9.3.1 관측 대상

지표면 상태(부호 E와 E')는 WMO 기상현상 관측 코드 0901과 0975에 기술된 기준에 따라서 관측하고 보고하는데, 지표면 상태는 재해기상과 항공기상에서 중요한 요소가 된다.

1.9.3.2 지표면 상태 관측 장비들

최근 반사도와 산란도를 이용해서 토양이나 표면의 상태를 결정하는 기술이 개발되고 있다.

1.9.4 특이 기상현상

1.9.4.1 대기전기현상

대기전기현상은 비연속적인 전기 방전(번개, 천둥)이나 비교적 연속적인 현상(성 엘모 불, 극 오로라) 등이 대표적인 현상이다. 번개는 형태, 강도, 방전 빈도, 방전 방위 거리 등과 같은 정보와 함께 보고하며, 천둥을 동반하는 경우 번개와 천둥 사이의 시간 차이도 같이 보고한다. 번개를 관측할 때는 번개가 실제로 발생하는 것과 구름이나 연무에 의해서 반사되는 것을 구분해야 한다. 낙뢰는 낙뢰탐지망을 통해서 현업에서 실시간 관측하는 것이 보통이다.

1.9 기상현상

예외적인 현상인 극 오로라는 상세한 설명을 덧붙일 필요가 있다. 가능하면 광 필터를 활용해서 정확한 형태와 색깔을 구분하고 세오돌라이트와 클리노미터를 통해 오로라의 각도 관측의 정확성을 높일 필요가 있다.

1.9.4.2 대기빛현상

대기빛현상은 태양빛이나 달빛이 대기 중의 물질에 의해 반사, 굴절, 회절, 간섭되어 나타나는 현상으로 상대적으로 깨끗한 공기(신기루, 미광, 섬광, 녹색섬광, 색깔 박명), 구름 속이나 상부(무리현상, 코로나, 광륜), 공기 중의 대기수상이나 먼지(광륜, 무지개, 안개 무지개, 비습 링, 부채살빛)에 의해서 발생한다. 관측자들은 이러한 대기빛현상이 발생하면 주의를 기울여 현상을 살피고 사진이나 그림과 함께 현상 설명을 해야 한다.

[표 1.6] 약함, 보통, 강한 강수 강도 기준(목측과 관측장비 상관관계)

기상 변수	측정값(i)의 범위	강수 강도(목측)
이슬비	$i < 0.1 \text{ mm/hr}$	약함
	$0.1 \leq i < 0.5 \text{ mm/hr}$	보통
	$i \geq 0.5 \text{ mm/hr}$	강함
비 (소낙성 포함)	$i < 2.5 \text{ mm/hr}$	약함
	$2.5 \leq i < 10.0 \text{ mm/hr}$	보통
	$10.0 \leq i < 50.0 \text{ mm/hr}$	강함
	$\geq 50.0 \text{ mm/hr}$	극심(격렬)
눈	$i < 1.0 \text{ mm/hr}$ (수상당량)	약함

진눈깨비

비와 눈의 비율을 구별할 수 있는 관측 센서가 없으므로 눈과 동일한 것으로 판정한다.

우박 : 비와 동일

싸락눈 : 눈과 동일

어는 강수 : 얼지 않은 강수 현상과 동일

눈의 강도 판정 지침

약함 : 눈꽃이 작거나 성기고, 시정이 떨어지지만 1km 이하로 떨어지지 않음

보통 : 크고, 더 많은 눈꽃으로 형성되고, 시정이 400m에서 1km까지 저하

강함 : 많은 눈꽃들이 덩어리를 이룬 형태로 시정이 400m 이하로 저하

소낙성 혹은 단속성 강수

자동기상관측장비도 소낙성과 단속성 강수를 보고해야 한다. 단속성 강수는 잇따르는 2개의 강수들 사이에 10분 이내의 강수가 없는 시간을 동반한 강수로 1시간 동안 관측한 강수를 10분 연속 평균했을 때, 비강수 기간이 10분 이내일 때 단속성 강수로 정한다.

현재기상의 대표성

현재기상은 최소한 3분 이상 계속해서 관측되는 현상이어야 한다.

연습문제

1. 대기관측의 필요성에 대해서 설명하시오.
2. 세계기상기구가 정한 일반 지상관측소의 관측 요소들을 열거하시오
3. 아네로이드 변위 기압계의 관측 원리를 설명하시오
4. 전기저항 온도계의 관측 원리를 설명하시오
5. 세계기상기구가 정한 기본 운형 10종을 열거하시오.
6. 강수의 정의에 대해서 기술하시오.
7. 대기과학에서 시정의 정량적인 값으로 사용하는 기상광학거리(MOR)의 정의를 쓰시오.
8. 대기관측에서 정의하고 있는 기상현상을 일으키는 4가지 요소를 쓰시오.

2장. 기상 관측 전문 해석

2.1 구름 관측

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.3 현재기상 찾기 순서도

학습목표

- 구름의 종류별 특성에 대해서 이해한다.
- 구름의 운량을 결정하는 방법과 운량 코드를 이해한다.
- 구름의 운형을 판별하는 방법을 이해한다.
- 기상관측 전문 코드의 해석 방법을 이해한다.
- 종관기상전문 코드의 구성과 해석 방법을 이해한다.
- 현재기상 코드를 결정하는 방법을 이해한다.

2.1 구름 관측

2.1.1 무엇이 구름을 만드는가?

구름은 ‘미세한 수적 혹은 빙정 혹은 물과 얼음의 혼합물이 모여진 눈에 보이는 집합체로 자유 대기에 떠있는 것’으로 정의할 수 있다. 구름은 눈에 보이지 않는 공기 중의 수증기가 눈에 보이는 수적이나 빙정으로 바뀌면서 형성된다. 이러한 현상이 일어나기 위해서는 공기는 포화(Saturated), 즉 공기가 더 이상 수증기 형태로 물을 붙잡고 있을 수 없는 단계가 되어야 하며, 포화가 된 후에는 수증기는 액체나 기체 형태로 응결(Condense)되기 시작한다. 이러한 현상이 일어나는 데에는 2가지 방법이 있다.

- 1) 공기 중의 수분함량이 증가하여 어느 시점에서 더 이상 공기가 이들을 붙잡아 둘 수 없는 상태
- 2) 공기 중의 수분함량에는 변화가 없지만 공기가 차가워져(차가운 공기 일수록 붙잡아 둘 수 있는 수증기의 양이 적다) 어느 시점에서 더 이상 공기가 이들을 붙잡아 둘 수 없는 상태

그렇다면 공기는 어떻게 차가워질까? 공기는 5가지 방식을 통해 강제로 상승하게 된다. 상승한 공기는 고도에 따라 낮아진 기압 때문에 팽창을 하게 되고, 팽창하는데 사용된 에너지가 공기를 차갑게 만드는 것이다. 공기가 차가워지는 방식은 다음과 같다.

- 1) **지표면 가열** : 지표면이 태양에 의해서 가열되면 지표면 부근의 공기가 가열되고 가열된 공기는 상승하게 된다.
- 2) **지형** : 공기가 이동하면서 산이나 언덕의 경사면을 만나면 강제로 상승한다.
- 3) **전선** : 따뜻한 기단은 차가운 기단을 타고 상승한다. 이 경계면을 전선이라고 부른다.
- 4) **수렴** : 각기 다른 곳에서 이동해 온 공기들이 만나거나 저기압 중심을 향해 나선형으로 불어 들어가면 선택의 여지가 없이 상승한다.
- 5) **난류** : 풍속이 고도에 따라 갑자기 변화하면 공기 중에 난류 에디들을 형성된다.

2.1 구름 관측

그리고 수증기 입자들을 응결하게 하기 위해서는 또 하나의 중요한 구름 형성 인자가 필요하다. 공기 중에는 ‘응결핵(Condensation Nuclei)’이라고 불리는 수 백 만개의 미세한 소금, 먼지 그리고 연기 입자들이 부유하고 있다. 이러한 응결핵들은 공기가 포화상태에 있으면 즉시 응결할 수 있도록 작용한다.

2.1.2 구름의 분류

현재 하늘에 존재하고 있는 구름의 형태들을 바르게 구분하고 분류하기 위해서는 다양한 요소들이 고려되어야 한다.

- 1) 색깔 : 상층운은 대부분 빙정으로 구성되어 있기 때문에 태양이 떠 있는 하늘에서는 흰색을 띠게 된다. 하층운은 두께와 태양광선에 어느 방향으로 노출되느냐에 따라 일반적으로 어둡게 보인다. 일몰이 가까워지면 하층운은 옅은 핑크색이나 오렌지색을 띠게 되는 반면, 상층운은 계속해서 흰색으로 보인다. 태양이 지평선 아래로 내려가면 상층운은 그 색깔을 상대적으로 유지하는 반면 하층운은 점점 갈색이나 어두운 회색으로 변해간다. 반대로 일출 때는 상층운이 가장 먼저 색깔이 바뀐다.
- 2) 모양 : 일반적으로 구름들은 **쌓인**(‘적운’) 모양이거나 **층을 이루**(‘층운’) 모양으로 나타나는데 모양은 대기의 **안정도**에 의존한다. 대기의 안정도는 구름과 주변 대기의 연직온도 비교를 통해 알아낼 수 있다. 만약 구름 주변의 공기가 구름보다 따뜻하면 대기는 안정되어 있다고 볼 수 있다. 안정된 대기상태에서 구름 속의 공기는 아주 천천히 그리고 부드럽게 상승하게 되고, **층운형 구름**을 형성할 것이다. 만약 주변 공기가 구름 내부보다 차갑다면 대기는 불안정한 것으로 볼 수 있는데, 이 상태에서는 구름속의 공기는 빠르게 그리고 불규칙하게 상승하게 되고 **적운형 구름**을 형성할 것이다.
- 3) 구성 요소들의 크기 : 만약 구름들이 평범한 층을 이루고 있는 것이 아니라 각각의 조각구름들이 모여 있는 형태라면 일반적으로는 높은 구름이고 지상에서 관측했을 때는 구성 요소들이 실제보다 작게 보인다. 전체 구름을 구성하는 요소들의 크기를 통해서 구름의 높이를 산정할 때는 관측자들은 구름 층의 끝단을 구성하고 있는 조각구름들은 많이 흩어질 수 있기 때문에 이를 무시하여야 한다.

2.1 구름 관측

4) 이동 속도 : 하층운들은 관측자들과 가깝기 때문에 상층운에 비해서 빠르게 이동하는 것처럼 보인다. 따라서 관측자들은 한 개 이상의 층을 동시에 관측함으로써 이동 속도를 보는 것이 유용하다. 그러나 관측자들은 때로는 상층의 강한 바람에 의해서 상층운들이 빠르게 하늘을 가로고 지나갈 수 있다는 사실을 인지하고 있어야 한다.

1803년 소매 약재상이자 아마추어 기상학자였던 루크 하워드가 구름 분류 체계를 제안하였고, 이 분류 체계가 현재 국제 구름분류의 기초가 되었다. 그는 구름을 4가지 형태로 나누고 각각에 라틴어 단어에서 유래한 이름을 다음과 같이 붙였다.

- | | |
|---------------|------------|
| ▪ 적운(Cumulus) | 쌓아올린 혹은 더비 |
| ▪ 층운(Stratus) | 얇은 막 혹은 층 |
| ▪ 권운(Cirrus) | 가는 실 혹은 줄 |
| ▪ 난운(Nimbus) | 비를 포함한 |

만약 다른 라틴어인 높이를 나타내는 중간(Altum)이라는 단어를 포함하게 되면 5개의 단어들을 조합하여 구름의 형태와 특성들을 토대로 해서 10가지의 기본 운형을 만들어 낼 수 있다. 구름의 운형은 해수면으로부터 구름 하부까지의 높이에 따라 3가지로 나눌 수 있다. 10가지의 기본 운형에서 중간층 구름은 접두어로 Alto를 붙이고, 높은 구름들은 접두어로 Cirro를 붙인다(표 2.1 참조). 표에서 보이는 구름의 높이는 중위도를 기준으로 만들어진 것이며, 실제의 운형들은 기후구에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 만약 언덕이나 산꼭대기에서 관측이 이루어지면 운형을 나누는 구름 하부의 높이는 더 낮아질 것이다.

[표 2.1] 기본 운형 10종

하층운 지상 ~ 2,000미터	중층운 2,000 ~ 6,000미터	상층운 6,000 ~ 12,000미터
적운(Cumulus, CU)	고적운(Alto cumulus, AC)	권운(Cirrus, CI)
적란운(Cumulonimbus, CB)	고층운(Altostratus, AS)	권층운(Cirrostratus, CS)
층운(Stratus, ST)	난층운(Nimbostratus, NS)	권적운(Cirrocumulus, CC)
층적운(Stratocumulus, SC)		

2.1 구름 관측

2.1.3 하층운

적운(Cumulus, CU)

운저 고도 : 300 ~ 1,500미터

색깔 : 햇빛이 비치는 쪽은 흰색으로 보이지만 아래쪽은 어둡게 보인다.

형태 : 적운은 분리된 구름 덩어리 형태로 보이며 수직으로의 성장여부는 대기의 온도와 안정도에 의존한다. 얇은 적운은 울퉁불퉁한 형태를 가지며 특히 바람이 강할 경우 그러하다. 그러나 잘 형성된 적운은 평평한 하부와 그 외형이 뚜렷하게 나타난다. 대형 적운은 독특한 ‘꽃양배추’ 모양을 가진다.

다른 특징들 : 잘 발달된 적운은 소나기를 만든다.

적란운(Cumulonimbus, CB)

운저 고도 : 600 ~ 1,500미터

색깔 : 하부는 어둡고 위협적인 외형을 가지며 상층은 흰색으로 보인다.

형태 : 적운형 구름들은 기본적으로 연직으로의 성장에 주목해야 한다. 적운은 구름 상부가 매우 높은 고도까지 도달하면 수직은 빙정으로 바뀌게 되기 때문에 처음 가졌던 깨끗하고 뚜렷한 외형을 잃게 된다. 적운이 이 상태까지 발달하면 적란운이 되는 것이다. 강하게 발달한 적란운은 구름의 꼭대기가 대류권계면을 따라 섬유 형태로 퍼져나가서 독특한 췌기구름 혹은 모루구름 형태를 가진다.

다른 특징들 : 강한 소나기를 동반하며 우박과 뇌우가 함께 나타나기도 한다. 관례적으로 적란운은 비록 관측자가 다른 형태의 구름들에 과묵혀 있어서 즉각적으로 적란운으로 판명하지 못하더라도 우박이나 뇌우가 발생할 때 보고한다.

층운(Stratus, ST)

운저 고도 : 지표면 ~ 1,500미터

색깔 : 일반적으로 회색을 띤다.

형태 : 일반적으로 매우 일정하게 펼쳐진 형태의 하부 구조를 가지지만 강수가 있는 경우에는 불규칙적인 하부 구조를 가진다. 안개는 바람의 증가나 온도 상승에 의해서 공중으로 떠올라 층운을 형성한다. 태양열이 지표를 데우면 층운의 고도는 점점 상승하게 되고 결국은 깨어져서 얇은 적운형 구름으로 뭉쳐지면서 독특한 외형을 가지게 된다.

다른 특징들 : 상층에 다른 구름이 없고 층운만 있는 상태에서 층운이 얇을 경우에는 태양과 달이 원반 형태로 보인다. 층운이 두꺼우면 이슬비나 가루눈이 날리기도 한다.

2.1 구름 관측

층적운(Stratocumulus, SC)

운저 고도 : 300 ~ 1,350미터

색깔 : 회색이나 흰색을 가지며, 일반적으로 명암을 가진다.

형태 : 조각구름 형태나 둥근 형태를 가지지만 물결치는 층 형태를 가지기도 한다. 지상에서 보면 층적운을 구성하는 작은 구름들은 넓이가 좌우 5도, 높이가 상하로 30도를 가질 것이다(전체 팔 길이에서 3개의 손가락 넓이).

다른 특징들 : 층적운에서는 약한 비나 눈을 내린다. 때로는 적운에서 떨어져 나오는 경우가 있는데 이때는 약한 소나기가 온다.

2.1.4 중층운

고적운(Alto cumulus, AC)

운저 고도 : 2,000 ~ 6,000미터

색깔 : 회색이나 흰색을 가지며 일반적으로 명암을 가진다.

형태 : 몇 개의 다른 형태를 가지는데, 가장 일반적인 것은 조각 형태나 둥근 형태를 가지지만 일정한 형태가 없이 넓은 층을 이루기도 한다. 지상에서 보면 층적운을 구성하는 작은 구름들은 넓이가 좌우 1에서 5도, 높이가 상하로 30도를 가질 것이다(전체 팔 길이에서 1개~3개의 손가락 넓이).

다른 특징들 : 가끔 약한 비나 눈이 내리기도 하는데, 지상에 도달하는 강수는 소나기 형태일 것이다. 아주 드문 경우는 하지만 고적운의 한 형태인 Castellanus에서 뇌우가 발생하기도 한다.

고층운(Altostratus, AS)

운저 고도 : 2,000 ~ 6,000미터

색깔 : 회색빛 혹은 푸른빛

형태 : 하늘 전체나 일부를 덮은 얇은 층 모양을 가진다.

다른 특징들 : 지상에서 보면 희미하게 태양이나 달이 보일만큼 얇을 때도 있지만 지상의 물체들의 그림자가 생기지는 않는다. 일반적으로 고층운에서는 약한 비나 눈이 내리지만, 가끔 운저가 10,000피트보다 높지 않으면 싸락눈이 내리기도 한다.

난층운(Nimbostratus, NS)

운저 고도 : 지표면 ~ 3,000미터

색깔 : 어두운 회색

형태 : 하늘 전체나 대부분을 덮고 있는 두껍고 넓게 퍼진 형태를 가진다.

2.1 구름 관측

다른 특징들 : 태양이나 달은 볼 수가 없다. 보통 혹은 강한 비 또는 눈이 내리며 가끔 싸락눈이 내리기도 한다. 난층운은 비록 중층운으로 분류되지만 운저는 자주 하층운 고도까지 떨어진다. 강수가 있는 동안에는 난층운은 일부 혹은 거의 대부분이 층운 형태의 구름으로 가려지기도 한다.

2.1.5 상층운

권운(Cirrus, CI)

운저 고도 : 6,000 ~ 12,000미터

색깔 : 빙정으로 구성되어 있으므로 흰색으로 보인다.

형태 : 머리카락 같은 얇은 실 형태를 가지며, 때로는 끝 부분이 갈고리처럼 휘어져 있다. 좀 더 진한 경우에는 엉클어진 형태나 수평적으로 모여진 평행 선형으로 나타나기도 한다.

다른 특징들 : 적란운이 소멸된 이후에 상층 부분이 남아있으면 이것도 권운으로 관측한다.

권적운(Cirrocumulus, CC)

운저 고도 : 6,000 ~ 12,000미터

색깔 : 빙정으로 구성되어 있으므로 흰색으로 보인다.

형태 : 알갱이, 물결, 벌집 형태의 조각들이 모여서 형성된 덩어리 혹은 얇은 층 형태를 가진다. 지상에서 보면 층적운을 구성하는 작은 구름들은 넓이가 좌우 1도 미만, 높이가 상하로 30도를 가질 것이다(전체 팔 길이에 서 손가락 넓이 1개보다 작은).

다른 특징들 : 때로는 권적운이 규칙적인 ‘물결’ 무늬 속에서 물고기와 비슷한 형태의 틈을 가지기 때문에 ‘고등어 하늘’이라고 부르기도 한다(고등어 하늘은 높은 고적운임을 보여준다.).

권층운(Cirrostratus, CS)

운저 고도 : 6,000 ~ 12,000미터

색깔 : 빙정으로 구성되어 있으므로 흰색으로 보인다.

형태 : 투명한 섬유 막 혹은 부드럽게 하늘 전체 혹은 부분을 덮고 있는 형태를 가진다.

다른 특징들 : 낮은 권층운이 아니라면 충분히 얇기 때문에 태양이 통과하여 지상의 물체들에 그림자가 지게 한다. 태양이나 달무리를 형성하는데 주로 작은(22도) 무리를 만든다.

2.1 구름 관측

주의 사항 : 항공기의 비행운이 만들어진 이후에 재빨리 고르게 퍼지지 않으면 상층운으로 보고될 가능성이 높으므로 실제 구름과 잘 구분하여야 한다.

2.1.6 총 운량

구름 : 총 운량 8

구름 관측을 함에 있어서 먼저 하늘(일반적으로 반구형 하늘(Celestial Dome)이라 불림)을 덮고 있는 모든 구름의 양을 평가해야 한다. 구름의 양은 하늘을 8등분 했을 때 얼마를 덮고 있는지를 통해서 나타내며 숫자로는 0에서 9까지 표현한다. 숫자들의 의미는 표 2.2에 나타나있다.

[표 2.2] 총 운량과 구름 코드

운량	운량 코드	운량	운량 코드
구름 없음	0	4/8 이상 5/8 이하	5
1/8	1	5/8 이상 6/8 이하	6
1/8 이상 2/8 이하	2	6/8 이상, 하늘이 완전히 덮이지 않음	7
2/8 이상 3/8 이하	3	구름으로 하늘이 전부 가려진 상태	8
3/8 이상 4/8 이하	4	하늘이나 구름을 볼 수 없는 상태	9

총 운량이 '0'이라는 것은 하늘 어디에도 구름이 없다는 것을 의미한다. 관측자는 하늘에 아주 얇은 깃털구름이라도 있으면 총 운량을 '1'로 표시하여야 한다. 총 운량 '8'은 하늘이 한 가지 혹은 여러 가지(층이 다른 경우가 대부분임) 구름으로 완전히 가려져 있음을 의미한다. 그러나 구름이 아무리 많다고 하더라도 하늘이 조금이라도 보인다면 총 운량은 '7'로 보고되어야 한다. 총 운량 '9'는 하늘이 완전히 보이지 않을 때 사용되는데 주로 안개가 아주 짙거나 눈이 많이 내려서 하늘이 차폐되었을 때 사용된다.

관측을 시작함에 있어서 먼저 하늘을 전체적으로 살펴서 구름이 차지하는 부분이 많은지 푸른 하늘이 차지하는 부분이 많은지(야간에는 별빛 여부로 판단) 결정하여야 한다. 그렇게 되면 총 운량이 0에서 4인지 5에서 9인지 직관적으로 구분할 수 있다.

2.1 구름 관측

그런 다음에 하늘 어느 곳에도 구름이 없다면 하늘은 맑은 것이고 관측 업무는 쉬워진다. 그러나 구름들은 대부분 하늘에 흩어져 있기 때문에 총 운량을 결정할 때는 전체 구름을 한 군데로 모아서 얼마나 많은 부분을 덮고 있는지 살펴야 한다. 이 모여진 구름들이 4/4분면 중 얼마나 하늘을 덮고 있을까? 만약 절반에서 3/4 사이라고 하면 총 운량은 5와 6 사이가 될 것이다.

낮 동안 하늘은 푸른색 계열로 보일 것이다. 그러나 안개나 연무가 있는 경우에는 하늘색은 회색계열로 변색된다. 관측자는 이러한 현상을 구름으로 관측하는 실수를 범하지 말아야 한다. 대기 중의 오염 물질도 비슷한 현상을 유발한다. 이러한 실수는 야간에 관측을 할 경우 더 쉽게 발생할 수 있다. 안개, 연무 혹은 오염물질들은 별빛을 흐리게 할 수 있기 때문에 얇은 상층운이 있다고 관측할 가능성이 높다. 이러한 환경에서는 관측자들은 수평시정을 먼저 살펴보고 바로 머리위의 구름들의 형태를 조심스럽게 살펴야 한다.

야간에 구름을 구분하는 가장 좋은 방법은 적외영상을 보는 것인데 적외영상에서 온도가 낮은 상층운은 흰색으로 나타나고 따뜻한 하층운은 어두운 색깔로 나타난다.

관측자들은 총 운량을 결정한 이후에는 하늘이 낮은 구름들에 의해서 얼마나 가려져 있는지 다시 한번 살펴보아야 한다. 보통의 경우 나쁜 일기는 하층운과 중층운을 동반하는 경우가 많기 때문에 경험이 많은 예보관들은 하층운과 중층운의 운량 정보만으로도 어떤 날씨 상태인지 판단할 수 있다. 보통의 경우에는 하늘 상태는 3개의 층으로 구분하여 보고한다. 낮은 구름들은 적운, 적란운, 층운, 층적운과 같은 하층운형 구름이 없는지 살펴 본 후 고적운, 고층운, 난층운과 같은 중층운형 구름을 보고한다. 이때 중층운형 구름들의 운저가 8,000피트 이하라고 하더라도 하층운으로 분류하지 않아야 한다. 예를 들어 운저 600피트의 층운이 5옥타이고 운저가 3,000피트인 난층운이 8옥타가 있다고 하더라도 낮은 구름의 운량은 ‘5’가 되는 것이다.

총 운량이 얼마나 되는지를 결정하기 위해서는 하층운, 중층운, 상층운이 각각 얼마나 하늘을 덮고 있는지 먼저 관측하여야 한다. 예를 들어 중층운이나 상층운이 하층운에 의해서 일부 가려져 있는 경우 중층운과 상층운이 하늘을 완전히 가리고 있는지 하늘이 일부 보이는지 살펴보아야 한다. 총 운량을 결정하기 위해서 각 층별로 운량을 독립적으로 관측하여야 하는데 이 운량들을 합치면 8을 넘어서는 경우가 있지만 총 운량은 8을 넘지 말아야 한다.

2.1 구름 관측

경험이 부족한 관측자의 경우에는 적운형 구름의 양을 과도하게 관측하는 경우가 많다. 보통의 경우 적운형 구름들은 덩어리 형태로 존재하기 때문에 바로 머리 위에 적운형 구름이 있더라도 수평적으로 얼마나 분포하고 있는지 빈 곳의 비율이 얼마나 되는지 주의 깊게 살펴야 한다. 다른 구름이 없는 상태에서 적운형 구름만으로 4 혹은 5옥타 이상의 구름이 존재하는 경우는 드물기 때문이다.

2.1.7 개별 구름의 운고

구름의 관측에 있어서 총 운량이 결정되면 구름의 높이가 얼마인지 결정하여야 한다. 보통의 경우 운저가 5,000피트 이하인 구름은 100피트 단위로, 운저가 5,000피트 보다 높은 구름은 1,000피트 단위로 보고한다. 최근 들어 구름의 높이를 자동으로 관측하는 장비들이 관측에 활용되지만 관측자들은 관측 장비의 바로 상공을 통과하는 구름의 높이만을 관측할 수 있다는 사실을 인식하고 하늘 전체를 살펴서 구름의 양과 높이를 결정하여야 한다.

구름의 운고를 관측하는 장비로 과거에는 구름탐조등이 주로 사용되었으나 최근에는 레이저 운고계가 주로 사용된다. 레이저 운고계는 송신기와 수신기가 하나의 부품으로 구성되어 있는데 송신기에서 수직으로 방사된 레이저나 펄스가 구름이나 강수에 의해서 산란되어 돌아오는 양과 펄스의 을 토대로 운고를 측정하는 장비이다.

보조적인 도구로는 헬륨가스를 채운 풍선을 띄워서 구름에 도달하는 높이를 측정하는 방법이 있는데 보통의 경우 표준형 10g 풍선은 평균적으로 400피트씩 상승하기 때문에 이를 토대로 구름의 높이를 측정한다. 조종사 기상보고(PIREP)를 통해서 항공기가 이착륙하면서 어느 고도에서 구름에 진입하고 구름에서 빠져나오는지에 대한 정보를 통해서 운고를 결정하는데 상대적으로 매우 정확한 방법이다.

2.1.8 수직 시정

만약 하늘이 짙은 안개나 강한 강설로 인해서 완전히 가려진 경우 총 운량을 '9'로 보고하는데 이때에는 수직 시정이 얼마인지 동시에 보고하여야 한다. 수직 시정은 '낮 동안 하늘을 배경으로 보통 크기의 어두운 물체가 수직으로 관측되어지는 가시거리'로 정의된다. 완전히 가려져서 수직

2.1 구름 관측

시정을 판별한 방법이 없는 경우를 대비해서 관측자들은 주변에 빌딩과 같은 상대적으로 높고 큰 지형지물의 높이를 사전에 인지한 후 이를 활용해야 하며 풍선을 이용하는 것도 좋은 방법이다.

2.1.9 구름 판별

기술이 발달하면서 레이저 운고계를 통해 구름의 양을 결정하는 방법이 활용되고 있다. 일정한 시간 동안 수집된 운고 신호들을 종합하고 최근에 관측된 값에 일정한 가중치를 주어서 운량을 결정하는 방식이다. 그러나 뛰어난 운고계라고 하더라도 경험 많은 관측자의 눈보다 앞설 수는 없다. 따라서 최신 장비가 구비된 관측소라고 하더라도 일정한 기간 동안 목측을 통해서 운량을 결정하는 방법이 권장된다.

구름의 운형을 정확하게 판별하는 것은 곧 운고를 정확하게 판별하는 데 큰 도움이 된다. 따라서 관측자들은 10개의 기본 운형의 형태와 특징들에 대해서 잘 인식하고 있어야 한다. 또한 10개의 기본 운형이라고 하더라도 개개의 모양들이 다양하기 때문에 다양한 운형에 대한 지식을 가질 필요가 있다. 산악 지형에 위치한 관측소는 상대적으로 높은 주변 지형의 높이를 미리 알고 있는 것이 유용하며, 평지에 위치한 경우에는 수평적으로 보았을 때 하층운이 상층운에 비해서 낮아 보인다는 점을 잘 활용하여야 한다. 층운으로 구성된 구름층이 층적운이나 고층운으로 구성된 구름층보다 수평적으로 보았을 때 낮게 드리워지는 것을 말한다. 그리고 강수현상의 유무도 구름의 종류를 판별하는데 유용하게 활용될 수 있다.

또한 최근의 날씨 상태와 예보를 알고 있는 것도 중요하다. 만약 서쪽에서 온난전선이 접근하고 있다는 사실을 인지하고 있는 관측자는 구름이 점점 두터워지고 낮아지며 결국은 비나 눈이 내릴 것을 알고 있기 때문에 구름을 관측하는데 유리할 것이다.

2.1.10 야간 관측

야간에 관측을 실시할 경우에는 관측자들은 충분히 어둠에 적응하는 시간을 가져야 하는데 적어도 2분 이상은 적응 시간을 가져야 한다. 만약 지속적인 관측이 필요한 경우에 관측실의 조명은 사무실 전체를 비추는 방식이 아니라 각도 조절이 가능한 스탠드 등을 활용해서 최소화 시키는 것이 좋다. 도시 지역에 위치한 관측소에서는 하층운들이 가로등에 의해서

2.1 구름 관측

오렌지색으로 보일 것이고, 중층운 까지도 어느 정도 비추어질 것이다. 그러나 상층운까지는 도시의 불빛들이 도달하는 경우는 거의 없다. 특히 달 빛이 없는 경우에 상층운을 관측하는 것은 매우 어렵다. 그러나 야간에 밝게 빛나던 별들이 흐릿하게 보이거나 거의 빛이 보이지 않으면 상층운이 하늘을 덮고 있음을 인지하고 관측을 실시하여야 한다.

만약 강수가 있다고 한다면 강수의 형태에 따라 구름의 형태를 판별할 수 있다. 단순히 이슬비와 가루눈은 층운에서 우박은 적란운에서 내린다. 전 세계의 기상대들은 세계기상기구(WMO)가 정한 시간에 정해진 기상현상들에 대해서 관측을 실시하고 그 내용을 공식화된 전문의 형태로 각 지역의 센터로 방송하게 된다. 따라서 기상관측 전문의 코드를 제대로 기입하고 해석할 수 있는 능력을 구비할 필요가 있다. 기상관측 전문에 포함되는 코드들에는 현재 기상 코드, 종관기상 코드, 과거 기상 코드 등이 있는데 본 절에서는 이들 각 기상현상들이 어떻게 관측전문에 반영되는지를 살펴보고 종관관측 전문의 해석을 통해서 어떻게 현재, 과거의 날씨가 표현되는지 알아보기로 하겠다.

2.2.1 현재 기상 코드 번호와 기상 현상

2.2.1.1 관측 시각에 발생하고 있는 강수를 동반한 뇌우

코드 번호	기상 현상 설명
99	우박, 작은 우박, 싸락눈을 동반하는 강한 뇌우
98	먼지폭풍 혹은 모래폭풍을 동반하는 뇌우
97	비, 눈, 혹은 진눈깨비를 동반하는 강한 뇌우
96	우박, 작은 우박, 싸락눈을 동반하는 보통 혹은 약한 뇌우
95	비, 눈, 혹은 진눈깨비를 동반하는 보통 혹은 약한 뇌우

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.1.2 전 시각에 발생한 뇌우에 의해서 관측시간에 관측되는 강수

코드 번호	기상 현상 설명
94	전 시각 뇌우가 있었고 강한 혹은 보통 눈, 진눈깨비, 우박 지속
93	전 시각 뇌우가 있었고 약한 눈, 진눈깨비, 우박 지속
92	전 시각 뇌우가 있었고 강한 혹은 보통 비 지속
91	전 시각 뇌우가 있었고 약한 비 지속

2.2.1.3 대류운으로부터 관측시간에 발생하는 소낙성 강수

코드 번호	기상 현상 설명
90	우박을 동반한 강한 혹은 보통 소나기로 비나 진눈깨비 동반 혹은 미동반
89	우박을 동반한 약한 소나기로 비나 진눈깨비 동반 혹은 미동반
88	싸락눈 혹은 작은 우박을 동반한 강한 혹은 보통 소나기로 비/진눈깨비 동반 혹은 미동반
87	싸락눈 혹은 작은 우박을 동반한 약한 소나기로 비나 진눈깨비 동반 혹은 미동반
86	강한 혹은 보통 소낙성 함박눈
85	약한 소낙성 함박눈
84	강한 혹은 보통 소낙성 비와 눈(진눈깨비)
83	약한 소낙성 비와 눈(진눈깨비)
82	맹렬한 소낙성 비
81	강한 혹은 보통 소낙성 비
80	약한 소낙성 비

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.1.4 관측 시각에 비대류성 구름에서 발생하는 고체형 강수. 소낙성과 구분

코드 번호	기상 현상 설명
79	얼음 싸라기
78	별 모양의 눈 결정
77	쌀알 눈
76	침모양의 얼음알갱이
75	지속적으로 내리는 강한 함박눈
74	간헐적으로 내리는 강한 함박눈
73	지속적으로 내리는 보통 함박눈
72	간헐적으로 내리는 보통 함박눈
71	지속적으로 내리는 약한 함박눈
70	간헐적으로 내리는 약한 함박눈

2.2.1.5 관측 시각에 비대류성 구름에서 발생하는 액체형 강수. 소낙성과 구분

코드 번호	기상 현상 설명
69	강한 혹은 보통 진눈깨비(비 혹은 이슬비를 동반한 눈)
68	약한 진눈깨비(비 혹은 이슬비를 동반한 눈)
67	강한 혹은 보통 어는 비
66	약한 어는 비
65	지속적으로 내리는 강한 비
64	간헐적으로 내리는 강한 비
63	지속적으로 내리는 보통 비
62	간헐적으로 내리는 보통 비
61	지속적으로 내리는 약한 비
60	간헐적으로 내리는 약한 비

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

59	강한 혹은 보통 비와 함께 내리는 이슬비
58	약하게 비와 함께 내리는 이슬비
57	강한 혹은 보통 어는 이슬비
56	약한 어는 이슬비
55	지속적으로 내리는 강한 이슬비
54	간헐적으로 내리는 강한 이슬비
53	지속적으로 내리는 보통 이슬비
52	간헐적으로 내리는 보통 이슬비
51	지속적으로 내리는 약한 이슬비
50	간헐적으로 내리는 약한 이슬비

2.2.1.6 관측 시각에 강수 현상은 없으나 시정이 1,000m 이하인 상태

코드 번호	기상 현상 설명
49	서리가 침착되는 안개, 하늘이나 구름 보이지 않음
48	서리가 침착되는 안개, 하늘이나 구름 보임
47	전 시간에 비해서 두꺼워지는 안개, 하늘이나 구름 보이지 않음
46	전 시간에 비해서 두꺼워지는 안개, 하늘이나 구름 보임
45	전 시간과 비교해서 변화가 없는 안개, 하늘이나 구름 보이지 않음
44	전 시간과 비교해서 변화가 없는 안개, 하늘이나 구름 보임
43	전 시간과 비교해서 얇아지는 안개, 하늘이나 구름 보이지 않음
42	전 시간과 비교해서 얇아지는 안개, 하늘이나 구름 보임
41	전체가 아닌 일정한 방향의 시정이 1,000m 보다 낮음
40	안개로 시정이 1,000m 이상, 단 전 시간에 안개 없었던 상태

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.1.7 관측 시각에 강수 현상은 없으나 모래나 눈이 높게 날리거나 땅에서 떠다니는 상태

코드 번호	기상 현상 설명
39	일반적으로 관측자의 눈보다 높은 높이에서 강하게 날리는 눈 (높날림눈)
38	일반적으로 관측자의 눈보다 높은 높이에서 보통 혹은 약하게 날리는 눈
37	일반적으로 관측자의 눈보다 낮은 높이에서 강하게 떠다니는 눈 (땅날림눈)
36	일반적으로 관측자의 눈보다 낮은 높이에서 보통 혹은 약하게 떠다니는 눈
35	전 시간에 시작되어 강도가 강해지는 강한 모래 폭풍이나 먼지폭풍
34	전 시간에 비해 강도 변화가 없는 강한 모래 폭풍이나 먼지 폭풍
33	전 시간에 비해 약해지는 강한 모래 폭풍이나 먼지 폭풍
32	전 시간에 시작되어 강도가 강해지는 보통 혹은 약한 모래 폭풍이나 먼지폭풍
31	전 시간에 비해 강도 변화가 없는 보통 혹은 약한 모래 폭풍이나 먼지 폭풍
30	전 시간에 비해 약해지는 보통 혹은 약한 모래 폭풍이나 먼지 폭풍

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.1.8 관측 시각에 강수 현상 없음. 기상 현상들은 전 시간에 종료

코드 번호	기상 현상 설명
29	강수를 동반하거나 동반하지 않은 뇌우로 지난 시간에 그침
28	안개가 전 시간에 사라짐. 시정은 1,000m 이상이어야 함.
27	어떤 강도로 내렸든 소낙성 우박, 작은 우박, 비와 섞인 우박으로 전 시간에 그침
26	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 소낙성 눈, 진눈깨비
25	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 소나기
24	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 어는 비 혹은 어는 이슬비
23	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 비소낙성 진눈깨비나 얼음 싸라기
22	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 비소낙성 눈
21	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 비소낙성 비(얼지 않음)
20	어떤 강도로 내렸든 전 시간에 그친 비소낙성 이슬비나 쌀알 눈

2.2.1.9 관측 시각에 강수 현상 없음. 기타 기상 현상들

코드 번호	기상 현상 설명
19	관측 시각이나 전 시간에 관측소 관측범위 내에서 발생한 깔때기 구름
18	관측 시각이나 전 시간에 관측소 관측범위 내에서 발생한 스콜
17	강수가 동반되지 않은 뇌우
16	관측소 근처(관측소는 아님)에 강수가 관측되고 강수가 지상(해상)에 도달
15	관측소 5km 범위 내에서 강수가 관측되고 강수가 지상(해상)에 도달
14	관측소 5km 범위 내에서 강수가 관측되나 강수가 지상(해상)에 도달안함
13	낙뢰는 관측되나 천둥은 들리지 않음
12	아주 얇게 지상 2m 이하에 깔리고 시정이 1,000m 이상인 지상 안개
11	지상 2m 이하에 깔린 덩어리형태의 얇은 안개로, 시정이 1,000m 이상
10	연무. 시정이 전 방향에서 1,000m 이상

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.1.10 관측 시각에 강수 현상 없음. 기타 기상 현상들

코드 번호	기상 현상 설명
9	관측소 관측범위 내에서 발생한 모래 폭풍이나 먼지 폭풍
8	모래 폭풍이나 먼지 폭풍은 아니지만 관측소 관측범위 내에서 현재 혹은 전 시간에 발생한 잘 발달된 먼지나 모래 회오리
7	모래 회오리는 아니지만 관측소 관측범위 내에서 바람에 먼지나 모래가 날리는 현상
6	바람에 의하지 않고 먼지들이 넓게 공기 중에 부유하고 있는 상태
5	연무
4	산업 시설이나 산불 등에 의해서 발생한 연기로 인한 시정 저하
3	전 시간동안 구름이 일반적으로 형성되는 상태
2	전 시간에 비해서 하늘 상태가 변화하지 않은 상태
1	전 시간 동안 구름들이 사라지거나 운량이 줄어드는 상태

2.2.2 종관기상 코드

2.2.2.1 종관기상 코드 개관

종관기상 코드는 일련의 숫자들로 구성되어 코드를 이해하고 있는 사람들에게 종관기상 상태에 대해서 풍부한 정보를 제공한다. ‘종관’이란 전체적인 개관을 의미하며 종관 관측은 특정한 시간과 장소에서의 전체적인 날씨 개관들을 모아 놓은 것을 의미한다. 종관기상 코드는 1982년부터 현재의 형태를 유지하고 있다. 종관기상 코드는 5개의 숫자로 구성된 그룹들이 연속적으로 나열된 형태로 구성되어 있는데 각 그룹(앞의 2개를 제외한)은 그 그룹이 어떤 날씨 상태를 의미하는지에 대한 지시자를 포함하고 있어서 컴퓨터에서 그 그룹의 값들을 자동으로 인식할 수 있도록 하고 있다. 종관기상 코드는 전 세계적으로 통용되는 동일한 형식으로 구성되어 있기 때문에 언어의 장벽을 극복할 수 있고 빠르게 전달하고 쉽게 컴퓨터에서 처리할 수 있는 장점을 가진다.

그림 2.1은 종관기상 코드에 대해서 간단하게 설명하고, 종관기상 코드를 만드는 주요 그룹이 무엇인지 인지하고, 이를 간단하게 해석할 수 있는 정보를 제공하기 위한 목적으로 제시된 것이다

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

그룹	지점번호	시정	바람	건구온도	노점온도	해면기압
전문	108	11470	52412	10022	21025	40052
그룹	기압변화	강수	기상현상	운형		적설
전문	52010	69901	78382	84831	333	44002
그룹	개별 구름층			시간 최대 바람		
전문	84818	83075	90710	91127=		

[그림 2.1] 종관기상 코드의 간단한 분석

2.2.2.2 지점 번호

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

모든 종관 관측소는 3자리 숫자의 지점 번호를 부여받게 된다. 앞의 2자리는 지역(국가)을 뒤의 3자리는 지점을 의미한다. 위에서 예를 보인 종관 기상 전문에서 지점 번호 108은 서울 관측소를 의미한다.

외국으로부터 수신되는 종관기상 전문에는 3자리 지점 번호 앞에 2자리 숫자의 지역 번호가 들어가는데 그 지역 번호는 보통의 경우 하나의 국가에 해당되며 지역 번호가 다를 경우에는 같은 지점 번호를 가질 수도 있다. 예를 들어 덴마크 밤드립은 06108이고, 버마 다웨이이는 48108이다.

2.2.2.3 강수 그룹 지시자

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 ‘6’으로 시작되는 강수그룹에 강수량 정보가 포함되었는지 생략되었는지를 나타낸다. ‘1’ 혹은 ‘3’은 00, 06, 12, 18UTC에 관측된 값의 앞에 사용되고 나머지 시간에 관측된 값은 ‘4’를 사용한다.

위의 전문에서 ‘1’은 ‘6’으로 시작되는 그룹에 강수량 정보가 포함되어 있다는 것을 의미한다

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.2.4 기상현상 그룹 지시자

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 ‘7’로 시작되는 기상현상 그룹이 전문에 포함되어 있는지 생략되어 있는지를 나타낸다.

위의 전문에서 ‘1’은 ‘7’로 시작되는 기상현상 그룹이 포함되어 있다는 것을 의미하며 만약 ‘2’로 표시되어 있으면 기상현상 그룹에 현재기상 코드 00, 01, 02, 03과 과거기상 코드 00, 11, 22이 동시에 발생하고 있음을 나타낸다.

2.2.2.5 가장 낮은 구름층의 높이

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 운량과 무관하게 가장 낮은 구름층이 지상으로부터 얼마 높이에 위치하고 있는지를 나타낸다.

만약 강한 눈이나 짙은 안개 혹은 관측자가 구름 속에 있어서 가장 낮은 구름층에 대한 정보가 없을 때는 이 자리는 ‘/’로 표시한다.

위의 전문에서 ‘4’로 표시되어 있는 것은 가장 낮은 구름의 높이가 1,000 피트에서 1,999피트 사이라는 것을 의미한다.

2.2.2.6 시정

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 2 자리 숫자는 가장 낮은 수평시정을 의미한다.

시정 5,000m 까지는 100m 단위로 보고한다. 예를 들어 시정 3,400m는 34로 표시되는 것이다. 만약 시정이 5,000m에서 30km까지는 1km 단위로 보고하는데 시정에 50을 더해서 표시한다. 예를 들어 시정이 15km이면 ‘65’로 보고한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

시정이 30km를 넘으면 70km까지는 5km 단위로 보고하는데 81에서 88 사이의 숫자를 사용한다. 예를 들어 시정이 50km이면 '89'로 보고한다.

위의 전문에서 '70'으로 표시되어 있는 것은 수평 시정이 20km라는 것을 의미한다.

2.2.2.7 총 운량

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 총 운량을 옥타 수(1~8)로 나타낸 것이다. 위의 전문에서 '5'라고 표시된 것은 총 운량이 4옥타에서 5옥타 사이로 하늘의 4/8에서 5/8가 구름으로 가려져 있음을 의미한다.

2.2.2.8 바람

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

1) 풍향

위에서 진하게 표시된 4자리 숫자 중에서 처음 2자리는 바람이 불어오는 방향을 나타내는 것으로 10° 단위로 보고한다. 위의 전문에서 '24'로 표시된 것은 바람이 240° 방향에서 불어온다는 것으로 남서풍에서 서남서풍이 불고 있음을 의미한다.

2) 풍속

위에서 진하게 표시된 4자리 숫자 중에서 뒤의 2자리는 10분 평균 풍속을 노트(kts) 단위로 나타낸 것이다. 그런데 동유럽이나 옛 소련의 영향권에 있던 국가들의 경우에는 풍속을 kts 대신 m/s를 사용한다는 사실을 알아둘 필요가 있다. 위의 전문에서 '12'로 표시된 것은 풍속이 12kts라는 것을 의미한다. 만약 바람이 없을 때에는 바람 지시자는 '0000'으로 표시한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.2.9 온도

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위의 전문에서 '1'로 시작되는 그룹은 건구온도를 '2'로 시작되는 그룹은 노점온도를 나타낸다. 두 개의 온도 그룹에서 두 번째 숫자는 온도가 영상인지 영하인지를 나타내는데 '0'은 영상을 '1'은 영하를 의미한다. 다음 3자리 숫자는 섭씨온도를 0.1℃ 단위로 표시한다. 위의 전문에서 건구온도는 +2.2℃이고 노점온도는 -2.5℃임을 알 수 있다.

2.2.2.10 해면기압

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 '4'로 시작되는 이 그룹의 나머지 4자리 숫자는 평균 해면기압으로 0.1hPa 단위로 표현한다. 위의 전문에서 '0052'는 해면기압이 1005.2hPa임을 의미한다. 만약 기압이 1000hPa 미만이라고 하면 그대로 4자리에 기압을 표시한다. 예를 들어 '9900'은 990.0hPa이 된다.

2.2.2.11 기압변화 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

종관기상 전문에서 '5'로 시작되는 그룹은 기압변화 그룹이다.

1) 기압변화 경향

전문에서 '5'에 이어서 나오는 두 번째 자리 숫자는 지난 3시간 동안의 기압변화 경향을 의미한다. '0', '1', '2', '3'은 지난 3시간 전에 비해 기압이 높아지고 있음을 의미하고, '4'는 변화가 없으며, '5', '6', '7', '8'은 지난 3시간 전에 비해 기압이 낮아지고 있음을 의미한다.

2) 기압변화량

나머지 3자리 숫자는 지난 3시간동안 변화된 기압의 크기를 0.1hPa 단위로 표시한 것이다. 기압변화량은 관측소 기압을 사용하여야 하며 수정된 해면기압을 사용하는 것이 아니다. 위의 전문에서 '010'은 3시간 동안 1.0hPa이 증가하고 있다는 것을 의미한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.2.12 강수 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 ‘6’으로 시작되는 그룹은 강수량 자료로 앞의 두 번째 그룹이 ‘1’로 시작하는지 여부에 따라 표시되기도 하고 제외되기도 한다. 보통의 경우 강수량 자료는 00, 06, 12, 18UTC에 보고된다. 강수량은 이어지는 3자리 숫자로 표시되는데 0.1mm부터 표현된다. 예를 들어 ‘991’은 0.1mm 강수량을 의미하고, ‘003’은 3mm 강수량을 의미한다. 마지막 자리에 표시되는 값은 몇 시간 누적강수량인지를 표시한다. 보통 ‘1’은 6시간 누적량, ‘2’는 12시간 누적량을 의미한다. 위의 전문에서 ‘990’은 강수량이 ‘Trace’이었음을 의미한다.

2.2.2.13 기상현상 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 ‘7’로 시작되는 그룹은 기상현상 지시자이다. 이 그룹은 현재기상 코드가 00, 01, 02, 03이거나 과거기상 코드가 00, 11, 22로 동시에 발생하면 생략할 수 있는데 이 그룹이 전문에 포함되는지 여부는 두 번째 그룹의 두 번째 숫자에 ‘1’이 있는지에 따라 결정된다.

1) 현재기상

이 그룹에서 2번째와 3번째 숫자는 관측시각의 기상 조건을 00에서 99까지의 숫자로 표현한다. 비록 20에서 29까지의 기상현상이 과거에 발생해서 현재 소멸된 기상현상이라고 하더라도 현재기상에 포함한다. 숫자들의 상세한 의미는 위의 2.2.1항 현재기상 코드에 나타나있으며, 아래 표는 개략적인 기상현상을 분류한 것이다.

[표 2.3] 현재기상 코드

코드 값 (ww)	기상현상	코드 값(ww)	기상현상
99 ~ 91	뇌우	49 ~ 40	안개
90 ~ 80	소낙성 강수	39 ~ 30	날리는 모래/눈
79 ~ 70	눈 혹은 언 강수	29 ~ 20	최근기상(지난 시간)
69 ~ 60	비	19 ~ 00	기타
59 ~ 50	이슬비		

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2) 과거기상 그룹

기상현상 그룹의 4번째와 5번째 숫자는 ‘0’에서 ‘9’ 사이의 두 자리 숫자로 표시되는데 최근 시간 동안의 기상현상을 묘사한다. 이 과거기상은 관측 간격이 몇 시간인지에 따라 다양하게 표현되는데, 보통 6시간 단위, 3시간 단위, 1시간 단위의 관측 간격을 가진다.

일반적으로 과거기상 코드 중에서 가장 높은 값을 가지는 과거기상 현상을 먼저 표시한다. 아래 표는 과거기상 코드를 나타낸 것이다.

[표 2.4] 과거기상 코드

코드 값 (W _{1&2})	기상 현상	코드 값 (W _{1&2})	기상현상
0	운량이 지난 시간 동안 4옥타 이하	5	이슬비
1	운량이 지난 시간 동안 4옥타 이상이었다가 이하로 변화	6	비
2	운량이 지난 시간 동안 5옥타 이상 유지	7	눈, 비, 빙눈깨비
3	모래 폭풍, 먼지 폭풍, 날리는 눈 발생	8	소낙성 강수
4	안개 혹은 짙은 연무 (시정 1,000m 미만)	9	강수 포함/미포함 뇌우

위의 전문에서 과거기상 ‘8’은 관측 기간 동안 한 차례이상 소낙성 강수가 발생했고, ‘2’는 총 운량이 관측 기간 동안 5옥타 이상 유지되었음을 의미한다.

2.2.2.14 운형 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 ‘8’로 시작되는 그룹은 바로 이어지는 주요 구름 그룹을 의미하는 ‘333’ 그룹과 같이 사용되며 현재의 구름 형태에 대해서 상세하게 표현한다. 만약 구름이 없거나 구름에 의해서 하늘이 가려져 있으면 이 그룹은 생략된다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

1) 총 하층운량

두 번째 숫자는 하층운형(CU, CB, ST, SC) 구름의 운량을 옥타 단위로 표시한다. 만약 하층운이 존재하지 않으면 중층운형(AC, AS, NS) 구름의 운량을 옥타 단위로 표시한다. 만약 중층운도 존재하지 않으면 상층운량의 존재와 상관없이 '0'으로 표시한다.

2) 하층운형

세 번째 숫자는 현재의 하층운형을 의미한다. '9'가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, '3', '4'...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 하층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다.

3) 중층운형

네 번째 숫자는 현재의 중층운형을 의미한다. '9'가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, '8', '7'...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 중층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다.

4) 상층운형

다섯 번째 숫자는 현재의 상층운형을 의미한다. '9'가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, '7', '8'...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 중층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다.

위의 전문에서 '84831'로 표시된 것은 하층운량이 4 옥타 ('4')이고, CU와 SC형 구름이 다른 층('8')에서 나타나며, 한 개 층의 얇은 AC가 존재('3')하고 있는 가운데, 가는 실이나 갈고기 형태의 CI 구름('1')이 하늘에 퍼져 있음을 보여준다.

2.2.2.15 부가 정보 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 **333** 44002 84818 83075 90710 91127=

운형 그룹 다음에 이어지는 '**333**' 그룹은 영국기상청에서 통용되는 것으로 정해진 관측시간 마다 별도로 보고되는 최고, 최저, 지중최저기온 등을 포함한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.2.16 적설 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

적설 그룹은 ‘4’를 지시자로 하며 눈이나 얼음이 지상에 깔려있을 때 정규 관측에 포함하여 보고한다. 두 번째 숫자는 현재 눈이나 얼음이 덮여 있는 상태를 의미하며, 나머지 3개의 숫자는 적설량으로 반올림을 사용하여 1cm 정수 단위로 보고하는 것이다.

위의 전문에서 두 번째 숫자 ‘4’는 지표면에 불규칙하게 눈들이 붙어있거나, 젖은 눈이 지표면 전체를 덮고 있음을 의미하고, ‘002’는 적설의 깊이가 2cm라는 의미이다.

2.2.2.17 구름층 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

개별 구름층들에 대한 정보는 지시자 ‘8’로 시작하는 그룹에 포함되어 있다. 그러나 종관기상 전문에 포함하기 위해서는 다음과 같은 조건에 도달하는 의미있는 구름층이어야 한다.

- 1) 운량과 무관하게 가장 낮은 층
- 2) 3옥타 이상의 다음 낮은 층
- 3) 5옥타 이상의 다음 낮은 층
- 4) 적란운 구름

즉 층이 높을수록 오름차순으로 더해 나가는 것이다.

‘8’그룹의 두 번째 숫자는 각 층에서의 운량을 옥타로 표현하며 표현방법은 2.2.2.7의 운량표시 방법과 같다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

세 번째 숫자는 아래 표에서 보이는 것과 구름층을 형성하고 있는 운형을 의미한다.

[표 2.5] 주요 운형에 대한 코드 숫자

코드 숫자	운형	코드 숫자	운형
0	권운(Cirrus)	5	난층운(Nimbostratus)
1	권적운(Cirrocumulus)	6	층적운(Stratocumulus)
2	권층운(Cirrostratus)	7	층운(Stratus)
3	고적운(Alto cumulus)	8	적운(Cumulus)
4	고층운(Altostratus)	9	적란운(Cumulonimbus)

네 번째와 다섯 번째 숫자는 지상으로부터 구름 하부까지의 높이를 피트(feet) 단위로 표시한 것이다. 지상에서 5,000ft 까지의 운고는 100ft 단위로 뒤의 0을 하나 생략하고 보고한다. 5,000ft부터 30,000ft 고도의 구름은 1,000ft 단위로 보고한다. 예를 들어 25,000ft의 운고는 1,000ft을 생략하고 25를 남긴 다음 50을 더해서 75로 보고한다. 30,000ft 이상의 운고는 5,000ft 단위로 70,000ft까지 81에서 88까지 사용하여 보고하고 그 이상의 구름은 89로 통일한다. 만약 운저가 40,000ft인 구름층은 82가 되는 것이다.

위의 전문에서 ‘8’ 그룹이 2개인 것은 주요 구름층이 2개라는 것을 의미하고, ‘84818’은 적운(CU) 4옥타가 1,800ft에 형성되어 있다는 의미이고, ‘83075’는 권운(CI) 3옥타가 25,000ft에 형성되어 있다는 의미이다.

2.2.2.18 추가 정보

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

‘9’로 시작되는 그룹은 다양한 기상현상에 대한 추가 정보를 제공하는데 사용된다. 가장 많이 사용되는 것은 위의 전문에서와 같이 최대풍(27) 정보이다. 그리고 한 지점의 종관기상 전문은 ‘=’ 표시를 통해서 종료되었음을 나타내야 한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.3 과거기상 코드

2.2.3.1 과거기상 코드의 개관

만약 현재기상을 관측을 실시하고 있는 시각에 발생하고 있는 기상현상에 대한 보고라고 한다면, 과거기상은 관측 시간 사이에 발생했던 기상현상을 보고하는 것이라고 할 수 있다.

과거기상은 2자리 숫자를 이용하여 과거에 발생했던 특이기상을 현재기상에서 사용된 것과 같은 방법으로 표현하는 것이다. 현재기상 코드(ww)가 현재의 기상상태의 상태를 나타내는 것이므로 과거기상 코드(W_1 W_2)는 관측시간 사이에 변화가 일어난 기상현상을 보고하는 것이다.

2.2.3.2 과거기상 보고 기간

과거기상에 포함되는 시간은 어느 시간대에 관측이 이루어지느냐에 달려 있다. 3시간 단위로 관측을 실시하는 경우에는 지난 관측시간에서 현재까지 3시간 동안 발생한 특이 기상현상을 과거기상 코드를 사용하여 보고한다.

관측 시각	과거기상 보고 범위
0	1800 ~ 0000
300	0000 ~ 0300
600	0300 ~ 0600
900	0600 ~ 0900
1200	0900 ~ 1200
1500	1200 ~ 1500
1800	1500 ~ 1800
2100	1800 ~ 2100

다른 관측 시각의 경우에는 W_1 과 W_2 는 1시간 이내에 발생한 기상현상을 의미한다.

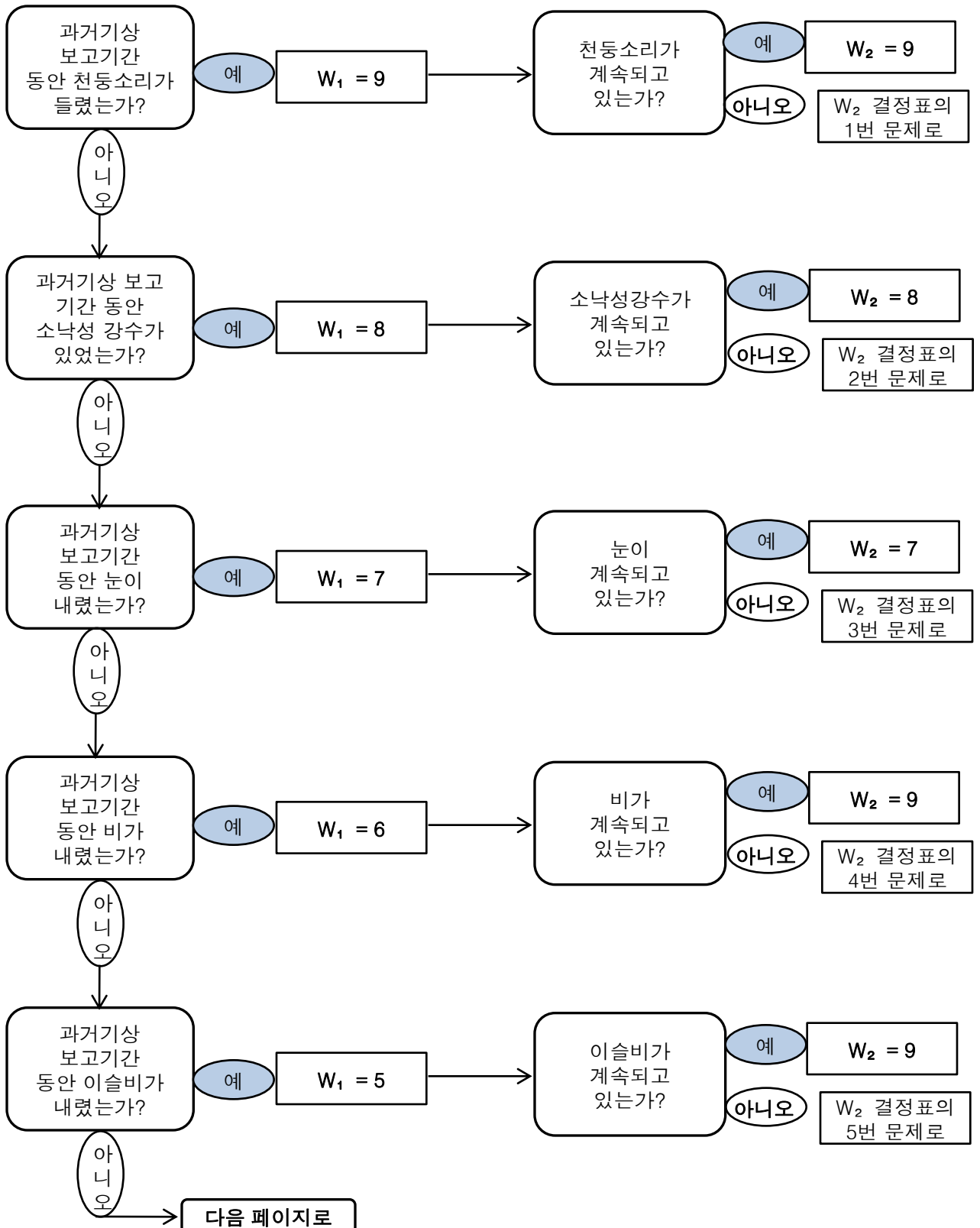
2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.3.3 과거기상 코드

코드 숫자	과거기상 설명
0	주어진 기간 동안 구름이 하늘의 절반 이하를 가렸을 때
1	주어진 기간 동안 전반적으로는 구름이 하늘을 절반 이하를 가렸지만, 일정 시간 동안 절반 이상을 가렸을 때
2	주어진 기간 동안 구름이 하늘의 절반 이상을 가렸을 때
3	모래 폭풍, 먼지 폭풍, 날립 눈
4	안개나 연 안개
5	이슬비
6	비
7	눈, 진눈깨비
8	소낙성 강수
9	강수 포함/미포함 뇌우

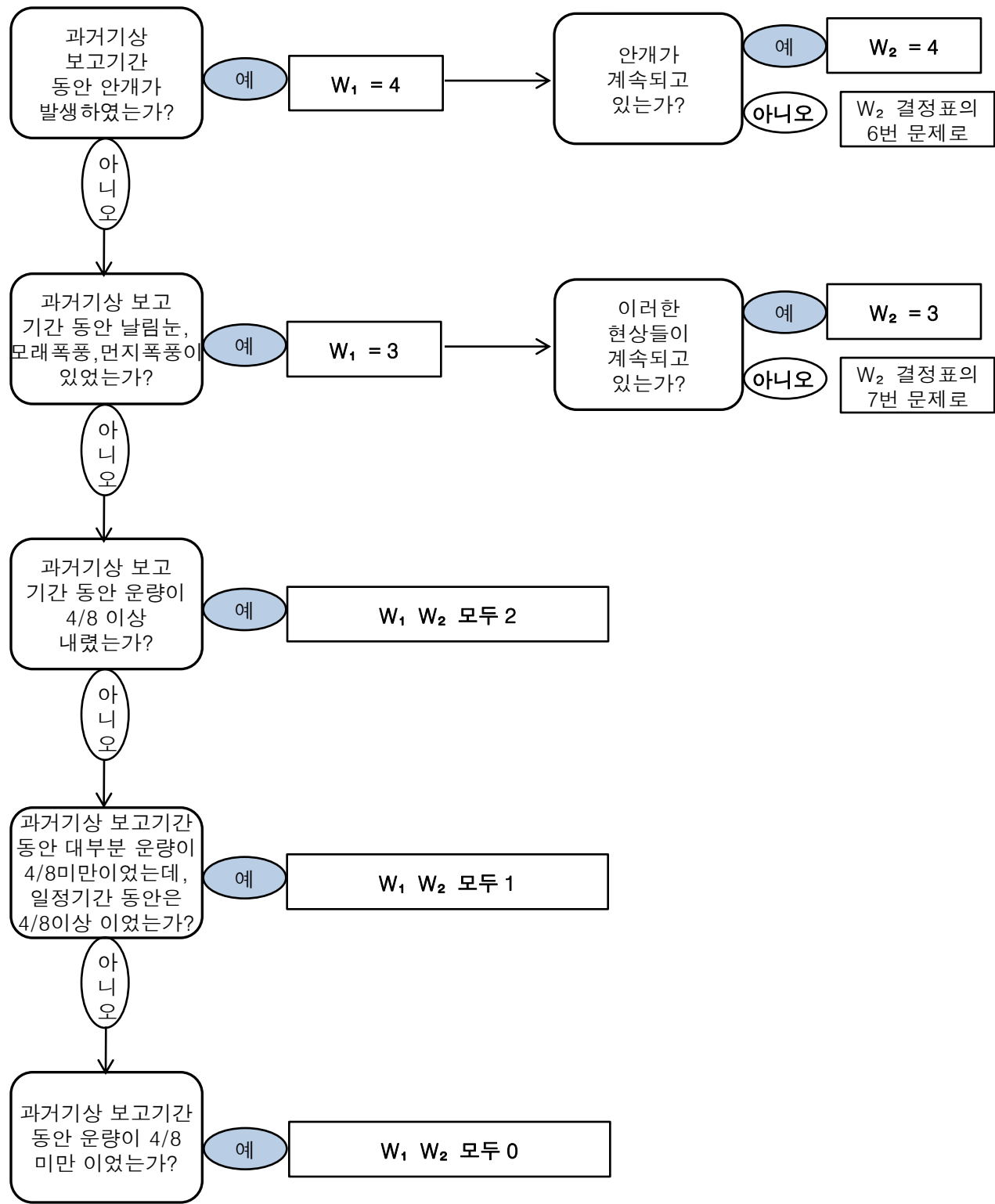
일반적으로 보고해야 할 과거기상 현상이 복합적으로 나타났을 경우 높은 값을 먼저 보고한다. 적절한 과거기상 코드를 찾는 방법은 다음의 3가지 순서도를 이용하는 것이 편리하다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

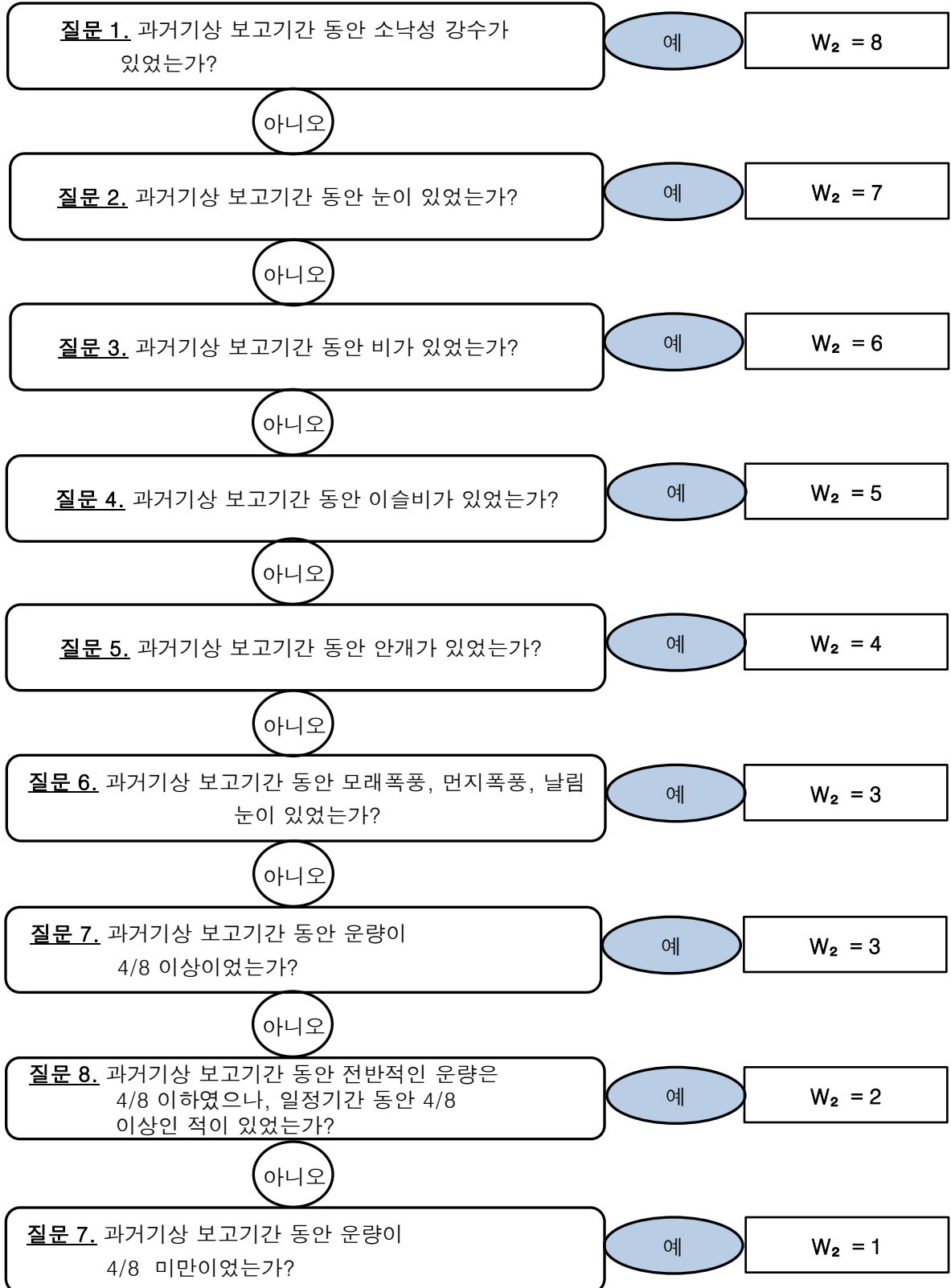
정확한 과거기상 코드 W_1 과 W_2 찾기 순서도 (1)

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

정확한 과거기상 코드 W₁과 W₂ 찾기 순서도 (2)



2.2 기상 관측 전문 코드 해석

정확한 과거기상 코드 W_2 찾기 순서도

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.4 종관기상 관측 전문 해석

2.2.4.1 종관기상 관측 전문 개관

기상관측 자료를 전문으로 코딩하는 방법은 매우 다양하지만 기상업무 종사자들이 지상관측 자료로 가장 많이 활용하는 것이 종관기상 관측전문(SYNOPTIC Code)이다. 종관기상 관측전문을 이루는 그룹은 5개의 숫자로 이루어져 있으며, 5개의 숫자들 중에서 첫 번째 나오는 숫자는 ‘지시자’로 그룹이 어떤 기상현상을 설명하는지 알 수 있도록 도움을 준다. 종관기상 관측전문은 주어진 시간에 특정한 지역에서의 전반적인 기상개황에 대한 정보를 제공한다. 종관기상 관측전문 중에서 기압 등이 빠진 형태의 간소화된 종관기상 전문(Reduced SYNOP)도 작성된다.

관측자료를 5자리 숫자로 구성된 그룹화하여 부호화하는 이유는 외국으로 빠르게 전송할 수 있고 다른 나라의 기상 종사자들이 쉽게 이해할 수 있게 하기 위함이다. 그러나 종관기상 관측전문이 전 세계에 통일된 양식을 따른다고 하더라도 나라에 따라서 조금씩 다를 수 있다는 점을 인지하고 있어야 한다. 현재 대부분의 기상 관측소는 자동화된 종관기상 부호화 및 전송 체계를 구축하고 있다. 본 항에서는 종관기상 관측전문을 해석하는 상세한 방법을 제시하고 있다.

지점번호	시정	바람	건구온도	노점온도	해면기압
(03) <u>108</u>	11470	52412	10022	21025	40052
기압변화	강수	기상현상	운형		적설
52010	69901	78382	84831	333	44002
개별 구름층			시간 최대 바람		
84818	83075	90710	911 <u>27</u> =		

[그림 2.2] 종관기상 코드의 간단한 분석

위의 그림 2.2는 아래 그림 2.3과 같이 부호화 해서 표현할 수 있다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

지점번호	시정	바람	건구온도	노점온도	해면기압
(II)iii	i _R i _x hVV	Nddff	1s _n TTT	2s _n T _D T _D T _D	4PPPP
기압변화	강수	기상현상	운형		적설
5aPPP	6RRRt _R	7wwW ₁ W ₂	8N _h C _l C _m C _h	333	4E'sss
개별 구름층			시간 최대 바람		
8N _s CH _s H _s	8N _s CH _s H _s	90710	911ff=		

[그림 2.3] 종관기상 코드의 간단한 분석

2.2.4.2 지점 번호

iii
108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

모든 종관기상 관측소는 3자리 숫자의 지점번호를 부여받는다. 한반도의 경우에는 지역에 따라 아래와 같은 지점 번호를 부여 받게 된다.

[표 2.6] 한반도 지역의 지점 번호 체계

지점 번호(iii)	한반도 지역
001 ~ 099	북한 지역, 강원도 북부
100 ~ 120	서울, 경기 북부, 영동, 영서
121 ~ 130	경기 남부, 충청 북도
131 ~ 140	대전, 충청 남도, 경상 북도
141 ~ 150	대구, 전라 북도,
151 ~ 160	광주, 부산, 울산, 경상남도 북부
161 ~ 170	여수, 사천, 남해안 지역

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

중관기상 보고는 다른 나라들에서도 활용되어야 하기 때문에 동일한 지점 번호로 인한 혼란을 방지하기 위해서 2자리 숫자로 구성된 지역 번호를 부여하고 있다.

[표 2.7] 아시아 지역번호와 해당 국가

지역 번호(II)	지역 내 국가
47	한국, 북한, 일본
46	대만
24~30	러시아
34	우즈베키스탄
50~59	중국, 몽고

2.2.4.3 강수 그룹 지시자

i_R
108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

강수 그룹 지시자는 중관기상 관측전문에 강수 그룹이 포함되어 있는지 생략되어 있는지를 나타낸다.

[표 2.8] 강수 포함 여부를 나타내는 코드 숫자

코드 숫자(i_R)	'6'그룹 포함/생략
1	포함
3	생략(강수 없음)
4	생략(정보 없음)

대부분의 경우 '1'과 '3'은 00, 06, 12, 18UTC에 사용하고 나머지 시간에는 '4'를 사용한다. 위의 전문에서 '1'은 '6'으로 시작되는 강수 그룹이 전문에 포함되어 있음을 의미한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.4.4 기상현상 그룹 지시자

i_x
 108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 ‘7’로 시작되는 기상현상 그룹이 전문에 포함되어 있는지 생략되어 있는지를 나타낸다.

[표 2.9] 기상현상 포함 여부를 나타내는 코드 숫자

코드 숫자(iR)	'6'그룹 포함/생략
1	목측, 포함
2	목측, 생략 (특이 기상현상 없음)
3	목측, 생략 (관측하지 않음)
4	자동, 포함
5	자동, 생략 (특이 기상현상 없음)
6	자동, 생략 (관측하지 않음)

위의 전문에서 ‘1’은 ‘7’로 시작되는 기상현상 그룹이 포함되어 있다는 것을 의미하며 만약 ‘2’로 표시되어 있으면 기상현상 그룹에 현재기상 코드 00, 01, 02, 03과 과거기상 코드 00, 11, 22이 동시에 발생하고 있음을 나타낸다.

2.2.4.5 가장 낮은 구름층의 높이

h
 108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 운량과 무관하게 가장 낮은 구름 층이 지상으로부터 얼마 높이에 위치하고 있는지를 나타낸다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

[표 2.10] 가장 낮은 구름층 높이를 나타내는 코드 숫자

코드 숫자(h)	가장 낮은 구름층 높이	코드 숫자(h)	가장 낮은 구름층 높이
0	0 ~ 149ft	6	3,000 ~ 4,999ft
1	150 ~ 299ft	7	5,000 ~ 6,499ft
2	300 ~ 599ft	8	6,500 ~ 7,999ft
3	600 ~ 999ft	9	8,000ft 이상 혹은 구름 없음
4	1,000 ~ 1,999ft		
5	2,000 ~ 2,999ft	/	높이 모름

만약 강한 눈이나 짙은 안개 혹은 관측자가 구름 속에 있어서 가장 낮은 구름층에 대한 정보가 없을 때는 이 자리는 ‘/’로 표시한다.
위의 전문에서 ‘4’로 표시되어 있는 것은 가장 낮은 구름의 높이가 1,000 피트에서 1,999피트 사이라는 것을 의미한다.

2.2.4.6 시정

VV

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=
위에서 진하게 표시된 2 자리 숫자는 가장 낮은 수평시정을 의미한다.

시정 5,000m 까지는 100m 단위로 보고한다. 예를 들어 시정 3,400m는 34로 표시되는 것이다. 만약 시정이 5,000m에서 30km까지는 1km 단위로 보고하는데 시정에 50을 더해서 표시한다. 예를 들어 시정이 15km이면 ‘65’로 보고한다.

시정이 30km를 넘으면 70km까지는 5km 단위로 보고하는데 81에서 88 사이의 숫자를 사용한다. 예를 들어 시정이 50km이면 ‘89’로 보고한다.

단 코드 숫자로 51 ~ 55는 사용하지 않는다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

[표 2.11] 시정보고를 위한 코드 숫자

코드 숫자(VV)	시 정	코드 숫자(h)	시 정	코드 숫자(h)	시 정
0	100m 미만	50	5,000m	80	30km
1	100m	56	6km	81	35km
2	200m	57	7km	82	40km
etc.	기타	etc.	기타	83	45km
10	1,000m	60	10km	84	50km
11	1,100m	61	11km	85	55km
12	1,200m	62	12km	etc.	기타
etc.	기타	etc.	기타	89	70km 이상

위의 전문에서 '70'으로 표시되어 있는 것은 수평 시정이 20km라는 것을 의미한다.

2.2.4.7 총 운량

N

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위에서 진하게 표시된 숫자는 구름이 하늘을 덮고 있는 총 운량을 옥타 수 (1~8)로 나타낸 것이다.

[표 2.12] 총운량을 나타내기 위한 코드 숫자

코드 숫자(N)	운 량	코드 숫자(N)	운 량
0	하늘에 구름 없음	50	4옥타 이상 5옥타 미만
1	1옥타	56	5옥타 이상 6옥타 미만
2	1옥타 이상 2옥타 미만	57	6옥타 이상 7옥타 미만
3	2옥타 이상 3옥타 미만	etc.	하늘이 완전히 구름에 가림
4	3옥타 이상 4옥타 미만	60	안개 등으로 하늘과 구름이 가려짐

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

위의 전문에서 ‘5’라고 표시된 것은 총 운량이 4옥타에서 5옥타 사이로 하늘의 4/8에서 5/8가 구름으로 가려져 있음을 의미한다.

2.2.4.8 바람

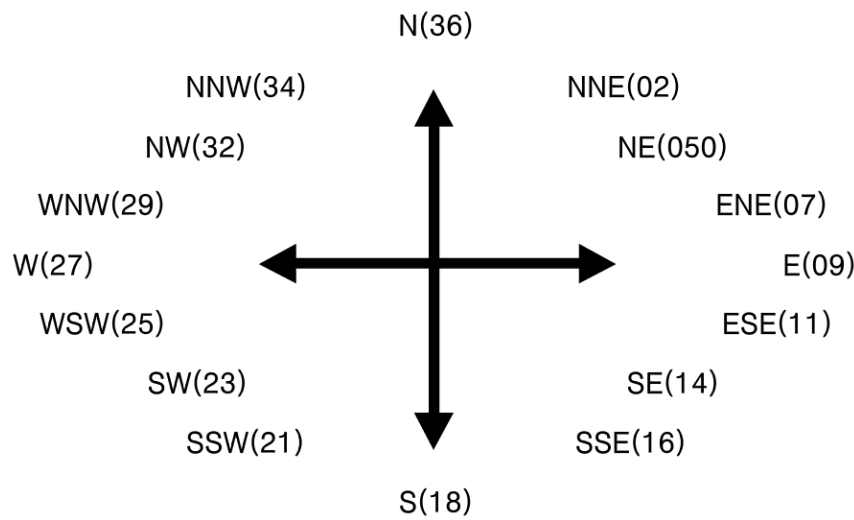
ddff

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

1) 풍향

위에서 진하게 표시된 4자리 숫자 중에서 처음 2자리는 바람이 불어오는 방향을 나타내는 것으로 10° 단위로 보고한다.

그림 2.4는 16개의 주요 풍향과 이에 대응하는 방위각을 나타낸 것이다. 위의 전문에서 ‘24’로 표시된 것은 바람이 240° 방향에서 불어온다는 것으로 남서풍(SW)에서 서남서풍(WSW)이 불고 있음을 의미한다.



[그림 2.4] 16개 주요 풍향과 대응하는 방위각

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2) 풍속

위에서 진하게 표시된 4자리 숫자 중에서 뒤의 2자리는 10분 평균 풍속을 노트(kts) 단위로 나타낸 것이다. 그런데 동유럽이나 옛 소련의 영향권에 있던 국가들의 경우에는 풍속을 kts 대신 m/s를 사용한다는 사실을 알아 둘 필요가 있다. 위의 전문에서 ‘12’로 표시된 것은 풍속이 12kts라는 것을 의미한다.

만약 바람이 없을 때에는 바람 지시자는 ‘0000’으로 표시한다.

2.2.4.9 온도

1s_nTTT 2s_nT_DT_DT_D

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

위의 전문에서 지시자 ‘1’로 시작되는 그룹은 **건구온도**를 지시자 ‘2’로 시작되는 그룹은 **노점온도**를 나타낸다.

두 개의 온도 그룹에서 두 번째 숫자는 온도가 영상인지 영하인지를 나타내는데 ‘0’은 **영상**을 ‘1’은 **영하**를 의미한다. 다음 3자리 숫자는 **섭씨온도**를 **0.1℃** 단위로 표시한다. 위의 전문에서 건구온도는 +2.2℃이고 노점온도는 -2.5℃임을 알 수 있다.

2.2.4.10 해면기압

4PPPP

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 ‘4’로 시작되는 이 그룹의 나머지 4자리 숫자는 평균 해면기압으로 0.1hPa 단위로 표현하는데 이를 QFF라고 부른다.

위의 전문에서 ‘0052’는 해면기압이 1005.2hPa임을 의미한다. 만약 기압이 1000hPa 미만이라고 하면 그대로 4자리에 기압을 표시한다. 예를 들어 ‘9900’은 990.0hPa이 된다.

많은 국가들에서 4PPPP 그룹의 앞에 3PoPoPoPo를 포함하여 종관기상 관측전문을 작성하는데 3PoPoPoPo는 관측소 고도 기압을 의미한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

높은 고도에 위치한 관측소들은 평균 해면기압을 정확하게 보고할 수 없기 때문에 4PPPP 뒤에 **4a₃hhh** 그룹을 더하게 되는데, 여기서 hhh는 주어진 평균 지위고도 a3에 해당하는 평균 기압 표면의 지위고도를 1,000단위를 제외하고 표현한다.

2.2.4.11 기압변화 그룹

5aPPP

108 11470 52412 10022 21025 40052 **52010** 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

종관기상 전문에서 지시자 ‘5’로 시작되는 그룹은 **기압변화** 값을 의미한다.

1) 기압변화 경향

전문에서 ‘5’에 이어서 나오는 두 번째 자리 숫자는 지난 3시간 동안의 기압변화 경향을 의미한다. 이상적으로는 기압변화 경향은 자기 기압계를 통해서 얻어져야 하지만 실제로는 지난 3시간 동안의 기압값을 읽어서 사용한다. 이것을 기압변화 경향이라 부른다.

2) 기압변화량

나머지 3자리 숫자는 지난 3시간동안 변화된 기압의 크기를 0.1hPa 단위로 표시한 것이다. 기압변화량은 관측소 기압을 사용하여야 하며 수정된 해면기압을 사용하는 것이 아니다. 위의 전문에서 ‘010’은 3시간 동안 1.0hPa이 증가하고 있다는 것을 의미한다. 표 8은 3시간 동안 기압변화 경향에 대한 코드 숫자를 정리한 것이다. 보통 기압변화 경향은 3시간 단위로 보고하지만 어떤 나라에서는 24시간 단위로 보고하기도 한다. 이 경우 ‘333’그룹에 이어 5j1P24P24P24의 코드 형태로 작성한다. 여기에서 ‘5’는 지시자이고 j1은 기압 변화 경향(8=상승 혹은 유지, 9=하강)을 P24P24P24는 기압변화량을 0.1hPa 단위로 나타낸다. .

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

[표 2.13] 3시간 기압변화 경향을 나타내기 위한 코드 숫자

코드 숫자 (a)	기압변화 흔적	기압변화경향 설명	3시간 후 기압변화
0	↗	상승 후 하강	같거나 높음
1	↗	상승 후 유지 혹은 급하게 상승 후 천천히 상승	높음
2	↗	지속적으로 상승 혹은 불연속적 상승	높음
3	✓	하강 혹은 유지 후 상승 혹은 천천히 상승 후 급하게 상승	높음
4	—	유지	같음
5	↘	하강 후 상승	같거나 낮음
6	↘	하강 후 유지 혹은 급하게 하강 후 천천히 하강	낮음
7	↘	하강	낮음
8	↘	유지/증가 후 하강 혹은 천천히 하강 후 급하게 하강	낮음

2.2.4.12 강수 그룹

6RRR_{tr}

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

숫자 ‘6’으로 시작되는 그룹은 **강수량** 자료로 앞의 두 번째 그룹이 ‘1’로 시작하는지 여부에 따라 표시되기도 하고 제외되기도 한다. 보통의 경우 중관기상 관측전문에서 강수량 자료는 00, 06, 12, 18UTC에 보고된다. 만약 강수량이 없는 경우 이 그룹은 생략되며 강수량 정보의 포함 혹은 제외 여부는 2.2.2.3항에서 설명한 대로 iR을 통해서 알 수 있다.

강수량은 이어지는 3자리 숫자로 표시되는데 1mm까지는 0.1mm 단위로 보고되고 앞에 ‘99’를 덧붙이며, 1mm 이상의 경우에는 반올림하여 정수로 보고된다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

[표 2.14] 강수량 코드 숫자

코드 숫자 (RRR)	강수량(mm)	코드 숫자 (RRR)	강수량(mm)
990	Trace(0.05미만)	001	1.0 ~ 1.5
991	0.1	002	1.6 ~ 2.4
992	0.2	003	2.5 ~ 3.5
993	0.3	004	3.6 ~ 4.4
994	0.4	005	4.5 ~ 5.5
etc.	등등	etc.	등등

마지막 자리에 표시되는 값은 **누적 기간**을 표시한다. 보통 ‘1’은 6시간 누적량, ‘2’는 12시간 누적 강수량을 의미한다.

[표 2.15] 강수량 누적 기간 코드 숫자

관측 시각(UTC)	코드 숫자(t_R)	누적 기간
0000	1	1800 ~ 0000
0600	2	1800 ~ 0600
1200	1	0000 ~ 1200
1800	2	0600 ~ 1800

위의 전문에서는 6시간 동안의 누적 강수량이 ‘Trace’이었음을 의미한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.4.13 기상현상 그룹

i_x
 108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
 7wwW₁W₂
78382 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

‘7’은 기상현상 그룹을 타나내는 지시자이다. 이 그룹은 현재기상(ww) 코드가 00, 01, 02, 03이거나 과거기상(W1W2) 코드가 00, 11, 22로 동시에 발생하면 생략할 수 있는데 이 그룹이 전문에 포함되는지 여부는 두 번째 그룹의 두 번째 숫자(i_x)에 ‘1’이 있는지에 따라 결정된다.

1) 현재기상

이 그룹에서 2번째와 3번째 숫자는 관측시각의 기상 조건을 00에서 99까지의 숫자로 표현한다. 비록 20에서 29까지의 기상현상이 과거에 발생해서 현재 소멸된 기상현상이라고 하더라도 현재기상에 포함한다. 숫자들의 상세한 의미는 위의 2.2.1항 현재기상 코드에 나타나있으며, 아래 표는 개략적인 기상현상을 분류한 것이다.

[표 2.16] 현재기상 코드 숫자

코드 숫자 (ww)	기상현상	코드 값(ww)	기상현상
99 ~ 91	뇌우	49 ~ 40	안개
90 ~ 80	소낙성 강수	39 ~ 30	날리는 모래/눈
79 ~ 70	눈 혹은 언 강수	29 ~ 20	최근기상(지난 시간)
69 ~ 60	비	19 ~ 00	기타
59 ~ 50	이슬비		

위의 전문에서 현재기상 ‘83’의 의미는 관측 시각에 ‘약한 소낙성 진눈깨비’가 있었음을 의미한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2) 과거기상 그룹

기상현상 그룹의 4번째와 5번째 숫자는 ‘0’에서 ‘9’ 사이의 두 자리 숫자로 표시되는데 최근 시간 동안의 기상현상을 묘사한다. 이 과거기상은 관측 간격이 몇 시간인지에 따라 다양하게 표현되는데, 보통 6시간 단위, 3시간 단위, 1시간 단위의 관측 간격을 가진다.

일반적으로 과거기상 코드 중에서 가장 높은 값을 가지는 과거기상 현상을 먼저 표시한다. 과거기상 코드는 가능하면 현재기상코드와 함께 표시해서 관측소의 전체적인 기상 조건을 알 수 있도록 하여야 한다. 아래 표는 과거기상 코드를 나타낸 것이다.

[표 2.17] 과거기상 코드 숫자

코드 숫자 (W _{1&2})	기상 현상	코드 값 (W _{1&2})	기상현상
0	운량이 지난 시간 동안 4옥타 이하	5	이슬비
1	운량이 지난 시간 동안 4옥타 이상이였다가 이하로 변화	6	비
2	운량이 지난 시간 동안 5옥타 이상 유지	7	눈, 비, 빙눈깨비
3	모래 폭풍, 먼지 폭풍, 날리는 눈 발생	8	소낙성 강수
4	안개 혹은 짙은 연무 (시정 1,000m 미만)	9	강수 포함/미포함 뇌우

만약 관측소가 제한 관측소로 운영되어 24시간 운영되지 않거나 연속적으로 운영되지 않아서 과거 기상을 알 수 없는 경우에는 W₁ 과 W₂ 는 ‘/’로 표시한다. 위의 전문에서 과거기상 ‘8’은 관측 기간 동안 한 차례 이상 소낙성 강수가 발생했고, ‘2’는 총 운량이 관측 기간 동안 5옥타 이상 유지되었음을 의미한다.

2.2.4.14 운형 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
8N_hC₁C_mC_h
78382 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

지시자 ‘8’로 시작되는 그룹은 바로 이어지는 주요 구름 그룹을 의미하는 ‘333’ 그룹과 같이 사용되며 현재의 구름 형태에 대해서 상세하게 표현한다. 만약 구름이 없거나 구름에 의해서 하늘이 가려져 있으면 이 그룹은 생략된다.

1) 총 하층운량

2번째 숫자는 **하층운형**(CU, CB, ST, SC) 구름의 운량을 옥타 단위로 표시한다. 만약 하층운이 존재하지 않으면($C_l = 0$) **중층운형**(AC, AS, NS) 구름의 운량을 옥타 단위로 표시한다. 만약 중층운도 존재하지 않으면($C_m = 0$) 상층운량의 존재와 상관없이 ‘0’으로 표시한다.

2) 하층운형

3번째 숫자는 현재의 **하층운형**을 의미한다. ‘9’가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, ‘3’, ‘4’...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 하층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다(표 2.18 참조).

[표 2.18] 하층운 코드 숫자

하층운형 (CI)	운형 설명
9	모루구름을 가지는 적란운(CB)
3	모루구름이 없는 적란운(CB)
4	적운(CU)으로부터 떨어져 나온 층적운(SC)
8	각각 다른 층에 분포하고 있는 CU와 CU에서 떨어져 나오지 않은 SC
2	연직으로 보통 혹은 강하게 발달한 CU
1	연직으로 약하게 발달한 CU
5	CU에서 떨어져 나오지 않은 SC (단일층)
6	강수를 포함하지 않은 층운(ST)
7	강수를 포함한 ST나 CU 조각
0	CB, CU, SC, ST 존재하지 않음.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

3) 중층운형

4번째 숫자는 현재 하늘에 떠 있는 중층운형을 의미한다. ‘9’가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, ‘8’, ‘7’...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 중층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다.

[표 2.19] 중층운 코드 숫자

하층운형 (Cm)	운형 설명
9	하늘에 고적운(AC)이 무질서하게 떠 있는 상태(일반적으로 여러 층)
8	탑이나 타래처럼 형성된 AC
7	고층운(AS)이나 난층운(NS)을 동반하는 AC
6	CU나 CB에서 떨어져 나온 AC
5	점진적으로 밀려오고 있는 AC
4	모양이 계속해서 변화하고 있는 AC (렌즈 구름)
7	2개 층 이상의 AC
3	1개 층의 얇은 AC
7	1개 층의 두꺼운 AC
2	두꺼운 AS나 NS
1	얇은 AS
0	AC, AS, NS 없음
/	중층운 관측 불가(보통 하층운에 의해 가려짐)

4) 상층운형

5번째 숫자는 현재의 상층운형을 의미한다. ‘9’가 가장 높은 값으로 숫자가 높을수록 우선순위가 있으며, ‘7’, ‘8’...로 이어진다. 만약 한 개 이상의 상층운형이 존재하면 우선순위가 높은 것을 사용한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

[표 2.20] 상층운 코드 숫자

하층운형(Ch)	운형 설명
9	권적운(CC)이 지배적으로 존재
7	권층운(CS)가 하늘을 전체적으로 덮음
8	하늘을 전체적으로 덮지 않은CS
6	CS가 고도각 45° 이상에서 증가
5	CS가 고도각 45° 이하에서 증가
4	점진적으로 밀려오는 권운(CI)
3	CB의 상부에서 떨어져 나온 CI
2	두꺼운 CI나 탑이나 타래처럼 형성된 CI
1	실이나 갈고리 형태의 CI
0	CC, CS, CI 없음
/	상층운 관측 불가(보통 하층운에 의해 가려짐)

위의 전문에서 ‘84831’로 표시된 것은 하층운량이 4 옥타(‘4’)이고, CU와 SC형 구름이 다른 층(‘8’)에서 나타나며, 한 개 층의 얇은 AC가 존재(‘3’)하고 있는 가운데, 가는 실이나 갈고리 형태의 CI 구름(‘1’)이 하늘에 퍼져 있음을 보여준다.

2.2.4.15 부가 정보 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
78382 84831 **333** 44002 84818 83075 90710 91127=

운형 그룹 다음에 이어지는 ‘333’ 그룹은 정해진 관측시간 마다 별도로 보고되는 최고, 최저, 지중최저기온 등을 포함한다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.4.16 적설 그룹

```
108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
4E'sss
78382 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=
```

적설 그룹은 ‘4’를 지시자로 하며 눈이나 얼음이 지상에 깔려있을 때(E') 정규 관측에 포함하여 보고한다. 두 번째 숫자는 현재 눈이나 얼음이 덮여 있는 상태를 의미하며, 나머지 3개의 숫자는 적설량으로 반올림을 사용하여 1cm 정수 단위로(sss) 보고하는 것이다.

[표 2.21] 눈이나 얼음으로 덮여진 지표면 상대에 대한 코드 숫자

눈이나 얼음이 지표면에 존재하는 상태	코드 숫자 (E')
땅이 거의 대부분 얼음으로 덮여 있음.	0
단단하거나 젖은 눈(얼음 포함 여부와 무관)이 땅의 1/2 미만 덮음	1
단단하거나 젖은 눈(얼음 포함 여부와 무관)이 땅의 1/2 이상 덮음	2
평평하게 층을 이룬 딱딱하거나 젖은 눈이 땅을 완전히 덮음	3
평평하지 않게 층을 이룬 딱딱하거나 젖은 눈이 땅을 완전히 덮음	4
흩어지는 마른 눈이 땅의 1/2 미만을 덮음	5
흩어지는 마른 눈이 땅의 1/2 이상을 덮음	6
평평하게 층을 이룬 흩어지는 마른 눈이 땅을 완전히 덮음	7
평평하지 않게 층을 이룬 흩어지는 마른 눈이 땅을 완전히 덮음	8
눈이 땅을 완전히 덮고 있음	9

[표 2.22] 적설량 코드 숫자

코드 숫자 (sss)	적설량(cm)	코드 숫자 (sss)	적설량(cm)
997	0.5cm 미만	002	2
998	눈이 절반만 덮임	003	3
999	측정 불가능	004	4
001	1cm	etc.	등등

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

위의 전문에서 두 번째 숫자 ‘4’는 지표면에 불규칙하게 눈들이 붙어있거나, 젖은 눈이 지표면 전체를 덮고 있음을 의미하고, ‘002’는 적설의 깊이가 2cm라는 의미이다.

2.2.4.17 구름층 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
8NsCHsHs
78382 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

개별 구름 층들에 대한 정보는 지시자 ‘8’로 시작하는 그룹에 포함되어 있다. 그러나 종관기상 전문에 포함하기 위해서는 다음과 같은 조건에 도달하는 의미 있는 구름 층이어야 한다.

- 1) 운량과 무관하게 가장 낮은 층
- 2) 3옥타 이상의 다음 낮은 층
- 3) 5옥타 이상의 다음 낮은 층
- 4) 적란운 구름

즉 층이 높을수록 오름차순으로 더해 나가는 것이다.

‘8’그룹의 두 번째 숫자는 각 층에서의 운량을 옥타로 표현하며 표현방법은 2.2.2.7의 운량표시 방법과 같다.

세 번째 숫자는 아래 표에서 보이는 것과 같이 구름 층을 형성하고 있는 운형을 의미한다.

[표 2.23] 주요 운형에 대한 코드 숫자

코드 숫자	운형	코드 숫자	운형
0	권운(Cirrus)	5	난층운(Nimbostratus)
1	권적운(Cirrocumulus)	6	층적운(Stratocumulus)
2	권층운(Cirrostratus)	7	층운(Stratus)
3	고적운(Alto cumulus)	8	적운(Cumulus)
4	고층운(Altostratus)	9	적란운(Cumulonimbus)

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

네 번째와 다섯 번째 숫자는 지상으로부터 구름 하부까지의 높이를 피트(feet) 단위로 표시한 것이다.

지상에서 5,000ft까지의 운고는 100ft 단위로 보고하고 뒤에 0을 하나 생략하고 보고한다.

5,000ft에서 30,000ft까지는 1,000ft 단위로 보고하고 1,000은 보고시에 제외한다. 다만, 하층운과의 혼돈을 방지하기 위해 혼돈을 방지하기 위해 남은 숫자에 50을 더한다. 예를 들어 25,000ft의 운고는 1,000을 생략하고 25를 남긴 다음 50을 더해서 75로 보고한다.

30,000ft 이상의 운고는 5,000ft 단위로 70,000ft까지 81에서 88까지 사용하여 보고하고 그 이상의 구름은 89로 통일한다. 만약 운저가 40,000ft인 구름층은 82가 되는 것이다.

[표 2.24] 운고 보고 코드 숫자

코드 숫자 (hshs)	운고(ft)	코드 숫자 (hshs)	운고(ft)	코드 숫자 (hshs)	운고(ft)
0	100 미만	50	5,000	80	30,000
1	100	56	6,000	81	35,000
2	200	57	7,000	82	40,000
etc.	등등	etc.	등등	83	45,000
10	1,000	60	10,000	84	50,000
11	1,100	61	11,000	85	55,000
12	1,200	62	12,000	etc.	등등
etc.	등등	etc	등등	89	70,000 이상

코드에서 51에서 55는 사용하지 않는다.

위의 전문에서 ‘8’ 그룹이 2개인 것은 주요 구름층이 2개라는 것을 의미하고, ‘84818’은 적운(CU) 4옥타가 1,800ft에 형성되어 있다는 의미이고, ‘83075’는 권운(CI) 3옥타가 25,000ft에 형성되어 있다는 의미이다.

2.2 기상 관측 전문 코드 해석

2.2.4.18 부가 정보 그룹

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901
 tt ff
 78382 84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=

'9'를 지시자로 하는 그룹은 다양한 부가적인 기상관련 정보를 송신하는데 사용된다. 아래 표 2.25는 많이 사용되는 부가 정보 그룹을 나타낸 것이다. 부가 정보를 송신할 때는 강도와 방향뿐만 아니라 그 현상이 시작된 시각과 끝나는 시각을 포함하는 것이 좋다.

[표 2.25] 가장 많이 사용되는 부가정보 그룹

924SV _s	S = 바다 상태 V _s = 바다 시정
926S _o i _o	S _o = 흰서리 i _o = 강도
932RR	RR = 우박 최대 반지름
96147	시정 60 ~ 90m
96148	시정 30 ~ 59m
96149	시정 30m 미만

'9'를 지시자로 하는 그룹은 다양한 부가적인 기상관련 정보를 송신하는데 사용된다. 아래 표 21은 많이 사용되는 부가 정보 그룹을 나타낸 것이다. 부가 정보를 송신할 때는 강도와 방향뿐만 아니라 그 현상이 시작된 시각과 끝나는 시각을 포함하는 것이 좋다.

2.3 현재기상 찾기 순서도

2.3.1 개요

현재기상 찾기 순서도를 활용하는 이유는 경험이 없는 새로운 관측자가 빠르고 쉽게 해당되는 기상현상에 대한 코드 숫자를 찾을 수 있도록 하기 위함이다.

2.3.2 순서도의 활용

등근 사각형 안에 질문이 있다. 이 질문의 답이 “예” 혹은 “아니오”를 결정한 후 타원형 속의 지시에 따라 이동하면 된다. 등근 원 속에는 숫자들이 들어있는데 이것이 바로 코드 숫자이다.

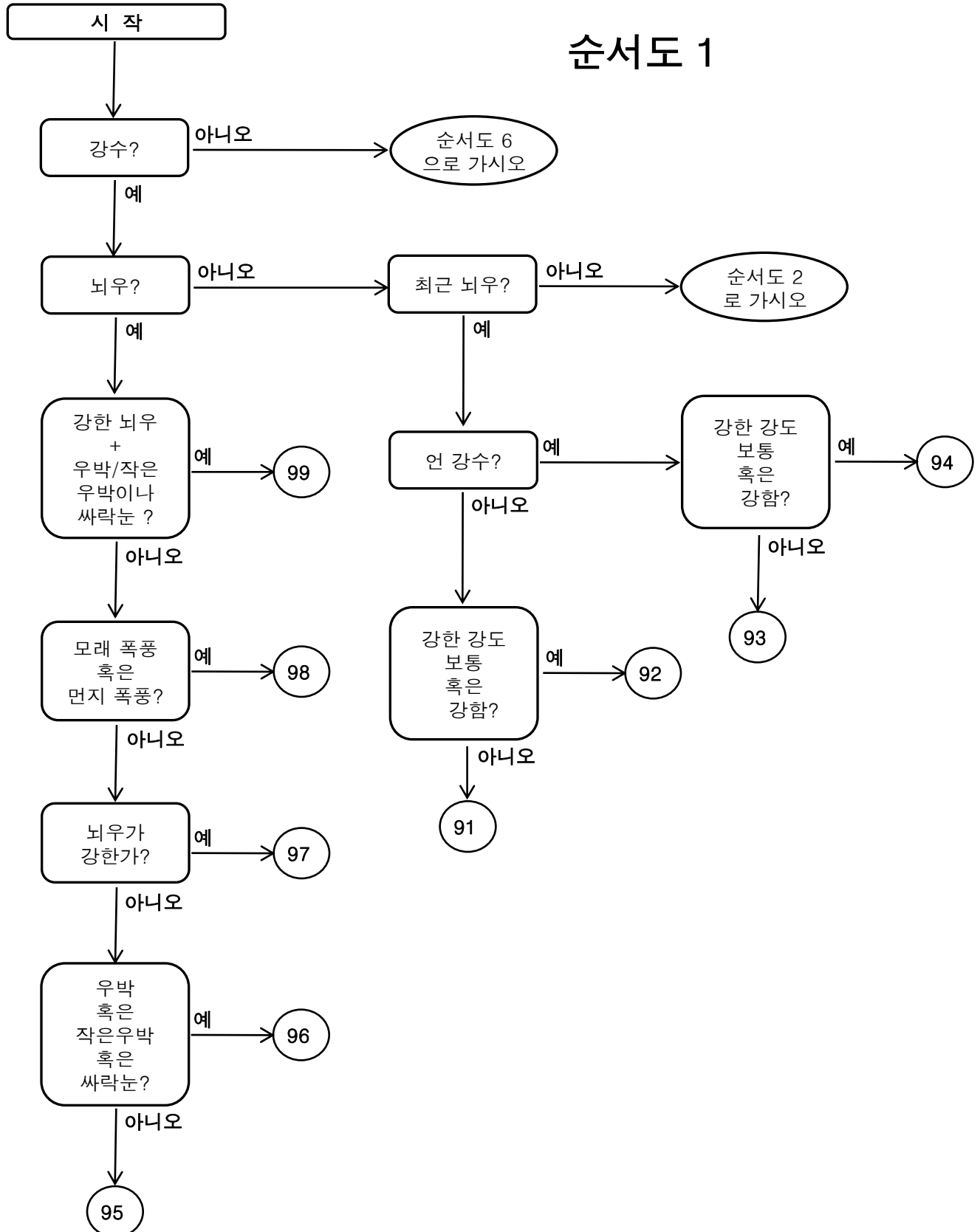
항상 순서도 1에서 시작하여 다음 순서도들도 처음부터 따라가면 된다. 순서도의 화살표를 따라 코드 숫자가 나올 때 까지 진행한다.

만약 질문에 바르게 대답을 하면 바른 코드 숫자를 찾을 것이다. 만약 순서도 속의 질문을 이해하지 못하면 순서도 다음 페이지에 딸린 풀이된 질문을 확인할 것을 권한다.

2.3.3 현재기상 찾기 순서도

다음 페이지에서부터 나오는 6개의 순서도와 질문들을 참고한다.

2.3 현재기상 찾기 순서도



2.3 현재기상 찾기 순서도

강수?

○ 관측 시각에 관측소에서 강수가 발생하고 있는가?

뇌우?

○ 관측 시각에 관측소에서 뇌우가 발생하고 있는가?

최근 뇌우?

○ 최근에 관측소에서 뇌우가 발생하였는가?

강한 뇌우 그리고 우박 혹은 작은 우박 혹은 싸락눈?

○ 2개의 다른 질문에 답해야 하고, 2개의 답 모두 “예”가 될 때 전체적으로 “예”의 방향으로 진행할 수 있다. 첫 번째, 뇌우가 강한 상태인가?, 두 번째, 동반된 강수에 우박이나 작은 우박 혹은 싸락눈이 있거나 이것들이 섞여서 내리고 있는가?

언 강수?

○ 언(고체) 강수가 존재하고 있는가?

강수 강도 보통 혹은 강함?

○ 강수 강도가 비소낙성 강수의 정의와 부합하는 보통 혹은 강한 정도인가?(현재 혹은 최근에 발생한 뇌우에 동반된 강수는 강도를 나누는 목적상 비소낙성 강수로 간주된다)

모래 폭풍 혹은 먼지 폭풍?

○ 관측 시각에 관측소에서 모래 폭풍 혹은 먼지 폭풍이 발생하고 있는가?

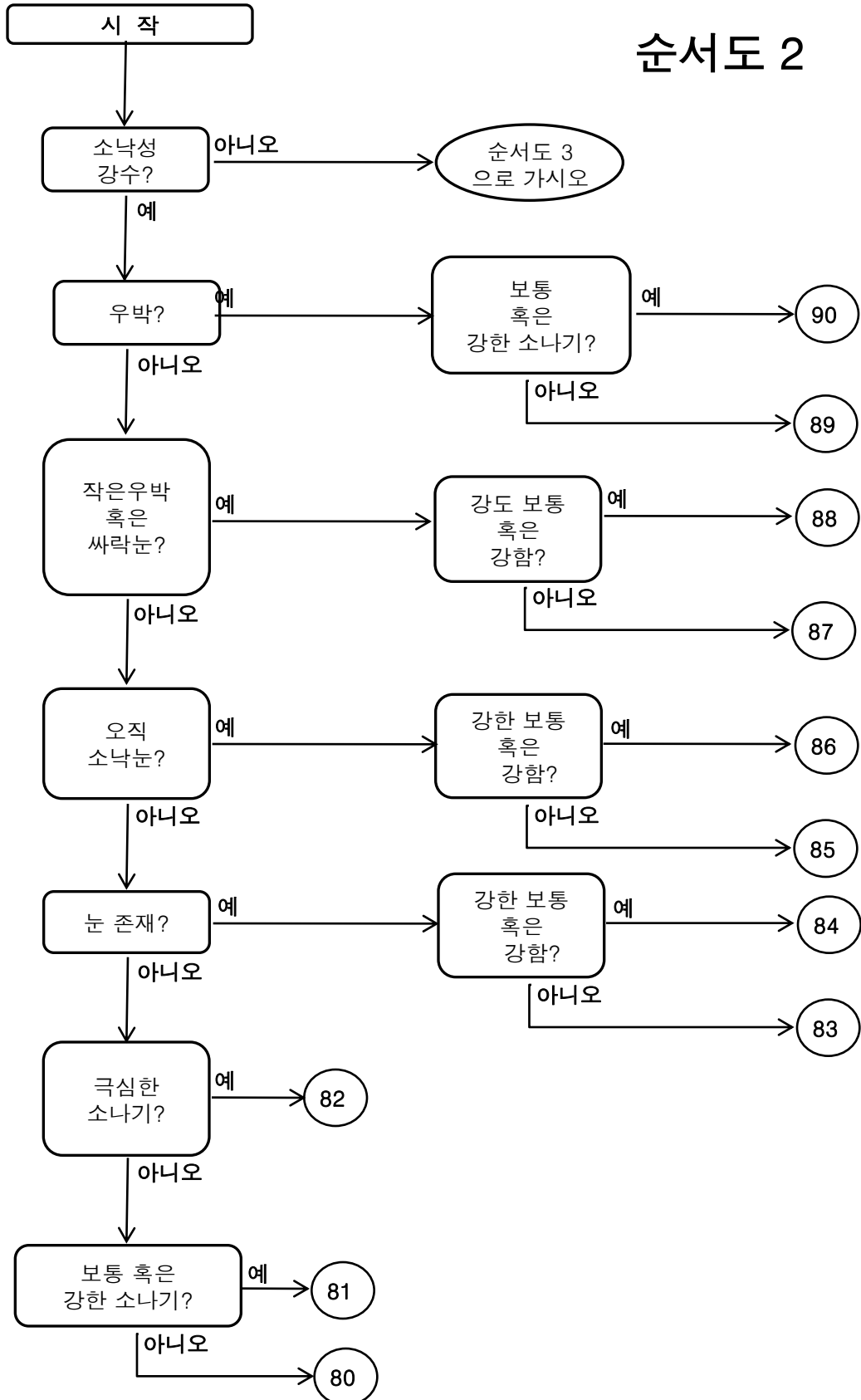
뇌우가 강한가?

○ 뇌우의 강도가 강한가?

우박 혹은 작은 우박 혹은 싸락눈?

○ 강수에 우박이나 작은 우박, 싸락눈, 혹은 이것들이 섞여서 내리고 있는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도



2.3 현재기상 찾기 순서도

소낙성 강수?

○ 강수의 형태가 소낙성인가?

우박?

○ 강수에 우박이 동반되어 있는가?(여기에서 작은 우박이나 싸락눈은 포함하지 않는다.)

보통 혹은 강한 소나기?

○ 강수의 강도가 소낙성 강수의 강도를 정의하는 기준에 따라 보통 혹은 강한 강도를 가지고 있는가?

작은 우박 혹은 싸락눈?

○ 강수에 작은 우박 혹은 싸락눈이 동반되어 있는가?

눈 존재?

○ 강수에 눈이 동반되어 있는가?

오직 소낙눈?

○ 강수가 전체적으로 눈으로만 내리는가?

모래 폭풍 혹은 먼지 폭풍?

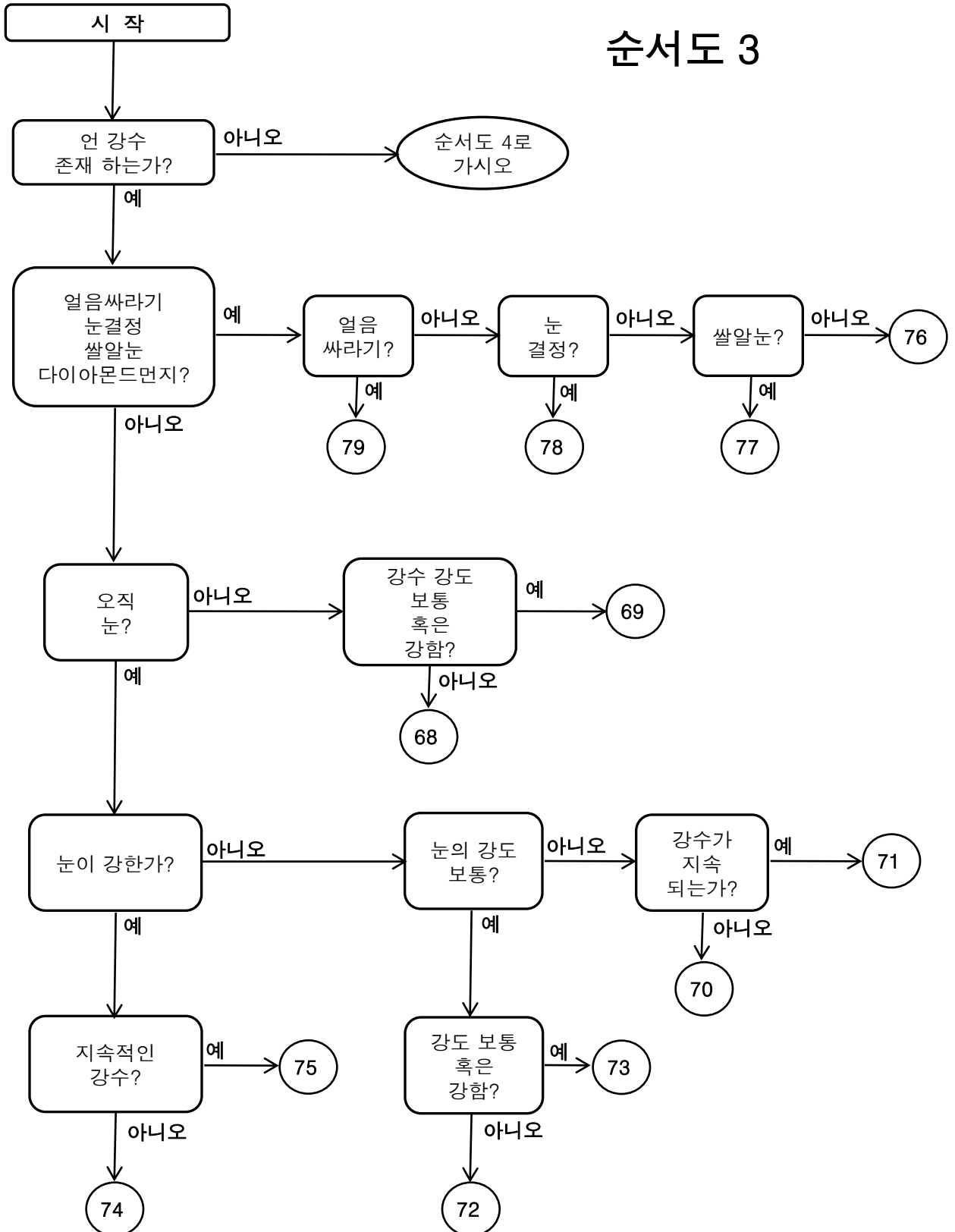
○ 관측 시각에 관측소에서 모래 폭풍 혹은 먼지 폭풍이 발생하고 있는가?

극심한 소나기?

○ 소낙성 강수가 비로만 구성되어 있다. 소나기의 정의에서 정한 극심한 정도인가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 3



2.3 현재기상 찾기 순서도

언 강수가 존재하는가?

○ 언(고체) 강수가 존재하고 있는가?

얼음 싸라기, 눈결정, 싸락눈, 쌀알눈, 다이아몬드 먼지?

○ 강수 중에 얼음 싸라기, 눈결정, 싸락눈, 쌀알눈, 다이아몬드 먼지 등이 단독으로 존재하거나 섞여있는가?

얼음 싸라기?

○ 강수에 얼음 싸라기가 동반되어 있는가?

눈 결정?

○ 강수에 얼음 싸라기가 동반되어 있는가?

쌀알눈?

○ 강수에 쌀알눈이 동반되어 있는가?

오직 눈?

○ 강수가 전체적으로 눈으로 구성되어 있는가?

강수강도 보통 혹은 강함?

○ 강수가 눈과 비/이슬비가 동반되어 있고, 강수의 강도가 보통 혹은 강한 정도인가?

눈이 강한가?

○ 강수가 눈으로 내리는가? 눈의 강도는 강한가?

눈의 강도 보통?

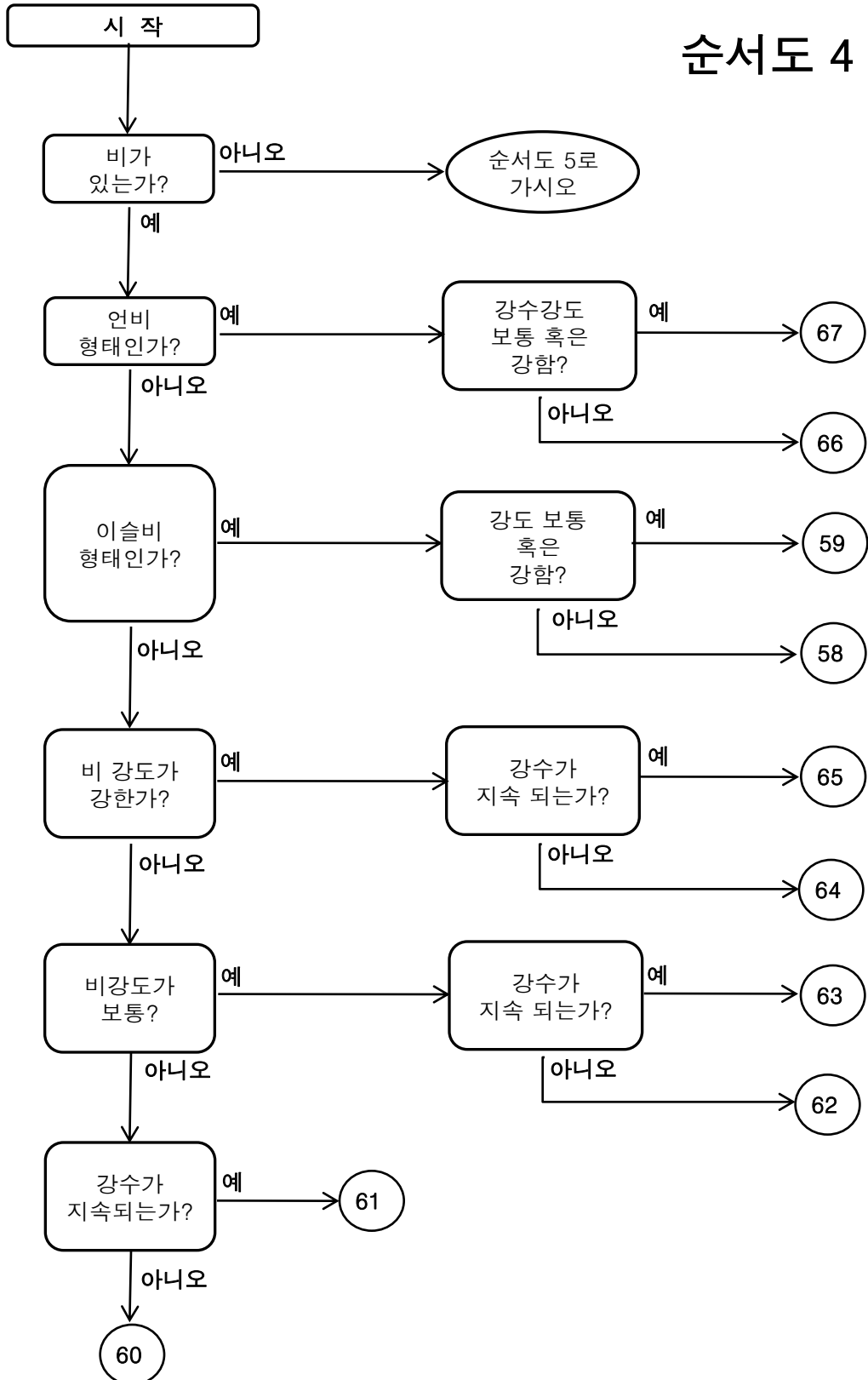
○ 눈의 강도는 보통인가?

강수가 지속되는가?

○ 강수가 지속성으로 내리는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 4



2.3 현재기상 찾기 순서도

비가 있는가?

○ 강수에 비가 포함되어 있는가?

연비 형태인가?

○ 비나 이슬비가 지상에 도달하면 얼어 붙는가?

이슬비가 있는가?

○ 강수에 이슬비가 포함되어 있는가?

비 강도가 강한가?

○ 강수의 형태가 비인가? 비가 강하게 내리는가?

비 강도가 보통인가?

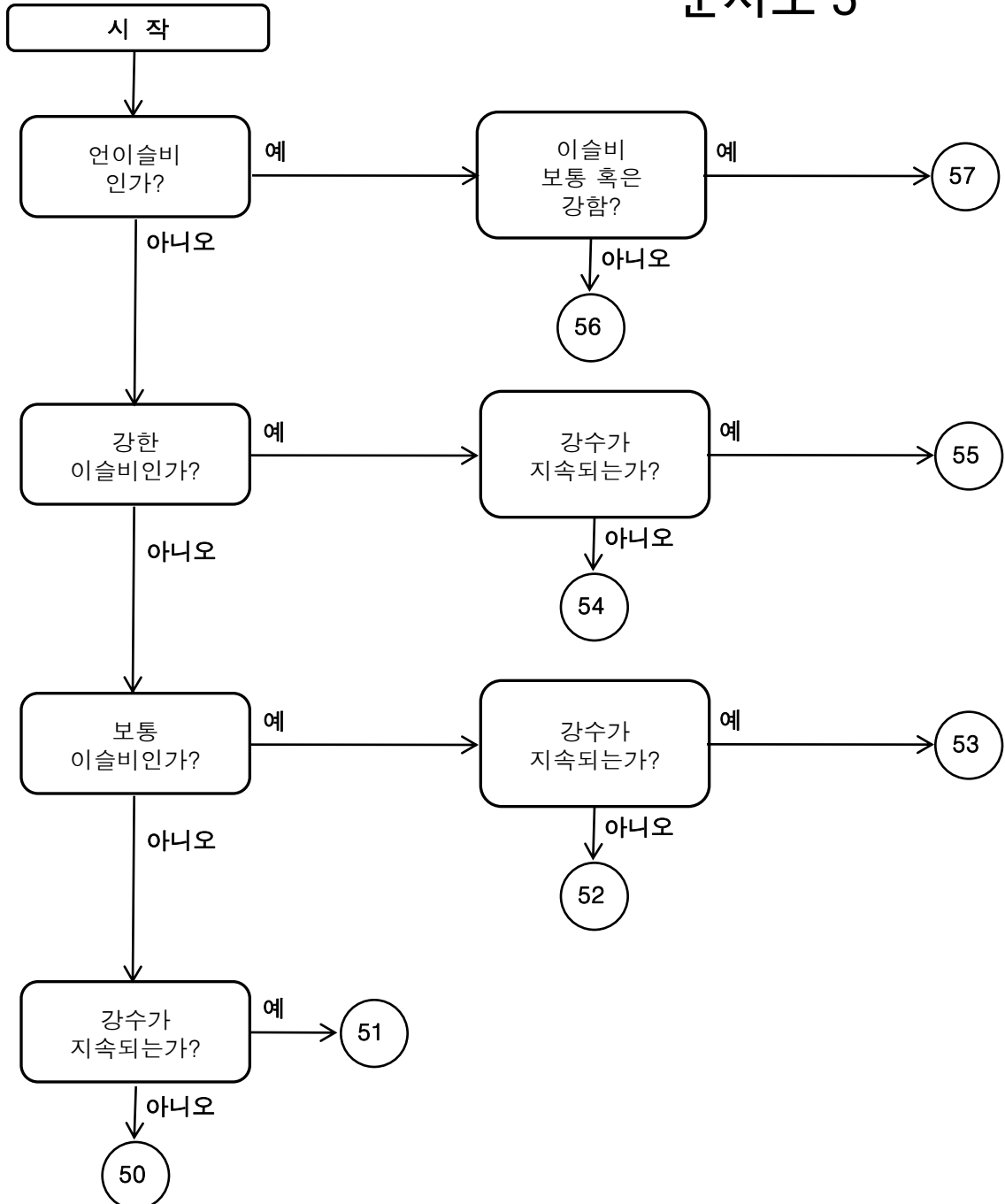
○ 강수의 강도가 보통이거나 강한가?

강수가 지속되는가?

○ 강수가 지속성으로 내리는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 5



2.3 현재기상 찾기 순서도

언이슬비인가?

- 강수가 이슬비 형태로 내리면서, 이슬비가 지상에 도달하면 얼어 붙는가?

이슬비 강도 보통 혹은 강함?

- 이슬비의 강도가 보통이거나 강한가?

이슬비 강도가 강한가?

- 이슬비가 강한가?

이슬비 강도가 보통인가?

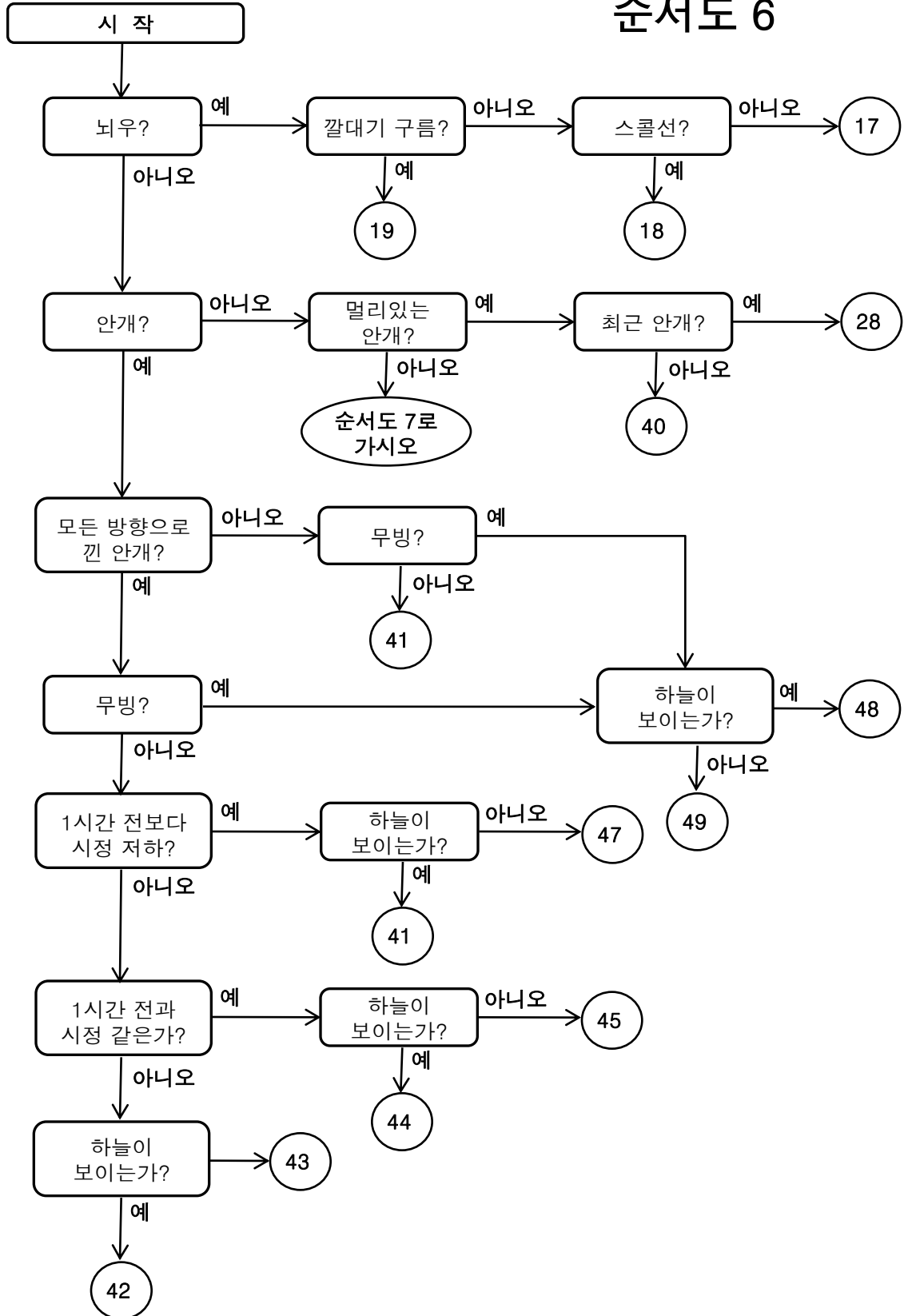
- 이슬비 강도가 보통인가?

강수가 지속되는가?

- 강수가 지속성으로 내리는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 6



2.3 현재기상 찾기 순서도

뇌우?

○ 관측 시각에 관측소에서 뇌우가 발생하고 있는가?

칼때기 구름?

○ 관측 시각에 관측소나 가시권 내에서 칼때기 구름이 발생하고 있거나, 지난 시간에 관측소나 가시권 내에서 칼때기 구름이 발생하였는가?

스콜선?

○ 관측시각에 관측소에서 스콜선이 발생하고 있거나, 지난 시간에 관측소에서 스콜선이 발생하였는가?

안개?

○ 관측 시각에 관측소에서 안개나 얼음 안개가 발생하고 있는가? (순서도에 있는 안개에는 얼음 안개도 포함되어야 한다)

멀리 있는 안개?

○ 안개 혹은 얼음 안개가 관측시각에 관측소 밖의 가시권 내에서 발생하고 있는가?

최근 안개?

○ 지난 시간에 관측소에 안개 혹은 얼음 안개가 발생하였으나 현재 관측 시각에는 발생하지 않고 있는가?

모든 방향으로 낀 안개?

○ 관측소 주변으로 전 방향에 걸쳐서 안개가 끼어 있는가?

무빙(Rime)?

○ 관측시각에 관측소에서 안개가 내려 앉아 무빙으로 변해 있는가?

1시간 전보다 시정 저하?

○ 안개로 인해 현재 시정이 1시간 전에 비해서 떨어져있는가?

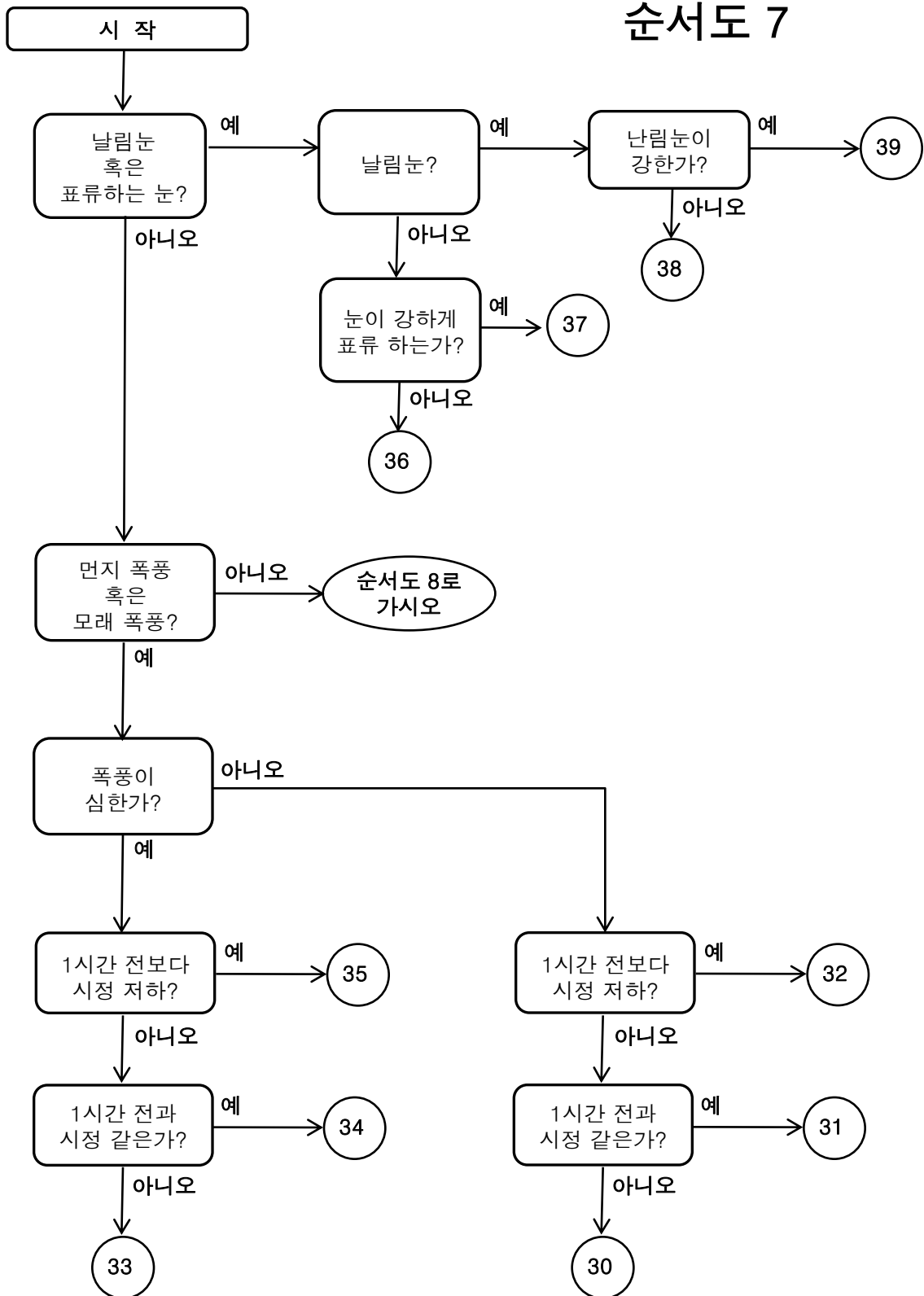
1시간 전과 시정 같은가?

○ 안개로 인한 현재 시정이 1시간 전과 동일한 수준을 유지하고 있는가?

하늘이 보이는가?

○ 관측시각에 관측소에서 안개를 뚫고 하늘이 보이는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도



2.3 현재기상 찾기 순서도

날림눈 혹은 표류하는 눈?

- 관측 시각에 관측소에서 쌓인 눈이 높게 날리는 날림눈이나 지표 근처를 떠다니며 표류하고 있는 눈이 발생하고 있는가?

날림눈?

- 관측 시각에 관측소에서 날림눈이 발생하고 있는가?

날림눈이 강한가

- 날림눈이 강해서 시정 저하가 있을 정도인가?

눈이 강하게 표류하는가?

- 표류하는 눈이 강하게 날리고 있는가?

먼지 폭풍 혹은 모래 폭풍?

- 관측 시각에 관측소에서 먼지 폭풍이나 모래 폭풍이 발생하고 있는가?

폭풍이 심한가?

- 먼지 폭풍과 모래 폭풍이 심한가?

1시간 전보다 시정 저하?

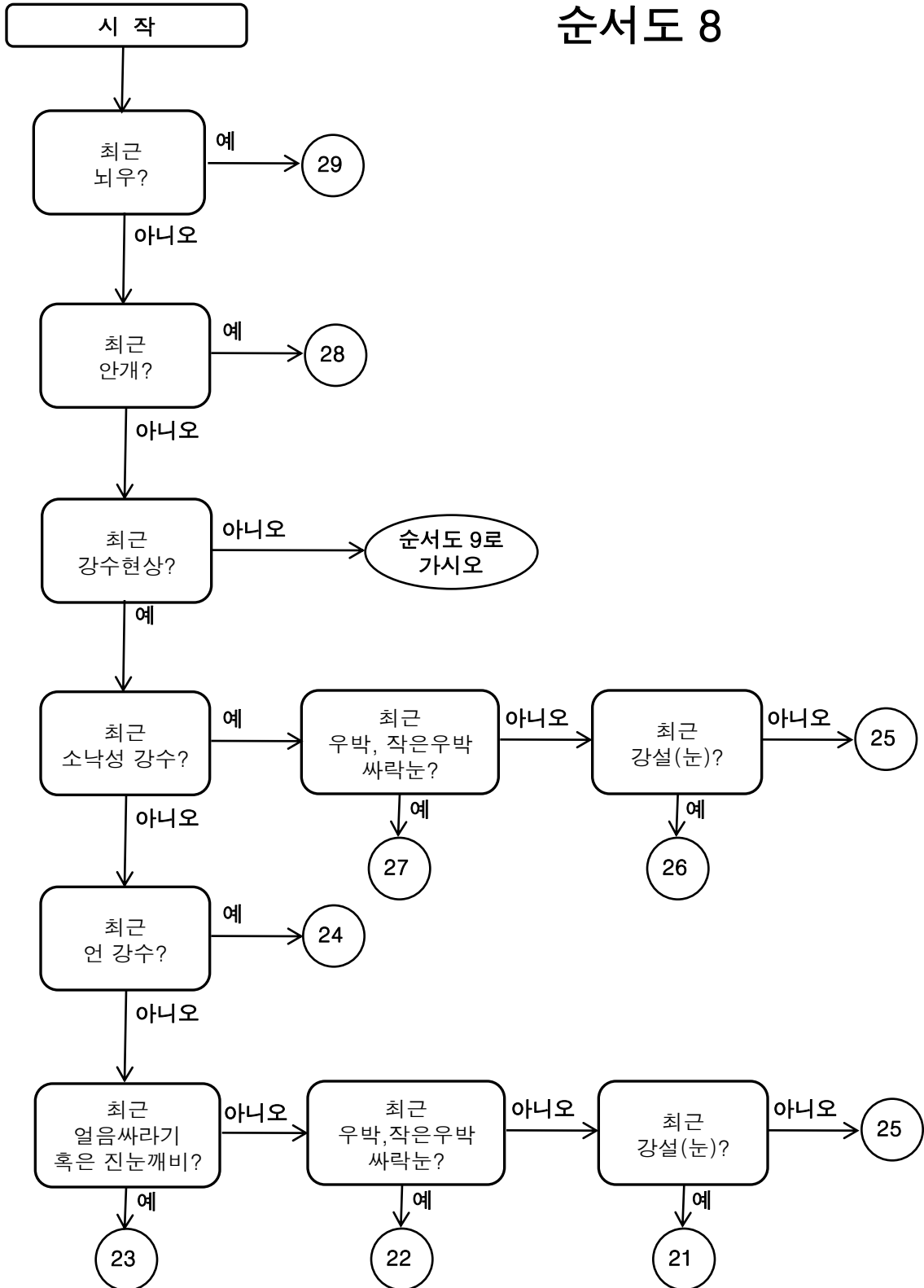
- 안개로 인해 현재 시정이 1시간 전에 비해서 떨어져있는가?

1시간 전과 시정 같은가?

- 안개로 인한 현재 시정이 1시간 전과 동일한 수준을 유지하고 있는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 8



2.3 현재기상 찾기 순서도

최근 뇌우?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 뇌우가 발생하였는가?

최근 안개?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 안개나 얼음안개가 발생하였는가?

최근 강수?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 강수가 발생하였는가?

최근 소낙성 강수?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 소낙성 강수(들)가 발생하였는가?

최근 우박, 작은 우박, 혹은 싸락눈?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 발생한 소나기에 우박, 작은 우박, 혹은 싸락눈이 포함되어 있었는가?

최근 눈?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 발생한 소나기에 눈이 포함되어 있었는가?

최근 얼 강수?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 얼 강수가 발생하였는가?

최근 얼음싸라기 혹은 진눈깨비?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 내린 강수에 얼음싸라기, 비와 눈 혹은 비와 이슬비가 섞인 진눈깨비가 내렸는가?

최근 강설(눈)?

○ 안개로 인해 현재 시정이 1 시간 전에 비해서 떨어져있는가?

1시간 전과 시정 같은가?

○ 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 내린 강수가 전체적으로 눈으로 이루어져 있었는가?

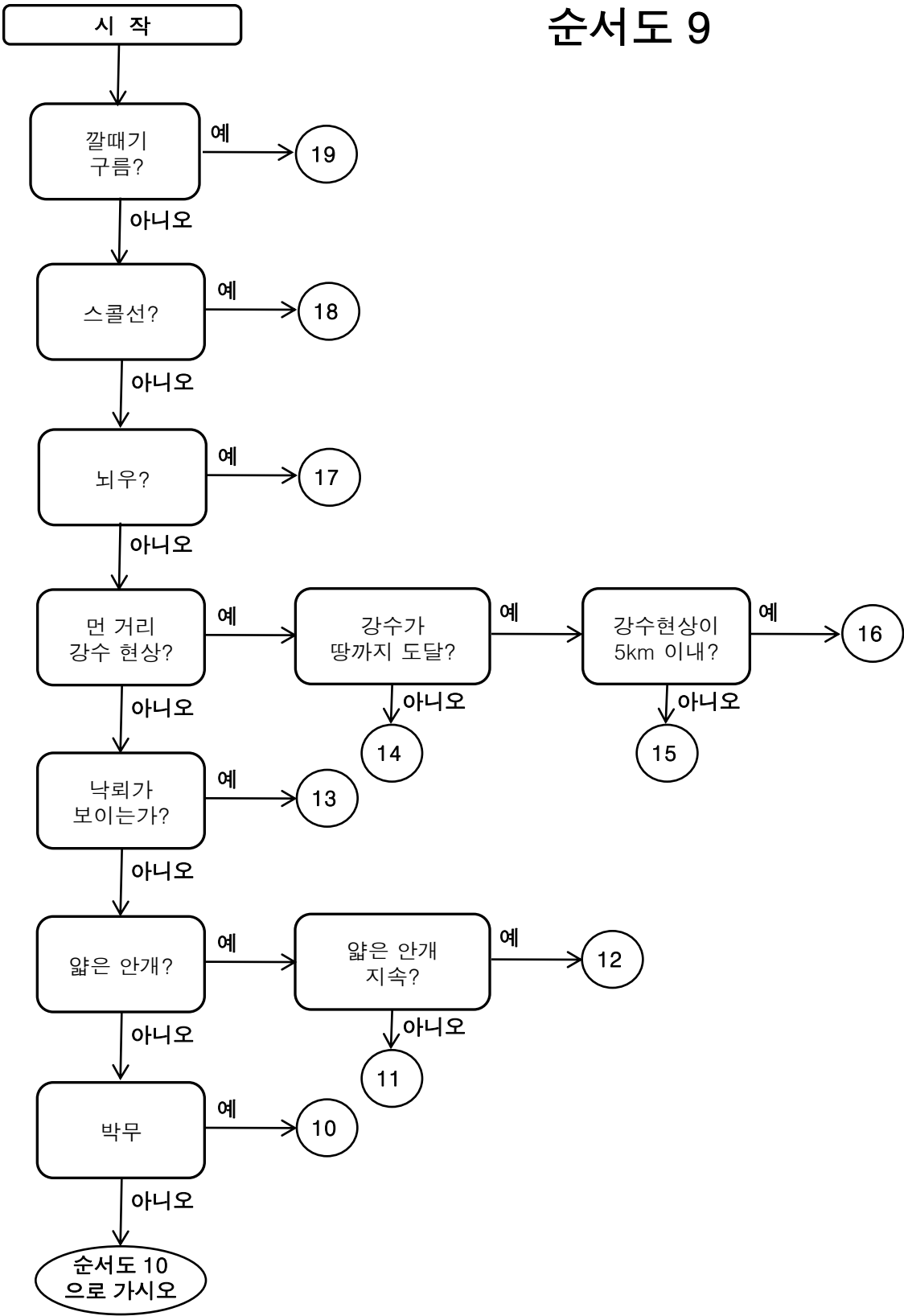
2.3 현재기상 찾기 순서도

최근 비?

- 관측시각에는 아니지만 최근에 관측소에서 내린 강수에 비가 포함되어 있는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 9



2.3 현재기상 찾기 순서도

칼때기 구름?

- 관측 시각에 관측소나 가시권 내에서 칼때기 구름이 발생하고 있거나, 지난 시간에 관측소나 가시권 내에서 칼때기 구름이 발생하였는가?

스콜선?

- 관측시각에 관측소에서 스콜선이 발생하고 있거나, 지난 시간에 관측소에서 스콜선이 발생하였는가?

멀리 있는 강수?

- 강수가 관측시각에 관측소 밖의 가시권 내에서 발생하고 있는가? (가시권내의 강수는 하층운에서 내리는 경우에만 보고한다.)

강수가 땅까지 도달?

- 멀리 있는 강수가 지상에 까지 도달하고 있는가?

강수현상이 5km 이내?

- 멀리 있는 강수가 관측소로부터 5km 이내에서 발생하고 있는가?

낙뢰가 보이는가?

- 관측 시각에 관측소에서 낙뢰가 보이는가? (천둥소리는 들리지 않음)

얇은 안개?

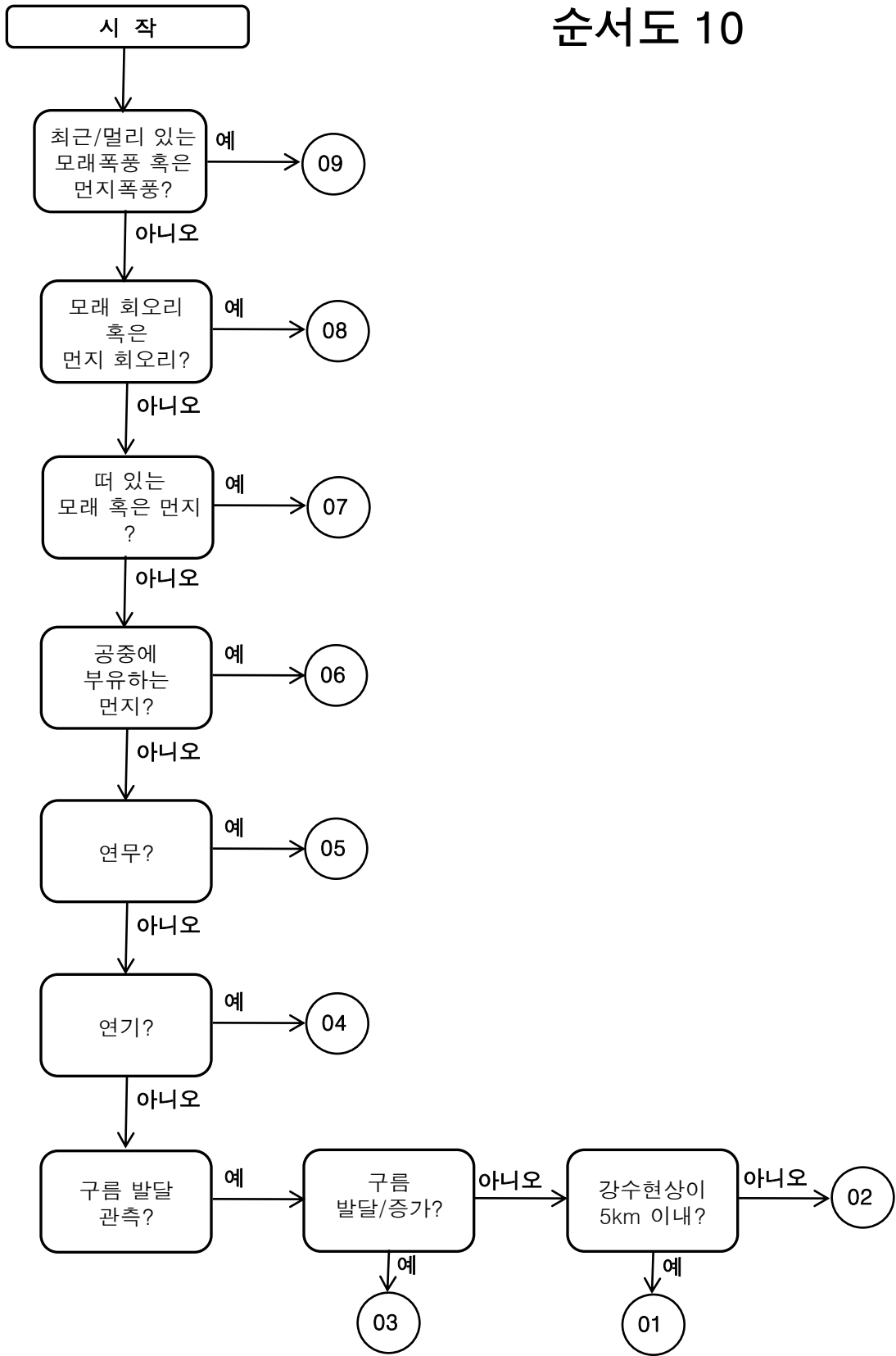
- 관측 시각에 관측소에서 얇은 안개가 발생하고 있는가?

박무?

- 관측 시각에 관측소에서 박무가 발생하고 있는가?

2.3 현재기상 찾기 순서도

순서도 10



2.3 현재기상 찾기 순서도

최근/멀리 있는 모래폭풍 혹은 먼지폭풍?

- 멀리 있는 모래 폭풍/먼지 폭풍이 관측 시각에 관측소에서 나타났거나, 최근 모래 폭풍/먼지 폭풍이 발생하였는가? (현재 관측 시각에는 관측소에서는 모래 폭풍이나 먼지 폭풍이 발생하지 않고 있음)

모래 회오리 혹은 먼지 회오리?

- 잘 발달된 모래/먼지 회오리가 관측소나 관측소 근처에서 관측 시각 발생하고 있거나, 지난 시각에 발생하였는가?

떠 있는 먼지 혹은 모래?

- 떠 있는 먼지 혹은 모래가 관측소나 관측소 근처에서 관측 시각 발생하고 있는가?

공중에 부유하는 먼지?

- 광범위한 범위에서 공중에 떠 있는 먼지가 관측소나 관측소 근처에서 관측 시각 발생하고 있는가? (이 현상은 강풍과는 관련이 없다.)

연무?

- 관측 시각에 관측소에서 연무가 발생하고 있는가?

연기?

- 관측 시각에 관측소에서 연기가 발생하고 있는가?

구름 발달 관측?

- 지난 시간 동안 구름의 발달이 관측되었는가?

구름 발달/증가?

- 구름의 운량이 점진적으로 증가하고/하거나, 지난 시간 동안 발달하였는가?

구름 쇠퇴/감소?

- 구름의 운량이 점진적으로 감소하고/하거나, 지난 시간 동안 쇠퇴하였는가?

연습문제

1. 구름이 생성되는 과정에서 상승운동을 일으키는 요인들을 열거하시오
2. 하층운의 종류와 그들의 운저 고도를 적으시오.
3. 중층운의 종류와 그들의 운저 고도를 적으시오
4. 상층운의 종류와 그들의 운저 고도를 적으시오
5. 종관기상 코드의 그룹과 그 그룹의 지시자를 기술하시오.
6. 종관기상 코드에서 현재기상 코드값들이 나타내는 현상을 기술하시오.

3장. 일기도 기입 모형

3.1 일기도 기입 모형 개요

3.2 총 운량

3.3 바람

3.4 시정

3.5 온도

3.6 기압

3.7 현재 기상

3.8 과거 기상

3.9 운형

3.10 1시간 최대풍 자료

3.11 적설량

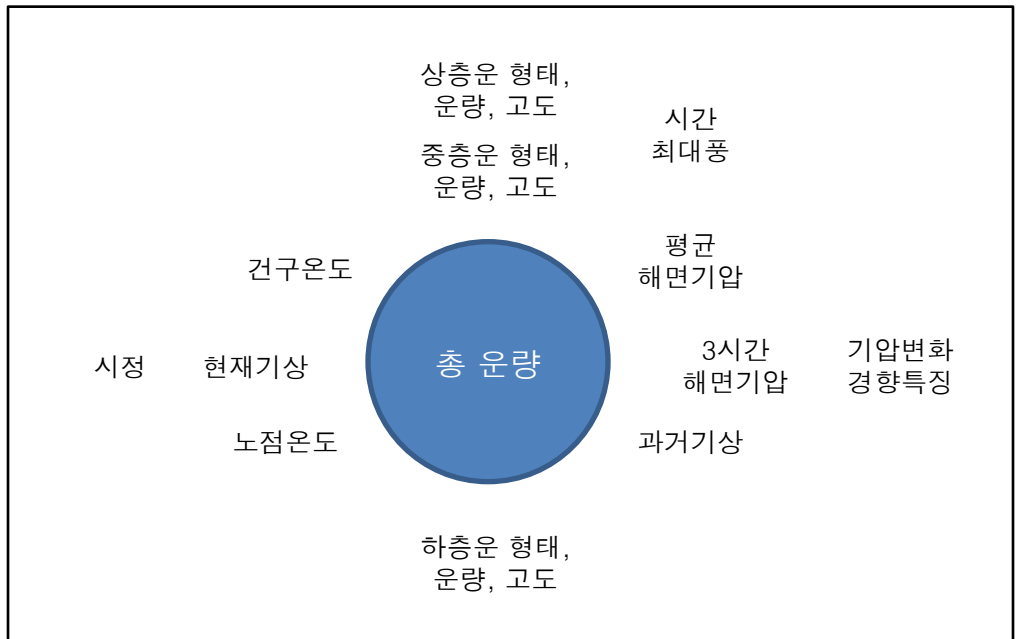
3.12 METAR 전문

학습목표

- 지상일기도의 기입 모형에 대해서 이해한다.
- 종관 관측 전문을 토대로 기상 요소별 일기도 기입 방법에 대해서 이해한다.

3.1 일기도 기입 모형 개요

기상 예보관들에 있어서 가장 기본적인 ‘직업 도구(Tools of the Trade)’는 높은 품질의 관측 자료이다. 좋은 관측 자료는 곧 좋은 예보의 시작이기 때문이다. 종관관측 자료들은 일기도에 기입되어 주어진 시간에 특정한 장소에서의 기상 조건을 판단할 수 있도록 한다. 관측된 각 요소들은 바람을 제외하고는 ‘지점원(Station Circle)’ 주변의 정해진 위치에 기입되어 다른 지점들과의 비교를 통해 일기도 상에서 기상 조건들을 쉽게 확인할 수 있도록 한다(그림 3.1 참조).



[그림 3.1] 기상요소들의 지점원 주변 정해진 위와 설명

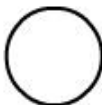
지상 기상관측 자료를 기입하고 분석함에 있어서 국가마다 기관마다 약간씩 일기도 기입방법에 작은 차이들이 있다는 사실을 인지하고 있어야 한다. 보통의 경우 관측 자료를 기입할 때는 흑색과 적색 2가지 색깔을 이용하게 되는데, 다음 자료들은 적색으로 표시하는 것이 보통이다.

- 시정
- 노점 온도
- 기압 하강 경향과 양
- 과거 기상
- 상층운 양, 고도, 형태 기호

3.2 총 운량

하늘을 덮고 있는 구름의 총 운량은 ‘8’을 뜻하는 옥타(Octa)를 사용하고
지점원 속에 표시한다. 표 3.1은 총 운량과 기입하는 기호이다.

[표 3.1] 지점원 내에 기입하는 총 운량 기호들

운량(옥타)	기입 기호	운량(옥타)	기입 기호
0 (구름 없음)		5	
1		6	
2		7	
3		8	
4		9 (하늘 차폐)	

아래의 종관 관측 전문의 해석은 2장에서 다루었으므로 3장에서는 종관 관
측 전문의 각 그룹들이 어떻게 일기도에 기입되어지는지를 살펴보기로 하
겠다.

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=



[그림 3.2] 총 운량

위의 전문에서 총 운량이 5옥타이므로 기입 기호는 위의 그림과 같다.

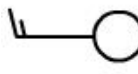
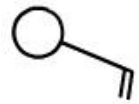
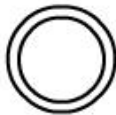
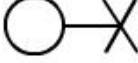
3.3 바람

지상 바람의 풍향은 바람에 따라 화살이 날아오는 형태로 지점원 위에 나타낸다. 즉, 바람이 불어오는 방향에서 화살이 원에 닿는 형태로 기입한다. 방향은 진북(True North)을 360°로 하여 오른쪽 방향으로 가면서 점차 증가하는 방식을 사용하며, 풍속은 화살에 붙어있는 ‘깃털(Feather)’의 숫자와 길이로 나타낸다.

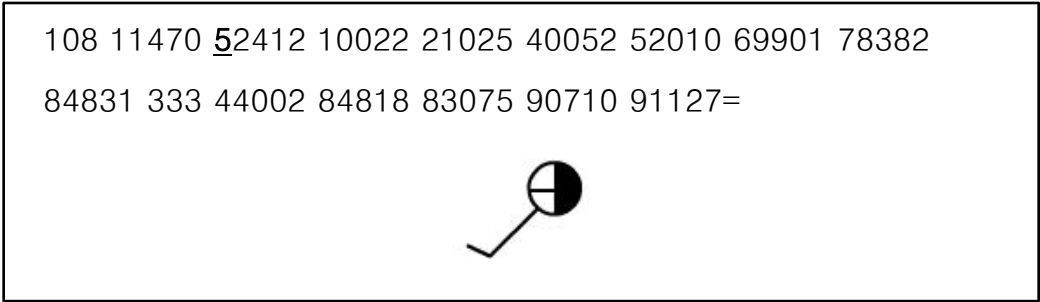
5kts - 깃털 절반
10kts - 깃털 하나
50kts - 삼각형

풍속은 5kts에 가까운 값으로 기입한다. 5kts와 10kts가 헛갈리는 것을 방지하기 위해 5kts는 화살의 끝에서 조금 안쪽으로 당겨서 기입하고 10kts는 화살의 끝에 기입한다. 풍향은 기록되어 있으나 풍속 깃털이 없는 것은 풍속이 3kts 미만이라는 뜻이다(표 3.2 참조).

[표 3.2] 기입된 풍향 풍속 예

기입 기호						
풍향	180°	330°	050°	270°	120°	360°
기입 풍속	2	5	10	15	20	50
관측 풍속	1~2	3~7	8~12	13~17	18~22	48~52
기입 기호						
풍향	250°	Calm	Variable	090°	모름	모름
기입 풍속	55	Calm	5	모름	ff 숫자	모름
관측 풍속	53~57	Calm	3~7	모름	ff 숫자	모름

3.3 바람



[그림 3.3] 바람

3.4 시정

시정 값은 지점원의 9시 방향, ‘현재 기상’의 좌측에 2자리 숫자로 기입한다. 만약 현재 기상에 대한 정보가 없으면, 시정을 지점원 가짜이에 기입한다.

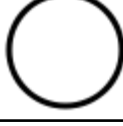
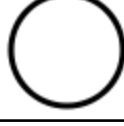
- 100m에서 5000m까지의 시정은 100m 단위로 뒤의 ‘00’을 제거하고 기입한다. 예를 들어 시정 3,400m는 ‘34’로 기입한다.
- 6km에서 30km까지의 시정은 반올림하여 km 단위로 표시하고 ‘50’을 더해 기입한다. 예를 들어 시정 15km는 ‘65’로 기입한다.
- 시정 30km 이상은 5km 단위로 70km까지 숫자 81~88까지 기입한다. 예를 들어 시정 50km는 ‘84’를 기입한다. 70km 이상의 시정은 코드 숫자 ‘89’를 입력한다(코드 숫자 90-99는 일반적으로는 육지에 위치한 관측소에서는 사용하지 않는다).
- 시정이 100m 미만일 경우에는 F**로 보고하고 여기에서 **는 가장 낮은 가시 거리를 의미한다.

F60 - 60 ~ 99m

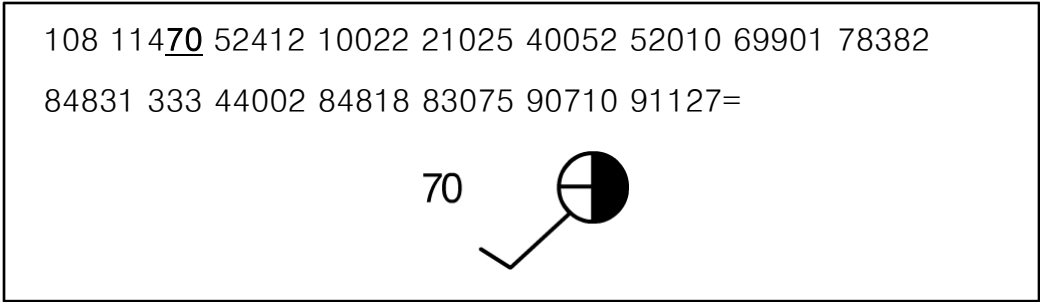
F30 - 30 ~ 59m

F00 - 30m 미만

[표 3.3] 지점원 내에 기입되는 총 운량 기호들

시 정	기입 기호	시 정	기입 기호
60m	06 	22km	72 
1,500m	15 	45km	83 
4,000m	40 	80km	89 
7km	57 	70m	F60 

3.4 시정



[그림 3.4] 시정

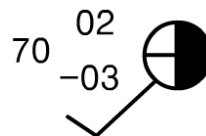
3.5 온도

2가지의 온도가 지점원 주변에 기입되는데, ‘건구온도’는 지점원 상단 왼쪽에, ‘노점 온도’는 지점원 하단 왼쪽에 기입한다. 온도는 0.1° 단위의 십씨 온도를 3자리 숫자로 기입하거나, 반올림해서 2 자리 정수로 기입하기도 한다. 반올림을 하는 경우에는 홀수는 0.5까지는 내려서 짝수는 0.5까지는 올려서 기입한다. 예를 들면 3.5°C 는 ‘03’으로 기입된다. ‘영하’는 온도 앞에 ‘음’의 부호를 붙인다.

【표 3.4】 지점원에 기입된 온도 요소들 예

건구 온도($^{\circ}\text{C}$)	노점 온도	기입된 값 (2자리 정수)	기입된 값 (0.1°C 단위 3자리)
+ 10.0 $^{\circ}\text{C}$	+ 5.4 $^{\circ}\text{C}$	10 	100 
		5	54
+ 21.5 $^{\circ}\text{C}$	+ 10.5 $^{\circ}\text{C}$	21 	215 
		11	105
-0.3 $^{\circ}\text{C}$	-2.0 $^{\circ}\text{C}$	-00 	-003 
		-02	-020
-3.5 $^{\circ}\text{C}$	-6.5 $^{\circ}\text{C}$	-30 	-035 
		-70	-065

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=



【그림 3.5】 건구 온도와 노점 온도 기입 예

3.6 기압

평균 해면기압으로 수정된 관측소 기압을 0.1hPa 단위로 3자리 숫자로 지점원 상단 우측에 기입한다.

해면기압의 아래 지점원의 3시 방향에 지난 3시간 동안의 기압변화량을 0.1hPa 단위로 표시하는데 일기도의 종류에 따라 3자리 숫자나 2자리 숫자로 나타낸다. 그리고 기압변화량의 오른쪽에는 기압변화 기호를 기입한다(표 3.5 참조).

[표 3.5] 기압변화 경향 기호 설명

코드 숫자 (a)	기압변화 기호	기압변화 경향 기호 설명	3시간 동안 기압변화
0		상승 후 하강	같거나 높음
1		상승 후 유지 혹은 급하게 상승 후 천천히 상승	높음
2		¹⁾ 지속적으로 상승 혹은 불연속적 상승	높음
3		하강 혹은 유지 후 상승 혹은 천천히 상승 후 급하게 상승	높음
4		유지	같음
5		하강 후 상승	같거나 낮음
6		하강 후 유지 혹은 급하게 하강 후 천천히 하강	낮음
7		²⁾ 하강	낮음
8		유지/증가 후 하강 혹은 천천히 하강 후 급하게 하강	낮음

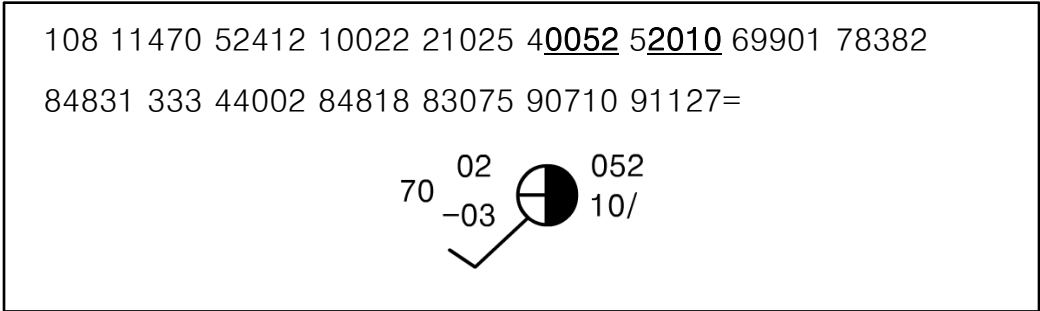
1) 2가지 색깔로 기입할 경우 이 기호는 기입하지 않고 변화량은 흑색으로 기입한다.

2) 2가지 색깔로 기입할 경우 이 기호는 기입하지 않고 변화량은 적색으로 기입한다.

3.6 기압

[표 3.6] 지점원에 기입된 온도 요소들 예

평균 해면기압	기압 경향 숫자	기압 변화량	기압 변화량	기입된 값 (0.1℃ 단위 3자리)
1005.7hPa	3	0.8	057 ○ 08✓	057 ○ 008✓
1030.0hPa	8	2.0	300 ○ 20^	300 ○ 020^
994.1hPa	4	0.0	941 ○ 00	941 ○ 000
980.0hPa	6	13.2	800 ○ 132\	800 ○ 132\



[그림 3.6] 기압 기입 예

3.7 현재 기상

현재 기상이란 관측소에서 관측하는 시각이나 관측 시각으로부터 한 시간 이내에 발생한 기상 현상들을 지점원 9시 방향에 시정의 오른쪽에 그 기호를 기입하는 것이다. 이때 이용되는 것이 100개의 ‘현재 기상’ 코드 기호인데 00, 01, 02, 03, 05 등 5 가지를 제외하고는 각 번호에 해당하는 기상현상을 가진다.

표 3.7은 현재 기상 코드 기호를 보여주고 있다. 표 3.7에서 종관기상 관측의 현재 기상 코드 숫자에 해당하는 기호를 찾을 때는 세로에 해당하는 것이 ‘10의 자리’ 숫자이고, 가로에 해당하는 것이 ‘1의 자리’ 숫자이다. 예를 들어 ♀는 종관기상 관측의 현재 기상 코드가 ‘63’에 해당되는 것이다.

일반적으로 강수의 경우에는 숫자가 높을수록 더 강하고 지속성이 강함을 의미한다. 예를 들어 ●는 단속적인 약한 이슬비를, ♀는 지속적인 강한 이슬비를 나타낸다.

3.7 현재 기상

[표 3.7] 현재 기상 코드 기호 전체 목록

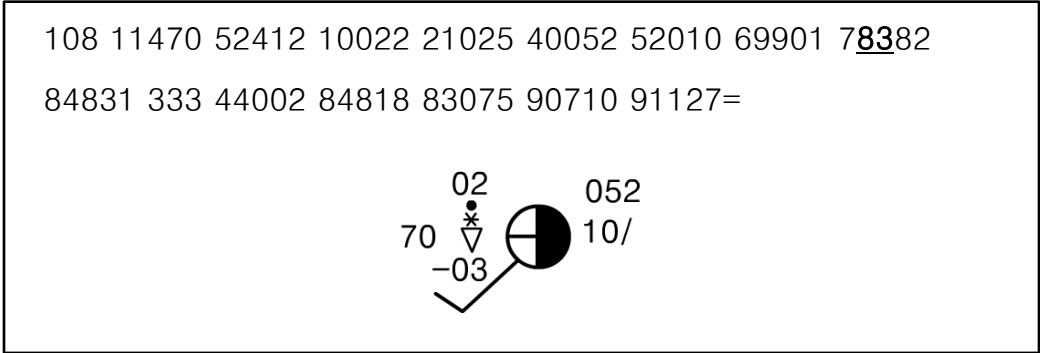
ww	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

일반적으로 높은 코드 숫자는 보다 심각한 기상 현상을 의미한다. 또한 현재 기상은 2가지 유형으로 크게 구분할 수 있는데, 50에서 99까지는 관측 시각에 관측소에 강수가 내리고 있는(98번 제외) 상태를 의미하고, 00에서 49까지는 관측 시각에 관측소에 강수가 떨어지고 있지 않음을 의미한다. 이러한 대분류 하에서 각 그룹의 현상들을 세부적으로 분류해 나가는 것이다(표 3.8 참조).

3.7 현재 기상

[표 3.8] 현재기상 코드 숫자

현재기상 코드(ww)	기상현상 설명	현재기상 코드(ww)	기상현상 설명
99 ~ 91	뇌우 (강수/모래폭풍 동반)	49 ~ 40	안개 (안개/열 안개/먼 거리 안개)
90 ~ 80	소낙성 강수 (비/진눈깨비/눈/우박)	39 ~ 30	날리는/표류하는 모래나 눈
79 ~ 70	눈 혹은 언 강수 (우박 제외)	29 ~ 20	최근기상 (관측 시각 1시간 이내에 발생했다가 소멸된)
69 ~ 60	비 (비/얼비/진눈깨비)	19 ~ 00	기타
59 ~ 50	이슬비 (이슬비/열 이슬비/ 비와 이슬비 혼합)		



[그림 3.7] 기압 기압 예

3.8 과거 기상

최근 시간동안 발생했던 특이기상현상을 묘사하기 위해서 지점원 하단 오른쪽에 2개까지의 과거 기상 기호를 기입할 수 있다.

‘주’ 시간 관측 (00, 06, 12, 18UTC)은 6시간 전까지의 과거기상을 기입한다.

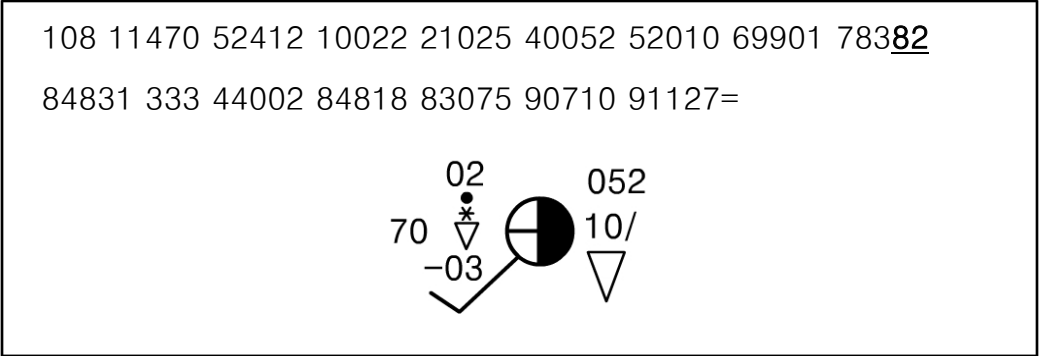
‘중간’ 시간 관측 (03, 09, 15, 21UTC)은 3시간 전까지의 과거기상을 기입한다.

다른 일상적인 1시간 간격 관측은 1시간 전까지의 과거기상을 기입한다.

[표 3.9] 과거기상 기호들

기호	과거기상 설명	코드숫자 (W ₁ W ₂)
	뇌우(강수 포함 혹은 미포함)	9
	소나기 (모든 형태)	8
	눈, 진눈깨비(소낙성 눈 아님)	7
	비 (소낙성 비 아님)	6
	이슬비	5
	안개 혹은 짙은 박무 (시정 1,000m 미만)	4
	먼지 폭풍 혹은 모래 폭풍	3
	표류하는 눈	3
기입 안함	과거 기간 동안 운량 4옥타 이상	2
기입 안함	과거 기간 동안 운량 4옥타 이상이었으나, 일정 기간 동안 4옥타 미만	1
기입 안함	과거 기간 동안 운량 4옥타 미만	0

3.8 과거 기상



[그림 3.8] 기압 기압 예

3.9 운형

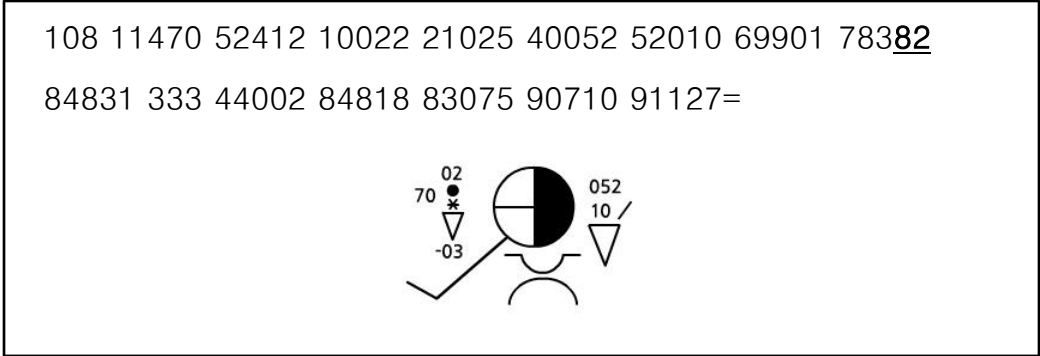
3.9.1 하층운

모든 하층운 정보는 지점원 아래에 기입한다. 하층운은 종관관측 전문에서 ‘주요’ 구름 그룹의 정보를 이용해서 기입하는 것이 정상적이다(표 3.10 참조).

[표 3.10] ‘주요’ 구름 그룹으로 부터의 하층운 운형 기호들

기호	하층운 설명	코드 숫자 (주요 구름 그룹)
	작은 적운(CU)	1
	보통 혹은 큰(숫구치는) 적운(CU)	2
	모루구름 없는 적란운(CB)	3
	적운(CU)으로부터 떨어져 나온 층적운(SC)	4
	‘4’나 ‘8’이 아닌 모든 고적운(AC)	5
	강수와 상관없는 층운(ST)	6
	강수와 관련된 층운(ST)	7
	다른 고도에 있는 적운(CU)과 층적운(SC) (SC는 적운에서 떨어져 나온 것이 아님)	8
	모루구름을 가지고 있는 적란운(CB)	9

3.9 운형



[그림 3.9] 하층운 운형 기입 예

3.9 운형

3.9.2 중층운

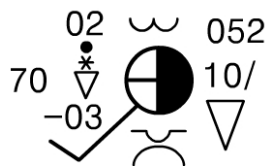
중층운은 지점원 바로 위에 기입한다. 중층운은 중관관측 전문에서 ‘주요’ 구름 그룹의 정보를 이용해서 기입하는 것이 정상적이다(표 3.11 참조).

[표 3.11] 주요 구름 그룹으로 부터의 중층운 운형 기호들

기호	중층운 설명	코드 숫자 (주요 구름 그룹)
	얇은 고층운(AS)	1
	두꺼운 고층운(AS) 혹은 난층운(NS)	2
	1개 층에만 있는 얇은 고적운(AC)	3
	1개 층 이상에 있고 그 형태가 계속해서 변화하는 고적운(AC)	4
	1개 층 이상의 고층운으로 운량이 증가하고 있는 고적운(AC)	5
	적운(CU)이나 적란운(CB)에서 떨어져 나온 고적운(AC)	6
	난층운(NS)에 동반된 고적운(AC) 혹은 2개 층 이상에 있는 고적운(AC) 혹은 1개 층에만 있지만 두꺼운 고적운(AC)	7
	탐상 혹은 타래 형태의 적운 모양의 고적운(AC)	8
	복잡한 모양을 가지고 있는 고적운(AC) (일반적으로 여러 개의 층에 존재)	9

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382

84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=



[그림 3.10] 하층운 운형 기입 예

3.9 운형

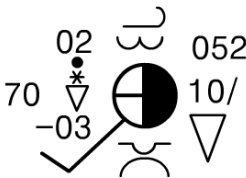
3.9.3 상층운

상층운 기호는 중층운 기호의 위쪽에 기입한다. 만약 중층운이 존재하지 않는다면 지점원 바로 위에 기입한다. 상층운은 종관관측 전문에서 ‘주요’ 구름 그룹의 정보를 이용해서 기입하는 것이 정상적이다(표 3.12 참조).

[표 3.12] 주요 구름 그룹으로 부터의 상층운 운형 기호들

기호	상층운 설명	코드 숫자 (주요 구름 그룹)
	운량이 증가하지 않는 권운(CI) (실 혹은 갈고리 모양)	1
	두꺼운 권운(CI) 혹은 탐이나 타래처럼 형성된 권운(CI)	2
	CB의 상부에서 떨어져 나온 CI	3
	점진적으로 운량이 증가하는 (실 혹은 갈고리 모양)권운(CI)	4
	운량이 증가하는 권층운(CS), 그러나 고도각 45° 이하	5
	운량이 증가하는 권층운(CS), 그러나 고도각 45° 이상	6
	하늘을 완전히 덮고 있는 권층운(CS)	7
	하늘을 완전히 덮지 않고 운량이 증가하지 않는 권층운(CS)	8
	권적운만 존재하거나 상층운이 지배적인 상태	9

108 11470 52412 10022 21025 40052 52010 69901 78382
84831 333 44002 84818 83075 90710 91127=



[그림 3.11] 상층운 운형 기입 예

3.9 운형

3.9.4 운량과 운고

운량과 운고는 ‘333’ 인식자 그룹의 뒤에 놓이는 ‘8’그룹에서 보고되는 **주요 층** 정보를 기입한다. ‘기입 위치는 주요’ 구름 그룹의 운형 기호 아래에 숫자로 기입한다. 따라서 지점원 중심으로 볼 때는 하층운 운량과 운고는 지점원 아래에 중층운과 상층운 운량과 운고는 지점원 위쪽에 기입된다.

운량은 각 독립된 층이 하늘을 덮고 있는 정도가 옥타 단위로 보고된다. 운고는 아래의 코드에 따라 지표면으로부터 운저까지의 높이로 feet 단위를 사용한다.

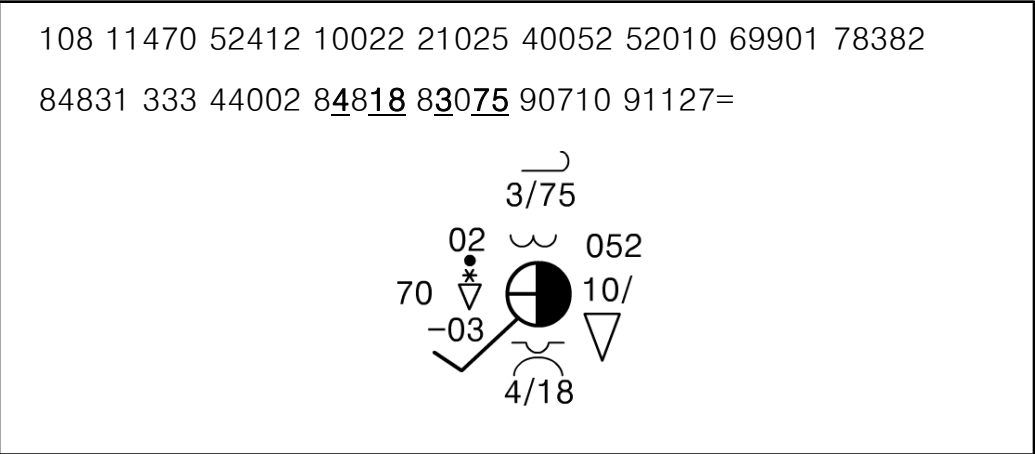
- 운저가 0에서 5,000ft까지인 구름은 100ft 단위로 보고하고 뒤의 ‘0’들은 생략한다. 예를 들어 2,800ft는 ‘28’을 기입한다.
- 운저가 6,000ft에서 30,000ft까지인 구름은 1,000ft 단위로 보고하고 ‘50’을 더해서 기입한다. 예를 들어 20,000ft는 ‘70’으로 기입한다.
- 운저가 30,000ft 이상인 구름은 5,000ft 단위로 보고하고 높이에 따라 81에서 88까지의 코드 숫자를 사용한다. 예를 들어 40,000ft 구름은 ‘82’로 기입한다. 운저가 70,000ft 이상인 구름은 코드 숫자 ‘89’를 사용한다 (코드 숫자 90에서 99는 일반적으로 지상 관측소에서는 사용하지 않는다).

3.9 운형

[표 3.13] 구름 자료 기입 예

구름 층 (운량 옥타, 고도, ft단위)	운형에 대한 '주요' 구름 그룹 코드	운량과 운고에 대한 '8' 그룹 코드 숫자	기입된 자료
1/8 CU 2,000 7/8 SC 5,000 (CU에서 분리되지 않은 SC)	87 <u>8</u> //	81 <u>8</u> <u>20</u> 87 <u>6</u> <u>50</u>	  7/50 1/20
1/8 ST 700 3/8 CB(모루 구름 없음) 1,200 6/8 CS (증가하지 않음) 30,000	83 <u>30</u> 8	81 <u>7</u> <u>07</u> 83 <u>9</u> <u>12</u> 86 <u>2</u> <u>80</u>	   3/12 1/07
4/8 얇은 AC 10,000 8/8 두꺼운 AS 15,000	880 <u>7</u> /	84 <u>3</u> <u>60</u> 88 <u>4</u> <u>65</u>	 8/65 4/60 

최근 들어 컴퓨터에서 자동으로 기입되는 일기도의 경우에는 주요층이 아닌 모든 개별 구름 층에 대한 정보를 기입하는데, 이 경우에는 운량을 운형 기호의 왼쪽에 고도를 오른쪽에 기입한다.



[그림 3.12] 구름 운량과 고도 기입 예

3.9 운형

3.9.5 8'그룹이 없는 관측소 정보의 구름 기입

많은 국가들은 '8'그룹을 관측 자료에 포함해서 보고하지 않는다. 따라서 운량은 '주요' 구름 그룹에 포함된 **모든** 하층운(하층운 없을 경우 중층운)의 운량을 기입한다. 구름의 고도에 대한 코드 숫자는 관측된 가장 낮은 구름층을 사용한다(표 3.14 참조). 이 정보는 시정에 대한 정보를 포함한 관측 전문의 첫 번째 5자리 숫자 그룹에도 포함되어 있다.

[표 3.14] 관측된 가장 낮은 구름층 고도에 대한 코드 숫자

코드 숫자	가장 낮은 구름층의 고도	코드 숫자	가장 낮은 구름층의 고도
0	0 ~ 149ft	5	2,000 ~ 2,999ft
1	150 ~ 299ft	6	3,000 ~ 4,999ft
2	300 ~ 599ft	7	5,000 ~ 6,499ft
3	600 ~ 999ft	8	6,500 ~ 7,999ft
4	1,000 ~ 1,999ft	9	8,000ft 이상

일기도에 기입된 예는 표 3.15에서 볼 수 있다.

[표 3.15] '8' 그룹이 없는 전문에서의 구름 자료 기입 예

구름 층 (운량 옥타, 고도, ft단위)	운형에 대한 '주요' 구름 그룹 코드	시정 그룹에 포함된 가장 낮은 구름층 고도	기입된 자료
1/8 CU 2,000 7/8 SC 5,000 (CU에서 분리되지 않은 SC)	87 <u>8</u> //	42 <u>5</u> 75	 7/5
1/8 ST 700 3/8 CB(모루 구름 없음) 1,200 6/8 CS (증가하지 않음) 30,000	83 <u>3</u> 08	41 <u>4</u> 57	 3/4
4/8 얇은 AC 10,000 8/8 두꺼운 AS 15,000	880 <u>7</u> /	32 <u>9</u> 68	 8/9

3.9 운형

3.9.6 ‘주요’구름 그룹이 없는 관측소 정보의 구름 기입

몇몇 관측소들은 ‘주요’ 구름 그룹을 관측의 일부로 포함하지 않는 경우가 있다. 이런 경우 운형에 관한 정보는 ‘333’ 그룹 지시자에 이어서 나오는 ‘8’ 그룹의 정보를 이용해서 기입을 한다(표 3.16).

[표 3.16] ‘8’ 그룹으로부터 얻은 운형 기호들

기입 기호					
구름 형태	권운(CI)	권적운(CC)	권층운(CS)	고적운(AC)	고층운(AS)
‘8그룹 코드	0	1	2	3	4

기입 기호					
구름 형태	난층운(NS)	층적운(SC)	층운(ST)	적운(CU)	적란운(CB)
‘8그룹 코드	5	6	7	8	9

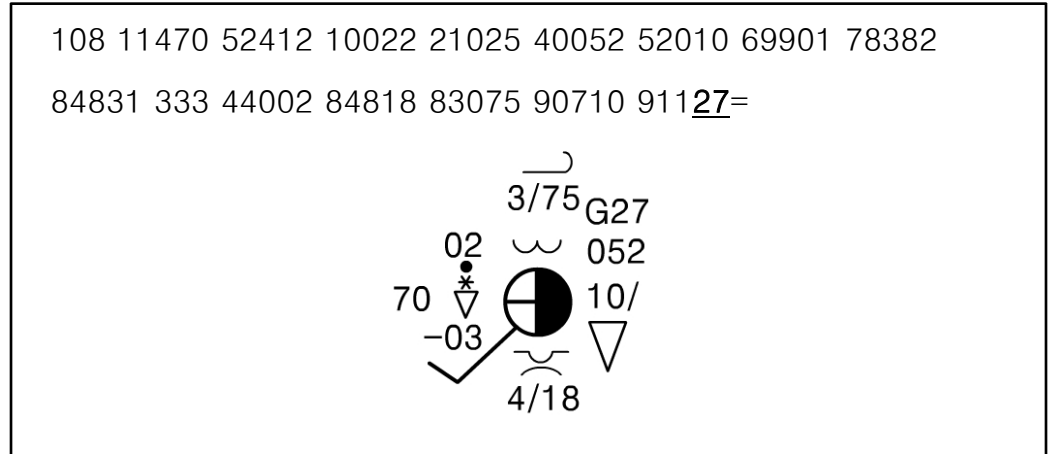
=====

1) 이 기호는 높게 솟구치는 적운을 나타내는 METAR의 기입에서도 사용된다.

2) 이 기호는 높게 적란운을 나타내는 METAR의 기입에서도 사용된다.

3.10 1시간 최대풍 자료

만약 지난 시간에 25kts 이상의 최대풍이 발생하였다면, 이 정보는 전문에 포함되어 보고될 것이고, 일기도에서는 지점원 오른쪽 최상단에 그 풍속을 대문자 'G'를 붙여서 기입한다.



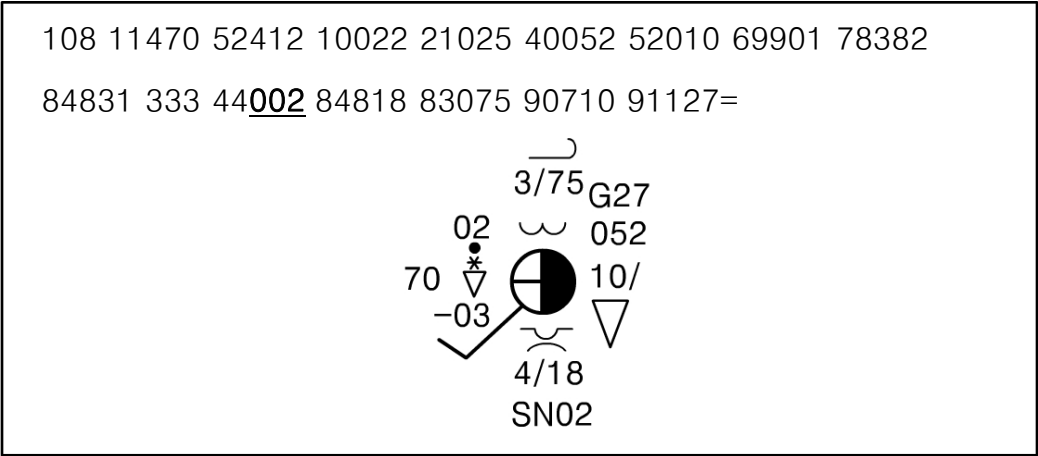
[그림 3.13] 1 시간 최대풍 기입 예

3.11 적설량

적설량은 유용한 부가적인 기상정보이지만 반드시 기입해야 할 요소는 아니다. 컴퓨터에서 자동으로 기입되는 일기도의 경우에는 지점원 아래의 하층운 정보 아래에 ‘SN’을 앞에 붙여서 고정된 적설량을 cm 단위로 기입한다.

[표 3.17] 적설량 기입 예

기입 기호					
	SN3	SN15	SN97	SN98	SN99
적설량	3cm	15cm	< 0.5cm	1/2 이하 덮임	측정 불가



[그림 3.14] 적설량 기입 예

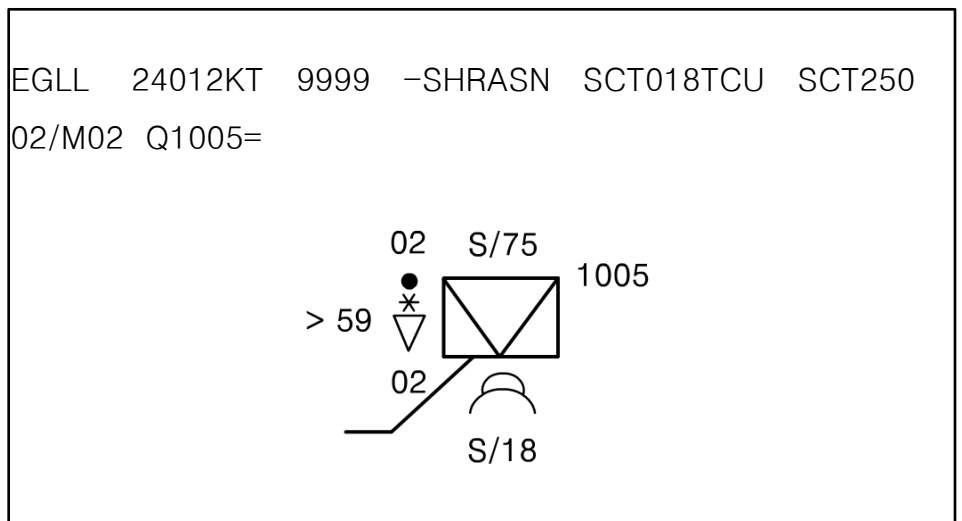
3.12 METAR 전문

METAR라고 불리는 공항 관측전문도 지점원 주변에 기입할 수 있다. 비록 기입 절차는 다르지만, 기상 요소들의 지점원 주변 기입 위치들은 종관관측 전문 기입 방법과 같다. 종관관측 전문 기입과 METAR 전문 기입의 차이는 아래와 같다.

- 바람 : 최대풍을 포함하지 않는 것과 함께 풍향 기입도 다소 차이가 있다.
- 시정 : 시정 10km 이상은 ‘>59’로 기입한다.
- 구름 : 옥타 수는 다음과 같이 약어를 대체하여 기입한다.

F	1 ~ 2 옥타
S	3 ~ 4 옥타
B	5 ~ 7 옥타
O	8 옥타

 운형은 크게 솟구치는 적운(CU)이나 적란운(CB)만 기입한다. 총 운량은 기입한다.
- 온도 : 가장 가까운 정수를 기입한다. 소수점 0.5℃는 따뜻한 온도 쪽으로 반올림 한다. 예를 들어 -4.5℃는 -04로 기입한다.
- 기압 : QNH를 hPa로 전환하여 정수 단위로 4자리 숫자로 기입한다.



[그림 3.15] METAR 전문 기입 예

연습문제

1. 지상일기도에서 운량에 따른 기입 기호를 쓰시오.
2. 일기도 기입에서 바람의 풍속을 나타내는 깃털의 숫자와 풍속을 쓰시오.
3. 일기도 기입에서 시정과 기입 기호를 쓰시오.
4. 일기도 기입에서 기압변화 코드와 경향을 설명하시오.
5. 일기도 기입에서 현재기상 코드 중 비와 안개를 나타내는 코드를 각각 쓰시오.
6. 일기도 기입에서 하층운, 중층운, 상층운의 기입 기호를 설명하시오.
7. METAR 전문이 무엇인지 설명하시오.