

발간등록번호

11-1360620-100093-01

기상관측장비사전



| 발간사 ● ● ● ● ●

기상관측은 예보 정확도 향상과 기후변화 대응, 국민의 생명과 안전을 지키기 위한 과업입니다. 이를 가능하게 하는 다양한 기상관측장비는 과학기술 발전과 더불어 꾸준히 고도화되고 있으며, 현장에서는 새로운 장비의 도입과 운영 체계 개선이 지속적으로 이루어지고 있습니다.

기상관측장비사전은 이러한 흐름 속에서 관측장비와 관련된 정보를 누구나 읽으면서 쉽게 이해할 수 있는 해설서의 필요성에 따라 기상청에서 사용되는 12개 분야 160여 개의 장비들을 종합적으로 정리한 참고서입니다. 관측 요소와 원리, 측정 범위, 분해능, 그리고 실제 활용 분야를 균형 있게 수록하여 현장성과 학문성을 동시에 갖추도록 노력하였습니다. 특히 연구용 기상관측자료 통합관리의 도입으로 새롭게 편입된 다양한 장비들을 체계적으로 정리하기 위해 작성되었습니다. 최신 관측 장비와 기술적 성과를 포함하여, 기상관측 현장에서 실제로 활용되는 장비 현황을 더욱 충실하게 반영하고자 하였습니다.

앞으로도 기상과학은 새로운 도전과제를 마주할 것이며, 관측장비의 발전 또한 끊임없이 이어질 것입니다. 본 사전이 이러한 변화에 대응하는 기초 자료로 활용되어 중·고등학생, 학계, 연구기관 그리고 기상업무에 종사하는 기상인에게 기상관측장비에 대한 기본적인 지식정보 전달 및 체계적 학습지원의 밑받침 역할이 되길 바랍니다.

2026년 5월

국립기상과학원장 **강 현 석**



CONTENTS

기상관측장비사전

제1장 온도관측

1.1 전자식	016
1.1.1 열전접전온도계(Thermo-junction thermometer, thermocouple)	016
1.1.2 금속시스형백금저항온도계(Metal sheath type of platinum resistance thermometer)	017
1.1.3 박막형백금저항온도계(Thin film type of platinum resistance thermometer)	018
1.2 기계식	019
1.2.1 바이메탈온도계(Bimetal thermometer)	019
1.2.2 부르동관온도계(Bourdon tube thermometer)	020
1.3 유리제	021
1.3.1 수은온도계(Mercury thermometer)/알코올온도계(Alcohol thermometer)	021
1.3.2 건구온도계(Dry bulb thermometer)/습구온도계(Wet bulb thermometer)	022
1.3.3 봉상온도계(Stem tube thermometer)/이중관온도계(Double tube thermometer)	023
1.3.4 곡관지중온도계(Bent-stem soil thermometer)	024
1.3.5 철관지중온도계(Simon's soil thermometer)	025
1.3.6 최고온도계(Maximum thermometer)	026
1.3.7 최저온도계(Minimum thermometer)	027
1.3.8 식스온도계(Six's thermometer)	028
1.4 기타	029
1.4.1 표면온도계(Surface-mount thermistor)	029
1.4.2 잎싹표면온도계(Radiation frost detector)	030
1.4.3 적외선표면온도계(Infrared radiometer)	031
1.4.4 지중열플럭스센서(Heat flux sensor)	032

제2장 습도관측

2.1 전자식	036
2.1.1 전기저항고분자막습도계[Electrical resistance polymer film hygrometer]	036
2.1.2 정전용량고분자막습도계[Capacitive polymer film hygrometer]	037
2.1.3 냉각거울이슬점습도계[Chilled mirror dew-point thermometer]	038
2.1.4 염화리튬이슬점습도계[Lithium chloride dew-point thermometer]	039
2.2 기계식	040
2.2.1 건습계[Psychrometer]	040
2.2.2 통풍건습계[Ventilated psychrometer]	041
2.2.3 아스만통풍건습계[Assmann ventilated psychrometer]	042
2.2.4 모발습도계[Hair hygograph]	043
2.3 기타	044
2.3.1 산림연료수분센서[Forest fuel moisture sensor]	044
2.3.2 엽면습윤센서[Leaf wetness sensor]	045
2.3.3 토양수분센서[Soil moisture sensor]	046
2.3.4 매립식노면상태센서[In-pavement road surface condition sensor]	047
2.3.5 광학식노면상태센서[Optical road surface condition sensor]	048

제3장 기압관측

3.1 전자식	052
3.1.1 전기저항반도체기압계[Piezoresistive barometer]	052
3.1.2 정전용량반도체기압계[Capacitive semiconductor barometer]	053
3.2 기계식	054
3.2.1 아네로이드기압계[Aneroid barometer]	054
3.2.2 아네로이드자기기압계[Aneroid barograph]	055

제4장 바람관측

4.1 기계식	058
4.1.1 로빈슨컵풍속계(Robinson's cup anemometer)	058
4.1.2 풍배형풍속계(3-cup anemometer)	059
4.1.3 두방향풍향계(Bi-vane, Bi-directional wind vane)	060
4.1.4 화살형풍향계(Arrow-type wind vane)	061
4.1.5 풍차형풍향풍속계(에어로벤) (Combined recording wind vane and fan-anemograph, Aerovane)	062
4.2 초음파식	063
4.2.1 초음파식풍향풍속계(Ultrasonic anemometer)	063
4.3 기타	064
4.3.1 다인스풍압풍속계(Dines pressure anemometer)	064
4.3.2 열선풍속계(Hot wire anemometer)	065

제5장 강수관측

5.1 강수량	068
5.1.1 전도형강수량계(Tipping-bucket rain gauge)	068
5.1.2 무게식강수량계(Weighting rain gauge)	069
5.1.3 광학강우강도계(ORG: Optical Rain Gauge)	070
5.1.4 사이펀식우량계(Siphon rain gauge)	071
5.1.5 원통형강수량계(Cylindrical rain gauge)	072
5.1.6 저수병/우량승(Rain measuring glass)	073
5.2 강우감지	074
5.2.1 임피던스식강우감지기(Impedance-type rain detector)	074
5.2.2 정전용량식강우감지기(Capacitive-type rain detector)	075
5.2.3 레이더식강우감지기(Radar-type rain detector)	076
5.2.4 영상식강우감지기(Optical rain rain detector)	077

5.3 적설	078
5.3.1 적설판[Snow measuring plate]	078
5.3.2 적외선적설계[Infrared snow cover meter]	079
5.3.3 영상식적설계[Image snow cover meter]	080
5.3.4 초음파식적설계[Ultrasonic snow cover meter]	081
5.3.5 레이저식적설계[Laser snow cover meter]	082
5.3.6 원통식설량계[Cylindrical snow gauge]	083
5.4 강수성분	084
5.4.1 산성도측정기[pH meter]	084
5.4.2 산성우측정기[Acid rain analyzer]	085
5.4.3 수함량측정기[Water content system]	086
5.4.4 이온크로마토그래프(IC: ION Chromatograph)	087
5.4.5 전기전도도측정기[Conductivity meter]	088

제6장 시정 및 통합기상관측

6.1 시정	092
6.1.1 전방산란식시정계[Forward scattering visibility meter]	092
6.1.2 투과율식시정계[Transmissometer]	093
6.1.3 영상식시정계[Imaging visibility sensor]	094
6.2 통합기상요소	095
6.2.1 통합기상관측장비[Integrated meteorological instrument]	095
6.2.2 기보기상요소측정장비[Aircraft integrated meteorological measurement system]	096
6.3 자료수집·처리	097
6.3.1 데이터로거[Data logger]	097
6.3.2 자기전접계수기[Recording electronic counter]	098
6.3.3 지시형전접계수기[Indicating electric contact counter]	099

제7장 연직기상관측

7.1 존데관측	102
7.1.1 라디오존데(Radiosonde)	102
7.1.2 드롭존데(Dropsonde)	104
7.2 능동형 원격관측	105
7.2.1 연직바람관측장비(Wind profiler)	105
7.2.2 윈드라이다(Wind lidar)	106
7.2.3 소다(SODAR: SOund Detection And Ranging)	107
7.2.4 기상레이더(Weather radar)	108
7.2.5 연직강우레이더(MRR: Micro Rain Radar, Vertical rain radar)	110
7.3 수동형 원격관측	111
7.3.1 온습도라디오미터(Temperature and humidity microwave radiometer)	111
7.3.2 GNSS위성측위시스템(GNSS NAVAIID System)	112
7.4 기타	113
7.4.1 측풍기구(Pibal: Pilot ballon)	113

제8장 구름물리관측

8.1 운고·운량	116
8.1.1 레이저식운고계[Laser ceilometer]	116
8.1.2 하늘영상관측기[ACOS: Automatic Cloud Observation System]	117
8.1.3 회전빔운고계[Rotating beam ceilometer]	118
8.2 구름입자	119
8.2.1 결빙탐지기[Icing detector]	119
8.2.2 구름입자모양측정기[CPI: Cloud Particle Imager]	120
8.2.3 구름입자측정기[CCP: Cloud Combination Probe]	121
8.2.4 구름입자계수기[CCNC: Cloud Condensation Nuclei Counter]	122
8.2.5 구름·에어로졸입자분석기[Cloud aerosol spectrometer depolarization option, CAS-DPOL]	123
8.2.6 나노입자계수기[SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer]	124
8.2.7 빙정핵계수기[PINE: Portable Ice Nucleation Experiment instrument]	125
8.3 강수입자	126
8.3.1 강수입자측정기[PIP: Precipitation Imaging Probe]	126
8.3.2 광학식강수입자계수기[Optical disdrometer]	127
8.3.3 레이더식강수입자계수기[Radar-type disdrometer]	128
8.3.4 영상식강수입자계수기[Two-dimensional video disdrometer]	129
8.3.5 눈결정이미지측정기[Snow crystal image probe]	130
8.4 안개입자	131
8.4.1 안개입자측정기[Fog monitor]	131
8.4.2 기상입자분광기[MPS: Meteorological Particle Spectrometer]	132

제9장 대기복사관측

9.1 전천일사	136
9.1.1 로비치전천일사계(Robitzsch pyranometer)	136
9.1.2 수평면전천일사계(Global solar radiation pyranometer)	137
9.1.3 차온식전천일사계(Thermopile-type pyranometer)	138
9.2 직달일사	139
9.2.1 열전퇴직달일사계(Thermopile pyrhelimeter)	139
9.2.2 옹스트롬직달일사계(Ångstrom pyrhelimeter)	140
9.2.3 은반직달일사계(Silver-disk pyrhelimeter)	141
9.2.4 절대직달일사계(Absolute pyrhelimeter)	142
9.3 일조	143
9.3.1 줄단일조계(Jordan sunshine recorder)	143
9.3.2 캄벨일조계(Campbell-Stokes' sunshine recorder)	144
9.3.3 바이메탈일조계(Bimetal sunshine recorder)	145
9.3.4 회전식일조계(Rotating mirror sunshine recorder)	146
9.4 복사	147
9.4.1 순복사계(Net radiometer)	147
9.4.2 지구복사계(Pyrgometer)	148
9.5 자외선	149
9.5.1 자외선측정기(UV-A) (UV-A radiometer)	149
9.5.2 자외선측정기(UV-B) (UV-B radiometer)	150

제10장 온실·반응가스관측

10.1 온실가스	154
10.1.1 가스크로마토그래프(GC: Gas Chromatograph)	154
10.1.2 공동감쇠분광기(CRDS: Cavity Ring-Down Spectrometer)	156
10.1.3 공진출력분광기(ICOS: Integrated Cavity Output Spectrometer)	157
10.1.4 이산화탄소/수증기 가스분석기(CO ₂ /H ₂ O gas analyzer)	158
10.1.5 비분산적외선가스분석기(NDIR: Non Dispersive Infra Red)	159
10.1.6 태양흡수분광간섭계(FT-IR spectrometer)	160
10.2 반응가스	161
10.2.1 이산화황분석기(SO ₂ analyzer)	161
10.2.2 일산화탄소분석기(CO analyzer)	162
10.2.3 질소산화물분석기(NO _x analyzer)	163
10.2.4 공중방사능측정기(Airborne radiation detector)	164
10.3 오존	165
10.3.1 브루어분광광도계(Brewer spectrophotometer)	165
10.3.2 오존분석기(Ozone analyzer)	166
10.3.3 오존존데(Ozonesonde)	167

제11장 에어로졸관측

11.1 질량농도	170
11.1.1 미세입자측정기(SNPS: Suspended Nano Particle Sizer)	170
11.1.2 부유분진측정기(Continuous particulate monitor)	171
11.1.3 고용량미세먼지채취기(High volume particulate sampler)	172
11.1.4 저용량미세먼지채취기(Low volume particulate sampler)	173
11.1.5 탄소입자측정기(Single particle soot photometer [SP2])	174
11.2 수농도	175
11.2.1 공기역학입자계수기(APS: Aerodynamic Particle Sizer)	175
11.2.2 응결핵계수기(CPC: Condensation Particle Counter)	176
11.2.3 전자기유도입자계수기(SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer)	177
11.2.4 전방산란스펙트로미터(FSSP: Forward Scattering Spectrometer Probe)	178
11.3 광흡수·산란·두께	179
11.3.1 광산란계수측정기(Nephelometer)	179
11.3.2 광흡수계수측정기(Aethalometer)	180
11.3.3 스카이라디오미터(Sky-radiometer)	181
11.3.4 에어로졸라이다(Aerosol lidar)	182
11.3.5 정밀필터복사계(PFR: Precision Filter Radiometer)	183
11.3.6 태양광도계(Sun-photometer)	184
11.4 화학성분	185
11.4.1 가스·에어로졸분석기(Gas and aerosol analyzer)	185
11.4.2 에어로졸성분분석기(MARGA: Monitor for Aerosols and Gases in Ambient air)	186
11.5 꽃가루	187
11.5.1 꽃가루자동관측기(Pollen measurement system)	187
11.5.2 꽃가루수동관측기(Manual pollen monitoring system)	188

제12장 해양기상관측

12.1 기상요소	192
12.1.1 해양기상부이(Ocean data buoy)	192
12.1.2 표류부이(Drifting buoy)	193
12.1.3 등표기상관측장비(Light house automatic weather station)	194
12.1.4 해상풍라디오미터(SFMR: Stepped Frequency Microwave Radiometer)	195
12.2 해양요소	196
12.2.1 파고부이(Coastal wave buoy)	196
12.2.2 압력파고계(Pressure-type wave gauge)	197
12.2.3 수중발사형초음파파고계(Upward-looking ultrasonic wave gauge)	198
12.2.4 공중발사형초음파파고계(Downward-looking ultrasonic wave gauge)	199
12.2.5 마이크로파레이더파고계(Microwave radar wave gauge)	200
12.2.6 영상레이더파고계(Imaging radar wave gauge)	201
12.2.7 해일파고계(Tsunami wave gauge)	202
12.2.8 초음파해류측정기(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)	203
12.2.9 수온염분측정기(CTD: Conductivity-temperature-depth sensor)	204
12.2.10 아르고플로트(ARGO float)	205
12.2.11 해양글라이더(Ocean glider)	206

제13장 부록

형식승인 관련 용어	210
찾아보기	222

I



온도관측

016

019

021

029

1.1 전자식

1.2 기계식

1.3 유리제

1.4 기타

1.1 전자식

1.1.1 열전접전온도계(Thermo-junction thermometer, thermocouple)

✓ 측정원리

열전접전온도계(Thermo-junction thermometer, thermocouple)는 열전쌍(熱電 雙) 센서를 이용하여 온도를 검출하는 온도계로써 온도 변화를 전기신호로 변환하는 검출부, 신호를 전달하는 전달부 그리고 수신기록부로 구성되어 있다. 열전대는 열전쌍과 이 신호를 처리하는 회로를 함께 갖춘 장치를 말한다. 여러 개의 열전대를 병렬 또는 직렬로 연결하여 신호 증폭을 도모하는 장치를 열전퇴라고 한다.

열전대를 이용한 온도 측정은 1821년 독일 물리학자 제벡(Seebeck)에 의해서 발견된 제벡 효과의 원리를 기초로 하고 있다. 열종류가 다른 두 개의 금속선(열전쌍)으로 폐회로를 만든 후에 금속의 양 끝단 접점에 온도를 가하면 전자가 이동한다. 이때 온도차에 대응하는 열기전력(熱起電力)이 발생하고, 접촉면의 전위차를 측정하여 온도를 측정한다.

열전대에서 사용하는 열전쌍 센서는 다양한 종류가 있으나 기상관측에는 구리(Cu)와 콘스탄탄(Constantan)이 많이 사용되고 있다.

✓ 주요 성능

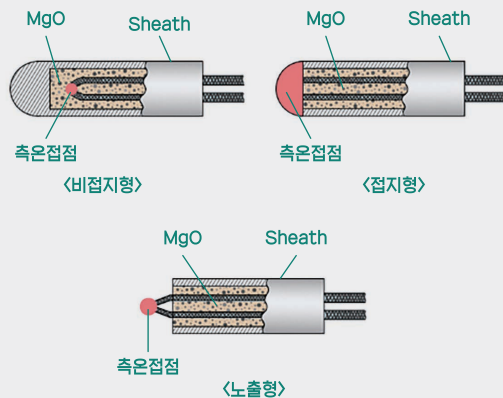
- 관측요소: 기온
- 측정범위: -200°C ~ 350°C
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



열전접전온도계



접점에 따른 열전접전온도계 종류

1.1.2 금속시스형백금저항온도계(Metal sheath type of platinum resistance thermometer)

☑ 측정원리

금속시스형백금저항온도계(Metal sheath type of platinum resistance thermometer)는 온도 변화에 따라 백금선의 전기저항이 변하는 성질을 이용한다.

자동기상관측시스템에 널리 사용되는 금속시스형백금저항온도계는 봉 형태의 스테인리스 재질로 쌓여있고, 봉 하단에서 약 120mm 정도에 백금센서가 위치해 있다. 내열성과 내식성이 우수한 백금선(99.999%)은 전기절연체로 된 세라믹의 구멍 속을 삽입되어 있다. 금속시스형백금저항온도계를 보통 Pt-100 센서라고 부르며, 이것은 온도 0°C에서 저항 100Ω을 가지는 백금소자를 사용하기 때문이다.

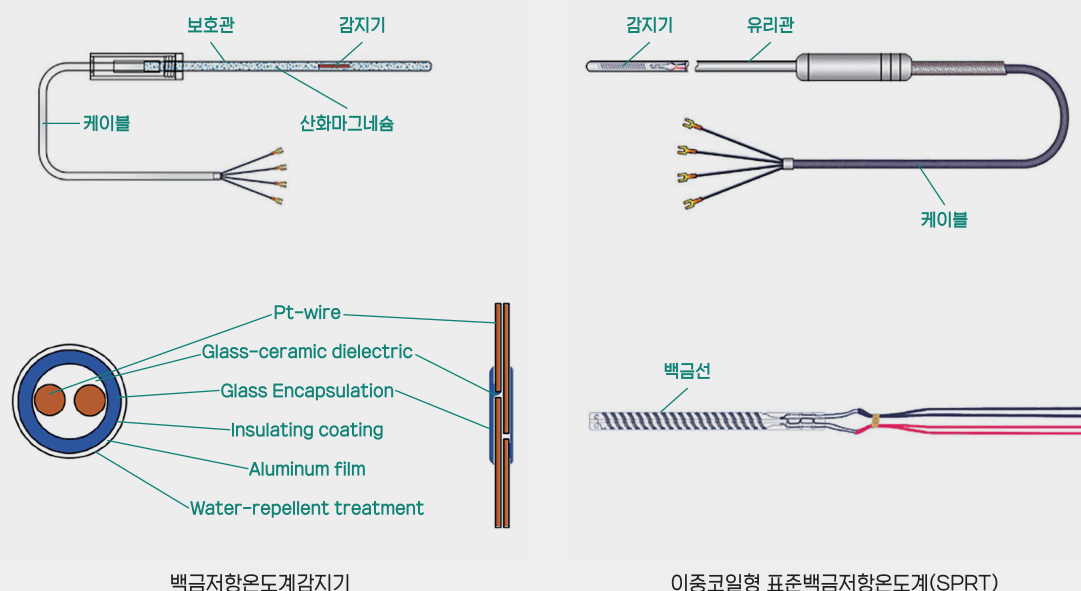
높은 정밀도가 필요한 온도 측정 기준기로는 주로 장간형(long stem) 표준백금저항온도계(SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometers)가 이용되며, 이중코일형 등이 있다. 이 온도계는 고순도의 백금선이 열개에 감겨 있는 구조로 석영 또는 파이렉스 유리관으로 보호되어 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 기온
- 측정범위: -40°C ~ 60°C
- 분해능: 0.1°C

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



백금저항온도계감지기

이중코일형 표준백금저항온도계(SPRT)

1.1.3 박막형백금저항온도계(Thin film type of platinum resistance thermometer)

✓ 측정원리

박막형백금저항온도계(Thin film type of platinum resistance thermometer)는 금속시스형백금저항온도계에서 내부 충전제(산화마그네슘, 산화알루미늄 등)와 보호관 두께 등으로 인한 응답시간 지연을 최소화하고, 백금의 우수한 특성을 활용한 소형 온도센서이다.

박막형백금저항온도계에서 센서는 내열성이 강한 알루미늄(산화알루미늄) 기판 위에 약 1 μ m 두께의 얇은 백금박막을 입히고 코팅유리로 덮은 형태와 백금박막이 세라믹으로 된 보호통에 덮여 있는 형태가 있으며, 두 센서의 성능은 모두 같다. 이 센서는 상온에서 안정도가 높아 정밀한 측정값을 얻을 수 있고 응답속도가 높으며 초소형인 장점이 있으나, 기계적인 충격이나 진동에 약한 단점이 있다. 이 센서는 주로 소형 장비인 휴대용 온습도계, 산업용 기계 등에 많이 이용되고 있다.

✓ 주요 성능

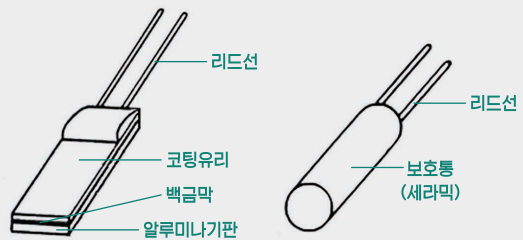
- 관측요소: 기온
- 측정범위: -50 $^{\circ}$ C ~ 500 $^{\circ}$ C
- 분해능: 0.1 $^{\circ}$ C

✓ 활용 분야

지상기상관측, 미기상·대기경계층 연구, 휴대용기기 탑재, 산업, 기후변화 모니터링



박막형백금저항온도계



박막형백금저항온도계 센서

1.2 기계식

1.2.1 바이메탈온도계(Bimetal thermometer)

✓ 측정원리

바이메탈온도계(Bimetal thermometer)는 온도에 따른 팽창률이 서로 다른 두 금속 물질이 변형되는 성질을 이용한 온도계이다. 수감부는 열팽창계수가 서로 다른 두 금속판, 즉 철과 니켈의 합금인 인바와 황동 또는 니크롬을 마주 붙여 수축과 팽창에 따른 온도 변화를 측정한다.

바이메탈온도계에서 수감부는 서로 다른 두 종류의 금속이 외부 열의 영향으로 수축 또는 팽창하면서 상하운동을 하며, 이 운동은 배율 조정 지렛대를 통해 연결된 기록펜을 움직이게 하여 원통형 시계에 감긴 기록지에 온도로 기록된다. 바이메탈은 열용량이 크기 때문에 온도 변화에 대한 응답속도가 늦고 정밀도가 다소 떨어지며, 펜과 기록지의 마찰력 때문에 오차가 발생하는 단점이 있다. 반면에, 구조가 간단하고 튼튼하며 연속적인 온도 변화를 기록할 수 있어 기온 변화와 최고·최저기온이 나타난 시각 등을 알 수 있는 장점이 있다. 이 때문에 수동 관측 시기에 널리 이용되었다.

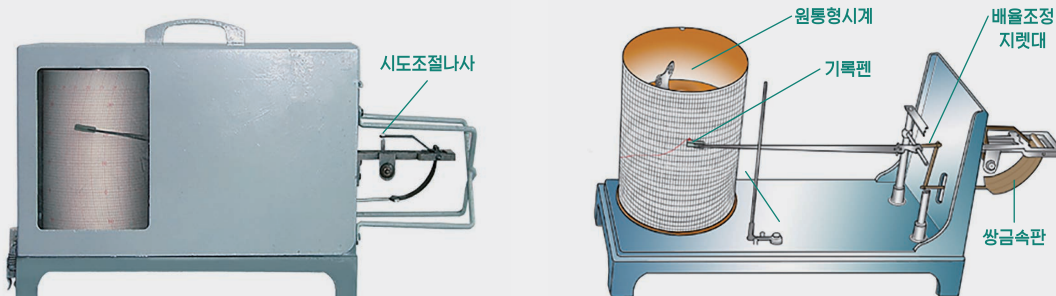
이 온도계는 백엽상 내에 설치하며 안정성이 다소 떨어지므로 장시간 사용할 때는 백엽상 안에 설치한 수은온도계의 온도계값과 비교·점검하여야 양질의 관측값을 얻을 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 기온
- 측정범위: -40℃ ~ 60℃
- 분해능: 0.1℃

✓ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



바이메탈온도계

1.2.2 부르동관온도계(Bourdon tube thermometer)

✓ 측정원리

부르동관온도계(Bourdon tube thermometer)는 1849년 프랑스 부르동(Bourdon)이 고안한 것으로 압력 변화에 따른 곡률 변화를 이용하여 압력이나 온도를 측정한다.

부르동관은 타원형의 단면을 가진 밀폐된 공간에 알코올, 톨루엔 등을 넣고 밀봉한 관이다. 온도가 변하면 부르동관 안에 있는 액체가 팽창 또는 수축함에 따라 압력 변화가 발생하고, 그 변화량이 부르동관의 곡률을 변화시킨다. 부르동관의 한쪽 끝이 고정된 축에 붙어있어서 온도 변화와 곡률 변화는 일정한 비례 관계를 이룬다. 따라서 부르동관 끝에 연결되어 있는 지시침에 변위량이 전달되고 변화하는 위치를 기록펜이 원통형 시계에 부착된 기록지에 그래프를 그린다.

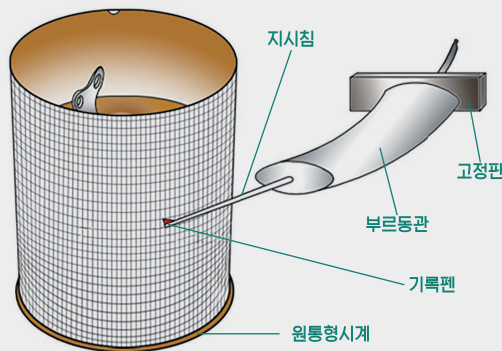
압력온도계라고도 불리는 부르동관온도계의 수감부인 부르동관은 양백(洋白) 또는 황동으로 만들며, 감도가 낮고 경년변화가 크며 기계적 강도도 부족하여, 바이메탈 자기온도계로 대체되었고 현재는 기상관측에 사용되지 않는다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 기온
- 측정범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



부르동관온도계

1.3 유리제

1.3.1 수은온도계(Mercury thermometer)/알코올온도계(Alcohol thermometer)

✓ 측정원리

유리제온도계(Liquid glass thermometer)는 원구형 또는 원통형 모양의 구부와 이와 연결된 가늘고 긴 관인 모세관(毛細管) 속에 감온액(感溫液)인 순수한 수은 또는 알코올을 넣고, 온도가 상승 또는 하강함에 따라 변하는 열팽창률에 의해 구부에 들어 있는 액체가 팽창과 수축하는 성질을 이용한 것이다. 따라서 유리 모세관과 감온액의 특성이 유리제온도계 성능을 크게 좌우한다.

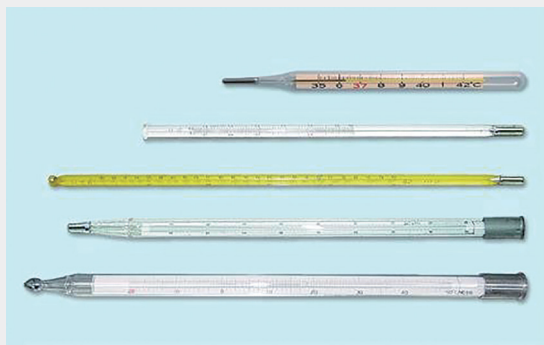
유리제온도계는 구부와 연결된 긴 유리 모세관 상단을 통해 내부 공기를 모두 빼내고 감온액을 주입하여 0°C 항온이 되는 챔버(Chamber) 내에서 온도를 안정시킨 후, 모세관 눈금의 0°C 이상 범위에 있는 감온액을 밖으로 빼내고 입구를 봉입하여 만든다. 모세관 안에 수은을 넣은 것을 수은온도계(Mercury thermometer)라 하고, 알코올을 넣은 것은 알코올온도계(Alcohol thermometer)라고 한다. 알코올온도계는 알코올이 무색투명하므로 온도계 눈금을 읽기 편하게 하기 위해 착색제(着色劑)를 약간 섞기도 한다.

✓ 주요 성능

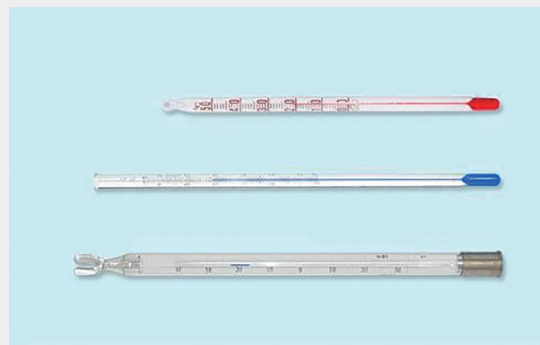
- 관측요소: 기온
- 측정범위: -80°C ~ 60°C
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



수은온도계



알코올온도계

1.3.2 건구온도계(Dry bulb thermometer)/습구온도계(Wet bulb thermometer)

☑ 측정원리

습구온도계(Wet bulb thermometer)는 유리제온도계의 수감부를 기름기가 제거된 흰색의 얇은 거즈(Gauze)로 한번 싸서 물에 적신 것이고, 건구온도계(Dry bulb thermometer)는 수감부에 아무것도 붙이지 않은 것이다. 거즈가 싸인 습구의 표면에는 얇은 수막(水膜)이 생기고 물이 증발하면서 숨은열(潛熱)이 발생한다. 이러한 열역학적 현상을 이용하여 건구온도계와 습구온도계의 온도 차로 상대습도, 수증기압, 불쾌지수 등을 구한다. 건습구온도계를 이용한 습도 산출은 습도계 부분을 참조하면 된다.

☑ 주요 성능

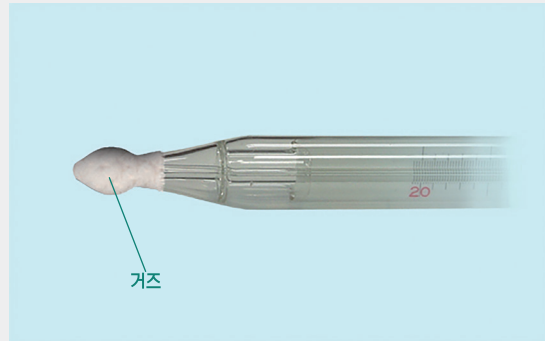
- 관측요소: 기온
- 측정범위: $-80^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



건구온도계



습구온도계

1.3.3 봉상온도계(Stem tube thermometer)/이중관온도계(Double tube thermometer)

☑ 측정원리

봉상온도계(Stem tube thermometer)는 막대기 모양으로 생긴 유리제온도계이다. 모세관을 감싸고 있는 유리가 두꺼우며 유리 표면에 온도 눈금이 새겨져 있어 읽기 편리하다. 그러나 관측자의 눈높이에 따라 유리의 굴곡 특성 탓에 시차가 생기기 쉽다. 기상관측용 외에 사용되는 유리제온도계의 대부분이 봉상온도계이며, 기상관측에서는 곡관지중온도계, 철관지중온도계, 증발계의 수온계, 수은기압계의 부착온도계 등으로 사용되고 있다.

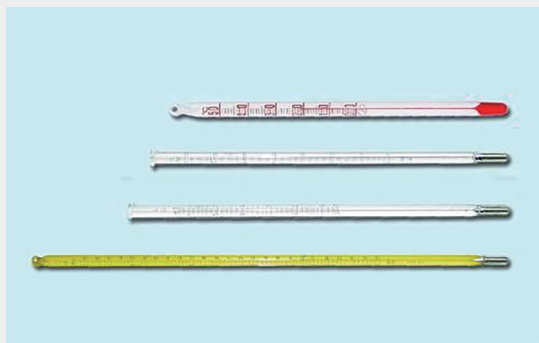
이중관온도계(Double tube thermometer)는 독일 Fuess사가 제작한 유리제온도계라 하여 후스형 유리제온도계라고도 한다. 가느다란 철사를 이용하여 감온액이 들어있는 가는 모세관을 온도 눈금이 새겨진 우윳빛 유리 눈금판에 위와 아랫부분을 밀착 고정시키고, 이것을 다시 안지름 약 15mm 정도인 넓은 유리관 속에 넣어 유리 눈금판이 움직이지 않도록 스테인리스 뚜껑 부분에 장치된 홈에 정확히 끼워 넣고 밀폐시킨 것이다. 이 온도계는 모세관의 수은사와 눈금판이 최대한 밀착되어 있어 시도를 정확히 읽을 수 있고 정밀도가 높아 기상관측용으로 널리 사용되고 있다.

☑ 주요 성능

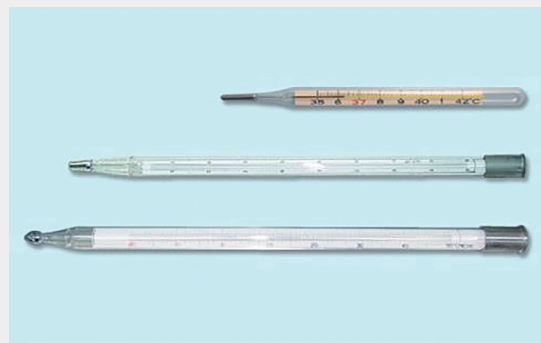
- 관측요소: 기온
- 측정범위: -80℃ ~ 60℃
- 분해능: 0.1℃

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



봉상온도계



이중관온도계

1.3.4 곡관지중온도계(Bent-stem soil thermometer)

☑ 측정원리

곡관지중온도계(Bent-stem soil thermometer)는 수은을 사용하고 굽은 형태의 봉상온도계이다. 자연에 노출되어 측정해야하기 때문에 온도 눈금 등을 보호하도록 투명유리관으로 씌워져 있는 경우도 있다. 곡관지중온도계에는 5cm, 10cm, 20cm, 30cm 깊이의 지중온도와 0cm 지면온도를 측정하는 5종의 유리제온도계가 있으며, 수감부의 지름은 약 10mm ~ 12mm이고 온도 눈금 부분과 수감부 사이가 L자형으로 약 60° ~ 80°가 구부러져 있다.

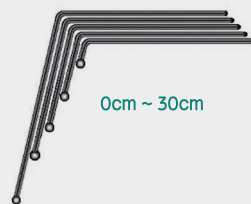
곡관지중온도계는 아래 그림과 같이 온도계의 모세관 양 끝부분에 받침대를 사용하여 지면과 수평을 유지하도록 설치하며, 야간에 관측자 또는 동물로부터 파손되는 것을 막기 위하여 주변에 철재로 막음 장치를 설치한다. 곡관지중온도계는 수감부와 일정 부분의 모세관이 땅에 묻혀 있으므로 정확한 관측을 위해서 수시로 수은 상태와 유리관의 파손 상태를 점검해야하며, 모세관 안에 감온액의 찌꺼기가 남았는지 수은사가 끊어졌는지 수시로 확인해야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 기온
- 측정범위: -50℃ ~ 50℃
- 분해능: 0.1℃

☑ 활용 분야

지중온도 관측, 농업기상(작물·해충), 수문·지구물리 연구, 기후변화·영구동토 모니터링



곡관지중온도계 및 설치 단면도

1.3.5 철관지중온도계(Simon's soil thermometer)

☑ 측정원리

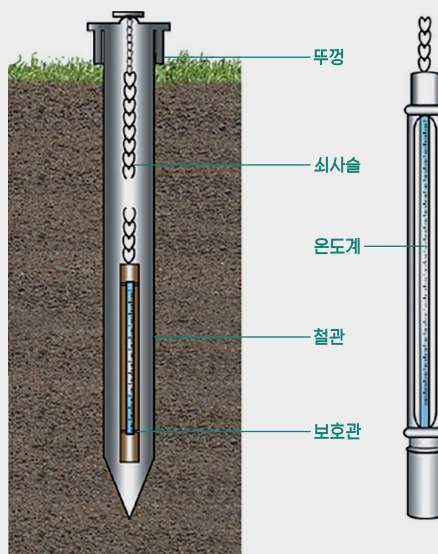
철관지중온도계(Simon's soil thermometer)는 50cm 깊이 이상 즉, 0.5m, 1.0m, 2.0m, 3.0m, 5.0m 지중온도를 측정하는 봉상온도계이다. 이 온도계는 바깥지름 46mm, 안지름 42mm의 철관 또는 이와 유사한 플라스틱 관(한쪽 끝을 뾰족하게 막은 원형봉)을 지중에 수직으로 매설한 뒤, 깊이에 맞는 길이의 쇠사슬에 유리제 온도계를 매달아 관 내부에 삽입하여 설치한다. 봉상온도계는 관측할 때 철관 벽에 부딪혀 파손되는 것을 방지하기 위해 지름 20mm, 길이 280mm인 나무로 된 보호관 안에 넣으며 수감부 쪽에는 코르크 또는 고무로 된 덮개를 씌워 온도계를 보호한다. 쇠사슬이 매달린 원통형 뚜껑의 겉면은 흰색 페인트를 칠해 복사열을 방지한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 기온
- 측정범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

☑ 활용 분야

지중온도 관측, 농업기상(작물·해충), 수문·지구물리 연구, 기후변화·영구동토 모니터링



철관지중온도계

1.3.6 최고온도계(Maximum thermometer)

☑ 측정원리

최고온도계(Maximum thermometer)는 일정한 기간 동안에 기온이 가장 높게 올라갔을 때의 온도를 측정하는 이중관온도계이다. 이 온도계의 감온액으로는 수은이 들어가 있고, 구부는 아래쪽으로 뾰족이 튀어나온 타원형으로 보통 좌우 지름이 약 10mm, 상하 지름은 15 ~ 17mm 정도이다.

구부 안에는 아래부터 위쪽으로 유리침이 돌출되어 있으며, 유리침 끝부분은 모세관 입구 근처까지 닿아 있어 수은이 상하로 이동하는 것을 제어하는 구조이다. 다른 일반 유리제온도계와 달리 구부 밑 부분이 타원형으로 튀어나와 있는 것은 구부 내에 유리침이 수직으로 설치되어 있기 때문이다. 이 온도계는 기온이 올라가면 구부 안에 있는 수은이 팽창하여 협소한 유리침과 모세관 사이를 뚫고 상승하지만, 기온이 내려가면 수은이 수축하면서 한번 올라간 수은은 유리침이 막아 구부로 돌아오지 못하고 모세관에 그대로 남아있다. 이 원리를 이용하여 일정 기간 동안에 나타나는 최고기온을 측정한다.

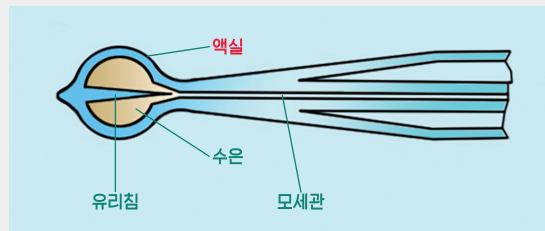
일상생활에서 사용하는 체온계는 수감부가 원통 모양이고 수감부의 액실과 모세관이 연결되는 부분이 협소하고 잘록하게 구부러져 최고온도를 측정하는 구조로 되어 있으며, 최고온도계의 측정원리를 이용한 것이다.

☑ 주요 성능

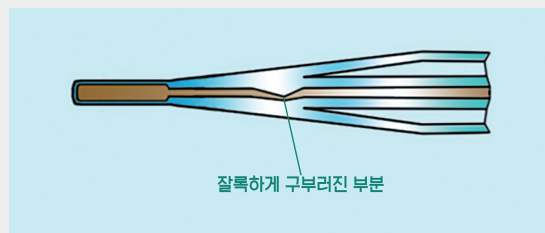
- 관측요소: 최고기온
- 측정범위: -35℃ ~ 60℃
- 분해능: 0.1℃

☑ 활용 분야

최고기온 측정, 기후·극한기상 연구, AWS 보조·교정, 농업·보건·도시 기상



최고온도계 및 구부 안의 유리침



체온계 및 수감부

1.3.7 최저온도계(Minimum thermometer)

☑ 측정원리

최저온도계(Minimum thermometer)는 알코올을 감온액으로 사용하며 온도가 내려가면 알코올 끝단이 유리 지표를 끌어 내리고, 온도가 올라가면 지표는 그대로 남겨져 최저기온을 기록한다.

수감부는 약 60°로 벌어진 U자 형태로 지름 6~7mm, 간격 3mm로 제작되어 성에나 이슬로 인한 손상을 방지한다. 모세관 속에는 길이 약 20mm의 파란색 I자 모양 유리 지표가 들어 있어 알코올 움직임을 따라 이동한다. 알코올이 지표를 이동시키고, 지표가 남은 위치로 최저온도를 확인한다.

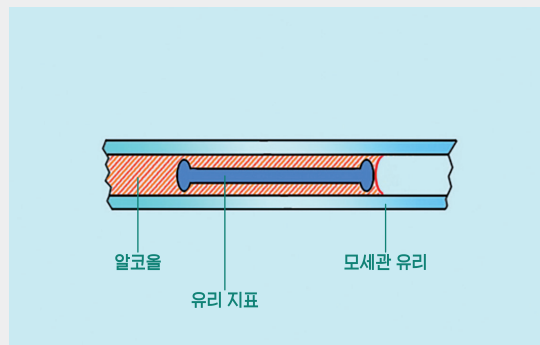
최저온도계는 가로로 놓고 수감부를 왼쪽으로 향해 수평보다 약간 높게 설치하여 중력의 영향을 줄인다. 관측 후에는 최고·최저온도계 모두 복도(復度)해서 초기화한 뒤 새로운 관측을 시작한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 최저기온
- 측정범위: $-80^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

☑ 활용 분야

한파·냉해 연구, 기후변화 추세(최저기온 상승, 열대야), 농업·보건·도시 기상, AWS 보조·교정



최저온도계 및 유리 지표

1.3.8 식스온도계(Six's thermometer)

☑ 측정원리

식스온도계(Six's thermometer)는 일정한 기간 동안에 최고기온과 최저기온을 하나로 측정할 수 있도록 만든 유리제온도계로 1782년 식스(Six)에 의해 발명되었다. 흔히 최고최저온도계라고도 불린다.

이 온도계는 약 400mm 정도 길이의 U자 봉상유리관으로 양쪽 위에 수감부가 달렸다. U자 유리관에 수은을 넣어 구부러진 부분을 중심으로 좌우에 일정하게 수은이 채워지면, 왼쪽 수은 위에는 구부까지 알코올을 꽉 채우고, 오른쪽 수은 위에는 알코올을 약간의 진공이 있도록 채워 넣는다. 이 진공 공간은 수감부가 팽창할 때 알코올이 올라올 공간을 제공하고 수감부가 수축할 때는 밀의 알코올을 밀어주는 역할을 한다.

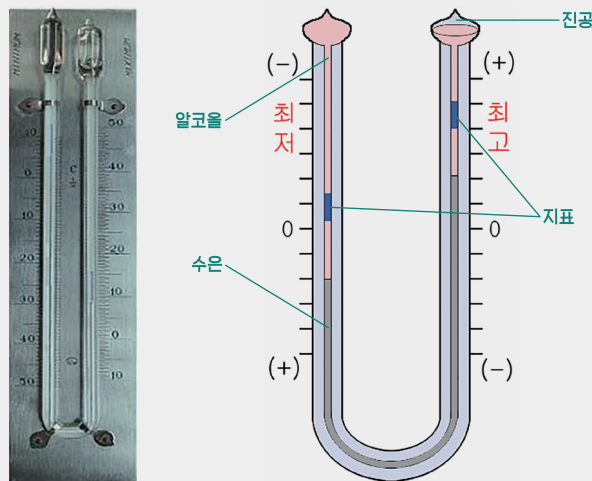
유리 모세관 안에 들어있는 양쪽 끝이 I자 모양인 지표의 길이는 약 13mm이며, 모세관 지름보다 약간 작은 굵기로 모세관 내벽에 접촉되어 있다. 최저기온을 나타내는 왼쪽 모세관의 경우, 기온이 하강하면 알코올이 수축하면서 지표를 끌고 올라가고 기온이 상승하면 알코올은 팽창하면서 수은사를 밀어내지만 지표는 모세관 내벽에 붙어 그대로 남게 된다. 최고기온을 나타내는 오른쪽 모세관의 경우, 기온이 상승하면 수은이 지표를 밀어 올리고 기온이 하강하면 지표는 모세관 내벽에 붙어 그 자리에 그대로 남게 되고 수은만 내려간다. 이러한 원리로 관측 기간 중 최고기온과 최저기온을 측정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 최고기온, 최저기온
- 측정범위: -35℃ ~ 55℃
- 분해능: 0.1℃

☑ 활용 분야

최고·최저 기온 관측, 기후연구, 농업·보건·도시기상, 교육



식스온도계

1.4 기타

1.4.1 표면온도계(Surface-mount thermistor)

✓ 측정원리

표면온도계(Surface-mount thermistor)는 서미스터(Thermistor)를 알루미늄 디스크에 내장해 표면의 열을 전달받아 온도를 측정한다. 서미스터의 저항값은 온도에 따라 비선형적으로 변하며, 이 저항은 데이터로거의 반브리지(Half-bridge) 회로를 통해 전압 신호로 변환된다. 얻은 전압은 저항값으로 환산되고, 이를 다시 슈타인하르트-하트(Steinhart-Hart) 방정식에 대입해 온도로 계산된다. 알루미늄 디스크는 센서를 보호함과 동시에 표면과의 열전달 효율을 높여 빠르고 안정적인 응답을 가능하게 한다.

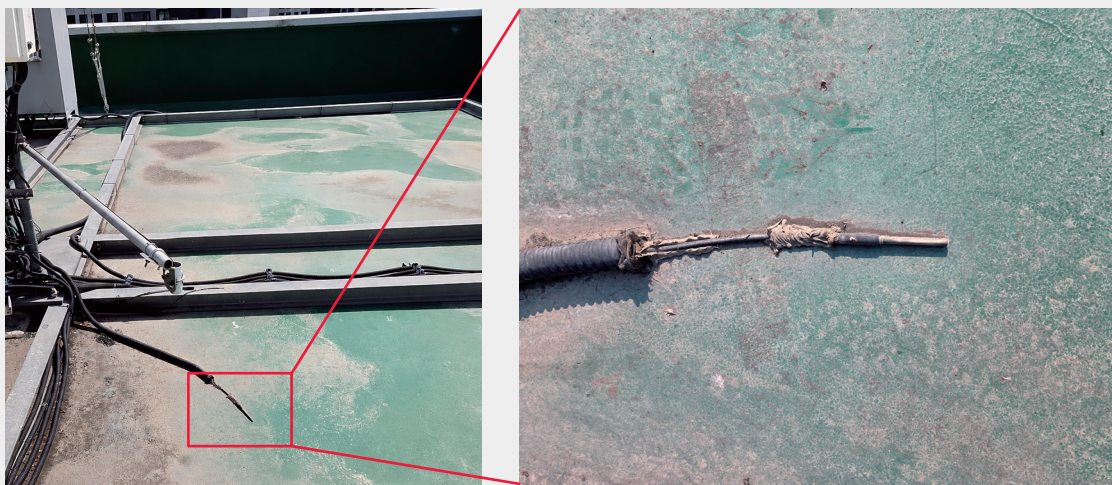
탐침(probe)는 접촉면을 통해 태양광 패널 후면이나 기타 측정 대상 표면에 밀착되며, 필요시 캡톤(Kapton) 테이프로 추가 고정된다. 케이블 저항이나 외부 잡음을 보정하기 위해 4선식 반브리지 측정 방식을 적용하면 측정 정확도가 향상된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 표면온도
- 측정범위: -40°C ~ 135°C
- 분해능: 0.01°C ~ 0.1°C

✓ 활용 분야

태양광발전효율분석, 표면열환경평가, 농업작물잎표면온도, 기상관측보조



표면온도계

1.4.2 앞썩표면온도계(Radiation frost detector)

✓ 측정원리

앞썩표면온도계(Radiation frost detector)는 잎 표면에서 방출되는 적외선 복사 에너지를 감지하여 온도를 산출하는 원리로 동작한다. 센서 내부의 열전퇴(Thermopile)는 잎이 내는 복사 신호를 전기적 신호로 변환한다. 이때 대상 표면의 발산율(Emissivity)을 고려하여 실제 온도로 환산한다. 또한 기온 센서로 얻은 보정값을 적용해 외부 환경 변화에 따른 오차를 줄인다.

비접촉 방식이어서 잎을 손상하지 않고 연속해서 측정이 가능하다. 광학계는 일정한 시야각을 가지고 특정 면적의 복사만 수집하도록 제한할 수 있다. 이 때문에 이 센서는 잎의 에너지 수지 및 증산 상태를 반영하는 표면온도를 정밀하게 기록할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 온도
- 측정범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

작물수분스트레스진단, 관개관리, 병해조기탐지, 식물생리연구, 생태·기후모델링



앞썩표면온도계

1.4.3 적외선표면온도계(Infrared radiometer)

☑ 측정원리

적외선표면온도계(Infrared thermometer)는 지표면이 방출하는 8 ~ 14 μ m 대역의 적외선을 감지해 표면온도를 산출하며, 열전쌍 검출기, 게르마늄 필터, 기준 온도 서미스터, 신호처리 회로로 이루어진다. 센서는 복사 차폐막을 이용해 외부 환경 영향을 줄이며, 스테판-볼츠만 법칙을 적용해 검출기와 측정 목표 간 복사 에너지 차이를 온도로 변환한다.

측정 표면을 시야각 내에 포함해 평균 복사온도를 측정하며, 데이터로거 출력 전압과 교정계수를 이용해 실제 온도를 계산한다. 또한 복사율 보정과 배경 복사 고려가 가능하며, 응답속도는 0.6초, 반복성은 0.05 $^{\circ}$ C 미만으로 연속 측정이 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 적외선표면온도
- 측정범위: -50 $^{\circ}$ C ~ 80 $^{\circ}$ C
- 분해능: 0.05 $^{\circ}$ C 이하

☑ 활용 분야

증발산 추정, 도로·활주로 결빙 탐지, 토양·수면 에너지 수치, 기상·기후 관측



적외선표면온도계

1.4.4 지중열플럭스센서(Heat flux sensor)

☑ 측정원리

지중열플럭스센서(Heat flux sensor)는 토양 내 열 흐름을 정량화하는 얇은 원판형 센서로, 열전퇴(thermopile), 보호용 충전재, 신호 케이블로 구성된다. 열이 토양을 통과할 때 형성되는 온도 구배를 열전퇴가 전압으로 변환하며, 이를 교정 상수로 환산하여 열플럭스를 구한다. 센서는 지표면 아래 약 8cm 깊이에 토양과 밀착되도록 설치하고, 붉은 라벨이 위를 향하게 하며, 여러 개를 설치하여 공간 평균값을 산출한다.

관측은 센서를 데이터로거의 차동 입력에 연결하여 전압 신호를 기록하고, 교정계수를 적용해 W/m^2 로 환산한다. 지표면 열수지를 산정할 때는 HFP01 측정값에 더해 상부 토양의 열저장항(온도 변화)과 수분함량 보정을 함께 고려한다. 센서는 수동형이므로 별도의 전원이 필요 없으며, 약 2년 주기의 재교정과 케이블 점검이 권장된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 열플럭스
- 측정범위: $\pm 2000 W/m^2$
- 분해능: $0.1 W/m^2$

☑ 활용 분야

토양 열수지 연구, 에너지밸런스 관측, 농업·생태계 연구, 기상학·수문학 실험



지중열플럭스센서

II



습도관측

036

2.1 전자식

040

2.2 기계식

044

2.3 기타

2.1 전자식

2.1.1 전기저항고분자막습도계(Electrical resistance polymer film hygrometer)

✓ 측정원리

전기저항고분자막습도계(Electrical resistance polymer film hygrometer)는 고분자 물질의 흡수성에 따라 전기저항이 변하는 원리를 이용한 센서로, 스티렌이나 아크릴계 특수화합물에 암모늄 계열의 중합체를 감습박막(Active material)으로 이용한다.

이 센서는 절연성 얇은 판에 귀금속 재질의 불활성 전극을 빗살 형태로 성형하고, 그 위에 암모늄염($N^+(CH_3)_3Cl^-$)을 도포한 구조이다. 이 물질에서 $N^+(CH_3)_3$ 는 결합이 강하여 자유롭게 움직일 수 없지만, Cl^- 은 자유 상태로 전리되어 이동성을 갖게 된다. 센서 표면에서 수증기 분자의 흡·탈착량에 따라 이온 전도성이 달라진다. 이 때문에 상대습도 변화에 따라 전기저항이 변하며 이 특성을 이용하여 상대습도를 산출한다.

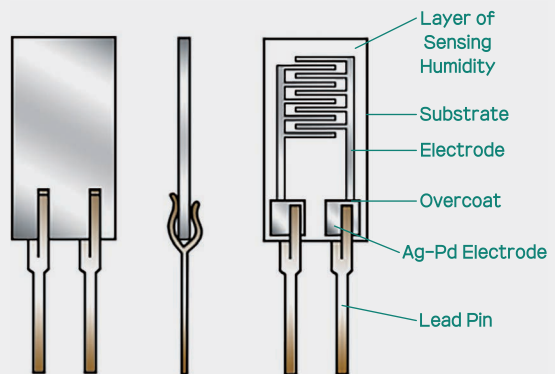
이 센서는 오염에 강하고 가격이 저렴하여 대량 생산이 가능하다. 반면에, 고분자 물질의 특성으로 인해 온도계수가 크고 60°C 이상의 고온 또는 30% 이하의 저습 환경, 그리고 90% 이상의 고습 환경 등에서 선형성이 떨어진다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 상대습도
- 측정범위: 0% ~ 100%
- 분해능: 1%

✓ 활용 분야

기상 기후 관측, 농업·보건·수문 기상, 산업 환경 모니터링, 가전제품



전기저항고분자막습도계

2.1.2 정전용량고분자막습도계(Capacitive polymer film hygrometer)

✓ 측정원리

정전용량고분자막습도계(Capacitive polymer film hygrometer)는 고분자 물질의 전기 특성이 물 분자의 흡·탈착에 따라 변하는 원리를 이용한 센서로 고분자막을 유전체¹⁾로 하는 콘덴서의 일종이다.

상대습도가 증가하여 고분자 표면에 물 분자가 흡착되면 유전을 변화에 따라 고분자의 정전용량이 변한다. 정전용량이 변하면 발생하는 전류량도 변하며, 이것을 전기신호로 변환한다. 이때 전기신호는 0 ~ 1V까지의 전압값으로 나타내며, 0V는 0%로, 1V는 100%의 값으로 대응시켜 상대습도를 산출한다.

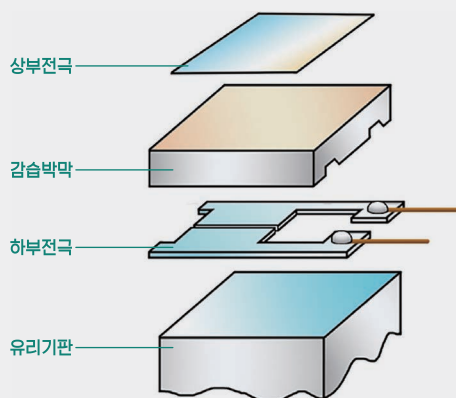
센서 부분은 두께가 0.25mm이고, 크기는 4(W)mm × 6(H)mm이며, 센서 보호를 위해 6(W)mm × 18(H)mm × 3(L)mm의 플라스틱 보호막이 센서 둘레를 감싸고 있다. -40 ~ 80℃ 온도에서 사용되며, 상대습도 10% ~ 95%의 범위에서 1% 이내의 선형성을 보인다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 상대습도
- 측정범위: 0% ~ 100%
- 분해능: 1%

✓ 활용 분야

기상 기후 관측, 산업 분야, 환경 모니터링, 가전제품, 농업·보건·수문 기상



정전용량고분자막습도계

1) 유전체(Dielectric substance): 전기적인 성질을 유도하는 물질로 전기장 속에 물체가 들어가면 +전하와 -전하가 전기장의 영향으로 분극되는데 이렇게 분극되는 물질을 유전체라 하며 진공과 부도체가 속한다(분극: ++++---+ ⇨ ++).

2.1.3 냉각거울이슬점습도계(Chilled mirror dew-point thermometer)

✓ 측정원리

냉각거울이슬점습도계(Chilled mirror dew-point thermometer)는 감지 방식과 구성에 따라 차이는 있지만 기본적으로인 냉각된 거울 표면에 맺힌 이슬을 광학적으로 감지하여 측정한다.

공기와 접한 금속 거울을 서서히 냉각하면, 어느 온도에서 수증기의 응결과 증발이 평형을 이루어 거울 표면에 이슬이 형성된다. 이때의 온도를 측정하는 방식이며, 광학적으로 이슬 형성을 검출하므로 광전식 이슬점계라고도 한다.

냉각거울이슬점습도계는 투광 포토다이오드로 냉각거울에 조사하고 반사광을 수광 포토다이오드로 검출한다. 거울 표면에 이슬이 맺혀 있지 않으면 반사광이 크게 검출되지만, 이슬이 맺히면 빛이 산란되어 검출신호가 감소한다. 이 신호를 이용해 이슬점온도를 결정하고, 이를 바탕으로 상대습도를 산출한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 이슬점온도
- 측정범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.01°C

✓ 활용 분야

기상관측, 습도 기준기, 교정, 정밀 제조업 산업 공정, 환경 시험, 국제 표준 비교



냉각거울이슬점습도계와 표출장치

2.1.4 염화리튬이슬점습도계(Lithium chloride dew-point thermometer)

☑ 측정원리

염화리튬이슬점습도계(Lithium chloride dew-point thermometer)는 유리섬유로 둘러싼 금속관에 나선형 가열 전극을 감고, 염화리튬(LiCl) 전해질을 이용하는 센서이다. LiCl의 결정, 용액, 수증기가 등온 평형을 이루는 상태에서 형성되는 포화용액의 온도(이슬점)를 측정하여 습도를 산출한다.

공기 중 수증기를 흡수하면 염화리튬 결정은 용액으로 변하고 전기전도율이 증가해 전극 사이에 전류가 흐른다. 전류가 발생한 열은 수분을 증발시켜 다시 염화리튬을 결정으로 만들며, 다시 전기전도율과 발열이 점차 감소한다. 이러한 흡습과 증발의 반복으로 염화리튬 결정, 용액, 수증기가 공존하는 동적 평형 상태에 도달한다. 이때의 평형온도가 이슬점온도이며, 금속관 내부의 니켈저항온도계로 측정한다.

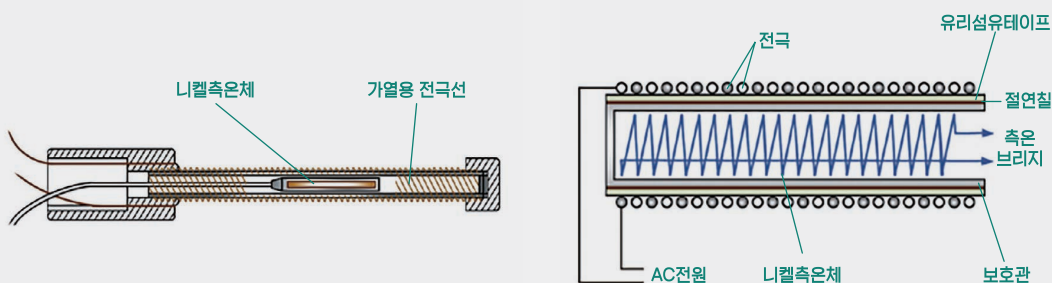
염화리튬이슬점습도계는 반응속도가 느리고 섬유유리심지의 오염 정도에 따라 측정값이 달라지고 풍속에도 민감하여 정확도가 떨어진다. 정확한 측정을 위해서는 일반적으로 센서를 3개월에 1회 정도 염화리튬 수용액으로 발라주어야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 이슬점온도
- 측정범위: -10°C ~ 55°C
- 분해능: 0.1°C

☑ 활용 분야

기상관측, 교정 기준, 연구용, 산업 분야, 교육용



염화리튬이슬점습도계 센서

2.2 기계식

2.2.1 건습계(Psychrometer)

✓ 측정원리

건습계(Psychrometer)는 기온을 측정하는 건구온도계와 백색 탈지된 얇은 거즈로 수감부가 둘러싸인 습구온도계의 온도차를 이용하여 상대습도를 산출한다.

습구온도계는 왼쪽에, 건구온도계는 오른쪽에 수직으로 세워져 있으며 습구온도계 수감부는 거즈로 싸여 있다. 이 거즈와 물을 공급하는 물통과는 심지로 연결되어 거즈에 물을 지속적으로 공급하도록 되어 있다.

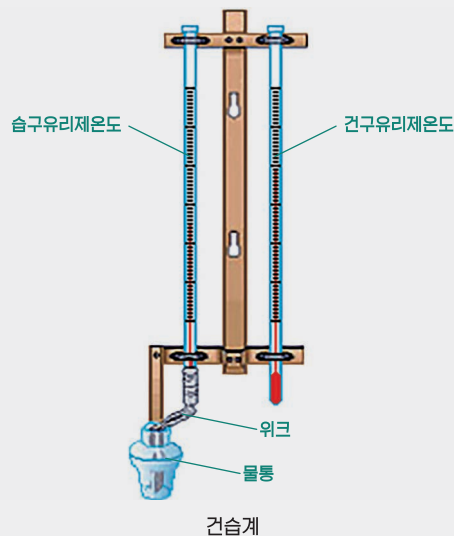
증류수가 충분히 공급된 습구온도계 수감부 표면에는 얇은 수막(水膜)이 형성되고 여기서 물이 증발하면서 잠열을 흡수한다. 이로 인해 습구온도는 낮아지며 건구온도와 온도차가 발생한다. 이 값을 노모그램이나 상용 표에 대입하여 상대습도를 구한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 상대습도, 이슬점온도
- 측정범위: $-35^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상 기후, 농업·수문·보건기상, 환경 및 산업 위생, 전자 습도계 교정



2.2.2 통풍건습계(Ventilated psychrometer)

✓ 측정원리

통풍건습계(Ventilated psychrometer)는 아스만통풍건습계와 같은 원리로 상대습도를 측정한다. 아스만통풍건습계는 직류 건전지로 팬을 구동하는 반면에, 전동 통풍건습계는 상전원(常電源)으로 구동하여 전동 통풍건습계라고 하며, 상전원이 공급되어야 사용할 수 있기 때문에 주로 백엽상에 설치하여 사용한다.

아스만통풍건습계의 구조와는 달리, 통풍팬이 유리제온도계 수감부 근처에 있으며, 수감부를 감싸고 있는 유리관을 통해 바람을 흡입하여 습구온도계의 수감부 물을 증발시킨다. 편리한 관측을 위해 두 유리제온도계는 같은 종류와 형태를 사용하며 수평 위치가 같게 설치한다. 이중관 유리제온도계는 보호관이 없이 외부에 노출되어 있으므로 관측이나 이동할 때 파손되지 않도록 주의하여야 한다.

✓ 주요 성능

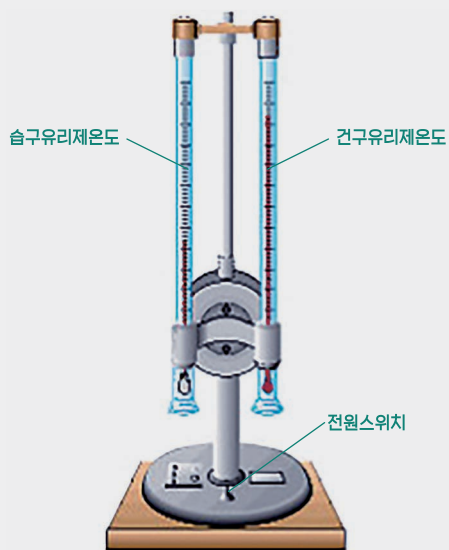
- 관측요소: 건구온도, 습구온도 → 상대습도, 이슬점온도, 수증기압 산출
- 측정범위: $-35^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상관측, 습도계 교정, 기후 연구, 농업·보간·수문 기상, 교육 및 실습



백엽상 내의 통풍건습계



통풍건습계 모식도

2.2.3 아스만통풍건습계(Assmann ventilated psychrometer)

✓ 측정원리

아스만통풍건습계(Assmann ventilated psychrometer)는 독일의 아스만(Assmann)이 1887년에 고안한 측기이다. 이 측기의 온도계는 길이 약 290mm의 이중관 유리제온도계가 사용되며, 야외에서 사용할 때 일사에 의한 열전도를 최소화하기 위해 이중관 유리제온도계를 제외하고 모든 부분이 은도금으로 처리되어 있다. 또한, 두 개의 흡입구와 통풍관 사이에는 단열재가 끼워져 있다.

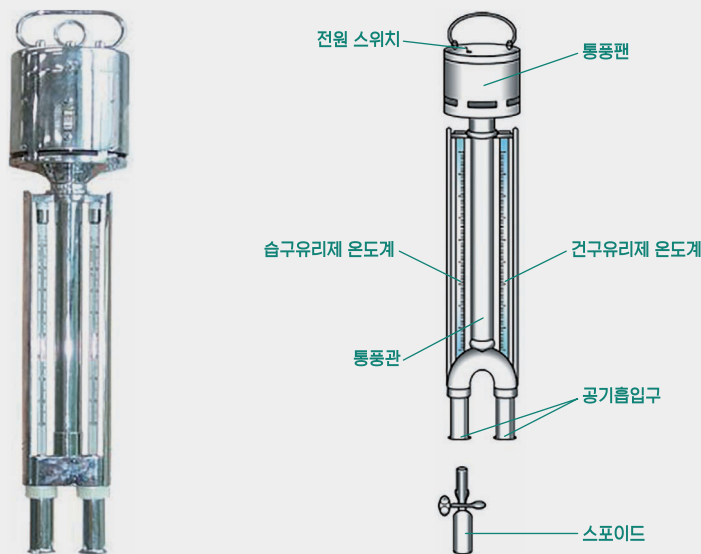
지름이 약 90mm인 통풍팬은 날개가 6개이며, 직류 전원으로 작동한다. 약 2.5~5.0m/s의 공기를 흡입하여 건구 및 습구온도계의 수감부를 통과시킨 후에, 안지름 약 19.5mm의 통풍관을 따라 흐른 후 팬을 통해 상부로 배출된다. 이 건습계는 건구와 습구온도의 차이를 이용해 습도를 산출하는 장치이다. 자연 상태에서는 습구 수감부를 통과하는 공기 속도가 일정하지 않아 건습계 상수가 변하고 측정 오차가 발생하므로 이를 방지하기 위해 공기를 강제로 통풍시킨다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 건구온도, 습구온도 → 상대습도, 절대습도, 이슬점온도 산출
- 측정범위: -35°C ~ 50°C(알코올형 -70°C까지)
- 분해능: 0.1°C

✓ 활용 분야

기상 기후 관측, 산업 환경 위생, 실내 온열 환경 측정, 갱도 작업 환경 조사, 교육



아스만통풍건습계

2.2.4 모발습도계(Hair hygograph)

☑ 측정원리

모발습도계(Hair hygograph)는 흡습성 물질인 머리카락의 길이 변화를 기계적으로 확대·기록하여 습도를 산출한다. 머리카락은 습도와 온도에 따라 길이가 변하지만, 온도에 의한 변화는 습도에 비해 매우 작아 일반적으로 온도 보정 없이 사용한다.

습도계에 사용되는 모발은 측기의 크기와 구조에 따라 길이 100 ~ 300mm의 모발 10 ~ 50 가닥을 한 묶음으로 사용한다. 모발의 양쪽 끝은 고르게 수감부 고정대에 매여져 있고 모발의 중앙이 배울조정대 고리에 연결되어 모발의 신축에 따라 배울조정대가 움직인다. 이 변위는 주동 캠과 종동 캠을 통해 전달되어 펜 축의 상하 운동으로 변환되며, 기록펜은 회전하는 원통시계의 기록지에 습도 곡선을 기록한다.

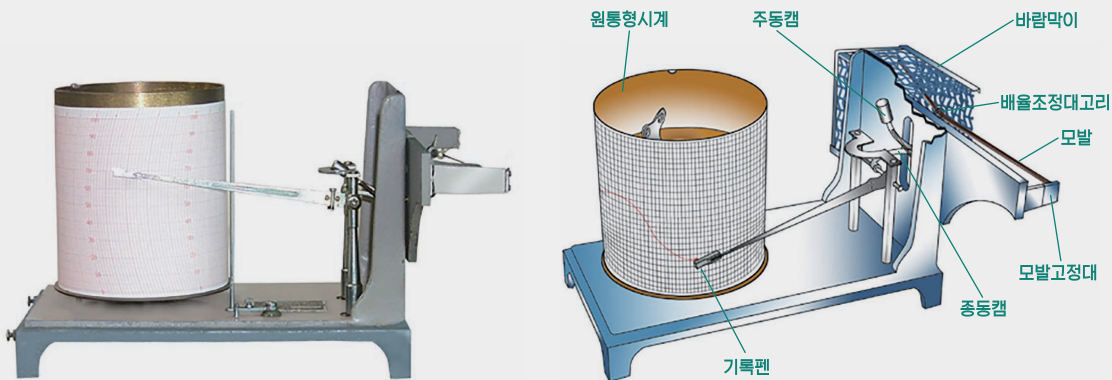
정확한 측정을 위해 모발은 청결히 유지해야 하며, 오염 시 증류수로 세척하여 그늘에서 건조해 사용한다. 실외에서 측정할 때 풍속이 10m/s 이상이면 약 2% 낮게 측정되므로 바람막이를 설치해야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 상대습도
- 측정범위: 20%~ 95%
- 분해능: 1%

☑ 활용 분야

기상 기후, 산업 현장, 농업·보간·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



모발습도계

2.3

기타

2.3.1 산림연료수분센서(Forest fuel moisture sensor)

✓ 측정원리

산림연료수분센서(Forest fuel moisture sensor)는 산불 화재 현장에서 10시간 산림 연료 수분을 추적하기 위한 전자식 센서로, 목재 막대 내부의 온도와 습도를 측정하여 실제 연료의 수분 함량을 추정한다.

이 센서는 건조 처리된 폰데로사 소나무로 만든 교체형 목재 막대를 사용하며, 내부에 서미스터와 용량식 습도 센서를 내장해 연료의 온도와 습도를 측정한다. 막대는 현장에서 쉽게 교체할 수 있어 유지비용을 줄이고, 디지털 보정과 선형화를 통해 높은 정밀도와 온도 안정성을 확보한다. 또한 햇빛, 바람, 강수, 기온, 습도의 영향을 반영하여 실제 연료 상태와 유사한 변화를 나타낸다. 관측 자료는 스테인리스 케이블과 베요넷 커넥터를 통해 Axiom F6 데이터로거의 전용 포트에 전송된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 산림연료습도, 연료계 내부습도, 연료계 내부 온도
- 측정범위: 0% ~ 100% RH, 0% ~ 100% RH, -40°C ~ 60°C
- 분해능: 1%, 1%, 0.1°C

✓ 활용 분야

산불 예측, 화재 행동 분석, 기상관측 보조, 연료 수분 모니터링, 산림 관리



산림연료수분센서

2.3.2 엽면습윤센서(Leaf wetness sensor)

☑ 측정원리

엽면습윤센서(Leaf wetness sensor)는 잎 표면의 습윤 지속 시간과 건조 시간을 측정하여 그 비율을 산출하는 데 사용되며, 식물병리학에서 질병 예측의 핵심자료로 활용된다.

이 센서는 실제 잎을 모사하여 주변 식생의 습윤 상태를 근사적으로 재현한다. 정전용량식 센서는 표면 유전율 변화를 측정하여 잎 표면의 습윤 상태를 판단하며, 물의 양에 비례하여 신호가 증가한다. 얼음은 유전율이 낮아 같은 양의 물보다 출력이 작게 나타난다. 또한, 물이 전극을 직접 연결하지 않아도 감지가 가능해 도색이나 개별 교정이 필요 없으며, 측정된 유전율은 mV 신호로 변환되어 표면의 물 또는 얼음량을 반영한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 잎 표면 습윤 여부·지속시간
- 측정범위: 건조 ~ 습윤(연속 신호로 표현 가능)
- 분 해 능: 습윤 여부 감지(정전용량식은 수분막 두께 μm 단위 민감)

☑ 활용 분야

농업기상(병해충 예측), 증발산·수문 연구, 미기상 관측망



엽면습윤센서

2.3.3 토양수분센서(Soil moisture sensor)

✓ 측정원리

토양수분센서(Soil moisture sensor)는 토양의 체적 수분함량, 전기전도도, 온도를 측정하는 반사형 센서로, 두 개의 스테인리스 로드와 센서 헤드, 캡슐화된 전자부, 5선식 케이블로 구성된다. 고주파 전자파를 로드에서 전달하여 토양의 유전율 변화를 측정하고, 이를 토프(Topp) 방정식에 적용해 체적 수분함량으로 환산한다. 또한, 신호 감식을 이용해 전기전도도를 보정하며, 온도는 서미스터로 측정한다.

센서는 토양에 수직 또는 수평으로 삽입하여 로드가 토양과 밀착되도록 설치하며, 데이터로거와 SDI-12 또는 RS-232 통신으로 연결해 주기적으로 자료를 기록한다. 설치 시 로드 주변 공극을 최소화하며, 필요시 CS650G 가이드 튜를 사용해 정확히 삽입한다. 교정은 일반적으로 공장 보정값을 사용하되, 토양 특성에 따라 현장 보정을 통해 정확도를 높일 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 토양수분, 토양온도, 전기전도도
- 측정범위: 체적수분함량(VWC) $0\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.70\text{m}^3/\text{m}^3$
- 분해능: 체적수분함량(VWC) $0.001\text{m}^3/\text{m}^3$

✓ 활용 분야

토양수분 모니터링, 농업 기상 연구, 수문학 실험, 생태계 연구, 관개 관리



토양수분센서

2.3.4 매립식노면상태센서(In-pavement road surface condition sensor)

☑ 측정원리

매립식노면상태센서(In-pavement road surface condition sensor)는 도로 표면 온도, 수막 두께, 염 농도 등을 측정하여 노면 상태를 판별하는 장비로, 센서 본체와 최대 2개의 온도 심도 센서, RS485 통신 모듈, 전원 케이블로 구성된다. 음의 온도계수 서미스터(NCT 서미스터로 표면온도를 측정하고, 레이더 방식으로 수막 두께를, 전기전도도 측정으로 염 농도를 산출하며, 이를 바탕으로 결빙 온도와 마찰계수를 추정한다. 센서는 차로 중앙에 매립하여 표면과 수평이 되도록 설치한 뒤, 레진 콘크리트로 고정한다. 전원은 12 V DC를 사용하고, 데이터는 RS-485/UMB 프로토콜이나 SDI-12 인터페이스로 전송된다.

관측은 10~60초 간격으로 자동 수행되며, 출력 데이터는 노면 상태(건조, 습윤, 결빙 등) 코드를 포함한 자료가 전송된다. 유지관리는 센서 표면 청소, 건조제 교체, 정기 점검으로 실시한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 노면온도, 수막두께
- 측정범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$, 0mm ~ 수 mm
- 분 해 능: $< 0.02^{\circ}\text{C}$ ($-20^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 구간) 그 외 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 0.01mm

☑ 활용 분야

도로기상관측, 겨울철 도로 관리, 공항 활주로 안전, 교통 기상 모니터링



매립식노면상태센서

2.3.5 광학식노면상태센서(Optical road surface condition sensor)

✓ 측정원리

광학식노면상태센서(Optical road surface condition sensor)는 이동형 도로 기상관측장비로, 적외선 분광 방식의 발광·수광 다이오드와 비접촉식 온도계, 습도 센서, 내부 제어 모듈로 구성된다. 다양한 파장에서 반사되는 신호를 분석하여 노면 상태(건조·습윤·결빙 등)를 판별하고, 동시에 노면 온도, 이슬점, 수막 두께, 마찰계수 등을 산출한다. 센서는 차량에 지면으로부터 0.5 ~ 2m 높이로 설치하여 주행 중 연속 측정을 수행하며, 블루투스 또는 RS-485/UMB 인터페이스를 통해 데이터를 실시간 전송한다. 장비는 적응 절차를 통해 노면 재질과 설치 조건에 맞춰 교정되며, ConfigTool.Net 또는 전용 앱으로 설정을 제어한다. 출력 주기는 최소 0.1초 단위로 설정할 수 있어 최대 100Hz까지 샘플링이 가능하다. 유지관리는 센서 전면 유리 청소와 펌웨어 업데이트, 고정 나사 점검으로 수행한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 노면온도, 노면상태
- 측정범위: -40°C ~ 80°C, 건조 ~ 젖음
- 분 해 능: < 0.02°C(-20°C ~ 20°C 구간) 그 외 ±0.1°C, 카테고리 분류 90%

✓ 활용 분야

도로 기상관측, 겨울철 도로 관리, 공항 활주로 안전, 교통안전 모니터링



광학식노면상태센서



광학식노면상태센서 자동차 설치 상태

III



기압관측

052

3.1 전자식

054

3.2 기계식

3.1 전자식

3.1.1 전기저항반도체기압계(Piezoresistive barometer)

✓ 측정원리

전기저항반도체기압계(Piezoresistive barometer)는 기압에 의한 다이어프램(diaphragm) 변형으로 반도체의 전기저항이 변하는 원리를 이용하여 기압을 측정한다.

전기저항반도체기압계의 압력 감지 방식은 차압(Differential pressure), 게이지압(Gauge pressure), 절대압(Absolute pressure), 실드게이지압(Sealed gauge pressure) 등 네 가지가 있다. 차압 방식은 P2를 기준압으로 P1와의 차이를 측정하며, 두 압력이 모두 변하더라도 압력차만 검출한다. 게이지압 방식은 P2를 대기압에 노출시켜 이를 기준으로 P1을 측정한다. 실드게이지압 방식은 P2를 1기압으로 밀봉하고 이를 기준으로 P1을 측정한다.

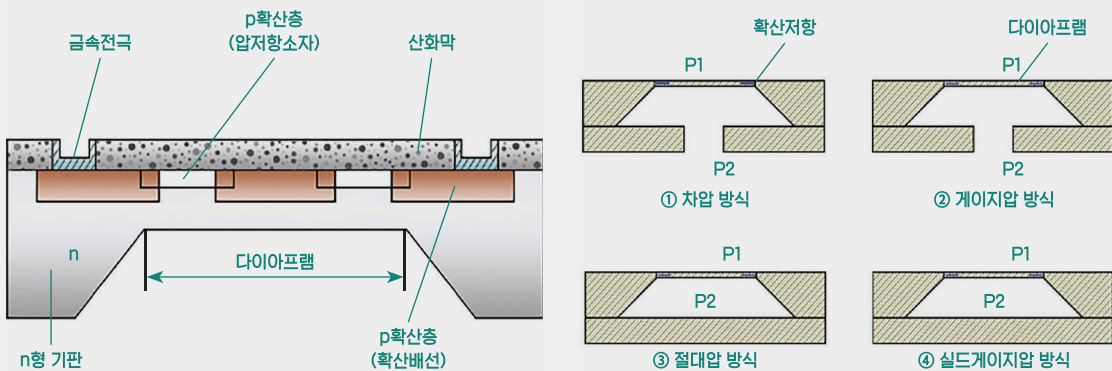
기상관측에서는 절대압 방식을 사용하며, 제로(0) 압력 즉, 진공 압력인 P2를 기준으로 P1을 측정한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 기압
- 측정범위: 500hPa ~ 1,100hPa
- 분해능: 0.1hPa

✓ 활용 분야

기상관측, 항공·우주, 스마트 기기, 산업·환경 모니터링, 교육 및 연구



전기저항반도체 기압감지기 및 압력 감지 방식(P1 > P2)

3.1.2 정전용량반도체기압계(Capacitive semiconductor barometer)

☑ 측정원리

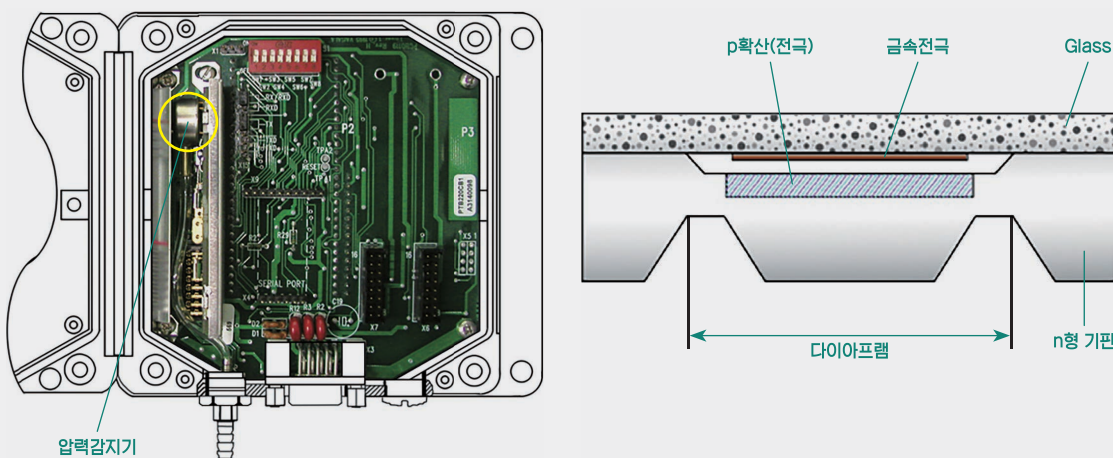
정전용량반도체기압계(Capacitive semiconductor barometer)는 압력에 의해 다이어프램이 변형되면서 전극 간 간격이 변하고, 이에 따른 정전용량 변화를 전기 신호로 변환하여 기압을 측정한다. 구조가 비교적 복잡하고 응답성이 다소 낮지만, 전기저항반도체기압계보다 감도와 온도 특성이 우수하며 미세한 기압 변화 측정에 유리하다. 압력감지기는 두 장의 얇은 실리콘 웨이퍼로 구성되며, 화학적 에칭하여 형성된 단결정 실리콘 다이어프램이 압력을 감지한다. 기압 변화에 따라 다이어프램이 변형되면 전극 간 간격이 변하고, 이에 따른 정전용량 변화가 전기 신호로 변환되어 압력이 측정된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 기압
- 측정범위: 500hPa ~ 1,100hPa
- 분해능: 0.1hPa

☑ 활용 분야

기상관측, 항공·우주, 스마트 기기, 산업·환경 모니터링, 교육 및 연구



정전용량반도체기압계와 감지기

3.2 기계식

3.2.1 아네로이드기압계(Aneroid barometer)

✓ 측정원리

아네로이드기압계(Aneroid barometer)는 1844년 이탈리아의 비디(Vidie)가 발명한 기압계로 공합(금속용기)이나 벨로스를 수감부로 사용한다. 공합을 이용하는 구조 공합기압계라고도 하며, ‘아네로이드(Aneroid)’는 그리스어로 ‘액체가 없음’을 뜻해 수은을 사용하지 않은 기압계를 의미한다.

아네로이드기압계의 공합은 접시형 양백의 금속판 두 장을 붙여 밀봉하고 진공으로 만든 구조로, 외부 기압에 의해 변형되며 금속의 탄성과 평형을 이룬다. 변형을 안정화하기 위해 표면에는 요철 주름을 두고, 경우에 따라 내부에 용수철을 넣어 지지한다.

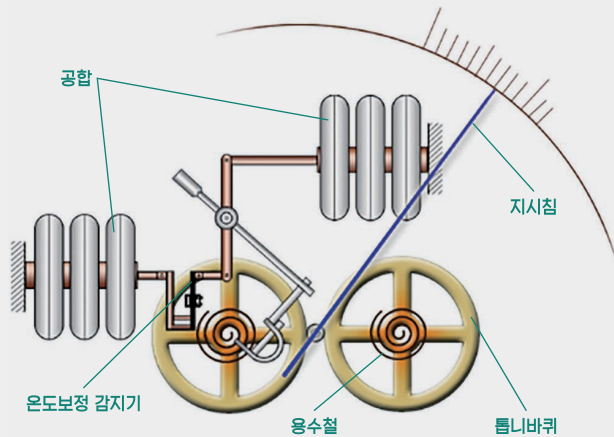
기압 변화에 따라 공합이 수축과 팽창하며 변형되며, 이 미세한 변위는 지레와 기어를 통해 확대되어 지시침을 움직여 기압을 표시한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 기압
- 측정범위: 800hPa ~ 1,060hPa
- 분해능: 0.1hPa

✓ 활용 분야

기상관측, 항공관측, 해양관측, 휴대형 기장장비, 산업 및 환경 모니터링



아네로이드기압계

3.2.2 아네로이드자기압계(Aneroid barograph)

☑ 측정원리

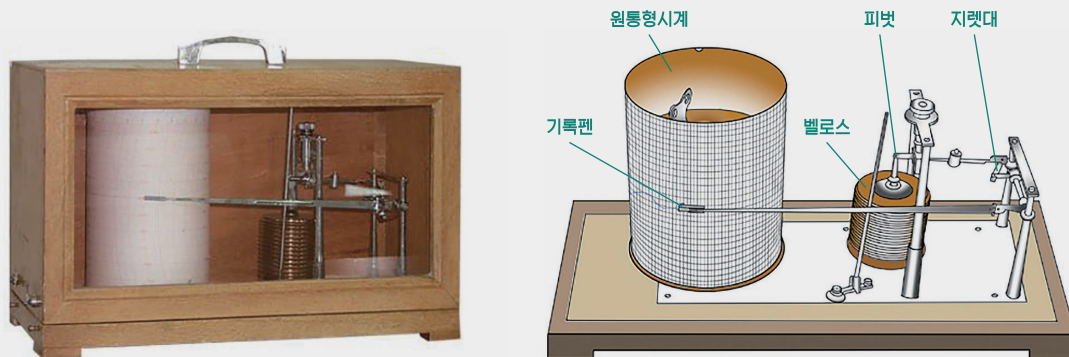
아네로이드자기압계(Aneroid barograph)는 주름진 황동 벨로스를 수감부로 사용하는 기록식 기압계로, 주름 관통 내부에 용수철과 진공 또는 일정한 압력의 기체를 밀봉한 구조이다. 벨로스는 기압 변화에 따라 길이가 변하며, 벨로스의 미세한 변위는 지레와 피벗을 통해 확대되어 기록펜이 회전하는 원통형 시계의 기록지에 기압 변화를 연속 기록한다. 온도 보정을 위해 벨로스 하단에 바이메탈이 부착되어 별도의 온도 보정이 필요하지 않다. 다만 원통시계의 시간 오차가 발생할 수 있으므로 정기적으로 시간 보정을 확인하고, 일 오차가 약 5분 이상이면 교체가 필요하다. 아네로이드자기압계는 수은기압계보다 취급이 간편하고 기압 변화 경향과 최고·최저기압의 발생 시각 등을 파악할 수 있으나, 여러 구조적 한계로 아네로이드기압계보다 정밀도가 다소 낮다. 이 측기의 기록값은 같은 시각의 수은기압계 측정 값과 비교하여 보정한 후 사용하는 것이 좀 더 정확하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 기압
- 측정범위: 800hPa ~ 1,060hPa
- 분해능: 0.5hPa

☑ 활용 분야

기상관측, 교정용, 항공 및 해양, 산업 및 환경시험, 교육 및 전시



아네로이드자기압계

IV



바람관측

058

063

064

4.1 기계식

4.2 초음파식

4.3 기타

4.1

기계식

4.1.1 로빈슨컵풍속계(Robinson's cup anemometer)

✓ 측정원리

로빈슨컵풍속계(Robinson's cup anemometer)는 4개의 반구형 풍배(컵) 회전수로 바람의 속도를 재는 풍속계로 1846년 아일랜드 천문·물리학자 로빈슨(Robinson)이 발명한 컵풍속계의 기초가 된 측기이다.

로빈슨컵풍속계의 컵 크기는 지름이 80mm, 깊이 35mm의 반구형 컵 4개가 십자형으로 각각 90°를 이루고 있다. 컵이 회전하면 축 하단에 장치된 지렛대에 의해 회전축 기어와 직접 연결된 작은 톱니바퀴(43개 톱니)가 반시계방향으로 회전하는데 컵이 43회전을 하면 톱니바퀴는 1회전 한다. 이 회전수는 직렬 연결된 지름이 다른 4개의 톱니바퀴(80개 톱니)에 전달되며 작은 톱니바퀴 1회전에 직접 연결된 큰 톱니바퀴는 한 단위가 회전한다. 측정은 톱니바퀴에 달린 지시침이 가리키는 숫자를 읽음으로써 이 값으로부터 풍속을 구한다.

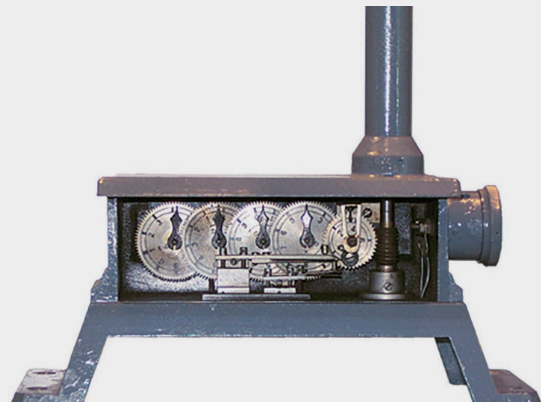
로빈슨컵풍속계는 측정 범위가 넓고 공기 밀도의 영향을 적게 받으나, 실제 풍속보다 관측값이 크게 나타나는 과대평가 경향 때문에 풍배형풍속계가 더 보편화되었다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍속
- 측정범위: 0.5m/s ~ 50m/s
- 분해능: 0.1m/s

✓ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



로빈슨컵풍속계

4.1.2 풍배형풍속계(3-cup anemometer)

☑ 측정원리

풍배형풍속계(3-cup anemometer)는 3개의 반구형 컵이 바람에 의해 회전하는 원리를 이용하여 풍속을 측정하는 기기이다. 컵의 회전은 전기적 신호로 변환되며, 이를 기록기나 지시계에서 받아 평균풍속과 풍정(風程)을 산출한다. 풍배형풍속계는 지름 104mm, 깊이 45mm인 반구형 컵 3개가 풍속계 축 상단에 120° 각도의 방사상으로 달려 있다. 접점식 풍속계는 축 하단에 축의 회전에 따라 톱니바퀴가 회전하고 이 톱니바퀴 옆면에는 전접 지렛대가 붙어 있어 톱니바퀴가 1회전 할 때마다 접점판을 밀어 내려 접점회로를 연결하고 전기적 신호를 발생시킨다. 이 신호를 자기전접계수기가 받아 계단 형태의 그래프를 그린다. 톱니바퀴의 1회전은 컵의 54회전에相当하고 풍정 100m에 상당하는 거리이다.

발전식 풍속계는 컵의 회전에 따라 발생한 전압을 이용하여 풍속을 지시계에 연속적으로 나타낸다. 일정 시간 동안 불어오는 바람에 의해 컵이 회전하면서 회전속도에 비례하여 교류전압이 발생하며, 이 전압은 교류전압계의 원리를 이용한 전기반(풍속 아날로그 지시기)에 부착된 풍속 지시침으로 나타난다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍속
- 측정범위: 0.5m/s ~ 60m/s
- 분해능: 0.1m/s

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 산업 현장, 농업·보건·수문기상, 교육 및 연구, 보존·전시



풍배형풍속계와 전기반, 지시형전접계수기, 자기전접계수기

4.1.3 두방향풍향계(Bi-vane, Bi-directional wind vane)

✓ 측정원리

두방향풍향계(Bi-vane, Bi-directional wind vane)는 360° 수평 방향의 풍향은 물론 연직풍향을 동시에 측정할 수 있는 일명 3차원풍향계이다. 일반적 풍향계가 주로 수평면 내의 풍향만 측정하는 것과 달리, 두방향풍향계는 연직방향의 기류변화까지 파악할 수 있으며, 연직 측정 범위는 수평면을 기준으로 상하 45° 내외이다.

수평풍향은 축이 회전함에 따라 축과 연동하는 톱니바퀴가 습동저항체에 연결된 톱니바퀴를 회전시킴으로써 저항값에 의한 풍향 값이 나타난다. 연직풍향은 몸체의 상하운동을 전달해 주는 가로축에 의해 축 상단에 있는 원통 내부에 도르래와 연결된 구슬 끈이 축의 관을 지나 또 다른 습동저항체와 연결된 추를 회전시킴으로써 풍향값을 측정할 수 있다.

다른 풍향계의 구조와 달리 연직으로 불어오는 미세한 바람을 감지하기 위해 풍향계 꼬리는 길이 225mm, 폭 112.5mm의 직사각형 스티로폼 판이 그림과 같이 십자형을 이루고 있다. 풍향계의 몸체는 축과 추의 간격은 짧으며, 축에서 날개로 이어지는 부분은 미세한 바람에도 강한 추중성을 갖도록 길고 가느다란 알루미늄 원형봉이다. 다만, 구체적인 내부 기구, 치수, 재질 및 측정 범위는 제조사와 모델에 따라 달라질 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향
- 측정범위: 0° ~ 360°
- 분해능: 1°

✓ 활용 분야

기상관측, 풍력발전, 연구·실험, 산업·안전 관리, 해양·항공, 교육용



두방향풍향계 및 감지기 내부

4.1.4 화살형풍향계(Arrow-type wind vane)

☑ 측정원리

화살형풍향계(Arrow-type wind vane)는 수평 바람에 대한 풍향을 측정하는 풍향계로, 꼬리 부분인 날개깃이 삼각 철판 2개가 맞대져 있기 때문에 무게 평형을 이루기 위해 앞부분에 무거운 추가 달려 있다. 풍향계 중심과 연결된 회전축은 견고한 철판 속에 보호되어 있으며, 일부 기계식 장치의 경우 이 회전축은 건물 지붕을 통과해 실내에 있는 풍향 관측실 천장으로 연결되어 있다. 관측실 천장에는 방향을 나타내는 방위판이 붙어 있으며 회전축과 지시침이 연결되어 방위판 전면에서 방위를 가리킨다.

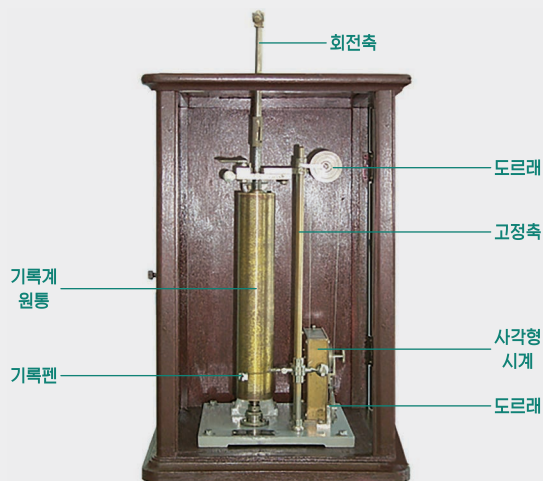
지시침의 움직임을 일정 시간 주시해서 가장 도수(度數)가 많았던 방위를 그 관측 시각의 풍향으로 정하며, 주시하는 시간은 약 1분 정도이나 대기가 불안정한 때에는 10분 정도를 지속해서 관찰한 후 평균 풍향을 구하는 것이 적정하다. 이 측기를 보완하여 자동으로 관측값을 기록하는 기록장치가 만들어졌는데, 이것이 자기풍향기록계이다. 이 기록계는 자기지가 부착되는 기다란 원통 위에 풍향계 회전축이 연결되어 있고 원통과 수평하게 기록펜이 상하로 움직일 수 있도록 한 고정축이 세워져 있는 구조이다. 기록계 하단에는 사각형 시계가 있어 시간이 지남에 따라 기록펜이 위에서 아래로 내려가면서 변하는 풍향을 기록하는데, 이는 시계 축과 줄로 연결된 상하 두 개의 도르래(하나는 고정축에 또 하나는 기록계 하단에 장착)를 이용한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향
- 측정범위: 0° ~ 360°
- 분 해 능: 1°

☑ 활용 분야

기상관측, 산업·안전 관리, 농업·원예, 교육 및 연구, 보존·전시



화살형풍향계의 지시계 및 자기기록계

4.1.5 풍차형풍향풍속계(에어로벤)(Combined recording wind vane and fan-anemograph, Aerovane)

☑ 측정원리

풍차형풍향풍속계(Combined recording wind vane and fan-anemograph)는 풍차²⁾의 회전속도가 풍속에 비례하는 원리를 이용한 것으로 에어로벤(aerovane) 또는 프로펠라식풍향풍속계라고도 하며, 수직 꼬리날개를 가진 유선형 동체(同體)의 앞쪽 끝에 프로펠러가 붙어 1대의 기록계에 풍향과 풍속을 동시에 기록하도록 한 일명 자기풍향풍속계이다.

풍향기록계는 교류변압기 원리와 같은 동기모터(synchro motor) 또는 저항을 이용한 미끄럼저항(襍動抵抗)을 사용하고, 풍차형풍향풍속계 내부의 풍향은 전위차계(potentiometer)를 사용한다. 풍향은 수직 고정축을 중심으로 동체가 회전함에 따라 저항값 변화에 상응하는 전압이 발생하며 이 전압을 이용하여 풍향이 표출된다. 풍속기록계는 프로펠러 회전축에 장치된 풍속 발전기에 의해 발생하는 교류전압이 기록계의 30m/s용 권선저항을 거쳐 브리지 정류회로로 유입되며 정류된 직류전압에 의해 풍속을 기록한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 60m/s
- 분해능: 1°, 0.1m/s

☑ 활용 분야

기상관측, 산업·안전 관리, 농업·원예, 교육 및 연구, 보존·전시



풍차형풍향풍속계(에어로벤)

2) 風車, windmill, 일반적으로 바람의 힘을 이용해서 동력을 얻는 기계를 말하나, 바람을 측정하는 풍향풍속계에서는 프로펠러(바람개비)를 뜻한다.

4.2 초음파식

4.2.1 초음파식풍향풍속계(Ultrasonic anemometer)

☑ 측정원리

초음파식풍향풍속계(Ultrasonic anemometer)는 여러 개(예: 3개 또는 4개)의 초음파 송수신기가 배열되어, 각 센서 간에 주고받는 초음파의 전파 시간 차이를 이용해 바람의 세기와 방향을 계산한다. 바람이 없을 때는 초음파가 양방향으로 같은 시간에 도달하지만, 바람이 불면 순풍 방향은 전파 시간이 짧아지고 역풍 방향은 길어진다. 이 시간 차이를 이용해 각 방향의 속도 성분(U, V)을 계산하고, 이를 수학적으로 결합해 전체 풍속(WS: Wind Speed)과 풍향(WD: Wind Direction)을 구한다.

3차원 초음파식풍향풍속계(3D Ultrasonic anemometer)는 여러 음향 경로에서 초음파 신호의 전파 시간 차이를 측정하여 3차원 풍속 성분(u, v, w)을 계산하는 장비이다. 무풍 시에는 송수신 방향의 초음파 전파 시간이 동일하지만, 바람이 불면 순풍 방향은 전파 시간이 짧아지고 역풍 방향은 길어진다. 이 시간 차이를 이용해 각 축의 풍속 성분(U, V, W)을 계산한다. 초음파 전파속도로부터 음속(Speed of sound)과 음향기온(Sonic temperature)을 동시에 산출하며, 온도 변화에 따른 초음파 속도 변화가 자동 보정된다. 이 때 음향기온은 가온도(Virtual temperature)와 유사한 값이다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 75m/s
- 분해능: 0.1°, 0.01m/s

☑ 활용 분야

기상관측, 풍력발전, 난류 연구·실험, 산업·안전 관리, 해양·항공, 대기경계층 연구



초음파식풍향풍속계



3차원 초음파식풍향풍속계

4.3 기타

4.3.1 다인스풍압풍속계(Dines pressure anemometer)

✓ 측정원리

다인스풍압풍속계(Dines pressure anemometer)는 1892년 영국의 Dines가 처음 기술한 것으로 바람의 압력을 이용하여 풍속을 측정하는 관측기기이다. 순간풍속을 측정하는 데 주로 사용되었으나, 현대 관측망에서는 대부분 풍차형풍향풍속계 등 다른 방식으로 대체되었다.

다인스풍압풍속계는 바람이 불어오는 방향으로 흡입구멍이 향하며, 이 흡입구멍으로 들어오는 바람의 압력과 풍향계의 수직축을 둘러싸고 있는 원통 주위에 같은 간격으로 뚫린 작은 구멍에서 나오는 바람의 압력과는 서로 압력 차(약 $0.75\rho V^2$)가 발생한다. 이러한 압력 차 원리를 이용하여 외부 대기의 바람은 B를 통하여 들어와 C 관로를 통과해 물탱크 내의 부표를 밀어 올린다. 이때 원통 주위의 작은 구멍으로 들어온 바람의 저항을 받게 되고, 서로 압력 차가 발생하면서 풍속에 비례한 값이 측정되는데 이것이 그 시각에 나타나는 순간풍속이다.

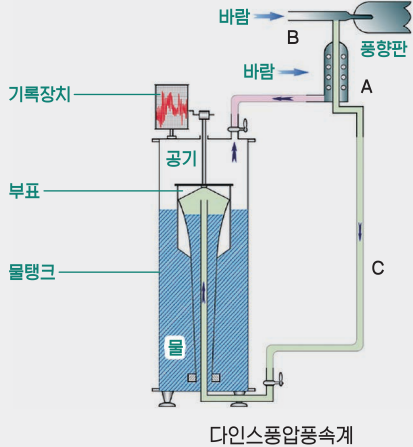
풍속 관측값의 기록은 부표 상단에 고정된 축과 연결된 기록펜이 바람의 압력 차로 인해 부표가 상하로 움직이는 위치 변화 상태를 회전하는 원통형 시계 기록지에 그래프로 나타낸다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 75m/s
- 분해능: 1°, 0.1m/s

✓ 활용 분야

기상관측, 풍력발전, 연구·실험, 산업·안전 관리, 해양·항공, 교육용



4.3.2 열선풍속계(Hot wire anemometer)

☑ 측정원리

열선풍속계(Hot wire anemometer)는 가열된 미세 금속선이 유동에 의해 냉각될 때 발생하는 온도 및 저항 변화로부터 풍속을 측정하는 장비이다. 매우 작은 속도 변동과 난류 측정에 유리한 장비이다.

장치는 휘스톤브리지 회로에 연결되며, 처음에는 바람이 닿지 않은 상태에서 조정저항기를 맞추어 전위차계가 0을 가리키도록 하여 브리지를 평형 상태로 만든다. 이 평형은 브리지의 두 지점 전압이 같아 검류계에 전류가 흐르지 않는 상태를 의미한다. 평형이 이루어지면 수 μm 직경, 약 1mm 길이의 금속선에 전류를 흘려 열선을 가열하고, 이후 열선을 바람에 노출하면 열선의 온도가 내려가면서 금속선의 저항이 감소한다.

저항값 변화로 인해 브리지의 평형이 깨지고, 서보 증폭기가 전류를 공급해 균형을 다시 맞추는 과정에서 전위차가 발생하며 전위차계의 지침이 움직인다.

지침의 움직임으로 풍속을 알 수 있지만, 온도 변화, 프로브 정렬, 오염 및 열선 손상에 민감하고 바람이 열선에 직접 닿지 않을 경우 큰 오차가 발생할 수 있다.

☑ 주요 성능

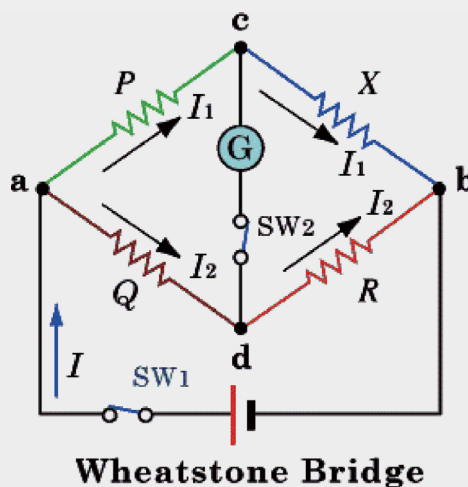
- 관측요소: 풍속
- 측정범위: 0m/s ~ 60m/s
- 분해능: 1°

☑ 활용 분야

기상관측, 산업·안전 관리, 가전·환경 모니터링, 교육 및 연구, 보존·전시



열선풍속계



Wheatstone Bridge

휘스톤브리지

기상관측장비사전

V



강수관측

068

074

078

084

5.1 강수량

5.2 강우감지

5.3 적설

5.4 강수성분

5.1 강수량

5.1.1 전도형강수량계(Tipping-bucket rain gauge)

✓ 측정원리

전도형강수량계(Tipping-bucket rain gauge)는 물받이를 통해 들어온 빗물이 한 쌍으로 된 삼각 전도용기(Tipping-bucket)에 모이다가, 일정량이 채워지면 물의 무게에 의해 전도 용기가 시소처럼 가운데 회전축을 기준으로 기울어 반대 방향(무거운 쪽)으로 넘어가게 된다. 이 과정에서 빗물이 밖으로 빠져나가고 전도 횡수를 기록해 강수량을 측정한다. 빗물이 빠져나가는 동안 상대적으로 높은 위치가 된 비어 있는 삼각 전도용기에 빗물이 채워지고 전도 횡수가 자동으로 기록이 된다 하여 전도형 자기우량계라고 한다. 한편, 눈이나 우박과 같은 고체성 강수 현상이 있는 경우 이를 녹이기 위해 우량계 내부에 전기 히터를 내장한 장비는 강설량도 측정이 가능하므로 전도형자기우설량계라고도 한다.

빗물이 전도용기를 가득 채우고 무거워진 쪽이 아래로 내려가면서 전도용기의 빗물을 비울 때마다 전도용기 밑에 달린 접전봉이 접촉되면서 리드스위치를 작동시켜 전기적 신호(Pulse)를 발생시킨다. 이때 발생한 신호는 기록장치에 누적되어 강수량으로 환산된다.

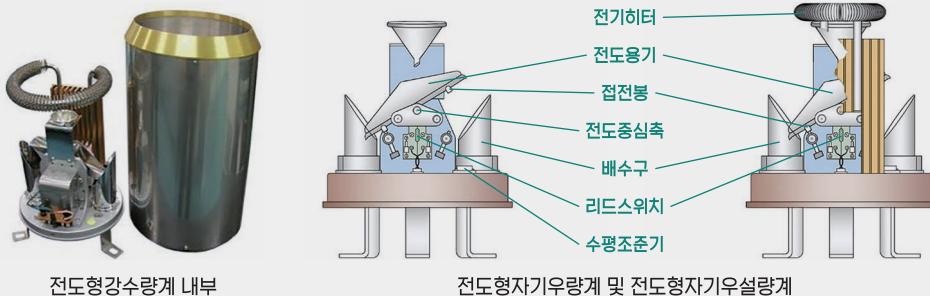
전도 단위는 0.1mm, 0.5mm, 1.0mm가 있으며, 각각 약한 강수-강한 강수강도에 적합하나 측정 오차나 유실 등의 한계가 존재한다. 기상청은 이를 개선하기 위해 1회 전도시 0.1 mm와 0.5 mm 단위로 각각 측정되는 우량계를 기상관서에서 운영하고 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 강우량, 적설량
- 측정범위: 0mm ~ 500mm
- 분 해 능: 0.1mm, 0.5mm

✓ 활용 분야

기상관측, 농업-수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구



전도형강수량계 내부

전도형자기우량계 및 전도형자기우설량계

5.1.2 무게식강수량계(Weighting rain gauge)

☑ 측정원리

무게식강수량계(Weighting rain gauge)는 수수구 내 들어오는 강수의 무게를 측정해 강수강도와 누적 강수량을 측정한다. 금속 재질의 탄성체에 스트레인게이지를 부착하여 강수의 무게에 따라 이에 비례하는 탄성체의 변형률을 전기적 신호로 변환시켜 출력하는 감지기인 로드셀을 이용한 것이다. 스트레인게이지의 변형 정도에 따라 전기저항이 발생하고 저항값을 강수량으로 환산하는 원리이다.

빗물에 의해 미세하게 변하는 변화량을 검출하기 위해 전기적인 브리지 회로를 사용한다. 평상시에는 전기적으로 평형상태에 놓여 극히 미세한 전류를 흘려보내다가 어느 한쪽의 무게가 불균형 상태가 되면(저항값이 변하면) 그쪽으로 전류가 흘러 전압의 변화로 검출되며 스트레인게이지에 의해 감지된다. 이때 저항값의 변화는 온도와 습도에 따라 변할 수 있기 때문에 적절한 보정을 실시한다.

무게식강수량계는 강수 발생 후 1분 이내의 0.1mm/min 이상의 강도에 대한 강수량 측정 결과를 출력하고 빠른 응답 시간으로 정확한 강도의 강수량을 출력하는 장점을 보유하고 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강우량
- 측정범위: 0mm ~ 1000mm 이상
- 분 해 능: 0.1mm

☑ 활용 분야

기상관측, 농업·수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구, 재난·방재



무게식강수량계

5.1.3 광학강우강도계(ORG: Optical Rain Gauge)

☑ 측정원리

광학강우강도계(ORG: Optical Rain Gauge)는 투광기와 수광기 그리고 신호처리부로 구성되어 있으며 투광기에 설치된 적외선발광다이오드(IRED: InfraRed Emitting Diode)를 광원으로 사용한다. 이 장비는 계속하여 투광되는 송신부와 수신부의 각 수감부 사이에 빗방울이 떨어질 때 빗방울에 의한 광학적 떨림(Scintillation)을 감지·분석하여 강수량으로 전환하는 기기이다.

송신부의 광원인 적외선발광다이오드는 전기에너지를 빛에너지로 직접 변환시키기 때문에 전력 소비가 적고 신뢰성이 높으며 고속 응답을 하는 특성이 있다. 또한, 비교적 수명이 길고 주변 간섭을 최소화할 수 있는 장점을 지닌 광원이다.

광학강우강도계의 수감부 렌즈는 광원에서 나온 빛을 포토다이오드로 감지해서 전송하며, 빗방울에 의한 수신 광강도의 시간적 요동 신호는 증폭회로에서 증폭되어 강우강도 산출에 활용된다. 일부 장비에서는 온도 등 보조자료를 이용해 신호처리부에서 강수유형(강우, 강설)을 판별할 수 있다.

☑ 주요 성능

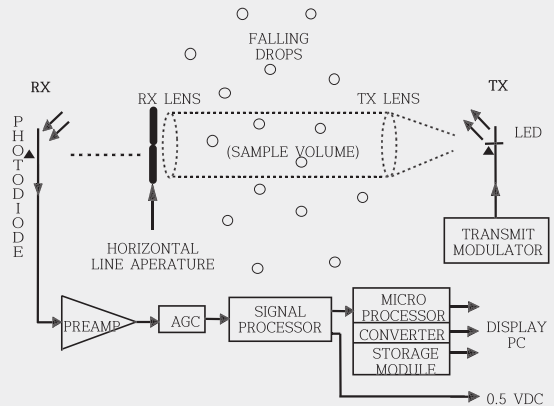
- 관측요소: 강우강도, 강수유형
- 측정범위: 0.01mm/h ~ 1,000mm/h
- 분해능: 0.01 mm/h

☑ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



광학강우강도계와 측정원리



5.1.4 사이펀식우량계(Siphon rain gauge)

☑ 측정원리

사이펀식우량계(Siphon rain gauge)는 유입된 빗물을 저수통에 일정량 모았다가 사이펀 작용으로 배수시키는 우량계로서 누적강우량의 시간에 따른 변화를 측정하기 위해 주로 사용되며 사이펀자기우량계 (Siphon recording rain gauge)라고도 한다.

사이펀식우량계는 조절관을 통해 저수통으로 흘러 들어간 빗물에 의해 수위가 상승하면 금속제 부표(浮標)가 수위와 같이 위로 올라가면서 부표 축과 연결된 기록펜이 회전하는 원통형 시계를 둘러싼 기록지에 그래프를 그리게 된다. 저수통에 고인 빗물이 20mm에 도달하면 사이펀 작용에 의해 자동 배수가 되는데, 배수되는 시간에도 계속 비는 내려 저수통에 유입되므로 강수량 유실을 최소화하기 위해 배수되는 시간이 가능한 한 짧은 것이(13초 ~ 15초 이내) 좋다. 이렇게 빗물의 배수가 진행되는 동안 부표의 위치는 서서히 저수통 밑으로 내려가고 20mm에 해당하는 빗물의 배수가 완전히 끝나면 기록펜은 기록지의 0선에 위치한다.

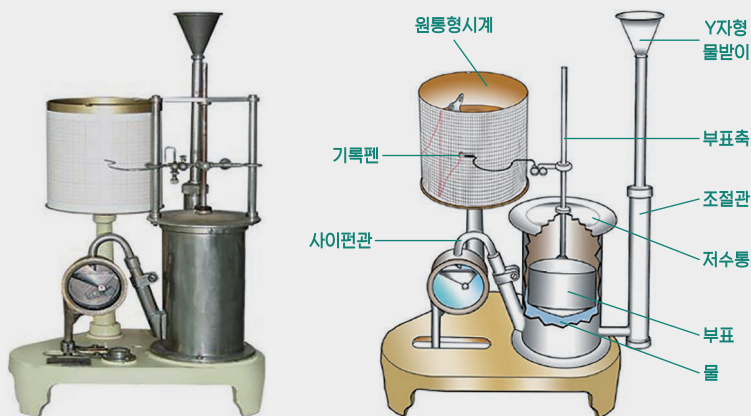
이 우량계는 보통 원통형우량계 물받이를 통해 빗물을 받는데, 물받이 아래쪽 깔때기 끝단에 고무호스를 연결하고 고무호스 반대 끝을 사이펀식우량계의 안지름 50mm되는 Y자형 물받이 입구에 꽂아 빗물이 저수통에 잘 모이도록 설치한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수량, 적설량
- 측정범위: 0mm ~ 500mm
- 분해능: 0.1mm

☑ 활용 분야

기상관측, 농업·수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구, 보존·전시



사이펀식우량계

5.1.5 원통형강수량계(Cylindrical rain gauge)

☑ 측정원리

원통형강수량계(Cylindrical rain gauge)는 물받이, 저수통, 양동이, 저수병과 따로 부착된 우량승(우량되)으로 이루어진 강우 관측의 가장 전통적인 방법으로 강우 시작시각과 종료시각이 목측 관측에 의존하여야 한다. 무인 관측이나 원격 자동 측정이 어렵으며, 구조가 단순하고 수동 관측에 적합하다.

이 측기는 주로 강우량을 측정하는 데 이용되며, 물받이를 벗기고 높이가 40cm인 저수통 안의 양동이 속에 있는 저수병을 꺼내 우량승을 이용하여 강우량을 측정한다. 양동이는 250mm 정도 우량을 채울 수 있는 크기이며, 약 95mm 용량인 저수병이 넘쳤을 때 사용하면 편리하다.

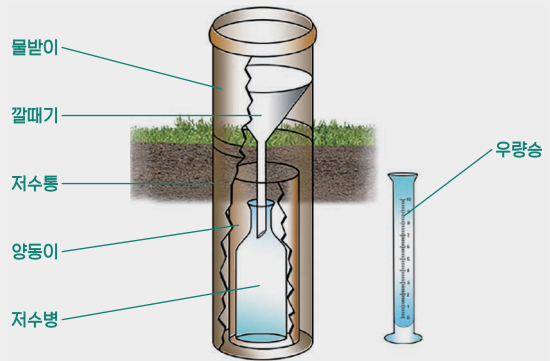
원통형강수량계는 관측 노장에 지하 우량계실을 설치하고 관측 노장 잔디 위에 물받이를 포함하여 원통이 약 20cm ~ 30cm 정도 지면 위로 나오게 설치하고 지하 우량계실이 없는 경우에는 우량계를 지상에 설치한다. 기상청 표준 우량계는 지름이 20cm로 표면적은 314cm², 전체 높이 60cm, 저수통 높이 40cm를 사용하고 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강우량
- 측정범위: 0mm ~ 500mm
- 분해능: 0.1mm

☑ 활용 분야

기상관측, 농업·수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구



원통형강수량계

5.1.6 저수병/우량승(Rain measuring glass)

☑ 측정원리

저수병은 원통형강수량계에 유입된 빗물을 저장하는 용기이고, 우량승(Rain measuring glass)은 저수병에 담긴 빗물의 양을 측정하는 도구이다. 지름 20cm의 원통형강수량계 물받이를 통해 들어온 빗물은 깔때기를 통해 우량계 원통 속에 있는 저수병에 담기며, 이렇게 담긴 빗물은 우량승에 일정량만큼 따라서 측정한다. 저수병은 우량을 약 95mm 채울 수 있는 크기이다. 우량승은 우량되라고도 하며, 10mm 우량승의 크기는 안지름 약 39mm, 깊이 약 325mm이다. 우량 10mm는 314mL의 우량에 해당하고, 액체의 부피를 측정하는 눈금실린더와 그 외형이 유사하나, 눈금이 부피 단위가 아닌 높이 단위로 표시되어 있으며 최소 눈금은 0.1mm 단위이다. 일반적으로 기상관측에서 사용하는 우량승은 10mm 우량승이 이용되나 간혹 20mm 우량승도 이용되고 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강우량
- 측정범위: 0mm ~ 500mm
- 분해능: 0.1mm

☑ 활용 분야

기상관측, 농업·수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구



우량승



저수병

5.2

강우감지

5.2.1 임피던스식강우감지기(Impedance-type rain detector)

✓ 측정원리

임피던스식강우감지기(Impedance-type rain detector)는 센서 표면에 배열된 전극 사이에 빗물이 형성되면서 발생하는 전기적 임피던스 변화를 이용하여 강우의 발생 여부를 감지하는 장비이다.

무강수 상태에서는 전극 사이가 공기로 유지되어 임피던스가 높게 나타나지만, 강우 발생 시 빗물이 전극 사이를 부분적으로 연결함에 따라 전기 전도성이 증가하여 임피던스가 감소한다. 이 임피던스 변화량을 전기 신호로 변환·분석하여 강우의 시작과 종료를 판단한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 강수 유무
- 측정범위: 0.0mm/h ~
- 분 해 능: 강수 유무 판별

✓ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



임피던스식강우감지기

5.2.2 정전용량식강우감지기(Capacitive-type rain detector)

☑ 측정원리

정전용량식강우감지기(Capacitive-type rain detector)는 센서 표면에 빗물이 부착되면서 발생하는 전극 간 정전용량(capacitance)의 변화를 이용하여 강우의 발생 여부를 감지하는 장비이다.

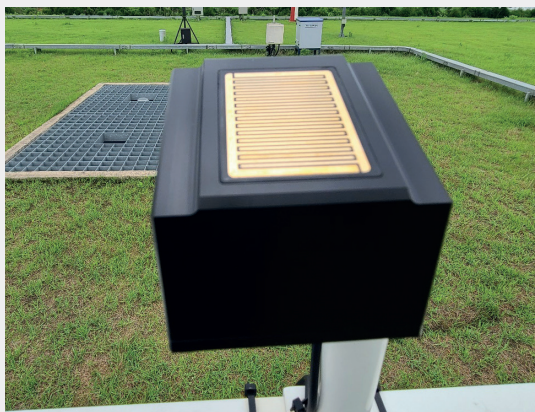
정전용량식강우감지기 내부의 전극은 절연층을 사이에 두고 배열되어 있으며, 무강수 상태에서는 센서 주변의 유전환경이 일정하게 유지된다. 강우 발생 시 센서 표면에 형성된 물막으로 인해 전극 사이의 유전율이 증가하면서 정전용량이 변화한다. 이 정전용량 변화를 전기 신호로 변환·분석하여 강우의 시작과 종료를 판단한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수 유무
- 측정범위: 0.0mm/h ~
- 분해능: 강수 유무 판별

☑ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



정전용량식강우감지기

5.2.3 레이더식강우감지기(Radar-type rain detector)

☑ 측정원리

레이더식강우감지기(Radar-type rain detector)는 마이크로파(또는 밀리미터파)를 방사하여 강수 입자에 의해 산란·반사되는 신호를 분석함으로써 강수의 발생 여부 및 강수 강도 변화를 감지하는 장비이다.

레이더식강우감지기에서 방사된 전자기파는 강수 입자(빗방울, 눈 입자 등)에 의해 산란되며, 이때 되돌아오는 후방산란 신호의 세기 및 특성이 변화한다. 레이더식강우감지기는 이러한 반사 신호의 변화량을 분석하여 강우의 유무를 판단하며, 일부 장비는 신호 강도를 이용해 강수 강도의 상대적 변화를 추정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수 유무
- 측정범위: 0.0mm/h ~
- 분해능: 강수 유무 판별

☑ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



레이더식강우감지기

5.2.4 영상식강우감지기(Optical rain rain detector)

☑ 측정원리

영상식강우감지기(Optical rain detector)는 카메라 또는 광학 센서를 이용하여 강수 입자의 영상 정보를 획득하고, 이를 영상 처리 기법으로 분석함으로써 강우의 발생 여부 및 강수 특성을 감지하는 장비이다.

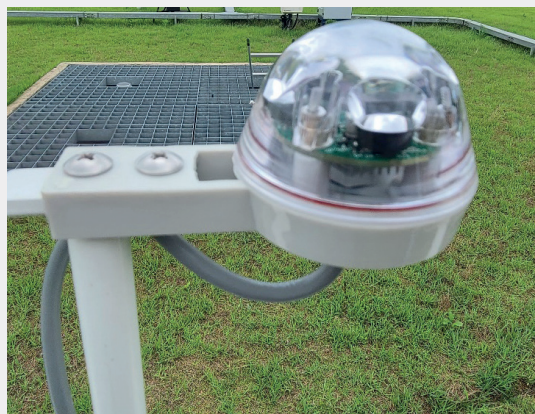
영상식강우감지기는 렌즈 또는 관측창을 통해 강수 입자의 영상 또는 광 신호를 지속적으로 획득한다. 강우 발생 시 빗방울이 영상 내에서 이동·충돌·왜곡 등의 형태로 나타나며, 이러한 변화 패턴을 영상 처리 및 알고리즘 분석을 통해 강우 유무를 판단한다. 일부 장비는 입자의 크기, 속도, 형태 정보를 이용하여 강수 강도의 상대적 변화나 강수 형태를 구분한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수 유무
- 측정범위: 0.0mm/h ~
- 분해능: 강수 유무 판별

☑ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



영상식강우감지기

5.3

적설

5.3.1 적설판(Snow measuring plate)

✓ 측정원리

적설판(Snow measuring plate)은 적설이 다소 적은 지방에서 설척(Snow scale)대신에 적설의 깊이를 측정하기 위해 사용된다. 가로·세로 500mm, 두께 10mm ~ 30mm의 단단하고 평평한 나무판이 이용되며 복사열 흡수를 방지하기 위해 나무 표면에 백색 페인트가 칠해져 있다. 나무판 밑에는 지면으로부터 열전도를 막기 위해 약 5cm 정도 높이의 받침목이 양쪽으로 달려 있다. 나무판 위 가운데에 수직으로 50cm 이상의 눈금자가 세워져 있으며, 눈금자 높이는 규격화되어 있지 않고 각 지역의 적설 환경에 맞도록 이용하고 있다.

적설판은 관측 노장에 보통 3개를 설치하며 하나는 관측 때마다 측정이 끝나면 적설판 위의 눈을 제거하고, 또 하나는 일계(日計, 24시)를 기준으로 관측 후 눈을 제거한다. 나머지 하나는 적설 관측 동안 적설(구적설)³⁾을 관측하는데 이용되므로 눈이 녹기 전까지 눈을 털어버리면 안 된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 신적설, 적설
- 측정범위: 0cm ~ 100cm 이상
- 분해능: 0.1cm

✓ 활용 분야

기상관측, 기후변화 연구, 수문·농업, 재난·방재, 교통안전



설척



적설판 및 관측노장 설치 모습

3) 임의의 관측시각에 쌓인 눈을 그 시간에 대한 신적설(新積雪)이라고 하며, 일계(日計)에 상관없이 눈이 내리는 한 계절 동안 쌓여 있는 눈을 적설이라고 하며, 신적설과 구분을 위해 구적설(舊積雪)이라고도 한다.

5.3.2 적외선적설계(Infrared snow cover meter)

☑ 측정원리

적외선적설계(Infrared snow cover meter)는 측정봉(설척) 안에 2cm 간격으로 적외선이 통과할 수 있는 투광부와 수광부 75쌍을 수직으로 배열시켜 적설을 측정한다. 투광부에서 측정봉 밖을 향해 적외선 빔을 발사하면 눈이 쌓여 있는 층에서는 눈 입자에 반사되어 수광부에서 반사 빔을 감지한다. 이러한 방식으로 수광부에 반사 빔이 감지되는 높이와 감지되지 않는 높이의 경계 부분을 판단하여 적설의 높이를 산출한다.

이 장비는 설치가 간편하고 유지 관리가 쉽지만 분해능이 2cm로 다소 정밀도가 떨어지고, 습설(濕雪) 또는 이물질이 투광부와 수광부 창에 달라붙으면 측정 오차가 발생한다. 맑은 날씨가 이어지면 측정봉이 태양 복사열을 흡수하여 측정봉 주변의 적설이 녹게 되어 움푹하게 들어가는 현상으로 인해 측정 오차가 발생하기도 한다.

☑ 주요 성능

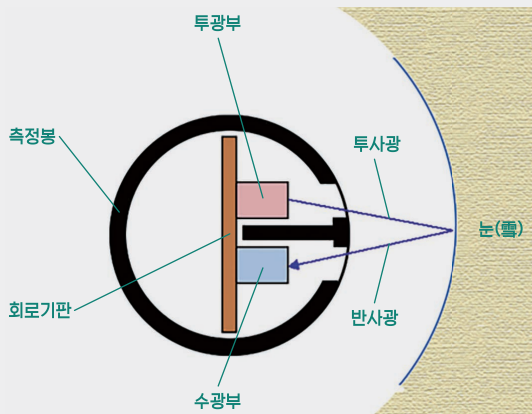
- 관측요소: 신적설, 적설
- 측정범위: 0m ~ 10m
- 분해능: 0.5cm

☑ 활용 분야

기상관측, 기후변화 연구, 수문·농업, 재난·방재, 교통안전



적외선적설계



측정원리 모식도

5.3.3 영상식적설계(Image snow cover meter)

✓ 측정원리

영상식적설계(Image snow cover meter)는 영상을 전기신호로 변환하는 촬상소자(CCD: Charge Coupled Device) 카메라와 영상인식 기술을 이용한 프로그램을 활용하여 적설값을 산출하는 것이 원리이다. 이 장비는 적설 관측용·주변 감시용 영상카메라, 강수유무감지기, 자료수집기, 전도형자기우설량계, 적설기준자 등으로 이루어진 하드웨어와 영상 캡처, 팬틸트, 적설량 측정, 자료저장, 매니저 프로그램 등 운영 소프트웨어로 구성되어 있다.

적설 측정은 적설 관측 영상카메라가 높이 158.5cm의 적설 기준자 영역의 하단부터 상단으로 주사하면서 검은색의 적설 기준자와 흰색의 눈(雪) 경계선을 찾아낸다. 경계선을 찾으면 설정된 적설 기준자의 상단과 하단의 높이로부터 눈과의 경계선 높이를 유추한다. 유추하는 알고리즘은 경험식에 기반해 구성되며 카메라의 왜곡률을 계산하여 적설량을 산출한다. 이 장비는 목측 인식 방법을 영상으로 구현하였으나 카메라 왜곡률 보정이 쉽지 않고 바람에 의한 영상의 흔들림으로 측정 오류가 발생할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 신적설, 적설
- 측정범위: 0cm ~ 100cm 이상
- 분해능: 0.5cm

✓ 활용 분야

기상관측, 기후변화 연구, 수문·농업, 재난·방재, 교통안전



영상식적설계

5.3.4 초음파식적설계(Ultrasonic snow cover meter)

☑ 측정원리

초음파식적설계(Ultrasonic snow cover meter)는 초음파감지기, 자료수집기, 음속보정온도계, 표출장치로 구성되어 있으며, 원리는 지면으로부터 일정 높이의 ‘ㄱ’자 모양 지지대를 설치하고 보조지지대 끝부분에 초음파감지기를 매달아 지면을 향해 일정한 시간 간격으로 초음파를 발사하여 눈(雪)의 표면으로부터 반사되어 되돌아오는 시간을 측정함으로써 적설의 높이를 산출한다.

$$D = L - \frac{t(S_0 + 0.6071 T)}{2}$$

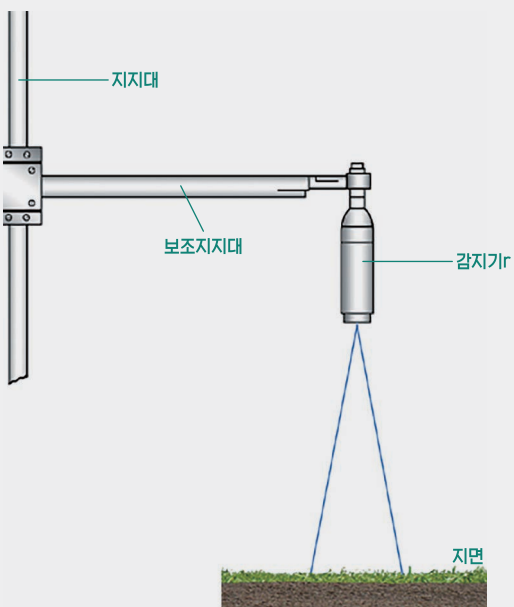
여기서 D 는 적설의 깊이, L 은 감지기와 지면 간의 높이, S_0 는 0°C에서 초음파 속도(331.45m/s), T 는 측정시각의 기온(°C), t 는 초음파 펄스의 왕복시간(초)이다. 초음파 속도는 0°C일 때 331.45m/s이고, 온도가 1°C씩 높아질 때마다 0.6071m씩 빨라지므로 온도보정을 해야 정확한 관측값을 산출할 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 신적설, 적설
- 측정범위: 0m ~ 10m
- 분해능: 0.1cm ~ 1.0cm

☑ 활용 분야

기상관측, 기후변화 연구, 수문·농업, 재난·방재, 교통안전, 극지·산악 연구, 산업 응용



초음파식적설계

5.3.5 레이저식적설계(Laser snow cover meter)

☑ 측정원리

레이저식적설계(Laser snow cover meter)는 레이저를 지면으로 발사하여 눈 표면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정함으로써 적설 깊이를 산출한다. 레이저식적설계는 3각 측량법을 이용하여 설치하므로 낙설에 대한 방지 대책이 가능하고, 온도 변화의 영향이 상대적으로 적어 분해능과 정확성이 우수하다. 레이저를 좌우 60°로 다점(342 포인트) 조사 관측하여 평균값 산출 후 최댓값, 최솟값 10 포인트는 에러로 판단 후 삭제한 뒤 연산하여 더 높은 정확도로 관측이 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 신적설, 적설
- 측정범위: 0m ~ 300m
- 분해능: 0.1cm

☑ 활용 분야

기상관측, 기후변화 연구, 수문·농업, 재난·방재, 교통안전, 산업 응용



레이저식적설계

5.3.6 원통식설량계(Cylindrical snow gauge)

☑ 측정원리

원통식설량계(Cylindrical snow gauge)는 원통형강수량계와 외부 형태는 유사하나 강수 수집 역할을 하는 물받이와 저수통이 한 몸으로 이루어져 있고, 물받이 내부에 깔때기가 없으며 양동기와 저수병이 놓여 있지 않은 것이 다른 점이다. 원통식설량계의 역할은 눈을 강수량으로 측정하기 위한 것으로 미리 우량승으로 측정된 적당한 양의 뜨거운 물을 이용해 설량계에 쌓인 눈을 충분히 녹인 후 우량승으로 측정하고 눈을 녹이기 위해 넣었던 뜨거운 물의 양을 측정값에서 빼면 강수량을 산출할 수 있다.

많은 눈이 쌓였을 경우에는 뜨거운 물로 녹여 측정하는 것이 수월하지 못하기 때문에 눈이 쌓인 용기 채로 강수저울(평형우설량계)에 올려놓고 전체 무게를 측정한 후, 용기의 무게를 나중에 빼서 강수량을 측정한다. 측정이 끝나면 용기 내부에 있는 눈을 깨끗이 제거한 후에 다시 설치한다. 원통식설량계를 눈이 내린 관측 노장 바닥에 그대로 놓을 경우, 원통식설량계 바닥이 내린 눈에 의해 얼어붙어 버릴 수가 있으므로 지면으로부터 약 30cm 높이인 원형 삼각대 틀에 넣어 설치한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강설량
- 측정범위: 0mm ~ 500mm
- 분해능: 0.1mm

☑ 활용 분야

기상관측, 농업·수문기상, 수자원관리, 기후변화 감시, 교육 및 연구



원통식설량계

5.4 강수성분

5.4.1 산성도측정기(pH meter)

✓ 측정원리

산성도측정기(pH meter)는 전극, 표시부, 전원부, 키패드, 데이터 저장 기능으로 구성되며, 수소 이온 농도 지수(pH) 전극과 참조전극의 전위차를 측정해 전자식으로 산출된 값을 pH 단위로 변환하는 원리를 따른다. 기기는 자동 온도 보정을 지원하며, 마이크로프로세서 제어로 높은 정밀도를 유지한다.

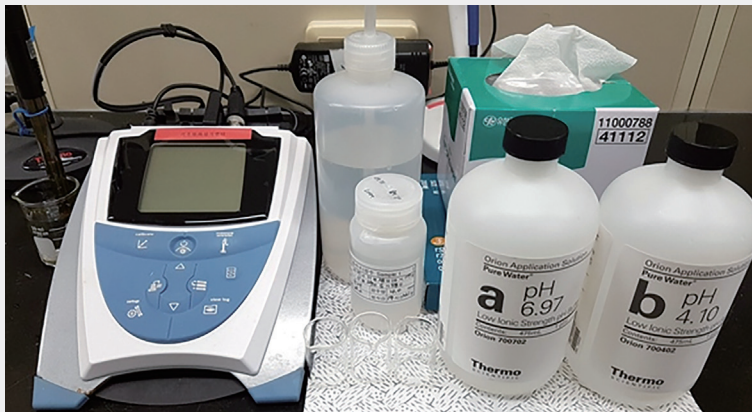
측정방법은 전극을 증류수로 세척한 후 시료에 넣고, 연속·자동·시간 설정 측정 모드 중 하나를 선택해 안정화된 값을 기록한다. 측정 전에는 표준 완충용액을 이용해 1~3점 교정을 수행하고, 자동 버퍼 인식 기능으로 보정 정확성을 높인다. 사용자는 키패드로 파라미터와 해상도를 설정할 수 있으며, AUTO-READ 모드에서는 값이 안정될 때 자동으로 기록·출력된다. 데이터는 내부 메모리에 저장되며 필요시 PC나 프린터로 전송할 수 있다. 전극은 사용 후 세척 및 적절한 보관을 통해 수명을 연장한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 수소이온농도(pH)
- 측정범위: 0pH ~ 14pH(-414mV ~ 414mV)
- 분해능: 0.1pH, 0.01pH, 0.001pH(0.01mV ~ 0.1mV)

✓ 활용 분야

환경 모니터링, 수질 분석, 산업 공정 관리



산성도측정기

5.4.2 산성우측정기(Acid rain analyzer)

☑ 측정원리

산성우측정기(Acid rain analyzer)는 강수가 내릴 때만 자동으로 개방되는 습식 강수 채집기(wet-only sampler)를 사용하여 빗물을 채취함으로써 건조 침착물의 혼입을 막는다. 채취된 빗물은 즉시 pH 전극과 전기전도도 전극이 설치된 측정기로 이동되어 실시간 분석이 이루어진다. pH 전극은 빗물의 수소이온 농도에 따른 전위차를 발생시키며, 이를 네른스트(Nernst) 식을 통해 pH 값으로 환산한다.

전기전도도 센서는 시료에 전류를 흘려보내 이온의 전도성을 측정하여 전체 용존 이온 농도의 대략적인 세기를 나타낸다. 측정 과정에서는 온도 센서가 함께 작동하여 pH와 전기전도도 값에 대한 온도 보정을 수행한다. 이렇게 얻어진 산성우 자료는 기상청 산성우 감시망으로 전송되어 산성우의 발생 빈도와 강도를 장기적으로 평가하는 데 활용된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: pH, 전기전도도
- 측정범위: 0 ~ 14, 0 μ S/cm ~ 수천 μ S/cm
- 분해능: 0.01, 0.1 μ S/cm ~ 1 μ S/cm

☑ 활용 분야

산성우 장기변동 감시, 대기오염 영향평가, 황·질소 산화물 배출 감시



산성우측정기



5.4.3 수함량측정기(Water content system)

☑ 측정원리

수함량측정기(Water content system)는 수액량, 총수함량을 동시에 측정하고, 얼음물함량을 이들로부터 산출하는 센서이다. 센서는 일정한 온도로 유지되며, 입자의 증발(또는 응해 후 증발) 과정에서 소모되는 열량을 보상하기 위해 필요한 전력을 측정하여 수함량을 산출한다. 주로 항공기 관측용 구름물리 장비로 사용되며, 구름 내 총수함량의 관측과 혼합상 구름에서 액체상과 고체상 물을 구분하는데 유용하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 액체수함량(LWC), 얼음수함량(IWC)
- 측정범위: $0\text{g/m}^3 \sim 3\text{g/m}^3$
- 분해능: 0.01g/m^3

☑ 활용 분야

구름 미세물리학, 항공기 착빙 연구, 수치예보 검증, 기후변화 연구



수함량측정기

5.4.4 이온크로마토그래프(IC: ION Chromatograph)

☑ 측정원리

이온크로마토그래프(IC: ION Chromatograph)는 수용액에 녹아있는 이온성 시료를 적절한 분리관과 검출기를 사용하여 개개의 성분으로 분리하여 농도를 측정하는 기술을 말하고, 이 분석 방법을 크로마토그래피법이라고 한다. 분리관의 틸 메움 물질(고정상)인 고분자에 양이온 또는 음이온 교환을 위한 작용기(Functional group)를 결합해 여기에 시료를 주입하면 분석 이온이 작용기와 이온 간의 결합력(Ionic strength)에 의해 결합해 있다가 이동상(Eluent, 예) NaOH, CH₃SO₃H)의 양이온이나 음이온과 경쟁적으로 치환되며 분해결합을 반복하게 된다. 이때 시료 안에 있는 이온들이 각각 이온 결합력의 차이에 따라 분리가 일어나게 되며, 이온 간의 분리되는 순서는 고정상의 작용기와의 전자 친화력 차이에 의해 결정된다.

이온크로마토그래프 분석시스템은 본체, 분석시스템 관리 장치, 자동 시료 주입기로 구성되어 있다. 분석시스템을 최적의 상태로 유지하기 위해 작동 시 증류수 양을 항상 조사하고 분리관, 보조분리관, 써프레스서(Suppressor)의 오염 상태를 검사하여 주기적인 교체를 하여야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수이온성분
- 측정범위: µg/L ~ mg/L
- 분 해 능: 0.1µg/L ~ 1µg/L

☑ 활용 분야

대기복사관측시스템, 산성비 연구, 대기오염 모니터링, 기후변화 연구, 수문·환경 기상



이온크로마토그래프

5.4.5 전기전도도측정기(Conductivity meter)

☑ 측정원리

전기전도도측정기(Conductivity meter)는 양이온과 음이온의 분리 즉, 강하거나 약한 전해물질(용존물질)의 존재량으로 전기전도도를 측정한다.

전기전도도측정기를 측정할 때 주의할 점은 채수한 후 냉장 보관상태에서 최소한 24시간 이내에 이루어져야 하며, 20℃(또는 25℃)에서 측정한다(수온 1℃에 비전기전도도는 2% 정도 변할 수 있음). 수용액 속에는 각종 물질이 입자상 및 수용성 상태로 존재하게 된다. 이들 물질이 수용액 속에 많이 존재하면 전기전도도는 큰 값을 나타내고, 수용액 속에 작게 존재하면 전기전도도는 작은 값을 나타낸다. 따라서 이 장비는 수용액 속에 포함된 각종 물질의 총량을 대략 판단하는 데 사용한다.

전기전도도측정기는 지시부와 검출부로 구성되어 있으며, 지시부는 회로나 연산증폭기회로 등으로 구성된 것을 사용하며, 검출부는 한 쌍의 고정된 전극으로 된 전도도 셀 등을 사용한다. 셀 상수는 전도도 표준액(염화칼륨 용액)을 사용하여 정하거나 셀 상수가 알려진 다른 전도도셀과 비교하여 정할 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 전기전도도
- 측정범위: 0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ~ 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 분해능: 0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$

☑ 활용 분야

강수 화학 분석, 산성비·대기오염, 기후변화 모니터링, 수문·재해, 농업·해양 기상



전기전도도측정기

VI



시정 및 통합기상관측

092

095

097

6.1 시정

6.2 통합기상요소

6.3 자료수집·처리

6.1 시정

6.1.1 전방산란식시정계(Forward scattering visibility meter)

✓ 측정원리

전방산란식시정계(Forward scattering visibility sensor)는 광센서의 출력 신호와 산란체 농도와의 관계로부터 시정거리를 산출한다. 전방산란식시정계의 동작 원리는 투광부에서 나온 펄스 형태의 근적외선이 공기 중에 산란체를 만나면 난반사가 일어나서 산란한 일부 빛이 수광부로 들어간다. 주로 830nm ~ 880nm의 파장을 사용하며, 산란체가 많으면 수광부로 들어오는 빛의 양이 많아진다.

시정은 목표물을 명확하게 식별할 수 있는 최대 거리이다. 시정계(Visibility sensor)는 일반적으로 빛을 내보내는 투광부와 수광부(광센서)가 한 쌍으로 이루어져 있으며, 투광부와 수광부가 서로 마주 보게 사용하는 것이 투과율식이고, 어느 정도 각도로 설치된 것이 산란식이다. 산란식 시정계는 투과율식시정계에 비해 설치 공간의 제약이 적은 장점이 있다.

미(Mie) 산란은 산란체의 크기와 빛의 파장이 비슷하여 산란체 외경이 파장의 정수배가 될 때 공명에 의한 전방산란이다. 산란체 크기와 산란 각도에 따라 산란량이 증가하거나 감소하기 때문에 투광부와 수광부의 적절한 각도가 필요하다. 가시광선이나 적외선의 산란은 마이크로미터 크기의 미세먼지 등 입자상 물질인 에어로졸에서 발생한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 시정
- 측정범위: 10m ~ 50km
- 분해능: 1m ~ 10m

✓ 활용 분야

기기상관측, 항공·항만 안전, 교통안전 관리, 황사·에어로졸 연구, 기후변화 감시



다양한 모양의 전방산란식시정계

6.1.2 투과율식시정계(Transmissometer)

☑ 측정원리

투과율식시정계(Transmissometer)는 광원이 광원과 검출기 사이의 모든 광경로 상의 대기를 통과하고 이때 광경로에 존재하는 광흡수 및 광산란 물질(안개, 미세먼지, 화산재, 유해가스 등)로 인해 초기 광원의 세기가 변화하는데, 이를 광검출기를 통해 광원의 세기를 검출하고 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙을 적용하여 가시거리를 계산한다. 투과식보다 짧은 파장을 사용하며, 공항에서 활주로 시정거리(Runway visual range)를 측정하는 투과율식시정계는 송신부와 수신부가 분리되어 마주 보게 설치한다. 투과율식시정계는 산란식 시정계에 비해 투광기와 광검출기의 간격이 길기 때문에 대규모의 측정 공간이 요구된다.

전방산란 신호와 투과 신호를 동시에 얻기 위해서 레이저 다이오드(Laser diode)와 발광다이오드(LED: Light Emitting Diode)의 두 가지 광원을 사용하는 4 헤드 시스템도 사용한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 시정
- 측정범위: 10m ~ 10km
- 분해능: 1m ~ 10m

☑ 활용 분야

기상관측, 항공기상, 기후·대기질 연구, 교정, 도로·환경 기상, 황사·에어로졸 연구

6.1.3 영상식시정계(Imaging visibility sensor)

측정원리

영상식시정계(Imaging visibility sensor)는 스테레오 카메라를 통해 얻은 2개의 영상에서 양안시차의 원리로 3차원 거리 정보를 계산하는 기술이다. 정지영상 및 동영상 장치를 통해 촬영된 컬러 영상 이미지의 색채학적 및 광학적 요소들을 이용하여 시정거리를 측정하는 기술을 적용하여 개발되고 있다. 최근에는 AI 소프트웨어 기술이 접목되어 영상식시정계의 정확도가 높아지는 추세이다.

주요 성능

- 관측요소: 시정
- 측정범위: 10m ~ 10km
- 분해능: 1m ~ 10m

활용 분야

기상관측, 도로교량 안전 모니터링, 공항 활주로 시정 감시, 선박 운항 안전

6.2 통합기상요소

6.2.1 통합기상관측장비(Integrated meteorological instrument)

✓ 측정원리

통합기상관측장비(Integrated meteorological instrument)는 바람·강수·기압·온도·습도를 동시에 측정할 수 있도록 초음파 바람 센서, 피에조 기반 강수 센서, 정전용량식 실리콘 기압 센서·백금 온도 센서·정전용량형 습도 센서(기압, 온도, 습도) 모듈로 구성된다. 바람은 삼각형 배열된 초음파 송수신기 사이의 전파 시간차를 이용해 풍속과 풍향을 산출하며, 강수는 빗방울이나 우박이 센서 표면에 충돌할 때 발생하는 압전 신호를 적분하여 강수량과 강우 강도를 계산한다. 기압은 용량성 압력센서로, 온도는 저항성 박막센서로, 습도는 폴리머 기반 용량성 센서로 측정되며, 내부 보정 알고리즘을 통해 정확도가 유지된다.

관측은 1 ~ 4Hz의 샘플링으로 수행되어 일정 시간 평균, 최대, 최소값으로 처리되며, 강수는 이벤트 발생 시점부터 누적 강수량과 강우강도로 산출된다. 장비는 비강우 신호나 충격으로 인한 오차를 필터링하고, 바람 데이터 품질이 낮은 경우 무효로 처리하여 신뢰성을 확보한다. 또한 히터 등 보조 장치를 통해 저온·적설 환경에서도 안정적인 관측이 가능하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 강수량, 강우강도, 기압, 기온, 상대습도
- 측정범위: 기본기상관측 요소별 측정범위
- 분 해 능: 기본기상관측 요소별 분해능

✓ 활용 분야

기상관측망, 공항기상, 대기과학 연구, 재해기상 감시



통합기상관측장비

6.2.2 기본기상요소측정장비(Aircraft integrated meteorological measurement system)

✓ 측정원리

기본기상요소측정장비(Aircraft integrated meteorological measurement system)는 바람·강수·기압·온도·습도를 동시에 측정하는 통합 센서로 구성된다. 풍향·풍속은 삼각 배열된 초음파 센서 간 전파 시간차를 측정해 산출한다. 강수는 낙하 입자가 표면에 충돌할 때 발생하는 피에조 신호를 분석하여 강수량·강우 강도·우박 여부를 계산한다. 기압은 용량성 정전용량식 실리콘 압력 센서 기술, 온도는 백금 온도 센서 저항체, 습도는 정전용량형 습도 센서로 정밀 측정된다.

관측은 초당 1 ~ 4회 샘플링 후 평균·최대값·최솟값으로 처리되며, 강수는 이벤트 발생 즉시 누적값이 기록된다. 또한 필터링과 히터를 통해 잡음·적설에 의한 오류를 최소화해 안정적인 자료를 제공한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 강수량, 강우 강도, 기압, 기온, 상대습도
- 측정범위: 기본기상관측 요소별 측정범위
- 분 해 능: 기본기상관측 요소별 분해능

✓ 활용 분야

공항 기상관측, 기상청 관측망, 재해기상 감시, 대기과학 연구



기본기상요소측정장비

6.3 자료수집·처리

6.3.1 데이터로거(Data logger)

✓ 측정원리

데이터로거(Data logger)는 온도, 습도, 풍향, 풍속 등 기상관측 센서들을 연결하여 미리 설정해 둔 간격에 맞춰 기상 요소들을 자동으로 수집하는 장치이다. 기상 분석 및 예보에 필요한 장기간 축적된 자료를 CDMA/GSM 모뎀, Wi-Fi, Bluetooth, USB 케이블을 통해 웹사이트, 컴퓨터 등으로 모니터링하거나 저장한다.

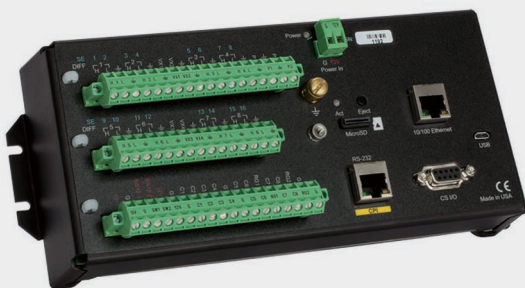
기상요소별 관측 센서로부터 측정되어 발생한 아날로그 신호를 받아 디지털 신호로 변환한다. 아날로그 입력은 관측 센서 종류에 따라 직류전압 혹은 펄스 신호가 될 수 있다. 직류전압의 입력 범위는 0V ~ 10V를 만족하여야 한다. 관측 센서를 추가 또는 변경할 때 하드웨어의 변경과 무관하게 소프트웨어로 제어 및 시각 동기화, 자료의 저장, 자료의 송수신이 가능하다.

✓ 주요 성능

- 센서에서 들어오는 아날로그/디지털 신호 수집
- 디지털 데이터로 변환, 저장/ 전송

✓ 활용 분야

기상관측, 환경모니터링, 수문학, 농업기상, 대기과학연구, 자동기상관측망



데이터로거

6.3.2 자기전접계수기(Recording electronic counter)

✓ 측정원리

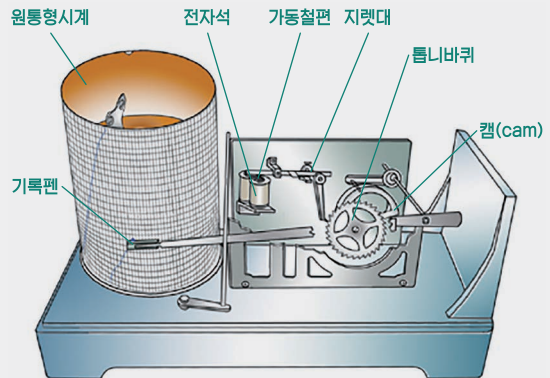
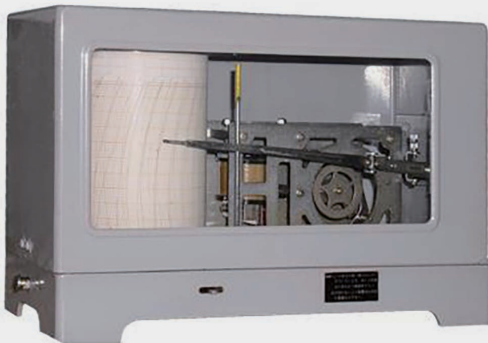
자기전접계수기(Recording electronic counter)는 전기적 접점 신호가 발생할 때마다 이 신호는 케이블을 통해 전자석과 인접한 가동철편으로 전달되어 접점을 형성한다. 접점이 이루어질 때마다 가동철편에 연결된 지렛대가 작동해 톱니바퀴를 한 칸씩 회전시키며, 톱니바퀴는 100개의 톱니로 구성되어 있다. 이 톱니바퀴의 회전은 옆면에 부착된 캠 장치에 동력을 전달하고, 이 힘은 기록펜에 전달되어 원통형 자기기록지 위에 계단형 그래프가 그려진다. 1회 접점 시 펜은 눈금을 1/2칸 이동하며, 100회 접점이 누적되면 펜은 기록지 최상단에 도달한 뒤 자동으로 낙하해 0점으로 복귀한다. 풍배형풍속계에 연결하면 일정 시간 동안의 풍속과 풍정을 계산할 수 있고, 전도형강수량계에 연결하면 시간대별 강수량 변화를 기록지에서 판독할 수 있다. 이러한 방식은 구조가 단순하고 취급이 간편하다는 장점이 있으나, 접점 수를 기반으로 하기 때문에 관측자 개인의 판독 오차가 개입할 여지가 있어 신뢰도에 한계가 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 강수량
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0.5m/s ~ 60m/s, 0mm ~ 500mm
- 분해능: 1°, 0.5m/s, 0.1mm

✓ 활용 분야

기상관측, 교통안전, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



자기전접계수기

6.3.3 지시형전접계수기(Indicating electric contact counter)

☑ 측정원리

지시형전접계수기(Indicating electric contact counter)는 자기전접계수기를 사용하기 이전에 사용한 측기로 주로 3배 또는 4배 풍속계에 연결하여 지시기록계로 활용한 측기이다.

풍속계로부터 전달된 접점 신호를 받아 그 값을 지시하게 되며, 케이블을 통해 들어온 전기적 신호는 전자석과 인접해 있는 가동철편으로 전달하면 접점이 이루어진다. 이렇게 접점이 이루어질 때마다 가동철편은 톱니바퀴를 제어하는 철편을 위로 올려 10개의 톱니가 있는 회전전달축을 통해 0.1m 단위의 톱니바퀴를 회전시킨다.

회전하는 톱니바퀴는 5개로 직렬 연결되어 맞물려 돌아가며, ×0.1 단위 지시침은 50회 접점이 이루어질 때 1회전하고, ×1 단위 지시침은 한 칸 회전하게 된다. ×10, ×100, ×1000 단위의 지시침은 한 단계 작은 단위의 지시침이 1회전 하면 한 칸이 회전한다.

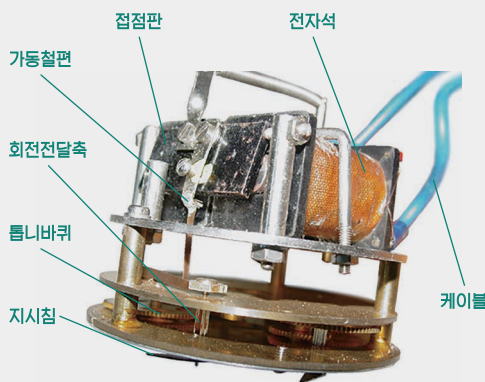
풍속계에 연결하여 풍정을 측정하는 데 이용되며, 가볍고 취급이 쉬울 뿐만 아니라 측정값을 읽기가 편리하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0.5m/s ~ 60m/s
- 분해능: 1°, 0.5m/s

☑ 활용 분야

기상관측, 항공기상, 농업·수문기상, 산업 현장, 재난·방재, 교육 및 연구



지시형전접계수기

VII



연직기상관측

102

105

111

113

7.1 존재관측

7.2 능동형 원격관측

7.3 수동형 원격관측

7.3 기타

7.1

존데관측

7.1.1 라디오존데(Radiosonde)

✓ 측정원리

라디오존데(Radiosonde)는 지상에서 관측센서를 기구에 매달아 비양시키고 일정한 시간 간격으로 풍향, 풍속, 고도, 기압, 기온, 상대습도 등의 기상요소를 관측하는 소모성 기상관측장비이다. 라디오존데는 기구를 추적하는 방법에 따라 무선방향탐지기를 이용한 방식, 라디오원드 방식, 항행보조시스템 방식으로 나누어진다.

무선방향탐지기를 이용한 방식은 라디오존데의 송신기가 보낸 무선 신호를 추적하여 기구의 방위각, 고도각, 레인지 등을 측정하는 방식이다. 지상에 설치된 무선방향탐지기(RDF: Radio Direction Finding) 안테나는 라디오존데가 송신하는 1,680MHz의 원격 측정 신호를 자동으로 추적한다. 안테나의 방위각과 고도각 자료는 라디오존데의 기압, 지위고도 자료와 함께 지상국의 자료 수신 처리장치로 보내져 비양 중인 라디오존데의 위치 변화 즉, 바람을 결정한다.

라디오원드 방식은 기구에 매달린 반사체를 레이더로 추적하여 방위각, 고도각, 레인지 등을 측정하는 방식이다. 레이더 안테나의 방위각, 고도각, 레인지 자료는 지상국의 자료수신 처리장치로 보내져 비양 중인 라디오존데의 위치 변화 즉, 바람을 결정한다.

항행보조시스템 방식은 OMEGA⁴⁾, LORAN-C (LONg RANge Navigation), GPS (Global Positioning System) 등과 같은 선박이나 항공기 위치 결정에 사용되는 항행보조시스템을 활용하여 기구의 위치를 추적하는 방식이다. 라디오존데는 항행보조신호를 수신하는 수신기를 탑재하고 있어 그 신호를 지상국으로 연계시킨다. 지상국의 자료 수신 처리장치가 기구 위치를 계산한다.

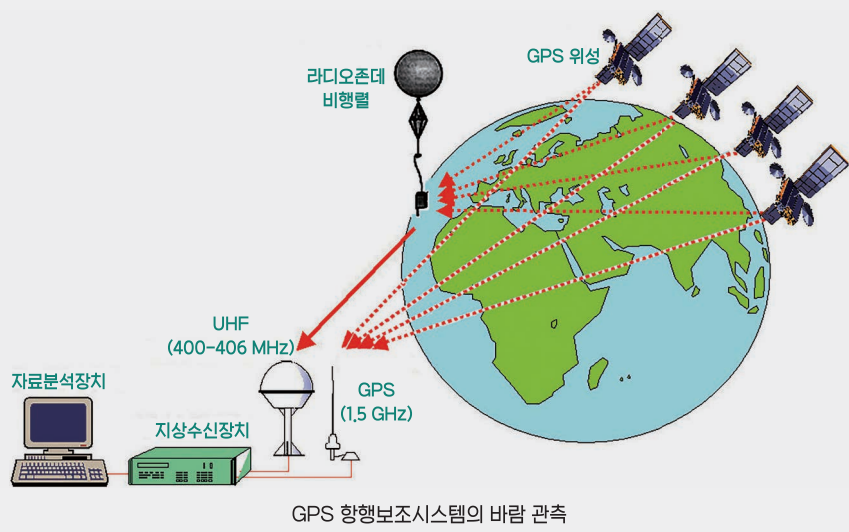
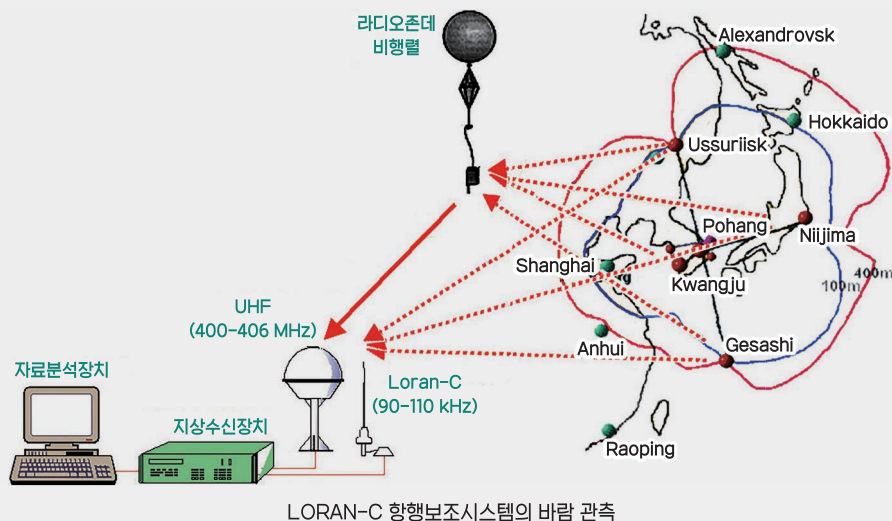
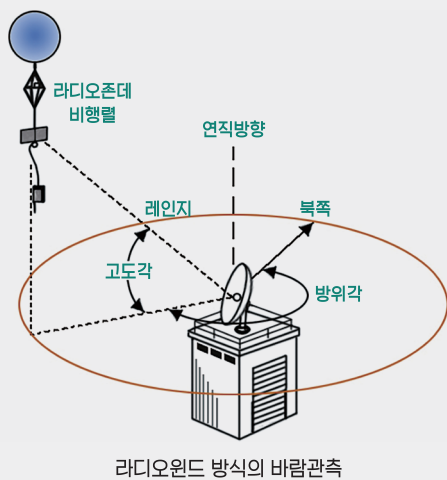
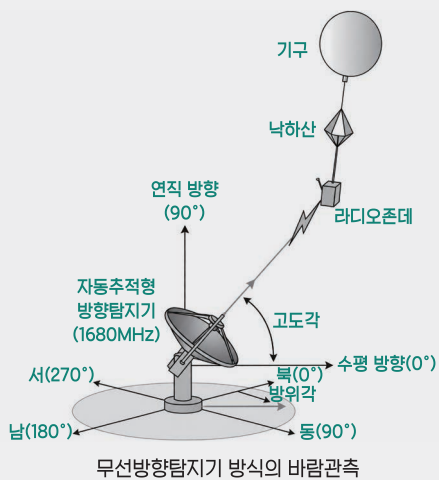
✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도, 기압, 기온, 습도
- 측정범위: 0 ~ 360°, 0 ~ 200m/s, 0 ~ 35km, 5 ~ 1,050hPa, -90 ~ 50°C, 1 ~ 100%
- 분 해 능: 5°, 0.5m/s, 수 m ~ 수십 m, 0.1hPa, 0.1°C, 1%

✓ 활용 분야

기상관측, 일기예보, 수치예보, 항공 기상, 재해 기상, 기후변화 연구

4) 전 세계 8개의 Omega station에서 일정한 주기를 갖고 발사하는 신호를 라디오존데가 수신하면 이 중 3개의 신호를 이용한 삼각법으로 위치를 계산하여 풍향·풍속을 산출하는 방식



7.1.2 드롭존데(Dropsonde)

☑ 측정원리

드롭존데(Dropsonde)는 소모성 기상관측장비로, 기상관측센서를 항공기에서 지상으로 낙하시켜 기상요소를 관측하며, 열대성 폭풍과 같은 기상 현상에 대한 대기연직구조를 보다 정확하게 관측할 수 있다. 드롭존데에는 GPS와 함께 풍향, 풍속, 기온, 기압, 상대습도 등을 측정할 수 있는 기상관측센서가 탑재되어 있다.

드롭존데는 작고(길이 40cm, 직경 7cm), 가벼우며(339.8g), 자체적으로 전원을 지원하는 소모품으로 현지기압, 기온, 상대습도를 추정하여 전송한다. 또한 위치 데이터를 전송하여 풍향과 풍속을 계산하는 무선의 GPS 수신기와 관측을 조절하고 센서 데이터를 디지털화하는 마이크로프로세서가 장착되어 있다.

항공기에서 존데를 낙하하기 전에, 드롭존데 센서의 교정 계수가 중앙의 단자와 드롭존데의 본체(Telemetry chassis)를 통해 컴퓨터에 입력된다. 일련의 설정이 완료되면 드롭존데가 항공기에서 낙하되고 설치된 사각의 큰 낙하산이 작동하여 비행고도로부터 지면까지 약 750m/min의 속도로 낙하하면서 기상요소가 측정된다. 드롭존데가 하강하는 동안 측정된 자료로 대기 연직 분포를 제공한다. 최대 4개의 드롭존데를 동시에 관측할 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도, 기압, 기온, 상대습도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 100m/s, 1.5 ~ 13km, 3 ~ 1,050hPa, -90 ~ 60°C, 0 ~ 100%
- 분 해 능: 1°, 0.1m/s, 수 m ~ 수십 m, 0.1hPa, 0.1°C, 0.1%

☑ 활용 분야

기상관측, 일기예보, 수치예보, 항공 기상, 재해 기상, 기후변화 연구



드롭존데

7.2 능동형 원격관측

7.2.1 연직바람관측장비(Wind profiler)

✓ 측정원리

연직바람관측장비(Wind profiler)는 초고주파(UHF: Ultra High Frequency; 300 ~ 3000MHz)나 초단파(VHF: Very High Frequency; 30 ~ 300MHz) 주파수의 전파를 상층대기로 방사하고 바람과 함께 이동하는 난류에 산란되어 재수신되는 전파신호를 수신·분석함으로써 상층의 바람을 관측하는 장비이다. 동·서·남·북·연직 방향으로 5개 전파를 차례로 회전하면서 방사하여 수평 바람과 연직 바람을 산출한다.

이 측기는 크게 자료수집 및 안테나 시스템과 자료처리 및 표출 시스템으로 구성되며, 기존의 라디오존데 장비를 이용한 정규 고층 관측이 6 ~ 12시간 간격으로 이루어지는 것에 비해 바람의 연직분포를 연속적으로 관측할 수 있는 장점이 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 100m/s, 0km ~ 5km 이상
- 분 해 능: 1°, 0.1m/s, 100m 이하

✓ 활용 분야

기상관측, 일기예보, 대기과학 연구, 항공 기상, 기후연구, 군사 응용, 교육·훈련



연직바람관측장비

7.2.2 윈드라이다(Wind lidar)

✓ 측정원리

윈드라이다(Wind lidar)는 근적외 영역 파장대의 고출력 레이저를 발사한 후 후방산란되어 되돌아오는 파장의 도플러 편이를 이용하여 시선 방향의 풍속을 관측하는 장비이다. 윈드라이다는 비교적 좁은 설치 면적과 정확성으로 도심에 설치하여 2km ~ 3km 이내의 바람을 감시하는 데 적합한 장비이며 연속적인 바람 측정이 가능하다는 장점을 가진다.

도플러(Doppler) 윈드라이다에는 크게 연속파(CW: Continuous-Wave) 형식과 펄스 형식이 있다. 연속파 형식은 레이저가 연속적으로 대기 중으로 발사하기 때문에 특정 시간에 수신되는 신호는 모든 거리로부터 오는 신호를 포함한다. 이에 비해 펄스 형식은 짧고 강한 펄스를 발사해서 후방산란되어 수신부로 도달한 신호가 특정 거리의 신호를 나타내는 방식이다. 일반적으로 도플러 라이다는 펄스 형식의 도플러 윈드라이다를 지칭한다.

도플러 빔 스윙 방식(DBS: Doppler Beam Swinging) 또는 속도-방위각 표시기법(VAD: Velocity Azimuth Display) 스캔을 통해 수평 및 연직 풍속을 산출할 수 있고, 거리-고도 단면도(RHI: Range Height Indicator) 또는 평면 위치 표시기(PPI: Plan Position Indicator) 스캔을 통해 시선 방향 풍속의 공간 분포를 관측할 수 있으며 돌풍 및 저층 바람시어를 탐지할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 75m/s, 0km ~ 10km
- 분해능: 1°, 0.1m/s, 수십 m ~ 수백 m

✓ 활용 분야

기상관측, 풍력발전 및 난류 탐지, 대기경계층 연구, 도심항공교통, 군사 응용



윈드라이다

7.2.3 소다(SODAR: SOund Detection And Ranging)

☑ 측정원리

소다(SODAR: SOund Detection And Ranging)는 1,497Hz의 음파를 이용한 풍향·풍속 측정장비로서 남북·동서·연직 안테나와 자료 수집기, 주 자료처리 장치로 구성되어 있다. 이 장비는 연직 고해상도의 바람장을 연속적으로 관측할 수 있기 때문에 짧은 시간 규모와 작은 공간 규모에서 발생하는 위험 기상관측에 매우 유용한 장비이다.

이 장비는 항공기의 안전한 운항을 위한 돌풍 현상 탐지 등의 기상학적인 목적 이외에도 대기오염 분야에서 확산계수를 산출하거나 공업단지, 공항, 각종 발전소 등의 입지 조건을 조사하는 데 활용되기도 한다.

3개 안테나에서 짧은 시간 간격으로 1,497Hz의 신호를 송신하고 대기에 존재하는 난류로부터 산란하여 돌아오는 에코를 수신함으로써 주파수 편이 분석을 통하여 남북·동서·연직 방향의 바람 벡터를 얻고, 이 벡터를 합성하여 수평 바람과 연직 바람을 산출한다. 대기 중에 온도차가 존재하면 밀도차가 생기고 음파를 산란시킨다. 산란한 음파 중에서 발사된 각의 180° 방향 에코를 수신하여 주파수 편이와 에코 강도 자료를 얻는다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 30m/s, 100m ~ 1,000m
- 분 해 능: 1°, 0.5m/s ~ 1m/s, 10m ~ 50m

☑ 활용 분야

기상관측, 풍력발전 및 난류 탐지, 대기경계층 연구, 도심항공교통, 군사 응용



소다(SODAR)

7.2.4 기상레이더(Weather radar)

☑ 측정원리

기상레이더(Weather radar)는 기상레이더는 마이크로파 파장의 전자기파를 대기 중으로 송신하고 강수 입자 등 대기수상체에 의해 반사되어 되돌아오는 에코를 수신·분석하여 강수의 위치와 특성을 파악하는 원격탐사 장비이다. 기상레이더는 송신된 전자기파의 왕복 시간을 이용하여 강수의 거리를 계산하고, 반사강도를 통해 강수의 세기와 분포를 산출한다.

비, 눈 등의 강수에 대한 반사강도를 관측할 수 있는 재래식 기상레이더에 도플러 기능을 추가한 도플러 기상레이더는 재래식 레이더의 기능 이외에 반사파 주파수 변화를 측정해서 목표물의 이동속도를 컴퓨터로 산출, 시선속도나 스펙트럼 폭을 관측한다.

기상레이더는 전자기파의 형식과 신호처리 방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

기상레이더의 분류

구분	특성	응용
재래식 레이더 (Conventional radar)	강도 처리	물체의 존재, 상대적 위치 파악
도플러 레이더 (Doppler radar)	강도와 도플러 속도 처리	물체의 존재, 상대적 위치, 운동 탐지
편파 레이더 (Polarimetric radar)	편파와 도플러 속도 처리	물체의 존재, 종류(특성), 위치, 운동 탐지
다중파장 레이더 (Parametric radar)	다중파장의 전자기파 흡수차이 활용	강수량 측정, 구름물리 연구 등
기타 위성탑재 레이더	GPM (Global Precipitation Measurement Mission) DPR (Dual-frequency Precipitation Radar), EarthCARE (Earth Cloud, Aerosol and Radiation Explorer) CPR (Cloud Profiling Radar) 등	강우, 강설, 구름 관측 등

기상레이더는 송신기와 수신기, 안테나, 레이더신호처리기, 표시기 등으로 구성된다. 트리거 분배기(타이머), 고전압 공급기, 변조기, 송신관(마그네트론 발진관 또는 클라이스트론 증폭관)으로 구성된 마이크로파 펄스 송신기는 정해진 펄스 반복주파수마다 일정한 펄스폭의 고주파 전력을 만들어 안테나로 송출한다. 송신 주파수는 C, X, S-밴드 중 하나를 선택하여 결정된다.

수신기는 송신관에서 송출한 고주파가 목표물에 반사되어 되돌아오는 미약한 기상에코⁵⁾를 검출하여 대수 특성을 증폭시킨다. 항공기나 선박 등의 위치를 추적하는 일반 레이더보다 기상레이더는 목표물로부터 반사되어 돌아오는 미약한 수신전력 강도를 측정하기 때문에 70dB ~ 95dB이라는 넓은 동적 측정범위⁶⁾가 요구된다.

5) echo. 에코는 메아리처럼 반사되어 오는 음이나 전자기파를 의미한다. 보통 메아리같이 2개 이상의 음이 구별될 정도로 늦게 돌아온다.

6) dynamic range. 레이더 수신기 증폭기가 유효하게 작동하는 진폭 범위.



관악산 기상레이더



제주 고산 기상레이더

안테나 부분은 도파관, 포물면 반사기, 피드혼과 안테나를 지지하고 구동시키는 페데스탈, 안테나를 제어하는 서보증폭기 그리고 안테나를 강풍과 부식 등으로부터 보호하는 레이돔으로 구성되어 있다.

신호처리기는 레이더시스템을 제어하는 레이더 신호제어처리기와 수신기로부터 수신한 영상 신호를 처리하는 영상신호처리기로 구분한다. 영상신호처리기는 수신기에서 공급되는 아날로그 영상 신호를 디지털 신호로 변환한다. 지형클러터를 제거하기 위한 신호 처리를 마친 후 레이더 운용컴퓨터에 저장하거나 표출기로 보낸다.

영상신호처리기에서 생산하는 영상을 A-scope로 표출하지만 안테나가 가리키는 방향을 알 수 없기 때문에 위치와 고도 정보를 알고자 수평 방향으로 PPI (Plan Position Indicator)와 수직 방향으로 RHI (Range High Indicator) 스캔 방식을 사용한다. 최근에는 레이더 영상 신호를 전용 컴퓨터에서 쉽게 표출 및 제어할 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 반사강도(Z), 도플러 시선속도(V), 스펙트럼 폭(W)
- 측정범위: 관측반경 약 100 ~ 480km(대역별 상이), 70 ~ 90dB
- 분 해 능: 거리 125m ~ 1km, 방위각 0.5° ~ 1.0°, 시간 5 ~ 10분

☑ 활용 분야

기상관측 및 위험기상 감시, 강수량 추정, 홍수 예측, 구름물리 및 기후 연구

7.2.5 연직강우레이더(MRR: Micro Rain Radar, Vertical rain radar)

✓ 측정원리

연직강우레이더(MRR: Micro Rain Radar, Vertical rain radar)는 1.5MHz ~ 15MHz의 중간 주파수를 24GHz의 고주파로 변조하고 전자기파를 연속적으로 연직 발사하여 강수 입자와 같은 목표물의 후방산란 수신 신호를 분석해 레이더 반사도와 연직 낙하 속도를 측정하는 주파수 변조 연속파(FM-CW: Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더이다.

연직강우레이더는 일반적으로 입자크기가 파장보다 작은 레일리 산란을 가정하면 입자에 의해 후방산란하는 단면적은 입자크기의 6승에 정비례하게 된다. 단위 체적당 후방산란하는 단면적과 레이더 상수를 이용하여 신호세기를 계산한다.

연직강우레이더는 펄스 상태가 아니어서 펄스 송신과 에코 수신과의 시간 차이에 의한 목표물의 고도 계산은 불가능하다. 따라서 연직강우레이더에서 송신되는 전자기파의 주파수를 선형으로 감쇠 변조하고 목표물에 의해 반사된 에코와의 주파수 편이로 목표물의 고도를 계산할 수 있으며 낙하하는 빗방울의 종속도도 계산한다. 입자의 종속도와 후방산란한 단면적으로부터 강수입자크기분포를 구한다.

레이더 반사도와 연직낙하속도를 이용하여 강우강도, 액체수함량(LWC: Liquid Water Content), 강수입자크기분포를 산출한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 강우강도, 강수 입자 크기
- 측정범위: 0.01mm/h ~ 200mm/h, 0.1mm ~ 5mm
- 분 해 능: 0.01mm/h, 0.1mm

✓ 활용 분야

기상관측, 강수 미세물리 연구, 수치예보 개선, 레이더-위성 검증, 재해 기상



연직강우레이더(MRR)

7.3 수동형 원격관측

7.3.1 온습도라디오미터(Temperature and humidity microwave radiometer)

✓ 측정원리

온습도라디오미터(Temperature and humidity microwave radiometer)는 여러 고도에서 방출되는 마이크로파 복사에너지를 측정하여 연직 기온, 습도 및 액체수함량 등을 관측하는 장비이다. 간헐적인 라디오존데 관측과 달리 시간적으로 연속적인 측정이 가능하다는 장점이 있다.

일정한 고도에서 천정 방향으로부터 입사되는 10GHz ~ 80GHz대의 흡수 스펙트럼을 보면, 22GHz ~ 30GHz의 스펙트럼 모양은 연직 수증기 농도에 크게 좌우된다. 51GHz ~ 59GHz 주파수는 산소 흡수 영역으로 연직 기온 분포에 대한 정보를 가지고 있다. 또한, 흡수 스펙트럼의 전체 모양은 구름 산란과 관련하여 액체수함량에 대한 정보를 가지고 있다.

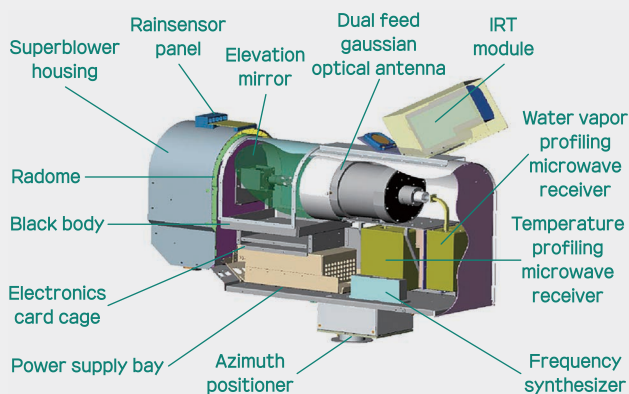
천정 방향으로부터 전달되는 마이크로파 복사에너지는 거울을 통해 피드혼 광학 안테나로 입력되어 복사강도가 측정되고 플랑크 법칙을 통해 밝기 온도로 변환된 이후에 복원 알고리즘을 거쳐 기온, 상대습도, 액체수함량 등의 자료가 산출된다. 기계학습 기반의 복원 알고리즘이 많이 활용되는데, 알고리즘에 따른 산출물 오차가 큰 편이다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 기온, 상대습도, 액체수함량
- 측정범위: -50℃ ~ 50℃, 0 ~ 100%, 0 ~ 70mm
- 분해능: 0.1 ~ 1℃, 0.1%, 0.1mm

✓ 활용 분야

연직대기관측시스템, 액체수함량 추정, 위험기상 실시간 감시



온습도라디오미터 및 구성

7.3.2 GNSS위성측위시스템(GNSS NAVAIID System)

✓ 측정원리

GNSS (Global navigation satellite system) 위성측위시스템(GNSS NAVAIID System)은 위성으로부터 송신되는 전파를 수신하여 위치, 속도, 시간 정보를 산출하는 장비로, 크게 안테나와 처리장치로 구성된다. 안테나는 L-밴드 전자기파 신호를 수신하고, 수신기는 이를 해석하여 위도·경도·고도 등 사람이 이해할 수 있는 좌표로 변환한다.

측정원리는 위성에서 발사된 신호가 수신기에 도달하는 데 걸린 시간을 측정하고, 빛의 속도로 환산하여 위성과의 거리를 계산하는 데 있다. 이때 최소 4개 이상의 위성 신호가 필요하며, 삼각측량 방식으로 정확한 위치를 도출한다. 그러나 전파는 대기를 통과하며 수증기 등에 의해 지연(대류권 지연)이 발생하는데, 이를 보정하면 대기 수증기량(ZTD, 가강수량 등) 산출에 활용할 수 있다. 관측 방법은 지상에 단순히 수신기를 설치해 운용하는 것으로, 이미 존재하는 GNSS 위성망을 그대로 활용하므로 비용이 적고 날씨와 무관하게 장기적인 연속 관측이 가능하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 방위각, 속도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 100m/s
- 분해능: 0.01°, 0.01m/s

✓ 활용 분야

항공·해상·육상 교통, 측량, 기상 및 대기과학 연구 등 정밀 위치·시간 정보



GNSS위성측위시스템

7.4 기타

7.4.1 측풍기구(Pibal: Pilot balloon)

✓ 측정원리

측풍기구(Pibal: Pilot balloon)는 기구를 광학이나 레이더 기법으로 바람을 관측하는 장비로써, 기구를 시각이나 광학적으로 추적하여 상공의 바람을 측정한다. 기구의 크기와 비양 가스량에 따른 일정한 상승률을 가정하고, 이 상승률에 따라 고도가 결정된다. 관측자는 광학식 측풍경위의를 사용하여 상승하는 기구를 추적하면서 일정한 시간(보통 1분) 간격으로 기구의 방위각과 고도각을 측정한다. 이렇게 고도, 방위각, 고도각 등의 측정자료를 얻게 되면 삼각측량법으로 기구의 위치를 알고 기구의 위치 변화를 분석하여 바람을 관측할 수 있다. 야간에 측풍경위의로 관측할 경우에는 발광체나 배터리로 가동되는 추적보조등이 필요하다.

측풍기구 관측이 다른 방법과 비교하여 매우 원시적이지만 경제적이고 쉽게 관측할 수 있기 때문에 대기오염 감시 및 분석, 항공기 운항, 활강이나 조정 경기 등의 분야에서 여전히 활용되고 있다. 그러나 이 방법은 눈 또는 비가 오거나 하늘에 구름이 많을 때에는 관측하기 어렵고, 기구의 일정한 상승한다는 가정의 유효성에 따라 측정의 정확도가 크게 달라진다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 고도
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0m/s ~ 100m/s, 0km ~ 15km
- 분 해 능: 1°, 0.1m/s, 수 m ~ 수십 m

✓ 활용 분야

기상관측, 대기과학 연구, 항공 기상, 군사 응용, 교육·훈련



측풍경위의와 측풍기구 비양

VIII



구름물리관측

116

119

126

131

8.1 운고·운량

8.2 구름입자

8.3 강수입자

8.4 안개입자

8.1 운고·운량

8.1.1 레이저식운고계(Laser ceilometer)

☑ 측정원리

레이저식운고계(Laser ceilometer)에서 연직 위쪽으로 발사한 레이저 펄스가 구름에 산란되어 되돌아오는 시간으로 구름 기저고도(cloud base height)를 구하는 방법으로 식은 다음과 같다.

$$\text{구름 기저고도} = 3 \times 10^8 \left(\frac{\text{왕복시간}}{2} \right)$$

레이저식운고계는 한 몸체에 송신기와 수신기가 분리되어 있다. 송신기에서 상향으로 발사한 레이저펄스가 대기 중 에어로졸과 구름 내 작은 물방울 입자에 의해 산란되고, 이 중 후방산란된 신호를 수신해 전기적 신호로 변환하고 구름 기저고도를 산출한다.

☑ 주요 성능

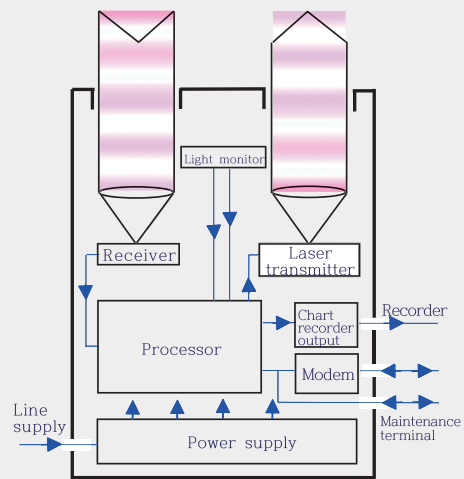
- 관측요소: 운저고도(1~3층)
- 측정범위: 10m ~ 800m
- 분해능: 10m

☑ 활용 분야

기상관측, 항공기상, 기후 연구, 위성 검증, 대기경계층 연구



레이저식운고계



레이저식운고계 측정원리

8.1.2 하늘영상관측기(ACOS: Automatic Cloud Observation System)

☑ 측정원리

하늘영상관측기(ACOS: Automatic Cloud Observation System)는 전천(全天) 하늘 이미지를 자동으로 촬영하는 장비로, 카메라 유닛(5M CMOS 센서, F1.4 어안렌즈), 태양 차광 블레이드, 구동부(5상 스테핑 모터), 제어보드(H8 마이크로컨트롤러), GPS 및 PC 저장장치로 구성된다.

측정원리는 GPS로 얻은 위도·경도·시간·날짜를 이용해 태양의 위치를 계산하고, 이에 맞추어 차광 블레이드가 자동으로 태양을 가려 렌즈가 직접광에 노출되지 않도록 하며, 어안렌즈로 180° 전천 영상을 촬영한다. 촬영된 영상은 JPEG 파일로 저장되며, 광학 왜곡을 최소화하여 구름 분포와 하늘 상태를 기록한다. 측정방법은 장비를 개방된 장소에 설치하고, 프로그램에서 시작·종료 시각과 촬영 간격을 설정해 주기적으로 자동 촬영하도록 운영한다. 촬영 간격은 사용자가 지정할 수 있으며, 영상은 LAN을 통해 PC에 저장되고 실시간 확인이나 이전 영상 검색도 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 전천 이미지
- 측정범위: 전천(하늘 전체)
- 분해능: 5 메가픽셀

☑ 활용 분야

운량 관측, 하늘 상태 기록, 기상예보, 기후연구, 항공·해상 안전



하늘영상관측기(ACOS)

8.1.3 회전빔운고계(Rotating beam ceilometer)

☑ 측정원리

회전빔운고계(Rotating beam ceilometer)는 구름의 기저 고도를 측정하는 측기의 일종으로 투광기, 수광기, 기록장치로 구성된다. 투광기는 오목한 반사경의 두 면이 서로 맞닿아 있으며, 각각의 초점 부분에는 발광 램프인 백열등이 설치되어 있어 강한 빛을 상공으로 투사한다.

이 측기의 원리는 백열등의 빛을 50Hz 또는 60Hz로 점멸하고 투광기를 1분에 5번 회전시키면 1분간 10회의 광선이 구름에 반사되어 수광기에 투사되는데, 수광기 안의 중심 부분에는 광전소자가 부착되어 수직면 상의 구름 기저 고도를 감지한다.

이러한 방법으로 수직면의 구름 기저 고도에 광점(光點)이 발생하면 수광기의 반사경에 이 빛이 집광되어 광전소자로 검출되고, 다시 증폭기로 10배 증폭된 전기적 신호가 기록장치에 전달됨으로써 구름의 높이를 산출한다. 측정 가능한 구름 밑면의 고도는 대기와 구름 밑면의 조건에 따라 다르게 나타나지만 약 2,000m 정도이다.

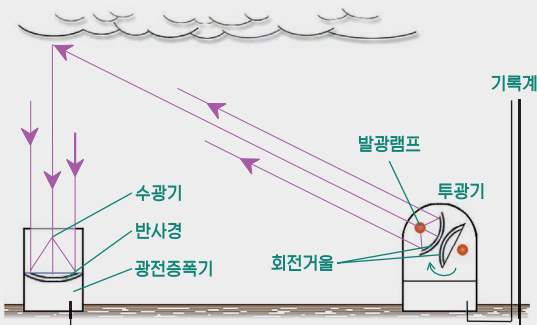
항공기 이·착륙을 지원하기 위해 공항에서도 설치하여 활용한 장비로, 그림은 1970년에 서울 송월동기상관측소에 설치되었던 운고계이며 기상청 전시실에 전시되어 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 운저고도
- 측정범위: 30m ~ 7.5km
- 분 해 능: 고도 5m ~ 15m

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 수치예보 보정, 항공 기상



회전빔운고계와 측정원리

8.2 구름입자

8.2.1 결빙탐지기(Icing detector)

✓ 측정원리

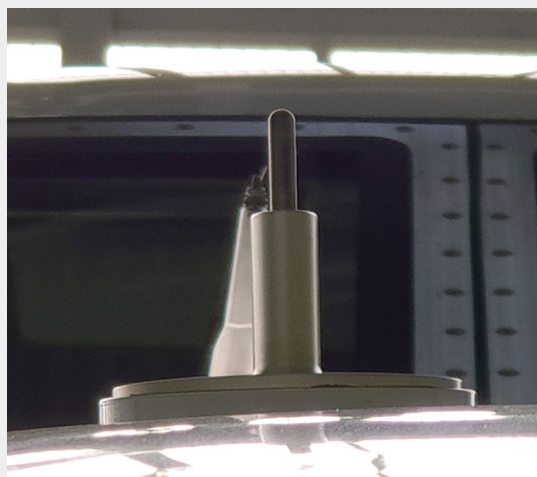
결빙탐지기(Icing detector)는 센서를 자연적인 진동수로 공명하게 하기 위해 자기 신축력을 이용한다. 센서 표면 또는 탐침(probe)에 얼음이 부착, 성장할 때 공명진동수가 변한다. 공명주파수가 세트포인트에 도달하면 제빙 기능을 작동시키는 아이스 시그널(ice signal)이 활성화된다. 기기에서 확실히 얼음을 제거하기 위해서 히터는 미리 설정된 시간만큼 계속 작동한다. 결빙률은 다양한 기상조건과 복잡한 열전달 평형에 의해 좌우되며, 결빙탐지기는 이 관계를 이용해 결빙률 등을 추정한다. 이 관계를 이해함으로써 결빙탐지장치는 빙결률, 액체수함량(LWC), 얼음 무게를 계산하고, 현재의 얼음양을 탐지할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 착빙 유무
- 측정범위: LWC $0.01\text{g}/\text{m}^3 \sim 3\text{g}/\text{m}^3$, 온도 $-40^\circ\text{C} \sim 5^\circ\text{C}$ 범위
- 분해능: LWC $\pm 0.01\text{g}/\text{m}^3$, 얼음 두께 0.1mm

✓ 활용 분야

항공기상, 풍력·도로 안전, 기상 연구



결빙탐지기

8.2.2 구름입자모양측정기(CPI: Cloud Particle Imager)

☑ 측정원리

구름입자모양측정기(CPI: Cloud Particle Imager)는 항공기에 탑재되어 구름 입자의 수농도, 크기, 모양을 관측하는 영상 기반 장비이다. 항공기 외부에 장착되는 센서 헤드와 기내에 설치되는 자료수집시스템, 그리고 전원부로 구성되며, 내부에는 전하결합소자(CCD: Charge-Coupled Device) 카메라, 레이저, 입자 검출 시스템 및 데이터 처리 전자장치가 포함되어 있다.

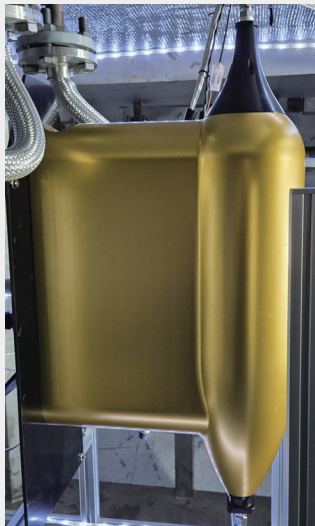
측정원리는 두 개의 교차하는 레이저 빔을 이용해 구름 입자가 통과할 때 산란광을 감지하고, 입자가 검출되면 고출력 펄스 레이저를 발광시켜 전하결합소자(CCD) 카메라가 순간적으로 영상을 획득하는 방식이다. 이때 배경 이미지를 미리 저장해두고, 입자 영상에서 이를 차감하여 입자의 윤곽과 형상을 선명하게 기록한다. 측정방법은 항공기 비행 중 대기 유입로(Sample tube)를 따라 입자가 통과할 때 자동으로 입자를 검출하고 이미지를 촬영·저장하며, 실험실 조건에서는 분무기를 이용해 물방울을 발생시켜 시스템을 교정하고 작동을 확인하는 절차를 따른다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 구름입자모양
- 측정범위: 수 μm ~ 2.5mm
- 분해능: 2.3 ~ 2.4 $\mu\text{m}/\text{pixel}$

☑ 활용 분야

구름미세물리, 항공기상관측, 기후변화연구, 구름입자형상분석, 강수형태연구



구름입자모양측정기(CPI)

8.2.3 구름입자측정기(CCP: Cloud Combination Probe)

☑ 측정원리

구름입자측정기(CCP: Cloud Combination Probe)는 LWC-100(Hot-wire Liquid Water Content sensor), 구름입자측정기(CDP: Cloud Droplet Probe), 구름입자영상측정기(CIP: Cloud Imaging Probe) 3개의 구름물리 관측장비를 통합하고, 항공관측에 적합하도록 각 관측장비에 필요한 설치 공간, 케이블 연결, 데이터 시스템을 최소화한 복합관측장비이다.

구름입자측정기(CDP)는 레이저를 입자에 비추어 전방산란시킨다. 감지된 산란광은 입자의 크기를 알아내는 데 사용된다. 산란된 빛의 세기는 입자의 크기, 구성 물질, 모양에 따라 달라진다. 정확한 크기 측정을 위해서는 레이저 빔의 세기가 일정한 범위를 지나는 입자를 측정하도록 해야 한다. 레이저의 이 부분을 유효초점 영역(DOF: Depth Of Field)라 부른다. 구름입자측정기(CDP)는 이 유효초점 영역(DOF)에 들어오는 입자만 크기를 측정한다.

구름입자영상측정기(CIP)는 64개 광다이오드 배열 위로 통과하는 입자의 그림자를 감지해 2D 이미지를 재구성한다. 구름입자영상측정기(CIP)는 그림자가 가리는 다이오드 수로 입자 크기를 산출하며, 해상도($25\mu\text{m}$ 또는 $15\mu\text{m}$)에 맞춘 슬라이스 저장으로 입자 영상을 시간순서대로 재구성한다. 구름입자영상측정기(CIP) 데이터 샘플링은 공기유속센서(PAS: Probe Air Speed) 기반 클럭 속도로 동기화되어 입자의 크기와 이미지를 정확히 기록한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 입자수농도, 입자크기
- 측정범위: $0 \sim 10,000\text{particles}/\text{cm}^3$, $7.5\mu\text{m} \sim 1,550\mu\text{m}$
- 분해능: 수 $\text{particles}/\text{cm}^3$, $0.1\mu\text{m}$

☑ 활용 분야

안개·구름 미세물리 연구, 항공기상 안전, 시정예보 개선, 기후·대기과학 연구



구름입자측정기(CCP)

8.2.4 구름입자계수기(CCNC: Cloud Condensation Nuclei Counter)

☑ 측정원리

구름입자계수기(CCNC: Cloud Condensation Nuclei Counter)는 두 개의 수직 컬럼과 광학입자계수기로 구성되어 있으며, 각 컬럼에는 습윤 벽과 열 구배가 설치되어 있다. 장비의 원리는 물 분자의 확산이 열 확산보다 빨라 발생하는 열역학적 불안정성을 이용하여 컬럼 내부 중심부에 과포화 수증기 환경을 만드는 것이다. 이 조건에서 에어로졸 입자는 응결핵으로 활성화되어 물방울로 성장한다. 시료 공기는 습윤된 시스 공기에 둘러싸인 채 컬럼을 통과하면서 컬럼 중심부의 과포화 환경에 노출된다. 이렇게 형성된 물방울은 레이저 산란 방식을 이용하는 광학입자계수기로 실시간 계수되고 크기가 분류된다.

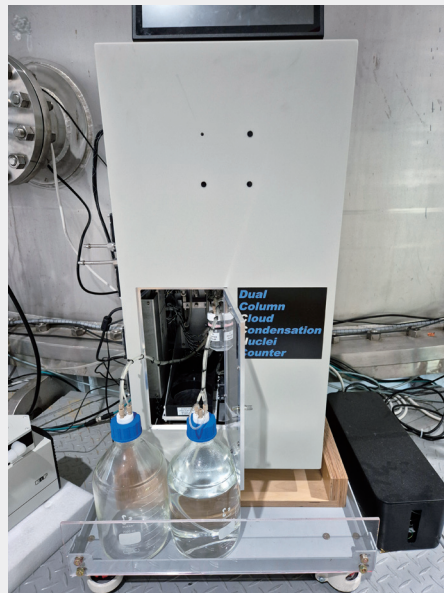
관측 시에는 시료와 시스 공기의 유량 비를 1:10으로 유지하며 시료를 주입한다. 소프트웨어를 통해 초포화도를 0.07~2.0% 범위에서 조절하며 각 조건에서 활성화된 물방울의 수농도와 크기 분포를 연속적으로 기록한다. 이를 통해 CCN의 수농도를 측정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 구름응결핵수농도
- 측정범위: 0 ~ 20,000particles/cm³
- 분해능: 1particle/cm³

☑ 활용 분야

기후변화 연구, 구름 형성과 에어로졸-구름 상호작용 평가, 항공 및 지상 관측



구름입자계수기(CCNC)

8.2.5 구름·에어로졸입자분석기(Cloud aerosol spectrometer depolarization option, CAS-DPOL)

☑ 측정원리

구름·에어로졸입자분석기(Cloud aerosol spectrometer depolarization option, CAS-DPOL)는 항공기 탑재용으로 설계된 광산란 분광계로, 입사광을 발생시키는 레이저, 산란광을 검출하는 포토다이오드 어레이, 편광 상태를 구분하는 검출기, 그리고 자료 처리 및 저장을 담당하는 전자 장치로 구성된다.

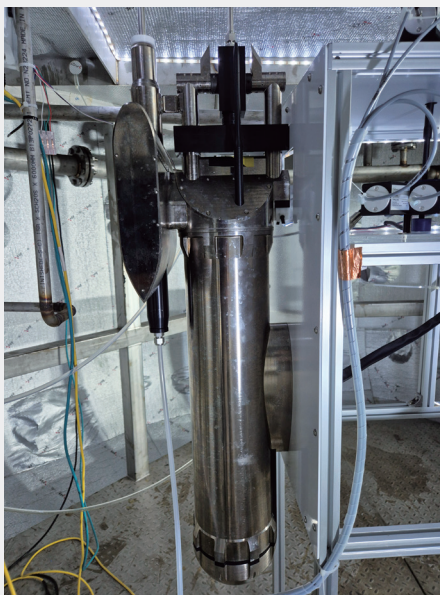
측정원리는 입자가 레이저 빔을 통과할 때 산란되는 전방 산란으로 입자 크기 분포를 측정하고, 편광된 후방 산란 신호로 입자의 모양과 상태(구형·비구형, 액체·고체)를 판별하는 방식이다. 측정방법은 항공기 외부에 장착된 샘플링 유입구를 통해 대기 중 구름 및 에어로졸 입자가 유입되면, 고속 전자회로가 입자를 개별적으로 검출하고 산란광 신호를 수집하여 실시간으로 데이터로 변환·저장하는 절차로 이루어진다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 입자크기, 입자수농도
- 측정범위: $0.5\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$, $0 \sim 3,000\text{particles}/\text{cm}^3$
- 분해능: $0.5\mu\text{m}$, $1\text{particle}/\text{cm}^3$

☑ 활용 분야

구름물리, 에어로졸연구, 대기화학, 기후변화, 오염물질분석, 시정·안개연구



구름·에어로졸입자분석기

8.2.6 나노입자계수기(SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer)

☑ 측정원리

나노입자계수기(SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer)는 에어로졸 중성화장치, 전기 이동도 분류기(DMA: Differential Mobility Analyzer), 응축입자계수기(CPC: Condensation Particle Counter)로 구성된다. 중성화 장치가 입자에 양, 음의 평형 전하분포를 형성하면 전기 이동도 분류기(DMA)가 전기 이동도에 따라 특정 크기의 입자를 선별하고, 응축입자계수기(CPC)가 이를 응축·계수해 농도를 측정한다.

측정원리는 전기 이동도 분류기(DMA) 전압을 조절해 크기별 입자를 분리하고, 응축입자계수기(CPC)가 광학적으로 계수하는 방식으로 전기 이동도와 입자 크기의 관계를 활용해 나노 입자 크기 내에서 다양한 입자 크기를 측정할 수 있다.

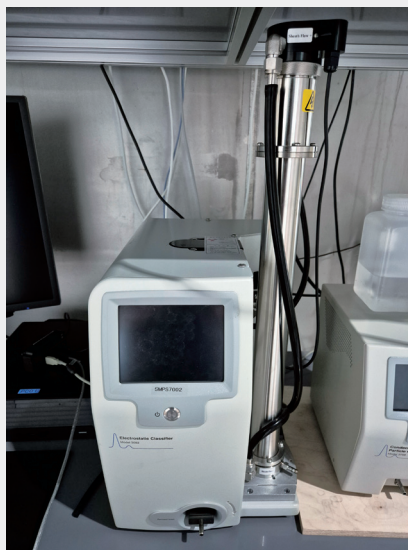
관측방법은 전기 이동도 분류기(DMA) 전압을 스캔하며 여러 크기의 입자를 순차적으로 측정하고, 응축입자계수기(CPC) 계수값을 바탕으로 입자 크기-수 농도 분포를 산출한다. 이 과정에서 다중 전하, 확산 손실, 유속 조건 등을 보정해 정확도를 높인다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 입자수농도
- 측정범위: 0particles/cm³ ~ 10⁷ particles/cm³
- 분 해 능: 1particle/cm³

☑ 활용 분야

대기 에어로졸 연구, 나노입자 형성과 성장 과정 분석, 실내외 공기질 평가



나노입자계수기

8.2.7 빙정핵계수기(PINE: Portable Ice Nucleation Experiment instrument)

✓ 측정원리

빙정핵계수기(PINE: Portable Ice Nucleation Experiment instrument)는 구름 챔버와 광학입자계수기(OPC), 온도·압력 제어장치로 이루어진 자동 빙정핵계수기다. 대기 입자를 챔버에 주입한 뒤 압력을 낮춰 과냉각 구름을 형성하고, 그중 얼음으로 전환된 입자를 광학입자계수기(OPC)로 검출한다.

관측은 입자 유입, 팽창, 압력 복원의 세 단계를 주기로 반복하며 자동화된 방식으로 수행된다. 이를 통해 빙정핵 입자의 수농도를 산출하고, 일정 온도 유지 측정이나 온도 스캔을 통해 시간 및 온도 의존성을 분석할 수 있다. 약 -10°C 에서 -65°C 범위의 다양한 조건에서 입자 특성을 관측할 수 있으며, 분해능은 온도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 와 입자 단일 검출 수준이다. 이러한 자료는 구름 미세물리 연구, 기후 변화 영향 평가, 대기과학 현장 관측에 활용된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 입자수농도
- 측정범위: 0.002입자/L ~ 1000입자/L
- 분 해 능: OPC 입자 계수 분해능 1개 입자 수준

✓ 활용 분야

대기 중 입자 특성 규명, 구름·빙정 미세물리 연구, 기후변화 및 복사 영향 연구



빙정핵계수기

8.3 강수입자

8.3.1 강수입자측정기(PIP: Precipitation Imaging Probe)

☑ 측정원리

강수입자측정기(PIP: Precipitation Imaging Probe)는 구름, 강수입자 또는 큰 빙정 입자의 2차원 이미지를 표출하는 광학 배열 관측 장비이다. 핵심 구성은 레이저 광원(50mW 타원형 빔)과 64개 포토다이오드 선형 배열이다.

운영 소프트웨어 PADS는 실시간 데이터 표출·설정 기능을 제공하며, RS-422 방식으로 최대 100m까지 전송이 가능하다. 레이저 빔이 다이오드 배열 위로 시준되면, 입자가 빔을 통과할 때 그림자가 형성된다. 각 다이오드의 조도 변화로 입자의 존재 여부가 감지된다. 조도가 일정 강도(예: 50%) 이하로 감소하면 해당 다이오드는 “ON”으로 기록된다. 감지된 신호는 입자의 탐침 속도 및 해상도에 맞춰 일정 간격으로 버퍼에 저장된다. 저장된 다이오드 배열의 순간 상태는 슬라이스로 정의되며, 연속된 슬라이스들이 모여 입자 이미지를 재구성한다. 이 원리를 통해 강수입자측정기(PIP)는 단일 배열 신호로부터 입자의 크기와 형태를 영상화한다. 다만, 강우 또는 얼음 입자가 충돌하며 발생하는 깨짐 현상은 작은 입자 수능도를 과대추정할 수 있으므로 해석에 주의가 필요하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수입자 크기, 낙하속도, 강우강도
- 측정범위: 0.2mm ~ 30mm, 0.1m/s ~ 10m/s, 0.01mm/h ~ 200mm/h
- 분 해 능: 0.01mm, 0.1m/s, 0.01mm/h

☑ 활용 분야

강수 미세물리학, 레이더 검증, 재해 기상, 기후 연구



강수입자측정기(PIP)

8.3.2 광학식강수입자계수기(Optical disdrometer)

☑ 측정원리

광학식강수입자계수기(Optical disdrometer)는 레이저 다이오드를 사용하여 송신부에서 수신부로 빔을 송·수신하여 강수 특성을 측정한다. 빔이 송·수신되고 있는 영역 내로 강수 입자가 떨어지면 수신광의 세기가 감소하는 현상이 발생한다. 이 전압의 크기를 이용하여 강수 입자의 크기를 결정하고 수신광 세기가 감소하는 시간의 정보를 이용하여 입자의 낙하 속도를 산출한다. 그리고 획득된 자료는 입자크기와 낙하 속도의 각 영역으로 분류되어 자료처리를 통하여 입자크기별 수농도를 결정한다. 자료 생성 주기는 최소 5초 이상이고, 일반적으로 60초 주기로 자료를 생성한다.

$$M_n = \int_0^{D_{\max}} N(D)D^n dD \quad R = a \int_0^{D_{\max}} V(D)N(D)D^3 dD$$

위 식을 이용하여 n=2일 때 시정과 연관되고, n=6일 때 레이더 반사도와 연관되며, n=3과 낙하 속도를 이용하여 강우강도(R)를 계산한다. 우박이나 눈의 경우 낙하속도의 추정에 불확실성이 있으므로, 강우강도 등의 해석에 주의해야한다. 현재의 날씨 상태를 눈/비/우박 등으로 분류하여 WMO 날씨 코드를 생성한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수입자 크기, 강우강도, 강수입자 낙하속도
- 측정범위: 0.25mm ~ 25mm, 0.1mm/h ~ 300mm/h, 0.1m/s ~ 20.0m/s
- 분해능: 0.125mm ~ 3mm, 0.1mm/h, 0.1m/s

☑ 활용 분야

강수 미세물리 연구, 레이더 보정, 기후변화 감시, 항공·수문·도로 기상, 연속성 검사



광학식강수입자계수기

8.3.3 레이더식강수입자계수기(Radar-type disdrometer)

☑ 측정원리

레이더식강수입자계수기(Radar-type disdrometer)는 자동관측소의 강수 발생, 유형 및 강도를 보고하도록 설계된 소형 도플러 레이더이다. 34개 직경 채널에 걸쳐 이원형 레이더(Bistatic), 연속파, X-밴드(10.525GHz) 도플러 레이더를 사용하여 직경 0.34mm~5.34mm 범위 내의 빗방울 입자크기분포를 측정한다. 도플러파워스펙트럼으로부터 빗방울 입자크기분포를 추정한다. 극도로 낮은 강수강도에 대하여 감도 민감성이 기존 강우량계보다 높아 상당한 이점을 보유하고 있다. 우적의 직경 분포 특성을 분석, 강수입자크기분포(Drop size distribution)의 실시간 추정에 사용한다. 액체상이 아닌 혼합상, 고체상 강수의 경우 입자크기분포의 추정이 어려우며, 도플러파워스펙트럼을 통한 입자속도에 따른 강도 분석이 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수 유무, 강수 형태, 강우강도
- 측정범위: 0.0 mm/h ~, 비·눈·우박, 0.01 mm/h ~ 250 mm/h
- 분 해 능: 강수 유무 판별, 강수 형태, 0.01 mm/h

☑ 활용 분야

기상관측, 해양·항공 기상, 기후 연구, 산업 응용, 재난·방재, 교육 및 연구



레이더식강수입자계수기

8.3.4 영상식강수입자계수기(Two-dimensional video disdrometer)

☑ 측정원리

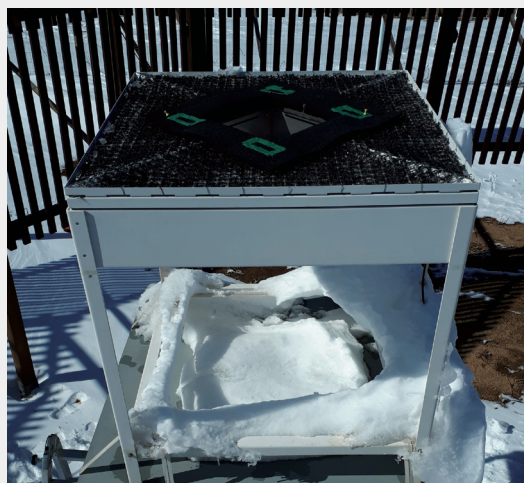
영상식강수입자계수기(Two-dimensional video disdrometer)는 광학우적계라고도 하며, 우적 크기분포, 모양, 방향 및 낙하 속도에 대한 자세한 정보를 제공한다. 서로 직교하는 두 방향에서 두 카메라가 얇은 선형 광막(line scan)을 통과하는 빛을 각각 감지하고, 강수입자가 광막을 통과할 때의 그림자를 이용해 입자 모양과 개수를 관측한다. 두 카메라간 높이차를 두고 동일한 입자를 관측해 해당 입자의 낙하속도를 추정한다. 강수량 추정 및 대기수상체의 미세물리 정보 추정에 매우 유용하다. 낙하 속도를 기반으로 한 품질 관리, 입자크기분포의 연속성 검사, 채널 수 검사를 적용하여 자료의 품질 관리를 수행한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 강수입자 크기, 낙하 속도
- 측정범위: 0.1mm ~ 8.1mm, 0.1m/s ~ 20m/s
- 분해능: 0.1mm, 0.1m/s

☑ 활용 분야

대기과학 연구, 강수 미세물리 분석, 레이더 보정 연구, 기상기후 연구, 수문학 응용



영상식강수입자계수기

8.3.5 눈결정이미지측정기(Snow crystal image probe)

✓ 측정원리

눈결정이미지측정기(Snow crystal image probe)는 낙하하는 눈 입자가 장비 내부의 광원(LED 백라이트)과 고속 카메라 시야를 통과할 때 발생하는 투영 실루엣 이미지를 포착하여 관측한다.

눈 결정이 광원 앞을 지나면서 형성되는 그림자는 카메라 센서에 기록되며, 이로부터 눈 결정의 모양, 크기, 면적, 그리고 낙하 속도를 계산할 수 있다.

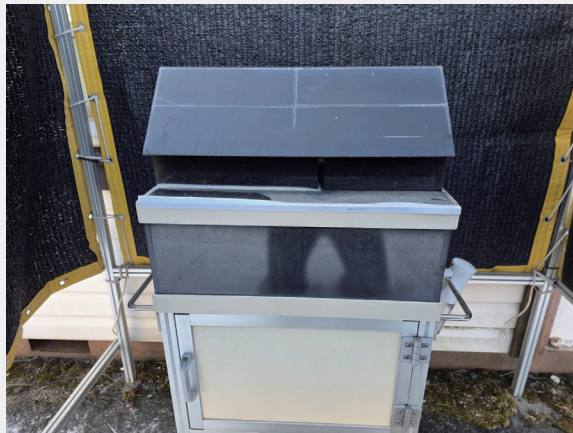
촬영된 연속 이미지는 영상처리 기법을 통해 개별 눈 결정의 형태 분류(판상, 수지상, 기둥형, 싹락눈 등)와 분포 특성을 산출하며, 필요시 다중 카메라 배열을 사용하여 보다 정밀한 3차원 구조 특성을 추정할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 눈결정 형태, 크기
- 측정범위: 0.1mm ~ 수 cm
- 분해능: 30 μ m 이하

✓ 활용 분야

눈 미세물리 연구, 레이더/위성 보정 연구, 기후 및 수문학, 공항 및 도로 안전 관리



눈결정이미지측정기

8.4 안개입자

8.4.1 안개입자측정기(Fog monitor)

✓ 측정원리

안개입자측정기(Fog monitor)는 안개·구름 속 물방울을 실시간으로 분석하는 레이저 산란 기반 입자 분광기로, 레이저 다이오드, 포토디텍터(Sizer-qualifier), 샘플 유입부와 펌프, 피토 튜브, 광학 마스크, 제어 소프트웨어로 구성된다.

입자가 레이저 빔을 통과하면 특정 전방 산란각(약 $3.5^{\circ} \sim 12^{\circ}$)에서 빛을 수집해 크기와 농도를 판정하며, 심도 판별 채널(Qualifier)을 통해 깊이(DOF) 내 입자만 선별한다. 샘플 공기의 유속은 피토 튜브를 이용해 정압·동압으로 계산하여 농도 산출에 반영된다. 관측은 호른을 통해 대기 샘플을 흡입하고 소프트웨어로 농도, 직경 분포, 중간부피직경, 액체수함량(LWC) 등을 실시간 산출하는 방식으로 수행된다. 장비는 $2 \sim 50\mu\text{m}$ 크기 범위의 입자 분포를 제공하며, 안개·박무 조건의 미세 물리 연구에 적합하다. 정확도를 위해 표준 유리구슬로 주기적 교정을 실시하고, 창과 피토 튜브 등 주요 부품을 청결히 유지해야 한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 수농도
- 측정범위: $0\text{particles}/\text{cm}^3 \sim 2,000\text{particles}/\text{cm}^3$
- 분해능: $1\text{particle}/\text{cm}^3$

✓ 활용 분야

안개·구름 미세물리 연구, 항공기상 안전, 시정예보 개선, 기후·대기과학 연구



안개입자측정기

8.4.2 기상입자분광기(MPS: Meteorological Particle Spectrometer)

✓ 측정원리

기상입자분광기(MPS: Meteorological Particle Spectrometer)는 대기 중 강수입자가 장비 내부의 광학 센서 영역을 통과할 때 형성되는 신호를 이용하여 입자의 크기, 모양 및 낙하속도를 측정하는 장비이다.

측정된 개별 입자 정보로부터 수농도와 크기분포를 산출하며, 특정 시간 구간 동안의 통과 이벤트를 집계하여 입자 스펙트럼(크기 분포)을 생성한다. 강수입자(precipitation particles) 관측에 유리한 광학식, 레이더식, 영상식강수입자계수기와 달리 이슬비 입자(drizzle particles)에 대한 입자크기분포 산출에 유리하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 강수입자 크기, 입자수농도
- 측정범위: $0.3\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$, 수 particles/cm² ~ 수만 particles/cm²
- 분해능: 0.1v, 수 particles/cm²

✓ 활용 분야

기상관측, 강수 미세물리 연구, 수문학적 분석, 레이더/위성 강수 산출 보정



기상입자분광기(MPS)

IX



대기복사관측

136

139

143

147

149

9.1 전천일사

9.2 직달일사

9.3 일조

9.4 복사

9.5 자외선

9.1 전천일사

9.1.1 로빗치전천일사계(Robitzsch pyranometer)

✓ 측정원리

로빗치전천일사계(Robitzsch pyranometer)는 1915년 로빗치(Max Robitzsch)가 서로 다른 두 금속판을 이용하여 만든 일종의 수평면일사계이다.

수감부는 4장의 얇은 직사각형 쌍금속판을 수평하게 놓은 것으로 양쪽 가장자리의 2장은 일사를 반사하도록 흰색이고, 안쪽의 2장은 일사를 흡수하기 위해 검은색이다. 흰색의 쌍금속판은 양쪽 끝이 고정되어 있으며, 검은색의 쌍금속판은 한쪽(북쪽)이 고정되어 있으나 반대쪽(남쪽)은 전달 축에 연결되어 있다.

일사가 감지되면 흑백의 쌍금속판이 온도차에 비례하여 움직이고, 수직 전달 축을 통해 기록펜이 상하로 움직이며 일사기록지에 그래프를 그린다. 수감부는 바람에 의한 온도 변화를 방지하기 위해 반구형 유리로 덮여 있고, 측기 내부에는 건조제가 들어있다.

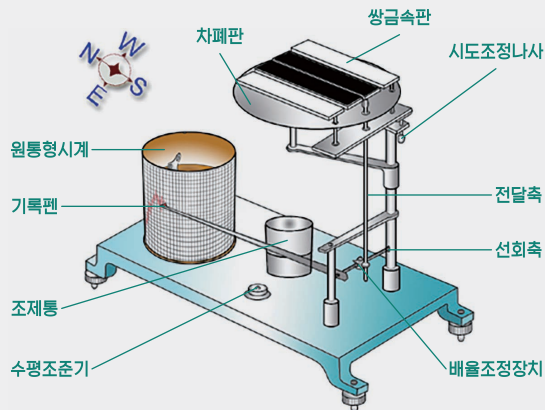
사계절 동안 태양광을 차단하는 장애물이 주변에 없어야 하며, 긴 쌍금속판의 양쪽 끝부분이 진남북을 향하게 하고 기록계를 볼 수 있게 된 뚜껑 옆면의 유리창이 동쪽으로 향하도록 설치한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 전천일사
- 측정범위: $0\text{W}/\text{m}^2 \sim 2000\text{W}/\text{m}^2$
- 분해능: $1\text{W}/\text{m}^2$

✓ 활용 분야

과거 기상청 표준 일사계, 기후 연구, 교육용



로빗치전천일사계

9.1.2 수평면전천일사계(Global solar radiation pyranometer)

☑ 측정원리

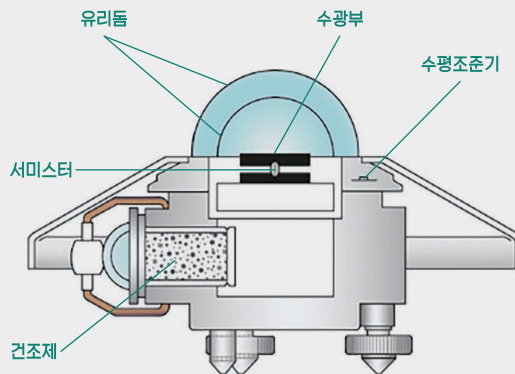
수평면전천일사계(Global solar radiation pyranometer)는 태양에서 오는 직사광과 하늘 전체의 산란광 모두를 측정하는 일사계로, 미국 김볼(Kimball)들이 고안한 것을 미국 Eppley사가 제품화한 것으로 에플리전천일사계라고도 한다. 이 일사계는 열전대(Thermopile)를 이용한 복사 관측의 원리를 이용한 것이다. 수평면전천일사계의 수광부는 반구 모양의 유리용기 속에 흰색(황산바륨)과 검은색의 2개로 된 동심원의 은환(銀環)이 수평으로 되어있고, 뒷면에는 금(60%)-팔라듐(40%), 백금(90%)-로듐(10%) 합금의 열전대가 붙어 있어 일사를 받을 때, 그 양에 따라 흑백의 온도차에 의한 기전력이 발생하며 이를 이용하여 일사량을 측정한다. 아래 그림의 수평면전천일사계는 주로 자동화된 기상관측시스템에 사용되는 것으로 감지기는 태양광선의 직달일사와 대기의 산란일사의 합인 전천일사량을 측정한다. 유리 돔은 두 겹으로 되어 있으며 탄소로 검게 코팅된 원반은 복사에너지를 흡수하고 열 흡수장치(Pyranometer)의 온도 저항체를 통하면서 열로 변환되는 반면, 전혀 코팅되어 있지 않은 원반(일사가 반사되는 영역)은 복사에너지에 의한 열이 거의 발생하지 않아 두 원반 사이에서 온도차가 발생한다. 온도차로 인해 일사량 감지기는 전천일사량에 상응하는 전기신호를 출력하고 출력된 전기신호는 감지기의 고유 감도 정수를 적용하여 일사량이 W/m^2 단위로 산출된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 전천일사
- 측정범위: $0W/m^2 \sim 1500W/m^2$
- 분해능: $1W/m^2$

☑ 활용 분야

기상관측, 기후 연구, 태양광 발전, 농업 기상, 복사 모형 검증



수평면전천일사계

9.1.3 차온식전천일사계(Thermopile-type pyranometer)

☑ 측정원리

차온식전천일사계(Thermopile-type pyranometer)는 검출부의 흑색면과 기준면 사이에 발생하는 온도차를 열전소자(Thermopile)를 이용해 전기신호로 변환하여 전천일사량을 측정한다. 이 일사계는 열 감지 형태의 일사-일조계로, 바람에 의한 냉각으로 관측 자료의 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있기 때문에 유리관으로 둘러싸게 되는데 유리관 안은 항상 건조하게 유지해야 한다. 차온식전천일사계의 경우 바람의 영향을 막기 위해 전구 모양의 둥근 투명유리로 수감부가 덮여 있다. 유리구 안은 흰색과 검은색을 칠한 둥근 띠 모양의 수감부가 수평으로 되어있어 수광면으로부터 전달된 열이 흑백 도체 내 두 점 사이의 전기적 위치에너지인 전위차를 발생시킨다. 이렇게 발생한 기전력은 두 개의 도선을 통해 연결된 전위차계에 나타나고 이를 이용하여 일사량을 측정한다.

차온식전천일사계는 일종의 수평면일사계로 소형과 대형의 두 종류가 있는데, 소형은 유리관의 가로지름이 80 mm, 대형은 112mm이다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 전천일사
- 측정범위: $0W/m^2 \sim 2000W/m^2$
- 분해능: $1W/m^2$

☑ 활용 분야

기상청 관측, 기후 연구, 에너지 수지, 농업·재생에너지 기상



차온식전천일사계

9.2 직달일사

9.2.1 열전퇴직달일사계(Thermopile pyr heliometer)

☑ 측정원리

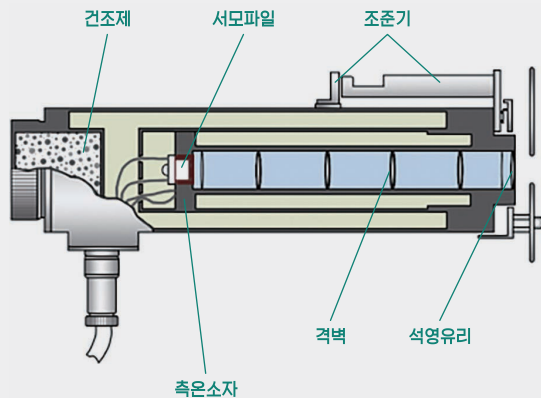
열전퇴직달일사계(Thermopile pyr heliometer)는 수감부, 태양추적장치, 변환기와 기록계로 구성되어 있으며, 미국 Eppley사에서 제작한 일사계이기에 에플리직달일사계라고도 한다. 그리고 이 측기는 열전소자(Thermopile)형 직달일사계로 열전대를 사용하여 직달일사량의 순간 값에 비례하는 기전력을 연속해서 출력하는 일사량 측기이다. 열전퇴직달일사계는 원통으로 입사된 직달일사가 수광면에 흡수되어 온도를 상승시키는데 온(溫)점점과 냉(冷)점점 사이에 온도차가 일어나고 일사량에 비례하는 기전력이 발생한다. 직달일사계의 수감부는 감도정수라고 하는 기전력 상수가 표시되어 있는데, 예를 들어 측기의 감도정수가 $8.49 \times 10^{-6} \text{V/Wm}^{-2}$ 이면, 이는 1m^2 면적에 입사되는 일사량이 1W 가 $8.49 \times 10^{-6} \text{V}$ 의 기전력을 발생시킨다는 것을 의미한다. 수감부는 T형 열전대(구리-콘스탄탄)가 수광면이고 표면에는 열 흡수율이 높은 흑색 칠감이 칠해져 있다. 열전대의 온접점은 표면 중심선에 있고 냉접점은 표면 가장자리에 있으며, 서로 전기적으로 절연된 상태이다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 직달일사
- 측정범위: $0 \text{ W/m}^2 \sim 1400 \text{ W/m}^2$
- 분해능: 0.1 W/m^2

☑ 활용 분야

국제 표준 복사 관측, 기상청 관측망, 기후변화 연구, 태양에너지



열전퇴직달일사계

9.2.2 옹스트롬직달일사계(Ångstrom pyrheliometer)

✓ 측정원리

옹스트롬직달일사계(Ångstrom pyrheliometer)는 스웨덴 Knut Ångström이 1893년 고안한 일사계로 수감부와 보상전류제어장치로 구성되어 있으며, 태양에서 입사하는 직달복사를 두 개의 흑·백 감열면에 교대로 노출시켜 생기는 온도차를 전기신호로 변환하여 직달 일사량을 측정한다. 스테인리스 원통 안에는 2장의 검정 망가닌판이 나무로 된 원형 틀에 부착되어 있다. 망가닌판 1장은 입사된 직달일사를 받고, 나머지 1장은 셔터 조절기를 이용하여 일사량을 조정할 수 있다.

원통 입구 좌우의 하나씩 있는 구멍과 상단의 셔터 조절기를 이용하여 한쪽 구멍을 가릴 수 있다. 이 일사계의 원통 전면에는 2개의 색유리 필터가 있어 파장을 차단하여 광대역 일사 측정이 가능하다.

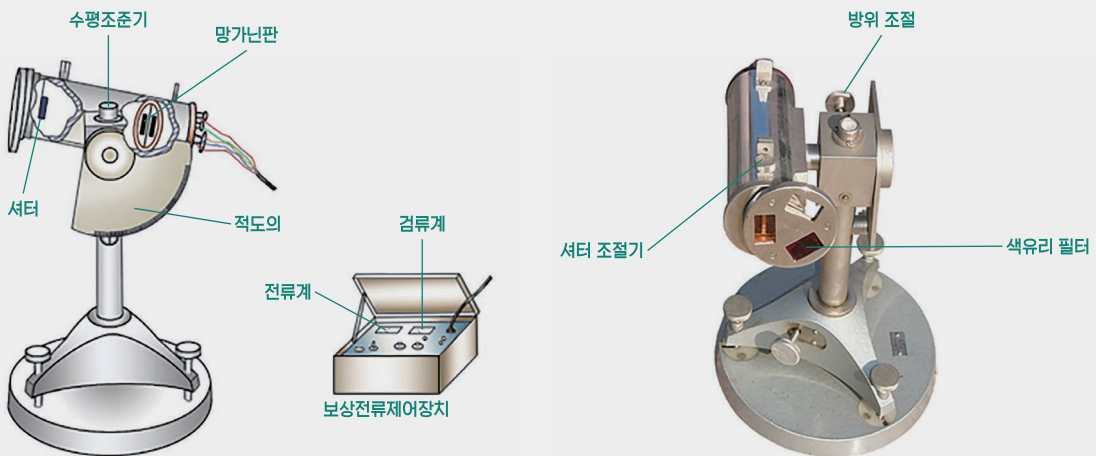
셔터 조절기를 반시계 방향으로 돌려 우측에 셔터가 위치하게 되면 햇빛이 차단된 우측 망가닌 판은 셔터와 연동하는 전환 스위치에 의해 전류가 흐르고 동시에 좌측 망가닌 판은 일사를 받는다. 좌측 망가닌 판은 일사 흡수로 인해 온도가 상승하고 우측의 망가닌 판은 전류에 의한 열로 온도가 상승하게 되는데, 보상 전류 제어장치를 이용하여 두 망가닌 판의 온도차가 없어지도록 보상전류를 가변저항기로 조정하면 망가닌 판의 기계 상수와 보상전류로부터 일사량을 구할 수 있는 전기 보상방식의 측기이다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 직달일사, 태양 상수
- 측정범위: $0\text{W}/\text{m}^2 \sim 1400\text{W}/\text{m}^2$
- 분해능: $1\text{W}/\text{m}^2$

✓ 활용 분야

태양복사 관측, 기후 연구



옹스트롬직달일사계

9.2.3 은반직달일사계(Silver-disk pyrheliometer)

☑ 측정원리

은반직달일사계(Silver-disk pyrheliometer)는 Charles Greeley Abbott가 1913년에 고안한 것으로 원통 용기 안의 중앙에 까맣게 칠한 은반(銀盤)이 있고 원통 용기에는 적도익이 부착되어 있어 수동으로 태양을 추적하여 직달일사를 측정한다.

수감부는 원통 용기 중앙에 설치된 은반이며, 빛을 받는 표면에 흡수율이 뛰어난 흑색 칠감이 칠해져 있다. 은반 옆에는 원통 용기 밖에서부터 안으로 구멍이 뚫어져 있어 이곳을 통해 정밀도가 높은 수은곡관유리제온도계의 수감부가 직각으로 삽입되어 있다. 은반 하단에는 은반과 온도계 수감부의 열전도율을 높이기 위해 소량의 수은이 들어있다. 은반은 열용량이 큰 동(銅)으로 된 원통 용기에 들어가 있고, 이 원통 용기는 단열성이 뛰어난 앵두나무 목재 용기에 싸여 있어 외부의 열을 차단하는 역할을 하고 있다.

은반직달일사계는 방위 조정 나사를 이용하여 원통 끝이 태양 쪽을 향하도록 하고 원통 끝부분의 셔터를 측정방법에 따라 개폐하여 10분간 10회 온도를 측정한다. 셔터가 열리면 그 사이에 원통으로 입사한 직사광선이 검은색으로 도장된 은반의 온도를 변화시켜 온도가 상승하고, 셔터를 닫으면 온도가 하강하게 된다. 이렇게 셔터 개폐에 따른 온도 변화를 은반 위에 놓인 정밀 유리제온도계를 이용하여 온도의 상승·하강 값을 측정하며, 이때 온도는 0.01℃ 단위까지 읽고 일사량은 $\text{calcm}^{-2}\text{min}^{-4}$ 단위로 측정하는 열량계 방식의 측기이다.

☑ 주요 성능

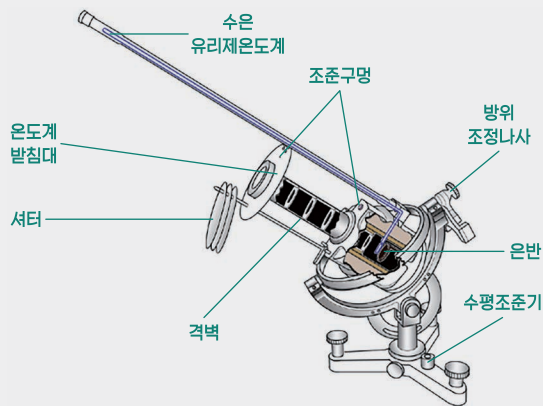
- 관측요소: 직달일사, 태양 상수
- 측정범위: $0\text{W/m}^2 \sim 1400\text{W/m}^2$
- 분해능: 1W/m^2

☑ 활용 분야

복사 연구, 기후 자료 축적



은반직달일사계



9.2.4 절대직달일사계(Absolute pyrhelimeter)

✓ 측정원리

절대직달일사계(Absolute pyrhelimeter)는 능동형 전기보상방식 일사계로, 수광공동·보상공동·히트싱크·저항 온도계·필름 히터·셔터로 구성된다. 수광부는 원뿔형 공동 흑체 구조로 되어 있어 일사 흡수율을 극대화한다. 원통 입구(지름 8.2mm)로 들어온 직달일사는 내부 격벽을 지나 수광공동에 도달하며, 여기서 흡수된 에너지가 온도 상승을 유발한다.

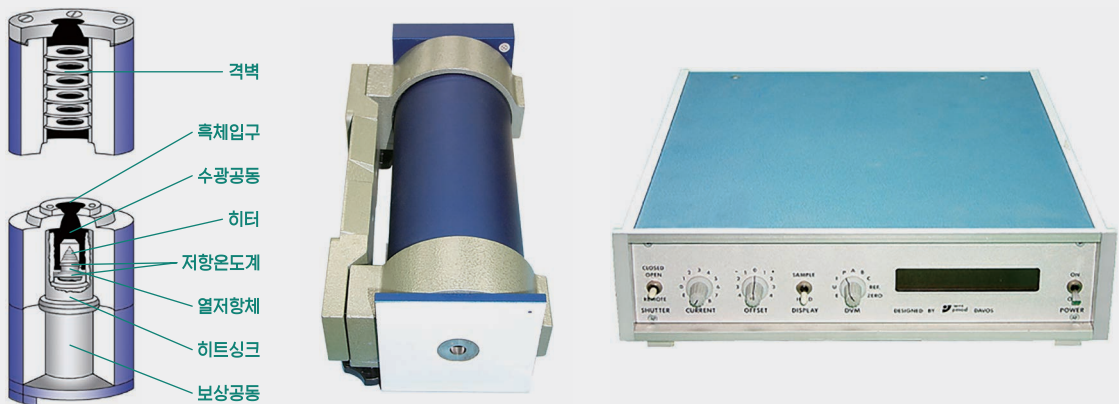
측정원리는 셔터가 닫힐 때와 열릴 때 모두 히터에 기준 가열 전력을 공급하고, 셔터가 열린 경우에는 직달일사가 더해지므로 그만큼 히터 전력을 줄여 기준 전력에 맞추는 방식이다. 이때 셔터 개폐 시 가열 전력의 차이를 측정해 순간 직달일사량을 계산한다. 능동형(PMO-6)과 수동형(HF)의 차이는 셔터가 열렸을 때 보상공동 가열 여부이며, 이 방식은 별도 기준기 교정 없이 절댓값 측정이 가능하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 직달일사, 태양 상수
- 측정범위: $0\text{W}/\text{m}^2 \sim 1400\text{W}/\text{m}^2$
- 분해능: $0.1\text{W}/\text{m}^2$

✓ 활용 분야

국제 표준 복사 기준(WRR), 기후변화 연구, 태양에너지



절대직달일사계

9.3 일조

9.3.1 줄단일조계(Jordan sunshine recorder)

☑ 측정원리

줄단일조계(Jordan sunshine recorder)는 영국의 Thomas Brown Jordan이 1855년에 고안한 일조계이다. 안지름 64mm, 깊이 140mm의 원통 본체가 위도 눈금이 부착된 설치대 위에 장치된 측기로 원통 면 윗부분에는 태양광선이 남중시각을 기준으로 동쪽과 서쪽으로 분리되도록 차광판이 원통과 평행하게 붙어 있다.

황동으로 된 원통의 좌우에 작은 구멍이 하나씩 뚫려 있어 이곳으로 오전에는 동쪽, 오후에는 서쪽으로부터 태양광선이 내부로 들어간다. 원통 내부에는 감광액을 칠한 감광기록지가 있어 감광 흔적이 청색 선으로 나타나며, 기록지에는 진태양시에 의한 시각이 인쇄되어 있어 이 길이를 측정하여 하루 동안의 일조시간을 구한다.

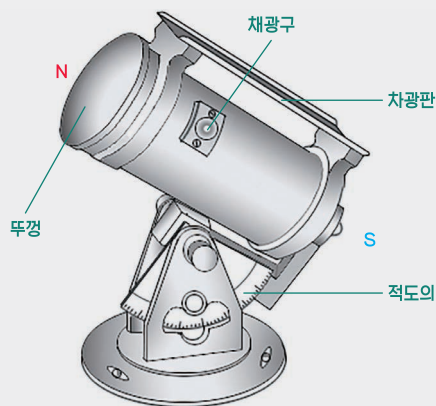
감광액은 적혈염과 구연산철암모늄 용액을 어두운 곳에서 혼합해 제조하며, 빛에 민감해 취급에 주의가 필요하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 일조시간
- 측정범위: 0hr ~ 24hr
- 분해능: 약 0.1hr ~ 0.2hr

☑ 활용 분야

기상청 표준 장비(역사), 기후 연구, 농업 기상, 보존·전시



줄단일조계

9.3.2 캠펬일조계(Campbell-Stokes' sunshine recorder)

☑ 측정원리

캠펬일조계(Campbell-Stokes' sunshine recorder)는 유리구를 통과하는 빛의 광학적 특성을 이용하여 일조시간을 구하는 측기로써 장기적인 관측 자료의 안정성 및 측기의 견고성, 관측의 용이성 등으로 1962년 WMO 측기 및 관측법 전문위원회(CIMO: Commission for Instruments and Method of Observation)로부터 국제적인 표준 일조계로 권고받은 측기이다.

지름이 약 100mm인 렌즈 역할을 하는 유리구를 통과하는 태양광선이 한곳으로 모여 지름 약 140mm의 반원형 홈에 끼워져 있는 기록지 표면을 태우게 되며, 이 불탄 흔적의 길이로부터 일조시간을 구한다. 따라서 유리구에 먼지, 이슬, 성에 등이 묻지 않도록 항상 깨끗한 상태를 유지해야 하며 유리구에 흠집이 가지 않도록 주의해야 한다.

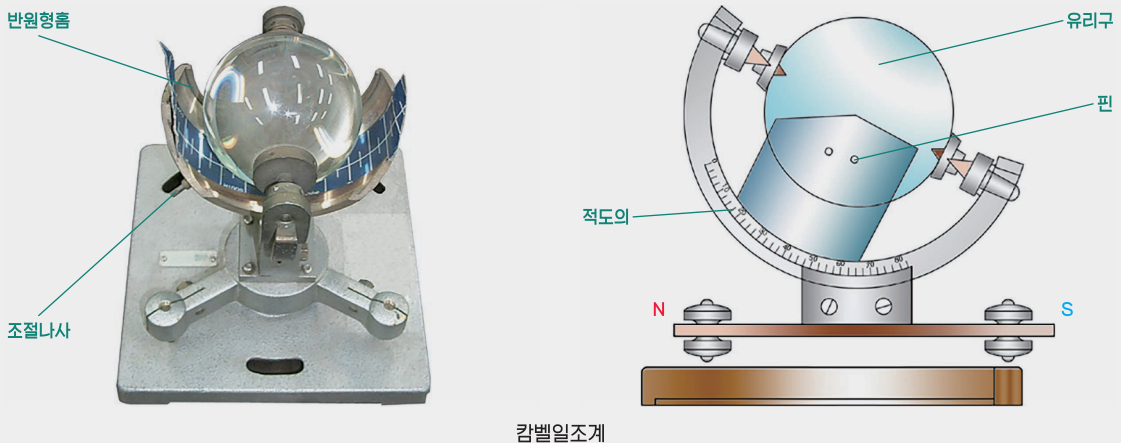
기록지를 교체할 때는 햇빛의 영향이 없는 일몰 후에 하고 오전 시각이 인쇄된 곳이 서쪽으로 가도록 하며, 진태양시 12시 부분이 홈에 새겨진 기준점(|)과 정확히 일치하도록 반원형 홈에 끼워야 한다. 또한, 기록지 양 끝단을 밖으로 접어 일출과 일몰 때에 햇빛을 가리지 않도록 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 일조시간
- 측정범위: 0hr ~ 24hr
- 분해능: 약 0.1hr

☑ 활용 분야

기상청 표준 장비(역사), 기후 연구, 농업 기상, 보존·전시



캠펬일조계

9.3.3 바이메탈일조계(Bimetal sunshine recorder)

☑ 측정원리

바이메탈일조계(Bimetal sunshine recorder)는 바이메탈의 특성을 이용한 일조 측정 기기로 흰색은 π 모양이며, 검은색은 바이메탈이 한쪽이 막힌 원통형 유리 용기에 덮여 있다. 유리 용기는 투명 유리관으로 바이메탈을 외부 오염의 영향으로부터 보호하기 위한 것이다. 바이메탈일조계 하단에 원통은 유리용기 내의 환경을 건조한 상태로 유지하여 바이메탈 성능을 최적화시키기 위해 건조제가 들어있다.

바이메탈일조계는 계절에 따라 변하는 태양 고도를 고려하여 동·서·남쪽으로 각각 바이메탈 면이 향하도록 설치하는데, 그림과 같이 남쪽을 기준으로 바이메탈일조계 바닥 면이 수평과 이루는 각도는 관측지점의 위도에 맞춰 설치한다.

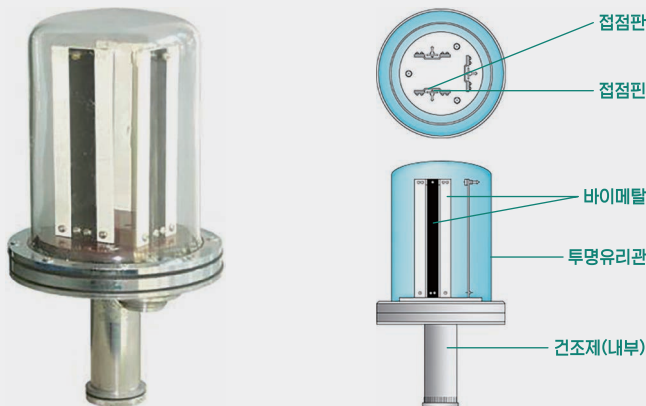
매분 $0.4\text{cal}/\text{cm}^2$ 이상의 일사량이 입사되면 검은색의 금속판이 열을 흡수해 팽창하면서 흰색의 금속판에 붙어 있는 작은 접점 판에 접점 핀이 접촉하게 되면 전기접점이 닫히게 된다. 이때 전기접점은 6분간 1회의 비율로 기록회로의 스위치를 닫아 일조시간을 측정한다. 바이메탈일조계가 아날로그 일조기록계에 연결되어 기록된 짧은 선의 개수를 세어 일조시간을 구한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 일조시간
- 측정범위: 0hr ~ 24hr
- 분해능: 1min

☑ 활용 분야

기상관측, 자동 일조 기록, 농업 기상, 기후 연구, 교육 및 연구, 보존·전시



바이메탈일조계

9.3.4 회전식일조계(Rotating mirror sunshine recorder)

☑ 측정원리

회전식일조계(Rotating mirror sunshine recorder)는 회전반사경과 빛을 받는 수광부, 신호변환부로 구성되어 있다. 원통 모양의 밀폐된 유리관 속에는 회전하는 원통형 봉 끝부분에 사선의 회전반사경 면으로 햇빛이 반사되면서 그 빛이 은색으로 가려진 유리관 내의 윗부분에 있는 수광부의 초전성(Pyroelectric)감지기에 전달된다. 이 감지기는 직달일사량이 120W/m² 경계값 이상이 되는 경우에 전기적 신호를 자료수집처리기에 보내 일조시간을 계산한다. 회전반사경은 계절에 따른 태양 고도 변화를 고려하여 반사경 면이 한번 꺾여 있는데, 이는 입사각 -23.5° ~ 23.5° 범위까지 햇살을 반사하여 수광부 감지기 중심에 빛을 유도할 수 있도록 한 것이다. 회전식일조계는 산란된 일사에 영향받지 않고 단지 직달일사에 의한 일사 값으로 측정하며, 회전반사경은 1시간에 100회를 회전 (36초/1회전)하면서 일조시간을 관측한다.

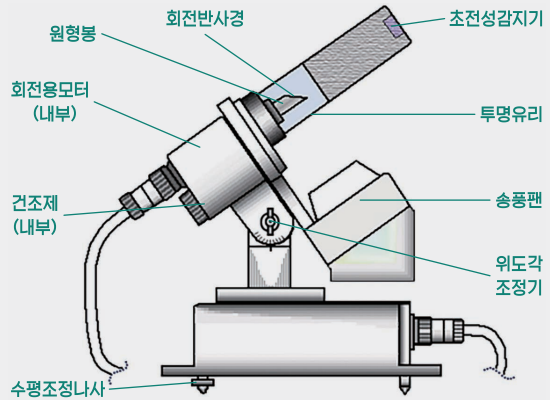
회전식일조계는 그동안 수동으로 일조 관측을 하던 것을 완전한 원격자동으로 전환한 측기이며, 바이메탈일조계에 비해 다소 가격이 비싸지만 오차는 1일 10분 이내로 정밀하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 일조시간
- 측정범위: 0hr ~ 24hr
- 분 해 능: 1min

☑ 활용 분야

에너지수지, 기후변화연구, 지표복사, 농업기상, 태양에너지, 수문학, 대기복사



회전식일조계

9.4 복사

9.4.1 순복사계(Net radiometer)

☑ 측정원리

순복사계(Net radiometer)는 상·하향을 향한 전천일사계(Pyranometer) 두 개와 지구복사계(Pyrgometer) 두 개로 구성된 4성분 복사계로, 단파 복사와 장파 복사를 동시에 측정하여 지표 복사수지를 구하는 장비이다. 측정원리는 상향 센서가 대기에서 내려오는 단파와 장파를, 하향 센서가 지표에서 반사·방출되는 단파와 장파를 각각 측정하고, 이 네 값의 차이를 통해 순복사를 산출하는 방식이다. 각 센서는 개별적으로 교정되며, 백금저항온도계(Pt-100)와 서미스터 온도센서를 내장해 기기 겉면 온도를 보정하여 장파 측정의 정확성을 높인다. 관측방법은 개방된 야외에 설치해 직사광선, 반사광, 복사열의 영향을 최소화하며, 기포 수준계로 수평을 맞춘 뒤 지지대에 1.5m 이상 높이로 고정해 운용한다. 정기적으로 센서 돔을 청소하고, 건조 카트리지와 필터를 교체하여 장기간 안정적인 복사 관측을 수행한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 순복사량
- 측정범위: $\pm 2,000\text{W/m}^2$ (파장 영역: 단파 $0.3\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$, 장파 $4.5 \sim 42\mu\text{m}$)
- 분해능: $0.1\text{W/m}^2 \sim 1\text{W/m}^2$

☑ 활용 분야

에너지수지, 기후변화연구, 지표복사, 농업기상, 태양에너지, 수문학, 대기복사



순복사계

9.4.2 지구복사계(Pyrgometer)

☑ 측정원리

지구복사계(Pyrgometer)는 대기와 지표에서 방출되는 장파복사를 측정하기 위해 특수 코팅된 실리콘 창, 열전쌍 센서부, 온도 센서(Pt100 또는 서미스터), 수평기와 조정 나사, 차양, 건조제, 출력 케이블과 커넥터 등이 있으며, 외부 환경에 강한 방수·방진 구조를 갖추었다.

측정원리는 센서가 대상(하늘·지표)으로부터 복사를 흡수하는 동시에 센서 자체 온도에 따라 σT^4 (σ : 슈테판-볼츠만 상수, T: 온도) 형태의 복사를 방출하는 복사 평형에 기초하며, 이 차이를 전압으로 출력하여 보정식을 통해 실제 복사량을 산출한다. 관측방법은 수평기를 맞추고, 출력 전압을 데이터 로거에 연결해 감도 계수($\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$)로 나누어 순복사량(W/m^2)을 구한 뒤, 보정된 센서 온도를 반영해 최종 장파복사량을 계산한다. 설치 시 신호 케이블은 전자파 간섭과 기계적 진동을 최소화해야 하며, 커넥터 방향은 북반구에서는 북쪽으로 두어 열영향을 줄인다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 지구상향복사, 지구하향복사
- 측정범위: $\pm 2,000\text{W}/\text{m}^2$ (파장 영역: 단파 $0.3\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$, 장파 $4 \sim 100\mu\text{m}$)
- 분해능: $0.1\text{W}/\text{m}^2 \sim 1\text{W}/\text{m}^2$

☑ 활용 분야

지상복사 관측, 에너지수지 연구, 기후변화 감시, 대기복사 전달 모델 검증



지구복사계

9.5 자외선

9.5.1 자외선측정기(UV-A)(UV-A radiometer)

☑ 측정원리

자외선측정기(UV-A radiometer)는 UV(Ultra Violet)-A 파장대(320 ~ 400 nm)의 자외선을 선택적으로 투과시키는 필터와 검출소자를 이용하여 자외선 복사강도를 전기신호로 변환하여 측정한다.

장비는 자외선 수감부(UV-A, UV-B 관측기기)와 자료 기록을 위한 데이터로거로 구성된다. 관측자료는 IDL (Internet Data Link) 기반 프로그램으로 저장·전송되며, 비휘발성 메모리와 파워 백업, 자동 온도 조절 기능으로 안전하게 보관된다. 수감부는 외부에, 기록 장치는 실내에 설치하며, 시야를 가리는 장애물이나 먼지·연기·물·눈의 영향받지 않도록 주의한다. 기록부는 시리얼(Serial) 포트를 통해 PC와 연결되며, 자동으로 서버로 자료가 전송된다. 기상청은 자외선 관측 주기를 10분으로 통일해 운용하나, 오류 발생 시 30분으로 변경될 때는 즉시 10분으로 재설정해야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 자외선 A
- 측정범위: 320nm ~ 400nm
- 분해능: 5nm

☑ 활용 분야

대기복사관측, 기후학적 오존 연구, 생물학적 영향 연구, 장기간 현장 관측



자외선측정기(UV-A)

9.5.2 자외선측정기(UV-B)(UV-B radiometer)

☑ 측정원리

자외선측정기(UV-B radiometer)는 지상에 도달하는 자외선 중 인간의 신체를 포함한 생물체와 식물에 영향을 미칠 수 있는 자외선 B 영역(UV-B, 280nm ~ 320nm)을 관측하여 지상에 도달하는 자외선 양과 성층권의 오존량을 감시한다.

자외선측정기는 로버슨(Robertson)이 1970년대에 개발한 광역 자외선 일사계(Robertson-Berger type)의 한 종류로 유해 자외선을 측정하는 일사계다. 일사계에 도달하는 280nm ~ 320nm의 자외선-B 일사량 중에서 맥킨리-디피 작용 스펙트럼(Mckinley-Diffey action spectrum)에 의해 가중된 유해 자외선만을 일정한 시간의 간격으로 측정한다.

자외선 측정기는 컴퓨터에 연결하면 기록장치에 저장된 관측 자료를 IDL (Internet Data Link) 프로그램을 통해 자동으로 저장하고 서버로 전송한다.

감지기의 유리 돔 표면의 오염 정도에 따라 자외선량이 다르게 측정되기 때문에 매일 또는 매주 규칙적으로 청결을 유지해야 한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 자외선 B
- 측정범위: 280nm ~ 320nm
- 분해능: 2nm ~ 5nm

☑ 활용 분야

온실기체관측, 지상 도달 자외선 양과 성층권의 오존량 감시



자외선측정기(UV-B) 수감부 및 기록계

X



온실·반응가스관측

154

161

165

10.1 온실가스

10.2 반응가스

10.3 오존

10.1 온실가스

10.1.1 가스크로마토그래프(GC: Gas Chromatograph)

✓ 측정원리

가스크로마토그래프(GC: Gas Chromatograph)는 가스크로마토그래피법의 원리를 이용하여 분석하는 장비로, 시료 도입부에서 기체, 액체 시료를 유입시키면 기체는 기체 그대로, 액체는 가열 기화되어 운반가스에 의하여 분리관 내로 유입된다. 시료는 각기 다른 성분이 혼합된 혼합물이므로, 각 성분이 분리관 내의 틸 메움 물질에 의해서 흡착성 또는 용해성의 차이를 나타내어 이동속도 차이를 보인다. 이 성분들은 각각 분리되어 분리관 출구에 접속된 검출기를 차례로 통과하여 각 성분의 농도를 검출할 수 있다. 성분들은 각 성분의 양과 일정한 관계가 있는 전기 신호로 변환되고, 기록계(또는 다른 자료처리 장치)에 보내져 분리된 각 성분에 대응하는 일련의 곡선 피크인 크로마토그램으로 나타난다.

실제로 주어진 조건에서 시료를 분리관에 주입한 후 그중에 어떤 성분이 검출되어 기록상의 피크로 나타날 때까지의 시간을 보유 시간이라 하며, 이 보유시간에 운반가스의 유량을 곱한 것을 보유 용량이라고 한다. 보유 용량은 특정한 실험조건에서 각 성분 물질마다 고유한 값을 나타내기 때문에 정성분석을 할 수 있으며, 또 기록지에 그려진 곡선의 넓이 또는 피크의 높이는 시료 성분과 일정한 관계가 있기 때문에 이를 통해서 정량분석도 할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 온실가스, 대기오염물질
- 측정범위: ppt ~ ppm
- 분 해 능: ppt ~ ppb

✓ 활용 분야

대기환경 관측, 대기과학 연구, 산업·보건, 기상기후 분석, 교육 및 연구



가스크로마토그래프

(1) 불꽃이온화검출기

☑ 측정원리

불꽃이온화검출기(FID: Flame Ionization Detector)는 유기화합물(시료)이 수소-공기의 불꽃 속에서 탈 때 생기는 자유전자와 음이온, 양이온 중 분극 전압을 갖는 전극 쌍이 이온들을 모을 때 생기는 전류를 측정하는 기기이다. 유기물질의 분석이 쉬우며 메탄(CH₄)을 측정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 유기화합물, 메탄
- 측정범위: ppb ~ ppm
- 분 해 능: 수십 ppb

☑ 활용 분야

대기환경 관측, 대기과학 연구, 산업·보건, 기상기후 분석, 교육 및 연구

(2) 전자포획검출기

☑ 측정원리

전자포획검출기(ECD: Electron Capture Detector)는 운반기체가 방사성 동위원소(³H, ⁶³Ni)의 붕괴로 발생하는 β선에 의하여 이온화되면서 방출한 전자를 시료가 포획함으로써 감소한 전자의 양을 측정하는 기기이다. 가장 예민한 검출기로 사용하기에는 편리하나 오염이 잘되는 것이 단점이다. 전자를 포획하기 쉬운 할로겐족 시료의 분석에 용이하며 염화불화탄소(CFC-11, CFC-12)와 아산화질소(N₂O)의 측정에 이용되는 검출기이다.

초기 조건을 설정할 때 시료를 이동시켜 주는 운반가스 유량과 오븐 온도를 정확히 설정하는 것이 중요하다. 운반가스의 유량이 변하면 분석하고자 하는 성분의 피크가 나타나는 시간이 변하기 때문에 성분 물질을 분리해 내기 어렵고, 피크를 같은 조건에서 생성시키지 못하므로 재현성이 좋지 않아 정확한 농도를 알아내기 어렵다. 한편, 오븐 온도 변화에 따라 성분 물질들의 피크 면적이 크거나 작게 될 수 있으며, 피크가 나타나는 시간 또한 변화시킬 수 있다. 따라서 재현성을 좋게 하기 위해 정확한 조건을 일정하게 유지해 주는 것이 중요하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 할로겐화합물, 유기화합물
- 측정범위: ppt ~ ppb
- 분 해 능: 수 ppb

☑ 활용 분야

온실기체관측시스템, 대기 조성 감시, 오존층 연구, 기후변화 모니터링

10.1.2 공동감쇠분광기(CRDS: Cavity Ring-Down Spectrometer)

☑ 측정원리

공동감쇠분광기(CRDS: Cavity Ring-Down Spectrometer)는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 일산화탄소(CO), 수증기(H₂O) 등 미량기체의 농도를 고정밀로 측정하는 장비로, 주로 레이저 광원을 포함한 광학 캐비티, 고반사율 거울, 검출기, 데이터 처리용 컴퓨터, 그리고 외부 진공 펌프로 구성된다.

측정원리는 레이저 빛을 캐비티 내부에 주입한 뒤, 거울 사이에서 빛이 여러 번 반사되며 점차 감쇠하는 시간을 측정하고, 기체의 특정 파장에서의 흡수율에 따라 감쇠 속도가 달라지는 것을 이용해 기체 농도를 산출하는 방식으로 설명된다. 기체 시료는 진공 펌프를 통해 캐비티로 주입되며, 기압과 온도가 안정화되면 레이저 스캔을 통해 실시간 농도가 출력된다. 관측방법은 장비를 안정된 온도(10 ~ 35°C) 환경에 설치하고, 샘플 가스를 연속 또는 밸브 시퀀서를 이용해 다중 소스에서 자동으로 주입하여 분석하며, 데이터는 내장된 GUI 소프트웨어를 통해 실시간 모니터링 및 로그 파일 형태로 저장된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: CO₂, CH₄
- 측정범위: CO₂ 0ppm ~ 1,000ppm, CH₄ 0ppm ~ 20ppm
- 분해능: CO₂ 50ppb, CH₄ 0.5ppb

☑ 활용 분야

온실가스 모니터링, 연구, 기후변화 감시, 위성 검증, 장기 기상관측망 운영



공동감쇠분광기

10.1.3 공진출력분광기(ICOS: Integrated Cavity Output Spectrometer)

☑ 측정원리

공진출력분광기(ICOS: Integrated Cavity Output Spectrometer)는 오프-축 적분 캐비티 출력 분광법(Off-Axis ICOS)을 이용하여 온실가스 성분을 실시간으로 고감도로 분석하는 장비이다.

측정원리는 특정 파장의 레이저를 시료 기체에 주입하면 광학 캐비티 내에서 수천 회 반사되며, 기체가 흡수한 빛의 세기 변화를 측정해 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙을 기반으로 농도를 산출하는 방식이다. 이때 수 μs 단위의 신호 감쇠 시간을 측정하여 유효 광경로 길이를 보정하고, 압력·온도 정보를 결합해 정량 분석을 수행한다.

관측은 장비를 20분 이상 예열하여 적분 캐비티 출력 분광법(ICOS) 셀을 목표 온도로 안정화한 뒤, 샘플 가스를 유입해 실시간 스펙트럼을 기록하고, GUI에서 수치, 스펙트럼, 시간차트 형태를 확인하는 과정으로 이루어진다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 온실가스
- 측정범위: 수 ppb ~ 수 ppm
- 분해능: 1ppb 이하

☑ 활용 분야

온실가스 감시, 대기화학 연구, 기후변화 모니터링, 원격 감시 네트워크



공진출력분광기

10.1.4 이산화탄소/수증기 가스분석기(CO₂/H₂O gas analyzer)

✓ 측정원리

이산화탄소/수증기 가스분석기(CO₂/H₂O gas analyzer)는 오픈패스 적외선 흡수 방식을 이용해 CO₂와 H₂O 농도를 측정하며, 분석기 헤드(광원·필터·검출기)와 제어용 EC100 모듈로 구성된다.

원리는 텅스텐 램프에서 발생한 적외선이 측정경로를 지나면서 특정 파장에서 흡수되는 양을 검출해 농도로 환산하는 방식이다. 장비는 삼각대나 크로스암에 수직 설치하며, 초음파 풍속계와 함께 사용해 와류상관법 플럭스를 산출한다. 데이터는 SDM, RS-485, USB, 아날로그 신호로 출력되며, 제로/스팬 교정을 통해 정확도를 유지한다. 내부 히터와 소수성 코팅으로 결로나 먼지 영향을 줄이는 과정을 통해 장기 관측에 적합하게 운용될 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: CO₂, H₂O
- 측정범위: 0ppm ~ 1,000ppm, 0ppmv ~ 72,000ppmv
- 분해능: 0.15ppm, 6ppmv

✓ 활용 분야

와류상관 플럭스 측정, 탄소순환 연구, 온실가스 모니터링, 대기-생태계 상호작용



이산화탄소/수증기 가스분석기

10.1.5 비분산적외선가스분석기(NDIR: Non Dispersive Infra Red)

☑ 측정원리

비분산적외선가스분석기(NDIR: Non Dispersive Infra Red)는 특정 기체의 적외선 흡수 특성을 이용해 농도를 측정하는 장비로, 주요 구성요소는 적외선 광원, 분배기, 기준셀·시료셀, 검출기, 마이크로 유량 감지기, 표준가스 공급장치, 전면 필터 등이다. 측정원리는 CO₂(4.7 μ m), CO(4.3 μ m)와 같이 특정 파장에서 적외선을 흡수하는 성질을 이용하며, 흡수량은 농도에 따라 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙을 따른다. 광원에서 발생한 빛에너지는 기준셀과 시료셀로 나뉘어 통과하고, 두 신호의 차이는 전기 신호로 변환되어 농도로 환산된다.

농도 관측은 제로가스(저농도 CO₂)와 스펠가스(고농도 CO₂)를 사용해 보정을 수행한 뒤, 공기 시료를 흘려 상대적인 흡수량 차이로 구해진다. 정확성을 위해 다양한 농도의 표준가스로 검량선이 작성되고, 셀의 감도는 알코올·증류수 등을 이용한 청소를 통해 유지된다. 또한 기기 내 물방울이 응결 되는 경우 가열을 통해 제거한다. 먼지 유입 방지를 위해 전면 필터를 사용하는데 3개월마다 교체하는 것이 권장된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: CO₂, CO, CH₄, N₂O, SO₂, NO 농도
- 측정범위: 0ppm ~ 수천ppm
- 분해능: 0.1ppm 이하

☑ 활용 분야

대기오염감시, 기후변화모니터링, 실내공기질측정, 배출가스분석



비분산적외선가스분석기

10.1.6 태양흡수분광간섭계(FT-IR spectrometer)

☑ 측정원리

태양흡수분광간섭계(FT-IR spectrometer)는 고해상도 푸리에 변환 적외선 분광기(FT-IR: Fourier Transform Infrared spectrometer) 기반 장비로, 태양광이 대기를 통과하며 나타나는 분자 흡수를 이용하여 반응가스를 측정한다. 구성요소는 태양 추적기와 집광경, 마이켈슨 간섭계(헬륨네온(HeNe) 레이저 기준), 빔 스플리터, 다중 검출기, 진공펌프와 냉각장치, 소프트웨어로 이루어진다.

원리는 간섭계가 태양광의 간섭무늬를 기록하고 푸리에 변환으로 흡수 스펙트럼을 산출하는 방식이다. 최대 144cm (옵션 시 900cm) 광학 경로 차를 이용해 0.0035cm^{-1} 수준의 초고해상도를 달성한다. 관측은 태양 추적기로 태양을 조준한 뒤 진공 상태에서 검출기와 빔 스플리터를 선택해 측정하며, 소프트웨어가 간섭무늬를 스펙트럼으로 변환한다. 보정용 가스 셀과 표준 스펙트럼으로 교정하며, 정기적 진공 유지와 냉각 관리가 필요하다. 데이터는 실시간 저장·전송이 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 반응가스
- 측정범위: 수 ppm ~ 수 ppb
- 분해능: 1 ~ 10ppb

☑ 활용 분야

온실가스 모니터링, 기후변화 감시, 대기복사 연구, 국제 네트워크



태양흡수분광간섭계

10.2 반응가스

10.2.1 이산화황분석기(SO₂ analyzer)

☑ 측정원리

이산화황분석기(SO₂ analyzer)는 이산화황(SO₂) 분자가 자외선을 흡수하는 정도를 이용하여 농도를 산출한다. 시료는 시료 격벽(Sample Bulkhead)을 거쳐 분석기로 유입된 뒤 탄화수소 키커(Hydrocarbon “Kicker”)를 통과하며, 이 과정에서 분자는 영향을 받지 않고 시료 내 탄화수소만 제거된다.

이후 시료는 자외선에 의해 분자가 들뜬 상태로 변해 형광 챔버로 들어간다. 미러 어셈블리(Mirror Assembly)는 특정 파장의 자외선을 반사하고 집광 렌즈(Condensing Lens)는 자외선에 초점을 맞춘다. 들뜬 분자는 낮은 에너지 상태로 떨어지면서 농도에 비례한 자외선을 방출하고, 이 빛은 대역통과 필터(Bandpass Filter)를 거쳐 광전자증배관(PMT)에 도달해 검출된다.

광검출기는 진동하는 자외선을 감지해 변동을 보정하며, 최종적으로 농도가 분석기 화면에 연속적으로 표시된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 이산화황 농도
- 측정범위: 0ppm ~ 20ppm
- 분해능: 0.1ppm

☑ 활용 분야

대기오염감시, 환경규제, 산업배출관리, 대기질예보, 기후변화연구



이산화황분석기

10.2.2 일산화탄소분석기(CO analyzer)

✓ 측정원리

일산화탄소분석기(CO analyzer)는 적외선 흡수 원리를 이용해 CO를 선택적으로 측정하며, 광원, 가스필터휠, 광학벤치, 검출기, 펌프, 제어회로로 구성된다. CO는 4.6 μ m 파장에서 흡수 특성을 보이는 특성을 이용한다. 필터휠이 CO셀과 N₂ 셀을 번갈아 투과시켜 기준빔과 측정빔을 만들고, 두 신호 차이로 농도를 산출한다.

시료는 펌프를 통해 광학 벤치를 지나며, 신호는 내부 보정곡선으로 선형화되어 최종 CO 농도로 출력된다. 관측은 샘플·배출 라인을 연결하고, 제로/스팬 가스를 이용해 정기적으로 교정하며, 전면 패널이나 RS-232/485·Ethernet으로 데이터 확인 및 전송이 가능하다. 안정적 운용을 위해 기기는 예열 후 사용하며, 광학부 청소와 펌프 점검이 주기적으로 필요하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 일산화탄소
- 측정범위: 0ppm ~ 10,000ppm
- 분 해 능: 0.02ppm

✓ 활용 분야

대기질 모니터링, 배출가스 감시, 도시오염 연구, 교통·산업지역 CO 추적



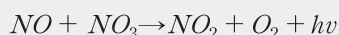
일산화탄소분석기

10.2.3 질소산화물분석기(NO_x analyzer)

☑ 측정원리

질소산화물분석기(NO_x analyzer)는 분자가 자외선을 흡수하는 정도를 이용하여 농도를 산출하며, 질소산화물(NO_x), 활성질소화합물(NO_y), 이산화황(SO₂), 오존(O₃)을 측정한다. 관측장비 전면 패널의 메뉴를 통해 조작하는 방식으로 운영 및 진단 기능을 제공한다.

일산화질소(NO)는 오존(O₃)과 반응하여 이산화질소(NO₂)가 생성되면서 낮은 에너지 상태로 전이된다. 에너지 준위가 높은 NO₂가 에너지 준위가 낮은 NO로 변환되는 과정에서 적외선 영역의 빛이 방출되고, 반응의 강도는 NO 농도에 선형적으로 비례한다.



NO₂는 약 325°C로 가열된 몰리브덴 컨버터에 의해 NO로 변환된다. 이때, NO₂의 화학 반응으로 인해 발생하는 발광을 측정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: NO_x, NO_y, SO₂, O₃
- 측정범위: 0ppm ~ 1ppm
- 분해능: 1ppb

☑ 활용 분야

대기질관측, 배출원감시, 교통오염평가, 대기화학연구



질소산화물분석기

10.2.4 공중방사능측정기(Airborne radiation detector)

✓ 측정원리

공중방사능측정기(Airborne radiation detector)는 공중 감마선 방사능 추정을 위해 개발된 장비로, 본체 내부에 검출기 3개를 내장하고 외부 컨트롤러를 통해 조작 및 통신을 수행한다. 주요 검출기는 탈륨 처리된 요오드화나트륨 단결정으로 제작된 섬광검출기로, 감마선과 물질의 상호작용 시 발생하는 형광을 광전자증배관(PMT: PhotoMultiplier Tube)이 전자 신호로 변환하여 증폭한다. 이렇게 생성된 펄스는 펄스높이분석기를 통해 에너지별로 분류되어 적분기로 전달되며, 초당 디지털 계수로 출력된다. 감마선 플럭스가 높을 경우 부동시간(Dead time)에 따른 오차가 발생하므로 보정이 필요하다.

장비는 약 0 ~ 3,000keV 범위의 스펙트럼을 225개 채널로 분해해 기록하며, 우주선에 의한 3,000keV 초과 방사선은 별도 채널에 저장된다. 이렇게 얻어진 에너지 분포 스펙트럼은 토륨과 우라늄 등 지표 핵종의 농도와 분포를 추정하는 데 활용된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 공중방사선
- 측정범위: 0keV ~ 3,000keV
- 분해능: 10keV

✓ 활용 분야

공중방사능 탐사, 지표 핵종 분포 추정, 지질·광물 탐사, 환경 방사능 감시



공중방사능측정기

10.3 오존

10.3.1 브루어분광광도계(Brewer spectrophotometer)

☑ 측정원리

브루어분광광도계(Brewer spectrophotometer)는 캐나다 대기환경청과 토론토 대학이 개발한 장비로, 태양광을 분광해 5개 파장의 강도를 측정하여 오존전량을 산출한다. 추가적으로 오존 연직분포, 파장별 자외선, 이산화황(SO₂)을 측정하며, 내부 보정장치가 있고 자동 관측에 적합한 구조를 가진다.

306 ~ 320nm 파장대의 5개 파장으로 오존·SO₂ 전량을, 290~325nm 범위에서는 UV-B와 인체 유해 자외선량을 관측한다. 직달자외선 5개 파장을 통해 오존 및 SO₂ 전량을 산출하며, 산란광만으로도 계산이 가능하다. 8개 파장(306.3 ~ 329.5nm) 관측으로 0 ~ 50km까지의 오존 연직분포와 혼합비를 간접 산출할 수 있다. 연직분포 관측은 구름이 거의 없고 전운량이 1 ~ 2할 이하일 때만 신뢰성 있는 결과를 얻는다.

장비는 수감부·접속부·자료처리부·표준램프 장치로 구성되며, 표준램프 점검·창 청소·주 1회 SR·SI 시험으로 주요 성능을 유지한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 오존전량, 오존량 연직 분포, 이산화황 전량, 자외선 복사량
- 측정범위: ppb ~ ppm, W/m²
- 분 해 능: 수 ppb

☑ 활용 분야

지상관측, 오존 원격탐사, 자외선 감시



브루어분광광도계

10.3.2 오존분석기(Ozone analyzer)

✓ 측정원리

오존분석기(Ozone analyzer)는 오존(O₃) 분자가 254nm의 파장에서 자외선을 흡광하는 원리를 이용한다. 자외선을 흡수하는 양은 아래 식과 같이 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙에 의하여 O₃의 농도와 관계된다.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-KLC}$$

- K : 분자흡수계수(0°C, 1atm에서 308cm⁻¹)
- L : 셀 길이, 38cm
- C : 오존 농도(ppm)
- I : 오존이 포함된 샘플의 자외선 강도(샘플 가스)
- I_0 : 오존이 포함되지 않은 자외선 강도(기준 가스)

Model 49는 두 개의 가스 유입로와 셀을 이용한다. 오존이 포함되지 않은 기준 가스(I₀)는 오존 스크러버를 통하여 흐르고, 오존이 포함된 샘플 가스는 솔레노이드 밸브로 흐른다. 각각의 셀에 대한 자외선 강도 차이를 비교하여 O₃ 농도를 계산하며 이 값은 분석기 표시판에 자동으로 출력된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 오존농도
- 측정범위: 0ppb ~ 1,000ppb
- 분해능: 1ppb 이하

✓ 활용 분야

대기과학, 기후변화, 대기오염 연구, 기상기후 연구, 환경 모니터링



오존분석기

10.3.3 오존존데(Ozonesonde)

☑ 측정원리

오존존데(Ozonesonde)는 대기 중 오존의 연직 분포를 관측하기 위해 개발된 전기화학 농도형(ECC: Electrochemical Concentration Cell) 센서를 탑재한 장비로, 두 개의 백금 전극이 각각 요오드화 칼륨(KI) 용액에 잠긴 음극·양극 셀로 구성된다. 공기 펌프가 외부 공기를 센서로 주입하면, 음극 셀에서 오존이 KI와 반응하여 요오드가 생성되고, 이는 다시 환원되어 전류가 발생하는데, 이 전류 세기가 오존 농도에 비례하는 특성을 활용한다. 관측 전 준비 단계에서는 음극·양극 용액을 주입하고, 고농도 오존을 이용하여 안정화하며, 펌프 압력과 유량을 점검한다. 비행 시에는 기상관측용 풍선에 부착되어 발사되며, 약 30km 이상의 성층권까지 상승하면서 실시간으로 오존 자료를 전송한다. 지상에서는 소프트웨어 정의 라디오(SDR: Software Defined Radio) 수신기와 스카이존데(Skysonde) 소프트웨어를 통해 데이터가 기록·시각화되며, 사후 분석 시 펌프 효율이나 배경 전류를 보정해 정확한 오존 프로파일이 산출된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 오존혼합비
- 측정범위: 수 ppbv ~ 수 ppmv
- 분해능: 1ppbv 이하

☑ 활용 분야

성층권 오존 관측, 대기화학 연구, 기후변화 감시, 대기질 장기 모니터링



오존존데

XI



에어로졸관측

170

175

179

185

187

11.1 질량농도

11.2 수농도

11.3 광흡수·산란·두께

11.4 화학성분

11.5 꽃가루

11.1 질량농도

11.1.1 미세입자측정기(SNPS: Suspended Nano Particle Sizer)

✓ 측정원리

미세입자측정기(SNPS: Suspended Nano Particle Sizer)는 흡입 펌프를 통해 주변 대기 중의 공기를 일정한 유량으로 끌어들인다. 유입된 공기는 사이클론이나 임팩터를 통과하면서 특정 입경(예: PM10, PM2.5) 이하의 입자만 선별된다. 이렇게 분리된 입자들은 레이저 다이오드가 조사하는 측정 챔버로 이동한다. 레이저 빔이 공기 중 입자에 부딪히면 산란광(전방·후방 산란)이 발생한다. 산란광의 세기와 패턴은 입자의 크기, 굴절률, 농도에 따라 달라진다. 광센서는 이 산란광을 검출하여 전기적 신호로 변환한다. 변환된 신호는 입자의 수와 크기에 비례하는 전압 또는 전류값으로 나타난다. 내부 보정 알고리즘은 이 신호를 입자 농도로 환산하며, 일반적으로 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 단위의 PM10, PM2.5 값으로 출력한다. 일부 장비는 온도·습도 센서를 함께 사용해 보정함으로써, 상대습도에 따른 광산란 강도의 왜곡을 줄인다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 미세입자(PM10, PM2.5 등)의 질량농도
- 측정범위: $0\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 분해능: $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$

✓ 활용 분야

대기질 모니터링, 환경영향평가, 도시대기오염 관측, 기상청/환경부 관측망, 연구실험



미세입자측정기

11.1.2 부유분진측정기(Continuous particulate monitor)

☑ 측정원리

부유분진측정기(Continuous particulate monitor)은 대기 중의 부유하는 에어로졸 중 직경 $10\mu\text{m}$ 이하인 입자를 포집하고 탄소동위원소 C-14에서 방출되는 β 선을 이용하여 단위 체적당 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 측정한다. 이 장비는 시료채취부, 분석부, 지시기록부로 구성되어 있다. 시료채취부는 시료와 채취관 벽과의 반응, 흡수, 흡착 등에 의한 간섭이 없는 재질과 측정상 장애가 되는 물질을 제거한다. 분석부는 측정 범위의 에어로졸을 포집하여 농도에 비례하는 전기 신호로 변환하는 부분으로서 다른 성분에 의한 간섭 영향을 제거하는 기능과 시료 중의 에어로졸 농도를 연속적으로 분석할 수 있는 기능을 갖는다. 지시기록부는 측정된 에어로졸 농도를 출력한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 부유분진의 질량농도
- 측정범위: $0\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 10,000\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 분해능: $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 측정기준) 이하

☑ 활용 분야

대기복사관측시스템, 종합기상정보시스템 황사 자료 표출, 기상청·환경부 예보 시스템, 대기환경기준 충족 여부 검증, 규제 효과 분석



부유분진측정기

11.1.3 고용량미세먼지채취기(High volume particulate sampler)

✓ 측정원리

고용량미세먼지채취기(High volume particulate sampler)는 분진을 채취하여 측정하는 장비이다. 대기 중 배출되는 입자상 물질의 크기는 대체로 $0.01\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ 정도이다. 이 중에서 $2.5\mu\text{m}$ 이하 입자의 총 질량을 PM2.5(Particle Matter-2.5), $10\mu\text{m}$ 이하의 경우를 PM10(Particle Matter-10), 부유분진 전체 경우를 TSP(Total Suspended Particulates)라고 한다. 미세먼지는 다양한 인위적 및 자연적 발생원에 의하여 발생하며 인체 내에 침적되어 호흡기 질환 등을 유발하거나 가시거리 감소 및 식물의 생장을 저해하는 요인이 된다. 크기가 작은 입자일수록 인체에 유입되어 침착되는 영향이 크기 때문에 최근에는 PM2.5에 대한 관심이 상대적으로 더욱 집중되고 있다.

고용량미세먼지채취기는 장비 보호 상자, 시료 유입부, 여과지 홀더, 유량계 및 흡입 모터로 구성되어 있다. TSP, PM10, PM2.5 등 3종류의 측기는 모두 본체 상단에 필터가 있어 대기 중 부유하는 분진을 해당하는 입자만을 유입시키는 역할을 하는데 유량계를 이용하여 단위 시간 동안의 일정한 공기 시료의 흡입량을 파악할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 부유분진의 질량 농도
- 측정범위: $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 수천 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 분해능: $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$

✓ 활용 분야

대기환경 감시, 산업 보건, 환경 연구, 대기환경기준 충족 여부 평가



고용량미세먼지채취기

11.1.4 저용량미세먼지채취기(Low volume particulate sampler)

✓ 측정원리

저용량미세먼지채취기(Low volume particulate sampler)는 공기 중에 부유하는 입자를 일정한 유량으로 필터에 통과시켜 물리적으로 포집하는 방식으로 작동한다. 장비 내부의 펌프는 규정된 낮은 유속을 유지하여 대기 중 입자들을 안정적으로 빨아들이며, 이 과정에서 선택된 입경 크기의 입자만이 충돌판이나 사이클론 컷오프 장치를 거쳐 필터에 부착된다. 필터는 일반적으로 석영섬유나 테플론 재질로 제작되어 화학적 성분 분석에도 적합하다. 이 장비로 2.5 μ m 이하의 입자와 10 μ m 이하의 입자를 구분하여 채취할 수 있다.

수집된 샘플은 중량법을 통해 질량 농도를 산출하거나, 추가적인 화학 분석 장비를 통해 성분별 농도를 분석할 수 있다. 낮은 유량 채취 방식은 전력 소모를 줄이고 장시간 연속 운용이 가능하여 장기 대기질 모니터링에 유리하다. 또한 저소음·저비용으로 운영되어 다양한 환경 관측망에 활용된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: PM10 질량농도, PM2.5 질량농도, 이온성분(F, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, 등), 원소성분(Al, Fe, Pb, Zn 등)
- 측정범위: 0.01 μ g/m³ ~ 수백 μ g/m³, 0.001ng/m³ ~ 수백 ng/m³
- 분 해 능: 0.001 μ g/m³ ~ 0.01 μ g/m³, 0.001ng/m³ ~ 0.01ng/m³

✓ 활용 분야

대기오염 모니터링, 장기환경감시, 미세먼지 성분분석, 기후변화 연구, 도시대기질 조사



저용량미세먼지채취기

11.1.5 탄소입자측정기(Single particle soot photometer (SP2))

✓ 측정원리

탄소입자측정기(Single particle soot photometer (SP2))는 Black Carbon (BC), 즉 검댕(Soot)의 단일 에어로졸 입자를 직접 측정하는 관측장비이다. SP2는 민감도가 높으며 반응 속도가 빠르고 탄소 입자의 관측에 특화되어 오염 물질의 구성 성분 및 발생원 추적, 물 또는 얼음에 포함된 검댕의 특성 파악, 얇은 대기 오염 층의 분석 등에 활용이 가능하다.

SP2는 고출력의 레이저를 사용하여 관측을 수행한다. BC는 대기 중 대표적인 광흡수성 에어로졸인데 빛에너지를 흡수하여 백열(Incandescence) 상태까지 가열된다. 이러한 백열 상태에서 다시 방출되는 에너지를 정량적으로 관측함으로써 BC의 질량 농도를 산출한다. 이러한 질량 관측은 탄소 입자가 다른 입자와 혼합된 상태에 무관하므로 정확한 BC 질량 농도의 산출이 가능하다. 또한 SP2는 단일 입자를 관측하기 때문에 BC의 수농도 또한 관측할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: Black Carbon 농도
- 측정범위: $0\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim$ 수십 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 분해능: $1\text{ng}/\text{m}^3$

✓ 활용 분야

대기복사관측시스템, 대기오염 연구, 기후변화 연구, 극지 및 눈/얼음 연구



탄소입자측정기

11.2 수농도

11.2.1 공기역학입자계수기(APS: Aerodynamic Particle Sizer)

✓ 측정원리

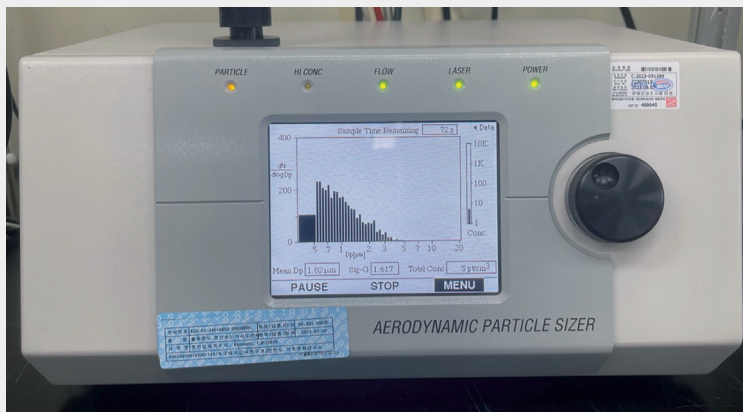
공기역학입자계수기(APS: Aerodynamic Particle Sizer)는 에어로졸 입자의 공기역학적 직경과 산란광 강도를 동시에 측정하는 분광계이다. 장비는 입구 노즐, 시스플로우·샘플플로우 펌프, 레이저 광원, 광학계(렌즈·분리기·거울), 집광용 포토다이오드(APD: Avalanche PhotoDiode), 신호 처리 회로(아날로그/디지털 모듈)로 구성된다. 측정원리는 시스플로우로 중심에 모아진 입자가 가속 노즐을 지나면서 크기에 따라 다른 속도로 이동하는 '비행 시간'을 측정하고, 두 개의 겹친 레이저 빔을 통과할 때 생기는 이중 신호의 시간 차이를 분석해 공기역학적 직경을 산출하는 방식이다. 동시에 입자가 산란시키는 빛을 타원형 거울로 수집해 집광용 포토다이오드(APD)에서 전기 신호로 변환하여 산란강도를 기록한다. 입구에서 유입된 시료 공기를 일정한 유량으로 제어하여 입자를 레이저 측정영역으로 통과시킨 후, 실시간으로 입도분포, 농도, 총 입자 수를 측정하며 이 값은 디스플레이와 소프트웨어(Aerosol instrument manager)로 출력, 저장된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 미세입자 크기, 수농도
- 측정범위: $0.5\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$, $0\text{particles}/\text{cm}^3 \sim 1,000\text{particles}/\text{cm}^3$
- 분해능: $0.5\mu\text{m}$, $1\text{particle}/\text{cm}^3$

✓ 활용 분야

흡입독성 연구, 대기오염 및 기상학 연구, 실내공기질 모니터링



공기역학입자계수기

11.2.2 응결핵계수기(CPC: Condensation Particle Counter)

✓ 측정원리

응결핵계수기(CPC: Condensation Particle Counter)는 대기 중 에어로졸을 일정 유량(1.0L/min)으로 유입해 내부 포화기에서 n-부탄올 증기와 혼합하고, 냉각 응축부에서 과포화 환경을 형성하여 미세입자를 응결핵으로 성장시킨 뒤 광학 검출기를 통해 계수하는 장비이다. 이 기기는 에어로졸 입구, 포화기, 응축기, 광학 검출부, 외부 진공펌프 연결부, 전자 제어 및 데이터 처리 모듈로 구성된다.

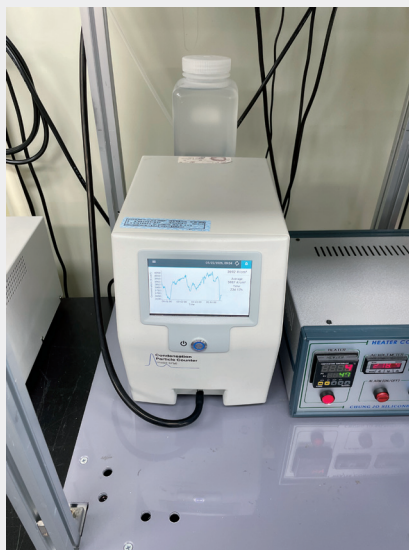
직경 10nm 이상의 입자를 부탄올 응축으로 수 μm 크기의 액적화시켜 레이저-광다이오드 검출기로 산란광을 측정하는 방식이며, 동시보정(Coincidence correction)으로 농도 정확도를 확보한다. 관측은 외부 진공펌프를 통해 시료를 흡입하고, 온도 제어된 포화기·응축기를 거친 후 광학 검출부에서 개별 펄스를 계수하여 농도를 산출하는 방식으로 이루어지며 액정표시장치(LCD: Liquid Crystal Display) 패널과 데이터로깅 시스템을 통해 측정값을 실시간으로 기록한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 응결핵수농도
- 측정범위: 0particles/cm³ ~ 10⁴ particles/cm³
- 분해능: 1particle/cm³

✓ 활용 분야

대기과학 연구, 에어로졸 물리 특성 연구, 입자 발생 및 누출 검증, 이동식 대기조사



응결핵계수기

11.2.3 전자기유도입자계수기(SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer)

☑ 측정원리

전자기유도입자계수기(SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer)는 응축입자계수기 원리를 기반으로 나노입자를 계수하는 장비로, 내부 포화기와 응축기에서 n-부탄올을 이용해 미세입자를 액적화시킨 뒤 광학적으로 검출하여 개별 입자 수를 산출한다.

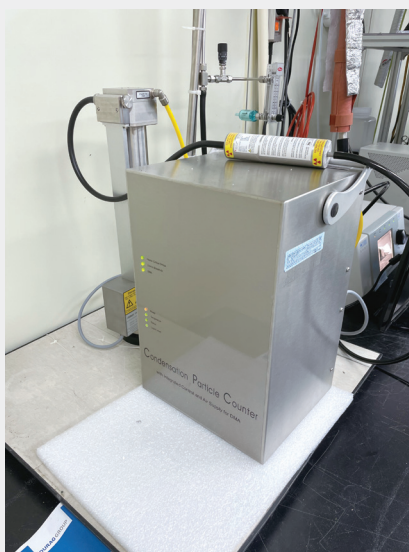
장비는 샘플 공기 0.3L/min과 시스 공기 3.0L/min을 내부 펌프로 제어하며, 임계 오리피스와 온도 안정화로 유량을 일정하게 유지한다. 입자 크기 측정 범위는 4nm(D50, 텅스텐 산화물 기준)에서 3 μ m 이상까지 가능하며, 단일 계수 모드에서는 최대 15만 개/cm³, 광도계 모드에서는 10⁷개/cm³까지 측정할 수 있다. 데이터는 USB 또는 PC용 소프트웨어로 직접 기록 가능하며, RS-232, 아날로그 출력 등 다양한 연결성을 제공한다. 장비는 LED 상태 표시, 전원 범용성(90-264VAC), 컴팩트한 크기(40×25×29cm, 12.4kg)로 연구실 환경에 쉽게 통합된다. 또한 SMPS+C 구성을 지원하여 전기 이동도 분류기(DMA Classifier)와 결합해 입도 분포 측정이 가능하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 미세입자 크기별 수농도
- 측정범위: 단일 계수 모드 0 ~ 150,000입자/cm³, 광도계 모드 0 ~ 10⁷입자/cm³
- 분 해 능: 95%, 90%

☑ 활용 분야

에어로졸 연구, 대기환경 모니터링, 나노기술 공정 모니터링, 대기 핵생성 연구



전자기유도입자계수기

11.2.4 전방산란스펙트로미터(FSSP: Forward Scattering Spectrometer Probe)

✓ 측정원리

전방산란스펙트로미터(FSSP: Forward Scattering Spectrometer Probe)는 구름 및 에어로졸 입자의 미세물리 특성을 파악하기 위해 개발된 장비로, 본체는 실린더형 구조에 흡입기, 신호처리기, 표출기로 구성된다. 측정원리는 미 산란 이론(Mie theory)에 근거하여 단일 입자가 레이저 빔을 통과할 때 전방(약 $4.6^\circ \sim 12.8^\circ$)으로 산란되는 빛의 강도를 측정하고, 이를 입자 지름으로 환산하는 방식으로 설명된다. 감지된 신호는 전압으로 변환되어 15개 채널에 분류되며, 채널별로 특정 입자 크기 범위가 할당된다. 측정범위는 $0.547\mu\text{m}$ 로, Range 0 ~ 3까지 선택 설정이 가능하다.

측정은 단위 시간 동안 각 채널에 기록된 입자의 수로부터 수농도를 계산하고, 이를 기반으로 입자크기 분포, 평균지름, 수함량을 산출하는 과정으로 이루어진다. 이 장비는 주로 구름 비행 관측과 기상조절 연구에서 활용되고 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 입자크기, 수농도
- 측정범위: $0.3\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$, $10\text{particles}/\text{cm}^3 \sim 10^4\text{particles}/\text{cm}^3$
- 분해능: $0.1\mu\text{m}$, $10\text{particles}/\text{cm}^3$

✓ 활용 분야

구름미세물리 연구, 기상조절 실험, 항공 관측 연구, 에어로졸 연구



전방산란스펙트로미터

11.3 광흡수·산란·두께

11.3.1 광산란계수측정기(Nephelometer)

✓ 측정원리

광산란계수측정기(Nephelometer)는 대기 중 에어로졸 입자에 의한 빛의 산란을 측정하는 장비로, 본체·전원장치·자료수집 분석기로 구성된다. 측정원리는 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙에 따라 전체 소산 중 산란계수를 구하고, 여기서 기체에 의한 레일리 산란을 빼서 에어로졸 산란계수를 산출하는 방식으로 설명된다.

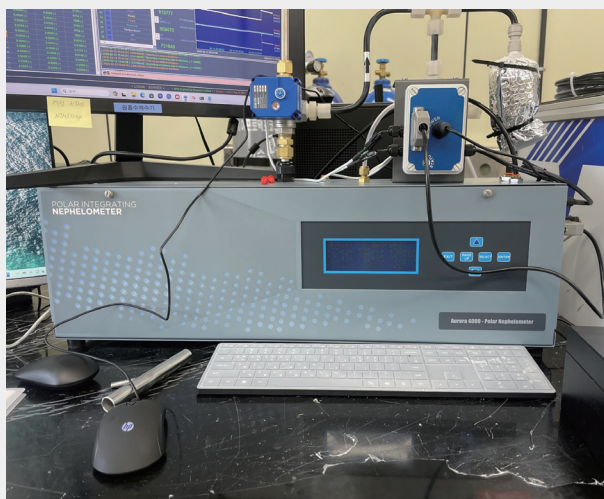
이 기기는 450nm(blue), 525nm(green), 635nm(red) 세 파장으로 구성된다. 각 파장은 광전자증배관(PMT)을 거쳐 전기신호로 변환되어 산란 강도를 기록한다. 관측 시 램프는 10° ~ 170° 범위의 빛을 조사하며, 후방산란 셔터로 90° ~ 170° 각도만 차단하여 특정 산란 성분을 측정한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 광산란계수, 후방산란계수
- 측정범위: 0.1Mm⁻¹ ~ 20,000Mm⁻¹
- 분해능: 1Mm⁻¹

✓ 활용 분야

대기오염 모니터링, 기후변화 연구, 에어로졸 특성 분석, 장기 대기질 관측망



광산란계수측정기

11.3.2 광흡수계수측정기(Aethalometer)

✓ 측정원리

광흡수계수측정기(Aethalometer)는 대기 중 탄소입자 농도를 측정하는 장비로, 본체, 자료수집분석장치, 이중펌프, 시간제어기, 롤 필터로 구성된다. 측정원리는 에어로졸이 필터에 포집될 때 특정 파장의 빛이 투과하는 정도를 측정하여 광학적 감쇄를 흡수에 의한 신호로 환산하는 방식이다. 광흡수계수측정기 AE-33 모델은 7개 파장(370, 470, 520, 590, 660, 880, 950nm)에서 탄소에어로졸(eBC: elemental Black Carbon)의 질량농도 및 광흡수계수 분석이 가능하다.

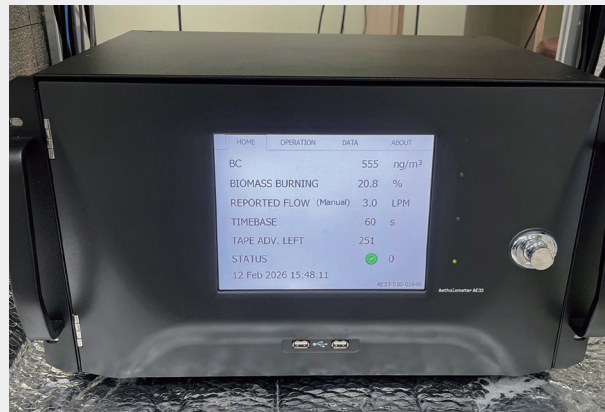
관측방법은 흡입구로 유입된 공기를 시간제어기로 제어된 펌프가 흡입하여 필터에 포집하고, 투과광 감쇄량으로 탄소입자 농도를 산출하는 과정으로 이루어진다. 이 장비는 산업활동 등 인위적 오염원의 추적과 대기 복사·광학 연구에 활용된다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: Black Carbon 농도
- 측정범위: $0\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 500\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 분해능: $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$

✓ 활용 분야

대기오염 모니터링, 기후변화 연구, 광학적 에어로졸 특성 분석, 장기 대기질 관측망



광흡수계수측정기

11.3.3 스카이라디오미터(Sky-radiometer)

☑ 측정원리

스카이라디오미터(Sky-radiometer)는 공기기둥 내에 포함된 에어로졸의 광학적 성질 즉 에어로졸의 광학 깊이, 크기 분포, 단산란 알베도, 굴절률 및 산란위상함수 등을 측정하기 위한 장비이다.

파장별로 관측된 직달 및 산란일사 자료를 복원 알고리즘으로 계산하여 각각의 에어로졸 광학적 특성을 얻으며, 에어로졸의 광학적 특성 자료는 위성 관측을 통한 에어로졸 관측 기술의 개선과 검증, 에어로졸이 기후에 미치는 복사강제 효과 등을 산출하는 데 이용된다.

스카이라디오미터는 추적시스템, 파장별 주사 복사계, 강수 감지기, 자료수신장치 등으로 구성되어 있다. 이 장비는 광원으로 태양광을 사용하며 직달일사와 산란일사를 파장별로 관측하고 관측된 자료를 대기복사 모델을 통하여 에어로졸의 광학적 특성을 복원한다. 또한, 모든 보정이 관측지점에서 가능하고 발생 가능한 여러 오차의 원인들이 단일 온도 고정 검출기(One single temperature stabilized detector)를 사용함으로써 제거된다.

이 장비는 측정 프로토콜을 따르는데, 이른 아침에 작동이 시작된 이후에 기단에 대한 매 0.25 단계 또는 매 20분 간격으로 측정한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 에어로졸 광학두께, 크기분포
- 측정범위: 300nm ~ 2,200nm 파장에서 광학두께 0.01 ~ 수십, 0.1 μ m ~ 10 μ m
- 분해능: 0.01 ~ 0.02, 0.1 μ m

☑ 활용 분야

대기오염 모니터링, 기후변화 연구, 에어로졸 특성 분석, 장기 대기질 관측망



스카이라디오미터

11.3.4 에어로졸라이다(Aerosol lidar)

✓ 측정원리

에어로졸라이다(Aerosol lidar)는 대기 중의 분자, 먼지 입자와 구름 입자에 의해 산란 또는 흡수되는 빛의 특성을 이용한 것이다. 일정한 파장의 레이저를 대기 중으로 발사하고, 부유하는 입자를 포함한 에어로졸에 의해 후방 산란되는 빛을 수신하여 분석함으로써 에어로졸의 연직 분포와 두께를 측정한다.

장비는 송신부, 수신부, 신호 및 자료 처리 분석부로 구성되어 있으며, 편광 분석기를 포함한 이중 편광 라이다 시스템이기 때문에 비편광도를 측정하여 대기 중의 비구형 에어로졸을 효과적으로 관측할 수 있다.

✓ 주요 성능

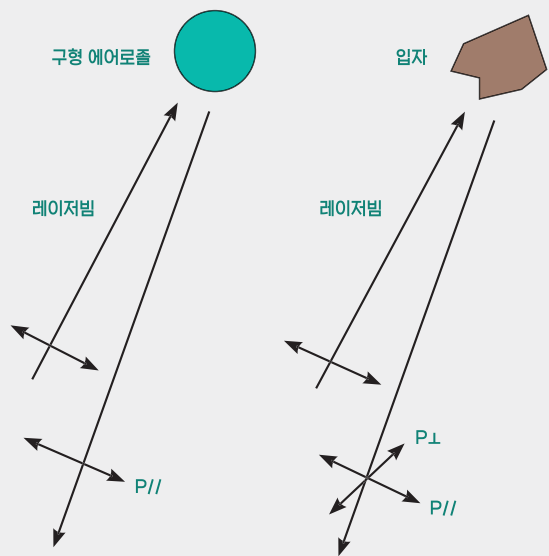
- 관측요소: 에어로졸층 고도 및 두께
- 측정범위: 30m ~ 15km
- 분해능: 3m

✓ 활용 분야

황사 관측, PM10 관측, 농도 및 분포 특성 분석, 예보체제 구축



에어로졸라이다



비편광도에 의한 측정원리

11.3.5 정밀필터복사계(PFR: Precision Filter Radiometer)

☑ 측정원리

정밀필터복사계(PFR: Precision Filter Radiometer)는 다파장 협대역 필터를 사용하여 태양직달복사를 분광학적으로 측정하여 에어로졸 광학두께(AOD)와 수증기량을 산출한다. 태양 빛은 장치 상단의 정밀 콜리메이터를 통해 들어오며, 태양 원반의 직달 성분만을 선택적으로 수광한다. 빛은 필터 휠 또는 고정된 협대역 필터를 통과하면서 특정 파장대(예: 368, 412, 500, 862nm 등)로 분리된다. 이후 광검출기(보통 실리콘 포토다이오드)에 의해 빛은 전기적 신호로 변환되어 해당 파장에서의 복사량이 측정된다. 측정된 값은 분광별 대기 투과도 계산에 활용되며, 랭리 플롯(Langley plot) 방법을 통해 절대 교정된다. 이 때 태양고도 변화에 따른 공기질량 보정을 거쳐 대기 중 산란과 흡수 효과를 분리해 낼 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 에어로졸 광학두께(AOD)
- 측정범위: 0.01 ~ 3.0(대기 탁도 범위)
- 분해능: 0.001 ~ 0.002

☑ 활용 분야

에어로졸 장기모니터링, 오존 관측, 기후변화 연구, 위성 보정, 복사전달모델 검증



정밀필터복사계

11.3.6 태양광도계(Sun-photometer)

☑ 측정원리

태양광도계(Sun-photometer)는 다파장 광학필터와 검출기를 갖춘 센서 헤드, 태양을 정확히 추적하는 로봇, 데이터 수집과 제어를 담당하는 제어 유닛, 태양전지와 배터리 전원부, 삼각대 및 보호 케이스, 그리고 통신 모듈과 소프트웨어로 구성된다. 측정원리는 태양 및 산란광을 여러 파장에서 측정하여 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙을 적용하고, 대기 산란·흡수 특성을 역산해 에어로졸 광학두께(Aerosol optical depth, AOD), 전천수증기량, 입자 크기분포 등의 물리·광학적 매개변수를 산출하는 방식으로 설명된다.

관측은 자동 태양 추적을 통해 정해진 시점에서 태양 직달 복사량과 하늘 복사량을 순차적으로 측정하고, 필터 휠 회전에 따라 선택된 파장대별 데이터를 취득하는 과정으로 이루어진다. 수집된 신호는 제어 유닛과 ASTPWin 소프트웨어를 통해 저장·전송되며, 원격으로 위성 통신을 통해 연구 네트워크(AERONET 등)로 전송될 수도 있다. 장비는 자동·수동 시나리오 모드에서 태양 관측, 스카이 스캔, 알무칸타르(Almucantar), 주기본면(Principal plane) 관측 등을 다양하게 실행할 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 에어로졸 광학두께(AOD)
- 측정범위: 0 ~ 3
- 분 해 능: 0.01AOD

☑ 활용 분야

에어로졸 광학두께 측정, 대기질 모니터링, 위성 보정, 기후변화 연구, 화산재 탐지



태양광도계

11.4 화학성분

11.4.1 가스·에어로졸분석기(Gas and aerosol analyzer)

✓ 측정원리

가스·에어로졸분석기(Gas and aerosol analyzer)는 대기 중 같은 공기 질량에서 가스와 에어로졸을 동시에 포집해 수용액에 선택적으로 용해시킨 뒤 이온 크로마토그래피(Ion Chromatography)로 분석하는 장비이다. 이 기기는 보통 산성가스와 암모니아를 수용액에 흡수하는 습식 회전 디뉴더(WRD: Wet Rotating Denuder), 에어로졸을 과포화 수증기로 성장시켜 사이클론으로 수집하는 스팀 제트 에어로졸 수집기(SJAC: Steam Jet Aerosol Collector), 그리고 양이온·음이온을 분리 분석하는 이온 분석 모듈로 구성된다.

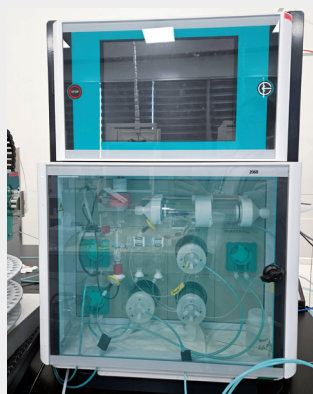
측정원리는 공기 중 가스 성분을 습식 회전 디뉴더에 의해 제거하고 에어로졸 성분은 스팀 제트 에어로졸 수집기(SJAC)에서 물방울화하여 두 시료를 각각 용액 상태로 만든 후 전도도 검출기를 통해 이온 크로마토그래피로 성분 농도를 정량하는 방식으로 설명된다. 관측은 일정한 유량(0.5 ~ 1.0m³/h)의 대기 시료를 연속적으로 유입하여 용액화된 가스와 에어로졸 성분을 자동 채취하고, 내부 표준물질로 보정하는 방식으로 이루어지며, 분석 결과는 원격으로 모니터링할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 가스성분(SO₂, NH₃ 등), 에어로졸 성분(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등)
- 측정범위: 수 ppb ~ 수 ppm, ng/m³ ~ 수십 µg/m³ 이상
- 분 해 능: 1ppb, 1ng/m³

✓ 활용 분야

대기질 모니터링, 대기오염 연구, 장기관측망 구축, 전구체가스·2차에어로졸 형성 연구



가스·에어로졸분석기

11.4.2 에어로졸성분분석기(MARGA: Monitor for Aerosols and Gases in Ambient air)

✓ 측정원리

에어로졸성분분석기(MARGA: Monitor for Aerosols and Gases in Ambient air)는 시료 공기를 일정 유량으로 채취한 뒤, 입자 크기 분류 장치를 통과시켜 특정 크기 이하 또는 이상의 입자를 선택적으로 걸러내어 에어로졸을 분석한다. 걸러진 입자는 광학 계측부로 유도되어, 빛의 산란, 흡수 또는 형광 반응 등을 측정할 수 있는 광학 센서에 노출된다.

광원에서 나오는 특정 파장의 빛이 입자에 닿으면 일부 빛은 산란되고 일부는 흡수되는데, 산란 및 흡수 정도는 입자의 크기, 복사율, 조성 등에 따라 달라진다. 입자의 표면 또는 내부에 포함된 화학성분은 흡수 특성 또는 형광 특성을 변화시키며, 이를 스펙트럼 분석을 통해 분별할 수 있다. 분광계나 필터-광도계 등을 사용하여 여러 파장에서의 흡수/산란 스펙트럼을 얻고, 이를 기준 스펙트럼과 비교해 구성 성분을 추정한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 후방산란계수, 소산계수, 에어로졸 광학두께
- 측정범위: $0.0000001\text{km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1} \sim 0.001\text{km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$, $0.001 \sim 1.0\text{km}^{-1}$, $0.01 \sim 2.0$
- 분해능: $0.0000001\text{km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$, 0.001km^{-1} , 0.001

✓ 활용 분야

에대기오염 감시, 기후연구, 에어로졸 화학 분석, 환경 모니터링, 미세먼지 연구



에어로졸성분분석기

11.5 꽃가루

11.5.1 꽃가루자동관측기(Pollen measurement system)

✓ 측정원리

꽃가루자동관측기(Pollen measurement system)는 공기 중 꽃가루와 포자와 같은 생물 에어로졸을 실시간으로 탐지·분류하는 장비로, 구성요소는 공기 유입부, 에어로졸 농축기, 레이저 기반 산란광 검출기, 고해상도 디지털 홀로그래피 카메라, 그리고 UV 유도 형광 및 편광 검출 모듈을 포함한다.

측정원리는 공기 중 입자를 농축하여 레이저와 카메라로 동시에 통과시키면서 산란광 패턴과 홀로그래피 영상을 기록하고, 이미지 재구성과 산란 특성 분석을 통해 입자의 크기, 형태, 표면 특성을 추출하며, UV 형광 반응을 활용해 생물학적 입자를 비생물학적 입자와 구분하는 방식으로 설명된다. 관측은 약 40L/min의 공기를 연속 유입해 크기 0.5 ~ 300 μ m 범위의 개별 입자를 탐지하고, 두 방향 카메라 영상을 기반으로 입자의 크기·모양을 실시간 산출하며, 기계학습 알고리즘을 통해 꽃가루·곰팡이 포자 등의 자동 분류를 수행하는 방식으로 이루어진다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 종류별 꽃가루농도
- 측정범위: 10L/min(0grains/m³ ~ 수천 grains/m³)
- 분해능: 1grain/m³

✓ 활용 분야

꽃가루 예보, 알레르기 연구, 생물 에어로졸 감시, 대기질 모니터링, 기후변화 연구



꽃가루자동관측기

11.5.2 꽃가루수동관측기(Manual pollen monitoring system)

✓ 측정원리

꽃가루수동관측기(Manual pollen monitoring system)는 내장 진공펌프와 시계 장치로 구동되는 드럼에 접착테이프를 설치하여 공기를 일정 유량으로 흡입하면서 꽃가루와 곰팡이 포자를 7일간 연속 포집하는 장비이다. 공기는 슬릿을 통해 흡입되고 입자는 접착된 멜리넥스 테이프에 부착되며, 드럼은 시간당 2mm 속도로 회전해 시간별 기록이 가능하다. 필요시 교체형 오리피스를 사용해 1 ~ 10 μ m 입자 포집 효율을 높일 수 있다.

설치 높이에 따라 채집되는 꽃가루 종류가 달라지므로 일반적으로 3m 높이에 설치하며, 채집된 테이프는 잘라 슬라이드로 제작해 현미경으로 분석한다. 장치는 배터리 또는 교류 전원으로 작동하며 드럼 교체가 간단해 야외 운용에 적합하다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 종류별 꽃가루농도
- 측정범위: 10L/min(0grains/m³ ~ 수천 grains/m³)
- 분 해 능: 1grain/m³

✓ 활용 분야

대기 중 꽃가루 모니터링, 곰팡이 포자 연구, 알레르기 예측, 환경위생, 기상관측



꽃가루수동관측기

XII



해양기상관측

192

196

12.1 기상요소

12.2 해양요소

12.1 기상요소

12.1.1 해양기상부이(Ocean data buoy)

☑ 측정원리

해양기상부이(Ocean Data Buoy)는 해상에서 기온·습도·기압·풍향·풍속 같은 기상요소와 수온·파고·파주기·파향 같은 해양요소를 자동 관측하는 장비이다. 주요 구성은 기상 센서, 가속도계 기반 파고 센서, 무선통신 설비, 태양전지 전원장치 등이다.

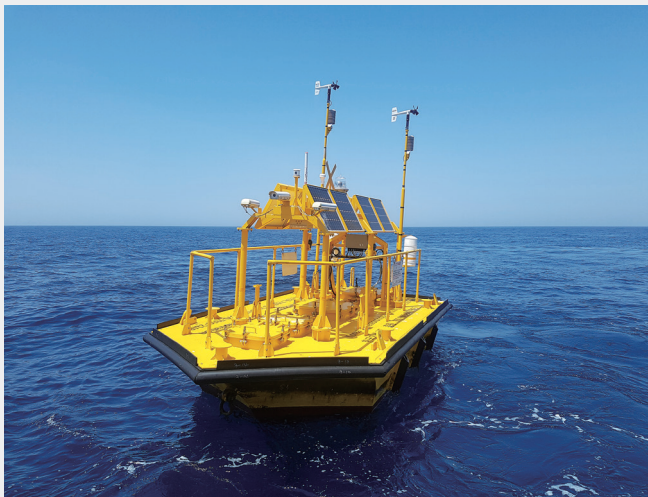
기상요소는 일반 기상관측과 동일한 방식으로 측정하고, 해양요소로는 부이의 움직임을 가속도계로 측정해 적분하여 변위를 얻고 이를 스펙트럼 분석해 파고와 파주기를 산출한다. 관측자료는 위성통신으로 실시간 전송되며, 초단파(VHF)는 점검과 원격제어에 사용된다. 태양전지로 전원을 공급하며, 관측 후 휴지 모드로 전력 소모를 줄인다. 또한 원시자료 대신 처리된 산출 자료를 전송해 자료량을 최소화한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: (기상)기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속, (해양)수온, 유의파고, 최대파고, 파주기, 파향
- 측정범위: 일반 기상관측 및 해양기상관측 관측요소 측정범위
- 분 해 능: 일반 기상관측 및 해양기상관측 관측요소 분해능

☑ 활용 분야

태풍·해일 감시, 수치예보 지원·개선, 해양기상특보 운영, 수치모델 입력·검증, 기후변화 연구, 해상 교통 안전



해양기상부이

12.1.2 표류부이(Drifting buoy)

☑ 측정원리

표류부이(Drifting buoy)는 해양기상관측장비의 설치 및 유지·관리가 어려운 먼바다와 한·중 또는 한·일 중간수역 등에 투하되어 원해 기상관측 자료를 수집한다. 특히, 태풍 진로 추적과 겨울철 서해안 및 영동지방 대설 등 해양 위험 기상 감시에 활용된다. 표류부이는 직경 40cm의 구형이며 파고, 파주기, 수온, 기압 등의 관측자료를 위성통신으로 전송한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 파고, 파주기, 수온, 기압
- 측정범위: 0m ~ 20m 이상, -5°C ~ 35°C, 800hPa ~ 1,100hPa
- 분 해 능: 0.1m, 0.01°C, 0.1hPa

☑ 활용 분야

해양환경관측, 위험기상(태풍) 모니터링, 해양열용량 분석, 해양중규모변동성 연구



표류부이

12.1.3 등표기상관측장비(Light house automatic weather station)

☑ 측정원리

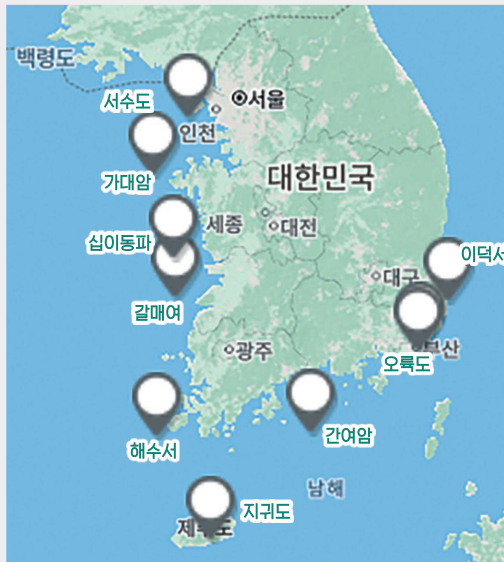
등표기상관측장비(Light house automatic weather station)는 등표나 관측탑 등 해양 구조물에 기상관측장비를 설치하고 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도를 관측하며, 관측자료는 위성 및 부호 분할 다중 접속(CDMA) 등을 통해 전송된다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도
- 측정범위: 일반 기상관측 및 해양기상관측 관측요소 측정범위
- 분 해 능: 일반 기상관측 및 해양기상관측 관측요소 분해능

☑ 활용 분야

연안 기상 및 해상상태 감시, 항만 안전, 수치예보 지원, 기후변화 연구



등표기상관측장비와 설치 지점

12.1.4 해상풍라디오미터(SFMR: Stepped Frequency Microwave Radiometer)

☑ 측정원리

해상풍라디오미터(SFMR: Stepped Frequency Microwave Radiometer)는 항공기에 탑재되어 해면의 마이크로파 방사(밝기온도)를 측정해 해상 풍속과 강수를 산출하는 관측 장비이다. 미국 NOAA의 허리케인 정찰 항공기용으로 개발되었으며, 약 4.5 ~ 7GHz의 여러 주파수 채널에서 밝기온도를 측정한다. 측정값은 교정 후 알고리즘에 적용되어 지표층 풍속과 강수를 실시간으로 추정한다. 해면 거칠기(백파) 증가에 따라 신호가 강화되므로 일반적으로 풍속이 약 15m/s 이상에서 정확도가 높다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 해상풍속, 강우강도
- 측정범위: 10m/s ~ 70m/s, 0 ~ 300mm/h
- 분해능: 0.1m/s, 0.1mm/h

☑ 활용 분야

허리케인·태풍 감시, 해상풍 산출, 강도 추정, 수치모델 입력



해상풍라디오미터(SFMR)

12.2

해양요소

12.2.1 파고부이(Coastal wave buoy)

✓ 측정원리

파고부이(Coastal wave buoy)는 해양기상부이보다 근해에 설치되어 복잡한 지형으로 다르게 나타나는 파고를 관측하고, 자료를 부호 분할 다중 접속(CDMA: Code Division Multiple Access)으로 전송하는 장비이다. 파고부이는 직경 약 70 cm이며, 파고, 파주기, 수온 등을 측정한다. 파고, 파주기 관측은 해수면에서 파고부이 몸체의 운동 가속도를 측정하여 분석한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 파고, 파주기, 수온
- 측정범위: 0m ~ 20m, 3s ~ 18s, -2°C ~ 40°C
- 분해능: 0.1m, 0.1s, 0.002°C

✓ 활용 분야

태풍·해일 감시, 수치예보 지원·개선, 해양기상특보 운영, 수치모델 입력·검증, 기후변화 연구, 해상 교통 안전



파고부이

12.2.2 압력파고계(Pressure-type wave gauge)

☑ 측정원리

압력파고계(Pressure-type wave gauge)는 해수면 아래에 설치하여 수온과 해수 운동에 의한 압력 변화를 측정하고, 관측 자료에 파동이론을 적용해 표면파로 변환시켜 파고를 산출한다. 압력 감지기로는 변형식(Strain)과 수정식(Quartz)이 있다. 변형식은 구조물의 파력 측정에, 수정식은 파랑 관측에 사용된다.

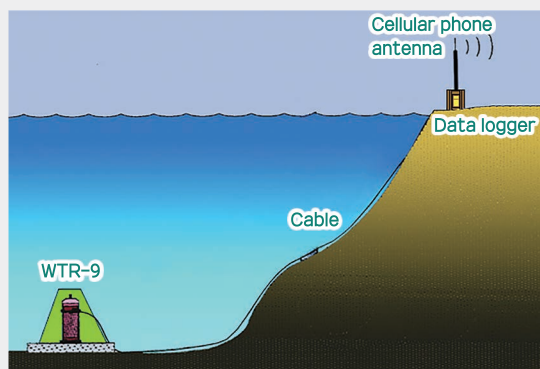
압력식 파고계는 해수면 압력 변화를 0.5초 간격으로 512, 1,024 또는 2,048개의 자료를 수집한다. 관측 자료에서 평균값을 제거한 뒤 스펙트럼 분석으로 최대파고, 유의파고, 주기 등을 산출하며, 압력만을 측정하기 때문에 파향을 관측할 수 없다. 정확한 측정을 위해 수심 10m ~ 20m의 해저에 설치하는 것이 바람직하다. 해저설치로 해양에 설치되는 다른 장비들에 비해 선박이나 어로 활동으로 인한 유실 위험이 낮다. 그리고 유속이 빠른 곳에서는 유속에 의해 파랑이 변할 수 있기 때문에 압력 전달 계수와 수압-수위 환산 과정에서 오차가 발생할 수 있다.

☑ 주요 성능

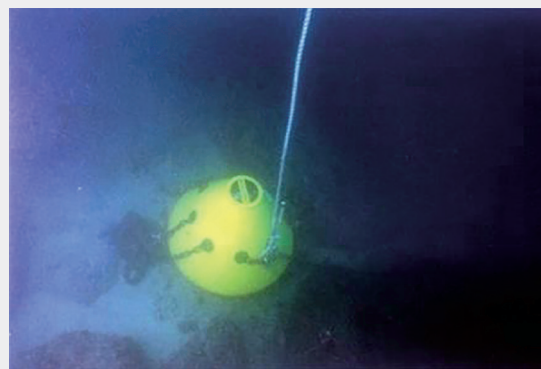
- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0m ~ 50m
- 분해능: 0.1m

☑ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



압력파고계 설치 모식도



해저에 설치된 압력파고계

12.2.3 수중발사형초음파파고계(Upward-looking ultrasonic wave gauge)

✓ 측정원리

수중발사형초음파파고계(Upward-looking ultrasonic wave gauge)는 해저에 설치된 송·수파기에서 초음파를 연직 상방으로 발사하고, 해면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정해 해면까지의 거리를 산출한다.

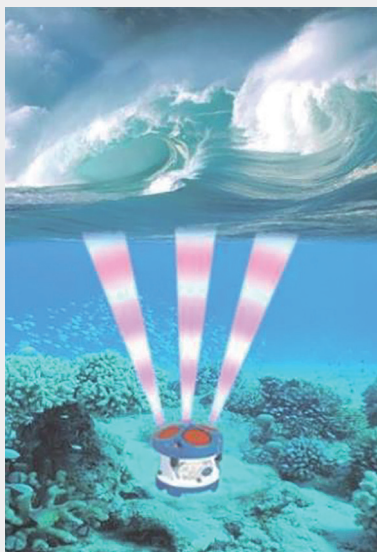
해저에 설치되어 표면 파형을 직접 관측하므로 어업이나 항해 선박의 영향이 적다. 그러나 수질이 복잡하거나 급변하는 해역(쇄파대, 하구 등 해수가 현저하게 교란되는 장소), 연안 구조물이 인접하여 초음파 신호의 반사가 영향받는 곳, 선박 항해가 빈번한 곳, 그리고 강풍에 따른 쇄파가 잦은 곳에서는 관측 오차가 발생할 수 있다. 또한 해저 바닥에 설치되므로 수심이 깊은 해역에서는 설치가 어렵다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0m ~ 50m
- 분해능: 0.1 m

✓ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



수중발사형초음파파고계

12.2.4 공중발사형초음파파고계(Downward-looking ultrasonic wave gauge)

☑ 측정원리

공중발사형초음파파고계(Downward-looking ultrasonic wave gauge)는 송·수신기를 공중에 설치하여 초음파를 연직 하향으로 발사하고, 해면에서 반사되는 시간을 측정해 파고를 산출한다. 대기 중에서 초음파의 전파속도가 수중에 비해 늦고 온도 변화에 대한 속도 변화를 무시할 수 없기 때문에 온도보정 회로가 내장되어 있다. 그리고 바람이나 강수 시에는 신호 오차가 발생할 수 있다. 측정범위는 15m 정확도는 약 10mm이며, 관측 자료는 0.5초 간격으로 수집·전송된다.

조석 변화가 큰 해양환경에서는 운용에 제한이 있으며, 특히 조간대나 해안가에서는 파의 회절, 굴절, 반사로 파 특성이 왜곡되어 관측될 수 있다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0m ~ 50m
- 분해능: 0.1m

☑ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



공중발사형초음파파고계 설치 모습

12.2.5 마이크로파레이더파고계(Microwave radar wave gauge)

☑ 측정원리

마이크로파레이더파고계(Microwave radar wave gauge)는 마이크로파 레이더 파고계(microwave radar wave gauge)는 마이크로파를 이용해 해면에서 반사·산란되는 신호를 분석하여 파랑을 관측하는 장비로, 6개의 안테나가 각각 약 30°를 담당해 총 180° 범위를 탐지한다. 각 안테나는 약 0.5초 간격으로 자료를 샘플링하며, 수집된 자료는 스펙트럼 분석을 통해 유의파고, 최대파고, 주기, 파향 등을 산출한다. 전방 약 180°는 직접 관측하고, 후방은 신호 처리로 파향을 추정한다.

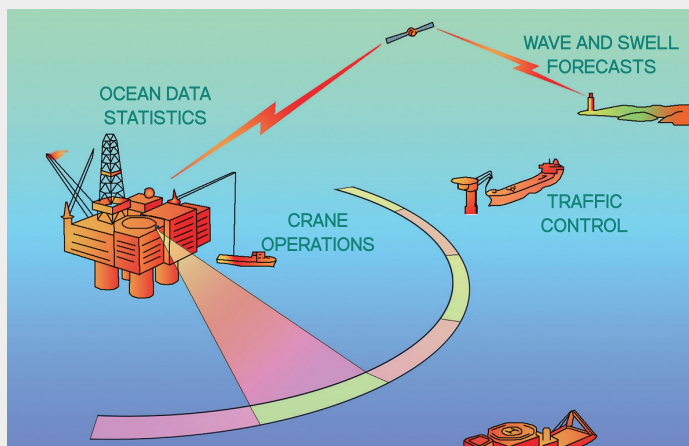
장비는 해상 관측탑에 설치되며, 설치 높이는 20 ~ 100m로 전방 180° 시야에 장애물이 없어야 한다. 또한 수심은 25m 이상이 적합하다. 비나 눈의 영향을 비교적 작으나, 해수면이 매우 고요하면 반사신호가 약해 잡음이 증가할 수 있다. 일반적으로 풍속이 2.0m/s 이상일 때 관측 정확도가 높다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0.2m ~ 30m
- 분해능: 0.1m

☑ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



마이크로파레이더파고계

12.2.6 영상레이더파고계(Imaging radar wave gauge)

☑ 측정원리

영상레이더파고계(Imaging radar wave gauge)는 X 밴드 레이더 영상을 이용해 해면 파랑을 관측하는 시스템으로, 레이더 영상 이미지를 스펙트럼 분석하여 유의파고, 최대파고, 파 주기 등을 산출한다.

레이더 신호는 해면에서 후방산란되어 영상의 밝기가 해면 거칠기를 반영한다. 레이더 영상은 극좌표 자료를 직각좌표로 변환해 표시하며, 이때 파면은 곡선 형태로 나타난다. 이는 중력파에 의해 해면 거칠기가 변조되기 때문이다. 파랑 관측의 최적 범위는 레이더와 해면 사이의 입사각이 약 1°~10°일 때로, 1° 이하에서는 반사 신호가 약하고 10° 이상에서는 파랑 표현이 과도해 예고 품질이 저하된다.

아래의 영상레이더파고계는 제주도 고산에 설치된 장비로, 관측 탑의 높이는 3m이며, 레이더 회전속도는 분당 48회이다. 자료수집 영역에서 검은색 사각 부분이 파고계에 의해 관측 구역이며 해안으로부터 1.5km 떨어져 있다. 관측 영역은 780m × 780m의 정방형이다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0.5m ~ 20m
- 분해능: 0.1m

☑ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



영상레이더파고계(제주 고산)

12.2.7 해일파고계(Tsunami wave gauge)

✓ 측정원리

해일파고계(Tsunami wave gauge)는 초음파 송수신기를 공중에 설치하여 초음파를 연직 하향으로 발사하고, 해면에서 반사되어 돌아오는 시간을 거리로 환산해 수면 높이를 측정한다. 이 장비는 초음파감지기, 온도 보정용 온도센서, 자료 전송용 통신장비, 설치 지지대로 구성된다.

관측된 해수면 높이는 변환기를 거쳐 통신망으로 기상청에 전송된다. 기상청 본청의 수신 프로그램은 경보시스템에 실시간으로 자료를 표출하고 파고를 분석한다. 위험 기상이나 지진해일이 발생하였을 때 경보음을 제공한다. 또한 수집 자료의 표출은 그래픽으로 표시되며 표출 시간과 간격을 설정할 수 있다.

관측지점에서 해수면이 급격히 변하거나 실제 수면과 예상 조위면의 차이가 설정값을 초과하면 경보를 발생시킨다. 또한 후처리를 통해 평균파고, 유의파고, 최대파고, 파고 스펙트럼 등을 산출한다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 파고
- 측정범위: 0m ~ 15m
- 분해능: 0.1m

✓ 활용 분야

지진해일 및 해일 감시, 해양 재해 예방·연구, 항만 설계, 해상 안전, 기후변화 감시



해일파고계

12.2.8 초음파해류측정기(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)

☑ 측정원리

초음파해류측정기(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)는 수중 하우징에 다중 빔 송·수신 변환기, 전자 제어부, 온도센서(선택적 압력센서), 전원 및 통신 모듈로 구성된다. 송신된 초음파가 수중 부유 입자에 산란해 되돌아오는 신호의 주파수 이동(도플러 효과)을 분석해 수층별 유속 벡터를 산출한다.

초음파해류측정기는 해저 고정형 또는 부이·선박에 설치하여 약 300 ~ 1200kHz의 초음파를 송출하고, 반사 신호를 수직 셀(bin)별로 분석해 유속 프로파일을 산출한다. 자료는 케이블을 통한 실시간 전송 또는 내부 메모리·배터리를 이용한 자율 모드로 저장되며, VmDas와 WinRiver 등의 소프트웨어로 설정·수집·분석한다. 설치 시 내장 나침반으로 방향을 교정하고, O-링 점검과 방오 처리를 통해 장기간 안정적으로 운용한다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 유향, 유속
- 측정범위: 0° ~ 360°, 0 ~ 5m/s
- 분해능: 0.1°, 0.1m/s

☑ 활용 분야

해양학 연구, 연안 및 항만 유속 모니터링, 항로 안전 관리, 기후변화 연구



초음파해류측정기

12.2.9 수온염분측정기(CTD: Conductivity-temperature-depth sensor)

☑ 측정원리

수온염분측정기(CTD: Conductivity-temperature-depth sensor)는 전도도·온도·압력 센서와 펌프, 데이터 저장 및 전원 모듈, 그리고 RS-232 통신 인터페이스로 구성된다. 해수의 전기전도도와 온도를 측정해 염분을 계산하고, 압력으로 수심을 산출하여 해수의 물리적 특성을 얻는다.

관측은 장비를 수직으로 투하하여 0.5초 ~ 수 분 간격으로 연속 샘플링하여 수심별 프로파일을 얻거나, 계류 설치로 장기간 자료를 수집하는 방식으로 수행된다. 수집 자료는 내부 메모리에 저장되며, 회수 후 보정·처리되어 염분, 밀도, 음속 등 2차 자료로 변환된다. 장비는 수천 미터 수심까지 운용 가능하며, 견고한 하우징과 교체형 배터리로 장기 현장 관측에도 적합하다.

☑ 주요 성능

- 관측요소: 수온, 염분, pH 등
- 측정범위: -5°C ~ 35°C, 0PSU ~ 42PSU, 0pH ~ 14pH
- 분 해 능: 0.001°C, 0.001PSU, 0.01pH

☑ 활용 분야

해양 연구, 수직 수온·염분·밀도 프로파일 관측, 연안 및 심해 환경 모니터링



수온염분측정기

12.2.10 아르고플로트(ARGO float)

✓ 측정원리

아르고(ARGO: Array for Real-time Geostrophic Oceanography) 프로그램은 자율 플로트를 이용해 해양의 3차원 정보를 실시간으로 수집하는 국제 해양관측 사업이다. 아르고플로트(ARGO float)는 전원을 켜고 바다에 투하되면 해수의 전기전도도를 감지해 관측 모드로 전환된다. 장비는 설정된 깊이까지 잠수하여 해류를 따라 일정 시간 표류한다. 이후 플로트는 부력을 조절해 수심에서부터 해수면까지 상승하면서 수온, 염분, 수심을 연속적으로 관측한다. 해수면에 도달하면 GPS로 위치를 확인하고, 위성(ARGOS)을 통해 관측 자료를 송신한다.

송신이 끝난 플로트는 다시 잠수하여 동일한 관측 과정을 반복한다. 플로트는 수온·염분·수심을 측정하는 센서를 갖추고, 잠수-표류-상승 과정을 거쳐 자료를 수집한다. 해수면 도달 후 GPS로 위치를 확인하고 ARGOS 위성을 통해 자료를 송신한 뒤 다시 잠수하며, 평균 수명은 약 4 ~ 5년이다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 수심, 수온, 염분
- 측정범위: 1,000m ~ 2,000m, -2.5°C ~ 35°C, 2PSU ~ 42PSU
- 분 해 능: 2dbar, 0.002°C, 0.01PSU

✓ 활용 분야

라그랑지안관측, 수치예보 초기장, 해양·기후변화 연구, 해류 연구, 해양생지화학 감시



아르고플로트 및 투하장면

12.2.11 해양글라이더(Ocean glider)

✓ 측정원리

해양글라이더(Ocean glider)는 오일펌프와 피스톤으로 부력을 조절하여 잠수와 상승을 반복하며 전진하는 자율 무인 관측장비이다. 추진체 없이 부력 변화로 이동하기 때문에 전력 소모가 적고 소음이 낮아 위험 기상에서도 장기간 연속 관측이 가능하다.

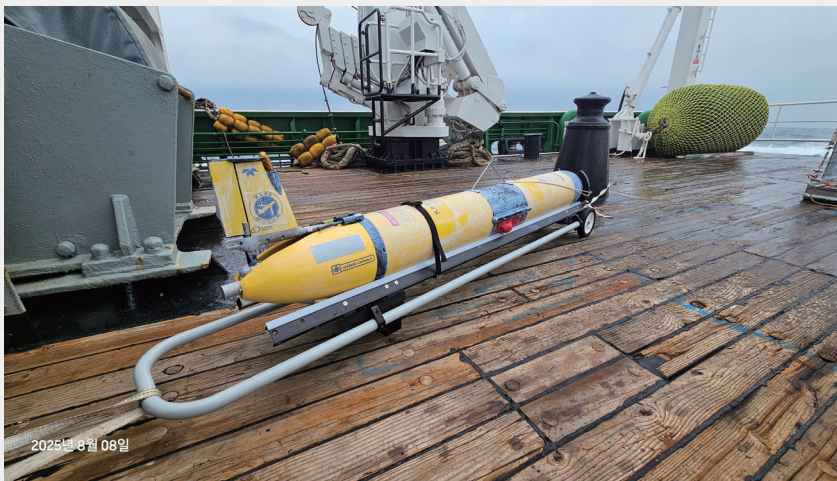
장착된 CTD 센서로 수온·염분·압력의 수직 분포를 측정하며, 용존산소, 엽록소 형광, 음향 센서 등을 추가해 다양한 해양환경 요소를 관측할 수 있다. 항법 센서로 이동 경로를 추적하고, GPS로 위치를 보정하며, Iridium 위성을 통해 준실시간으로 자료를 전송한다. 또한 전면부의 음향식 고도계(Altimeter)로 해저면과의 거리를 측정해 안전한 잠수·상승을 제어한다. 수주에서 수개월에 이르는 장기 임무 동안 해양의 연직 구조와 열용량 변화를 고해상도로 관측할 수 있다.

✓ 주요 성능

- 관측요소: 수온, 염분, 압력(수심) 등
- 측정범위: $-5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$, 0PSU \sim 40PSU, 수심 m \sim 1000m
- 분 해 능: $0.001^{\circ}\text{C} \sim 0.002^{\circ}\text{C}$, 0.001PSU, 0.1dbar

✓ 활용 분야

해양환경관측, 위험기상(태풍) 모니터링, 해양열용량 분석, 해양중규모변동성 연구



해양글라이더

XIII



부록

210

222

형식승인 관련 용어
찾아보기

형식승인 관련 용어

계기(Instrument)

- 계기의 요소는 센서와 변환기 및 데이터 표시이다.
- 유리 속 수은 온도계는 데이터 표시 요소, 즉, 눈에 보이는 수은 기둥과 부착된 눈금이 포함되어 있으므로 계기이다.

계통오차(Systematic measurement error)

- 반복측정에서 변하지 않거나 예측할 수 있게 변하는 측정오차의 성분이다.
- [주 1] 계통오차에 대한 기준값은 참값이 되거나, 무시할 만한 측정불확도를 가진 측정표준의 측정값.
- [주 2] 계통오차와 그 원인은 알려질 수도 그렇지 않을 수도 있다. 보정은 알려진 계통오차를 보상하기 위해 적용될 수 있다.
- [주 3] 계통오차는 측정오차에서 우연오차를 뺀 값이다.

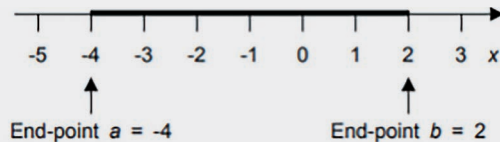
교정(Calibration)

- 측정기 정밀정확도의 지속적 유지를 위해 상위 표준과 주기적으로 비교하는 것을 말하는데, 반드시 국가측정표준과 연결되어 측정의 소급성을 확보하여야 유효하다.

구간(Interval)

- 기호 $[a, b]$ 와 함께 사용되는데, $a \leq x \leq b$ 를 만족하는 실수 집합 x 를 나타낸다.

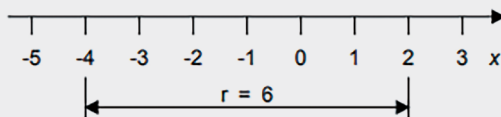
[예] $[-4, 2]$



구간의 범위(Range of interval)

- 범위라고도 하며, 구간 $[a, b]$ 의 범위는 $b-a$ 로 표시한다.
- 전폭(Span)이라는 용어는 때때로 범위의 개념으로 사용된다.

[예] $r[-4, 2] = 2 - (-4) = 6$



국제단위계(ISU: International System of Units)

- 프랑스어 *Système International d'Unités*로부터 SI로 표기한다.
- 국제도량형총회(CGPM: Conference Generale des Poids et Mesures)에서 채택된, 국제적 양의 체계, 단위의 명칭 및 기호, 일련의 접두어와 명칭 및 기호 그리고 그들의 사용 규칙에 바탕을 둔 단위계이다.

기본단위의 명칭과 기호

Base quantity 기본량	Base unit 기본 단위	
Name 명칭	Name 명칭	Symbol 기호
Length 길이	Metre 미터	m
Mass 질량	Kilogram 킬로그램	kg
Time 시간	Second 초	s
Electric current 전류	Ampere 암페어	A
Thermodynamic temperature 열역학적 온도	Kelvin 켈빈	K
Amount of substance 물질량	Mole 몰	mol
Luminous intensity 광도	Candela 칸델라	cd

SI 접두어

Factor 인자	Prefix 접두어	
	Name 명칭	Symbol 기호
10^{24}	Yotta 요타	Y
10^{21}	Zetta 제타	Z
10^{18}	Exa 엑사	E
10^{15}	Peta 페타	P
10^{12}	Tera 테라	T
10^9	Giga 기가	G
10^6	Mega 메가	M
10^3	Kilo 킬로	k
10^2	Hecto 헥토	h
10^1	Deca 데카	da
10^{-1}	Deci 데시	d
10^{-2}	Centi 센티	c
10^{-3}	Milli 밀리	m
10^{-6}	Micro 마이크로	μ
10^{-9}	Nano 나노	n
10^{-12}	Pico 피코	p
10^{-15}	Femto 펨토	f
10^{-18}	Atto 아토	a
10^{-21}	Zepto 젠포	z
10^{-24}	Yocto 옥토	y

기기측정불확도(Instrumental measurement uncertainty)

- 기기측정불확도는 측정기기 또는 측정시스템의 교정을 통해서 얻어진다. 예외적으로 일차측정표준에 대해서는 다른 방법이 사용된다.
- 기기불확도는 측정불확도의 B형 평가에 사용된다.

기기편향(Instrumental bias)

- 반복된 지시값의 평균에서 기준값을 뺀 값이다.

기기표류(Instrumental drift)

- 측정 기기의 측정학적 특성이 변화하여 시간에 따라 연속적이거나 증분되는 지시값의 변화를 뜻한다.

기본량(Base quantity)

- 길이, 질량, 시간, 전류, 열역학적 온도, 물질량, 광도의 7개 기본량을 기반으로 한 양을 뜻한다.
- [예] 물질량 분율이 3mmol/mol인 경우, 수치는 3이고 단위는 mmol/mol이다. 단위 mmol/mol은 숫자로 표시하면 0.001이지만 이 0.001이라는 수는 수치의 일부가 아니며, 수치는 어디까지나 3이다.

기준값(Reference value)

- 같은 종류의 양의 값과의 비교에 기준으로 사용되는 양의 값이다.
- 지시값에 보정값을 더한 것이다.
- 기준값은 측정량의 참값 또는 협정값이 될 수 있는데, 전자의 경우에는 그 값을 알 수 없으며, 후자의 경우는 값이 알려져 있다.
- 일반적으로 기준값은 그 연계된 측정불확도와 함께 다음과 관련하여 제공된다.
 - a) 물질, 예를 들어 인증표준물질
 - b) 장치, 예를 들어 안정화 레이저
 - c) 기준측정절차
 - d) 측정표준의 비교

눈금(Calibration)

- 센서입력이 일정하게 유지되거나 정확하게 정의된 방식으로 변경되고 센서 출력이 측정되는 과정
- 목적은 전달방정식 또는 전달함수라고 하는 센서 입출력 관계를 결정하고 보정식의 계수를 결정하는 것이다.

디지털 신호(Digital signal)

- 정보내용이 이산단계에서 변하는 신호를 뜻한다.
- 단계 크기는 디지털화된 신호의 구성을 임의로 작게 만들 수 있다.

드리프트(Drift)

- 기기의 물리적 변화로 인한 출력의 변화를 뜻한다.
- 교정과정을 거친 지 얼마 안 된 기기는 드리프트 오류가 존재하지 않는다.
- 드리프트 오차는 물리적 변화의 성격에 따라 점진적으로 또는 갑자기 발생할 수 있다.
- 드리프트는 일반적으로는 예측할 수 없으며 재교정을 통해서만 수정할 수 있다.

명목값(Nominal quantity value)

- 측정기기 또는 측정시스템의 적절한 사용을 위해 지침을 제공하는 양의 반올림된 값 또는 근사값을 뜻한다.
- [예] 표준저항 위에 표기된 명목값으로서 100 Ω, 단일 눈금 용적 측정용 플라스크에 표기된 명목값으로서 1000ml, 보관을 위한 최고 섭씨온도로서 -20℃

명목특성(Nominal property)

- 크기가 없는 현상, 물체 또는 물질의 특성을 뜻한다.
- [예 1] 인간의 성별
- [예 2] 페인트 시료의 색
- [예 3] ISO (International Organization for Standardization)의 두 자리 국가 기호

물적척도(Material measure)

- 여러 종류의 설정된 양의 값을 영구적으로 재현하거나 공급하는 측정기기를 뜻한다.
- [예] 표준분동, 표준전지저항, 자, 게이지 블록, 표준신호발생기, 인증표준물질 등

보정(Correction)

- 추정된 계통효과에 대한 보상을 뜻한다.
- 보정은 계통오차를 보상하기 위해 적용될 수 있다.

분해능(Resolution)

- 감지할 수 있을 정도의 지시값 변화를 일으키는 측정량의 최소 변화량을 뜻한다.

불확도(Uncertainty of measurement)

- 측정 및 분석결과와 관련하여 측정량을 합리적으로 추정된 값의 분산특성을 나타내는 척도이다.

선형성(Linearity)

- 지정된 선형특성 기준에 대해 측정기기가 신호를 출력하는 성질이다.

센서(Sensor)

- 측정될 양을 가지고 있는 현상, 물체, 또는 물질에 의해 직접적인 영향을 받는 측정시스템의 요소이다.

[예] 백금저항온도계의 감지코일, 터빈유속계의 회전자, 압력계의 부르동관, 수준계의 부구, 분광광도계의 광전지, 온도의 함수로 색을 변화시키는 서모트로픽 액정

- 분야에 따라 검출기(Detector)를 의미하기도 한다.
- 측정량으로부터 에너지를 받아 측정량과 어떤 식으로든 관련된 출력신호를 생성하는 요소.
- 일반적인 출력신호는 기계적 편향 또는 위치, 회전 속도, 저항, 전압, 주파수 등이다.
- 센서는 항상 측정된 매체에서 약간의 에너지를 추출하고 신호에 약간의 노이즈를 추가하기 때문에 완벽한 측정은 불가능하다고 볼 수 있다.
- 측정량은 아날로그 변수이고 센서 출력도 항상 아날로그 신호이다.
- 일부 기기에서는 아날로그-디지털 변환 요소가 센서와 밀접하게 통합되어 있다. 그러면 출력이 디지털로 인식될 수 있지만 기기를 자세히 살펴보면 센서와 변환기를 구분할 수 있다.

식별문턱(Discrimination threshold)

- 지시값에 검출 가능한 변화를 일으키지는 않는 측정량의 최대 변화량을 뜻한다.

신호조정(Signal conditioning)

- 신호를 한 형태에서 다른 형태로 변환(저항에서 전압으로)할 때 진폭 증가, 노이즈 감소(필터링) 또는 온도 변화와 같은 부작용을 막기 위해 신호에 수행되는 작업압력센서의 감도를 뜻한다.

아날로그 신호(Analog signal)

- 정보내용이 측정량에 비례하는 신호이다.
- 전기온도센서에 전압출력이 있는 경우 전압신호는 센서의 온도에 의존한다.
- 전압출력은 온도에 비례하고 이러한 이유로 센서출력을 아날로그 신호라고 한다.

안정성(Stability)

- 외부의 작용 없이는 어떠한 변화도 하지 않는, 또는 평형점을 벗어나면 원래의 상태로 되돌아가려는 힘이 작용하는 성질이다.

양(Quantity)

- 현상, 물체 또는 물질의 크기를 수와 기준으로 표시할 수 있는 특성이다.
- 일반 양과 개별 양으로 구분할 수 있다.

General quantity		Individual quantity
Length, l	Radius, r	Radius of circle a , r_a or $r(a)$
	Wavelength, λ	Wavelength of the sodium D radiation, λ_0 or λ (D; Na)
Energy, E	Kinetic energy, T	Kinetic energy of particle i in a given system, T_i
	Heat, Q	Heat of vaporization of sample i of water, Q_i
Electric charge, Q		Electric charge of the proton, e
Electric resistance, R		Electric resistance of resistor i in a given circuit, R_i

양의 값(Quantity value)

- 양의 크기를 표현하는 수와 기준이다.

[예 1] 주어진 막대의 길이: 5.34m 또는 534cm

[예 2] 주어진 물체의 질량: 0.152kg 또는 152g

[예 3] 주어진 호의 곡률: 112m^{-1}

[예 4] 주어진 시료의 섭씨온도: -5°C

영향량(Influence quantity)

- 직접측정에서 실제로 측정되는 양에 영향을 미치지 않지만 지시값과 측정결과 사이의 관계에 영향을 미치는 양을 뜻한다.

[예 1] 교류의 일정 진폭을 전류계로 직접 측정할 때의 주파수

[예 2] 막대의 길이측정을 위해 사용되는 마이크로미터의 온도, 그러나 측정량의 정의로 들어갈 수 있는 막대 자체의 온도는 아니다.

우연오차(Random measurement error)

- 반복 측정에서 예측할 수 없이 변하는 측정오차의 성분을 뜻한다.

- 우연오차에 대한 기준값은 같은 측정량을 무한히 반복측정하여 얻은 평균값이다.

- 반복측정의 우연오차는 기댓값과 분산으로 요약될 수 있는 분포를 형성한다. 이 기댓값은 보통 0으로 가정된다.

- 우연오차는 측정오차에서 계통오차를 뺀 값이다.

유도량(Derived quantity)

- 어떤 양의 체계에서 그 체계의 기본량에 의하여 정의되는 양이다.

[예] 길이와 질량이 기본량인 양의 체계에서 질량

밀도는 질량과 부피(길이의 세제곱)의 비로 정의되는 유도량이다.

유효화(Validation)

- 명시된 요구사항이 의도된 사용에 적절한가를 검증하는 것이다.

[예] 통상적으로 물에 있는 질소의 질량농도의 측정에 사용되는 측정절차는 사람의 혈청측정에 대해서도 유효화 될 수도 있다.

응답시간(Response time)

- 기기 시스템에 명령을 입력하고 응답이 시작되기까지 걸린 시간을 뜻한다.

인증표준물질(Certified reference material)

- 공인된 기구에서 발급된 문서에 그 특성값과 연계불확도 그리고 소급성을 명시한 표준물질이다.

정격작동조건(Rated operating condition)

- 측정기기 또는 측정시스템이 설계된 대로 성능을 발휘할 수 있도록 하는 작동 조건을 뜻한다.
- 정격작동조건은 일반적으로 측정되는 양과 영향량에 대한 값의 구간을 명시한다.

정확도(Accuracy)

- 계측기의 정확도는 해당 계측기로 이루어진 측정이 사실과 일치하거나 오류가 없다는 것을 의미한다.
- 일반적으로 계측기의 정확도는 숫자가 적을수록 정확도가 낮다라는 의미보다 부정확도가 낮다라는 것을 의미한다.

지시값(Indication)

- 측정기기 또는 측정시스템에 의해 산출되는 양의 값을 뜻한다.
- 지시값은 시각 또는 청각의 형태로 나타내거나 다른 기기로 전달될 수 있다.
- 지시값은 아날로그 출력이면 표시기 상에서 지시침의 위치로, 디지털 출력은 표시되거나 인쇄된 숫자로, 코드 출력은 코드패턴으로, 물적 척도는 설정된 양의 값으로 주어진다.
- 지시값과 그에 해당하는 측정된 양의 값은 반드시 같은 종류의 양의 값이 될 필요는 없다.

참값(True value)

- 측정량의 정의와 일치하는 값이다.
- 측정을 서술하는 오차 접근법에서 참값은 유일하지만 실제로는 알 수 없는 것으로 여겨진다. 불확도 접근법에서는 측정량의 정의가 본질적으로 완전할 수 없기 때문에 정의와 일치된 단일 참값이 아닌 참값의 집합이 존재한다. 그러나 원리적으로나 실제로 이 값들은 알 수 없는 것이다. 다른 접근법에서는 참값의 개념을 완전히 배제하고, 결과의 유효성을 평가하기 위해서 측정결과의 측정회환성 개념을 사용한다.

최대허용오차(Maximum permissible error)

- 한계값이 있을 때 주어진 측정, 측정기기 또는 측정시스템의 기술명세서나 규정에 따라 허용되는 알려진 기준값에 대한 오차에서 최대의 극한값을 뜻한다.

최대허용측정오차(최대허용오차, 오차의 한계)(Maximum permissible measurement error, Maximum permissible error, Limit of error)

- 기준값에 대한 측정오차의 극한값이고, 측정오차는 주어진 측정, 측정기기 또는 측정시스템의 기술명세서나 규정에 따라 허용된다.
- 일반적으로 최대허용오차 또는 오차의 한계라는 용어는 두 개의 한계값이 있을 때 사용된다.
- 허용오차라는 용어는 최대허용오차를 나타내기 위해서 사용되어서는 안 된다.

측정(Measurement)

- 어떤 양에 대하여 합리적으로 여겨지는 하나 또는 그 이상의 값을 실험적으로 얻는 과정이다.

측정결과(Measurement result)

- 측정량에 대한 값의 집합과 이용할 수 있는 관련 정보를 뜻한다.
- 일반적으로 측정결과는 양의 값과 관련하여, 어떤 양의 값이 다른 양의 값보다 측정량을 더 잘 나타내는지에 관한 적절한 정보를 포함한다. 이것은 확률밀도함수의 형태로 표현될 수 있다.
- 측정결과는 일반적으로 하나의 측정값과 측정불확도로 표현된다. 만약 측정불확도를 어떤 목적에 따라 무시할 수 있다면, 그 측정결과는 하나의 측정값으로 표현될 수 있다. 이는 많은 분야에서 측정결과를 표현하는 일반적인 방법이다.

측정기기의 안정도(Stability of a measuring instrument)

- 측정학적 특성이 시간에 대하여 일정하게 유지되는 측정기기의 특성을 뜻한다.
- [예 1] 측정학적 특성이 지정된 양만큼 변화하는 데 걸리는 시간으로 정량화
- [예 2] 지정된 시간 동안의 특성의 변화로 정량화

측정단위(Measurement unit)

- 규칙에 의해 정의되고 채택된 실수 스칼라의 개별 양으로, 같은 종류의 다른 수량을 비교한 비율이며 결과적으로 숫자로 나타낸다.

측정량(Measurand)

- 측정하고자 하는 양이다.
- 측정이 수행되는 조건과 측정시스템을 포함하는 측정은 현상, 물체 또는 물질을 변화시킬 수도 있으며, 그렇게 측정되는 양은 정의된 측정량과 다를 수 있다. 이런 경우는 적당한 보정이 요구된다.
- [예 1] 전지의 양극 사이의 전위차는 측정의 수행을 위해 높은 내부 전도도가 있는 전압계를 사용하면 감소할 수 있다. 개방 회로 전위차는 전압계와 전지의 내부저항으로부터 계산된다.
- [예 2] 주위 온도 23°C에서 평형상태의 강철막대길이는 측정량으로 명시된 온도 20°C에서의 길이와 다를 것이다. 이 경우 보정이 필요하다.

측정방법(Measurement method)

- 측정에 사용된 작업의 논리적 구성에 대한 일반적 설명이다.
- [주] 측정방법은 치환법, 차등법, 영위법 또는 직접 측정법, 간접 측정법 등이 있다.

측정변환기(Measuring transducer)

- 입력량에 대해 명시된 관계로 출력량을 제공하는 측정 장치이다.
- [예] 열전대, 전류변환기, 변형계이지, pH 전극, 부르동관, 바이메탈 띠

측정불확도(Measurement uncertainty)

- 측정량에 대한 측정값의 분산 특성을 나타내는 음이 아닌 파라미터를 뜻한다.

- 계통효과로부터 발생하는 성분을 포함한다. 이는 보정과 연관된 성분, 그리고 정의불확도 뿐만 아니라 측정표준에 부여된 양의 값에 연관된 성분이다.
- 측정불확도는 표준편차로 나타내는 표준측정불확도로 쓰이기도 한다.
- A형 측정불확도의 특성은 표준편차로 나타낼 수 있다.
- B형 측정불확도의 특성은 표준편차뿐만 아니라 경험이나 기타 정보에 근거한 확률밀도함수로 나타낼 수 있다.

측정추적성(Metrological traceability)

- 명시된 불확실 정도의 범위 내에서 연구개발, 산업생산, 시험검사 현장 등에서 측정한 결과가 국가측정표준 또는 국제측정표준과 일치되도록 연속적으로 비교하고 교정하는 체계를 말한다.

측정시스템의 감도(Sensitivity of a measuring system)

- 지시값 변화에 대한 측정량 변화의 비이다.
- [예] 백금저항 온도계의 온도 변화와 그에 대응하는 저항 변화의 비

측정오차(Measurement error)

- 측정값에서 기준값을 뺀 값이다.
- 측정오차의 개념은 다음 두 가지 경우에 모두 사용될 수 있다.
 - a) 참조할 기준값이 단일값이면 측정오차를 알 수 있다.
 - b) 측정량이 유일한 참값이나 무시될만한 범위의 참값들 집합으로 표현되면 측정오차를 알 수 없다.

측정절차(Measurement procedure)

- 측정모델을 기초로 측정결과를 얻기 위한 계산을 포함하며, 하나 이상의 측정원리와 주어진 측정방법에 따른 측정에 대해 상세히 설명하는 것을 뜻한다.
- 측정절차는 때로는 표준운영절차라고 부르며, 줄여서 SOP (Standard Operation Procedure)라고 쓴다.

측정정밀도(Measurement precision)

- 명시된 조건에서 같거나 비슷한 대상에 대해서 반복 측정하여 얻은 지시값들 또는 측정값들이 일치하는 정도를 뜻한다.
- 측정정밀도는 보통 명시된 측정조건 아래에서 표준편차, 분산, 변동계수와 같은 비정밀 척도에 의하여 수치적으로 표현될 수 있다.
- 측정정밀도는 측정반복성, 중간측정정밀도, 그리고 측정재현성을 정의하는 데 사용된다.
- 측정정밀도는 측정정확도의 뜻으로 오용되기도 한다.

측정정확도(Measurement accuracy)

- 측정값과 측정량의 참값이 일치하는 정도를 뜻한다.
- 측정정확도의 개념은 양이 아니어서 수치로 나타낼 수 없다. 어떤 측정이 더 작은 측정오차를 제공할 때, 그 측정이

더 정확하다고 말한다.

- 측정정확도는 때때로 측정량에 대한 측정값들이 일치하는 정도로 이해된다.

측정재현성(Measurement reproducibility)

- 장소, 운영자, 측정시스템 등이 다른 조건에서 같거나 비슷한 대상에 대하여 반복 측정할 때의 측정정밀도를 뜻한다.

측정편향(Measurement bias)

- 계통오차의 추정값이다.

측정표준(Measurement standards)

- 양의 값과 측정불확도를 고려한 기준으로 사용되는 양의 정의에 대한 구현을 뜻한다.

[예] 표준측정불확도가 $3\mu\text{g}$ 인 1kg 질량 측정표준, 표준측정불확도가 $1\mu\Omega$ 인 100Ω 표준저항

- 주어진 양의 정의에 대한 구현은 측정시스템, 물적척도 또는 표준물질에 의해 이루어질 수 있다.
- 측정표준은 흔히 같은 종류의 다른 양에 대한 측정값과 이에 연계된 측정불확도를 설정하는 기준으로 사용되며, 교정을 통해 다른 측정표준, 측정기기 또는 측정시스템의 측정소급성을 확립한다.
- 여기서 구현이란 용어는 가장 일반적인 의미로 사용되었다. 이것은 구현의 세 가지 절차를 나타낸다. 첫째는 가장 엄밀한 의미의 구현으로서, 측정단위의 정의를 물리적으로 구현하는 것이다. 둘째는 재현의 의미로서, 측정단위를 정의로부터 구현하는 것이 아니라, 미터의 측정표준을 확립하기 위해 주파수 안정화 레이저를 사용하거나 볼트를 위해 조셉슨 효과를 이용하고, 옴을 위해 양자홀 효과를 이용하는 예와 같이, 물리적 현상에 기초하는 매우 재현성이 높은 측정표준을 만드는 것이다. 셋째는 측정표준으로서 물적척도를 채택하는 것을 말한다. 이것은 1kg에 관한 측정표준의 사례에 해당한다.
- 영어에서는 때로는 Realization 대신에 Embodiment가 사용되기도 한다.

편향(bias)

- 입력범위에 걸쳐 균일한 기기 오류를 뜻한다.
- 일반적으로 보정할 때 검출된 편향을 교정하는 항을 포함한 보정 방정식으로 편향을 제거한다.
- 기기편향은 드리프트로 인해 시간이 지남에 따라 변경될 수 있으므로 다른 교정방법이 필요하다.

포함구간(Coverage interval)

- 확률이 명시된 측정량의 참값 집합을 포함하는 구간을 뜻한다.

표류(Drift)

- 브라운 운동을 하는 입자가 외부의 힘을 받으면서 일정한 방향으로 움직임 또는 그런 현상을 뜻한다.

7) 브라운 운동: 1827년 영국의 식물학자 로버트 브라운(Brown Robert)가 발견한 현상으로, 액체나 기체의 속에 있는 물체의 표면에 분자가 충돌함으로 인해 미소입자가 불규칙하게 움직이는 현상을 말한다.

표준물질(Reference material)

- 측정이나 명목특성의 시험에 사용할 목적으로 만들어진, 명시된 특성에 관하여 매우 균질하고 안정된 물질을 뜻한다.
- 표준물질은 명목특성뿐 아니라 양을 구현하는 물질도 포함한다.
- [예] 명시된 순도의 물. 이 물의 동적점도가 점도측정기의 교정에 사용된다.
- 표준물질은 특별 제작한 장치에 통합되기도 한다.
- 어떤 표준물질은 한 단위계 밖의 측정단위에 측정소급성을 가진 양의 값을 가진다. 이런 물질에는 세계보건기구에서 국제단위를 부여한 백신이 포함된다.
- 주어진 측정에서는, 주어진 표준물질만 교정이나 품질보증을 위해서 사용될 수 있다.
- 표준물질의 기술명세서에는 그 물질의 물질추적성을 포함하며, 그 물질의 출처와 제조과정에 대해서 알려주어야 한다.

한계작동조건(Limiting operating condition)

- 정격작동조건에서 계속해서 작동할 때, 측정기기 또는 측정시스템이 손상이나 측정특성의 저하 없이 견뎌야 하는 극단적인 작동 조건을 뜻한다.

찾아보기

ㄱ

가스·에어로졸분석기	185
가스크로마토그래프	154
강수입자측정기	126
건구온도계	022
건습계	040
결빙탐지기	119
고용량미세먼지채취기	172
곡관지중온도계	024
공기역학입자계수기	175
공동감쇠분광기	156
공중발사형초음파파고계	199
공중방사능측정기	164
공진출력분광기	157
광산관계수측정기	179
광학강우강도계	070
광학식강수입자계수기	127
광학식노면상태센서	048
광흡수계수측정기	180
구름·에어로졸입자분석기	123
구름입자계수기	122
구름입자모양측정기	120
구름입자측정기	121
금속시스형백금저항온도계	017
기본기상요소측정장비	096
기상레이더	108
기상입자분광기	132

꽃가루수동관측기	188
꽃가루자동관측기	187

ㄴ

나노입자계수기	124
냉각거울이슬점습도계	038
눈결정이미지측정기	130

ㄷ

다인스풍압풍속계	064
데이터로거	097
두방향풍향계	060
드롭존데	104
등표기상관측장비	194

ㄹ

라디오존데	102
레이더식강수입자계수기	128
레이더식강우감지기	076
레이저식운고계	116
레이저식적설계	082
로빈슨컵풍속계	058
로빛치전천일사계	136

□

마이크로파레이더파고계	200
매립식노면상태센서	047
모발습도계	043
무게식강수량계	069
미세입자측정기	170

ㅂ

바이메탈온도계	019
바이메탈일조계	145
박막형백금저항온도계	018
봉상온도계	023
부르동관온도계	020
부유분진측정기	171
브루어분광광도계	165
비분산적외선가스분석기	159
빙정핵계수기	125

ㅅ

사이편식우량계	071
산림연료수분센서	044
산성도측정기	084
산성우측정기	085
소다	107
수온염분측정기	204
수온온도계	021
수중발사형초음파파고계	198
수평면전천일사계	137

수함량측정기	086
순복사계	147
스카이라디오미터	181
습구온도계	022
식스온도계	028

ㅇ

아네로이드기압계	054
아네로이드자기기압계	055
아르고플로트	205
아스만통풍건습계	042
안개입자측정기	131
알코올온도계	021
압력파고계	197
에어로졸라이다	182
에어로졸성분분석기	186
연직강우레이더	110
연직바람관측장비	105
열선풍속계	065
열전접전온도계	016
열전퇴직달일사계	139
염화리튬이슬점습도계	039
엽면습윤센서	045
영상레이더파고계	201
영상식강수입자계수기	129
영상식강우감지기	077
영상식시정계	094
영상식적설계	080
오존분석기	166
오존존데	167

온습도라디오미터	111
옹스트롬직달일사계	140
원통식설량계	083
원통형강수량계	072
위성측위시스템	112
윈드라이다	106
은반직달일사계	141
응결핵계수기	176
이산화탄소/수증기 가스분석기	158
이산화황분석기	161
이온크로마토그래프	087
이중관온도계	023
일산화탄소분석기	162
임피던스식강우감지기	074
앞싸표면온도계	030

ㄷ

자기전접계수기	098
자외선측정기(UV-A)	149
자외선측정기(UV-B)	150
저수병/우량승	073
저용량미세먼지채취기	173
적설판	078
적외선적설계	079
적외선표면온도계	031
전기저항고분자막습도계	036
전기저항반도체기압계	052
전기전도도측정기	088
전도형강수량계	068
전방산란스펙트로미터	178

전방산란식시정계	092
전자기유도입자계수기	177
절대직달일사계	142
정밀필터복사계	183
정전용량고분자막습도계	037
정전용량반도체기압계	053
정전용량식강우감지기	075
졸단일조계	143
지구복사계	148
지시형전접계수기	099
지중열플럭스센서	032
질소산화물분석기	163

ㄹ

차온식전천일사계	138
철관지중온도계	025
초음파식적설계	081
초음파식풍향풍속계	063
초음파해류측정기	203
최고온도계	026
최저온도계	027
측풍기구	113

ㅋ

캠벨일조계	144
-------	-----

E

탄소입자측정기	174
태양광도계	184
태양흡수분광간섭계	160
토양수분센서	046
통풍건습계	041
통합기상관측장비	095
투과율식시정계	093

표

파고부이	196
표류부이	193
표면온도계	029
풍배형풍속계	059
풍차형풍향풍속계(에어로벤)	062

하

하늘영상관측기	117
해상풍라디오미터	195
해양글라이더	206
해양기상부이	192
해일파고계	202
화살형풍향계	061
회전빔운고계	118
회전식일조계	146

A

3-cup anemometer	059
Absolute pyrheliometer	142
Acid rain analyzer	085
ACOS:	
Automatic Cloud Observation System	117
ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler	203
Aerosol lidar	182
Aethalometer	180
Airborne radiation detector	164
Aircraft integrated meteorological measurement system	096
Alcohol thermometer	021
Aneroid barograph	055
Aneroid barometer	054
Ångstrom pyrheliometer	140
APS: Aerodynamic Particle Sizer	175
ARGO float	205
Arrow-type wind vane	061
Assmann ventilated psychrometer	042

B

Bent-stem soil thermometer	024
Bi-vane, Bi-directional wind vane	060
Bimetal sunshine recorder	145
Bimetal thermometer	019
Bourdon tube thermometer	020
Brewer spectrophotometer	165

C

Campbell–Stokes' sunshine recorder	144
Capacitive polymer film hygrometer	037
Capacitive semiconductor barometer	053
Capacitive-type rain detector	075
CCNC: Cloud Condensation Nuclei Counter	122
CCP: Cloud Combination Probe	121
Chilled mirror dew–point thermometer	038
Cloud aerosol spectrometer depolarization option, CAS–DPOL	123
CO analyzer	162
CO ₂ /H ₂ O gas analyzer	158
Coastal wave buoy	196
Combined recording wind vane and fan–anemograph, Aerovane	062
Conductivity meter	088
Continuous particulate monitor	171
CPC: Condensation Particle Counter	176
CPI: Cloud Particle Imager	120
CRDS: Cavity Ring–Down Spectrometer	156
CTD:	
Conductivity–temperature–depth sensor	204
Cylindrical rain gauge	072
Cylindrical snow gauge	083

D

Data logger	097
Dines pressure anemometer	064
Double tube thermometer	023
Downward–looking ultrasonic wave gauge	199
Drifting buoy	193
Dropsonde	104
Dry bulb thermometer	022

E

Electrical resistance polymer film hygrometer	036
---	-----

F

Fog monitor	131
Forest fuel moisture sensor	044
Forward scattering visibility meter	092
FSSP:	
Forward Scattering Spectrometer Probe	178
FT–IR spectrometer	160

G

Gas and aerosol analyzer	185
GC: Gas Chromatograph	154
Global solar radiation pyranometer	137
GNSS NAVAID System	112

H

Hair hygograph	043
Heat flux sensor	032
High volume particulate sampler	172
Hot wire anemometer	065

I

IC: ION Chromatograph	087
Icing detector	119
ICOS:	
Integrated Cavity Output Spectrometer	157
Image snow cover meter	080
Imaging radar wave gauge	201
Imaging visibility sensor	094
Impedance-type rain detector	074
In-pavement road surface condition sensor	047
Indicating electric contact counter	099
Infrared radiometer	031
Infrared snow cover meter	079
Integrated meteorological instrument	095

J

Jordan sunshine recorder	143
--------------------------	-----

L

Laser ceilometer	116
Laser snow cover meter	082
Leaf wetness sensor	045
Light house automatic weather station	194
Lithium chloride dew-point thermometer	039
Low volume particulate sampler	173

M

Manual pollen monitoring system	188
MARGA: Monitor for Aerosols and Gases in Ambient air	186
Maximum thermometer	026
Mercury thermometer	021
Metal sheath type of platinum resistance thermometer	017
Microwave radar wave gauge	200
Minimum thermometer	027
MPS:	
Meteorological Particle Spectrometer	132
MRR: Micro Rain Radar, Vertical rain radar	110

N

NDIR: Non Dispersive Infra Red	159
Nephelometer	179
Net radiometer	147
NO _x analyzer	163

O

Ocean data buoy	192
Ocean glider	206
Optical disdrometer	127
Optical rain rain detector	077
Optical road surface condition sensor	048
ORG: Optical Rain Gauge	070
Ozone analyzer	166
Ozonesonde	167

P

PFR: Precision Filter Radiometer	183
pH meter	084
Pibal: Pilot ballon	113
Piezoresistive barometer	052
PINE: Portable Ice Nucleation Experiment instrument	125
PIP: Precipitation Imaging Probe	126
Pollen measurement system	187
Pressure-type wave gauge	197
Psychrometer	040
Pyrogeometer	148

R

Radar-type disdrometer	128
Radar-type rain detector	076
Radiation frost detector	030
Radiosonde	102

Rain measuring glass	073
Recording electronic counter	098
Robinson's cup anemometer	058
Robitzsch pyranometer	136
Rotating beam ceilometer	118
Rotating mirror sunshine recorder	146

S

SFMR: Stepped Frequency Microwave Radiometer	195
Silver-disk pyrhelimeter	141
Simon's soil thermometer	025
Single particle soot photometer (SP2)	174
Siphon rain gauge	071
Six's thermometer	028
Sky-radiometer	181
SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer	124
SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer	177
Snow crystal image probe	130
Snow measuring plate	078
SNPS: Suspended Nano Particle Sizer	170
SO ₂ analyzer	161
SODAR: SOund Detection And Ranging	107
Soil moisture sensor	046
Stem tube thermometer	023
Sun-photometer	184
Surface-mount thermistor	029

T

Temperature and humidity microwave radiometer	111
Thermo-junction thermometer, thermocouple	016
Thermopile pyrheliometer	139
Thermopile-type pyranometer	138
Thin film type of platinum resistance thermometer	018
Tipping-bucket rain gauge	068
Transmissometer	093
Tsunami wave gauge	202
Two-dimensional video disdrometer	129

U

Ultrasonic anemometer	063
Ultrasonic snow cover meter	081
Upward-looking ultrasonic wave gauge	198
UV-A radiometer	149
UV-B radiometer	150

V

Ventilated psychrometer	041
-------------------------	-----

W

Water content system	086
Weather radar	108
Weighting rain gauge	069
Wet bulb thermometer	022
Wind lidar	106
Wind profiler	105

기상관측장비사전

발행일	2026년 5월
발행처	국립기상과학원
편집	김동진, 김기훈, 손승아, 이철규
감수	구자호, 김권일, 송환진, 허복행
주소	제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33
홈페이지	www.nims.go.kr

PDF 파일은 국립기상과학원 홈페이지에서 다운로드하실 수 있습니다.

* 이 책은 저작권법에 따라 보호받는 저작물이므로 무단전재와 무단복제를 금합니다. 이 책의 전부 또는 일부를 이용하려면 반드시 국립기상과학원의 동의를 받아야 합니다.