

# 기상관측자료의 예보 기여도 평가

(Evaluation of Contribution of Meteorological Observation Data to Weather Forecasts)

주관연구기관 : 한국기상전문인협회

2018. 12.

기 상 청

## 정책연구 최종보고서

과제 명	국문	기상관측자료의 예보 기여도 평가		
	영문	Evaluation of Contribution of Meteorological Observation Data to Weather Forecasts		
주관연구기관 (공동연구기관)	기 관 명	소재지	대 표	
	한국기상전문인협회	서울시 동작구 대방동 1길 39	이 현	
주관연구책임자 (공동연구책임자)	성 명	소 속	전 공	
	최 치 영	한국기상전문인협회	대기과학	
총 연구기간 (당해년도)	2018년 6월 15일 ~ 12월 12일(6개월)			
총 연구비 (당해년도)	일금칠천오백칠십오만이천팔백이십원정(W75,752,820)			
총 참여연구원 (당해년도)	총 6명	책임연구원	1명	
		연구원	4명	
		연구보조원	1명	
연구 주요내용	<p>2018년도 정책연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.</p> <p style="text-align: right;">붙임 : 최종보고서 30부 요 약 본 10부</p> <p style="text-align: right;">2018년 12월 12일</p> <p style="text-align: right;">주관연구책임자 최 치 영 인 주관연구기관장 한국기상전문인협회장 직인</p> <p style="text-align: right;">기상청장 귀 하</p>			

## 제 출 문

본 보고서를 '기상관측자료의 예보 기여도 평가' 최종보고서로 제출합니다.

주관연구기관명 : (사)한국기상전문인협회

연 구 기 간 : 2018. 6.15 ~ 12.12(180일)

주관연구책임자 : 최 치 영

참여연구원

- (사)한국기상전문인협회 이 현

- (사)한국기상전문인협회 권 태 순

- (사)한국기상전문인협회 엄 원 근

- (사)한국기상전문인협회 박 중 식

- 연세대학교 동서문제연구원 고 광 근

2018년 12월 12일

기상청장 귀하

## < 목 차 >

목차 .....	v
표목차 .....	viii
그림목차 .....	xii
요약문 .....	xix
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
제1절 연구배경 .....	1
제2절 연구목적 .....	2
<b>제 2 장 기상관측망 현황 조사 및 분석 .....</b>	<b>4</b>
제1절 기상청의 기상관측망 .....	4
1. 지상기상관측망 .....	11
2. 고층기상관측망 .....	18
3. 해양기상관측망 .....	21
4. 항공기상관측망 .....	28
5. 위성기상관측망 .....	31
6. 레이더기상관측망 .....	34
7. 낙뢰기상관측망 .....	39
8. 기상청의 기상관측망 분석 .....	41
제2절 국내 유관기관의 기상관측망 .....	43
1. 기상관측표준화 개요 .....	43
2. 국내 기상관측시설 현황 .....	45
3. 관측요소별 기상관측시설 현황 .....	47
4. 관측목적별 국내 기상관측시설 현황 .....	49
5. 특수목적의 기상관측 사례 .....	63
6. 국내 기상관측망의 분석 .....	73
제3절 주요 기상선진국의 기상관측망 .....	77
1. 세계 기상관측망 개요 .....	77

2. 미국 .....	81
3. 일본 .....	82
4. 호주 .....	84
5. 영국 .....	85
6. 유럽연합 .....	86
7. 중국 .....	87
제4절 국내외 기상관측 수준 비교분석 및 개선 방향 .....	90
1. 기술수준 비교 분석 .....	90
2. 개선 방향 .....	91
<b>제 3 장 기상관측 자료와 예보업무 관계 분석 .....</b>	<b>49</b>
제1절 예보업무에 활용되는 기상관측자료 .....	94
1. 기상예보에 활용되는 기상관측자료 .....	94
2. 기상실황감시 및 방재기상 .....	98
3. 예보생산 및 검증 .....	105
제2절 수치예보와 기상관측자료 .....	113
1. 수치예보업무 .....	113
2. 기상관측자료의 수치예보모델에 기여도 .....	116
3. 통계모델에 활용되는 기상관측자료 .....	127
4. 선진국(영국) 사례 .....	128
<b>제 4 장 기상관측자료의 예보업무 기여도 분석 .....</b>	<b>1</b>
제1절 분석방법 .....	131
1. 계층분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)기법 .....	131
2. 기상관측자료의 계층적 구조 설계 .....	132
제2절 설문조사 실시 및 표본 분포 .....	135
제3절 AHP 분석과정 .....	139
제4절 AHP 분석결과 .....	142
1. 기상관측자료의 기상예보업무 기여도 .....	142
2. 기상관측 요소별 기여도 .....	151

3. 예보별 기상관측종류 기여도 .....	163
4. 기상예보 업무역량 기여도 .....	165
제5절 기상관측업무 설문분석 결과 .....	176
<b>제 5 장 관측업무 발전 전략 .....</b>	<b>19</b>
제1절 기본 방향 .....	192
제2절 기상청 관측업무 발전 기본계획 .....	193
제3절 기상관측망 발전 방안 .....	196
1. 발전 방향 .....	196
2. 운용 제고 방향 .....	197
제4절 기상관측 분야별 최적 관측망 .....	201
1. 종관기상관측 .....	201
2. 원격기상관측 .....	204
3. 고해상도 기상관측망 확충방안 .....	210
제5절 기상관측 전문가 양성 .....	213
1. 현행 체계 .....	213
2. 발전 방향 .....	214
제6절 관측자료 공동활용 방안 .....	218
1. 비(非)실시간 민간 관측자료 .....	218
2. 비(非)종관 관측자료 .....	221

<b>제 6 장 결론 .....</b>	<b>224</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>227</b>
<b>부록 .....</b>	<b>229</b>

<표 목차>

[표 2-1] WMO에 등록된 기상청의 기상관측소 현황 .....5

[표 2-2] 기상청의 주요 기상관측장비 현황 .....6

[표 2-3] 기상청의 분야별 기상관측망 및 관측방법 .....7

[표 2-4] AAOS(농업기상관측장비)와 AWS 통합지점(7개소) .....1 1

[표 2-5] 기상관서별 지상기상관측장비 설치현황 ..... 21

[표 2-6] 지상기상관측의 종류, 관측시간 및 관측요소 ..... 31

[표 2-7] 농업기상관측의 종류, 관측시간 및 관측요소 ..... 41

[표 2-8] 자동적설관측 지점(182개소) .....6 1

[표 2-9] 황사관측 지점명 ..... 71

[표 2-10] 황사관측의 관측장비·기준시간 및 요소 ..... 71

[표 2-11] 우리나라의 고층기상관측소 현황 .....02

[표 2-12] 고층기상관측의 종류·기준시간 및 요소 ..... 2

[표 2-13] 기상청의 해양기상관측장비 설치현황 ..... 12

[표 2-14] 해역별 해양기상관측장비 내역 ..... 32

[표 2-15] 해양기상관측의 종류·기준시간 및 요소 ..... 32

[표 2-16] 기상1호에 설치되어 있는 관측장비 내역 .....72

[표 2-17] 관서별 항공기상관측장비 설치현황(기상청 홈페이지) .....0 3

[표 2-18] 항공기상관측의 자료교환 범위와 관측종류(기상청 홈페이지) .....0 3

[표 2-19] 항공기상관측 종류별 세부 관측내용 .....03

[표 2-20] 위성종류별 관측수행기준 및 관측자료(관측업무규정 제 23조) .....2 3

[표 2-21] 위성종류별 관측자료의 생산내역(관측업무규정 제24조) .....2 3

[표 2-22] COMS위성과 GK-2A 기상위성 비교(기상청, 2017 기상연감) .....3 3

[표 2-23] 관측소별 기상레이더의 제원(기상청 기상레이더센터 홍보자료) .....6 3

[표 2-24] 국가별 레이더 관측지점 ..... 83

[표 2-25] 레이더기상관측의 범위·방법·요소 및 관측주기 .....93

[표 2-26] 낙뢰관측자료의 생산주기 및 요소 .....04

[표 2-27] 기상청 주요 기상관측망(분야별)의 분석 결과(요약) .....1 4

[표 2-28] 기상관측표준화법의 체계 ..... 34

[표 2-29] 유관기관의 기상관측시설 현황(기상청 기상관측 통합 메타데이터시스템) .....5 4

[표 2-30] 기관별 관측시설 현황 ..... 64

[표 2-31] 지방자치단체별 관측시설 현황 ..... 64

[표 2-32] 국내 기상관측시설의 관측요소별 분류(기상청 기상관측 통합메타데이터시스템) ..7 4

[표 2-33] 관측목적별 기상관측시설 현황 ..... 94

[표 2-34] 기상기후관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스) .....1 5

[표 2-35] 방재기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템) .....2 5

[표 2-36] 농업기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템) .....3 5

[표 2-37] 산악기상관측망 현황(국립산림과학원 산악기상정보시스템) .....4 5

[표 2-38] 교통기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템) .....5 5

[표 2-39] 주요 강 유역에 설치된 수문관측소(국가수자원관리종합정보시스템) .....6 5

[표 2-40] 환경기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템) .....7 5

[표 2-41] 국내 에어로졸 라이더 운영기관 현황(KALION 홈페이지) .....8 5

[표 2-42] 에너지기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템) .....8 5

[표 2-43] 해양기상관측망 현황 ..... 95

[표 2-44] 항공기상관측망 현황 ..... 26

[표 2-45] ㈜SK플래닛 기상관측장비 제품 사양서 .....56

[표 2-46] 전지구 관측시스템과 네트워크 .....08

[표 2-47] WMO 등록된 전세계 지역별 관측망(WMO, 2018년 6월 현재) .....1 8

[표 2-48] 유럽연합 관측망 현황(WMO, 2018년 6월 현재) .....7 8

[표 2-49] 주요 선진국의 관측망 현황(WMO, 2018년 6월 현재) .....9 8

[표 2-50] 기상선진국과 우리나라의 기상관측망 비교(해당국 홈페이지, 2018년 6월 현재) ...1 9

[표 2-51] 기상청 기상관측망(자료)과 기상업무 관계 분석 .....2 9

[표 3-1] 기상관측의 분류(교학사, 2000, 대기관측법) .....4 9

[표 3-2] 기상청 기상관측 및 장비 현황(기상청, 2018.6.30. 현재) .....5 9

[표 3-3] 지상기상 관측요소별 분류 및 관측방법 .....69

[표 3-4] 관측분야별 세부관측 내용 및 방법 ..... 79

[표 3-5] 관측목적별 기상관측망 운영 현황(기상청, 2018.6.30.현재) .....9 9

[표 3-6] 기상특보 종류 및 기준 ..... 0

[표 3-7] 주요 관측장비 및 관측요소 ..... 0

[표 3-8] 지상관측망 설치현황(기상청, 관측업무발전기본계획, 2016.8) .....201

[표 3-9] 특보구역별 적설관측장비 설치현황 및 계획(시·군 개수) .....3

[표 3-10] 황사관측장비(PM10) 설치 시·군 현황 .....301

[표 3-11] 특보구역별 황사관측망 운영 계획 ..... 0

[표 3-12] 해상특보구역별 주요 해양기상관측장비 설치현황 ..... 0

[표 3-13] 해상특보구역별 주요 해양기상관측장비 설치계획 ..... 0

[표 3-14] 국내 예보종류, 기간, 지역 ..... 16

[표 3-15] 국내 예보종류 및 예보요소 ..... 0

[표 3-16] 유관기관 포함 관측현황(지점수) .....3

[표 3-17] 연도별 영향예보 시범서비스 계획(기상청, 영향예보 추진 기본계획, 2016.4) ..901

[표 3-18] 도로기상정보 수집자료 ..... 1

[표 3-19] 국내외 수치예보모델 운영 및 기상정보 제공현황 ..... 1

[표 3-20] 지상/해상 기상관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018)	711
[표 3-21] 고층/항공 기상관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018.)	711
[표 3-22] 기상위성관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018)	811
[표 3-23] AWS관측자료의 지형에 따른 국지예보모델 특성	4
[표 3-24] 2013년 평균 RMSE와 비교	721
[표 3-25] 영국기상청의 기상위성관측자료 활용 현황	8
[표 4-1] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 평가요인 세부설명(1)	31
[표 4-2] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 평가요인 세부설명(2)	41
[표 4-3] 설문지 배포현황	5
[표 4-4] 지역 분포	5
[표 4-5] 직급 분포	5
[표 4-6] 예보 관련 업무수행 경험 분포	5
[표 4-7] 업무경력 기간에 따른 분포	5
[표 4-8] 현재 소속 분포	5
[표 4-9] 현재 업무 분포	5
[표 4-10] 기상예보업무 기여도 설문지 개요	2
[표 4-11] 기상예보업무 기여도 일관성 지수 평가결과	2
[표 4-12] 기상관측자료의 초단기예보 기여도 일관성 비율 비교	3
[표 4-13] 기상관측자료의 단기예보 기여도 일관성 지수 비교	3
[표 4-14] 기상관측자료의 중기예보 기여도 일관성 지수 비교	3
[표 4-15] 기상관측 종류의 중요도 순위	3
[표 4-16] 기상예보 업무역량 기여도 설문지 개요	6
[표 4-17] 기상예보 업무역량 기여도 일관성 지수 평가결과	6
[표 4-18] 청내 예보경력 유무에 따른 기상예보 업무역량 기여도	6
[표 4-19] 본청과 지방청의 기상예보 업무역량 기여도	6
[표 4-20] 기상예보 업무역량의 중요도 순위	5
[표 4-21] 개선되어야 할 기상관측 부문-담당업무별	61
[표 4-22] 영향예보에 따른 기상관측 개선분야-예보경력	71
[표 4-23] 기상 관측요소 중요도 순위-담당업무	91
[표 4-24] 기상 관측장비 중요도 순위-담당업무	11
[표 4-25] 기상관측 발전업무-담당업무	21
[표 4-26] 기상관측 발전업무-기상청 내·외부	13
[표 4-27] 기상관측 전문인력 양성 업무-현소속	41
[표 4-28] 기상관측자료 활용도 개선업무-현소속	61
[표 4-29] 기상관측망의 적절성	8
[표 4-30] 기상관측망별 확대 정도	9

[표 5-1] 유인 관측지점(22개소)	91
[표 5-2] 장비관리 업무 중장기 조직 발전전략	11
[표 5-3] 지상기상관측자료의 예보 기여도(팔호안은 순위)	11
[표 5-4] 고층기상관측자료의 예보 기여도(팔호안은 순위)	31
[표 5-5] 해양기상관측자료의 예보 기여도(팔호안은 순위)	31
[표 5-6] 위성기상관측자료의 예보 기여도(팔호안은 순위)	61
[표 5-7] 레이더기상관측자료의 예보 기여도(팔호안은 순위)	71
[표 5-8] 수요자 기반의 교육 유연성 확보	21

## <그림 목차>

[그림 2-1] 3차원 입체 기상관측 모식도	4
[그림 2-2] WMO에 등록된 기상관측소	5
[그림 2-3] 기상청 종합 기상관측망도(2018년 6월 현재)	6 1
[그림 2-4] 지상기상관측망의 변천도	21
[그림 2-5] ASOS와 AWS 관측망도	2 1
[그림 2-6] AAOS 관측망도	2 1
[그림 2-7] 표준 지상기상관측소의 관측사례	31
[그림 2-8] ALWAIS 표출 화면	4 1
[그림 2-9] 자동적설관측망 분포도	61
[그림 2-10] 황사관측망 분포도(기상청 지상기상관측망 통계자료)	7 1
[그림 2-11] 황사발원지 관측망	71
[그림 2-12] 연직바람관측장비	91
[그림 2-13] 라디오미터	91
[그림 2-14] 기상청 고층기상관측망도	02
[그림 2-15] 우리나라 통합 고층기상관측망도	02
[그림 2-16] 기상청 해양기상관측망도	22
[그림 2-17] 해역별 해양기상관측장비 모식도	32
[그림 2-18] 해양기상부이 및 관측망도(17개소)	4 2
[그림 2-19] 파고부이 및 관측망도(59개소)	4 2
[그림 2-20] 등표기상관측장비 및 관측망도(9개소)	5 2
[그림 2-21] 연안방재관측장비 및 관측망도(18개소)	5 2
[그림 2-22] 기상관측선(기상1호) 모형도	6 2
[그림 2-23] 기상관측선(기상1호) 항행구역	6 2
[그림 2-24] VOS 관측자료 서비스 내용	72
[그림 2-25] 우리나라 항공기상관측서와 비행정보구역(기상청 홈페이지)	8 2
[그림 2-26] AMOS 기본 공항기상관측장비	9 2
[그림 2-26] 항공기상관측장비	92
[그림 2-27] 천리안위성(COMS) 운영체계	1 3
[그림 2-28] 천리안위성(COMS)의 실물 모형도	1 3
[그림 2-29] COMS위성과 GK-2A 기상위성 비교도(기상청, 2016, 관측업무발전 기본계획 2017~2021)	43
[그림 2-30] 기상레이더 기술변화 동향(기상청 기상레이더센터 홍보자료)	4 3
[그림 2-31] 기상청 기상레이더 관측망도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)	5 3
[그림 2-32] 우리나라 레이더 종합 관측망도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)	7 3

[그림 2-33] 공동활용 전/후의 레이더관측 사각지대(기상청 기상레이더센터 홈페이지 및 강의 교재)	37
[그림 2-34] 동아시아 레이더 합성영상도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)	8 3
[그림 2-35] 충북 진천의 레이더비교관측소(기상청 기상레이더센터 홍보자료)	9 3
[그림 2-36] 낙뢰관측장비 및 낙뢰관측망도	04
[그림 2-37] 기상청 보성표준관측소 전경(2012년, 기상청 보도자료)	4 4
[그림 2-38] 국내 기상관측망 분포도	64
[그림 2-39] 기상관측시설별 분포도	64
[그림 2-40] 기상관측센서별 분포도	74
[그림 2-41] 국내 기상관측시설의 관측요소별 분포도(기상청 기상관측통합 메타데이터시스템)	7 4
[그림 2-42] 기상관측요소별 자료수집율(2018.6.1~6.30)	8 4
[그림 2-43] 기상기후관측망도(기상청 96개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	1 5
[그림 2-44] 방재기상관측망도(2,612개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	2 5
[그림 2-45] 농업기상관측망(농촌진흥청 203개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	3 5
[그림 2-46] 산악기상관측망도(산림청 213개소, 국립산림과학원 산악기상정보시스템)	4 5
[그림 2-47] 교통기상관측망(29개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	5 5
[그림 2-48] 수문기상관측망도(184개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	6 5
[그림 2-49] 환경부 환경기상관측망도(46개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	7 5
[그림 2-50] 응용기상관측망도(에너지분야 52개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)	9 5
[그림 2-51] 국립해양조사원 해양기상관측망도(실시간 해양관측정보시스템)	0 6
[그림 2-52] 수도권 ㈜SK플래닛의 기상관측망도(Weather Planet 누리집)	3 6
[그림 2-53] 기상관측장비 설치 전경	46
[그림 2-54] ㈜SK플래닛 기상관측장비 측기 검정서	46
[그림 2-55] (주)SK플래닛 기상 및 산업용 관측장비	5 6
[그림 2-56] AI기반 IoT센서 관제 솔루션 개요	6 6
[그림 2-57] AI기반 IoT센서 관제서비스 역량	7 6
[그림 2-58] SK관리 기상센서의 자료품질 비교	7 6
[그림 2-59] Deep Learning기술의 발달과 개요	8 6
[그림 2-60] Deep Learning기술의 센서데이터 사용 개요(1)	8 6
[그림 2-61] Deep Learning기술의 센서데이터 사용 개요(2)	8 6
[그림 2-62] Deep Learning기술의 기상데이터 이상감지 개요도	9 6
[그림 2-63] 모바일 관측차량의 외관(좌: 미기상청, 우: 캐나다기상청)	0 7
[그림 2-64] 국립기상과학원의 모바일기상관측차량의 외관	07
[그림 2-65] 국립기상과학원 모바일기상관측차량의 관측자료처리과정	17
[그림 2-66] 국립기상과학원 모바일기상관측차량의 통합품질관리시스템	17
[그림 2-67] 모바일기상관측차량의 연도별 운영현황	27

[그림 2-68] 모바일기상관측차량의 목적별 운영현황 .....	27
[그림 2-69] 미국의 기상레이더 분포도 .....	28
[그림 2-70] 일본의 기상레이더 분포도 .....	38
[그림 2-71] 호주의 기상레이더 분포도 .....	48
[그림 2-72] 영국의 기상레이더 분포도 .....	58
[그림 3-1] 기상예보에 활용되는 기상관측 분야 .....	79
[그림 3-2] 관측분야별 예보 기여도 .....	89
[그림 3-3] 충북지방 호우실황 감시 사례(2017.7.16) .....	001
[그림 3-4] 2018. 8. 22 태풍 속보 및 특보 사례 .....	21
[그림 3-5] 시간에 따른 기상예보 분류 .....	6
[그림 3-6] 2018. 12. 3. 06:30 초단기예보 사례 .....	601
[그림 3-7] 2018. 12. 2. 23:00 동내예보(강수형태) 사례 .....	701
[그림 3-8] 2018. 11. 28. 06:00 중기예보 사례 .....	701
[그림 3-9] 영향예보 개요 .....	6
[그림 3-10] 기존 태풍예보와 태풍 영향예보의 비교 .....	0
[그림 3-11] 도로기상정보체계 개요 .....	1
[그림 3-12] 실시간 강우모니터링시스템 .....	1
[그림 3-13] 예보정확도를 결정하는 3가지 요소 .....	13
[그림 3-14] 기상청 현업용 수치예보모델(2018년 11월 현재) .....	511
[그림 3-15] 2016.7.1.00UTC 전지구모델에 활용되는 관측지점 분포도(기상청 수치자료응용과) .....	116
[그림 3-16] 2015여름철 전지구모델에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과) .....	911
[그림 3-17] 2015여름철 국내 레원존데 관측자료 총기여도(기상청 수치자료응용과) .....	021
[그림 3-18] 2015여름철 국내 연직바람관측장비 관측자료 총기여도(기상청 수치자료응용과) .....	021
[그림 3-19] 2015/2016년 겨울철 전지구모델에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과) .....	121
[그림 3-20] 동아시아영역(국지모델)에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과) .....	121
[그림 3-21] 동아시아영역(국지모델)에 관측시간별 기여도(기상청 수치자료응용과) .....	221
[그림 3-22] 2015여름철 동아시아영역(국지모델)에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과) .....	122
[그림 3-23] 여름철 기상1호 및 육상 집중관측 지점 .....	23
[그림 3-24] 겨울철 기상1호 및 육상 집중관측 지점 .....	24
[그림 3-25] 통합모델에 사용되는 관측종 .....	3
[그림 3-26] 2012년 6~9월 동안 관측종별 총 영향 .....	521
[그림 3-27] 2012년 6~9월 동안 관측종별 자료 개수 .....	621
[그림 3-28] 관측개수 별 평균 효과(총효과/자료 개수) .....	6
[그림 3-29] AMV(대기운동벡터)의 위성별 영향 .....	621

[그림 3-30] 기온예보에 대한 발표시간 +1시간 ~ +12시간 예측평균 RMSE .....	721
[그림 3-31] 기온예보 평균 RMSE의 예보시간별 비교 .....	8
[그림 3-32] 전지구모델 24시간 수치예보 에러 감소율(%) .....	921
[그림 3-33] 기상관측 종류별 수치예보 민감도(FSOI) .....	921
[그림 3-34] 기상관측 종류별 단기 수치예보 에러 감소 기여도 .....	0
[그림 4-1] AHP 분석과정 .....	2
[그림 4-2] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 AHP 모형 .....	3
[그림 4-3] 기상예보업무 역량 평가를 위한 AHP 모형 .....	3
[그림 4-4] 1단계 : 상대비교 행렬 작성 예시 .....	139
[그림 4-5] 2단계 : 상대비교 행렬의 곱 예시 .....	139
[그림 4-6] 3단계 : 벡터 산출 예시 .....	139
[그림 4-7] 4단계 : 일관성 비율 검토 예시 .....	140
[그림 4-8] 5단계 : 최종분석 데이터 예시 .....	141
[그림 4-9] 기상관측자료의 초단기예보 기여도 .....	16
[그림 4-10] 예보경력에 따른 초단기예보 기여도 .....	4
[그림 4-11] 예보경력 기간에 따른 초단기예보 기여도 .....	4
[그림 4-12] 담당업무에 따른 초단기예보 기여도 .....	6
[그림 4-13] 기상관측자료의 단기예보 기여도 .....	6
[그림 4-14] 예보경력에 따른 단기예보 기여도 .....	6
[그림 4-15] 예보경력 기간에 따른 단기예보 기여도 .....	7
[그림 4-16] 담당업무에 따른 단기예보 기여도 .....	7
[그림 4-17] 기상관측자료의 중기예보 기여도 .....	8
[그림 4-18] 예보경력에 따른 중기예보 기여도 .....	9
[그림 4-19] 예보경력 기간에 따른 중기예보 기여도 .....	9
[그림 4-20] 담당업무에 따른 중기예보 기여도 .....	0
[그림 4-21] 예보기간별 기상관측자료의 기상예보 기여도 .....	5
[그림 4-22] 지상기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-23] 예보경력에 따른 지상기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-24] 예보경력 기간에 따른 지상기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-25] 담당업무에 따른 지상기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-26] 고층기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-27] 예보경력에 따른 지상기상관측의 기여도 .....	6
[그림 4-28] 예보경력 기간에 따른 고층기상관측의 기여도 .....	6
[그림 4-29] 담당업무에 따른 고층기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-30] 해양기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-31] 예보경력에 따른 해양기상관측의 기여도 .....	5



[그림 4-32] 예보경력 기간에 따른 해양기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-33] 담당업무에 따른 해양기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-34] 기상위성관측의 기여도 .....	5
[그림 4-35] 예보경력에 따른 기상위성관측의 기여도 .....	5
[그림 4-36] 예보경력 기간에 따른 해양기상관측의 기여도 .....	5
[그림 4-37] 담당업무에 따른 기상위성관측의 기여도 .....	9
[그림 4-38] 기상레이더 관측의 기여도 .....	9
[그림 4-39] 예보경력에 따른 기상레이더 관측의 기여도 .....	0
[그림 4-40] 예보경력 기간에 따른 기상레이더 관측의 기여도 .....	0
[그림 4-41] 담당업무에 따른 기상레이더 관측의 기여도 .....	6
[그림 4-42] 목측 관측의 기여도 .....	6
[그림 4-43] 예보경력에 따른 목측 관측의 기여도 .....	0
[그림 4-44] 예보경력 기간에 따른 목측 관측의 기여도 .....	0
[그림 4-45] 담당업무에 따른 목측 관측의 기여도 .....	6
[그림 4-46] 예보별 기상관측장비의 중요도 .....	4
[그림 4-47] 기상예보 업무역량 기여도 .....	6
[그림 4-48] 예보경력에 따른 기상예보 업무역량 기여도 .....	6
[그림 4-49] 예보경력 기간에 따른 기상예보 업무역량 기여도 .....	6
[그림 4-50] 담당업무에 따른 기상예보 업무역량 기여도 .....	6
[그림 4-51] 기상관측자료의 기여도 .....	6
[그림 4-52] 예보경력에 따른 기상관측자료의 기여도 .....	6
[그림 4-53] 예보경력 기간에 따른 기상관측자료의 기여도 .....	0
[그림 4-54] 담당업무에 따른 기상관측자료의 기여도 .....	0
[그림 4-55] 수치예보모델의 기여도 .....	0
[그림 4-56] 예보경력에 따른 수치예보모델의 기여도 .....	1
[그림 4-57] 예보경력 기간에 따른 수치예보모델의 기여도 .....	1
[그림 4-58] 담당업무에 따른 수치예보모델의 기여도 .....	2
[그림 4-59] 예보관 역량의 기여도 .....	2
[그림 4-60] 예보경력에 따른 예보관 역량의 기여도 .....	3
[그림 4-61] 예보경력 기간에 따른 예보관 역량의 기여도 .....	3
[그림 4-62] 담당업무에 따른 예보관 역량의 기여도 .....	4
[그림 4-63] 개선되어야 할 기상관측 부문 .....	6
[그림 4-64] 영향예보에 따른 기상관측 개선분야 .....	7
[그림 4-65] 기상 관측요소 중요도 순위 .....	8
[그림 4-66] 기상 관측장비 중요도 순위 .....	0
[그림 4-67] 기상관측 발전 업무 .....	8

[그림 4-68] 기상관측 전문인력 양성 업무 .....	8
[그림 4-69] 관측장비 유지보수 강화 업무 .....	5
[그림 4-70] 기상관측자료 활용도 개선업무 .....	6
[그림 4-71] 기상관측자료의 예보업무 기여도 .....	8
[그림 4-72] 기상관측망의 적절성 .....	8
[그림 4-73] 유지보수 관리 정도 .....	9
[그림 4-74] 기상관측자료의 수치예보 활용정도 .....	0
[그림 4-75] 수치예보에 관측자료 제공 적절성 .....	0
[그림 4-76] 기상관측자료의 만족도 .....	1
[그림 4-77] 기상관측자료의 신뢰도 .....	1
[그림 5-1] 기상청 기상업무발전 기본계획(2017-2018) .....	391
[그림 5-2] 관측업무발전 기본계획(2017~2021) .....	491
[그림 5-3] 관측업무의 가치사슬 .....	5
[그림 5-4] 2018년도 기상업무 대국민만족도 조사 결과 .....	8
[그림 5-5] 기상 연구개발 중장기 로드맵(관측분야) .....	9
[그림 5-6] 단계별 관측자료 조밀화 방안 .....	2
[그림 5-7] 스마트교육 강화 방안(입소, 2016) .....	52
[그림 5-8] 기상청 및 기관의 AWS관측망 현황도 .....	0
[그림 5-9] 영상장비가 탑재된 완성형 드론의 모습 .....	2
[그림 6-1] 기상관측업무 발전전략 .....	2

## 요 약 문

기상청에서는 2018년 6월 현재 육상, 해상 및 고층에서 총 21종 1,490여대의 기상 관측장비를 운영하는 등 양적 관측 인프라의 성장을 가져 왔으나, 이에 따른 핵심관측망의 유지 및 발전을 위한 객관적 전략은 미흡한 실정이다. 따라서 본 보고서에서는 앞으로 기상관측 분야의 전략적 개선 방향을 도출하고자, 우선 기상청 기상관측망(자료)에 대한 현황 조사와 분석, 기상관측자료의 예보와의 관계 분석, 기상관측자료의 예보 기여도 분석 및 기여도 분석에 따른 관측업무 발전 전략 제안 등의 4개 카테고리로 나누어 기술하였다.

우선 기상청 기상관측망에 대한 현황 조사에서는 지상, 고층, 해양, 항공, 위성, 레이더 등 주요 분야별 관측망 현황을 조사 정리하였으며, 기상선진국 대비 우리의 수준을 분석하였다. 조사 결과, 지상관측은 종관기상관측장비 ASOS(Automated Synoptic Observing System) 96개소, 방재기상관측장비 AWS(Automatic Weather System) 494개소 등 594개소를 운영하고 있다. 고층기상관측은 레원존데 6개소(포항, 백령도, 강릉, 흑산도, 서귀포, 창원), 연직바람관측장비 및 라디오미터 9개소(파주, 군산, 강릉, 창원, 원주, 추풍령, 철원, 울진, 북격렬비도)가 운영되고 있는 것으로 조사되었다. 해양기상관측은 기상부이 17개소, 파고부이 59개소, 등표기상관측장비 9개소, 선박기상관측장비 14개소, 연안방재관측장비 18개소, 파랑계 1개소와 해양기상관측선(기상1호) 1척, 항만기상관측장비 4개소 등을 운영하고 있으며, 항공기상관측은 인천, 김포, 제주, 무안, 울산, 김해, 여수, 양양 등 7개소에서 항공기상관측장비를 운영하고 있다. 해양기상관측장비는 총 123개 지점으로 조사되었고, 고층기상관측은 총 15개 지점, 기상위성관측은 2010년도에 발사된 천리안위성(COMS, Communication Ocean and Meteorological Satellite)을 이용하여 관측하고 있으며, 외국의 기상위성으로부터 고해상도 영상자료를 수신하고 있다. 특히, 지난 2018년 12월 5일 고해상도의 최첨단 기상 및 우주기상 관측용 천리안위성 2호기(GK-2A)를 발사하여 차세대 위성기상관측망을 보유하게 되었다. 기상레이더관측은 전국 11개소(백령도, 서울 관악산, 화천 광덕산, 강릉, 군산 오성산, 진도, 청송 면봉산, 부산 구덕산, 제주 고산과 성산, 인천공항)에 기상레이더를 설치하여 운영하고 있고, 낙뢰관측을 위해 전국 21개소(백령도, 파주, 인천, 서해기지, 보령, 춘천, 충주, 간성, 대관령, 울진, 울릉도, 추풍령, 포항, 고창, 거창, 흑산도, 완도, 여수, 부산, 제주, 서귀포)에 낙뢰관측장비가 설치되어 있다. 국내 유관기관 관측망으로는 기상청을 비롯하여 국토교통부, 산림청, 각 시도 지방자치단체, 국립공원관리공단 등 28개 기관에서 AWS 및 강수량계 등을 사용하여 전국 3,766개(기

상청 포함) 지점에서 관측하고 있어서 남한지역의 공간 해상도는 약 5km로서 기상청만의 공간 해상도 약 13km보다 훨씬 조밀한 것으로 조사되었다. 주요 기상선진국(미국, 일본, 영국, 호주, 유럽연합) 대비 기상관측망(관측요소별 시공간 해상도 등) 분석에서는 해당 국가의 기상청 홈페이지, WMO 관측 매뉴얼 및 최신 보고서 및 참고 문헌 조사를 통해 이루어졌다.

기상관측자료와 예보업무와의 관계 분석에서는 기상실황 감시 및 특보, 초단기·단기·중기예보 생산, 사후 검증 등 예보업무 전 과정에서 활용되는 기상관측자료 조사와 전구·지역·국지 수치모델, 통계모델 등에 활용되는 관측자료 조사가 이루어졌다.

기상실황 감시는 기상현상의 종류에 따라 기상관측자료의 활용이 달랐는데, 예를 들면 집중호우 감시는 기상청 및 유관기관의 ASOS나 AWS, 기상레이더, 기상위성 관측자료를 중점 활용하여 감시하고 있다. 영향예보(Impact Forecasts)는 구체적인 기상영향 정보를 분석하여 제공함으로써 날씨로 인한 상세하고 구체적인 기상 영향정보를 추가적으로 제공하는데, 이로 인해 선제적인 위험기상 정보 제공이 가능해져 예상되는 위험기상의 영향수준과 발생 가능성을 바탕으로 위험수준을 판단하여, 최대 7일 전부터 위험수준 정보를 제공하여 조기에 의사결정을 지원하는데 중요한 역할을 하게 된다.

기상관측자료의 예보업무 기여도 분석에서는 기상관측자료의 카테고리화 및 계층적 구조설계를 통해 예보업무 기여도 평가를 위한 AHP 모형설계 및 Pilot Test를 수행하였다. AHP 및 일반 설문조사는 2018년 10월 1일부터 11월 10일까지 실시되었으며, 기상청 본청과 6개 지방기상청, 3개 지청, 항공기상청, 국립기상과학원 등 기상청 소속기관과 기상산업기술원, 기상사업자, 기상전문인협회 회원 등 총 770명을 대상으로 실시되었다. 그 결과, 초단기 예보는 지상기상관측이 0.320으로 가장 크게 기여도를 나타냈으며, 그 다음으로는 기상레이더관측이 0.241으로 그 뒤를 따랐다. 단기예보 업무의 경우, 지상기상관측이 0.321으로 가장 높았으며, 고층기상관측 0.202, 기상위성관측 0.130, 해양기상관측 0.126순으로 나타났다. 중기예보 업무의 경우, 고층기상관측이 0.330으로 가장 높았으며, 지상기상관측 0.226, 해양기상관측 0.188 순으로 나타났다. 이러한 차이는 예보기간이 길어질수록 넓은 범위의 관측자료가 필요함에 따라 고층기상과 해양기상 관측자료의 중요성이 커진 것으로 추측된다. 그리고 지상기상관측 분야별로 그 기여도를 분석해보면, ASOS, AWS 등의 자동기상관측 기여도가 0.543으로 절대적으로 높았으며, 고층기상관측에서는 레원(라디오)존테의 기여도가 0.481, 해양기상관측에서는 앞바다관측의 기여도가 0.366, 기상위성관측에서는 천리안위성인 COMS의 기여도가 0.554, 기상레이더관측에서는 실시간영상관측의 기여도가 0.529, 목측(유인) 관측은 강수/적설 관측의 기여도가 0.497로 가장 높

게 나타났다. 이를 종합하여 초단기, 단기, 중기 예보별 기상관측 요소별의 기여도를 분석한 결과, 초단기예보에서는 지상기상관측인 자동기상관측의 기여도가 가장 높은 0.174로 1순위 나타났으며, 2순위는 기상레이더의 실시간영상 0.128, 목측(유인)관측의 강수/적설 관측 0.070으로 3순위로 나타났다. 단기예보에서는 초단기와 동일하게 자동기상관측이 0.174로 1순위로 나타났으며, 2순위는 고층관측인 레원존테 0.097, 3순위는 기상위성 COMS가 0.072로 나타났다. 그리고 중기예보에서는 레원존테가 0.159로 1순위로 기여도가 높았으며, 2순위로 자동기상관측이 0.123, 3순위로 연직바람관측이 0.088로 나타났다.

기상예보업무 역량에 영향을 미치는 요인은 기상관측자료, 수치예보모델, 예보관 역량 3가지로 구성하였다. 분석결과 수치예보모델이 0.361, 기상관측자료 0.358, 예보관 역량 0.281로 기여도를 나타냈다. 기상예보 역량에 영향을 주는 요소로 관측자료 수준, 수치예보 모델 성능, 예보관 예보능력 등 3개 요소의 기여도가 10년 전에는 각각 32%, 40%, 28%였으나, 이번 조사에서는 각각 35.8%, 36.1%, 28.1%로 예보관 능력은 그대로였으나, 관측자료의 수준이 수치예보 모델 성능에 비해 상대적으로 그 기여도가 높아졌음을 확인하였다. 특히 예보관 역량은 예보경력, 예보지식, 교육훈련, 예보팀워크로 나뉘어 그 기여도를 분석 해 보면, 예보경력의 기여도가 0.443으로 가장 높았으며, 예보지식 0.195, 교육훈련 0.185, 예보팀워크 0.177순으로 기여도를 나타냈다. 이를 종합하여 기상예보 업무역량의 기여도를 분석하였다. 그 결과, 수치예보모델 성능이 0.213으로 1순위, 관측자료의 질이 0.206으로 2순위, 예보경력이 0.124로 3순위, 그리고 4순위로는 관측지점 수로 나타났다. 기상예보 업무에서 수치예보모델의 성능이 가장 중요하였지만, 관측자료의 질도 수치예보모델 성능에 불과 0.007밖에 차이가 나지 않을 정도로 관측자료의 질이 기상예보 업무역량에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다.

마지막으로 본 연구에서는 관측업무 발전전략을 수립하기 위해 3가지 기본 방향을 설정하여 발전전략을 수립하였다. 첫째는 기상청의 주요 발전계획과의 연계이고, 둘째, 기상청과 유관기관의 기상관측관측망에 대한 조사를 통해 국가관측망을 현행화시켰으며 셋째, 미래 융합기술의 반영이다. 이를 토대로 다음 세가지 측면에서 기상관측 발전 방안을 정리하였다. 첫째, 기상관측망 확충이다. 이를 위해 현재 운영중인 기상관측망의 최적화를 도모해야 한다. 기상관측망의 최적화는 2010년 이후 기상청이 지속적으로 추진하고 있는 관측장비의 확충과 함께 병행 추진되어야 할 것이다. 자동화와 첨단화 등이 요구되는 고층기상관측과 원격기상관측 등의 업무에 대해서는 선별적으로 관측망의 확대가 필요하다고 본다. 또한 신규 및 첨단 관측센서의 확충, 위성·레이더 등 원격탐사 확대도 목측의 자동화를 추진하였으나, 첨단장

비의 활용성 증대와 향후 장비도입 전략의 보강 등이 필요하다고 본다. 특히 목적별 기상관측망의 확대가 필요하다. 선진국의 관측전략을 여과 없이 준용할 것이 아니라 우리나라의 현 여건에서 우선적으로 개선해야 할 관측업무에 대해 사전 검토와 연구를 통해 선별적인 도입이 필요하다고 본다. 즉, 2020년 영향예보 서비스의 본격 시행을 앞두고 있어 이에 적합한 관측망 설계와 다양한 관측자료의 확보에 영향예보 생산과 검증을 위한 관측망 보완, 토양수분, 지표상태 등 부족한 관측자료 확보를 위한 관측망 개선과 목적별 관측망 확대가 필요하다고 하겠다. 그리고 AHP 분석과 설문조사 결과를 보면 6종의 관측분야 중 목측(유인)관측 분야가 기여 지수 0.140의 3순위로 나타나고 있어 이는 목측(유인)관측이 기상실황 감시와 기상특보 생산에 기여하는 부분을 간과할 수 없다는 AHP 결과라고 하겠다. 관측 자동화가 실현되더라도 향후 지상기상관측망의 개선에 어떠한 방법으로도 이에 대한 보완이 요구된다고 하겠다. 기상관측망의 유지관리를 체계적·효율적 관리를 위한 관측인력의 양성과 관측의 전문성을 확보해나가야 할 것이다.

둘째, 관측자료의 활용이다. 기상관측자료는 현존하는 자료 중 가장 큰 데이터베이스를 활용하여 빅데이터로 자료를 축적하는 것만으로도 큰 의미를 가진다. 기상관측자료의 가장 큰 목적은 수치예보모델에 활용하기 위해서이기 때문에 이를 위해서는 관측자료의 자료동화 과정이 필수적이다. 이러한 과정을 관측업무에서 수치예보모델에 활용할 수 있는 형태로 자료전환이 원활히 될 수 있도록 시스템을 구축해야 한다. 이러한 자료를 체계적으로 저장하고, 사용자가 원하는 형태로 제공할 수 있는 자료관리시스템을 개선해야 한다. 그리고 이와 더불어 현재 농촌진흥청, 산림청 등 국가기관 470여개(기상청 제외), 17개 지방자치단체 2,300여개, 수자원공사 등 공공기관 390여개로부터 수집되는 기상관측자료 수집율은 94.8%('17년 기준)로 높은 수집율을 나타내지만, 기관별로 설치된 표준화 연계시스템을 통해 상이한 관측자료 DB 쿼리, 파일 전송방식 등으로 현업이나 공동활용에 어려움이 있다. 이에 유관기관으로부터 수집되는 자료를 기상청의 표준화된 프로토콜로 전환할 수 있는 시스템 구축이 필요하다. 셋째, 관측전문가 양성이다. 기상관측의 원리부터 응용단계에 이르기 까지 기술업무 전과정과 수치예보 모델에 관여하는 자료를 관리할 수 있는 관측 및 자료관리 전문가, 응용기상이나 유관기관에서 자료를 활용할 수 있게 변환할 수 있는 융합자료 전문가, 그리고 기상관측장비 구축 및 운영과 관련된 장비전문가 등으로 구분하여 인력양성을 추진하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이러한 방안들을 통해 궁극적으로는 관측자료의 수치예보모델에 기여도 향상 뿐만 아니라 기상관측자료의 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 1 장 서 론

### 제1절 연구배경

기상청은 2018년 6월 현재 육상, 해상 및 고층에 총 21종 1,490여대의 기상관측장비를 운영 중이며, 2010년부터 관측의 자동화 및 첨단화를 지속적으로 추진하여 왔다. 지상기상관측망으로는 AWS(ASOS 포함) 594개소, 시정계 367개소, 적설계(레이저·초음파·CCTV 등) 352개소, PM<sub>10</sub> 27개소 등이 운영 중이며, 해양기상관측망(부이 17개소, 파고부이 59개소, 기상관측선 1척 등) 및 고층기상관측망(레원존데 6개소, 연직바람관측장비 및 라디오미터 9개소 등)을 운영하고 있다.

이러한 기상관측망 운영으로 양적 관측 인프라의 성장을 가져왔으나, 이에 따른 핵심관측망의 유지 및 발전을 위한 객관적 전략은 미흡한 실정으로 조사되었다. 또한 신규 및 첨단 관측센서의 확충, 위성·레이더 등 원격탐사장비의 확대로 목측의 자동화를 추진하였으나, 여전히 첨단장비의 활용성 증대와 향후 장비도입 전략의 보강 등이 필요하다고 본다. 특히 2020년 영향예보 서비스의 본격 시행을 앞두고 있어 이에 적합한 관측망 설계와 다양한 관측자료의 확보 외에 영향예보 생산과 검증을 위한 관측망 보완과 토양수분, 지표상태 등 부족한 관측자료 확보를 위한 관측망 고도화가 절실히 요구되고 있다.

한편 기상청은 2015년 예보·지역서비스 중심의 조직개편으로 인하여 기상대의 무인화가 이루어져 2016년부터 관측을 외부용역 등으로 수행하고 있다. 이러한 환경변화에 맞춰 목측, 품질관리 등 관측 패러다임의 변경, 관측자료 품질향상과 활용성 제고를 위한 관측망 관리, 운영에 대한 전략수립도 필요하다고 할 수 있다.

또한 유관기관과의 협업, 수집체계 개선으로 28개 기관의 3,760여 개소의 관측자료 수집률이 대폭 개선('14년 이전 34% → '16년 93.2% → '17년 94.8%)된 것으로 집계되었으나, 실질적인 활용도를 높이기 위한 유관기관 관측자료의 실시간 품질관리 강화와 활용체계 개선이 매우 중요한 과제로 대두되었다. 도시, 도로, 농업, 산악 등 각 분야별 관측에 대하여는 기상청 외의 유관기관, 민간 등에서 연구개발과 투자가 증가하고 있는 추세이다. 특히 농촌진흥청(농업기상관측망), 산림청(산악기상관측망)은 각각 200여 개소 이상으로 관측망을 확대 추진 중이며, 도로관리청(국토부 등)도 도로기상관측에 큰 관심을 갖고 있어 국가기상관측을 주도하고 있는 기상청으로서 관측자료의 공유 및 활용 등에 관한 효율성 높은 선도적인 정책 추진이 요구된다.

한편 민간 부문의 ㈜SK플래닛은 수도권 이동통신 기지국 1,000여 개소에 기온, 습도, 바람, 강수량 등 기상센서를 설치하고, 기상관측과 예보서비스를 시범 운영하고 있으나, 아직 타 분야와 융합기상관측망 구성에 대한 이해와 투자는 부족한 현실이다.

## 제2절 연구목적

본 연구와 유사한 정책연구는 진양공업(2007), (주)웨더피아(2015) 등 기상사업체에 의해 이루어진 바 있으며, 우리의 관측현황을 토대로 국가기상관측망 최적화에 관한 전략과 관측로드맵 등을 제시한 바 있다. 본 연구의 목표는 다음과 같은 다섯가지 항목으로 나타낼 수 있다.

첫째, 기상청과 유관기관의 기상관측 및 국가관측망(2018년 6월 현재)에 대한 현행화 조사와 함께 주요 기상선진국(미국, 일본, 호주, 영국, 유럽연합, 중국 등)의 최근 관측동향과 발전전략을 우리와 비교하여 현행 국가기상관측의 적정성을 평가하고자 하였다.

둘째, 현행 기상청이 예보업무와 수치모델 등에 활용하고 있는 각종 기상관측자료를 조사하여 관측과 예보의 연관성을 체계화하는데 목적을 두었다.

셋째, 기상관측망에 관한 자료의 현행화와 함께 국가기상관측의 적정성 평가를 위하여 객관성을 지닌 계층분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process) 기법을 사용하여 관측 전략을 도출하였다. 각종 기상관측자료의 예보업무 기여도를 정량적인 측면과 정성적인 측면을 함께 설명할 수 있는 계층분석과정 기법을 이용하여 기존의 다른 조사와의 차별성을 부여하였다. 이를 위하여 기상청 내부, 유관기관, 민간 부문 등의 약 770인을 대상으로 설문조사를 수행하여, 관측자료의 이용자별 체감 결과를 도출해 내었다. 연구의 기본 방향은 기상청이 2016년 이후 마련한 주요 중장기 발전계획에 준한 기본 틀을 갖추고자 하였다. 여기에는 기상업무에 관한 중장기 목표, 기본방향 등을 반영한 제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)이 있으며, 이와 함께 작성된 관측업무발전 기본계획(2017~2021)을 준용하였다. 이러한 범용적인 주요 계획에 따라 관측 전반에 관한 시행 계획이 이미 추진 중에 있어 기여도 분석 결과를 반영한 현실성 있는 전략을 제시하고자 하였다.

넷째, 관측전문 인력양성 방안에 대하여서는 기상청의 현재 관측 및 장비전문 인력 부재의 현실을 바탕으로 인력의 충원과 함께 현행 인력양성 교육 계획에 대한 분석을 토대로 관측 및 장비전문가 양성 전략을 도출해 내었다.

다섯째, 민간을 포함한 유관기관의 관측자료와 비종관 관측자료를 효율적으로 공

동 활용할 수 있는 방안도 제시하고자 하였다. 이와 함께 기상청의 연구개발 중장기계획(2018~2027)내의 기상관측 부문에 대한 투자 방향과 우선 순위를 토대로 고품질 입체 관측기반 마련을 위한 과학적·논리적 근거를 제시하고, 아울러 국가재정의 연차적 투자 전략을 객관화하고자 하였다.

## 제 2 장 기상관측망 현황 조사 및 분석

### 제1절 기상청의 기상관측망

기상업무의 시작은 대기의 현재 상태에 관한 자료를 얻어내는 기상관측에서부터 출발한다. 기상법 제2조(정의)에서 ‘기상관측이란 기상현상을 과학적 방법으로 관찰·측정하는 것을 말한다’라고 정의하고 있으며, 동법 제7조(관측망의 구축을 통한 기상관측)에서 ‘기상청장은 기상현상에 관한 정보를 생산하기 위하여 필요한 곳에 기상관측망을 구축하여 관측하여야 한다’라고 규정하고 있다. 여기에서 말하는 ‘기상관측망’이란 기상관측업무를 수행할 목적으로 기상관측장비를 설치하여 운영하는 관측 시설을 말한다(1).

기상청은 기상재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 공공복리를 증진하는 데에 이바지함을 목적으로 지상기상관측을 비롯하여 고층·해양·항공·위성·레이더·지진 등 하늘·땅·바다·우주에서 다양한 기상관측을 수행하고 있다. [그림 2-1]은 3차원 입체 기상관측 모식도이다(기상청, 2018)

이와 같은 기상관측은 기상업무 중에서 가장 기본적인 역할을 하며, 실시간으로 생산된 기상관측 자료는 현재의 기온, 풍속 등 기상상태를 파악하는데 이용될 뿐만 아니라 통신망을 통하여 수집·분석된 자료는 일기예보의 기초 자료가 되며 보고서와 기상월보 등의 간행물로도 발간된다. 또한 조사·연구과정을 거쳐 광범위하게 사회·경제활동의 자료로 이용되며, 대기상태의 장기적 변화를 감시하기 위한 연구에 있어서도 매우 중요한 자료로 쓰이고 있다.



[그림 2-1] 3차원 입체 기상관측 모식도

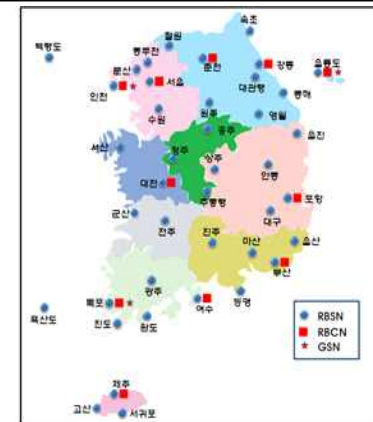
1) 지상기상관측지침 제4장 4.1용어정의 참조

세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에서는 지구상의 기상 및 기타 환경적 관측을 위해 전지구 관측시스템(GOS, Global Observing System)을 운영하고 있으며, GOS시스템은 크게 지상기반시스템(Surface Based System)과 우주기반시스템(Space Based System)으로 나누어지며, 지상관측, 고층관측, 해양관측, 위성관측, 레이더관측 시스템 등으로 구분된다. 특히 지상관측시스템은 지역기본종관측망(RBSN, Regional Basic Synoptic Networks), 지역기본기후관측망(RBCN, Regional Basic Climatological Networks), 전지구기후관측시스템(GCOS, Global Climate Observation System)으로 분류하고, 전지구기후관측시스템은 지상관측망(GSN, GCOS Surface Networks)과 고층관측망(GUAN, GCOS Upper Air Network)으로 구분한다. 이에 대한 상세한 설명과 관련성에 대해서는 제3절에서 언급된다.

현재 WMO에 등재되어 있는 우리나라 기상관측소는 모두 기상청 소속관서이며, RBSN 43개소, RBCN 11개소, GSN 3개소, GUAN 1개소 등 모두 105개소가 있다. [표 2-1]은 WMO에 등재되어 있는 기상관측소 현황이며, [그림 2-2]는 WMO에 등록된 기상관측소 분포도를 나타낸 것이다(썬웨더피아, 2015).

[표 2-1] WMO에 등록된 기상청의 기상관측소 현황

구분	RBSN	RBCN	GSN	GUAN
개수	43	11	3	1
지명	속초, 철원, 동두천, 파주, 대관령, 춘천, 백령도, 강릉, 동해, 서울, 인천, 원주, 울릉도, 수원, 영월, 오산 AB, 청주, 서산, 울진, 청주, 대전, 추풍령, 안동, 상주, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 창원, 광주, 광주 AB, 부산, 통영, 목포, 여수, 흑산도, 원도, 진도, 제주, 고산, 서귀포, 진주	춘천, 강릉, 서울, 인천, 울릉도, 대전, 포항, 부산, 목포, 여수, 제주	인천, 울릉도, 목포	포항



[그림 2-2] WMO에 등록된 기상관측소

본 절에서는 2018년 6월 30일 기준으로 기상청에서 운영하고 있는 기상관측망을 조사 분석하고자 한다. 현재 기상청에서 운영하고 있는 기상관측망을 분야별로 분류하면 크게 지상기상관측망, 고층기상관측망, 해양기상관측망, 항공기상관측망, 위성기상관측망, 레이더기상관측망으로 구분할 수 있으며, 이중 지상·고층·해양에서 운영하고 있는 주요 기상관측장비는 [표 2-2]와 같이 총 21종 1,494대가 있다. [표 2-3]은 기상청의 분야별 기상관측망 현황을 나타낸 것이고, [그림 2-3]은 기상청의 종합 기상관측망도(기상청 홈페이지)를 보인 것이다.

[표 2-2] 기상청의 주요 기상관측장비 현황

구분		수량	비고	
지상기상 관측망	자동기상관측장비	ASOS	96	
		AWS	494	
		AAOS	4	7대는 중복으로 제외
		소계	594	
	시정관측장비	안개관측장비	76	
		시정현천계	291	
	적설관측장비	소계	367	
		CCTV	170	
		초음파식	60	
		레이저식	122	
	황사관측장비	소계	352	
		PM10	27	연구용 2대 제외(안면도, 울릉도)
		입자계수기(OPC)	7	
		소계	34	
	합 계		(10종) 1,347	
	고층기상 관측망	고층기상관측장비	레원존데	6
연직바람관측장비			9	
라디오미터			9	
합 계		(3종) 24		
해양기상 관측망	해양기상관측장비	해양기상부이	17	
		파고부이	59	
		등표기상관측장비	9	
		파랑계	1	
		연안방재 관측장비	18	
		선박기상관측장비	14	
		항만기상관측장비	4	
기상관측선	1			
합 계		(8종) 123		
총 계		(21종) 1,497		

\* 해양기상관측장비 중 표류부이는 소모성 장비이므로 제외함.




[표 2-3] 기상청의 분야별 기상관측망 및 관측방법

구분	장비명	수량	관측지점	관측방법(관측요소)
지상 기상 관측망	ASOS	96	○ 지방청 6개소, 기상지청 3개소, 기상대 7개소, 관측소 7개소, 자동기상관측소 73개소	○ 기상관서에서의 기상관측을 자동으로 수행 - 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 강수량(0.1mm 0.5mm, 강수유무, 일사량, 일조시간, 초상온도, 지면온도, 지중온도, 시정현천, 운고운량
	AWS	494	○ 방재를 위한 전국의 관측지점	○ 도서, 산악 등 국지적인 방재감시 자동기상관측 - 풍향, 풍속, 기온, 강수량(0.5mm, 강수유무 * 일부지점 요소 추가 : 습도, 기압, 시정현천
	AAOS	11	○ (기본) 수원(농) 1개소 ○ (보조) 철원 장흥, 안동(농), 대곡, 순천(농), 춘천 신북, 오창 가곡, 서산, 익산, 강정, 보성군(농) 10개소	○ 농업기상정보 제공을 위해 도별 1개소 이상 선정·운영 - 토양수분, 지면·지중온도, 복사, 지하수위, 철관온도, 기온·습도 수직 분포 등 23개의 관측요소
	적설	182	○ 기상관서 및 동네예보 지점	○ 초음파(60개소)와 레이저(122개소)를 이용하여 적설 관측 - 대설다발지역 중심으로 설치 ○ 적설 CCTV 170개소
	황사	34	○ PM10: 27개소 ○ OPC: 7개소(광학입자 계수기)	○ PM <sub>10</sub> : 대기 중 직경 10 $\mu$ m이하 입자의 농도 측정 * 국립기상과학원에서 울릉도와 안면도(2개) 별도 운영 중 ○ OPC : 로렌츠-미 산란을 이용입자의 측방 산란광을 전기신호로 바꾸어 입자의 크기를 측정
	시정 현천	291	○ 기상관서 및 동네예보 지점	○ 산란방식에 의해 대기 중의 시정장애(박무, 연무, 안개 등)현상을 실시간으로 감지 * 안개관측장비로도 분류
	운고 운량	92	○ 유인 및 무인 기상관서	○ 레이저 방식으로 되돌아오는 빛의 강약을 통해 운고·운량을 실시간으로 측정
	일조	96	○ 유인 및 무인 기상관서	○ ASOS지점 96개소 설치
	일사/ 직달 일사	54	○ 유인 및 무인 기상관서	○ 일사 47개, 직달일사 7개소 * 직달일사('09년): 서울, 부산, 광주, 대전, 강릉, 제주, 추풍령
	레원 존데	6	○ 포항, 제주(태풍센터), 백령도, 북강릉, 흑산도, 창원 * 창원: 오토존데	○ 레원존데를 상층으로 띄워 지상으로부터 약 30km지의 고도별 기상요소 측정 - 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도
	연직 바람 관측 장비	9	○ 파주, 강릉, 군산, 창원, 추풍령, 울진, 원주, 철원, 북경렬비도	○ UHF, VHF 전파를 대기 중으로 방사하여 반사된 전파신호를 수신·분석 - 수평 풍향 풍속, 대기의 연직 운동

구분	장비명	수량	관측지점	관측방법(관측요소)
해양 기상 관측망	라디오 미터	9	○ 파주, 강릉, 군산, 창원, 추풍령, 울진, 원주, 철원, 북격렬비도	○ 대기 중의 수증기와 산소, 구름에 의해 방출되는 에너지를 흡수하여 분석 - 기온·습도의 연직분포, 기강수량, 구름 액체물량, 누적액체물량 등
	관측선	1	○ 기상1호 - 498ton	○ 해양기상을 관측하는 전용 선박으로서 한반도 전해상의 고층기상, 해상기상, 해양물리현상 등을 종합적으로 관측 - 고층, 풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압, 파랑, 수온, 염분, 해류, 수심, 대기 환경 등 관측
	해양 기상 부이	17	○ 서해(덕적도, 외연도, 인천 칠발도, 신안, 부안) ○ 남해(거문도, 추자도, 통영, 거제도) ○ 제주(마라도, 서귀포) ○ 동해(동해, 울진, 포항, 울릉도-독도, 울산)	○ 연바다 해수면에서 해양기상현상을 관측하여 무선송신 - 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 수온, 파고유의, 최대, 평균, 파주기, 파향 - 6m×7대, 3m×9대, 2m×1대
	파고 부이	59	○ 서해(신진도, 삼지도, 이작도, 풍도, 비안도, 옥도, 자은, 진도, 자월도, 서천, 군산, 영광, 맹골수도, 천수만, 낙월, 대치마도, 안면도, 장봉도, 변산, 조도, 불무도, 위도) ○ 남해(청산도, 금오도, 두미도, 장안, 해금강, 북항, 남항, 한산도, 추자도, 노화도, 고흥, 잠도, 소매물도, 남해, 연화도, 시랑도, 나로도) ○ 동해(죽변, 구룡포, 연곡, 후포, 토성, 삼척, 간절곶, 월포) ○ 울릉도 연안(구암, 혈암, 울릉읍)/독도연안(독도) ○ 제주(제주항, 중문, 우도, 가파도, 협재, 김녕, 신산, 영락)	○ 연안 또는 평수구역 수심 40m 전후 해역에서 해양기상 관측 - 파고(유의, 최대, 평균), 파주기, 수온
	등표 기상 관측 장비	9	○ 서해(서수도, 가대암, 십이동 파도, 갈매여, 해수서) ○ 남해(간여암, 광안) ○ 제주(지귀도) ○ 동해(이덕서)	○ 해상에 설치되어 있는 등표에 자동 기상관측장비와 파고계를 설치하여 해양기상 관측 - 풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 파고(유의, 최대), 파주기, 수위, 수온
	파랑계	1	○ 서해(북격렬비도)	○ 전자파가 해면으로부터 반사되어 산란된 신호를 수신하여 스펙트럼 분석을 통해 해상상태를 감지 - 파고(유의, 최대), 파주기, 파향, 파속, 파장
	연안 방재 관측 장비	18	○ 서해연안(8) - 대산, 죽도, 말도, 격포, 영광, 지산, 흑산도, 신안 ○ 남해연안(4) - 통영, 여수, 해남, 실리도 ○ 제주연안(2)	○ 연안 및 해안에서 해상의 장주기 관측, 해상상태 감시, 해상 정보 제공 - 장비구성: 수위계, 해상영상 감시 시스템 - 관측요소: 수위, 풍향, 풍속, 기압

구분	장비명	수량	관측지점	관측방법(관측요소)	
항공 기상 관측망			- 판포, 서귀포 ○ 동해연안(4) - 영덕, 주문진, 구룡포, 울산		
	선박 기상 관측 장비	14	○ 서해(7) - 해경함정 4척(인천 2, 군산 1, 목포 1) - 무궁화2호, 국제여객선 2척(비룡호, 뉴골든브릿지 V) ○ 남해(1): 해경함정(부산) ○ 동해(2) - 무궁화1호, 해경함정(동해) ○ 제주(4) - 해경함정(제주 2, 서귀포 2)	○ 유관기관선박 및 여객선 등을 활용한 선박기상관측장비 설치 - 풍향, 풍속, 기온, 습도, 파고, 기압	
	항만 기상 관측	4	○ 서해(2): 평택항 인근 ○ 남해(2): 부산항 인근	○ 항만의 위험기상 및 해양 현상감시 - 풍향, 풍속, 기온, 습도, 파고, 파주기, 수온 등	
	AMOS	8	○ 인천(2), 김포, 제주, 울산, 무안, 여수, 양양공항	○ 활주로의 기상상태(활주로가시거리, 구름높이 등)를 자동측정하는 기본 장비	
	LLWAS	3	○ 인천, 제주, 양양공항	○ 활주로 및 활주로 인접지역의 저층에서 발생하는 윈드시어 및 마이크 로버스트를 탐지하여, 항공기 이착륙 의사결정 자료로 활용(관제탑)	
	Wind Profiler	2	○ 여수, 김해공항	○ 연직 대기의 고도별 바람과 윈드시어 탐지 ※ 연직바람관측장비라고도 함.	
	TDWR	1	○ 인천공항	○ 공항부근의 위험기상(호우, 마이크 로버스트 등)을 조기 탐지하여 관제사와 예보관에게 제공	
	안개 관측 장비	1	○ 인천공항	○ 대기의 온·습도를 측정·분석하여 항공기 운항에 결정적 요소인 공항안개를 관측	
	위성 기상 관측망	천리안 위성 (1호)	1	○ 전지구, 동아시아지역, 한반도 주변을 집중적으로 관측	○ 천리안 정지궤도 위성은 적도 약 36,000km 상공에서 지구 자전속도와 같은 속도로 동일한 영역을 지속해서 관측 ○ 전지구 일 8회(3시간 간격), 동아시아 지역 15분 간격, 한반도 주변 8분 간격으로 관측 - 구름상태와 대기의 연직구조 등에 대하여 관측(산출물 16종)
		천리안 위성 (2호)	1	○ 전지구, 동아시아지역, 한반도 및 우주 관측 ※ 2018.12.5일 발사예정	○ 전지구 10분, 한반도 주변 2분 간격으로 관측 ○ 천리안 1호기 + 우주기상 관측(산출물 기상52종 + 우주8종)



구분	장비명	수량	관측지점	관측방법(관측요소)
	외국 기상 위성 		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일본 Himawari-8, 중국FY-2E 정지궤도위성 직접 수신</li> <li>○ 미국, 유럽 등의 극궤도 기상 위성 직접수신</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정지궤도위성은 위성보유국의 관측 스케줄에 따라 관측</li> <li>○ 극궤도위성은 위성이 한반도 상공을 30도 이상의 고도각으로 통과할 때 관측 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고해상도 영상자료와 연직탐측 자료 수신</li> </ul> </li> </ul>
레이더 기상 관측망	기상 레이더 시스템 	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 백령도, 서울 관악산, 화천 광덕산, 강릉, 군산 오성산, 진도, 청송 면봉산, 부산 구덕산, 제주 고산, 제주 성산, 인천공항</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전파를 대기 중에 발사하여 강수입자에 부딪혀 산란되어 되돌아오는 신호를 수신 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 강수지역, 강수세기, 이동속도 등을 탐지</li> </ul> </li> </ul>
낙뢰 관측망	낙뢰 관측 장비 (LINET) 	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 간성, 백령도, 춘천, 파주, 대관령, 울릉도, 인천, 울진, 충주, 서해기지, 보령, 추풍령, 포항, 거창, 고창, 부산, 여수, 흑산도, 완도, 제주, 서귀포</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ LINET(Lightning Detection Network) 시스템을 이용하여 구름 속에서 일어나는 '구름방전'과 구름 하단의 음전하와 지면으로 유도된 양전하 사이에 발생하는 '대지방전'현상 관측 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 낙뢰의 발생시각, 위치, 극성(+,-), 강도, 고도 등</li> </ul> </li> </ul>



[그림 2-3] 기상청 종합 기상관측망도(2018년 6월 현재)

## 1. 지상기상관측망

지상(地上)기상관측이란 '지면 부근 및 지상에서 본 구름을 포함한 기상요소와 일기현상에 대하여 행하는 관측을 말한다'라고 기상청 관측업무규정 제3조에서 정의하고 있으며, 지상관측업무지침에서는 지상기상관측이란 '자연과학적인 측정의 한 부분으로 지상에 있어서 시시각각 변하는 기상요소와 현상에 대해 눈(目)으로 관측 또는 기상관측 장비 등의 측기를 사용한 자동 또는 수동으로 지상기상상용표, 대수표, 기타 계산표 등을 바탕으로 소정의 계산과정을 거쳐 생산되는 수치 혹은 부호로 기록 표출되는 모든 것을 말한다'라고 구체적으로 명시하고 있다.

기상청은 지상기상관측을 위해 서울기상관측소 등 전국에 종관기상관측장비(ASOS, Automated Surface Observing System) 96개소, 방재기상관측장비(AWS, Automated Weather System) 494개소, 농업기상관측장비(AAOS, Automatic Agriculture Observation System) 11개소를 운영하고 있으며, 농업기상관측장비 11개소 중 7개소는 ASOS 또는 AWS와 통합하여 운영하고 있다([표 2-4] 참조). 따라서 2018년 6월 30일 현재 기상청에서 관측하고 있는 지상기상관측소는 총 594개소이다.

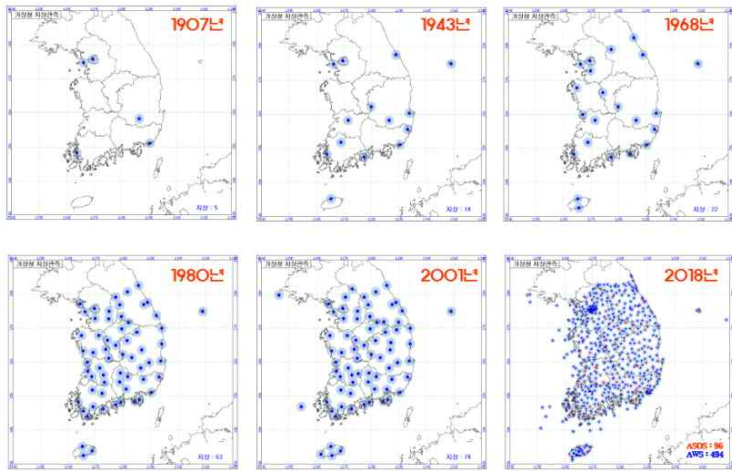
[표 2-4] AAOS(농업기상관측장비)와 AWS 통합지점(7개소)

순번	AAOS	ASOS/AWS	통합 지점명
1	철원(농)(970)	-	철원장흥
2	진주(농)(974)	대곡(686)	대곡
3	전주(농)(975)	익산(702)	익산
4	청주(농)(977)	오창가곡(683)	오창가곡
5	춘천(농)(978)	춘천신북(684)	춘천신북
6	서산(농)(979)	서산(129)	서산
7	서귀포(농)(980)	강정(685)	강정

우리나라 면적을 기준으로 이러한 표준 지상기상관측소의 해상도를 살펴보면 ASOS의 경우 약 32km(96개소)이고, AWS를 포함하면 약 13km(594개소)로서 매우 조밀한 수평격자를 갖는다.

[그림 2-4]는 기상청 지상기상관측망의 변천도(웨더피아(주), 2015)와 [표 2-5]는 기상관서별로 운영하고 있는 지상기상관측장비의 설치현황이다. 또한 [그림 2-5]는 전국의 ASOS와 AWS 관측망, [그림 2-6]은 AAOS 관측망도를 나타낸 것이다.<sup>2)</sup>

2) 기상청, 기상 관측 통합 메타데이터시스템, <https://omds.kma.go.kr/stat/stat/obsrSensor.do> 및 기상청 유관기관 관측지점 분포도

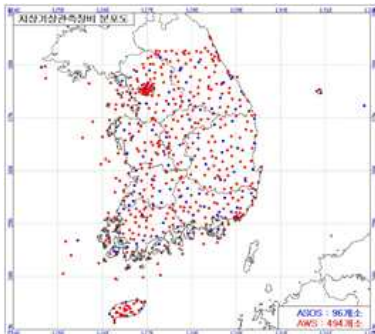


[그림 2-4] 지상기상관측망의 변천도

[표 2-5] 기상관서별 지상기상관측장비 설치현황

구 분	수도권청	부산청	광주청	대전청	강원청	제주청	대구 지청	전주 지청	청주 지청	계
종관기상관측장비 (ASOS)	9	19	15	7	14	4	13	10	5	96
방재기상관측장비 (AWS)	93	68	77	40	74	34	50	31	27	494
농업기상관측장비 (AAOS)	1	2	2	1	2	1	-	1	1	11
계	103	89	94	48	90	39	63	42	33	601

※ 농업기상관측장비 11소 중 7개소는 ASOS 또는 AWS와 통합운영



[그림 2-5] ASOS와 AWS 관측망도

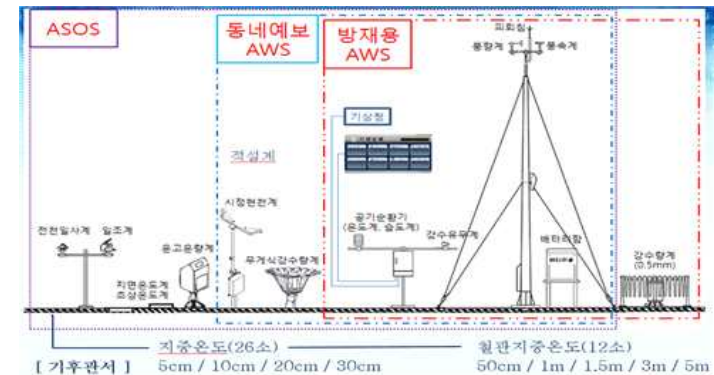


[그림 2-6] AAOS 관측망도

기상청의 지상기상관측업무의 구제적으로 살펴보면, 먼저 ASOS는 지방청, 지청, 기상대, 관측소 등에 설치하여 기상현상 관측 및 국제전문을 통한 자료 공유 등의 업무를 수행하며, AWS는 산악지역이나 섬처럼 사람이 관측하기 어려운 곳에 설치하여 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 위험기상 현상을 실시간으로 감시하고 있고, AAOS는 수원을 기본관측소로 농작물의 생육관리 등 농업 생산성 증대 및 농업기반시설(저수지 등) 운영 등에 필요한 기상정보를 생산하고 있다.

주요 관측요소는 AWS의 경우 기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무가 기본이며, 이 중에 동네예보 편집지점에 있는 AWS는 기압과 습도를 선택하여 관측하고 있다. ASOS는 AWS 관측요소에 일조, 일사, 초상온도, 지면온도, 지중온도 등의 요소를 추가하여 관측하고 있으며, AAOS는 ASOS와 AWS 관측요소에 토양수분, 지하수위 및 결로 등의 요소를 추가하여 관측하고 있다.

[그림 2-7]은 표준 지상기상관측소의 관측사례(기상청, 2018)를 보인 것이고, [표 2-6]과 [표 2-7]은 관측업무규정 제10조(관측의 요소 등)에서 규정한 지상기상관측(농업기상관측 포함)의 종류와 관측기준시각 및 요소를 나타낸 것이다.



[그림 2-7] 표준 지상기상관측소의 관측사례

[표 2-6] 지상기상관측의 종류, 관측시각 및 관측요소

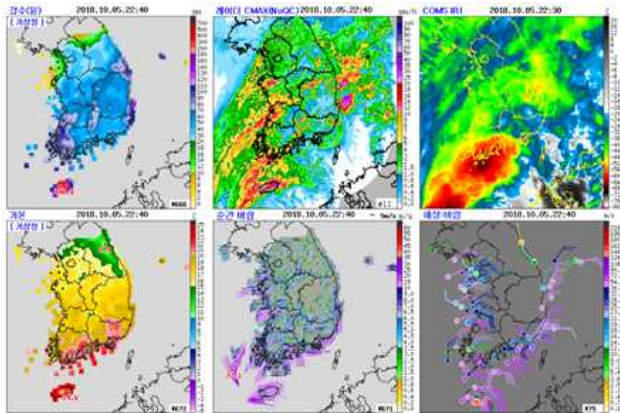
구분	종류	관측기준시각	관 측 요 소
기본 관측	정시관측	매 정시(1·2·19·20·22·23시 제외)	기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 적설, 구름, 시정, 기타 일기현상 등
	자동기상관측	매 1분	기온, 기압, 습도 또는 이슬점온도, 풍향, 풍속, 강수량, 일조, 초상온도, 지면온도
보조 관측	자동기상관측	매 1분	기온, 기압, 습도 또는 이슬점온도, 풍향, 풍속, 강수량, 일조, 초상온도, 지면온도

[표 2-7] 농업기상관측의 종류, 관측시각 및 관측요소

구분	종류	관측기준시각	관측요소	관측기간
기본 관측	정시관측	9	대형증발량, 소형증발량, 지하수위, 지중온도(0.5m·1m·1.5m·3m·5m)	연중
		3·9·15·21	지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm)	연중
	자동 기상관측	매 1분	일사, 일조, 기온, 습도, 풍속, 토양수분, 지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm)	연중
보조 관측	정시관측	9	대형증발량, 소형증발량, 지중온도(0.5m·1m)	연중
		3·9·15·21	지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm)	연중
	자동 기상관측	매 1분	일사, 일조, 기온, 습도, 풍속, 토양수분, 지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm)	연중

특히, ASOS와 AWS는 위와 같은 방법으로 대기의 상태를 매 1분 간격으로 연속 관측하여 기상요소를 생산하며, 생산된 기상관측자료는 정보통신망을 통해 매 1분마다 수집, 분석된다. 이렇게 분석된 관측자료는 일기도, 이미지, 그래픽 등 다양한 형태로 가공되어 우리나라 지도 위에 칼라영상으로 표출되고, 애니메이션이 되어 마치 높은 곳에 CCTV를 설치하여 목표물을 실시간으로 들여다보듯이 우리나라의 기상상황의 변화를 한 눈으로 파악할 수 있게 해준다.

[그림 2-8]은 2018년 10월 5일 제25호 태풍 콩레이가 한반도 남쪽 해상으로 북상하고 있을 때 1분 간격으로 분석된 ALWAS(Automatic Local Weather Monitoring System) 시스템의 표출화면을 보인 것이다(기상청 방재기상정보시스템).



[그림 2-8] ALWAS 표출 화면

이 밖에 지상기상관측을 위한 장비로는 자동적설관측장비 182개소(초음파식 60개소, 레이저식 122개소), 시정·현천(안개) 관측장비 291개소, 황사관측장비 34개소(부유분진측정기 PM<sub>10</sub> 27개소, 광학입자계수기 OPC 7개소), 운고·운량계 92개소가 있다.

이 중 자동적설관측장비와 시정·현천(안개) 관측장비는 전국 기상관서와 동네예보지점에 설치되어 있으며, 관측방법은 초음파식적설계의 경우 초음파 센서를 바닥면으로부터 일정 높이에 설치하고, 바닥면을 향해 초음파를 발사하여 되돌아오는 시간을 측정하여 적설심도를 산출하는데 이때 필요한 경우 온도 보정을 해야 한다. 또한 레이저식 적설계는 레이저를 이용한 거리 측정기술로 각 측정 지점에 레이저광을 송출하여, 반사되어 되돌아오는 시간으로부터 둘 사이의 거리를 측정하는데, 그렇게 측정된 각 지점의 거리 자료로부터 각 지점의 지면으로부터의 높이를 계산하고, 각 지점의 적설 값을 평균하여 측정면의 적설값을 계산한다. [표 2-8]은 자동적설관측 지점을 나타낸 것이며, [그림 2-9]는 자동적설관측망 분포도이다(기상청, 2018).

[표 2-8] 자동적설관측 지점(182개소)

방식	지점수	지점명
초음파식 적설계 (자동)	60	서남, 탄천, 의정부, 강화, 양평, 이천, 남양, 신서, 하면, 영주, 봉화, 문경, 담양, 니주, 화순, 영광, 해남, 장흥, 해제, 함라, 정읍, 임실, 장수, 부안, 진안, 순창군, 무주, 고창1, 고창2, 횡성, 사내, 평화, 인제, 홍천, 도암, 진부, 평창, 간성, 태백, 양구, 서석, 구룡령, 정선군, 공주, 부여, 금산, 천안, 당진, 보령, 태안, 청양, 제천, 음성, 영동, 보은, 증평, 봉성, 양평, 강정, 동광
레이저식 적설계 레이저식 적설계 (자동)	122	속초, 대관령, 서산, 추풍령, 포항, 기상청, 양주, 안산, 시흥, 용인, 오산, 거창, 진주, 통영, 김해시, 양산시, 함양군, 청송군, 의령군, 경주시, 북창원, 영덕, 의성, 영천, 함천, 밀양, 산청, 거제, 남해, 울진, 상주, 구미, 진도, 완도, 순천, 강진군, 광양시, 보성군, 고흥, 영암, 압해도, 광주, 군산, 남원, 동해, 철원, 원주, 영월, 논산, 계룡, 충주, 진천, 성산, 서귀포, 아라, 세종금남, 운평, 해안, 설악동, 주문진, 남양주, 여주, 화천, 기린, 구리, 성남, 능곡, 진부령, 오색, 광릉, 단양, 괴산, 옥천, 서천, 예산, 사북, 신기, 무안, 익산, 구례, 추자도, 김제, 줄포, 어리목, 함평, 곡성, 영양, 성주, 고령, 청도, 예천, 구룡포, 수비, 김천, 군위, 칠곡, 경산, 석포, 금강송, 감포, 삼척, 새만금, 사천, 고성, 창녕, 함안, 기장, 어흘리



[그림 2-9] 자동적설관측망 분포도

이어서 황사관측을 위한 장비는 부유분진측정기(PM<sub>10</sub>) 27개소와 광학입자계수기(OPC) 7개소가 도서 및 산악 등 인위적인 대기오염이 없는 청정 지역(지점)에 설치되어 있으며([표 2-9] 참조), 그 밖에 국립기상과학원에서 울릉도(1식)와 안면도(2식)에 PM<sub>10</sub>을 설치하여 운영하고 있다. 측정방법은 PM<sub>10</sub>의 경우 대기중 직경 10 $\mu$ m이하 입자의 농도를 측정하고, OPC는 로렌츠-미 산란을 이용하여 입자의 측방 산란광을 전기신호로 바꾸어 입자의 크기를 측정한다. 관측업무규정에서 정한 황사관측의 관측장비·기준시각 및 요소는 [표 2-10]과 같고, [그림 2-10]은 기상청의 황사관측망 분포도(해상도 약 60km)이다. 그 밖에 중국내 황사발원지 및 이동경로상에 10개소의 한중 황사공동관측망을 설치하고, 몽골 2개소에 황사감시기상탑을 설치하여 황사 조기탐지 및 예보업무에 중요한 자료로 활용하고 있다. [그림 2-11]은 황사 발원지의 황사관측망을 나타낸 것이다(기상청, 2017).

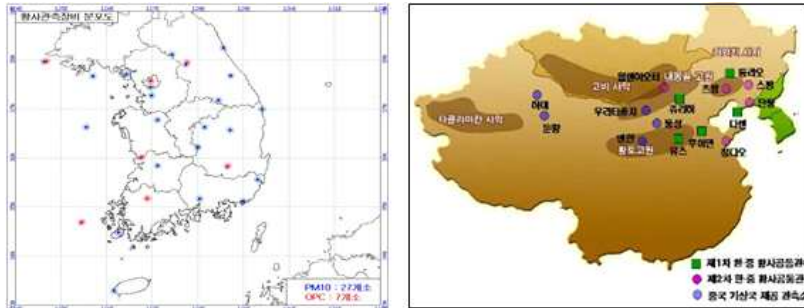
[표 2-9] 황사관측 지점명

장비명	지 점 명
PM <sub>10</sub> (27개소)	서울, 수원, 울산, 전주, 진도군, 강화, 백령도, 고산, 관악산, 군산, 흑산도, 광주, 광덕산, 천안, 추풍령, 북격렬비도, 연평도, 대관령, 문경, 울진, 구덕산, 속초, 북촌천, 대구, 안동, 영월, 진주
OPC (7개소)	서울, 철원, 군산, 백령도, 광주, 대구, 흑산도

[표 2-10] 황사관측의 관측장비·기준시각 및 요소

관측구분	관측장비	관측기준시각	관 측 요 소
보조관측	부유분진측정기(PM <sub>10</sub> )	매 5분	10 $\mu$ m 이하의 부유분진 농도( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )
	라이다	매 15분	소산계수, 비편광도

※ 단, 라이다의 관측시각은 계절이나 예보부서장의 요청, 기상상황 등에 따라 변경할 수 있다.  
 ※ 황사관측 및 관정기준은 지상기상관측지침에서 따로 정한다.



[그림 2-10] 황사관측망 분포도(기상청 지상기상관측망 통계자료) [그림 2-11] 황사발원지 관측망

또한, 2010년 이후 최근까지 관측자에 의해 육안으로 관측하던 구름, 시정, 기상현상 등의 목적관측 요소들을 자동화하면서 2018년 6월 현재 시정현천계 291개소, 운고운량계 92개소 등이 설치되어 있다.

## 2. 고층기상관측망

고층(高層)기상관측이란 ‘대기의 연직구조를 조사하기 위하여 고도별로 기상요소에 대하여 행하는 관측’을 말한다. 일반적으로 상층의 대기를 관측하는 장비로는 실측방식(In-Situ)인 레원존데와 원격관측방식(Remote Sensing)인 연직바람관측장비(Wind Profiler)와 라디오미터가 있다.

두 장비의 특징을 살펴보면 레원존데에 의한 고층기상관측은 실측방식으로 관측자료의 정확성이 높다는 장점은 있으나 풍선에 의하여 비양하는 방식으로서 자주 관측을 할 수 없다는 단점이 있다. 반대로 연직바람관측장비와 라디오미터는 원격관측으로 관측자료의 정확도는 낮으나 연속적으로 관측할 수 있다는 장점이 있다. 이 밖의 고층기상관측장비로는 비행기에 기상관측장비를 탑재하여 비행 중에 관측된 기압, 기온, 바람 등의 기상관측자료를 지상으로 중계하여 주는 AMDAR(Aircraft Meteorological Data Relay) 시스템 등이 있다.

레원존데 관측장비는 라디오존데, 지상수신장치, 자료분석장치, 지상점검장치, 비양 기구, 낙하산, 열대 등으로 구성된 고층기상관측장비를 말하는데, 이는 수소나 헬륨가스를 충전한 풍선에 온도, 습도, 기압을 관측하는 센서(라디오존데)와 무선송신기를 매달아 비양시켜서, 지상으로부터 35km까지의 기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속을 하루 2회(09시, 21시) 관측하고 있으며, 공군에서도 오산과 광주에서 하루 4회(03시, 09시, 15시, 21시) 관측하고 있다. 특히, 포항은 WMO의 고층기후관측소(GUAN)로 2004년 6월에 지정되어 고층기후관측을 수행하고 있다.

현재 우리나라의 레원존데 관측소는 기상청의 백령도, 강릉, 포항, 흑산도, 제주(국가태풍센터), 창원(오토존데) 등 6개소와 한국공군의 오산, 광주 2개소 등 모두 8개소가 있다. 이를 우리나라 남한면적으로 관측소간의 해상도를 산출해 보면 약 112km이고, 우리나라 해양면적까지를 고려하면 약 235km이다.

연직바람관측장비는 수직으로 전파를 발사하는 일종의 레이더로서 VHF대(30~300MHz)와 UHF대(300~3,000MHz)의 전파를 3방향 또는 5방향으로 발사하고 대기 난류에 의해 후방 산란된 전파를 수신, 도플러효과를 이용하여 지상에서 5km 고도까지 상층의 수평 바람분포와 대기의 연직운동 상태를 측정하는 장비이다. 라디오미터는 상층으로 Microwave 전파를 발사, 대기로부터 반사되어 되돌아오는 전파를 수신·분

석하여 지상에서 고도 10km까지의 상층의 기온과 습도, 액체물량 등의 연직분포를 관측하는 장비이다. [그림 2-12]와 [그림 2-13]은 연직바람관측장비와 라디오미터 장비의 모습을 나타낸 것이다.



[그림 2-12] 연직바람관측장비



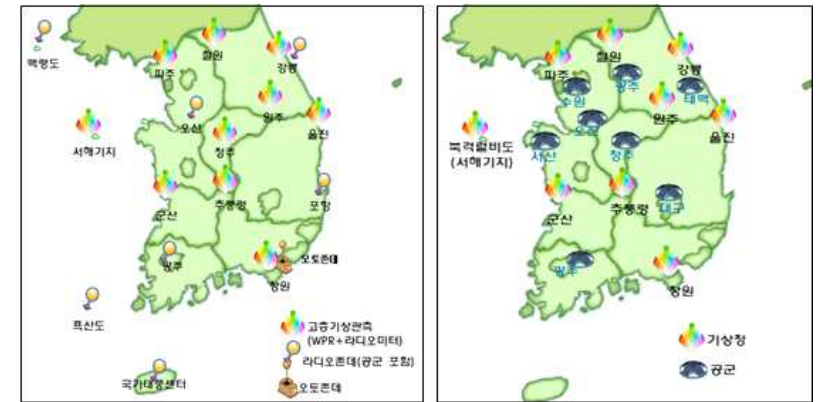
[그림 2-13] 라디오미터

현재 기상청은 상층기온 및 습도 등의 시·공간분해능 향상을 위해 연직바람관측 장비와 라디오미터를 동일한 장소에 설치하여 10분 간격으로 관측자료를 산출하고 있다. 기상청에서 운영하고 있는 연직바람관측장비와 라디오미터는 파주, 강릉, 철원, 원주, 북격렬비열도(서해가지), 군산, 추풍령, 울진, 창원 등 9개소이고, 그 밖에 (현)한국외국어대학교 대기환경정보연구센터[(구)차세대도시·농림융합기상사업단] 7대, 공군기상단 8대, 국립기상과학원 2대등 모두 17대가 설치되어 다양한 목적으로 운영되고 있다. [표 2-11]은 우리나라의 고층기상관측소 현황이다.

[표 2-11] 우리나라의 고층기상관측소 현황

장 비 명	장비수	설치지점
레원존데	8개소	○ 기상청 : 포항, 제주(국가태풍센터), 백령도, 흑산도, 강릉, 창원(오토존데) 등 6개소 ○ 공군 : 오산, 광주 등 2개소
연직바람관측장비	9개소	파주, 강릉, 군산, 창원, 울진, 철원, 원주, 추풍령, 북격렬비도
라디오미터	9개소	파주, 강릉, 군산, 창원, 울진, 철원, 원주, 추풍령, 북격렬비도 등 9개소 ※ 공군 8대, 국립기상과학원 2대 등 총 17대 운영 중
항공기 관측(AMDAR)	21대	대한항공 14대, 아시아나 항공 7대

[그림 2-14]는 기상청의 레원존데(공군 포함) 8대와 원격고층기상관측장비(연직바람관측장비+라디오미터) 각 9대로 구성된 기상청의 고층기상관측망 분포도로서, 해상도는 약 77km이다. 또한 기상청의 9대와 공군의 원격고층기상관측장비 8대(수원, 경기광주, 태백, 서산, 오산, 청주, 대구, 광주)를 포함한 우리나라의 통합 고층기상관측망 분포도는 [그림 2-15]와 같다(기상청, 2016).



[그림 2-14] 기상청 고층기상관측망도

[그림 2-15] 우리나라 통합 고층기상관측망도

한편, 기상청 관측업무규정 제11조에서 정한 고층기상관측의 종류·기준시각 및 요소는 [표 2-12]와 같고, 별도의 규정에 따라 필요시 특별고층기상관측을 행할 수 있다. 또한, 레원존데 관측에서 최종 도달고도의 기압이 100hPa에 미달할 경우에는 재관측을 하여야 하며, 이때 재관측하여도 최종 도달고도의 기압이 100hPa에 미달할 것으로 예상되거나 재관측 시각이 이미 관측기준시각으로부터 2시간 이상 지났을 때에는 관측을 하지 아니할 수 있도록 규정하고 있다.

[표 2-12] 고층기상관측의 종류·기준시각 및 요소

관측구분	관측종류	관측기준시각	관측요소
기본관측	레원존데관측	9·21시	기압(또는 고도), 기온, 풍향, 풍속, 습도(또는 이슬점온도)
보조관측	연직바람 관측장비관측	매 10분	풍향, 풍속, 연직풍속

### 3. 해양기상관측망

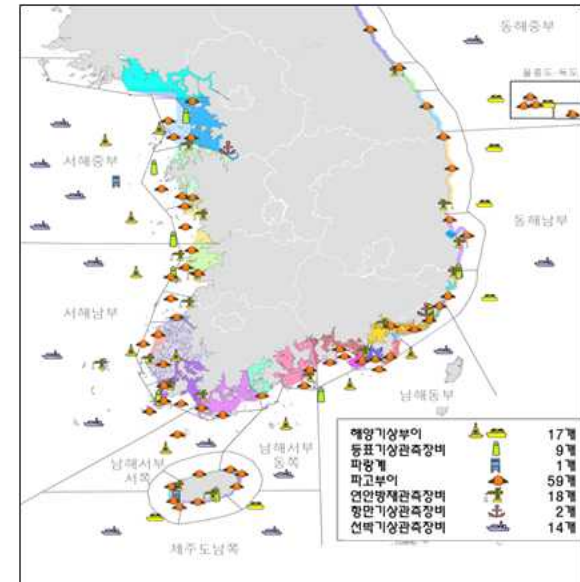
해양(海洋)기상관측이란 '해양 위의 대기와 해양의 상호작용으로 나타나는 기상 현상에 대하여 행하는 관측'을 말한다. 우리나라는 3면이 바다이고 편서풍 지역에 위치하고 있어 해양기상관측자료가 매우 중요하며, 해양기상정보의 수요가 급증하면서 해양기상관측망의 중요도가 날로 증가하고 있다.

기상청은 해양기상관측을 위해 해양기상부이, 등표기상관측장비, 파랑계, 파고부이, 연안방재관측시스템, 해양·항만관측시스템, 기상관측선, 선박기상관측장비, 해양기상기지 등을 설치하여 해양기상관측자료를 확보하고 있다. [표 2-13]은 기상청의 해양기상관측장비 설치현황이며, [그림 2-16]은 해양기상관측망도를 나타낸 것이다.

[표 2-13] 기상청의 해양기상관측장비 설치 현황

장비명	지점수(개소)	설치해역			
		서해	남해	동해	제주
해양기상부이	17	덕적도, 외연도, 인천, 칠발도, 신안, 부안(6개소)	거문도, 거제도, 통영, 추자도(4개소)	동해, 포항, 울산, 울릉도-독도, 울진(5개소)	마라도, 서귀포(2개소)
파고부이	59	신진도, 삼시도, 이작도, 풍도, 비안도, 옥도, 자은, 진도, 자월도, 서천, 군산, 영광, 맹골수도, 천수만, 낙월, 대치미도, 안면도, 장봉도, 변산, 조도, 불무도, 위도(22개소)	청산도, 금오도, 두미도, 장안, 해금강, 북항, 남항, 한산도, 추자도, 노화도, 고흥, 잠도, 소매물도, 남해, 연화도, 사랑도, 나로도(17개소)	죽변, 구룡포, 연곡, 후포, 토성, 삼척, 간절곶, 월포, 구암, 혈암, 울릉읍, 독도(12개소)	제주항, 중문, 우도, 가파도, 협재, 김녕, 신산, 영광(8개소)
등표기상관측장비	9	서수도, 가대암, 심이동파도, 갈매여, 해수서(5개소)	간여암, 광안	이덕서	지귀도
파랑계	1	북경렬비도			
연안방재관측장비	18	대산, 죽도, 말도, 격포, 영광, 지산, 흑산도, 신안(8개소)	통영, 여수, 해남, 실리도(4개소)	영덕, 주문진, 울산, 구룡포(4개소)	판포, 서귀포(2개소)
관측선	1	기상1호(498톤)			
선박기상관측장비	14	인천해경함정(3005함, 3008함), 군산해경함정(3010함), 목포해경함정(3009함), 무궁화2호(서해어업관리단), 국제여객선 2척(비룡호, 뉴골든브릿지 V)	부산해경함정(3001함)	동해해경함정(3007함), 무궁화1호(동해어업관리단)	제주해경함정(3002함, 3012함), 서귀포해경함정(3003함, 3006함)

관측지원선박(VOS)	31	○ 극지연구소 아리온 1척 ○ SK해운 9척 ○ 위동 항운 1척	○ H-Line 해운 8척 ○ 대한해운 4척	○ 현대상선 7척 ○ 대인 웨리 1척
항만기상관측시스템	4	○ 서해 2개소(뽕택항 인근 : 풍도, 도리도) ○ 남해 2개소(부산항 인근 : 남항, 북항)		



[그림 2-16] 기상청 해양기상관측망도

해양기상관측망을 해역별로 구분해서 살펴보면 먼바다의 해양기상관측을 위하여 기상관측선 기상1호(498톤급) 1척과 유관기관 선박에 관측장비를 설치한 선박기상관측장비 14대를 비롯하여 해양기상부이를 서해 6개소, 남해 4개소, 동해 5개소 및 제주 2개소 등 모두 17개소에 계류하였고, 앞바다 관측을 위하여 등표기상관측장비 9개소, 파고부이 59개소를 운영하고 있으며, 연안 기상관측을 위하여 파랑계 1개소, 연안방재관측장비 18개소, 항만기상관측장비 4개소를 설치하였다. 또한 원해의 해양기상관측을 위하여 원해를 운항하는 민간 선박의 해양기상관측자료를 수집하는 관측지원선박(VOS, Voluntary Observing Ships) 31척을 운영하고 있다. [표 2-14]는 해역별 해양기상관측장비 내역이고, [그림 2-17]은 해역별 해양기상관측장비의 모식도를 나타낸 것이다(기상청, 2018). [표 2-15]는 관측업무규정 제13조에서 정한 해양기상관측의 종류·기준시각 및 요소이다<개정 2017. 5.23.>.

[표 2-14] 해역별 해양기상관측장비 내역

구 분	관측장비	비 고
원 해	관측지원선박(VOS) 31척	
먼바다	관측선(기상1호) 1척, 선박기상관측장비 14대, 해양기상부이 17소,	o 해양기상부이 : 6m×7대, 3m×9대, 2m×1대
앞바다	등표기상관측장비 9대, 파고부이 59대	
연 안	파랑계 1개소, 연안방재 관측장비 18개소, 항만기상관측장비 4개소	



[그림 2-17] 해역별 해양기상관측장비 모식도

[표 2-15] 해양기상관측의 종류·기준시각 및 요소

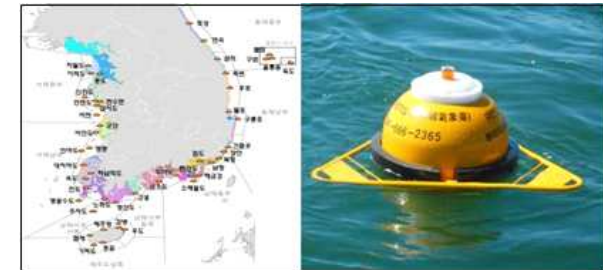
관측구분	관측종류	관측기준시각	관측 요소
기본관측	자동기상관측	매 30분, 매시	기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 수온, 파고
보조관측	자동기상관측	매 30분, 매시 등 (수시, 특별관측 포함)	1. 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 수온, 파고 중 일부를 관측 2. 이동형 관측장비로 관측한 기상요소

이어서 해양기상관측장비별 제원과 특성을 살펴보고자 한다. 먼저 해양기상부이(Ocean Data Buoy)는 먼바다의 해상예보, 특보를 지원하기 위한 종합해양기상장비로서, 해수면에서 다양한 해양기상현상을 관측하고, 위성 등 원격통신을 이용하여 30분 간격으로 관측자료를 전송하는 장비이며, 형태에 따라 선박형(6m NOMAD)과 원반형(직경 3m) 두 가지가 있다. 해양기상부이는 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 파고, 파주기, 파향, 수온 등을 관측하고 있다. 파고와 파주기 관측의 경우에는 해수면에서 부이 몸체의 움직이는 가속도를 측정하여 분석한다. [그림 2-18]은 기상청에서 운영하고 있는 해양기상부이의 모습과 관측망도이다(기상청, 2018).



[그림 2-18] 해양기상부이 및 관측망도(17개소)

파고부이(Coastal Wave Buoy)는 해양기상부이보다 근해에 설치하여, 특정관리해역(연안바다, 평수구역)의 예보, 특보를 제공하기 위한 파고관측 장비로서, 복잡한 지형에 의해 국지적으로 서로 달리 나타나는 파고를 관측하여 CDMA를 이용하여 1시간 간격으로 자료를 전송하는 장비이다. 파고부이는 직경 약 70cm의 소형으로, 관측요소는 파고, 파주기, 수온 등이며, 파고·파주기 관측의 경우는 해양기상부이와 마찬가지로 해수면에서 파고부이 몸체가 움직이는 가속도를 측정하여 분석한다. [그림 2-19]는 기상청 파고부이의 모습과 관측망도를 보인 것이다(기상청, 2018).



[그림 2-19] 파고부이 및 관측망도(59개소)

등표기상관측장비(Light House AWS)는 등표나 관측탑 등의 해양 구조물에 AWS 등의 기상관측장비를 설치하고 수중에는 해상의 상태를 측정할 수 있는 압력식 파고계 등을 설치하여 주로 앞바다 예보, 특보를 지원하기 위한 관측장비로서, 관측한 자료를 위성 및 CDMA등을 이용하여 30분 간격으로 전송하는 장비이다. 등표기상관측 장비에서 관측하는 요소는 기온, 기압, 풍향, 풍속, 파고, 파주기, 수온 등이며, 파고와 파주기 관측의 경우에는 해저에 설치된 파고계에서 수압의 변화를 측정하여 분석한다. [그림 2-20]은 등표기상관측장비의 실제 모습과 관측망도이다(기상청, 2018).



[그림 2-20] 등표기상관측장비 및 관측망도(9개소)

파랑계(Wave Radar)는 마이크로파를 해면으로 송신하고 해면에서 반사되는 파를 수신하여 파고를 관측하는 장비이다. 파랑계는 파고부이가 도입되기 전 연안바다 관측을 위하여 해안의 언덕이나 절벽 꼭대기 등에 설치하였으며, 설치고도는 해수면으로부터 20~100m이다. 관측요소는 파고, 파주기, 파향, 파속, 파장 등이며 현재 북극권별비열도 서해기지 1개소를 운영하고 있다.

연안방재관측장비(Coastal Long Wave Monitoring System)는 연안 방파제 및 부두(항)에 설치하여 기상해일, 너울성 파도 등 장주기파에 의해 발생하는 수난사고 예방을 위한 실시간 해양관측을 위한 장비이다. 연안방재관측시스템은 연안지역에 설치하여 풍향, 풍속, 기압, 수위를 측정하며, 해안지역의 기상실황감시를 위해 CCTV도 함께 설치되어 있다. 다른 해양기상관측장비에서 관측하는 파고는 주로 주기가 짧은 단주기파인데 비해, 연안방재관측장비에서는 보다 주기가 긴 장주기파를 관측한다. 이는 날씨가 좋은 경우에도 해안지역에 피해를 주는 기상해일이 장주기 성분을 가지고 있기 때문이다. 장주기파의 관측은 마이크로파를 해수면에 수직으로 송신한 뒤 해수면에 부딪혀 되돌아오는 파를 1분 간격으로 수신하여 해수면까지의 거리의 변화(수위의 변화)를 측정함으로써 이루어진다. [그림 2-21]은 연안방재관측장비의 모습과 관측망도를 나타낸 것이다(기상청, 2018).



[그림 2-21] 연안방재관측장비 및 관측망도(18개소)

기상관측선(기상1호)은 집중호우와 폭설 등의 위험기상 조기감시 및 기상예보 지원과 해상·해양 물리현상의 관측, 조사 등을 위한 해양기상관측을 바다에서 능동적·입체적으로 수행할 수 있도록 2011년에 기상청에서 건조한 498톤(길이 64m) 규모의 기상관측 전용 선박으로서, 지난 2011년 5월에 취항하였다. 한반도 주변해역의 먼바다를 포함한 근해구역(113°S-63°N, 94°E-175°E)을 25일 이상 연속 항해하는 것이 가능하고, 최고속도는 시속 33km, 최대 탑승인원은 총 47명이다.

기상1호는 고층-해상-해양-환경 관측이 동시에 가능한 종합적인 관측선박이며, 해양기상, 고층기상, 해양물리현상을 관측하기 위한 자동기상관측장비, 고층기상관측장비, 웨이브 라이더 부이, 초음파해류 관측장비 등을 탑재하고 있다.

특히, 기상1호는 해상의 기상상태뿐만 아니라 해양기상부이와 같은 기존의 장비로는 불가능했던 상층 약 20km까지의 기온, 기압, 습도, 바람을 관측한다. 또한 해양과 대기의 상호작용에 대한 이해를 높여 예보정확도를 향상시키기 위해 초음파해류계(ADCP), 수온염분측정기(CTD) 등을 이용하여 수심 3,000m까지의 수온, 염분, 용존산소와 수심 700m까지의 해류, 전방 약 1km까지 파도의 높이, 주기, 방향을 연속적으로 관측한다. 이와 같은 다양한 관측자료는 실시간으로 예보관에게 제공되고 있다. [그림 2-22]는 기상관측선(기상1호)의 모형도이고, [그림 2-23]은 기상1호의 항행구역을 나타낸 것이며, [표 2-16]은 기상1호에 설치되어 있는 기상관측장비 내역이다(기상청, 2018).



[그림 2-22] 기상관측선(기상1호) 모형도



[그림 2-23] 기상관측선(기상1호) 항행구역



[표 2-16] 기상1호에 설치되어 있는 관측장비 내역

관측장비	관측요소
선박용 자동기상관측장비(AWS)	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 일사, 일조, 강수량, 수온
선박용 고층기상관측장비(ASAP)	20km까지 대기층별 풍향, 풍속, 기온, 기압, 습도
레이더식 파랑계(WAVEX)	파고, 파향, 파주기
미세먼지측정장비(PM10)	미세먼지(황사) 농도
정밀음향측심기(PDR)	관측지점의 수심, 해저지형(5,000m)
초음파해류관측장비(ADCP)	수층별 해류(유속, 유향)(700m)
수온염분수심기록계 및 체수장비(CTD)	수층별 수온, 염분(3,000m)
웨이브 라이더 부이	파고, 파향, 파주기
직독식 유속계	수심별 유향, 유속 및 수온(수심 약30M 까지)
관측장비용 위성 측위기	관측지점의 위도, 경도
시정·현천계	시정 및 현천

선박기상관측장비(Ship Weather Monitoring System)는 넓은 해역에서 해양기상 실험을 효과적으로 감시하기 위하여, 우리나라 해역을 운항하고 있는 해양경찰청 등의 유관기관 선박과 국제여객선에 설치한 기상관측장비이다. 선박기상관측장비를 이용해 관측하는 요소는 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 파고, 파주기, 수온 등이며, 현재 해양경찰청의 3,000톤급 경비함(10척)과 1,000톤급 어업지도선(2척), 국제여객선(2척) 등 선박 14척에 관측장비를 설치하여 운영하고 있다.

관측지원선박(VOS, Voluntary Observing Ships)은 해양을 운항하는 민간 선박의 관측자료를 최대한 활용하여 많은 해양기상관측 데이터를 수집하기 위한 세계기상기구(WMO)의 VOS 프로그램의 일환이다. 현재 우리나라는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 아리온호(쇄빙선)를 비롯하여 6개 해운사의 민간선박 등 31척으로부터 3시간 간격으로 관측자료를 수집하여 업무에 활용하고, 기상청 홈페이지를 통해 서비스하고 있다. [그림 2-24]는 홈페이지로 서비스하고 있는 VOS 관측자료 현황이다.

시간	위도	경도	날씨	구름양(1/8)	기온(℃)	풍향	풍속(m/s)	기압(hPa)
2018.10.19.03 KST	51.5	158.2		9	6.0	북	8.0	994.9
2018.10.19.03 KST	44	149	흐름름	1	10.0	서남서	8.5	1014.0
2018.10.19.03 KST	41.6	142.4			12.0	북	4.0	1021.0
2018.10.19.03 KST	37.7	124.1			16.3	서북서	6.5	
2018.10.19.03 KST	37.7	133.8	흐림	8	15.5	동북동	15.0	1018.0
2018.10.19.03 KST	35.6	141.3	흐림	8	20.0	서	5.0	1016.0
2018.10.19.03 KST	35.4	140.8	약한소나기	8	20.6	북동	12.5	1015.1
2018.10.19.03 KST	35.3	124.3	구름많음	5	16.0	북	10.0	1022.0

[그림 2-24] VOS 관측자료 서비스 내용

항만기상관측시스템(Port Weather Monitoring System)은 선박 교통이 집중되는 항만에서 위험기상 및 해양 현상을 감시하고, 선박의 안전한 운항과 선적·하역 등에 유용한 정보생산에 필요한 관측 자료를 생산, 지원하기 위한 시스템이다. 현재 부산항(남항, 북항) 2곳과 평택항(풍도, 도리도) 2곳에서 운영하고 있으며, 관측되는 요소는 기온, 습도, 풍향, 풍속, 파고, 파주기, 수온 등이 있다.

#### 4. 항공기상관측망

항공(航空)기상관측이란 ‘항공기 안전운항에 필요한 기상정보를 생산·제공하기 위하여 공항 및 인근 지역의 기상상태에 대하여 행하는 관측을 말한다’라고 관측업무규정 제3조에서 정의하고 있다.

기상청은 항공기의 안전과 경제적인 운항을 지원하기 위해 전국의 항공기상업무를 총괄하는 항공기상청을 인천국제공항에 두고, 소속기관으로 공항기상대 4개소(김포·제주·무안·울산공항), 공항기상실 8개소(김해·청주·대구·여수·양양·광주·포항·사천공항)를 설치하여 항공기상업무를 수행하고 있다. 특히, 항공기상청은 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)의 권고에 따라 우리나라 비행정보구역에 비행하는 항공기 안전에 중요한 영향을 미치는 위험기상을 감시하고, 공항예보·특보 등의 항공기상정보를 생산하여 제공하고 있다. [그림 2-25]는 우리나라 공항기상관서와 비행정보구역에 나타낸 것이다.



[그림 2-25] 우리나라 항공기상관서와 비행정보구역(기상청 홈페이지)

항공기상관측장비를 기능별로 살펴보면, 먼저 공항기상관측장비(AMOS, Aerodrome Meteorological Observation System)는 활주로상의 풍향·풍속, 시정, 활주로 가시거리, 운고, 기온, 이슬점 온도, 기압 및 강수량 등 기상상태를 자동으로 측정, 가공, 분석하는 항공기상관측의 기본 장비로서 그 외형은 [그림 2-26]과 같다.



[그림 2-26] AMOS 기본 공항기상관측장비

그 밖에 공항기상레이더(TDWR, Terminal Doppler Weather Radar)는 이·착륙하는 항공기에 악영향을 줄 수 있는 호우, 강설, 윈드시어, 마이크로버스터, 돌풍전선 등 중요 기상현상을 탐지하여 관제사 및 운항 관련기관, 항공사 등에 정보를 제공하는 기능을 수행한다. LLWAS(Low Level Windshear Alert System)는 활주로를 중심으로 설치된 여러개의 풍향·풍속계로부터 실시간 바람자료를 수신받아 활주로 주변의 바람변화를 분석하여 윈드시어 및 마이크로버스터를 탐지하는 시스템으로서, 윈드시어 경보와 경고음을 자동으로 생산하여 이·착륙하는 항공기에 신속히 전파하고 있다. 현재 인천, 양양 및 제주공항에 설치되어 있다. 또한 연직바람관측장비(윈드프로파일러)는 고층기상관측장비와 동일한 장비로서, UHF 또는 VHF의 전파를 연직 방향으로 발사하고 대기 중의 작은 맴돌이(Eddy)와 같은 목표물에 부딪혀 산란 되어오는 신호를 분석하여 고도별 바람측정과 윈드시어를 탐지한다. 현재 김해 및 여수공항에서 운영하고 있다. [그림 2-27]은 기타 항공기상관측장비의 모습이며, [표 2-17]은 항공기상관측장비 설치 현황이다.



[그림 2-26] 항공기상관측장비

[표 2-17] 관서별 항공기상관측장비 설치현황(기상청 홈페이지)

장비명	수량	설치장소	제조사	비고
AMOS	1	인천공항	VAISALA(핀란드)	1·2활주로
	1	인천공항		3활주로
	1	김포공항		
	1	제주공항		
	1	울산공항		
	1	무안공항		
	1	여수공항		
	1	양양공항		
합계	8	7개 공항		예비장비 보유
LLWAS	1	인천공항	SELEX(독일)	
	1	제주공항	VAISALA(핀란드)	
	1	양양공항	VAISALA(핀란드)	
합계	3	3개 공항		
TDWR	1	인천공항	MITSUBISHI(일본)	
합계	1	1개 공항		
연직바람 관측장비	1	여수공항	DEGREANE(프랑스)	
	1	김해공항	DEGREANE(프랑스)	
합계	2	2개 공항		
안개관측장비	1	인천공항	METEOLABOR(스위스)	
합계	1	1개 공항		

한편, 관측업무규정에서 정하고 있는 항공기상관측의 자료교환 범위와 관측의 종류는 [표 2-18]과 같고, 관측종류별 세부적인 관측내용은 [표 2-19]와 같다.

[표 2-18] 항공기상관측의 자료교환 범위와 관측종류(기상청 홈페이지)

관측구분	자료교환범위	관측종류	비고
기본관측	국내·국외	정시관측, 특별관측	○대구·김해·청주·광주·포항·사천공항은 군 규정이 정한 기준에 따름
	해당공항	국지정시관측, 국지특별관측, 수시관측	
보조관측	국내	정시관측, 특별관측	○수시관측은 요구 시 통보
	해당공항	국지정시관측, 국지특별관측, 수시관측	

[표 2-19] 항공기상관측 종류별 세부 관측내용

관측종류	보고시간	내용
정시관측 (METAR)	1시간 (인천공항 30분)	공항의 기상상태를 정기적으로 관측하는 기본관측 - 지역항공공항행협정에 의하여 인천공항은 30분 관측
국지정시관측 (MET REPORT)	1시간 (인천공항 30분)	이·착륙 항공기 지원을 위한 활주로의 세부적인 기상상황관측 - 해당공항 항공교통업무기관에 제공
특별관측 (SPEC)	수시	ICAO 국제표준으로 주어진 특별관측 기준에 해당할 때 실시하는 관측 - 기상의 악화나 호전에 관한 정보의 신속한 제공
국지특별관측 (SPECIAL)	수시	이·착륙 항공기 지원을 위한 활주로의 세부적인 기상상황관측 (특별관측 기준) - 기상의 악화나 호전에 관한 정보의 신속한 제공

## 5. 위성기상관측망

위성(衛星)기상관측이란 ‘기상위성에 의하여 구름상태와 대기의 연직구조에 대하여 행하는 관측’을 말한다(관측업무규정 제3조).

기상위성은 한정된 지역에서 급격히 발달하는 소규모 기상 현상부터 전 지구적으로 나타나는 광범위한 기상현상까지 모두 탐지할 수 있는 첨단 관측장비로서, 크게 정지궤도위성·극궤도위성으로 구분한다. 기상청은 2010년 6월 27일 우리나라 최초의 정지궤도 기상위성인 천리안위성(COMS, Communication, Ocean and Meteorological Satellite)을 발사하여 전 지구를 3시간 간격, 동아시아 지역을 15분 간격, 한반도 주변을 8분 간격으로 집중 관측하고 있다. 천리안위성은 지구적도상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상관측, 해양관측, 위성통신서비스 임무를 수행하는 복합위성으로서, 이를 위해 충청북도 진천군 광혜원면에 국가기상위성센터를 설치하여 운영하고 있다. [그림 2-27]은 천리안위성의 운영체계를 나타낸 것이고, [그림 2-28]은 천리안위성의 실물 모형도를 보인 것이다.



[그림 2-27] 천리안위성(COMS) 운영체계



[그림 2-28] 천리안위성(COMS)의 실물 모형도

천리안위성의 주요 기상임무는 고해상도의 다중채널을 이용한 기상현상의 연속감시 및 기상요소 분석 산출, 태풍·집중호우·황사 등 위험기상의 조기 탐지, 장기간의 해수면온도와 구름자료를 통한 기후변화 분석 등을 들 수 있는데, 첨단 과학기술의 발달에 따라 기상위성으로 관측한 자료의 정확도와 신뢰도가 점차 높아지고 있으며 기상관측자료는 재난재해, 기후변화, 환경, 농업, 항공 등 다양한 분야에서 중요하게 활용되고 있다. 현재 기상청은 천리안위성 뿐만 아니라 중국(FY-2E), 일본(Himawari-8), 미국의 GEOS, 유럽의 METEOSAT-8, 인도의 INSAT-3A 등 5개의 정지궤도위성과 미국, 유럽 등 다수의 극궤도 기상위성 관측 자료를 직·간접으로 수신·처리·분석하여 구름정보, 해수면온도, 황사, 안개, 대기운동벡터 등 위성분석 자료를 산출하여 기상예보에 활용하고 있다.

이와 같이 위성관측자료에서 산출된 분석 자료는 수치예보모델의 입력 자료로 활용되고, 수신안테나 또는 인터넷을 통해 국내외 위성자료 사용자들에게도 제공되고 있다.

다음은 관측업무규정에서 정한 위성기상관측에 관한 기준들이다. 먼저 위성 종류별 관측수행 기준 및 관측자료는 [표 2-20]과 같으며, 위성 종류별로 위성보유국의 스케줄에 따라 관측을 실시하되, 만약 위성장비에 대한 점검 및 보수 등에 의한 관측 불안정 시에는 관측을 생략할 수 있다고 규정하고 있다. 또한 위성 종류별 생산 자료는 [표 2-21]과 같으며, 계절변화 또는 장비점검을 위해 위성보유국이 관측스케줄을 변경할 때에는 생산자료의 종류와 시각을 조정할 수 있다고 규정하고 있다.

[표 2-20] 위성종류별 관측수행기준 및 관측 자료(관측업무규정 제 23조)

위성종류	관측수행기준	관측자료
정지기상위성	위성보유국의 관측스케줄에 의한	고해상도 영상자료
극궤도기상위성	위성이 한반도 상공을 30도 이상의 고도각으로 통과할 때	고해상도 영상자료, 연직탐측자료
지구관측위성	위성이 한반도 상공을 30도 이상의 고도각으로 통과할 때	고해상도 영상자료

[표 2-21] 위성종류별 관측자료의 생산내역(관측업무규정 제24조)

구 분	정지기상위성	극궤도기상위성	지구관측위성
구름영상자료	전지구, 아시아, 한반도	아아, 한반도, 채널합성 칼라	채널합성 칼라
분석영상자료	황사분석, 안개분석, 해수면온도분석, 태풍분석	황사분석, 안개분석, 해수면온도분석, 온·습도분석	
위성분석 수치자료	격자 해수면온도, 대기운동벡터, 격자 운량, 격자 히스토그램	격자 해수면온도	
이진영상자료	전지구, 아테평양, 아시아, 한반도	아시아, 한반도	

그리고 현재 천리안위성 1호기의 뒤를 이을 2호기 위성(GK-2A, Geo-KOMPSAT)을 2012년에 개발 착수하여 2018년 12월 5일 프랑스령 기아나 꾸루 우주센터에서 발사에 성공했으며, 이후 2019년 6월까지 시험운동을 거쳐 하반기부터 정상서비스 할 예정이다. 이번에 발사되는 GK-2A호는 기상과 우주기상을 관측하는 독자 기상관측 위성으로서, 저해상도의 5채널 기상센서를 보유한 구세대의 천리안 1호와 달리 고해상도의 16채널의 센서를 탑재한 차세대 위성으로 분류되는데, 이런 위성을 보유한 나라는 현재 일본(2014년 발사)과 미국(2016년 발사)뿐으로 한국은 이번 발사로 3번째 차세대 위성 보유국에 오르게 되며, 유럽은 2021년에 발사 할 예정이다.

이렇듯 GK-2A 차세대 기상위성은 기존 천리안위성(5개 채널)보다 많은 16개 채널을 탑재하여 해상도가 최대 2배 이상 향상되며, 3차원 입체 구름분석도 가능하다. 또한, 한반도 주변은 약 2분 간격으로, 전지구에 대해서는 10분 간격으로 관측이 가능해지면서, 급변하는 위험기상의 조기 관측 및 구름·눈 분석 등 기상현상 탐지 능력이 향상된다. 특히, 기상산출물이 52종으로 증가하고 강수량 산출, 복사량 정보, 황사·에어로졸, 화산재 탐지 등 기존 산출물의 성능도 향상된다.

따라서 기상예보 능력을 높이는데 크게 기여할 뿐만 아니라 고해상도 컬러영상 관측이 가능해지면서 미세먼지, 황사, 스모그, 산불 등의 현상에 대한 자세한 분석도 가능하고, 적외영상 관측 능력 향상으로 보다 자세한 구름대 발달 분석이 가능하여 국지성 호우 등의 예보가 빨라질 전망이다. 바람 관측도 기존에는 특정 고도의 자료만 제공이 가능했는데 3차원 입체 바람장 데이터를 생산할 수 있어 태풍 등이 발생했을 때, 보다 다양한 분석정보 제공이 가능해 질 것으로 본다. [표 2-22]와 [그림 2-29]는 천리안위성 1·2호기를 비교한 것이다.

[표 2-22] COMS위성과 GK-2A 기상위성 비교(기상청, 2017 기상연감)

구 분	천리안위성 1호 (COMS)	천리안위성 2호 (GK-2A)	비 고	
주요임무	기상, 해양관측 위성통신	기상, 우주기상 관측		
자료전송 속도	6.2Mbps	115Mbps	18배	
채널 수	5채널 (가시 1, 적외 4)	16채널 (가시 4, 적외 12)	3배	
공간 해상도	가시영상	1km	0.5~1km	2배
	적외영상	4km	2km	2배
시간 해상도	전구	30분	10분	3배
	한반도	약 8분	약 2분	4배
정보 산출물	기상 16종	기상 52종, 우주기상 8종	3배	
컬러영상	흑백영상	컬러영상(전지구)		
설계수명	약 7년	약 10년	약1.5배	
기타	-	우주기상탐재체 추가		

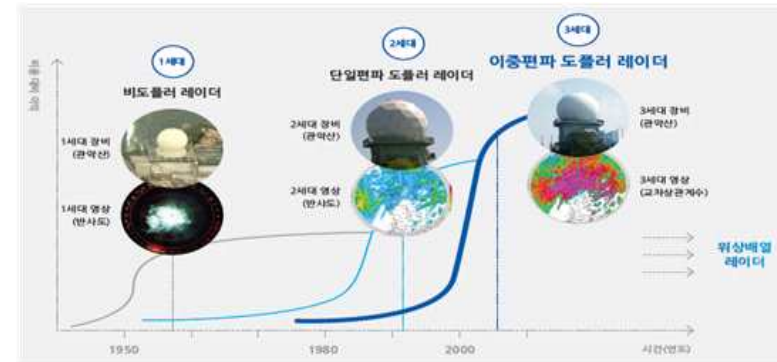


[그림 2-29] COMS위성과 GK-2A 기상위성 비교도(기상청, 2016, 관측업무발전 기본계획 2017-2021)

## 6. 레이더기상관측망

레이더(RADAR)기상관측이란 ‘기상레이더를 이용하여 강수구름의 위치, 강우강도, 이동속도 등을 탐지하는 관측을 말한다’라고 관측업무규정에서 정의하고 있다. 기상레이더는 전파를 대기 중에 발사하여 강수입자에 부딪혀 후방산란 되어 되돌아오는 신호를 이용하여 강수구역의 위치와 이동 경향, 강우강도 등을 탐지하는 첨단 원격관측장비이다. 특히, 집중호우, 태풍, 우박 등 강수현상을 짧은 시간 동안 입체적으로 파악할 수 있어 위험기상의 조기감시와 예측 등 실황예보에 널리 이용되고 있다.

기상레이더의 출현은 2차 세계대전 중에 군사용 레이더가 우연히 폭풍현상을 포착하게 되고, 이에 관심을 갖고 발전을 거듭하면서 지금에 이르고 있으며, [그림 2-30]은 기상레이더의 기술변화 동향을 나타낸 것이다.



[그림 2-30] 기상레이더 기술변화 동향(기상청 기상레이더센터 홍보자료)

1세대 아날로그 기상레이더는 관측지점에서 강수구름까지의 거리, 강수구름의 분포 및 레이더 반사도를 이용해 강수량을 추정하였고, 이후 1990년대에는 바람의 관측도 가능한 2세대 단일편파 도플러 레이더가 개발되어 발사한 전파와 수신된 전파와의 위상차, 즉 도플러효과를 이용하여 강수입자의 이동방향과 속도를 결정하여 이를 토대로 바람을 분석할 수 있게 되었다. 3세대 기상레이더는 이중편파 도플러 레이더로서, 수평으로 진동하는 전파와 수직으로 진동하는 전파를 동시에 발사하여 각각 수신된 수평전력과 수직전력의 비율을 분석하여 좀 더 정확한 강수량을 추정할 뿐만 아니라, 비, 눈, 우박 등 강수입자의 형태도 구별할 수 있게 되었다.

기상청은 1969년도에 관악산 정상에 S밴드 기상레이더를 처음으로 설치한 이후 1988년도에 서울올림픽계엄을 지원하기 위하여 관악산 기상레이더를 C밴드 도플러 레이더로 교체하였고, 이후 기상장비 현대화 계획의 일환으로 1992년까지 고산, 구덕산, 오성산, 동해 등 5개소에 C밴드 도플러 레이더를 설치하였다.

또한, 1999년 7~8월 전국적인 홍수해 발생을 계기로 1999년 8월 국가수해방지종합대책이 수립되고 그 일환으로 백령도, 광덕산, 진도, 면봉산 등 4개소에 기상레이더를 추가로 설치하였다. 한라산에 의한 관측사각지대 해소와 태풍 등의 조기감시를 위하여 2006년도에 제주도 성산에 기상레이더를 설치함에 따라 총 10대의 현업용 기상레이더를 운영하게 되었다. 여기에 영종도 인천공항의 공항기상레이더를 포함하면 전국에서 운영되고 있는 현업용 기상레이더는 총 11개소가 된다. [그림 2-31]은 기상청의 기상레이더 관측망도를 보인 것이다. 그 밖에 경기도 용인의 레이더테스트 베드에 제3세대 S밴드 이중편파 도플러 레이더 1대 등 연구용 소형기상레이더 2대가 있다.



[그림 2-31] 기상청 기상레이더 관측망도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)

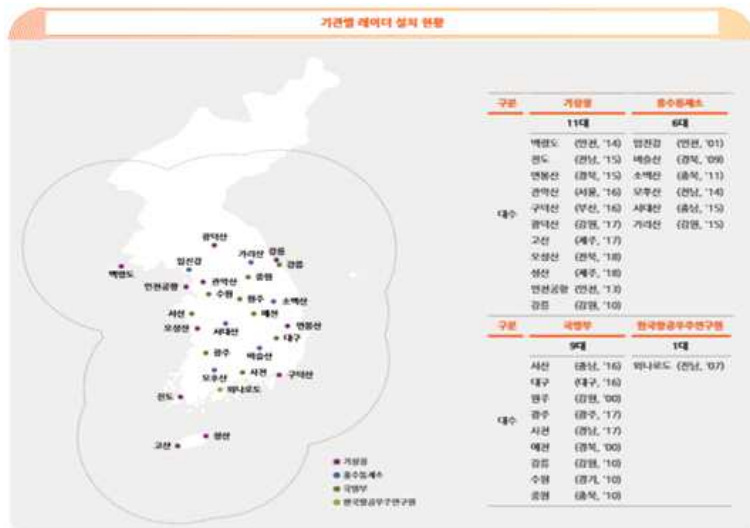
최근에는 우리나라와 그 주변에서 발달하는 집중호우, 태풍, 대설 등의 위험기상 현상을 보다 신속·정확하게 탐지하고, 균질한 레이더 자료를 생산하기 위하여 각 기 제작사가 다른 10개소의 현업용 단일편파 도플러 레이더를 동일기종의 3세대형 S밴드 이중편파 레이더로 단일화하는 계획에 의거, 2014년 백령도를 시작으로 2018년까지 9개소를 교체하였고, 나머지 강릉 1개소를 2019년에 교체할 예정이다. [표 2-23]은 관측소별 기상레이더의 제원을 나타낸 것이다.

[표 2-23] 관측소별 기상레이더의 제원(기상청 기상레이더센터 홍보자료)

구분	지점명											공항용
	백령도	관악산	광덕산	강릉	오성산	진도	면봉산	구덕산	고산	성산	인천공항	
설치지역	인천 울진	서울 관악구	강원 화천	강원 강릉	전북 군산	전남 진도	경북 청송	부산	제주	제주 서귀포	인천 중구	
관측개시연도	2000	1969	2003	2010	1992	2001	2004	1991	1991	2006	2001	
최근교체연도	2014	2016	2017	-	2018	2015	2015	2016	2017	2018	-	
주파수대역	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	S밴드	C밴드	
모델명	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-98D /S	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	DWSR-85 015/KSDP	RC-53D	
제작사	EEC (미국)	EEC (미국)	EEC (미국)	Metstar (중국)	EEC (미국)	EEC (미국)	EEC (미국)	EEC (미국)	EEC (미국)	EEC (미국)	Mitsubishi (일본)	
송신관	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	플라이 스트론	
첨두전력(kw)	850	850	850	750	850	850	850	850	850	850	250	

한편, 각 관측소별로 분산 운영되고 있는 레이더시스템을 통합 관리하고자 2009년에 기상레이더 관측망에 대한 통합운영절차를 마련하였고, 2010년 4월에 기상레이더센터(WRC, Weather Radar Center)를 개설한 후 2012년부터 전국에 기상레이더시스템을 원격으로 제어하는 통합운영체제를 구축하였다.

또한, 레이더 관측 사각지대 해소, 기상과 홍수 예보 정확도 향상 및 국가 예산절감 등 국가 레이더 자원의 효율적인 활용을 위해 기상청, 국토교통부, 국방부 등 3개 부처는 2010년 6월 범정부적 기상-강우레이더 공동 활용 업무협약을 체결하였다. 이 협약을 근거로 2012년에 공동 활용 시스템을 구축하여 국가 레이더자료를 공유하고 있으며, 이를 영상으로 처리하여 홈페이지와 모바일 앱을 통해 국민에게 제공하고 있다. 아울러 주한 미공군을 비롯하여 2018년 6월 현재 일본, 중국, 대만, 러시아, 홍콩 등 우리나라 주변국가와 레이더 자료를 교환하여 동아시아 기상현상의 감시와 예측에도 활용하고 있다. [그림 2-32]은 기상청, 국토교통부, 국방부 등 3개 부처에서 우리나라 전역에 설치·운영하고 있는 레이더 종합관측망 현황이고, [그림 2-33]은 3개 부처 레이더관측망의 공동활용 이전과 이후의 사각지대 현황을 나타낸 것이다. 또한 [그림 2-34]와 [표 2-24]는 각각 동아시아 레이더 합성영상도, 국가별 레이더 관측지점을 나타낸 것이다.



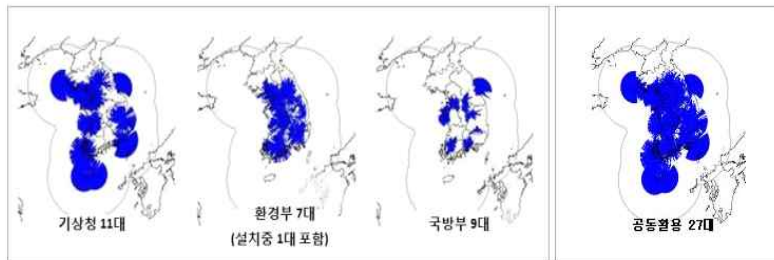
[그림 2-32] 우리나라 레이더 종합 관측망도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)



[그림 2-34] 동아시아 레이더 합성영상도(기상청 기상레이더센터 홍보자료)

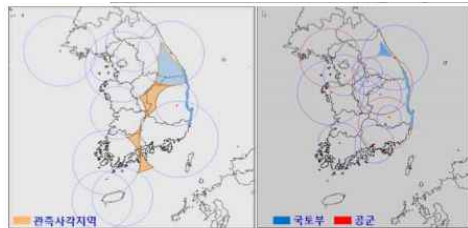
[표 2-24] 국가별 레이더 관측지점

국가명	지점수	관측지점명
일본	11	마츠에, 후쿠오카, 다네가시마, 나제, 이시가키지마, 오키나와, 히로시마, 무로토미사키, 오사카, 후코야, 나고야
중국	7	선양, 톈진, 다렌, 옌타이, 칭다오, 옌청, 상하이
대만	4	우편산, 화롄, 쉐펑, 치구
러시아	1	블라디보스톡
홍콩	4	타이모산, 타이람충, 쉬호환, 타티칸



<공동활용 전 레이더 관측사각지대>

<공동활용 후 레이더 관측사각지대>



【기상청 자료 사용시】 【3개 기관 공동활용시】

[그림 2-33] 공동활용 전/후의 레이더관측 사각지대(기상청 기상레이더센터 홈페이지 및 강의교재)

그리고 기상청은 2013년 10월 경기도 용인에 기상레이더의 신기술을 시험하고 자료의 신뢰성 검증 및 장비전문인력을 양성하기 위한 레이더 테스트베드를 구축하였다. 이 테스트베드에서는 실시간 지상강수량계 자료와 레이더 관측자료를 비교 분석하여 우리나라의 기후와 지형에 맞는 Z-R 관계식을 개발하고 있으며, 지상강수량(AWS) 대비 레이더로 추정된 강수량의 정확도를 2020년까지 선진국 수준인 84%까지 높여 나갈 계획이다. 또한, 2014년 3월 충북 진천에 설치된 레이더비교 관측소에 2차원 영상우적계, 광학우적계, 우량계 등 지상관측장비를 설치하여 테스트베드 레이더와 현업용 레이더의 성능을 비교 검증해 가면서 레이더자료의 품질관리기술과 이중편파레이더 강수량 추정식(R(Z, ZDR, KDP)) 등 활용기술 개발을 지원하고 있다. [그림 2-35]는 충북 진천에 있는 레이더비교관측소이다.



[그림 2-35] 충북 진천의 레이더비교관측소(기상청 기상레이더센터 홍보자료)

다음은 관측업무규정 제26조에서 정한 레이더기상관측의 범위·방법·요소·관측 주기는 [표 2-25]와 같다. 다만, 레이더 각 지점별 관측환경을 고려하여 관측범위·관측요소 등은 조정하여 운영할 수 있도록 규정하고 있다.

[표 2-25] 레이더기상관측의 범위·방법·요소 및 관측주기

관측종류	관측범위	관측방법	관측요소	관측주기
기본관측	반경 280km 이내	다중 고도각	반사도, 시선속도, 스펙트럼폭, 차등반사도, 차등위상차, 교차 상관계수	5분 이내
보조관측	반경 500km 이내	단일 고도각	반사도, 시선속도, 스펙트럼폭, 차등반사도, 차등위상차, 교차 상관계수	10분 이내

※ 단일편파 레이더의 관측요소: 반사, 시선속도, 스펙트럼폭

## 7. 낙뢰기상관측망

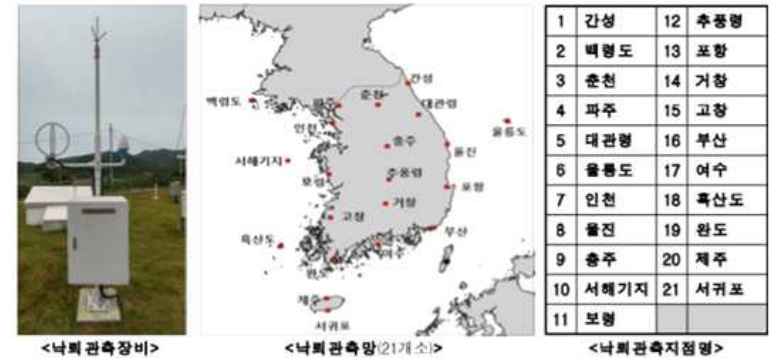
낙뢰(落雷)기상관측이란 ‘대기 중에서 일어나는 낙뢰의 발생시각, 위치, 극성, 강도 등을 탐지하는 관측을 말한다’라고 관측업무규정에서 정의하고 있다.

낙뢰는 갑작스런 전기적 방전현상으로 주로 뇌우가 있을 때 발생하는데, 방전현상은 구름과 지면사이의 대지방전, 구름과 구름 사이의 운간방전, 구름 속에서 발생하는 구름방전으로 구분되며, 이 중에 구름과 지면사이에서 발생하는 대지방전 즉 구름 하단의 음전하와 지면으로 유도된 양전하 사이에 발생하는 방전을 ‘낙뢰’라고 한다.

일반적으로 낙뢰는 수백만 볼트에 이르는 전하를 수송하므로 매우 큰 피해를 초

래할 수 있고, 낙뢰시에 대류성 강우를 동반하게 되면 집중호우·우박 등의 위험기상 발생으로 많은 인명과 재산 피해가 일어난다. 따라서 기상청은 [그림 2-36]과 같이 전국 21개소에 낙뢰관측망을 구축하여 연중으로 낙뢰를 관측하고 있다.

기상청은 1987년에 LLP(Lightning Location and Protection) 시스템을 도입하여 한반도에서 발생하는 낙뢰현상을 관측, 예보업무에 활용하여 왔으나, 장비 노후화 등의 문제로 2001년 10월 IMPACT·LDAR II(Improved Accuracy from Combined Technology, Lightning Detection And Ranging II)시스템을 도입하였고, 현재는 2014년에 독일의 Nowcast사로부터 도입한 LINET(LIghtning NETwork) 낙뢰관측시스템을 운영하고 있다. LINET시스템은 하나의 센서로 대지방전과 구름방전을 모두 관측할 수 있으며, 이를 통해 얻어지는 낙뢰의 발생시각, 위치, 강도, 극성 등의 낙뢰관측자료는 시각화 되어 홈페이지와 모바일 웹 서비스를 통하여 국민에게 제공되고 있다.



[그림 2-36] 낙뢰관측장비 및 낙뢰관측망도

기상청 관측업무규정 제31조(관측의 요소 등)에서 정하는 낙뢰관측자료의 생산주기·요소는 [표 2-26]과 같다.

[표 2-26] 낙뢰관측자료의 생산주기 및 요소

관측구분	생산주기	관측요소
기본관측	5분	낙뢰 발생시각, 위치, 극성, 강도 등

## 8. 기상청의 기상관측망 분석

종합적으로 살펴보면 2018년 6월 30일 기준으로 기상청은 21종 1,490여대의 주요 관측 장비를 지상·고층·해양기상관측 목적으로 운영하고 있으며, 첨단 관측센서 확충 및 위성, 레이더 등의 원격관측 확대 등 양적 측면에서 기상관측인프라는 크게 증가하였다. 또한 기상청, 농촌진흥청, 산림청, 지방자치단체 및 국립공원관리공단 등 28개 기관에서 각각의 고유목적에 위해 3,760여 개소(해상도 5km)의 관측망을 구축하여 공유하고 있다. 고층기상관측망의 경우 우리나라 육지 면적에 대하여 레원존데 관측망의 평균 해상도는 112km, 연직바람관측장비 등 원격관측을 포함할 경우 평균 해상도는 77km로 WMO 권고수준인 250km 보다 조밀하다. 해양기상관측망은 연안, 앞바다, 먼바다 등 해역별로 총 8종, 123개소(VOS 관측지원선박 제외)에 관측장비가 설치되어 있다. 위성기상관측망의 경우, 2010년에 발사한 천리안 1호기에 이어서 2018년 12월 5일 고해상도의 차세대 정지위성 천리안 2호기(GK-2A)를 발사하여 세계에서 3번째 차세대 위성 보유국이 되었다. 레이더기상관측망의 경우 11대의 현업용 기상레이더(S밴드)로 광범위한 관측망이 구축되어 1개소 당 해상도가 약 9,100km<sup>2</sup>로 조밀한 관측밀도를 갖는다. 또한 동일기종의 시스템 설치로 관측자료의 균질성을 확보하는 등 표준화된 운영체제를 갖추었다. 황사관측망의 경우 기상청 34개소, 황사 발원지인 중국에 10개소, 몽골 2개소에 황사감시기상탑을 설치하여 황사관측망을 운영하고 있다.

이상의 기상청에서 운영하고 있는 분야별 기상관측망의 현황을 분석한 결과 [표 2-27]과 같다.

[표 2-27] 기상청 주요 기상관측망(분야별)의 분석 결과(요약)

구 분	분석 결과
지상기상 관측망	지상관측망의 해상도는 약 13km로 WMO 권고 수준인 15km 보다 조밀하고, 자료수집 주기도 1분 단위로 우수함. 그러나 동내예보를 위한 해상도(5km)를 충족하지 못하고, 목적 관측 자동화를 위한 관측센서 확대 및 신뢰성 확보를 위해 지속적인 보완이 필요함
고층기상 관측망	레원존데에 의한 해상도는 112km, 연직바람관측장비 등 원격관측을 포함하면 약 77km로 WMO 권고수준인 250km 보다 조밀하나, 레원존데 관측망의 경우 우리나라의 해양면적을 고려하면 약 235km로서 WMO 권장 수준을 겨우 만족하고 있음. 수치예보기여도를 고려하여 시공간 해상도 향상과 자료품질 고도화 필요
해양기상 관측망	해양기상관측망은 연안, 앞바다, 먼바다 등 해역별로 총 8종, 123개소(VOS제외)에 관측장비가 설치되어 있으나, 서해상 위험기상 관측과 태풍진로 정확도 향상을 위한 관측망 확충(해양기지 추가 건설, 기상관측선 추가 도입 등), 먼 바다 해역의 관측망 보강이 필요함.
위성기상 관측망	차세대 정지위성인 천리안위성 2호기(GK-2A)가 발사되면 고해상도 채널, 채널수 3배, 해상도 2배, 시간해상도 3배 이상, 산출물 3배 이상 늘어나는 등 첨단 탐지능력과 성능을 갖추게 됨. 그러나 차세대 위성자료를 이용한 다양한 활용기술 개발 필요

레이더기상 관측망	현업용 기상레이더 11대(S밴드)로 광범위한 관측망이 구축되어 해상도가 약 9,100km <sup>2</sup> 로 일본, 영국, 미국·호주 등 선진국 보다 조밀한 관측밀도와 동일기종의 첨단시스템 설치로 관측자료의 균질성을 확보하는 등 표준화된 운영체제를 갖추게 됨. 그러나 관측사각지대 해소 및 내륙 지표부근의 감시망 강화와 수치예보 모델 및 범부처 공동 활용 증대를 위한 지속적인 품질 고도화가 필요함
황사 관측망	기상청 34개소, 황사 발원지인 중국에 10개소, 몽골 2개소에 황사감시기상탑을 설치하여 황사관측망을 운영하고 있으나, 황사유입 경로 및 대도시 중심으로 설치되어 일부지역에 관측장비 부재 및 만주-북한을 통과하여 전파되는 황사에 대한 감시 수단 필요



## 제2절 국내 유관기관의 기상관측망

### 1. 기상관측표준화 개요

우리나라는 기상청뿐만 아니라 국토교통부, 환경부, 산림청, 서울특별시 및 국립공원관리공단 등 국가기관, 지방자치단체와 공공기관 등 전국 28개 기관에서 각각의 고유목적에 위하여 3,766개소(2018년 6월 현재)의 기상관측시설을 운영하고 있다. 그러나 각 기관 단체마다 장비 설치기준이 다르고, 통일되지 않은 방법으로 관측을 하고, 관측된 자료의 형식도 제각각이며, 자료 관리 및 보관도 별도로 이루어져 왔다.

더욱이 기상측기 설치에 필요한 관측환경, 설치기준, 관측자료의 품질관리, 측기의 운영·관리, 관측업무 종사자 자질, 측기의 검정 및 부대시설 등의 조건이 충족되어야 관측자료의 신뢰성을 부여할 수 있는데 기상청을 제외한 대부분의 관측기관은 위에서 열거한 사항들을 충족하지 못하고 있고, 이러한 기준이 일원화되지 않아 관측자료의 품질 확보도 어려울 뿐만 아니라 감사원 감사와 국회 국정감사 등에서 기상관측 장비의 중복설치 등 국가 기상관측망의 불합리성과 장비설치 및 유지관리의 문제점도 지적되기도 하였다.

따라서, 기상청은 이러한 문제점을 해결하기 위해 2005년 12월 30일 기상관측표준화법(법률 제7807호)을 제정하고, 2006년 7월 1일부터 시행하게 되었다. [표 2-28]는 2018년 6월 현재 시행되고 있는 기상관측표준화법과 하위 법령체계를 나타낸 것이다.

[표 2-28] 기상관측표준화법의 체계

구분	기상관측표준화법 (법률)	같은법시행령 (대통령령)	같은법시행규칙 (환경부령)	고시 (기상청)
체계	7장 28조	13조	14조	AMS 표준규격, 오소별 관측방법, 품질관리, 자료교환, 설치기준, 기준 비적용 관측, 검정기준, 고층장비기준, 해양장비기준, 검정대행기관지정, 관측업무위탁 등
개정 횟수	11회	15회	10회	

‘기상관측표준화법’은 기상관측의 표준화에 관하여 필요한 사항을 정함으로써 기상관측의 정확성과 기상관측장비의 운영 및 기상관측자료 공동 활용의 효율성을 높여 기상재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 공공의 복리증진에 이바지함에 목적을 두고 있다. 주요골자는 기상관측과 관련된 관측소 선정, 설치환경, 관측장비 규격, 관측방법, 보고방법, 측기의 검교정 및 품질관리 등에 관한 표준안을 마련함으로써 전문성이 결여된 기관이라 할지라도 이 규정을 따르면 품질 높은 관측자료를 생산할 수 있도록 하는 것이다.

또한, 국가기상관측자료 공동 활용을 통해 관측해상도 향상(13km→5km)과 관측자료 품질 향상 등을 통하여 예보정확도를 높이고, 관측기관간 관측장비의 중복설치방지로 국가예산의 효율적 운용을 목적으로 한다.

기상관측표준화의 적용대상은 기상관측표준화법 제3조 및 같은 법 시행령 제2조에 규정되어 있다. 즉, 국가기관·지방자치단체·공공기관·정부출연연구기관·특정연구기관·학교와 이들 기관으로부터 기상관측업무를 위탁받은 기관에서 수행하는 기상관측과 그에 관련된 사항이 적용 대상이다. 다만, 교육·연구·국방상 목적을 위한 기상관측과 임시적·특수적 목적을 위한 기상관측은 기상관측표준화법에 적용받지 않는다.

아울러 기상청은 기상관측의 표준을 지키고, 또한 기상측기 생산자들을 위한 비교관측, 시험관측 장소 및 시설을 제공할 수 있는 표준관측소를 추진하여 왔는데, 먼저 2008년도에 추풍령 표준기상관측소를 설치하였고, 2010년에는 고창표준관측소, 2012년도에는 보성표준관측소를 설치하였으며, 2012년 1월에 WMO의 CIMO(Commission for Instruments and Methods of Observation, 측기 및 관측법위원회)로부터 추풍령 표준관측소를 강수 비교관측 리드센터로, 보성표준관측소는 3차원 시험관측센터로 인증 받았다.

특히, 보성표준관측소는 아시아 유일의 명실공히 동북아 지역을 대표하는 세계 4번째 시험관측소(Testbed)로서, 이곳에 구축되어 있는 300m 높이의 종합기상관측탑에는 연직고도별로 138개의 관측장비가 설치되어 온도, 습도, 바람, 온실기체, 일사, 대기오염, 방사능 등 26개의 기상 기후요소를 관측하고 있다. 이를 통해 연직 기상관측 기준값 확보 및 위험기상 메커니즘을 과학적으로 규명하여 기상재해를 예방하고, 지구온난화에 대한 감시능력을 강화하는 한편, 종합기상관측탑에서 생산되는 온실가스, 대기질 등 다양한 기후관측자료들은 한반도 기후변화 감시와 기후변화 대응의 근간을 마련하며 저탄소 녹색성장을 실현하는데 매우 큰 역할을 하고 있다. 그 밖에 다양한 기상관측장비와 비교관측시설은 신개발 관측장비의 비교검증을 위한 열린 실험실로도 활용되고 있다. [그림 2-37]은 기상청 보성표준관측소의 모습이다.



[그림 2-37] 기상청 보성표준관측소 전경(2012년, 기상청 보도자료)

## 2. 국내 기상관측시설 현황

앞에서 언급한 바와 같이, 2018년 6월 30일 기준으로 국내에 설치되어 있는 기상 관측시설은 기상청을 포함하여 전국 28개 기관에서 총 3,766개소를 운영하고 있으며, 대부분 기상관측표준화법을 따르고 있다. 국내 기상관측시설의 평균 이격거리는 약 5km로 매우 조밀한 관측망을 보이고 있다. 국내 유관기관의 기상관측시설 현황은 [표 2-29]과 같고, 기상관측시설을 기관별로 분류하면 [표 2-30], [표 2-31]과 같다. 국내 기상관측망 분포도는 [그림 2-38]과 같고, 기상관측시설을 장비별로 살펴보면 [그림 2-39], [그림 2-40]과 같다.

[표 2-29] 유관기관의 기상관측시설 현황(기상청 기상관측 통합 메타데이터시스템)

구분	기관명	AWS	강수량계	대기오염	기타	합계
국가기관 (5)	기상청	594				594
	환경부			46		46
	농촌진흥청	203				203
	산림청	213				213
	국토교통부	17				17
국가기관 합계		1,027		46		1,073
지방자치 단체 (17)	서울특별시	26	46	32		104
	부산광역시		21	21		42
	인천광역시	1	28	20		49
	대전광역시	2	12	10		24
	광주광역시		9	9		18
	대구광역시		29	15		44
	울산광역시		19	16		35
	세종특별자치시	1	12			13
	강원도	12	124	7		143
	경기도	147	146	81	5	379
	경상남도	213	38	22		273
	경상북도	1	265	16		282
	전라남도		261	16		277
	전라북도	33	147	15		195
	충청남도		186	28		214
	충청북도	1	104	10	2	117
	제주특별자치도		61	4	28	93
지방자치단체 합계		437	1,508	322	35	2,302
공공기관 (6)	국립공원관리공단	60	83			143
	한국수자원공사		184			184
	한국전력공사				46	46
	한국수력원자력	5				5
	한국도로공사				12	12
	한국원자력환경공단	1				1
공공기관 합계		66	267		58	391
<b>합계</b>		<b>1,530</b>	<b>1,775</b>	<b>368</b>	<b>93</b>	<b>3,766</b>

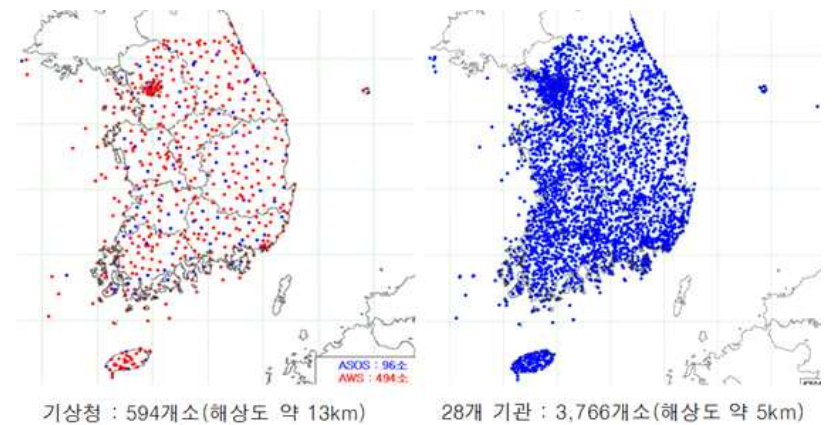
※ 기타 관측시설 내역: 경기도 5(시정계), 한국전력공사 46(풍향·풍속계), 한국도로공사 12(온·습도계, 시정계), 충청북도 2(적설계), 제주도 28(적설계)

[표 2-30] 기관별 관측시설 현황

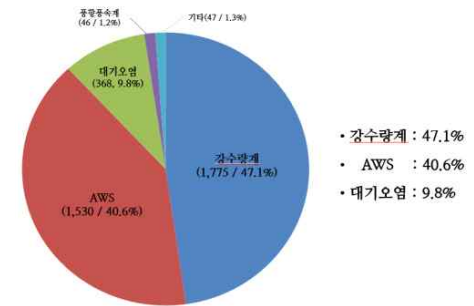
기관명	기상청	환경부	국토교통부	농진청	산림청	지자체	국립공원공단	수자원공사	한국전력공사	수력원자력	한국도로공사	원자력환경공단
지점수 (3,766)	594	46	17	203	213	2,302	143	184	46	5	12	1

[표 2-31] 지방자치단체별 관측시설 현황

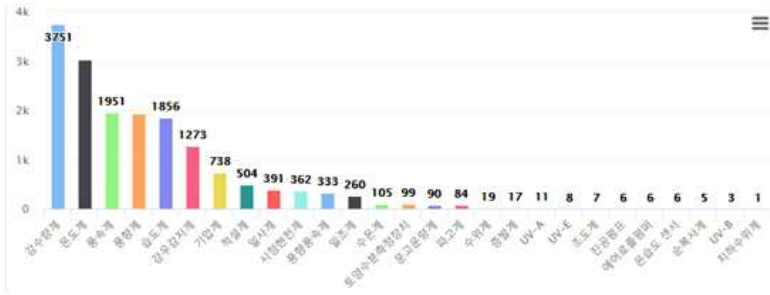
기관명	서울	부산	인천	대전	광주	대구	울산	세종	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북	제주
지점수 (2,302)	104	42	49	24	18	44	35	13	143	379	273	282	277	195	214	117	93



[그림 2-38] 국내 기상관측망 분포도



[그림 2-39] 기상관측시설별 분포도



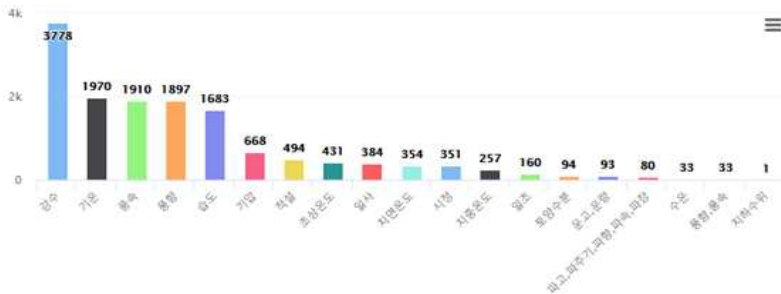
[그림 2-40] 기상관측센서별 분포도

### 3. 관측요소별 기상관측시설 현황

기상청을 비롯한 국내 28개 기관의 기상관측시설을 관측요소별로 분류하면 [표 2-32]와 같고, 관측요소별 분포도는 [그림 2-41]과 같다.

[표 2-32] 국내 기상관측시설의 관측요소별 분류(기상청 기상관측 통합 메타데이터시스템)

기온	풍향	풍속	습도	기압	강수량
1,970	1,897	1,910	1,683	668	3,778
강수유무	일사	일조	운고/운량	시정	적설
1,273	384	160	93	351	494

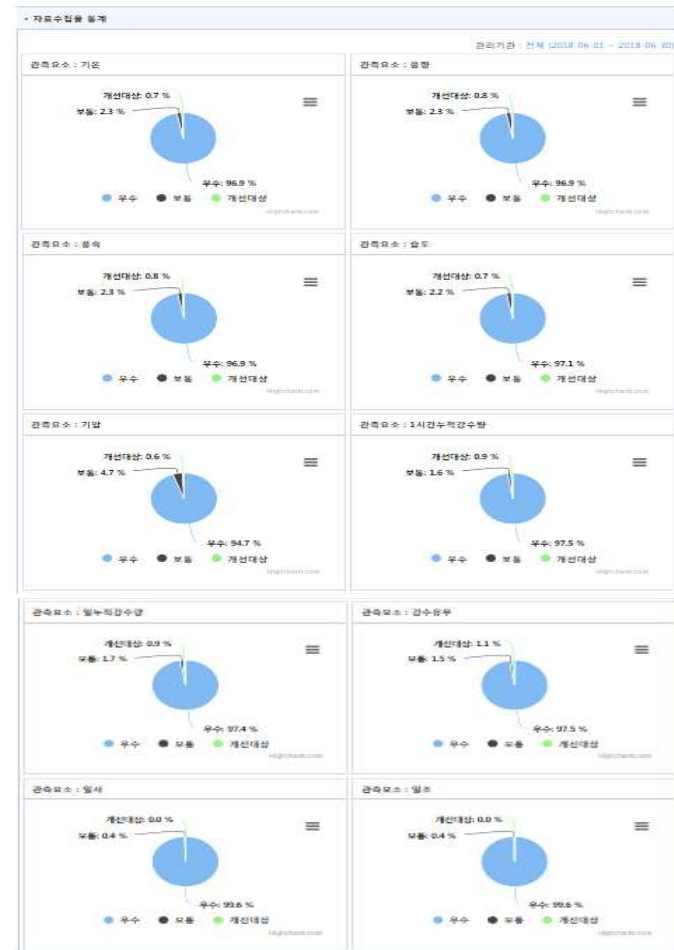


[그림 2-41] 국내 기상관측시설의 관측요소별 분포도(기상청 기상관측 통합 메타데이터시스템)

위 그림에서 보듯이 국내 기상관측시설 중 강수관측이 3,778개소로 가장 많고, 뒤이어 기온, 풍속, 풍향 및 습도 순으로 나타나고 있다. 관측요소 중 강수가 제일 많은 이유는 전국 17개 광역지방자치단체에서 1,500여개소, 한국수자원공사 등 공공기

관에서 270여개소의 강수량계를 설치하여 방재기상관측을 하고 있기 때문이다.

한편, 지난 2018년 6월 1일부터 6월 30일까지 한 달간 국내 기상관측시설로부터 수집된 관측요소별 자료수집율을 보면 [그림 2-42]와 같다. 그림에서 보듯이 `우수`로 평가받는 관측요소별 자료수집율은 일사와 일조가 99.6%로 가장 높고, 이어서 1시간 누적강수량 97.5%, 일일적 강수량이 97.4%이며, 기압이 94.7%로 가장 낮게 나타나고 있으나, 평균 수집율이 97.4%로 비교적 높은편이다.



[그림 2-42] 기상관측요소별 자료수집율(2018.6.1.~6.30)

#### 4. 관측목적별 국내 기상관측시설 현황

국내 기상관측시설을 목적별로 분류하면 기상기후관측망, 방재기상관측망, 농업기상관측망, 산악기상관측망, 교통기상관측망, 수문기상관측망, 환경기상관측망 및 응용기상관측망 등 8개 분야<sup>3)</sup>로 구분한다. 여기에 추가적으로 해양기상관측망, 항공기상관측망을 포함하면 관측목적별 기상관측시설 현황은 [표 2-33]과 같다.

[표 2-33] 관측목적별 기상관측시설 현황

관측분류	관측목적	관측시설	관측요소	
			권장	선택
기상기후관측망 96개소 (기상청)	기상예보 및 기후조사	<b>AWS(ASOS) 96개소</b> (기상청)	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무, 일조, 시정, 운고운량	적설, 운형, 일사, 지면상태, 초상온도, 지면온도, 지중온도, 증발량 등
방재기상관측망 2,612개소 (기상청, 지자체, 국립공원)	기상재해 예방·대응 등 재난관리	<b>AWS 991개소</b> (기상청 494, 지자체 437, 국립공원 60)	기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무	기압, 습도, 적설, 일사, 일조, 시정 등
		<b>강수량계 1,591개소</b> (지자체 1,508 국립공원 83)	강수량	적설
		<b>적설계 30개소</b> (지자체 30)	적설	
농업기상관측망 214개소 (기상청, 농진청)	농업 생산성 증대, 농업기반시설 관리	<b>AWS(AAOS) 214개소</b> (기상청 11, 농진청 203)	기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 일사, 토양수분, 결로	기압, 강수유무, 일조, 초상온도, 지면온도, 지중온도, 증발량 등
산악기상관측망 213개소 (산림청)	산림재해 감시 (산불, 산사태 등)	<b>AWS 213개소</b> (산림청 213)	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 지면온도	강수유무, 적설, 일사, 일조 등
교통기상관측망 34개소 (국토부, 지자체, 도로공사)	도로·철도 등 교통안전	<b>AWS(RWIS) 18개소</b> (국토부 17, 도로공사 1)	기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량	기압, 강수유무, 적설, 일사, 일조, 지면온도, 시정 등
		<b>시정계 8개소</b> (지자체 5, 도로공사 3)	시정	
		<b>온·습도계 8개소</b> (도로공사8)	온도, 습도	
수문기상관측망 184개소 (수자원공사)	물관리, 홍수예보 등	<b>강수량계 184개소</b> (수자원공사 184)	강수량	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수유무, 적설, 일사, 일조, 증발산량, 토양수분 등
환경기상관측망 368개소 (환경부, 지자체)	대기오염 감시, 분석 및 예·경보 등	<b>대기오염감시 368개소</b> (환경부 46, 지자체 322)	기온, 습도, 풍향, 풍속	기압, 강수유무, 강수량, 일사, 일조, 자외선 등

3) 기상관측표준화법 법령에 따른 중복지준 재설정(2014.12. 2015.5) / 관측시설을 목적별로 8개 분야로 재분류

응용기상관측망 52개소 (전력공사, 수력원자력, 원자력환경공단)	송전망 관리 등	<b>AWS 6개소</b> (수력원자력 5, 원자력환경공단 1) <b>풍향·풍속계 46개소</b> (전력공사)	기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량	기압, 강수유무, 적설, 일사, 일조 등
해양기상관측망 325개소 (기상청, 해군, 해양수산부, 해양경비안전본부, 한국해양과학기술원 서울대학교 등)	해양기상 실시간 감시 등 관리 등	<b>해양기상부이 31개소</b> (기상청 17, 국립해양조사원 12, 한국해양과학기술원 1, 서울대학교 1) <b>표류부이 20개소 및 파고부이 59개소</b> (기상청) <b>선박기상관측장비 14개소</b> (해경 12 국제여객선 2) <b>기상관측선 1척</b> (기상청) 및 해군 함정관측 0척(해군) <b>종합해양파라미터 4개소</b> (기상청 1, 국립해양조사원 1, 한국해양과학기술원 2) <b>등표기상관측장비 9개소 및 파랑계 1개소</b> (기상청) <b>해양관측소 37개소</b> 및 <b>해양관측부이 36개소</b> (국립해양조사원) <b>연안방재관측장비 18개소</b> 및 <b>항만기상관측장비 4개소</b> (기상청), <b>조위관측소 47개소</b> (국립해양조사원), <b>항로표지관측소 38개소</b> (해양수산부), <b>기지관측 AWS 25개소</b> (해군), <b>항만시정관측 7개소</b> (해양경찰청)	풍향, 풍속, 기압, 기온, 파고, 파주기, 파향, 수온, 유향, 유속, 조위, 염분, 시정 등	
항공기상관측망 18개소 (기상청, 공군)	항공항행 위험기상 탐지 등	<b>AMOS 8개소</b> (기상청 7, 공군 1), <b>TDWR 3개소</b> (기상청 1, 공군 2), <b>LLWAS 3개소</b> (기상청), <b>연직바람관측장비 3개소</b> (기상청 2, 공군 1) <b>레원존데 1개소</b> (공군)	풍향, 풍속, 시정, 활주로가시거리, 운고, 기온, 이슬점온도, 기압, 강수량, 호우, 강설, 윈드시어, 마이크로버스트, 돌풍, 전선, 바람측정 등	

위 관측목적별 기상관측시설을 구체적으로 살펴보면, 기상예보 및 기후조사를 위한 기상기후관측망 96개소, 기상재해 예방·대응 등의 재난관리를 위한 방재기상관측망 2,612개소, 농업생산성 증대와 농업기반시설 관리를 위한 농업기상관측망 214개소, 산불과 산사태 등의 산림재해 감시를 위한 산악기상관측망 213개소, 도로와 철도 등 교통안전에 관한 교통기상관측망 34개소, 물관리 및 홍수예보 등을 위한 수문기상관측망 184개소, 대기오염 감시·분석 및 예·경보를 위한 환경기상관측망 368개소, 송전망 관리 등을 위한 응용(에너지)기상관측망 52개소를 운영하고 있다. 또한, 상층의 대기 및 연직구조 관측을 위한 고층관측망 18개소, 해양기상 실시간 감시 등을 위한 해양기상관측망 325개소, 그 밖에 항공항행 위험기상 탐지를 위한 항공기상관측망 27개소 등이 운영되고 있다. 각각의 기상관측망을 살펴보면 다음과 같다.

## (1) 기상기후관측망

기상청은 기상기후관측망을 통해 현재의 기상실황을 파악하고 분석하여 단기·중기 기상예보 및 1개월, 3개월 등의 장기예보와 특보자료로 이용하고, 기후조사를 위한 통계자료나 대기과학을 연구하는 데 필요한 자료를 얻기 위해 지방기상청 6개소, 기상지청 3개소, 기상대 7개소, 관측소 7개소, 자동기상관측소 73개소 등 전국 96소개에 중관기상관측장비(ASOS)를 설치하여 관측업무를 수행하고 있다. 이중에 서울, 인천, 춘천, 강릉, 울릉도, 대전, 포항, 부산, 목포, 여수, 제주 등 11개소는 WMO에 등록되어 있는 우리나라 기후관측소로서 기후조사를 목적으로 기후관측요소를 관측하고 있다. [표 2-34]는 기상청의 기상기후관측망 현황이고, [그림 2-43]은 기상기후관측망도이다.

[표 2-34] 기상기후관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
기상예보 및 기후조사	ASOS	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무, 일조, 시정	기상청	96	96



[그림 2-43] 기상기후관측망도(기상청 96개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측자료의 수집주기는 1분 간격이며, 관측요소는 기본적으로 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무, 일조, 시정, 운고·운량을 관측하며, 장소에 따라 선택적으로 적설, 구름, 일사, 지면상태, 초상온도, 지면온도, 지중온도, 증발량 등의 요소를 관측하고 있다. 특히, 기상기후관측망으로 수집된 관측자료는 세계기상정보시스템(WIS, WMO Information System)을 통해 전세계로 제공되고 있으며, 수치예보모델의 초기 입력 자료로도 유용하게 사용되고 있다.

## (2) 방재기상관측망

방재기상관측망은 사람이 관측하기 어려운 산악지역이나 도서지역 또는 국지적인 방재감시를 위하여 기상청, 17개 광역지방자치단체, 국립공원관리공단에서 전국 2,612개소에 방재기상관측장비(AWS, 강수량계, 적설계)를 설치하여 운영하고 있으며, 이를 통해 집중호우·폭설·우박·뇌우·돌풍 등과 같은 국지적인 위험기상 현상을 실시간으로 감시하고 있다.

기상청의 방재기상관측망은 494개소의 자동기상관측장비(AWS)로 이루어져 있고, 각 관측소마다 기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무 등을 기본적으로 관측하며, 장소에 따라 기압, 습도, 적설, 시정, 일사, 일조 등을 추가로 관측하고 있다.

지방자치단체에서는 AWS 437개소와 강수량계 1,591개소, 국립공원관리공단은 전국 22개 국립공원 등에 AWS 60개소, 강수량계 83개소를 설치하여 방재기상정보를 실시간으로 수집하여 기상재해에 대비하고 있다. 특히, 지방자치단체와 국립공원관리공단에서 수집한 기상정보는 자체 방재목적에 사용할 뿐만 아니라 기상청에도 실시간으로 전송하고 있다. [표 2-35]는 우리나라의 방재기상관측망 현황이고, [그림 2-44]는 우리나라 방재기상관측망도이다.

[표 2-35] 방재기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
기상재해 예방·대응 등 재난관리	AWS	기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무	기상청	494	991
			지방자치단체	437	
			국립공원관리공단	60	
	강수량계	강수량	지방자치단체	1,508	1,591
			국립공원관리공단	83	
			적설계	적설	



[그림 2-44] 방재기상관측망도(2,612개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

### (3) 농업기상관측망

농업기상관측은 기상에 가장 민감한 농업과 밀접한 관계가 있는 일사, 일조, 기온, 습도, 풍속, 강수량, 토양수분, 지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm) 등을 관측하여 농업생산성 증대 및 농업기반시설(저수지 등) 관리에 활용하고 있으며, 농업기상관측망은 기상청, 농촌진흥청 등에서 214개소의 농업기상관측장비를 설치하여 운영하고 있다. 특히, 농업기상관측장비에는 작물 성장 높이에서의 기상요소를 관측하는 농업기상용 AWS(AAOS)가 있다. AAOS는 기상청에서 11개소, 농촌진흥청에서 203개소 등 전국에 걸쳐 214개소가 설치 운영 중에 있다. [표 2-36]은 농업기상관측망 현황이고, [그림 2-45]는 농촌진흥청의 농업기상관측망도(203소)이다.

[표 2-36] 농업기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
농업생산성 증대, 농업기반시설(저수지 등) 관리	AWS	기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 일사, 토양수분, 결로 등	기상청	11	214
			농촌진흥청	203	



[그림 2-45] 농업기상관측망(농촌진흥청 203개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

### (4) 산악기상관측망

산림청에서는 산불, 산사태, 병충해 등 산림 관리 및 재해 예방을 위하여 산악기상관측망을 운영하고 있다. 이를 위해 전국 주요 산에 213개소의 산악기상관측용 AWS를 설치하여 운영하고 있으며, 주요 관측요소로는 2m와 10m 높이에서 기온, 습도, 바람과 기압, 강수량, 지면온도 등을 관측하고 있다. 특히 주요 산악지역의 기상관측정보를 실시간으로 국민과 유관부처 등에 제공하고 있는데, 대표적으로 기상청에서는 방재목적으로 사용하고, 농촌진흥청에서는 산에서 내려오는 냉기류를 예측하는데 사용하고 있다. 또한, 한국의 100대 명산과 162개 산림휴양림 지역에 대한 실시간 날씨 및 기상예보 등의 정보를 제공하고 있다. [표 2-37]은 산악기상관측망 현황이고, [그림 2-46]는 산악기상관측망도와 산악기상정보서비스를 나타낸 것이다.

[표 2-37] 산악기상관측망 현황(국립산림과학원 산악기상정보시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
산림재해(산불, 산사태 등) 감시	AWS	기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 지면온도	산림청	213	213



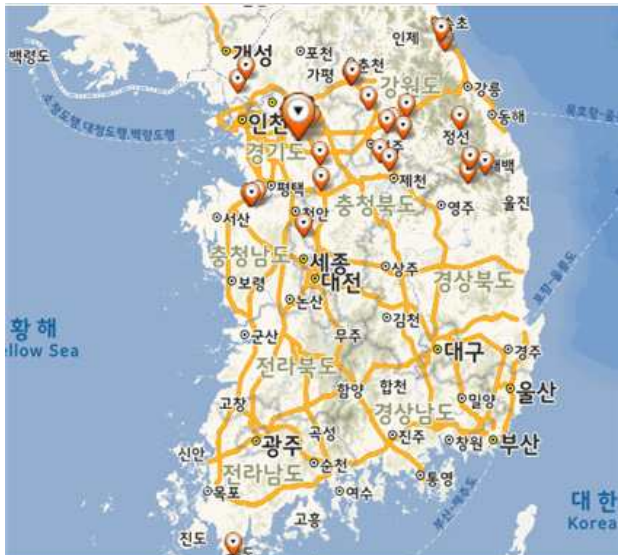
[그림 2-46] 산악기상관측망도(산림청 213개소, 국립산림과학원 산악기상정보시스템)

### (5) 교통기상관측망

교통기상관측망은 도로, 철도 등의 교통로 상에서 발생하는 안개, 폭우, 결빙, 태풍 등으로부터 교통 안전을 위해 국토교통부, 지방자치단체 및 한국도로공사에서 고속도로 및 주요 교통로(전국 9개 국도) 주변 35개소에 교통기상관측장비를 설치하여 운영하고 있다. 2015년까지는 한국철도공사에서 도로와 철로 변에 설치한 190여개소의 강수량 관측소도 교통기상관측시설로 운영하여 왔으나 기상관측표준화법 적용에서 제외시켜 달라는 요청에 따라 빠지게 되었다. [표 2-38]은 교통기상관측망 현황이고, [그림 2-47]는 국토교통부와 한국도로공사의 교통기상관측망(29개소)이다.

[표 2-38] 교통기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
도로 등 교통안전	AWS	기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무	국토교통부	17	35
			한국도로공사	1	
	시정계	시정	지방자치단체	5	
			한국도로공사	3	
온·습도계	기온, 습도	한국도로공사	8		



[그림 2-47] 교통기상관측망(29개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

### (6) 수문기상관측망

수문기상관측망은 먹는 물을 비롯한 생활용수, 농업용수와 공업용수 등의 산업용수 확보와 수질관리 및 가뭄, 홍수 등의 수문재해 관리를 위하여 중요하며, 특히, 사람뿐만 아니라 생태계를 함께 고려하는 지속가능한 물환경 관리와 홍수에보 등을 위해서도 매우 중요하다. 주요 관측요소는 강수량이며 필요시 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속 등을 관측하며 그밖에 수문업무에 필요한 수위·유량·수질 등의 관측을 하고 있다.

이와 같은 수문업무를 위하여 기상청, 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 한국수력원자력 등에서 765개소의 수문기상관측망을 운영하고 있으며, 이중에 한국수자원공사는 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 유역 등 5대 강 16개 다목적댐, 2개 홍수조절지(댐) 및 14개 용수전용댐 유역에 총 456개소의 우량국, 수위국, 경보국을 설치 운영하고 있다. 특히, 한국수자원공사는 184개소의 강수량 관측소를 운영하고 있다.

[표 2-39]는 주요 강 유역에 설치된 수문관측소 현황이며, [그림 2-48]은 기상청에 등록 된 184개소의 수문기상관측망이다.

[표 2-39] 주요 강 유역에 설치된 수문관측소(국가수자원관리종합정보시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
물관리, 홍수에보 등	AWS	기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무	기상청	95	95
			환경부	456	
	강수량계	강수량	한국수자원공사	184	
			한국농어촌공사	12	
		한국수력원자력	18	670	



[그림 2-48] 수문기상관측망(184개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

**(7) 환경기상관측망**

대기오염으로 인한 국민 건강 피해를 최소화하기 위해 환경부와 지방자치단체에서는 대기오염 감시, 분석 및 예·경보를 위한 관측망 368개소를 구축하여 운영하고 있다. [표 2-40]은 환경기상관측망 현황이고, [그림 2-49]는 환경부에서 운영하고 있는 46개소의 환경기상관측망도이다.

[표 2-40] 환경기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
대기오염 감시, 분석 및 예·경보 등	대기오염	기온, 습도, 풍향, 풍속	환경부	46	368
			지자체	322	



[그림 2-49] 환경부 환경기상관측망도(46개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

그 밖에 한반도에서의 에어로졸(황사, 미세먼지 등) 발생 및 이동 상황을 실시간 관측하고, 관측자료를 통합 활용하기 위해 우리나라에서 에어로졸 라이다를 운영하고 있는 8개 기관이 2015년 3월 ‘한반도 에어로졸 라이더 관측 네트워크 KALION(Korea Aerosol LIODAR Observation Network)’을 구축하였다. 여기에는 기상청을 비롯하여 총 8개 기관이 참여하여 전국 11개소에 에어로졸 라이더<sup>4)</sup>를 설치하였다. 이 중 6개소는 상시 운영하고, 5개소는 이벤트가 있을 때만 한시적으로 운영하고 있다. [표 2-41]은 우리나라 에어로졸 라이더 운영기관 현황이다.

4) 라이더(LIDAR/Light Detection and Ranging): 대기 중으로 레이저 빔을 발사하여 구름이나 에어로졸, 공기분자에 의해 후방 산란된 빛의 세기를 관측하여 에어로졸과 구름의 대기 중 연직분포를 관측하는 기기

[표 2-41] 국내 에어로졸 라이더 운영기관 현황(KALION 홈페이지)

운영기관	관측지점	운영	장비종류	관측요소	최종 산출요소
국립기상과학원	안면도	연속	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
서울시 보건환경연구원	서울	연속	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
목원대	대전	연속	이중 편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
서울대	서울, 제주	연속	이중 편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
울산 과학기술원	울산	연속	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
국립기상과학원	강릉(이동형)	이벤트	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
국립환경과학원	백령도	이벤트	편광 라만	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
광주 과학기술원	광주	이벤트	다파장 라만	후방산란계수, 편광도 소산계수, 라이더비	황사, 연무 구분 부파·질량농도 황사농도
울산 과학기술원	울산(이동형)	이벤트	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분
한밭대	대전	이벤트	편광	후방산란계수, 편광도 소산계수	황사, 연무 구분

**(8) 응용기상관측망(에너지분야)**

응용기상관측망 중 에너지 분야의 전력설비는 발전, 송변전 및 배전망이 유기적으로 연계되어 있어 피해 영역이 공간적으로 제한되어 있지 않으며, 송전망 등 대부분의 전력설비는 자연 상태로 노출되어 있어 낙뢰, 태풍 등의 기상현상에 직접적인 영향을 받게 된다. 이에 따라 한국전력공사, 한국수력원자력, 한국원자력환경공단에서는 전국 52개소에 기상관측장비를 설치하여 운영하고 있다.

특히 고공에 설치되어 있는 고압선은 바람에 취약하여 이를 감시하기 위한 풍향·풍속계를 주요 46개소에 설치 운영 중에 있다. [표 2-42]는 에너지분야 응용기상관측망 현황이고, [그림 2-50]은 응용(에너지)기상관측망도이다.

[표 2-42] 에너지기상관측망 현황(기상관측 통합 메타데이터시스템)

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
송전망 관리 등	AWS 풍향·풍속계	기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량	수력원자력	5	52
			한국원자력환경공단	1	
			한국전력공사	46	





[그림 2-50] 응용기상관측망도 (에너지분야 52개소, 기상관측 통합 메타데이터시스템)

### (9) 해양기상관측망

3면이 바다이고 편서풍 지역에 위치한 우리나라는 바다에서 육지로 들어오는 대기의 상태를 명확히 파악하고, 해상교통안전, 어업, 수산업, 항만물류, 해양바이오 등의 해양산업과 해양레저 활동 및 해양기상연구 등을 지원하기 위해 해양기상관측망을 운영하여 실시간 해양기상감시를 하고 있다.

이를 위해 국내에서는 기상청, 해양수산부, 국립해양조사원, 한국해양과학기술원, 해군, 해양경찰청 및 서울대학교 등 7개 기관에서 각각의 목적에 따라 325개소의 해양기상관측망을 운영하고 있다. [표 2-43]은 국내 해양기상관측망 현황이며, [그림 2-51]는 국립해양조사원 해양기상관측망도를 나타낸 것이다.

[표 2-43] 해양기상관측망 현황

해역	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
먼바다	해양기상부이	풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 파고, 파주기, 파향, 수온	기상청 국립해양조사원 한국해양과학기술원 서울대학교	17 12 1 1	31
	표류부이*	파고, 수온, 기압	기상청	20	20

	선박기상관측장비	풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압, 파고, 파주기, 수온	기상청 (해양경찰청 등 선박 이용)	14	14
	기상관측선 (기상 1호)	고층기상관측, 해상기상관측, 해양물리현상관측 등	기상청	1	1
	해군함정관측	기온, 풍향, 풍속, 시정, 파고, 운량, 운형, 운고	해군	9	9
앞바다	종합해양과학기지	조위, 수온, 염분(해양관측) 및 기상관측, 환경관측	국립해양조사원 한국해양과학기술원 기상청(서해종합기지)	1 2 1	4
	등표기상관측장비	풍향, 풍속, 기압, 기온, 파고, 파주기, 수온	기상청	9	9
	해양관측소	조위, 파랑(파고, 파주기), 기온, 기압, 풍향, 풍속	국립해양조사원	3	3
연안	파고부이	파고, 파주기, 수온	기상청	59	59
	해양관측부이	기압, 풍속, 풍향, 파고, 파주기, 수온, 유속, 유향	국립해양조사원	36	36
	연안방재관측장비	풍향, 풍속, 기압, 수위	기상청	18	18
연안	항만기상관측장비	풍향, 풍속, 기온, 습도, 파고, 파주기, 수온	기상청	4	4
	조위관측소	조위, 수온, 염분, 기온, 기압, 풍향, 풍속	국립해양조사원	46	46
	항로표지관측소	풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압, 유향, 유속, 수온	해양수산부	38	38
	해군기지관측 (AWS)	기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 강수유무, 강우량, 시정, 파고, 운량, 운형, 운고	해군	25	25
	항만시정관측	시정	해양경찰청	7	7
	파랑계 (Wave Radar)	파고, 파주기, 파향, 파속, 파장	기상청	1	1

\* 표류부이의 경우 소모성으로 수명이 3~6개월 정도임.



[그림 2-51] 국립해양조사원 해양기상관측망도(실시간 해양관측정보시스템)

해역별 해양기상관측시설을 살펴보면, 먼바다 및 원해의 관측시설로는 해양기상부이, 표류부이, 기상관측선박, 종합해양과학기지 등이 있다. 해양기상부이는 기상청, 국립해양조사원, 한국해양과학기술원, 서울대학교 등에서 서해, 동해, 남해 등의 먼 바다 수역에 31대를 띄워 놓고 있다. 표류부이는 소모성 장비로서 기상청에서 우리나라 주변 해역에 2013년부터 2015년까지 총 24대를 투하하였고, 매년 20여대를 추가로 투하하여 관측하고 있다. 기상관측선박은 바다에 떠있는 기상대라 할 만큼 육상의 관측소와 같은 기상관측시설을 갖출 수 있고, 원해의 해양기상자료를 얻을 수 있는 좋은 수단이 된다. 현재 기상청은 기상관측선박 기상1호를 운영하고 있고, 해양경찰청(10척), 해수부 어업관리단(2척) 및 국제여객선(2척) 등에서 운영하는 선박 14척에 선박기상관측장비를 탑재하여 관측자료를 받고 있다. 종합해양과학기지는 국립해양조사원에서 이어도, 한국해양과학기술원에서 가거도, 소청도 등 3개소에 종합해양과학기지를 구축 운영하고 있고, 기상청에서 2005년부터 태안반도 서쪽 약 65km 지점에 위치한 북격렬비열도에 무인 서해종합기상관측기지(파랑계, 자동기상관측장비, 연직바람관측장비, 부유분진측정기 등 설치) 등 먼바다의 해양기상관측을 위해 79개소의 해양기상관측망을 구축하여 운영하고 있다. 원해는 관측지원선박((VOS, Voluntary Observing Ships) 31척을 통해 해양기상관측자료를 수집하여 활용하고 있다.

앞바다 및 특정해역에 대한 관측시설로는 기상청에서 파고부이 59개소와 등표기상관측장비 9개소, 국립해양조사원에서 해양관측소 3개소와 해양관측부이 36개소 등 도합 107개소가 앞바다 해양기상관측을 하고 있다.

연안에 대한 관측시설로는 기상청에서 파랑계 1개소(북격렬비열도), 연안방재관측장비 18개소, 항만기상관측장비 2개소를 운영하고 있으며, 국립해양조사원에서 조위관측소 46개소, 해양수산부에서 항로표지관측소 38개소, 해군에서 AWS 25개소, 해양경찰청에서 7개소의 항만시계계를 운영하는 등 도합 137개소에서 연안에 대한 해양기상관측을 하고 있다. 참고적으로 국립해양조사원의 해양기상관측시설 현황은 '실시간해양관측정보시스템([http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/observation/obs\\_real.do](http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/observation/obs_real.do))', 해양수산부의 항로표지관측시설 현황은 해양수산부 홈페이지(<https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do>)를 참조하여 정리한 것이다.

### (10) 항공기상관측망

항공기상관측은 공항 및 항로상의 기상을 관측하여 항공기 운항에 필요한 기상정보를 생산·제공하는 데 목적이 있으며, 특히, 항공기상관측 정보는 항공기 운항을 결정하는 가장 중요한 정보로 활용되고, 항공기상관측 업무는 모두 자동화 되어 있다.

국내 항공기상관측장비로는 공항의 기본 기상관측장비인 공항기상관측장비(AMOS), 마이크로버스터와 윈드시어 등을 관측하기 위한 TDWR, LLWAS가 있고, 상층 바람을 관측하기 위한 연직바람관측장비와 레원존데 등이 있다.

공항기상관측장비(AMOS)는 기상청 7개소, 공군 1개소 등 모두 8개 공항에서 운영하고 있으며, TDWR은 기상청 1개소, 공군 2개소 등 3개소, LLWAS는 기상청에 3개소가 설치운영 중에 있다. 또한 연직바람관측장비는 기상청에 3개소, 공군에 1개소가 설치되어 있다. [표 2-44]는 국내 항공기상관측망 현황이다.

[표 2-44] 항공기상관측망 현황

관측목적	기상측기	관측요소	관측기관	관측소	합계
항공항행 위험기상 탐지	AMOS	풍향·풍속, 시정, 활주로가시거리, 운고, 기온, 이슬점온도, 기압, 강수량	기상청	13	14
			공군	1	
	TDWR	호우, 강설, 윈드시어, 마이크로버스터, 돌풍전선	기상청	1	3
			공군	2	
	LLWAS	윈드시어, 마이크로버스터	기상청	3	3
	연직바람 관측장비	바람측정, 윈드시어	기상청	3	4
공군			1		
레원존데			공군	1	1



[표 2-45] ㈜SK플래닛 기상관측장비 제품 사양서

풍속	측정범위	0.0~75.0 m/s
	정확도	<= 10 m/s: 0.3 ms/s, > 10 m/s: ± 3%
풍향	측정범위	0.0~359.9°
	정확도	± 3.0°
온도	측정범위	-40.0℃~+60.0℃
	정확도	±0.3℃
습도	측정범위	0.0~100.0%RH
	정확도	± 3%RH
대기압	측정범위	500~1100 hPa
	정확도	± 0.5 hPa
강수량	측정범위	0.0~999.9 mm
	정확도	± 5 %

㈜SK플래닛 기상관측자료의 장점은 서울시 262개소, 수도권 1,077개소 등 수도권 고밀도 관측망 자료를 기상청의 기상레이더 관측 자료와 결합하면 고해상도 정량 강수량 추정이 가능하다는 것이다. 이로 인해 좀더 상세하고 정확한 호우재해대응 기상서비스가 가능하고, 기상청이 도시지역에서는 현재 5km해상도의 동네 예보를 수행 중에 있으나 ㈜SK플래닛 기상관측자료를 적극적으로 활용할 경우는 더 상세한 기상예보는 물론, 강풍, 호우, 한파, 대설, 폭염 등에 대해 더욱 상세하고 정확한 기상특보가 가능할 것으로 예상된다.

그러나 일부 표본장비에 대해서만 기상측기 검증을 수행하므로 관측자료 품질을 보장하기 어렵고, SK텔레콤 통신기지국에 설치되어 있어서 표준기상 관측환경을 만족하지 못함으로써 생기는 자료의 부정확성의 단점이 있으므로 이를 보완하여야 한다.

㈜SK플래닛의 자료(2018)에 의하면, 기압, 기온, 강수량 등 6종 기상센서가 탑재된 1,089개 기상관측장비(AWS)와 미세먼지, 대기질 통합센서 등 환경관측장비, 침수, 토양, 수위, 전력량, 레이더 센서 등 다양한 산업용 센서를 탑재한 장비를 [그림 2-55]와 같이 운영하고 있다.

기상센서	미세먼지	대기질 통합 센서	도로침수 센서	정전식, 레이더 수위계	토양센서	기타
• 지진계, 관공서 등	• 학교, 아파트 단지, 스마트 시티 등	• 공장, 스마트시티	• 도로변 우수영 • 전선 도로 • 관물 등	• 하수관거 • 보, 저수지 • 하천 등	• 농업, 밭예 • 조경, 골프 등	• 야크 센서 • 진동센서 • 진동센서 • 실내형 공기질 • 전력량 센서, 피광

[그림 2-55] (주)SK플래닛 기상 및 산업용 관측장비

특히 기상 및 산업용 관측장비의 유지관리 방법과 장비의 고장 및 센서오류로 인한 관측자료의 보정기술을 공유하여 기상청에서도 기상관측장비의 유지관리와 관측자료의 품질관리에 대한 심도 있는 기술적 검토가 필요하다.

㈜SK플래닛은 'IoT센서솔루션 데이터 분석기술-딥러닝'을 활용하여 기상 및 산업용 관측장비의 유지관리는 물론 관측자료의 품질관리 기술을 개발하여 사용 중에 있다. 그동안 ㈜SK플래닛은 6년간 축적한 센서데이터 200억 건 기반의 센서 이상감지, 성능보정 모델을 보유하고 오류감지율 96.6%, 기준장비 오차율을 60% 감소하는 Transfer Learning, Un-supervised기법 등 다양한 Deep Learning기법을 적용하여 월등히 빠르게 신규센서에 대응하여 데이터 소요량을 90% 감소하는 AI기반의 IoT센서관제를 수행하고 있다.

이러한 관제를 통해 대규모 센서 네트워크를 관리하고 저가센서 보정기술을 활용하여 초기 투자비용을 절감(기상장비 예: 기상청 대비 운영비용 95%, 초기투자 비용 75% 절감)하였다. 더구나 데이터 기반 의사결정 신뢰성을 향상시켰으며(예: 자동 오류감지 및 보정기술 기반 세계기상예측 정확도 최고수준 달성), 신규 센서를 대상으로 빠른 기술을 적용(예: 미세먼지 센서 대상 수백개 샘플로 96.8% 정확도 달성)했다. 이와 관련된 관제 솔루션 개요는 [그림 2-56]과 같다.

**IoT 센서의 데이터 수집/분석(모니터링)을 통해**

- 핵심 Feature**
1. 물리적 센서 오류 자동감지 및 예측 ⇒ '서비스 가용성' 확보
  2. 센서 데이터 성능 보정 ⇒ 저가의 센서로 고가의 센서와 '유사 성능' 보장
  3. 센서 데이터 분석 ⇒ '매쉬업' 서비스 제공

**이를 위해 SK tech가 보유하고 있는**

- 핵심 Tech.**
1. 딥러닝 기반 센서 데이터 처리 기술
  2. 스파크 기반 복합 판단 (대용량 실시간 데이터 처리)

**위 핵심기술을 가능하게 하는 것은**

- ① 4년이상 운용한 센서 데이터의 '양'과 '질'
- ② 센서데이터에 최적화된 '딥러닝 기술'에 있음 (신규 사업자와의 3년이상 Gap 유지)

[그림 2-56] AI기반 IoT센서 관제 솔루션 개요

또한 ㈜SK플래닛은 다년간 기상센서에서 확보한 200억 건의 정제된 빅 데이터를 활용하여 기상센서 외에 다른 여러 종류의 관측센서에도 이 기술을 적용하여 최적의 장비 유지관리는 물론 정확한 데이터 분석 및 관측자료 보정 서비스를 제공하고 있다.



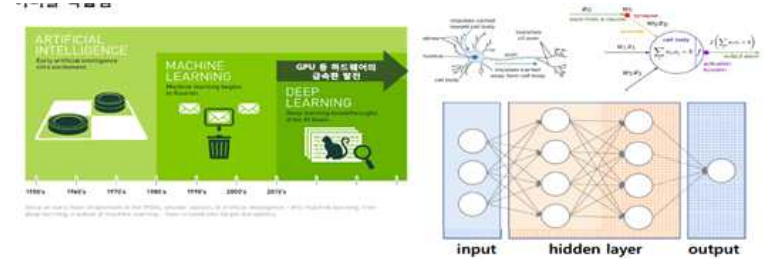
[그림 2-57] AI 기반 IoT센서 관제서비스 역량

관측센서의 종류는 매우 다양하지만, 매우 분명한 종류의 센서 오류는 쉽게 발견할 수 있으나 그렇지 않은 경우도 많다. 센서에는 여러가지 이유로 인해 일시적이거나 항구적인 오류의 가능성이 상존하며, 이를 개선하기 위한 H/W가격이 크게 상승할 수 있고, IoT 오류를 일으키는 센서의 수가 기하급수적으로 증가하여 얼마나 저비용으로 S/W적으로 대응할 것인가가 매우 중요한 문제이다.



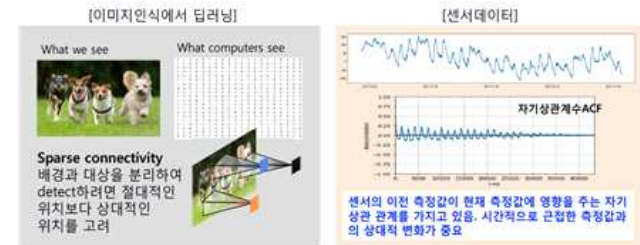
[그림 2-58] SK관리 기상센서의 자료품질 비교

머신러닝/딥러닝 기술은 최근 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 딥러닝(Deep Learning)은 Deep Neural Networks(DNN)라고도 하며, 머신러닝 기법 중 인공신경망(Artificial Neural Network)에서 발전한 형태의 인공지능으로 인공신경망은 뇌의 뉴런과 유사한 정보 입출력 계층을 활용해서 데이터를 학습한다.



[그림 2-59] Deep Learning기술의 발달과 개요

전통적인 통계분석은 대부분 변수 간 독립성을 가정하고 변수의 개수가 많아질수록 제약사항이 많아진다. 딥러닝은 높은 상관관계를 가진 수천 개의 변수라도 비교적 적은 연산과정을 통해 분석에 결정적인 특징변수를 추출한다.



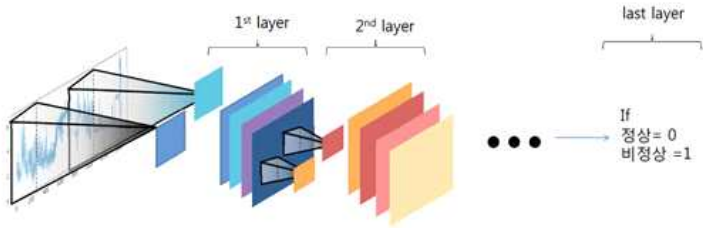
[그림 2-60] Deep Learning기술의 센서데이터 사용 개요(1)

전통적인 시계열 자료 방법론은 장기적 추세(Trend), 주기적 패턴(Seasonality/Cyclic), 랜덤요소(Noise)로 성분 분해하여 각 성분의 불변함(Stationary)을 가정하기 때문에 실제 데이터와 차이가 있으나, 딥러닝은 통계적 가정 없이 단기적인 패턴과 장기적인 패턴을 모두 처리하는데 탁월한 성능을 보인다.



[그림 2-61] Deep Learning기술의 센서데이터 사용 개요(2)

기상관측센서의 이상감지를 위한 딥러닝 기술 적용방법은 나선형신경망(CNN)으로 가장 잘 알려진 다층신경망(DNN) 구조로서 데이터로부터 센서의 상태분류에 중요한 특징을 추출하는 목적으로 사용하는데 레이어의 구조에 따라 여러 가지 변형체가 있으며 데이터에 따라 최적 모델이 다르기 때문에 실험적인 과정을 통해 최적 모델을 탐색한다.



[그림 2-62] Deep Learning기술의 기상데이터 이상감지 개요도

이상과 같이 ㈜SK플래닛의 AI기반의 IoT관측센서의 관제 기술을 개략적으로 소개했다. 기상청의 기상관측 장비는 365일 악기상에도 작동하여야 하고 관측자료의 정확도 유지되어야 한다. 이를 위해 장비고장과 악기상 등 환경으로 인한 결측 또는 부정확한 관측자료의 검증과 복구를 위해 위에서 소개한 기술들을 적극적으로 검토하고 기업과 함께 협력할 것을 권장한다.

## (2) 모바일 관측차량

강원도의 경우, 산지 비중이 82%, 평균해발고도가 468m이고 태백산맥과 동해의 영향으로 산악기상, 해륙풍 등 국지적 지형과 환경으로 인해 기상변화가 심하다. 더구나 거의 매년 태풍, 대설, 호우, 강풍, 산사태, 풍랑 등의 재해기상이 다양하고 비번하기도 하다. 국립기상과학원에서는 이러한 재해기상현상의 국지성과 돌발성에 대한 신속한 대응체계를 구축하고 그 발생과 발달 메커니즘을 규명하고자 재해기상의 감시와 추적관측에 필요한 모바일기상관측차량을 2012년 말에 연구용으로 2대 도입하였다.

국내 다른 유관기관에서도 비슷한 모바일 시스템을 운영하고 있다. 민간기상사업회사인 ELP에서는 소위 'MARWIS'라는 차량이동형 도로기상 관측시스템을 운영 중인데, 100km/h로 달리면서 대기기상정보와 노면정보 등의 관측이 가능하다. 한국건설기술연구원의 'ARASEO'의 경우, 도로 횡단면을 촬영하기 위한 노면센서 등이 탑재되어 도로 안전도를 평가하고 있다. 국립재난안전연구원에서는 재난영상의 현

장 중계를 위한 센서 등이 탑재된 차량을 이용하여 과학적 재난원인 조사 업무를 수행하고 있다.

외국의 경우에는 미국해양대기청(NOAA NSSL)에서는 모바일 대기관측차량을 다수 운영 중이며, 캐나다 기상청에서는 'AMMOS'라는 자동화된 모바일 관측차량을 활용하고 있다. [그림 2-63]은 미국해양대기청과 캐나다 기상청의 모바일 관측차량의 외관을 보인 것이다.

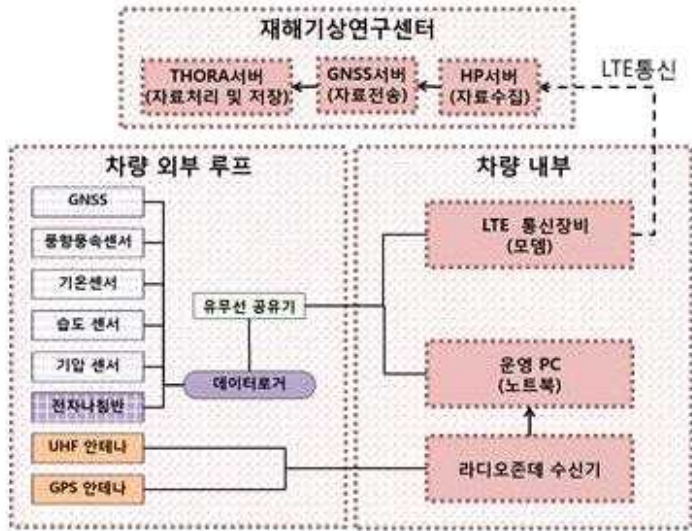


[그림 2-63] 모바일 관측차량의 외관(좌: 미기상청, 우: 캐나다기상청)

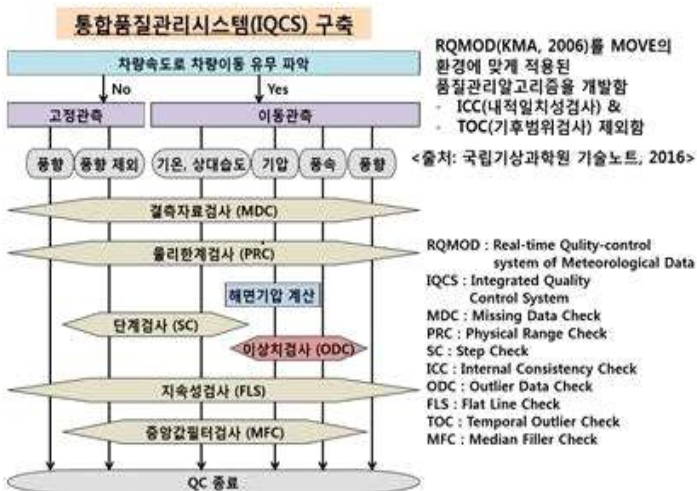
국립기상과학원의 모바일기상관측차량의 경우, 차량 지붕에 온습도계, 풍향풍속계, 라디오존데용 HHF·GPS 안테나, 기압계와 데이터로거의 로거합체박스, 기압보정용 포트, GNSS 안테나 및 차량 후면의 LED 전광판 등이 탑재되어 있다. 장비운영과 모니터링은 차량 내부에서 이루어지며, 차량으로부터 재해기상센터로의 자료 전송을 위해 LTE 방식의 통신이 채택되었다. [그림 2-64]는 그 외형을 나타낸 것이며, [그림 2-65]와 [그림 2-66]은 각각 관측자료처리과정과 관측자료 통합품질관리시스템(IQCS)을 도식적으로 설명한 것이다.



[그림 2-64] 국립기상과학원의 모바일기상관측차량의 외관



[그림 2-65] 국립기상과학원 모바일기상관측차량의 관측자료처리과정



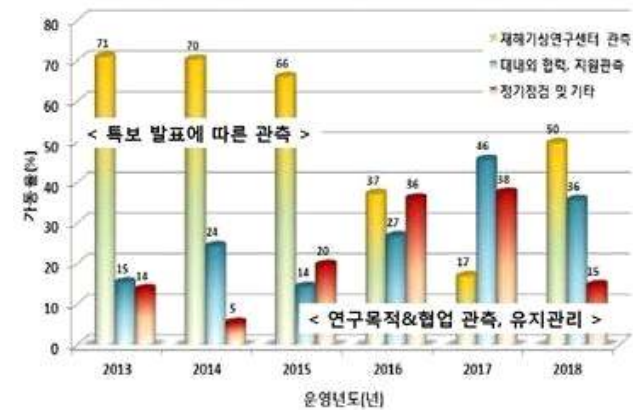
[그림 2-66] 국립기상과학원 모바일기상관측차량의 통합품질관리시스템

2018년 10월 현재 모바일기상관측차량의 총 운영일수는 차량 1이 719일, 차량 2가 713일로서 재해기상이 예상되는 계절을 감안하더라도 활용도가 높은 것으로 분석되었다. 특히 연도별 운영현황을 살펴보면 [그림 2-67]에 보는 바와 같으며, 특보 발표에 따른 관측과 연구목적 혹은 협업관측, 장비 유지관리 등 목적별 운영현황은 [그림 2-68]과 같다.



• 총 운영일 수  
- MOVE1: 719일  
- MOVE2: 713일

[그림 2-67] 모바일기상관측차량의 연도별 운영현황



[그림 2-68] 모바일기상관측차량의 목적별 운영현황

모바일기상관측차량은 앞으로 단순 재해기상관측에서 벗어나 예보 및 관측 등의 기술과 정책지원에도 그 활용 분야를 넓혀야 하고, 관측차량의 임무와 더불어 지휘차량으로서의 역할을 수행하며, 현재 강원도 일부지역에 국한된 활동범위도 전국으로 확대할 필요가 있다.

## 6. 국내 기상관측망의 분석

국내에는 기상청을 비롯하여 환경부·산림청 등 5개 국가기관, 서울특별시 등 17개 지방자치단체, 국립공원관리공단 등 6개 공공기관 등 28개 기관에서 3,766개소의 기상관측시설을 운영하고 있으며, 이들 대부분은 기상관측표준화법의 적용을 받고 있다.

기상관측시설을 장비별로 분류하면 강수량계가 1,775개소(47.1%), 자동기상관측장비 1,530개소(40.6%), 대기오염 관측장비가 368개소(9.8%), 기타 관측장비가 93개소(2.5%)이다.

또한, 국내 3,766개소의 기상관측시설을 우리나라 면적 기준으로 해상도를 살펴보면 약 5km로 매우 조밀하나, 순수 기상청에서 운영하고 있는 자동기상관측장비 594개소를 기준으로 할 때에는 약 13km의 수평격자를 갖게 되어 동네예보 해상도(5km)와 국지예보모델 격자간격(1.5km)에 훨씬 못 미치는 수준임에 따라 기상청 자동기상관측망의 확충과 함께 유관기관 관측망의 공간 재배치 및 품질관리를 통한 공동 활용을 높여야 한다.

기상관측시설을 관측목적별로 구분하면 크게 기상기후관측망, 방재기상관측망, 농업기상관측망, 산악기상관측망, 교통기상관측망, 수문기상관측망, 환경기상관측망, 응용기상관측망, 해양기상관측망, 항공기상관측망으로 분류할 수 있는데, 이와 같은 기상관측시설을 관측망별로 분석해 보면 다음과 같다((주)웨더피아, 2015).

먼저 기상기후관측망은 기상예보 및 기후조사를 목적으로 기상청에서 비교적 기상관측 환경이 양호한 96개소에 ASOS 종관기상관측장비를 설치하여 기압, 기온, 습도, 바람, 강수량, 일조, 시정 등 다양한 기상요소를 관측하고 있다. 여기에서 생산되는 기상관측자료는 기상청 종합기상정보시스템 COMIS에 의하여 1분마다 수집 가공되어서 기상기후 목적뿐만 아니라 정부기관의 다양한 목적에도 사용되도록 제공되고 있다. 또한 기상기후관측망으로 수집된 관측자료는 세계기상정보시스템(WIS, WMO Information System)을 통해 전세계로 제공되고 있으며, 수치예보 모델의 초기 입력 자료로도 유용하게 사용되고 있다. 그러나 목적관측 자동화 확대와 신뢰도 확보 노력이 필요하다.

방재기상관측망은 기상재해 예방 및 대응 등 재난관리를 목적으로 기상청, 지방

자치단체, 국립공원관리공단 등 19개 기관에서 AWS 991개소, 강수량 관측소 1,591개소, 적설계 30개소 등 도합 2,612개소의 관측소를 운영하고 있다. 방재기상관측망은 자연 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호할 목적으로 설치한 것인 만큼, 최소 행정구역 단위인 3,500여 읍면동 마다 기온, 습도, 강우량 등 기본 방재기상요소를 실시간 관측할 수 있는 AWS 관측망이 구축되어야 한다. 이와 같은 투자는 실사용자 부담을 원칙으로 해당 지자체 혹은 기상정보 이용을 목적으로 하는 기관이나 단체에서 부담하도록 하는 것이 바람직하다.

농업기상관측망은 농업생산성 증대 및 저수지 등의 농업기반 시설 관리 등을 목적으로 기상청 11개소, 농촌진흥청 203개소 등 2개 기관에서 농업용AWS(AAOS) 214개소를 설치하여 농업과 밀접한 관계가 있는 일사, 일조, 기온, 습도, 풍속, 강수량, 토양수분, 지면온도, 지중온도(5cm·10cm·20cm·30cm) 등을 실시간 관측하고 있다. 기상·기후현상에 민감한 농업의 특성상 국가기관에서는 전국 농토에 대하여 1km 이하의 해상도를 갖는 상세 기후도를 생산 보급할 필요가 있고, 농업기상 관측요소의 품질관리와 유관기관 관측자료의 공동 활용성을 더욱 높여야 한다.

산악기상관측망은 산불, 산사태 등 산림재해 감시 등을 목적으로 산림청에서 213개소의 산악용 AWS를 설치하여 2m와 10m 높이에서 기온, 습도, 바람과 기압, 강수량, 지면온도 등을 관측하고 있으며, 특히 국립산림과학원의 산악기상정보시스템을 통해 주요 산악지역의 기상관측 정보를 실시간으로 국민과 유관부처 등에 서비스하고 있다. 산악의 특성 상 하나의 산을 두고 변화하는 기상을 파악하기 위하여서는 최소한 산지를 이루는 지형의 변곡점 마다 관측소가 있어야 하나, 현재의 산악기상관측망은 산불이 일어날 수 있는 조건을 조기에 파악하기 위한 목적으로 설치된 것이어서 관측소 숫자가 적은 편이다. 따라서 이를 보충하기 위하여서는 유관기관 기상관측망의 자료를 공동 활용하여야 한다.

교통기상관측망은 도로, 철도 등의 교통로 상에서 발생하는 안개, 폭우, 결빙, 태풍 등으로부터 교통의 안전을 목적으로 국토교통부 17개소, 지방자치단체 5개소 및 한국도로공사 12개소 등 고속도로 및 주요 교통로(전국 9개 국도) 주변 35개소에 교통기상관측장비를 설치하여 기온, 바람, 강수량, 습도, 시정 등을 관측하고 있다. 기상현상이 도로교통에 미치는 심각한 영향을 볼 때 교통기상관측망은 턱없이 부족한 상황이다. 현재 한국도로공사에서 전국 도로망을 따라서 3,000여 개소의 CCTV 감시망을 운영하고 있는데, 이러한 시설에 기상센서를 추가하여 교통기상관측망을 확충하고, 관측자료 공동 활용성을 높이고, 이동차량에 모바일 기상관측장비를 부착하여 관측망을 상세화할 필요가 있다. 또한, 한국철도공사에서 운영하고 있는 철로 주변의 강우량 관측자료도 공동활용하는 방향으로 검토할 필요가 있다.



수문기상관측망은 물관리 및 홍수예보 등을 목적으로 한국수자원공사에서 184개소의 강수량 관측소를 운영하고 있으며, 그 밖에 기상청, 환경부, 한국농어촌공사, 한국수력원자력 등을 포함하여 총 AWS 95개소, 강수량 670개소 등 도합 765개소의 수문기상관측망을 운영 중에 있다. 이러한 우리나라 수문관측망의 해상도는 약 10km 정도로서 외국에 비해 그리 희박한 편은 아니지만, 국토교통부(홍수통제소)는 더 상세한 수문 감시를 위하여 전국적으로 6대의 S밴드 레이더관측망을 운영하고 있다. 다만 홍수통제소에서 운영하고 있는 주요 하천 유역의 강수량 관측자료도 공동활용하는 방안을 적극 검토할 필요가 있다.

환경기상관측망은 대기오염 감시, 분석 및 예·경보업무 등을 목적으로 환경부 46개소, 지방자치단체 322개소 등 도합 368개소의 대기오염관측소를 운영하고 있다. 또한 기상청과 대학 등 8개 기관에서 KALION(Korea Aerosol Lidar Observation Network)이라는 네트워크를 구축, 11개소에 에어로졸 라이다를 설치하여 연속, 비연속으로 에어로졸을 관측하고 있다. 그러나 대도시 상공의 기류흐름을 상시 관측하고 실시간 대기화학성분을 분석하기 위한 분석장비 설치와 지속적인 활용기술 연구가 할 필요하고, 대도시 상공의 실시간 기류감시를 위하여 라이다와 X밴드 레이더 관측망을 구축할 필요가 있다.

응용기상관측망(에너지 분야)은 송배전망 등 전력계통 관리를 목적으로 한국전력공사 46개소, 한국수력원자력 5개소, 한국원자력공단 1개소 등에서 52개소의 응용기상관측망을 운영하고 있다. 특히 이 중 46개소는 송전선 보호를 위한 풍향·풍속 관측소로 이루어져 있다.

해양기상관측망은 기상청, 해양수산부, 국립해양조사원, 한국해양과학기술원, 서울대학교, 해군, 해양경찰청 등 7개 기관에서 325개소의 해양기상관측망을 운영하고 있다. 먼 바다 해양기상관측을 위하여 기상청, 국립해양조사원, 한국해양관측원 등에서 31대의 해양기상부이를 운영하고 있고, 원해 관측을 위하여 기상청에서 기상 1호 관측선박을 운영하고 있고, 해양기상 유관기관 선박 14척에 선박기상관측장비를 운영하고 있다. 앞바다 해양기상관측을 위하여 기상청이 파고부이 59개소와 등표기상관측장비 9개소, 국립해양조사원이 해양관측소 3개소와 해양관측부이 36개소 등 도합 107개소를 운영하고 있다. 해안가 연안의 해양기상관측을 위하여 기상청은 파랑계 1소, 연안방재관측장비 18개소, 항만기상관측장비 2개소를 운영하고 있으며, 국립해양조사원에서 조위관측소 46개소, 해양수산부에서 항로표지관측소 38개소, 해군에서 AWS 25개소, 해양경찰청에서 7개소의 항만시정계 등 도합 137개소에서 연안의 해양기상관측을 하고 있다. 그러나 서해상 위험기상 관측과 태풍진로 정확도 향상을 위한 해양기지 추가 건설(서해중부 덕적도와 서해남부 안마도 등), 기상관측

선 2호기 도입, VOS 확대 등 지속적인 관측망 확충과 먼 바다 해역의 관측망 보강이 필요하다.

항공기상관측망은 공항 및 항로상의 기상을 관측하여 항공기 운항에 필요한 기상 정보를 생산·제공 할 때 목적으로 기상청에서 공항기상관측장비(AMOS) 7개소, 공군 1개소 등 8개소를 운영하고 있으며, TDWR은 기상청 1개소, 공군 2개소 등 3개소, LLWAS는 기상청에서 3개소, 연직바람관측장비는 기상청 3개소와 공군 1개소, 그리고 레윈존테는 기상청 6개소와 공군 2개소를 항공기상관측망으로 운영하고 있다. 통상적으로 공항은 WMO가 요구하는 기상관측 환경을 갖춘 가장 좋은 장소로서 여기에서 생산 되는 관측자료는 지역 대표성이 뛰어나므로 항공 목적 이외에 다른 목적으로도 활용할 수 있는 방안을 강구할 필요가 있다.

### 제3절 주요 기상선진국의 기상관측망

#### 1. 세계 기상관측망 개요

기상예보의 시작은 대기에 대한 기상관측으로부터 출발한다. 기상관측을 행하기 위해서는 우선 기상요소별 센서의 선정과 배치가 기본인데 이에 대해서는 각 나라마다 지리적 여건과 경제적인 여건, 그리고 기술 수준에 따라 다양각색이다. 기상선진국에서는 첨단화된 디지털 관측장비가 구축되어 관측과 자료전송 및 분석 등의 일련의 과정이 One-stop 방식으로 자동으로 이루어지고 있는 반면에, 일부 개발도상국가에서는 아직도 아날로그 관측 방식에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 기상업무는 전지구적으로 이루어져야 체계적이고 구조적으로 기상예보가 이루어지기 때문에 우선 기상관측에 대한 표준이 필요하게 된다. 따라서 WMO(세계기상기구)의 역할이 기상업무에 아주 중요한 역할을 한다.

WMO는 UN의 산하기구로서 전 세계적인 기상과 수문활동에 관한 증진, 표준화, 조정 및 회원국간의 기상, 수문 관련 정보의 효율적인 교환을 촉진시키는 미션을 가지고 있다. 따라서 WMO는 기상관측, 예보, 통계 등 기상업무 전반에 걸친 세계적 기술표준 및 실무 기술관련 사항을 WMO규정, 권고사항, 보고서 등을 통하여 홍보 및 제공하고 있다. 관측에 관련된 위원회로는 CBS(Commission for Basic Systems)가 있는데, 이 위원회에서는 관측, 데이터 처리, 데이터 통신 및 데이터 관리를 위한 통합 시스템의 발전, 실행과 운영에 관련되어 있다. 그리고 기술적인 진보로 제공되는 모든 WMO 프로그램의 요구와 기회에 대응하여 공공기상서비스의 준비에도 관련되어 있다. CBS는 세계기상감시(WWW, World Weather Watch), WMO 우주 프로그램과 공공기상서비스 프로그램에 대한 선도적 기술위원회이기도 하다.

CBS의 임무는 운영그룹과 통합관측시스템에 관한 그룹, 정보시스템 및 서비스에 관한 그룹, 데이터 처리와 예보시스템에 관한 그룹, 그리고 공공기상서비스에 관한 그룹 등 네 개의 공개 프로그램 영역 그룹(OPAG)을 통해 이루어지고 있다. 각 OPAG는 프로그램 결과를 개발하고 조정하며, 전지구 실행을 유도하기 위하여 몇몇 전문가팀과 실행조정팀을 두고 있다. 이 위원회는 매 2년마다 개최되는데, 특정 주제, 특히 WMO 교차 프로그램을 위해 조사위원과 조정위원들이 구성되어 있다.

또한 WMO는 기상 및 기후, 그리고 특수관측을 전지구적으로 효율적으로 수행하기 위하여 다음과 같은 관측 시스템 및 네트워크를 가지고 있는데, 이 중 일부는 다른 국제기구의 프로그램과 연계하여 수행하는 것도 있다.

- 전지구관측시스템(GOS, Global Observing System)
- WMO통합전지구관측시스템(WIGOS, WMO Integrated Global Observing System)
  - 전지구기후관측시스템(GCOS, Global Climate Observing System)
  - 전지구해양관측시스템(GOOS, Global Ocean Observing System)
  - 전지구지구관측시스템(GTOS, Global Terrestrial Observing System)
  - 국가간해양위원회(IOC, Intergovernmental Oceanographic Commission), 유엔 환경프로그램(UNEP, United Nations Environment Programme), 국제과학자문위원회(ICS, International Council for Science)의 모든 공동사업 연관됨
- 전지구기본관측망(GBON, Global Basic Observing Networks)
- 지역기본총관측망(RBSN, Regional Basic Synaptic Networks)
- 지역기본관측망(RBON, Regional Basic Observing Networks)

GOS는 모든 WMO 프로그램의 도움으로 전지구 규모에서의 기상 및 다른 환경적 관측을 수행하는 방법과 설비들에 관한 통합적 시스템이다. 이 시스템은 가동 가능한 지상 기반과 우주 기반의 부시스템으로 이루어져 있다. GOS는 육지상, 해상, 공중과 우주에서의 관측 설비들로 구성된다. 이러한 설비들은 모든 나라들이 통합 노력으로부터 이득을 얻을 수 있도록 합의된 전지구적 운영계획에 있어서 어떤 책임을 다하도록 약속한 WMO의 각 회원국들에 의해 소유되고 운영되고 있다.

WIGOS는 모든 WMO 관측시스템과 모든 WMO 프로그램과 활동들을 지원하기 위하여 공동 스폰서인 관측시스템에 WMO의 참여를 위한 시스템이다. 공동 후원되는 관측 시스템은 전지구기후관측시스템(GCOS), 전지구해양관측시스템(GOOS)과 전지구지구관측시스템(GTOS)이며, WMO와 UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)의 IOC, UNEP, 국제과학자문위원회(ICS)와의 모든 공동사업을 포함하고 있다.

수치기상예보와 기후분석과 같은 전지구적 응용은 모든 WMO 회원국이 관할 지역 혹은 심지어 지역 및 국제적 레벨에서 제공하는 모든 생산물과 서비스를 위한 기본적인 역할이기도 하다.

이러한 전지구적 응용은 지상 기반의 관측시스템으로부터의 포괄적인 일련의 관측자료와 이와 관련되어 있는 관측자료의 수집 및 국제적인 교환을 설비지원하고 조정하는데 있어서 WMO는 기본적인 역할을 지속적으로 수행하고 있다.

이러한 환경하에서 GBON은 WIGOS의 한 부문이며, 특히 기후감시의 도움으로 제

분석을 포함하여 전지구 수치모델프로그램(NWP)의 요구사항에 대처하기 위하여 WIGOS의 우주기반 및 잔존 지상기반 관측요소와 조합하여 이용되고 있다.

GBON의 설계, 실행 및 관리는 전지구적 설계과정을 통해서 폭넓은 WIGOS의 범위에서 이루어진다. GBON은 더 넓은 범위의 응용 분야의 직접적인 요구를 고심하도록 만들어 진 RBON의 토대이기도 하다. GBON은 WIGOS의 통합전지구시스템과 WMO회원국에 의해 운영되는 지상기반의 관측소들의 부분으로 구성되어 있으며, 우주기반의 관측 부분을 보완하여 기후 감시의 도움으로 이루어지는 재분석을 포함하여 전지구 NWP의 요구에 기본적으로 대처하고 있다.

WMO 지역협력체들은 회원국들과 WWW의 요구에 부합하도록 지상 및 고층 관측소들에 대한 지역기본종관네트워크(RBSN)를 정의하고 있다. 또한 WMO 지역협력체들은 전지구 규모를 포함해서 지역적 규모에 대한 기후의 정확한 표현을 제공하는 데 필요한 전지구기본기후네트워크(GBCN, International Council for Science))를 정의하고 있다.

더구나 남극지역에 대한 효과적인 관리를 위하여 WMO 집행위원회의 극지방에 대한 관측, 연구 및 서비스에 관한 전문가 패널은 회원국들과 WWW의 요구에 부합되도록 지상 및 고층관측소들의 남극지역관측네트워크(AntON, Antarctic Observing Network)에 대한 사멸의 임무가 있다.

RBSN, RBCN 및 AntON 관측소들에 대한 정보는 WIGOS/GOS/GOS 지상네트워크 하에서 원하는 프로그램/네트워크 제휴를 선택함으로써 OSCAR/Surface로부터 얻을 수 있다. 이 OSCAR/Surface에 있는 정보의 정확성을 유지하고 개선하기 위하여 회원국들은 네트워크 상에 있는 관측소들의 리스트에 대해 어떠한 제안된 수정에 관하여 사무국에 권고하도록 요구되고 있다.

RBSN과 RBCN(Regiona Basic Climatological Network)은 지역 협력체에 의해 고안된 지상관측소와 고층관측소로 구성되어 있다. 이 두 네트워크는 고도의 효율성을 가지고 있음이 입증되어 왔고, WMO와 그 회원국의 활동에 가치있는 지역적인 기여를 해왔다. 이들 관측소에서의 관측들은 WMO 회원국들에 의해 유지되며, 어떤 제한도 없이 실시간으로 전지구적으로 교환되고 있다. 현업적 기상과 기후 분야를 지원하도록 기본적으로 설계되었으므로, 이들 관측소들은 폭넓은 응용분야를 넘어 상당한 이득을 가져다주고 있다.

다양한 응용분야를 넘어 관측자료에 대한 추가적이고 점진적으로 나타나는 요구사항들은 지역기본종관네트워크 및 지역기본기후네트워크를 재정의하는데 수반되는 요구사항을 이끌어내고 있다. 새롭게 개선된 관측기술들은 지역적인 관측 전략을 재평가할 기회를 주고 있다. WIGOS 체계다중적인 응용분야의 요구에 호응하기 위

하여 WMO 관측시스템의 좀 더 집약적인 관점을 필요로 한다. 새로운 RBON은 좀 더 개선된 관측자료를 이해당사자들에게 전달함으로써 서비스를 개선하도록 이끌 것이며, 지역적 관측 능력 향상에 충분한 이득들이 실현될 수 있게 할 것이다. 그렇게 함으로써, RBON은 실질적이고 가치있는 WIGOS의 부분집합이 될 것이다.

위에 서술된 관측시스템과 네트워크 및 각종 프로그램의 관계를 정리하면 [표 2-46]과 같다.

[표 2-46] 전지구 관측시스템과 네트워크

	관계	관측시스템	계획	참고	
WMO	WWW	REQ	GBCN	-	Global Basic Climatological Networks
			RBSN	RBON	Regional Basic Synaptic Networks
			RBCN		Regional Basic Climatological Networks
	WIGOS	SUB	GOS(WWW)	GBON	Global Observing System
			GAW(관측)		Global Atmosphere Watch
			WHOS		WMO Hydrological Observing System
			GCW		Global Cryosphere Watch
		COS	GCOS		Global Climate Observing System
			GOOS		Global Ocean Observing System
			GTOS		Global Terrestrial Observing System
		COP	IOC		Intergovernmental Oceanographic Commission
			UNEP		United Nation Environment Programme
			ICS		International Council for Science

- \* WIGOS: WMO Integrated Global Observing System
- WWW: World Weather Watch
- RBON: Regional Basic Observing Networks
- REQ: Requirement
- SUB: Subsystem
- COS: Cosponsor
- COP: Cooperation

WMO는 전지구를 6개 지역으로 나누어 관리하고 있으며, 남극에 대해서는 특수 목적을 감안하여 별도로 취급한다. WMO에 등록된 전세계 회원국들의 관측 현황은 지역별로 정리하면 [표 2-47]과 같다.

[표 2-47] WMO 등록된 전세계 지역별 관측망(WMO, 2018년 6월 현재)

지역	지상	고층	기상레이더	WP
아프리카	1,356	96	24	0
아시아	3,445	330	111	103
남미	1,483	75	98	0
북미	2,383	175	275	76
남서태평양	1,550	102	122	0
유럽	4,652	180	269	19
남극	164	17	0	0
<b>총계</b>	<b>15,033</b>	<b>975</b>	<b>899</b>	<b>22</b>

※ 선박 2,800대, 계류표류부이 900대

## 2. 미국

미국은 기상예보뿐만 아니라 기상관측 분야에서도 가장 앞서가는 국가 중의 하나이다.

지상기상관측망의 경우 국립해양대기청(NOAA) 등에서 약 2,500여개소를 운영하고 있다. 가장 기본이 되는 시스템은 ASOS로서, 주로 기상 실험 과학과 기상예보를 지원하기 위하여 설계되었는데, 동시에 기상수문 및 기후연구 분야에도 활용되고 있다. ASOS는 미국 기상청(NWS), 항공청(FAA), 국방부(DOD)가 공동으로 개발하였으며, 미국 전역에 걸쳐 882대를 운영하고 있다. 기상관측 유관기관 및 민간인이 운영하는 관측소를 모두 합하면 약 11,000 정도이다. 이는 설치 밀도로 볼 때 약 1개소/900km<sup>2</sup>의 관측망 해상도에 해당하는데 우리나라의 1/2 수준에 있다.

고층관측자료는 주로 레윈(라디오)존테와 항공기로부터 관측자료를 수집하고 있다. 레윈(라디오)존테는 900여개소에서 운영하고 있다. 항공기 관측 자료는 AMDAR 시스템을 통해 민간항공기로부터 하루 22만에서 25만개의 관측자료를 교환하고 있으며, 이와 같은 자료들은 대부분이 GTS를 통하여 세계가 공유하고 있다.

해양기상관측망의 경우 NOAA는 약 2,800여대의 선박, 900대의 표류부이를 띄워서 해수면 부근 기상요소에 대한 자료를 제공하고 있다.

원격관측망으로는 전세계 미국령을 모두 포함하여 215개소의 기상레이더 관측소가 있으며([그림 2-69] 참조), 이 중150여 개소의 NEXTRAD 레이더가 본토에 설치되어 있다. 76개소의 연직바람관측장비, 150여 개소의 GPS 가강수량관측소, 2개의

정지기상위성, 다수의 지구관측 극궤도 위성을 운영하고 있다.

이를 요약하면 다음과 같다.

- 지상기상관측망: 지상고정형 1,082개소
- 고층관측망: 지상고정형 라디오존테 107개소
- 해양관측망: 선박 2,800대 계류 표류 부이 900대
- 기상레이더: 215개소
- 연직바람관측장비: 76개소
- 위성: 기상위성 정지 및 극궤도위성



[그림 2-69] 미국의 기상레이더 분포도

## 3. 일본

일본은 전세계적으로 볼 때 기상관측망이 상당히 조밀하고 자동화가 잘 되어 있는 국가 중의 하나이다.

지상기상관측망의 경우 156개 기상관서와 무인관측소 등에 총 331대에 지상기상 관측장치가 설치되어 있어서 주로 11개 요소를 자동관측하고 있다. 또한 지역기상 관측시스템인 AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System)가 1,471개소에 설치되어 있어서 강우량과 적설량을 주로 관측하고 있다. 이를 토대로 볼 때 약 1개소/1,150km<sup>2</sup>의 관측 밀도를 가지는 셈이다.

고층기상관측의 경우 17개소에서 하루 2회 레윈존테 관측을 실시하고 있으며, 33

개소에서 매 10분마다 연직바람관측장비 관측도 수행하고 있다.

해양기상관측의 경우 6개소에서 레이더식 파랑관측을 하고 있고, 71개소에서 검조소 조위 관측을 하고 있으며, 2척의 기상관측선을 운영하고 있다. 원격관측의 경우 30개소에 낙뢰관측소(VHF + LF 방식)가 있으며, 34개소의 C-밴드 기상레이더로 구성된 관측망([그림 2-70] 참조)을 운영하고 있다.



[그림 2-70] 일본의 기상레이더 분포도

위성의 경우 일본은 2015년 하반기부터 세계 최초로 16개 채널을 가지는 정지기상위성을 성공적으로 운영하고 있다. 이 자료의 분배는 고속 인터넷망으로 계획되었으나, 개도국의 사정을 고려하여 이중 중전의 위성 관측 자료와 비슷한 5개 채널을 통신위성을 통하여 JMA CAST로 방송하고 있다.

이를 요약하면 다음과 같다.

- 지상기상관측망: 지상고정형 331개소 (AMeDAS 1,471개소)
- 고층관측망: 지상고정형 라디오존데 24개소, 연직바람관측장비 1개소
- 해양기상관측망: 해양파랑관측지점 6개소, 레이더식 파랑계( $\mu$  wave), 검조소 71개소(부표식, 초음파식, 전파식), 기상관측선 2척(계풍환 1,483톤, 능풍환 1,380톤)
- 기상레이더: 34개소(C-밴드 위주)
- 낙뢰 관측: 30개소
- 위성: 정지기상위성 2대

#### 4. 호주

호주는 국토면적이 약 769만  $\text{km}^2$ 로서 대륙의 대부분이 사막과 산악으로 되어 있는 관계로 주로 해안가를 중심으로 관측망이 구성되어 있는 것이 특징이다. 우리나라와 마찬가지로 기상관측표준화를 도입하고 있는 국가 중의 하나로, 모든 관측관련 기술 사항들을 호주기상청 표준규격으로 제정하여 사용하고 있다. 관측소간 일관성 보장을 위하여 관측소 선정 및 측기설치에 관한 물리적 표준을 규정하고 있다.

지상기상관측의 경우 지상고정형관측소가 839개소로 약 1개소/9,200 $\text{km}^2$ 의 해상도를 가지고 있다. 또한 강수량 관측소가 5,981개소가 있어서 이를 전부 합치면 약 1개소/1,135 $\text{km}^2$ 의 해상도를 가지고 있는 셈이다.

고층관측의 경우 35개소에서 라디오존데 관측을 하고 있으며, 이중 15개소는 자동비양관측시스템을 채택하고 있으며, 20개소는 반자동관측소로 운영 중이다.

해양기상관측의 경우 42개 관측소에서 해양 관측을 실시하고 있으며, 이 중 26개소는 기후 관측에, 6개소는 쓰나미 관측에 특화되어 있다. 선박 역시 항공기와 마찬가지로 자체 보유 관측선은 없으며, 민간과 군용선에 관측기기를 탑재하여 관측자료를 수신하고 있다. 원격기상관측망의 경우 69개소에 레이더가 설치되어 있으며, 이 중 35개소는 기상감시 전용이고, 26개소는 기상관측, 바람관측 겸용(Dual Role), 4개는 바람탐지(Wind Find), 2개는 연구용, 2개는 테스트용으로 활용되고 있다.



[그림 2-71] 호주의 기상레이더 분포도

이를 요약하면 다음과 같다.

- 지상기상관측망: 지상고정형 839개소, 유인 56개소, 무인 AWS 605개소
- 고층관측망: 지상고정형 라디오존데 35개소, 연직바람관측장비 13개소(BLP 9, STP 4)

- 해양기상관측망: 기상관측선 42척
- 기상레이더: 68개소
- 낙뢰 관측: 30개소
- 위성: 기상위성수신소 4곳(벨버른, 퍼스, 다윈, 데이비스)

## 5. 영국

영국은 유럽연합에서 탈퇴의 수순을 밟고 있어서 따로 관측망에 대한 언급이 필요할 것으로 판단되어 별도로 설명하고자 한다. 영국은 면적 약 24만km<sup>2</sup>의 해양성기후를 가진 섬나라로 육지보다는 해양에 대한 관측에 많은 투자를 한 나라로 볼 수 있다.

지상기상관측망의 경우 약 218개소의 지상고정형관측망으로 구성된다. 이는 약 1개소/900km<sup>2</sup> 해상도에 해당한다.

고층기상관측망의 경우 지상고정형 레윈존데가 20개소, 연직바람관측장비 2개 지점, 지상기반 GPS의 경우 100개 지점에서 관측하고 있다. LCBR(라이더 운고측정장비)의 경우 30개 지점이 운영되고 있다.

해양에서의 관측자료는 다음과 같이 5가지 방식으로 자료를 획득하고 있다. 첫째, 자동해양기상관측(계류형 부이, 등대선, 연안관측망), 둘째, 자원관측선박(원양무역선), 셋째, 선박탐재형 자동기상관측장비, 넷째 부유형 부이, 다섯째, 아르고 플로트 관측 등이다. 계류형 부이는 총 11대가 있으며, 등대선이나 섬에 7대의 해양관측시스템이 운영되고 있다. 계류형 부이 11대 중, 연안(3대)과 British Isles(6대)에 설치되어 있고, Biscay 만에는 프랑스와 공동 운영하는 것(2대)도 있다.

기상레이더는 총 19개소가 있으며, 영국은 자체 기상위성은 보유하고 있지 않다.



[그림 2-72] 영국의 기상레이더 분포도

이를 요약하면 다음과 같다.

- 지상기상관측망: 지상고정형 218개소
- 고층기상관측망: 지상고정형 라디오존데 20개소, 연직바람관측장비 2개소
- 해양기상관측망: 계류형 부이 11대, 해양기상관측시스템 7대(등대선 또는 섬)
- 기상레이더: 19개소

## 6. 유럽연합

유럽연합(EU)은 유럽의 19개국(오스트리아, 벨기에, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아이슬란드, 아일랜드, 이태리, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국)으로 이루어져 있다. 이들 기상청이 모여 협동으로 기상관측망, 자료의 공동이용, 자료처리를 수행하고 있다.

유럽연합 회원국이 운영하는 자동기상관측은 목적상 종관기상관측용, 항공용, 기후관측용, 기타 목적의 4가지로 분류하고, 이에 따른 기상관측요소, 요소별 관측센서의 수, 관측범위 및 정확도 등에서 약간의 차이를 두고 있다. 또한 목적별 분류체계 따라 필수관측, 강한 권고관측, 권고관측 및 선택관측의 4가지의 관측사항으로 나누고 있으며, 각 관측사항에 따라 센서의 수를 정하여 이를 따르도록 규약을 통해 권장하고 있다.

유럽연합 회원국내의 총 자동기상관측장비의 수는 대략 3,500여대 정도인 것으로 파악되고 있으며, 이 중 순수 종관지상기상관측용이 1,350여대, 기후관측용 540여대이며, 기타의 목적으로 1,300여대가 운영되고 있다. 그 외는 대개 종관관측, 기후관측, 항공관측 등 복합적으로 이용하기 위해 설치되어 있다.

유럽연합이라해도 센서의 종류는 국가마다 약간의 차이를 보이고 있으며, 자료의 전송방법에서도 국가들마다 다소 차이를 보이고 있으나, 유럽연합 규약을 통해 통일성을 유지하도록 노력하고 있다. 또한, 중단 없는 신뢰성 높은 관측을 위하여 2~3개의 복수 센서의 설치를 권고하고 있는데, 우리나라도 이러한 점을 고려해서 중장기 계획을 세워야 할 것이다.

유럽연합의 관측망을 정리하면 [표 2-48]과 같다.

[표 2-48] 유럽연합 관측망 현황(WMO, 2018년 6월 현재)

국가	지상	고층	기상레이더	WP
오스트리아	197	4	5	1
벨기에	39	4	3	0
덴마크	105	3	4	0
핀란드	221	3	10	0
프랑스	242	14	27	2
독일	289	15	26	4
그리스	68	3	4	0
헝가리	40	2	3	2
아이슬란드	81	1	4	0
아일랜드	26	1	2	0
이태리	227	9	23	0
룩셈부르크	5	0	0	0
네덜란드	82	2	2	0
노르웨이	311	8	11	0
포르투갈	67	4	2	0
스페인	178	8	15	0
스웨덴	272	4	12	0
스위스	222	1	5	3
영국	218	20	19	2
총계	2,890	106	177	14

## 7. 중국

중국은 2018년대 기준으로 기상선진국의 대열에 넣기에는 아직 시기상조이지만, 최근 10년간 기상 분야에 장족의 발전을 이루었기에 이 보고서에 특별히 언급하고자 한다.

중국은 육지의 크기로 보나, 우리나라에 대한 상대적 위치로 보나, 기후변화 연구 측면에서 보나, 극동 아시아 국가들에 미치는 영향이 크기 때문에 기상관측 자료는 아주 중요하다. 더구나 수치모델의 초기화 자료로 볼 때 우리나라 예보에 결정적인 영향을 미친다고 보아도 무방할 것이다.

중국의 관측망 현황은 2018년 9월 기준으로 중국기상정보센터에 자료가 수신되어 관리되고 있는 것을 기준으로 한다.

지상기상관측망의 경우 대륙의 크기에 걸맞게 지상고정형관측소가 436개소로서, 이중 기후관측소급으로는 194개소이다. AWS는 2,423개소에서 지상기상관측을 수행하고 있다. 더구나 전국 자치구에서 운영하는 AWS가 무려 45,926개소에 이른다.

고층기상관측망의 경우 중국기상청 산하 국가기상정보센터로 자료가 수신되는 곳은 89개소이고, 연직바람관측장비의 경우 전국 58대를 운영하고 있다. 특히 831개소에서 GPS 가강수량 관측을 하고 있다.

해양기상관측의 경우 74개소에서 해양기상관측을 하고 있고, 300개 검조소에서 조위관측을 하고 있다. 먼 바다 관측을 위하여 22개 기상관측선박을 운영하고 있고, 200 여척의 자원기상관측 선박(VOS)과 3개소의 부이관측소를 운영하고 있다.

원격기상관측의 경우 334개소의 낙뢰관측소, 295개소의 기상레이더 관측망을 운영하고 있다. 기상레이더의 경우 중국기상국은 물론 민간항공국에서 운영 중에 있으며, 1km 지상 기준의 관측 범위를 가진 것이 22%에 달한다. 중국은 다중 기능의 기상레이더가 운영중인데, C-band와 X-band 위상배열 레이더를 포함하고 있다. 앞으로 2020년까지 101대의 기상레이더가 추가로 설치하는 계획이 마련되어 있다. 특히 현재의 레이더 관측망의 성능을 개선하는 프로젝트가 가동되고 있는데, 세가지 기능 개선에 초점을 맞추고 있다. 즉, 첫째 입체관측에서 stream transferring으로의 관측 모델의 변화, 둘째 X-band 위상배열, 레이더 연직바람관측장비, Ka- 및 W-band 그룹, 에어러솔 레이더에 대한 응용 기술 개발, 셋째 레이더 자료의 QC 및 위성 데이터와의 조합(레이더 모자이크 V2.0)에 관한 개선 등이다.

기상위성관측의 경우는 2016년 12월 11일에 발사된 FY-4A, 2016년 12월 22에 발사된 TANSAT, 2017년 9월 1일 발사된 FY-3D, 2014년 12월 31일 발사된 FY-2G, 2002년 5월 15일 발사된 FY-1D 등 총 5개의 기상위성을 운영하고 있다.

이를 요약하면 다음과 같다.

- 지상기상관측망: 지상고정형 436개소, 무인 AWS 2,423개소
- 고층관측망: 지상고정형 고층관측소 89개소, 연직바람관측장비 58개소
- 해양기상관측망: 기상관측선 22척
- 기상레이더: 295개소(중국기상국 및 민간항공국 포함)
- 낙뢰 관측: 334개소
- 위성: 기상위성 5기(FY-4A, TANSAT, FY-3D, FY-2G, FY-1D)

지금까지 미국을 비롯한 주요 기상선진국들의 기상관측망에 대해서 언급하였다. 이를 종합하여 요약·정리하면 다음 [표 2-49]와 같다. 여기서 장비 숫자는 각 나라의 홈페이지에 언급된 것을 기준으로 하되 그 나라의 국내용으로만 사용되는 경우는 제외하였다.

[표 2-49] 주요 선진국의 관측망 현황(WMO, 2018년 6월 현재)

국가	지상	고층	부이(고정, 표류)	기상레이더	연직바람 관측장비
미국	882	107	2,759	215	76
일본	331	24	178	34	33
호주	839	35	102	68	13
영국	218	20	488	19	6
중국	436	91	5	34	58
한국	112	9	32	11	9

## 제4절 국내외 기상관측 수준 비교분석 및 개선 방향

### 1. 기술수준 비교 분석

우리나라의 기상관측 수준을 3절에 전술된 기상선진국(미국, 일본, 호주, 영국, 유럽연합)과 비교하기 위해서는 비교상의 객관성을 확보하기 위하여 일단 WMO에 등록된 기상관서 관측소를 기준으로 하고자 한다.

지상관측의 경우, 우리나라는 96개소의 종관기상관측망(1개소/1,070km<sup>2</sup>)을 운영하고 있는데, 이는 1,082개소를 가진 미국(1개소/9,090km<sup>2</sup>)에 비해서는 훨씬 조밀하며, 331개소를 운영 중인 일본(1개소/1,150km<sup>2</sup>)의 관측망과는 거의 비슷한 수준으로 보여진다. 더구나 494개소의 AWS관측망이 운영되고 있어서 이를 합하면 약 1개소/170km<sup>2</sup> 정도의 평균해상도를 가지며, 자료수집 빈도면에서 보면 우리나라는 매1분 단위인 반면에 미국은 10분 간격 등으로 기상선진국에 비해 양호한 편이다.

고층기상관측인 경우 우리나라는 6개소의 관측소를 운영 중인데, 이는 1개소당 16,700km<sup>2</sup>의 밀도에 해당한다. 이는 일본 24개소(1개소/16,000km<sup>2</sup>)와 비슷한 수준이며, 영국 20개소(1개소/12,200km<sup>2</sup>)에 비해서는 그 밀도가 다소 떨어진다. 반면에 미국의 107개소(1개소/91,900km<sup>2</sup>), 호주의 35개소(1개소/221,000km<sup>2</sup>), 중국의 91개소(1개소/105,000km<sup>2</sup>)에 비해 설치 밀도는 훨씬 조밀하다는 것을 알 수 있다.

기상레이더의 경우를 살펴보면, 우리나라는 기상청이 연구와 특수 목적의 레이더를 제외한 현업용 레이더가 총 11대(1개소/9,100km<sup>2</sup>)로 일본 34개소(1개소/11,000km<sup>2</sup>), 영국 19개소(1개소/12,800km<sup>2</sup>)와 설치 밀도가 비슷하다. 미국은 총 215개소(1개소/45,700km<sup>2</sup>), 호주 68개소(1개소/114,000km<sup>2</sup>)에 비해 훨씬 조밀한 편이다. 중국은 295개소(1개소/33,000km<sup>2</sup>)로 알려져 있지만, 중국기상국과 민간항공국을 통틀어 운영하고 있고, 최근 계속해서 증설하거나 최신 레이더로 교체하고 있어서 우리나라나 다른 기상선진국과의 설치밀도를 단순하게 비교한다는 것은 다소 무리이다.

해양기상관측의 경우에는 미국 등 다른 나라와 비교하기가 다소 난해하다. 설치 목적과 설치 방식이 서로 상이하고 특히 관측 선박이 기상관측용 선박인지 혹은 연구용 해양선박인지 구분하기가 어렵고 취항 위치도 목적별로 자국의 영해를 벗어나는 경우도 많아서 단순 비교하기는 어렵다. 다만 기상해양부이를 기준으로 볼 때 우리나라는 먼바다에 대한 추가적인 설치가 요구된다고 할 수 있다.

이상의 분석을 요약 정리하면 [표 2-50]과 같다.



[표 2-50] 기상선진국과 우리나라의 기상관측망 비교(해당국 홈페이지, 2018년 6월 현재)

국가	지상(종관)		고층(레디오존데)		기상레이더	
	지점수	밀도(km <sup>2</sup> /1개소)	지점수	밀도(km <sup>2</sup> /1개소)	지점수	밀도(km <sup>2</sup> /1개소)
한국	96	1,040	6	16,700	11	9,100
미국	1,082	9,090	107	91,900	215	45,700
일본	331	1,150	24	16,000	34	11,000
호주	839	9,200	35	221,000	68	114,000
영국	218	1,100	20	12,200	18	12,800
중국	436	22,000	91	105,000	34	282,000
EU	2,890	1,330	106	36,400	177	21,800

## 2. 개선 방향

기상청 기상관측망은 대부분 WMO 권고사항을 많은 부문에서 능가하지만, 우리나라의 위험기상 발생 상황과 방재기상업무 측면을 고려해 볼 때 개선해야 할 점들이 다소 있다.

지상기상관측망의 경우 평균해상도(1개소/1,070km<sup>2</sup>)와 데이터 수집간격(1분) 면에서 볼 때 WMO의 육상관측소 권고수준인 1개소/2,025km<sup>2</sup> 보다 조밀하다. 목측 관측 요소를 제외하고는 대부분 기기에 의한 자동화가 이루어져 있으나, 자료의 신뢰도가 확보된 목측 요소의 자동화가 요구되고 있다. 그러나 동네예보를 위한 해상도(1개소/25km<sup>2</sup>)를 충족하지 못하고 있어 자동기상관측망의 확충과 기상관측표준화를 통한 유관기관 관측자료의 공동 활용 확대(또는 관측소 재배치)가 필요하고, 목측관측 자동화를 위한 관측센서 확대 및 신뢰성 확보를 위해 지속적인 보완이 필요하다.

고층기상관측의 경우 우리나라 육지 면적에 대하여 레윈존데 관측망의 평균해상도는 1개소/16,700km<sup>2</sup>로 WMO 권고수준보다 조밀한 편이다. 그러나 우리나라의 해양면적까지를 확장하여 고려하면 기상청 레윈존데 관측망(6개소)의 경우 1개소/75,000km<sup>2</sup>, 공군 2개소를 포함하면 1개소/56,300km<sup>2</sup>로 겨우 WMO의 권장 해상도인 1개소/62,500km<sup>2</sup>에 접근하는 수준이다.

해양기상관측망은 해양기상부이 등 8종, 123개소(표류부이와 VOS 제외)에 해양기상관측장비가 설치되어 앞바다 및 연안 관측망은 충족되었으나 먼 바다 쪽은 좀 더 보완이 필요하다. 따라서 먼 바다에서의 부이 등 해양관측망 확충이 필요하지만 지형 여건상 설치에 어려움이 있으므로 선박관측 및 원격관측을 더 늘리는 방법을 고려해 볼 만하다. 선박관측 보충은 국립해양조사원이 보유하고 있는 8척의 해양조사선, 한국해양과학기술원이 보유하고 있는 4척의 해양연구선박, 우리나라와 주변국 간의

정기여객선, 컨테이너선 등 정기화물 선박 등을 추가로 활용할 필요가 있다. 또한, 서해상의 위험기상 관측과 태풍진로 정확도 향상을 위한 관측망 확충(해양기상 부이 건설, 기상관측선 추가 도입 등)이 요구된다.

기상레이더의 경우, 레이더 설치 밀도는 1개소/9,100km<sup>2</sup>로 일본(1개소/11,000km<sup>2</sup>) 및 영국(1개소/12,800km<sup>2</sup>)과 비슷한 수준으로, 미국(1개소/45,700km<sup>2</sup>)에 비해서 조밀한 편이고, 현재 계속 추가 설치 중인 중국(1개소/282,000km<sup>2</sup>)에 비해서는 그 밀도가 매우 높다고 할 수 있다. 이렇듯 S-밴드의 이중편파 레이더로 비교적 조밀하게 광범위한 관측망이 구축되었으나, 해상에 대한 관측범위는 협소한 편이어서 서해 먼 바다(적령비열도 등), 동해 먼바다(울릉도) 및 남해 먼바다(과량도)를 감시할 수 있는 기상레이더의 추가 설치가 필요하다. 또한 관측사각지대 해소 및 내륙 지표부근의 강우현상의 감시강화를 위해 X-밴드 도플러 레이더를 보조 레이더로 도입하는 방안도 검토할 필요가 있다. 물론 수치예보 모델 입력자료 및 범부처 공동 활용 증대를 위한 지속적인 품질 고도화와 이중편파 변수를 활용한 한국형 실황예측 모델 개발도 필수적이다.

위성기상관측망의 경우 차세대 정지위성인 천리안위성 2호기(GK-2A)가 2018년 12월 5일 성공적으로 발사되어 고해상도 16채널로 채널수 3배, 해상도 2배, 시간해상도 3배 이상, 산출물도 3배(기상 52종, 우주 8종) 이상 늘어나는 등 탐지능력과 성능이 대폭 향상될 것으로 기대된다. 다만 차세대 해양환경위성(2B) 등과의 통합적 감시 및 분석기술과 차세대 위성자료를 이용한 다양한(영향예보, 산림, 농업, 에너지 등) 활용기술 개발이 필요하다.

결론적으로 기상청의 기상관측망과 기상업무 관계 측면에서 볼 때 앞으로 보강 및 보충되어야 할 내용은 다음 [표 2-51]과 같이 세 가지 측면에서 요약·정리가 될 수 있다.

[표 2-51] 기상청 기상관측망(자료)과 기상업무 관계 분석

구분	관계 분석
방재적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상청 관측자료 만으로는 평균 해상도가 평균 13km로서 위험기상현상을 감시하기 위해서는 해상도 증가 필요</li> <li>○ 해상도를 높이기 위하여 자동기상관측망 확충, 유관기관 관측자료의 공동 활용 확대, 목측자동화 확대 및 신뢰성 확보 필요</li> <li>○ 내륙의 인구밀도가 높은 지역, 먼 바다의 선도관측망 보강 필요</li> <li>○ 특보 측면에서 안개, 대설, 풍랑에 대한 관측망 보강 필요</li> </ul>
수치예보적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ AWS 관측자료의 해상도는 기상청의 국지예보모델 격자간격(1.5km)의 5~9배인 약 8~13km 수준 임.</li> <li>○ 레윈존데와 연직바람관측장비 고층관측 자료가 수치예보에 미치는 정도를 감안 할 때 고층관측망 확충, 공군 관측자료 공동활용 확대</li> </ul>

	<p>※ 관측자료의 수치예보 기여도 분석 결과(2016년, 기상청)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 관측종별 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동아시아 영역/전구영역 비교 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고층자료 기여도 증가/위성 기여도 감소</li> <li>- COMS, MTSAT 지점/자료수/기여도 증가, MSG/DROP 자료 없음</li> </ul> </li> <li>○ 관측종별 기여도: 위성(48%) &gt; 고층(38%) &gt; 지상자료(14%)</li> <li>○ 관측자료당 기여도 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자료수는 극궤도 위성 81% 차지</li> <li>- 기여도는 보거스가 매우 높음</li> </ul> </li> <li>○ 관측지점당 기여도: 지면/해수면 자료의 지점수 상대적 증가</li> </ul> </li> <li>▶ 레원존대 관측자료(TEMP): 전체 고도에 대해 전 지점 긍정 영향, 특히 오산과 광주 의 기여도가 높음</li> <li>▶ 연직바람관측장비 관측자료(WPF): 전체 고도에 대해 전 지점 부정 영향, 특히, 군산 지점의 부정적 기여도 가장 큼</li> </ul> <p>○ 기상관측자료의 수치예보모델에 의한 민감도 및 이용율의 지속적인 평가 필요</p>
기후적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전국 11개소의 RBCN(Regional Basic Climatological Networks) 관측소는 오래된 관측 소로서 관측자료에 자연적인 기후변화와 인위적인 기후변화 등 2가지 요인에 영향 을 받을 수 있음</li> <li>○ 환경변화가 적은 평야, 산간오지, 도서 지역의 관측소를 보조기후 관측소로 지정하 여 인위적인 영향이 적은 기후자료 생산 필요</li> </ul>

첫째, 방재적인 측면에서 볼 때 기상청 실측(In-Situ) 자료만으로는 해상도가 평균 13km로서 위험기상현상 감시를 위해서는 해상도가 낮다. 해상도 증가를 위해서는 실측(In-Situ)과 원격(Remote Sensing)관측자료의 융합 이용, 혹은 관측기관 간 관측자료 공동 활용이 필요하다. 한편 내륙의 인구밀도 높은 지역, 먼바다의 선도관측망도 보강이 필요하다. 위험기상을 다루는 기상특보 측면에서 요구되는 기상관측망의 해상도를 살펴보면 강풍, 호우, 건조, 태풍, 폭염, 한파, 황사 등의 경우는 비교적 만족스러우나 안개, 대설, 풍랑의 경우는 시정, 적설, 먼바다 해상풍 등에 관한 관측망 보강이 필요하다.

둘째, 수치예보적인 측면에서 볼 때, AWS 관측자료의 해상도는 기상청의 국지에 보모델 격자간격(1.5km)에 5~9배인 약 8~13km 로 훨씬 못 미치는 수준이다. 또한 ASOS, AWS 자료의 품질 평가 및 수치예보 이용률의 평가가 필요하다. 따라서 기상 관측자료의 수치예보모델에 의한 민감도 평가를 실시하여 민감도가 높은 기상시스템은 증설하고, 민감도가 낮은 시스템은 어느 정도 조정할 필요가 있다.

셋째, 기후적인 측면에서 볼 때, WMO에 등록된 우리나라 11개소의 기후관측소(RBCN)는 매우 오래된 관측소이며, 주변의 도시화 등에 의한 관측 자료에 자연적·인위적인 기후변화의 영향이 반영되어 있을 수 있다. 따라서 환경변화가 적은 평야, 산간오지, 도서 지역의 관측소를 보조기후관측소로 지정하여 인위적인 영향이 적은 기후자료를 생산할 필요가 있다.

### 제 3 장 기상관측 자료와 예보업무 관계 분석

#### 제1절 예보업무에 활용되는 기상관측자료

##### 1. 기상예보에 활용되는 기상관측 자료

기상관측의 분류는 일반적으로 관측 대상에 따른 분류, 관측장소에 따른 분류, 관측방법에 의한 분류, 관측 주체에 따른 분류 등 4가지 방법으로 분류하고 있으며 그 세부내용은 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 기상관측의 분류(교학사, 2000, 대기관측법)

분류방법	구 분	세 부 내 용
관측대상	일반대기관측	기온, 기압, 바람 등 일반 기상요소 관측
	특수대기관측	오존, 자외선, 미세먼지, 전자파 등 특수요소 관측
관측장소	지상대기관측	통보관측, 항공/농업/수문대기관측, 기후관측, 교육관측
	고층대기관측	지상 60km까지 정기적 관측, 그 외는 한계 없음
	해상대기관측	육상 일반 관측요소 외에 파고, SST, 해상상태 등 관측
관측방법	측기관측	지시형측기, 자기기, 격측관측, 원격탐사, 로봇관측 등
	목측관측	측기관측이 어려운 기상현상 등 정성적 관측
관측주체	실 측	사람이 직접관측
	자기관측	자기기록으로 남겨서 시간 지난 후 해석
	자동대기관측	정해진 시간에 자동관측하고 유무선으로 자료 수집

기상청은 국가 기상업무의 건전한 발전을 도모함으로써 기상재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 고유 임무를 목적으로 기상관측망을 구축하여 기상서비스를 제공하고 있으며, 유관기관에서는 각 기관별 목적과 필요에 따라 기상관측시설을 운영하고 있다.

현재 기상청의 기상관측 구분 및 기상관측방법별 기상관측 장비는 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 기상청 기상관측 및 장비 현황(기상청, 2018.6.30. 현재)

구분	관측장비(대)
지상기상관측망	자동기상관측장비 : ASOS(96), AWS(494), 운고운량계(92), 시정현천계(291)
	안개관측장비(76)
	적설관측장비 : CCTV(170), 초음파적설계(60), 레이저식적설계(122)
	황사관측장비(27 / 연구용 2대 제외)
	농업관측장비 : 농업용AWS(11 / 7대는 중복)
고층기상관측망	라디오(레원)존데(6), 연직바람관측장비(9), 라디오미터(9), 항공기관측(21)
해양기상관측망	앞바다 : 등표기상관측장비(9), 파랑계(1), 파고부이(59)
	연안 : 연안방재관측장비(18), 항만기상관측장비(4)
	먼바다 : 해상기상부이(17) 원해 : 선박기상관측장비(14), 기상관측선(1)
황사관측망	국내 : PM10(27), 한-중관측망(15), 황사감시탑
레이더기상관측망	기상청(S밴드 : 11), 기상청-국토부-공군 ROC운영
낙뢰관측망	낙뢰관측시스템(21)
위성기상관측망	정지기상위성 : COMS, MTSAT
	극궤도위성
항공기상관측망	AMOS(8), TDWR(1), LLWAS(3), 연직바람관측장비(2), 안개관측장비(1)

기상청에서 기상관측을 실시하여 기상예보 및 특보 등 기상업무에 활용하는 지상 기상관측 요소와 각 요소별 관측방법의 분류는 [표 3-3]과 같다.

[표 3-3] 지상기상 관측요소별 분류 및 관측방법

순번	요소분류			관측방법	비고
	1차	2차	3차		
1	기압	현 지	-	포르틴형수은, 아네로이드형, 자기, 원통진동식, 실리콘진동식, 정정용량식	
		해 면	-	계산	
2	온도	지 온	지 중	곡관지중(5/10/20/30cm), 철관지중(0.5/1/3/5m)	
			지 면	봉상지면	
		기 온	초 상	유리제최저	
			최 저	알코올최저	
	현 재	유리제, 백금저항, 서미스터, 자기			
	최 고	수은최고			
3	습도	현 재	-	건습구, 통풍건습계, 정전용량형, 자외선, 모발, 염화리튬 노점계	
		최 저	-	계산	
4	바람	풍 향	-	회살형, 방향타형, 자기, 바람자루	
		풍 속	-	회전형(풍차, 풍배), 풍압형, 가열선 냉각형, 초음파형	
5	강수	강 우	량	표준형, 전도형, 광학식, 자기형(전도,저수), 원통형설량계, 자기설량계	
			강 도	계산	
		강 설	량	적설척, 적설계(초음파, 광전, 광학)	
		강 도	계산		
6	구름	량	-	목측, 기상위성	
		운형(종)	-	목측, 기상위성	
		운 고	-	측운기구, 운조등/경사계, 목측	
		운향/속	-	빗살형 측운기, 목측	
7	일 조	량(시간)	-	캠벨-스토크스, 조르단, 회전식, 태양전자식	
8	일 사	량(강도)	-	은반, 로비치, 애플리, 직달, 전천, 산란 등	
9	시 정	최저시정	-	시정계(전방/후방산란식), 목측(시정도표)	
10	증발량	소 형	-	소형증발계, 자기증발계	
		대 형	-	대형증발계	
11	현재 천기	물현상	비, 눈, 우박, 동우, 안개, 박무, 눈보라, 이슬, 서리(발), 무(우)빙, 적설, 결빙, 용권		
		빛현상	무리, 광환, 채운, 무지개	목측	
		먼지현상	연무, 황사, 연기, 강회, 풍진, 진선풍		
		전기현상	뇌전, 번개, 천둥		

현재 기상청에서 기상예보에 활용되는 기상관측 자료는 [그림 3-1]에서와 같이 지상기상관측, 고층기상관측, 해양기상관측, 기상위성관측, 기상레이더관측, 유인(목측)관측 등 6개 관측 분야로 대분류 된다.



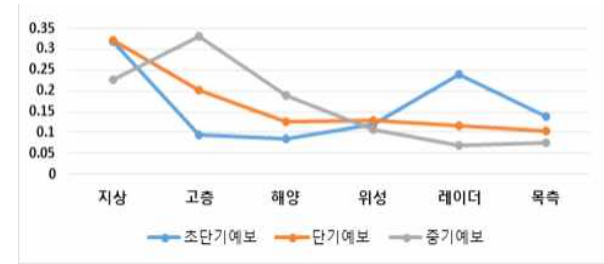
[그림 3-1] 기상예보에 활용되는 기상관측 분야

이들 6개 관측 분야 각 관측자료는 상황과악 및 감시, 초단기예보, 단기예보, 중기예보, 장기예보 및 기후전망, 기상특보, 기상예·특보 사후 분석 및 평가 등에 활용되고 있다. 각종 예보 및 특보에 활용되는 기상관측 분야 및 관측요소와 활용되는 관측자료별 가중치는 다르다. 6개 관측분야별 세부관측 내용 및 관측방법은 [표 3-4]과 같다.

[표 3-4] 관측분야별 세부관측 내용 및 방법

관측분야	세부관측 내용	관측 방법 및 장비(대수)
지상기상관측	자동기상관측	ASOS(96), AWS(494), 운고운량계(92), 일조(96), 일사(54)
	안개관측	안개관측(76), 시정현천계(291)
	적설관측	CCTV(170), 초음파식(60), 레이저식(122)
고층기상관측	항사/농업 관측	항사관측(27), 농업용AWS(11)
	라디오(레윈)존데	포항, 태풍센터, 북강릉, 백령도, 흑산도, 창원 등 6소
	연직바람관측장비	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
해양기상관측	라디오미터	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
	항공기관측	암다 21대
	앞바다 관측	등표기상관측(9), 파랑계(1), 파고부이(59)
해양기상관측	먼바다 관측	해상기상부이(17)
	연안 관측	연안방재관측(18), 항만기상관측(4)
	연해 관측	선박기상관측(14), 기상관측선(1)
기상위성관측	COMS	천리안위성/ 천리안위성 2A
	정지기상위성	Himawari-8, GOES, FY-2E
	극궤도위성	NOAA, Aqua/Terra, METOP, DMSP, CORIOLIS
기상레이더관측	실시간영상관측	기상청 13대(S밴드 이중편파11대)
	레이더강수량예측	MAPLE
	낙뢰관측	낙뢰관측 21개소
목측(유인)관측	국외/유관기관관측	환경부(한강홍수통제소) 7대, 국방부(공군) 9대, 중국, 일본
	강수/적설관측	강수(적설)량, 시중시간, 강수경향 등
	하늘상태관측	운량, 운형, 운종, 운향 등
	시정관측	안개유무, 최소시정 등
기후/계절관측	기후/계절관측	개화, 단풍 등 계절관측, 기후변화 관측

6개 기상관측 분야별 예보에 기여도 또는 활용도에 대한 평가는 예보관의 역량 및 개별성향 등에 따라 다르다. 따라서 기상관측분야별 자료가 예보에 기여도를 조사하기 위해 제4장에서와 같이 예보관 및 기상업무를 수행하는 사람을 대상으로 AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층분석과정)기법으로 설문조사를 실시한 결과는 [그림 3-2]와 같다.



[그림 3-2] 관측분야별 예보에 기여도

설문조사 결과 지상기상관측 자료는 초단기, 단기예보에 가장 높게 기여하고, 중기예보에는 고층기상관측자료가 가장 높게 기여한다. 초단기예보에서는 지상관측과 레이더관측 자료가 높게 기여하고, 단기예보에는 지상관측과 고층관측이 기여도가 크며, 중기예보에는 고층-지상-해양기상관측 순서로 기여도가 높다. 지상기상관측은 전체 예보분야에서 기여도가 가장 높고 예보별 기여도 차가 적으나, 위성기상관측은 전체 예보분야에서 기여도도 낮고 변화도 적다. 목측관측은 전체 예보에 기여도와 기여도 변화는 적으나 초단기예보에서는 지상-레이더-목측 순위로 평가되어 목측관측의 필요성이 있는 것으로 평가되었다. 또한 고층 및 해양관측은 단기와 중기예보에 기여도가 크고, 레이더 관측자료는 실황감시, 초단기예보 및 특보상황 시에 기여도가 큰 것으로 평가되었다.

## 2. 기상실황감시 및 방재기상

### (1) 기상실황감시

기상관측은 기상업무에 시작이자 기본이다. 따라서 기상예보에서 기상관측과 관측 자료는 절대적이고 필요충분 요소이며 기상관측의 종류와 횟수(빈도), 관측위치, 관측 자료의 정확성과 연속성 등은 예보의 정확도를 결정하는 기본요소이다. 특히 기상실

황을 연속적으로 상시 감시하기 위해서는 기상관측망이 잘 갖추어져 있어야 한다.

전국에 구축되어 있는 기상관측망을 목적별로 구분하면 [표 3-5]와 같이 기상기후, 방재기상, 해양기상, 항공기상 등 10개 목적으로 분류되며, 전국 4,159지점에서 관측되어 기상실황감시, 방재기상 등 목적별로 활용되고 있다.

[표 3-5] 관측목적별 기상관측망 운영 현황(기상청, 2018.6.30.현재)

목적	관측기관	관측지점 수	합계
기상기후	기상청	96	96
방재기상	지방자치단체	1,975	2,612
	국립공원관리공단	143	
해양기상	기상청	144	325
	해양수산부	38	
	국립해양조사원	98	
	한국해양과학기술원	3	
	서울대학교	1	
항공기상	기상청	13	18
	공군	5	
	해군	34	
농업기상	기상청	11	214
	농촌진흥청	203	
	수자원공사	184	
수문기상	수자원공사	184	184
산악기상	산림청	213	213
	국토교통부	17	
교통기상	한국도로공사	12	34
	지자체	5	
	환경부	46	
환경기상	지자체	322	368
	한국전력공사	46	
에너지기상	한국수력원자력 등	6	52

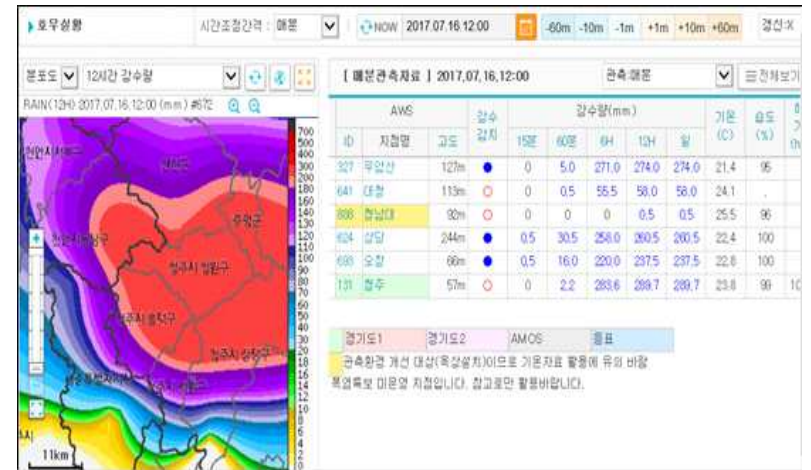
기상예보 및 기후조사를 위한 기상기후관측망 96개소, 기상재해 예방·대응 등의 재난관리를 위한 방재기상관측망 2,612개소, 해양기상감시를 위한 해양기상관측망 325개소, 항공항행 위험기상 탐지를 위한 항공기상관측망 18개소 등이 운영되고 있다.

농업생산성 증대, 농업기반시설 관리를 위한 농업기상관측망 214개소, 물관리, 홍수예보 등을 위한 수문기상관측망 184개소, 산림재해 감시를 위한 산악기상관측망 213개소 등이 운영되고 있다.

도로·철도 등 교통안전을 위한 교통기상관측망 34개소, 대기오염 감시, 분석 및 예경보를 위한 환경기상관측망 368개소, 송전망 관리 등을 위한 에너지기상관측망 52개소 등이 운영되고 있다.

특히 기상기후관측망과 방재기상관측망, 해양기상관측망, 항공기상관측망 등은 기상청의 각종 기상예보, 기상특보 및 실황감시 등에 직간접으로 활용되고 있다는 점에 유의할 필요가 있다.

기상실황 감시는 기상예보업무의 시작이자 가장 기본이 되는 업무로 기상현상의 종류에 따라 기상관측자료의 활용도 다르다. 예를 들면 집중호우 감시는 기상청 및 유관기관의 ASOS나 AWS, 기상레이더, 기상위성 관측자료를 중점 활용하여 감시한다.



[그림 3-3] 충북지방 호우실황 감시 사례(2017. 7. 16.)

## (2) 방재기상

기상청은 기상재해가 우려되는 강풍, 호우, 태풍 등 11개 주요 위험기상 현상에 대해 전국 183개 시·군 단위로 기상특보를 발표하여 국민의 생명과 재산을 보호하고 그 피해를 최소화하기 위해 노력하고 있다.

기상특보의 종류 및 기준은 기상법 제8조 제2항에 규정되어 있는데 그 종류는 태풍, 호우, 한파, 대설 등 10종이며 각 특보마다 주의보와 경보로 구분되며 그 기준은 [표 3-6]과 같다.

[표 3-6] 기상특보 종류 및 기준

종류	주 의 보	경 보
강 풍	육상에서 풍속 14m/s 이상 또는 순간 풍속 20m/s 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 17m/s 이상 또는 순간풍속 25m/s 이상이 예상될 때	육상에서 풍속 21m/s 이상 또는 순간 풍속 26m/s 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 24m/s 이상 또는 순간풍속 30m/s 이상이 예상될 때
풍 랑	해상에서 풍속 14m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3m 이상이 예상될 때	해상에서 풍속 21m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 5m 이상이 예상될 때
호 우	6시간 강우량이 70mm이상 예상되거나 12시간 강우량이 110mm이상 예상될 때	6시간 강우량이 110mm이상 예상되거나 12시간 강우량이 180mm이상 예상될 때
대 설	24시간 신적설이 5cm이상 예상될 때	24시간 신적설이 20cm이상 예상될 때. 다만, 산지는 24시간 신적설이 30cm이상 예상될 때.
건 조	실효습도 35%이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때	실효습도 25% 이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때
폭 풍 해 일	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정
한 파	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때
태 풍	태풍으로 인하여 강풍, 풍랑, 호우, 폭풍 해일 현상 등이 주의보 기준에 도달할 것으로 예상될 때	태풍으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 강풍(또는 풍랑) 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때 ② 총 강우량이 200mm이상 예상될 때 ③ 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때
황 사	'황사주의보'는 '미세먼지경보'로 대체 ('17.1.13 시행) * 미세먼지경보에 대한 정보는 한국환경공단 홈페이지( <a href="http://www.airkorea.or.kr">http://www.airkorea.or.kr</a> )를 참고하시기 바랍니다.	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때
폭 염	일최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때	일최고기온이 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때

기상청의 관측업무발전 기본계획(2016. 8)에 의하면 기상특보 지원을 위한 육상, 해상 고층을 관측하기 위해 총 21종 1,494개 관측장비([표 3-7] 참조)를 운영하고 있으며, 국내의 시·군·구 기상특보 구역별 지상관측망 설치현황은 아래 [표 3-8]과 같다.

[표 3-7] 주요 관측장비 및 관측요소

구역	주요 관측장비	주요 관측요소
육상	ASOS, AWS 등 10종 1,347개	기온, 풍향, 풍속, 기압 등
해상	부이, 등표, 등 8종 123개	풍향, 풍속, 파고 등
고층	레원존데, 라디오미터 등 3종 24개	고도별 기온, 습도, 풍향, 풍속 등

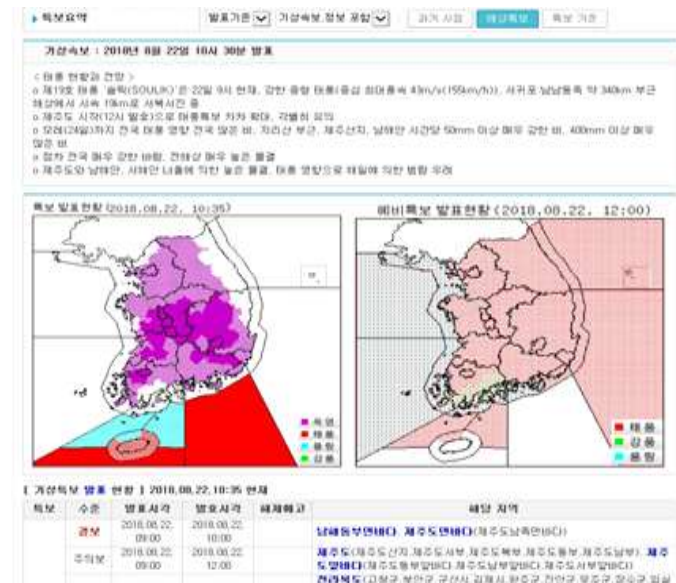
[표 3-8] 지상관측망 설치현황(기상청, 관측업무발전기본계획, 2016.8)

특보	호우	대설	강풍	황사	건조	한파	폭염	안개
관측 요소	강수	적설	바람	PM10	습도	기온	기온	시정
설치 시군	183	153	183	102	176	183	183	172
미설치	0	30	0	81	7	0	0	11

\* PM<sub>10</sub>은 환경부가 설치한 시·군을 포함한 수치(환경부 76 + 기상청 26)

그러나 국내 지상관측망은, 최근 국지적 기상현상이 빈번해 지고 있고 광범위한 시·군 지역과 기상학적 특성이 강한 강원도 산간, 동일한 행정구역 내에 위치한 도서 지역 등의 위험기상을 감시하는 체계로는 여전히 미흡하고, 동일한 기상요소를 관측함에도 불구하고 기상관측장비 기종이나 관측방식이 다양하므로<sup>5)</sup> 장비 유지관리와 자료 활용이 불편한 실정이다.

기상특보를 발표하기 위해 기상관측자료를 검토하고 활용하는 기상관측자료는 특보 종류별로 상이하나, 기상청 및 유관기관의 ASOS 및 AWS 관측자료를 기본으로 기상현상을 감시 및 분석하여 기상속보 등에 활용하고, 기상레이더, 기상위성, 부이 등 특보의 종류에 따라 기상현상 감시 및 분석업무에 활용하는 기상 관측자료도 다양하다.



[그림 3-4] 2018. 8. 22 태풍 속보 및 특보 사례

5) 예로 적설관측에는 초음파, 레이저식, CCTV 등이고, 안개관측에는 시정현천계, 시정계 등이 있다.

**(3) 주요 기상특보별 기상관측자료**

○ 대설특보

대설특보를 수행하기 위한 강설 및 적설 실태감시는 레이저식 및 초음파식 적설 관측장비와 강설 감시를 위한 CCTV를 설치하여 활용하고 있으나, 이들 장비가 설치되지 않은 30개 시·군에는 2017년까지 레이저식 적설계를 우선적으로 설치하여 활용하고 있다. 강설 및 적설 감시를 위한 CCTV가 2010년부터 전국 169개소에서 운영 중이나 화질이나 영상에 의한 오류가 많아 위험기상을 감시하는 보조 관측장비로만 활용하고 있다.

[표 3-9] 특보구역별 적설관측장비 설치현황 및 계획(시·군 개수)

기종	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
미설치 특보구역(누적)	71	66	41				
초음파식 설치구역(누적)	72	72	71	66	66	0	0
레이저식 설치구역	미설치 지역 해소	0	5	25	41	0	0
	초음파 → 레이저		1	5	0	66	0
	설치구역(누적)	55	61	91	132	198	198

○ 황사특보

황사와 미세먼지 판별을 위해 PM<sub>10</sub> 설치지역(29개소)에 황사입자계수기(OPC; Optical Particle Counter)를 병행 설치하여 황사의 공간분포도를 산출·제공하고 있다. 대기 상층의 황사 유입여부를 효과적으로 판별하기 위해 스카이라디오미터를 대권역별 1개소 설치 운영(총 7개소)하고 있다. 황사 유입경로 관측(기상청)과 대도시 대기오염 측정(환경부)을 중심으로 장비가 설치되어 일부 남서부지역 시군에는 관측 장비가 설치되어 있지 않다.

[표 3-10] 황사관측장비(PM<sub>10</sub>) 설치 시·군 현황

	수도권	강원권	충청권	호남권	영남권	제주도	계
특보구역	36	30	28	38	46	5	183
기상청	5	5	3	5	7	1	26
환경부	32	10	12	14	20	3	91
미설치	3	16	15	22	23	2	81

[표 3-11] 특보구역별 황사관측망 운영 계획

기종	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
PM <sub>10</sub>	기상청	27	27	122	142	162	183
	환경부	91	91				
	합계	102	102				
입자계수기(OPC)	7	7	11	15	19	23	27
스카이라디오미터	4	4	4	6	7	7	7

○ 안개특보

안개관측은 안개관측장비(안개특보제 시험운영)와 시정현천계(관측침단화)가 동일한 장비나 사업 추진시기에 따른 사업명이 달라 다르게 붙여진 장비이다. 안개관측장비는 전국적으로 291대를 운영 중이나 안개 다발지역 중심으로 설치 추진되어 11개 시·군은 아직 미설치 지역이다. 안개는 지역성이 강한 기상현상으로 기상청은 안개관측 장비를 자동기상관측장비 설치지점까지 확대하고, 항만, 도로 등 교통안전과 관련한 안개 다발구역에 우선 설치할 계획이다.

아울러 안개 관측장비 설치지점의 통계자료를 기반으로 안개관측장비가 없는 지역의 시정값 추정 알고리즘 개발을 할 필요가 있다.

○ 풍랑특보

현재 해상 특보구역은 78개이며 해상기상관측 장비는 [표 3-12]와 같이 78대이며, 해역별 기상특성을 반영하고 최근 다양해진 어업 및 해상활동에 증가에 따른 수요 증가와 국가적 해양재난에 효과적으로 대처하기 위해 구역별로 파고, 바람 등을 관측할 수 있는 장비를 최소 1대 이상 운영이 필요하다.

[표 3-12] 해상특보구역별 주요 해양기상관측장비 설치현황

	구역수	주요 설치장비(갯수)	비고
먼바다(광역)	8개	부이(17)	
앞바다(국지)	25개	파고부이(8), 등표(5)	앞바다(광역) 7개
특정관리해역	45개	파고부이(51), 등표(4)	
계	78개	85개	

해상광역특보구역 중 먼바다는 위험기상의 탄력적인 대응과 장비 유지관리에 대한 효율성을 위해 표류부이 및 선박기상관측장비를 활용하고 있으며, 해상 안개 감시를 위한 BuoyCam 등 시정관측장비의 추가 설치와 위성관측 자료를 이용한 해양기상관측 요소 산출 기술개발도 필요하다.

[표 3-13] 해상특보구역별 주요 해양기상관측장비 설치계획

구분	구역수	기주요 설치장비	설치계획					총 갯수
			'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	
먼바다 (광역)	8개	부이(16)	-	-	4개 (시정)	4개 (시정)	4개 (시정)	16개 (12개)
앞바다 (국지)	25개	등표(3)	-	-	-	-	-	14개 (5개)
		파고부이(8)	-	3개	3개 (바람)	2개 (바람)	-	
특정관리해역	45개	등표(4)	-	-	-	-	-	48개 (26개)
		파고부이(37)	5개	2개	6개 (바람)	10개 (바람)	10개 (바람)	
계	78개						78개 (43개)	

### 3. 예보생산 및 검증

현재 기상청의 기상예보의 종류 및 내용은 기상법 제8조제1항에 규정되어 있다. 그 종류와 기간은 [표 3-14]과 같으며, 예보종류별 예보요소 현황은 [표 3-15]와 같다.

[표 3-14] 국내 예보종류, 기간, 지역

예보분류	예보기간	예보지역	비고
초단기	~ 6시간 이내	육상, 해상	
단기	6시간 이후~3일 이내	육상, 해상	
중기	3일 이상~10일 이내	육상, 해상	주간(말)예보
장기	11일 이상	1개월 예보	
		3개월 예보	
		기후전망	

[표 3-15] 국내 예보종류 및 예보요소

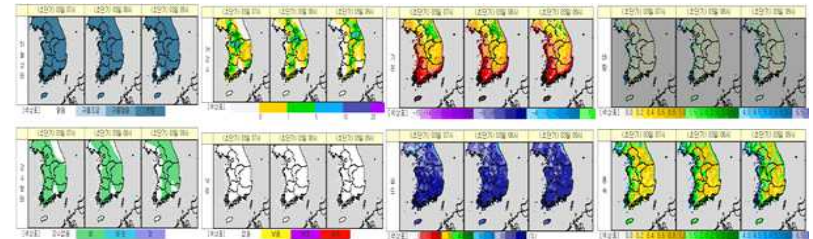
단계	간격	발표주기	시간범위	구역	예보요소
초단기	1시간	1시간	4시간	5km	- 실황요소 : 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 강수형태, 하늘상태, 강수량, 낙뢰 및 그밖에 필요한 사항 - 예보요소 : 하늘상태, 강수형태, 강수량, 낙뢰 및 그 밖에 필요한 사항
단기	3시간	3시간	3일	5km	- 예보요소 : 기온, 최고/최저기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 하늘상태, 강수확률, 강수형태, 강수량, 신적설, 유의파고
중기	12~24시간	12시간	3일~10일	10개구역 (광역)	- 예보요소 : 기상전망, 날씨, 기온, 중기예보 신뢰도 정보, 파고



[그림 3-5] 기간에 따른 기상예보 분류

#### (1) 초단기예보

초단기예보는 예보시점부터 향후 4시간 이내에 대하여 행하는 예보로, 1시간 단위로 제공된다. 예보구역은 현행 5km이며, 초단기예보의 요소는 [그림 3-6]과 같이 기온, 1시간 강수량, 풍향/풍속, 하늘상태, 강수형태, 상대습도, 낙뢰 등이다.



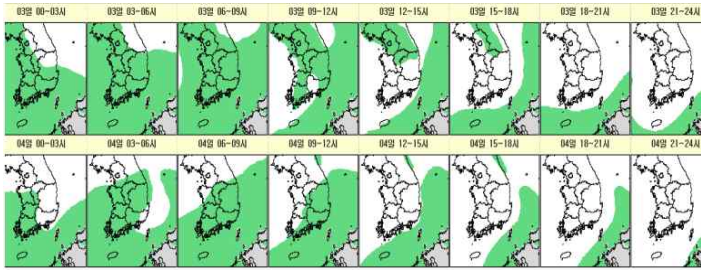
[그림 3-6] 2018. 12. 3. 06:30 초단기예보 사례

#### (2) 단기예보(동네예보)

단기예보는 예보시점부터 3일 이내에 대하여 행하는 예보로 3시간 단위로 제공된다. 예보구역은 현행 5km 격자 간격으로 남한지역 4,438개 지점에 예보를 발표하고 있다. 단기예보의 요소는 [그림 3-7]과 같이 기온, 최고기온, 최저기온, 강수형태, 강수량(6시간), 강수확률, 누적강수량, 신적설, 풍향, 풍속, 하늘상태, 상대습도 등이다.

동네예보 생산에 필요한 기상요소 관측을 위하여 590개소의 자동기상관측장비를 운영 중이며 해상도가 13.1km로서 WMO 지상기상관측망 권고수준(15km)에 부합하나 동네예보의 해상도(5km)를 충족하지는 못하고 있다.





[그림 3-7] 2018. 12. 2. 23:00 동내예보(강수형태) 사례

### (3) 중기예보

중기예보는 예보시점 기준 3일 후에서 10일까지이며, 일 2회 발표된다. 12시간·24시간 단위로 10개 구역으로 나뉘어 광역단위로 제공하며, 3일에서 7일까지는 12시간 마다, 8일에서 10일까지 24시간마다 제공한다. 중기예보의 요소는 최고, 최저기온과 날씨이다.



[그림 3-8] 2018. 11. 28. 06:00 중기예보 사례

또한, 특정 지역을 대상으로 발표하는 지점별 예보는 공항예보, 산악예보, 해수욕장예보가 있으며, 이러한 기상예보를 발표하기 위해서는 ASOS 및 AWS 등 지상기상관측자료, 부이, 파고계 등 해상기상관측자료, 라디오존데, 연직바람관측장비 등 고층기상관측자료, 기상레이더, 기상위성, 낙뢰관측 등 원격탐측기상관측자료와 기 후자료, 수치예측자료를 함께 이용하여 예보관이 이를 종합분석하여 예보를 생산하고 있으나 예보종류에 따라 사용되는 관측자료별 사용 가중치는 각각 다르다.

기상청에서는 기상예보 뿐만 아니라 실황감시, 방재기상업무, 사후검증 및 분석을

위해 기온, 기압, 강수량 등 많은 기상요소를 [표 3-16]과 같이 유관기관(27개 기관 약 3,600개소)과 함께 관측하고 자료를 공유하여 활용하고 있다.

[표 3-16] 유관기관 포함 관측현황(지점수)

기온	풍향	풍속	습도	기압	강수량	강수유무	일사	일조	운고운량	시정
1,699	1,734	1,739	1,401	516	3,386	1,026	270	230	92	234
적설	지면온도	초상온도	지중온도	토양수분	지하수위	복사	조도	결로	돌풍풍속	자외선
170	192	109	26	168	2	7	10	150	4	18

이러한 각각의 예보에서 사용되는 기상관측자료의 가중치가 다르기 때문에 각각의 기상관측자료가 개별 예보에 미치는 효용도 및 기여도가 얼마나 되는지를 객관적으로 분석 평가하여 예보적중률 향상에 반영해야 한다.

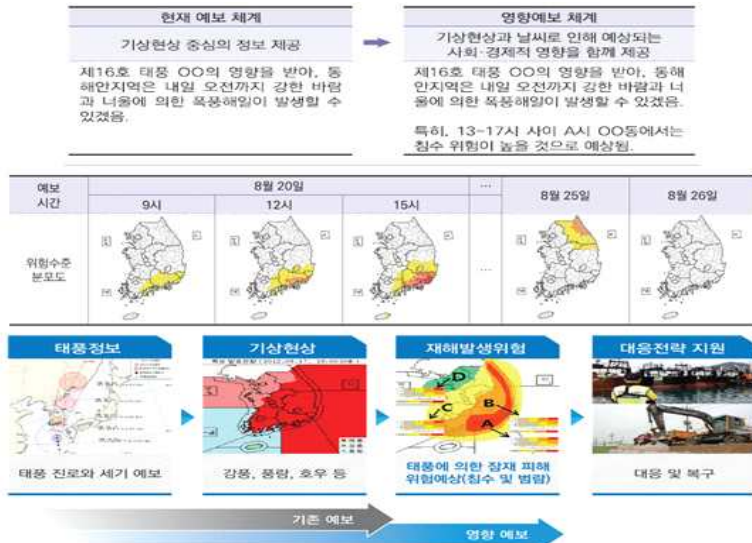
### (4) 영향예보(Impact Forecasts)

기상청은 2020년 영향예보 정식서비스 시행을 목표로 영향예보 서비스를 시험운영하고 있다. 영향예보는 ‘기상현상으로 인해 예상되는 사회·경제적 영향을 위험 및 취약성을 고려한 기상정보와 함께 전달하는 예보체계’로 정의할 수 있다. 영향예보는 [그림 3-9]와 같이 같은 날씨에서도 때와 장소에 따라 다르게 나타나는 영향을 과학적인 자료를 바탕으로 산출하여, 상세한 기상정보와 함께 전달하는 신개념의 예보이다.



[그림 3-9] 영향예보 개요

기존 기상예보와의 차별성은 [그림 3-10]과 같이 구체적인 기상현상의 영향정보를 분석하여 날씨로 인하여 나타날 수 있는 상세하고 구체적인 기상 영향정보를 추가적으로 제공하고, 기상현상으로 인해 예상되는 위험기상의 영향수준과 발생가능성을 바탕으로 위험수준을 판단하여, 최대 7일 전부터 위험수준 정보를 제공하여 조기에 방재 대비 의사결정을 지원하는데 그 차별성이 있다.



[그림 3-10] 기존 태풍예보와 태풍 영향예보의 비교

현재는 시범서비스 기간으로 태풍, 호우, 침수, 폭염에 대하여 영향예보 서비스 등이 제공되고 있는데, 시범 기간이 지나면 문제점을 보완할 계획이다. 수요자 맞춤형 서비스의 개발, 영향예보의 안정적인 정착 및 활용 확대를 위해선 예보를 실제로 활용하는 현장과 협력을 통한 서비스가 개발되어야 한다.

[표 3-17] 연도별 영향예보 시범서비스 계획(기상청, 영향예보 추진 기본계획, 2016.4)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년~
추진분야	시범서비스				정식서비스
	태풍, 대설	호우, 강풍	폭염, 한파	안개, 도로기상	

기상청의 독립적인 영향예보 수행에는 여러 가지 제약사항이 있는데 외부의 기개

발된 의사결정지원시스템과 연계하여 중복투자 방지 및 성능 향상, 일반화재 및 산불로 인한 연무의 발생 과정과 확산을 고려한 예보 개발, 도로기상 예보의 정확도 향상을 위한 관측망 통합 및 전달체계 완비, 가뭄피해 최소화를 위한 관련계획 수립에 필수적인 농업용수 사용/공급 예측 등의 분야에 대해서 기상청이 독자적으로 수행할 수 없기 때문이다.

영향예보 서비스를 위해 기상청은 2019년까지 시범사업을 통한 서비스 기반 구축 후, 2020년부터 정식 서비스를 위하여 빅데이터 기반의 기상영향 분석 및 지원 체계 구축을 추진하고 있다. 이를 위해 유관기관 및 지자체 보유 1차 DB 및 민간·언론·문헌·SNS 자료 등 기상영향 정보 수집·DB 구축, 기상영향 DB 분석 등 영향예보 지원 체계 마련, 기상현상 감시, 영향예보 생산·검증을 위한 특보 구역별 관측센서 확충(‘20년까지 적설계 460개소, 시정현천계 371개소 등) 및 고층·해상 관측망 보강, 첨단관측장비 도입 등 관측망 고도화에 주력하고 있다.

그리고 영향예보 기술개발을 위해 고분해능 및 대기·해양·지표 결합 확률예측 시스템 개발 및 위험기상 발생 빈도·오차 개선, 기상영향 DB를 활용한 빅데이터 기반의 시·군·구 지역별 영향 임계값 산정, 돌발홍수·호우피해·도로기상 등에 관한 재해모델 개발, 기상 레이더·위성 자료를 활용한 안개, 강수분포·빈도·강수량 추정 기술 및 강수정량 예보 기술개발도 추진하고 있다.

이와 더불어 영향예보에 대한 이해 확산 및 유관기관 협업을 위해 유관기관, 지자체 등에 대한 영향예보 홍보 및 전문인력 양성과 민·관·학·연 전문가 자문단 및 영향예보 실무 협의회 등 구성 및 영향예보 서비스 및 평가체계 구축을 추진할 계획이다. 실제 영향예보 활용사례<sup>6)</sup>는 미국의 도로기상정보시스템(RWIS; Road Weather Information System)이다([그림 3-11] 참조). 미국의 도로기상정보시스템은 특히 겨울철 효율적인 도로관리에 크게 기여한 것으로 나타나고 있다. 아이다호 주에서 행한 도로기상정보시스템 구축 전후를 비교·분석한 결과 제설제 사용량 83%, 인력투입시간 62%, 사고건수 83%가 감소하는 등 3가지 효과적도에서 모두 긍정적인 결과를 보여주었다.

국내의 도로변 기상관측은 외국에 비하면 아직 인프라 구축면에서 다소 부족한데, 고속도로의 경우 평균 설치간격이 122km당 1개소, 일반국도는 343km당 1개소가 설치되어 있어 다양한 도로변 기상상황을 관측하기에는 무리인 상태이다. 한국도로공사가 관할하고 있는 청원-상주 간 고속도로의 경우 결빙 취약구간으로 선정된 총 6개 지점, 인천대교에서는 5개 지점에 관측장비를 설치하여 풍향, 풍속, 노면온도, 가시거리 등의 자료를 [표 3-18]과 같이 수집하고 있다.

6) 기상청, 기상기술정책 Vol.10, 2017.6.30



[그림 3-11] 도로기상정보체계 개요

[표 3-18] 도로기상정보 수집자료

구분	수집장비	수집자료
기상자료	도로변 기상관측장비	대기온도, 강수량, 강수형태, 시정거리, 대기압, 대기습도, 풍속, 풍향
도로노면자료	접촉식/비접촉식 노면상태 관측장비	노면온도, 노면상태(습윤, 건조, 결빙, 적설, 서벚)
미기상정보	기상청	대기온도, 기압, 습도, 하향복사에너지, 장파복사에너지
교통량 자료	교통량 정보 수집장비	교통량

현 동네예보로는 그 한계가 있어서 기존에 도로관리를 위해 주요 도로구간마다 설치되어 있는 CCTV를 활용하는 방안이 지속적으로 연구되고 있다. 기존의 교통량 정보 및 도로소통상황 수집을 위한 CCTV의 활용범위를 확대하여 기상관측용 관별 자료로 재가공하여 도로기상자료로 수집·활용하고 있다.

도로기상 빅데이터 실시간 수집·처리 기술의 발달로 고정식 장비(AWS, RWIS, 레이더 등) 및 이동식 차량 관측, CCTV 영상 등을 통합 활용한 도로경로별 정보의 생산이 가능하다.



[그림 3-12] 실시간 강우모니터링시스템

영향예보를 성공하기 위한 자료로는 첫째, 호우, 태풍, 대설 등 사회·경제적으로 영향이 큰 기상현상 관련 과거 재해 정보 및 기상현상 관련 신문기사, 방송보도 내용 등 언론 자료 등 해당 기상현상 관련 Big-data 분석 자료이다. 유관기관 및 지자체가 보유하고 있는 기상재해 원인·피해정보 및 취약성·노출 관련 정보와 기존 수집된 관련 정보 및 각종 통계자료 등 1차 데이터베이스를 활용해야 한다.

둘째, 실시간 영향예보 지원을 위한 기상청 및 지자체 등 유관기관의 관측자료이다. ASOS, AWS 등 육상관측자료, 부이, 등표 등 해상관측자료, 존데, 연직바람관측 장비 등 고층관측자료, 기상위성, 기상레이더, 낙뢰 등 원격 탐측자료와 지자체 등 유관기관 강우량계 1,775개소, 풍향풍속계 46소 등의 자료를 종합 활용하여야 한다.

셋째, 대설, 안개, 도로기상 등 기상현상 감시 및 영향예보 생산·검증을 위한 관측 자료이다. 적설계(레이저식) 504개소, 시정현천계(안개) 362개소, 연안 파고부이, 원해 표류부이와 선박기상관측망, 도로기상관측 장비, CCTV 등 성능이 검증된 장비와, 민간(날씨제보 앱, ㈜SK플래닛 등) 관측자료, 비정형 관측 데이터 등을 검증자료로 활용해야 영향예보를 성공할 수 있다.

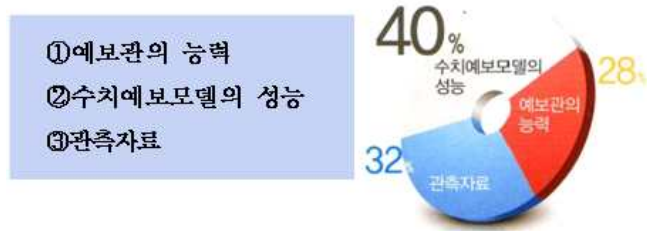
## 제2절 수치예보와 기상관측자료

### 1. 수치예보업무

#### (1) 수치예보 업무

수치예보는 공기의 물리적, 화학적 특성 및 운동과 관련된 과학적 이론과 기술을 동원하여 날씨를 예측하기 때문에 객관화된 예보이며, 수치예보를 바탕으로, 예보관의 경험, 지식과 노하우를 더하여 예보를 결정하기 때문에 예보과정에서 차지하는 비중이 매우 높다.

기상청 예보역량 진단을 위한 기획연구((주)테크노베이션파트너스, 2007)에 따르면, 기상예보 역량에 영향을 주는 요소는 [그림 3-13]과 같이 기상관측자료, 수치예보모델의 성능, 예보관의 능력 등 3개 요소이며 각 요소별 기여도는 2007년 설문조사 당시 32%, 40%, 28%였으나, 수치예보기술과 정보통신기술 등 기상기술의 발달로 각 요소별 기여도는 변화가 있을 것으로 예상된다.



[그림 3-13] 예보정확도를 결정하는 3가지 요소

현대의 기상예보 정확도는 기상관측기술, 수치모델 정확도, 예보관의 능력에 따라 결정되는데, 기상예보기술을 향상시키기 위해서는 다음과 같이 각 분야별 기술을 향상시킬 방안이 마련되어야 한다고 제시하고 있다(차동현, 2018). 첫째, 관측기술 개선 방안으로 고해상도 최적 기상관측망을 구축하고 실시간 국제 기상관측 네트워크를 강화(중국, 일본)하며, 첨단 기상관측장비(드론, 위성, 레이더)를 개발하여야 한다. 그리고 기상예보와 연관된 기상관측정보(토양수분, 티벳 적설량 등)가 확보되어야 한다. 둘째, 수치예보모델 기술개발 및 개선으로 단기, 중기, 장기 예측의 이음새 없는(Seamless) 예측시스템 개발 필요하며, 인위적/자연적 요인(도시열섬 효과, 온실

가스 증가, 지면피복 변화 등) 등을 반영해야 한다. 그리고 자료동화 기술을 토양, 해양, 결합모델 등과 연계하여 개선하고, 확률론적 예보로 전환(앙상블 예보의 확대)하는 등 독자모델 개발 및 개선이 필요하다. 셋째, 기상예보관 능력 향상을 객관적 예보를 위한 빅데이터와 AI를 활용하고, 올바른 예보결과 분석을 위한 수치모델 개발 전문가와 수치모델 해석 전문가를 양성해야 한다.

수치예보는 온도·습도·기압 등 현재 대기 상태의 관측값을 넣어 컴퓨터 프로그램(모델)으로 계산해 미래 기상현상을 예측하는 것으로 날씨를 알려면 우선 현재의 관측값을 알아야 한다. 기상청은 지상과 해양, 고층상공, 우주에 모두 21종 1,494대의 관측장비가 하루 2천만개 이상의 각종 관측값을 실시간으로 생산하고, 수많은 관측값을 일정 간격의 격자자료를 만들어 수식에 대입하는 자료동화 과정이 수치예보의 첫 단추이다. 그리고 지구모델의 격자수만 10억개, 변수만 20여개로, 세계에서 각종 데이터를 수신받고 자료동화를 하는 데만 2~3시간이 소요된다. 이때부터 슈퍼컴퓨터가 1시간 남짓 수치예보 모델을 돌려 일기도 등 분석용 자료를 만들어내며, 예보관들은 이를 분석해 일기예보를 생산하여 발표하게 된다. 이런 작업이 하루에 4번씩 반복되고 있다.

#### (2) 수치예보모델 운영

국내외적으로 현업 수치예측시스템은 예측영역에 따라 전지구(10~20km), 지역/국지(1~5km)모델로 구분하여 운영하고 있으며, 확률예보를 위하여 앙상블(전지구10~40km, 지역/국지 2.2~4km)모델을 운영하고 있다. 영국, 미국, 일본은 독자모델 기반 수치예측시스템을 구축하고 예보정보를 제공하고 있으며, 현재 우리나라는 영국 통합모델에 기반하여 현업을 운영하고 있다.

수치예측시스템에서 생산하는 기상정보는 1일부터 기후예측까지 다양한 종류의 예측정보를 생산·제공하고 있으며, 목적에 따라 예측정보 제공을 달리하고 있다. 영국의 경우, 최장 30일까지 이음새 없는 예보정보 제공을 목표로 하고 있으며 기상재해의 상대적인 피해규모와 충격수준을 기준으로 영향예보를 서비스하고 있다. 미국의 경우는 하루~기후정보제공까지 정보를 제공하고 있으며 기상에 민감한 항공 및 재해대응을 위한 해양, 강, 호수 등으로 지역을 구분하여 예보정보를 제공 중이며, 일본은 하루~7일, 수개월 장기예보를 제공하고 있으며 재해대응을 위해 예보, 주의보, 경보, 특별경보체계를 운영하고 있다.

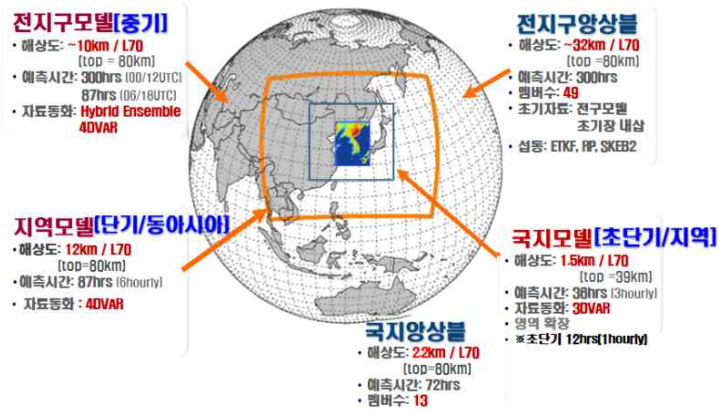
현재 국내에서는 초단기(6시간)~장기(11일 이상) 예보정보를 제공하고 있으며 재해대응을 위해 특보를 운영하고 있다.

[표 3-19] 국내외 수치예보모델 운영 및 기상정보 제공현황

구분	현업수치예보모델 운영현황					예보정보제공현황	
	독자 모델	전지구	지역(국지)	전지구 앙상블	지역(국지) 앙상블	예측기간	재해예보
영국	○	10km	1.5km 4km	10km	2.2km/ 4km	최장 30일까지 이음새 없는 예보제공	재난재해 방지를 위한 테마별 기상정보 제공 강수, 강풍, 눈, 결빙, 안개 오소의 상대적인 피해규모 및 충격 수준 기준 영향예보 서비스
미국	○	10km	12km 3km 1km	10km	12km/ 3km	기간별로 당일/장기/기후정보(최장3개월)로 구분	지역별, 테마별(항공, 해양, 강과 호수)로 구분하여 제공
일본	○	20km	5km, 2km	40km, 55km		일일예보 : 3일까지 중장기예보 : 주간 예보(내일-7일) 및 장기예보(수개월)	기상예보, 주의보, 경보 및 특별 경보 제공 강수유무만 공식 발표, + 나우캐스팅과 그래픽 기반 단기강수예보 수치예측 강수량 정보 제공
한국	X	17km	12km, 1.5km	32km	3km	초단기(6시간), 단기(3일), 중기(10일), 장기(11일 이상), 기후전망 등의 예보정보 제공	강풍, 풍랑, 호우, 대설 등 10개 기상현상에 대한 기상특보(주의보, 경보)를 중대한 재해발생 예상 시 해당지역에 제공

\* 연직해상도는 L60~70 정도로 구성됨

2018년 11월 현재 기상청 현업용으로 사용중인 수치예측시스템(모델)은 [그림 3-14]와 같다.

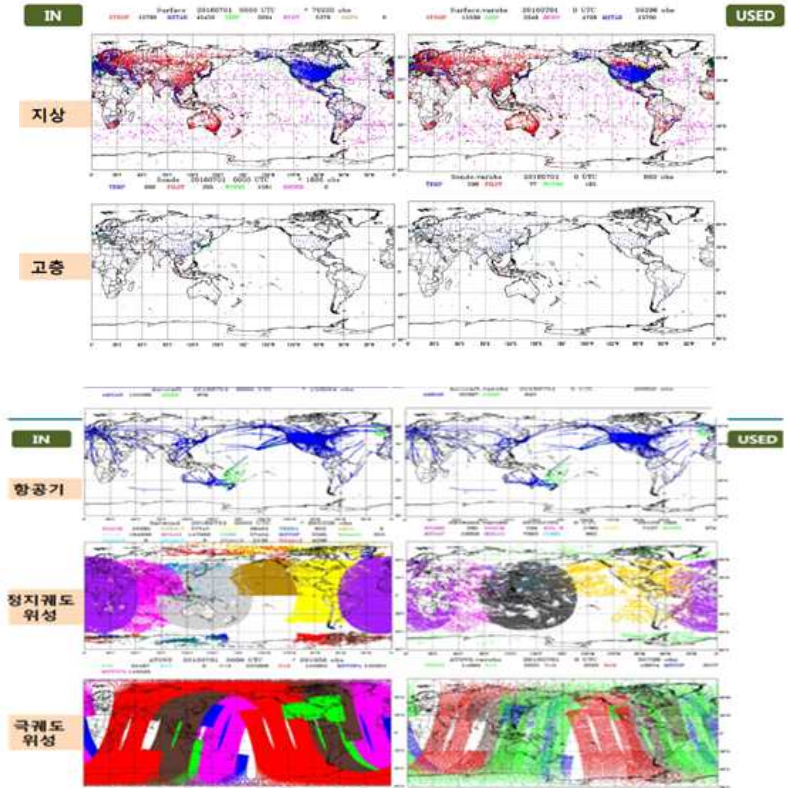


[그림 3-14] 기상청 현업용 수치예보모델(2018년 11월 현재)

## 2. 기상관측자료의 수치예보모델에 기여도

### (1) 전지구 기상관측자료의 수치예보모델 활용 현황

전지구수치모델에서 활용되는 관측지점의 수는 계절이나 기상상태에 따라 변동이 있다. 예를 들면 2016년 2월 14일 00UTC에 슈퍼컴퓨터에 들어오는 관측지점 수는 지상, 고층, 항공기, 위성(정지궤도, 극궤도) 등 총 207만 지점이나 전지구수치모델에 사용되는 관측지점 수는 15만3천 지점으로 약 7%의 활용율을 보였으며, 2016년 7월 1일 00UTC 경우는 총 203만9천 관측지점에서 자료가 수집되어 전지구수치모델에서는 16만 6천 지점이 사용되어 약 8.2%의 활용율을 나타내고 있다.



[그림 3-15] 2016.7.1.00UTC 전지구모델에 활용되는 관측지점 분포도(기상청 수치자료용용과)

**(2) 수치예보모델에 사용되는 기상관측자료**

수치예측시스템의 초단기, 국지, 지역, 전지구 모델에 사용되는 기상관측자료의 활용현황은 [표 3-20]부터 [표 3-22]이다. 지상/해상 기상관측자료는 지상기상전문(SYNOP), 기상1호, AWS, 공항자료(METAR) 등 9종이며, 활용변수는 기온, 바람, 습도, 해면기압, 낙뢰, 시정 6개 요소이다.

[표 3-20] 지상/해상 기상관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018)

분류	활용변수	수치예보모델			
		초단기	국지	지역	전지구
지상기상전문(SYNOP)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	○
기상1호 (관측시)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	○
선박(Ship)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	○
부이(Buoy)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	○
공항자료(METAR)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	○
등표/등대(SYNOP)	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	
AWS	바람/기온/습도/해면기압	○	○	○	
낙뢰	낙뢰	○			
시정계	시정	○			

고층/항공 기상관측자료는 고층기상전문(TEMP), 기상1호, 연직바람관측장비, 드롭존데 등 7종이며, 활용변수는 기온, 바람, 습도 3개 요소이다.

[표 3-21] 고층/항공 기상관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018.)

분류	활용변수	수치예보모델			
		초단기	국지	지역	전지구
고층기상전문(TEMP)	바람/기온/습도	○	○	○	○
기상1호 (관측시)	바람/기온/습도	○	○	○	○
측풍기구(PILOT)	바람		○	○	○
윈드프로파일러	바람	○	○	○	○
드랍존데	바람/기온/습도		○	○	○
항공기상관측(AMDAR)	바람/기온	○	○	○	○
항공기보고(AIREP)	바람/기온		○	○	○
낙뢰	낙뢰	○			
시정계	시정	○			

위성기상관측자료는 ATVOS, AIRS, IASI, GNSS 등 14종으로 가장 많이 활용되고 있으며, 추출정보로는 기온, 바람, 습도 해상풍 등 4개 요소이다.

[표 3-22] 기상위성관측자료 활용 현황(기상청 미래수치기술팀, 2018)

분류/센서	탑재위성	추출정보	수치예보모델			
			초단기	국지	지역	전지구
ATOVS	NOAA(미국) : 3개, Metop-A/B(유럽)	기온/습도		○	○	○
AMSU-A/B, MHS, HIRS						
AIRS	Aqua(미국)	기온/습도			○	○
IASI	Metop-A/B(유럽)	기온/습도			○	○
ATMS	Suomi-NPP(미국)	기온/습도				○
CrIS	Suomi-NPP(미국)	기온/습도				○
Satwind	5개 정지궤도위성 (미국x1, 유럽x2,일본, 한국[천리안]), 7개 극궤도위성 (미국x5, 유럽x2)	바람			○	○
Scatwind	Metop-A/B(유럽)	해상풍		○	○	○
GNSS-RO	Metop-A/B(유럽), COSMIC(미국) 등 GNSS 위성	기온/습도			○	○
Ground GNSS	GNSS위성신호 지상수신	습도		○	○	○
GPS_RO	Metop-A/B(유럽), COSMIC(미국) 등	기온			○	○
CSR (청천복사량)	5개 정지궤도위성 (미국x1, 유럽x2, 한국[천리안], 일본)	습도				○
SAPHIR	Megha-Tropiques(인도-프랑스)	기온/습도				○
MWHS-2	FY-3C(중국)	기온/습도				○
AMSR-2	GCOM-W1(일본)	기온/습도				○

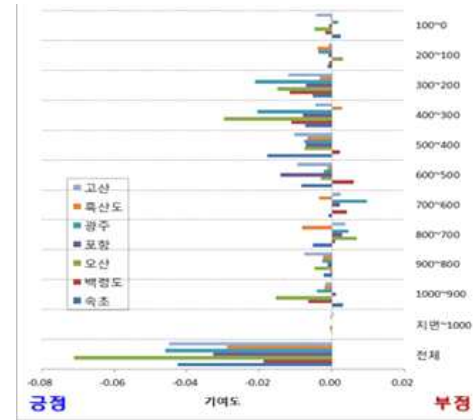
기상레이더 관측자료는 국지 및 초단기 예보모델에 활용중이며 레이더 시선속도 및 반사도, 구름 분석자료 3종을 활용하고 있다. 국지예보모델(LDAPS)과 초단기예보 모델(VDAPS)에서는 레이더 시선속도(radial velocity) 및 반사도(CAPPI), 초단기예보 모델(KLAPS)에서는 레이더 반사도(reflectivity) 자료가 활용되고 있다.

### (3) 기상관측자료의 수치예보에 기여도

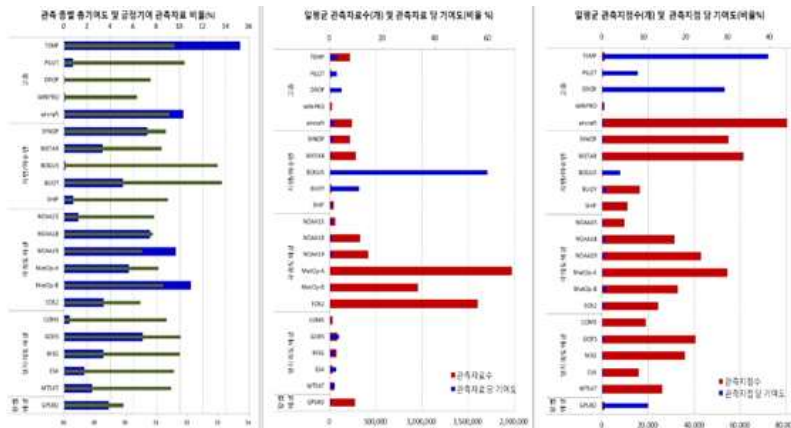
#### ○ 전지구모델

기상관측자료의 수치예보에 기여도 평가(FSO: Forecast Sensitivity to Observations)는 각 수치예보모델에 사용된 모든 기상관측자료를 여름철(‘15.6.1.~8.31. 00, 06, 12, 18 UTC)과 2015/2016년 겨울철 기간에 대해 평가한 결과는 다음과 같다.

2015년 여름철 기상관측종별 기여도는 위성(58%), 고층(26%), 지상자료(16%)의 순으로 나타났으며, 관측자료당 기여도에서는 자료 수는 극궤도 위성 85% 차지하였고, 개별 기여도에서는 보거스가 매우 높았다. 관측지점당 기여도에서는 다채널의 극궤도위성이나 다고도의 고층자료에 비해 지점수가 많은 지면/해수면 자료의 기여도가 상대적 증가하였고, 지점수가 적은 고층 자료의 기여도도 증가했다.



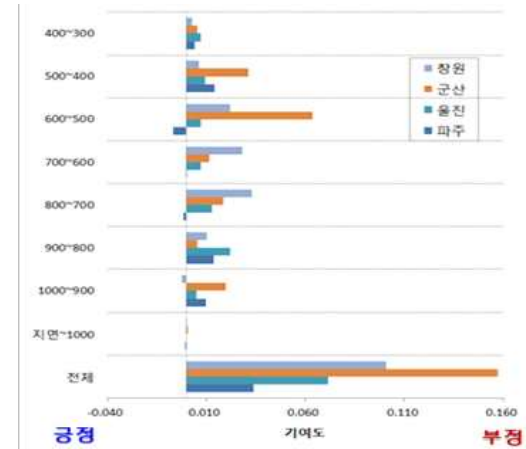
[그림 3-17] 2015여름철 국내 레원존데 관측자료 총기여도(기상청 수치자료응용과)



[그림 3-16] 2015여름철 전지구모델에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과)

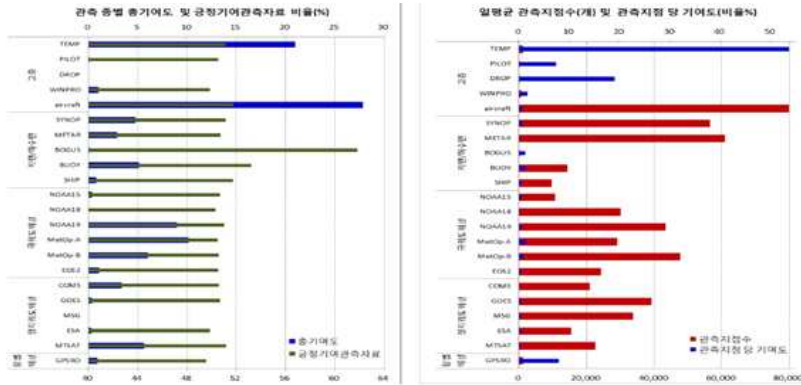
2015년도 여름철 국내 고층기상측자료 즉 고산, 흑산도, 광주, 포항, 오산, 백령도, 속초 등 7개 지점의 레원존데 관측자료(TEMP)에 대한 수치예보모델에 미치는 기여도를 평가한 결과, [그림 3-17]과 같이 전체 고도에 대해 전 지점에서 긍정적인 영향을 주었으며, 특히 일 4회 관측하는 오산, 광주, 고산, 속초 등 4개 지점에서 수치예보에의 기여도가 높았다.

2015년도 여름철 창원, 군산, 울진, 파주 등 국내 4개 지점 연직바람관측장비 관측자료가 수치예보모델에 미치는 영향은 [그림 3-18]과 같이 전체 고도에 대해 전 지점 부정적인 영향을 미치는 것으로 결론이 났고, 특히 군산의 관측자료는 수치예보에 부정적 기여도 가장 큰 것으로 나타났다.



[그림 3-18] 2015여름철 국내 연직바람관측장비 관측자료 총기여도(기상청 수치자료응용과)

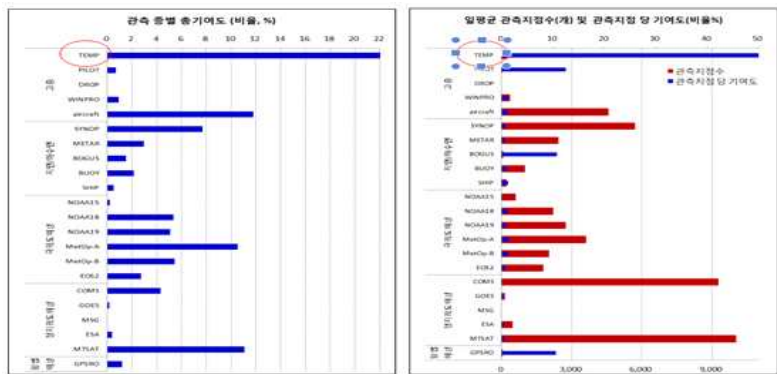
2015/2016년 겨울철에는 전지구 수치예보모델에 기상관측자료 기여도는 [그림 3-19]와 같이 위성 65%, 고층 22%, 지상자료 13% 순으로 나타났다. 그리고 관측지점당 기여도는 지점 수가 적은 고층자료의 기여도가 크게 나타났다.



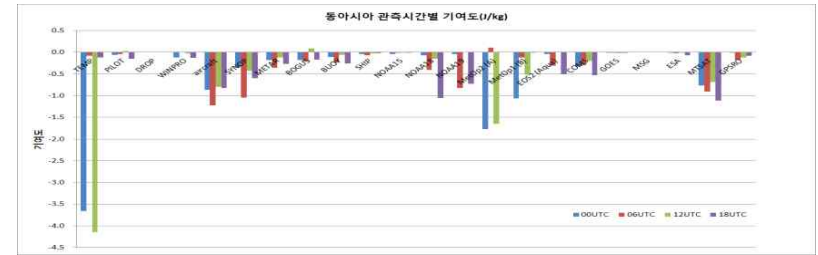
[그림 3-19] 2015/2016년 겨울철 전지구모델에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과)

○ 국지예보모델(동아시아 영역)

관측종별 동아시아영역 예보오차 개선 기여도에서는 존테(TEMP) 자료가 전체 관측종 중에서 가장 높은 22%를 보였으며, 존테 자료의 관측지점당 기여도는 50%로 나타났다[그림 3-20]. 또한 존테의 주요 관측시간인 00, 12UTC가 예보오차를 개선하는 기여도가 가장 높게 나타났다[그림 3-21].

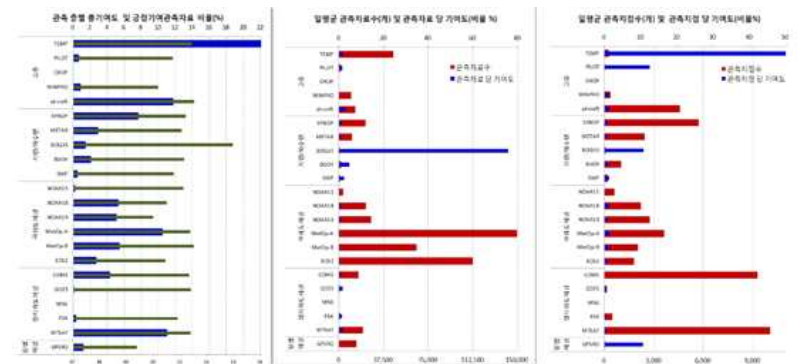


[그림 3-20] 동아시아영역(국지모델)에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과)



[그림 3-21] 동아시아영역(국지모델)에 관측시간별 기여도(기상청 수치자료응용과)

동아시아영역(국지모델)은 전구영역(전구모델)에 비해 고층자료 기여도가 증가한 반면, 위성 기여도는 감소하였다. 그리고 COMS, MTSAT지점, 자료수의 기여도는 증가하였다. MSG/DROP존테 관측자료는 없었다. 관측종별 기여도는 위성이 48%, 고층 38%, 지상자료 14% 순으로 나타났으며, 관측자료당 기여도에서는 자료수는 극궤도 위성이 81%를 차지하였고, 기여도는 보거스가 매우 높았다. 그리고 관측지점당 기여도는 지면/해수면 자료의 지점수가 상대적으로 증가하였다.



[그림 3-22] 2015여름철 동아시아영역(국지모델)에 관측자료별 기여도(기상청 수치자료응용과)

2015년 여름철 관측자료 수치예보기여도 평가(FSO)의 주요 결론은 다음과 같다. 위성자료는 지점수와 기여도에서 가장 높은 비중을 차지하고, 동아시아에서는 전지구보다 고층자료 기여도가 상대적으로 높았다. 기상관측 자료의 종류별 기여도는 SYNOP(7%)이 높았고, 자료지점 당 기여도는 BOGUS(TEMP 대비 11~20%)가 매우 높았다. 고층자료(TEMP)의 기여도가 가장 높으며(15~25%), DROP은 전구 영역에서 지점 당 기여도가 높으나(TEMP 대비 73.7%), 동아시아 내에는 해당자료가 없었다.



그리고 기상위성관측자료 중 극궤도위성의 경우, 자료 수는 81~85%, 종별 기여도는 31~40%로 가장 높으며, 전구에서는 ATOVS 기여도가 가장 높은 33%, 동아시아에서는 AMV의 기여도가 가장 높은 33%를 차지했고, COMS의 기여도가 상대적으로 8% 증가하였다.

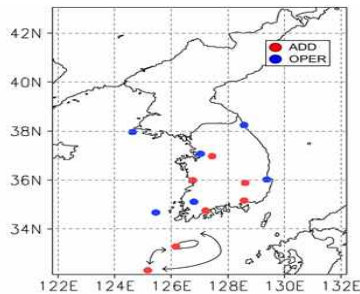
결론적으로 동아시아지역(국지예보모델)의 예보오차 감소에 가장 큰 기여를 한 관측 중은 계절에 관계없이 TEMP(레윈존데) 관측으로 나타났다. 그 다음으로는 계절별로 다른데, 여름에는 AIRCRAFT(항공), 기상위성인 AMSU-A, IASI가 뒤 따랐고, 겨울에는 AIRCRAFT(항공), AMSU-A, 천리안 위성(COMS)의 대기운동 벡터가 그 뒤를 따랐다. 동아시아에 분포한 TEMP고층관측 중 중위도 기압골이 지나가는 길목(중국 화북지역)에 분포한 TEMP 관측의 기여도가 가장 높았다.

AMSU-A 복사관측 자료 중 동아시아 예보오차 감소에 가장 많이 기여한 복사관측 자료는 계절에 관계없이 NOAA-19 AMSU-A였다. 그 다음으로 여름에는 MetOp-A AMSU-A, NOAA-18 AMSU-A, NOAA-15 AMSU-A 순이었으며, 겨울에는 NOAA-18 AMSU-A와 NOAA-15 AMSU-A 순으로 나타났다(김성민, 김현미, 2017).

○ 기상1호(특별관측) 국지예보모델에 대한 기여도 평가

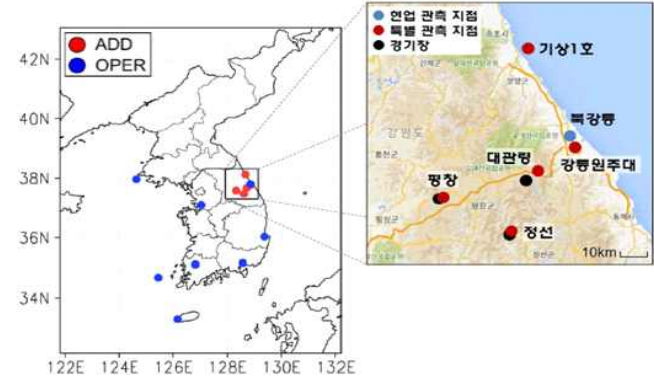
국지예보모델에 대한 기상관측자료의 기여도를 평가하기 위해 2015년 6월 15일부터 7월 15일까지 31일간 기상1호에서 수행한 여름철 집중관측 자료를 사용하였다. 집중관측 지점은 7지점으로 기상1호(제주해상), 진천, 군산, 대구, 보성, 창원, 고산 이었고, 현업 관측지점은 6지점(백령도, 오산, 북강릉, 흑산도, 광주, 포항)이었다.

시간해상도는 3시간(진천, 창원, 보성)과 6시간(제주해상, 군산, 대구, 고산) 간격으로 실시되었다. 2015년 여름철(장마) 집중관측 자료에 대한 국지예보모델 기반 수치실험 수행 결과, 남해에 대한 집중관측자료의 영향이 크게 나타난 것으로 보아 집중관측자료에 의해 수치모델의 강수 정확도가 향상되었음을 알 수 있었다.



[그림 3-23] 여름철 기상1호 및 육상 집중관측 지점

그리고 겨울철 집중관측(2016년 1월 20일~2월 26일) 지점으로는 기상1호(양양), 평창(보광), 대관령(용평), 강릉원주대, 정선 등 5지점과 현업 관측 지점인 7개 지점(백령도, 오산, 북강릉, 흑산도, 광주, 포항, 고산)으로 공간 해상도는 20~40km, 시간해상도는 3(강릉원주대), 6(대관령), 12(평창)시간이었다.



[그림 3-24] 겨울철 기상1호 및 육상 집중관측 지점

2015/16년 겨울철(대설) 집중관측 자료에 대한 국지예보모델 기반 수치실험 수행 결과 기상1호의 영향이 가장 크게 나타나고, 시간해상도가 높아질수록 바람, 강수 변화가 커지며, 여름철(장마)이나 겨울철(대설) 집중관측자료에 의해 수치모델의 약한 강수현상에서는 정확도가 향상하나 강한 강수현상에는 정확도가 하락했다.

○ AWS관측자료 국지예보모델(LDAPS)에 기여도 평가

부경대학교 김동주 등(2017)의 연구에서는 기상청에서 운용중인 495개 AWS를 설치 위치에 따라 산악, 해안, 도시, 교외로 분류 한 후, 각 지역당 30개 지점을 선정하여 2015년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간 지형에 따른 국지예보모델(LDAPS)의 특성을 분석한 결과는 [표 3-23]과 같다.

[표 3-23] AWS관측자료의 지형에 따른 국지예보모델 특성

지역	기 온	풍 속	기온편차	비 고
산악	과대모의	과소모의	여름> 겨울	- 실제 지형고도 미반영
해안 교외	과소모의	과대모의	-	- 실제 지형과 유사 - 관측값과 모델값 차가 적음
도시	과소모의	과대모의	겨울> 여름	- 고층건물 미반영 - 차량, 포장, 난방 미반영

○ 관측종별 수치예보 개선 기여도

2012년 기상청 수치자료응용과에서 발표한 자료에 따르면, 기상청에서는 2010년 5월 통합수치예보모델을 기반으로 한 현업수치예보시스템을 도입하여 운영하고 있다. 통합모델은 각종 위성자료 등 많은 수의 관측자료들의 활용이 가능하고 GPS 자료 등 전세계적으로 공유되는 많은 관측자료들의 사용으로 예보정확도 향상에 기여하고 있다.

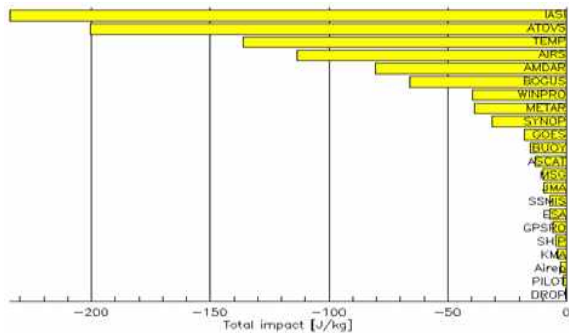
관측민감도 평가도구는 수반모델을 이용한 예측민감도 평가방법으로서 1회의 모델 수행으로 관측자료와 초기장이 예보성능에 미치는 영향을 세부적으로 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 통합모델 자료동화시스템에 구축된 관측민감도(FSO) 평가도구는 24시간 예보오차 감소에 기여하는 관측의 영향을 수반모델을 이용하여 계산한다. 현재 통합모델에는 [그림 3-25]와 같이 10개의 관측그룹이 사용되고 그 안에 27개의 세부 관측종이 사용되고 있다.

관측 그룹	세부 관측종
Surface	Synop, ship, buoy, BOGUS, METAR
Sonde	TEMP, PILOT, Wind profiler, Dropsonde
Aircraft	AMDAR, AIREP
Satwind	GOES, KMA, JMA, MSG, Meteosat
ATOVS	NOAA15-19, MetOp
Scatwind	ASCAT

IASI, AIRS, SSMIS, GPRO : 세부 관측종 없음

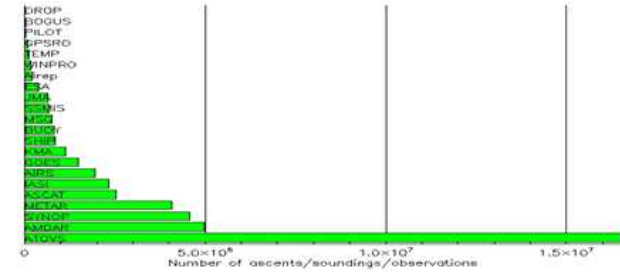
[그림 3-25] 통합모델에 사용되는 관측종

2012년 7월부터 9월까지 3개월 동안 전구모델에 대해 6시간 간격으로 생산된 관측종별 영향에 대해 분석한 결과 [그림 3-26]과 같이 IASI(위성)자료가 예보 오차를 줄이는데 가장 크게 기여하였고, 그밖에 ATOVS, 라디오존데, AIRS 및 항공기 자료 순으로 기여도가 높았다.



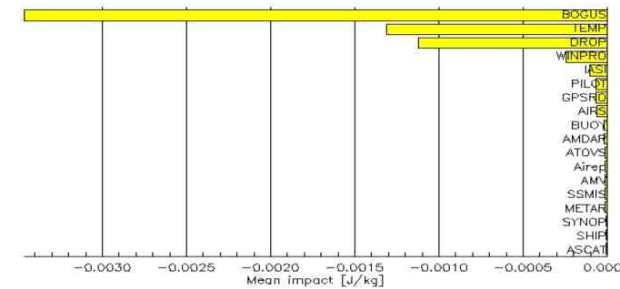
[그림 3-26] 2012년 6~9월 동안 관측종별 총 영향

ATOVS와 항공기 및 종관기상자료의 경우 관측자료의 개수가 많고 예보에 미치는 영향 또한 크게 나타났으며, 공항관측자료인 METAR도 예보오차를 줄이는데 큰 역할을 하고 있다([그림 3-27] 참조).



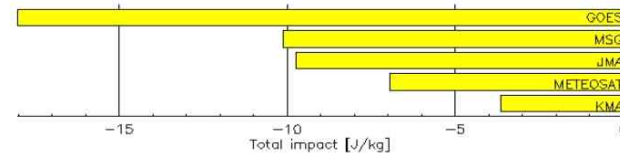
[그림 3-27] 2012년 6~9월 동안 관측종별 자료 개수

IASI(위성)자료의 경우 관측 개수는 적으나 그 영향은 가장 큰 것으로 나타났고, BOGUS 자료와 연직 종관자료(Drop Sonde, TEMP, PILOT, Wind profiler), GPSRO 자료는 관측 개수 대비 예보에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다([그림 3-28] 참조).



[그림 3-28] 관측개수 별 평균 효과(총효과/자료 개수)

2011년 12월부터 새로이 추가된 천리안 위성(COMS/KMA)의 경우 다른 관측종에 비해 크지는 않지만 예보오차를 줄이는데 긍정적 효과를 미치고 있다([그림 3-29] 참조).



[그림 3-29] AMV(대기운동벡터)의 위성별 영향

결론적으로 관측자료가 많은 Radiance(복사휘도) 자료가 예보에 미치는 영향이 크게 나타났고, 지상 관측자료 및 연직 관측자료(레원존데, 항공기자료) 등이 관측 개수에 비하여 예보에 미치는 영향이 크게 나타났다. 이는 미해군연구소(NRL), 영국기상청(MetOffice) 등 다른 기관들과도 유사한 결과이다.

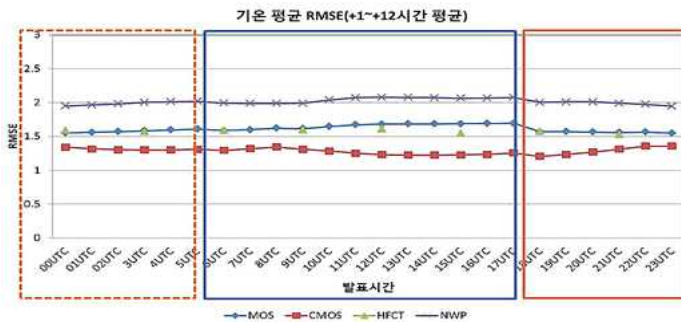
### 3. 통계모델에 활용되는 기상관측자료

기상청에서는 수치예보모델의 체계적인 오차를 보정한 MOS(Model Output Statistics) 가이드스를 일 2회 생산하여 예보편집에 사용하고, 예보관은 최신관측 자료 등을 활용하여 MOS를 수정한 후 일 8회 동네예보를 생산하고 있다. 이를 위해 최신관측 자료를 반영한 객관적인 보정방법을 개발하여 성능을 검증하고 예보생산 시스템에 적용하고 있다.

성능검증에서 2015년 1년 동안 일 2회 생산되는 MOS와 예보시간 이전 3시간 동안의 사용 가능한 관측자료인 기온, 습도, 풍속을 사용한 예보(CMOS)와 비교한 결과, 기온은 0.3℃ 오차가 개선되었다. 또한 CMOS는 MOS에 비해 습도의 경우 약 4%, 풍속의 경우에는 0.34m/s의 오차가 개선되었으며 그 결과는 [표 3-24]와 [그림 3-30]과 같다.

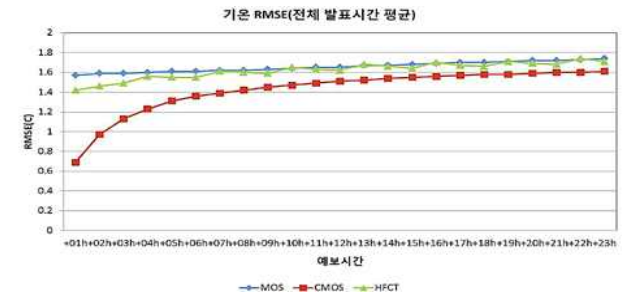
[표 3-24] 2013년 평균 RMSE와 비교

구분	기온 (℃)	습도 (%)	풍속 (m/s)
MOS	1.61	12.54	1.37
CMOS	1.28	8.31	1.03



[그림 3-30] 기온예보에 대한 발표시간 +1시간 ~ +12시간 예측평균 RMSE

기온예보 발표시간 +1시간~+24시간까지 CMOS는 MOS의 오차를 [그림 3-31]과 같이 지속적으로 개선되었고, 이후 +24시간까지도 차이는 작으나 오차를 개선한 효과가 있는 것으로 나타났다.



[그림 3-31] 기온예보 평균 RMSE의 예보시간별 비교

이 CMOS 결과를 기반으로 기상청 초단기예보에 제공되지 않았던 기온, 습도, 풍속 요소를 적용하여 현재 서비스중에 있으며, 단기 동네예보 생산 시스템에도 적용하여 예보생산 시스템 개선을 추진중에 있다.

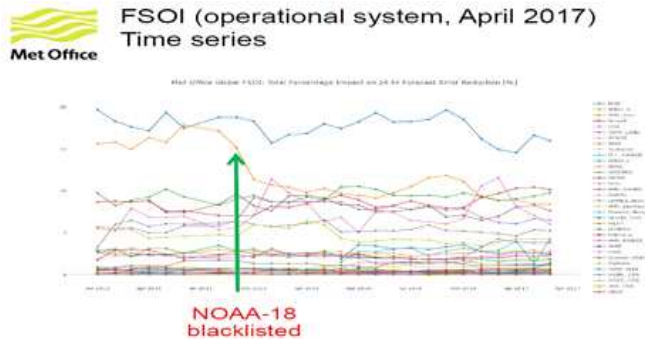
### 4. 선진국(영국) 사례

기상선진국에서는 오래전부터 기상관측자료를 수치예보업무에 활용하고 있다. 특히 위성기상관측자료는 수치예보모델에 가장 많이 활용하고 있다. [표 3-25]와 같이 영국에서는 전구모델과 지역모델에 NOAA, Metop, Aqua, FY-3C, GOES 등 많은 위성으로 복사량, 해상풍, 토양수분, 해빙 등 다양한 기상관측자료를 추출 수치모델에 활용하고 있다.

[표 3-25] 영국기상청의 기상위성관측자료 활용 현황

Observation type	Satellites	NWP models*
AMSU / ATMS / MHS radiances	3NOAA+S-NPP+Metop-A+B	G, UK
HIRS clear radiances	Metop-A	G
IASI, CrIS and AIRS radiances	Metop-A+B+S-NPP+Aqua	G, UK
SSMIS radiances	1 DMSP(F-17)	G
AMSR-2 radiances	GCOM-W	G
MWHS-2 radiances	FY-3C	G
Saphir radiances	Megha-Tropiques	G
Geo imager clear IR radiances	MSG, MTSAT, GOES	G, UK
GPS RO bending angles	4COSMIC, GRAS, TerraSAR-X	G
GPS ZTDs	~430 European + ~100 non-Europ.	G, UK
AMVs - geo	5geo satellites	G, UK
AMVs - MODIS and AVHRR	Aqua, Terra, 3NOAA, Metop-A+B	G
AMVs - GEO-LEO	Various	G
Scatt. sea-surface winds: ASCAT + RapidScat	Metop-A+B+ISS RapidScat	G, UK
MW imager sea-surface winds: Windsat	Coriolis	G
SEVIRI cloud height and amount	MSG	UK
SSTs: AVHRR, AATSR, AMSR-E...	3 NOAA, Metop-A+B, Aqua	G, UK
Soil moisture: ASCAT	Metop-B	G, UK
Sea ice: SSM/I, SSMIS	DMSP	G
Snow cover	various	G

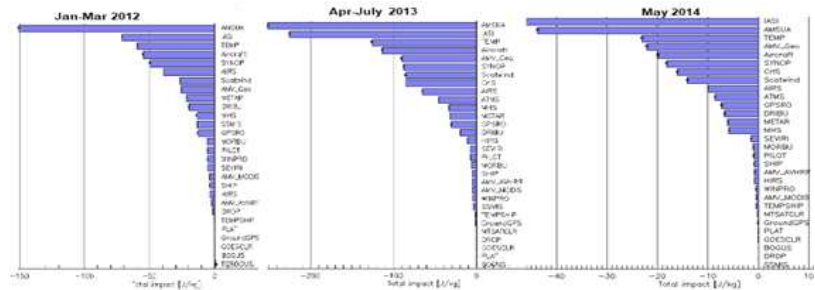
또한 영국의 경우 [그림 3-32]같이 수치예보모델에 위성, 고층, 해상, 지상 등 많은 자료를 현재 활용중에 있으며 기상관측자료 종류별 수치예보 민감도(FSO)는 국내에서와 같이 위성>고층>지상 순이다. IASI, AMSU-A 등 위성관측 자료는 영국기상청(Met Office)이 현재 사용 중인 전지구 수치예보모델의 24시간 예보의 에러(Error)를 10~20%를 감소시키고 있다(John Eyre et. al., 2016).



[그림 3-32] 전지구모델 24시간 수치예보 에러 감소율(%)

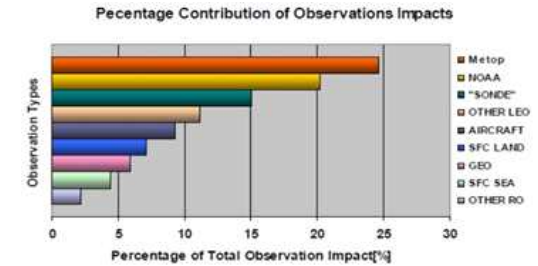
영국기상청은 위성, 고층, 지상, 항공 등 거의 모든 기상관측자료를 수치예보모델 자료동화에 사용하고 있다. 수치예보모델에서 각각의 기상관측자료의 민감도(FSOI)는 [그림 3-33]과 같이 계절에 따라 다르다. 민감도는 2014년 5월이 50J/kg이하로 가장 작고, 2012년 1~3월이 150J/kg이하 이며, 2013년 4~7월이 250J/kg이하로 가장 크다.

기상관측 종류별 영향이 큰 상위 6개 요소를 보면 2012년 1~3월은 AMSUA>IASI>TEMP>Aircraft>SYNOP>AIRS로서 이를 관측 분야별로 정리하면 위성>고층>항공기관측>중관의 순서이며, 이는 국내의 수치모델에서 기상관측자료의 민감도의 순서와 같다.



[그림 3-33] 기상관측 종류별 수치예보 민감도(FSOI)

기상관측 종류별 단기 수치예보의 에러를 감소시키는 기여도는 Metop(위성)이 약 25%로 가장 크며, 모든 기상위성관측 자료는 전체적으로 64% 수치예보에러를 감소시키는 것으로 분석되고 있다. 종관기상관측자료는 36%를 감소시키는데 이 중에 중대관측 자료는 15%, 항공이 9%, 육상관측이 7%, 해수면 관측자료가 5%를 감소시킨다.



[그림 3-34] 기상관측 종류별 단기 수치예보 에러 감소 기여도

## 제 4 장 기상관측자료의 예보업무 기여도 분석

### 제1절 분석방법

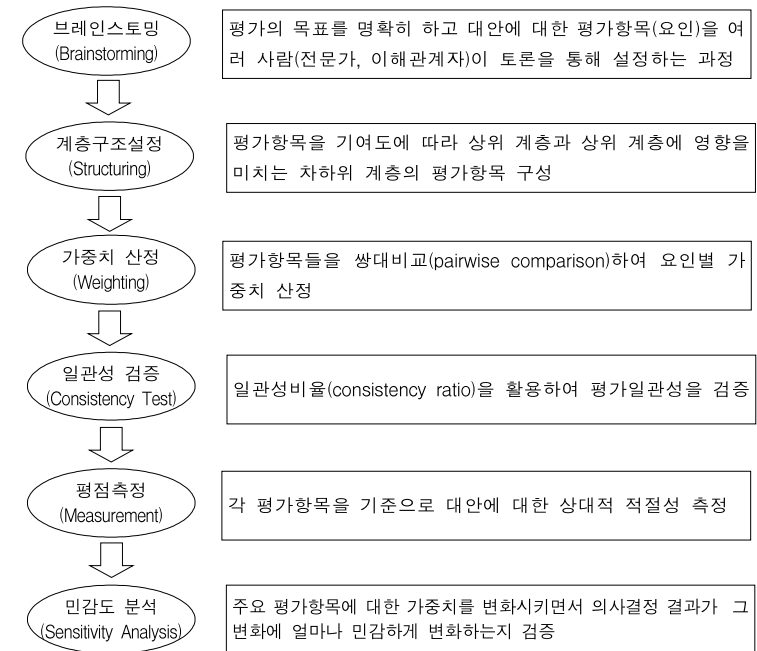
#### 1. 계층분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)기법

본 연구에서는 기상예보업무의 기상관측자료의 기여도를 파악하기 위해 AHP기법을 활용하였다. AHP기법은 다수의 대안을 합리적으로 평가하고 우선순위에 따라 최선의 대안을 결정하기 위해 주로 활용되는 분석기법으로 의사결정의 목표나 평가기준이 다수이며 복잡한 경우에는 상호 관련성이 적은 배타적 대안들을 체계적으로 평가할 수 있다.

AHP기법은 객관적 평가요인뿐만 아니라 주관적 평가요인을 포함하여 평가할 수 있는 유연성을 가진 기법으로 수리적 이론보다 참여자의 직관을 바탕으로 하기 때문에 그 논리적 접근이 쉽다. 특히 집단내 의사결정 문제를 해결하는데 유용하기 때문에 1980년대 이후 경영과학 분야에서 주요 의사결정 기법으로 인정받고 있다. 대부분의 의사결정문제가 그러하듯 불완전한 정보와 한정된 자원하에서 목적과 기준에 일치되는 최적의 대안을 선택해야 하는 문제를 가지고 있으며, 이러한 관점에서 AHP는 최종적인 목적 아래 하위기준들을 수립한 뒤 상위 목표의 관점에서 하위 기준을 평가함으로써 가중치를 부여하여 평가하는 방식을 취하고 있다.

AHP기법을 이용한 계층분석과정은 계층을 구성하고 있는 각 요소들을 상대비교(pairwise comparison)함으로써 의사결정을 내리는 기법으로 장점으로서는 첫째, 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 표현하기 때문에 보다 정확하게 구조를 파악할 수 있는 장점을 가지고, 둘째, 측정단위와 무관하게 여러 특성에 대한 비교가 가능하고, 두 특성간의 쌍대비교를 통해 선호도를 판단하면 되기 때문에 정량적 특성과 정성적 특성을 구분할 필요가 없다. 그리고 셋째, 계층분석과정은 평가자들의 판단에 대한 논리적 일관성을 검증할 수 있기 때문에 평가결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 AHP기법은 “예비타당성조사 운용지침, 제6장 예비타당성조사 분석방법, 제37조 종합평가”에 필수사항으로 활용되고 있다.

본 연구에 주요대상인 예보업무는 다양한 기상관측자료와 여러 가지 기상모델을 통한 결과를 토대로 예보관이 기상예보문을 작성·통보하고 있다. 이에 예보관 중심으로 예보업무를 수행하는데 있어 중요하게 생각하는 기상관측자료가 무엇인지를 AHP기법을 통해 분석하여 기상관측자료의 기여도를 평가하고자 한다. 이러한 AHP 기법의 분석과정은 아래 그림과 같이 브레인스토밍→계층구조설정→가중치산정→일관성검증→평점측정→민감도분석의 절차로 진행된다.

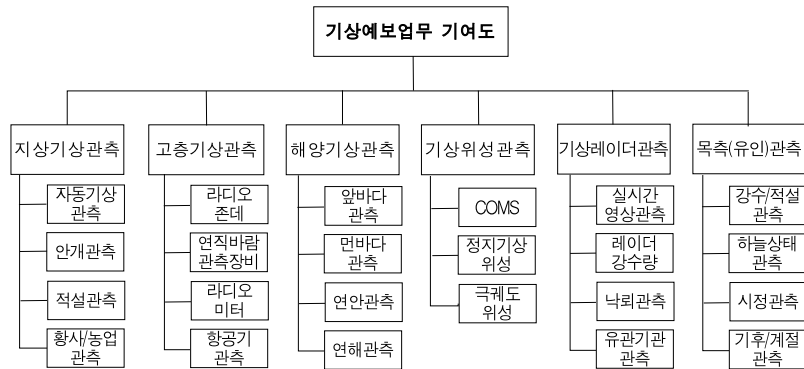


[그림 4-1] AHP 분석과정

#### 2. 기상관측자료의 계층적 구조 설계

앞 장에서 기상관측자료의 현황 자료를 토대로 기상관측자료를 카테고리화를 진행하였다. 기상관측요소별, 시간별, 장비별, 관측지점 계층별로 분류하였다. 이를 토대로 기상관측자료에 대한 정의와 기여도를 평가하기 위한 계층구조를 설정하였다. 계층별 구분은 기상관측자료를 모두 포함하며, 각 계층(Class)별 수준이 대응하도록 설정하였다.

기상관측자료의 기상예보 업무의 기여도 평가를 위해 계층 1에서 지상기상관측, 고층기상관측, 해양기상관측, 기상위성관측, 기상레이더관측, 목측관측 등 6개의 평가요인으로 구성하였다. 그리고 6개의 평가요인을 각각 3~4개 요인으로 하위계층을 구성하였다. 예를 들어 지상기상관측은 ASOS, AWS 등의 자동기상관측, 시정현천계 등의 장비가 속한 안개관측, CCTV, 초음파 적설계 등의 적설관측, 그리고 황사관측과 농업용 AWS가 있는 황사/농업 관측으로 구분하였다. 각각의 평가요인에 대한 세부설명은 아래의 그림과 표와 같다.

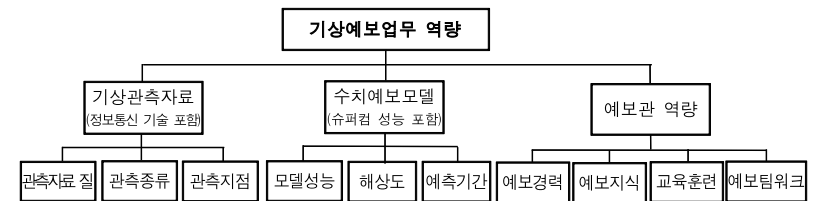


[그림 4-2] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 AHP 모형

[표 4-1] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 평가요인 세부설명 (1)

대항목	세부지표	지표 내용(대수)
지상기상관측	자동기상관측	ASOS(96), AWS(494), 운고문량계(92), 일조(96), 일사(54)
	안개관측	안개관측(시정현천계)장비(291)
	적설관측	CCTV(170), 초음파적설계(60), 레이저식적설계(122)
	황사/농업 관측	황사관측장비(34), 농업용 AWS(11)
고층기상관측	라디오(레원)존데	포항, 태풍센터, 북강릉, 백령도, 흑산도, 창원 등 6소
	연직바람관측장비	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
	라디오미터	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
	항공기관측	안다 21대
해양기상관측	앞바다 관측	등표기상관측(9), 파랑계(1), 파고부이(59)
	먼바다 관측	해상기상부이(17)
	연안 관측	연안 및 항만 기상관측(18)
	연해 관측	선박기상관측(14), 기상관측선(1)
기상위성관측	COMS	천리안위성, 천리안위성 2A
	정지기상위성	Himawari-8, GOES, FY-2E
	극궤도위성	NOAA, Aqua/Terra, METOP, DMSOP, CORIOLIS
기상레이더관측	실시간영상관측	기상청 13대(S밴드 이중편파11대)
	레이더강수량예측	MAPLE
	낙뢰관측	낙뢰관측 21개소
	국외/유관기관관측	환경부(한강홍수통제소) 7대, 국방부(공군) 9대, 중국, 일본
목적(유인)관측	강수/적설관측	강수(적설)량, 시종시간, 강수경향 등
	하늘상태관측	운량, 운형, 운중, 운향 등
	시정관측	안개유무, 최소시정 등
	기후/계절관측	개화, 단풍 등 계절관측, 기후변화 관측

그리고 본 연구에서는 부가적으로 기상예보업무의 역량 중에서 관측자료가 기여하는 정도를 파악하기 위해 기상예보업무의 역량을 AHP를 통해 측정하였다. 기상예보업무 역량의 AHP모형은 2007년 기상청 예보관 역량진단을 위한 연구((주)테크노베이션파트너스)의 설문 모형을 토대로 계층 1에는 기상관측자료, 수치예보모델, 예보관 역량으로 구성을 하였다. 계층 2는 기상관측자료는 관측 자료의 질, 관측 자료종류, 관측 지점수로 구성하였고, 수치예보모델은 모델성능, 모델해상도, 예측기간으로, 예보관 역량은 예보경력, 예보지식, 교육훈련, 예보팀워크로 평가요인을 구성하였다.



[그림 4-3] 기상예보업무 역량 평가를 위한 AHP 모형

[표 4-2] 관측자료의 기상예보업무 기여도 평가를 위한 평가요인 세부설명 (2)

대항목	세부지표	설 명
기상관측자료 (정보통신기술 포함)	관측자료 질	관측자료의 정확도, 관측간격 및 정시 전달, 자료수집·표출 능력
	관측종류	지상, 고층, 해양, 기상위성/레이더 등 관측장비, 기온, 강수량 등 관측 요소 포함
	관측지점 수	육상, 해상, 상층, 도서, 산악 등 관측위치 및 지점 수, 자료수집 능력
수치예보모델 (슈퍼컴성능 포함)	모델성능	수치모델을 통해 나온 결과물의 실제 기상현상과의 정확도
	모델해상도	수치모델 결과물의 격자 및 지역적 범위, 슈퍼컴 성능
	예측기간	수치모델 예측 선행시간 및 예측 기간, 슈퍼컴 성능
예보관 역량	예보경력	예보 관련 업무를 수행한 경력
	예보지식	예보 관련 이론 등 기본지식 및 노하우, 관련 자격증 소유
	교육훈련	예보 관련 정기/수시 교육훈련, 예보기술 진수, 예보관련 연구
	예보팀워크	예보팀장의 역할 및 팀원간 소통 능력, 예보지역내 정보확보 능력

이상과 같이 기상관측자료의 기여도를 평가하기 위해 2개의 AHP모형을 설계하였고, 추가적으로 관측자료의 개선, 중요 관측요소 및 장비, 활용도, 기상전문인력 양성 등 기상관측자료의 기여도를 평가하기 위한 15개의 설문항목을 구성하여 설문지를 작성하였다.

이렇게 작성된 설문지의 적절성을 파악하기 위해 2018년 9월 12일부터 19일까지 자문위원과 기상전문인협회 회원들을 통해 파일럿 테스트를 거쳐 모형의 적합성과 설문조사 항목의 타당성을 검토하고 설문조사를 시작하였다.

## 제2절 설문조사 실시 및 표본 분포

본 설문조사는 2018년 10월 1일부터 11월 10일까지 실시되었으며, 기상청 본청과 6개 지방기상청, 3개 지청, 항공기상청, 국립기상과학원 등 기상청 소속기관과, 기상산업기술원, 기상사업자, 기상전문인협회 회원 등을 대상으로 총 770명을 대상으로 실시되었다.

설문대상 인원은 기상청이 398명으로 51.7%를 차지하였고, 지자체 등 유관기관은 170명(22.1%), 기상전문가 202명(26.2%)이었다. 그리고 본 설문지는 기상관측자료의 기상예보업무의 기여도를 평가하는 PART 1부분과 기상예보 업무역량을 평가하는 PART 2 및 기상관측자료의 활용성, 적절성, 신뢰도 등을 조사하기 위한 기상관측업무 설문인 PART 3로 구성하였다.

이에 PART 1~3이 포함된 내부용 설문지는 516명에게 배포하였고, PART 2~3만 포함된 외부용 설문지는 254명 등 총 770부의 설문지를 배포하였다.

[표 4-3] 설문지 배포현황

구 분		설문 인원	설문분야	비 고	
기상청	본 청	예보근무자	30	PART1~3	관측정책과 협조
		관측, 행정 등	31		
	지방청	예보근무자	108		
		관측, 행정 등	59		
	수치모델링센터, 위성 등	69			
	관측전문가	101			
소 계	398				
한국형수치예보모델개발사업단		20	PART1~3	한국기상 전문인협회	
외부기관	공 군	20			
	학계, 연구계	20			
	기상전문가(협회)	58			
		84			
	지자체 등	100			
	농진청, 산림청 등	50			
기상사업체	20				
소 계	352				
합 계		770			

상기와 같이 배포된 설문지 중 총 567부의 설문지가 회수(응답률 73.6%)되었으며, 이중 일부 항목에 설문을 하지 않은 67부를 제외한 500부의 설문지가 유효하였다. 이 중 기상청 관련기관은 278명(55.6%)이며, 지자체 등 유관기관 137명(27.4%), 학계, 공군 등 기상전문가가 85명(17%)으로 나타났다.

설문응답자의 지역분포는 서울이 149명으로 29.8%를 차지하였으며, 대전 및 충청도, 부산 및 경상도 순으로 나타났다.

[표 4-4] 지역 분포

	빈도	%
<b>서울</b>	<b>149</b>	<b>29.8</b>
인천 및 경기도	52	10.4
부산 및 경상도	65	13.0
광주 및 전라도	56	11.2
대전 및 충청도	67	13.4
강원도	55	11.0
제주도	54	10.8
기타	2	.4
전체	500	100.0

직급별 분포는 대리(6~7급)이 181명으로 36.2%로 가장 높게 나타났으며, 사원(8급 이하)이 30.6%, 계장/과장(4~5급) 순으로 나타났다.

[표 4-5] 직급 분포

	빈도	%
사원(8급이하)	153	30.6
<b>대리(6~7급)</b>	<b>181</b>	<b>36.2</b>
계장/과장(4~5급)	90	18.0
부장/차장(3급)	14	2.8
이사 이상(고위공무원)	14	2.8
기타	48	9.6
전체	500	100.0

예보 관련 업무수행 경험에 응답자 중 134명인 26.8%는 수행한 경험이 없다고 응답하였으며, 366명이 예보를 한 경험이 있는 것으로 나타났다. 그리고 이중 105명은 예보관련 경험이 3~5년으로 가장 높은 빈도를 나타냈으며, 11년 이상도 97명으로 전체의 19.4%를 나타냈다.

[표 4-6] 예보 관련 업무수행 경험 분포

	빈도	%
<b>없음</b>	<b>134</b>	<b>26.8</b>
2년 이하	92	18.4
<b>3-5년 이하</b>	<b>105</b>	<b>21.0</b>
6-10년 이하	72	14.4
11년 이상	97	19.4
전체	500	100.0

업무경력 기간은 20년 이상이 167명으로 33.4% 차지하며 가장 높게 나타났으며, 10~20년 22%, 3년 이하 16.6% 순으로 나타났다.

[표 4-7] 업무경력 기간에 따른 분포

	빈도	%
3년 이하	83	16.6
3-5년	67	13.4
6-10년	73	14.6
10-20년	110	22.0
<b>20년 이상</b>	<b>167</b>	<b>33.4</b>
전체	500	100.0

현재 근무하는 소속 분포에서는 기상청 소속기관이 43.8%로 가장 높게 나타났으며, 지자체 등 공공기관이 22%, 기상청 본청이 11.8% 순으로 나타났다. 본 연구가 기상관측자료를 사용하는 기상청 내부뿐만 아니라 지자체, 기상사업자, 학계 등 외부사용자까지 모두 설문에 응답하여 대표성을 확보하였다.

[표 4-8] 현재 소속 분포

	빈도	%
기상사업자 등	27	5.4
지자체 등 공공기관	110	22.0
학계	20	4.0
기상청	59	11.8
<b>기상청 소속기관</b>	<b>219</b>	<b>43.8</b>
산하 공공기관	20	4.0
기타	45	9.0
전체	500	100.0

현재 담당업무 분야는 예보가 32.4%로 가장 높게 나타났으며, 기타 17.6%, 소방/방재가 13.8%, 관측 10.8% 순으로 나타났다.

[표 4-9] 현재 업무 분포

	빈도	%
<b>예보</b>	<b>162</b>	<b>32.4</b>
수치모델	15	3.0
관측	54	10.8
행정관리	44	8.8
소방, 방재	69	13.8
학술, 연구	47	9.4
기상산업	21	4.2
기타	88	17.6
전체	500	100.0



### 제3절 AHP 분석과정

AHP기법은 종합적 목표를 달성하기 위해 고려해야 할 기준들의 상대적 가중치와 각 기준에 있어서 대안들의 상대적 가중치를 결정한 뒤, 이들을 곱한 평점의 합을 비교하여 대안들간의 종합적 우선순위를 평가하는 방법이다(김기석, 2006).

이를 위해 1단계로 상대적 가중치를 평가하기 위하여 두 기준씩 상대비교를 한 결과를 행렬로 작성하였다.

1단계 : 상대비교 행렬 작성

	지상	고층	해양	위성	레이더	목측		지상	고층	해양	위성	레이더	목측
지상	1.000	7.0000	3.0000	0.3333	0.2000	0.5000	지상	1.000	7.0000	3.0000	0.3333	0.2000	0.5000
고층	0.1429	1.0000	1.0000	5.0000	6.0000	7.0000	고층	0.1429	1.0000	1.0000	5.0000	6.0000	7.0000
해양	0.3333	1.0000	1.0000	8.0000	9.0000	3.0000	해양	0.3333	1.0000	1.0000	8.0000	9.0000	3.0000
위성	3.0000	0.2000	0.1250	1.0000	4.0000	2.0000	위성	3.0000	0.2000	0.1250	1.0000	4.0000	2.0000
레이더	5.0000	0.16667	0.11111	0.25	1.0000	1.0000	레이더	5.0000	0.1667	0.1111	0.2500	1.0000	1.0000
목측	0.14286	0.33333	0.5	1.0000	1.0000	1.0000	목측	2.0000	0.1429	0.3333	0.5000	1.0000	1.0000

[그림 4-4] 1단계 : 상대비교 행렬 작성 예시

2단계는 상대비교 행렬의 곱을 계산하고, 3단계는 상대비교 행렬을 각 열 원소의 합이 1이 표준화한 뒤, 각 행 원소값들의 평균을 구하여 상대적 가중치 벡터를 산출한다.

2단계 : 상대비교행렬의 곱 계산

	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
지상	6.0000	17.1714	13.2308	59.9667	6.0000	17.1714
고층	59.6190	6.0000	6.0636	23.0476	59.6190	6.0000
해양	75.8095	7.8619	6.0000	24.8611	75.8095	7.8619
위성	30.0702	22.4774	10.5611	6.0000	30.0702	22.4774
레이더	6.0000	17.1714	13.2308	59.9667	6.0000	17.1714
목측	59.6190	6.0000	6.0636	23.0476	59.6190	6.0000

[그림 4-5] 2단계 : 상대비교 행렬의 곱 예시

3단계 : Eigen Vector 계산

	행합계	정규화 (Eigen Vector)
지상	119.5401	0.1359
고층	160.3393	0.1823
해양	198.2040	0.2253
위성	121.6563	0.1383
레이더	119.5401	0.1359
목측	160.3393	0.1823
합계	879.6190	1.0000

[그림 4-6] 3단계 : 벡터 산출 예시

4단계는 기준 또는 대안들의 상대비교한 결과의 일관성 비율(CR: Consistency Ratio)을 산출한다. 상대비교는 주관적인 판단이므로 완벽한 일관성은 불가능하지만, 일관성이 지나치게 부족하다고 판단되면 결과값에 반영하지 못한다. 일반적으로 AHP기법에서는 CR값이 0.1이하이면 일관성이 있는 것으로 판단된다. 일관성 비율을 산출하는 식은 아래와 같다.

$$PW = P \times W$$

$$\lambda = (PW_i / W_i) \text{의 평균값}$$

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI(n)$$

위의 식에서 P와 W는 각각 n개의 대안들을 상대비교한 행렬과 가중치 벡터이며, PW<sub>i</sub>와 W<sub>i</sub>는 각 벡터의 i번째 원소를 나타낸다. 그리고 CI는 일관성 지수이고, RI(n)은 n개의 기준들을 무작위로 상대비교한 결과의 일관성 지수로 다음과 같다.

n	3	4	5	6	7	8
RI(n)	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41

4단계 : 일관성 검토

	상대비교행렬 X Eigen Vector (λ)	①/Eigen Vector
지상	2.2523	16.5732
고층	3.2099	17.6096
해양	3.3293	14.7753
위성	1.5188	10.9814
레이더	1.0877	8.0035
목측	0.7603	4.1709
λ <sub>max</sub> - n		8.0190
CI		2.6730
RI		0.89
CR		3.003366
Consistency		No

[그림 4-7] 4단계 : 일관성 비율 검토 예시

5단계는 이러한 과정을 통해 각각의 대안별로 기여도가 산출된 CR이 0.1이하인 응답자의 기여도 값만을 하나의 시트로 통합하고, 집단간의 차이 등을 위해 응답자의 인적사항을 포함하여 하나의 데이터로 작성하였다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		비중	크중	중중	최중	중이중	중중	중	CR	대보결합	소속	답보결합	
1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.0000	1.250	0.00	1	5	1
2	0.141	0.141	0.095	0.087	0.079	0.052	0.0260	1.250	0.02	2	5	1	
3	0.144	0.446	0.038	0.085	0.223	0.061	0.0411	1.250	0.01	3	7	8	
4	0.205	0.042	0.218	0.108	0.164	0.061	0.0520	1.250	0.04	1	5	3	
5	0.265	0.079	0.061	0.117	0.126	0.190	0.0541	1.250	0.04	3	5	3	
6	0.432	0.064	0.037	0.142	0.227	0.097	0.0612	1.250	0.05	4	5	1	
7	0.432	0.064	0.037	0.142	0.227	0.097	0.0612	1.250	0.05	3	5	1	
8	0.162	0.065	0.029	0.109	0.102	0.251	0.0654	1.250	0.05	4	5	4	
9	0.259	0.071	0.049	0.156	0.141	0.121	0.0671	1.250	0.05	1	5	4	
10	0.260	0.120	0.052	0.171	0.171	0.216	0.0698	1.250	0.06	3	5	1	
11	0.223	0.091	0.039	0.136	0.440	0.068	0.0707	1.250	0.06	4	4	1	
13	0.178	0.071	0.055	0.091	0.136	0.067	0.0735	1.250	0.06	2	5	1	
14	0.458	0.047	0.047	0.090	0.141	0.217	0.0759	1.250	0.06	1	5	4	
15	0.444	0.049	0.030	0.101	0.118	0.238	0.0770	1.250	0.06	2	5	1	
18	0.267	0.134	0.034	0.102	0.202	0.061	0.0841	1.250	0.07	2	5	1	
17	0.166	0.045	0.082	0.235	0.373	0.099	0.0870	1.250	0.07	2	5	1	
18	0.426	0.049	0.031	0.156	0.087	0.258	0.0872	1.250	0.07	3	5	1	
19	0.286	0.191	0.155	0.096	0.123	0.147	0.0901	1.250	0.07	2	5	1	
20	0.451	0.046	0.031	0.071	0.221	0.175	0.0904	1.250	0.07	2	5	4	
21	0.427	0.265	0.045	0.088	0.088	0.088	0.0918	1.250	0.07	4	5	1	
22	0.177	0.034	0.198	0.068	0.245	0.077	0.0927	1.250	0.07	3	4	7	
23	0.400	0.031	0.185	0.067	0.239	0.076	0.0950	1.250	0.08	3	4	7	
24	0.419	0.059	0.024	0.080	0.268	0.150	0.0991	1.250	0.08	3	4	8	
25	0.149	0.042	0.026	0.099	0.182	0.101	0.1008	1.250	0.08	4	5	1	
26	0.296	0.075	0.054	0.191	0.222	0.161	0.1044	1.250	0.08	2	5	4	
27	0.049	0.120	0.096	0.201	0.185	0.149	0.1045	1.250	0.08	3	5	1	
28	0.267	0.047	0.031	0.136	0.454	0.071	0.1048	1.250	0.08	3	5	1	
29	0.172	0.128	0.176	0.180	0.219	0.125	0.1049	1.250	0.08	4	5	1	
30	0.142	0.256	0.075	0.051	0.442	0.034	0.1054	1.250	0.08	1	5	2	
31	0.196	0.030	0.047	0.095	0.441	0.190	0.1059	1.250	0.08	1	3	6	
32	0.278	0.026	0.038	0.065	0.502	0.090	0.1062	1.250	0.08	2	4	1	
33	0.457	0.044	0.051	0.112	0.259	0.077	0.1071	1.250	0.09	2	5	8	
34	0.160	0.060	0.294	0.051	0.095	0.141	0.1096	1.250	0.09	5	3	6	
35	0.075	0.025	0.040	0.246	0.465	0.149	0.1108	1.250	0.09	4	5	3	
36	0.470	0.257	0.138	0.044	0.065	0.027	0.1108	1.250	0.09	5	7	8	
37	0.414	0.141	0.112	0.117	0.089	0.124	0.1127	1.250	0.09	4	5	1	
38	0.255	0.021	0.286	0.079	0.307	0.049	0.1129	1.250	0.09	3	6	8	
39	0.255	0.021	0.286	0.079	0.307	0.049	0.1129	1.250	0.09	3	6	8	
40	0.400	0.167	0.029	0.135	0.101	0.166	0.1130	1.250	0.09	2	5	8	
41	0.259	0.020	0.035	0.085	0.492	0.108	0.1168	1.250	0.09	3	4	3	

[그림 4-8] 5단계 : 최종분석 데이터 예시

## 제4절 AHP 분석결과

본 연구의 AHP분석은 2가지로 구분하여 분석하였다. 첫째, 기상예보에 활용되는 기상관측자료 중 기상예보업무에 기여도가 큰 관측종류 및 요소를 도출하기 위한 기상예보업무 기여도와 둘째, 기상예보업무 역량의 중요한 요소인 기상관측자료, 수치예보모델, 예보관 역량에서 기상관측자료가 미치는 영향력을 분석하는 것으로 구분된다.

### 1. 기상관측자료의 기상예보업무 기여도

기상예보업무 기여도를 분석하기 위해 활용된 설문지는 총 366부 중 미응답 43부, 인적사항 미표기 8부, 모두 1로 표기한 1부 등을 제외한 314부의 설문응답을 토대로 분석하였다.

[표 4-10] 기상예보업무 기여도 설문지 개요

구분	응답자수	미응답	인적사항 미표기	모두 1로 표기	분석 설문지 수
빈도수	366	43	8	1	314

기초자료를 토대로 설문응답자의 일관성 비율을 측정하였다. 일관성 비율은 설문응답자가 얼마나 일관적인 기준을 가지고 응답하였는지를 검토하는 것으로 일반적인 AHP모형에서는 3~4개의 대안만을 대상으로 CR<0.1인 설문응답을 유효한 설문지로 분석을 한다. 하지만 본 연구모형에서 계층 1의 관측요인은 기상예보에 기여하는 모든 기상관측자료를 반영하기 위해 대안을 6개로 카테고리화하였다. 이에 따라 평가자가 정확한 일관성을 가지고 응답하기 어려운 점이 있다. 이에 계층 1의 항목(Q1~Q3)을 평가하는 3개의 문항에 대해서는 CR<0.2로 완화하여 대안별 가중치를 분석하였다.

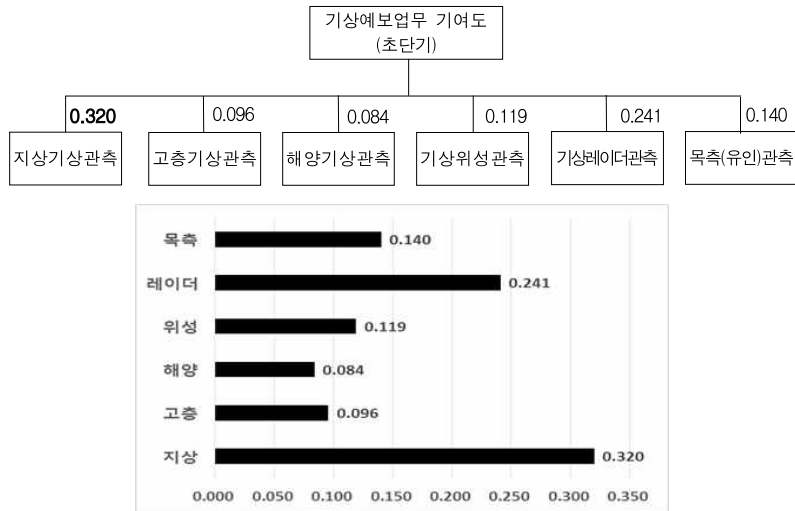
[표 4-11] 기상예보업무 기여도 일관성 지수 평가결과

구분	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
설문지수	314	314	314	314	314	314	314	314	314
CR	CR>0.2			CR>0.1					
	148	200	197	197	197	168	172	187	192
최종분석 설문부수	131	114	117	117	117	146	142	127	122

(1) 초단기예보

기상실황 감시나 6시간 이내의 초단기예보, 기상특보 업무에 대해 6개 관측분야에 대한 기상예보업무 기여도를 측정된 결과, 지상기상관측이 0.320으로 가장 높았으며, 기상레이더 관측이 0.241, 목측관측이 0.140, 기상위성관측이 0.119순으로 나타났다.

통상적으로 초단기예보에서는 기상레이더 관측자료가 실황과약용으로 많이 활용된다고 인지하고 있다. 하지만 본 조사결과, 지상기상관측이 더 중요한 것으로 나타났으며, 목측 관측도 3순위로 기상위성이나 해양기상, 고층기상관측보다 높게 나타났다.



[그림 4-9] 기상관측자료의 초단기예보 기여도

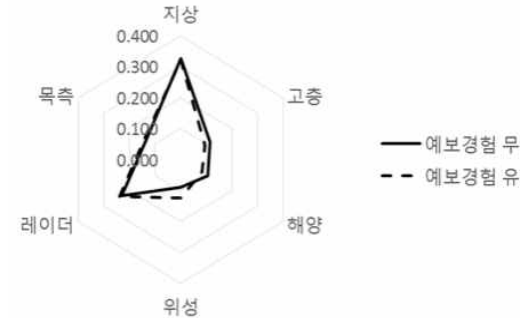
본 설문에서는 일관성 비율을 CR<0.2로 분석한 결과와 CR<0.1로 분석한 결과 큰 차이가 없었다.

[표 4-12] 기상관측자료의 초단기예보 기여도 일관성 비율 비교

	샘플수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
CR<0.1	41	0.306	0.108	0.090	0.115	0.247	0.134
CR<0.2	131	0.320	0.096	0.084	0.119	0.241	0.140

예보경력에 따라 구분하여 집단간의 차이를 분석한 결과, 예보경력에 유, 무와 관계없이 지상기상관측의 중요성이 가장 높게 나타났고, 다음으로 레이더, 3번째를 목측(유인)관측으로 응답해서 초단기에서는 목측관측이 중요한 것으로 응답했다.

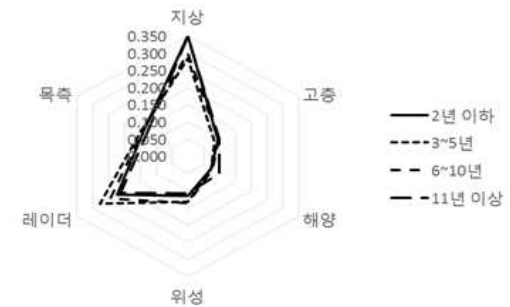
	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
전체평균	0.320	0.096	0.084	0.119	0.241	0.140
예보경력_무	0.326	0.115	0.105	0.088	0.232	0.134
예보경력_유	0.321	0.094	0.082	0.123	0.239	0.141



[그림 4-10] 예보경력에 따른 초단기예보 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 6개의 관측분야에 대해 우선순위는 변동이 없었다.

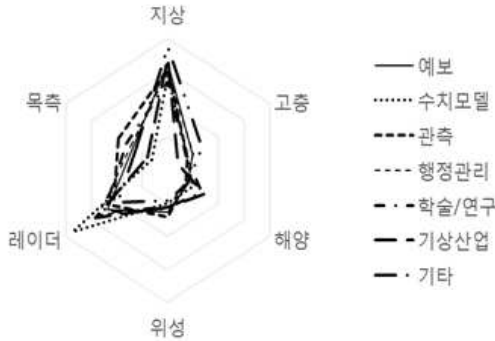
예보경력	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
2년 이하	29	0.350	0.095	0.074	0.116	0.223	0.142
3~5년	39	0.285	0.085	0.074	0.132	0.277	0.147
6~10년	20	0.300	0.097	0.078	0.136	0.245	0.144
11년 이상	29	0.349	0.100	0.100	0.108	0.212	0.130



[그림 4-11] 예보경력 기간에 따른 초단기예보 기여도

현재 담당업무별 차이를 분석한 결과, 전체적으로 평균과 비슷한 경향을 보였으나 수치모델 담당은 모델에 입력되는 자료 중 기상레이더자료의 중요성이 반영되었고, 관측업무 담당은 목측 관측의 기여도가 0.192로 다른 집단보다 현저히 높게 나타났다.

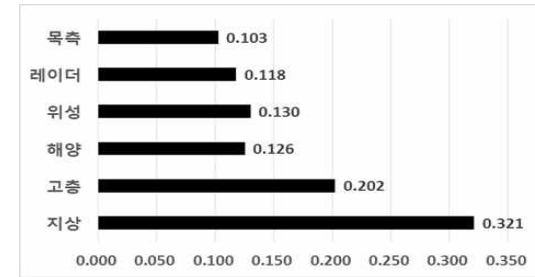
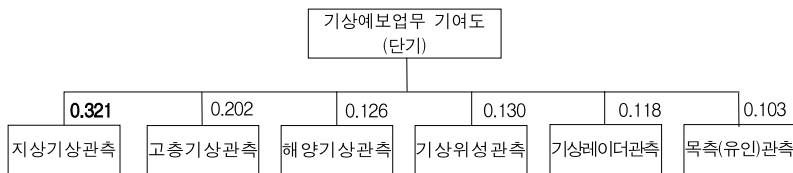
담당업무	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
예보	59	0.324	0.097	0.080	0.125	0.236	0.137
수치모델	6	0.287	0.079	0.098	0.100	0.372	0.064
관측	19	0.306	0.077	0.071	0.141	0.213	0.192
행정관리	16	0.298	0.100	0.070	0.116	0.269	0.147
학술/연구	7	0.267	0.075	0.133	0.112	0.250	0.163
기상산업	5	0.341	0.040	0.142	0.113	0.285	0.079
기타	18	0.374	0.136	0.078	0.091	0.195	0.127



[그림 4-12] 담당업무에 따른 초단기예보 기여도

## (2) 단기예보

예보 선행시간이 6시간에서 3일까지의 단기예보 업무의 경우, 기상예보업무 기여도를 측정할 결과, 지상기상관측이 0.321으로 가장 높았으며, 고층기상관측 0.202, 기상위성관측 0.130, 해양기상관측 0.126순으로 나타났다.



[그림 4-13] 기상관측자료의 단기예보 기여도

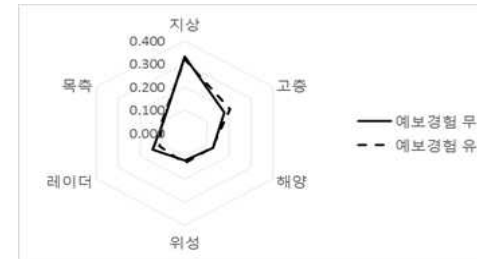
그리고 CR<0.1의 결과와 비교해보면, CR<0.2에서는 (1)지상-(2)고층-(3)위성-(4)해양-(5)레이더-(6)목측 순이었지만, CR<0.1에서는 위성과 해양이 공동 3순위로 동일하였고, (5)목측-(6)레이더 순으로 차이를 나타냈다.

[표 4-13] 기상관측자료의 단기예보 기여도 일관성 지수 비교

	샘플수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
CR<0.1	45	0.329	0.217	0.124	0.124	0.091	0.116
CR<0.2	114	0.321	0.202	0.126	0.130	0.118	0.103

예보경력 유무에 따라 구분하여 집단간의 차이를 분석한 결과, 예보경력 유무에 상관없이 (1)지상-(2)고층 순이었지만, 예보경력이 있는 집단은 고층과 위성의 기여도 예보경력이 없는 집단보다 기여도를 크게 평가해 단기예보에서는 고층 및 위성 기상관측 자료가 대기의 중간층 흐름을 반영하여 예측기간 확대에 필요한 것으로 인지하고 있기 때문인 것으로 추측된다.

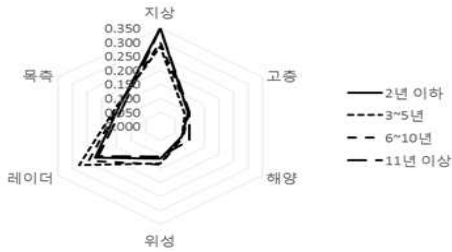
	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
전체평균	0.321	0.202	0.126	0.130	0.118	0.103
예보경력 무	0.332	0.178	0.127	0.119	0.145	0.098
예보경력 유	0.319	0.207	0.125	0.132	0.113	0.103



[그림 4-14] 예보경력에 따른 단기예보 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 예보경력 기간에 따른 기여도의 순위는 변화가 없었다. 하지만 고층기상관측의 중요성은 2년이하보다 11년 이상의 집단에서 기여도가 약 10%정도 더 높아졌다.

예보경력	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
2년 이하	29	0.350	0.095	0.074	0.116	0.223	0.142
3~5년	39	0.285	0.085	0.074	0.132	0.277	0.147
6~10년	20	0.300	0.097	0.078	0.136	0.245	0.144
11년 이상	29	0.349	0.100	0.100	0.108	0.212	0.130



[그림 4-15] 예보경력 기간에 따른 단기예보 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 관측업무 담당자의 경우 지상기상관측의 비중이 가장 높게 나타났으며, 예보담당자의 경우 기상위성관측의 비중이 그리고 수치모델 담당자의 경우 기상레이더 기여도가 다른 집단보다 상대적으로 높게 나타났다.

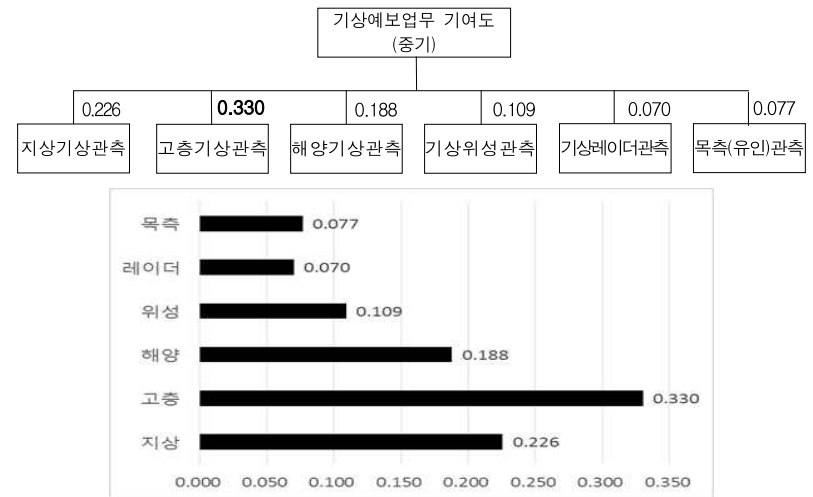
담당업무	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
예보	46	<b>0.322</b>	0.200	0.116	<b>0.147</b>	0.102	0.113
수치모델	5	<b>0.303</b>	0.157	0.142	0.117	<b>0.238</b>	0.043
관측	13	<b>0.338</b>	0.231	0.171	0.089	0.090	0.082
행정관리	14	<b>0.278</b>	0.228	0.109	0.150	0.131	0.105
소방/방재	1	<b>0.369</b>	0.107	0.107	0.107	0.156	0.156
학술/연구	11	<b>0.291</b>	0.231	0.114	0.140	0.132	0.092
기상산업	5	<b>0.281</b>	0.253	0.228	0.119	0.070	0.049
기타	19	<b>0.371</b>	0.158	0.106	0.105	0.137	0.123



[그림 4-16] 담당업무에 따른 단기예보 기여도

### (3) 중기예보

예보 선행시간이 3일에서 10일까지의 중기예보 업무의 경우, 6개의 관측분야에 대한 기상예보업무 기여도를 측정된 결과, 고층기상관측이 0.330으로 가장 높았으며, 지상기상관측 0.226, 해양기상관측 0.188 순으로 나타났다.



[그림 4-17] 기상관측자료의 중기예보 기여도

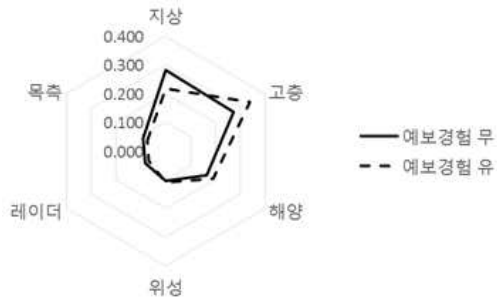
그리고 CR<0.1의 결과와 비교해보면, CR<0.2와 기여도 순위에서는 차이가 없이 동일하게 나타났다.

[표 4-14] 기상관측자료의 중기예보 기여도 일관성 지수 비교

	샘플수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
CR<0.2	117	<b>0.226</b>	<b>0.330</b>	0.188	0.109	0.070	0.077
CR<0.1	55	<b>0.254</b>	<b>0.334</b>	0.169	0.098	0.062	0.083

예보경력의 유무에 따라 차이를 분석한 결과, 예보경력이 없는 집단에서는 (1)지상-(2)고층 순이었지만, 예보경력이 있는 집단은 (1)고층-(2)지상으로 기여도 순위가 바뀌었고, 해양의 기여도가 커지는 차이를 나타냈다. 이는 예보관들이 중기예보에서는 고층기상관측 자료가 대기의 중간층 흐름을 반영하며 해양기상의 변동은 단기 보다 중기적 성격이 강해 예측기간 확대에 필요한 것임을 인지하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

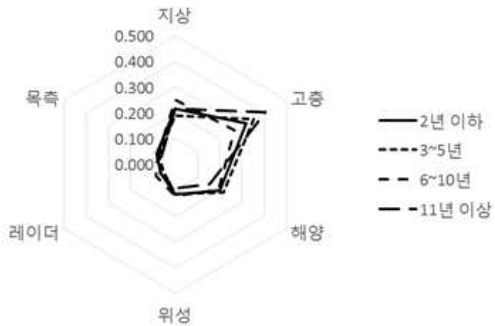
	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
전체평균	0.226	0.330	0.188	0.109	0.070	0.077
예보경력_무	<b>0.282</b>	<b>0.273</b>	0.166	0.104	0.084	0.091
예보경력_유	<b>0.217</b>	<b>0.339</b>	0.191	0.110	0.068	0.075



[그림 4-18] 예보경력에 따른 중기예보 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 예보경력 기간에 따른 기여도의 순위는 변화가 없었다. 하지만 고층기상관측의 중요성은 2년 이하보다 11년 이상의 집단에서 기여도가 약 10% 정도 더 높게 평가했다.

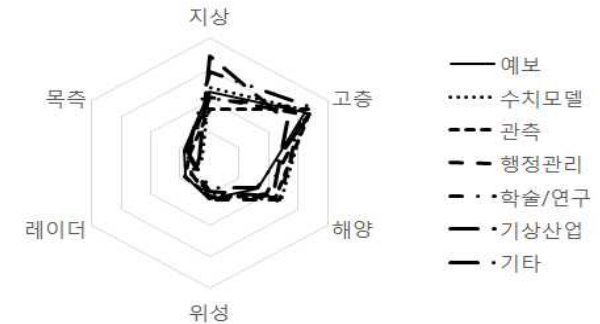
예보경력	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
2년 이하	23	0.216	<b>0.317</b>	0.201	0.115	0.065	0.084
3~5년	27	0.190	<b>0.353</b>	0.217	0.112	0.053	0.075
6~10년	24	0.251	<b>0.265</b>	0.195	0.123	0.087	0.079
11년 이상	28	0.216	<b>0.406</b>	0.155	0.091	0.069	0.062



[그림 4-19] 예보경력 기간에 따른 중기예보 기여도

현재 담당업무별 차이를 분석한 결과, 전체적으로 집단간의 큰 차이는 없지만 기상산업의 경우 지상기상관측의 기여도가 1순위로 0.342를 나타내는 차이를 보였다. 하지만 표본수가 2명으로 통계적으로는 유의하지 않는 것으로 판단된다.

담당업무	표본수	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
예보	49	0.228	<b>0.324</b>	0.162	0.117	0.083	0.086
수치모델	5	0.241	<b>0.332</b>	0.239	0.094	0.066	0.028
관측	19	0.172	<b>0.346</b>	0.224	0.107	0.086	0.065
행정관리	13	0.209	<b>0.313</b>	0.238	0.116	0.045	0.078
소방/방재	1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
학술/연구	12	0.208	<b>0.345</b>	0.193	0.119	0.062	0.073
기상산업	2	<b>0.342</b>	0.265	0.214	0.093	0.049	0.037
기타	16	0.291	<b>0.354</b>	0.161	0.078	0.039	0.077

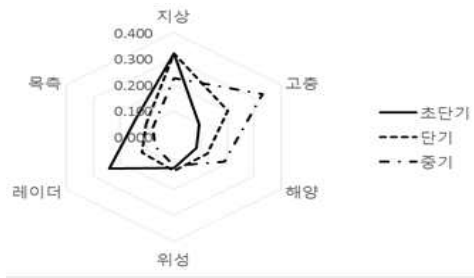


[그림 4-20] 담당업무에 따른 중기예보 기여도

지금까지 기상관측자료가 초단기, 단기, 중기 예보업무에 기여도를 살펴보았다. 그 결과를 비교해 보면, 초단기예보에서는 (1)지상-(2)레이더-(3)목측 순이었지만, 단기예보에서는 (1)지상-(2)고층-(3)위성, 중기예보에서는 (1)고층-(2)지상-(3)해양순으로 예보기간에 따라 기상관측자료의 기여도가 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 예보기간이 길어질수록 넓은 범위의 관측자료가 필요함에 따라 고층기상과 해양기상 관측자료의 중요성이 커진 것으로 추측된다.

따라서, 고층과 해양기상 관측망의 확대 등을 검토하여 기상청의 중장기 계획에 반영해야 할 것이다.

	지상	고층	해양	위성	레이더	목측
초단기예보	<b>0.320</b>	0.096	0.084	0.119	0.241	0.140
단기예보	<b>0.321</b>	0.202	0.126	0.130	0.118	0.103
중기예보	0.226	<b>0.330</b>	0.188	0.109	0.070	0.077

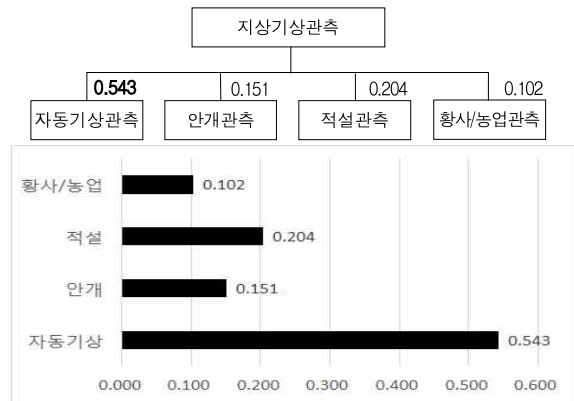


[그림 4-21] 예보기간별 기상관측자료의 기상예보 기여도

## 2. 기상관측 요소별 기여도

### (1) 지상기상관측

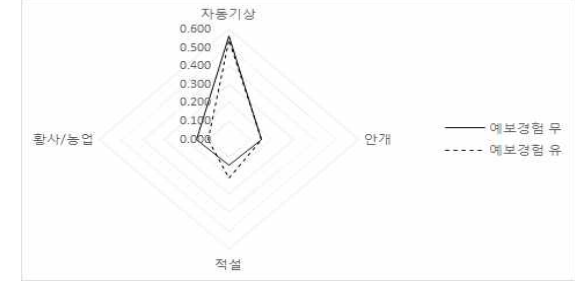
지상기상관측을 구성하는 자동기상관측, 안개관측, 적설관측, 황사/농업관측의 기여도를 분석해보면, ASOS, AWS 등의 자동기상관측 기여도가 0.543으로 절대적으로 높았으며, 적설관측 0.204, 안개관측 0.151, 황사/농업관측 0.102로 기여도가 나타났다.



[그림 4-22] 지상기상관측의 기여도

예보경력 유무에 따라 지상기상관측의 기여도를 비교한 결과, 예보경력이 없는 집단은 안개, 적설, 황사/농업의 기여도를 비슷하게 평가했지만, 예보경력이 있는 집단은 적설, 안개, 황사/농업 순으로 방재기상에 대한 중요성이 반영된 것으로 추측된다.

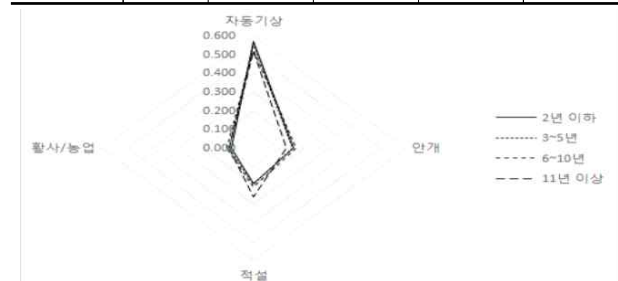
	자동기상	안개	적설	황사/농업
<b>전체평균</b>	<b>0.543</b>	<b>0.151</b>	<b>0.204</b>	<b>0.102</b>
예보경력_무	0.559	0.152	0.141	0.148
예보경력_유	0.541	0.151	0.212	0.096



[그림 4-23] 예보경력에 따른 지상기상관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 기여도의 순위는 변화가 없었다. 하지만 근무연수가 많을수록 적설관측의 기여도가 높아졌다.

예보경력	표본수	자동기상	안개	적설	황사/농업
2년 이하	25	<b>0.568</b>	0.157	0.189	0.086
3~5년	31	<b>0.556</b>	0.153	0.195	0.096
6~10년	21	<b>0.520</b>	0.166	0.206	0.108
11년 이상	26	<b>0.514</b>	0.129	<b>0.260</b>	0.096



[그림 4-24] 예보경력 기간에 따른 지상기상관측의 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 1순위는 모든 집단에서 자동기상관측으로 동일하였지만, 예보와 기상산업 업무 담당자의 경우 적설관측의 중요성을 2순위로 선택하고 기여도도 다른 집단들보다 높게 평가했다.

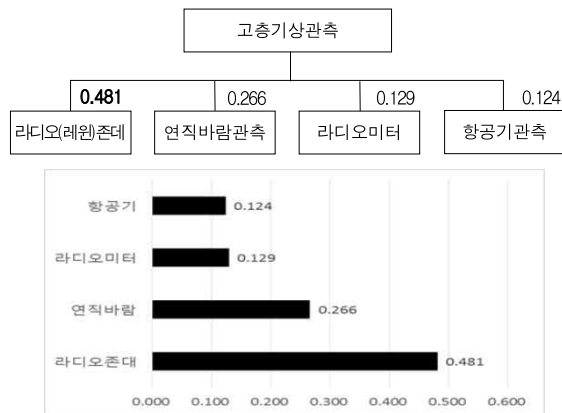
담당업무	표본수	자동기상	안개	적설	황사/농업
예보	45	<b>0.522</b>	0.140	<b>0.246</b>	0.092
수치모델	8	<b>0.551</b>	0.146	0.160	0.143
관측	18	<b>0.580</b>	0.197	0.135	0.089
행정관리	13	<b>0.549</b>	0.154	0.186	0.111
소방/방재	1	<b>0.552</b>	0.125	0.070	0.253
학술/연구	11	<b>0.523</b>	0.178	0.176	0.123
기상산업	6	<b>0.491</b>	0.140	<b>0.272</b>	0.097
기타	15	<b>0.590</b>	0.113	0.199	0.097



[그림 4-25] 담당업무에 따른 기상기상관측의 기여도

## (2) 고층기상관측

고층기상관측을 구성하는 라디오(레원)존대, 연직바람관측, 라디오미터, 항공기관측의 기여도를 분석해보면, 라디오(레원)존대의 기여도가 0.481으로 가장 높게 나타났으며, 연직바람관측 0.266, 라디오미터 0.129, 항공기관측 0.124로 기여도가 나타났다.



[그림 4-26] 고층기상관측의 기여도

예보경력 유무에 따라 고층기상관측의 기여도를 비교한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

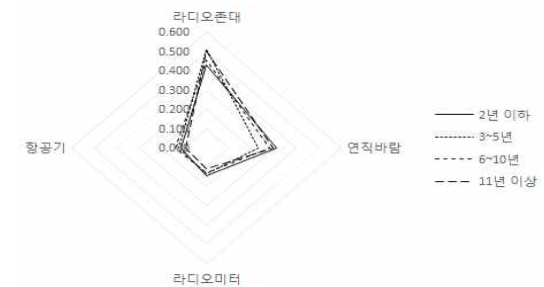
	레원존대	연직바람	라디오미터	항공기
<b>전체평균</b>	<b>0.481</b>	<b>0.266</b>	<b>0.129</b>	<b>0.124</b>
예보경력_무	0.500	0.211	0.131	0.159
예보경력_유	0.478	0.276	0.129	0.118



[그림 4-27] 예보경력에 따른 기상기상관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 연차별로 기여도의 순위는 차이가 없었다.

예보경력	표본수	레원존대	연직바람	라디오미터	항공기
2년 이하	26	<b>0.430</b>	<b>0.311</b>	0.145	0.115
3~5년	30	<b>0.514</b>	<b>0.227</b>	0.136	0.123
6~10년	20	<b>0.456</b>	<b>0.279</b>	0.126	0.139
11년 이상	23	<b>0.502</b>	<b>0.297</b>	0.105	0.096



[그림 4-28] 예보경력 기간에 따른 고층기상관측의 기여도



현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 1, 2순위는 집단별로 차이가 없었지만, 수치모델, 학술/연구, 기상산업 업무 담당자는 3순위로 항공기 관측, 4순위는 라디오미터로 기여도가 차이를 나타냈다.

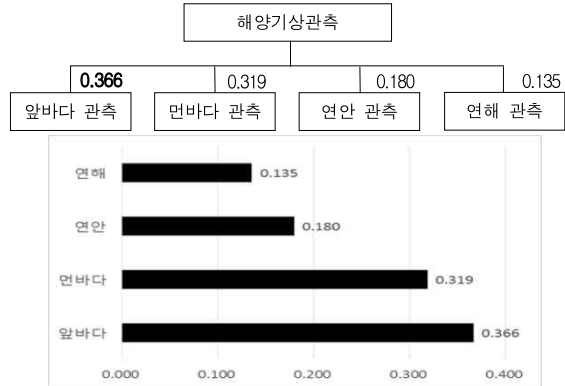
담당업무	표본수	레원존데	연직바람	라디오미터	항공기
예보	47	<b>0.459</b>	0.298	0.126	0.117
수치모델	10	<b>0.507</b>	0.206	0.113	<b>0.173</b>
관측	20	<b>0.457</b>	0.239	0.158	0.146
행정관리	13	<b>0.423</b>	0.330	0.140	0.107
학술/연구	8	<b>0.524</b>	0.204	0.123	<b>0.148</b>
기상산업	4	<b>0.557</b>	0.254	0.094	<b>0.095</b>
기타	15	<b>0.571</b>	0.220	0.117	0.092



[그림 4-29] 담당업무에 따른 고층기상관측의 기여도

### (3) 해양기상관측

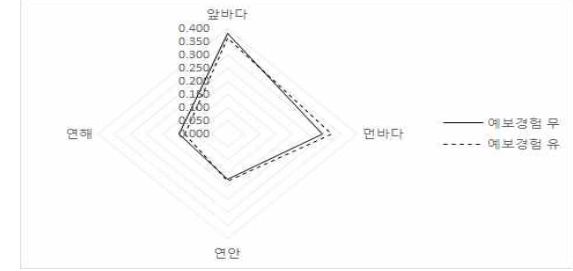
해양기상관측을 구성하는 앞바다관측, 먼바다관측, 연안관측, 연해관측의 기여도를 분석해보면, 앞바다관측의 기여도 0.366으로 가장 높게 나타났으며, 먼바다관측 0.319, 연안관측 0.180, 연해관측 0.135로 기여도가 나타났다.



[그림 4-30] 해양기상관측의 기여도

예보경력 유무에 따라 해양기상관측의 기여도를 비교한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

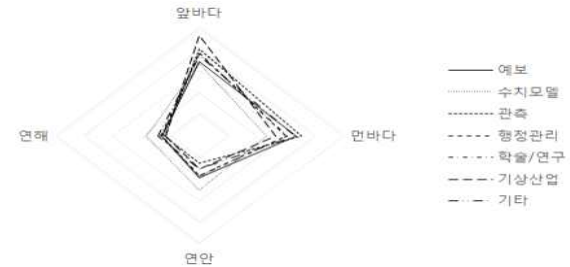
	앞바다	먼바다	연안	연해
<b>전체 평균</b>	<b>0.366</b>	<b>0.319</b>	<b>0.180</b>	<b>0.135</b>
예보경력_무	<b>0.383</b>	<b>0.292</b>	0.173	0.152
예보경력_유	<b>0.364</b>	<b>0.322</b>	0.181	0.133



[그림 4-31] 예보경력에 따른 해양기상관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 연차별로 기여도의 순위는 차이가 없었다.

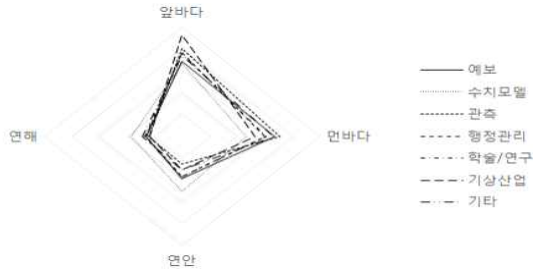
예보경력	표본수	앞바다	먼바다	연안	연해
2년 이하	33	<b>0.383</b>	<b>0.292</b>	0.173	0.152
3~5년	40	<b>0.364</b>	<b>0.322</b>	0.181	0.133
6~10년	23	<b>0.369</b>	<b>0.306</b>	0.195	0.131
11년 이상	31	<b>0.402</b>	<b>0.318</b>	0.159	0.122



[그림 4-32] 예보경력 기간에 따른 해양기상관측의 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 수치모델 업무담당자의 경우 (1) 앞바다관측-(2)연안관측-(3)먼바다관측-(4)연해관측으로 기여도 순위가 다르게 나타났다.

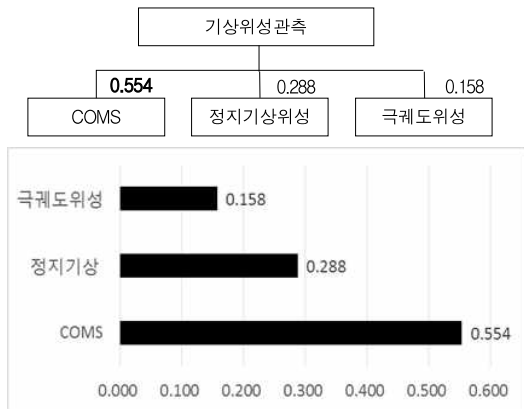
담당업무	표본수	앞바다	면바다	연안	연해
예보	62	<b>0.341</b>	0.332	0.195	0.132
수치모델	8	<b>0.333</b>	<b>0.231</b>	<b>0.251</b>	<b>0.184</b>
관측	21	<b>0.401</b>	0.350	0.126	0.122
행정관리	18	<b>0.384</b>	0.300	0.185	0.130
소방/방재	1	<b>0.495</b>	0.092	0.206	0.206
학술/연구	13	<b>0.376</b>	0.303	0.186	0.135
기상산업	5	<b>0.464</b>	0.261	0.155	0.119
기타	18	<b>0.370</b>	0.331	0.154	0.145



[그림 4-33] 담당업무에 따른 해양기상관측의 기여도

#### (4) 기상위성관측

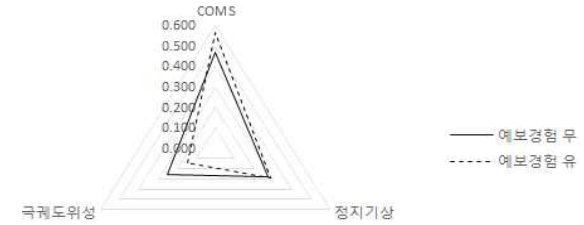
기상위성관측을 구성하는 COMS, 정지기상위성, 극궤도위성의 기여도를 분석해보면, 천리안위성이 있는 COMS의 기여도가 0.554로 절대적으로 높았으며, 정지기상위성 0.288, 극궤도위성 0.158의 기여도가 나타났다.



[그림 4-34] 기상위성관측의 기여도

예보경력 유무에 따라 해양기상관측의 기여도를 비교한 결과, 집단간의 순위 차이는 없었다. 다만 예보경력이 있는 집단에서 COMS, 정지위성의 기여도를 높게 평가해 예보업무에서 해당 관측 자료활용이 많음을 나타내었다.

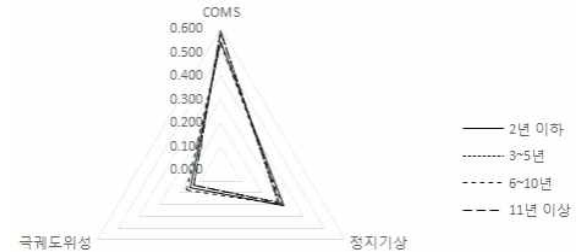
	COMS	정지기상	극궤도위성
<b>전체평균</b>	<b>0.554</b>	<b>0.288</b>	<b>0.158</b>
예보경력_무	<b>0.472</b>	<b>0.277</b>	0.251
예보경력_유	<b>0.566</b>	<b>0.290</b>	0.144



[그림 4-35] 예보경력에 따른 기상위성관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 연차별로 기여도의 순위는 차이가 없었다.

예보경력	표본수	COMS	정지기상	극궤도위성
2년 이하	29	<b>0.543</b>	<b>0.308</b>	0.149
3~5년	34	<b>0.589</b>	<b>0.279</b>	0.132
6~10년	25	<b>0.537</b>	<b>0.293</b>	0.170
11년 이상	36	<b>0.583</b>	<b>0.283</b>	0.134



[그림 4-36] 예보경력 기간에 따른 해양기상관측의 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 수치모델 업무 담당자만이 2순위로 극궤도위성, 3순위로 정지기상위성 순으로 기여도가 분석되었다. 이는 수치모델

입력자료에서 극궤도위성의 상세 관측자료의 중요성이 반영된 것으로 추측된다.

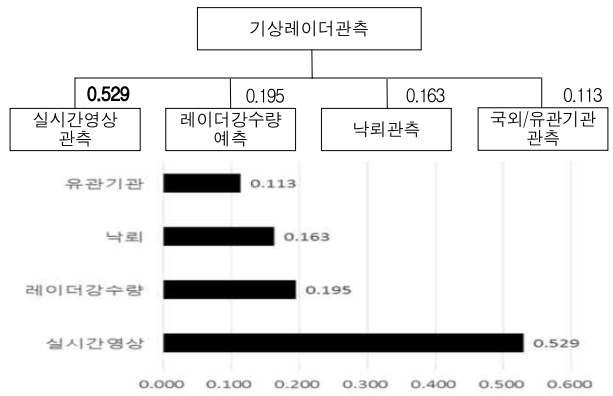
담당업무	표본수	COMS	정지기상	극궤도위성
예보	57	0.546	0.327	0.126
수치모델	8	<b>0.479</b>	<b>0.193</b>	<b>0.328</b>
관측	21	0.549	0.280	0.171
행정관리	20	0.557	0.254	0.189
소방/방재	1	0.333	0.333	0.333
학술/연구	16	0.605	0.249	0.146
기상산업	1	0.429	0.429	0.143
기타	18	0.589	0.281	0.130



[그림 4-37] 담당업무에 따른 기상위성관측의 기여도

### (5) 기상레이더관측

기상레이더관측은 실시간영상관측, 레이더강수량 예측, 낙뢰관측, 국외 및 유관기관 관측으로 구성되어 있다. 이들의 기여도를 분석해보면, 실시간영상관측의 기여도가 0.529로 절대적으로 나타났으며, 레이더강수량 예측 0.195, 낙뢰관측 0.163, 국외/유관기관 관측 0.113순으로 기여도를 나타냈다.



[그림 4-38] 기상레이더 관측의 기여도

예보경력 유무에 따라 기상레이더 관측의 기여도를 비교한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

	실시간영상	레이더강수량	낙뢰	유관기관
<b>전체 평균</b>	<b>0.529</b>	<b>0.195</b>	<b>0.163</b>	<b>0.113</b>
예보경력_무	0.514	0.241	0.141	0.104
예보경력_유	<b>0.532</b>	<b>0.188</b>	0.166	0.114



[그림 4-39] 예보경력에 따른 기상레이더 관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 11년 이상의 예보경력자의 경우 낙뢰 관측이 2순위로 다른 집단과 차이를 나타냈고, 6~10년 예보경력자는 3순위로 국외/유관기관 관측의 기여도를 높게 평가하였다.

예보경력	표본수	실시간영상	레이더강수량	낙뢰	유관기관
2년 이하	31	0.541	<b>0.222</b>	0.138	0.100
3~5년	34	0.518	<b>0.191</b>	0.175	0.116
6~10년	22	0.552	<b>0.160</b>	0.138	0.150
11년 이상	24	0.521	0.166	<b>0.216</b>	0.097



[그림 4-40] 예보경력 기간에 따른 기상레이더 관측의 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 실시간영상관측이 모든 집단에서 1순위였지만, 예보와 학술/연구 업무 담당자는 (2)낙뢰-(3)레이더강수량 순으로 차이

를 나타냈으며, 수치모델 업무 담당자는 (3)국내/유관기관관측-(4)낙뢰관측 순으로 나타났다.

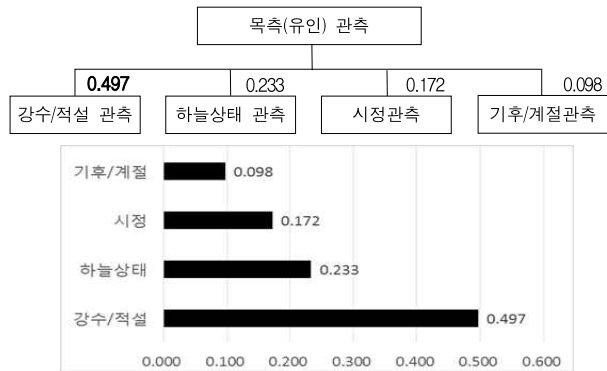
담당업무	표본수	실시간영상	레이더강수량	낙뢰	유관기관
예보	56	<b>0.518</b>	<b>0.174</b>	<b>0.180</b>	0.128
수치모델	7	<b>0.568</b>	0.163	0.116	0.152
관측	20	<b>0.506</b>	0.235	0.148	0.111
행정관리	14	<b>0.541</b>	0.208	0.159	0.092
학술/연구	13	<b>0.551</b>	<b>0.174</b>	<b>0.193</b>	0.081
기타	17	<b>0.553</b>	0.233	0.122	0.092



[그림 4-41] 담당업무에 따른 기상레이더 관측의 기여도

### (6) 목측(유인)관측

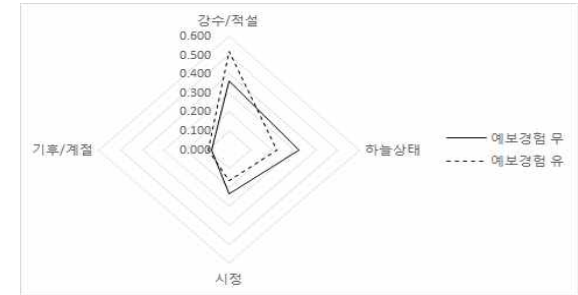
목측(유인) 관측은 강수/적설 관측, 하늘상태 관측, 시정관측, 기후/계절관측으로 구성되었다. 4개 관측요소의 기여도를 분석해보면, 강수/적설 관측의 기여도가 0.497로 가장 높았으며, 하늘상태 관측 0.233, 시정관측 0.172, 기후/계절 관측 0.098순으로 나타났다.



[그림 4-42] 목측 관측의 기여도

예보경력에 관계없이 강수/적설 관측을 1순위로 평가했으나, 예보경력이 있는 집단은 강수/적설의 중요성을 예보경력이 없는 집단보다 훨씬 크게 평가하여 위험기상 등 기상특보의 중요성이 인지하고 있기 때문인 것으로 추측된다.

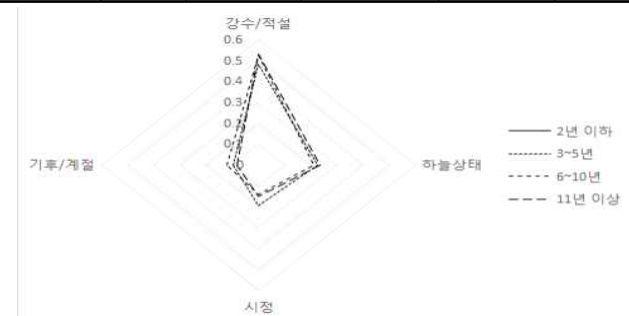
	강수/적설	하늘상태	시정	기후/계절
<b>전체평균</b>	<b>0.497</b>	<b>0.233</b>	<b>0.172</b>	<b>0.098</b>
예보경력_무	<b>0.363</b>	<b>0.323</b>	0.231	0.084
예보경력_유	<b>0.516</b>	<b>0.221</b>	0.163	0.100



[그림 4-43] 예보경력에 따른 목측 관측의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 강수/적설-하늘상태-시정-기후/계절 순으로 기상재해관련 기상현상관측의 중요성이 반영되었으며, 집단간의 차이는 없었다.

예보경력	표본수	강수/적설	하늘상태	시정	기후/계절
2년 이하	25	<b>0.533</b>	<b>0.207</b>	0.161	0.099
3~5년	33	<b>0.485</b>	<b>0.224</b>	0.192	0.099
6~10년	21	<b>0.525</b>	<b>0.212</b>	0.139	0.124
11년 이상	28	<b>0.533</b>	<b>0.234</b>	0.149	0.084



[그림 4-44] 예보경력 기간에 따른 목측 관측의 기여도

현재 담당업무별 차이를 분석한 결과, 집단간에는 차이가 없었다. 다만, 관측업무 담당자의 경우 하늘상태, 시정관측의 기여도가 다른 집단보다 높게 나타났다. 이는 목측(유인)관측이 기상예보에서 중요성이 반영된 것으로 추정된다.

담당업무	표본수	강수/적설	하늘상태	시정	기후/계절
예보	56	<b>0.527</b>	0.212	0.151	0.110
수치모델	7	<b>0.567</b>	0.199	0.163	0.071
관측	20	<b>0.417</b>	<b>0.263</b>	<b>0.219</b>	<b>0.101</b>
행정관리	13	<b>0.483</b>	0.253	0.172	0.092
기타	9	<b>0.422</b>	0.261	0.258	0.059



[그림 4-45] 담당업무에 따른 목측 관측의 기여도

### 3. 예보별 기상관측종류 기여도

지금까지 기상관측종류별 기상예보업무 기여도와 각각의 기상관측요소의 기여도를 AHP기법을 통해 분석하였고, 이를 종합하여 초단기, 단기, 중기 예보별 기상관측 요소별의 기여도를 분석하였다.

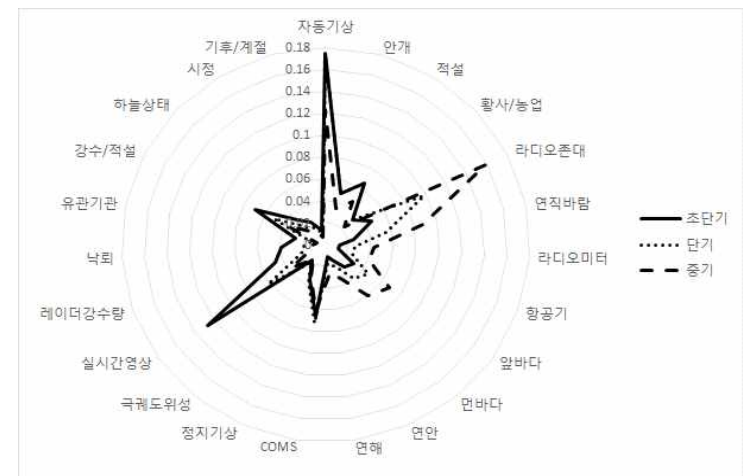
그 결과, 초단기예보에서는 지상기상관측인 자동기상관측의 기여도가 가장 높은 0.174로 1순위 나타났으며, 2순위는 기상레이더의 실시간영상 0.128, 목측(유인)관측의 강수/적설 관측 0.070으로 3순위로 나타났다.

단기예보에서는 초단기와 동일하게 자동기상관측이 0.174로 1순위로 나타났으며, 2순위는 고층관측인 레윈존데 0.097, 3순위는 기상위성 COMS가 0.072로 나타났다.

중기예보에서는 레윈존데가 0.159로 1순위로 기여도가 높았으며, 2순위로 자동기상관측이 0.123, 3순위로 연직바람관측이 0.088로 고층기상관측의 중요성이 나타났다.

[표 4-15] 기상관측 종류의 중요도 순위

구분		초단기		단기		중기	
		가중치	순위	가중치	순위	가중치	순위
지상기상관측	자동기상	<b>0.174</b>	<b>1</b>	<b>0.174</b>	<b>1</b>	<b>0.123</b>	<b>2</b>
	안개	0.048	6	0.048	8	0.034	12
	적설	0.065	5	0.065	4	0.046	7
고층기상관측	황사/농업	0.033	11	0.033	12	0.023	16
	레윈존데	0.046	8	<b>0.097</b>	<b>2</b>	<b>0.159</b>	<b>1</b>
	연직바람	0.025	16	0.054	6	<b>0.088</b>	<b>3</b>
해양기상관측	라디오미터	0.012	21	0.026	13	0.043	8
	항공기	0.012	22	0.025	14	0.041	9
	왕바다	0.031	13	0.046	9	0.069	4
기상위성관측	먼바다	0.027	15	0.040	10	0.060	6
	연안	0.015	19	0.023	17	0.034	13
	연해	0.011	23	0.017	21	0.025	15
기상레이더관측	COMS	0.066	4	<b>0.072</b>	<b>3</b>	0.060	5
	정지기상	0.034	10	0.038	11	0.031	14
	극궤도위성	0.019	18	0.021	18	0.017	18
기상레이더관측	실시간영상	<b>0.128</b>	<b>2</b>	0.062	5	0.037	11
	레이더강수량	0.047	7	0.023	16	0.014	19
	낙뢰	0.039	9	0.019	19	0.011	21
목측(유인)관측	유관기관	0.027	14	0.013	22	0.008	22
	강수/적설	<b>0.070</b>	<b>3</b>	0.051	7	0.038	10
	하늘상태	0.033	12	0.024	15	0.018	17
합계	시정	0.024	17	0.018	20	0.013	20
	기후/계절	0.014	20	0.010	23	0.007	23
합계		1.000		1.000		1.000	



[그림 4-46] 예보별 기상관측장비의 중요도

#### 4. 기상예보 업무역량 기여도

기상관측자료가 기상예보 업무역량에 미치는 기여도를 분석하기 위해 활용된 설문지는 총 567부 중 미응답 33부, 인적사항 미표기 18부 등을 제외한 516부의 설문 응답을 토대로 분석하였다. 그리고 일관성비율(CR)이 0.1이상인 설문 응답자는 제외하고 기상예보 업무역량 기여도를 평가하였다.

[표 4-16] 기상예보 업무역량 기여도 설문지 개요

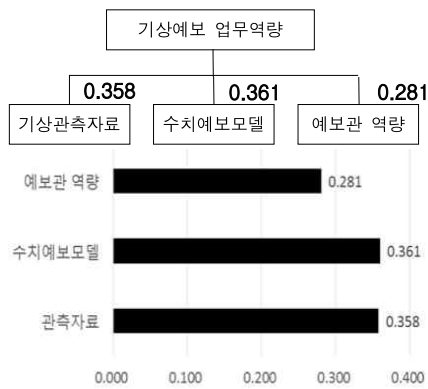
구분	응답자수	미응답	인적사항 미표기	분석 설문지 수
빈도수	567	33	18	516

[표 4-17] 기상예보 업무역량 기여도 일관성 지수 평가결과

구분	Q1	Q2	Q3	Q4
설문지수	516	516	516	516
CR>0.1	305	314	440	472
최종분석 설문부수	211	202	195	44

##### (1) 기상예보 업무역량 기여도

기상예보 업무 역량에 영향을 미치는 요인은 기상관측자료, 수치예보모델, 예보관 역량 3가지로 구성하였다. 분석결과 수치예보모델이 0.361, 기상관측자료 0.358, 예보관 역량 0.281로 기여도를 나타냈다.



[그림 4-47] 기상예보 업무역량 기여도

예보경력 유무에 따라 기상예보 업무역량의 기여도를 비교한 결과, 예보경력이 있는 집단은 (1)수치예보모델-(2)관측자료-(3)예보관역량 순이었지만, 예보경력이 없는 집단은 (1)관측자료-(2)수치예보모델-(3)예보관역량 순으로 차이를 나타냈다.

구분	관측자료	수치예보모델	예보관 역량
전체평균	0.358	0.361	0.281
예보경력_무	<b>0.387</b>	<b>0.329</b>	0.284
예보경력_유	<b>0.346</b>	<b>0.374</b>	0.280



[그림 4-48] 예보경력에 따른 기상예보 업무역량 기여도

그리고 예보경력 유무를 기상청 내부직원으로 한정하여 분석한 결과, 예보경력이 없는 집단은 전체결과와 유사하게 나타났지만, 예보경력이 있는 집단은 [표 4-18]과 같이 수치예보모델 0.399, 관측자료 0.310, 예보관 역량 0.292순으로 기여도 차이를 나타내어 기상청내 예보경력이 없는 집단보다 수치예보모델과 예보관 역량을 기여도가 더 높게, 기상관측자료의 기여도를 더 낮게 평가했다. 또한 기상청내 예보경력이 있는 집단의 결과는 전국 예보관 및 예보사 등 400명을 대상으로 설문조사를 실시하여 187명이 응답한 2007년 기상청 예보관 역량진단을 위한 설문((주)테크노베이션파트너스)의 AHP설문 조사결과와 유사하게 나타났다. 하지만 2007년의 설문은 기상청내의 예보관을 중심으로 실시된 반면, 본 연구에서는 기상청과 관련된 내, 외부 이해관계자 모두를 포함하여 일관성 비율(CR) 0.1미만인 211명이 응답한 결과로 기상예보 업무역량의 대표성이 있다고 판단된다.

[표 4-18] 청내 예보경력 유무에 따른 기상예보 업무역량 기여도

구분	관측자료	수치예보모델	예보관 역량
청내 예보경력_무	0.367	0.372	0.262
청내 예보경력_유	<b>0.310</b>	<b>0.399</b>	<b>0.292</b>

추가적으로 2007년 예보관 역량진단을 위한 설문결과에서는 기상청내 응답자의 소속기관별로 구분하여 예보업무 역량 기여도를 제시하지 않았다. 이에 본 연구에서는 기상청내 응답자를 기상청 본청과 지방청으로 구분하여 [표 4-19]와 같이 분석하였다. 그 결과 지방청은 전체결과와 유사하게 기여도를 나타냈지만, 본청은 기여

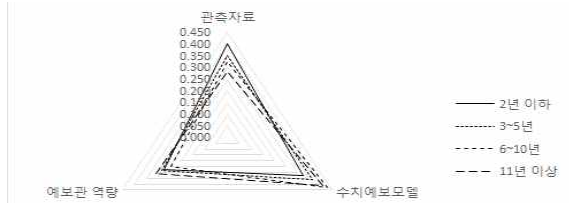
도 순위는 같았지만, 예보관 역량이 0.366으로 지방청보다 훨씬 높게 기여도를 평가하였다. 이는 본청은 모든 지방청의 예보관들을 총괄하는 기능을 수행하고, 예보관들이 직접적으로 언론 등과 접촉하는 빈도가 높기 때문인 것으로 추측된다.

[표 4-19] 본청과 지방청의 기상예보 업무역량 기여도

구분	관측자료	수치예보모델	예보관 역량
본청	<b>0.236</b>	<b>0.398</b>	<b>0.366</b>
지방청	0.344	<b>0.393</b>	0.262

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 2년 이하의 예보경력에 있는 집단이 수치예보모델보다 관측자료가 더 중요하다고 기여도를 평가하였다. 그리고 11년 이상의 예보경력에 있는 집단은 관측자료보다 예보관 역량이 더 중요하다고 평가하였다.

예보경력	표본수	관측자료	수치예보모델	예보관 역량
2년 이하	39	<b>0.403</b>	<b>0.323</b>	<b>0.274</b>
3~5년	51	0.351	0.364	0.285
6~10년	26	0.327	0.428	0.245
11년 이상	31	<b>0.283</b>	<b>0.410</b>	<b>0.307</b>



[그림 4-49] 예보경력 기간에 따른 기상예보 업무역량 기여도

현재 담당업무 분야별 차이를 분석한 결과, 전체 기여도 결과와 달리 행정관리, 소방방재, 기상산업에 종사자들은 관측자료 기여도를 1순위로 평가한 것은 관측자료가 소방방재나 기상산업 업무에 폭넓게 활용되는 것으로 추측된다.

수치예보모델 담당자는 수치예보모델 0.554, 관측자료 0.304, 예보관 역량 0.142로 담당업무의 특성이 강하게 반영된 것으로 추측되고, (주)테크노베이션파트너스(2007)의 예보관의 역량을 진단하기 위한 설문 결과와 유사한 경향을 보였다. 이는 전국예보관 및 예보사 집단만을 대상으로 설문을 실시한 결과로 판단된다. 하지만 본 연구에서는 예보, 관측, 행정관리, 기상산업 등 기상청과 관련된 내·외부 이해관계자들 모두를 설문대상으로 하여 기상예보 업무역량의 기여도를 평가함으로써 대표성을 확보하였다고 판단된다.

담당업무	표본수	관측자료	수치예보모델	예보관 역량
예보	60	<b>0.298</b>	<b>0.421</b>	<b>0.281</b>
수치모델	8	<b>0.304</b>	<b>0.554</b>	<b>0.142</b>
관측	25	0.381	0.389	0.230
행정관리	24	0.395	0.312	0.293
소방/방재	25	<b>0.440</b>	<b>0.264</b>	<b>0.296</b>
학술/연구	22	0.280	0.356	0.363
기상산업	10	0.444	0.330	0.227
기타	36	0.399	0.309	0.292

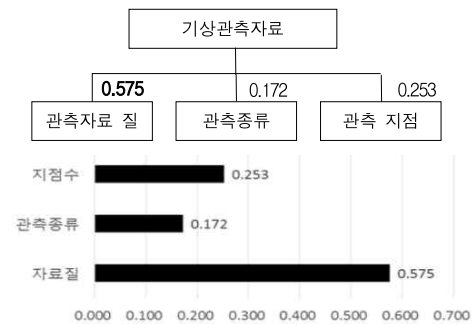


[그림 4-50] 담당업무에 따른 기상예보 업무역량 기여도

현재 담당업무별 차이를 분석한 결과, 전체 기여도 결과와 달리 행정관리, 소방방재, 기상산업에 종사자들은 관측자료 기여도를 1순위로 평가한 것은 관측자료가 소방방재나 기상산업 업무에 폭넓게 활용되는 것으로 추측된다.

## (2) 기상관측자료 기여도

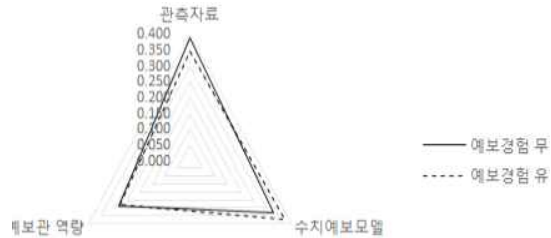
기상관측자료를 구성하는 것은 관측자료의 질, 관측종류, 관측지점 수 3가지로 구성되어 기상관측자료의 기여도를 평가하였다. 그 결과 관측자료의 질이 0.575로 기여도가 가장 높게 평가되었으며, 관측지점 0.253, 관측종류 0.172로 기여도를 나타냈다.



[그림 4-51] 기상관측자료의 기여도

예보경력 유무에 따라 집단간의 비교를 한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

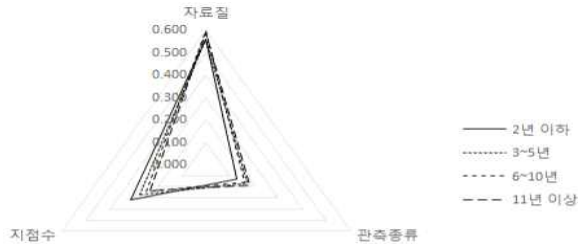
	자료질	관측종류	지점수
<b>전체 평균</b>	<b>0.575</b>	<b>0.172</b>	<b>0.253</b>
예보경력_무	0.585	0.201	0.214
예보경력_유	0.572	0.161	0.267



[그림 4-52] 예보경력에 따른 기상관측자료의 기여도

예보경력에 따라 차이를 분석한 결과, 집단간의 차이는 없었다. 다만 예보경력이 많을수록 관측종류(다양한 관측자료)의 기여도 비중이 높았으며, 예보경력이 적을수록 관측지점 수(넓은 지역의 관측 자료)의 기여도 비중이 높게 나타났다.

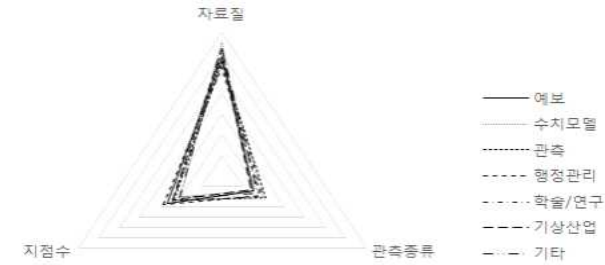
예보경력	표본수	자료질	관측종류	지점수
2년 이하	33	0.558	0.130	0.312
3~5년	52	0.557	0.170	0.274
6~10년	30	0.596	0.158	0.246
11년 이상	31	0.588	0.182	0.230



[그림 4-53] 예보경력 기간에 따른 기상관측자료의 기여도

현재 담당업무별 집단간의 차이를 분석한 결과, 집단간의 차이는 없었다. 다만 수치모델과 기상산업에 종사자들은 관측자료의 질을 매우 중요하게 평가하였으며, 관측업무 담당자는 관측자료의 종류를, 그리고 소방/방재, 행정관리는 관측지점 수를 다른 집단들보다 중요하게 평가하였다.

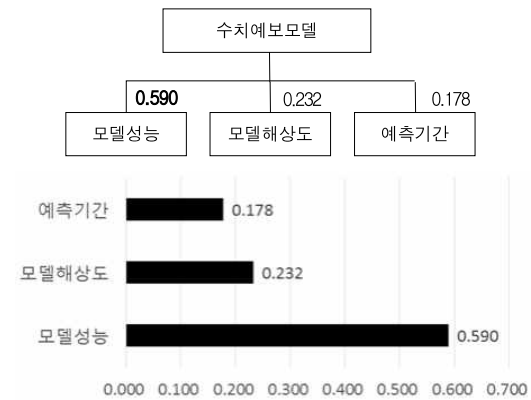
담당업무	표본수	자료질	관측종류	지점수
예보	59	0.581	0.150	0.269
<b>수치모델</b>	<b>8</b>	<b>0.653</b>	0.146	<b>0.200</b>
관측	21	0.560	0.207	0.233
행정관리	24	0.531	0.185	0.284
소방/방재	21	0.515	0.185	0.300
학술/연구	22	0.557	0.200	0.243
<b>기상산업</b>	<b>10</b>	<b>0.623</b>	0.139	<b>0.238</b>
기타	37	0.619	0.169	0.212



[그림 4-54] 담당업무에 따른 기상관측자료의 기여도

### (3) 수치예보모델 기여도

수치예보모델을 구성하는 것은 수치예보모델의 성능, 수치예보모델 해상도, 수치예보모델 예측기간으로 구성되어 기여도를 평가하였다. 그 결과 수치예보모델 성능이 0.590으로 기여도가 가장 높게 평가되었으며, 모델해상도 0.232, 예측기간 0.178로 기여도를 나타냈다.



[그림 4-55] 수치예보모델의 기여도



예보경력 유무에 따라 비교를 한 결과, 예보경력이 없는 집단은 (1)모델성능-(2)예측기간-(3)모델해상도로 예보경력이 있는 집단의 (1)모델성능-(2)모델해상도-(3)예측기간 순위의 기여도가 다르게 나타났다. 이는 예보경력이 없는 집단은 예보모델의 결과값을 받아 활용하는 집단으로 모델을 통해 얼마나 빠르게 또는 예측선행시간이 길어질수록 활용도가 높기 때문에 기여도가 차이를 나타낸 것으로 판단되고, 예보경력 자들은 예보정확도의 중요성을 인식하여 모델성능을 크게 평가한 것으로 추측된다.

	모델성능	모델해상도	예측기간
<b>전체평균</b>	<b>0.590</b>	<b>0.232</b>	<b>0.178</b>
예보경력_무	0.547	0.206	0.247
예보경력_유	0.606	0.243	0.151



[그림 4-56] 예보경력에 따른 수치예보모델의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

예보경력	표본수	모델성능	모델해상도	예측기간
2년 이하	41	0.601	0.245	0.154
3~5년	43	0.598	0.246	0.156
6~10년	23	0.588	0.270	0.142
11년 이상	34	0.634	0.217	0.149



[그림 4-57] 예보경력 기간에 따른 수치예보모델의 기여도

현재 담당업무별 차이를 분석한 결과, 소방/방재, 행정관리의 업무담당자는 모델 해상도보다 예측기간의 기여도를 높게 평가하였다. 이는 소방/방재업무특성상 예측기간 확대의 중요성이 반영된 것으로 추측된다.

그리고 기상산업의 경우 모델해상도의 기여도 비중이 다른 집단보다 매우 높게 나타났다. 그 이유는, 기상사업자들이 기상청으로부터 모델 결과값 등을 받아 2차적으로 가공하여 부가 가치를 창출하기 위한 것으로 추측된다.

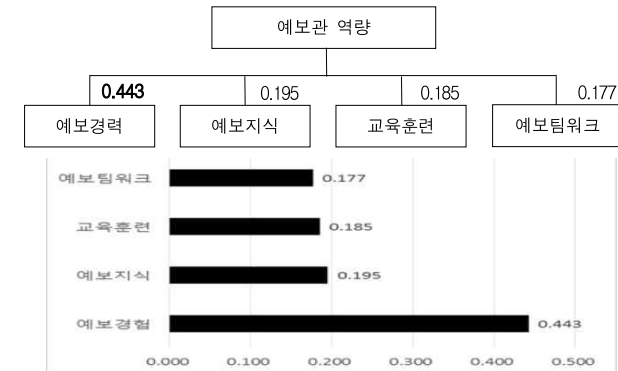
담당업무	표본수	모델성능	모델해상도	예측기간
예보	58	0.622	0.252	0.127
<b>수치모델</b>	<b>8</b>	<b>0.618</b>	<b>0.236</b>	<b>0.146</b>
관측	20	0.605	0.234	0.160
행정관리	23	0.518	0.228	0.254
소방/방재	27	0.545	0.201	0.253
학술/연구	17	0.598	0.212	0.190
<b>기상산업</b>	<b>8</b>	<b>0.509</b>	<b>0.348</b>	<b>0.144</b>
기타	34	0.618	0.209	0.173



[그림 4-58] 업무에 따른 수치예보모델의 기여도

#### (4) 예보관 역량

예보관 역량은 예보경력, 예보지식, 교육훈련, 예보팀워크로 구성되었다. 4개 대안의 기여도를 분석해보면, 예보경력의 기여도가 0.443으로 가장 높은 기여도를 보였으며, 예보지식 0.195, 교육훈련 0.185, 예보팀워크 0.177순으로 기여도를 나타냈다.



[그림 4-59] 예보관 역량의 기여도

예보경력 유무에 따라 예보관 역량의 기여도를 비교한 결과, 집단간의 차이는 없었다.

	예보경력	예보지식	교육훈련	예보팀워크
<b>전체평균</b>	<b>0.443</b>	<b>0.195</b>	<b>0.185</b>	<b>0.177</b>
예보경력_무	0.375	0.215	0.199	0.211
예보경력_유	0.478	0.185	0.178	0.159

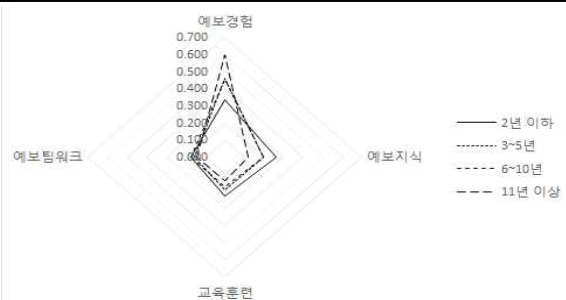


[그림 4-60] 예보경력에 따른 예보관 역량의 기여도

예보경력 기간에 따라 차이를 분석한 결과, 1순위는 차이가 없었지만, 11년 이상의 예보경력이 있는 집단은 2순위로 예보팀워크를 높게 평가하였다.

전체적으로 보면 예보경력이 높아질수록, 예보팀워크를 높게 평가하였으며, 예보경력이 낮을수록 예보지식과 교육훈련의 비중을 높게 평가하였다. 이는 예보경력이 낮은 집단의 경우 예보지식과 교육훈련이 현재 업무 수행에 있어 중요도가 높은 것으로 판단된다. 그리고 예보경력이 높을수록 그동안의 예보지식과 교육훈련이 예보경력으로 현장실무에서 활용되는 경우가 빈번히 발생되어 기여도 비중이 높은 것으로 판단된다.

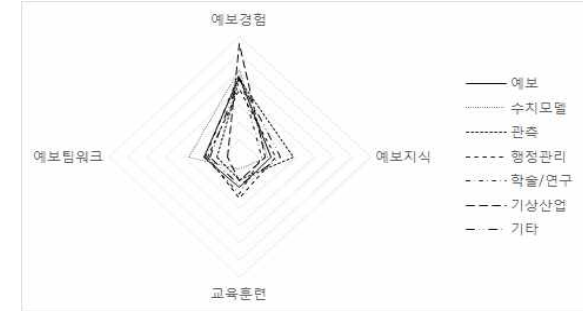
예보경력	표본수	예보경력	예보지식	교육훈련	예보팀워크
<b>2년 이하</b>	<b>6</b>	<b>0.338</b>	<b>0.262</b>	<b>0.227</b>	<b>0.173</b>
3~5년	8	0.461	0.193	0.190	0.155
6~10년	6	0.456	0.197	0.174	0.173
<b>11년 이상</b>	<b>9</b>	<b>0.601</b>	<b>0.118</b>	<b>0.137</b>	<b>0.144</b>



[그림 4-61] 예보경력 기간에 따른 예보관 역량의 기여도

현재 담당업무 분야별 집단간의 차이를 분석한 결과, 모두 1순위로 예보경력을 높게 평가하였지만, 예보 업무담당자는 (2)예보팀워크-(3)교육훈련-(4)예보지식 순으로 기여도를 평가하였고, 행정관리는 (2)교육훈련-(3)예보지식-(4)예보팀워크 순으로 집단간에 차이를 나타냈다.

업무	표본수	예보경력	예보지식	교육훈련	예보팀워크
<b>예보</b>	<b>7</b>	<b>0.465</b>	<b>0.169</b>	<b>0.177</b>	<b>0.189</b>
수치모델	1	0.506	0.148	0.073	0.273
관측	5	0.453	0.288	0.133	0.126
<b>행정관리</b>	<b>8</b>	<b>0.393</b>	<b>0.190</b>	<b>0.241</b>	<b>0.175</b>
기타	9	0.395	0.225	0.175	0.204



[그림 4-62] 업무에 따른 예보관 역량의 기여도

### (5) 기상예보 업무역량의 기여도

기상예보 업무역량 기여도를 기상관측자료, 수치예보모델과 예보관 역량으로 구성하고 각각의 요인별로 세부기여도를 AHP기법을 통해 분석하였다. 이를 종합하여 기상예보 업무역량의 기여도를 분석하였다.

그 결과, 수치예보모델 성능이 0.213으로 1순위, 관측자료의 질이 0.206으로 2순위, 예보경력이 0.124로 3순위, 그리고 4순위로는 관측지점 수로 나타났다. 기상예보 업무에서 수치예보모델의 성능이 가장 중요하였지만, 관측자료의 질도 수치예보모델 성능에 불과 0.007밖에 차이가 나지 않을 정도로 관측자료의 질이 기상예보 업무역량에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 그리고 관측지점 수도 4순위로 기상관측망

확충이 기상예보 업무역량의 증대에 기여할 수 있는 것이 정량적으로 나타내었다.

[표 4-20] 기상예보 업무역량의 중요도 순위

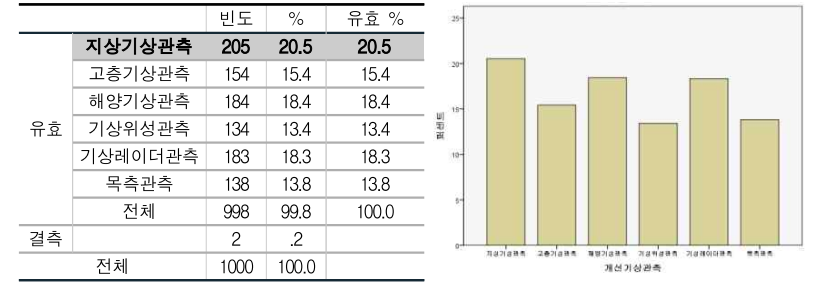
구분	가중치	순위	
관측자료	<b>자료질</b>	<b>0.206</b>	<b>2</b>
	관측종류	0.062	7
	지점수	0.091	4
수치예보모델	<b>모델성능</b>	<b>0.213</b>	<b>1</b>
	모델해상도	0.084	5
	예측기간	0.064	6
예보관 역량	<b>예보경력</b>	<b>0.124</b>	<b>3</b>
	예보지식	0.055	8
	교육훈련	0.052	9
	예보팀워크	0.050	10
합계	1.000		

## 제5절 기상관측업무 설문분석 결과

기상관측자료의 중요도와 활용성 등을 알아보기 위해 기상관측업무 관련 설문항목으로 567명에게 14개의 문항의 설문지를 배포하여 유효한 500명의 설문응답 결과를 분석하였다.

### 질문 1. 다음의 기상관측 부문 중 기상예보 및 기상특보 업무를 위하여 확대 또는 개선이 필요한 기상관측을 2개 선택하신다면 무엇입니까?

응답자 500명 중 1순위만 기재한 2명을 포함하여 개선되어야 기상관측 부문의 응답 결과, 지상기상관측이 205명인 20.5%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 해양기상관측 18.4%, 레이더기상관측 18.3%순으로 나타났다.



[그림 4-63] 개선되어야 할 기상관측 부문

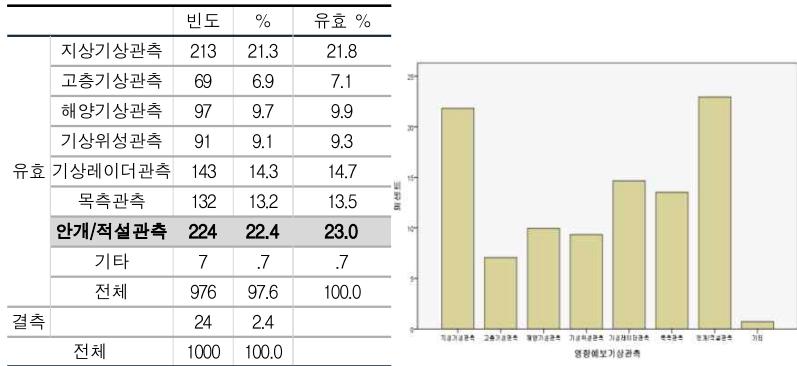
담당업무별로 차이를 살펴보면, 예보, 기상산업 종사자는 해양기상관측 개선이라고 응답한 비율이 가장 높았으며, 수치모델과 학술/연구 종사자는 고층기상관측의 비중이 높았다. 그리고 소방방재와 학술/연구는 기상레이더 관측 개선의 비중이 가장 높게 나타났다.

[표 4-21] 개선되어야 할 기상관측 부문-담당업무별

		담당업무								전체
		예보	수치 모델	관측	행정 관리	소방 방재	학술, 연구	기상 산업	기타	
지상기상관측	빈도	62	5	<b>28</b>	<b>23</b>	35	14	9	29	205
	담당업무 중 %	19.3%	16.7%	<b>25.9%</b>	<b>26.1%</b>	25.4%	14.9%	21.4%	16.5%	20.5%
고층기상관측	빈도	56	<b>10</b>	11	12	11	<b>22</b>	8	24	154
	담당업무 중 %	17.4%	<b>33.3%</b>	10.2%	13.6%	8.0%	<b>23.4%</b>	19.0%	13.6%	15.4%
해양기상관측	빈도	<b>75</b>	4	15	19	8	14	<b>13</b>	<b>36</b>	184
	담당업무 중 %	<b>23.3%</b>	13.3%	13.9%	21.6%	5.8%	14.9%	<b>31.0%</b>	<b>20.5%</b>	18.4%
기상위성관측	빈도	22	6	16	11	37	15	3	24	134
	담당업무 중 %	6.8%	20.0%	14.8%	12.5%	26.8%	16.0%	7.1%	13.6%	13.4%
기상레이더관측	빈도	55	4	14	14	<b>42</b>	<b>22</b>	4	28	183
	담당업무 중 %	17.1%	13.3%	13.0%	15.9%	<b>30.4%</b>	<b>23.4%</b>	9.5%	15.9%	18.3%
목측관측	빈도	52	1	24	9	5	7	5	35	138
	담당업무 중 %	16.1%	3.3%	22.2%	10.2%	3.6%	7.4%	11.9%	19.9%	13.8%
전체	빈도	322	30	108	88	138	94	42	176	998
	담당업무 중 %	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**질문 2. 기상청은 2020년부터 영향예보를 정식서비스 할 계획입니다. 기상청이 영향예보를 위해 확대 또는 개선해야 할 기상관측 부문은 무엇입니까?**

영향예보에 따라 개선되어야 할 기상관측 부문에 대한 응답 결과, 안개/적설 관측이 224명으로 23%를 차지하며 가장 높은 비율을 나타냈다. 그 다음으로는 지상기상관측이 21.8% 순으로 나타났다.



[그림 4-64] 영향예보에 따른 기상관측 개선분야

영향예보를 위한 기상관측 업무개선 분야를 예보경력 기간에 따라 구분하여 살펴보면, 예보경력 기간에 따라가 낮을수록 지상기상관측의 비중이 높게 나타나지만, 예보경력 기간에 따라가 높을수록 안개/적설관측의 비중이 높게 나타났다.

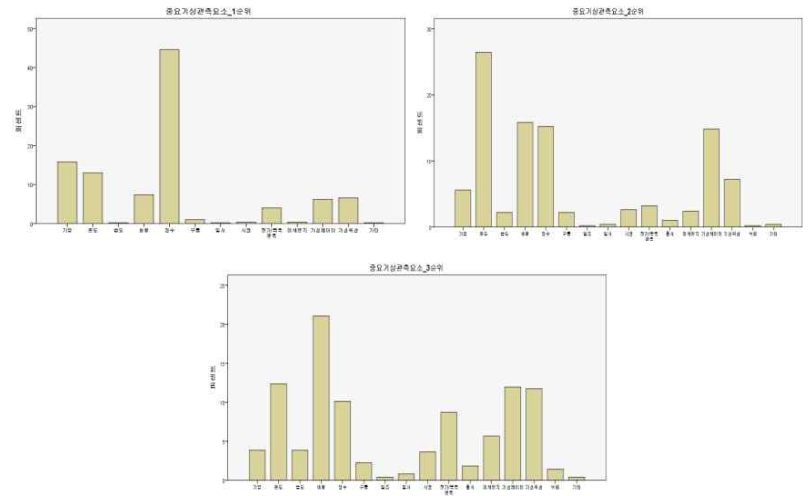
[표 4-22] 영향예보에 따른 기상관측 개선분야-예보경력

		예보경력					전체	
		3년 이하	3-5년	6-10년	10-20년	20년 이상		
		빈도	빈도	빈도	빈도	빈도		
영향예보 기상관측	지상기상관측	빈도 42	33	35	44	58	212	
		예보경력%	25.8%	25.4%	25.4%	20.3%	17.8%	21.8%
	고층기상관측	빈도 11	10	16	15	17	69	
		예보경력%	6.7%	7.7%	11.6%	6.9%	5.2%	7.1%
	해양기상관측	빈도 11	13	18	19	36	97	
		예보경력%	6.7%	10.0%	13.0%	8.8%	11.0%	10.0%
	기상위성관측	빈도 26	14	13	14	24	91	
		예보경력%	16.0%	10.8%	9.4%	6.5%	7.4%	9.3%
	기상레이더관측	빈도 27	15	14	33	53	142	
		예보경력%	16.6%	11.5%	10.1%	15.2%	16.3%	14.6%
목측관측	빈도 11	19	16	25	61	132		
	예보경력%	6.7%	14.6%	11.6%	11.5%	18.7%	13.6%	
안개/적설관측	빈도 34	25	26	65	74	224		
	예보경력%	20.9%	19.2%	18.8%	30.0%	22.7%	23.0%	
기타	빈도 1	1	0	2	3	7		
	예보경력%	0.6%	0.8%	0.0%	0.9%	0.9%	0.7%	
전체	빈도 163	130	138	217	326	974		
	예보경력%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

**3. 기상청의 기상예보 업무에 중요하다고 생각하는 기상관측 요소는 무엇입니까? (1~3순위를 기재해 주십시오.)**

예보업무에 중요한 기상관측 요소에 대한 질문에 1순위로는 강수가 223명인 44.6%로 가장 높게 나타났으며, 2순위는 온도 26.5%, 3순위는 바람 21.1%순으로 나타났다.

	1순위		2순위		3순위	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%
기압	79	15.8	28	5.6	19	3.8
<b>온도</b>	65	13.0	<b>132</b>	<b>26.5</b>	61	12.3
습도	1	.2	11	2.2	19	3.8
<b>바람</b>	37	7.4	79	15.8	<b>104</b>	<b>21.1</b>
<b>강수</b>	<b>223</b>	<b>44.6</b>	76	15.2	50	10.1
구름	5	1.0	11	2.2	11	2.2
일조			1	.2	2	.4
일사	1	.2	2	.4	4	.8
시정	2	.4	13	2.6	18	3.6
천기 및 목측관측	20	4.0	16	3.2	43	8.7
황사			5	1.0	9	1.8
미세먼지	2	.4	12	2.4	28	5.7
기상레이더	31	6.2	74	14.8	59	11.9
기상위성	33	6.6	36	7.2	58	11.7
낙뢰			1	.2	7	1.4
기타	1	.2	2	.4	2	.4
전체	500	100.0	499	100.0	494	100.0



[그림 4-65] 기상 관측요소 중요도 순위

기상관측 요소에 대해 담당업무별로 살펴보면, 수치모델을 제외한 모든 집단에서 1순위로 강수를 중요한 기상관측 요소로 꼽았다. 수치모델 업무 담당자만이 온도 요소가 더 중요하다고 응답하여 수치모델에서 공기온도 변화가 기상예측의 중요변수로 인식한 것으로 추측된다.

그리고 지자체 등에서 소방/방재 업무 담당자의 경우 강수의 비중은 다른 집단보다 절대적으로 높은 73.9%가 1순위로 강수라고 응답하였다. 이는 지자체 등에서 여름철 기습폭우로 인한 피해예방 등에 강수 관측정보가 활용성이 매우 높다는 것으로 판단된다.

[표 4-23] 기상 관측요소 중요도 순위-담당업무

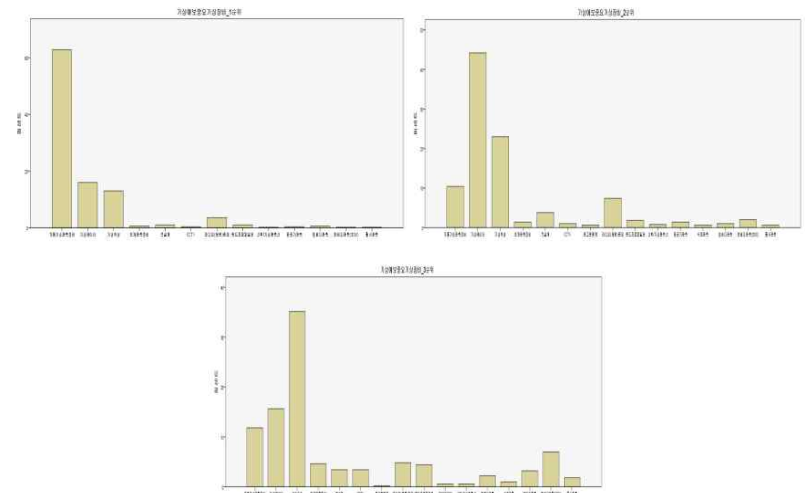
		담당업무								전체
		예보	수치 모델	관측	행정 관리	소방, 방재	학술, 연구	기상 산업	기타	
기업	빈도	33	1	6	10	3	8	1	17	79
	담당업무 중 %	20.4%	6.7%	11.1%	22.7%	4.3%	17.0%	4.8%	19.3%	15.8%
온도	빈도	7	7	7	7	7	9	2	19	65
	담당업무 중 %	4.3%	<b>46.7%</b>	13.0%	15.9%	10.1%	19.1%	9.5%	21.6%	13.0%
습도	빈도	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	0.2%
바람	빈도	19	0	6	1	0	3	2	6	37
	담당업무 중 %	11.7%	0.0%	11.1%	2.3%	0.0%	6.4%	9.5%	6.8%	7.4%
강수	빈도	<b>67</b>	4	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>51</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	223
	담당업무 중 %	<b>41.4%</b>	26.7%	<b>44.4%</b>	<b>47.7%</b>	<b>73.9%</b>	<b>29.8%</b>	<b>57.1%</b>	<b>34.1%</b>	44.6%
구름	빈도	3	1	0	0	1	0	0	0	5
	담당업무 중 %	1.9%	6.7%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
일사	빈도	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.2%
시정	빈도	0	0	0	0	1	0	0	1	2
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.4%
전기 및 목측관측	빈도	9	0	3	2	0	2	1	3	20
	담당업무 중 %	5.6%	0.0%	5.6%	4.5%	0.0%	4.3%	4.8%	3.4%	4.0%
미세먼지	빈도	0	0	0	0	1	0	0	1	2
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.4%
기상레이더	빈도	13	2	4	2	2	4	0	4	31
	담당업무 중 %	8.0%	13.3%	7.4%	4.5%	2.9%	8.5%	0.0%	4.5%	6.2%
기상위성	빈도	11	0	4	0	3	6	3	6	33
	담당업무 중 %	6.8%	0.0%	7.4%	0.0%	4.3%	12.8%	14.3%	6.8%	6.6%
기타	빈도	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
전체	빈도	162	15	54	44	69	47	21	88	500
	담당업무 중 %	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

4. 기상청의 기상예보업무에 중요하다고 생각하는 기상장비는 무엇입니까?

(1~3순위를 기재해 주십시오.)

예보업무에 중요한 기상관측장비에 대한 질문에 1순위로는 자동기상관측장비가 314명인 62.8%로 절대적으로 높게 나타났으며, 2순위는 기상레이더 44.2%, 3순위는 기상위성 35.1%순으로 나타났다.

	1순위		2순위		3순위	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%
<b>자동기상관측장비</b>	<b>314</b>	<b>62.8</b>	52	10.4	59	11.8
<b>기상레이더</b>	80	16.0	<b>221</b>	<b>44.2</b>	78	15.7
<b>기상위성</b>	65	13.0	115	23.0	<b>175</b>	<b>35.1</b>
안개관측장비	3	.6	7	1.4	23	4.6
적설계	5	1.0	19	3.8	17	3.4
CCTV	2	.4	5	1.0	17	3.4
운고운량계	-	-	3	.6	1	.2
라디오(레원)존대	18	3.6	37	7.4	24	4.8
연직바람관측장비	5	1.0	9	1.8	22	4.4
라디오미터	-	-	-	-	3	.6
선박/기상관측선	1	.2	4	.8	3	.6
항공기관측	2	.4	7	1.4	11	2.2
낙뢰관측			3	.6	5	1.0
앞바다관측	3	.6	5	1.0	16	3.2
먼바다관측(브이)	1	.2	10	2.0	35	7.0
황사관측	1	.2	3	.6	9	1.8
전체	500	100.0	500	100.0	498	100.0

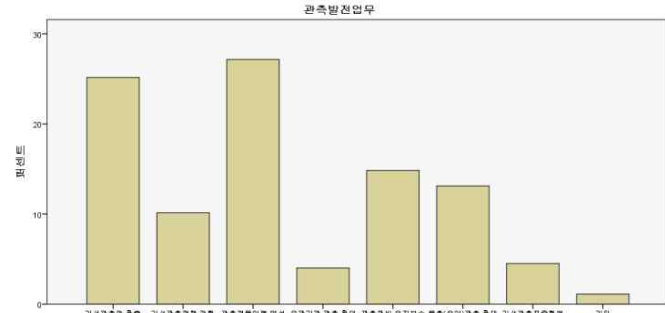


[그림 4-66] 기상 관측장비 중요도 순위

예보업무에 중요한 기상관측장비를 담당업무별로 살펴보면, 모든 집단에서 1순위로 자동기상관측장비로 나타났다. 하지만 2순위에서는 소방/방재, 학술/연구, 기타에서는 기상위성이 2순위도 더 높게 나타났다.

[표 4-24] 기상 관측장비 중요도 순위-담당업무

		담당업무									전체
		예보	수치 모델	관측	행정 관리	소방, 방재	학술, 연구	기상 산업	기타		
기상 예보 중요 기상 장비 1순위	<b>자동기상관측장비</b>	빈도 113	8	32	30	33	25	17	56	314	
	담당업무 중 %	69.8%	53.3%	59.3%	68.2%	47.8%	53.2%	81.0%	63.6%	62.8%	
	기상레이더	빈도 27	3	12	7	14	5	3	9	80	
	담당업무 중 %	16.7%	20.0%	22.2%	15.9%	20.3%	10.6%	14.3%	10.2%	16.0%	
	<b>기상위성</b>	빈도 14	2	8	4	19	7	1	10	65	
	담당업무 중 %	8.6%	13.3%	14.8%	9.1%	27.5%	14.9%	4.8%	11.4%	13.0%	
	안개관측장비	빈도 0	0	0	0	1	0	0	2	3	
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	2.3%	0.6%	
	적설계	빈도 2	0	0	0	1	2	0	0	5	
	담당업무 중 %	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	4.3%	0.0%	0.0%	1.0%	
	CCTV	빈도 0	0	0	0	1	0	0	1	2	
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.4%	
	라디오(레원)존대	빈도 5	2	2	0	0	3	0	6	18	
	담당업무 중 %	3.1%	13.3%	3.7%	0.0%	0.0%	6.4%	0.0%	6.8%	3.6%	
	연직바람관측장비	빈도 0	0	0	1	0	3	0	1	5	
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.0%	6.4%	0.0%	1.1%	1.0%	
	선박기상관측선	빈도 0	0	0	0	0	1	0	0	1	
	담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.2%	
	항공기관측	빈도 1	0	0	0	0	1	0	0	2	
	담당업무 중 %	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.4%	
앞바다관측	빈도 0	0	0	1	0	0	0	2	3		
담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.6%		
먼바다관측(브이)	빈도 0	0	0	1	0	0	0	0	1		
담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%		
황사관측	빈도 0	0	0	0	0	0	0	1	1		
담당업무 중 %	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	0.2%		
전체	빈도 162	15	54	44	69	47	21	88	500		
담당업무 중 %	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		



[그림 4-67] 기상관측 발전 업무

기상관측 발전 업무를 현재 담당업무별로 구분하여 살펴보면, 예보, 행정관리, 소방/방재 업무 담당자는 기상관측망 확충을 더 높이 응답해 기상관측망 확대로 더 넓은 지역에 신속한 기상관측자료 확보가 필요하고, 수치모델, 관측, 학술/연구, 기상산업 업무 담당자는 관측전문인력 양성으로 응답해 전문인력을 통한 기술개발이 필요한 것으로 추측된다.

[표 4-25] 기상관측 발전업무-담당업무

		담당업무								전체
		예보	수치 모델	관측	행정 관리	소방, 방재	학술, 연구	기상 산업	기타	
<b>기상관측망 확충</b>	빈도	85	7	20	25	52	13	9	40	251
	담당업무 중 %	26.3%	23.3%	18.5%	28.4%	37.7%	13.8%	21.4%	22.9%	25.2%
기상관측정책 강화	빈도	22	4	10	8	13	13	9	22	101
	담당업무 중 %	6.8%	13.3%	9.3%	9.1%	9.4%	13.8%	21.4%	12.6%	10.1%
<b>관측전문인력 양성</b>	빈도	77	10	28	21	47	35	13	40	271
	담당업무 중 %	23.8%	33.3%	25.9%	23.9%	34.1%	37.2%	31.0%	22.9%	27.2%
관측 유관기관 관측 확대	빈도	16	0	2	8	2	6	2	4	40
	담당업무 중 %	5.0%	0.0%	1.9%	9.1%	1.4%	6.4%	4.8%	2.3%	4.0%
관측장비 유지보수 강화	빈도	43	5	23	12	18	15	4	28	148
	담당업무 중 %	13.3%	16.7%	21.3%	13.6%	13.0%	16.0%	9.5%	16.0%	14.8%
관측(유인)관측 확대	빈도	61	1	20	7	2	5	5	30	131
	담당업무 중 %	18.9%	3.3%	18.5%	8.0%	1.4%	5.3%	11.9%	17.1%	13.1%
기상관측표준화	빈도	14	3	3	7	2	7	0	9	45
	담당업무 중 %	4.3%	10.0%	2.8%	8.0%	1.4%	7.4%	0.0%	5.1%	4.5%
기타	빈도	5	0	2	0	2	0	0	2	11
	담당업무 중 %	1.5%	0.0%	1.9%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	1.1%	1.1%
전체	빈도	323	30	108	88	138	94	42	175	998
	담당업무 중 %	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

응답자를 기상청 내부(지방청 포함)와 외부로 구분하여 살펴보면, 1순위와 2순위는 관측전문인력 양성과 기상관측망 확충으로 동일 하였으나 기상청 외부는 관측전문인력양성을 내부보다 높게 평가했다. 그러나 기상청 내부 응답자들은 3순위로 목

5. 기상청의 기상관측업무 발전을 위해 추진해야 할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

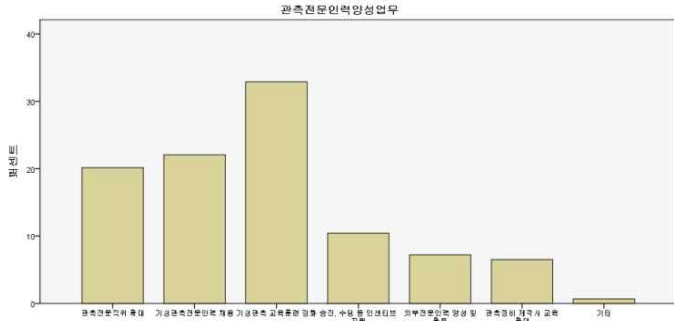
기상관측업무 발전을 위해 추진해야 할 업무로 관측전문인력 양성이 27.2%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 기상관측망 확충이 25.2%로 응답자가 많았다.

	빈도	%	유효 %
<b>기상관측망 확충</b>	251	25.1	25.2
기상관측정책 강화	101	10.1	10.1
<b>관측전문인력 양성</b>	271	27.1	27.2
유관기관 관측 확대	40	4.0	4.0
관측장비 유지보수 강화	148	14.8	14.8
관측(유인)관측 확대	131	13.1	13.1
기상관측표준화법 적용 강화	45	4.5	4.5
기타	11	1.1	1.1
전체	998	99.8	100.0
결측	시스템	2	.2
전체	1000	100.0	

측(유인) 관측 확대가 17.3%로 기상청 외부응답자의 비중인 7.9%보다 2배 이상 높게 나타났다. 이는 기상관측업무를 현장에서 맡고 있는 내부직원들이 목측 관측을 매우 중요하게 생각하고 있으며, 목측 자료가 활용성이 높기 때문인 것으로 추측된다.

[표 4-26] 기상관측 발전업무-기상청 내·외부

		기상청 내부	기상청 외부	전체
기상관측망 확충	빈도	136	115	251
	현소속중%	24.5%	26.0%	25.2%
기상관측정책 강화	빈도	56	45	101
	현소속중%	10.1%	10.2%	10.1%
관측전문인력 양성	빈도	138	133	271
	현소속중%	24.9%	30.0%	27.2%
유관기관 관측 확대	빈도	24	16	40
	현소속중%	4.3%	3.6%	4.0%
관측장비 유지보수 강화	빈도	75	73	148
	현소속중%	13.5%	16.5%	14.8%
목측(유인)관측 확대	빈도	96	35	131
	현소속중%	17.3%	7.9%	13.1%
기상관측표준화법 적용 강화	빈도	23	22	45
	현소속중%	4.1%	5.0%	4.5%
기타	빈도	7	4	11
	현소속중%	1.3%	0.9%	1.1%
전체	빈도	555	443	998
	현소속중%	100.0%	100.0%	100.0%



[그림 4-68] 기상관측 전문인력 양성 업무

기상청 근무자, 기상사업자 및 기상청 출신 전문가 집단은 관측전문인력 신규 채용보다는 기존 인력에 대한 기상관측 교육훈련 강화를 선택하여 기상관측, 자료활용, 장비운영 등 관측업무 전반에 걸쳐 내부인력에 대한 기술향상이 필요한 것으로 추측된다. 지자체, 학계 및 산하 공공기관 집단에서는 기상전문인력 채용의 비중이 더 높게 나타났는데 이는 기상청 외부의 기관에서 관측업무를 하기 위한 전문인력 확보가 더 중요한 것으로 인식하기 때문인 것으로 추측된다.

6. 기상관측전문인력 양성을 위해 우선적으로 추진해야 할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

기상관측 전문인력 양성을 위해서 추진해야 할 업무로 기상관측 교육훈련 강화가 32.9%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로는 기상관측 전문인력 채용이 22.1%로 나타났다.

	빈도	%	유효 %		
유효	관측 전문직위 확대	201	20.1	20.2	
	<b>기상관측 전문인력 채용</b>	<b>220</b>	<b>22.0</b>	<b>22.1</b>	
	<b>기상관측 교육훈련 강화</b>	<b>328</b>	<b>32.8</b>	<b>32.9</b>	
	승진, 수당 등 인센티브 지원	104	10.4	10.4	
	외부전문인력 양성 및 활용	72	7.2	7.2	
	관측장비 제작사 교육 확대	65	6.5	6.5	
	기타	7	.7	.7	
	전체	997	99.7	100.0	
	결측	시스템	3	.3	
		전체	1000	100.0	

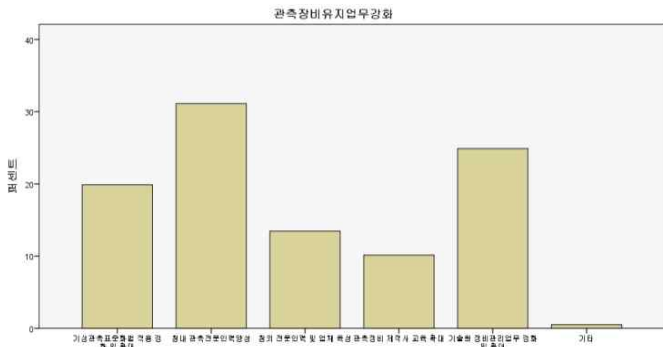
[표 4-27] 기상관측 전문인력 양성 업무-현소속

		현소속								전체
		기상사 업자 등	지자체 등 공공기관	학계	기상청	기상청 소속기관	산하 공공기관	기타		
관측 전문 인력 양성 업무	관측전문직위 확대	빈도	11	37	5	24	95	6	23	201
		현소속 중 %	20.4%	16.8%	12.5%	20.3%	21.8%	15.0%	25.8%	20.2%
	<b>기상관측전문 인력 채용</b>	빈도	14	<b>65</b>	<b>10</b>	21	78	<b>13</b>	19	220
		현소속 중 %	25.9%	<b>29.5%</b>	<b>25.0%</b>	17.8%	17.9%	<b>32.5%</b>	21.3%	22.1%
	<b>기상관측 교육훈련 강화</b>	빈도	<b>16</b>	58	<b>10</b>	<b>51</b>	<b>150</b>	12	<b>31</b>	328
		현소속 중 %	<b>29.6%</b>	26.4%	<b>25.0%</b>	<b>43.2%</b>	<b>34.4%</b>	30.0%	<b>34.8%</b>	32.9%
	승진, 수당 등 인센티브 지원	빈도	1	21	3	11	63	1	4	104
		현소속 중 %	1.9%	9.5%	7.5%	9.3%	14.4%	2.5%	4.5%	10.4%
	외부전문인력 양성 및 활용	빈도	9	27	6	4	12	6	8	72
		현소속 중 %	16.7%	12.3%	15.0%	3.4%	2.8%	15.0%	9.0%	7.2%
	관측장비 제작사 교육 확대	빈도	3	11	5	6	34	2	4	65
		현소속 중 %	5.6%	5.0%	12.5%	5.1%	7.8%	5.0%	4.5%	6.5%
	기타	빈도	0	1	1	1	4	0	0	7
		현소속 중 %	0.0%	0.5%	2.5%	0.8%	0.9%	0.0%	0.0%	0.7%
	전체	빈도	54	220	40	118	436	40	89	997
현소속 중 %		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

7. 기상관측장비 유지관리 강화를 위해 우선적으로 추진해야 할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

기상관측장비의 유지관리 강화를 위한 업무로 청내 관측 전문인력 양성이 31.1%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 기술원 장비관리 업무강화 및 확대가 24.9%로 높게 나타났다.

		빈도	%	유효 %
유효	기상관측표준화법 적용 강화 및 확대	198	19.8	19.9
	<b>청내 관측전문 인력양성</b>	<b>310</b>	<b>31.0</b>	<b>31.1</b>
	청의 전문인력 및 업체 육성	134	13.4	13.5
	관측장비 제작사 교육 확대	101	10.1	10.1
	<b>기술원 장비관리업무 강화 및 확대</b>	<b>248</b>	<b>24.8</b>	<b>24.9</b>
	기타	5	.5	.5
전체		996	99.6	100.0
결측	시스템	4	.4	
전체		1000	100.0	

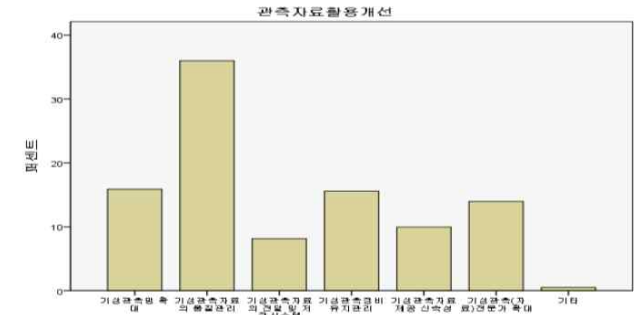


[그림 4-69] 관측장비 유지보수 강화 업무

8. 현재의 기상관측자료의 활용도를 높이기 위해서는 가장 중요하게 개선해야 할 사항 2개를 선택한다면 무엇입니까?

기상관측자료 활용도 개선 업무로는 기상관측자료의 품질관리가 36%로 가장 높았으며, 그 다음으로 기상관측망 확대가 15.9%로 높았으며 기상관측장비 유지관리 15.6%, 관측전문가 확대 14.0%로 비슷하게 중요하다고 평가했다.

		빈도	%	유효 %
유효	<b>기상관측망 확대</b>	<b>158</b>	<b>15.8</b>	<b>15.9</b>
	<b>기상관측자료의 품질관리</b>	<b>358</b>	<b>35.8</b>	<b>36.0</b>
	기상관측자료의 전달 및 저장시스템	81	8.1	8.1
	기상관측장비 유지관리	155	15.5	15.6
	기상관측자료 제공 신속성	99	9.9	9.9
	기상관측(자료)전문가 확대	139	13.9	14.0
기타	5	.5	.5	
전체		995	99.5	100.0
결측	시스템	5	.5	
전체		1000	100.0	



[그림 4-70] 기상관측자료 활용도 개선업무

기상관측자료 활용도 개선을 위한 업무를 현 소속별로 살펴보면, 모든 집단에서 기상관측자료의 품질관리가 제일 높은 비중을 차지하였지만, 2번째로는 높은 응답은 기상청 소속기관과 산하 공공기관은 기상관측장비 유지관리가 높았으며, 지자체는 기상관측자료 제공의 신속성, 학계는 기상관측자료 전문가 확대를 꼽았다.

[표 4-28] 기상관측자료 활용도 개선업무-현소속

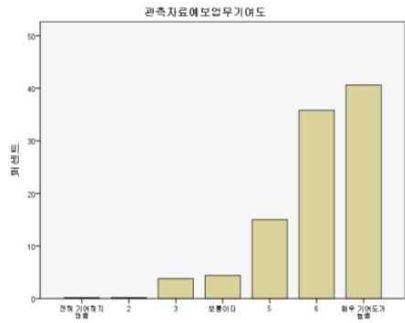
		현소속							전체	
		기상사 업무	지자체 등 공공기관	등 학계	기상청	산하 공공기관	기타			
관측 자료 활용 개선	기상관측망 확대	빈도	9	39	1	21	71	6	11	158
	현소속 중 %	16.7%	17.8%	2.5%	17.8%	16.3%	15.0%	12.5%	15.9%	
	기상관측자료의 품질관리	빈도	14	47	19	49	177	15	37	358
	현소속 중 %	25.9%	21.5%	47.5%	41.5%	40.6%	37.5%	42.0%	36.0%	
	기상관측자료의 전달 및 저장시스템	빈도	5	25	3	8	31	6	3	81
	현소속 중 %	9.3%	11.4%	7.5%	6.8%	7.1%	15.0%	3.4%	8.1%	
	기상관측장비 유지관리	빈도	9	19	3	16	81	7	20	155
	현소속 중 %	16.7%	8.7%	7.5%	13.6%	18.6%	17.5%	22.7%	15.6%	
	기상관측자료 제공 신속성	빈도	9	54	5	8	17	2	4	99
	현소속 중 %	16.7%	24.7%	12.5%	6.8%	3.9%	5.0%	4.5%	9.9%	
	기상관측(자료) 전문가 확대	빈도	8	35	7	16	56	4	13	139
	현소속 중 %	14.8%	16.0%	17.5%	13.6%	12.8%	10.0%	14.8%	14.0%	
기타	빈도	0	0	2	0	3	0	0	5	
현소속 중 %	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.5%		
전체	빈도	54	219	40	118	436	40	88	995	
현소속 중 %	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		



9. 기상관측자료가 예보업무 전반에 미치는 기여도는 어느 정도입니까?

기상관측자료가 예보업무에 미치는 기여도는 매우 높다가 40.6%로 가장 높았으며, 높음(6)도 35.8%로 나타났다. 그리고 응답자의 기여도 평균은 7점 만점에 6.04점으로 기상관측자료가 예보업무에 기여도가 매우 높음을 알 수 있다.

	빈도	%	
전혀 기여하지 않음	1	.2	
2	1	.2	
3	19	3.8	
보통이다	22	4.4	
5	75	15.0	
6	179	35.8	
<b>매우 기여도가 높음</b>	<b>203</b>	<b>40.6</b>	
전체	500	100.0	
N	평균	표준편차	분산
500	6.04	1.07	1.15



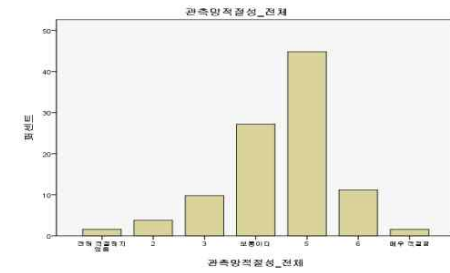
[그림 4-71] 기상관측자료의 예보업무 기여도

10-1. 현재 기상청에서 운영중인 각 기상관측망 구성이 얼마나 적절하다고 생각하십니까?

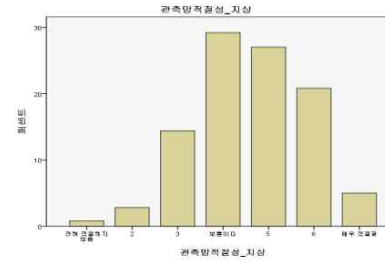
기상관측망 구성의 적절성에 대해 전체적으로는 7점 만점에 4.5점 정도 적절하다고 생각하고 있었다. 세부 관측망별로는 지상기상관측망은 4.61점으로 평균 이상으로 가장 높은 적절성을 나타냈으며, 기상레이더와 기상위성관측망도 평균과 비슷한 수준이었다. 이에 반해 목측은 3.08점, 해양기상관측망은 3.40점, 고층기상관측망은 3.93점으로 관측망의 구성이 적절하지 않다는 응답이 높았다.

[표 4-29] 기상관측망의 적절성

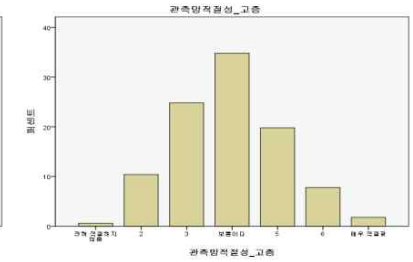
	전체		지상		고층		해양		기상위성		기상레이더		목측	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%
전혀 적절하지 않음	8	1.6	4	.8	3	.6	23	4.6	3	.6	4	.8	81	16.2
적절하지 않음	19	3.8	14	2.8	52	10.4	106	21.2	20	4.0	19	3.8	110	22.0
다소 적절하지 않음	49	9.8	72	14.4	124	24.8	<b>146</b>	<b>29.2</b>	65	13.0	68	13.6	92	18.4
보통이다	136	27.2	<b>146</b>	<b>29.2</b>	<b>174</b>	<b>34.8</b>	125	25.0	<b>186</b>	<b>37.2</b>	<b>168</b>	<b>33.6</b>	<b>148</b>	<b>29.6</b>
대체로 적절	<b>224</b>	<b>44.8</b>	135	27.0	99	19.8	76	15.2	119	23.8	127	25.4	47	9.4
적절함	56	11.2	104	20.8	39	7.8	21	4.2	86	17.2	97	19.4	20	4.0
매우 적절함	8	1.6	25	5.0	9	1.8	3	.6	21	4.2	17	3.4	2	.4
전체	500	100.0	500	100.0	500	100.0	500	100.0	500	100.0	500	100.0	500	100.0
①~③응답자수	76	(15.2%)	90	(18%)	179	(35.8%)	275	(55.0%)	92	(18.4%)	93	(18.6%)	284	(56.8%)
평균	4.5		<b>4.61</b>		3.93		3.4		4.48		4.51		<b>3.08</b>	
표준편차	1.09		1.228		1.178		1.253		1.192		1.2		1.401	
분산	1.188		1.508		1.388		1.571		1.42		1.441		1.962	



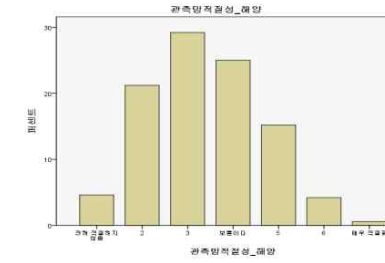
a) 전체



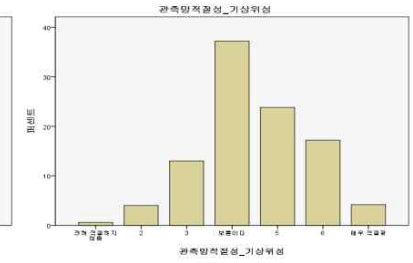
b) 지상



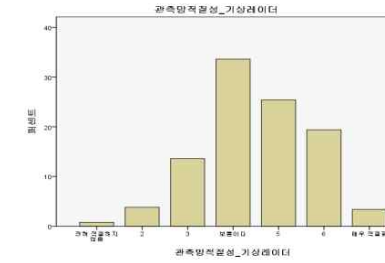
c) 고층



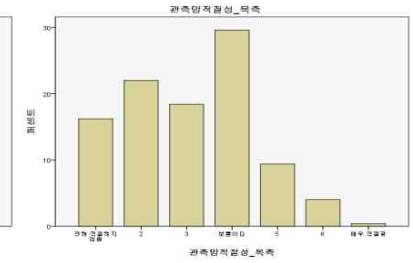
d) 해양



e) 기상위성



f) 기상레이더



g) 목측

[그림 4-72] 기상관측망의 적절성

10-2. (10-1에서 ①-③에 체크를 하신 분만 해당) 현재 운영중인 각 기상관측망이 어느 정도 추가적으로 확대 또는 확충되어야 한다고 생각하십니까?

세부 관측망별로 적절하지 않다고 응답한 분들께 관측망 확대정도를 조사한 결과, 목측기상관측망은 현재대비 102.7% 확대를 할 필요가 있는 것으로 분석되었으며, 해양은 81.9%, 지상은 72.4% 확대가 필요한 것으로 분석되었다.

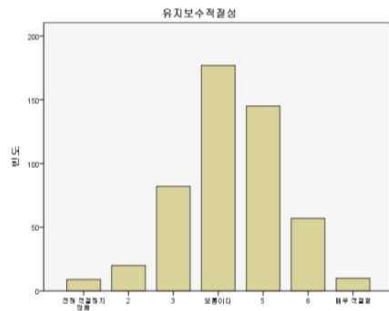
[표 4-30] 기상관측망별 확대 정도

	지상		고층		해양		기상위성		기상레이더		목측	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%
10%	4	4.4	10	5.6	10	3.6	7	7.6	11	11.8	13	4.6
30%	21	23.3	<b>50</b>	<b>27.9</b>	38	13.8	20	21.7	23	24.7	25	8.8
50%	<b>28</b>	<b>31.1</b>	49	27.4	<b>92</b>	<b>33.5</b>	<b>27</b>	<b>29.3</b>	<b>26</b>	<b>28.0</b>	63	22.2
70%	10	11.1	22	12.3	34	12.4	12	13.0	12	12.9	39	13.7
100%	13	14.4	23	12.8	51	18.5	14	15.2	10	10.8	51	18.0
150%	7	7.8	7	3.9	16	5.8	5	5.4	7	7.5	26	9.2
200%	7	7.8	18	10.1	34	12.4	7	7.6	4	4.3	<b>67</b>	<b>23.6</b>
전체	90	100.0	179	100.0	275	100.0	92	100.0	93	100.0	284	100.0
응답자 평균	<b>72.4%</b>		<b>70%</b>		<b>81.9%</b>		<b>69.6%</b>		<b>28.9%</b>		<b>102.7%</b>	

11. 우리나라 기상관측망에 대한 유지보수 등 관리가 잘되고 있다고 생각하십니까?

기상관측망 유지보수 등 관리가 적절하게 되고 있는지에 대해 보통이다가 35.4%로 가장 높게 나왔으며, (4)조금 관리가 되고 있다가 29%순으로 나타났다. 응답자의 평균은 7점 만점에 4.28점으로 대체적으로 관리가 되고 있다고 나타났다.

	빈도	%	
전혀 그렇지 않음	9	1.8	
그렇지 않음	20	4.0	
다소 그렇지 않음	82	16.4	
<b>보통이다</b>	<b>177</b>	<b>35.4</b>	
<b>조금 되고 있음</b>	<b>145</b>	<b>29.0</b>	
잘되고 있음	57	11.4	
매우 잘 되고 있음	10	2.0	
전체	500	100.0	
N	평균	표준편차	분산
500	<b>4.28</b>	1.15	1.33

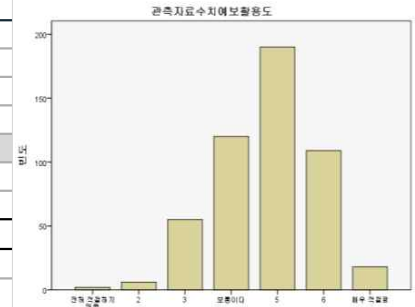


[그림 4-73] 유지보수 관리 정도

12. 기상관측자료가 수치예보모델에 활용되고 있는데 어느 정도 활용되고 있다고 생각하십니까?

기상관측자료가 수치예보모델의 어느정도 활용되는지에 대해 (5)다소 활용된다가 38%로 가장 높게 나왔으며, (4)보통이다가 24%순으로 나타났다. 응답자의 평균은 7점 만점에 4.78점으로 기상관측자료가 수치예보모델에 잘 활용되는 수준으로 나타났다.

	빈도	%	
전혀 활용되지 않음	2	.4	
활용되지 않음	6	1.2	
다소 활용되지 않음	55	11.0	
<b>보통이다</b>	<b>120</b>	<b>24.0</b>	
<b>다소 활용됨</b>	<b>190</b>	<b>38.0</b>	
잘 활용됨	109	21.8	
매우 잘 활용됨	18	3.6	
전체	500	100.0	
N	평균	표준편차	분산
500	<b>4.78</b>	1.08	1.16

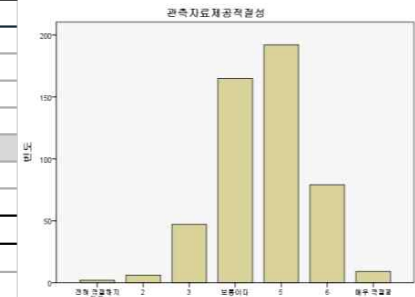


[그림 4-74] 기상관측자료의 수치예보 활용정도

12-1. 현재 수치예보모델에 활용되고 있는 관측자료의 종류나 제공빈도 등 기상관측자료가 적절하게 제공되고 있다고 생각하십니까?

수치예보모델의 기상관측자료가 적절한 제공여부에 대해 (5)대체로 적절히 제공된다가 38.4%로 가장 높게 나왔으며, (4)보통이다가 33%순으로 나타났다. 응답자의 평균은 7점 만점에 4.62점으로 수치예보모델에 관측자료가 적절하게 제공되고 있다고 나타났다.

	빈도	%	
전혀 그렇지 않음	2	.4	
그렇지 않음	6	1.2	
다소 그렇지 않음	47	9.4	
<b>보통이다</b>	<b>165</b>	<b>33.0</b>	
<b>대체로 적절함</b>	<b>192</b>	<b>38.4</b>	
적절함	79	15.8	
매우 적절함	9	1.8	
전체	500	100.0	
N	평균	표준편차	분산
500	<b>4.62</b>	.98	.96

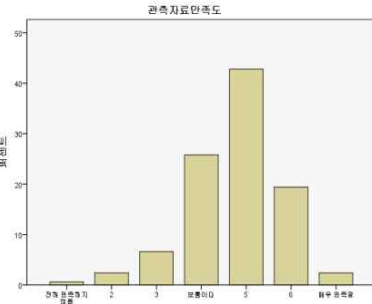


[그림 4-75] 수치예보에 관측자료 제공 적절성

13. 현재 제공받거나 활용하고 있는 기상관측자료에 대해 어느 정도 만족하십니까?

기상관측자료의 만족도에 대한 응답결과, (5)다소 만족한다가 42.8%로 가장 높게 나타났으며, (4)보통이다가 25.8%를 차지하였다. 그리고 7점 만점에 4.76점으로 관측 자료에 대한 만족도는 대체로 양호한 수준으로 나타났다.

	빈도	%	
전혀 만족하지 않음	3	.6	
만족하지 않음	12	2.4	
다소 만족하지 않음	33	6.6	
<b>보통이다</b>	<b>129</b>	<b>25.8</b>	
<b>다소 만족함</b>	<b>214</b>	<b>42.8</b>	
만족함	97	19.4	
매우 만족함	12	2.4	
전체	500	100.0	
N	평균	표준편차	분산
500	4.76	1.03	1.06

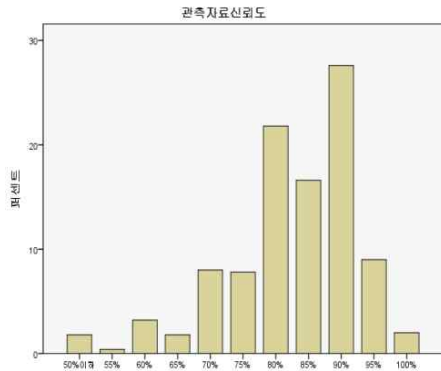


[그림 4-76] 기상관측자료의 만족도

14. 현재 제공받고 있거나 활용하고 있는 기상관측자료에 대한 정확도 등 신뢰도는?

기상관측자료의 신뢰도에 대해서는 (9)90%가 27.6%로 가장 높게 나타났다. 신뢰도 평균은 7.52로 83% 정도의 수준에 신뢰도가 있는 것으로 판단되나, 신뢰도 평균(75%)이하는 15%로 이 부분에 대한 신뢰도 향상 노력이 필요하다.

	빈도	%
50%이하	9	1.8
55%	2	.4
60%	16	3.2
65%	9	1.8
70%	40	8.0
75%	39	7.8
<b>80%</b>	<b>109</b>	<b>21.8</b>
85%	83	16.6
<b>90%</b>	<b>138</b>	<b>27.6</b>
95%	45	9.0
100%	10	2.0
전체	500	100.0
평균	7.52	
표준편차	1.98	
분산	3.95	



[그림 4-77] 기상관측자료의 신뢰도

제 5 장 관측업무 발전 전략

제1절 기본 방향

본 연구에서는 관측업무 발전전략을 수립하기 위해 3가지 기본 방향을 설정하여 발전전략을 수립하고자 한다.

첫째, 기상청의 주요 발전계획과 연계이다. 기상청이 최근 2016년 이후 마련한 주요 중장기 발전계획에 준하여 연구의 기본 틀을 갖추고자 하였다. 여기에는 기상업무에 관한 중장기 목표, 기본방향 등을 반영한 제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021)이 있으며, 이와 함께 작성된 관측업무발전 기본계획(2017~2021)이 있다. 이러한 범법적인 계획에 따라 관측 전반에 관한 시행 계획이 이미 추진 중에 있어 본 사업에서는 기여도 분석 결과를 반영한 현실성 있는 전략을 제시하고, 기존의 연구와도 분석 도구의 차별화를 꾀하고자 하였다. 또한 기상청의 연구개발 중장기계획(2018~2027)에 포함된 기상관측 분야의 투자방향, 우선순위 등과 연계된 전략적 투자 순위 설정, 기상관측의 가치 등을 포함시켜 향후 기상청의 관측업무에 관한 투자 전략을 도출하였다.

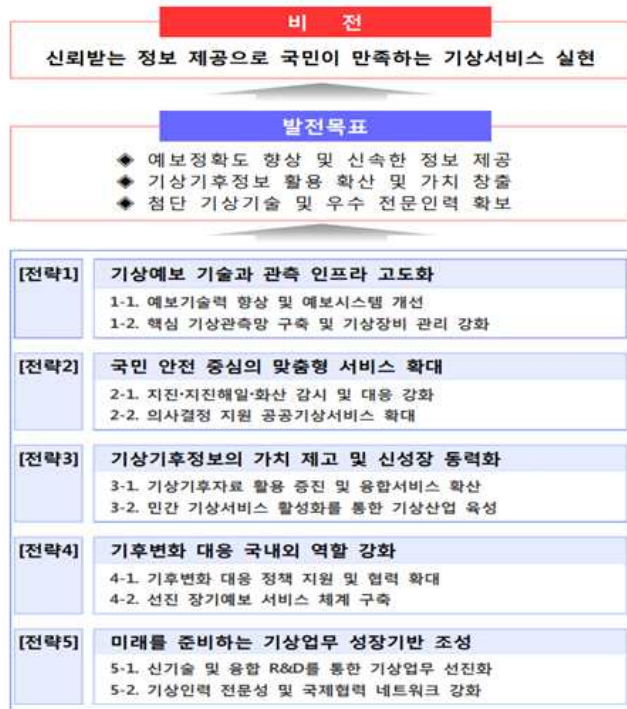
둘째, 본 연구에서는 기상청과 유관기관의 기상관측 및 관측망에 대한 조사를 통해 국가관측망에 대한 자료를 2018년 6월로 현행화 하였고, 이와 함께 현행 기상청이 예보업무와 수치모델 등에 활용하고 있는 각종 기상관측자료를 조사하여 관측과 예보의 연관성을 체계화하는데 목표를 두었다. 이를 위하여 각종 기상관측자료의 예보업무 기여도를 정량적인 측면과 정성적인 측면을 함께 설명할 수 있는 계층분석과정(AHP) 기법을 이용하여 객관성을 부여하고, 우리의 관측전략 제시와 함께 국가 기상관측의 적정성을 평가하였다.

셋째, 미래 융합기술의 반영이다. 최근 4차 산업혁명과 관련된 미래 융합기술(사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 등)이 기상분야에서도 적용되고 있고, 2014년 이후 미국 기상학회에서도 인공지능을 반영한 기상연구 기술의 소개(연평균 30편)가 크게 증가하고 있다고 보고된 바 있다(국립기상과학원, 2017). 현재 우리나라도 이에 대한 기술력이 연구단계를 벗어나 초기 활용단계에 진입했다고 보고 있으며, 우리 기상청도 이미 기상관측용 드론을 개발하여 2019년 부터 활용을 준비 중이고, 사물인터넷 기반의 기상관측망 공동활용 체계 구축, 그리고 기상 빅데이터 활성화 기반구축 등 융합기술을 기반으로 기상기술의 발전을 도모하고 있다. 본 연구에서는 이러한 미래 기술에 대한 주요 기상선진국의 발전 전략 등을 토대로 우리의 전략 방향을 진단하였다.

## 제2절 기상청 관측업무 발전 기본계획

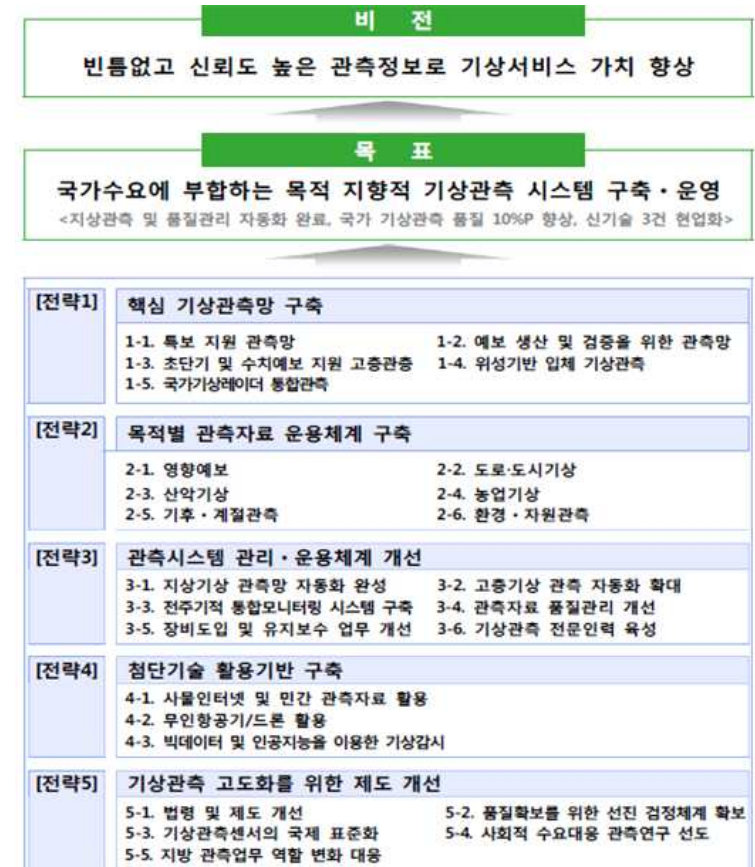
제3차 기상업무발전 기본계획('17~'21)을 살펴보면, 신뢰받는 정보제공으로 국민이 만족하는 기상서비스 실현을 비전으로 설정하였다([그림 5-1] 참조). 이와 관련된 관측업무는 <전략 1> 기상예보 기술과 관측 인프라 고도화에 <세부전략 1-2>인 핵심 기상관측망 구축 및 기상장비 관리강화이다.

세부추진과제로는 예보·특보 지원을 위한 목적별 핵심 기상관측망 구축·운영, 위성·레이더 기반의 입체적 감시를 위한 원격탐사 관측망 고도화, 관측자료 공동 활용 강화를 위한 정책 및 제도 개선, 기상장비의 체계적 도입·운영·관리를 위한 기반 구축으로 구성되어 있다.



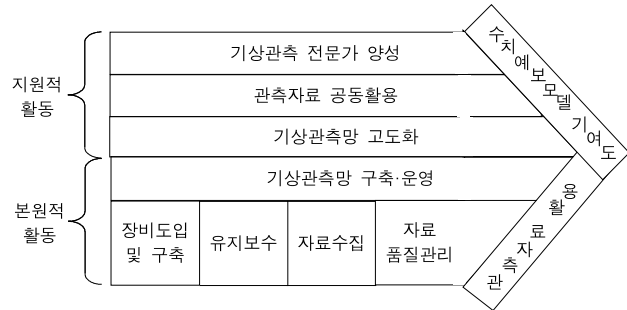
[그림 5-1] 기상청 기상업무발전 기본계획(2017~2021)

기상청은 기상관측업무의 발전을 위하여 [그림 5-1]에서와 같은 관측업무발전 기본계획(2017~2021)을 마련하고, 목적 지향적 기상관측 시스템의 운영을 목표로 하고 있다. 5가지 전략 내에 속한 세부과제 중 새롭게 부각되는 키워드는 영향예보를 위한 목적별 관측자료 운영체계의 구축, 관측자료의 품질 개선, 민간 관측자료의 활용, 사물 인터넷과 드론의 활용 등이라고 할 수 있다. 따라서 관측업무의 고도화 방향 설정에 있어서도 이러한 사항을 착안하여 기술하고자 하였다.



[그림 5-2] 관측업무발전 기본계획(2017~2021)

이상과 같이 관측업무의 가치사슬(Value Chain)로 본다면, 장비도입 및 구축, 유지보수, 자료수집, 자료 품질관리 순서로 진행되는 기상관측망 구축 및 운영이 본원적 활동이 되며, 기상관측망 고도화, 기상관측 전문가 양성, 관측자료 공동활용 등의 활동이 지원적 활동이 된다([그림 5-3] 참조). 이러한 차원에서 각각의 요소별로 발전전략을 제시하고자 한다.



[그림 5-3] 관측업무의 가치사슬

### 제3절 기상관측망 발전 방안

#### 1. 발전 방향

##### (1) 현행 기상관측 체계

국가기상관측 체계를 주관하고 있는 기상청은 기상예보를 위한 관측의 목적으로 2018년 현재 594개소의 자동기상관측시설을 운영하고 있으며, 기상청외에 유관기관 28개소의 기상관측시설(3,766대) 표준화와 관측자료의 공동활용을 위한 각종 기상사업을 추진해왔다. 2000년 이후 기상청의 지속적인 관측분야 확충사업에 따라 각종 기상관측 전반에 걸쳐 상당한 인프라를 구축하게 되었다.

특히 기상청이 운영하고 있는 지상기상관측망은 해상도 측면에서 선진국과 동일한 평균해상도 10km대를 갖추고 있을 뿐 아니라 자료의 수집률 등 자료의 질적인 측면에서도 이미 선진국형 지상기상관측망을 보유하고 있다고 할 수 있다. 또한 이러한 지상기상관측망 운영에 따른 기술 노하우를 개발도상국에 지원하는 등 각종 국제협력사업에서도 인정받고 있다.

그러나 고층기상관측, 원격기상관측 등에 있어서는 지상기상관측에 비해 개선점이 다소 많은 것으로 분석되었다. AHP분석에서도 초단기예보에서 중기예보에 갈수록 고층기상관측의 기여도가 0.096에서 0.330으로 높아지듯이 이들 관측자료가 우선적으로 수치예보에 적극 활용될 수 있고, 신뢰성이 높은 상세한 관측자료가 생산될 수 있는 체계로 구성되어 있는지 분석하여 우리나라의 최적 관측망에 관한 방향을 도출하고자 하였다.

##### (2) 발전 방향

설문조사를 통해 기상관측망 구성의 적절성을 조사한 결과, 7점 만점에 4.5점으로 대체로 적절하다고 생각하고 있었다. 그리고 세부 관측망별로는 지상기상관측망은 4.61점으로 가장 높게 나타났으며, 이에 반해 고층기상관측망과 해양기상관측망은 다소 미흡한 것으로 분석되었다. 그리고 기상선진국 기상관측망 현황을 통해 우리나라 기상관측망은 향후 발전 방향의 축은 보다 상세하고 조밀한 중규모 기상관측망 구축에 있다고 할 수 있다.

이는 성숙단계에 진입한 동네예보와 함께 2020년 시행을 앞둔 영향예보를 뒷받침할 수 있는 도구가 중규모 기상관측으로 분석되었다. 현행 기상청의 지상관측망의

규모의 크기는 약 10km 안팎 정도이지만 이 관측망은 종관규모의 예보를 보다 구체화하기 위해 구축된 것으로 이보다 작은 규모 즉, 중규모 기상예보를 위하여서는 상세 중규모 관측망이 필수적이라고 하겠다. 이를 위하여서는 3차원 입체관측망이 효율적으로 가동되어야 하며, 지상기상관측에 원격관측망이 상호 보완적으로 구축되어야 한다. 특히 방재 목적으로 상세 관측자료를 얻기 위해서 레이더, 라이더 등과 같은 원격관측망을 적극적으로 활용해야 하며, 뿐만 아니라 기존의 타 기관 관측망의 목적별 국지기상 관측망(AWS)을 공동 이용하는 통합망을 구축해야 할 것이다.

이와 함께 기상청은 고품질 기상관측 자료를 확보하기 위한 관측망 구축으로 경제적이고, 효율적인 관측계획을 추진해야 하겠다. 기존 관측망의 존속이나 확충 차원의 논리보다 관측 공백을 효과적으로 해소할 수 있는 지상, 원격, 그리고 타기관의 활용 가능한 관측 등을 종합화 할 수 있는 계획이 요구된다. 또한 종관기상관측 분야에서는 자료의 질을 향상시킬 수 있는 방향으로의 발상 전환이 필요하며, 기상재해의 조기예측에 필요한 인공지능 등이 활용된 첨단 기상관측망 구성으로 관측 공백 해소를 유도해 나가야 할 것이다.

즉, 기상관측의 핵심이 되는 기존 종관기상관측망(ASOS, AWS, 고층기상관측망)을 제대로 유지 관리함과 동시에 조밀한 관측요구에 부응하기 위해서는 실측관측망과 조화를 이루는 원격관측망을 구축해야 한다. 또한 유관기관의 국지적인 관측망에 대한 표준화를 유도하고, 공동 활용하는 방향으로 나아가야 하겠다. 이와 동시에 대도시 기상감시망 구축, 인구 밀집지역의 낙뢰감시 능력 보강, 차세대 위성에 대한 새 미션 부여 등 발전하는 신기상기술을 관측시스템에 수용하기 위한 시범사업(Pilot Project)을 지속적으로 추진해야 할 것으로 분석된다.

## 2. 운용 제고 방향

### (1) 운용 현황

기상청의 기상관측망 운용 현황을 보면 기상관측의 주요 업무특성이 목적, 범용 장비 운영에서 자동화 및 첨단장비 운영, 유지관리, 현장 품질관리 등으로 다변화되어 가고 있는 추세이다. 이에 따라 관리의 효율성과 전문성 확보를 위해 관측 장비의 구매, 유지보수의 업무를 한국기상산업기술원에 위탁하여 운영('18년 대행업무 사업 예산: 16,360백만원)하고 있다. 또한 조직개편에 따른 관측업무 재조정과 인력 재배치 추진 등으로 [표 5-1]에서와 보는 바와 같이 종관기상관측 분야에 대한 유인 관측지점은 22개가 존속되어 있어 무인 관측지점 수는 증가하고 있는 실정이다.

[표 5-1] 유인 관측지점(22개소)

관측지점	소속기관(관측현업)	관측지점
지상관측 (22개소)	지방청 6개소(24명)	수도권, 부산, 광주, 강원, 대전, 제주
	지 청 3개소(12명)	대구, 전주, 청주
	기상대 7개소 (37+21*명)	인천, 안동, 울산, 창원, 목포, 춘천, 홍성
	관측소 6개소(18*명)	서울, 백령도, 울릉도, 흑산도, 포항, 여수

\* 관측보조요원 활용기관(13개소) : 총 39명

관측분야에 있어서는 기상대와 관측소의 관측업무를 관측보조원(용역업체)이 수행하고 있어 관측업무 전반에 대한 문제 발생 우려가 있으며, 기상관측에 관한 신기술 포함 주기적 보수교육체계 미비한 실정이다. 이로 인하여 관측시스템의 적절한 유지관리를 보장하는 측기 전문가, 기술인 육성체계가 미흡하여 관측 기술력 향상에 많은 문제가 따르고 있다. 또한 지역의 방재기상업무 측면에서도 방재 유관과의 협력과 소통 등에도 미흡한 부분이 발생하고 있는 실정이다.

한편 기상청의 장비담당 인력은 기술원 설립 당시 직제 개정을 통해 한국기상산업기술원에 구매관리 인력 13명, 측기검정 인력 17명(본청 4명 포함)으로 재배치된 상태로 현재 기상청(지방청과 지청 포함)은 장비를 전담하는 전문 기술인이 없는 상태라고 하겠다. 이로 인하여 장비의 유지보수와 관련하여 장비운용 비용이 과다 지출되고 있으며, 유지보수 용역 가이드라인의 부재로 책임성의 불명확, 유지보수 결과의 철저한 검증과 전문성 미흡 등을 들 수 있다. 또한 대부분 초보 기술자를 투입하고 있어 단순한 주기적 부품교체에 치중하는 등 장비 장애시 빈번한 제작사 수리 의뢰로 장기간 관측공백이 야기될 가능성이 높은 실정이라고 하겠다.

### (2) 제고 방향

기상관측업무를 효율적인 운용에 가장 중요한 요소는 우선 관측분야의 업무 영역과 역할의 정립을 통해 국가의 수요에 부합하는 양질의 관측자료의 생산이라고 할 수 있다. 즉, 4개 기관(본청, 지방청 및 지청, 한국기상산업기술원 그리고 유지관리업체)간의 명확한 업무 영역의 분류 및 역할 정립으로 관측업무를 효율성 도모해야 할 것이다.

본청은 관측장비 도입 기획, 관측표준화, 고층관측망 관리, 관측교육 실시 등 정책 및 기획업무를 담당하고, 지방청과 지청은 관측장비 모니터링 및 장애 조치, 기

상관측장비 신규 설치 및 이전, 관측보조원을 관리해야 할 것이다. 산하기관인 한국 기상산업기술원은 지상·해양기상 관측장비의 구매, 유지보수 사업 운영 등을 맡고, 유지관리업체는 장비설치 및 유지보수 등 실제사업에 투입되어 임무를 수행하는 역할 등을 부여하는 것이 효율적이라고 하겠다.

또한 이러한 선순환의 중심에 위치한 기상청은 각종 관측기술의 전문성을 확보할 수 있도록 기술인 양성과 인력양성 프로그램 개발에도 지속적인 투자를 병행해야 효율적인 관측 운용을 기대할 수 있을 것이다.

### ○ 관측업무 분야

관측업무의 효율화를 위해 지방청과 지청은 관측업무를 유지하되 그 외 유인 관측지점은 관측보조원을 활용하는 방법을 제시하고자 한다. 관측보조원은 해당 관측지점의 기상관측(목측 포함)과 장비관리 등 담당하게 하고, 기상대 및 관측소(각 1인, 총 13명)는 해당 관측지점의 관측업무 관리와 병행하게 하는 등 외부용역들을 충분히 관리할 수 있는 경력직원을 배치함으로써 지방관서의 관측업무의 공백을 최소화해야 할 것으로 분석된다.

### ○ 장비관리 분야

장비관리 업무에 있어서는 장비 내용연수를 유지하면서 각 부품별 최적사용 주기에 대한 효율적 관리 방안 마련한다든가, 안정적 장비 운영을 위해 유지보수(부품비, 수리비 등 포함)와 유지관리(시스템 성능개선)개념을 결합하여 유지보수용역 계약 체결하는 방안 등이 효율적인 장비관리라고 판단된다. 그러나 이러한 업무를 체계적이고 전주기적으로 관리하기 위하여서는 장비기술을 통합 관리할 수 있는 조직의 신설이 필요하다. 이러한 통합관리 업무 기능을 부여한 기관 신설로 업무의 독립성을 확보하고, 전문성 향상을 꾀함과 동시에 지상·고층·해양 관측장비에 대한 운영 및 기술적인 전문관리를 이루어 낼 수 있다고 본다.

새로운 조직의 구성 방안([표 5-2] 참조)을 보면 장기적으로 장비관리, 테스트베드, 인증센터, 측기검정을 전담하는 전문기관의 신설이 필요하다. 현재 운영중인 기상장비 검·교정은 고창·추풍령 표준관측소와 기술원의 장비구매 및 관리 인력으로 구성하며, 향후 설립예정인 형식인증센터(2020년 이후)에 기능을 부여하여 점진적으로 통합 및 확대해 나가야 할 것이다. 한편 장기적으로는 기상장비시설관리공단(가칭)으로 확대 발전시켜 나갈 수 있는 방향을 제시한다.

또한, 기상장비의 안정적 운영 및 전문성 확보를 위해 전문기관에서 기상관측망 관리 및 도입~테스트~검정~인증의 전 과정에 대한 통합관리를 추진하고, 관측업무의 위탁 수행(관측보조요원 직접 고용)이 필요한 사항이 될 것이다. 장기적으로는 현재의 직접 관측수행을 하는 체계에서 민간, 공공기관, 지자체의 고품질의 기상관측자료를 구매 및 공유하는 방안으로 변경하여 관측자료별 통일된 품질체계를 정립하고, 관측망 재배치 및 관측자료 구매대상 선정 관측자료의 구매가격의 적정성 검토 및 구매 기간 등을 고려하는 패러다임의 변화도 함께 요구된다.

[표 5-2] 장비관리 업무 중장기 조직 발전전략

단기(2019년)	중기(2020년)	장기(2021년~)
- 기술원 지상·해양장비 구매, 유지관리팀 분리	- 기상관측업무 기술원 위임	- 기상장비시설관리공단 설립 (형식승인센터+기술원 장비본부+검교정팀)
- 검·교정 인력 분리 (기술원 지방인력 포함)	- 관측보조원 직접채용 - 형식승인센터 건립	
- 장비장애 모니터링 수행	- 유관기관 자료포함확대	
- 유관기관 관측자료 모니터링 수행	- 유관기관 관측자료 품질관리 기준 적용	

### ○ 대행역무 사업 분야

한국기상산업기술원 이관 업무 중 고층관련 업무는 지방청별로 운영되고 있어 도입 및 유지관리업무를 소속기관 업무 효율화와 연계하여 이관시키는 것이 타당하다고 본다. 또한 장비도입 및 유지관리 업무는 지방청(지청)의 업무부담을 경감시키도록 사업관리(원가계산, 제안요청서 작성, 평가, 계약, 검사·검수 등)를 본청에서 지원해야 할 것이다. 이외에도 관측자료의 정확도 확보를 위한 첨단장비의 작동원리, 검·교정 기술, 관측자료 해석 등 전문지식을 갖춘 현장인력의 투입이 필수적이라고 할 수 있다.

## 제4절 기상관측 분야별 최적 관측망

### 1. 종관기상관측

#### (1) 지상기상관측

WMO가 권고 제시하는 종관기상관측망의 해상도에서와 같이 현행 우리나라의 종관기상관측망(지상, 고층)에 대한 해상도는 양호한 편이라고 할 수 있으나, 보다 상세하고 정밀한 예보를 위하여서는 예보 목적별로 관측망의 해상도를 높이는 방안이 필요하다. 이와 함께 관측자료의 신뢰성 제고를 위한 품질관리 방안, 활용기술에 대한 최적 방안이 제시되어야 할 것이다.

이미 2장에서 기술한 바와 같이 우리나라는 96개소의 지상기상관측망(1개소/1,070km<sup>2</sup>)을 운영하고 있으며, 평균해상도는 13km, 1분 단위 수집으로 WMO 권고 수준보다 조밀하고, 기술수준도 우수한 편이다. 이는 1,082개소를 가진 미국(1개소/9,090km<sup>2</sup>)에 비해 훨씬 조밀하며, 331개소를 운영 중인 일본(1개소/1,150km<sup>2</sup>)의 관측망과는 거의 비슷한 수준으로 보인다. 더구나 494개소의 AWS관측망이 운영되어 있어서 이를 합하면 약 1개소/170km<sup>2</sup> 정도의 평균해상도를 가지며, 자료수집 빈도 면에서 보면 우리나라는 매1분 단위인 반면 미국은 10분 간격 등으로 우리나라는 기상선진국에 비해 양호한 편이다. 그러나 동네예보를 위한 해상도(약 5km)를 충족하지 못하고 있고, 목측관측 자동화를 위한 관측센서의 확대와 신뢰성 확보가 다소 미흡한 것으로 나타나 이에 대한 개선이 요구된다.

특히 6종의 관측분야(지상, 고층, 해양, 위성, 레이더, 목측)에 대한 AHP분석 결과, 지상기상관측에 대한 초단기와 단기예보 기여 지수는 모두 0.320로 1순위를 보였고, 중기예보의 기여 지수는 0.226의 2순위로 나타났다(표 5-3). 한편 AHP 설문에 의한 분석과 달리 실제 기상청 수치예보모델에 기여하는 3종의 관측분야(지상, 고층, 위성)를 조사한 자료에서는 7~20%의 3순위를 보였다.

[표 5-3] 지상기상관측자료의 예보 기여도(괄호안은 순위)

AHP분석을 통한 기여도	초단기예보	단기예보	중기예보
	0.320(1)	0.321(1)	0.226(2)

이러한 결과가 시사하는 점은 일반적인 예보수행에 있어서 설문 대상자들은 지상관측의 중요성을 인지하고 있다고 할 수 있다. 다만 수치예보 모델로서 예보 기여

도를 높이는 데는 지상관측으로는 한계가 있다고 분석된다.

또한 6종의 관측분야 중 목측(유인)관측 분야가 기여 지수 0.140의 3순위로 나타났다. 이는 목측(유인)관측이 기상실황 감시와 기상특보 생산에 기여하는 부분을 간과할 수 없다는 AHP 결과라고 하겠다. 즉, 하늘상태, 시정 등의 주요 요소에 대한 유인관측의 필요성을 말해 주는 것이라고 할 수 있다. 따라서 관측 자동화가 실현되더라도 향후 지상기상관측망의 개선에 어떠한 방법으로도 이에 대한 보완이 요구된다고 하겠다. 현재 관측소 무인화로 인하여 관측 전문성에 대한 인식이 크게 희박해져 있을 뿐 아니라, 각종 환경영향평가에 필수 요소인 안개일수 산출 기능과 계절관측의 부실 등으로 이어질 수 있어 관측의 근본이고 지속적인 자료 축적이 불가능해지는 안타까운 현실에 직면해 있다. 이에 대해 관측 중요 지점에 대하여서는 점진적으로 최소한의 정규 관측인원의 확보를 통해 다양한 기상업무를 병행할 수 있는 신 개념의 유인관측을 고려하는 방향을 제안할 수 있다. 또한 4장의 설문조사 결과에서와 같이 2020년부터 시행되는 영향예보 성공적 수행을 위하여서 우선적으로 개선할 사항을 안개(적설)관측이 23.0% 1위로 집계되었고, 지상관측이 21.8%로 2위에 올라있다. 이는 지상기상관측이 주요 임무인 유인관측에 대한 부활의 필요성을 AHP분석과 설문조사 결과가 모두 시사하고 있다고 할 수 있다. 한편 기기에 의한 목측관측의 자동화는 불완전하여 지속적인 별도의 투자를 통한 보완이 필요하다고 판단된다.

#### (2) 고층기상관측

고층기상관측의 경우 우리나라는 6개소의 관측망을 운영 중이며, 이는 1개소당 16,700km<sup>2</sup>의 관측영역을 포함한다. 이는 일본 24개소(16,000km<sup>2</sup>/1개소)와 비슷한 수준이며, 영국 20개소(12,200km<sup>2</sup>/1개소)에 비해서는 그 밀도가 조금 떨어진다. 반면에 미국의 107개소(91,900km<sup>2</sup>/1개소), 호주의 35개소(221,000km<sup>2</sup>/1개소), 중국의 91개소(105,000km<sup>2</sup>/1개소)에 비해 설치 밀도는 조밀하다는 것을 알 수 있다. 즉, 우리의 고층기상관측망은 평균해상도 112km를 보이고 있고, 연직바람관측장비 등 원격관측을 포함했을 때의 해상도는 평균 77km로 WMO 권고 수준보다 조밀하다고 할 수 있으나, 우리나라의 해양면적을 고려하면 WMO 권장 수준에 겨우 만족하고 있어 보완이 필요하다고 본다.

특히 6종의 관측분야(지상, 고층, 해양, 위성, 레이더, 목측)에 대한 AHP분석 결과, 고층기상관측에 대한 초단기예보 기여 지수가 0.096으로 5순위를 보였고, 단기와 중기예보의 기여 지수는 각각 0.202, 0.330의 1~2순위로 매우 높게 나타났다(표 5-4). 한편 실제 기상청 수치예보모델에 기여하는 3종의 관측분야(지상, 고층, 위성)를 조사한 자



료에서는 22~38%로 2순위를 보였다. 이 결과를 종합해 보면 수치예보모델 기여도 측면에서는 시공간 해상도 향상이 요구되며, 또한 현행 레원존대를 이용한 고층관측을 대신할 수 있는 첨단 장비의 확충과 함께 관측자료의 질 향상이 필요하다고 추측된다.

[표 5-4] 고층기상관측자료의 예보 기여도(괄호안은 순위)

AHP분석을 통한 기여도	초단기예보	단기예보	중기예보
	0.096(5)	0.202(2)	0.330(1)

### (3) 해양기상관측

기상청의 해양기상관측망은 현재 8종, 123개의 장비가 설치되어 앞바다 및 연안 관측망은 충족되었으나, 먼바다 부근의 관측이 미흡하다고 분석된다. 특히 6종의 관측 분야(지상, 고층, 해양, 위성, 레이더, 목측)에 대한 AHP분석 결과(표 5-5), 해양기상관측에 대한 초단기예보 기여 지수는 0.084로 6순위를 보였으나, 단기에서 중기로 예보 기간이 늘어 날수록 해양기상관측에 대한 예보 기여 지수는 각각 0.126, 0.188로 증가하였다. 이는 예보기간이 긴 중기예보에서는 해양관측자료가 매우 중요한 역할을 차지한다고 할 수 있으며, 앞서 기술한 앞바다보다는 먼 바다의 관측자료의 보강이 더 절실하며, 태풍의 진로 정확도 향상을 위한 관측망확충이 필요하다고 분석된다.

[표 5-5] 해양기상관측자료의 예보 기여도(괄호안은 순위)

AHP분석을 통한 기여도	초단기예보	단기예보	중기예보
	0.084(6)	0.126(4)	0.188(3)

### (4) 유관기관 관측

종관기상관측을 위한 기상청의 전반적인 관측망은 해상도 측면에서는 비교적 양호하다고 볼 수 있으나, 반면 유관기관의 목적별 기상관측망의 경우 체계적인 관측에 대한 기준이 없이 설치되어 있어 기상청은 국가 기상관측망의 공통된 기준을 만들어 낼 필요가 있다고 본다. 특히, 종전의 유관기관 기상관측망은 주로 강수량 관측을 위한 장비가 대부분이었으나, 현재는 많은 기관들이 기관의 특성에 맞는 관측장비 등을 운영하고 있어 이에 대한 범국가적인 관리와 기술지원이 절실하다고 본다.

방재목적의 기상관측망은 기상청 외에 각급 지방자치단체, 국립공원관리공단 등

28개 기관에서 자연재해대처 및 예방을 위하여 총 3,766개소의 관측망을 운영하고 있으나, 관측자료의 수집율(94%)에 비해 실질적인 활용이 미비하여 활용체계의 개선이 요구된다고 하겠다.

해양목적의 기상관측은 기상청을 비롯한 국립해양조사원, 한국해양과학기술원, 해군 등 7개 기관에서 운영하고 있으며, 총 325개소의 해양기상관측망으로 이루어져 있다. 특히 해안 및 앞바다에는 기존 시설물 등을 이용하여 상당한 기상관측시설이 설치 운영 중에 있으나, 먼 바다의 관측망이 부족한 편이어서 해양기상관측망 확충을 위하여 선박관측 및 원격관측의 도입도 필요하다고 본다. 즉, 서해상의 위험기상관측과 태풍진로 정확도 향상을 위한 해양기지의 추가 건설(서해중부 덕적도 및 서해남부 안마도 등), 기상관측선 2호 도입, 자원관측선박(VOS)의 확대 등 지속적인 해양기상관측망 확충이 필요하다.

수문목적의 기상관측망은 기상청을 비롯한 국토부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 한국수력원자력 등에서 181개소의 AWS 관측망, 657개소의 강수량 관측망 등 총 765개소의 수문기상관측망을 운영 중에 있다. 이 수문관측망의 평균 해상도는 약 11km 정도로서 미흡한 편은 아니나 보다 상세한 수문 감시를 위하여서는 수계별로 X밴드 레이더관측망을 구축할 필요가 있다고 판단된다. 또한 환경부 홍수통제소 관측자료의 공동활용 체계 구축이 요구된다.

한편, 특수목적의 관측을 수행하는 사업체인 ㈜SK플래닛은 'IoT센서솔루션 데이터 분석기술-딥러닝'을 활용하여 기상 및 산업용 관측장비의 유지관리는 물론 관측자료의 품질관리 기술을 개발하여 사용 중에 있다. 그동안 이 사업체는 6년간 축적한 센서데이터 200억건 기반의 센서 이상감지, 성능보정 모델을 보유하고 오류감지율 96.6%, 기준장비 오차율을 60%로 감소시키는 등 다양한 Deep Learning기법을 적용하여 빠르게 신규센서에 대응하는 AI기반의 IoT센서 관제를 수행하고 있어 ㈜SK플래닛과 기상청과의 협업 가능성도 열려있다고 하겠다.

## 2. 원격기상관측

### (1) 위성기상관측

위성기상관측과 기상레이더관측을 대표하는 원격기상관측은 지상에 관측기기를 설치하기 어려운 오지나 산악 그리고 해양에 대한 광범위한 관측을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 우리나라의 경우, 5개 채널(가시-1km, 적외-4km)를 가진 국내 최초의 정지기상위성인 천리안1의 운영으로 총 16종의 기상산출물을 활용하고 있

다. 천리안1은 국외 다른 위성자료와 더불어 품질검증 및 특성을 파악하여 현업수치예보모델의 입력자료로 제공되고 있다.

그러나 천리안1은 아시아-오세아니아 지역의 2차원적 자료표현 만 가능하므로 강수를 일으키는 연직구조 파악과 전지구 기후환경 변화를 감시하는데는 한계가 있다. 또한 다양한 위성 탐측자료에 대한 이해와 관련 기반기술 부족으로 초단기 예측 활용 및 수치지원에도 한계를 느끼고 있기도 하다. 더구나 국내외 대용량 위성자료 수요 증가와 활용분야 다양화에 따른 사용자 맞춤형 서비스 체계를 갖출 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

이러한 한계와 단점을 보완하기 위해서는 우선 차세대 정지 및 저궤도 위성의 개발과 독자적인 관련 기반기술의 확보가 절실하다. 다행히 후속 정지궤도위성인 천리안 2A의 발사를 위해 2018년까지 기상 및 우주기상탐체체 개발을 마치고, 지난 12월 5일 프랑스령 기아나 꾸루 우주센터에서 성공적으로 발사되어 천리안1에 비해 체널수는 3배, 공간 해상도는 2배, 시간해상도는 3~4배, 산출물 3배 이상 등의 증가를 기대하고 있다. 또한 2019년까지 국제적 수준의 기상 및 우주기상 자료처리 알고리즘 개발이 계획되어 있다.

특히 6종의 관측분야(지상, 고층, 해양, 위성, 레이더, 목측)에 대한 AHP분석 결과, 위성기상관측에 대한 단기예보 기여 지수가 0.130으로 3순위로 다소 의미있는 기여도를 나타냈으나, 초단기예보와 중기예보가 각각 0.119와 0.109로 4순위로 낮은 편이었다(표 5-6). 한편 실제 기상청 수치예보모델에 기여하는 3종의 관측분야(지상, 고층, 위성)를 조사한 자료에서는 58~65%로 1순위를 보였다. 이 결과를 종합해 보면 기상위성자료는 일반적으로 흔히 접하게 되는 표출 영상외에도 16종이 넘는 수많은 전문성있는 기상위성 관측자료들이 수치예보모델 결과 계산에 기여하고 있음을 반증하고 있다. 즉, AHP분석 결과물은 기상업무 종사자들의 설문조사를 통한 체감효과가 반영된 것이고, 수치예보모델에 기여하는 결과물은 수치모델의 오차를 줄일 수 있는 통계적인 수치이기 때문에 차이를 보인 것이다.

기상청은 한국형 수치예보시스템의 완성을 2019년으로 앞두고 있고, 한국형 수치예보모델 개발에도 기상위성 관측자료에 대한 자료동화를 매우 중요한 단계로 평가하고 있다(한국형수치예보모델개발사업단, 2018). 또한 기상선진국인 영국기상청의 자료([그림 3-33] 참조)를 보더라도 위성기상 관측자료에 대한 수치예보 민감도는 위성이 고층이나, 지상 자료에 비해 월등히 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 수치예보 모델 결과의 개선을 위하여서는 2019년 이후 활용되는 후속위성 천리안2A에 대한 자료처리 알고리즘의 개발과 수치예보 자료동화에 확대 적용이 가능한 위성기상관측자료의 수집이 필요할 것으로 분석된다.

[표 5-6] 위성기상관측자료의 예보 기여도(괄호안은 순위)

AHP분석을 통한 기여도	초단기예보	단기예보	중기예보
	0.119(4)	0.130(3)	0.109(4)

또한 이를 바탕으로 수치예보 및 전지구 기후감시에 필요한 연직 대기구조 파악에 유효한 저궤도 기상위성의 개발이 요구되고 있다. 이 위성에는 마이크로파-적외 초분광 탐측기를 탑재한 저궤도 위성이여야 한다. 최근 빈발하는 위험기상에 대한 효과적인 감시를 위해 2018년 12월 5일 발사한 차세대 기상위성인 천리안2A와 2019년 말에 발사 예정인 차세대 해양환경위성(천리안2B)이 발사하게 되면, 첨단 탐지 능력과 성능을 갖추게 된다. 이에 따라 산출된 자료와 지상 및 수치자료를 종합적으로 활용한 통합적 감시 및 분석기술 개발이 필요하다고 추측된다.

## (2) 기상레이더관측

기상레이더관측의 경우 그동안 부처별(기상청, 국토교통부 및 국방부)로 운영되던 기상레이더에 대한 자료의 효율적 활용을 위하여 범부처적 레이더자료 공동활용체계를 구축하여 2011년부터 운영하고 있다. 기상청은 현업용 기상레이더 11대(S밴드)로 광범위한 관측망이 구축되어 해상도가 약 9,100km로 일본, 영국, 미국·호주 등 선진국 보다 조밀한 관측밀도와 동일기종의 첨단시스템 설치로 관측자료의 균질성을 확보하는 등 표준화된 운영체제를 갖추게 되었다. 그러나 기상청의 경우 관측취약지역이 노출되고, 저층강수 탐지효율성이 저하되는 문제점이 발견되어 이에 대한 종합적인 대책이 요구되고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해서는 현재 개개의 레이더에 일률적으로 적용되고 있는 관측전략을 각 레이더 사이트의 특성을 살려 특성화할 필요가 있다고 본다.

미국의 경우 위험기상의 특성에 따라 7개의 강수모드로 관측전략을 운영하고 있으며, 또한 강수모드에 따라 관측주기도 다르게 운영하고 있다. 일본의 경우에는 2가지 관측전략 즉, 5분 간격의 1km 해상도를 가진 강우강도 합성도와 10분 간격의 2.5km 해상도를 가진 예고 높이 자료이다. 우리나라의 경우 10분 간격의 레이더 영상 합성자료가 제공되는데, 합성에 필요한 데이터를 약 6분 주기로 수집하고 있다. 즉, 현재 각 레이더 마다 8~11개의 고도각을 입체 관측에 적용하므로 입체관측에 약 6분이 소요된다는 의미이다. 앞으로 5분 간격의 합성영상 생산을 위해 최소 4분 간격의 관측 전략이 필요하다. 따라서 각 레이더 마다 입체관측이 종료되는 즉시 중앙 서버로 자료를 바로 전송하고 있는 현 전략을 바꿔 고도별로 관측된 자료를

그 때마다 분리 전송하여 QC, 합성자료처리 프로세스를 개선할 필요가 있다. 더구나 원거리에서의 지표면 부근의 강수현상을 효과적으로 획득하기 위해서는 안테나 고도각을 0° 이하로 내려 입체관측하는 전략도 필요하다.

특히 6종의 관측분야(지상, 고층, 해양, 위성, 레이더, 목측)에 대한 AHP분석 결과(표 5-7), 기상레이더관측에 대한 초단기예보 기여 지수가 0.241의 2순위로 나타났으나, 단기예보와 중기예보에서는 각각 0.118과 0.070으로 5, 6순위로 낮은 편이었다. 기상레이더관측은 지상관측과 함께 초단기예보에서의 중요성의 부각은 일반적인 기상 상식을 잘 반영한 결과라고 할 수 있다.

[표 5-7] 레이더기상관측자료의 예보 기여도(괄호안은 순위)

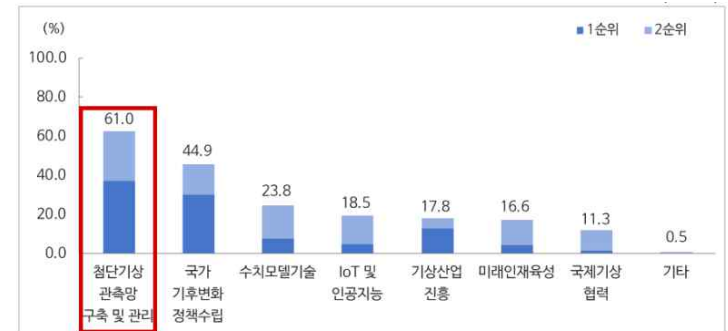
AHP분석을 통한 기여도	초단기예보	단기예보	중기예보
	0.241(2)	0.118(5)	0.070(6)

현재 이중편파 S밴드 레이더로 광범위한 레이더관측망이 구축되어 있으나, 여전히 서해, 동해 먼바다와 내륙 지표 부근의 감시망이 더 필요한 실정이다. 이를 위해 먼바다에 대한 감시를 강화하기 위해 격렬비열도와 울릉도 등 먼 바다에 위치한 섬을 활용하여 전원 공급 능력을 보완한 이중편파 S밴드 기상레이더의 추가 설치가 필요하며, 내륙 지표에 대한 강우를 효과적으로 감시하기 위한 소형 X밴드 도플러 레이더를 설치하여 취약지역에 대한 감시를 보강할 필요가 있다. 즉, 관측사각지대 해소 및 내륙 지표부근의 감시망 강화와 수치예보 모델 및 범부처 공동 활용 중대를 위한 지속적인 품질 고도화가 필요하다고 본다. 또한 현재 미국에서는 다중안테나 기상레이더가 개발이 활발하게 진행 중이어서 이에 대한 관심도 가져 볼 만한 하다.

### (3) 투자 방향

결과적으로 각종 수치예보기여도에 가장 큰 역할을 하고 있는 원격기상관측(위성, 레이더) 분야는 수치예보 관련 S/W의 지속적 개선과 자료의 품질관리 및 활용기술 개선에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으므로, 이에 대한 장기계획도 마련되어야 할 것으로 보인다. 레이더관측망의 경우 S밴드 레이더 등 광범위한 관측망이 구축되었으나, 서해, 동해 먼바다와 내륙 지표 부근의 감시망이 추가 필요하다고 본다. 위성관측의 경우 2018년 12월 5일 발사된 16채널의 차세대 정지기상위성의 관측자료를 효과적으로 분석해 낼 수 있는 분석 능력의 확보가 우선되어야 할 것으로 보인다.

이와 함께 기상 선진국과의 상호성있는 협력을 통한 원격 관측기술 교류 확대 방안도 마련되어야 할 것으로 분석된다. 또한 [그림 5-4]에서와 같이 기상분야 전문가 800명을 대상으로 한 설문조사(2018. 12월) 결과 기상청이 기상예보서비스 외에 중점적으로 추진해야 할 주요 분야로 ‘첨단 기상관측망 구축 및 관리’가 1순위로 선정되어 있어 신기술이 구현된 원격기상관측을 기상청의 중요한 관측업무의 축으로 보고 있었다.



[그림 5-4] 2018년도 기상업무 대국민만족도 조사 결과

한편 기상청의 연구개발 중장기계획과 연계된 향후 관측 및 관측장비 연구개발 투자 우선 순위와 주요 방향([그림 5-5] 참조)을 보면 2018년부터 2027년 까지 향후 10년간 총 6,197억원이 소요될 것으로 추정되며, 이 중 원격기상관측 분야의 지원이 5,247억원으로 전체 관측 예산의 84% 정도가 이 분야에 투자될 전망이다. 따라서 이에 준하는 원격기상관측에 대한 중장기 계획도 보완되어야 할 것이다.



[그림 5-5] 기상 연구개발 중장기 로드맵(관측분야)

이와 같은 기상관측의 고도화를 위하여서는 기상청은 선진국의 관측 전략을 따르는 간편한 전략보다는 우리의 여건이나 향후 우리 예보전략 등을 잘 반영한 관측업무에 대한 투자가 우선되어야 할 것이다. 이를 위하여 우선 목적별 관측자료 운영체계를 구축함과 동시에 각종 관측자료의 품질 개선을 우선적으로 추진해야 할 것이다. 따라서 기상청은 국민체감 예보정확도 향상을 위한 관측분야를 우선 지원하는 것을 목표로 국민의 안전이나 방재와 직결된 국가기상업무를 주도하고, 현행 기상관측망으로는 해결할 수 없는 비종관 관측업무를 지역 전문기관에 이관할 수 있는 방안 도출해야 할 것으로 분석된다. 또한 동네예보의 정착과 관련된 양질의 고해상도 기상관측 자료 생산에 중점을 두어 지원하고, 지자체나 유관기관 관측자료

의 질 향상을 통해 동네예보 구역의 대표성을 부여해 나가야 할 것이다. 또한 새로운 과학기술 융합, 타 분야와의 협력 등을 통한 기상기술의 고도화 추진과 함께 기상관측망, 관측장비의 다다익선 차원보다는 융합기술이 필요한 부분을 발굴하여 관측기술력을 증진할 수 있도록 방향을 제시하고자 한다.

### 3. 고해상도 기상관측망 확충 방안

#### (1) 현황 및 문제점

최근 기상서비스에 대한 국민들의 체감 신뢰도가 낮고, 국민의 눈높이에 맞추기 위해서는 보다 정밀한 예·특보 서비스가 요구되나, 현 기상관측망으로는 예·특보를 개선하는데 한계에 와 있다. 더구나 국지적으로 발생하는 위험기상의 빈도가 높아지고 있어 실시간 기상감시 강화와 고해상도 예보에 대한 필요성이 증대되고 있다.

기상청은 수평거리 약 13km 해상도와 1분의 자료 수집주기를 가진 589개의 자동 기상관측장비(ASOS 96개소, AWS 493개소)를 운영 중이며, 이는 여름철 집중호우 등 중규모 기상현상의 감시·분석이 가능한 수준으로 평가되고 있다. 아울러 관측공백 지역을 해소하고 보다 조밀한 기상관측망을 확보하기 위해 지난 2014년부터 국가 기상관측표준화를 시행 중에 있으며, 현재 27개 유관기관 3,075개 기상관측장비가 공동활용에 참여중이다.

현재의 지상 기상관측장비의 조밀도(13km)로는 고해상도 예·특보를 생산하는데 역부족이고, 유관기관 기상관측자료를 공동활용하고 있으나 수집시간이 불규칙하고 자료 품질이 낮아 예·특보에 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이며, 유관기관 기상관측장비를 공동활용하고 있는 상황에서 관측 공백 해소 차원의 신규 장비 설치 예산 확보는 사실상 거의 불가능한 상태이다. 더구나 일부 유관기관의 경우, 담당자의 전문성 결여와 잦은 인사이동 등으로 기상장비 운영·유지에 어려움 호소하고 있는 실정이다.

#### (2) 관측 조밀도 개선 방안

일단 관측 조밀도를 개선하기 위해서는 유관기관 기상관측자료 활용과 기상관측장비 통합 운영 추진으로 기상관측 조밀도를 5km까지 개선하는 물리적 방법과 위성, 레이더의 분석 기술을 활용하여 2km 수준의 고해상도 기상감시 체계 실현 기술적인 방법이 고려할 만 하다.

품질이 우수한 유관기관 기상관측자료를 적극 활용하는 것과 유관기관 기상관측장비의 통합 운영을 병행하여 추진하고, 우선 추진 가능한 부분과 중·장기적으로 추진해야 하는 부분을 분류하여 단계적으로 추진하는 것이 필요하다. 관측공백을 최소화하고 고른 분포의 고밀도 기상관측망을 운영할 수 있도록 관련 기관·부서와 긴밀히 협력도 요구되고 있다.

세부 추진 방안으로는, 첫째 유관기관 관측자료 활용이다. 품질이 우수한 유관기관 기상관측자료를 단계적으로 선별하여 기상감시용으로 활용한다. 우수한 유관기관의 선별 기준으로는 관측자료 수집서버에서 기상청으로 직접 전송하고 있는 기관, 관측자료 형식이 표준화되어 있는 기관, 그리고 기상청과 기상관측 주기(1분)가 같은 기관 등을 들 수 있다.

우선 1단계로 시기를 정해 놓고(예를 들면 2018년 12월 말), 이 기간까지 선별 기준을 충족하는 기관을 선별한다. 만약 AWS의 경우, 강원도 5개, 산림청 213개, 경기도 69개 등 총 287개 지점과 강우량계의 강원도 29개 지점 등 316개 지점이 추가된다면, 실시간 기상감시 조밀도는 10km로 개선되는 효과가 있게 된다. 2단계로서는 1년 후를 기준으로 하여 추가로 선별 기준을 충족하게 되는 기관, 즉 AWS는 한국수력원자력 5개, 서울시 26개, 경상남도 213개, 경상북도 1개, 전라북도 33개 등 총 278개 지점과 강우량계는 부산 21개, 대구 27개, 울산 19개, 광주 9개, 경기도 1개, 경상북도 258개, 전라북도 147개, 충청남도 157개 등 총 639개 지점이 추가된다면, 총 917개 지점이 늘어나게 되므로 실시간 관측 조밀도는 7km로 개선되는 효과가 있게 된다.



[그림 5-6] 단계별 관측자료의 조밀화 방안

3단계에서는, 예를 들어 2020년 이후에는 관측자료 수집방식, 자료형식 표준화, 관측수집 주기가 개선되어 추가로 통합 운영이 가능한 기관이 AWS의 경우, 농촌진흥청 203개, 국립공원관리공단 60개 등 총 354개 지점과 강우량계는 수자원공사 184개, 국립공원관리공단 83개, 전라남도 261개, 충청북도 104개 등 총 1,107개 지점이 된다면, 총 1,461개 지점이 추가되므로 실시간 기상관측 조밀도는 결국 5km로 개선될 것이다. 최종적으로 위성과 레이더와 같은 원격탐사 자료를 분석하는 기술을 더하게 되면 결국 2km로 관측망이 조밀하게 되는 효과를 볼 수 있다([그림 5-6] 참조). 따라서 이와 같이 통합 운영이 가능한 기관을 늘리는 방안이 곧 추가되어야 할 것이다.

### (3) 추진 전략

유관 기관의 관측장비를 기상청으로 통합 운영하기 위해서는 우선 국가 기상관측자료 운영의 효율성, 경제성과 활용성을 혁신하는 차원에서 추진하는 것임을 관련 기관에 설득하여야 하고, 또한 전체 유관기관 관측장비의 통합운영을 목표로 하되, 추진 가능한 기관을 우선적으로 통합한 후, 점진적으로 참여 할 수 있도록 유도할 필요가 있다. 유관기관 기상관측장비가 성공적으로 통합 추진하게 되면, 우선 2020년 기상청 예산에 이관이 확정된 기상관측장비의 운영·유지관리 예산을 반영할 필요가 있고, 이와 관련된 업무를 전담할 전문 인력 확보(2020년 소요인력, 중기인력계획에 반영), 그리고 이관이 확정된 기상관측장비에서 기상청으로 관측자료를 직접 전송하도록 기상관측 통신망과 연동하는 기술적 보완이 필요하다.

2020년 이후에는, 이관 확정 기상관측장비를 재정비하고 정규 관측망에 편입한다. 이를 위해 기상현상별 감시가 가능한 관측 공간분포를 갖도록 재배치를 추진하고, 유관기관 고유의 운영 목적도 달성할 수 있는 다목적 관측망으로 운영하며, 관측환경과 관측자료 품질을 현업 활용이 가능한 수준으로 개선하면서 유관기관 기상관측장비 통합 운영을 지속적으로 추진한다. 즉, 유관기관의 기상관측 정책, 기상관측장비 운영 여건 등에 따라 시기를 조율해 가면서 추진한다는 의미이다. 더구나 관측공백 지역 해소를 위한 신규 관측지점 신설이 필요한데 이는 기상관측장비 재배치로도 관측공백이 해소되지 않는 지역의 경우, 신규 지점 설치를 통해 고밀도 기상관측망이 완성되는 효과가 있다.

끝으로 국가 기상관측장비 운영·관리를 전담하는 시설관리공단의 설치를 제안한다. 이 공단으로 하여금 국가 기상관측장비 도입, 운영·유지관리를 전담하며 기상청을 비롯한 유관기관에 필요한 기상관측자료를 실시간으로 제공하는 역할과 기상장비 형식승인 인증센터로서의 역할과 함께 기상장비 검·교정 업무를 수행하게 하는 임무를 부여한다.

## 제5절 기상관측 전문가 양성

### 1. 현행 체계

기상관측의 주요업무가 목측, 범용장비 운영에서 자동화, 첨단장비 운영, 유지관리, 현장 품질관리 등으로 다변화됨에 따라 관측업무의 패러다임이 크게 달라졌다. 이에 따른 관측자료의 정확도 확보를 위하여서는 목측 외 첨단장비의 작동원리, 검교정 기술, 관측자료 해석 등 다양한 분야의 전문지식을 갖춘 현장인력이 요구된다. 특히 기상청 관측현업 종사자(대부분 8~9급)는 신규자 교육과정(약 20시간) 및 현장 직무교육 후 업무에 투입되고 있어 기상관측 전반에 관한 현장 지식이 부족할 뿐 아니라 기상관측에 관한 신기술 등 주기적 보수교육 체계가 크게 미비한 현실이다.

관측업무는 주로 지방에서 이루어지고 있으나, 지방 관측자에 대한 인센티브 부재, 반복되는 관측업무의 답보성에 따른 인식 저하 등으로 직원들의 관측 현업업무 기피현상 증대되고 있는 현실이다. 또한 '90년대 지방청 관측과에서 기후과로 바뀌면서 관측업무의 발전 계승체계가 약화되는 등 역량 향상을 복원시키기 위하여서는 많은 시일이 필요할 것으로 분석된다.

한편 4장에서 기술한 일반 설문조사(567명을 대상)에서와 보는 바와 같이 관측업무발전에 가장 중요한 항목이 관측전문인력 양성(27%, 8개 항목 중 1위)으로 조사되었으며, 이를 위하여 우선적으로 추진해야 할 업무를 관측교육훈련 강화(32.9% 1위), 관측전문인력 채용(22.1%, 2위)로 꼽고 있었다. 또한 관측업무가 대형업무사업으로 수행되고 있어 지방청·지청의 관측에 대한 관심과 책임의식이 낮아졌고, 관측 및 장비 전문가도 보유하지 못한 실정이다. 즉 유지관리 전문가, 기술력의 부재로 장비장애 등의 업무를 유지보수 업체에 전적으로 의존하고 있어 체계적인 전문가 양성이 절대 필요하다고 분석된다. 관측시스템의 적절한 유지관리를 수행할 수 있는 측기 전문가, 기술자 육성체계가 미흡하여 실제 관측 및 장비에 대한 교육을 진행할 수 있는 전문인력 조차 부족한 상황이다. 관측현업 종사자 대상 관측장비 운영기술 및 작동원리 등에 관한 실무전문과정은 최근 5년간 미 실시되었으며, 첨단 기상장비는 증가하고 있으나, 이에 반해 국내 대학에는 관측관련 특성화된 강좌는 전문한 실정이다.

여기서는 기상관측 전문가를 기상관측의 원리부터 응용단계에 이르기까지 기술업무 전과정과 수치예보 모델에 관여하는 자료를 관리할 수 있는 관측 및 자료관리 전문가, 기상관측장비 구축 및 운영과 관련된 장비전문가, 그리고 응용기상이나 유관기관에서 자료를 활용할 수 있게 변환할 수 있는 융합자료 전문가로 구분하여 인

력을 양성하는 것이 적절하다고 판단된다. 이러한 세가지 분야별 전문가 양성의 강점은 목적별 전문가 풀을 적시에 활용이 가능하고, 향후 기상청의 조직 개편시에도 빠른 적용이 가능할 것으로 보인다. 이러한 방안들을 통해 궁극적으로는 관측자료의 수치예보모델에 기여도 향상 뿐만 아니라 기상관측자료의 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

또한 한반도 위험기상은 기후변화와 도시화 등으로 많은 피해를 유발하고 있으나, 예측성 개선을 위한 통합적 관측정보는 매우 부족한 실정이어서 위성, 레이더, 고층장비 등 관측장비를 종합적으로 이용하는 입체관측망 구성 및 운영에 필요한 전문 인력이 충원되어야 하겠다.

### 2. 발전 방향

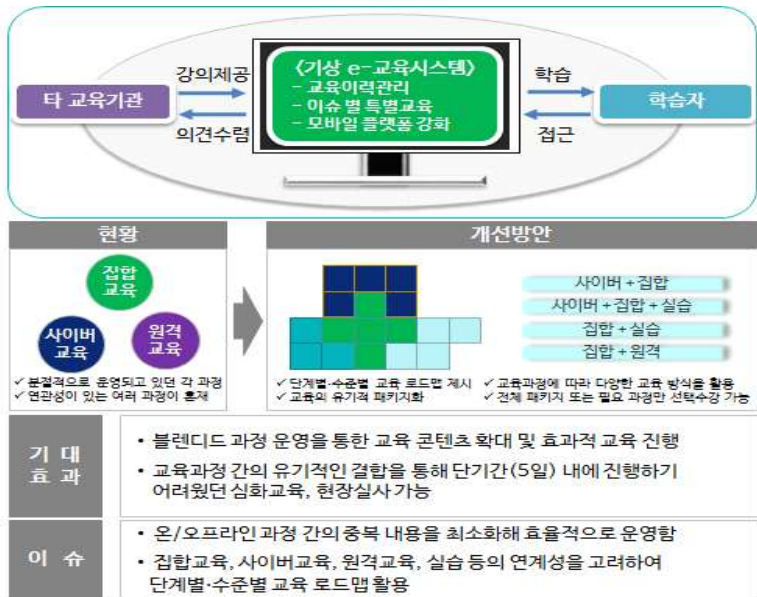
#### (1) 관측 및 자료관리 전문가

##### ○ 역량 강화

기상관측 및 자료관리 전문가(분석 전문가) 육성에 있어서는 기상업무에 관한 전문성과 일정기간의 업무종사 기간이 필수적이므로 기존 인력에 대한 각종 전문 교육과정(기본, 전문, 심화과정)을 분리 개설하여 운영해 나가는 것이 합리적이라고 본다.

과거 기상청에서 각종 기상분석에 성공적으로 활용하였던 선진 교육훈련 프로그램인 FAS 교육 등의 장점을 벤치마킹하고, 최근 미국의 COMET교육 등의 활용을 통해 기존 기상인력에 대한 전문역량 향상을 추진해야 할 것이다. 또한 필요 인력에 대하여서는 수시 채용 등으로 유연성을 두되 기상관련 분야를 포함한 정보통신(ICT), 공학분야 등으로 확대 개방하고, 임용 후에도 전문직위로 지속적인 관리를 하여 인사의 불이익을 최소화하는 것을 제안할 수 있다.

첨단관측장비 운용과 자료분석 기술의 제고를 위해서는 학계, 연구계와의 특수 전문인력의 교류 활용 방안을 꼽을 수 있으며, 기상과 ICT가 융합된 교육훈련체계 구축과 함께 WMO 등이 주관하는 지역 교류 프로그램에 지속 참가하여 분석 능력을 배양하는 것도 대안의 하나가 될 수 있다. 이를 위하여 [그림 5-7]에서와 같이 구성원의 상시학습을 효과적으로 지원하기 위한 기상기후인재개발원이 시행하고 있는 스마트 교육을 통해 자기 주도적 학습을 지원하고, 모바일 기기의 확대 등으로 교육 효과를 극대화해 나가야 할 것이다.



[그림 5-7] 스마트교육 강화 방안(입소, 2016)

### ○ 전문성 확보

관측의 전문성 확보를 위하여 관측분야별 전문가단을 구성하여 상시 운영하는 제도 개선이 필요할 것으로 보인다. 여기에는 지방청·지청, 국립기상과학원, 한국기상산업기술원 등에 근무하는 직원 중 기술적으로 해당분야의 전문가를 추천받아 구성하고, 내부적으로는 부족한 부분을 외부 전문가(퇴직자, 대학교수 등)를 포함시켜 체계적인 기술 자문을 수행할 수 있게끔 해야 한다.

설문조사에서도 나타났듯이 기상전문인력 양성을 위해서는 교육훈련 강화와 관측전문인력 채용이 필요하다는 응답이 많았다. 이에 우수인력 확보를 위해 관측분야 전문 직위를 지방청·지청까지 확대하고, 운영 효율화를 위한 전문직위 제도개선 추진을 제안한다. 이를 위하여 전문직위자에 대한 인센티브(승진 우대, 보직경로 등)를 현실화하는 등의 제도가 따라 주어질 경우 전문직위 효율화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다. 이와 함께 장비 도입에 따른 장비 제작사 교육도 활발하게 이루어져야 할 것으로 보이며, 이에 따른 교육 이수자에 대한 보직 경로도 체계적인 관리를 해야 할 것이다.

### (2) 장비 및 융합 전문가

#### ○ 역량 강화

기상관측 외 기상장비 작동원리 등 관리·운영, 검·교정 숙련도 향상 등을 위한 전문 교육·훈련 프로그램의 개설(기상기후인재개발원 협조)을 추진하고, [표 5-8]과 같은 수요자 기반의 교육 유연성 확보를 통해 교육 대상자들의 교육수요에 대한 사항을 수시 및 정기적으로 관리하고, 교육에 대한 참여율과 교육 효과를 제고해 나가야 할 것이다.

[표 5-8] 수요자 기반의 교육 유연성 확보

수시 교육수요 접수창구 운영	교육수요에 맞춘 유연한 교육과정
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 웹 페이지, 메일, 인트라넷 등을 통한 지속적인 의견 수렴</li> <li>• 제시된 빈도가 높거나 필요도가 높은 교육은 실제 교육과정으로 개설</li> <li>• 실제 교육과정으로 편성 시에는 제안자에게 알려 참여 유도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분기별 1회 구성원들의 수요를 분석하고 협의하여 신규 특별과정 개설</li> <li>• 해당 과목에 대한 피드백을 통해 지속, 폐지, 확장 여부를 평가</li> </ul>

기상현상 관측 중심에서 첨단장비의 작동원리, 검·교정 기술 등 장비 전문가 및 기술자를 육성하기 위한 교육을 실시해야 하며, 기상장비, 기상관측 관련 현행 사이버교육 프로그램도 개선해야 할 것이다. 이와 함께 관측보조원에 대한 정례교육도 실시(매 4~5년)하여 관측에 관한 가이드선도 제공할 수 있는 체계를 갖추어야 한다.

교육을 통한 전문성 강화의 한계를 극복하기 위하여 장비 및 H/W 전문가에 대한 상시 특채를 통하여 고가의 첨단장비 운영과 장비 개발 등의 업무를 맡도록 한다. 관측 및 장비업무 관련자에게는 기본-전문-심화 교육의 의무화를 추진하고, WMO 지역장비센터의 기상장비 교육훈련 프로그램 지속적인 참가를 통하여 전문가가 지속적으로 육성될 수 있도록 토양을 마련해 주어야 한다. 또한 기상기후인재개발원을 통해 기상관련 대학에 첨단 기상장비별 실무특성화 교육과정 신설(예, 경북대: 레이더, 강릉원주대: 연직바람관측장비, 공주대: 위성 등)을 협의할 수 있도록 제안해 나가야 할 것이다.

## ○ 경력 관리

지방청·지청으로 관측 및 장비분야 전문직위를 확대하고, 전문직위 운영 효율화를 위한 제도 개선을 추진해 나간다. 관측 및 장비 분야의 전문가단이나 종사자에 대해 희망부서에 우선 배치를 추진하고, 인센티브 방안도 마련할 것을 제안한다. 여기에는 우수 전문가에 대해 해외 선진기술 현장 방문을 우선적으로 배정하고, 전문가단과 우수 인력(전문직위자, 관련성과 우수자)에 대해 전보, 승진, 성과상여금, 포상 등으로 우대책을 마련한다. 또한 장비 및 관측기술의 균형있는 발전을 위해 업무 역량 향상을 위한 본청과 지방청간의 순환 근무를 추진토록 한다.

## 제6절 관측자료 공동활용 방안

### 1. 비(非)실시간 민간 관측자료

#### (1) 현 황

기상청은 기상관측표준화법을 기반으로 기상관측 기준의 제정 및 관측자료 공동활용을 추진하고 있으며, 관측기관을 대상으로 시설 현황을 기본정보 파악, 환경시설 및 자료품질 등급을 부여하고 있다. 기상관측표준화 참여기관(27개)은 3,075개의 기상관측장비를 운영 중에 있다(농촌진흥청, 산림청 등 국가기관 400여개, 17개 지방자치단체 2,200여개, 수자원공사 등 공공기관 470여개). 관측자료의 수집율도 2014년 70.7%에서 2017년 94.8%로 크게 증가하였다. 수집에 있어서는 기관별로 설치된 표준화 연계시스템을 통해 상이한 관측자료 DB 쿼리, 파일 전송 방식으로 자료 수집·분배되고 있다. 한편 국외 선진국의 경우(미국, 일본, 영국)는 국지위협기상 대응을 위하여 기상당국을 중심으로 유관단체가 협력하여 기상관측망을 구축 운영하고 있다.

따라서 개별 수요에 따라 다수의 기관에서 기상관측장비를 운영 중이나 부적절한 관측망 구축, 다양한 자료 포맷 및 불균질한 자료 품질, 폐쇄적인 유통 구조 한계에 부딪혀 활용도는 매우 낮은 편이다. 또한 기상정보의 중요성에 대한 인식 증가, 관측장비 소형화 및 기술 발전으로 수요자(공공, 민간 등)가 관측망을 직접 구축·운영함(농촌진흥청, 산림청, 홍수통제소, SK테크엑스 등)으로써 수많은 관측자료들이 생산되고 있다.

이에 따라 관측장비 및 생산자료 증가에 따라 관측기관을 유기적으로 조정하고, 자료의 종합적이며 체계적인 관리를 해야 할 필요성이 대두되고 있다. 관측망을 유지 관리하는 기관에서는 기상에 관한 전문성 부족 및 인사이동 등으로 유지보수의 어려움을 호소하고 있는 실정이다. 따라서 기상청은 기상재해 대응 및 의사결정에 활용하기 위하여 수집된 관측자료를 국가차원에서 수집, 유통, 활용하는 방안을 마련하는 것이 필요하다고 보인다.



## (2) 개선 방향

### ○ 자료의 유통체계 및 유관기관과의 협업체계 개선

기상청과 유관기관간의 관측자료 개방 및 활용성 확대를 통하여 기상자료의 유통 구조를 근본적으로 개선해야 한다고 본다. 이로서 유관기관과의 협력을 통한 국가 기상관측망 통합운영으로 기상재해 감시체계를 개선할 수 있으며, 고품질 관측자료를 상시 확보할 수 있을 것이다. 또한 관측장비의 도입, 관측환경의 개선, 자료 품질관리 및 유통에 이르는 체계적인 자료 생산으로 수요기관에 대한 자료 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것이다.

아울러 관측 수평규모 5km 내외의 국지기상규모 감시가 가능하도록 관측망의 재배치를 추진하고, 유관기관과의 협력(MOU 또는 협의회 구성 등)을 통하여 기상재해 예방에 활용 가능한 새로운 형태의 국가방재기상관측망을 구축해 나가야 할 것이다.

### ○ 기상전문기관에서 기상관측망 관리

기상재해 예방을 위하여서는 기상전문기관에서 기상관측망을 관리하도록 하는 것이 타당하다고 본다. 즉 태풍, 호우 등 위험기상현상 탐지를 위하여 기상전문기관에서 자료 생산에 대한 통합 관리를 수행하도록 하며, 기상기후정보를 활용하는 외부 사용자(민간, 방재담당자, 산업계 등)에 대한 지속적인 홍보와 계층별 교육으로 관측자료의 활용 확산이 효과적으로 이루어질 수 있도록 해야 한다.

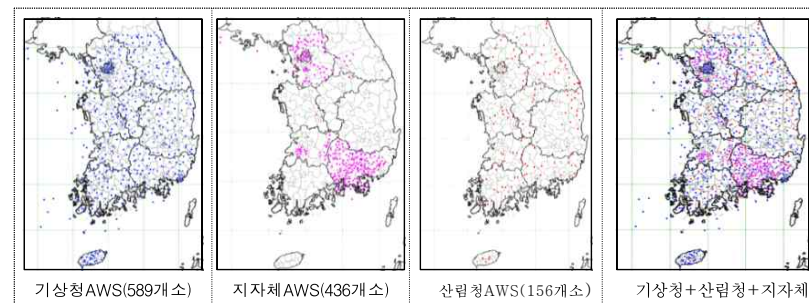
현행 기상청과 유관기관 간의 관측자료 송수신 체계를 현행 보내주는 방식(FTP)에서 가져가는 방식(API)으로 단계적 전환을 추진하여 대용량 기상자료의 사용자 맞춤형 경량화 전송 방식을 구현하고, 구현된 관측자료 대용량화 대응 및 운영 효율성 강화를 위한 시스템 개선을 추진해 나가야 할 것이다. 부가적으로 기관별로 분산 설치된 연계시스템을 중앙집중형 구조로 전환(대상기관 : 환경부, 서울, 제주 등 총 11개소) 하고, 상이한 자료 구조를 파일형식으로 통일된 운영을 하여 효율성을 제고할 수 있도록 한다.

### ○ 국가 방재기상관측망(AWS)의 확대 및 통합관리망 개선

2017년 현재 589개소의 기상청 방재기상관측망을 2021년까지 1,200여개소(지자체 및 유관기관 포함)로 확충하는 방안([그림 5-8] 참조)으로 지자체와 유관기관의 관측

장비를 기상청이 이관받아 전문성을 갖고 방재기상업무를 수행할 수 있도록 한다.

한편 통합관리망을 통해 수집된 자료의 품질 및 공동활용 강화하고, 자료포맷의 통일, 수집 프로세스 관리, 자료 품질관리 등을 통해 고품질 자료를 생산하고, 생산된 자료는 참여기관 모두가 활용할 수 있도록 추진한다. 또한 기상청과 유관기관간의 상이한 자료의 저장구조 일원화시키고, 기상청의 COMIS 통합 표출을 추진할 수 있도록 한다.



[그림 5-8] 기상청 및 유관기관의 AWS관측망 현황도

## (3) 국외 기상관측망 협업 사례

미국에서는 돌발성 호우, 천둥번개, 돌풍 등 국지기상재해를 유발하는 중규모(mesoscale) 기상현상(수평규모 : 2m~수백km, 수명 : 몇 분~수 시간으로 국지기상현상과 관련성이 크며 조밀한 관측망 없이는 탐지되기 어려운 현상)의 관측을 위하여 주 단위 또는 지역단위의 Mesonet(Mesoscale Network)을 운영 중이다. 오클라호마주에서는 Oklahoma Mesonet 등을 기상 당국, 지역 대학 및 지역 소재기관이 협력하여 120여개의 관측망으로 효율성 높은 Mesonet을 구축하여 운영 중에 있다. 이에 따른 협력사항은 관측망 구축, 자료공유, 관측장비 유지관리 등이며, 재난안전, 산불대응, 기상교육, 교통, 농업 분야 등에 활용되고 있다.

일본에서는 일본기상청 자체 관측망(위성, 레이더, 라온존데, 지상관측 등)외에도 수문, 국토안보국, 도로국, 지자체 등의 관측 자료도 공동활용을 하고 있다.

## 2. 비종관 관측자료

### (1) 비(非)종관 관측자료의 활용 방안

#### ○ 드론(Drone)의 개요

드론은 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)의 일종으로 2010년대를 전후하여 군사적 용도와 다양한 민간 분야에도 활용되기 시작하였다. 드론([그림 5-9] 참조)의 개발은 미국 등 선진국에 의해 시작되었으나, 최근 중국 등 의해 완성형 드론이 상용화를 이루었다. 운용고도에 따라 저고도(0.15km 이하), 중고도(14km 이하), 고고도(20km 이하)로 나뉘며, 국내 R&D의 대부분은 비행에 초점이 맞춰져 있으나, 최근에는 각종 산업에 응용할 수 있는 방향으로 S/W가 개발되고 있다.



[그림 5-9] 영상장비가 탑재된 완성형 드론의 모습

#### ○ 드론의 활용 추세

드론은 지상(재난파견 드론, 의료 드론)과 공중(기상관측, 통신)등 각종 산업분야에 활용되고 있다. 최근 우리나라에서도 드론은 물품배달 시범사업(우체국), 실종자 수색, 교통위반 단속(경찰청), 산불감시 및 인명구조(산림청, 소방서), 위험교량 안전 점검(철도시설공단), 재난현장 촬영, 3D 지도제작 등에 광범위하게 활용되고 있다. 또한 국내 드론사업 규제완화 발표(2016. 5, 국토교통부)에 따라 사업범위를 국민안전과 안보에 저해하지 않는 모든 분야에 확대하고, 활용 산업 성장을 위한 활성화 방안을 발표(시험 비행장소 확대, 주파수 분배, 경력요건 완화, 교육기관 확대, 비행 승인 무게(12→25kg) 확대, 공공분야 수요발굴 등)하기 까지 이르고 있다.

#### ○ 국외 기상관측용 드론 활용 현황

미국에서는 완성형 드론을 토네이도 성인분석 시험 및 허리케인 추적 등에 활용하고 있다. 그 예로서 미국 알라바마 북쪽에서 드론(S-1000)에 온도, 습도, 압력, 적외선과 일반 카메라 센서를 탑재하고 토네이도 성인분석 시험을 수행한 바 있으며, 2014년 NOAA는 무인항공기(UAV, Coyote)로 허리케인 'Edouard'의 중심 관측을 수행하였다. 이로써 NASA는 드론이 위성 등 타 원격관측을 대체할 수는 없지만, 원격관측의 공백을 채워주는 역할(Gap-Filler Effect)을 할 수 있음을 보여주었다. 특히 위험 기상과 이에 수반한 지역별 영향예보에 전략적 관측 수단으로 기대하고 있다.

#### ○ 우리나라의 기상관측용 드론 활용 현황

기상청은 미래창조과학부와 협업하여 첨단 정보통신기술과 기상기술이 융합된 기상센서 탑재형 드론(소형무인기) 개발사업(2016~2018, 정부 출연금 총 6.8억원 지원)을 수행하여 성능평가를 앞두고 있다. 이 드론 사업에서는 기압, 온도, 습도, 풍향, 풍속을 측정하는 초경량 기상관측 복합센서와 영상장비를 탑재할 계획이며, 또한 고도별 기상관측 자료를 지상기지국으로 실시간 무선 송·수신을 목표로 개발에 착수할 예정이다. 특히 드론을 활용한 기상관측자료는 기상연구와 예보에 중요한 자료로써 다양한 분야에 사용될 것으로 기대된다.

또한 이 자료는 대기안정도, 하층제트, 대기오염물질 확산, 해륙풍 발생, 농작물 냉해 피해를 규명하는 연구 활동과 위험기상 감시에 적극 활용할 수 있으며, 더불어 국민의 여가활동을 위한 유명산 단풍정보와 벚꽃 군락지 정보를 영상으로 제공할 계획이다.

### (2) 향후 활용 방향

#### ○ 드론 개발의 필요성

현행 기상관측망으로 국지 위험기상 현상 탐지, 대기경계층 및 고고도 관측에 한계가 있었다. 일차적으로 대기경계층(0~2km 고도)내의 기상현상 관측자료(오염물질 확산, 증발산량, 국지바람순환 등)가 부족하여 양력풍의 영향 없이 관측할 수 있고, 인터넷 서버로 자료를 실시간 전송 가능한 드론개발이 필요하다고 본다. 이에 따라 대기경계층 분석용 소프트웨어 개발, 드론을 사용하여 관측한 기상요소들에 기반을 둔 2D 및 3D Mapping 소프트웨어 개발, 통합운영시스템이 필요하다고 분석된다(곽광훈, 2017). 즉, 기상청의 역할은 드론 관측에 필요한 H/W인 비행체 부분을 개발하는 것이 아니라 이미 공인된 시제품을 통해 목적에 맞는 수감부를 장착하여 관측 자료를 실시간 수집할 수 있는 S/W 체계를 갖추는 것이라 할 수 있겠다.

그러나 현재 무인항공기의 고도 제한, 드론 비행금지 구역, 야간비행 금지, 개인정보 침해, 자료소유권 문제 등 법적인 한계가 있어 드론을 활용한 관측에 적지 않은 문제점으로 대두될 가능성이 높기 때문에 면밀한 사전 준비가 필요하다고 예측된다.

### ○ 기상관측용 드론의 활용 가능성

드론과 보성 글로벌 기상관측탑의 관측자료 비교를 통해 드론을 활용한 연직기상 관측 가능성은 이미 확인된 바 있다. 국립기상과학원에서 수행한 드론에 존재 부착 자료 비교(2015)에서도 4회 온도와 습도가 평균 RMSE 각각 0.4℃, 3.6%를 보이는 등 관측오차 허용범위 이내에 드는 의미있는 값을 나타내어 비종관 관측으로서 충분한 활용 가능성을 보였다.

### ○ 기상관측용 드론 활용 계획

2017년부터 드론을 이용한 안개 관측, 라디오존데 대체 기술, 계절관측 활용 기술의 발굴 사업이 진행 중에 있다. 국토교통부 공공분야 활용 사업에 연계하여 드론 탑재 기상센서(기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속) 개발 사업이 2019년에 추진될 예정이다. 이로서 기상관측용 복합센서 개발을 통해 이를 장착한 소형 무인기가 지정된 경로를 비행하면서 실시간 관측자료를 제공할 수 있게 될 것이다. 이와 같이 기상관측용 드론의 활용 가능성은 빅데이터와 날씨정보를 융합한 특화 기상서비스를 개발할 수 있는 수단으로 입증되었으며, 기술적으로 시사하는 점이 크다고 하겠다. 즉, 맞춤형 민간 드론 기상기술 개발, 기상분야 인공지능 기술 개발, 사물인터넷 기반 융합기술 개발 등 신기술 융합기술개발에 지속적인 투자가 요구된다고 하겠다.

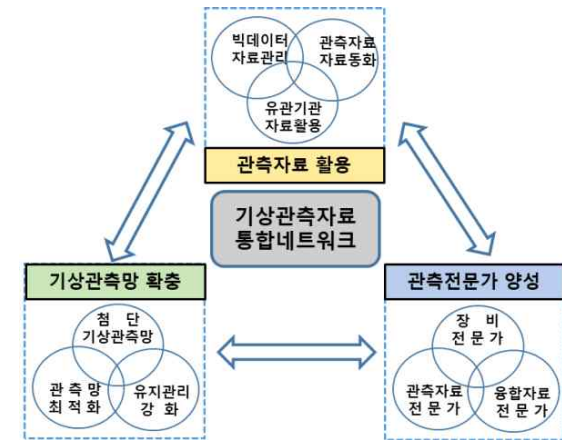
한편, 2020년 영향예보의 본격 시행을 앞두고 있어 위험기상 및 이에 수반한 지역별 영향예보에 대한 전략적인 관측수단으로 드론 활용기술 개발을 소속기관과 연계해 나가야 할 것으로 보인다. 즉, 영향예보에 필요한 1차 관측요소(목측관측자료, 자동기상관측자료)에 2차 드론관측을 포함시켜 실효성있는 결과를 생산하기 위하여서는 유인관서를 활용해야 가능한 것으로 보인다. 또한 궁극적으로는 드론 관측기술의 확보를 통해 드론기반의 4D(3D+시간) Mapping을 수행할 수 있는 관측분석 통합운영시스템을 개발하고, 검증된 드론을 통한 비종관 관측능력 확보로 제한지역(해안, 산악 등)의 기상모니터링, 격오지의 장비검정 등 새로운 관측정보 활용도 제시할 수 있게 할 계획이다. 이와 함께 드론 관측은 특화된 지역 농산물의 생산성 향상, 저고도 비행체 안전 항행을 위한 정보제공 등 각종 산업에도 활용 가능성이 높아 이 분야에도 특수 목적의 기상서비스의 제공이 충분할 것으로 예측된다.

## 제 6 장 결론

본 연구에서는 기상청과 유관기관의 기상관측 및 관측망에 대한 조사를 통해 국가관측망에 대한 자료를 2018년 6월로 현행화 하였고, 이와 함께 기상선진국과의 관측망 및 관측기술 등을 비교 분석하였다. 또한 기상청이 예보업무와 수치모델 등에 활용하고 있는 각종 기상관측자료를 조사하여 관측과 예보의 연관성을 체계화하였다. 이러한 기상관측에 관한 상세 분석자료를 바탕으로 관측업무발전 기본계획(2017~2021) 등 기상청의 주요 발전계획과 연계하여 관측업무 발전에 관한 기본 틀을 설정하였다.

이러한 체계를 근간으로 하여 각종 기상관측자료의 예보업무 기여도를 정량적인 측면과 정성적인 측면을 함께 설명할 수 있는 계층분석과정(AHP) 기법을 도구로 관측업무 발전전략을 제시하였으며, 현행 국가기상관측의 적정성을 평가하였다. 이외에도 이미 4차 산업혁명과 관련된 미래 융합기술(사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 등)이 기상분야에서도 적용되고 있어, 기상관측용 드론의 활용, 사물인터넷 기반의 기상관측망 공동활용 체계 구축, 그리고 기상 빅데이터 활성화 기반구축 등 현실성 있는 융합기술을 소개하였다. 한편 기상관측의 근본이 될 수 있는 기술력 향상을 위한 방법으로 관측 및 융합자료 전문가와 장비전문가 등으로 구분하여 관측 전문가 양성 방향을 제시하였다.

각 분야별로 분석된 사항들을 종합적으로 정리하여 [그림 6-1]과 같이 기상관측업무가 나아가야 할 발전 방안을 나타냈다.



[그림 6-1] 기상관측업무 발전전략

핵심적인 전략의 방향은 기상관측자료 통합 네트워크 구축이었고, 이의 실현을 위한 방법으로써 기상관측망의 확충, 관측자료의 활용, 관측전문가 양성 등 3개 영역에 9개 세부 분야를 제시하였다.

**첫째, 기상관측망 확충**이다. 이를 위해 현재 운영중인 기상관측망의 최적화를 도모해야 한다. 기상관측망의 최적화는 2010년 이후 기상청이 지속적으로 추진하고 있는 관측장비의 확충과 함께 지속적인 업무의 개선과 보완이 병행 추진되어야 할 것이다. 자동화와 첨단화 등이 요구되는 고층기상관측과 원격기상관측 등의 업무에 대해서는 선별적으로 관측망의 확대가 필요하다고 본다. 또한 신규 및 첨단 관측센서의 확충, 위성·레이더 등 원격탐사 확대로 목적의 자동화를 추진하였으나, 첨단 장비의 활용성 증대와 향후 장비도입 전략의 보강 등이 필요하다고 본다.

특히 목적별 기상관측망의 확대가 필요하다. 선진국의 관측전략을 여과없이 준용할 것이 아니라 우리나라의 현 여건에서 우선적으로 개선해야 할 관측업무에 대해 사전 검토와 연구를 통해 선별적인 도입이 필요하다고 본다. 즉, 2020년 영향예보 서비스의 본격 시행을 앞두고 있어 이에 적합한 관측망 설계와 다양한 관측자료의 확보외에 영향예보 생산과 검증을 위한 관측망 보완, 토양수분, 지표상태 등 부족한 관측자료 확보를 위한 관측망 고도화와 목적별 관측망 확대가 필요하다고 본다. 그리고 AHP분석 및 설문조사 결과를 통해 각종 기술업무의 지원을 도모하기 위한 목적(유인)관측망의 점진적인 확대가 필요하다는 것을 제시할 수 있으며, 기상관측망의 유지관리를 체계적·효율적 관리를 위한 관측인력의 양성과 관측의 전문성을 확보해나가야 할 것이다.

**둘째, 관측자료의 활용**이다. 기상관측자료는 가장 큰 데이터베이스를 활용하여 빅데이터로 자료를 축적하는 것만으로도 큰 의미를 가진다. 기상관측자료의 가장 큰 목적은 수치예보모델에 활용하기 위해서이기 때문에 이를 위해서는 관측자료의 자료동화 과정이 필수적이다. 이러한 과정을 관측업무에서 수치예보모델에 활용할 수 있는 형태로 자료전환이 원활히 될 수 있도록 시스템을 구축해야 한다.

이러한 자료를 체계적으로 저장하고, 사용자가 원하는 형태로 제공할 수 있는 자료관리시스템을 개선해야 한다. 이를 위하여 전국 28개 기관 3,766개소에서 각기 수행하고 있는 기상관측에 대한 표준화가 선행되어야 할 것이다. 그리고 이와 더불어 현재 농촌진흥청, 산림청 등 국가기관 400여개, 17개 지방자치단체 2,200여개, 수자원공사 등 공공기관 470여개로부터 수집되는 기상관측자료 수집율은 94.8%(17년 기준)로 높은 수집율을 나타내지만, 기관별로 설치된 표준화 연계시스템을 통해 상이한 관측자료 DB 쿼리, 파일 전송방식 등으로 현업이나 공동활용에 어려움이 있다. 이에 유관기관으로부터 수집되는 자료를 기상청의 표준화된 프로토콜로 전환할 수

있는 시스템 구축이 필요하다.

**셋째, 관측전문가 양성**이다. 기상관측의 원리부터 응용단계에 이르기 까지 기술업무 전과정과 수치예보 모델에 관여하는 자료를 관리할 수 있는 관측 및 자료관리 전문가, 응용기상이나 유관기관에서 자료를 활용할 수 있게 변환할 수 있는 융합자료 전문가, 그리고 기상관측장비 구축 및 운영과 관련된 장비전문가 등으로 구분하여 인력양성을 추진하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이러한 방안들을 통해 궁극적으로는 관측자료의 수치예보모델에 기여도 향상 뿐만 아니라 기상관측자료의 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 본 연구에서는 국가기상관측망과 우리 관측기술 수준에 대한 분석을 2018년 6월로 현행화하는 등 의미를 부여할 수 있으나, 현재 기상청이 보유하고 있는 다목적기상항공기, 해양기상관측선(기상1호)와 같은 첨단 고가 장비에 대한 활용전략에 대한 분석을 포함시키지 못하였다. 향후 이에 대한 기술적인 평가 등의 연구가 진행되어야 한다고 본다. 또한 기상선진국의 관측업무 조사 및 분석에 있어서 자료의 불충분, 우리의 수준과 상대 비교의 어려움 등이 있었다. 이 부분에 대한 사항을 보완하기 위하여서는 향후 최소 5년마다 우리 국가기상관측망에 대한 조사와 함께 국제협력 등을 통한 기상선진국의 기술 동향을 지속적으로 파악할 수 있어야 하겠다. 또한 기존 다른 연구와 차별화될 수 있도록 도입한 AHP분석도 설문 내용용을 보강하고, 위의 조사와 병행 수행하여 새로운 관측의 니즈를 반영할 수 있도록 해야할 것으로 본다.

## 참고문헌

- 곽광훈, 2017: 드론을 이용한 대기관측, 방재기상기술 미래 포럼(국립기상과학원 주최) 발표자료
- 국립기상과학원, 2018: 모바일 기상관측차량 운영현황 및 개선방안, 모바일 기상관측차량 활용성과 공유 워크숍 자료(강릉원주대), 23.
- 기상청, 2016: 지상기상관측지침 전문
- 기상청, 2016: 제3차 기상업무발전 기본계획(2017~2021),
- 기상청, 2016: 관측업무발전 기본계획(2017~2021)
- 기상청, 2017: 기상연감 및 낙뢰연감
- 기상청, 2018: 관측업무규정 제914호
- 기상청, 2018: 기상관측업무 개선 방안, 28.
- 기상청, 2018: 주요업무 추진계획(2018.2)
- 기상청, 2018: 조직혁신을 위한 관측분야 전문인력 양성계획, 9.
- 기상청, 2018: 기상청 관측정책 및 업무이해 교재, 기상청 관측기반국 관측정책과
- 기상청, 2018: 천리안위성 2A호 이해와 예보활용/지상관측장비 원리 및 오차원인/고층관측장비 원리 및 오차원인/관측자료 품질관리/레이더이해와 영상분석/해양기상업무 이해/지상기상관측 이해, 각 교재. 기상청 담당부서
- 기상청, 2018: 보dana은 기상청 홍보자료
- 김기석, 2006: 엑셀활용 경영과학(2판), 학현사, 206~217.
- 김상민, 구자호, 김준, 홍진규, 윤종민, 조아라, 김상균, 이준홍, 고수정, 이서영, 이윤곤, 2017: 지상 에어로졸 관측 및 운고계 관측을 통한 지상 미세먼지 농도 추정방법 분석, 2017년 한국기상학회 가을학술대회 논문집, 569-570.
- 김성민, 김현미, 2017: 수반 모델에 기반한 관측영향 진단법을 이용하여 동아시아 지역의 단기예보에 AMSU-A 자료 동화가 미치는 영향 분석, 대기 27(1), 93-104.
- 김은정, 주상원, 정현숙(기상청 수치자료응용과), 2012: 통합모델의 관측종 별 예측 민감도 평가, 2012년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 458-459.
- 서영경, 이정환, 서동일, 황동익, 함동주, 김용상, 2016: 최신 관측자료를 이용한 예보오차 보정기법 개발 및 적용, 2016년 한국기상학회 가을학술대회 논문집, 293-294.
- 소선섭, 이천우, 김맹기, 2000: 대기관측법, 교학사, 3~5.
- 이화여자대학교, 2007: 예보역량 진단을 통한 기술력 평가, 130.

- 입소, 2016: 기상조직 역량강화를 위한 중장기 전문인력 양성 마스터플랜 수립, 186pp
- (재)한국형수치예보모델개발사업단, 2018: KIAPS 홍보브로셔, 13.
- (주)기술과 가치, 2016: 기상청 연구개발 중장기(2018~2027) 발전계획 연구, 622.
- (주)웨더피아, 2015: 기상관측망 최적화를 위한 중·장기 발전 계획 수립
- (주)진양공업, 2007: 국가 기상관측망 최적화를 위한 조정 및 운영에 관한 연구, 151.
- 차동현, 2018: 폭염진단 및 대응방안 마련을 위한 폭염 포럼, 기상청, 46.
- 한국기상전문인협회, 2017: 기상분야 전문인력 육성을 위한 표준 교육과정 개발 기획연구, 393.
- John Eyr, 2016: Impact studies with satellite observations at the Met Office, WMO workshop, China.
- 기상청 국립기상과학원 홈페이지 <http://www.nims.go.kr/MA/main.jsp>
- 기상청 국가기상위성센터 홈페이지 <http://nmssc.kma.go.kr/html/homepage/ko/main.do>
- 기상청 기상레이더센터 홈페이지 <http://radar.kma.go.kr/index.do>
- 기상청 기상관측 통합 메타데이터시스템 <https://omds.kma.go.kr/login.do>
- 기상청 방재기상정보시스템 <https://afso.kma.go.kr/afsOut/rsp/ptl/login.jsp>
- 기상청 항공기상청 홈페이지 (<http://amo.kma.go.kr/new/html/main/main.jsp>)
- 기상청 해양기상정보전달시스템 <http://marine.kma.go.kr/main.html>
- 기상청 홈페이지 (<http://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/observation01.jsp>)
- 미국기상청 (<https://www.weather.gov/>)
- 영국기상청 (<https://www.metoffice.gov.uk/>)
- 일본기상청 (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 중국기상청 (<http://www.cma.gov.cn/>)
- 산림청 국립산림과학원 산악기상정보시스템 (<http://mtweather.nifos.go.kr/main/main.html>)
- 서울대학교 국가농림기상센터 (<http://www.ncam.kr/>)
- 한반도 에어로졸라이더관측네트워크 홈페이지 (<http://www.kalion.kr/>)
- 해양수산부 홈페이지 <https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do>
- 해양수산부 국립해양조사원 실시간해양관측정보시스템 ([http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/observation/obs\\_real.do](http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/observation/obs_real.do))
- 환경부 한강홍수통제소 국가수자원관리종합정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>)
- 호주기상청 (<http://www.bom.gov.au/>)
- EU (<http://wwwmo.int>)

부록

ID			
----	--	--	--

**기상관측자료의 예보업무 기여도에 대한 설문조사**

안녕하십니까?  
한국기상전문인협회입니다.

본 설문은 기상청의 학술용역사업의 일환으로 기상청이 보유한 기상관측망을 기준으로 주요 관측분야별로 기상예보업무에 기여도를 객관적, 체계적으로 진단 및 평가하여, 기상관측정책 수립, 관측망의 보완 및 확대, 관측장비의 효율적 관리 운영 등에 객관적 자료로 활용하기 위한 설문조사입니다.

본 설문에 응답하신 내용은 오직 연구목적으로만 활용될 것이며, 응답하신 개별정보는 통계 목적으로만 사용될 것입니다.

바쁘시더라도 잠시 시간을 내주셔서 답변해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

(본 설문에서 조사된 내용은 통계 목적 이외에는 절대 사용할 수 없으며, 그 비밀이 보호되도록 통계법(제13조, 제14조)에 규정되어 있습니다.)

2018년 9월

한국기상전문인협회장 이 현 / 연구책임자 최치영 배상  
Tel: 02-821-3653, Fax: 02-821-3654

**AHP 설문지 작성 요령**

다음의 AHP(Analytic Hierarchy Process: 계층화 분석과정)는 평가를 위해 고려되는 평가항목들을 계층화한 다음 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 평가항목간 상대적 중요도를 측정하여 판단하는 의사결정 기법입니다.

설문 작성 전 먼저 'AHP 설문 응답시 유의사항'을 읽으신 후 설문에 응해 주시면 감사하겠습니다.

◎ AHP 설문응답시 유의사항

1. 작성예시
- AHP 설문의 일관성 있는 답변을 위해서 반드시 가장 중요하게 여기는 항목 순으로 먼저 상대적 중요도를 기입하고, 이를 확인하시면서 아래의 상대비교 답변에 응하여 주십시오.

[상대적 중요도: (지상기상관측) > (고층기상관측) > (해양기상관측)]

평가항목	절대중요	매우중요	중요	약간중요	같다	약간중요	중요	매우중요	절대중요	평가항목
지상기상관측	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	고층기상관측
지상기상관측	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	해양기상관측
고층기상관측	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	해양기상관측

‘지상기상관측’이 ‘고층기상관측’보다 ‘③ 약간 중요하다’로 답하신다면 ‘지상기상관측’은 ‘해양기상관측’보다 ‘③ 약간 중요하다’ 이상으로 (지상기상관측 쪽으로 ④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨중 선택) 답변을 해야 일관성을 유지할 수 있음(작성예시에는 ⑦로 답변되어 있음)

**PART 1.**

본 설문은 기상예보에 활용되는 기상관측자료 중 기상예보업무에 기여도가 가장 큰 기상관측 종류 및 요소를 도출하기 위한 구조를 아래의 그림과 같이 나타내고 있습니다. 각 요소들에 대한 설명은 아래 표와 같습니다.



대항목	세부지표	지표 내용(대수)
지상기상관측	자동기상관측	ASOS(96), AWS(494), 운고운량계(92), 일조(96), 일사(54)
	안개 관측	안개관측(시정현천계)장비(291)
	적설관측	CCTV(170), 초음파적설계(60), 레이저식적설계(122)
	황사/농업 관측	황사관측장비(34), 농업용 AWS(11)
고층기상관측	라디오(레원)존데	포항, 태풍센터, 북강릉, 백령도, 흑산도, 창원 등 6소
	윈드프로파일러	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
	라디오미터	파주, 군산, 강릉 창원, 원주 등 9소
	항공기관측	없다 21대
해양기상관측	앞바다 관측	등표기상관측(9), 파랑계(1), 파고부이(59)
	먼바다 관측	해상기상부이(17)
	연안 관측	연안 및 항만 기상관측(18)
	연해 관측	선박기상관측(14), 기상관측선(1)
기상위성관측	COMS	천리안위성, 천리안위성 2A
	정지기상위성	Himawari-8, GOES, FY-2E
	극궤도위성	NOAA, Aqua/Terra, METOP, DMSP, CORIOLIS
기상레이더관측	실시간영상관측	기상청 13대(S밴드 이중편파11대)
	레이더강수량예측	MAPLE
	낙뢰관측	낙뢰관측 21개소
	국외/유관기관관측	환경부(한강홍수통제소) 7대, 국방부(공군) 9대, 중국, 일본
목측(유인)관측	강수/적설관측	강수(적설)량, 시종시간, 강수경향 등
	하늘상태관측	운량, 운형, 운종, 운향 등
	시정관측	안개유무, 최소시정 등
	기후/계절관측	개화, 단풍 등 계절관측, 기후변화 관측

Q1. 다음의 평가 항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 기상실황 감시 및 초단기예보(~6시간), 기상특보 업무에 기여도 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( )>( )>( )>( )>( )>( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 덜 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	고층기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측

Q2. 다음의 평가 항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 단기예보(6시간~3일) 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( )>( )>( )>( )>( )>( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 덜 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	고층기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	목측(유인)관측

Q3. 다음의 평가항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 중기예보(3일~10일) 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	고층기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
지상기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	복측(유인)관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	해양기상관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
고층기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	복측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	복측(유인)관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
해양기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상위성관측
기상위성관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기상레이더관측
기상위성관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	복측(유인)관측
기상레이더관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	복측(유인)관측

Q4. 다음의 지상기상관측을 구성하는 평가항목 중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
자동기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	안개관측
자동기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	적설관측
자동기상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	황사/농업관측
안개관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	적설관측
안개관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	황사/농업관측
적설관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	황사/농업관측

Q5. 다음의 고층기상관측을 구성하는 평가항목 중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
라디오(레원)존데	9	8	7	6	5	4	3	2	1	윈드프로파일러
라디오(레원)존데	9	8	7	6	5	4	3	2	1	라디오미터
라디오(레원)존데	9	8	7	6	5	4	3	2	1	항공기관측
윈드프로파일러	9	8	7	6	5	4	3	2	1	라디오미터
윈드프로파일러	9	8	7	6	5	4	3	2	1	항공기관측
라디오미터	9	8	7	6	5	4	3	2	1	항공기관측

Q6. 다음의 해양기상관측을 구성하는 평가항목중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
앞바다 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	면바다 관측
앞바다 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	면안 관측
앞바다 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	연해 관측
면바다 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	면안 관측
면바다 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	연해 관측
면안 관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	연해 관측

Q7. 다음의 기상위성관측을 구성하는 평가항목 중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
COMS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	정지기상위성
COMS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	극궤도위성
정지기상위성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	극궤도위성

Q8. 다음의 기상레이더관측을 구성하는 평가항목 중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
실시간영상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	레이더강수량 예측
실시간영상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	낙뢰관측
실시간영상관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	유관기관측
레이더강수량 예측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	낙뢰관측
레이더강수량 예측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	유관기관측
낙뢰관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	유관기관측

Q9. 다음의 복측(유인)관측을 구성하는 평가항목 중, 어느 항목이 기상예보 업무에 기여도가 크다고 생각하십니까?

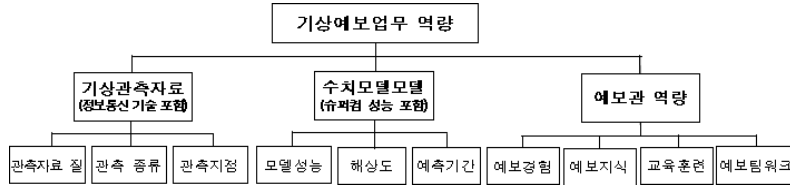
[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
강수/적설관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	하늘상태관측
강수/적설관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	시정관측
강수/적설관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기후/계절관측
하늘상태관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	시정관측
하늘상태관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기후/계절관측
시정관측	9	8	7	6	5	4	3	2	1	기후/계절관측



**PART 2.**

일반적으로 기상예보업무 역량의 중요한 요소는 기상관측자료, 수치예보모델, 예보관 역량으로 분류하고 있습니다. 이 요소들이 기상예보업무에 미치는 기여도를 파악하기 위해 아래와 같은 의사결정 구조로 나타냈습니다. 각 요소들에 대한 설명은 아래 표와 같습니다.



대항목	세부지표	설 명
기상관측자료 (정보통신기술 포함)	관측자료 질	관측자료의 정확도, 관측간격 및 정시 전달, 자료수집·표출 능력
	관측종류	지상, 고층, 해양, 기상위성/레이더 등 관측장비, 기온, 강수량 등 관측 요소
	관측지점 수	육상, 해상, 상층, 도서, 산악 등 관측위치 및 지점 수, 자료수집 능력
수치예보모델 (슈퍼컴 성능 포함)	모델성능	수치모델을 통해 나온 결과물의 실제 기상현상과의 정확도
	모델해상도	수치모델 결과물의 격자 및 지역적 범위, 슈퍼컴 성능
	예측기간	수치모델 예측 실행시간 및 예측 기간, 슈퍼컴 성능
예보관 역량	예보경력	예보 관련 업무를 수행한 경력
	예보지식	예보 관련 이론 등 기본지식 및 노하우, 관련 자격증 소유
	교육훈련	예보 관련 정기/수시 교육훈련, 예보기술 전수, 예보관련 연구
	예보팀워크	예보팀장의 역할 및 팀원간 소통 능력, 예보지역내 정보확보 능력

Q1. 다음의 기상예보업무 역량을 구성하는 평가항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 기상예보업무 역량에 더 중요하다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목								
기상관측자료 (정보통신기술 포함)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	수치예보모델 (슈퍼컴 성능 포함)
기상관측자료 (정보통신기술 포함)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보관역량
수치예보모델 (슈퍼컴 성능 포함)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보관역량

Q2. 다음의 기상관측자료 및 정보통신 기술을 구성하는 평가항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 기상예보업무 역량에 더 중요하다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목								
관측자료 질	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	관측 종류
관측자료 질	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	관측지점 수
관측 종류	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	관측지점 수

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목								
모델성능	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	모델해상도
모델성능	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예측기간
모델해상도	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예측기간

Q3. 다음의 수치예보모델 및 슈퍼컴 성능을 구성하는 평가항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 기상예보업무 역량에 더 중요하다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목								
모델성능	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	모델해상도
모델성능	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예측기간
모델해상도	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예측기간

Q4. 다음의 예보관 역량을 구성하는 평가항목을 두 항목씩 비교할 때, 어느 항목이 기상예보업무 역량에 더 중요하다고 생각하십니까?

[상대적 중요도: ( ) > ( ) > ( ) > ( )]

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같다	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목								
예보경력	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보팀워크
예보경력	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보지식
예보경력	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	교육훈련
예보지식	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	교육훈련
예보지식	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보팀워크
교육훈련	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	예보팀워크

**PART 3.**

**기상관측업무에 관한 설문**

1. 다음의 기상관측 부문 중 기상예보 및 기상특보 업무를 위하여 확대 또는 개선이 필요한 기상관측을 2개 선택하신다면 무엇입니까?

- ① 지상기상관측      ② 고층기상관측      ③ 해양기상관측  
 ④ 기상위성관측      ⑤ 기상레이더관측      ⑥ 목측(유인)관측

1-1. 1번 문항에서 선택한 2개의 기상관측에 대해 확대 또는 개선해야 할 사항은?  
 ① \_\_\_\_\_ ② \_\_\_\_\_

2. 기상청은 2020년부터 영향예보를 정식서비스 할 계획입니다. 기상청이 영향예보를 위해 확대 또는 개선해야 할 기상관측 부문은 무엇입니까?

영향예보(Impact Forecasts)란? 같은 날씨에서도 때와 장소에 따라 다르게 나타나는 날씨 영향을 과학적인 자료를 바탕으로 예상하여 상세한 기상정보와 함께 전달하는 예보  
 ※ (16) 태풍, 대설 → (17) 호우, 강풍 → (18) 폭염, 한파 → (19) 안개, 도로기상 → (20) 정식서비스

- ① 지상기상관측    ② 고층기상관측    ③ 해양기상관측    ④ 기상위성관측    ⑤ 기상레이더관측  
 ⑥ 목측(유인)관측    ⑦ 안개(시정) 및 적설관측    ⑧ 기타 기상관측 \_\_\_\_\_

3. 귀하는 기상청의 기상예보 업무에 중요하다고 생각하는 기상관측 요소는 무엇입니까? **(1~3순위를 기재해 주십시오.)**

- ① 기압 \_\_\_\_\_ ② 온도 \_\_\_\_\_ ③ 습도 \_\_\_\_\_ ④ 바람 \_\_\_\_\_ ⑤ 강수 \_\_\_\_\_  
 ⑥ 구름 \_\_\_\_\_ ⑦ 일조 \_\_\_\_\_ ⑧ 일사 \_\_\_\_\_ ⑨ 시정 \_\_\_\_\_ ⑩ 증발량 \_\_\_\_\_  
 ⑪ 현재천기 등 목측관측 \_\_\_\_\_ ⑫ 황사 \_\_\_\_\_ ⑬ 미세먼지 \_\_\_\_\_ ⑭ 기상레이더 \_\_\_\_\_  
 ⑮ 기상위성 \_\_\_\_\_ ⑯ 낙뢰 \_\_\_\_\_ ⑰ 기타 \_\_\_\_\_

4. 귀하는 기상청의 기상예보업무에 중요하다고 생각하는 기상장비는 무엇입니까?  
**(1~3순위를 기재해 주십시오.)**

- ① 자동기상관측장비(ASOS, AWS) \_\_\_\_\_ ② 기상레이더 \_\_\_\_\_ ③ 기상위성 \_\_\_\_\_  
 ④ 안개관측장비 \_\_\_\_\_ ⑤ 적설계 \_\_\_\_\_ ⑥ CCTV \_\_\_\_\_ ⑦ 운고운량계 \_\_\_\_\_  
 ⑧ 라디오(레원)존데 \_\_\_\_\_ ⑨ 윈드프로파일러 \_\_\_\_\_ ⑩ 라디오미터 \_\_\_\_\_  
 ⑪ 선박/기상관측선 \_\_\_\_\_ ⑫ 항공기관측 \_\_\_\_\_  
 ⑬ 낙뢰관측 \_\_\_\_\_ ⑭ 앞바다관측(등표, 파랑계, 파고부이) \_\_\_\_\_  
 ⑮ 먼바다관측(해양기상브이) \_\_\_\_\_ ⑯ 황사관측(PM10, 황사감시탑) \_\_\_\_\_

5. 다음에서 기상청의 기상관측업무 발전을 위해 추진해야할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

- ① 기상관측망 확충      ② 기상관측정책 강화      ③ 관측전문인력 양성  
 ④ 유관기관 관측 확대      ⑤ 관측장비 유지보수 강화      ⑥ 목측(유인)관측 확대  
 ⑦ 기상관측표준화법 적용 강화      ⑧ 기타 \_\_\_\_\_

6. 다음에서 기상관측전문인력 양성을 위해 우선적으로 추진해야할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

- ① 관측전문직위 확대      ② 기상관측전문인력 채용      ③ 기상관측 교육훈련 강화  
 ④ 승진, 수당 등 인센티브 지원      ⑤ 외부전문인력 양성 및 활용  
 ⑥ 관측장비 제작사 교육 확대      ⑦ 기타 \_\_\_\_\_

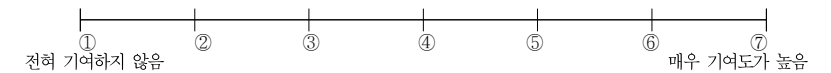
7. 다음에서 기상관측장비 유지관리 강화를 위해 우선적으로 추진해야할 업무 2개를 선택한다면 무엇입니까?

- ① 기상관측표준화법 적용 강화 및 확대      ② 청내 관측전문인력 양성  
 ③ 청외 전문인력 및 업체 육성      ④ 관측장비 제작사 교육 확대  
 ⑤ 기상산업기술원 장비관리업무 강화 및 확대      ⑥ 기타 \_\_\_\_\_

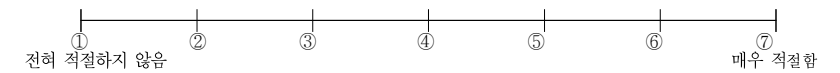
8. 현재의 기상관측자료의 활용도를 높이기 위해서는 가장 중요하게 개선해야 할 사항 2개를 선택한다면 무엇입니까?

- ① 기상관측망 확대      ② 기상관측자료의 품질관리  
 ③ 기상관측자료의 전달 및 저장시스템      ④ 기상관측장비 유지관리  
 ⑤ 기상관측자료 제공 신속성      ⑥ 기상관측(자료)전문가 확대  
 ⑦ 기타 \_\_\_\_\_

9. 기상관측자료가 예보업무 전반에 미치는 기여도는 어느 정도입니까?



10. 현재 기상청의 전체 기상관측망이 적절하게 구성되어 있다고 생각하십니까?



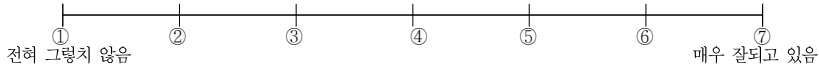
10-1. 현재 기상청에서 운영중인 각 기상관측망 구성이 얼마나 적절하다고 생각하십니까?

관측망 종류	전혀 적절하지 않음						매우 적절함
지상기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
고층기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
해양기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
기상위성관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
기상레이더관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
목측(유인)관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

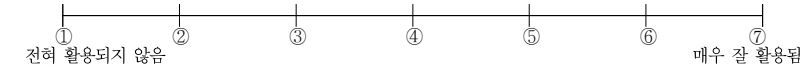
10-2. (10-1에서 ①~③에 체크를 하신 분만 해당) 현재 운영중인 각 기상관측망이 어느 정도 추가적으로 확대 또는 확충되어야 한다고 생각하십니까?

관측망 종류	10%	30%	50%	70%	100%	150%	200%
지상기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
고층기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
해양기상관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
기상위성관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
기상레이더관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
목측(유인)관측	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

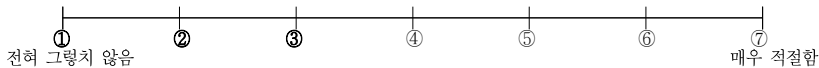
11. 우리나라 기상관측망에 대한 유지보수 등 관리가 잘되고 있다고 생각하십니까?



12. 현재 기상관측자료가 수치예보모델에 활용되고 있는데 어느 정도 활용되고 있다고 생각하십니까?



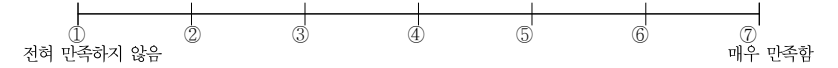
12-1. 현재 수치예보모델에 활용되고 있는 관측자료의 종류나 제공빈도 등 기상관측자료가 적절하게 제공되고 있다고 생각하십니까?



12-2. (12-1에서 ①~③에 체크를 하신 분만 해당) 현재 운영중인 수치예보모델에 어느 기상관측자료의 추가 또는 보완이 필요하다고 생각하십니까?

① \_\_\_\_\_ ② \_\_\_\_\_

13. 현재 제공받거나 활용하고 있는 기상관측자료에 대해 어느 정도 만족하십니까?



14. 현재 제공받고 있거나 활용하고 있는 기상관측자료에 대한 정확도 등 신뢰도는?



**응답자에 관한 설문**

- 귀하가 근무하시고 계신 지역은?  
 ① 서울 ② 인천 및 경기도 ③ 부산, 대구 및 경상도 ④ 광주 및 전라도  
 ⑤ 대전 및 충청도 ⑥ 강원도 ⑦ 제주도
- 귀하의 직급은?  
 ① 사원(8~9급) ② 대리(6~7급) ③ 계장/과장(4~5급) ④ 부장/차장(3급)  
 ⑤ 이사 이상(2급(고위공무원) 이상) ⑥ 기타
- 귀하의 예보경력 기간에 따라는?  
 ① 3년 이하 ② 3~5년 ③ 6~10년 ④ 10~20년 ⑤ 20년 이상
- 3-1. 예보 관련 업무를 수행한 경험은 어느 정도입니까?  
 ① 없음 ② 2년 이하 ③ 3~5년 이하 ④ 6~10년 이하 ⑤ 11년 이상
- 현재 소속은?  
 ① 기상사업자 등 산업계 ② 지자체 등 공공기관 ③ 학계·연구계  
 ④ 기상청(본청) ⑤ 지방기상청 및 기상대 ⑥ 기타 \_\_\_\_\_
- 현재 담당하고 있는 업무는?  
 ① 예보 ② 수치모델 ③ 관측 ④ 행정관리(총무, 인사 등) ⑤ 소방·방재  
 ⑥ 학술·연구 ⑦ 기상산업 ⑧ 기타 \_\_\_\_\_

