

특정감사

감 사 보 고 서

- 기상예보 및 지진통보 시스템 운영실태 -

2017. 7.

감 사 원

목 차

I. 감사실시 개요	7
1. 감사배경 및 목적	7
2. 감사중점 및 대상	8
3. 감사실시 과정	9
4. 감사결과 처리	9
II. 감사대상업무 현황	10
III. 감사결과	22
1. 감사결과 총괄	22
2. 분야별 실태와 문제점	25
가. 기상예보 분야	25
나. 지진통보 분야	107
[별표]	170

표 목차

【표 1】 분야별 감사중점	8
【표 2】 기상예보 및 특보 현황	10
【표 3】 기상특보 발표기준	12
【표 4】 기상관측망 구축 현황	13
【표 5】 수치예보모델 운영 현황(2017년 4월 현재)	14
【표 6】 지진관측 현황	16
【표 7】 지진 관련 통보 현황	17
【표 8】 지진관측망 구축 현황(2016년 12월말 기준)	19
【표 9】 지진해일관측소 현황(2016년 12월말 기준)	19
【표 10】 기상청 인력구성 현황	21
【표 11】 분야별·기관별 지적사항 현황	22
【표 12】 최근 5년간 연도별 단기(3일)예보 정확도	25
【표 13】 단기예보 강수 유무 정확도(ACC)와 적중률(TS) 비교	26
【표 14】 2016년 한·미 강수량 적중률(TS) 비교(24시간 예보 기준)	27
【표 15】 최근 5년간 나라별 수치예보 오차 비교	28
【표 16】 우리나라 강수량 정확도(ACC) 비교	29
【표 17】 최근 5년간 기상특보 일치율(PAG) 및 적중률(TS)	30
【표 18】 태풍진로예보 오차 비교	31
【표 19】 한·미 풍랑특보 탐지율 비교	31
【표 20】 천리안위성 1호 및 2호 현황	35
【표 21】 주요 수치예보모델 운영 현황	36
【표 22】 CSR 및 AMV 자료 활용기술 개발 및 활용 현황	37
【표 23】 해외위성 관측자료 수신 지연 현황	39
【표 24】 신규 해외위성 관측자료 현황	40
【표 25】 기상예보용 수치예보모델의 종류	46
【표 26】 파랑수치예보모델의 입력자료 출처	49
【표 27】 해양 및 고층기상관측장비 운영 현황	51
【표 28】 기상1호 기본운항계획 및 실제 운항 현황	53

【표 29】 기상1호의 관측공백 등 해역 운항일수	54
【표 30】 슈퍼컴퓨터 전력공급 계획	56
【표 31】 미세먼지와 황사 예·특보 기준	63
【표 32】 미세먼지와 황사 경보 발표 권역	63
【표 33】 안면도 기후변화감시소 에어로졸 측정장비 활용 현황	70
【표 34】 안면도 기후변화감시소 PM ₁₀ 측정장비 간 측정값 비교 결과	74
【표 35】 공항별 운송 및 윈드시어 경보 유무 현황(2016년)	78
【표 36】 임의적 사후분석 대상 기상현상의 재해사례(2015~2016년).....	85
【표 37】 최근 5년간 기상재해에 따른 인명피해(2011~2015년).....	86
【표 38】 특보 정확도 현황(2012~2016년)	86
【표 39】 임의적 사후분석 대상 특보 사후분석 현황(2015~2016년)	87
【표 40】 의무적 사후분석 대상 사후분석보고서 관리 현황(2015~2016년)	89
【표 41】 예보교육 이수 전후 개인별 강수유무 적중률(CSI) 변화	92
【표 42】 예보교육을 처음 이수하기까지의 소요기간	93
【표 43】 예보교육을 미이수한 예보관의 예보경력	93
【표 44】 시정현천계 구매·설치 현황	100
【표 45】 4개 장비별 시정거리 관측값 발생일수 및 지속시간	103
【표 46】 유인관측소 일기현상의 목측값과 시정현천계 관측값 간 일치율	104
【표 47】 @@ 제품의 현천 관측값 기준 관측장비 간 관측값의 일치율	104
【표 48】 안개특보(시범) 운영 결과	105
【표 49】 지진조기경보 발령 현황	108
【표 50】 일본 긴급지진속보(경보·특별경보) 발표 현황	109
【표 51】 경주 지진의 주요 도시 도착 현황	110
【표 52】 범정부 지진방재 종합대책 주요 내용	112
【표 53】 기상청의 “지진방재 종합개선대책 세부계획” 주요 내용	113
【표 54】 최소 지진관측소 수에 따른 오보 발생 가능 비율 분석 현황	117
【표 55】 조기경보 발령조건 변화에 따른 지진분석 오차 및 소요시간 분석 현황.....	118
【표 56】 경주 지진 등의 조기경보 발령조건 도달 소요시간 및 오차 현황	119
【표 57】 지진조기경보시스템에 활용 중인 지진관측소 현황	129
【표 58】 유관기관 자유장 지진관측소 현황(2010년 6월 기준)	129

【표 59】 유관기관 자유장 지진관측소 현황(2016년 12월 기준)	133
【표 60】 지진관측망 분석결과별 기대효과	135
【표 61】 2017년도 지진관측소 신설예정지 중복 현황	136
【표 62】 최근 2년간(2015~2016년) 관측소별 주요 지진 미탐지 현황	138
【표 63】 경주 지진 미탐지 관측소 개선 전·후 효과 비교	139
【표 64】 지진조기경보 유관기관 관측소 활용 현황(2017년 3월 현재)	140
【표 65】 지진 관측장비 검·교정체계 등 마련을 위한 연구용역 추진 현황.....	145
【표 66】 관측기관별 지진 관측장비 장비성능시험 실시 현황(2010~2016년)	147
【표 67】 해외 지진관측장비 성능시험 현황	149
【표 68】 검정체계 구축관련 장비 구입 현황	151
【표 69】 지진 정밀분석 결과 규모 및 진앙 위치 오차 현황표.....	153
【표 70】 연도별 지진통보 및 지진연보(정밀분석) 규모 및 위치 오차 현황	154
【표 71】 지진규모 및 진앙 거리에 따른 진도 등 변화 비교표	156
【표 72】 경주 지진 지진통보, 정밀분석 및 수정발표 위치 현황표	157
【표 73】 지진통보와 정밀분석결과 지진 규모 및 진앙 위치 오차 현황표	158
【표 74】 경주 지진 당시 자막 등 방송 현황	161
【표 75】 중앙재난방송협의회 지진 자막형식 권고(안).....	162
【표 76】 경주 지진 이후 재난방송매뉴얼 및 지진자막시스템 현황	163
【표 77】 지진조기경보 발표 및 문자 통보 현황	165
【표 78】 재난관리책임기관 중 지진조기경보 통보기관 지정 현황	168

그림 목차

【그림 1】	기상예보 절차.....	11
【그림 2】	예상일기도(지상) 예시	15
【그림 3】	지진·지진해일 감시구역 및 발표 기준	17
【그림 4】	지진조기경보 서비스 개념도	18
【그림 5】	지진조기경보시스템 구성도	20
【그림 6】	기상청 기상·지진 관련 조직 현황	21
【그림 7】	수치예보 운영절차	32
【그림 8】	관측자료 종류별 수치예보 정확도에 미치는 기여율 및 관측영역	34
【그림 9】	해외위성 관측자료 수집 체계	38
【그림 10】	수치예보모델 운영 일정	43
【그림 11】	2014~2016년 기상1호 운항실적	53
【그림 12】	기상관측자료의 수치예보모델 영향분석	54
【그림 13】	미세먼지와 황사 예·특보 업무 분장 현황	61
【그림 14】	기상 일기도	80
【그림 15】	강원도 폭풍해일 피해	81
【그림 16】	울릉군 폭풍해일 피해	82
【그림 17】	인천기상대·기상청(본청) 및 무안·오성산 소형레이더 중첩영역 비교	98
【그림 18】	지진조기경보시스템(기상청) 구성도	107
【그림 19】	재난방송온라인시스템 구성도	109
【그림 20】	경주 지진 당시 긴급재난문자송출시스템 구성도	110
【그림 21】	일본의 긴급지진속보 전달 체계	111
【그림 22】	경주 지진 등 지진조기경보 발령조건 설정 차이에 따른 S파 도달 범위	119
【그림 23】	지진통보 구역 및 지진조기경보 구역	121
【그림 24】	지진 발생 현황(1978~2016년) 및 지진조기분석 가능 구역	122
【그림 25】	한반도 주변 해역에 규모 7.0 미만 지진 발생 시 지진해일 발생 가능 구역	124
【그림 26】	해저지진 발생 시 지진해일이 해안가에 10분 이내 도달하는 구역	125

【그림 27】 지진조기경보를 위한 지진관측망 구축 방안	128
【그림 28】 지진관측망 조밀도 분석(기상청 원안).....	132
【그림 29】 유관기관 지진관측소 관측환경 분석결과(사례)	134
【그림 30】 지진관측망 조밀도 분석(유관기관 관측자료 활용).....	135
【그림 31】 지진 관측장비 성능시험 미 실시 관측소의 관측자료 분석 결과	147
【그림 32】 한국 ◎◎ 지진자동 자막방송	161
【그림 33】 일본 ●● 지진자동 자막방송	161

도표 목차

【도표 1】 연도별 지진탐지 추이(1978~2015년)	16
【도표 2】 우리나라 최종예보와 수치예보 평가 비교	28
【도표 3】 한·미 예보관과 수치예보의 강수량 정확도 비교	29
【도표 4】 최근 5년간 수치예보 정확도 변화	33
【도표 5】 2015년 안면도 기후변화감시소 측정 장비별 PM ₁₀ 측정값 비교 현황.....	73
【도표 6】 비교관측 4개 장비별 시정거리의 시계열 비교	102
【도표 7】 @@ 제품 기준 관측장비 간 시정거리 편차 비교	103
【도표 8】 경주 지진 메타데이터 오류에 따른 규모 비교	141

I. 감사실시 개요

1. 감사배경 및 목적

기상청은 「기상법」 제1조에 따라 자연재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 공공의 복리를 증진시키기 위해서 기상예보를 발표한다.

그런데 최근 5년간 기상청이 비가 올 것으로 예보한 5,193회(244개 관측지점 연평균) 중 실제 비가 온 경우는 3,228(62%)회이고 비가 오지 않은 경우가 1,965회(38%)였다. 반면에 비가 올 것으로 예보하지 않았으나 비가 온 경우는 1,808회에 달하여 강수유무 적중률¹⁾이 46% $[3,228/(3,228+1,965+1,808)]$ 에 불과하다.

또한 2016년 8월에는 폭염이 꺾이는 시점을 4차례에 걸쳐 늦추어 발표하여 오보 논란을 야기하는 등 기상예보의 정확도에 대한 국민의 신뢰도가 높아지지 않는 실정이다.

한편 2016. 9. 12. 경주에서 규모 5.1(전진 기준)의 강진 발생 시 지진조기경보가 휴대전화 긴급재난문자로 전달되는 데는 10분, TV 자막방송에는 최소 3분에서 최대 19분까지 소요되어 지진이 지나간 이후 조기경보가 전달되었다는 비판이 제기되는 등 지진 통보체계에 문제점이 노출됨에 따라 국민의 불안감이 증대되고 있다.

이에 따라 감사원은 기상예보 및 지진통보 전 과정을 점검하고 문제점을 확인·

1) 적중률(TS: Threat Score)은 예측이 맞은 비율을 의미{ $TS=H(\text{맞힘})/[H(\text{맞힘})+F(\text{미발생})+M(\text{미예측})]$ }하며, 임계 성공지수(CSI, Critical Success Index)라고도 함[H(Hits, 맞힘)는 예보가 맞은 경우, F(False Alarms, 미발생)는 예보를 하였으나 틀린 경우, M(Misses, 미예측)은 예보를 하지 않았으나 사건이 발생한 경우를 의미]

개선함으로써 기상예보 등의 정확성과 신속성을 높여 자연재해로부터 국민 안전을 확보하고자 2017년 연간 감사계획에 반영하고 이번 감사를 실시하게 되었다.

2. 감사중점 및 대상

이번 감사는 우리나라 기상예보의 정확도를 객관적으로 검증하고 기상관측·예보생산·사후관리 등 기상예보 전 과정의 적정성에 대해 점검하는 한편, 지진관측·조기경보 발령·대국민 전달 과정의 적정성을 점검하여 지진조기경보 전달 지연의 원인을 파악하고 개선방안을 제시하기 위하여 [표 1]과 같이 감사중점을 두었다.

[표 1] 분야별 감사중점

<p>기상예보 분야</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관측자료의 입력 등 수치예보모델의 운영 및 개발이 적정한가 ▪ 기상특보의 발표 등 예·특보 생산, 사후관리 및 전문성 확보가 적정한가 ▪ 기상관측 공백이나 중복 여부 등 기상관측장비 운영이 적정한가
<p>지진통보 분야</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지진조기경보 기준 등 조기경보 발령이 적정한가 ▪ 지진관측 공백이나 중복 여부 등 지진관측망 확충계획이 적정한가 ▪ 지진분석 사후관리 및 통보가 적정한가 ▪ 긴급재난문자 등 지진조기경보의 대국민 전달이 신속하게 이루어지는가

이를 위하여 ① 기상청, 한국기상산업진흥원, 한국지질자원연구원, 국립해양조사원 등 4개 기관의 기상예보 및 지진통보 관련 업무 ② 환경부의 미세먼지 예·경보 관련 업무 ③ 방송통신위원회 등의 지진조기경보 전달 관련 업무를 대상으로 감사를 실시하였다.

3. 감사실시 과정

실지감사에 앞서 언론보도사항, 국회 논의사항 및 각종 연구 보고서 등을 수집·분석하였고, 2017. 2. 24.부터 같은 해 3. 10.까지 예비조사를 실시한 후 2017. 3. 20.부터 같은 해 4. 21.까지 20일간 감사인원 31명을 투입하여 기상청 등 8개 기관을 대상으로 실지감사를 실시하였다.

이번 감사와 관련하여 우리나라 기상예보의 정확성을 객관적으로 검증하기 위하여 선진국의 예보정확도 평가 시스템 등을 비교·분석하였고, 기상예보 및 지진통보 관련 제도개선 사항에 대하여 기상청 등 관계기관의 의견을 수렴하여 감사보고서에 반영하였다.

4. 감사결과 처리

감사결과 위법·부당사항 등과 관련하여 2017. 4. 26. 기상청 차장 등 관계자가 참석한 가운데 감사마감회의를 실시하고, 업무처리 경위·향후 처리대책 등에 대한 답변서를 받는 등 주요 지적사항에 대한 의견을 교환하였다.

이후 감사원은 감사마감회의에서 제시된 의견 등을 포함하여 지적사항에 대한 내부 검토를 거쳐 2017. 7. 20. 감사위원회의의 의결로 감사결과를 최종 확정하였다.

Ⅱ. 감사대상업무 현황²⁾

1. 기상예보업무 현황

가. 기상예보와 특보의 종류

기상청은 「기상법」 제13조 등에 따라 [표 2]와 같이 3,500여 개 읍·면·동에 대하여 3일간(오늘·내일·모레)의 동네예보를 3시간 단위로 매 3시간마다 발표하는 등 초단기·단기·중기의 기상예보를 발표하고, 10개 광역 예보구역에 대하여 1개월간의 장기예보를 매주 목요일 발표하는 등 장기예보와 기후전망을 발표한다.

또한 강풍·풍랑·호우·대설·건조 등 10종의 위험기상에 대해 각각 특보기준에 도달하거나 도달할 것으로 예상될 때 기상특보(주의보·경보)를 발표한다.

[표 2] 기상예보 및 특보 현황

구분		기간	단위	발표주기	발표지역	기법
기상 예보	초단기예보	3시간	1시간	1시간(매시 30분)	3,500개 읍·면·동	수치예보 및 예보관 분석
	동네(단기)예보	3일	3시간	3시간(6, 9, 12시 등)		
	중기예보	10일	오전/오후	일 2회(6, 18시)	광역(육상 10개, 해상 14개)	
기후 예측	장기예보	1개월	주별	매주 목요일	광역(육상 10개, 해상은 미발표)	수치예보 및 통계자료 분석
		3개월	1개월	매월 23일		
	기후전망	계절	계절	2/5/8/11월 23일	전국	
		1년	1년	매년 12월 23일		
기상특보		강풍, 풍랑, 호우, 대설, 건조, 한파, 폭염, 폭풍해일, 태풍, 황사(10종) 주의보, 경보 각 특보기준 만족 시 발효			171개 시·군, 24개 해역	수치예보, 관측자료 및 예보관 분석

자료: 기상청 제출자료

2) 이 부분은 감사결과 지적된 문제점의 종합적인 이해를 돕기 위하여 감사대상 업무의 현황을 기술한 것으로서 감사대상 기관이 제출한 자료 등을 바탕으로 작성되었으며, 현장조사 등 감사의 방법으로 검증한 내용이 아님

나. 기상에보와 특보의 절차 및 방법

기상에보는 [그림 1]과 같이 위성, 레이더 등으로부터 수집된 기상자료(기온, 습도, 기압 등)를 슈퍼컴퓨터의 프로그램인 수치예보모델에 입력하여 대기방정식 등의 복잡한 연산을 통해 미래 기상상황을 예상일기도 등으로 생성한 후, 예보관³⁾이 슈퍼컴퓨터의 예상일기도 등 수치예보 자료(예상기온, 강수확률 등)를 분석·판단하여 생산한 최종 예보결과를 언론기관 등에 전달하는 절차로 이루어진다.

[그림 1] 기상에보 절차



자료: 기상청 제출자료

또한 육상에서 풍속 14㎞/시 이상이 예측될 경우 강풍주의보를 발표하는 등 기상 예보 생산과정에서 [표 3]과 같이 특보기준에 도달할 것으로 예상하거나 도달된 것을 관측하였을 때 강풍·호우·폭염 등의 기상특보를 발표하고 있다.

태풍의 경우, 북서태평양 전역의 열대저기압(TD: Tropical Depression)이 태풍(북태평양의 남서해상에서 발생하는 중심최대풍속 17㎞/시 이상의 열대저기압)으로 발달할 가능성을 분석·진단하고, 태풍분석 및 예보시스템을 활용하여 향후 5일간 24시간 간격의 태풍 진로와 강도 등을 예측·발표하고 있다.

3) 본청 총괄예보관실 및 각 지방청 관측예보과 등에서 사무분장상 예보현업업무를 맡은 자

[표 3] 기상특보 발표기준

종류	주의보	경보
강풍	육상에서 풍속 14m/s 이상 또는 순간풍속 20m/s 이상이 예상될 때(산지는 풍속 17m/s 이상, 순간풍속 25m/s 이상)	육상에서 풍속 21m/s 이상 또는 순간풍속 26m/s 이상이 예상될 때(산지는 풍속 24m/s 이상, 순간풍속 30m/s 이상)
풍랑	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
호우	6시간 강우량이 70mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 110mm 이상 예상될 때	6시간 강우량이 110mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 180mm 이상 예상될 때
대설	24시간 신적설이 5cm 이상 예상될 때	24시간 신적설이 20cm(산지는 30cm)이상 예상될 때
건조	실효습도 35% 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때	실효습도 25% 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때
폭풍해일	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 지역별 발효기준 값 이상이 예상될 때	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 지역별 발효기준 값 이상이 예상될 때
한파	10월~4월에 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강, 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	10월~4월에 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강, 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때
태풍	태풍으로 인하여 강풍, 풍랑, 호우, 폭풍해일 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 200mm 이상 예상될 때 ③ 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때
황사	-	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM ₁₀) 농도 800 μ g/m ³ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때
폭염	일최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때	일최고기온이 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때

자료: 「예보업무규정」(2017년 3월, 기상청 훈령 제867호)

폭풍해일의 경우는, 천문조⁴⁾에 따라 해수면이 상승되는 시기에 폭풍·저기압 등 기상현상에 따른 추가적인 해수면 상승이 예측되는 경우 지역별 조위⁵⁾ 관측값 추이

4) 달이나 태양과 같은 천체의 인력에 의하여 일어나는 조석

5) 밀물과 썰물의 흐름에 따라 변하는 해면의 높이

등을 활용하여 “폭풍해일 주의보·경보”를 발표하고 있다.

안개의 경우에는 2015. 3. 31.부터 안개특보를 시범운영하면서 안개 예상 시 1~2일 전에 안개가능성을 예보하고, 전국의 도로를 대상으로 전일 17시 30분에 “상세안개정보”를 발표하는 한편, 짙은 안개(가시거리 100m 이하)가 발생한 경우 실황감시로 “안개주의보”를 발표하고 있다.

황사의 경우에는 황사모델을 분석하여 중국 내륙 사막에서 발생한 황사가 우리나라에 도달할 것으로 예측될 때 황사 예보를 하고, 황사로 미세먼지(PM₁₀)의 농도가 기준치 이상으로 측정되는 지역에 대하여 “황사경보”를 발표하고 있다.

그리고 환경부는 미세먼지모델을 분석하여 미세먼지 예보(보통, 나쁨, 매우 나쁨)를, 시·도지사는 대기자동측정망에서 측정되는 미세먼지(PM₁₀) 농도가 기준 이상으로 측정될 때 “미세먼지 주의보·경보”를 발표하고 있다.

다. 기상관측망 구축 현황

기상청은 「기상법」 제7조 등에 따라 [표 4]와 같이 지상, 해양, 고층에 총 22종 1,369개 관측장비를 설치하여 기온·기압·풍속·파고 등의 기상요소를 측정하고, 태풍 경로 등 고해상도 자료 확보를 위하여 기상레이더와 기상위성을 운영하고 있다.

[표 4] 기상관측망 구축 현황

구분	관측장비	관측요소
지상	자동기상관측장비 등 11종 1,229개	기온, 풍향, 풍속, 기압 등
해양	해양기상부이, 등표기상관측장비 등 8종 116개	풍향, 풍속, 파고 등
고층	레원존데, 연직바람관측장치 등 3종 24개	고도별 기온, 습도, 풍향, 풍속 등
고해상도	기상레이더 12개소, 기상위성(천리안) 1개	태풍 및 강수 입자 위치, 경로 등

자료: 기상청 제출자료

라. 수치예보 개념 및 현황

수치예보는 대기운동을 지배하는 물리·역학 등 각종 방정식을 컴퓨터 프로그래밍하여 기상현상을 수치적으로 분석·예측하는 과정으로, 대기를 수평 및 수직으로 나누어 수많은 격자점을 정하고 각 격자점에 해당하는 위치의 관측소에서 측정하거나 추정된 관측값을 모델에 입력하여 각 격자점의 기상요소(기온, 습도, 기압 등) 변화를 정해진 시간까지 반복 계산하여 예측 값을 생산하는 것을 말한다.

또한 수치모델은 [표 5]와 같이 전지구 및 지역, 국지 등 기상모델을 기본으로 하여 2차 응용모델인 파랑모델, 황사모델 등 10종의 모델로 구성되어 있다.

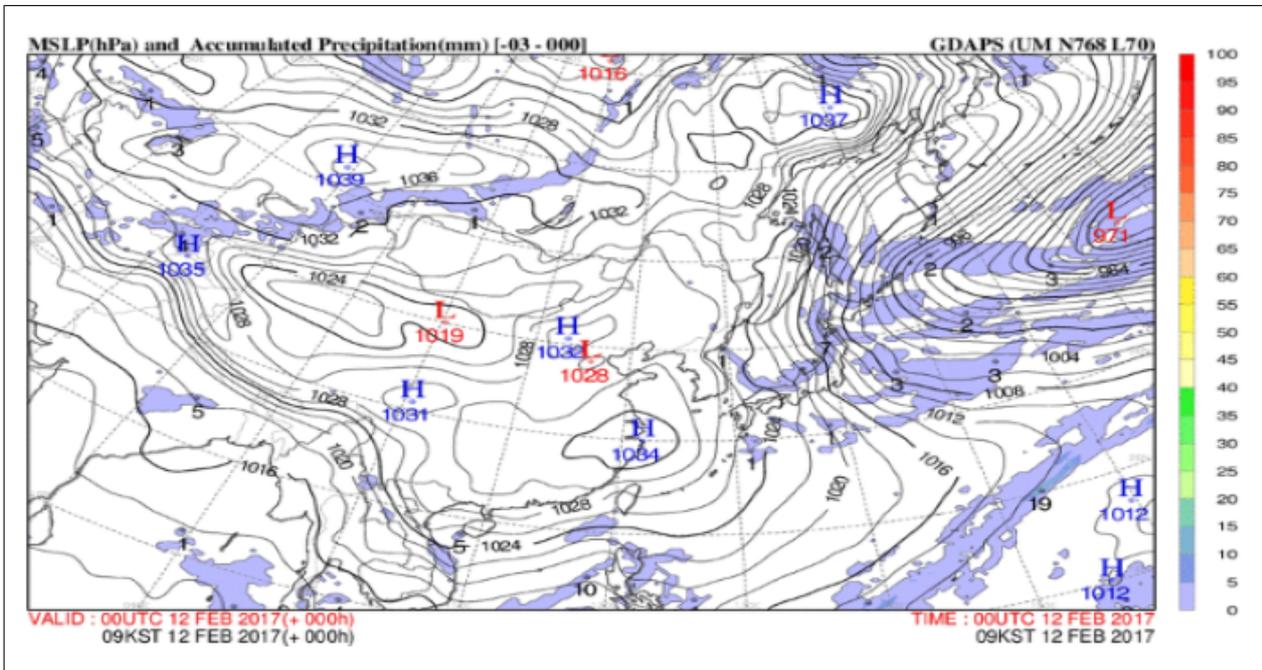
[표 5] 수치예보모델 운영 현황(2017년 4월 현재)

구분	수평분해능 (연직층수)	운영횟수 (1일 기준)	예측기간	대상	용도
전지구	17km(70층)	4회	12일, 87시간	전지구	단기예보, 중기예보
지역	12km(70층)	4회	87시간	아시아	단기예보
국지	1.5km(70층)	4회	36시간	한반도	단기예보
초단기	5km(40층)	24회	12시간	동아시아, 한반도	초단기예보
양상블	32km(70층)	2회	12일	전지구	주간예보
국지양상블	3km(70층)	2회	72시간	국지규모 확률	위험기상 예측
파랑 (전지구·지역·국지)	약 55, 8, 1km	2회	72시간	전지구, 아시아, 대전·광주·부산·강원·제주청	해상예보
폭풍해일 (지역·국지연안)	약 8, 1km	2회	72시간	동아시아, 대전·광주·부산·강원·제주청	폭풍해일예보
황사	25km(47층)	4회	72시간	동아시아	황사 예측
연무	25km(47층)	4회	72시간	한반도	연무 예측

자료: 기상청 제출자료

한편 기상청은 1997년부터 일본의 수치예보모델을 활용해오다 2008년 5월부터는 영국 기상청으로부터 수치예보모델을 도입·활용하고 있고, 동 모델을 구동하여 [그림 2]와 같이 예상일기도 등을 생성하기 위하여 1999년 슈퍼컴퓨터 1호기를 도입, 2016년 2월부터는 4호기(도입금액 550억여 원)로 대체하여 운영하고 있다.

[그림 2] 예상일기도(지상) 예시



자료: 기상청제출자료

마. 기상예보 및 특보의 대국민 전달체계

기상예보는 19개 언론사, 17개 국가기관 등에 종합기상정보시스템을 이용하여 FAX, 이메일 등을 통해 전달되고, 기상특보는 중앙재해대책본부 등 26개 방재 관련 국가기관 등에 통보된다.

한편 기상예보와 특보는 안내전화(131), 기상청 웹사이트(www.kma.go.kr), 언론 등을 통해 국민에게 전달된다.

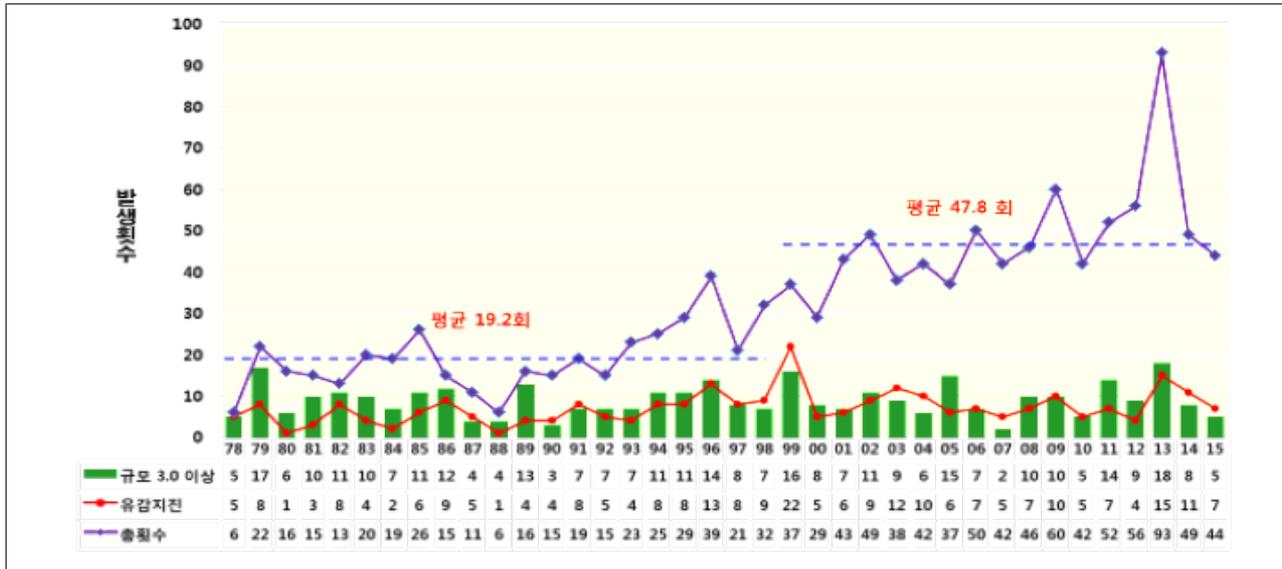
2. 지진조기경보 및 통보업무 현황

가. 우리나라 지진발생 현황

우리나라는 주변국보다 상대적으로 지진에 안전한 지역으로 인식되어 왔으나, 2016년에는 경주 인근에서 발생한 규모 5.8(본진 기준)의 강진과 이로 인한 여진을 포함하여 254회의 지진이 발생하는 등 [도표 1]과 같이 1978년 지진관측을 시작한 이래 지진탐지 빈도가 꾸준히 증가하는 추세이다.

한편 기상청은 1999년 이후 지진탐지 급증의 원인을 지진관측망 확대와 [표 6]과 같이 디지털 지진계 설치에 따른 관측성능 향상에 기인하는 것으로 추정하고 있다.

[도표 1] 연도별 지진탐지 추이(1978~2015년)



[표 6] 지진관측 현황

구분	관측방식	관측빈도(연평균)	
		전체	규모 3.0 이상
1978~1998년	아날로그식	19.2회	8.8회
1999~2015년	디지털식	47.8회	9.7회

자료: 기상청 제출자료

나. 지진 관련 통보의 종류

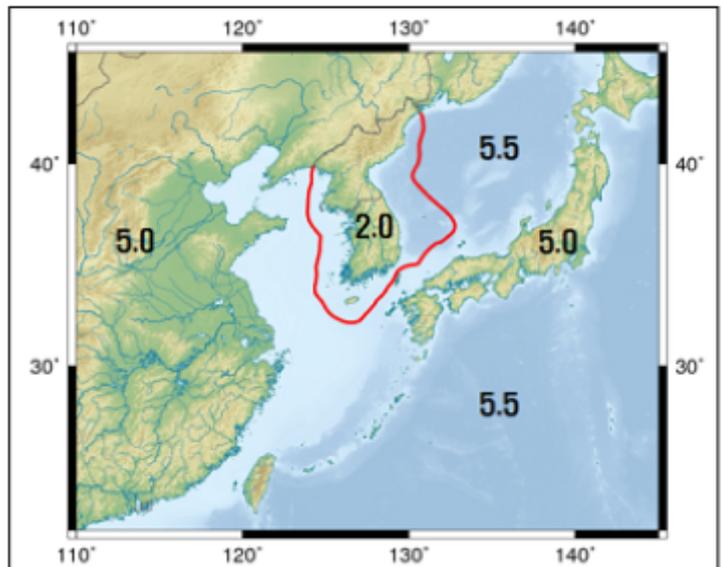
기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」(이하 “지진관측법”이라 한다) 제12조 등에 따라 [그림 3] 및 [표 7]과 같이 규모 5.0 이상으로 예상되는 지진이 발생한 경우 “지진조기경보”를, 국내 내륙에서 규모 3.5(해역 4.0) 이상 지진 예상 시 “지진속보”를, 규모 2.0 이상에 대해서는 “지진통보”를 발표하고 있다.

또한 규모 7.0 이상 해저지진이 발생하여 0.5~1.0m의 파고가 예상될 때 “지진해일 주의보”를, 1.0m 이상의 파고가 예상될 때는 “지진해일 경보”를 발표한다.

한편 「국가지진화산센터 매뉴얼」에 따르면 지진조기경보는 지진 탐지 후 50초, 지진속보는 2분,

지진통보는 5분, 지진해일 특보는 10분 이내에 발표하도록 되어 있다.

[그림 3] 지진·지진해일 감시구역 및 발표 기준



[표 7] 지진 관련 통보 현황

구분		국내지진		구역 내 국외지진		구역 외 국외지진	
		내륙	해역	내륙	해역	내륙	해역
지진 (규모)	조기경보	5.0 이상		-	-	-	-
	속보	3.5 이상	4.0 이상	-	-	-	-
	통보	2.0 이상		-	-	-	-
	정보	-	-	5.0 이상	5.5 이상	6.0 이상	7.0 이상
지진	주의보	규모 7.0 이상 & 예상파고 0.5m~1.0m					
해일	경보	규모 7.0 이상 & 예상파고 1.0m 이상					

자료: 기상청, 「국가지진화산센터 매뉴얼」, 2016년 10월

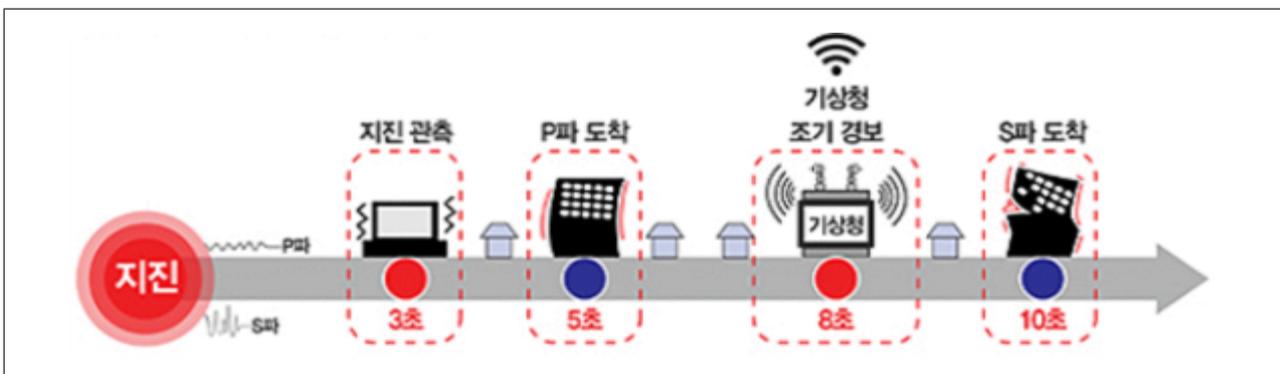
다. 지진조기경보시스템 개요

지진파 중 P파(Primary wave, 속도 약 6km/s)는 S파(Secondary wave, 속도 약 3km/s)에 비해 2배 정도 빠르게 전파되는 반면 피해는 주로 진동이 큰 S파에 의해 발생하므로 [그림 4]와 같이 P파 도착 즉시 지진을 분석하여 S파 도달 전에 지진조기경보를 전파함으로써 사전대피 등을 통해 지진피해를 줄일 수 있다.

이에 정부는 2009. 8. 6. 지진피해를 최소화하기 위한 국가차원의 지진대응을 위해 기상청, 방송통신위원회, 구 소방방재청 등 10개 부처의 전문가로 추진기획단을 구성하여, 지진조기경보 체제구축을 중심으로 하는 「국가지진 대응체계 고도화 기본계획」을 수립하였다.

그리고 기상청은 「국가지진 대응체계 고도화 기본계획」에 따라 2015년 1월부터 P파 탐지 이후 50초 이내에 경보를 발표하여 진앙 150~200km 외곽지역의 사전대비를 가능하게 하는 지진조기경보시스템 1단계 사업을 운영하고 있고, 2020년부터는 경보 발표시간을 10초 이내로 단축하여 진앙 30~40km 외곽지역까지 사전대비가 가능하게 하는 2단계 사업을 운영할 계획이다.

[그림 4] 지진조기경보 서비스 개념도



자료: 기상청 제출자료

라. 지진·지진해일 관측망 구축 현황

우리나라는 지진관측법 제6조 등에 따라 2016년 12월말 현재 [표 8]과 같이 기상청 자체 156개 지진관측소와 한국지질자원연구원 등 3개 유관기관의 50개소 계 206개소로 지진관측망을 구성·운영하고 있고, 지진관측장비는 측정대상에 따라 속도계(주파수 대역: 단주기·광대역)와 가속도계로, 설치방식에 따라 지표형과 시추형으로 구분된다.

[표 8] 지진관측망 구축 현황(2016년 12월말 기준)

(단위: 개소)

구분	초광대역 +가속도	광대역+가속도		단주기 +가속도	가속도		계
	지표형	지표형	시추형	지표형	지표형	시추형	
기상청	1	16	49	30	30	30	156
한국지질자원연구원	-	13	10	13	-	-	36
한국원자력안전기술원	-	4	-	-	-	-	4
한국전력연구원	-	-	-	10	-	-	10
계	1	33	59	53	30	30	206

주: 속도계는 민감도가 높아 작은 규모의 진동을, 가속도계는 민감도가 낮아 큰 규모의 진동을 감지
자료: 기상청 제출자료

또한 [표 9]와 같이 지진해일 관측을 위하여 울릉도 동쪽 해안에 지진해일 관측용 파고계를 운영하고 있으며, 국립해양조사원이 운영하는 주요 연안 해수면 관측을 위한 조위계 자료도 지진해일 관측 및 경보에 활용하고 있다.

[표 9] 지진해일관측소 현황(2016년 12월말 기준)

(단위: 개소)

구분	파고계	조위계		합계
	초음파식	극초단파식	부표식	
기상청	1	-	-	1
국립해양조사원	-	21	29	50
계	1	21	29	51

자료: 기상청 제출자료

마. 지진통보의 대국민 전달체계

지진조기경보시스템은 [그림 5]와 같이 기준 도달 시 조기경보를 실시간으로 재난방송온라인시스템(미래창조과학부)과 지진재해대응시스템(국민안전처)에 자동 전송한다.

그리고 지진조기경보 메시지를 자동 변환하여 TV자막으로 방송될 수 있게 구축된 자동자막송출시스템은 재난방송온라인시스템의 일부로, ◎◎ 등 10개 방송사⁶⁾와 연계되어 있어 조기경보 발령 시 자동으로 TV자막 방송이 가능하다.

또한 지진재해대응시스템으로 수신된 조기경보 메시지는 긴급재난문자(CBS: Cell Broadcasting Service) 시스템을 통해 기간통신사업자 등이 운영하는 이동통신 기지국에 전달되어 휴대전화 가입자에게 긴급재난문자로 발송된다.

[그림 5] 지진조기경보시스템 구성도



자료: 기상청 제출자료

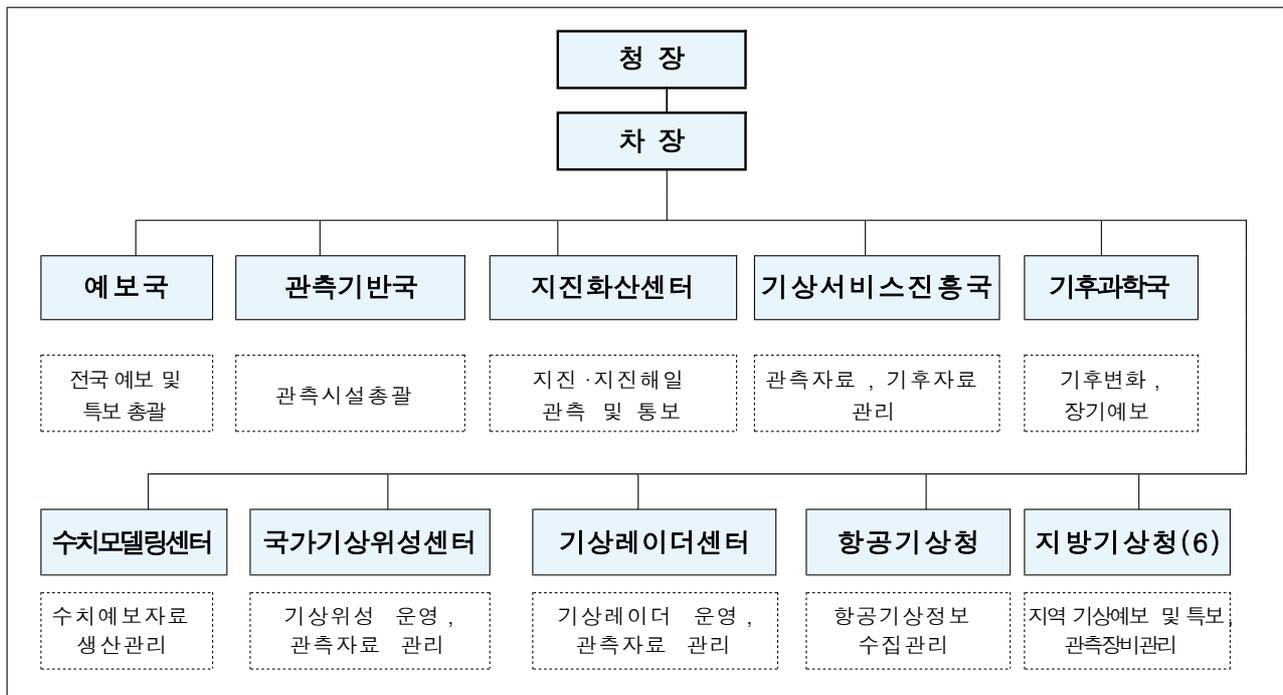
6) ◎◎, ○○, ○○, ○○, ★★, ☎, ☆☆, ☎, ○○, ☎

3. 기상·지진 관련 조직·인력 현황

기상청 내에서는 [그림 6]과 같이 기상예·특보를 총괄하는 예보국 등 4개의 국과 지역별 기상예·특보를 담당하는 지방기상청 등 7개의 청 그리고 수치예보 생산관리를 담당하는 수치모델링센터 등 4개의 센터가 기상·지진 관련 업무를 수행하고 있다.

또한 기상청 현원은 [표 10]과 같이 2017년 4월 현재 1,300명으로, 기상직 72%(936명), 기상연구직 9%(113명) 등으로 구성되어 있다.

[그림 6] 기상청 기상·지진 관련 조직 현황



자료: 기상청 제출자료

[표 10] 기상청 인력구성 현황

구분	일반직			관리운영직
	기술직	연구직	행정직	
기상청 (현원: 1,300명)	- 기상직(936명, 72%) - 전산·기타직(79명, 6%) - 통신직(54명, 4%)	기상연구직 (113명, 9%)	행정직 (91명, 7%)	사무운영 등 (27명, 2%)

주: 정무직(1명), 별정직(1명) 별도

자료: 기상청 제출자료

Ⅲ. 감사결과

1. 감사결과 총괄

감사결과 [표 11]과 같이 기상예보 분야 및 지진통보 분야에서 총 33건의 위법·부당 및 제도개선 사항이 확인되었다.

[표 11] 분야별·기관별 지적사항 현황

(단위: 건)

구분	합계	기상청	환경부	방송통신위원회	한국기상산업진흥원
합계	33	30	1	1	1
기상예보 분야	21	19	1	-	1
지진통보 분야	12	11	-	1	-

감사결과 확인된 분야별 주요 문제점은 다음과 같다.

가. 기상예보 분야

소분야	주요 감사결과
수치예보모델 운영 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 천리안위성 발사(2010년 6월) 이후 5년여가 지나서야 위성관측자료의 국지(한반도) 모델 활용기술 개발에 착수하는 등 기술개발을 소홀히 하여 위성관측자료를 전지구 모델에만 활용하고 국지모델에는 전혀 활용하지 못한 채 수명(2018년 3월)이 다함 · 위성보유국(일본·중국·인도)과 협의를 지연하거나 해외 위성관측자료의 수신상태를 점검하지 않아 전송지연으로 위성관측자료를 활용하지 못하는 등 해외 위성관측자료 활용 부실로 기상예보 정확도 저하 · 한국형 수치예보모델을 개발(현재 영국모델 사용)하면서 전지구모델만 개발하고 지역(아시아)모델과 국지(한반도)모델 개발을 제외하여 개발 완료 이후에도 우리나라 기후에 맞지 않는 영국모델을 대체하기 곤란 · 해상관측 실황자료를 파랑수치예보모델에 입력하지 않아 해상예보 정확도 저하

소분야	주요 감사결과
예·특보 실시 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 황사와 미세먼지 예·특보는 동일하게 PM₁₀ 농도를 기준으로 발표하여 구분이 곤란한데도 기상청, 환경부가 각각 발표함에 따라 행정 비효율과 혼란 초래 · 민간항공기 취항 7개 군공항에 윈드시어(바람 방향, 속도 급변 현상) 예·특보를 실시하지 않아 민간항공기 안전 저해 · 폭염·한파·강풍·풍랑·건조 등 5종 특보에 대해 예측오류 원인분석 등 사후분석을 실시하지 않아 특보 정확도 저하
기상관측 장비 분야	<ul style="list-style-type: none"> · X-밴드 기상레이더를 설치위치도 정하지 않고 발주하여 예산 낭비 · 시정현천계의 성능 시험체계를 마련하지 않고, 시험성적서도 확인하지 않아 장비 관측오류로 인하여 안개특보를 정식으로 시행하지 못하는 등 기상예보에 차질

나. 지진통보 분야

소분야	주요 감사결과
경보 발령 기준 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 지진조기경보 발령기준(15개 관측소에서 20회 이상, 탐지 후 20초 지속)을 지나치게 엄격하게 규정하여 신속한 지진경보 발령에 지장 초래 · 국내에 영향을 미칠 수 있는 지진이 발생할 수 있는 구역(대마도, 휴전선 인근 등)을 지진조기경보 구역에서 제외하여 지진 발생 시 신속 대피 곤란 · 지진해일은 규모 7 미만 지진에도 발생하고 해안가에 10분 내로 도달하는데도 특보 기준을 규모 7 이상으로, 발령시간은 10분내로 규정하여 사전 대비 곤란
지진관측망 구축 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 지진관측망 구축계획 수립 시 유관기관의 관측소를 제외하고, 신설 수요를 잘못 산정하여 국내 면적의 20%에서는 관측공백이 발생하는 반면, 특정 지역은 중복 설치 · 동해관측소 등 3개 관측소의 지진미탐지율이 90% 이상으로 나타나는 등 182개 관측소의 지진 미탐지율이 44%에 달하는데도 원인분석 및 대책 마련 미 실시

소분야	주요 감사결과
지진통보 사후관리 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 지진분석 오류에 대한 원인분석 등 사후관리를 하지 않아 분석기술 향상 기회 상실 · 지진정밀분석 결과 수정정보 제공 기준(규모 0.3, 진앙지 거리 20km 이상)을 높게 설정하여 응급구조 등 지진피해 대응에 차질 우려
지진통보 전달 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 방송사가 지진조기경보 시 내부 승인절차 등을 거치도록 한 재난방송매뉴얼 및 지진 자동자막송출시스템을 개선하지 않고 있어 신속·정확한 지진정보 제공 곤란 · 지진조기경보 휴대전화 문자발송 시 계정 수를 4개로 늘리면 비용은 증가하지 않는 반면, 발송시간의 단축(16초→4초)이 가능한데도 계정 수를 유지하여 지진조기경보 전달의 신속성 저해

이에 대하여 기상청에 천리안위성 등 위성관측자료 활용을 소홀히 하는 일이 없도록 주의요구하고 천리안위성 2호 관측자료의 활용기술 개발계획을 수립하며, 위성관측자료를 최대한 활용하게 하는 등 기상예보의 정확도를 향상시키는 방안을 마련하도록 통보하는 한편, 지진조기경보 발령기준을 완화하고 지진관측 공백이나 중복이 발생하지 않도록 지진관측망 구축계획을 합리적으로 조정하는 등 지진통보의 정확성과 신속성을 확보하는 방안을 마련하도록 통보하였다.

또한 기상청 및 환경부에 서로 협의하여 황사 및 미세먼지 예·경보를 통합하는 방안을 마련하도록 통보하였고, 방송통신위원회에 지진조기경보가 신속히 자막방송될 수 있도록 관련 규정을 마련하는 등 조치하도록 통보하였다.

2. 분야별 실태와 문제점

가. 기상예보 분야

실태

1) 기상예보의 정확도

기상청이 2012년부터 2016년까지 발표한 기상예보의 최고·최저기온 평균절대 오차(MAE: Mean Absolute Error)는 [표 12]와 같이 연평균 1.3℃이고, 강수 유무 정확도(ACC: Accuracy)는 연평균 92% 수준이다. 이같은 정확도 수준은 최근 5년간 유사하게 유지되고 있다.

※ 정확도=ACC(Accuracy)=(H+C)/(H+M+F+C), H는 Hits(맞힘-강수예보 후 비가 옴), M은 Misses(미예측-강수예보 안했으나 비가 옴), F는 False alarms(미발생-강수예보 했으나 비가 안 옴), C는 Correct negatives(부의 정확-강수예보 안 하고 비가 안 옴)를 의미

[표 12] 최근 5년간 연도별 단기(3일)예보 정확도

(단위: %, ℃)

구분	지표	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
강수유무	정확도(ACC)	92.1	92.8	91.5	92.2	92.0
기온오차	최고기온	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3
	최저기온	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

자료: 기상청 제출자료

한편 미국, 영국 등 선진국에서는 기상예보의 정확도 평가척도로 TS(Threat Score, 이하 “적중률(TS)”이라 한다)를 발표하는데, 적중률은 강수 유무 정확도(ACC)

에서 강수와 관련이 없는 C(Correct negatives, 강수예보 안 하고 비도 안 온 경우)를 제외하고 산정[$TS = H / (H + M + F)$]한다.

미국의 경우 강수량 구간별 적중률(TS)을, 영국의 경우 강수 유무 공정적중률(ETS: Equitable Threat Score)⁷⁾을 발표하고, 우리나라 기상청도 대외 발표는 하지 않으나 내부 관리용으로 강수량 구간별 및 강수 유무 적중률(TS)을 산출하고 있다.

그런데 우리나라의 경우는 비가 자주 오지 않아 정확도(ACC) 산정 시 C의 비중이 대부분(최근 5년간 연평균 85.4%)을 차지하기 때문에 H(맞힘)가 줄거나 M(미예측) 또는 F(미발생)가 증가하여도 정확도는 크게 하락하지 않는다.⁸⁾

이에 따라 기상청이 발표한 우리나라의 강수 유무 정확도(ACC)는 [표 13]과 같이 최근 5년간 0.1%p 떨어져 유사한 수준인 반면, 적중률(TS)은 2012년 47.7%에서 2016년 45.2%로 2.5%p 하락하는 등 정확도가 저하된 것으로 나타났다.

[표 13] 단기(3일)예보 강수유무 정확도(ACC)와 적중률(TS) 비교

(단위: %, %p)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	증감률
정확도(ACC)	92.1	92.8	91.5	92.2	92.0	△0.1
적중률(TS)	47.7	46.6	45.0	46.2	45.2	△2.5

자료: 기상청 제출자료

또한 영국 기상청이 발표(2017년 4월, 영국 기상청 웹사이트)한 24시간 예보의 강수 유무 공정적중률(ETS)은 57.9%로, 단순 비교 시 우리나라의 24시간 예보의 강수 유무 적중률(TS, 50.8%)이 영국보다 7%p가량 낮은 것으로 분석되었다.

7) 공정적중률(ETS)은 무작위로 맞힐 확률(Hits random)을 조정한 적중률로써, $ETS = (H - H_r) / (H + M + F - H_r)$, $H_r = H_{random} = (H + M)(H + F) / (H + M + F + C)$ 로 산정. 최근 5년 연평균 우리나라 단기예보의 강수 유무 ETS(41.5%)는 TS(46.1%)보다 낮음

8) 최근 5년간 기상청이 강수예보를 전혀 하지 않는다고 가정하여도 강수 유무 정확도는 89.5%로 산출됨

미국 기상청은 강수량을 0.5인치부터 3인치까지 4개 구간으로 나누어 적중률을 발표하고 있으며 우리나라는 1mm부터 70mm까지 강수량을 6개 구간으로 나누어 강수예보를 맞힌 경우(H)에 한하여 적중률을 산정하고 있는데 2016년 기준 24시간 예보의 평균 강수량 적중률은 미국의 경우 34.5%이고, 우리나라의 경우 29.4%로 나타났으나 강수량 구간 등이 상이하어 이를 단순 비교하기는 어렵다.

[표 14] 2016년 한-미 강수량 적중률(TS) 비교(24시간 예보 기준)

(단위: %)

강수량	0.5인치(6.3mm)	1인치(12.7mm)	2인치(25.4mm)	3인치(50.8mm)	평균
미국	44.4	36.6	29.5	27.6	34.5

강수량	1mm 이상	5mm 이상	10mm 이상	20mm 이상	40mm 이상	70mm 이상	평균
한국	51.2	41.0	35.0	22.3	16.4	10.6	29.4

자료: 기상청 제출자료

한편 기후변화가 거의 없는 지역의 경우 기상예보 기술력의 수준과 상관없이 정확도가 높은 것으로 나타나는 등 각 나라의 기후 특성에 따라 평가가 상이할 수밖에 없어 단순비교로 기상예보의 수준을 평가하는 데에는 한계가 있다.

이에 따라 세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization)는 객관적으로 국가 간 예보기술력을 비교하기 위하여 [표 15]과 같이 전지구 모델의 500hPa 기압 고도예측 오차[평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)]를 기준으로 수치예보를 평가하여 발표하고 있다.

우리나라의 수치예보는 2016년 기준으로 세계 4~5위 수준(수치예보모델 이용 13개 국가 중)으로 평가되는데, 영국 수치예보모델을 도입하여 동일하게 전지구를 대상으로 분석함에도 2016년 기준 우리나라의 수치예보는 5일 후 500hPa 기압의

고도예측에서 2.1m(43.7-41.6)만큼 오차가 크게 발생하는 등 영국에 비하여 수치예보 수준이 낮은 실정이다.

[표 15] 최근 5년간 나라별 수치예보 오차 비교

(단위: m, %)

연도	2012년		2013년		2014년		2015년		2016년		2012년 대비 2016년 오차증가율		
	예측시간	24	120	24	120	24	120	24	120	24	120	24	120
EU		5.8	39.7	5.5	39.4	5.3	38.1	5.2	38.2	5.0	37.0	△13.8	△6.8
영국		6.5	42.0	6.5	41.4	6.5	41.1	6.6	42.2	6.4	41.6	△ 1.5	△1.0
일본		7.1	46.0	6.9	45.3	6.7	43.5	6.9	45.9	6.9	45.5	△ 2.8	△1.1
캐나다		8.6	47.3	7.8	45.3	7.4	43.9	7.2	44.2	7.0	43.2	△ 18.6	△8.7
한국		7.2	44.0	7.0	43.4	7.0	42.4	7.4	43.3	7.3	43.7	+1.4	△0.7

주: 전지구모델 500hPa 기압 고도예측 RMSE 기준

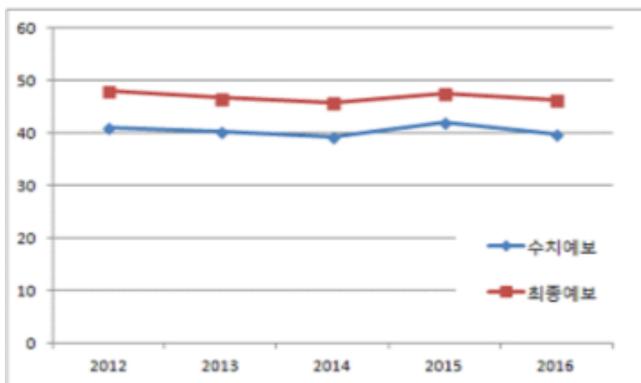
자료: 기상청 제출자료

또한 EU의 경우 2012년 대비 2016년에 24시간 예측오차가 13.8% 감소하는 등 다른 나라들은 수치예보모델의 성능이 개선되고 있는 반면, 우리나라는 같은 기간 오차가 1.4% 증가하는 등 개선이 미진한 실정이다.

[도표 2] 우리나라 최종예보와 수치예보 평가 비교

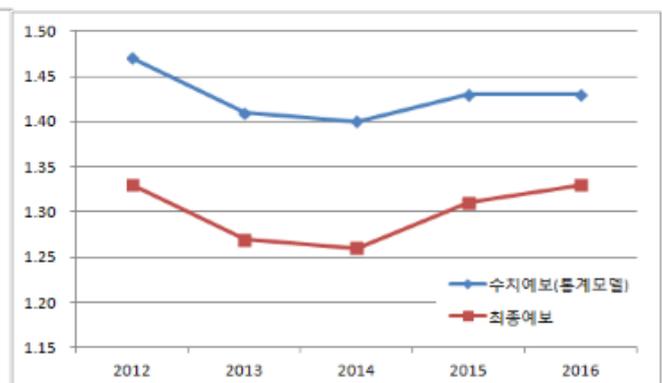
< 강수 유무 적중률(TS) >

(단위: %)



< 최고기온 평균절대오차(MAE) >

(단위: °C)



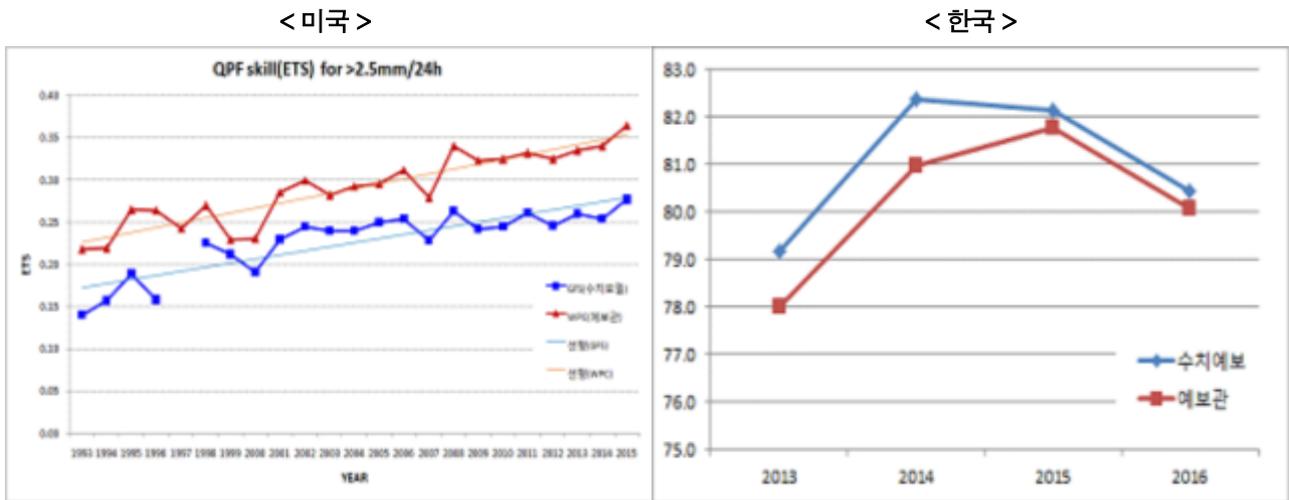
자료: 기상청 제출자료

한편 수치예보는 예보관의 전문적 분석과 판단을 거쳐 보다 정확한 기상예보로 국민에게 전달되며, [도표 2]와 같이 최종 기상예보의 정확성은 수치예보의 정확성

과 비례하는데 특히 최고기온 오차의 경우 수치예보(통계모델)의 오차(MAE 평균 1.4℃)와 최종 예보 오차(MAE 평균 1.3℃) 차이가 0.1℃에 불과하는 등 최종 기상예보의 정확성은 수치예보에 의해 크게 좌우되는 것으로 나타났다.

그런데 최근 5년간 우리나라 강수 유무 적중률의 경우 [도표 2]와 같이 최종 예보가 수치예보에 비하여 연평균 6.3%p 높은 반면, 미국 기상청 예보관의 강수량 적중률도 [도표 3]과 같이 수치예보보다 높는데 우리나라 기상청 최종 예보의 강수량 정확도는 [표 16]과 같이 수치예보보다 연평균 0.8%p 낮아 예보관의 강수량 예보 능력이 미흡한 것으로 분석되었다.

[도표 3] 한·미 예보관과 수치예보의 강수량 정확도 비교



주: 우리나라 강수량 적중률(TS)은 2012년부터 산출
 자료: 기상청 제출자료

[표 16] 우리나라 강수량 정확도(ACC) 비교

(단위: %)

구분	2013년	2014년	2015년	2016년	평균
수치예보	79.2	82.4	82.1	80.4	81.0
최종예보	78.0	81.0	81.8	80.1	80.2

자료: 기상청 제출자료(강수량 정확도는 2013년부터 산출)

2) 기상특보의 정확도

기상청은 기상특보의 정확도를 대외적으로 발표하지 않고 내부 관리용으로 일치율[PAG(Post Agreement)=H/(H+F)]을 산정하고 있으며, 2016년 국정감사 시 국회에 제출하여 언론에 공개된 기상특보별 일치율(PAG)은 [표 17]과 같다.

[표 17] 최근 5년간 기상특보 일치율(PAG) 및 적중률(TS)

(단위: %)

구분	2012년		2013년		2014년		2015년		2016년	
	일치율	적중률								
강풍	51.1	46.9	51.9	48.6	45.6	44.8	46.0	44.4	43.1	41.6
풍랑	51.8	44.7	61.8	53.2	62.0	52.0	62.8	49.9	60.3	50.2
호우	73.3	73.3	73.6	73.6	69.7	69.7	69.2	67.7	69.8	69.6
대설	86.3	86.3	89.0	89.0	87.4	87.4	87.7	87.7	78.1	78.1
건조	74.3	72.1	70.5	69.4	69.3	66.0	65.4	63.0	63.8	60.3
한파	90.2	76.5	81.3	74.7	69.6	64.7	88.5	76.7	69.3	68.4
황사	-	-	-	-	-	-	75.8	70.6	100.0	85.7
폭염	82.1	82.1	69.8	69.8	81.1	81.1	76.2	74.4	78.1	76.7
평균	72.7	68.8	71.1	68.3	69.2	66.5	71.5	66.8	70.3	66.3

자료: 기상청 제출자료(국정감사 시 제출자료는 2016년 9월까지의 일치율이며, 위 자료는 2016년 12월까지의 통계임)

한편 기상특보는 중대한 재해 발생이 예상될 때 사전에 대비하도록 하는 데 목적이 있으므로 기상청이 정한 특보 기준에 도달하기 전에 빠짐없이 발표하는 것이 중요하고, 기상청의 「예보 및 특보평가 지침서」에도 기상특보의 평가 시 일치율(PAG) 이외에도 미예측(M, Misses)을 고려한 적중률[TS=H/(H+M+F)]도 평가하도록 되어 있다.

그런데 미예측(M)을 고려한 적중률(TS) 산정한 결과, 풍랑의 경우 최근 5년간 특보 기준에 도달한 92건(연평균)에 대해 특보를 발표하지 않아 적중률(TS)이 일치

을(PAG)보다 10%p 낮은 등 미예측(M)을 고려한 실제 특보의 정확도가 낮을 뿐만 아니라 [표 17]과 같이 2012년 대비 2016년 평균 적중률이 하락하여 관리가 필요한데도 기상청은 적중률(TS)을 산정·관리하지 않고 있는 실정이다.

또한 기상청은 태풍 특보의 정확도와 관련하여 48시간 태풍진로예보 오차를 발표하고 있으며, [표 18]과 같이 2016년 기준 태풍진로예보 오차는 한국(143km)·미국(144km)·일본(141km)이 유사한 수준이다.

[표 18] 태풍진로예보 오차 비교

(단위: km)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한국	181	141	172	130	143
미국	165	137	152	124	144
일본	200	149	177	119	141

자료: 기상청 제출자료

한편 미국 기상청은 미발생(F, False Alarms)을 제외하고 미예측(M: Misses)을 고려한 탐지율[POD(Probability Of Detection= $H/(H+M)$)]을 발표하고 있으며, 미국과 유사한 방식으로 우리나라 풍랑특보의 탐지율(POD)을 산정·비교한 결과, [표 19]와 같이 우리나라가 미국에 비해 3개년 연평균 8%p 낮은 것으로 분석되었다.

[표 19] 한·미 풍랑특보 탐지율 비교

(단위: %)

구분	2013년	2014년	2015년	평균
미국(Marine Wave Height)	81	84	84	83
한국(풍랑)	79	76	70	75

자료: 기상청 제출자료

이상과 같이 수치예보 및 기상예·특보의 정확도가 선진국에 비해 낮은 데에는 다음과 같은 문제점이 있었다.

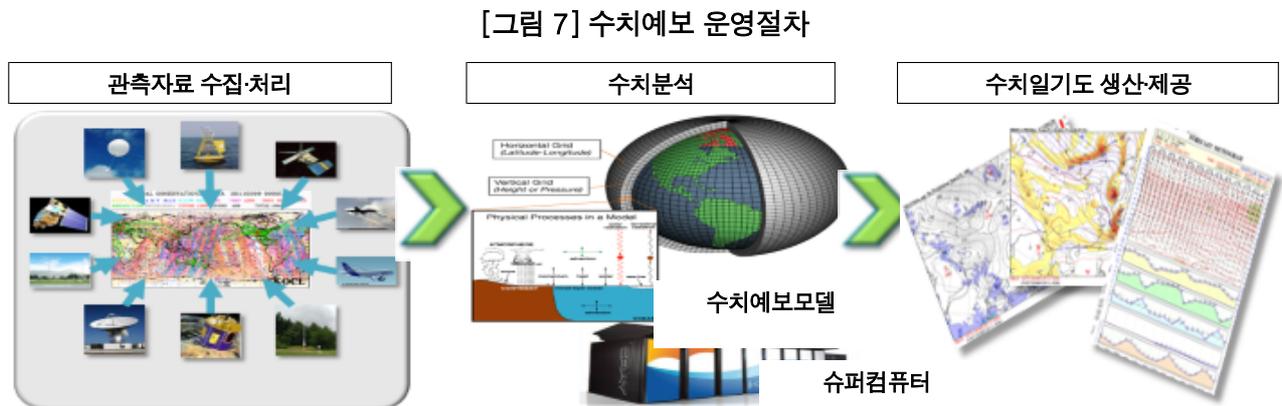
문제점

가-1) 수치예보모델 운영 분야

- 천리안위성 및 해외 위성 관측자료 등 활용가능한 관측자료를 수치예보모델에 미활용
- 한국형 수치예보모델 개발사업에서 지역(아시아) 및 국지(한반도)예보모델 개발을 제외
- 파고 등 해상기상 관측 실태자료를 파랑수치예보모델에 미입력
- 해양 기상관측선을 먼바다 등 관측공백 해역이 아니라 기존 관측장비가 설치된 연안 위주로 운항
⇒ 수치예보모델 성능 저하로 인하여 기상예보의 정확도 하락

가-1)-1 위성 관측자료 미활용 등 수치예보모델 운영 부적정

기상청은 [그림 7]과 같이 국가기상위성인 천리안위성 관측자료 등 각종 국내 기상관측자료와 NOAA위성(미국) 등 해외에서 측정된 기상관측자료를 수집·처리하여 수치예보모델⁹⁾(슈퍼컴퓨터)에 입력한 후, 수치분석을 통해 생산된 수치일기도¹⁰⁾를 기초로 기상예보 등을 발표하고 있다.



자료: 기상청 제출자료

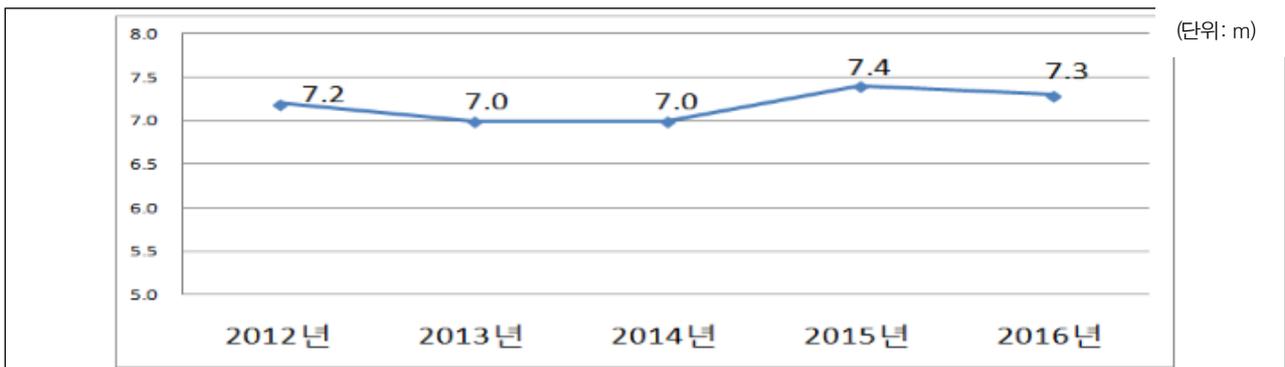
9) 대기 운동을 지배하는 열·운동방정식의 연산 등을 통해 현재로부터 미래 대기상태를 예측하는 소프트웨어

10) 수치예보모델에서 분석·예측된 기상 변수들을 기호와 등치선 등으로 나타낸 일기도

그리고 기상청은 수치예보의 정확도를 향상시키기 위해 2014년 11월 569억 원을 들여 슈퍼컴퓨터 4호기를 도입하는 등 최근 5년(2012~2016년)간 ‘슈퍼컴퓨터 운영’과 ‘수치예보모델 개선’에 총 1,192억 원을 투자하였다.

그러나 최근 5년간 수치예보의 500hPa 기압 대기고도 예측오차¹¹⁾(24시간 후 기준, 이하 “수치예보 정확도”라 한다)를 살펴보면, 2012년 7.2m에서 2016년 7.3m로 수치예보 정확도가 오히려 1.39% 저하되는 등 [도표 4]와 같이 최근 5년간 수치예보 정확도가 개선되지 않고 있는 것으로 나타났다.

[도표 4] 최근 5년간 수치예보 정확도 변화



주: 수치예보 정확도는 오차이므로 작을수록 정확도가 높음
 자료: 기상청 제출자료

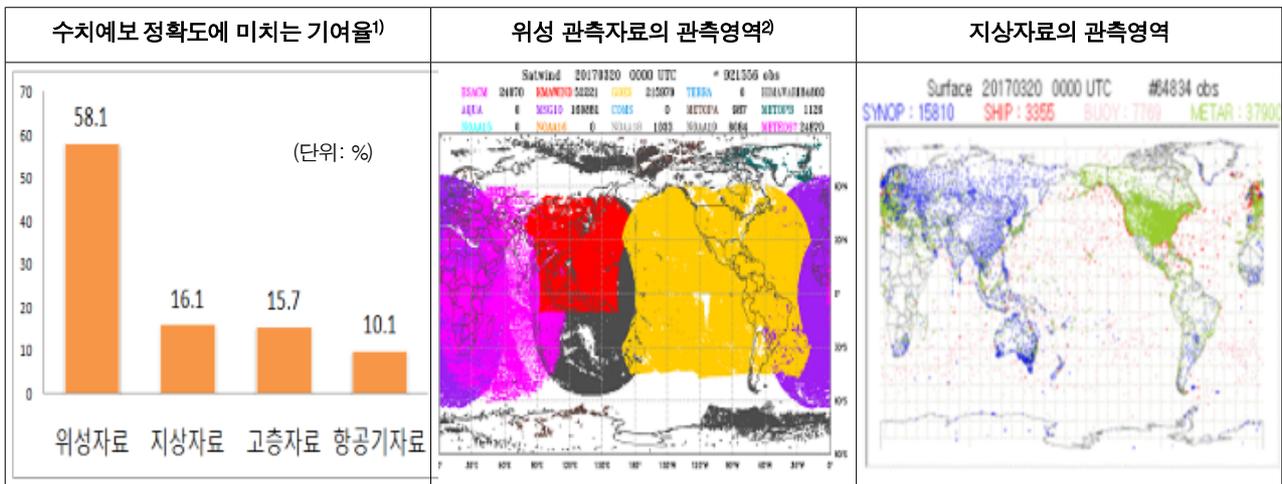
한편 기상청(수치모델개발과)이 2017. 4. 25. 수치예보에 활용하는 관측자료량의 변화에 따른 수치예보 정확도의 개선효과를 분석한 결과에 따르면, 수치예보에 활용하는 관측자료량을 수집된 관측자료량의 10% 만큼 증가시킬수록 수치예보 정확도는 약 0.7%¹²⁾ 향상(연간 38억 원의 재해비용 감소효과)되는 것으로 나타나는 등

11) 수치예보 정확도 검증은 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error), 편차(Bias), 상관계수 등 다양한 통계학적 방법으로 표현되나 위 수치예보 정확도는 평균제곱근오차로 통일, 평균제곱근오차는 예측값과 관측값(또는 실제 상태에 가까운 추정된 분석값)의 차이를 제곱근하여 평균을 취한 값이므로 오차의 방향성이 없으며 완벽한 경우 “0”의 값을 가짐
 12) 2017. 4. 11. 21:00 기준 전체 수집된 관측자료량의 29.4%를 현업 수치예보에 더 적게 사용하고 있는 것으로 나타났고, 전체 수집된 관측자료를 모두 활용할 경우 현업 수치예보보다 수치예보 정확도가 2.04% 향상되므로, 관측자료량의 증가에 따라 수치예보 정확도 개선율이 선형으로 증가한다고 가정하면 관측자료 10% 증가 시 수치예보 정확도는 0.7% 향상

많은 양의 관측자료를 활용할수록 수치예보 정확도가 향상되는 것으로 나타났다.

그리고 기상청(미래수치기술팀)이 2017. 3. 21. 관측자료 종류(위성, 지상, 고층, 항공기)별로 수치예보 정확도에 미치는 기여율을 검토한 결과에 따르면 [그림 8]과 같이 육지뿐 아니라 바다까지 넓은 영역을 포괄하는 위성 관측자료가 **수치예보 정확도에 미치는 기여율은** 항공기 관측자료(10.1%)보다 48.0%p 높은 58.1%로 나타나는 등 위성 관측자료가 수치예보에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

[그림 8] 관측자료 종류별 수치예보 정확도에 미치는 기여율 및 관측영역



주: 1. 2015년 여름철 전지구예보모델 기준

2. NOAA 18호(미국) 등 10개 정지궤도위성의 대기운동벡터 관측영역

자료: 기상청 제출자료

따라서 기상예보의 정확도를 향상시키기 위하여 위성 관측자료 등 기상관측자료를 가능한 한 많이 수집하여 수치예보에 활용¹³⁾하는 것이 바람직하다.

그런데도 기상청은 다음 “(1)항”부터 “(3)항”에 기재한 바와 같이 위성 관측자료 등을 수치예보에 활용하지 않고 있어 수치예보의 정확도를 높이지 못하게 되었다.

13) 사전 실험을 통해 수치일기도의 정확도를 향상시키는 것으로 검증된 관측자료 종류만을 수치예보에 활용

(1) 천리안위성 관측자료 활용 미흡

기상청은 한반도 및 그 주변의 기상에 대한 위성관측자료를 수치예보 등에 활용하기 위하여 [표 20]과 같이 2010. 6. 27. 발사된 천리안위성 1호의 기상관측장비를 개발·운영하고 있고, 천리안위성 1호의 설계수명에 맞추어 2018년 5월 발사 예정인 천리안위성 2호의 기상관측장비를 개발하고 있다.

[표 20] 천리안위성 1호 및 2호 현황

구분	천리안위성 1호	천리안위성 2호
위성 수	1기	2기(2A호, 2B호)
운영목적	기상관측, 해양관측, 통신서비스	2A호: 기상관측 2B호: 해양·환경관측
사업주체	기상청, 구 교육과학기술부, 구 국토해양부, 방송통신위원회	기상청, 미래창조과학부, 해양수산부, 환경부
총사업비(기상청 부담금)	3,549억 원(749억 원)	7,200억 원(1,575억 원)
발사시기	2010. 6. 27.	2A호: 2018년 5월 예정 2B호: 2019년 3월 예정
운영기간(설계수명)	2010년 6월 ~ 2017년 6월(7년)	2A호: 2018년 5월~2028년 5월(10년) 2B호: 2019년 3월~2029년 3월(10년)

자료: 기상청 제출자료 등

그리고 천리안위성 1호는 기상예보에 활용할 수 있도록 기온 및 습도에 관한 정보인 청천복사량(Clear Sky Radiance, 이하 “CSR”이라 한다) 자료와 풍향 및 풍속에 관한 정보인 대기운동벡터(Atmospheric Motion Vector, 이하 “AMV”라 한다) 자료를 생산하고 있다. 한편 천리안위성 1호의 관측자료(CSR과 AMV)를 수치예보모델에 활용하기 위해서는 관측자료 활용기술 개발이 선행되어야 하나 관측자료 활용기술의 개발에는 8~10개월이 소요된다. 그리고 천리안위성 1호의 수명은 7년에 불과하다.

기상청이 운영 중인 수치예보모델은 [표 21]과 같이 수치예보모델의 기본모델로써 전지구를 예측대상으로 하는 전지구예보모델과 동아시아 지역을 예측대상으

로 하는 지역예보모델, 한반도의 기상현상을 상세하게 예측하기 위한 국지예보모델 등으로 구성되어 있다.

[표 21] 주요 수치예보모델 운영 현황

구분	예측대상 공간영역	예측대상 시간영역	운영목적	
국지예보모델	한반도	36시간	한반도 날씨 예측	
지역예보모델	동아시아	87시간	동네예보, 아시아 날씨 예측	
전지구예보모델	전지구	288시간	동네예보, 중기예보, 전지구 날씨 예측	

자료: 기상청 제출자료

그리고 기상청과 같은 수치예보모델을 사용하고 있는 영국 기상청의 경우 2010년부터 천리안위성과 같은 정지궤도위성이 생산한 CSR 및 AMV 자료를 전지구예보모델 뿐 아니라 국지예보모델에도 활용하고 있다.

따라서 천리안위성의 한정된 수명과 관측자료 활용기술 개발기간¹⁴⁾ 등을 고려하여 천리안위성 발사 전에 CSR 및 AMV 자료 등의 관측자료 활용기술 개발계획을 수립하는 등 체계적으로 천리안위성 활용기술을 개발하여야 한다.

그런데도 기상청은 천리안위성 1호 발사 이전에 CSR 및 AMV 자료를 수치예보에 활용하기 위한 생산방법을 결정하지 않았고 천리안위성 1호가 발사된 이후 5개월여가 지난 2010. 12. 15.에야 AMV 자료에 대해서만 전지구 및 지역예보모델에 활용하기 위한 생산방법 개선 등의 구체적인 시행계획을 마련하였다.

그리고 기상청은 CSR 자료의 경우에는 2012. 9. 12. 전지구예보모델에 활용할 수 있는 기술을 개발한 이후 7개월이 지난 2013. 4. 12. 국지예보모델 활용을 위한

14) CSR 및 AMV 자료를 국지 및 지역예보모델에 활용하기 위해서는 사전에 해상도, 생산주기 등 CSR 및 AMV 자료의 적정 생산방법을 결정한 후 전지구예보모델을 대상으로 자료저장 및 처리기술 등의 활용기술을 개발해야 함

기술 개발에 착수하여 2016년 2월 활용기술에 대한 성능실험결과 수치예보 정확도가 0.5% 향상되는 등 수치예보 개선효과가 있는 것을 확인하였으나, 2016년 6월 국지예보모델 영역 확장계획¹⁵⁾과 맞물려 수치예보에 활용하지 못하고 2017년 4월 현재까지 개발 중에 있는 등 [표 22]와 같이 천리안위성 1호 관측자료 활용기술을 체계적으로 개발하지 아니하여 2017년 4월 현재까지 ‘CSR 자료’는 국지 및 지역예보모델에, ‘AMV 자료’는 국지예보모델에 활용하지 못하고 있다.

[표 22] CSR 및 AMV 자료 활용기술 개발 및 활용 현황

구분	CSR		AMV	
	개발 현황	현업 활용 여부	개발 현황	현업 활용 여부
국지예보모델	2013년 4월 개발 착수 2017년 4월 현재 개발 중	미활용	2015년 2월 개발 착수 2017년 4월 현재 개발 중	미활용
지역예보모델	미개발	미활용	2010년 12월 개발 착수 2011년 10월 개발 완료	2011년 12월 현업 활용
전지구예보모델	2011년 6월 개발 착수 2012년 9월 개발 완료	2013년 6월 현업 활용	2010년 12월 개발 착수 2011년 10월 개발 완료	2011년 12월 현업 활용

자료: 기상청 제출자료

그뿐만 아니라 기상청은 2018년 5월 발사 예정인 천리안위성 2호에 탑재될 기상관측장비를 개발하면서도 2017년 4월 현재까지 CSR 및 AMV 자료 등의 관측자료를 수치예보에 활용하기 위한 관측자료 활용기술 개발계획을 수립하지 않고 있다.

그 결과 천리안위성 1호가 2017년 6월 설계수명(7년)에 이르게 되어 CSR 및 AMV 자료를 국지예보모델에 활용하지 못하게 됨에 따라¹⁶⁾ 수치예보 정확도를 향상시키지 못하였고, 천리안위성 2호 또한 개발기간 등을 고려할 때 천리안위성 1호와 같이 관측자료를 수치예보에 전면 활용하지 못할 우려가 있다.

15) 2014. 11. 4. 국지예보모델 예측영역을 한반도에서 동아시아 일부를 포함하는 영역으로 확장하는 계획 수립 후 관련 기술을 개발하여 2016년 6월 현업에 적용

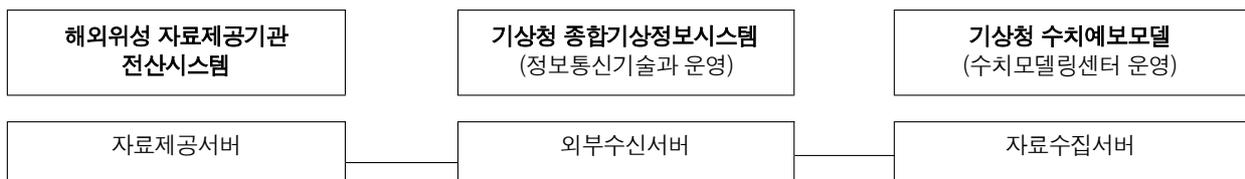
16) 2018. 3. 31. 임무수명 종료 예정이고, 위성운영기관(한국항공우주연구원)에서 임무영향분석을 수행하여 임무 연장 가능

(2) 해외위성 관측자료 수집 부적정

(가) 기존 해외위성 관측자료 수신 지연 미조치

기상청은 2008년 10월 영국기상청에 NOAA-15 위성 관측자료의 제공을 요청하는 등 7개 해외 자료제공기관에 위성 관측자료를 요청하여 [그림 9]와 같이 각 기관의 서버에 저장된 Metop A호 위성(유럽) 등 20개 해외위성 관측자료를 각종 통신회선을 통해 전산파일형태로 전송받아 기상청 종합기상정보시스템 서버에 저장·처리한 후 수치예보모델 서버로 옮겨 수치분석을 수행하고 있다.

[그림 9] 해외위성 관측자료 수집 체계



자료: 기상청 제출자료

그런데 기상청(정보통신기술과)이 2017. 4. 21. 7개 자료제공기관으로부터 전송 받고 있는 해외위성 관측자료 파일의 수신 상태를 점검한 결과에 따르면 영국 기상청이 제공하는 해외위성 관측자료 280개 파일 중 18개 파일(6.4%)이 자료입력시각보다 최대 41분 지난 후에 수신되어 수치예보에 활용되지 못하는 등 [표 23]과 같이 해외위성 관측자료 총 902개 파일¹⁷⁾ 중 24개 파일(2.7%)이 수신 지연으로 수치예보에 활용되지 못하고 있는 것으로 나타났다.

17) 해외 자료제공기관으로부터 전송받은 총 1,121개 관측자료 파일 중 자료입력시각 이후 각 기관 자료제공서버에 저장됨에 따라 아무리 전송을 빠르게 하여도 수치예보에 활용하지 못하게 되는 219개 관측자료 파일은 제외

[표 23] 해외위성 관측자료 수신 지연 현황

(단위: 개, %)

연번	자료제공기관	전체 ^{주)}	수신 완료 (자료입력시각 이전 수신)	수신 지연(비율) (자료입력시각 이후 수신)
1	영국 기상청	280	262	18(6.4)
2	미국 환경위성정보처(NESDIS)	202	198	4(2.0)
3	네덜란드 기상청(KNMI)	175	175	-
4	위스콘신대 연구소(CIMSS)	13	13	-
5	유럽기상위성센터(EUMETSAT)	15	15	-
6	일본 기상청	180	178	2(1.1)
7	한국 기상청(국가기상위성센터)	37	37	-
합계		902	878	24(2.7)

주: 1. 2017. 4. 11. 21:00 분석 기준

2. 자료제공기관으로부터 전송받은 전체 파일 중 자료입력시각 이후 자료제공서버에 저장된 파일 제외
자료: 기상청 제출자료

따라서 기상청은 해외위성 관측자료가 수치예보모델 자료입력시각을 초과하여 수신되지 않도록 통신회선 등을 철저히 관리하여야 했다.

그런데 기상청은 이미 운용 중인 유럽지역기상자료통신망(512KB/sec)을 이용할 경우 영국 기상청 제공 수신 지연 18개 파일 중 14개 파일의 해외위성 관측자료가 자료입력시각 이전에 수집될 것으로 예상되는데도 유럽지역기상자료통신망보다 전송속도가 347KB/sec만큼 느린 일반 인터넷 회선(165KB/sec)을 이용하고 있었다.

또한 기상청은 영국 기상청 자료제공서버에서 이미 기상청 수치예보모델에 전송된 해외위성 관측자료 파일을 삭제할 수 있는 권한이 없어 중복탐색으로 인하여 파일전송이 지연될 우려¹⁸⁾가 있는 등 파일전송방식의 개선이 필요한데도 영국 기상청과 아무런 협의를 하지 않고 있었다.

그 결과 수치예보 정확도를 높이지¹⁹⁾ 못하게 되었다.

18) 유럽기상위성센터의 경우 자료제공서버에서 관측자료 파일을 다운로드한 후 해당 파일을 삭제하고 있어 다음 접속 시 자료 제공서버에서 파일목록 중 수집하고자 하는 관측자료를 검색하는 시간이 단축되어 전송지연 건수가 없는 것으로 추정됨

19) 수치예보 정확도를 약 0.1% 향상시킬 수 있을 것으로 추정

(나) 신규 해외위성 관측자료 수집 지연

기상청 소속 국가기상위성센터(이하 “기상위성센터”라 한다)는 「기상청과 그 소속기관 직제 시행규칙」 제13조 제4항 제3호의 규정에 따라 기상위성 관측자료의 국내외 분배 및 교환 업무를 수행하고 있고 수치모델링센터는 새로운 관측자료 종류를 추가하거나 수치분석 관련 기술을 변경하는 등 신규 수치예보모델 운영기술을 연구·개발한 후 5개월간의 시범운영을 거쳐 매년 6월경 수치예보모델을 개선²⁰⁾하고 있다.

한편 영국 기상청은 2016년 3월부터 [표 24]와 같이 일본우주항공연구개발기구(JAXA)가 운영하는 GCOM-W1위성 등 3개 신규 해외위성의 관측자료(이하 “신규위성 관측자료”라 한다)를 수치예보모델에 활용하고 있고, 2016년 9월 기준으로 신규위성 관측자료가 영국 기상청의 수치예보 정확도에 미치는 기여율은 전체 34개 관측자료 중 6.7%를 차지(상위 10위, 11위, 20위)하고 있다.

[표 24] 신규 해외위성 관측자료 현황

위성 운영국(기관명)	위성명	기상관측장비	산출물	발사시기
일본(JAXA)	GCOM-W1	AMSR-2	복사량	2012년 5월
중국(CMA)	FY-3C	MWHS-2	복사량	2011년 10월
인도(ISRO)	Megha-Tropiques	SAPHIR	복사량	2011년 10월

자료: 기상청 제출자료

이에 따라 수치모델링센터는 당초 2017년 6월로 예정된 수치예보모델 개선시점부터 신규위성 관측자료를 활용하기 위하여 기상위성센터에 유럽기상위성센터

20) 전지구예보모델 기준

(EUMETSAT)와 협의를 통해 신규위성 관측자료를 수집해 줄 것을 2016년 4월 요청하였다.²¹⁾

한편 기상위성센터는 신규위성 관측자료를 수집하기 위하여 2016. 9. 28. 개최된 ‘한국-유럽 간 위성센터 협력회의’에서 신규위성 관측자료를 제공해 주길 요청하였으나 유럽기상위성센터로부터 일본우주항공연구개발기구(JAXA) 등 3개 신규위성 운영국의 공식적인 자료제공 동의가 필요하다는 의견을 받았다.²²⁾

이후 수치모델링센터는 2016. 10. 21. 및 같은 해 10. 25. 기상위성센터와 실무 협의 및 담당자 간 구두 의견교환을 통해 2017년도의 경우 수치예보모델 개선시점이 예년에 비해 연기된 10월이 될 것을 고려하여 2017년 3월까지 신규위성 관측자료 수집을 위한 절차를 마쳐 줄 것을 기상위성센터에 요청하였다.

따라서 기상위성센터는 2017년 10월 수치예보모델 개선시점에 신규위성 관측자료를 활용할 수 있도록 사전에 각 신규위성 운영국의 동의를 얻는 등 2017년 3월까지 신규위성 관측자료 수집을 위한 절차를 마쳤어야 했다.

그런데도 기상위성센터 ■과 해외위성 자료수집업무 담당자인 A는 신규위성 관측자료 수집업무가 기존의 해외위성 자료품질 검증 등 다른 업무에 비하여 업무 수행의 우선순위가 낮다는 사유로 2017년 2월까지 각 신규위성 운영국과 자료제공 동의를 얻기 위한 협의를 하지 않았다.

그러다가 A는 이번 감사원 감사를 위한 자료수집기간 중인 2017. 2. 13. 신규위

21) 수치모델링센터는 2016년 10월 신규위성 관측자료를 수치예보모델에 활용하기 위한 자료저장·처리기술 개발 완료

22) 2016년 10월 유럽기상위성센터로부터 각 신규위성 운영국 업무담당자의 이메일주소를 제공받음

성 운영국에 이메일을 발송하여 협의를 시작²³⁾함에 따라 2017년 4월 현재까지 각 신규 해외위성 운영국으로부터 관측자료 제공 동의를 공식적으로 받지 못하고 있고 2017년 7월어야 신규위성 관측자료가 수치모델링센터에 제공될 예정이다.

그 결과 2017년 10월 수치예보모델 개선시점에 신규위성 관측자료를 활용하기 어려워²⁴⁾ 제때 기상예보의 정확도를 향상²⁵⁾시키지 못하게 되었다.

(3) 수치예보모델 자료입력시각 설정 부적정

「수치예보 업무지침」(2015년 9월, 기상청 지침) 제2장 제18조에 따르면 기상청은 수치예보모델²⁶⁾을 매일 4회(오전·오후 각 3시, 9시) 운영하되 수치분석 기준시각 전·후 3시간씩 6시간 동안 측정된 관측자료를 입력하도록 되어 있다.

그리고 기상청(수치모델개발과)이 2017. 4. 11. 위 6시간의 관측자료량과 기상청이 활용하는 관측자료량 차이를 비교한 결과에 따르면 6시간 전체 관측자료량 5,387,127개 중 3,804,983개(70.6%)만 수치예보에 활용하고 있는 것으로 나타났으나, 6시간의 관측자료를 모두 활용할 경우 현재의 수치예보모델보다 수치예보 정확도가 2.04% 향상(연간 111억 원의 재해비용 감소 효과)되는 것으로 나타났다.

따라서 기상청은 6시간 동안 수집된 관측자료를 최대한 수치예보모델에 입력하여야 한다.

그런데도 기상청은 예보관의 수치일기도 검토시간을 확보한다는 사유로 2010년

23) 중국, 인도의 경우 2017. 2. 13. 협의를 시작하였고, 일본의 경우 기존에 수신 중인 관측자료의 가용성 확인을 위해 2017. 3. 21. 이메일을 보내 협의를 시작

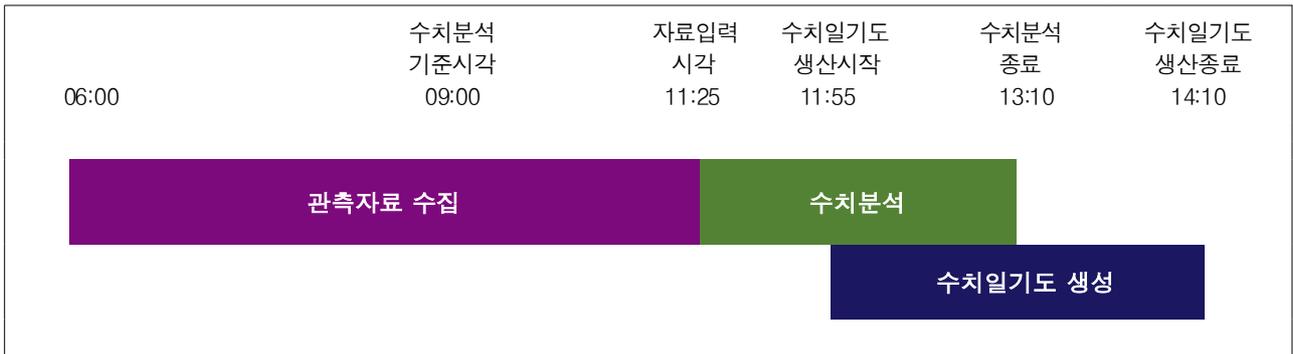
24) 2017년도 현업 수치예보모델 개선을 위한 시범운영기간(2017년 5~9월) 초기에 신규위성 관측자료가 제공되지 아닐 경우 현업 수치예보모델에 적용하기 곤란

25) 수치예보 정확도를 약 0.25% 향상시킬 수 있을 것으로 추정

26) 전지구예보모델 기준

6월 영국 기상청의 수치예보모델을 현업에 활용한 이후 2017년 4월 감사일 현재까지 [그림 10]과 같이 오전 9시 수치분석의 경우 오전 6시부터 11시 25분까지 5시간 25분 동안 측정된 기상관측자료만을 수치예보모델에 입력하여 수치분석을 하고 있다.

[그림 10] 수치예보모델 운영 일정



주: 수치분석 기준시각 09:00 기준
자료: 기상청 제출자료

이에 대하여 기상청(수치모델개발과)이 2017. 4. 25. 슈퍼컴퓨터의 전산자원 추가 투입에 따른 수치일기도 생산시간 등을 분석·검토한 결과에 따르면 2017년 4월 현재 슈퍼컴퓨터의 전산자원 여유분(226노드)을 활용하게 될 경우 현재 사용 중인 전산자원(138노드)보다 226노드 많은 364노드를 사용할 수 있어 수치일기도(84시간 예측치)를 13분 빠르게 생산하게 됨에 따라 자료입력 시간을 13분 더 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

더욱이 일부 예보관의 의견을 수렴한 결과, 현재보다 5분 내지 10분 늦게 수치일기도를 제공받는 것을 수용할 수 있다는 의견을 제시함에 따라 수치예보모델 자료입력 시간을 최대 23분 더 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

이와 관련하여 기상청(수치모델개발과)이 2017. 4. 25. 수치예보모델 자료입력

시간을 23분 더 확보할 경우의 수치예보 정확도 개선효과를 검토한 결과에 따르면 6시간 전체 관측자료량 5,387,127개의 4.6%에 해당하는 247,808개 관측자료를 추가로 활용할 수 있게 되어 수치예보 정확도를 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서,

① 천리안위성 관측자료 활용과 관련하여, 천리안위성 1호 관측자료를 전지구예보 모델에 활용하기 위한 기술을 개발하여 활용하고 있으나 국지 및 지역예보모델에 활용하기 위한 기술 개발은 체계적으로 진행하지 못하였다고 하면서 향후 천리안위성 2호 관측자료를 조속하게 수치예보모델에 활용할 수 있도록 체계적인 계획을 수립하여 기술개발을 추진하겠다는 의견을 제시하였다.

② 해외위성 관측자료 수집과 관련하여, 해외위성 관측자료 수집체계를 정비하여 효율적인 관측자료 활용 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였고 GCOM-W1위성 등 3개 신규 해외위성의 관측자료 수집 지연과 관련하여서는 향후 유사 사례가 발생하지 않도록 관련 업무를 철저히 하겠다는 의견을 제시하였다.

③ 수치예보모델 자료입력시각 설정과 관련하여, 향후 보다 많은 기상관측자료를 수치예보에 활용하기 위하여 수치예보모델 자료입력 시간을 더 확보하고 슈퍼컴퓨터의 전산자원을 활용하여 신속하게 수치일기도를 생산하는 방안을 검토하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① 천리안위성 2호의 관측자료를 수치예보에 활용하여 수치예보의 정확도를 높일 수 있도록 위성관측자료 활용기술 개발계획을 조속히 마련하고, 영국 기상청 등 해외 자료제공기관 서버에 저장된 해외위성 관측자료를 적시에 수집하는 한편, 수치예보모델에 최대한 많은 기상관측자료를 입력할 수 있도록 수치예보모델 자료입력 시간을 더 확보하는 방안을 마련하며(통보)
- ② 앞으로 천리안위성의 관측자료를 수치예보에 제대로 활용할 수 있도록 위성 관측자료의 활용기술 개발업무를 철저히 하고, 신규 해외위성의 관측자료 수집이 지연되어 수치예보에 제때 활용하지 못하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하는 한편,
- ③ 관련자에게는 주의를 촉구하시기 바랍니다.(주의)

가-1)-2 한국형수치예보모델 개발범위 불합리

기상청은 2008. 5. 15. 영국 기상청의 수치예보모델(이하 “영국수치예보모델”이라 한다)을 도입하여 우리나라 기상예보에 활용하고 있다. 그러나 영국수치예보모델은 예측강수량을 실제 강수량보다 과다하게 산출하는 경향이 있는 등 우리나라와 기상조건이 다른 외국의 수치예보모델을 사용함에 따른 문제점이 확인되었다.²⁷⁾

27) 한국형수치예보모델 개발을 위한 예비타당성조사 기획연구보고서인 「독자수치모델 개발을 위한 상세 기획 연구」(2010년 기상청)에 따르면 외국 수치예보모델 사용에 따른 기술종속, 기술확보 곤란뿐만 아니라 독자 수치예보모델 보유국에 비해 예보 적중률 향상 속도 저하 등의 문제점이 있어 독자 수치예보모델 개발의 추진이 필요한 것으로 검토

이에 기상청은 영국수치예보모델을 대체하여 우리나라 기상예보의 정확도를 향상하기 위하여²⁸⁾ 2011. 2. 14.부터 총사업비 946억여 원을 투입하여 2020년 적용 예정으로 독자적 수치예보모델인 한국형수치예보모델을 개발하고 있다.²⁹⁾

「수치예보 업무지침」(2015년 9월, 기상청 지침) 제2장 제1조 등의 규정에 따르면 현재 기상예보에 활용 중인 수치예보모델은 [표 25]와 같이 전지구 영역을 17km 간격으로 나누어 수치분석을 수행하는 저해상도의 전지구예보시스템(GDAPS, 이하 “전지구모델”이라 한다)과 동북아시아 지역을 12km 간격으로 나누어 수치분석을 수행하는 지역예보시스템(RDAPS, 이하 “지역모델”이라 한다), 그리고 한반도 및 그 주변 대상 영역을 1.5km 간격으로 나누어 수치분석을 수행하는 고해상도의 국지예보시스템(LDAPS, 이하 “국지모델”이라 한다) 등으로 구성되어 있다.

[표 25] 기상예보용 수치예보모델의 종류

예측 영역	모델명	수평 분해능력	수치분석 횟수	최대 예측 기간	목적
전 지구	전지구 (GDAPS)	17km	4회/일	12일	전 지구 영역 대상 기상 예측, 중기예보(10일) 및 동네예보(3일)에 활용, 지역모델 및 국지모델의 경계자료 제공
동북아시아	지역(RDAPS)	12km	"	87시간	동북아시아 영역 대상 기상 예측, 동네예보에 활용
한반도 및 주변	국지(LDAPS)	1.5km	"	36시간	한반도의 상세한 기상 현상 예측

자료: 기상청 제출자료

28) 한국형수치예보모델 개발을 위한 「예비타당성조사 보고서」(2010년 8월 KDI 공공투자관리센터)에 따르면 수치예보 모델의 예측 정확도 개선율[예보 5일 후 500hPa 대기에 대한 평균제곱근오차(RMSE) 값 기준]은 독자적 수치예보 모델을 보유할 경우 24.6%, 독자적 수치예보모델을 보유하지 못한 경우 15.2%로 각각 산정됨에 따라 독자적 수치예보 모델을 보유하는 것이 예측 정확도 개선율이 우수한 것으로 분석

29) 기상청 산하기관인 재단법인 한국형수치예보모델개발사업단(대표자 B)에 총 946억여 원을 출자하여 한국형수치예보모델을 개발 중(2016년 12월 기준 추진실적: 65%/계획: 65%)

한편 단기예보(3일)인 동네예보³⁰⁾ 등과 같이 국지적 규모로 발생하는 기상재해 예측 및 한반도 지역의 상세한 기상 현상을 예측하기 위해서는 고해상도의 지역모델과 국지모델이 필요하다.

따라서 독자적 수치예보모델을 개발할 때에는 영국수치예보모델을 대체하고 기상예보의 정확도를 향상시킬 수 있도록 전지구모델뿐만 아니라 지역모델 및 국지모델을 함께 개발하는 것이 바람직하다.³¹⁾

그런데 기상청은 독자적 수치예보모델 없이 외국의 수치예보모델을 수입하여 기상예보에 활용하는 경우 기술종속 등의 문제점이 있어 독자적인 한국형수치예보모델을 개발하여 기상예보에 활용하는 것으로 계획을 수립하고서도 2017년 3월 현재까지 지역모델 및 국지모델을 제외한 전지구모델만 개발하는 내용의 한국형수치예보모델 개발 사업을 추진하고 있다.

그 결과 총사업비 946억여 원 상당이 소요되는 한국형수치예보모델의 개발 사업이 완료되더라도 동네예보 등을 위하여 영국수치예보모델을 계속 활용할 수밖에 없어 한국형수치예보모델의 활용도와 기상예보의 정확도를 더 높이지 못하게 될 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 향후 5년 내에 독자적인 지역모델 및 국지모델을 개발하기 위하여 전문인력 및 예산 확보 등의 적절한 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

30) 「수치예보 업무지침」 제2장 제15조의 규정에 따르면 동네예보모델에는 전지구모델과 지역모델에서 생산한 수치예보 자료 및 유럽중기예보센터(ECMWF)의 수치예보 자료 등을 활용하는 것으로 되어 있음

31) 지역모델과 국지모델을 개발하는 데는 5년 정도의 시간이 필요할 것으로 예상

조치할 사항 기상청장은 기상예보의 정확도 향상을 위하여 한국형수치예보모델 개발범위에 지역예보시스템 및 국지예보시스템을 추가하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가-1)-3 해양기상 관측자료 미활용

기상청은 매일 9시와 21시를 기준으로 파랑수치예보모델에 해상풍(海上風)의 풍속 및 풍향 등 자료를 입력하고 수치분석을 통해 생산된 해상예측 수치일기도를 활용하여 매일 3회(5시, 11시, 17시) 파고, 파향 등의 해양 기상예보를 하고 있다.³²⁾

기상청이 현재 해상 기상예보에 활용 중인 파랑수치예보모델인 ‘WAVEWATCH III’(이하 “WW3모델”이라 한다)의 운영매뉴얼 등에 따르면 평균 해수면으로부터 10m 높이에서 부는 해상풍의 풍속 및 풍향(이하 “해상풍 값”이라 한다)을 WW3모델에 입력하고 수치분석을 통해 산출된 파고, 파향 등의 예측 값을 활용하여 해상예측 수치예보를 생산하는 것으로 되어 있다.

그리고 기상청은 [표 26]과 같이 WW3모델에 입력되는 해상풍 값은 대기수치예보모델에서 산출된 값을 활용하여 입력하고, WW3모델에 입력되는 파랑의 초기 값은 직전에 수행한 WW3모델에서 산출한 예측 값(이하 “파랑수치계산 값”이라 한다)으로 입력하고 있다.

32) 기상청 소속기관인 국립과학기상원에서 파랑수치예보모델을 운영하여 해상예측수치예보를 생산하고, 기상청 예보관은 생산된 해상예측수치예보를 활용하여 해상 기상예보 업무를 수행

[표 26] 파랑수치예보모델의 입력자료 출처

입력자료	D-1 9시 기준 파랑수치예보	D-1 21시 기준 파랑수치예보	D+0 9시 기준 파랑수치예보	D+0 21시 기준 파랑수치예보
해상풍 값	대기수치예보모델에서 산출된 값을 입력			
파랑의 초기 값	WW3모델 계산	↴ (예측 값 입력)		
		WW3모델 계산	↴ (예측 값 입력)	
			WW3모델 계산	↴ (예측 값 입력)
				WW3모델 계산

자료: 기상청 제출자료

한편 2001년 및 2004년 유럽중기예보센터(ECMWF)와 미국국립환경예보센터(NCEP)가 각각 파랑수치예보모델에 파랑수치계산 값 대신 실제 파랑 관측값을 활용하는 자료동화기법(Data Assimilation, 이하 “파랑자료동화기법”이라 한다)을 적용할 경우 해상 기상예보의 정확도에 미치는 영향을 분석한 연구보고서³³⁾에 따르면 파랑자료동화기법을 적용하면 미적용시보다 예측 후 초기 12시간까지의 해상예보 정확도가 높아지는 효과가 있다. 그리고 유럽중기예보센터와 미국국립환경예보센터는 2017년 3월 현재 파랑자료동화기법을 해상 기상예보에 활용하고 있다.

따라서 기상청도 해상 기상예보의 정확도 향상을 위하여 파랑 관측값³⁴⁾을 활용하는 파랑자료동화기법을 개발하여 파랑수치예보모델에 활용하는 것이 바람직하다.

그런데 기상청은 2010. 1. 22. 지역파랑수치예보모델³⁵⁾에 대한 파랑자료동화기

33) Assimilation of SAR data into the ECMWF global wave model(2001. ECMWF), A Variational Wave Height Data Assimilation System for NCEP Operational Wave Models(2004. NCEP)

34) 기상청은 2017년 3월 현재 해상기상 관측을 위하여 관측선(기상1호), 해양기상부이 17대, 파랑계 3대, 등표기상관측장비 9대, 파고부이 54대, 연안방재관측장비 18대, 선박기상관측장비 12대 등 총 7종 114대의 관측장비를 활용하고 있음

35) 파랑수치예보모델은 전지구를 대상 영역으로 하는 전지구파랑수치예보모델(GWW3), 한반도 주변 동북아시아를 대상 영역으로 하는 지역파랑수치예보모델(RWW3) 및 한반도 주변 5개 해역(수도권/대전, 광주, 부산, 강원, 제주)을 대상 영역으로 하는 국지파랑수치예보모델(CWW3) 등 3개 모델로 구분됨

법 개발 계획을 수립하고 2010년 말까지 파랑자료동화기법을 개발하여 지역파랑수치예보모델에 적용한 결과 예측 후 초기 12시간까지 해상 기상예보의 정확도가 향상 [2009년 6월 평균 파고 0.8m에 대해 예측 후 1시간이 지난 시점에서 예측 오차가 파랑자료동화기법을 적용하지 않았을 때 0.12m에서 동 기법을 적용하였을 때 0.06m로 감소(정확도 50% 향상)]되는 것을 확인하고도 2011년에 파랑수치예보모델 개선 등으로 인력이 부족하다는 사유로 파랑자료동화기법의 후속 연구개발을 중단한 후 2017년 3월 현재까지 재개하지 않고 있다.

그 결과 해양기상 관측자료를 활용하는 파랑자료동화기법이 파랑수치예보모델에 활용되지 못함에 따라 해상예보의 정확도를 더 높이지 못하게 되었다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 해상예보의 정확도 향상을 위하여 파랑자료동화기법을 파랑수치예보모델에 적용하기 위한 연구개발 및 검증 등의 절차를 진행하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 해상예보의 정확도를 높일 수 있도록 해양기상 관측자료를 활용하기 위한 자료동화기법을 파랑수치예보모델에 적용하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가-1)-4 해양 기상관측선 운항 부적정

기상청은 2006. 4. 25. 관측공백 해역에서 고층, 해상 등을 종합적으로 관측하여 위험기상(집중호우, 폭설 등) 감지시간을 단축하고 예보 정확도 등을 향상시키고자 “기상관측선 도입 추진계획”을 수립하고, 2009. 5. 14.부터 해양 기상관측선 기상1호를 건조(규모 498톤³⁶), 건조비용 111억여 원)하여 2011. 6. 18.부터 운영하고 있다.

한편 기상청은 해양관측자료의 수집 및 해역 감시를 위하여 2011년 이후 [표 27]과 같이 해양기상 관측장비를 설치하였고, 육지 및 해양 면적의 상층대기 관측을 위한 고층기상 관측장비를 운영하고 있다.

[표 27] 해양 및 고층기상 관측장비 운영 현황

(단위: 대)

장비명	구분	설치대수						관측자료
		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	
1. 해양기상관측장비								
해양기상부이	고정식	9	9	10	11	17	17	풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 수온, 파고 등
파고부이	고정식	20	30	38	43	48	54	파고, 파주기, 수온
등표기상관측장비	고정식	9	9	9	9	9	9	풍향, 풍속, 기압, 기온, 파고, 수온, 주기
연안방재관측장비	고정식	11	15	17	18	18	18	파주기
선박기상관측장비	이동식	1	3	8	10	12	12	풍향, 풍속, 기온, 습도, 수온, 파고
파랑계	고정식	6	6	6	6	6	3	파고, 주기, 파향
기상1호	이동식	1	1	1	1	1	1	풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도, 수온, 파고 등
2. 고층기상관측장비								
레원존데	고정식	5	5	5	5	6	6	풍향, 풍속, 기압, 기온, 습도
연직바람관측장비	고정식	9	9	9	9	9	9	강수유형, 강도, 풍향, 풍속, 대기의 연직운동
라디오미터	고정식	9	9	9	9	9	9	기온, 습도, 강수량 등

자료: 기상청 제출자료

36) 기상청이 검토한 “기상2000호 안전성 검사 및 신규 관측선 세부 도입방안” 등에 따르면 신규 기상관측선의 해당 톤수 (400톤급)에 맞는 주 운항해역을 한반도 연해 및 근해구역으로 설정하였으며, 「선박안전법 시행규칙」 제15조에 따라 근해구역은 동쪽 동경 175도, 서쪽 동경 94도, 남쪽 남위 11도 및 북쪽 북위 63도의 선으로 둘러싸인 수역을 의미함

「기상관측선 관리·운영 규정」(2015. 1. 22. 기상청 훈령 제791호) 제5조의 규정에 따르면 기상청장은 관측선 운영에 관한 기본방침, 관측선 운영계획을 포함한 기본 계획 및 연간운항계획을 수립하도록 되어 있다.

그리고 “기상관측선(기상1호) 기본운영 계획”(2011년 12월, 기상청)에 따르면 관측장비의 유지보수 및 관리가 어려운 해양에서 연안 위주의 고정 관측망으로는 외해에서 접근하는 위험기상 현상을 사전에 감지하기 어려우므로, 수치예보모델에 활용도가 높은 해역에 관측선을 배치하여 위험기상 발달 및 이동 과정을 따라 관측자료를 수집하도록 되어 있다.

따라서 기상청은 관측장비가 설치되지 않은 ‘관측공백 또는 관측정보 부족 해역’ (이하 “관측공백 등 해역”이라 한다)의 해상 기상정보를 관측할 수 있도록 수치예보모델 분석자료 등을 토대로 기상관측선 기상1호의 운항계획을 수립하여야 한다.

그런데도 기상청은 관측공백 등 해역을 검토하지 않은 채 관측선을 연구목적으로 활용하고자 하는 국립기상과학원(구, 국립기상연구소) 등의 수요를 반영하여 기상1호를 연안³⁷⁾ 위주로 운항하는 내용의 “2011년 기본운항계획”을 확정하는 등 [표 28]과 같이 2011년부터 연도별 기상1호 기본운항계획을 수립·시행하고 있다.

또한 기상청이 2014. 9. 18. 기상1호의 관측자료가 수치예보모델(국지모델)의 예측 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 서해 중부 해상(백령도 남쪽 약 95km, 위도 37.08°N, 경도 124.66°E 인근) 등에서 수집(관측기간 2014. 7. 28.~8. 8.)한 고층

37) 「연안관리법」 제2조의 규정에 따르면 연안은 연안해역과 연안육역으로 구분하고, 연안해역은 해안선으로부터 우리 영해의 외측한계까지의 사이로 정의함

관측자료를 평가한 결과에 따르면 대류권 고도에서 기온 등의 예측 정확도를 향상³⁸⁾ 시킬 수 있는 것으로 나타났는데도 [그림 11]과 같이 관측공백 등 해역을 운항계획에 반영하지 않은 채 과거와 같이 연안 위주의 운항계획을 수립·운영하고 있다.

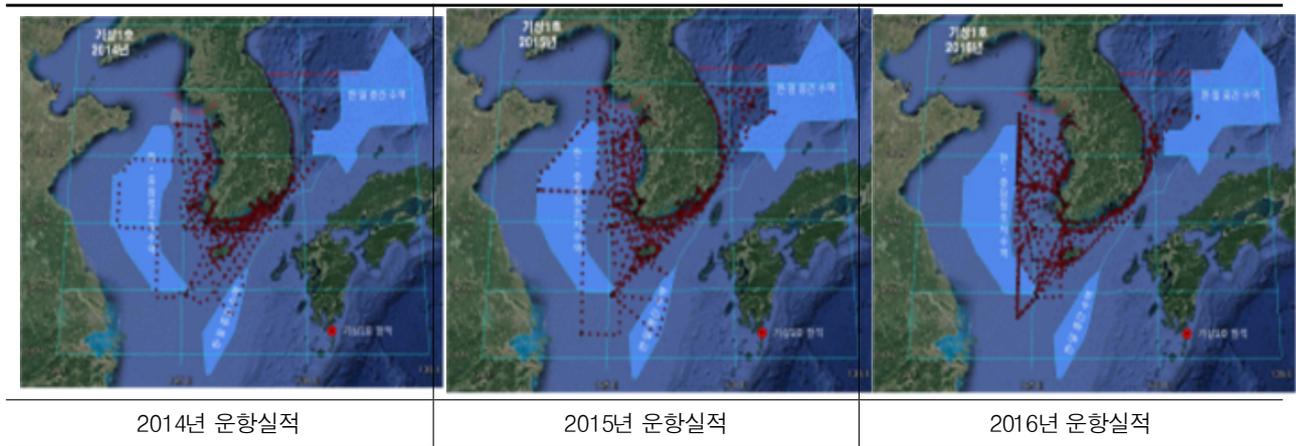
[표 28] 기상1호 기본운항계획 및 실제 운항 현황

(단위: 일)

대상연도	수요조사기간	확정일	운항계획 일수	실제 운항 일수
2011	2011. 2. 8. ~ 2. 15.	2011. 3. 21.	130	87
2012	2011. 11. 23. ~ 12. 9.	2011. 12. 30.	160	162
2013	2012. 11. 19. ~ 12. 7.	2012. 12. 26.	160	164
2014	2013. 11. 20. ~ 12. 6.	2013. 12. 23.	160	195
2015	2014. 11. 24. ~ 12. 5.	2014. 12. 24.	160	175
2016	2015. 10. 29. ~ 11. 20.	2015. 12. 24.	160	187

자료: 기상청 제출자료

[그림 11] 2014~2016년 기상1호 운항실적



주: 1시간 간격으로 수집되는 기상1호의 위치정보를 기초로 운항실적을 작성

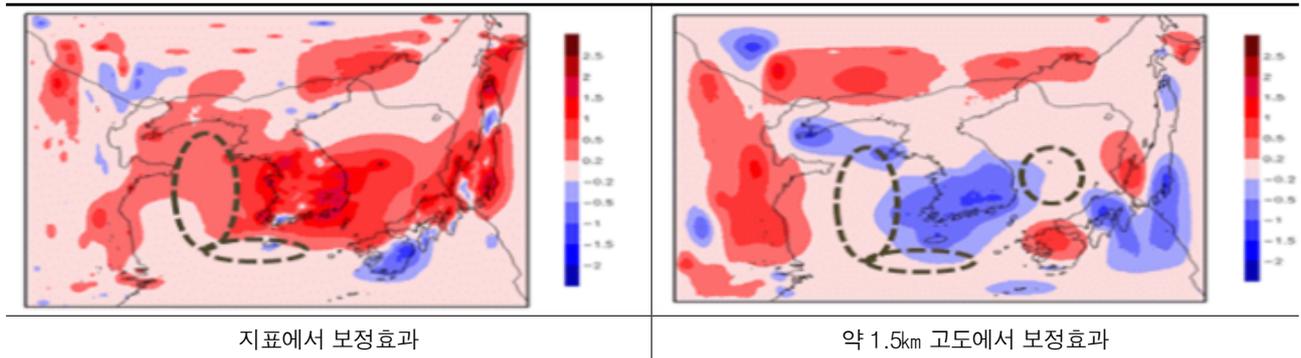
자료: 기상청 제출자료

이와 관련하여 기상청(수치자료응용과)이 2017. 4. 10. 해양기상 부이 및 고층기상 관측장비 등에서 수집된 기상관측 자료의 수치예보모델(국지모델) 영향지역을 평가하여 해상 표면과 그로부터 약 1.5km 높이의 해양 고층을 분석한 결과에 따르면 [그림 12]와 같이 영해 밖 서해 중부·남부 먼바다 등의 경우 기존 해양 관측망

38) 분석 검증 시 기온 및 바람의 평균제곱근오차 최대 감소율이 약 10~15%로 나타남

에 의한 관측자료의 영향이 미미하거나 부족한 것으로 나타났는데도, 해당 해역³⁹⁾에서 최근 3년간(2014. 1. 1.~2016. 12. 31.) 기상1호가 운항한 일수는 [표 29]와 같이 전체 운항 일수 대비 6.1%(약 34일)에 불과하였다.

[그림 12] 기상관측자료의 수치예보모델 영향분석



주: 기상관측자료가 부족하거나 수치모델이 정확한 경우에는 기상관측자료의 수치모델 보정효과가 적으므로 수치모델이 부정확하다는 가정하에 점선으로 표시된 해역을 관측공백지역으로 분석함

자료: 기상청 제출자료

[표 29] 기상1호의 관측공백 등 해역 운항일수

(단위: 일, %)

대상연도	총 운항일수(A)	관측공백 등 해역 운항일수 (B)	비율(C=B/A)
2014	195	11	5.6
2015	175	12	6.9
2016	187	11	5.9
계	557	34	6.1

주: 1. 표면과 1.5km 높이의 모델 영향지역을 분석한 결과 관측공백 등 해역으로 나타난 부분이 주로 영해 밖 해역으로 나타나므로 영해 외측한계인 위도 33°N, 경도 124~132°E를 기준으로 관측공백 등 해역 운항일수(B)를 집계

2. 기상1호가 관측공백 등 해역에서 해양, 고층기상 등 관측이 주된 임무이고, 이 중 고층기상 관측을 위하여 9시, 21시에 각각 정기관측을 수행하고 있으므로 운항 시간을 12시간 이내로 머무를 경우 고층관측 효과가 떨어지는 것으로 보아 해당 운항 일수는 제외하고 나머지를 집계

자료: 기상청 제출자료

그 결과 매년 27억여 원 상당의 운영비(인건비 포함)를 투입하여 관측선 기상1호를 운용하면서도 관측공백 등 해역의 기상관측정보를 제대로 수집하지 못하게 되어 위험기상 예보의 정확도를 높일 수 없게 되었다.

39) 「예보업무규정」(기상청) 제9조에 따르면 광역예보구역 중 먼 바다의 바깥경계는 영해로부터 200해리(약 370km)로 규정하고 있으므로, 영해(위도 33~43°N, 경도 124~132°E)의 외측한계로부터 먼바다의 바깥경계 중 관측정보가 부족하거나 미미한 지역을 의미함

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 수치예보모델 분석 등을 통해 관측공백 등 해역에서의 관측자료 확보를 위한 기상1호 운항계획을 수립하는 등 효율적인 운영이 이루어지도록 하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 앞으로 기상예보의 정확도를 높일 수 있도록 해양 기상관측선 기상1호를 관측공백 또는 관측정보 부족 해역 위주로 운항하는 등 기상관측선 운항 관련 업무를 철저히 하시기 바랍니다.(주의)

가-1)-5 기상예보용 슈퍼컴퓨터 전력공급 방법 불합리

기상청은 2010년 12월부터 수치예보모델을 구동하기 위하여 국가기상슈퍼컴퓨터센터(충청북도 청주시 소재, 2010년 3월 준공, 2012년 1월 국가중요시설로 지정, 이하 “위 센터”라 한다)를 운영하고 있다.

그리고 기상예보를 중단없이 수행하기 위하여 위 센터에 슈퍼컴퓨터를 이중으로 설치하여 운영하는 한편, 슈퍼컴퓨터에 안정적인 전력을 공급하기 위하여 위 센터 신축 당시 [표 30]과 같이 한국전력공사(이하 “한전”이라 한다)으로부터 전력을 이중(상용전력+예비전력)으로 공급받고, 한전 수전선로 및 자체 수전설비에 장애가 발생하는 등으로 전력 공급이 중단된 경우에는 비상발전기를 가동하여 전력공급하는 것으로 계획하였다.

[표 30] 슈퍼컴퓨터 전력공급 계획

구분	평상시	상용전력 수전선로 장애 발생 등으로 상용전력 공급 차단 시	수전설비 장애 발생 등으로 한전 전력 공급 차단 시
슈퍼컴퓨터에 전력공급	상용전력	예비전력	비상발전기
전력공급 백업 시스템	예비전력 및 비상발전기	비상발전기	-

자료: 기상청 제출자료

(1) 예비전력 미확보

위 센터 신축 당시에는 인근에 전력 공급이 가능한 변전소가 오창변전소 1개소 밖에 없어 예비전력을 공급받지 못하고 상용전력만 공급받았으나, 위 센터 준공 이후인 2012. 2. 29. 위 센터로부터 6.4km 떨어진 인근에 국사변전소가 신설됨에 따라 한전으로부터 예비전력을 공급받을 수 있게 되었다.

그리고 비상발전기가 설치되어 있어도 비상발전기의 정기점검, 수리, 대수선(Overhaul), 교체 등의 상황에서 상용전력 수전선로에 장애가 발생할 경우에는 슈퍼컴퓨터가 정상 운영될 수 없다.

따라서 위 센터에 비상발전기가 설치되어 있더라도 국사변전소로부터 예비전력을 공급받기 위한 조치를 하는 것이 바람직하다.

그런데 기상청은 2015년(정확한 날짜 모름) 국사변전소로부터 예비전력을 공급받기 위하여 공사비 예산(33억여 원) 확보 방안 등을 검토하다가 위 센터에 비상발전기가 설치되어 있다는 등의 사유로 예비전력 수전 방안의 검토를 중단하였고, 그 이후 2017년 3월 현재까지 예비전력 수전 방안을 마련하지 않고 있다.

그 결과 비상발전기의 정기점검, 수리, 대수선, 교체 등의 상황에서 상용전력 수

전선로에 장애가 발생하는 등 상용전력의 공급이 차단되면 슈퍼컴퓨터가 정상 운영되지 못하여 기상예보에 차질이 발생할 우려가 있다.

(2) 비상발전기 용량부족

위 센터에는 신축 당시 예상되는 최대 전력수요(이하 “예상 최대 전력수요”라 한다)인 6,371.2kW에 맞추어 최대 발전용량이 6,750kW(2,250kW×3대)인 비상발전기가 설치되어 있는 한편, 기상청은 2011. 2. 14.부터 영국 기상청의 수치예보모델을 대체하기 위한 한국형수치예보모델을 개발 중에 있고, 한국형수치예보모델의 안정화 등을 위하여 2019년부터 슈퍼컴퓨터의 전산자원을 실제 기상예보에 준하는 수준으로 사용할 계획이다.

그리고 이 경우 위 센터의 전력 사용량이 증가함에 따라⁴⁰⁾ 전력 사용량을 효율적으로 관리하더라도 비상발전기의 최대 발전용량을 초과할 수 있게 된다.

따라서 한국형수치예보모델의 개발 초기 단계에는 슈퍼컴퓨터의 전산자원 사용량이 확정되지 않아 한국형수치예보모델 운영에 따른 예상 최대 전력수요를 산정할 수 없었다 하더라도 한국형수치예보모델이 사용할 전력 사용량이 가시화된 2017년 3월 현시점에는 한국형수치예보모델 운영에 따른 위 센터의 예상 최대 전력수요를 재산정하고, 재산정된 예상 최대 전력수요가 비상발전기의 발전용량을 초과할 경우에는 비상발전기의 증설을 검토하는 것이 타당하다.⁴¹⁾

40) 2017년 3월 현재는 기상예보 시간을 피하여 슈퍼컴퓨터의 전산자원 일부를 사용하여 한국형수치예보모델을 개발하고 있으나 2019년에는 기상예보 시간에 맞추어 현업에 준하는 수준으로 전산자원을 사용하게 되면 전산자원 활용 시간이 집중되어 전력 수요가 증가

41) 2019년에 부족할 것으로 예상되는 발전용량에 대비하기 위하여 2018년에 비상발전기를 증설하기 위해서는 2017년에 비상발전기 증설을 위한 예산(2,250kW급 비상발전기의 경우 대당 9억여 원) 반영 등의 검토에 착수하여야 함

그런데도 기상청은 2017년 3월 현재까지 위 센터가 사용한 최대 전력량(6,470 kW)이 비상발전기의 최대 발전용량(6,750kW)을 초과하지 않았다는 사유로⁴²⁾ 비상발전기의 증설 방안에 대해 검토하지 않고 있다.

이에 대하여 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 2017. 3. 31. 한국형수치예보모델 운영에 따른 슈퍼컴퓨터의 전력 사용량의 증가를 고려하여 예상 최대 전력수요를 재산정한 결과에 따르면 예상 최대 전력수요가 당초 6,371.2kW에서 548kW가 증가한 6,919.2kW로 증가함에 따라 현재 설치된 비상발전기의 최대 발전용량인 6,750kW를 초과하게 되어 비상발전기의 증설이 필요한 것으로 나타났다.

그 결과 수전설비에 장애가 발생하는 등으로 위 센터에 공급되는 전력이 차단될 경우 슈퍼컴퓨터에 전력공급 차질로 “(1)항”과 같은 결과를 초래할 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 한전과 예비전력 수전을 위한 협의를 진행하고, 향후 한국형수치예보모델의 운영 등으로 인한 슈퍼컴퓨터의 전력 사용량 증가에 따른 예상 최대 전력수요에 맞추어 비상발전기를 증설하는 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 국가기상슈퍼컴퓨터센터에 예비전력을 공급하는 방안과 향후 예상되는 최대 전력수요에 맞게 비상발전기를 증설하는 등 안정적 전력공급 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

42) 슈퍼컴퓨터를 교체하기 위하여 기존 3호기와 신규 4호기를 병행 운전한 2016년 2월과 3월에 전력 사용량이 각각 6,413kW, 6,470kW으로 예상 최대 전력수요인 6,371.2kW를 일시적으로 초과

가-2) 예·특보 실시 분야

- 기상청과 환경부는 같은 PM₁₀ 농도를 기준으로 미세먼지와 황사를 각각 예·특보하여 혼란 초래
 - 민간항공기 취항 군공항에 윈드시어(풍향·풍속 급변현상) 경보를 하지 않아 사고 우려
 - 해수면이 폭풍해일특보 발효기준 값에 도달하였는데도 주의보를 발표하지 않아 사전 대비 차질
 - 폭염 등 기상특보 예측 오류에 대해 사후분석을 실시하지 않아 예측기술 향상 기회 상실
 - 예보관 교육훈련 부실로 전문성이 저하됨에 따라 예보 정확도 하락
- ⇒ **특보 발표 부실로 재해 사전대비에 차질 우려, 예보관의 전문성 저하로 예보 정확도 저하**

가-2)-1 황사 예·특보, 대기오염도 예측·발표 및 경보제 운용 등 불합리

환경부는 대기오염이 국민 건강 등에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 「대기환경보전법」 제7조의2의 규정에 따라 미세먼지[PM₁₀(직경 10 μ m 이하의 입자상 오염물질) 및 PM_{2.5}(직경 2.5 μ m 이하의 입자상 오염물질)] 등에 의한 대기오염도를 예측·발표(이하 “미세먼지 예보”라 한다)하고 있고, 시·도는 같은 법 제8조의 규정에 따라 대기 중 PM₁₀ 등 대기오염물질의 실측 농도를 기준으로 대기오염도에 대한 경보(주의보 및 경보 발령, 이하 “미세먼지 경보”라 한다)를 하고 있다.

한편 기상청은 황사로 인한 국민 건강 훼손과 산업 피해 등을 예방하기 위해 「기상법」 제13조 등의 규정에 따라 PM₁₀ 농도를 예측하여 황사 예·특보를 하고 있다.

황사는 주로 가을부터 봄철까지 건조한 중국 내륙 사막지역에서 강한 바람에 의해 떠오른 작은 황토 먼지가 편서풍을 타고 우리나라와 일본, 미국 서부지역까지 도달하여 산업(농업, 항공 등 교통안전, 반도체산업 등) 및 국민 건강에 영향을 미치는

계절적 기상 현상인 반면, 미세먼지는 자연적으로 발생된 분진과 인위적으로 배출된 오염물질, 그리고 광화학반응 등에 의해 2차적으로 생성된 오염물질이 혼합되어 산업 및 국민 건강(암, 뇌질환, 호흡기질환 등)에 영향을 미치는 대기오염 현상이다.

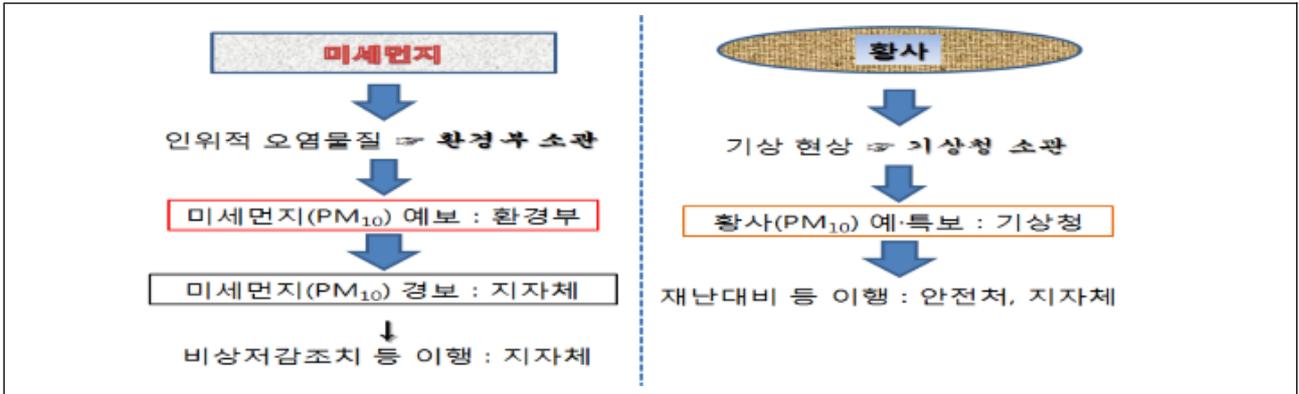
그런데 2012년 한국환경정책평가연구원이 발표한 「초미세먼지(PM_{2.5})의 건강 영향 평가 및 관리정책 연구(I)」 보고서에 따르면 황사 유입 시 PM₁₀ 농도는 크게 높아지나, 인체에 유해한 PM_{2.5}(폐 속까지 침투하여 암, 호흡기질환, 뇌질환 등 유발) 및 질산염 등 PM₁₀에 포함된 유해성분의 증가 비율은 PM₁₀ 증가 비율보다 적어 미세먼지에 비해 황사의 유해성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

이와 같이 황사와 미세먼지는 발생과정과 인체에 미치는 영향 등 특성이 서로 달라 관리대책이나 피해 저감 대책의 수립 등을 위해서는 PM₁₀ 입자를 황사와 미세먼지로 구분할 필요가 있다.

이에 따라 [그림 13]과 같이 기상청이 2003. 5. 30.부터 PM₁₀ 농도를 기준으로 황사 예·특보를 하고 있고, 이후 미세먼지의 유해성에 대한 중요성이 커지면서 환경부가 2013년 8월부터 미세먼지 예보를 시범적으로 시작하고 2015년 1월부터 지방자치단체가 미세먼지 경보를 시행하는 등 황사 예·특보 및 미세먼지 예·경보 등의 업무를 각각 추진하게 되었다.

그러나 3년여간 이와 같이 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보를 각각 운용하여 온 결과 다음과 같은 문제가 발생하였다.

[그림 13] 미세먼지와 황사에·특보 업무 분장 현황



자료: 기상청 제출자료

(1) 미세먼지와 황사 분석 부적정

사단법인 □□ 등의 전문가 의견에 따르면 미세먼지와 황사 예측모델은 모두 오염물질 배출량 자료와 화학반응에 의한 미세먼지 생성량 계산식 및 기상자료 등을 통해 미세먼지(PM₁₀)의 시간대별 대기 중 농도 변화를 예측하는 것이므로 환경부가 연구하는 ① 중국에서 유입되는 인위적 오염물질의 양, ② 국내의 오염물질 배출량, ③ 대기화학반응 등으로 생성되는 오염물질의 양과 기상청이 연구하는 ① 중국에서 황사 등 기상 현상으로 유입되는 오염물질의 양, ② 바람 등 기상 상황 변화를 복합적으로 고려한 통합 예측모델을 개발·운용하여야 정확도를 향상 시킬 수 있다⁴³⁾.

그러나 환경부는 미세먼지 예보를, 기상청은 황사 예·특보를 위하여 미국 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)의 CMAQ 모델을 기반으로 두 기관이 소관분야의 연구결과만 반영한 미세먼지와 황사의 예측모델을 각각 개발·운용하고 있을 뿐 통합적 분석체계를 공동으로 구축하지 않았다.

43) (사)□□도 정확한 예보체계의 구축을 위해서 환경부와 기상청이 공동연구를 통해 중·장기적으로 기상-황사-대기 화학(미세먼지) 통합 모델을 개발·운용할 필요가 있다는 자문의견을 제시

이와 관련하여 2016. 4. 9.부터 4. 10.까지 환경부는 미세먼지(PM₁₀) 농도를 보통(80~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 예보하였으나 약한 황사가 미세먼지와 겹쳐 전국적으로 미세먼지 경보(300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상) 이상의 고농도 미세먼지가 발생한 데 대하여 기상청이 황사 영향을 잘못 알려주어 오보를 낼 수밖에 없었다고 주장하고, 기상청은 미세먼지 예보는 전적으로 환경부 책임이라고 주장하는 등 기관간 갈등도 발생하게 되었다.

이에 따라 환경부(대기환경정책과)의 분석결과에 의하면 미세먼지 예보 정확도는 2016년 서울지역 기준으로 ‘나쁨’ 이상의 고농도 상황 시 65% 수준이고 국립기상과학원(환경기상연구과)의 분석결과에 의하면 기상청의 황사 예보 정확도는 57% 수준[“제2차 황사피해방지 종합대책”(2013 ~2017)에는 예보 정확도 목표를 70%로 설정]에 머물고 있으며 고농도 상황에 대하여 모델의 예측 값이 실측 값에 비해 낮게 나타나는 등 미세먼지 및 황사 예보 정확도가 낮은 것으로 나타났다.

(2) 황사와 미세먼지(PM₁₀) 예·특보 발표기준 상이

한국환경공단이 에어코리아 웹사이트(www.airkorea.or.kr, 한국환경공단이 운영하는 대기질 정보 제공 사이트) 이용자 494명을 대상으로 설문조사(기간: 2017. 4. 12.~4. 21. 이하 “환경공단 설문조사”라 한다)한 결과, 응답자의 40%(197명)가 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 차이를 모른다고 답변하는 등 각각의 예보, 특보 및 경보별로 PM₁₀ 농도의 기준 및 영향 등을 알기 어려우므로 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 용어 및 발표기준을 통일하는 것이 필요하다.

그러나 환경부와 기상청은 동일한 PM₁₀ 농도를 기준으로 황사 예·특보 및 미세먼지 예보, 경보를 하면서 [표 31]과 같이 발표기준 등을 상이하게 설정하고 있다.

[표 31] 미세먼지와 황사 예·특보 기준

PM ₁₀ 1시간 평균농도(μg/m ³)	예보		경보	
	미세먼지(환경부)	황사(기상청)	미세먼지(시·도)	황사(기상청)
80μg/m ³ 미만	보통	유무 판단	-	-
80μg/m ³ 이상 150μg/m ³ 미만	나쁨		-	-
150μg/m ³ 이상 300μg/m ³ 미만	매우나쁨		주의보	-
300μg/m ³ 이상 400μg/m ³ 미만			경보	-
400μg/m ³ 이상 800μg/m ³ 미만				※ 황사 주의보 폐지(2017년 1월)
800μg/m ³ 이상				경보

자료: 「대기환경보전법 시행규칙」 제14조 [별표 7] 및 「예보업무규정」 제17조 [별표 7] 등 재정리

이에 따라 지방자치단체는 PM₁₀의 1시간 평균 농도가 300μg/m³ 이상으로 2시간 이상 지속되었을 때 미세먼지 경보를, 기상청은 같은 PM₁₀ 농도가 800μg/m³ 이상으로 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 황사 경보를 각각 발표하고 있어 국민에게 혼란을 주고 있다.

(3) 황사와 미세먼지(PM₁₀) 발표 권역기준 상이

부산광역시의 경우, 황사 예·특보의 발표권역은 부산광역시 전체로 단일하나 미세먼지 예·경보의 발표권역은 4개의 권역(동부, 서부, 중부, 남부)으로 나누어 지는 등 기상청과 환경부는 [표 32]와 같이 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 발표권역을 서로 상이하게 설정하여 각각 운용하고 있다.

[표 32] 미세먼지와 황사경보 발표 권역

시·도	황사 특보(경보) 발표 권역	미세먼지 경보(주의보, 경보) 발표 권역
서울특별시	서울	서울 단일 권역
부산광역시	부산	4개 권역(동부, 서부, 중부, 남부)
인천광역시	인천(강화군, 옹진군 제외), 서해5도(옹진군 백령도, 대청도, 소청도, 연평도, 강화군 우도), 강화(우도 제외), 옹진(백령도, 대청도, 소청도, 연평도 제외)	4개 권역(동남부, 서부, 강화, 영종)

시·도	황사 특보(경보) 발령 권역	미세먼지 경보(주의보, 경보) 발령 권역
대구광역시	대구	대구 단일 권역
대전광역시	대전	2개 권역(동부, 서부)
울산광역시	울산	울산 단일 권역
광주광역시	광주	광주 단일 권역
세종특별자치시	세종	세종 단일 권역
강원도	강릉, 속초, 고성, 양양, 동해, 삼척, 태백, 평창, 영월, 정선, 철원, 화천, 원주, 횡성, 춘천, 홍천, 인제, 양구	5개 권역(춘천, 원주, 강릉, 동해, 삼척)
경기도	수원, 용인, 안성, 화성, 오산, 평택, 과천, 군포, 안양, 의왕, 안산, 성남, 이천, 여주, 광주, 양평, 하남, 파주, 고양, 양주, 의정부, 동두천, 포천, 가평, 연천, 구리, 남양주, 광명, 시흥, 김포, 부천	4개 권역(남부, 중부, 북부, 동부)
경상북도	고령, 청도, 경산, 구미, 김천, 칠곡, 성주, 군위, 포항, 경주, 영천, 상주, 문경, 영주, 예천, 영덕, 울진, 영양, 봉화, 안동, 의성, 청송, 울릉도·독도	7개 권역 (포항, 경주, 김천, 안동, 구미, 영주, 경산)
경상남도	김해, 통영, 거제, 고성, 남해, 진주, 하동, 산청, 사천, 거창, 합천, 함양, 양산, 밀양, 창원, 함안, 창원, 의령	경남 단일 권역
전라북도	고창, 부안, 전주, 완주, 진안, 무주, 남원, 장수, 순창, 군산, 김제, 익산, 정읍, 임실	전북 단일 권역
전라남도	나주, 담양, 화순, 장성, 함평, 영광, 고흥, 보성, 완도, 장흥, 강진, 해남, 진도, 순천, 곡성, 구례, 광양, 목포, 무안, 영암, 흑산도·홍도, 신안, 거문도·초도, 여수	2개 권역(동부, 서부)
충청북도	청주, 증평, 괴산, 진천, 충주, 음성, 제천, 단양, 옥천, 영동, 보은	2개 권역(북부, 중남부)
충청남도	공주, 논산, 계룡, 금산, 천안, 아산, 예산, 보령, 서천, 청양, 부여, 서산, 태안, 당진, 홍성	충남 단일 권역
제주특별자치도	제주북부, 제주산지, 제주서부, 제주남부, 제주동부, 추자도	제주 단일 권역
권역 구분 계	171개 권역	39개 권역

자료: 「예보업무규정」(2017년 3월, 기상청훈령 제867호) 제8조 [별표 2] 및 환경부 제출자료 재정리

이와 관련하여 환경부가 2011년 2월 실시한 「미세먼지 예·경보제 시행에 대한 인지도 조사」 결과에 따르면 미세먼지 예·경보가 부정확하다고 생각하는 대기환경 분야 전문가의 33.3%가 미세먼지 예·경보 권역이 행정구역(실제 거주구역)이 아닌 권역별로 발표되기 때문에 정확하지 않다고 답변하였고, 대기환경 분야 전문가의 약 40% 정도가 미세먼지 예·경보 권역에 대한 조정이 필요하다고 답변하였다.

또한 환경공단 설문조사 결과도 응답자 494명 중 40%(196명)가 미세먼지 주의

보·경보 발령 시 본인 거주 구역의 해당 여부를 알지 못한다고 답변하는 등 황사 예·특보와 미세먼지의 예·경보 권역 차이에 따른 혼란 문제가 발생하고 있다.

(4) 지방자치단체의 미세먼지(PM₁₀) 경보 전파 수단 미비

기상청은 전용통보시스템 등을 통하여 기상현상에 관한 예보와 특보를 발표하고 언론기관과 유관기관 등에 24시간 전파하고 있다.

그러나 시·도는 미세먼지 경보를 홈페이지에 정보 공개, 등록된 사용자를 대상으로 한 문자메시지 발송, 유관기관에 팩스 발송 등 제한적 수단으로만 전달하고 있어 환경공단 설문조사 결과 응답자 494명 중 45%(219명)가 미세먼지 경보 발령 사실을 알기 어렵다고 답변하는 등 **일반 국민은 미세먼지 경보 발표 사실을 알기 어려운 실정이다.**

또한 미세먼지 경보제 운용 인력도 1~2명에 불과한데다 이마저도 전담이 아닌 다른 행정 업무를 겸하고 있어 24시간 감시와 경보 전파가 불가능함에 따라 야간시간대에 미세먼지가 고농도로 발생하는 경우 다음 날 아침에 통보문을 내기도 하는 등 적시 대응에 한계가 있다.

경보전파 체계 개선 관련 참고 사례

- 미국의 경우 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)이 PM₁₀, PM_{2.5}, 오존 등 대기 오염물질의 농도를 대기질 지수(AQI: Air Quality Index)로 산정하여 예·경보를 실시
 - 경보 전파를 위해 환경청과 해양대기청[NOAA, 기상청(NWS)의 상위기관]이 협조체제를 구축하고 기상청이 AQI 예·경보를 함께 전파
- ※ 우리나라도 미세먼지 예보의 경우 환경부(국립환경과학원)가 기상청과 통합예보관실을 공동 운용하면서 미세먼지 농도를 예측하고, 일기예보 시 언론을 통하여 기상청의 기상정보와 함께 일반 국민에게 전파

(5) PM₁₀ 측정자료 미활용

환경부와 시·도(이하 “환경부 등”이라 한다)는 대기오염 실시간 모니터링을 위해 335개 PM₁₀ 측정소(도시대기 265개, 도로변 37개, 배경농도 3개, 교외대기 19개, 광화학 11개)를 운영하고, 기상청은 황사 관측 및 경보 발령을 위해 29개 PM₁₀ 측정소(기상청 27개, 국립기상과학원 2개)를 운영하고 있다.

그리고 환경부 등과 기상청의 PM₁₀ 측정기는 같은 방식(베타선 흡수법)으로 PM₁₀ 농도를 측정하고 있고, 환경부는 기상청의 PM₁₀ 측정기와 환경부 등의 PM₁₀ 측정기를 동일하게 정도관리 기준에 따라 관리하고 있어 환경부 등의 PM₁₀ 측정기도 황사 측정용 장비로 활용 가능하다.

한편 기상청이 직접 운용하는 황사 측정용 PM₁₀ 측정소는 29개이어서 특보 발령 권역인 171개 시·군 단위의 실태를 파악하기에 충분하지 않다.

그런데도 기상청은 환경부로부터 실시간 제공받은 PM₁₀ 측정자료를 황사 특보 발표 시 활용하지 않고 있다.

이와 관련하여 기상청(예보정책과)이 2017. 4. 24. 364개 측정소의 실측 PM₁₀ 농도를 분석한 결과에 따르면 2016년도에 총 342회(기준 초과 시·군 수 × 기준 초과 시간의 총합)에 걸쳐 황사 주의보 기준 이상의 농도(400~800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 관측되었으나, 기상청은 직접 운용하는 29개 측정소 자료를 기준으로 총 133.4회(특보 발령 시·군 수 × 특보 발령 지속 시간의 총합)만 황사 주의보를 발령하여 기준 이상의 농도가 실측된 경우의 39%만 황사주의보를 발령한 것으로 나타났다.

환경부 측정자료 미활용 사례

- 2016. 4. 22. ~ 4. 24. 기상청은 서해5도와 흑산도·홍도 지역만 황사 주의보 또는 경보를 발령
 - 그런데 환경부 측정자료에 따르면 2016. 4. 23. 오후 10시부터 같은 해 4. 24. 오전 2시 사이에 PM₁₀ 농도가 서울특별시 강남구, 구로구, 도봉구, 동대문구, 서대문구, 성동구, 성북구, 송파구 등 서울 대부분 지역에서 황사 주의보 기준을 초과한 최대 540 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으나
 - 기상청은 당시 환경부 측정 자료가 황사 특보에 활용되는 자료가 아니라는 사유로 환경부 측정 자료를 고려하지 않고 황사 주의보 발령 여부를 판단하고 있음

“(1)항”에서 “(5)항”과 같은 문제점들이 대두됨에 따라 대기환경 분야 및 기상 분야 전문가들은 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 통합 운용 필요성을 지속적으로 제기해 왔다⁴⁴⁾.

또한 사단법인 □□도 미세먼지와 황사를 통합 예측할 수 있는 모델 개발과 더불어 장기적으로 황사와 미세먼지 예·특보를 인체 유해성을 고려한 PM_{2.5}, PM₁₀ 예·특보로 재편하는 것이 바람직하다는 의견을 제시하였다.

따라서 환경부와 기상청은 국민의 혼란을 막고 예·특보의 정확도를 제고하기 위하여 미세먼지와 황사의 통합분석, 경보 발표 기준·발표권역·발표권자의 단일화, 경보 전파 수단 개선, 측정자료 공동활용 등 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보를 통합하여 운용하는 방안을 마련할 필요가 있다.

그런데 기상청은 기상 현상 관측 및 예·특보가, 환경부는 인위적 오염 관리가 소관 업무라는 사유로 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보제를 각각 운용하고 있었을 뿐만 아니라 2016. 4. 9.부터 같은 해 4. 10.까지 오보 등으로 업무 통합의 필요성이

44) 2016년 한국환경정책평가연구원이 발표한 「2016 국민환경의식조사 연구」 보고서에서도 조사 대상 국민의 53.4%가 미세먼지 예·경보시스템에 대해 모른다고 답하였고, 미세먼지 및 초미세먼지 정보를 접하는 국민의 70.9%는 TV를 통하여 접하고 있다고 답하여 현재의 미세먼지 경보 전파 체계 등에 대한 전반적 개선이 필요함을 시사

제기되어 2016. 10. 3. 황사와 미세먼지 특보제를 통합한다는 보도자료를 배포하고
도 미세먼지 주의보·경보, 황사 주의보·경보로 각각 운용해 오던 체계를 2017. 1. 1.
부터 미세먼지 주의보, 미세먼지 경보, 황사 경보의 3단계 체계로 운용하기로만 하
는 등 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 용어와 기준, 발령권역 등에 대한 통합 방
안을 마련하지 않고 있다.

그 결과 황사 예·특보와 미세먼지 예·경보의 정확도가 떨어지고 특보 기준 및 발
표체계 상이로 인한 국민 혼란, 경보 전파 지연, 측정자료 공유 미흡에 따른 경보 발
령 누락 등의 문제가 해결되지 않고 있다.

관계기관 의견 환경부와 기상청은 감사결과를 수용하면서 앞으로 환경부와 기상
청이 협의하여 PM₁₀ 농도를 기준으로 미세먼지 주의보-미세먼지 경보-미세먼지
중대경보로 체계를 통합하고 발표권자도 환경부(국립환경과학원)로 일원화하며, 발
표권역 조정과 경보 전파수단 보완 등 개선 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 환경부장관과 기상청장은 예·특보의 정확도를 높일 수 있도록 서
로 협의하여 미세먼지와 황사의 통합모델 구축·운용 등 통합 분석 체계를 구축하고,
황사와 미세먼지의 경보 발표기준 통합, 발표권역 통일, 미세먼지 경보 전파수단 보
완 등 전파체계를 개선하는 한편, 측정자료를 공동 활용하는 등 황사 예보, 특보와
미세먼지 예보, 경보의 통합운용 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가-2)-2 기후변화감시소 운영 등 부적정

기상청은 세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization, 이하 “WMO”라 한다)의 지구대기감시프로그램 참여 및 기후변화 감시 등의 업무를 수행하기 위하여 1997년부터 42억여 원(2016년 국유재산관리대장 금액 기준)을 들여 안면도 기후변화감시소[GAW(Global Atmosphere Watch) 지역급 관측소]⁴⁵⁾를 설치·운영(2016년 기준 연간 운영비 4억원)하다가 2015년 7월부터는 국립기상과학원에 운영업무를 이관하고 이를 관리·감독하고 있다.

또한 기후변화감시소가 측정한 국내외의 온실가스, 에어로졸(대기 중 부유하는 고체·액체상태의 작은 입자로 대기오염에 영향) 등 관측 요소에 대한 정보를 매년 국가 공식 보고서인 「지구대기감시 보고서」에 수록하여 발간·공개하고 있다.

(1) 에어로졸 분야 GAW 지역급 관측소 운영 부적정

「기상법 시행규칙」 제5조의 규정에 따르면 관측소 등을 운영하여 기후감시업무를 할 때에는 WMO가 권고하는 관측기준을 준수하여야 하고, 수집된 자료를 WMO 기준에 따라 분석하여 데이터베이스로 구축·관리하도록 되어 있다.

또한 WMO가 2001년 7월에 발표한 「지구대기감시 측정지침」(Global Atmosphere Watch Measurements Guide)에 따르면 안면도 기후변화감시소와 같은 에어로졸 분야의 GAW 지역급 관측소는 측정값에 대한 품질관리 기준을 마련하고 측정 신뢰도에

45) GAW: Global Atmosphere Watch, 지구급(Global), 지역급(Regional) 및 참여(Contributing)의 등급별 관측소(station)를 지정·운영하면서 관측데이터를 오존 및 자외선, 태양 복사, 온실가스, 강수화학, 에어로졸, 위성원격탐사 등 6개 분야로 나누어 분야별 데이터센터를 통해 공유하는 지구규모 대기관측 국제공동 프로그램. 안면도 기후변화감시소는 WMO가 1998년부터 GAW 지역급 감시소로 지정

대한 국제평가⁴⁶⁾를 받는 등으로 관측자료의 신뢰성을 확보한 후 WMO[지구대기감시 프로그램 세계자료센터(GAW-WDCA: GAW World Data Center for Aerosols)]에 정기적으로 자료를 제출·공개하도록 되어 있다.

따라서 기상청은 안면도 기후변화감시소가 에어로졸 분야의 GAW 지역급 관측소로서 제대로 운영되도록 동 기후변화감시소의 측정값에 대하여 품질관리 기준을 마련하고 국제평가를 받아야 한다.

그런데 기상청과 국립기상과학원은 1998년 안면도 기후변화감시소가 GAW 지역급 관측소로 지정된 이후 2017. 4. 21. 현재까지 에어로졸 분야의 측정자료에 대한 품질관리 기준을 마련하거나 국제평가를 받는 등의 조치를 하지 않았다.

그 결과 [표 33]과 같이 2017년 4월 현재 안면도 기후변화감시소의 에어로졸 분야 관측장비(6개 관측요소) 11종 중 2종(2개 관측요소: 에어로졸 수농도, 파장별 일사 및 광학깊이)의 측정값만 제출하고, 나머지 9종의 관측장비 측정값은 품질관리 기준이 없고 국내외 검증이 필요하다는 사유로 WMO에 제출하지 못하고 있는 등 안면도 기후변화감시소가 에어로졸 분야 GAW 지역급 관측소로서의 기능을 제대로 수행하지 못하게 되었다.

[표 33] 안면도 기후변화감시소 에어로졸 측정장비 활용 현황

장비명	주요 분석항목	장비 도입연도	장비 교체연도	측정값 GAW 제출 여부	미제출 사유
공기역학입자계수기	수농도(0.5~20 μ m)	2005년	-	제출	-
정밀필터복사계	파장별 일사/광학깊이	2010년	-	제출	-

46) Auditing, 세계 에어로졸 표준센터(WCCAP: World Calibration Center for Aerosol Physics)로 부터 측정시스템 및 품질관리 등 자료의 품질보증시스템 전반에 대해 점검을 받는 평가

장비명	주요 분석항목	장비 도입연도	장비 교체연도	측정값 GAW 제출 여부	미제출 사유
부유분진측정기 (베타선 흡수법)	PM ₁₀ 질량농도	2002년	2016년	미제출	품질관리 기술 개발 후 측정자료의 국내외 검증 필요
전자기유도입자계수기	미세입자 크기별 수농도(0.01~0.5 μ m)	2004년	2016년	미제출	
에어로졸라이다	에어로졸 연직분포(1~12km) 탐지	2000년	2010년	미제출	
광산란계수측정기	광산란계수	1998년	2009년	미제출	
광흡수계수측정기	광흡수계수	1998년	2010년	미제출	
광학입자계수기	PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁ 질량농도	2007년	-	미제출	
태양광도계	광학깊이	2013년	-	미제출	
분진입자계수기 (사이클론포집장치)	PM ₁₀ , PM _{2.5} (화학특성)	2007년	-	미제출	
고용량 및 저용량 미세 먼지 채취기 (High volume air sampler / Low volume air sampler)	TSP 샘플포집 (화학특성)	2001년	2012년	미제출	
	PM ₁₀ 샘플포집 (화학특성)	1997년	2012년		
	PM _{2.5} 샘플포집 (화학특성)	1999년	2011년		

자료: 기상청 제출자료

(2) 「지구대기감시 보고서」 자료 품질관리 부적정

「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조 및 「대기오염 공정 시험기준」 등에 따르면 PM₁₀은 베타선흡수법에 의한 자동 연속측정방법(이하 “베타선흡수법”이라 한다)과 대기 중 미세먼지의 무게를 수동으로 측정하는 방법(이하 “중량농도법”이라 한다)으로 측정할 수 있고, 베타선흡수법으로 측정하는 경우에는 연 1회 이상 중량농도법으로 측정한 값과 비교·분석하는 등가성 평가를 실시하여야 한다.

그리고 WMO가 2001년 7월 발표한 「지구대기감시 측정지침」(Global Atmosphere Watch Measurements Guide)에 따르면 기후대기감시소의 측정값은 품질을 알 수 있는 자료와 함께 공개하여야 하고, PM₁₀ 등 입자의 농도를 측정하고자 할 때에는 중량농

도법으로 24시간 평균값을 구하도록 권고하고 있으며, 자동 연속측정장비를 사용할 경우 시료채취 시 조건 등을 명확히 공개하고 장비를 보정하는 등 측정값의 품질관리를 엄격히 하여야 한다⁴⁷⁾.

한편 안면도 기후변화감시소는 PM₁₀ 측정을 위해 베타선흡수법 측정장비 외에 중량농도법 측정이 가능한 다단포집장치와 사이클론포집장치(질량농도 측정과 에어로졸 성분분석용)를 동시에 운용하고 있어 위 세 장비로 측정한 PM₁₀ 농도값을 비교·분석할 수 있다.

따라서 기상청이 매년 「지구대기감시 보고서」를 작성할 때에는 PM₁₀ 농도에 대하여 베타선흡수법과 중량농도법을 상호 비교하거나 등가성평가를 정기적으로 실시하는 등 자료 품질을 확인한 후 오차범위를 벗어나는 값은 원인을 규명하고 신뢰성 있는 자료만을 선별하여 수록하여야 한다.

특히 해안에 인접하여 안개나 구름의 영향이 큰 안면도 지역은 수분에 의한 오차가 발생할 가능성이 높아 등가성평가 등 품질관리가 더욱 필요하다.

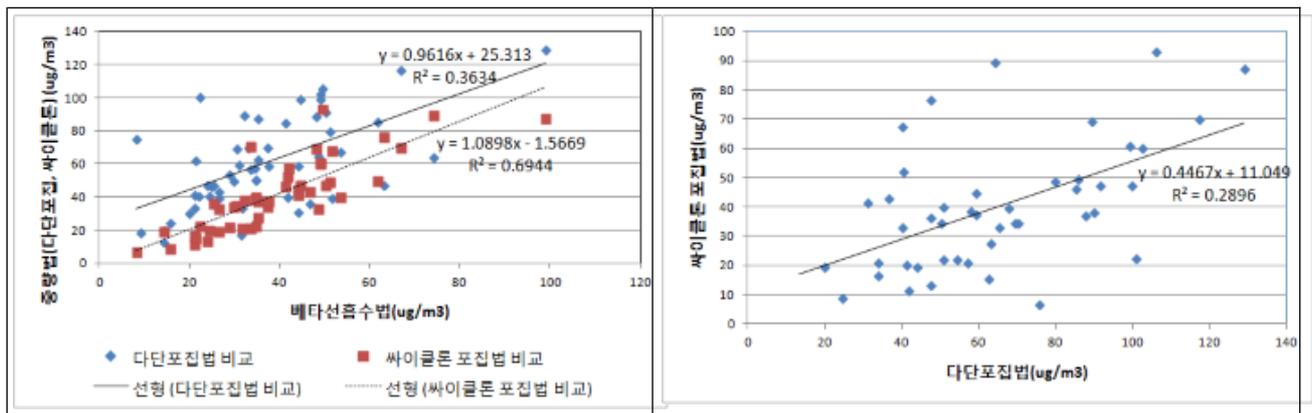
그런데 기상청은 베타선흡수법과 다단포집법 등 중량농도법으로 측정한 PM₁₀ 측정값을 비교·평가하지 않았고, WMO가 권고하고 있는 측정자료의 신뢰성 검증 방안을 세부적으로 규정한 품질관리 규정을 마련하지도 않는 등 측정자료에 대한 검증을 소홀히 한 채 「지구대기감시 보고서」를 작성하였다.

47) WMO가 2016년 7월 발표한 「에어로졸 측정 지침」[WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures, Guidelines and Recommendations(2nd Edition)]에 따르면 PM₁₀ 등 에어로졸의 질량농도와 화학조성 분석은 함께 이루어져야 하고, 베타선흡수법과 같은 자동 연속측정장비를 사용할 경우 ① 실험실 분석과 등가성평가 실시, ② 표준 측정절차 정립, ③ 정기적인 장비 간·측정소 간 상호비교, ④ 자료 추출, 가공, 보고의 표준 절차 정립 등을 자료 품질관리의 중요 고려사항으로 제시

이와 관련하여 기상청(기후변화감시과)이 2017. 4. 24. 「2015 지구대기감시 보고서」에 수록된 PM₁₀ 측정값을 재검토한 결과에 따르면 [도표 5] 및 [표 34]와 같이 베타선흡수법으로 측정한 값과 다단포집법으로 측정한 중량농도 값의 회귀분석 상관계수(R²)가 0.36으로 기준인 0.72(85%)에 미달되는 등 두 방식으로 측정한 PM₁₀ 농도 차이가 큰 것으로 나타났다.⁴⁸⁾

그리고 베타선흡수법으로 측정한 값과 사이클론포집법으로 측정한 중량농도 값의 회귀분석 결과 상관계수(R²)가 0.69로서 이는 PM₁₀ 농도가 일치한다고 보기 어려울뿐만 아니라 같은 중량농도법인 다단포집법으로 측정한 값과 사이클론포집법으로 측정한 값의 회귀분석 결과도 상관계수(R²)가 0.29로 오차가 커 세 방식으로 측정한 값들이 모두 서로 일치하지 않아 어떤 값이 정확한 값인지 알 수 없는 것으로 나타났다.

[도표 5] 2015년 안면도 기후변화감시소 측정 장비별 PM₁₀ 측정값 비교 현황



- 주: 1. 24시간 평균값
- 2. 베타선흡수법 측정값과 중량농도법 측정값 비교(좌), 다단포집법과 사이클론포집법 측정값 비교(우)

자료: 기상청 제출자료 재구성

48) 세 장비로 동일한 분석항목인 PM₁₀ 농도를 같은 시간대에 측정한 것이므로 이론적으로는 세 장비로 측정한 값이 모두 오차 범위 내에서 일치하여야 함. 즉, 세 장비로 측정한 값들을 회귀분석 하였을 때 직선의 기울기는 1, 절편은 0에 가까우며, 두 값 간의 상관성(상관계수, R²)은 일반적으로 0.9 이상이 정상임

[표 34] 안면도 기후변화감시소 PM₁₀ 측정장비 간 측정값 비교 결과

구 분		2015년	2016년	2017년 1~3월
준용한 등가성평가기준	상관계수	0.72 (두 값 간의 일치 정확도 85% 수준)		
	기울기	1±0.1		
	절편	±5.0		
베타선흡수법-다단포집법 비교	상관계수(R ²)	0.36	0.89	0.82
	기울기	0.96	1.18	0.73
	절편	25.31	7.76	11.49
	오차범위 내 일치 여부	불일치	불일치	불일치
베타선흡수법-사이클론포집법 비교	상관계수(R ²)	0.69	0.82	0.85
	기울기	1.08	0.79	0.70
	절편	-1.57	9.16	5.96
	오차범위 내 일치 여부	불일치	불일치	불일치
다단포집법-사이클론포집법 비교	상관계수(R ²)	0.29	0.80	0.80
	기울기	0.45	0.63	0.63
	절편	11.05	5.59	-0.12
	오차범위 내 일치 여부	불일치	불일치	불일치

주: 서로 다른 장비로 측정된 PM₁₀ 농도 간의 비교는 「대기오염물질공정시험기준」의 등가성평가기준을 준용하고, 상관계수는 등가성평가(형식승인 기준) 허용정확도인 85%를 기준(R²=0.72 수준)으로 장비 간 측정값이 허용오차 범위 내에서 일치하는지를 확인함

자료: 기상청 제출자료 재구성

또한 [표 34]와 같이 2016년 세 방식으로 측정한 PM₁₀ 측정값이 서로 일치하지 않고 있을 뿐만 아니라 2017년 1월부터 3월까지 측정한 세 방식의 PM₁₀ 측정값도 여전히 서로 일치하지 않고 있어 2017년 발간 예정인 「2016 지구대기감시 보고서」 등에 신뢰할 수 없는 측정값이 계속 수록될 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 안면도 기후변화감시소 등 GAW 지역급 관측소에 대하여 2017년 하반기 또는 2018년에 에어로졸 분야 국제 평가를 받는 등 GAW 지역급 관측소로서의 역할을 강화하는 방안을 마련하겠다는

의견을 제시하였다.

그리고 앞으로 GAW 권고기준에 따른 장비별 상세 표준 운영지침을 보완하고, 관측자료의 정도관리를 위해 전문성을 가진 운영인력을 추가 확보하며 운영인력에 대한 교육을 강화하는 한편, 안면도 기후변화감시소의 측정장비에 대하여 등가성평가를 실시하는 등 「지구대기감시 보고서」에 수록할 자료의 품질관리를 보다 철저히 하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① 「지구대기감시 측정지침」 등을 준용하여 측정장비에 대한 품질관리 기준을 마련하고, 측정 신뢰도에 대한 국제평가를 받는 등 안면도 기후변화감시소가 에어로졸 분야 GAW 지역급 감시소로서 기능을 발휘할 수 있도록 하는 방안을 마련하며(통보)
- ② 앞으로 품질관리가 되지 않은 부적정한 값을 「지구대기감시 보고서」에 수록하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하시기 바랍니다.(주의)

가-2)-3 민간항공기 취항 군공항에 대한 윈드시어 경보 미발표

기상청은 항공기의 안전한 이착륙을 위하여 「공항 경보 및 윈드시어 경보 지침」(2016년 11월, 기상청 지침) ‘4. 윈드시어 경보’ 등에 따라 ㉠㉠국제공항 등 7개 민간공항⁴⁹⁾에 대해서는 윈드시어 경보를 발표하고 있으나, 민간항공기가 취항하는 8개

49) ㉠㉠국제공항, ㉡㉡국제공항, ㉢㉢국제공항, ㉣㉣공항, ㉤㉤공항, ㉥㉥국제공항, ▲▲국제공항

군공항⁵⁰⁾ 중 △△국제공항에 대해서만 윈드시어 경보를 발표하고 있다.

윈드시어(wind shear)는 짧은 수평 및 연직거리 내에서 바람의 방향 및 속도가 갑자기 변하는 현상으로 항공기의 이착륙을 방해하여 안전을 위협하는 주요 기상요소이다. 1985. 8. 2. ○○항공 기편이 미국 델러스 卍卍 국제공항에 착륙 중 윈드시어로 인하여 활주로를 이탈해 고속도로에 충돌한 후 폭발하여 136명이 사망한 사건이 발생하기도 하였다.

한편 「기상법」 제2조 제10호와 제14조 제1항, 같은 법 시행령 제10조 제2항의 규정에 따르면 강풍, 난류 등 기상현상에 따라 윈드시어 등이 발생되어 항공기 운항시 중대한 재해가 예상되는 경우 항공특보를 발표하도록 되어 있다.

그리고 국제민간항공기구(ICAO: International Civil Aviation Organization⁵¹⁾) 제정 부속서 3(Annex 3) ‘7.4 윈드시어 경보와 경고(Wind shear warnings and alerts)’ 및 기상청의 「공항 경보 및 윈드시어 경보 지침」 ‘4. 윈드시어 경보’ 등에 따르면 활주로 표면에서부터 고도 500m 사이로 접근 중거나 이착륙을 위하여 주행 중인 항공기에 악영향을 미치는 15노트(knot) 이상의 바람 변화가 윈드 프로파일러(wind profiler, 상층대기분석장비) 등 윈드시어 측정장비에 관측되거나 그러한 바람 변화가 예상될 때에는 윈드시어 경보를 발표하도록 되어 있다.

또한 공군은 민간항공기 취항 군공항 중 ▶▶국제공항(2010년), ▷▷국제공항, ▼▼공항(이상 2016년) 등에 윈드 프로파일러를 설치⁵²⁾하였고, 윈드 프로파일러가

50) △△국제공항, ▷▷국제공항, ▶▶국제공항, ▼▼공항, ▽▽공항, ◀◀공항, ◁◁공항, ◆◆공항

51) 국제민간항공기구는 세계항공업계의 정책과 질서를 총괄하는 UN 산하 전문기구로 국제민간항공협약(Convention on International Civil Aviation)에 의거 국내법적 효력을 지니는 19종의 부속서(ANNEX)를 제정하였는데, 부속서 3은 ‘국제항공항행용 기상업무’(Meteorological Service for International Air Navigation)임

설치되지 않은 경우에도 민간공항인 ㉠㉠국제공항 및 ㉡㉡국제공항의 경우처럼 각 군공항 활주로 양 끝단에 설치된 AMOS(Aerodrome Meteorological Observation System, 공항기상관측장비)를 이용하여 윈드시어 경보 발표가 가능하다.

따라서 기상청은 공항을 관리하는 공군 및 해군 등과 협의하여 민간항공기가 취항하는 군공항에 대해서도 민간항공기가 안전하게 이착륙하도록 윈드시어 경보를 발표하여야 한다.

그런데도 기상청은 민간항공기가 취항하는 8개 군공항 중 가장 많은 민간항공기가 취항하는 △△국제공항에 대해서만⁵³⁾ 공군과의 협의를 거쳐 2007. 8. 1. 윈드 프로파일러를 설치한 후 같은 해 11. 14.부터 윈드시어 경보를 발표하고 있고, 나머지 7개 군공항에 대해서는 윈드시어 경보를 발표할 수 없는 것으로 알고⁵⁴⁾ 이를 발표하지 않고 있다.⁵⁵⁾

이와 관련하여 군공항에서의 윈드시어로 인한 민간항공기 사고발생 여부와 운항편수 및 여객 수를 살펴본 결과, ◁◁공항의 경우 1999. 3. 15. ◇◇항공 ㄴ편이 착륙하던 중 약 152m(500피트) 높이에서 착륙 시까지 풍속이 4노트에서 27노트까지의 범위(풍속변화 23노트)에서 변하는 윈드시어 등의 영향으로 활주로를 이탈한 후 방호벽과 충돌하여 32명의 중·경상자가 발생한 사건이 있었다.

52) ▷▷국제공항, ▼▼공항의 경우 공군의 윈드 프로파일러 관측 자료가 이미 2016. 7. 4.부터 기상청에 송부되고 있음

53) 2004년 9월 국토교통부는 윈드시어 탐지장비 설치 예산을 지원하여 기상청으로 하여금 ㉢㉢·㉣㉣·△△공항 등에 그 탐지장비를 설치하도록 하였고, 이에 따라 △△공항에서 윈드시어 경보가 발표됨

54) 기상청은 2007. 12. 28. 법제처로부터 민간항공기 취항 군공항에서 항공예보 및 특보는 국방부장관이 할 수 있다는 질의 회신을 받아 군공항에서 항공예보 등을 할 수 없는 것으로 판단하였다고 하나, 2015. 7. 21. 민간항공기 취항 군공항에서 이착륙예보를 위 관서가 하는 것으로 공군과 최종 합의한 바 있고, 2017. 4. 17. 법제처는 항공예보 및 특보의 주체를 정하는 것은 기관 간 결정할 문제라고 하였으며 또한 정부법무공단에 질의 결과, 2017. 4. 11. 민간항공기가 취항하는 군공항의 경우에도 윈드시어 경보 발표는 기상청 업무범위에 해당하는 것으로 회신

55) 군은 각 군공항에서 윈드시어가 군용항공기에 미치는 영향이 민간항공기에 비해 크지 않아 윈드시어 경보 미발표

또한 군공항인 ▷▷국제공항·▶▶국제공항·▼▼공항 등의 2016년 연간 운항편 수 및 여객 수는 [표 35]와 같이 민간공항인 ▣▣공항·▤▤공항·▥▥국제공항·▲▲공항보다 많은 것으로 나타났다.

[표 35] 공항별 운송 및 윈드시어 경보 유무 현황(2016년)

(단위: 편, 명)

구분	공항명	운항편 수			여객 수			윈드시어 경보유무
		도착	출발	계	도착	출발	계	
민간공항	▣▣국제	170,033	169,640	339,673	28,929,388	28,836,009	57,765,397	발표
	▤▤국제	86,316	86,427	172,743	14,846,593	14,860,771	29,707,364	
	▥▥국제	72,968	73,298	146,266	12,545,594	12,497,494	25,043,088	
	▦▦	2,445	2,446	4,891	268,986	276,335	545,321	
	▧▧	2,407	2,406	4,813	249,350	254,021	503,371	
	▨▨국제	1,164	1,166	2,330	161,791	159,884	321,675	
	▲▲	310	311	621	44,099	44,605	88,704	
군공항	△△국제	49,672	49,686	99,358	7,445,398	7,455,417	14,900,815	발표
	▷▷국제	8,552	8,537	17,089	1,256,582	1,276,550	2,533,132	
	▶▶국제	8,731	8,687	17,418	1,367,564	1,365,191	2,732,755	미발표
	▼▼	5,398	5,394	10,792	807,921	805,854	1,613,775	
	▽▽	911	911	1,822	76,523	74,205	150,728	
	◀◀	714	713	1,427	115,671	116,461	232,132	
	◁◁	458	458	916	32,079	36,147	68,226	
	◆◆	350	349	699	38,759	39,808	78,567	

자료: 한국공항공사의 공항별 통계 및 기상청 제출자료 재구성

그 결과 민간항공기 취항 7개 군공항에서 윈드시어로 인하여 항공기 안전이 저해 될 우려가 있다.⁵⁶⁾

56) 기상청은 △△국제공항에서 2017. 4. 5. 윈드시어 경보를 발표하였고(발효시간: 4. 5. 오후 6시 30분, 해제시간: 4. 6. 오전 12시), 이에 따라 4. 5. 오후 7시 30분 김해에서 출발해 ▣▣국제공항에 도착할 예정이던 ◊◊항공 ㄷ편이 취소되는 등 11편이 결항되고 26편이 지연되는 등 윈드시어 경보 발표에 따라 실제 항공기 결항이 이루어지고 있음

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 감사 이전에는 민간항공기가 취항하더라도 군공항에서는 윈드시어 경보를 할 수 없는 것으로 잘못 알고 있었으나 향후 공군 및 해군과 협의한 후 인원, 장비 등 제반 환경을 구축하여 윈드시어 경보를 발표할 수 있도록 하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 △△국제공항 이외에 민간항공기가 취항하는 7개 군공항에 대해서도 항공기가 안전하게 이착륙하도록 윈드시어 경보를 발표하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가2)-4 폭풍해일 특보 발표 및 통보 지연

기상청은 「기상법」 제13조 등의 규정에 따라 기상현상으로 인하여 중대한 재해 발생이 예상될 때 해당 지역에 대하여 기상 특보를 발표하고 있다.

「기상법」 제15조 등의 규정에 따르면 기상청장은 특보를 할 경우 재해의 방지를 위하여 필요한 조치를 할 수 있도록 국민안전처 및 지방자치단체 등에 그 사실을 통보하도록 되어 있다.

그리고 「예보업무규정」 제18조의 규정에 따르면 예보관서는 특보구역의 기상상황이 특보기준에 도달하거나 도달할 것으로 예상될 때 특보를 하도록 되어 있다.

따라서 예보관서는 천문조,⁵⁷⁾ 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이

57) 달이나 태양과 같은 천체의 인력에 의하여 일어나는 조석

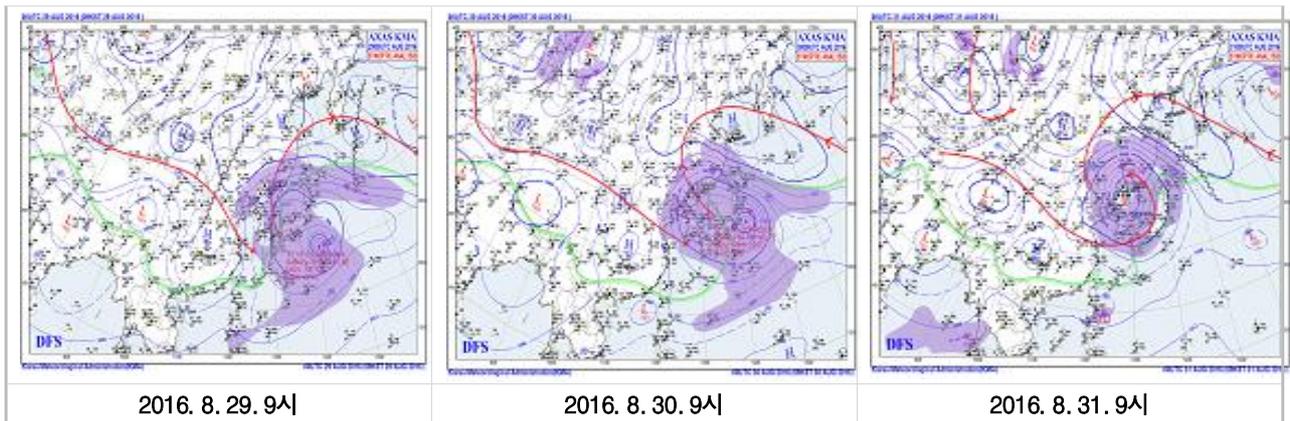
상승하여 조위⁵⁸⁾ 값이 지역별 폭풍해일특보의 발효기준 값에 도달하는 경우 폭풍해일특보를 하고 국민안전처와 해당 지방자치단체에 그 사실을 통보하여야 한다.

(1) 강원지방기상청의 경우

2016. 8. 30. 동해에서 발달한 저기압과 천문조 등의 영향으로 해수면이 상승하여 [별표 1] “목호 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)” 및 [별표 2] “속초 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)”와 같이 0시 8분 목호 검조소에서 관측된 조위 값(80cm)이 지역별 폭풍해일특보 발효기준 값⁵⁹⁾(80cm)에 도달하는 등 목호 검조소와 속초 검조소에서 관측된 조위 값(2분자료)이 같은 날 0시부터 10시까지 각각 37회와 4회 특보발효기준 값을 상회하였다.

그리고 2016. 8. 30. 해당 지역의 만조시각⁶⁰⁾은 13시 18분경으로 추가적인 해수면 상승이 예정되어 있었을 뿐 아니라 [그림 14]와 같이 한반도에 접근하는 저기압의 영향⁶¹⁾으로 조위 값이 계속 상승될 것으로 예상되는 상황이었다.

[그림 14] 기상 일기도



자료: 기상청 제출자료

58) 밀물과 썰물의 흐름에 따라 변하는 해면의 높이

59) 「예보업무규정」 [별표 8]에 따르면 양양군, 고성군, 속초시와 삼척시, 동해시, 강릉시의 폭풍해일특보 발효기준 값은 각각 속초 검조소와 목호 검조소에서 관측된 조위 값을 기준으로 80cm로 규정

60) 국립해양조사원에서는 지역별 만조시간을 예측하여 통보

61) 기압 강하로 인한 해수면 상승량은 1cm/hPa

그런데도 강원지방기상청 ▲과 C는 국립해양조사원이 제공하는 조위 관측 값의 정시자료(매시 정각 관측 값)와 2분자(매 2분 관측 값) 중 2분자료 관측 값을 확인하지 아니한 채 정시자료만을 근거로 조위가 일시적으로 기준 값을 초과하였다고 판단⁶²⁾하여 특보기준에 도달한 0시 8분보다 9시간 22분이 지난 같은 날 9시 30분이 되어서야 해당지역에 폭풍해일특보를 발표하였고, 국민안전처와 강원도 및 관할 지방자치단체에 통보하였다.(피해상황 [그림 15] 참조)

[그림 15] 강원도 폭풍해일 피해



자료: 기상청 제출자료

(2) 부산지방기상청의 경우

2016. 8. 29. 동해에서 발달한 저기압과 천문조 등의 영향으로 해수면이 상승하여 [별표 3] “울릉도 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)”와 같이 8시 18분 울릉도 검조소에서 관측된 조위 값(80cm)이 지역별 폭풍해일특보 발효기준 값(80cm)에 도달하는 등 관측된 조위 값(2분자료)이 같은 날 8시부터 20시까지 104회 발효기

62) 정시자료(매시 정각 관측 값)는 특보 발효기준 2회 초과

준 값을 상회하였다.

그리고 2016. 8. 29. 해당 지역의 만조시각은 11시 54분으로 추가적인 해수면 상승이 예정되어 있었을 뿐 아니라 [그림 14]와 같이 한반도에 접근하는 저기압의 영향으로 조위 값이 계속 상승될 것으로 예상되는 상황이었다.

[그림 16] 울릉군 폭풍해일 피해



자료: 기상청 제출자료

그런데도 부산지방기상청 대구기상지청 ▶과 D는 국립해양조사원이 제공하는 조위 관측 값의 정시자료(매시 정각 관측 값)와 2분자료(매 2분 관측 값) 중 2분자료 관측 값을 확인하지 아니한 채 정시자료만을 근거로 조위가 일시적으로 기준 값을 초과하였다고 판단⁶³⁾하여 특보기준에 도달한 8시 18분 보다 25시간 12분이 지난 2016. 8. 30. 9시 30분이 되어서야 해당 지역에 폭풍해일특보를 발표하였고, 국민 안전처 및 울릉군 등에 통보하였다.(피해상황 [그림 16] 참조)

그 결과 폭풍해일특보 지연에 따라 강원도 일원과 울릉도에 발생한 재해에 대하여 사전대비 및 재난복구 등 필요한 조치가 적시에 이루어지지 못하게 되었다.

관계기관 의견 강원지방기상청장과 부산지방기상청장은 감사결과를 수용하면서

63) 정시자료(매시 정각 관측 값)는 특보 발효기준 값 3회 초과(8시부터 20시까지)

앞으로는 폭풍해일특보 등 특보업무를 철저히 하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항

강원지방기상청장은

- ① 검조소에서 관측된 조위 값이 특보 발효기준 값에 도달하거나 특보기준에 도달할 것으로 예상되는데도 폭풍해일특보를 지연하거나 국민안전처 등 지방자치단체에 지연 통보하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하고
- ② 관련자에게는 주의를 촉구하시기 바랍니다.(주의)

부산지방기상청장은

- ① 검조소에서 관측된 조위 값이 특보 발효기준 값에 도달하거나 특보기준에 도달할 것으로 예상되는데도 폭풍해일특보를 지연하거나 국민안전처 등 지방자치단체에 지연 통보하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하고
- ② 관련자에게는 주의를 촉구하시기 바랍니다.(주의)

가-2)-5 특보 사후분석 업무 대상 선정 및 관리 부적정

기상청(본청, 지방기상청, 기상지청 등 예보관서⁶⁴⁾)은 「기상법」 제13조, 같은 법 시행령 제8조 그리고 「예보업무규정」 제36조 등의 규정에 따라 기상현상에 관한 예보 및 특보를 발표하고 그에 대한 사후분석 업무를 수행하고 있다.

64) 예·특보 및 정보를 생산하는 기상청 본청, 수도권·강원·광주·대전·부산·제주 등 6개 지방기상청, 대구·전주·청주 등 3개 기상지청을 말함

「예보업무규정」 제36조의 규정에 따르면 예보관서는 예보기술의 향상을 위하여 예보와 특보에 대하여 사후분석을 하고, 예보국장은 사후분석의 기준, 방법 등 관련 세부사항을 별도의 지침으로 정하도록 되어 있다.

이에 따라 기상청은 「예보 및 특보 사후분석 지침서」(이하 “사후분석 지침서”라 한다)에 동네예보, 중·단기예보, 특보의 사후분석 대상, 기준, 방법 등 세부사항을 규정하고 있고, 사후분석 지침서 제1절 1.과 2.에 따르면 예보나 특보는 미래의 기상현상을 예측하는 활동으로서 기상현상의 복잡성 등으로 불가피하게 오차를 수반하나, 국민의 안전과 사회경제에 미치는 영향이 크므로 사후분석 등을 통하여 예측 품질을 제고하도록 되어 있다.

또한 사후분석은 예보나 특보를 발표한 후 대응하는 기상현상과 비교하여 정확도와 오차를 산정하고 실패 또는 성공의 원인과 파급효과를 분석하여 유사한 현상에 보다 효과적으로 대응하기 위한 지식과 노하우를 쌓고 이를 관련 전문가들과 공유하는 집단적인 지식 축적 과정으로 규정되어 있다.

(1) 특보사후분석 대상 부적정

사후분석 지침서 제4절 2. 나.에 따르면 태풍·호우·대설·황사특보(이하 “의무적 사후분석 대상”이라 한다)는 ① 특보를 발표하였으나 특보기준에 도달하지 아니한 경우, ② 특보를 발표하지 않았으나 특보기준에 도달한 경우 등 예측에 실패한 경우 반드시 사후분석을 실시하도록 되어 있고, 폭염·한파·강풍·풍랑·건조특보(이하 “임의적 사후분석 대상”이라 한다)는 사회적으로 커다란 이슈가 되거나 부서장의 별도 분석 요

청이 있을 경우에만 사후분석을 실시하도록 되어 있다.

이와 관련하여 “2016년 이상기후보고서”(2017년 1월, 정부부처 합동)를 확인한 결과, 2016년 여름철 대규모 폭염 발생으로 2015년 대비 온열질환자가 2배 이상 (1,056명→2,125명) 증가하였으며, 2016. 8. 8. 전력 사용 급증에 따른 전력수요가 8,370만kW로 역대 최고치를 경신하는 등 [표 36]과 같이 임의적 사후분석 대상인 기상 현상으로 재해가 여러 차례 발생한 것으로 나타났다.

[표 36] 임의적 사후분석 대상 기상 현상의 재해사례(2015~2016년)

구분	피해사례
폭염	① 지구온난화로 전 지구 평균기온이 지속적으로 상승하고 있는 가운데 우리나라의 2016년 평균기온(13.6℃)도 평년(12.5℃)보다 1.1℃ 높아 1973년 이래 최고치를 기록하는 등 폭염으로 인한 온열질환자 급증 ⇒2015년 1,056명(사망 11명), 2016년 2,125명(사망 17명) ② 2016. 8. 8. 역대 최고전력수요 8,370만kW(전력 예비율 7% 급락)
한파	2015년 한랭질환자 483명(사망 26명) 발생으로 전년 대비 25명(사망 14명) 증가
강풍	2016. 4. 16.부터 같은 해 4. 17.까지, 2016. 5. 3.부터 같은 해 5. 4.까지 전국적인 돌풍(최대풍속 24m/s, 순간최대풍속 45.7m/s) 발생으로 농작물 353ha 및 비닐하우스, 인삼재배시설 등 농업시설물 613.3ha 파손 등 피해 발생 ⇒ 복구지원액 30,340백만 원 발생
풍랑	2016. 1. 17.부터 같은 해 1. 25.까지 발생한 대설·강풍·풍랑으로 인해 호남, 제주지역 비닐하우스 등 시설물 피해 손실 185,000백만 원 발생
건조	① 경상북도 안동시 마을 상수도 고갈 등 일부 지역 제한급수(2016. 8. 24.) ② 충청북도 영동군 황간면 회포리 야산(2016. 8. 18.), 영동군 심천면 약목리(2016. 8. 17.), 전라남도 화순군 한천면(2016. 8. 14.) 등 가뭄으로 인한 산불 발생

자료: 2016년 이상기후 보고서(정부 관계부처 합동)

이뿐만 아니라 국민안전처가 제출한 “최근 10년간 자연재난 피해현황”을 분석한 결과, 2015년에 폭염으로 1,067명의 인명피해가 발생하는 등 [표 37]과 같이 2011년부터 2015년까지 5년 동안 발생한 기상재해에 따른 총 인명피해 5,626명 중 폭염·한파로 발생한 인명피해가 5,526명에 달하여 전체의 98.2%를 차지하는 것으로 나타났다.

[표 37] 최근 5년간 기상재해에 따른 인명피해(2011~2015년)

(단위: 명, %)

구분	태풍(비율)	호우(비율)	폭염(비율)	한파(비율)	비고
2015년	-	-	1,067	509	대설·황사·강풍·풍랑 건조 등은 최근 5년간 피해실적 없음
2014년	-	2	557	470	
2013년	-	4	1,203	272	
2012년	14	2	999	-	
2011년	1	77	449	-	
합계	15(0.3)	85(1.5)	4,275(76.0)	1,251(22.2)	

자료: 국민안전처 제출자료

그리고 기상청이 분석한 “특보 정확도 현황”에 따르면 [표 38]과 같이 2012년부터 2016년까지 5년간 특보 정확도(평균)가 건조 67.9%, 풍랑 59.6%, 강풍 47.4%에 불과하여 대설 등 다른 기상현상과 달리 최근 5년간 정확도가 70% 미만 에 그치고 있고, 그마저도 매년 하락하거나 제자리 수준에 머물러 있어 특보 예측 정확도 향상을 위한 조치가 필요한 실정이다.

따라서 기상재해 발생 시 인명과 재산의 피해 가능성이 높은 폭염·한파와 예측 정확도가 낮아 예보관의 예측기술 향상이 필요한 건조·풍랑·강풍 특보는 의무적 사후분석 대상에 포함시킬 필요가 있다.

[표 38] 특보 정확도 현황(2012~2016년)

(단위: %)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	평균
대설	86.3	89.0	87.4	87.7	78.1	85.8
황사	-	-	-	75.0	100	81.0
한파	90.2	81.3	69.6	88.5	69.3	79.5
태풍	85.9	70.0	72.7	42.9	91.7	79.5

폭염	82.1	69.8	81.1	76.2	78.1	76.8
호우	73.3	73.6	69.7	69.2	69.8	71.4
건조	74.3	70.5	68.6	65.4	63.8	67.9
풍랑	51.8	61.8	62.0	62.8	61.2	59.6
강풍	51.1	51.9	45.6	46.0	43.1	47.4

자료: 기상청 제출자료

그런데 기상청은 사후분석 지침서에 특보 사후분석 대상을 정하면서 임의적 사후분석 대상은 의무적 사후분석 대상보다 기상재해에 따른 재산피해액⁶⁵⁾이 적다는 사유로 특보예측에 실패하더라도 사후분석을 실시하지 않고 사회적으로 커다란 이슈가 되거나 부서장의 별도 분석 요청이 있을 경우에만 사후분석을 하도록 하였다.

그리고 [표 39]와 같이 최근 2년간(2015~2016년)간 특보예측에 실패한 임의적 사후분석 대상 1,351건 중 단 한 건도 사후분석보고서를 작성하지 않았다.

그 결과 폭염·한파와 같이 인명피해가 많은 기상현상과 강풍·풍랑·건조와 같이 특보 예측 정확도가 낮은 기상현상에 대한 예보관의 예측기술 및 특보의 정확도 향상 등을 기대하기 어렵게 되었다.

[표 39] 임의적 사후분석 대상 특보 사후분석 현황(2015~2016년)

(단위: 건)

구분	폭염	한파	강풍	풍랑	건조	합계
특보를 하였으나 특보기준을 충족하지 못한 기상현상이 나타난 경우	65	32	364	436	128	1,025
특보를 하지 않았으나 특보기준을 충족한 기상현상이 나타난 경우	36	59	26	188	17	326
합계	101	91	390	624	145	1,351

자료: 기상청 제출자료

65) 기상재해에 따른 피해액(2006~2015년): 태풍·호우·대설(15,466,613백만여 원), 강풍·풍랑(201,392백만여 원)

(2) 태풍특보 사후분석 내용 부실

기상청은 최근 5년간(2012~2016년) 한반도에 영향을 미친 태풍 18개와 관련하여 태풍주의보·경보 등 특보를 발표하였으며, 2016년 10월 울산지역에 많은 피해를 입힌 제18호 태풍 차바를 포함하여 10개 태풍에 대해 특보 사후분석을 하였다.

사후분석 지침서 제4절 1.과 2.에 따르면 특보 예측에 실패한 경우 특보와 특보구역별로 원인 분석과 개선방안 제시 등 사후분석을 하도록 되어 있다.

따라서 특보 사후분석을 할 때에는 특보 예측기술 향상이라는 사후분석의 목적을 달성할 수 있도록 사후분석 지침서에서 정한 바에 따라 구체적인 특보와 특보구역별로 예측내용과 실제 관측값을 비교하여 오차를 산정하고, 실패 또는 성공의 원인과 파급효과 분석 등을 수행할 필요가 있다.

그런데 기상청은 태풍특보 사후분석보고서를 작성하면서 [별표 4] “태풍특보 사후분석 세부 내역”과 같이 구체적인 특보와 특보구역별로 예측과 실제 관측값을 비교하여 특보기준 미달 여부 등 차이를 분석하거나 차이 발생원인과 파급효과 등을 상세하게 분석하지 않고, 태풍별로 해당 태풍의 진로 등 일반적 특성을 기술하고 태풍 영향 기간 동안 주요 지점의 최대 풍속, 강수량 등을 위주로 종합적인 분석만 실시하였다.

그 결과 태풍특보 사후분석이 형식적으로 수행되어 예보관들 간의 노하우 공유, 예측기술의 향상 등을 기대하기 어렵게 되었다.

(3) 특보 사후분석보고서 등록 등 미실시

사후분석 지침서 제4절 2. 사.에 따르면 예보관은 특보 사후분석 대상에 대해 다음 달 20일까지 특보 사후분석보고서를 작성하여 기관(부서)장의 결재를 받은 후

선진예보시스템에 등록하도록 되어 있다.

그런데 광주지방기상청은 최근 2년간(2015~2016년) 의무적 사후분석 대상 46건 중 4건에 대해 사후분석보고서를 작성하지 않았고, 작성된 42건의 보고서를 선진예보시스템에 등록하지 않는 등 [표 40]과 같이 사후분석 대상 251 중 15건에 대한 사후분석보고서를 작성하지 않았고, 작성된 129건의 보고서를 선진예보시스템에 등록하지 않고 있어 계 144건(57.4%)의 사후분석을 제대로 수행하지 않았다.

[표 40] 의무적 사후분석 대상 사후분석보고서 관리 현황(2015~2016년)

(단위: 건)

구분	호우			대설			황사			태풍			합계		
	대상	미작성	미등록	대상	미작성	미등록	대상	미작성	미등록	대상	미작성	미등록	대상	미작성	미등록
본청	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	1	3	2	1
광주	40	4	36	5	-	5	1	-	1	-	-	-	46	4	42
강원	17	2	2	16	-	-	1	1	-	-	-	-	34	3	2
대구	13	-	8	9	1	5	-	-	-	-	-	-	22	1	13
대전	15	-	4	3	-	2	-	-	-	-	-	-	18	-	6
부산	40	-	6	1	-	-	1	-	-	-	-	-	42	-	6
수도권	17	-	17	3	-	3	2	-	2	-	-	-	22	-	22
전주	11	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	2	6
제주	42	1	31	-	-	-	1	1	-	-	-	-	43	2	31
청주	7	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	10	1	-
합계	202	10	110	40	1	15	6	2	3	3	2	1	251	15	129

자료: 기상청 제출자료

그 결과 예보관들이 특보 예측기술 향상 등에 필요한 지식 및 노하우를 제대로 공유하지 못하게 되었다.

관계기관 의견 기상청은 감사 결과를 받아들이면서 사후분석 지침서를 개정하여

특보 사후분석 업무를 확대하는 방안을 마련하고, 태풍특보 사후분석보고서 작성 시 구체적인 특보와 특보구역별로 예측과 실제 관측값의 차이 발생 원인과 파급효과 등을 상세하게 분석하며, 정기적인 사후분석 관리를 통해 적기에 사후분석보고서를 작성·공유하는 등 사후분석을 충실하게 수행하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

① 폭염·한파와 같이 인명피해가 많이 발생하거나 강풍·풍랑·건조와 같이 특보 정확도가 낮은 기상현상에 대한 특보 정확도를 높일 수 있도록 예측에 실패한 경우 사후분석을 하는 것으로 「예보 및 특보 사후분석 지침서」를 개정하는 방안을 마련하고
(통보)

② 앞으로 특보 예측기술 향상 등에 필요한 지식과 노하우가 공유될 수 있도록 사후분석보고서 작성 시 특보와 특보구역별로 예측과 실제 관측값을 비교하여 차이 발생원인과 파급 효과 등을 상세하게 분석하는 한편, 사후분석보고서를 선진예보시스템에 빠짐없이 등록하는 등 특보 사후분석 업무를 철저히 하시기 바랍니다.(주의)

가-2)-6 예보관 교육 운영 불합리

기상청은 「기상법」 제35조에 따라 예보관 등 기상예보와 관련된 업무를 담당하는 공무원에게 예보 관련 교육·훈련⁶⁶⁾(이하 “예보교육”이라 한다)을 실시하고 있다.

66) 2000년부터 2017년 현재까지 예보기초과정, 예보실무과정 등의 명칭으로 최소 1주에서 최대 8개월까지 운영(집합교육)된 예보관 대상의 전문 교육과정으로 예보기초이론부터 예보지원도구 활용, 예보분석능력 등 예보실무에 필요한 종합적인 내용을 가르침

「기상법」 제5조 제1항의 규정에 따라 수립한 “2차연도(2012~2016년) 기상업무 발전 기본계획(2011. 12. 22.)”에 따르면 기상청은 예보교육을 통해 우수예보관을 양성하도록 되어 있고, 2015. 2. 5. 수립한 “예보관 역량 향상을 위한 교육훈련체계 개편방안”에 따르면 예보교육을 이수하지 않은 예보관은 예보전문가과정(6주), 예보기초과정(3주) 등 예보교육과정 총 6회 중 1회를 의무적으로 이수하도록 되어 있다.

한편 “예보관 전문교육과정 효과성 평가”(2015년, 기상청) 연구용역에 따르면 예보관들이 예보교육을 이수한 경우 업무의 효율성·효과성이 교육 전보다 증대되어 수치일기도, 위성 관측자료, 레이더자료 분석 시간이 단축되고, 예·특보 정확도가 향상될 것으로 나타나는 등 예보교육이 전반적으로 예보관의 전문성을 향상시키는 데에 기여하는 것으로 나타났다.⁶⁷⁾

또한 “예보관 역량모델 개발 및 역량모델에 기반한 교육훈련체계 구축연구”(2016년, 기상청)에서는 예보관에 대한 교육훈련 운영방안으로 예보업무 담당희망자는 업무담당 이전 또는 업무담당 1년 이내에 예보기초과정을 필수적으로 이수하는 방안을 제시하고 있다.

한편 기상청(예보정책과)이 2017. 4. 17. 예보교육을 이수한 예보관들의 개인별 예보정확도가 예보교육을 이수하기 전과 비교하여 향상되었는지를 분석하기 위하여 2017. 1. 1. 기준 동네예보 담당 예보관⁶⁸⁾ 127명⁶⁹⁾ 중 예보교육을 처음 이수하기 전 후 9개월 이상 같은 지역에서 예보를 한 총 4명의 예보관을 선별⁷⁰⁾한 후 해당 예보

67) 더불어 조직과급영역에서도 예보교육에 의해 예보관들의 직무자신감, 능력개발만족도, 조직적응, 직무관련 인적 네트워크, 직무만족의 순으로 향상되고, 직무스트레스가 소폭 감소하는 것으로 나타남

68) 단기예보의 예보기간과 구역을 시·공간적으로 세분화하여 행하는 가장 기본이 되는 예보이므로 이를 선별함

69) 2000년 이후 예보교육과정이 정식 운영됨에 따라 2000년 이후 임용된 자(퇴사자 제외)만을 대상으로 집계

관이 소속된 지방기상청의 예보정확도를 함께 비교한 결과에 따르면, 대전지방기상청의 경우 2015년 예보기초 실무과정이 운영되기 전 10개월보다 실무과정이 운영되고 난 후 10개월간의 기관 강수유무 적중률(CSI)⁷¹⁾가 3.48점 감소하였는데 반해, 대전지방기상청 소속 8급 E은 예보기초 실무과정을 이수한 후 강수유무 적중률이 2.65점 증가하여 기관 증감 대비 6.13점이 향상되는 등 [표 41]과 같이 교육생 4명 중 3명의 강수유무 적중률이 예보교육을 이수한 후 향상된 것으로 나타났다.

[표 41] 예보교육 이수 전후 개인별 강수유무 적중률(CSI) 변화

(단위: 점)

소속기관	직급	성명	교육이수 전 예보기간	교육이수 전 강수유무 CSI	교육기간	교육이수 후 예보 기간	교육이수 후 강수유무 CSI	개인증감	기관증감	기관증감 대비
부산청	-	F	2015. 2. 1. ~ 10. 30.	43.92	2015. 11.16. ~ 11.27.	2016. 2. 1. ~ 10. 30.	44.63	0.71	0.35	0.36
대구지청	-	G	2015. 2. 1. ~ 10. 30.	38.41	2015. 11. 16. ~ 11. 27.	2016. 2. 1. ~ 10. 30.	43.61	5.2	1.59	3.61
강원청	-	H	2015. 2. 1. ~ 11. 30.	44.03	2015. 11. 30. ~ 12. 11.	2016. 2. 1. ~ 11. 30.	39.34	-4.69	-4.68	-0.01
대전청	-	E	2015. 2. 1. ~ 11. 29.	44.03	2015. 11. 30. ~ 12. 11.	2016. 2. 1. ~ 11. 29.	46.68	2.65	-3.48	6.13

자료: 기상청 제출자료 재구성

따라서 예보관을 임명할 때에는 예보 정확도의 향상에 기여하는 예보교육을 먼저 이수하도록 한 후 임명하거나, 인력운용상 불가피하게 예보관으로 우선 임명한 경우에는 빠른 시일 안에 예보교육을 이수하도록 인력을 운용하는 것이 합리적이다.⁷²⁾

그런데 기상청(인재개발과)이 2017. 4. 20. 동네예보 담당 예보관 127명 중 예

70) 위 4명은 모두 2주간 집합교육으로 실시된 2015년 예보기초 실무과정을 이수한 자들로, 일기도 묘화 및 분석, 동네예보 실습 등의 실습중점교육을 받음

71) CSI(Critical Success Index, 임계성공지수): 정확히 예측하였던 사건 수를 예보, 관측 구분 없이 사건발생과 관련된 총수로 나눈 것으로 TS(Threat Score)라고도 함

72) 기상선진국인 영국의 경우 예보업무 무경험자들을 대상으로 18주간 실무 중심의 초기 예보관 교육과정을 이수하게 한 뒤, 현업 OJT 수행과 역량 심사를 통해 예보관 자격을 갖춘 훈련생을 양성하고 있음

보교육을 이수한 103명을 대상으로 분석한 결과에 따르면 [표 42]와 같이 예보경력 1년 이내에 예보교육을 수료한 예보관은 29명(28%)에 불과한 등 예보관 임명 이후 평균 30개월이 지나서야 예보교육을 처음 이수하고 있는 것으로 나타났다.

[표 42] 예보교육을 처음 이수하기까지의 소요기간

(단위: 명, %)

소요기간	1년 미만	1년 이상 2년 미만	2년 이상 3년 미만	3년 이상 4년 미만	4년 이상 5년 미만	5년 이상	평균 소요기간
이수자 수(비율)	29(28)	23(22)	13(13)	21(20)	6(6)	11(11)	30개월

주: 2017. 1. 1. 기준 예보관 127명 중 교육 미이수자 15명, 예보관 임명 전 이수자 9명을 제외한 103명
 자료: 기상청 제출자료 재구성

또한 [표 43]과 같이 2017. 2. 14. 현재 전체 예보관 217명 중 38명(약 18%)이 교육과정 수용인원 부족 등을 사유⁷³⁾로 예보관 임명 이후 평균 4년이 지나도록 예보교육을 한번도 이수하지 않은 채 예보업무를 수행하는 등 예보교육이 조기에 이루어지지 못하고 있는 것으로 나타났다.

[표 43] 예보교육을 미이수한 예보관의 예보경력

(단위: 명)

구분	없음	1년 미만	1년 이상 3년 미만	3년 이상 5년 미만	5년 이상 10년 미만	10년 이상 15년 미만	15년 이상 20년 미만	20년 이상	평균예보경력
인원(38)	1	12	11	6	3	3	1	1	4년

자료: 기상청 제출자료 재구성

그 결과 예보교육을 이수하지 않은 예보관이 예보업무를 하고 있고 신규 예보관이 예보교육을 조기에 이수하지 못하여 전문성 제고에 지장을 초래할 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 앞으로 예보관 교육은 수준별

73) 그 밖에 인사발령, 예보현업 대체인력 부족 등의 사유가 있었음

교육과정(초급-중급-고급)으로 운영하여 예보교육을 미이수한 예보관은 모두 해당 수준의 교육을 이수하게 하고, 신규 예보관도 불가피한 경우를 제외하고 조기(1년 이내)에 예보교육을 이수할 수 있도록 조치하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 예보관 임명 전 또는 임명 후 빠른 시일 안에 기상예보 관련 교육·훈련을 이수하도록 하는 등 예보관의 전문성을 제고할 수 있는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가-3) 기상관측장비 분야

- 기상레이더를 설치장소가 확정되기도 전에 구매하여 예산낭비
 - 검정받지 않은 시정현천계를 설치하여 안개특보에 차질
- ⇒ 관측장비를 제대로 활용하지 못함에 따라 예산이 낭비되고 기상예보에 차질 발생

가-3)-1 기상레이더 관측망 구축사업 부당 추진 및 추진 부적정

기상청은 수도권에서 광역 기상레이더로 관측하기 어려운 저층(해발고도 1km 이하)의 위험기상(집중호우, 폭설 등) 정보를 탐지하기 위하여 수도권 서부지역인 가현산(김포), 인천기상대(인천 중구), 황금산(안산) 등 3개소에 소형레이더를 설치하는 “X-밴드⁷⁴⁾ 소형 기상레이더(이하 “소형레이더”라 한다) 관측망 구축 사업”(총사업비: 45억여 원⁷⁵⁾, 사업기간: 2016. 5. 10.~2017. 8. 2.)을 추진하고 있다.

74) X-밴드 주파수(8~12GHz)를 사용하는 기상관측 레이더로 고해상도 이미지 생성 가능

한편 기상청 관하 국립기상과학원⁷⁶⁾(구 국립기상연구소, 이하 “기상과학원”이라 한다)이 2014. 11. 14. 주식회사 ◆◆(대표이사 I)와 계약을 체결하여 같은 해 12. 15. 납품받은 “연구용 소형레이더 관측망 입지선정 용역 사업” 과업지시서 ‘3.1. 일반 사항 ② 및 ③’에 따르면 계약상대자는 레이더 최적 설치지점으로 법률적·행정적으로 소형레이더 설치에 하자가 없는 지역을 선정하고 기상과학원은 계약상대자가 선정한 최적 설치지점에 대하여 토지 소유주와 협의하도록 되어 있다.

그리고 소형레이더 관측망 구축 시 입지 선정을 위한 시험운영이 곤란하기 때문에 사전에 관측시스템의 관측효과를 가상으로 분석하는 모사실험(OSSE: Observation System Simulation Experiment)이 필요하다.

이에 따라 기상과학원은 2015. 3. 18. “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축 계획”을 수립하면서 기존 가현산(김포)에 설치하기로 했던 소형레이더 1기는 평창동계올림픽 운영 지원을 위해 평창 지역에 설치(올림픽 이후 수도권에 이전 설치)하고, 나머지 2기에 대해서는 기후데이터, 인구밀도 등을 조사·분석한 후 모사실험을 수행하여 수도권 지역에 최적 설치지점을 결정하도록 하였다.

또한 기상과학원이 2015. 3. 31. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 모사실험 계획”에 따르면 2015년 4~5월에 관측시스템 모사실험 영역을 선정하고 위 영역 내부에서 소형레이더 설치 가능지점에 대한 모사실험을 수행하여 같은 해 11월까지 최적의 입지를 선정하는 것으로 되어 있다.

75) 내자: KRW 1,823,386,660원, 외자 미화 2,400,000달러, 2016. 5. 10. 조달청 계약 체결 당시 산출금액 4,552,426천 원 (환율: 미화 1달러=1,137.1원)

76) 기상청 1차 소속기관으로 2015. 1. 22. 국립기상연구소에서 국립기상과학원으로 명칭 변경

이후 기상청 관하 기상레이더센터⁷⁷⁾가 2015. 9. 22. 수립한 “연구용 소형레이더 사업관련 실무반 검토 결과에 대한 후속조치 계획”에 따르면 2016년 1월에 미래창조과학부에 무선국 개설허가를 신청한 후 2016년 3월에 기상기자재관리협회의 취득심의를 거쳐 2016년 5월 조달청에 입찰공고를 의뢰하는 것으로 되어 있다.

따라서 기상레이더센터는 2015. 3. 18. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축 계획”, 같은 해 3. 31. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 모사실험 계획” 및 같은 해 9. 22. 수립한 “연구용 소형레이더 사업관련 실무반 검토 결과에 대한 후속조치 계획” 등에 따라 모사실험을 통해 소형레이더를 설치할 최적의 위치를 재선정하고, 무선국 개설허가 신청 등의 사전절차를 이행한 후에 조달청에 소형레이더 구축 사업에 대한 계약을 요청하여야 했다.

그런데도 기상레이더센터 ◀과 J는 황금산의 소유자인 안산시와 협의하지 않고 모사실험을 수행하지 않아 소형레이더의 입지가 선정되지 않은 상태인 2015. 10. 30. 소형레이더를 당초 계획대로 인천기상대(인천 중구), 황금산(경기 안산), 선자령(강원 평창)에 설치하는 내용으로 조달청에 계약 요청하는 문서를 작성하여 결재를 올렸고 ◀과장 K와 기상레이더센터장 L은 2015년 연내에 소형레이더 최적 위치 재선정 및 무선국 개설허가 신청 등 사전절차가 가능한지를 검토하지 않은 채 조달청 계약 요청 서류에 결재하였다.

그 후 기상레이더센터는 2015. 12. 10. 안산시를 방문하여 황금산에 소형레이더 설치가 가능한지 협의하였으나 안산시가 황금산 복원사업을 추진하고 있어

77) 2015년 7월 기상과학원의 소형레이더 관측망 구축 사업을 이관받음

소형레이더 설치가 불가능하게 되자 이를 기상청 본청(서울 동작구)에 설치하는 것으로 사업계획을 변경하였다.

기상청 본청에 소형레이더 설치 시 문제점 검토

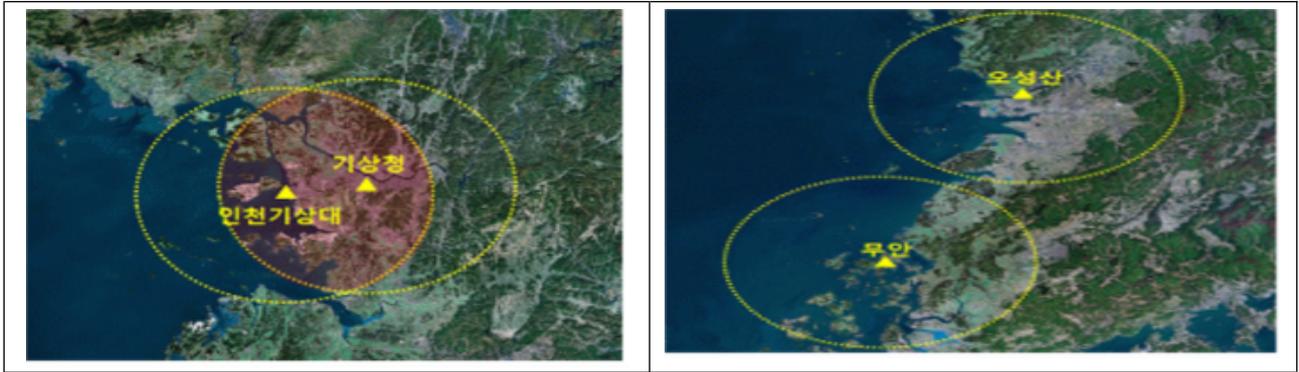
- ▶ (빔 차폐 시뮬레이션 결과 부적합) 기상청(레이더분석과)이 2017. 4. 14. 본청의 소형레이더 안테나 고도각별 빔차폐 시뮬레이션을 실시한 결과에 따르면, 당초예정지인 황금산보다 차폐율이 크게 높은 것으로 나타남
 - 황금산 : 2.24%(0.5°), 0.42%(1.5°), 기상청 본청: 73.62%(0.7°), 31.24%(1.5°), 9.35%(3.0°)
 - 또한 기상청 본청 주변(1km 이내)의 주요 고층건물로 인해 관측 사각지역이 발생하고, 사각지역 해소를 위해 소형레이더 안테나 고도각을 상향(9.4°)할 경우 관측 유효반경(50km)이 최대 44.4km가 줄어든 5.6km에 불과하여 사업효과가 거의 없음

그러나 기상청 본청에 소형레이더를 설치하려는 계획이 2016. 9. 9.과 같은 해 10. 7. 동작구 및 동작구의회의 반대⁷⁸⁾로 또다시 무산됨에 따라 기상레이더센터는 2016. 10. 24. “설치지점 타당성 연구 용역”을 통해 원점에서 소형레이더 관측망 구축 사업을 재추진하기로 결정한 후 2017. 1. 4. “소형 기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 용역 계약”(용역비: 96백만여 원, 용역기간: 2017. 1. 3.~2017. 12. 2.)을 체결하여 수행하고 있다.

또한 기상레이더센터는 “소형 기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 용역 사업”이 진행 중인 2017. 3. 28. 소형레이더 설치지점이 결정되지 않아 수도권에 소형레이더를 설치할 수 없게 되자 [그림 17]과 같이 무안(전남) 및 오성산(전북 군산)에 임시로 소형레이더를 설치(관측 중첩영역 없음)하였다가 추후 설치지점이 결정되면 수도권에 소형레이더를 이전 설치(2018년 12월 이후)하는 것으로 결정하였다.

78) 사드(THAAD)와 같은 주파수 대역을 이용하여 전자파에 따른 유해성 논란이 있어 반대

[그림 17] 인천기상대·기상청(본청) 및 무안·오성산 소형레이더 중첩영역 비교



자료: 기상청 제출자료

그 결과 45억여 원을 들여 도입한 소형레이더를 당초 사업목적과 달리 수도권 지역에 설치하지 못하게 될 우려가 있고 향후 수도권 지역에 설치하더라도 “소형 기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 사업” 용역비 96백여만 원 등 총 455백여만 원⁷⁹⁾이 불필요하게 소요되며 수도권 지역 저층의 위험기상 정보 탐지가 상당기간 지연될 것으로 예상된다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 관계기관과 협의하여 설치 가능 지점을 선정하고 모사실험을 수행한 후 사업효과가 가장 높은 최적의 입지에 소형 레이더를 설치하는 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① “X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축사업” 추진업무를 부당하게 처리한 J, K,

79) 향후 소형레이더 2기(무안 및 오성산) 이전 설치비용: 1기당 63,800천 원×2기=127,600천 원, 소형레이더 내용연수 경과에 따른 감가상각비용: 1기당 116,018천여 원[단가 783,125천 원/108개월(조달청 고시 내용연수)×16개월(2017년 8월~2018년 12월)×2기]=232,037천여 원

L를 「국가공무원법」 제78조의 규정에 따라 징계처분(경징계 이상)하고(징계)

【개별처분요구사항 명세 1번 참조】

② “X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축사업”에 대하여 관계기관과 협의하여 설치 가능 지점을 선정하고 모사실험을 수행한 후 사업효과가 가장 높은 최적의 입지에 레이더를 설치하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

가-3)-2 시정현천계 성능 시험체계 미비 및 구매 부적정

기상청은 2008. 2. 11. “안개관측망 구축 기본계획”을 수립하여 2010년까지 실시간 안개 관측을 통한 안개감시능력 강화와 안개특보 지원을 위한 안개관측망 구축 사업을 추진하였고, 이후 2010. 3. 31. “자동기상관측장비 첨단화 기본계획”을 수립하여 관측자료의 객관성과 연속성 확보를 위한 목측요소(시정·현천) 관측 자동화 사업과 안개관측망 구축 2단계 사업을 추진하면서 [표 44]와 같이 2009년부터 2016년까지 시정현천계 291대를 구매·설치(사업비 47억여 원)하였고, 2025년까지 총 585대를 구매·설치할 계획이다.

한편 한국기상산업진흥원은 「기상산업진흥법」 제17조 제5항 제4호에 따라 2010년부터 매년 기상청과 대행역무계약을 맺고 [표 44]와 같이 시정현천계 구매업무를 위탁받아 계약 체결부터 물품검사(설치 포함)까지 관련 업무를 수행하고 있다.

기상청의 「지상기상 관측지침」(기상청지침)에 따르면 같은 지점의 관측값은 오랜 기간에 걸쳐서 서로 비교할 수 있어야 하고 이에 따라 사용하는 기상관측장비는

기상청의 검정을 거친 장비여야 한다고 되어 있다.

그리고 미국이나 일본의 경우 시정계 설치 시 표준시정계(광투과 방식 시정계⁸⁰⁾ 등)와 비교하여 정확도를 검증하고 있고, 2008년 10월 기상청이 안개관측망 구축을 위해 시행한 “최적 안개관측망의 효율적 운영방안 연구” 용역 보고서에서도 시정계의 성능 검증 방안으로 광투과 방식 시정계와 비교 관측하는 방법을 제시하였다.

[표 44] 시정현천계 구매·설치 현황

(단위: 대)

연도별	구분	안개관측망 구축 사업			연도별 자동기상관측장비 첨단화 사업(안개관측망 구축 2단계 사업 병행)							계	
		1차 (2009. 6.)	2차 (2010. 2.)	3차 (2010. 11.)	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년		
	설치대수	25	25	26	29	30	25	22	56	23	30	291	
	구매업무 담당기관	기상청		한국기상산업진흥원							-		
제품별	제조사	@@		\$\$			ㄴㄴ		ㄷㄷ		계		
	모델명	ㄹ		ㅁ			ㅂ		ㅅ		ㅇ		
	외형	-		-			-		-		-		
	설치대수	○ 계 51 - 2009년 25, 2010년 26		○ 계 25 - 2010년 25			○ 계 52 - 2013년 22, 2016년 30		○ 계 56 - 2014년 56		○ 계 107 - 2010년 29, 2011년 30, 2012년 25, 2015년 23		291
	2016년 비교관측시험 대상여부	대상		대상 제외			대상		대상		대상		-

주: 안개관측망 구축 사업의 차수별로 괄호 안에 표기된 연월은 물품검사 완료 시기를 나타냄
 자료: 기상청 제출자료

한편 시정현천계 구매사업의 제안요청서⁸¹⁾ 등에 따르면 관측센서의 측정범위, 정확도 등의 항목에 대한 시험을 하는 국내외 공인기관이 없는 경우 “제작사 시험성

80) 투사한 빛의 소멸된 정도를 측정하여 시정거리를 산출하는 방식의 시정계로, 산란된 빛을 측정하는 광산란 방식보다 더 넓은 공간을 측정하기 때문에 정확도가 더 높아 공항 활주로 등에서 주로 사용됨
 81) 안개관측망 구축 사업 관련 시정현천계 최초 구매 시 구매규격서를 작성하였고, 이후에는 제안요청서를 작성하여 조달청에 발주 의뢰함

적서”로 성능을 입증하도록 되어 있다.

따라서 기상청은 시정현천계를 구매하기 이전에 시정현천계 관측센서의 표준규격을 마련하고, 표준규격을 만족하는지 여부를 확인할 수 있도록 광투과 방식 시정계와 비교 관측하는 등 검정방법을 마련하여 검정을 거친 장비를 구매하여야 하며, 물품검사⁸²⁾ 시 계약업체로부터 “제작사 시험성적서”를 제출받아 요구 성능을 만족하는지 여부를 확인하여야 한다.

그런데 기상청은 2010년말까지는 표준규격도 마련하지 않은 채 시정현천계를 구매하였고, 이후 2011. 1. 3. 「자동기상관측장비의 표준규격」(기상청 고시 제2010-5호) 제7조 [별표 1]를 개정하여 시정현천계 관측센서의 측정범위, 정확도 등의 항목에 대한 표준규격을 정하면서도 이에 대한 검정방법을 마련하지 않고 표준규격 만족 여부를 검증하지 않고 있다.

그리고 기상청 △과 M은 2009. 6. 5. 시정현천계 물품검사를 하면서 계약업체가 제출한 “제작사 시험성적서”에 정확도 성능 기준(10m 이상 10,000m 미만: $\pm 10\%$ 이내, 10,000m 이상: $\pm 20\%$ 이내)에 대한 평가 결과가 누락되어 성능 만족 여부를 판단할 수 없었는데도 적합한 것으로 인정하는 등 [별표 5] “시정현천계 물품검사 업무 담당자 명세”와 같이 시정현천계 물품검사 업무 담당자 M 등 5명은 성능 만족 여부를 확인하지 않은 채 적합한 것으로 인정하였다.

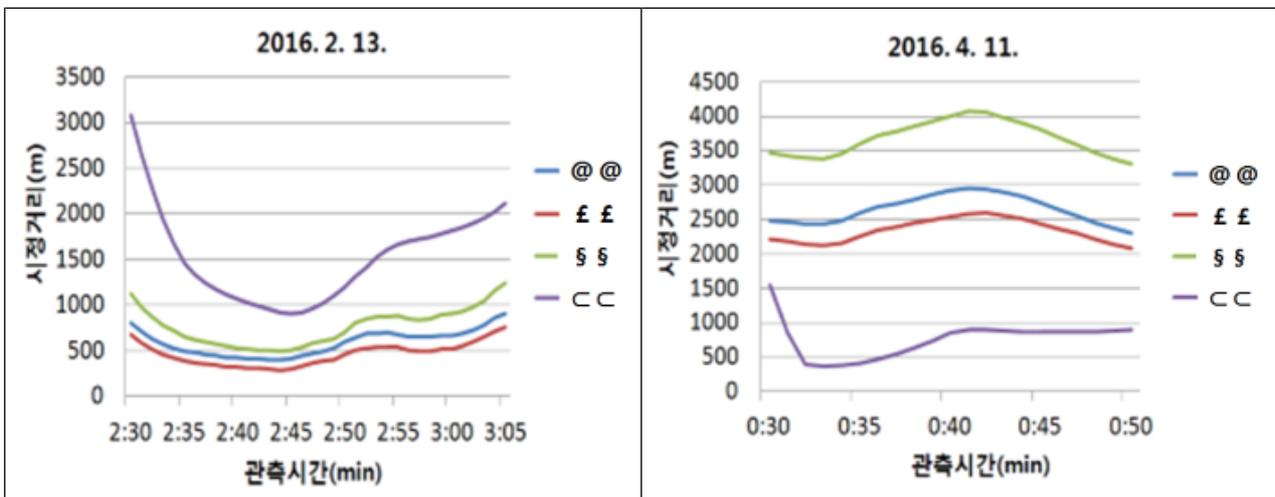
이와 관련하여 기상청(관측정책과)이 2017. 4. 20. 시정거리 관측결과(관측기간:

82) 기상청은 [표 1]과 같이 안개관측망 구축 사업 관련 1, 2차 시정현천계 구매 시 물품검사 업무를 담당하였고, 한국기상산업진흥원은 이후 장비 구매 시 해당 업무를 담당함

2016. 2. 2.~11. 30.)와 기상청의 통계분석 자료를 비교·검토한 결과에 따르면 [도표 6]과 같이 장비별로 수집 분 동안 안개 발생 여부(시정거리 1km 미만)를 다르게 나타낼 만큼 장비 간 관측값의 편차가 크고, [도표 7]과 같이 @@ 제품 관측값은 ££ 제품보다 과대 측정하고 §§과 CC 제품보다는 과소 측정하는 경향이 있으며 특히 CC 제품은 시정거리 분포도 상에서 @@ 제품과의 편차가 다른 두 제품보다 월등히 큰 것으로 나타났다.

그리고 시정거리 관측결과에서 4개 장비별로 관측값이 각각 1km 미만(안개 발생 기준)과 100m 이하(안개특보 기준)인 경우의 발생일수와 지속시간을 산출한 결과 [표 45]와 같이 장비에 따라 일수와 시간이 달라 장비 간 안개 관측결과의 일관성이 낮은 것으로 나타났다.

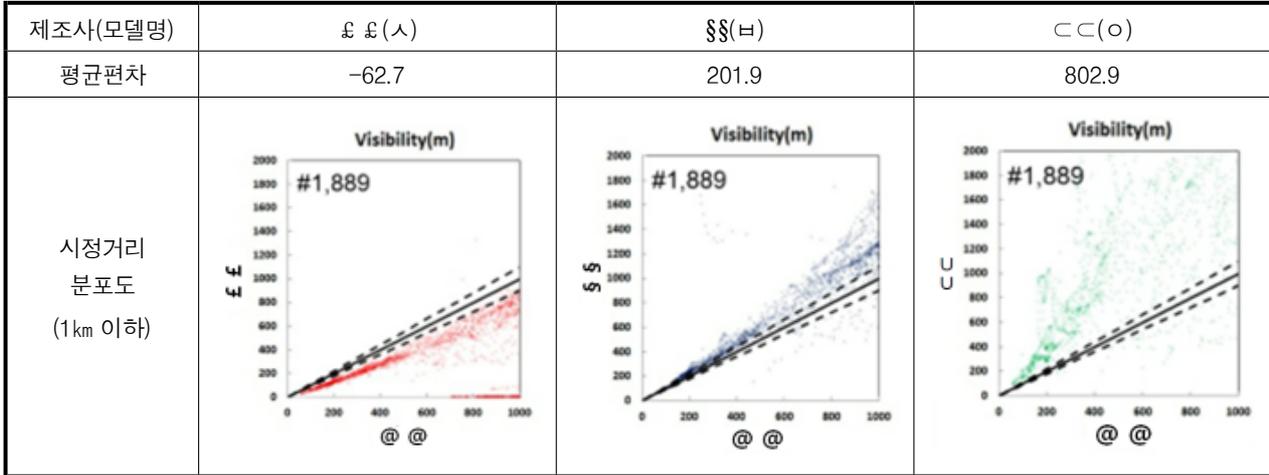
[도표 6] 비교관측 4개 장비별 시정거리의 시계열 비교



자료: 기상청 제출자료

[도표 7] @@ 제품 기준 관측장비 간 시정거리 편차 비교

(단위: m)



주: 1. 분포도에 #은 관측값의 수를 나타냄

2. 분포도에서 실선은 @@ 제품 관측값을 나타내고 점선은 @@ 제품 관측값을 기준값으로 하였을 때 정확도 허용 범위(±10%)를 나타냄

자료: 기상청 제출자료

[표 45] 4개 장비별 시정거리 관측값 발생일수 및 지속시간

(단위: 일, 시간, 분)

제조사(모델명)		@@(≡)	£ £(入)	\$\$(\$)	CC(○)
시정거리 1km 미만 (안개 발생)	발생일수	29	57	48	57
	지속시간(시간)	31.5	102.6	43.6	100.9
시정거리 100m 이하 (안개특보)	발생일수	3	14	1	1
	지속시간(분)	42	1,001	32	4

자료: 기상청 제출자료

또한 기상청(관측정책과)이 2017. 4. 20. 시정거리 외에 현천 관측결과의 정확도를 검증하기 위해 21개 유인관측소에서 시행한 일기현상의 목측값(3시간 간격)과 시정현천계 관측값을 비교·검토한 결과에 따르면 [표 46]과 같이 맑음을 제외하고 강수현상(눈·비)이나 시정장애현상(안개·박무·연무)이 발생하였을 때 일부 관측소를 제외하고는 목측값과 관측값의 일치율이 낮은 것으로 나타났으며, 기상청이 유인관

측소에 설치된 @@ 제품을 기준으로 하여 위 4개 장비의 현천 관측값(관측기간: 2016. 1. 5.~5. 31.)의 일치율을 비교한 결과에서도 [표 47]과 같이 맑음의 경우만 일치율이 94.7~99.1%로 높고 나머지 시정장애현상(안개·박무·연무) 등 일기현상에 대해서는 일치율이 낮아 현천 관측의 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다.

[표 46] 유인관측소 일기현상의 목측값과 시정현천계 관측값 간 일치율

(단위: %)

관측소별 제조사(모델명)	일기현상					
	현상 없음(맑음)	연무	박무	안개	비	눈
@@ (ㄹ)	74.1~99.3	0(10개소)~99.1	0(1개소)~100	48.5~100(1개소)	27.5~74.8	0(1개소)~76.3
\$\$ (ㄱ)	85.2~98.5	63.0~100(1개소)	0.8~25.4	46.2~93.3	59.6~77.2	21.7~64.0

주: 1. 21개 유인관측소에 설치된 시정현천계는 @@의 ㄹ(14개소)와 \$\$의 ㄱ(7개소) 두 종류로 관측소별로 목측값과 일치율을 산정하여 장비별로 일치율 범위 산출
 2. 유인관측소별 일치율 산정 시 각 일기현상에 대한 목측 횟수가 5회 미만인 경우 대상에서 제외
 자료: 기상청 제출자료

[표 47] @@ 제품의 현천 관측값 기준 관측장비 간 관측값의 일치율

(단위: %)

제조사(모델명)	일기현상					
	현상 없음(맑음)	연무	박무	안개	비	눈
\$\$ (ㄴ)	98.5	14.7	0	75.8	65.2	42.3
£ £ (ㄷ)	99.1	8.3	2.5	70.1	51.6	30.0
ㄷㄷ (ㅇ)	94.7	14.1	0.7	66.1	87.7	46.2

자료: 기상청 제출자료

그 결과 기상청은 2009년 안개특보 시범운영을 시작한 이후 [표 48]과 같이 정확도가 낮고(2015년 기준 23.9%) 발표 선행시간이 짧아(30분 정도) 2017년 4월 현재까지 정식 시행을 하지 못하고 있고, 목측과 비교해 장비 관측값의 정확도가 떨어져 현천의 관측 자동화도 지연되고 있어 예산만 낭비하고 있다.

[표 48] 안개특보(시범) 운영 결과

(단위: 개소, %, 분, 대)

연도	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
발표기준	시정거리 100m미만 1시간 이상 지속		시정거리 200m미만 1시간 이상 지속				시정거리 100m미만
발표구역 수	34	45	103	103	103	103	183
정확도	50.0	56.9	36.1	36.7	36.0	34.3	23.9
연도	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
선행시간	33	32	-	-	-	-	-
시정현천계 수량	25	105	135	160	182	238	261

주: 2011년부터 2015년까지 안개특보 선행시간의 평균값을 별도로 산출하지는 않았으나 2009년, 2010년과 비교하여 개선된 사항은 없음

자료: 기상청 제출자료

관계기관 의견 기상청과 한국기상산업진흥원은 감사결과를 받아들이면서 2017년 시정현천계 도입 계획은 중단하고 기 도입된 장비에 대해서는 성능 시험체계를 수립해 성능 검증 후 보완하는 방안을 마련하고, 향후 물품검사 시 계약서에 명시된 요구 성능을 만족하는지 여부를 철저히 확인하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① 시정현천계 성능 검정방법을 마련하고 성능 검정방법 적용 시까지 신규 장비 도입계획을 재검토하는 한편, 기존에 도입된 장비는 성능 검증 후 보완하는 방안을 마련하고(통보)
- ② 앞으로 물품검사 시 제작사 시험성적서로 성능 검증을 하는 경우 계약서에 명시

된 장비의 요구 성능을 만족하는지 여부를 확인할 수 없는데도 적합한 것으로 검사하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하며

③ 관련자들에게는 주의를 촉구하시기 바랍니다.(주의)

한국기상산업진흥원장은

① 앞으로 물품검사 시 제작사 시험성적서로 성능 검증을 하는 경우 계약서에 명시된 장비의 요구 성능을 만족하는지 여부를 확인할 수 없는데도 적합한 것으로 검사하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하고

② 관련자들에게는 주의를 촉구하시기 바랍니다.(주의)

나. 지진통보 분야

실 태

1) 지진조기경보의 신속성

기상청은 [그림 18]과 같이 지진조기분석 및 전용통보시스템 등으로 지진조기경보시스템을 구성·운영하고 있고, 관측소로부터 수집된 지진파(P파)의 파형, 도달 시간 등을 지진조기분석시스템을 통해 분석하여 진앙 위치와 지진 규모를 계산하고 그 결과 규모 5.0 이상의 지진이 예상되는 경우 자동으로 지진조기경보를 발령한다.

또한 기상청은 지진전용통보시스템을 통해 지진조기경보를 국민안전처 등 유관기관에 전달한다.

[그림 18] 지진조기경보시스템(기상청) 구성도



자료: 기상청 제출자료

기상청은 2015. 1. 22.부터 최초 지진파 탐지 후 50초 이내 지진조기경보를 발령하는 것을 목표로 지진조기경보시스템(1단계)을 운영하고 있고, 2016. 9. 12. 19시 44분 32초에 P파가 탐지된 경주 지진(전진)의 경우 19시 45분 03초에 지진조기경보가 발령되는 등 [표 49]와 같이 3회의 지진조기경보 발령에 평균 26.7초가 소요되었다.

[표 49] 지진조기경보 발령 현황

발생 지역	발생일	규모		시간 현황(시:분:초)			소요시간 (관측~발령)
		예측	실제	발생	최초 관측	조기경보	
울산 지진	2016. 7. 5.	5.0	5.0	20:33:03	20:33:14	20:33:41	27초
경주 지진(전진)	2016. 9. 12.	5.3	5.1	19:44:32	19:44:36	19:45:03	27초
경주 지진(본진)	2016. 9. 12.	5.9	5.8	20:32:54	20:32:57	20:33:23	26초
평균							26.7초

자료: 기상청 제출자료

한편 일본 기상청의 경우 지진의 규모⁸³⁾가 아닌 진도⁸⁴⁾를 기준으로 하여 예보(진도 3.0 이상 또는 규모 3.5 이상), 경보(진도 5약 이상), 특별경보(진도 6약 이상)의 3단계로 긴급지진속보를 발령한다.

일본에서 2016년에 발령된 7차례의 지진경보·특별경보는 [표 50]과 같이 평균 7.2초가 소요되어 우리나라의 26.7초에 비하여 20여 초 빠른 것으로 나타났다.

83) 규모는 진원지에서 지진의 크기를 의미하며, 하나의 지진에는 하나의 규모만 있음

84) 진도는 해당 지역에서 느끼는 흔들림의 정도를 의미하며, 하나의 지진이라도 측정하는 장소에 따라 진도는 다르게 나타남. 우리나라의 진도 체계(MMI, Modified Mercali Intensity)는 12등급, 일본(JMA, Japan Meteorological Agency)의 경우 10등급임

< 한국과 일본의 진도체계 비교 >

한국	MMI (12등급)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
일본	JMA (10등급)	0	1	2	3	4	5약	5강	6약	6강	7		

자료: 기상청 제출자료

[표 50] 일본 긴급지진속보(경보·특별경보) 발표 현황

발생일	최대 진도		시간 현황(시:분:초)			소요시간(관측~발령)
	예측	실제	지진 발생	최초 관측	경보발령	
2016. 1. 14.	5강	5약	12:14:33	12:25:42	12:25:46	4초
2016. 4. 16.	6약	6약	01:45:55	01:46:01	01:46:11	10초
	5약	6강	03:55:53	03:55:58	03:56:01	3초
	5약	6약	09:48:32	09:48:38	09:48:43	5초
	5약	4	14:27:04	14:27:06	14:27:10	4초
2016. 4. 19.	5약	5강	17:52:14	17:52:42	17:52:50	8초
2016. 11. 22.	5약	5약	05:59:47	05:59:58	06:00:15	17초
평균						7.2초

자료: 기상청 제출자료

2) 대국민 전달체계의 신속성 및 효과성

기상청의 지진전용통보시스템은 [그림 19]와 같이 미래창조과학부의 재난방송 온라인시스템(지진자동자막송출시스템)과 연계되어 있고, 10개 주요 방송사⁸⁵⁾에 지진조기경보가 자동으로 전달되어 바로 TV 자막방송을 할 수 있도록 되어 있다.

[그림 19] 재난방송온라인시스템 구성도



자료: 방송통신위원회 제출자료

85) ○○, ●●, ○●, ●●, ●●, ●●, ★★, ☆☆, ☎☎, ☎☎, ☎☎

그런데 2016. 9. 12. 경주 지진(전진) 당시 [표 51]과 같이 지진 발생(19시 44분 32초) 후 S파 도착 시까지 부산 23초, 서울 1분 15초 등이 소요되었으나, 10개 방송사의 지진조기경보 TV 자막방송은 지진 발생 이후 최소 3분에서 최대 19분이 소요되어 국민에게 지진조기경보 전달이 지연되었다.

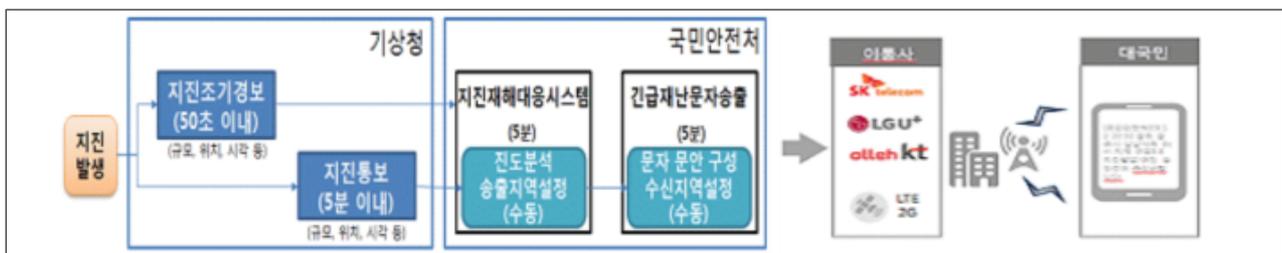
[표 51] 경주 지진 주요 도시 도착 현황

주요 도시	전진 2016. 9. 12. 19:44:32		본진 2016. 9. 12. 20:32:54	
	P파 도착(소요시간)	S파 도착(소요시간)	P파 도착(소요시간)	S파 도착(소요시간)
울산	19:44:36(4초)	19:44:38(6초)	20:32:57(3초)	20:32:59(5초)
부산	19:44:46(14초)	19:44:55(23초)	20:33:07(13초)	20:33:17(23초)
서울	19:45:13(41초)	19:45:47(75초)	20:33:36(42초)	20:34:12(78초)
제주	19:45:23(51초)	19:46:03(91초)	20:33:45(51초)	20:34:26(92초)

자료: 기상청 제출자료

또한 경주 지진 당시 지진조기경보는 [그림 20]과 같이 국민안전처의 지진재해 대응시스템[긴급재난문자 송출시스템(CBS: Cell Broadcasting System)]을 통해 휴대전화 긴급재난문자로 발송되었는데, 지진조기경보시스템에서 지진조기경보를 발송한 이후 국민안전처 내부 지진재해 대응시스템의 문자 발송 대상지역(시·군·구) 선정 및 문서 작성(5분), 긴급재난문자 송출시스템의 문자 송출(5분) 등으로 긴급재난문자도 10분 이상 지연 발송되었다.⁸⁶⁾

[그림 20] 경주 지진 당시 긴급재난문자송출시스템 구성도



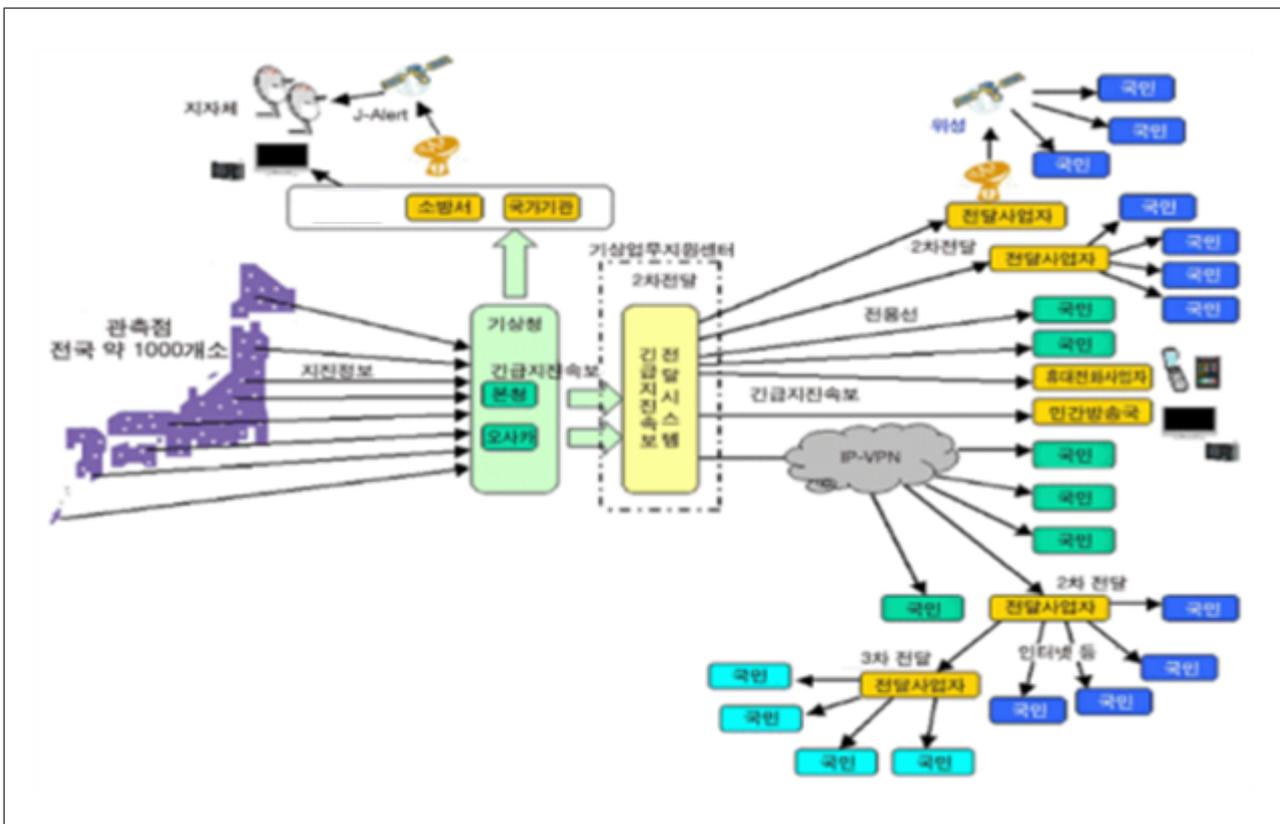
자료: 기상청 제출자료

86) 감사원은 “국민안전처 기관운영감사”를 실시하고 긴급재난문자 발송업무 개선방안을 마련하도록 국민안전처에 2017. 3. 7. 통보하였음

한편 일본의 긴급지진속보 전달 체계는 [그림 21]과 같으며, 일본 ●● 방송사의 경우 2007. 10. 1.부터 운영 중인 긴급지진속보전달 시스템(EEWS, Earthquake Early Warning System)을 통해 긴급지진속보가 전달되면 경고음과 함께 화면 하단에 지진 발생 예상지역 지도와 강한 지진 경고 문구, 발생 예상 지역명 등을 자막으로 즉시 방송하고 있다.

●● 방송사의 모든 전달 시스템은 자동화 되어 있어 기상청으로부터 받은 최초 정보는 1초 만에 방송이 가능하도록 시스템이 구축된 반면, 우리나라의 지진자동자막송출시스템은 보도국 등의 승인을 거쳐 지진조기경보 TV자막이 방송되도록 구축되어 있다.

[그림 21] 일본의 긴급지진속보 전달 체계



자료: 기상청 제출자료

3) 경주 지진 이후 정부의 대책

정부는 경주 지진 대응과정에서 드러난 긴급재난문자 발송 지연, 국민행동요령 홍보 미흡, 지진 연구 부족 등에 대한 해결책을 마련하기 위해 2016. 12. 16. 국민안전처, 기상청, 방송통신위원회 등 관계부처 합동으로 [표 52]와 같이 4개 목표, 10개 중점 개선분야 및 109개 분야별 세부대책이 포함된 “지진방재 종합대책”을 수립·발표하였다.

한편 기상청은 2016. 12. 16. [표 53]와 같이 대국민 진도서비스 실시 등 10개 중점 개선분야 109개 분야별 세부대책 중 3개 개선분야 9개 세부대책에 대한 “지진방재 종합개선대책 세부계획”을 수립·발표하였다.

[표 52] 범정부 지진방재 종합대책 주요 내용

4개 목표	10대 중점 개선분야	109개 세부대책
지진조기경보 및 국민안전교육 강화	1. 실시간 지진 알림 서비스 제공	▪ 지진 긴급재난문자 기상청 직접 발송 등 18개
	2. 국민행동요령 전파 및 교육·훈련 확대	▪ 국민 지진행동요령 제작·배포 등 13개
	3. 지진 대피시설 및 구조체계 개선	▪ 임시주거시설 등 지진대피소 지정 및 운영 등 8개
내진 대상 확대 및 내진보강 강화	4. 내진설계 의무대상 확대 및 기준 향상	▪ 건축물 내진설계 의무대상 확대 등 9개
	5. 공공시설 조기 및 내진보강 및 안전관리 강화	▪ 기존 공공시설물 내진보강사업 활성화 추진 등 28개
	6. 민간시설 내진보강 및 자기책임 강화	▪ 기존 민간건축물 내진보강 활성화 등 6개
지진연구 및 민관 협력 확대	7. 단층조사 및 지진연구 확대	▪ 활성단층 조사·연구 강화 등 8개
	8. 민관협력 및 국제교류 확대	▪ 지진 민간전문가 자문단 구성 등 3개
지진 대응 역량 강화	9. 지진 매뉴얼 및 과학적 대응체계 개선	▪ 지진대비 매뉴얼 점검 및 개선 등 11개
	10. 지진대응 인력 및 예산 확대	▪ 지진방재분야 전문인력 양성 등 5개

자료: 기상청 제출자료

기상청은 “지진방재 종합개선대책 세부계획”에 따라 실시간 지진알림 서비스를 제공하기 위하여 기존에 국민안전처가 발송하던 지진조기경보 긴급재난문자를 직접 발송하기로 하고 국민안전처의 시스템과는 별도로 기상청에 긴급재난문자 시스템 구축을 추진 중이며, 당초 “지진 및 지진해일 관측망 종합계획”(2010년 7월)에서 2020년까지 계획된 지진관측망 확충을 2018년까지로 2년 단축하여 108개 지진관측소 확충을 추진하고 있다.

[표 53] 기상청의 “지진방재 종합개선대책 세부계획” 주요 내용

3대 개선분야	9개 세부대책	진행상황(2017. 3. 31. 기준)
실시간 지진 알림 서비스 제공	계기진도 정보서비스 기반 구축	▪ 대국민 진도서비스 실시 예정(2018년 1월)
	국가 지진자료 공동활용 기반 조성	▪ 국민안전처 지진 가속도 계측자료 공유(2017. 2. 3.) ▪ 유관기관 자료를 이용한 진도정보시험 산출 예정(2017년 11월)
	지진 긴급재난문자 기상청 직접 발송	▪ 기상청 긴급재난문자 송출시스템 구축 예정(2017년 11월)
	지진조기경보시스템 2단계 구축	▪ 지진조기경보 구축(2단계)사업 조달공고(2017. 3. 14.~31.)
	지진 재난정보 대국민 전파체계 구축	▪ 부산광역시와 시스템 연계를 위한 업무협약(2017. 2. 6.) ▪ 라디오 방송 관련기관 협의 및 전달기반 마련 예정(2017년 11월)
	지진관측망 확충 및 개선	▪ 지진관측소 108개소 확대 예정(2018년 12월까지)
	국가 지진관측 장비·자료 통합관리	▪ 지진관측망 관측정보 현행화 예정(2017년 7월)
국민행동요령 전파 및 교육·훈련 확대	지진 관련 교육·홍보	▪ 대국민 지진 관련 교육 사업 추진 예정(2017. 3. 27.~12. 15.)
단층조사 및 지진연구 확대	활성단층 조사·연구 강화	▪ 법무처 단층조사 연구참여를 위한 기획연구(2017. 3. 2.~5. 2.)

자료: 기상청 제출자료

문제점

나-1) 경보 발령 기준 분야

- 불필요한 지진조기경보 발령조건(지진탐지 20초 지속 등) 설정
 - 국내에 영향을 미칠 수 있는 지진발생 구역(대마도 등)을 지진조기경보 구역에서 제외
 - 지진해일 특보 기준을 너무 높게 정하거나 발령시간을 길게 설정
- ⇒ 지진조기경보 및 지진해일 특보가 지연되거나 발령되지 않아 지진재해 대응에 차질 우려

나-1)-1 지진조기경보 발령 및 지진해일특보 발표 조건 부적정

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」(이하 “지진관측법”이라 한다) 제12조 및 제14조 등에 따라 지진·지진해일·화산에 대한 관측 결과를 관계기관과 국민에게 알리고 있고, 일정 규모 이상의 지진, 지진해일에 대하여는 지진조기경보 발령 및 지진해일특보 발표 업무를 수행하고 있다.

기상청은 2005년 7월부터 추정 지진규모 3.5 이상의 내륙지진 또는 4.0 이상의 해역지진에 대하여 지진 관측 후 2분 이내 지진속보를 발표하는 지진통보시스템을 운영하였으나 지진 발생 후 2분이 지나면 지진파 중 피해를 유발하는 S파(Secondary wave, 속도 약 3km/s)는 약 360km를 이동하여 남한지역을 대부분 통과하므로 지진 정보를 제공할 뿐 긴급 피난 등 효과적인 초기 대응을 하는 데 도움을 주기 어려웠다.

이에 따라 기상청은 2009년 8월 “지진조기경보체계 구축 중심의 국가지진 대응체계 고도화 기본계획”을 마련하고, 2011년부터 지진조기경보시스템(지진조기분석·

통보시스템 통합 구축) 1단계 개발을 시작하여 2015년 1월 완료하였다.

또한 2004년 12월 수마트라 지진해일로 23만여 명의 희생자가 발생하는 등으로 지진해일에 대한 전 국민의 관심이 고조됨에 따라 신속·정확한 지진해일 조기경보시스템 구축의 필요성이 제기되자 기상청은 2007년 한반도 주변 전 해역에 대한 통합 지진해일 시나리오 DB를 구축하여 지진통보시스템과 연계하였다.

이에 따라 한반도 주변 해역에서 대규모 지진이 발생하면 지진통보시스템의 지진 규모·발생위치를 바탕으로 지진해일 시나리오 DB를 검색하여 주요 해안 지역의 지진해일 예상 도착시각과 해일파고를 산출·통보할 수 있게 되었다.

(1) 지진조기경보 발령 조건 설정 부적정

지진관측법 제14조, 같은 법 시행령 제6조, 같은 법 시행규칙 제6조의 규정에 따르면 기상청장은 규모 5.0 이상으로 예상되는 지진이 국내에서 발생하거나 국외에서 발생하였으나 국내에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우 지진이 관측된 후 분석된 결과를 종합하여 즉시 지진조기경보를 발령하도록 되어 있다.

한편 지진조기경보는 대규모 지진 발생 시 먼저 탐지되는 P파(Primary wave, 속도 약 6km/s)와 S파의 전파 속도 차이를 이용하여 P파 도달 즉시 자동분석시스템으로 지진정보(규모·발생위치)를 분석·계산하여 일정 규모 이상으로 예상되면 바로 조기경보를 발령함으로써 S파가 도달하기 전 대피 골든타임 확보, 화재 방지 조치 등을 통해 피해를 최소화하는 것이 목적이다.

그리고 외국 사례를 살펴보면 일본, 대만을 비롯하여 지진조기경보제도를 운영 또는 구축 중인 나라는 대체로 지진조기경보 발표 시 최소 2~6개 이상의 지진관측

소 자료를 사용하는 것으로 운영 또는 추진함으로써 조기경보의 신속성을 중시하고 있는 것으로 보인다.

특히, 일본은 진도를 기준으로 긴급지진속보(경보)⁸⁷⁾ 제도를 운영하면서 최소 2개 이상의 관측소 자료를 사용하여 예측 최대진도 5약 이상으로 분석되면 즉시 긴급지진속보(경보)를 발표하고 있고, 일본 기상청 자료를 분석하면 긴급지진속보(경보)를 발령하였으나 신속한 긴급지진속보(경보)를 하는 과정에서 분석 오류 등으로 실제 발표조건에 해당하지 아니한 비율이 2012~2016년 기준 30%⁸⁸⁾ 정도 되는 것으로 나타났다.

따라서 지진조기경보의 발령조건 설정 시 강진(규모 5.0 이상)이 예상되었을 때 신속하게 지진정보(규모·발생위치)를 전파하여 사전대비를 가능하게 하기 위한 조기경보의 목적에 맞도록 발령조건을 설정함으로써 경보의 적시성이 상실되지 않도록 하여야 하고, 지진조기경보시스템 운영 중에도 그 적정성에 대한 모니터링을 실시하여 지진예측의 정확도 향상에 도움이 되지 않으면서 발령시간을 지연시키는 불필요한 발령조건 등을 조정하는 방안을 마련·시행할 필요가 있다.

그런데 기상청은 2015년 1월 “지진조기경보 운영 계획”을 수립하면서 지진정보 전달의 신속성보다 정보의 안정성을 확보하고 오보를 줄인다는 사유로 조기경보 발령조건을 최소 15개 지진관측소가 최소 20번 이상 P파를 탐지해야 하는 조건뿐만

87) 일본은 2007년 10월부터 대국민 긴급지진속보(경보)를 하고 있고, 규정상 예측 최대진도 5약 이상의 긴급지진속보(경보)와 6약 이상의 긴급지진속보(특별경보)로 구분하고 있으나 현재 일반경보와 구분하여 별도의 특별경보를 발표하지는 않고 있음

88) 일본 기상청은 2012년 이후 최대진도 5약 이상으로 예측한 분석결과를 바탕으로 69건의 긴급지진속보(경보)를 발표하여 22건이 관측결과 발표기준에 도달하지 않았으며, 그 가운데 10건은 최대 진도 3 이하로 관측되었음

아니라 지진조기분석시스템의 최초 지진분석(3개 이상 관측소 P파 탐지) 후 20초 이상 이벤트⁸⁹⁾가 지속해야 하는 조건까지 추가하여 운영하고 있다.

이와 관련하여 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 20. 2015년 이후 지진조기경보시스템이 탐지·분석한 규모 3.5 이상의 156개 이벤트를 대상으로 지진조기경보 발령조건⁹⁰⁾의 변화에 따른 오보 가능성을 분석한 결과에 따르면 [표 54]와 같이 조기경보를 발령하기 위해 필요한 최소 지진관측소 수를 줄이면 오보 발생 가능 비율이 증가하나, 최소 관측소를 8개로 정하면 현재 기준인 15개 관측소 경우와 오보 발생 가능 비율(1.3%)이 동일한 등 최소 8개 관측소이상인 경우의 오보 발생 가능 비율은 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

[표 54] 최소 지진관측소 수에 따른 오보 발생 가능 비율 분석 현황

(단위: 개, 건, %)

조기경보 발령조건	조기경보 발령에 필요한 최소 관측소 수 ¹⁾												현재 발령조건 (20초 경과)
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
오보 미발생 ²⁾	140	144	145	151	154	153	153	153	153	153	154	154	155
오보 발생 가능 ²⁾	16	12	11	5	2	3	3	3	3	3	2	2	1
오보 발생 가능 비율	10.3	7.7	7.1	3.2	1.3	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.3	1.3	0.64

주: 1. 지진조기경보 발령에 필요한 최소 관측소 수(nS)를 각각 4~15로 설정하고 이를 충족할 때 실제 조기경보를 발령한 것으로 가정하고 분석하였음
 2. 오보 미발생은 지진조기경보시스템이 국내에서 발생한 지진을 정상적으로 국내지진으로 분석하거나 국외에서 발생한 지진을 국외지진 구분 필터에 의해 국외지진으로, 잡음을 지진이 아닌 것으로 정상적으로 분류·분석한 사항을 말하며, 오보 발생 가능은 국외지진을 국내지진으로 분석하거나 경주 여진을 정상적으로 분석하지 못한 사항을 말함
 자료: 기상청 제출자료

그리고 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 2015년 이후 발생한 규모 3.0 이상의 지진 33건을 대상으로 조기경보 발령조건을 다르게 설정할 때 지진의 규모·발생

89) 지진관측소의 탐지 및 지진조기분석시스템의 분석 대상이 되는 지진과 또는 잡음 등 다른 원인 때문에 발생한 진동
 90) 조기경보를 발령하기 위한 기준으로 설정하는 최소 이벤트 탐지 지진관측소의 수를 말하며, 4~15개로 분석함

위치(거리) 오차의 통계적 유의성을 각각 검증⁹¹⁾하고, 조기경보 발령에 소요되는 시간 차이를 비교한 결과에 따르면 [표 55]와 같이 발령조건을 최소 8개 관측소 이상으로 정하면 현재 발령조건과의 규모 및 거리 오차가 통계적으로 유의미하지 않다고 분석(신뢰도 95%)된 반면, 조기경보 발령에 소요되는 평균시간은 적게는 약 12초(관측소 15개 기준), 많게는 약 17초(관측소 8개 기준)까지 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

[표 55] 조기경보 발령조건 변화에 따른 지진분석 오차 및 소요시간 분석 현황

(단위: 개, km, 초)

조기경보 발령조건	조기경보 발령에 필요한 최소 관측소 수												현재 발령조건 (20초 경과)
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
규모 오차 평균	0.30	0.25	0.24	0.25	0.22	0.22	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.15
거리 오차 평균	8.43	5.86	5.94	6.66	6.06	7.04	5.30	5.89	5.41	5.34	5.19	4.99	5.81
평균 소요시간	12.93	13.48	14.16	14.77	15.32	15.81	16.46	17.75	17.92	18.98	19.76	20.43	32.26

주: 기상청 발표자료 대비 발령조건별 조건 달성 시 지진 규모와 발생위치(거리) 오차를 산정하고, 평균 소요시간은 조기분석 결과 지진발생 후 발령조건 도달 시까지의 시간을 산정하였음

자료: 기상청 제출자료

특히 2016년 7월부터 9월 사이에 지진조기경보가 발령된 규모 5.0 이상 지진 3건은 [표 56]과 같이 현재의 조기경보 발령조건에서 최초 지진분석 후 이벤트 20초 지속 조건만 제외하더라도 발령시간을 10~12초 정도 줄이는 것이 가능할뿐만 아니라 지진의 규모 오차는 오히려 줄어드는 것으로 분석되어 20초 지속 조건이 오차를 줄이는데 도움이 되지 않는 것으로 나타났다.

또한 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 경주 지진의 경우에서 조기경보 발령조건이 달라질 때 조기경보 발령시점의 S파 도달 범위를 분석한 결과에 따르면

91) 비교 대상인 두 집단 내 변화량을 고려해 두 집단 간 평균이 통계적으로 유의미하게 차이를 나타내는지를 이용하여 현재의 조기경보 발령조건을 적용할 때 지진의 규모·발생위치(진앙과의 거리) 오차와 다른 발령조건을 적용할 때 지진의 규모·발생위치(진앙과의 거리) 오차 간의 통계적 유의성을 유의수준 95%로 검증하였음

[그림 22]와 같이 발령조건을 최소 10개⁹²⁾ 관측소에서 지진이 탐지된 경우로 설정하면 조기경보 발령 시점에 S파는 37km를 이동하여 경산, 포항지역에 도달하나 현재의 발령조건에서는 조기경보 발령 시점에 S파가 85km를 이동하여 성주, 영덕지역까지 도달하는 것으로 나타나는 등 조기경보 발령조건을 엄격히 설정하여 경보 발령이 늦어질수록 발령 시점에 S파의 도달범위가 넓어지게 되어 지진피해 발생 가능 지역이 급격히 늘어나게 된다.

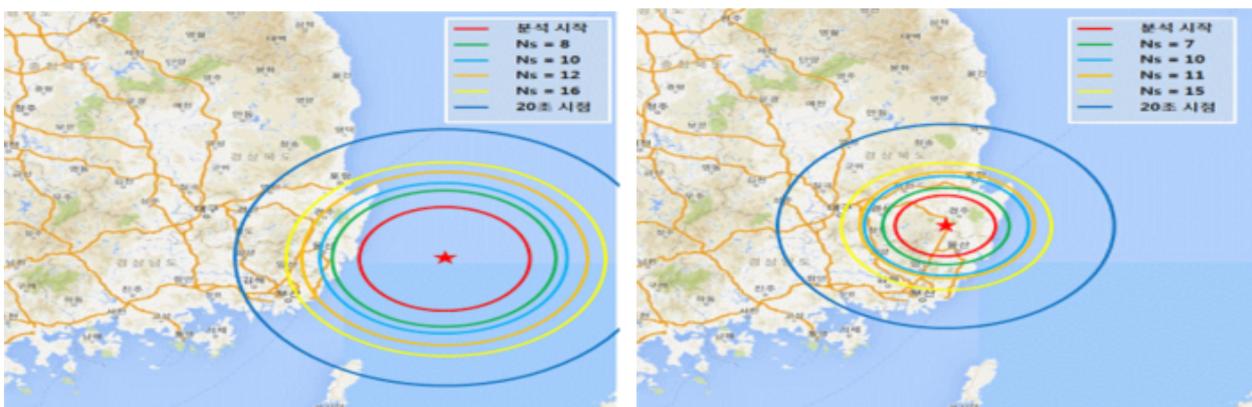
[표 56] 경주 지진 등의 조기경보 발령조건 도달 소요시간 및 오차 현황

(단위: 초, km)

지진 발생 구분	최초 분석 (소요시간)	15개 관측소 P파 20회 탐지			최초 분석 후 이벤트 20초 지속		
		조건 도달 (소요시간)	발생위치 오차	규모 오차	조건 도달 (소요시간)	발생위치 오차	규모 오차
2016. 7. 5. 울산해역 지진 (규모 5.0, 진원시 20:33:03)	20:33:20(17)	20:33:29(26)	12.95	0.02	20:33:40(37)	11.05	0.03
2016. 9. 12 경주 지진(전진) (규모 5.1, 진원시 19:44:32)	19:44:41(9)	19:44:49(17)	3.18	0.21	19:45:01(29)	4.40	0.24
2016. 9. 12 경주 지진(본진) (규모 5.8, 진원시 20:32:54)	20:33:02(8)	20:33:12(18)	0.45	0.05	20:33:22(28)	0.45	0.13

자료: 기상청 제출자료

[그림 22] 경주 지진 등 지진조기경보 발령조건 설정 차이에 따른 S파 도달 범위



(가) 울산 지진(규모 5.0)

(나) 경주 지진(규모 5.8)

주: 지진조기경보 발령조건(관측소 7~15개, 현재 발령조건) 변화에 따른 지진발생 후 아래 표의 관측소 수만큼의 분석조건 도달에 소요되는 시간과 그 시간 동안 S파가 도달할 것으로 예상되는 범위를 원으로 표시함

92) 경주 지진 당시 지진조기경보시스템이 최초 7개 지진관측소의 지진 관측자료를 분석하는 동안에 지진 탐지 관측소가 10개로 증가하여 8~9개 관측소의 지진 관측자료로 분석한 결과는 없음

관측소수		3	7	8	10	11	12	15	16	최초 분석 후 20초 경과
울산지진	소요시간(초)	16.5	-	21.1	22.1	-	24.2	-	26	37.1
	S파 이동거리(km)	50	-	63	66	-	73	-	78	111
경주지진 (본진)	소요시간(초)	-	10.4	-	12.4	12.9	-	17.7	-	28.4
	S파 이동거리(km)	-	31.2	-	37.2	38.7	-	53.1	-	85.2

자료: 기상청 제출자료

그 결과 현재의 조기경보 발령조건에서는 대규모 지진 발생 시 조기경보 발령이 지연됨으로써 조기경보의 목적인 지진 피해에 대한 사전대비가 어려워 지진조기경보시스템 운영의 실효성을 확보하지 못할 우려가 있다.

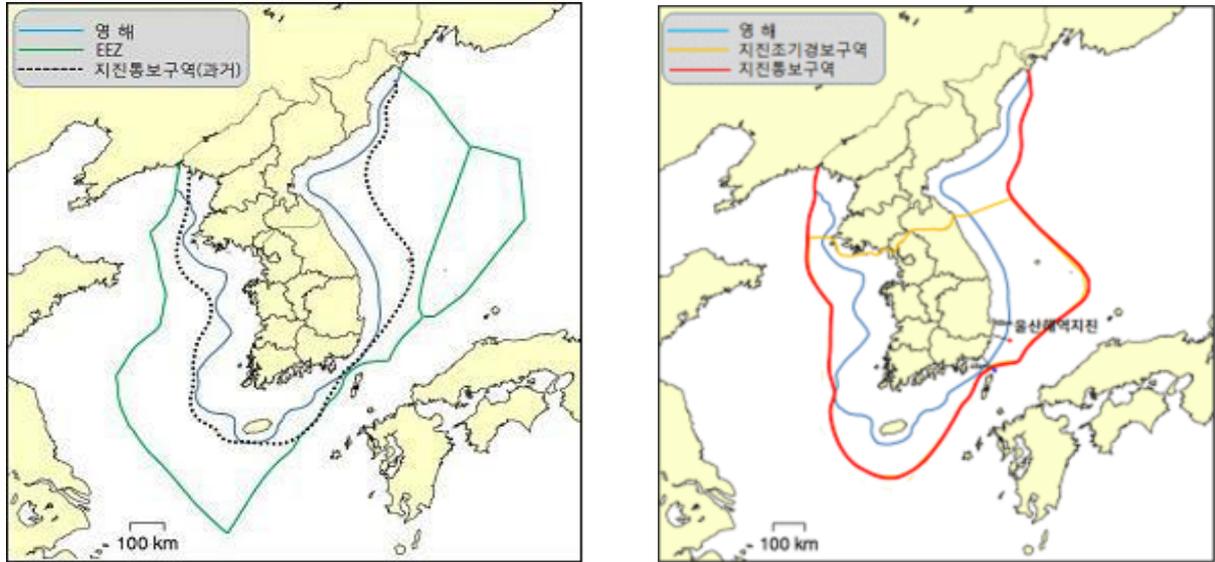
(2) 지진조기경보구역 설정 부적정

구 「지진업무규정」(2017. 3. 23. 기상청 훈령 제868호로 개정되기 전의 것) 제3조의 규정에 따르면 지진조기경보의 통보시간과 국내 대상구역 등에 관한 세부사항은 “국가지진화산센터 운영매뉴얼”(이하 “지진매뉴얼”이라 한다)에서 정하도록 되어 있고, 「지진·화산재해대책법 시행령」 제6조에 따르면 국내 지진은 우리나라 영토 및 영해에서 발생한 지진으로 규정되어 있다.

한편 기상청은 1999년 지진자동분석시스템을 도입할 때 지진통보구역을 정하면서 [그림 23]의 (가)와 같이 우리나라 영해와 배타적경제수역 경계를 기준으로 개략적으로 설정·운영하다 2014년 3월 [그림 23]의 (나)와 같이 기존의 지진통보구역에 독도 주변 지역 등⁹³⁾을 일부 추가하여 현재까지 운영하고 있고, 2015년 1월 지진관측법에 따른 지진조기경보시스템을 운영하면서 지진통보구역에서 북한지역을 제외한 나머지 지역을 지진조기경보구역으로 설정하였다.

93) 규모 2.0 이상의 지진에 대해 신뢰성있게 탐지 가능한 영역을 고려하여 제주도 남쪽 바다 일부와 서해안 일부 지역을 추가하고, 영토 문제를 고려하여 독도 주변 영해를 추가하였음

[그림 23] 지진통보 구역 및 지진조기경보 구역



(가) 과거 지진통보구역(1999~2014. 3.)

(나) 현재 지진통보구역 및 지진조기경보구역

자료: 기상청 제출자료

그런데 [그림 24]의 (가)와 같이 우리나라에서 지진 관측을 시작한 1978년 이후 한반도 주변에서 발생한 규모 3.5 이상 지진 136건 중 1/4 이상인 36건⁹⁴⁾이 북한지역이나 쓰시마섬 인근 해역에서 발생하였고, 이들 지역에는 추가령-예성강 단층대, 쓰시마 단층대 등 많은 지진단층이 분포하고 있어 향후에도 큰 규모의 지진이 발생할 가능성을 배제할 수 없다.

이와 관련하여 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 지진조기경보구역 밖에 있는 북한지역과 쓰시마 섬 인근 해역에서 지진조기경보 발령기준 이상의 지진이 발생할 때 지진의 규모와 발생위치에 따라 국내(남한지역)에 전달될 것으로 예상되는 진도⁹⁵⁾를 바탕으로 국내에 미치는 영향을 분석한 결과에 따르면 휴전선 인근에

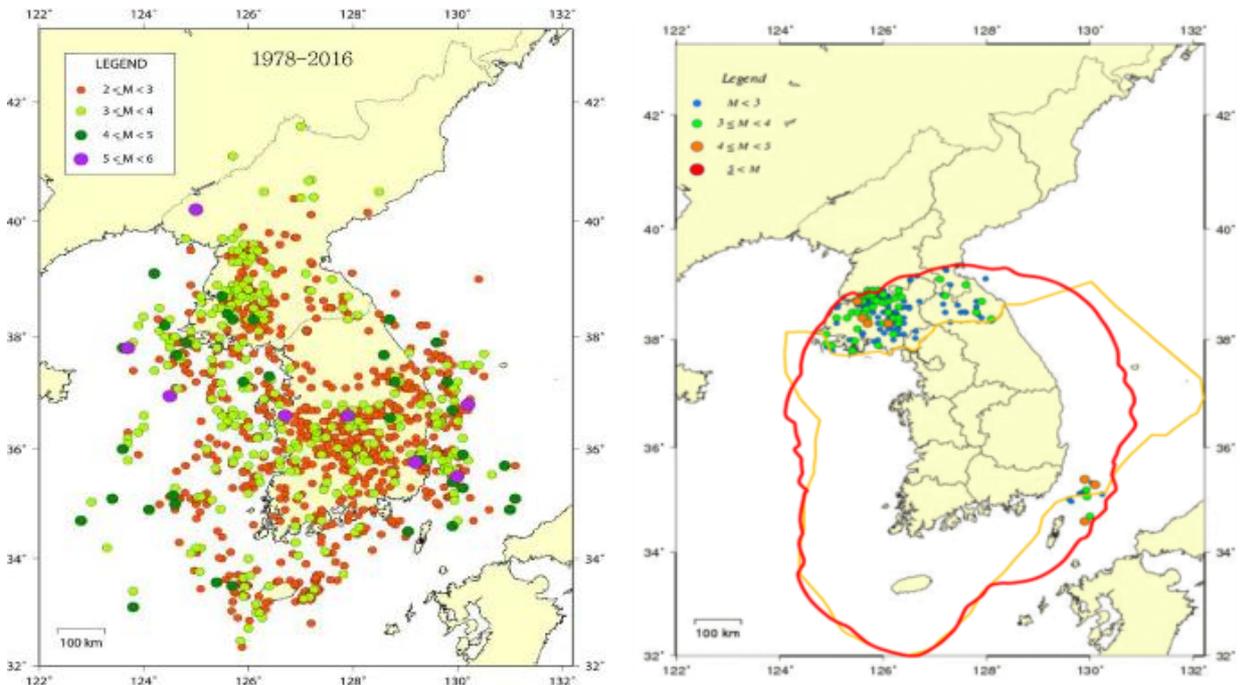
94) 규모 3.5 이상 지진 36건 중 북한지역에서 29건, 쓰시마섬 인근 해역에서 7건이 발생하였고, 규모 2.0 이상 지진의 경우에는 1,446건 중 북한지역에서 261건, 쓰시마섬 인근 해역에서 23건이 발생하였음

95) 워먼(Wurman)의 지진동감쇄식에 지진의 규모와 진앙과의 거리를 입력하여 수정메르칼리 진도 계급(MMI Scale)에 의한 진도를 산출하였음

서 규모 6.0의 지진이 발생하면 파주시(거리 11km)에 진도 9, 서울특별시(거리 37km)에 진도 6 이상의 진동이 전달되고, 규모 7.0의 지진이 발생하면 파주시에 진도 11, 서울시에 진도 8 이상의 진동이 전달될 것으로 예상⁹⁶⁾되는 등 [별표 6] “지진조기경보 구역 외 지진 발생 시 예상 진도 현황”과 같이 북한지역 및 쓰시마 섬 인근 해역에서 대규모 지진이 발생할 경우 수도권 지역과 부산·경남지역에 상당한 영향을 미칠 수 있을 것으로 나타났다.

그리고 [그림 24]의 (나)와 같이 해당 구역은 지진조기경보시스템에 의한 신뢰성 있는 지진조기분석이 가능한 구역에 해당된다.

[그림 24] 지진 발생 현황(1978~2016년) 및 지진조기분석 가능 구역



(가) 지진 발생 현황

(나) 규모 2.0 이상 지진조기분석 가능 구역

자료: 기상청 제출자료

96) 진도 6: 모든 사람이 진동을 감지, 7: 유리창이 깨지는 정도의 피해 발생, 8: 일부 건물 피해 발생, 9: 건물이 붕괴되는 등 심한 피해 발생, 10: 철로가 휘어지는 등 대규모 피해 발생, 11: 다리가 붕괴되고 지표면에 균열 발생

따라서 지진관측법에 따른 지진조기경보구역을 설정할 때 북한지역이나 쓰시마 섬 인근 해역 등 국외 지역에 대해서도 지진 규모와 발생위치에 따라 국내에 미치는 영향을 분석하여 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역의 범위를 정하고, 해당 지역에서의 지진 발생 가능성, 지진조기경보시스템의 조기분석 가능 범위 등을 종합적으로 고려하여 합리적으로 설정할 필요가 있다.

그런데 기상청은 2015년 1월 “지진조기경보 운영 계획”을 수립하면서 국외에서 발생한 지진이 국내에 미치는 영향 등을 분석하여 지진조기경보구역을 합리적으로 설정하지 않고, 기존의 지진통보구역에서 북한지역의 경우 인공지진이 탐지된다는 사유로 북한지역 전역을 제외한 채 지진조기경보 구역으로 설정하였으며, 같은 해 8월 해당 내용을 지진매뉴얼에 반영하여 현재까지 운영하고 있다.

그 결과 우리나라 해안에서 약 180~250km⁹⁷⁾ 멀리 떨어진 동해 및 서해 해역은 지진조기경보 구역에 포함되어 국내에 큰 영향이 없는데도⁹⁸⁾ 지진조기경보를 발령하고, 지리적으로 가까운 개성 등 휴전선 인근 지역과 쓰시마 섬 인근 해역은 지진조기경보 구역에서 제외되어 국내에 상당한 영향을 미칠 수 있는 지진이 발생하여도 지진조기경보를 발령할 수 없어 지진피해에 적절히 대비하지 못할 우려가 있다.

(3) 지진해일특보 발표업무 처리 부적정

기상청은 「지진화산 업무규정」 제14조 및 제16조에 따라 한반도 주변해역(21~45°N, 110~145°E)에서 규모 7.0 이상의 해저지진이 발생하여 우리나라 해안가

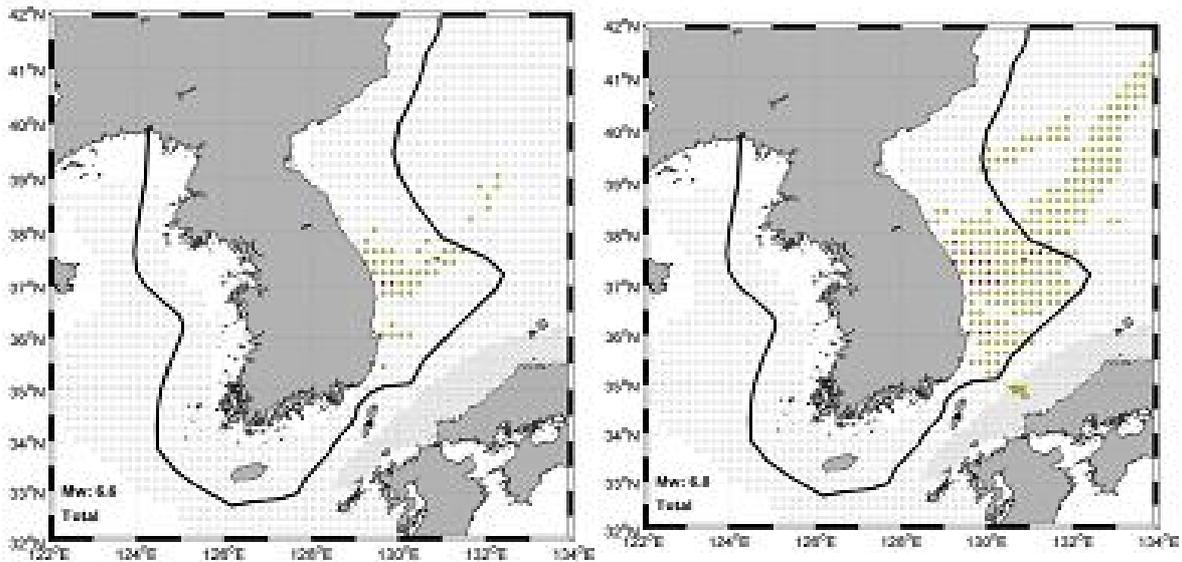
97) 동해 지진조기경보 구역 경계에서 내륙(울진)까지의 거리는 약 250km, 서해 지진조기경보 구역 경계에서 내륙(태안)까지의 거리는 약 180km임

98) 울진군에서 약 250km 떨어진 동해의 지진조기경보구역 경계에서 규모 6.0의 지진이 발생할 경우 내륙에 수정메르칼리 진도 계급(MMI Scale) 분류상 진도 II 이하의 영향이 있을 것으로 예상됨

에 지진해일 내습이 예상될 때 지진해일 예상 도착시각 및 해일높이, 해당 구역 등을 포함한 지진해일주의보(해일파고 0.5m 이상 1.0m 미만)와 지진해일경보(해일파고 1.0m 이상)를 각각 발표하고 있다.

이와 관련하여 기상청(지진화산연구과)이 2017. 4. 18. 지진해일 시나리오 DB를 활용하여 7.0 이하의 해역지진이 발생할 경우 지진해일 발생 가능성을 분석한 결과에 따르면 [그림 25]와 같이 지진해일특보 발표기준에 해당하는 지진해일이 발생하여 우리나라 해안가에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다.

[그림 25] 한반도 주변 해역의 규모 7.0미만 지진 발생 시 지진해일 발생 가능 구역



(가) 규모 6.6

(나) 규모 6.8

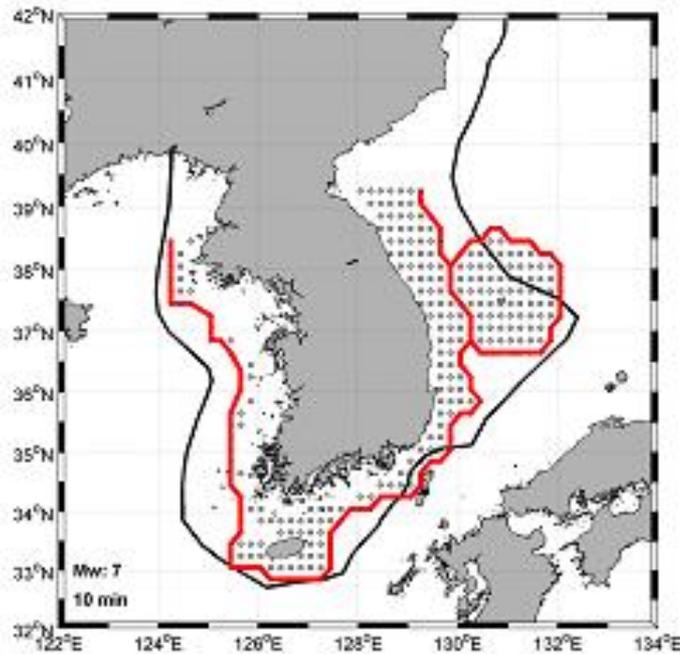
주: 노란색 점은 해안 주요지점 중 1개소 이상에 0.5m 이상의 지진해일을 일으킬 수 있는 지진의 발생 위치를 표시하였고, 빨간색 점은 해안 주요지점 중 1개소 이상에 1m 이상의 지진해일을 일으킬 수 있는 지진의 위치를 표시하였음
 자료: 기상청 제출자료

그리고 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 규모 7.0 이상의 해저지진 발생 시 우리나라 해안까지의 지진해일 예상 도달시각과 지진규모·발생위치에 따른 지진해일 크기를 분석한 결과에 따르면 [그림 26]과 같이 지진통보구역 내에서 발생한

해저지진으로 인한 지진해일은 대부분 10분 내에 우리나라 해안가에 도달하는 것으로 나타났다.

한편 일본의 경우 해역에서 지진이 발생할 경우 지진규모와 상관없이 예상 파고에 따라 지진 발생 후 2~3분 이내에 진파주의보(0.2~1m), 진파경보(1~3m), 대진파경보(3m 이상)를 발표하여 주민들의 신속한 대피 등이 이루어질 수 있도록 하고 있다.

[그림 26] 해저지진 발생 시 지진해일이 해안가에 10분 이내 도달하는 구역



주: 빨간색 선은 규모 7.0 이상 해역 지진 발생 시 10분 이내 우리나라 해안가에 지진해일이 도달할 수 있는 지진 발생구역이며, 검은색 선은 국내 지진통보구역임
 자료: 기상청 제출자료

따라서 한반도 주변 해역에서 해저지진이 발생하여 지진해일특보 발표기준 이상의 지진해일이 생길 것으로 예측되면 지진해일특보를 신속하게 발표할 수 있도록 지진해일 시나리오 DB와 지진조기경보시스템을 연계·운영하는 방안을 마련할 필요가 있다.

그런데 기상청은 지진조기경보시스템을 운영하기 시작한 이후에도 「지진화산 업무규정」에 지진해일특보 발표기준의 하나로 규모 7.0 이상의 해저지진이 발생할 것을 규정하고 있고, 지진해일 시나리오 DB를 지진조기경보시스템과 연계하여 운영하지 않고 지진조기경보를 발령한 다음 지진분석·통보, 지진정밀분석까지 끝나면 지진해일가능성을 검토하여 10분 이내 발표하도록 지진매뉴얼을 운영하고 있다.

실제 기상청은 2016년 6월 울산 인근 해역에서 규모 5.0의 지진이 발생하였을 때 지진발생 38초 후 지진조기경보를 발령하였으나 지진매뉴얼대로 지진분석·통보와 지진정밀분석을 실시하고 지진발생 후 6분이 경과한 다음에야 지진해일 가능성을 검토하였다.

만약 더 큰 규모의 해저지진이 발생하여 지진해일특보 발표기준을 넘는 지진해일이 발생하였으나 지진매뉴얼에 따라 업무처리를 하였다면 지진해일특보 발표가 지연되어 신속한 주민대피 곤란 등으로 큰 피해가 발생하였을 것으로 예상된다.

그 결과 대규모 지진해일이 발생할 경우 지진해일특보 발표 지연으로 인해 인명 피해가 우려되는 지역 주민의 긴급 대피 등에 필요한 사전대비 시간을 확보하지 못할 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 상세 분석 등을 통해 지진조기경보 발령조건을 개선하고 지진조기경보 발령 대상구역을 확대하며, 지진해일특보 발표를 위해 지진조기경보시스템과 지진해일 시나리오 DB의 연계를 추진하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① 지진조기경보시스템의 실효성을 확보할 수 있도록 지진조기경보 발령조건을 재설정하는 방안을 마련하고
- ② 국내에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되는 지진이 휴전선 인근 북한 지역이나 쓰시마 섬 인근 해역에서 발생할 경우 지진조기경보 발령이 가능하도록 지진조기경보 구역을 재설정하는 방안을 마련하는 한편
- ③ 지진규모에 관계없이 지진해일특보를 발표할 수 있도록 지진해일특보 발표기준을 재설정하고, 지진해일 시나리오 DB와 지진조기경보시스템을 연계하여 운영하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

나-2) 지진관측망 구축 분야

- 국가 통합 지진관측망 구축계획 수립 시 유관기관의 관측소를 제외하고, 신설 수요를 잘못 산정하여 국내 면적의 20%에서는 관측공백이 발생하는 반면, 특정 지역은 중복 설치
 - 지진관측 품질관리가 미흡하여 지진관측소의 미탐지율이 44%에 달함
 - 지진 관측장비의 성능검증 시험기준을 마련하지 않아 관측 신뢰도 저하
- ⇒ 지진관측 공백 및 품질저하로 지진조기경보가 지연됨에 따라 지진재해 대응 차질 우려

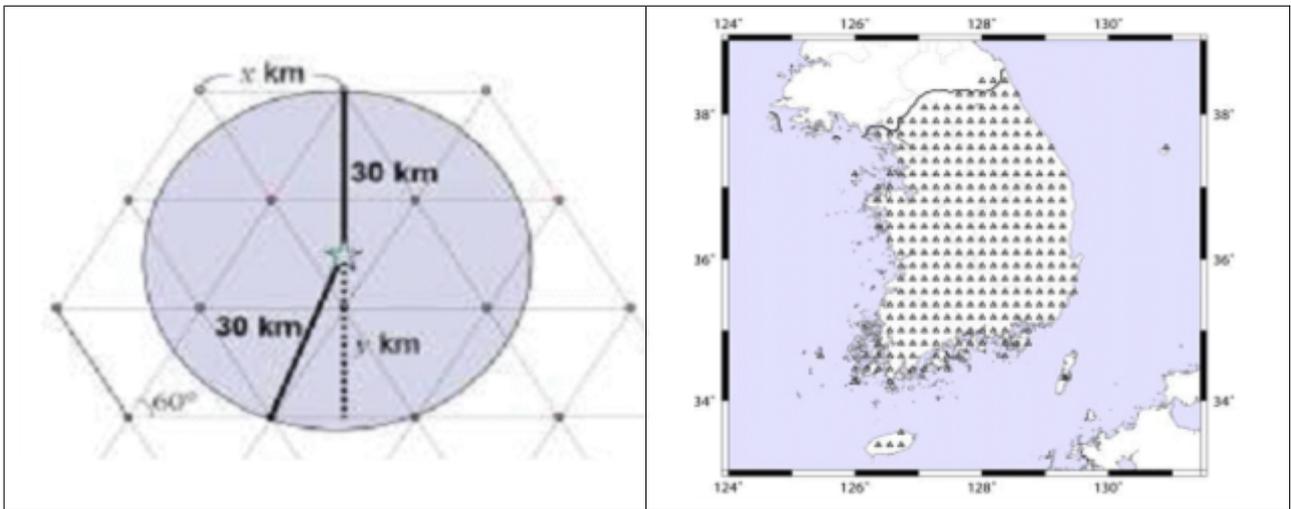
나-2)-1 국가 통합 지진관측망 구축계획 등 부적정

기상청은 「지진·화산재해대책법」 제5조의 규정에 따라 “지진 및 지진해일 관측망 종합계획”(이하 “관측망 종합계획”이라 한다)을 수립하고자 2009. 4. 22. 한국지질

자원연구원과 “국가 지진조기경보시스템 구축 설계 및 실시간 지진자료 공유기반 연구” 용역계약(계약금액 500백만 원)을 체결하였다.

그리고 위 용역결과에 따르면 지진관측(최소 6개 이상의 관측소에서 지진 감지)에 소요되는 시간을 5초 이내로 줄이기 위해서는 관측소 간 간격을 18~20km로 하여야 하고 이 경우 [그림 27]과 같이 격자망 형태로 구성된 총 314개의 관측소가 필요한 것으로 분석되어 있다.

[그림 27] 지진조기경보를 위한 지진관측망 구축 방안



주: 1. P파 속도를 6km/s로 가정 시 5초 이내 6개 관측소에서 지진을 감지하기 위해서는 반경 30km 안에 6개 이상의 관측소 필요
 2. 관측소간 이격거리(17.8km) = $\sqrt{\text{한반도면적}(99,393\text{km}^2) / \text{관측소수}(314\text{개소})}$

자료: 기상청 및 한국지질자원연구원

이에 따라 기상청은 2010년 7월 관측망 종합계획을 수립하면서 위 용역결과 등을 기초로 [표 57]과 같이 2010년 당시 운용 중이던 150개 지진관측소(기상청 110개소, 유관기관⁹⁹⁾ 40개소) 외에 164개소를 확충하여 총 314개(평균 이격거리 18km)의 국가 통합 지진관측망을 구축하는 것으로 계획을 수립하였다.

99) 「지진·화산재해대책법」 제9조의 규정에 따라 기상청이 설치·운영하고 있는 지진·지진해일 및 화산활동 관측기 관협의회 소속 기관으로 2016년 12월 기준 국립해양조사원, 한국가스공사, 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국원자력안전기술원, 한국전력공사 전력연구원, 한국지질자원연구원, 한국해양과학기술원, 한국수력원자력(주) 총 10개 기관

[표 57] 지진조기경보시스템에 활용 중인 지진관측소 현황

(단위: 개소)

구분	2010년 이전	신설										합계
		2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년 (계획)	2018년 (계획)	소계	
기상청	110	3	4	10	-	19	5(-1) ^주	6	54	54	154	164
유관기관	40	-	10	-	-	-	-	-	-	-	10	50
누계	150	154	167	177	177	196	200	206	260	314	164	314

주: 2015년 울릉도 해저지진계 1개소 폐쇄
 자료: 기상청

한편 2010년 당시 한국지질자원연구원 등 6개 유관기관은 [표 58]과 같이 92개 관측소를 운영하고 있고 「지진가속도계측기 설치 및 운영기준」(2016. 8. 8. 국민안전처고시 제2016-120호) 제9조에 주요 시설물 등이 위치한 자유장(건축물 등 일반적인 시설물이 없는 지표면)에 가속도계를 의무적으로 설치하도록 되어 있어 향후 유관기관의 관측소 수량은 지속적으로 증가할 것이 예상된다.

[표 58] 유관기관 자유장 지진관측소 현황(2010년 6월 기준)

(단위: 개소)

구분	속도계(가속도계 포함)				가속도계 (단독)	합계
	지표형		시추형	합계		
	광대역 관측소	단주기 관측소	광대역 관측소			
한국지질자원연구원	9	14	10	33	-	33
한국전력연구원	-	13	-	13	4	17
한국원자력안전기술원	4	-	-	4	-	4
한국수자원공사	-	-	-	-	32	32
한국가스공사	-	-	-	-	5	5
한국농어촌공사	-	-	-	-	1	1
합계	13	27	10	50	42	92

자료: 기상청 제출자료

그리고 관측망 종합계획에 따르면 신규 관측소 설치 시 관측공백이 발생하지 않도록 18km의 적정 이격거리(가속도계 센서¹⁰⁰⁾ 18km, 광대역 속도계 센서¹⁰¹⁾ 30km)를 유지하면서도 관측소가 편중되지 않도록 설치하되 인구 밀집지역, 지진 다발지역, 주요 시설물(원전, 가스 등) 설치 지역 등에 고밀도 관측망을 설치하도록 되어 있고 조밀도를 높이기 위한 방안으로 유관기관 관측소¹⁰²⁾의 관측자료를 공유·활용하도록 되어 있다.

또한 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」 제8조의 규정에 따르면 기상청장은 지진관측소를 설치·운영하는 기관의 지진관측 및 경보에 필요한 기술적·재정적 지원을 할 수 있으며 같은 법 시행령 제10조의 규정에 따르면 기상청장은 유관기관이 구축·운영하는 지진관측소의 관측환경에 대한 조사 및 지진 관련 정보와 기술의 교환에 대하여 협력하도록 되어 있다.

따라서 기상청은 관측망 종합계획을 수립할 때에 기상청 및 유관기관의 관측소를 활용하는 것을 전제로 기존에 설치된 관측소 간 이격거리 및 고밀도 관측망 설치 필요 지역을 고려하여 관측소 신설수요를 산출하고 품질미흡이나 장비이상 등의 사유로 유관기관의 관측자료를 활용할 수 없는 경우에는 환경개선 및 유지·보수 등 필요한 기술적·재정적 지원을 통해 관측자료의 품질을 확보하도록 하여 유관기관 관측소를 최대한 지진관측망에 포함·구축하여야 한다.

또한 신규 관측소 설치 예정지를 선정할 때에는 유관기관의 관측소 운영 현황

100) 지진 탐지 및 지역에서의 지진 세기를 측정하는 장비로 속도계에 비해 주파수 탐지 대역이 높아 강진동 지진 탐지에 적합
101) 광역시 단위 원거리 이상에서 발생한 지진파를 감지하여 기록하는 장비로 가속도계에 비해 센서가 민감하여 미소 지진 탐지에 적합
102) 각 기관은 연구목적용 또는 「지진가속도계측기 설치 및 운영기준」에 따라 지진관측소 운영

및 신설계획 등을 검토하여 지진계 센서 종류별 적정 이격거리를 확인하여 지진계 센서나 관측소 등을 중복으로 설치하지 않아야 한다.

(1) 관측망 종합계획 수립 부적정

기상청은 2010년 관측망 종합계획 수립 당시 직접 운영 중인 관측소 110개소 외에 6개 유관기관에서 92개 관측소를 운영하고 있는데도 3개 기관(한국지질자원연구원·한국전력공사 전력연구원·한국원자력안전기술원)에서 운영 중인 40개소만 조기 경보에 활용하는 것으로 계획하여 이미 운영 중인 관측소를 150개소로 확정하였고 신설이 필요한 관측소 수량을 산출하면서 위 150개 관측소의 이격거리 등을 검토하지 않은 채 단순히 우리나라 면적을 관측소간 목표 이격거리(18km)의 제곱으로 나누어 총 314개의 관측소가 필요하므로 기존 150개소를 제외한 164개소가 새로 필요한 것으로 산출하였다.

그리고 기상청은 위 164개소 중 10개소¹⁰³⁾를 제외한 나머지 154개소를 기상청에서 신설하는 것으로 계획하여 2010년부터 2016년까지 46개소를 설치하였고 2018년까지 나머지 108개소를 신설할 예정이다.

(가) 현 관측망 종합계획대로 구축 완료하는 경우 문제점

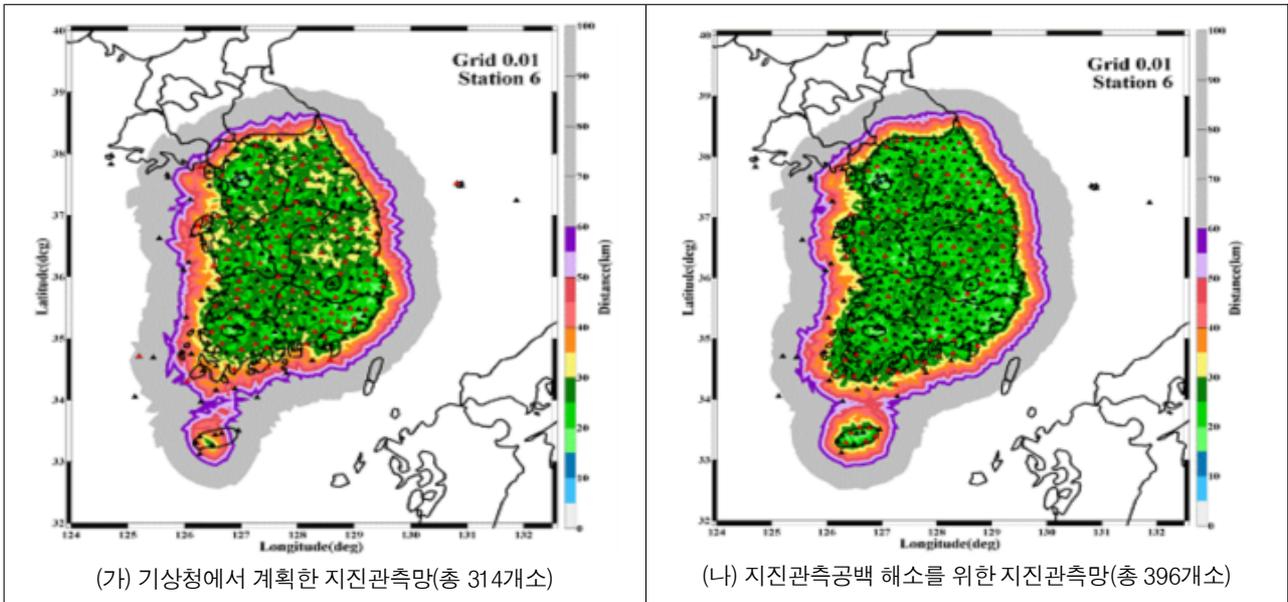
관측망 종합계획에서 산출한 신규 수요(108개소)는 적정 이격거리(18km)를 유지할 경우 관측공백을 해소할 수 있다는 가정 하에 산출되었으므로 특정 지역에 이보다 조밀하게 관측소를 설치할 경우 다른 지역에 관측공백이 발생하게 되는데도 기상청은 신규 수요에 대한 조정없이 지진다발지역 및 주요 시설물 설치지역 등에

103) 2011년 한국지질자원연구원의 관측자료 중 호완성 문제로 공유되지 못했던 관측자료를 다시 공유하여 신설수요에서 제외

18km보다 조밀하게 관측소를 설치하였거나 신설할 계획이다.

이에 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 21. 관측망 종합계획에 따라 관측망을 구축하는 경우의 조밀도를 분석한 결과에 따르면, 향후 2년간(2017~2018년) 108개소의 관측소를 신설하여 총 314개 관측소로 지진관측망을 구축을 완료하더라도 [그림 28] (가)와 같이 해안 및 일부 내륙지역(국내 면적의 약 20%)에서 지진관측 공백(목표 관측 소요시간 5초 대비 약 1초 지연)이 발생하고 이와 같은 관측공백을 해소하기 위해서는 [그림 28] (나)와 같이 108개소 외에 82개소(설치비: 147억여 원)가 추가로 필요(총 190개소)한 것으로 나타났다.

[그림 28] 지진관측망 조밀도 분석(기상청 원안)



주: 우리나라를 0.01도(약 1km) 단위 간격으로 격자를 만들고 각 격자로부터 반경 30km 이내 6개 이상의 관측소 거리를 계산하여 5km 간격으로 각각 다른 색깔로 구분하여 표시(30km 이내는 초록색)

자료: 기상청 제출자료

(나) 유관기관 관측소 미활용으로 인한 문제점

2017년 5월 수립한 관측망 종합계획 및 “지진방재 종합대책”(2016. 12.)에 따르

면 기상청은 유관기관에서 운영 중인 50개¹⁰⁴⁾ 관측소의 관측자료를 조기경보에 활용하고 있는데 이는 2011년 이후 단 한 개소도 추가로 공유·활용하지 않은 것으로 [표 59]와 같이 2016년 12월 현재 유관기관에서 운영 중인 290개 관측소의 약 17%, 향후 신설계획을 포함한 399개 관측소의 약 13%에 불과하고 미활용 기관 중 관측자료의 품질관리가 미흡할 것으로 추정되는 3개 기관(한국가스공사·한국농어촌공사·한국수자원공사)은 [그림 29]와 같이 배경잡음 및 장비이상¹⁰⁵⁾ 등으로 현 상태로는 다소 활용이 곤란하지만 관측환경(한국가스공사)¹⁰⁶⁾ 및 장비 상태(한국농어촌공사·한국수자원공사)¹⁰⁷⁾를 개선하게 되면 활용이 가능한 것으로 나타났다.

[표 59] 유관기관 자유장 지진관측소 현황(2016년 12월 기준)

(단위: 개소)

구분	속도계(가속도계 포함)				가속도계(단독)		합계
	지표형		시추형	합계	지표형	시추형	
	광대역 관측소	단주기 관측소	광대역 관측소				
한국가스공사	-	-	-	-	133(3)	1	134(3)
한국농어촌공사	-	-	-	-	-	19(53)	19(53)
한국수자원공사	-	-	-	-	33	18	51
한국원자력안전기술원	5(1)	-	-	5(1)	-	-	5(1)
한국전력공사 전력연구원	-	-	-	-	15(42)	-	15(42)
한국지질자원연구원	15	13	10(1)	38(1)	-	(7)	38(8)
한국수력원자력(주)	13	-	-	13	15(2)	-	28(2)
합계	33(1)	13	10(1)	56(2)	196(47)	38(60)	290(109)

주: 1. 국립해양조사원과 한국해양과학기술원은 관측기관협의회 소속이지만 지진 관측장비 미운영

2. 괄호 안은 2017년 이후 신설 예정 관측소 수

자료: 기상청 및 유관기관 제출자료

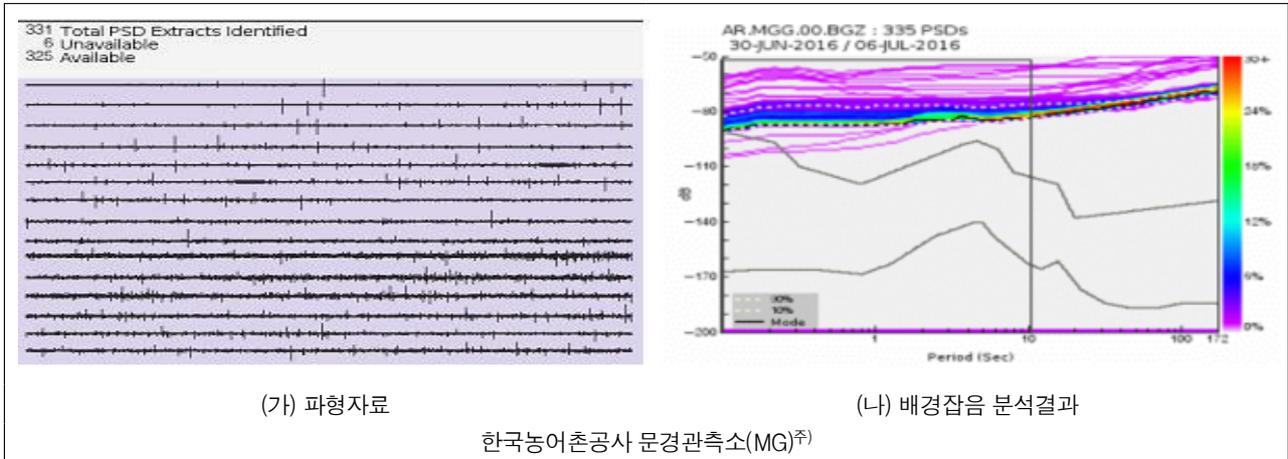
104) 한국지질자원연구원 36개소, 한국원자력안전기술원 10개소, 한국전력공사 전력연구원 4개소

105) 감사원 감사기간(2017. 3. 20. ~ 4. 21.) 중 PQLX(PASSCAL Quick Look eXtended) 프로그램을 이용하여 배경잡음 스펙트럼 분석(한국농어촌공사·한국수자원공사는 기상청, 한국가스공사는 한국지질자원연구원에서 분석 수행)

106) 자유장이 아닌 건물 바닥에 설치되어 있어 배경잡음 발생(2015년 제3차 관측기관 협의회)하고 있으나 장비 대부분(134개소 중 96개소)이 내용연수(9년)가 도래하여 교체 시 관측소 부지 변경으로 개선 가능

107) 장비 이상으로 보이는 과형이 발생하고 있어 장비 설치와 유지·보수 등에 대한 정보교류 및 기술적 지원 필요

[그림 29] 유관기관 지진관측소 관측환경 분석결과(사례)



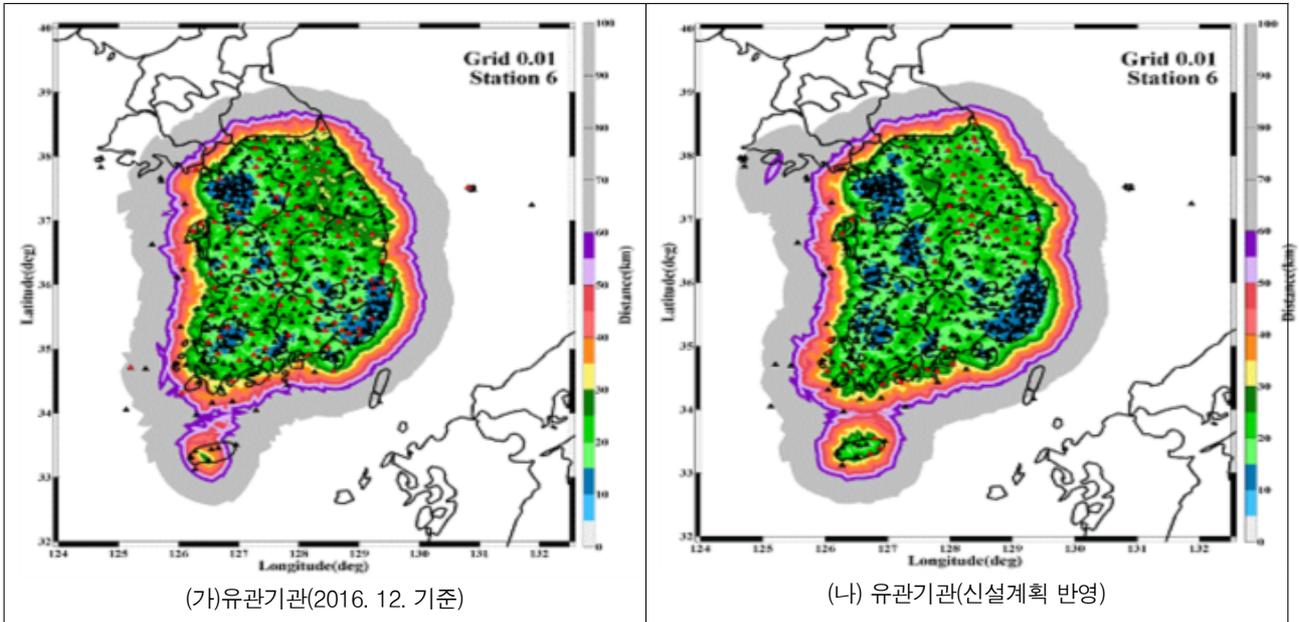
주: 문경관측소(한국농어촌공사): 파형자료를 보면 장비 연결상태 불량으로 추정되는 톱 현상(전기적 스파크) 발생
 자료: 기상청 및 유관기관 제출자료

그리고 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 미활용 중인 유관기관의 기존 관측소를 개선하여 활용하는 경우를 가정하여 관측망의 조밀도를 다시 분석한 결과에 따르면 [그림 30] (가)와 같이 인구밀집지역(서울·대전·광주·부산), 지진다발지역(양산단층대) 및 원자력발전소(월성·고리·영광·울진) 지역의 관측 조밀도가 개선되는 것으로 나타났고 향후 신설 예정인 관측소를 활용하는 경우에는 [그림 30] (나)와 같이 관측공백 해소를 위한 신규 관측소 설치수요가 190개소(관측공백 지역 추가설치 82개소 포함)에서 85개소(설치비: 153억여 원)가 줄어든 105개소¹⁰⁸⁾만 설치해도 되는 것으로 나타났다.

또한 유관기관의 관측소를 지진조기경보에 활용할 경우 [표 60]과 같이 기상청에서 수립한 관측망 종합계획(관측소 수: 314개소, 평균이격거리: 17.8km, 관측소요시간 5.0초)에 비하여 평균 이격거리가 12.4km로 조밀도가 크게 높아져 관측소요시간이 1.6초가 줄어든 3.4초까지 단축되는 것으로 나타났다.

108) 유관기관의 운영·신설예정 관측소는 주요 시설물이 위치한 지역에 설치하도록 되어 있어 지역적으로 편중되어 있으며 이에 따라 전국적인 관측공백 해소보다는 해당 지역의 관측망 조밀도 증가에 더 효과적

[그림 30] 지진관측망 조밀도 분석(유관기관 관측자료 활용)



자료: 기상청 제출자료

[표 60] 지진관측망 분석결과별 기대효과

(단위: 개소, km, 초, %)

구분	구분	관측소 수	평균 이격거리	관측 소요시간	분포면적
항	대상지점				
[그림 28] (가)	관측망 종합계획(기상청 264개소 + 유관기관 50개소)	314	17.8	5.0	80
[그림 28] (나)	관측망 종합계획(314개소) + 관측공백 해소 추가 소요(82개소)	396	15.9	4.4	100
[그림 30] (가)	관측망 종합계획(314개소) + 유관기관 운영 중인 관측소(240개소)	554	13.5	3.8	94.3
[그림 30] (나)	관측망 종합계획 -3(311개소) + 유관기관 운영 및 신설 관측소(349개소)	660	12.4	3.4	99.4

주: 관측망 종합계획에는 유관기관 관측소 50개소 포함

자료: 기상청 제출자료

(2) 지진관측소 중복 설치

기상청은 “2017년도 국가 지진관측망 확충 및 교체 사업 추진 계획”을 수립하면서 기상청이 운영하는 관측소 간 이격거리만 조사하고 유관기관 관측소(운영 또는 신설 예정)와의 이격거리는 고려하지 않은 채 54개소(소요예산 123억여 원)를 18km 간격으로 설치할 예정이다.

이에 따라 기상청(지진화산정책과)이 2017. 4. 21. 신설 관측소의 중복 설치 여부를 알아보기 위해 신설 예정지로부터 반경 10km¹⁰⁹⁾(광대역 속도계는 30km) 이내 유관기관의 관측소 설치·운영 실태를 분석한 결과에 따르면 [표 61] 및 [별표 7] “2017년도 지진관측소 신설 예정지 중복 현황”과 같이 총 31개 관측소(광대역 속도계 3개소 포함)가 인근에 운영 중이거나 신설 예정이고 경주 지진 이후 고밀도 관측망을 구축하기로 한 양산단층대의 경우에도 신설 예정인 20개소 중 12개소는 10km 이내에 2개 이상의 관측소가 있으며 일부 관측소(단장, 장기, 황성)는 인접관측소와 이격거리가 1km에 불과한 등 지진관측에 필요한 적정이격거리에 비해 관측소를 중복 설치할 계획인 것으로 나타났다.

[표 61] 2017년도 지진관측소 신설예정지 중복 현황

(단위: 개소, 백만원)

구분	수량	단가	사업금액 ^{주)}	비고
가속도계 인접설치	28	150	4,200	전력연구원(6), 한국수력원자력(주)(5), 한국가스공사(16), 한국농어촌공사(2), 수자원공사(7), 한국지질자원연구원(8)
광대역 속도계 인접설치	3	300	900	기상청(1), 한국지질자원연구원(2)

주: '원가계산보고서 - 2017년도 지진 관측장비 구매·설치 사업'(대학고산학협력단경제연구소)을 근거로 산정
자료: 기상청 제출자료

그 결과 유관기관의 관측소를 조기경보에 활용할 경우 추가적인 관측소 설치없이도 관측공백이 해소되고 조밀도도 개선되나, “(1)항” 또는 “(2)항”과 같이 관측망 종합계획대로 유관기관 관측소를 활용하지 않고 지진관측망을 구축하는 경우 관측공백 발생으로 지진조기경보 발령이 지연될 우려가 있으며, 중복 설치된 31개 관측소 설치비 51억여 원이 낭비될 우려가 있다.

109) 기상청은 2009년 “지진속도계 설치 기본계획”을 수립하면서 10km 이내 인접관측소(유관기관 포함)가 존재하는 경우 중복설치된 것으로 간주하여 관측소 이전사업을 추진하고 있어 이를 기준으로 중복 여부를 판단함

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 한국지질자원연구원을 제외한 유관기관의 관측자료를 지진조기경보에 활용하기 위해서는 품질 확보가 선행되어야므로 품질 분석·평가 및 필요한 지원을 통해 품질 개선작업을 수행한 후 그 결과를 반영하여 국가 통합 지진관측망 구축계획을 조정·추진하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 앞으로 지진관측공백이 발생하지 않도록 유관기관의 관측자료에 대한 환경 분석 및 품질평가 등을 수행하여 활용가능한 관측자료를 지진조기경보에 활용하는 방안을 마련하고 유관기관의 관측소 등과 중복되거나 특정 지역에 편중되게 설치할 예정인 관측소(31개소)에 대하여는 적정 이격거리를 확보하는 등 국가 지진관측망 구축계획을 합리적으로 조정하시기 바랍니다.(통보)

나-2)-2 지진관측소 운영 및 관리 등 부적정

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」 제6조 및 제14조 등의 규정에 따라 2015년 1월 지진조기경보시스템 1단계 운영을 시작하고, 2018년까지 지진관측소를 총 314개소(2016년 12월 현재 206개소)로 확충하여 규모 5.0 이상의 지진이 발생할 경우 10초 이내에 지진조기경보를 발령할 예정이다.

(1) 지진 미탐지 관측소 관리 미흡

구 「지진업무규정」(2015. 4. 29. 기상청훈령 제798호) 제14조의 규정에 따르면 기상청은 양질의 지진 관측자료를 얻기 위하여 최적의 지진관측 환경을 유지하여야 하고, 필요한 경우 관측환경을 조사·분석하여 개선조치를 하도록 되어 있다.

따라서 기상청은 지진발생 시 지진관측소가 여러 차례 지진을 탐지하지 못하는 등 관측의 신뢰성에 문제가 있는 경우 관측환경을 조사·분석하고, 그에 대한 원인을 파악하여 관측장비를 수리하거나 관측소를 이전하는 등의 대책을 마련하여야 한다.

그런데 기상청은 지진발생 시 지진을 탐지하지 못하여 지진규모 산정이나 진앙 위치 결정 등 지진조기경보에 활용되지 못하고 있는 관측소에 대하여 미탐지 원인 등을 분석하지 않고 단순히 내용연수가 도래한 지진 관측장비를 선정하여 교체하는 사업을 추진하고 있다.

이와 관련하여 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 19. 2015년 1월 지진조기경보시스템 운영을 시작한 이후부터 2016년 12월까지 총 182개(같은 기간 동안 기존·교체·신설관측소를 모두 포함한 개소 수) 관측소에서 관측된 지진 규모 3.0 이상 59건([별표 8] “지진조기경보시스템 규모 3.0 이상 관측 현황” 참조)을 대상으로 미탐지 현황을 분석한 결과에 따르면 [표 62] 및 [별표 9] “관측소별 규모 3.0 이상 지진 미탐지 현황”과 같이 동해관측소(TOH)등 3개 지진관측소의 경우 지진 미탐지율이 90% 이상 되는 등 전체 관측소의 지진 미탐지율이 44%에 달하는 것으로 나타났다.

[표 62] 최근 2년간(2015~2016년) 관측소별 주요 지진 미탐지 현황¹¹⁰⁾

(단위: 개소, %)

미탐지율	90% 이상~	80~90%	70~80%	60~70%	50~60%	40~50%	30~40%	20~30%	10~20%	~10% 미만	계
관측소 수	3	7	10	20	17	18	36	40	13	18	182
구간평균	92	85	74	66	55	44	34	25	13	5	44

자료: 기상청 제출자료

110) 지진조기분석·통보 시스템 통합구축 용역보고서(2014. 11. 28. 기상청), 지진조기경보 시스템의 서비스 기능 고도화 용역보고서(2016. 2. 22. 기상청)에서 기존 지진 관측자료 분석에 사용하였던 방법에 따라 각 관측소로부터 반경 200km 이내에서 발생한 조기경보 지진규모 3.0 이상을 대상으로 분석

그리고 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 19. 지진 미탐지 횟수가 많은 남해관측소(NAH) 등 10개 관측소를 표본선정(미탐지율 70% 이상)하여 지진 미탐지 주요 원인을 분석한 결과에 따르면 [별표 10] “주요 미탐지 지진관측소 미탐지 원인분석”과 같이 남해관측소(NAH) 등 7개 관측소의 경우 주변 배경잡음(도로 및 체육시설 등의 소음·진동)으로, 덕정리관측소(DKJ) 등 2개 관측소의 경우 지진조기경보시스템에 메타데이터¹¹¹⁾(channels.cfg 파일) 값 입력 오류로, 여수(기)관측소(YES)의 경우에는 가속도센서 이상 등으로 지진을 탐지하지 못한 것으로 나타났다.

또한 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 19. 경주 지진 시 지진을 관측하지 못한 덕정리관측소(DKJ) 등 3개 관측소를 대상으로 정상적으로 관측했을 경우(경주 지진 당시 한국지질자원연구원이 탐지한 덕정리관측소(DKJ) 등 3개 관측소의 관측자료를 이용)를 가정하여 지진조기경보시스템에서 시뮬레이션을 실시한 결과에 따르면 [표 63]과 같이 미탐지 관측소 개선 전에 비하여 지진 탐지시간은 2.679초 빠르고, 진앙 위치 오차도 0.6km 정확한 것으로 나타났다.

[표 63] 경주 지진 미탐지 관측소 개선 전·후 효과 비교

구분	개선 전(미탐지)	개선 후(정상탐지)	차이
지진 탐지시간 (Alert time, 표준시)	11:33:10.149	11:33:07.470	△ 2.679초
진앙 위치 오차(km)	1.75	1.15	△ 0.6

자료: 기상청 제출자료

(2) 유관기관 지진 관측자료 누락

「1단계 지진조기경보 서비스 운영 계획(안)」(2015년 1월, 기상청) 및 「2015~2019년 지진과 지진해일 관측망 종합계획」(2015년 7월, 기상청)에 따르면 지진조기

111) 관측소의 위·경도 등 GPS정보, 지진센서 및 지진관측자료 수집·처리장치(기록계) 등 장비특성 값 등의 정보

경보시스템에서 활용하는 지진관측소 314개소 중 50개소는 한국지질자원연구원 등 3개 유관기관¹¹²⁾에서 운영하는 관측소의 관측자료를 활용하는 것으로 계획되어 있다.

따라서 기상청은 지진조기경보 관측소에 포함된 유관기관의 지진관측소를 지진조기경보시스템에 반영하여 지진발생 시 지진조기경보 통보에 소요되는 시간을 단축하고 지진분석의 정확도도 향상시켜야 한다.

그런데 기상청은 [표 64]와 같이 2017년 3월 현재 한국지질자원연구원 등 3개 유관기관에서 운영 중인 총 60개소¹¹³⁾의 관측소 중 한국지질자원연구원의 학계리 관측소 등 28개 관측소를 지진조기경보시스템에 반영·활용하지 않고 있다.

[표 64] 지진조기경보 유관기관 관측소 활용 현황(2017년 3월 현재)

기관명	관측소 개수	조기경보 활용 관측소 개수	조기경보 미활용 관측소 개수
한국지질자원연구원	40	32	8
한국전력공사 전력연구원	15	0	15
한국원자력안전기술원	5	0	5
계	60	32	28

자료: 기상청 제출자료

(3) 지진관측소 메타데이터¹¹⁴⁾ 관리 부실

지진조기경보시스템은 지진관측소에서 관측된 지진파형데이터와 동 시스템에 저장되어 있는 관측소별 메타데이터 등을 조합하여 지진발생 시 지진규모와 진앙 위치 등을 자동으로 계산하게 되어 있으므로 각 관측소에 설치되어 있는 지진 관측 장비에 대한 정확한 메타데이터가 시스템에 입력되어야 한다.

112) 한국지질자원연구원 36개소, 한국전력공사 전력연구원 10개소, 한국원자력안전기술원 4개소

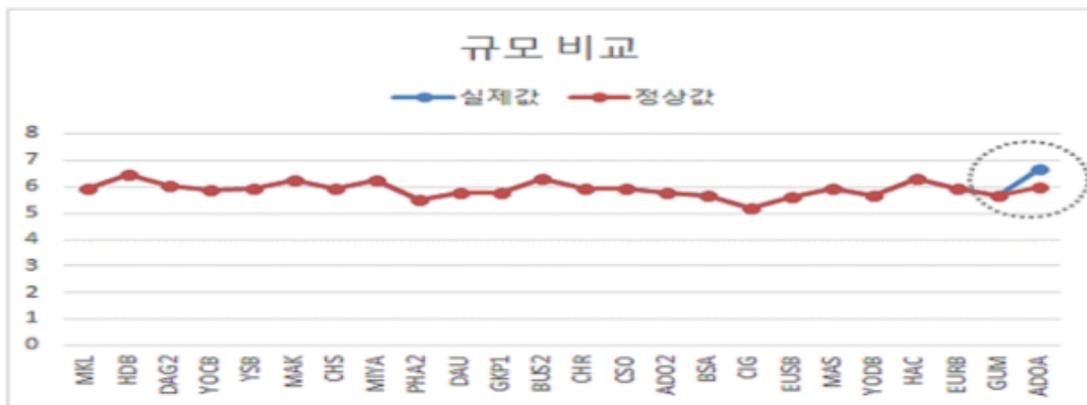
113) 2015년 “지진 및 지진해일 관측망 종합계획” 수립 이후에 설치된 유관기관 관측소를 포함한 개소 수

114) 지진관측소의 위·경도, 장비 특성 값 등의 정보

그런데 기상청은 2017년 3월 현재 송현(안동)관측소(ADOA)에 설치·운영 중인 가속도계의 경우 정당한 메타데이터 값은 6863608GAIN인데도 시스템에는 1715902 GAIN으로 입력하는 등 [별표 11] “지진조기경보시스템 메타데이터(GAIN값) 오류 현황”과 같이 총 22개 지진관측소에 설치·운영 중인 관측장비의 메타데이터 값을 시스템에 잘못 입력하고도 이와 같은 사실을 알지 못한 채 그대로 두고 있었다.

이와 관련하여 기상청(지진정보기술팀)이 2017. 4. 19. 경주 지진(본진, 지진조기 경보시스템을 통해 자동분석된 결과 규모 5.930, 같은 날 20:33 규모 5.9로 조기경보 통보)을 대상으로 지진규모를 다시 분석한 결과에 따르면 [도표 8] 및 [별표 12] “경주 지진 메타데이터 오류에 따른 규모 비교표”와 같이 지진 규모 산정에 사용된 총 24개 관측소 중 지진 발생 당시 메타데이터 값이 잘못 반영되어 있던 송현(안동)관측소(ADOA)의 경우 지진규모가 6.694인 것으로 관측되었으나 정상적인 메타데이터 값에 의한 관측 값은 5.990이고, 이를 토대로 총 24개 지진관측 값을 평균한 정상적인 지진 규모는 당초 산정된 5.930보다 0.029가 작은 5.901인 것으로 나타났다.

[도표 8] 경주 지진 메타데이터 오류에 따른 규모 비교



자료: 기상청 제출자료

또한 2015년 1월부터 2016년 12월까지 사이에 발생한 조기경보 규모 3.0 이상의 지진 총 59건([별표 8] “지진조기경보시스템 규모 3.0 이상 관측 현황” 참조) 중 총 20건의 지진 규모가 잘못 입력된 메타데이터 값으로 인해 실제 지진 규모보다 최소 0.027내지 최대 0.098만큼 과다하게 산정¹¹⁵⁾된 것으로 분석되었다.

그 결과 “(1)항”부터 “(3)항”까지와 같이 지진 미탐지 관측소를 그대로 두고 지진조기경보시스템에 유관기관의 지진관측소를 조기경보시스템에 반영하지 않거나 기상청 지진관측소의 메타데이터를 잘못 입력한 결과 지진조기경보 발령이 지연되고, 진앙 위치 등 지진분석의 정확도도 떨어질 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 지진 관측자료에 대하여 매년 정기적 품질 분석·관리를 시행하고, 유관기관과 협력하여 지진관측소 및 관측자료에 대한 품질 개선을 지속적으로 추진하며, 유관기관 관측소 28개소에 대하여는 자료품질의 이상 여부를 확인하여 조속한 시일 내에 지진조기경보시스템에 반영·활용하고, 메타데이터 값이 잘못 반영된 22개 관측소에 대한 설정파일을 수정하였으며, 향후 지진조기경보시스템에 활용되는 모든 지진관측소 및 관측장비에 대한 상세한 메타데이터 관리체계를 구축·운영하여 메타데이터 설정 오류가 발생하지 않도록 하겠다는 의견을 제시하였다.

115) 메타데이터 값이 잘못 입력된 관측소 총 22개 중 20건의 지진규모 산정시 사용된 관측소는 3개소[송현(안동)관측소(ADOA), 삼가(합천)관측소(HACA), 낭산(익산)관측소(IKSA)]임

조치할 사항 기상청장은

- ① 지진 미탐지 관측소에 대해 원인분석을 통해 개선방안을 마련하는 등 지진관측의 정확도를 개선하는 방안을 마련하고
- ② 지진조기경보시스템에 활용되지 못하는 유관기관 관측소(28개소)는 지진관측의 정확도 등을 향상시킬 수 있도록 시스템에 반영·활용하며(통보)
- ② 지진조기경보시스템에 메타데이터 값이 잘못 반영된 22개 관측소는 정당한 메타데이터 값으로 변경 입력하여 시정이 완료되었으나, 향후 유사 사례 등 재발방지를 위하여 그 내용을 통보하오니 관련 업무에 참고하시기 바랍니다.[통보(시정완료)]

나-2)-3 지진관측장비 성능시험 규정 미제정

기상청은 지진피해 방지와 지진 관측장비에 대한 통일성, 일관성 등을 확보하기 위해 지진관측장비의 표준규격 및 성능을 정하고, 「지진·화산재해대책법」 제9조 등에 따른 지진·지진해일 등 관측기관(이하 “관측기관”이라 한다)¹¹⁶⁾은 관측망 설치 시 지진 관측장비의 표준규격 및 성능에 맞는 관측장비를 설치·운영하고 있다.

관측기관이 지진 관측장비를 설치하려면 「지진·화산재해대책법」 제5조 제4항, 같은 법 시행령 제4조 및 「지진 관측장비의 성능·규격」(2010. 1. 4. 기상청고시 제2009-4호) 제5조와 제6조에서 규정한 속도지진계와 가속도지진계 및 자료수집·처리장치의 성능·규격에 맞는 장비를 설치하도록 되어 있다.

116) 「지진·화산재해대책법」 제9조 등에 따라 지진 및 지진해일 관측기관 간의 업무협조를 위해 기상청 외 9개 기관으로 지진·지진해일 및 화산활동 관측기관협의회를 구성·운영(위원장: 기상청 지진화산관리관)하고 있으며, 2016년 12월 현재 관측기관은 국립해양조사원, 기상청, 한국가스공사, 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국원자력안전기술원, 한국전력공사 전력연구원, 한국지질자원연구원, 한국해양과학기술원, 한국수력원자력(주) 등 10개 기관

그런데 「지진·화산재해대책법」 제5조 제4항 등에 지진 관측장비의 설치기준 및 성능·규격에 대하여만 규정되어 있고 성능 검증을 할 수 있는 검정방법은 없어 성능을 검증하지 못하자 기상청은 2008년 12월 “지진 관측장비 검·교정 법적 근거 마련(안)”을 마련하였다.

“지진 관측장비 검·교정 법적근거 마련(안)”에 따르면 「지진·화산재해대책법」에 ‘검정대상, 검정주기(유효기간), 검정기준, 검정수수료, 지정대행기관, 검정증인 등’ 관련 조문을 신설하고, 같은 법 시행령 제4조 제1항 [별표 2] “관측시설 및 관측장비 설치기준”의 규정에 ‘관측센서와 자료수집처리장치는 기상청장이 정하는 검정기준에 따라 검정을 실시하여야 한다’는 내용을 추가(개정)하여 검정체계를 구축하는 것으로 되어 있다.

이후 기상청은 지진관측장비의 표준화와 검·교정에 대한 국가적 차원의 기준을 마련하고자 2009. 4. 22. 한국지질자원연구원과 “지진 관측장비 표준화(검·교정) 기반 구축 마련” 연구용역을 시행하여 같은 해 11. 21. 완료하는 등 [표 65]와 같이 2009년 4월부터 2016년 5월까지 총 4회에 걸쳐 연구용역을 실시하였다.

한편 지진 관측장비 검정과 관련한 외국의 사례를 살펴보면, 미국의 경우 정부 기관인 미국지질조사소에서 중요한 성능 또는 검정항목을 선정하여 성능시험을 수행 중이고, 미국지질조사소 산하 앨버커키 지진 실험실(ASL¹¹⁷) 등에서는 관측장비 제작 및 도입단계에서 성능시험을 실시하고 있으며, 일본의 경우에도 지진 관측소에 설치한 계측진도계에 대하여 반드시 관측장비 도입단계에서 기상청의 성능시험 인증을 거쳐 설치하고 있다.

117) ASL: Albuquerque Seismological Laboratory(앨버커키 지진 실험실)

[표 65] 지진 관측장비 검·교정체계 등 마련을 위한 연구용역 추진 현황

(단위: 천 원)

연구과제명	연구기관	연구기간	용역비	과제내용
지진 관측장비 표준화 (검·교정) 기반 구축 마련	한국지질 자원연구원	2009. 4. 22. ~2009. 11. 21	35,000	•외국 지진장비 표준화 현황 제시 •검·교정 요소 및 절차에 대한 기준안 제시
지진 관측자료의 신뢰성 확보를 위한 관측장비의 검증방안 연구	한국표준 과학연구원	2011. 5. 16. ~2012. 4. 31.	60,000	•단계별 검·교정 수행 항목과 방법 제시 •검정 시설, 검·교정 장비 목록 및 사양 등
한반도 지각구조 규명에 적합한 지진센서 기록계 특성연구	한국표준 과학연구원	2013. 10. 1. ~2014. 5. 31.	60,000	•검정 방법에 관한 고시 신설용 기초자료 제시 •검정 규정 제정을 위한 기초자료 제시 등
지진관측장비의 효율적 검정기술 개발	한국지질 자원연구원	2015. 5. 15. ~2016. 5. 14.	64,000	•성능(검정) 항목 수립 •검정 방법 및 검정운영 체계 수립 등

자료: 기상청 제출자료

따라서 기상청은 지진 관측장비에 대하여 국내외 사례, 연구용역 결과 등을 토대로 설치기준, 성능·규격을 정하고, 관측장비 설치(도입) 시 이를 검증할 수 있도록 「지진·화산재해대책법」 등에 검정시험 대상, 시험항목 및 방법 등에 대한 성능시험 기준을 마련하는 것이 타당하다.

그런데도 기상청은 위와 같이 지진 관측장비 검·교정을 위한 법적근거를 마련하기로 방침을 결정¹¹⁸⁾하고, 연구용역 등을 시행하고서도 2010. 1. 4. 구 「지진재해대책법」 제5조 제4항 및 같은 법 시행령 제4조에 관측장비의 설치기준과, 「지진 관측장비의 성능·규격」 제5조 및 제6조에 관측장비의 성능·규격에 대하여만 근거를 마련하고, 관측장비의 성능시험 기준은 따로 마련하지 않았다.

또한 2014. 10. 2. 기상청 지진감시과는 관측장비 검·교정체계 마련을 위해 시행한 연구용역결과 등을 토대로 “관측장비 성능시험 기준 및 방법”을 마련하여

118) 2009. 11. 16. 지진 관측장비의 성능·규격 등 장비표준화(안)에 대한 관계기관 및 전문가 등의 의견을 수렴하기 위한 “지진 관측장비 표준화 기반구축 공청회 개최결과 보고”에 따르면 검·교정에 대한 사항은 현재 여건상 제외하고, 검·교정 중에서 우선 검증만 추진하는 것이 바람직하다고 보고

지진정책과에 「지진 관측장비의 성능·규격」을 개정하여 달라고 요청하였으나 2017년 4월 현재까지 성능시험 기준을 마련하지 않고 있다.

이에 따라 기상청은 2010년 이후 지진 관측장비를 구매·설치하면서 성능시험 기준(시험항목·방법 등)이 없다는 사유로 단순히 제조사가 제시한 성능·규격 등 사양만 믿고 검수·설치하다가, 2013년 규격에 미달하는 관측장비가 납품되는 등 문제가 불거지자 2014. 7. 24.부터는 한국지질자원연구원과 업무협약을 체결한 후 시험항목·방법 등에 대한 기준이 없는 상태에서 위 연구원이 자체적으로 정한 임의의 방식¹¹⁹⁾으로 시행한 시험성적서를 그대로 인정하여 설치하고 있다.

이와 관련하여 기상청 등에서 제출한 자료를 기준으로 2010년부터 2016년까지 신규 설치한 509개 지진관측장비에 대하여 설치단계에서 장비성능 시험 여부를 분석한 결과, [표 66]과 같이 기상청의 경우 총 308개 중 44개(14.3%)에 대하여만 표본으로 선정하고 한국지질자원연구원이 근거 없이 자체적으로 판단한 항목 또는 시험이 불가능한 항목을 제외하고 설치기준에서 장비별로 정한 성능·규격 항목 총 45개 중 60.0%인 27개 항목¹²⁰⁾만 시험·설치한 것으로 나타났다.

그리고 「지진·화산재해대책법」 제5조 제4항의 규정을 적용받는 기상청 외 한국지질자원연구원 등 3개 관측기관에서 2010년부터 2016년까지 설치한 지진 관측장비 총 201개의 경우에는 2.5%인 5개만 표본으로 선정하고, 성능·규격 항목 총 46개 중 60.9%인 28개만 시험하여 설치하는 등 [표 66]과 같이 4개 기관에서

119) 성능시험 대상은 전체 구매·설치물량 중 일부만 표본으로 선정하여 시험(「지진·화산재해대책법」 제6조에 따른 주요시설물은 최초 성능검사 후 5년 유효)하고, 시험항목은 관측장비별 표준성능·규격항목 중 일부 항목을 선정하여 한국지질자원연구원이 정한 임의의 시험방법으로 시험을 실시

120) 속도지진계는 20개 중 13개 항목, 가속도지진계는 11개 중 6개 항목, 기록계는 14개 중 8개 항목

2010년 이후 설치한 관측장비 총 509개 중 9.6%인 49개에 대하여 성능·규격항목 중 일부만 임의의 방법으로 시험을 실시한데 불과하며, 나머지 91.4%인 460개 장비는 최소한의 성능시험도 없이 설치·운영하고 있다.

[표 66] 관측기관별 지진 관측장비 장비성능시험 실시 현황(2010~2016년)

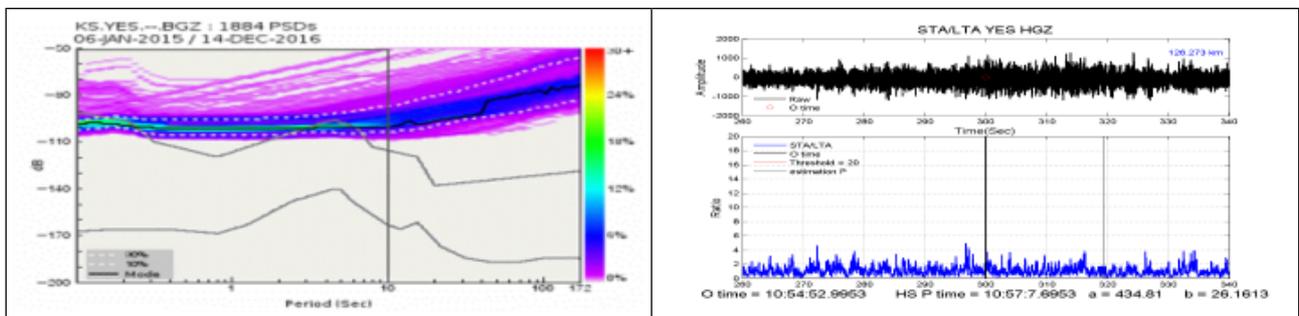
(단위: 개소)

기관명	속도지진계			가속지진계			기록계			합계		
	실시	미실시	소계	실시	미실시	소계	실시	미실시	소계	실시	미실시	소계
기상청	17	64	81	16	97	113	11	103	114	44	264	308
한국지질자원연구원	-	45	45	-	22	22	-	66	66	-	133	133
한국원자력안전기술원	-	5	5	-	5	5	-	5	5	-	15	15
☉☉연구원(주)	-	13	13	2	18	20	3	17	20	5	48	53
합계	17	127	144	18	142	160	14	191	205	49	460	509

주: 기상청은 2013년 이전까지 설치한 모든 지진 관측장비 성능시험 미실시, 이후부터는 샘플링으로 실시
 자료: 기상청 등 감사대상기관 제출자료

그 결과 기상청이 공인시험기관의 성능시험 없이 설치한 여수관측소(2010. 12. 23. 관측 개시)의 경우 [그림 31]과 같이 장비 이상 등의 원인으로 지진파형¹²¹⁾이 최대 기준선을 벗어나 지진 조기경보 또는 지진분석 등 자료로 활용할 수 없는 등 성능검증 없이 지진 관측장비를 설치하여 지진이 발생하더라도 지진을 관측하지 못하거나 정상적인 관측자료를 얻지 못할 우려가 있다.

[그림 31] 지진 관측장비 성능시험 미실시 관측소의 관측자료 분석 결과



자료: 기상청 제출자료

121) 기상청이 보유·제출한 2015. 1. 6.부터 2016. 12. 14.까지의 지진 관측자료를 분석

관계기관 의견 기상청은 감사원의 감사결과를 받아들이면서 향후 지진 관측장비의 성능검정을 할 수 있도록 성능시험 개념을 재정립하고 시험항목과 대상을 선정하며 이에 따른 구체적인 방법도 체계적으로 정립하는 방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 지진 관측결과의 정확도 및 신뢰성을 확보할 수 있도록 「지진 관측장비의 성능·규격」 등에 지진 관측장비의 성능시험 기준 및 방법 등을 정하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

나-2)-4 지진 관측장비 검정용 장비 구입 부적정

기상청은 2013. 12. 13. 고품질의 지진 관측자료를 생산하기 위하여 “지진 관측장비 검정체계 구축 계획”을 수립(2015. 6. 3. 계획 변경)하고 2014년부터 2016년까지 지진 관측장비 검정용 장비(10억 6,998만여 원)를 구매하였다.

“지진 관측장비 검정체계 구축 계획”에 따르면 기상청 등 관측기관협의회 소속 10개 관측기관¹²²⁾이 신규로 도입하려는 지진 관측장비가 “지진 관측장비의 성능·규격”(2010. 1. 4. 제정, 기상청고시 제2009-4호)에 따른 성능·규격을 만족하는지 여부를 확인하는 성능시험과 운영 중인 지진 관측장비(내용연수 9년)를 매 5년마다 처음 설치할 때의 성능·규격을 만족하는지 여부를 확인하는 성능시험을 위해 검정체계를 구

122) 기상청, 국립해양조사원, 한국가스공사, 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국지질자원연구원, 한국전력공사 전력연구원, 한국원자력안전기술원, 한국해양과학기술원, 한국수력원자력(주) 등 10개 기관

축하도록 되어 있다.

그리고 기상청은 2012년까지 관측장비를 도입할 때 “지진 관측장비의 성능·규격”에 따른 성능·규격을 만족하는지 여부를 확인하는 성능시험없이 제조사의 시험 성적서를 근거로 성능·규격을 확인하여 왔으나 2014. 7. 24.부터는 한국지질자원연구원과 업무 협약을 체결하고 한국지질자원연구원이 수행한 성능시험성적서를 제출받아 검수·설치하고 있다.

한편 기상청은 ‘지진 관측장비 표준화(검·교정)기반 구축 마련’¹²³⁾ 및 ‘지진 관측 자료의 신뢰성 확보를 위한 관측장비의 검증방안 연구’¹²⁴⁾ 등 연구용역 결과와 ‘검·교정체계 마련을 위한 미국의 검정체계 및 수행방법 조사’ 목적의 미국지질조사소(USGS: United States Geological Survey) 출장 결과를 통해 미국 등의 검정체계는 [표 67]과 같이 지진 관측장비는 최초 인수·설치 시에만 성능시험을 실시하고 운영 중인 장비의 성능검사는 인위적으로 장비를 제거하여 직접적인 성능시험을 실시하지 않고 간단한 전기적 장비점검¹²⁵⁾ 및 관측자료 품질감시¹²⁶⁾를 통한 간접적인 방법으로만 제한적으로 실시하고 있다는 것을 확인한 바 있다.

[표 67] 해외 지진 관측장비 성능시험 현황

구분	미국	일본
도입 시	장비 도입 시 실시하는 인수시험(Acceptance Test)	지진계에 관한 성능시험은 없으나 자료의 질적관리를 위한 연구목적으로 지진계 성능과 관련된 연구수행
운영 중인 장비	제한적으로 실시(설치·운영되고 있는 장비를 회수하여 시험을 실시하지는 않음)	
검사방법	미국지질조사소는 연구목적으로 지진계 성능에 대한 시험, 제조사가 처음 제조하는 지진계에 대한 성능시험을 의뢰할 때 협의하여 수행	진도를 관측하는 진도계(seismic intensity meter)만 성능 시험 인증을 받음

자료: 기상청 제출자료

123) 연구기관: 한국지질자원연구원, 연구기간: 2009. 4. 22.~2009. 11. 21., 용역비: 3,500만 원

124) 연구기관: 한국표준과학연구원, 연구기간: 2011. 5. 16.~2012. 4. 31., 용역비: 6,000만 원

125) 지진계의 검증코일에 입력전압을 걸고 출력되는 전압을 확인하여 감쇄 여부 정도만 확인

126) 관측자료의 배경잡음, 수신율 등을 주기적으로 점검하여 지진계의 건전성 확인

또한 운영 중인 지진 관측장비를 최초 성능시험 할 때의 방법대로 검정시험을 할 경우 시험기간 동안 관측공백이 발생할 수 있고 이와 같은 문제를 해결하기 위해 새로운 장비를 대체 설치하여 운영하게 되면 기존 설치상태와 방위각 및 수평 정도, 매설 안정도 등에 따른 지진동 전달 정도에 차이가 발생할 수 있는 등 지진관측의 연속성 보장이 곤란하여 외국에서는 운영 도중에 관측장비를 인위적으로 회수(제거)하여 검정을 실시하지 않고 있다.

따라서 기상청은 검정체계를 구축하기 위하여 검정관련 장비를 구매할 때에는 외국의 지진 관측장비 시험기준, 최초 도입 시와 운영 중의 검정시험으로 인한 문제점을 조사·검토하여 기술·제도적으로 검정이 가능할 경우에 구매하여야 하고, 검정이 가능한 경우라 하더라도 구체적으로 성능시험을 실시할 전문인력 확보, 검정시험 대상, 시험항목·방법 및 절차 등을 마련한 후에 검정관련 장비를 구매하여야 했다.

그런데 기상청은 “지진 관측장비 검정체계 구축 계획”을 수립하면서 위 연구용역 결과와 미국지질조사소 출장 등을 통해 관측장비 운영단계에서는 운영 중인 장비를 회수하여 검정을 실시하지는 않는 것을 확인하고도 지진장비 도입(설치)단계와 운영단계를 명확히 구분하지 않고 외국의 사례가 마치 운영 중인 지진계의 검정시험을 실시하고 있는 것처럼 구축계획을 수립하여 기상청장 결재를 받아 독자적인 검정체계를 구축하는 것으로 계획하였다.

그리고 기상청은 2014. 10. 20. “지진 관측장비 검정체계 구축 계획”에 따라 [표 68]과 같이 ‘지진계 검정용 정밀측정기 및 컴퓨터 등’(금액: 1억 4,238여 원)을 구매하여 추풍령표준기상관측소 실험실에 설치하였다.

[표 68] 검정체계 구축관련 장비 구입 현황

(단위: 원)

구입일자	구입장비	구입액	설치 장소
2014. 10. 20.	정밀측정기(주파수분석기, 오실로스코프, 주파수카운터, 함수발생기 등), 검정용 컴퓨터 9종	142,381,600	추풍령표준기상관측소→ 2016. 6. 10. 한국지질자원 연구원 이전 설치
2016. 7. 28.	검정장비(수평교정테이블, 진동시험기, 스텝교정기 등), 기준기(지표형,광대역, 단주기, 가속도지진계), 자료수집처리장치, 전산장비 등 13종	697,142,160	한국지질자원연구원
2016. 12. 19.	시추형 광대역 속도지진계 등 2종	230,468,640	한국지질자원연구원
계		1,069,989,400	

자료: 기상청 제출자료

또한 기상청은 2015. 6. 3. 운영 중인 지진 관측장비 등을 검정하기 위한 구체적인 검정대상, 시험항목·방법 및 절차 등을 마련하지 못하고, 전문인력도 확보하지 못하자 당초 계획한 독자적인 검정체계 구축에서 한국지질자원연구원의 지하암반터널과 검정시설 등을 공동으로 활용하는 것으로 계획을 변경하고도 당초 계획대로 총 24종의 검정장비 등을 구매하여 한국지질자원연구원 지진연구센터에 설치하였다.

그 결과 기상청이 지진 관측장비 검정을 위해 구매한 검정장비 및 기준기(24종, 10억 6,998만여 원) 등을 검정시험에 사용하지 못하게 되었고, 특히 기준기(지표형 광대역 속도지진계 등 6종 16대, 4억 9,639만여 원)의 경우는 한국지질자원연구원이 기존에 보유하고 있던 기준기로 성능시험이 가능함에 따라 장기간 방치되는 등 예산이 비효율적으로 집행되었다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 기 구매한 검정장비 등을 한국지질자원연구원이 보유한 성능시험용 기준기와 함께 지진 관측장비 도입단계에서 성능시험에 활용하는 방안을 검토하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은

- ① 지진 관측장비 검정체계 구축을 위해 구입하여 한국지질자원연구원 지진연구센터에 보관한 검정장비 및 기준기 등에 대하여는 예산을 낭비하지 않도록 도입단계의 지진장비 성능시험 등에 활용하는 방안을 마련하고(통보)
- ② 앞으로 검정시험을 수행할 인력 및 검정시험 대상, 시험항목·방법 및 절차 등 기술·제도적 기반을 마련하지 않은 채 필요성이 확인되지 않은 장비를 구매하는 일이 없도록 하시기 바랍니다.(주의)

나-3) 지진통보 사후관리 분야

- 지진분석 오류에 대한 사후분석을 실시하지 않아 지진분석기술 향상 기회 상실
 - 지진정밀분석 결과 진앙위치 등의 수정정보 미제공
- ⇒ 지진규모·진앙위치 등에 대한 분석오류 또는 미통보로 인하여 지진재해 대응 차질 우려

나-3)-1 지진 분석 정확도 향상 대책 미흡

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률(이하 “지진관측법”이라 한다)」 제12조 및 「국가지진화산 종합상황실 운영매뉴얼」 등에 따라 국내 규모 2.0 이상의 지진이 발생했을 때 지진분석 후 지진통보 등¹²⁷⁾을 수행하고, 성과관리 시행계획에 따라 지진 발생(진앙) 위치 정확도 등을 성과지표로 설정하여 관리하는

127) 운영매뉴얼에 따라 지진발생 시 5분 이내에 지진통보를 발표하고, 15분 이내에 정밀분석을 한 후 현업 근무자 교대 시 사후분석을 실시하고, 다음 해 지진연보를 발행하기 위하여 정밀분석을 실시

등 지진분석의 정확도를 향상시키기 위해 노력하고 있다.

기상청(지진화산감시과)이 2017. 4. 18. 2014년부터 2016년까지 지진통보한 179건의 내용과 지진연보(정밀)분석¹²⁸⁾ 내용을 비교한 결과에 따르면 [표 69]와 같이 47건(26.3%)에서 지진 규모 0.1~0.6의 오차가 있었고, 45건(25.1%)에서 1km~25km의 진앙 위치 오차가 있는 등 지진분석 정확도 향상이 필요한 것으로 나타났다.

한편 태풍 등 기상특보의 경우 기상예측의 정확도를 향상시키기 위해 「예보업무규정」 제36조 등에 따라 특보의 실패 또는 성공의 원인 등을 사후분석하고, 예보관들이 예보지식을 습득·축적할 수 있도록 선진예보시스템에 등록·공유하고 있다.

[표 69] 지진 정밀분석 결과 규모 및 진앙 위치 오차 현황표

(단위: 건, %)

구분		2014년	2015년	2016년	합계	
오차 검토 대상		49	44	86	179	
규모 오차	0.1	5	5	5	15	
	0.2	3	6	4	13	
	0.3	2	3	4	9	
	0.4	3	2	2	7	
	0.5	1	1	-	2	
	0.6	1	-	-	1	
	소계	건수	15	17	15	47
	비율	30.6	38.6	17.4	26.3	
진앙 위치 오차	1km~5km	5	11	12	28	
	5km~10km	3	5	-	8	
	10km~20km	3	1	1	5	
	20km~25km	3	-	1	4	
	소계	건수	14	17	14	45
		비율	28.6	38.6	16.3	25.1

자료: 기상청 제출자료 재구성

128) 지진관측법 제17조의 규정에 따라 전년도 발생한 지진을 대상으로 지진연보를 발생하기 위하여 한국 지질자원연구원과 협업을 통한 정밀분석

따라서 기상청은 지진분석을 통한 지식을 습득·축적하여 지진분석의 정확도를 높일 수 있도록 지진통보 자료와 지진연보 발행을 위한 정밀분석 자료를 비교·검토한 후 지진 규모 및 진앙 위치의 오차가 크게 발생한 경우에는 이에 대한 원인 분석 및 오차발생 저감방법을 제시·공유하도록 하는 것이 합리적이다.

그런데 기상청(지진화산감시과)이 2017. 4. 21. 2014년부터 2016년까지 3년 동안 발생한 28회의 지진에 대한 지진통보와 지진연보의 내용을 비교한 결과에 따르면 [표 70]과 같이 지진규모 0.3 초과 오차가 19건, 진앙 위치 10km 초과 오차가 9건 발생한 것으로 나타났는데도 원인 및 대책에 대한 분석을 하지 않는 등 지진분석 오차가 크게 발생한 경우에 대한 사후분석을 수행하지 않고 있다.

[표 70] 연도별 지진통보 및 지진연보(정밀분석) 규모 및 위치 오차 현황

구 분		2014년	2015년	2016년	합계
규모	0.3 초과	7	6	6	19
위치	10km 초과 20km 이하	3	1	1	5
	20km 초과	3	-	1	4
합계		13	7	8	28

자료: 기상청 제출자료 재구성

그 결과 기상청은 지진분석 지식을 습득·축적하여 지진분석의 정확도를 높이는 기회를 갖지 못하고 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 앞으로 지진 분석지식을 습득·축적하여 지진분석의 정확도를 높일 수 있도록 지진통보 자료와 지진연보 발행을 위한 정밀분석 자료를 비교·검토한 후 지진 규모 및 진앙 위치 차이가

크게 발생한 경우 이에 대한 원인 분석 및 오차발생 저감방법을 제시·공유하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 지진통보 자료와 지진연보 자료 간 오차가 크게 발생한 지진의 경우 오차발생 원인 및 오차발생 저감방법 등을 제시·공유하는 등 지진분석의 정확도를 향상시키는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

나-3)-2 지진 정밀분석결과 수정정보 미제공

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」 제12조 및 「국가지진화산 종합상황실 운영매뉴얼」(이하 ‘운영매뉴얼’이라 한다) 등에 따라 지진탐지 후 5분 이내에 최초 지진통보(지진 규모, 진앙 위치 등)를 발표하고, 15분 이내에 정밀 분석하여 정밀분석결과와의 오차를 비교한 후 수정통보기준¹²⁹⁾에 해당될 경우 지진정밀분석통보(수정통보)를 하고 있다.

국민안전처는 기상청으로부터 지진 규모와 진앙 위치를 통보받아 “지진재해대응시스템”을 이용하여 지역별 추정진도분포도(피해예상지도) 및 피해추정결과 등을 도출하고 피해예상지역의 긴급구호계획을 수립함과 동시에 지방자치단체 재난상황실에 통보하여 지역 재난에 대비하도록 하는 등 지진재난 대응업무를 하고 있다.

한편 기상청(지진화산감시과)이 2017. 4. 21. 지진 규모 및 진앙 위치 오차에 따

129) 규모: 내륙 0.3/해역 0.5 이상 오차, 위치: 내륙 20km/해역 40km 이상 오차 발생

른 에너지 가속도 값 및 진도 변화를 분석한 결과에 따르면 [표 71]과 같이 지진 규모 5.6에서 규모 5.7(규모 0.1 차이)¹³⁰⁾로 변화 시 진도가 7¹³¹⁾에서 8¹³²⁾로 변화(증가)되고, 지진 규모가 5.8(진도 9¹³³⁾)인 경우 진앙지에서 1km 이격 시 진도는 8로 낮아지고, 5km 이격 시 진도는 7로 낮아지는 등 지진 규모 및 진앙 위치에 따라서 피해대책 지역이 달라지는 것으로 나타났다.

[표 71] 지진규모 및 진앙 거리 차이에 따른 진도 등 변화 비교표

가. 규모 5.0(깊이 10km) 지진 대비 규모에 따른 에너지, 진도 변화량
(단위: erg, 배, gal, 등급)

구분	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0
에너지 차이	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	7.9	11.2	15.8	22.4	31.6
가속도값	140.9	166.3	196.1	231.4	273.0	322.1	380.0	448.3	528.8	623.9
진도	VI		VII				VIII			IX

나. 규모 5.8(깊이 10km) 지진발생시 진앙지 거리차이에 따른 가속도 값 및 진도 변화량
(단위: gal, 등급)

구분	진앙 거리 차이별 가속도 값 및 진도 변화							
	진앙지	1km	2km	3km	4km	5km~10km	11km ~ 20km	21km~40km
가속도 값	448.3	380.3	327.3	285.1	250.8	222.7 ~ 135.6	124.7 ~ 67.4	63.7 ~ 27.9
진도	IX	VIII			VII		VI	V

주: 1. 에너지량(erg)은 구텐베르크 & 리히터(Gutenberg-Richter, 1956년)의 관계식을 적용하여 계산
2. 규모별 진도(gal)는 워먼(Wurman et al., 2007)의 지진 감쇄식을 적용하여 계산

자료: 기상청 제출자료

130) 지진규모별로 에너지 차이는 0.1차이인 경우 1.4배, 0.2차이인 경우 2배 정도 차이 발생

131) 진도 VII(7): 모든 사람들이 밖으로 뛰어 나오는 수준, 보통 건축물에는 약간의 피해가 있고, 운전자가 느낄 수 있는 수준

132) 진도 VIII(8): 보통 건축물에는 부분적인 붕괴와 더불어 상당한 피해가 발생되고, 부실한 건축물에는 심각한 피해가 발생하는 수준, 굴뚝, 기둥, 벽들이 무너지는 수준

133) 진도 IX(9): 특별히 설계된 구조물에 상당한 피해를 주는 수준, 실제 구조물에 큰 피해가 발생되고 부분적으로 붕괴되며, 땅은 갈라지고 지하 파이프도 구부러지는 수준

그리고 [표 72]와 같이 2016. 9. 12. 경주 지진 발생 시 지진통보 후 정밀분석한 결과 전진(규모 5.1)과 본진(규모 5.8)은 각각 1km의 진앙 위치 오차가 발생하였으나 오차 20km 이상인 수정통보기준에 미달된다는 사유로 국민안전처 등 재난관리기관에 통보하지 않아 지진재해 대응업무에 활용하지 못하였을 뿐만 아니라 지진발생 후 10일이 지난 9. 22.에 수정(기자 브리핑)발표하여 언론 등으로부터 극장 대응이라는 비난을 받은 바 있다.

[표 72] 경주 지진 지진통보, 정밀분석 및 수정발표 위치 현황표

위치도	지진통보, 정밀분석, 수정발표 내용
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2016. 9. 12. 지진통보시 전진(규모 5.1)은 경주시 남남서쪽 9km, 본진(규모 5.8)은 경주시 남남서쪽 8km - 정밀분석결과 전진은 경주시 남남서 8km, 본진은 경주시 남남서쪽 9km ■ 2016. 9. 22. 전진은 경주시 남남서쪽 8.2km, 본진은 경주시 남남서쪽 8.7km에서 발생한 것으로 수정발표

자료: 기상청 제출자료

따라서 기상청은 국민안전처 등 지진재난 관리기관이 보다 정확한 추정진도분포도(피해예상지역) 및 피해추정 결과 등을 도출하고 지진피해에 대응할 수 있도록 지진통보 내용과 지진정밀분석 내용을 비교·검토하여 수정통보기준(지진규모 3.0, 거리 20km) 미만의 오차가 발생하였을 경우라도 이를 즉시 수정발표하고 지진재난 관리기관에 수정된 지진정보를 제공하는 것이 타당하다.

그런데 기상청(지진화산감시과)이 2017. 4. 21. 최근 3년간(2014~2016년) 규모 2.0 이상인 179건의 지진통보 내용과 지진정밀분석 내용을 비교한 결과에 따르면 [표 73]와 같이 규모 0.1 이상 0.3 미만 오차가 122건, 진앙 위치 1~20km 미

만 오차가 120건 발생한 것으로 나타났는데도 기상청은 운영매뉴얼 규정에 따른 수정통보기준 이내라는 사유로 수정발표하거나 국민안전처 등 지진재난 관리기관에 수정된 지진정보를 제공하지 않고 있다.

[표 73] 지진통보와 정밀분석결과 지진 규모 및 진앙 위치 오차 현황표

(단위: 건, %)

구분		2014	2015	2016	합계	
오차 검토대상		49	44	86	179	
규모 오차	0.1	23	19	32	74	
	0.2	13	16	17	46	
	0.3	1	-	1	2	
	소계	건수	37	35	50	122
		비율	75.5	79.5	58.1	68.2
진앙 위치 오차	1km ~ 5km	26	22	36	48	
	5km ~ 10km	8	4	13	12	
	10km ~ 15km	-	3	2	3	
	15km ~ 20km	4	1	-	5	
	20km 이상	-	1	-	1	
	소계	건수	38	31	51	120
		비율	77.6	70.5	59.3	67.0

자료: 기상청 제출자료

그 결과 국민안전처 등 지진재난 관리기관은 기상청으로부터 정밀분석을 통해 수정된 정확한 정보를 제공받지 못한 채 최초 통보받은 지진정보를 활용하여 피해 예상지도 및 피해정도를 예측하고 응급구조 및 대응체계를 운영하고 있어 지진대응 재난업무를 제대로 할 수 없게 될 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 수용하면서 앞으로 지진정밀분석결과 지진 통보한 규모와 위치에 차이가 발생할 경우 국민안전처 등 지진재난 관리기관에 수정된 정보를 제공하겠다는 의견을 제시하였다.

28조 제4항의 규정에 따라 재난방송의 실시 및 운영에 필요한 세부사항에 대하여 「재난방송 및 민방위경보방송의 실시에 관한 기준」(방통위 고시 2017-1호)을 고시하는 등 재난방송을 관리하고 있다.

기상청은 2015. 1. 22. 규모 5.0 이상의 지진이 예상되는 즉시 국민에게 지진조기경보를 전달할 수 있도록 지진조기경보시스템을 구축하고 10개 방송사의 지진자동자막송출시스템(이하 “지진자막시스템”이라 한다)과 연계하였으나, 10개 방송사는 보도국 등의 승인절차를 거쳐 지진조기경보 자막방송을 송출하도록 재난방송매뉴얼¹³⁵⁾ 및 지진자막시스템을 운영하고 있었다.

이에 따라 경주 지진 전진(규모 5.1) 발생 시 10개 방송사는 기상청으로부터 지진자막시스템을 통해 지진조기경보를 수신하고도 지진 발생 여부를 기상청에 확인하고 보도국 등이 방송을 승인하는 데 시간을 소비하여 [표 74]와 같이 최소 3분(◎◎)에서 최대 19분(●●)까지 지진조기경보 TV자막방송을 지연하는 등 지진(S파)이 지나간 이후에 지진조기경보를 TV자막방송하는 문제가 발생하였다.

또한 지진자막시스템은 [그림 32]와 같이 화면 하단에 1열로 문자를 구현하는 형식으로 되어 있어 시인성(視認性)이 부족함에 따라, 일본의 ●●와 같이 시청자의 주목을 끌 수 있는 그래픽 자막([그림 33] 참조)으로 개선이 필요하다는 문제도 제기되었다.

일본 ●●의 경우

- 긴급지진속보시스템(EEWS, Earthquake Early Warning System)을 통해 기상청으로부터 긴급지진속보(규모 3.5 이상)가 전달되면 경고음과 함께 화면하단에 1/2 크기로 예상지역 지도와 강한 지진 경고 문구 등이 1초만에 자동으로 자막방송됨

135) 「방송통신발전 기본법」 제40조 제5항의 규정에 따라 각 방송사가 의무적으로 작성·비치하도록 되어 있음

[표 74] 경주 지진 당시 자막 등 방송 현황

구분	전진(17시 44분 발생)	본진(20시 33분 발생)
◎◎	19시 47분 자막, 19시 59분 특보	20시 34분 자막 및 뉴스, 특보
●●	20시 03분 자막, 20시 뉴스 9번째 보도	20시 42분 자막, 21시 30분 특보
●●	20시 00분 뉴스	20시 51분 뉴스
■	19시 53분 자막	20시 40분 자막
■	19시 48분 특보	20시 43분 뉴스
★★	19시 59분 자막, 20시 00분 특보	20시 34분 뉴스
☆☆	19시 50분 자막	20시 38분 특보
☎	19시 52분 자막	20시 36분 특보
☎	19시 50분 자막	20시 35분 뉴스, 특보
☎	19시 51분 자막	20시 41분 특보

자료: 방통위 제출자료

[그림 32] 한국 ◎◎ 지진자동 자막방송



자료: ◎◎ 방송화면(2015. 12. 12.)

[그림 33] 일본 ●● 지진자동 자막방송

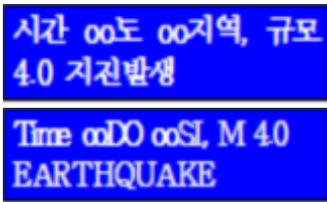


자료: ●● 방송화면(2008. 6. 14.)

따라서 방통위는 지진자막시스템에 지진조기경보가 수신됨과 동시에 별도의 내부확인이나 승인 없이 즉시 자막방송하는 등의 표준절차와 시인성 확보기준 등을 「재난방송 및 민방위경보방송의 실시에 관한 기준」 등에 규정하고 방송사의 이행·준수 여부를 지도·감독하여야 한다.

그런데 방통위는 경주 지진 이후 [표 75]와 같이 지진규모에 따라 자막의 내용 및 형태를 통일하는 방안(이하 “지진 자막형식 권고(안)”이라 한다)을 마련하고 2016. 12. 6. 10개 방송사의 재난방송책임자 등이 참석한 “중앙재난방송협의회”(주최: 미래창조과학부)에서 지진 자막형식 권고(안)대로 기상청에서 오는 지진 정보를 바로 자막으로 방송하도록 권고만 한 채 관련 규정을 마련하는 등의 조치를 하지 않고 10개 방송사의 재난방송매뉴얼 개정 여부 등을 점검하지 않고 있었다.

[표 75] 중앙재난방송협의회 지진 자막형식 권고(안)

자막 구성	1단계(규모 3.0~3.9)	2단계(규모 4.0~4.9)	3단계(규모 5.0 이상)
자막 크기	자음	가로 전체, 세로 최소 170픽셀 (1/6 크기) 이상	가로 전체, 세로 최소 216픽셀 (1/5 크기) 이상
색상	흰색 바탕 검정색 굵은 글씨	파란색 바탕 흰색 굵은 글씨	빨간색 바탕 흰색 굵은 글씨
예시	자막 스크롤 또는 CG(자막)로 자음 선택 가능		
유지시간(5분)	(자막 시) 한글자막 10초 노출, 5회 이상 (영문 1회 이상 포함)	한글자막 최소 10초 노출, 5회 이상 (영문 1회 이상 포함)	한글자막 최소 10초 노출, 5회 이상 (영문 1회 이상 포함)
지진정보방송	지진발생, 피해, 대피요령 등	지진발생, 피해, 대피요령 등	지진발생, 피해, 대피요령 등

자료: 방통위 제출자료

이에 이번 감사 시 지진조기경보 자막방송의 실효성이 확보되도록 재난방송 절차 등이 개선되었는지 확인하기 위하여 방통위가 2017. 4. 19. 10개 방송사의 재난 방송매뉴얼과 지진자막시스템을 점검한 결과 여전히 다음과 같은 문제점이 있었다.

경주 지진 이후부터 2017년 4월 현재까지 5개 방송사가 재난방송매뉴얼을 개정하면서, [표 76]과 같이 ○●의 경우 지진조기경보를 바로 자막방송하고 사후에

보도국에 통보하도록 절차를 개정하고 지진 자막형식 권고(안)을 매뉴얼에 반영하였으나, ㉠㉡는 지진조기경보 시 별도의 확인이나 승인 없이 자막방송을 실시하도록 절차는 개정하고 지진 자막형식 권고(안)은 반영하지 않았고, ㉢㉣·☆☆·㉤㉥의 경우 지진조기경보 자막방송의 승인절차는 그대로 유지하고 지진 자막형식 권고(안)만 반영하였다.

반면에, ㉦㉧·☆☆·㉨㉩·㉪㉫·㉬㉭, 등 5개 방송사는 재난방송매뉴얼을 개정하지 않아 지진조기경보 자막방송의 승인절차를 개정하지 않고 지진 자막형식 권고(안)도 매뉴얼에 반영하지 않고 있다.

또한 [표 76]과 같이 ㉮㉯의 경우 보도국 승인없이 바로 지진 자막형식 권고(안)이 자동으로 방송가능하도록 지진자막시스템을 개선하였으나, ㉦㉧ 와 ㉮㉯는 보도국 승인절차만 없애고 지진 자막형식 권고(안)이 자동 구현되도록 시스템을 개선하지 않고 있으며, ㉢㉣ 등 7개 방송사는 2017년 4월 현재까지 기존의 지진자막시스템을 개선하지 않고 있었다.

[표 76] 경주 지진 이후 재난방송매뉴얼 및 지진자막시스템 현황

방송사	재난방송매뉴얼 개정 여부		지진자막시스템 개선 여부	
	보도국 승인 절차개정 여부	지진 자막형식 권고(안) 반영 여부	보도국 승인 절차 제거	지진 자막형식 권고(안) 자동 구현
㉠㉡	○	○	○	○
㉢㉣	○	×	○	×
㉢㉣, ☆☆☆, ㉤㉥	×	○	×	×
㉦㉧	×	×	○	×
☆☆, ㉨㉩, ㉪㉫, ㉬㉭	×	×	×	×

자료: 방통위 제출자료

그 결과 향후 규모 5.0 이상의 지진 발생 시 재난방송매뉴얼에 따라 보도국의 확인·승인 과정을 거쳐 지진 자막형식 권고(안)대로 수작업하는 등으로 인하여 지진조기경보 자막방송이 지연되어 지진조기경보의 실효성이 저해될 우려가 있다.

관계기관 의견 방통위는 감사결과를 받아들이면서 「재난방송 및 민방위경보방송의 실시에 관한 기준」에 지진조기경보 관련 규정을 마련하는 등 지진조기경보 자막방송이 신속히 이루어질 수 있도록 개선방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 방송통신위원회 위원장은 지진조기경보가 시청자의 주목을 끌 수 있는 형식으로 즉시 자막방송되도록 방송표준절차와 기준을 「재난방송 및 민방위경보방송의 실시에 관한 기준」 등에 마련하는 등 지진조기경보의 실효성을 확보할 수 있는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

나-4)-2 지진조기경보 문자발송시간 개선 미흡

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」 제12조, 같은 법 시행규칙 제4조 및 「지진화산 업무규정」 제10조의 규정에 따라 국내에서 규모 5.0 이상으로 예상되는 지진 등이 관측되면 지진조기경보를 발표하고, 지진 추정규모 및 발생위치 등의 내용이 포함된 지진 관측정보(이하 “지진정보”라 한다)를 휴대전화

단문문자서비스(이하 “문자”라 한다)를 이용하여 관계기관에 통보하고 있다.

지진조기경보의 목적은 실제 피해를 발생시키는 S파(Secondary wave)보다 속도가 빨라 먼저 도달한 P파(Primary wave)를 탐지하여 분석한 지진정보를 전파하여 지진피해를 최소화하는 것이므로 기상청은 최대한 신속히 관계기관에 지진조기경보를 통보하여야 한다.

그런데 기상청은 2015년 1월 지진조기경보시스템 도입 이후 지진조기경보를 3차례 발표하면서 [표 77]과 같이 경주 지진(전진) 발생시 문자로 통보해 주어야 할 관계기관의 통보대상자 수가 1,851명인 반면 통신사에서 문자를 발송하는 속도는 통신사 계정¹³⁶⁾당 10건/초에 불과하고 1,000건 이상의 문자는 시스템 오류로 발송되지 않아 문자를 전달하는 데 8분 43초가 소요되는 등 관계기관에 지진정보를 통보하는 데 시간이 지체되었다.

한편 문자 발송비용은 문자 발송개수에 따라 책정되므로 통신사 계정 수를 늘려도 비용은 증가하지 않는 반면, 계정 수를 늘리면 문자발송시간은 단축된다.

[표 77] 지진조기경보 발표 및 문자 통보 현황

(단위: 명, 개, %)

구분(규모)	지진발생시각	지진조기경보 발표시각	통보 시작시각	통보 종료시각	통보 소요시간	통보 대상자 수	성공 회선 수	통보성공률
울산 해역 지진(5.0)	2016. 7. 5. 20:33:03	20:33:41 (38초)	20:33:42 (39초)	20:40:40 (7분37초)	6분 58초	1,392	1,005	72.2
경주지진-전진(5.1)	2016. 9. 12. 19:44:32	19:45:03 (31초)	19:45:03 (31초)	19:53:46 (9분14초)	8분 43초	1,851	1,009	54.5
경주지진-본진(5.8)	2016. 9. 12. 20:32:54	20:33:23 (29초)	20:33:24 (30초)	20:34:09 (1분15초)	45초	1,851	12	0.6

자료: 기상청 제출자료

136) 기상청 지진조기경보시스템에서 통신사 문자발송시스템으로 전송되는 회선

따라서 문자를 발송하는 시간을 단축하기 위해서는 계정당 발송속도 개선과 통신사 계정수를 늘리는 조치¹³⁷⁾를 함께 하여야 했다.

그런데 기상청은 2016. 9. 28. 경주 지진 등에서 발생한 문제점을 개선하면서 문자발송속도를 기존 통신사 계정당 10건/초에서 100건/초로 10배 빠르게 개선하였으나 통신사 계정 수를 늘리지 않아 2017. 4. 21. 기준으로 통보대상자 수가 1,564명인 점을 고려하면 문자를 발송하는 데 약 16여 초가 소요될 것으로 예상된다.

그 결과 문자 통보가 지연됨에 따라 관계 기관에서 지진정보를 신속히 받지 못해 지진발생 시 조기에 대처하는 데 지장을 줄 우려가 있다.

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 2017년도 “지진조기경보 2단계 서비스 기반 구축(Ⅱ)” 용역사업을 통해 통신사 계정 수를 늘리도록 하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 지진 관측정보가 관계 기관에 신속히 전달될 수 있도록 휴대전화 단문문자서비스의 통신사 계정 수를 늘려 발송속도를 높이는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

137) 통신사는 계정 수를 4개까지 늘리는 것이 기술적으로 가능하다는 의견

나-4)-3 지진조기경보 통보기관 지정 불합리

기상청은 「지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률」(이하 “지진관측법”이라 한다) 제12조, 같은 법 시행규칙 제4조 및 「지진화산 업무규정」 제10조의 규정에 따라 국내에서 규모 5.0 이상으로 예상되는 지진 등이 관측되면 지진조기경보를 발표하고, 지진추정규모 및 발생위치 등의 내용이 포함된 지진관측 정보(이하 “지진정보”라 한다)를 관계기관에 통보하고 있다.

지진조기경보 발표 후 지진정보를 통보하여야 하는 관계기관은 지진관측법 시행규칙 제4조의 규정에 국가안전보장회의 등 중앙행정기관, 지방자치단체 및 기상청장이 재해방지를 위하여 통보가 필요하다고 인정하는 기관으로 되어 있다.

그리고 2016. 9. 12. 경주 지진 발생 시 국가안전보장회의 구성위원이 속한 외교부 및 통일부와 세종특별자치시 등이 지진정보를 수신하지 못하는 사례가 발생하자 기상청은 같은 해 11. 10. 지진정보 통보기관 지정기준을 세부적으로 정하면서 지진관측법 시행규칙 제4조 제2항 제12호의 규정에 따른 재해방지를 위하여 지진정보가 필요한 기관의 범위에 「재난 및 안전관리 기본법 시행령」 제3조의 규정에 따른 ‘재난관리책임기관’¹³⁸⁾ 중 지진정보가 필요하다고 판단되는 기관 등을 포함하는 것으로 “지진·지진해일 통보처 관리 기준”을 수립하였다.

따라서 기상청은 지진정보가 필요한 ‘재난관리책임기관’이 지진정보를 받지 못

138) 중앙행정기관과 지방자치단체는 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조 제5호의 규정에 따른 ‘재난관리책임기관’에 해당

하는 일이 없도록 ‘재난관리책임기관’ 전부를 통보기관으로 지정하거나 기관별로 지진정보가 필요한 지 여부를 검토하여 통보기관을 지정하여 지진 발생 시 중요시설 관리 등에 선제적으로 대응하도록 지진정보를 통보하는 것이 타당하다.

그런데도 기상청은 ‘재난관리책임기관’ 중 ☼☼를 지진정보 통보기관으로 지정한 반면 기관의 성격이 동일한 ♠♠주식회사는 통보기관으로 지정하지 않는 등 ‘재난관리책임기관’에 지진정보를 제공한다는 사실을 알려주지 않은채 해당기관들이 지진정보를 요청하지 않았다는 사유로 [표 78] 및 [별표 13] “재난관리책임기관 중 지진조기경보 통보기관 지정 명세”와 같이 전체 386개 ‘재난관리책임기관’ 중 306개 기관만을 통보기관으로 지정하였다.

그 결과 [표 78]과 같이 전체 386개 ‘재난관리책임기관’ 중 20.7%에 해당하는 80개 기관이 지진조기경보 통보기관으로 지정되지 않아 지진정보를 받지 못하고 있어 재난의 예방·대비·대응 및 복구를 위한 활동에 지장을 초래할 우려가 있다.

[표 78] 재난관리책임기관 중 지진조기경보 통보기관 지정 현황

(단위: 개)

	재난관리책임기관 수	통보기관 수	미통보기관 수
합계	386	306	80
중앙행정기관	43	14	29
지방자치단체	245	243	2
공공기관 등	98	49	49

자료: 기상청 제출자료와 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조 제5호 및 같은 법 시행령 제3조 [별표1의2] 재구성

관계기관 의견 기상청은 감사결과를 받아들이면서 앞으로 국민안전처와 협의하여 ‘재난관리책임기관’에 대한 지진조기경보 통보기관 지정 여부를 결정하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 기상청장은 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조 제5호의 규정에 따른 ‘재난관리 책임기관’에 대해 지진조기경보 관측결과 제공의 필요성을 검토하고, 필요 시 해당기관에 통보할 수 있는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

별표 목차

【별표 1】	목호 검조소 조위 관측 값 명세(2분 자료)	171
【별표 2】	속초 검조소 조위 관측 값 명세(2분 자료)	172
【별표 3】	울릉도 검조소 조위 관측 값 명세(2분 자료)	173
【별표 4】	태풍특보 사후분석 세부 내역	174
【별표 5】	시정현천계 물품검사 업무 담당자 명세	175
【별표 6】	지진조기경보 구역 외 지진 발생시 예상 진도 현황	176
【별표 7】	2017년도 지진관측소 신설 예정지 중복 현황	177
【별표 8】	지진조기경보시스템 규모 3.0 이상 관측 현황	180
【별표 9】	관측소별 규모 3.0 이상 지진 미탐지 현황	182
【별표 10】	주요 미탐지 지진관측소 미탐지 원인분석	187
【별표 11】	지진조기경보시스템 메타데이터(GAIN 값) 오류 현황	188
【별표 12】	경주 지진 메타데이터 오류에 따른 규모 비교표	189
【별표 13】	재난관리책임기관 중 지진조기경보 통보기관 지정 명세	190

[별표 1]

목호 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)

(단위: cm)

일자	분 시	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
2016. 8. 30.	0	50	47	55	67	80	80	75	70	49	59	49	68	64	76	61	58	64	59	64	57	69	72	69	61	78	52	57	56	70	63
2016. 8. 30.	1	83	77	76	58	54	63	55	71	77	75	59	79	59	77	63	62	73	71	77	68	62	64	56	58	71	80	79	73	61	57
2016. 8. 30.	2	54	65	72	83	72	76	55	56	73	60	73	80	68	58	55	82	77	84	68	63	39	48	67	87	78	88	69	60	51	63
2016. 8. 30.	3	-	69	91	79	71	64	46	52	77	84	85	89	70	57	59	71	65	84	70	76	55	71	68	69	59	68	82	65	75	62
2016. 8. 30.	4	61	62	72	69	74	72	62	68	62	-	74	80	66	63	68	70	70	67	78	75	59	60	67	67	70	70	70	72	70	72
2016. 8. 30.	5	57	60	69	73	72	72	71	72	75	66	63	56	68	69	75	79	82	51	62	66	62	85	71	63	53	56	54	74	74	81
2016. 8. 30.	6	84	66	48	61	59	77	74	89	69	56	60	56	62	67	84	74	79	62	57	64	69	72	75	74	78	64	50	70	60	75
2016. 8. 30.	7	73	79	60	67	54	67	63	71	77	67	76	64	71	58	71	67	70	64	75	80	69	70	68	65	67	68	82	76	67	58
2016. 8. 30.	8	67	73	73	69	70	58	57	73	66	86	76	67	61	62	75	73	86	72	66	56	64	65	84	80	79	79	62	70	67	73
2016. 8. 30.	9	78	76	71	71	75	74	67	66	69	71	73	81	71	79	76	84	63	77	76	81	79	82	84	66	74	60	80	83	82	78
폭풍해일특보 발효																															
2016. 8. 30.	10	69	75	66	74	89	85	78	82	72	82	86	79	76	82	72	72	73	72	76	88	84	84	76	84	75	85	84	90	83	72
2016. 8. 30.	11	83	70	77	90	83	96	83	75	80	85	80	79	87	88	92	84	88	80	77	81	83	93	87	88	79	88	82	85	89	92
2016. 8. 30.	12	88	84	77	84	84	85	87	88	83	84	79	92	90	87	84	84	82	82	83	96	97	93	87	77	78	77	88	93	94	95

자료: 기상청 제출자료

[별표 2]

속초 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)

(단위: cm)

일자	분 시	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
		2016. 8. 30.	0	54	64	50	61	62	63	66	54	66	63	61	61	59	64	60	69	67	61	48	66	58	68	66	60	56	65	70	64
2016. 8. 30.	1	72	70	70	69	62	60	80	68	72	48	60	62	61	71	67	73	62	59	68	67	69	55	74	70	76	65	72	64	67	69
2016. 8. 30.	2	72	62	60	61	66	66	66	54	74	78	62	58	63	70	81	72	64	52	65	69	67	75	61	70	61	59	64	67	66	57
2016. 8. 30.	3	74	64	66	71	66	78	73	63	64	72	76	62	64	65	62	68	75	81	65	61	69	74	77	67	73	72	60	62	56	72
2016. 8. 30.	4	70	74	68	67	59	59	64	79	76	62	69	64	62	68	67	70	65	73	62	60	65	76	75	53	61	64	67	73	74	66
2016. 8. 30.	5	56	62	68	80	60	66	65	66	66	60	69	66	63	71	62	77	65	72	62	67	54	66	71	75	73	65	67	65	48	67
2016. 8. 30.	6	59	66	74	70	55	56	50	68	68	66	60	66	64	66	66	61	64	70	66	61	52	58	63	62	74	70	65	58	58	60
2016. 8. 30.	7	60	70	66	62	58	62	57	60	65	64	75	52	64	64	62	70	72	66	63	60	56	57	67	62	73	55	-	-	64	62
2016. 8. 30.	8	62	69	58	69	66	66	64	62	59	63	56	54	62	73	69	67	60	63	62	64	62	70	63	58	75	61	58	59	68	65
2016. 8. 30.	9	66	64	67	65	66	65	67	62	73	70	63	61	67	67	55	69	72	65	59	68	69	73	68	64	68	71	63	69	64	71
폭풍해일특보 발효																															
2016. 8. 30.	10	61	69	67	78	69	52	68	74	74	65	75	67	74	72	72	72	74	70	72	72	70	74	78	70	70	72	70	72	77	72
2016. 8. 30.	11	75	67	79	74	72	69	75	80	84	72	74	76	79	80	72	72	76	78	75	82	77	77	79	83	80	79	79	74	81	81
2016. 8. 30.	12	80	83	76	76	82	74	79	84	72	73	87	87	82	79	82	74	78	76	87	84	80	75	83	80	82	90	82	81	81	84

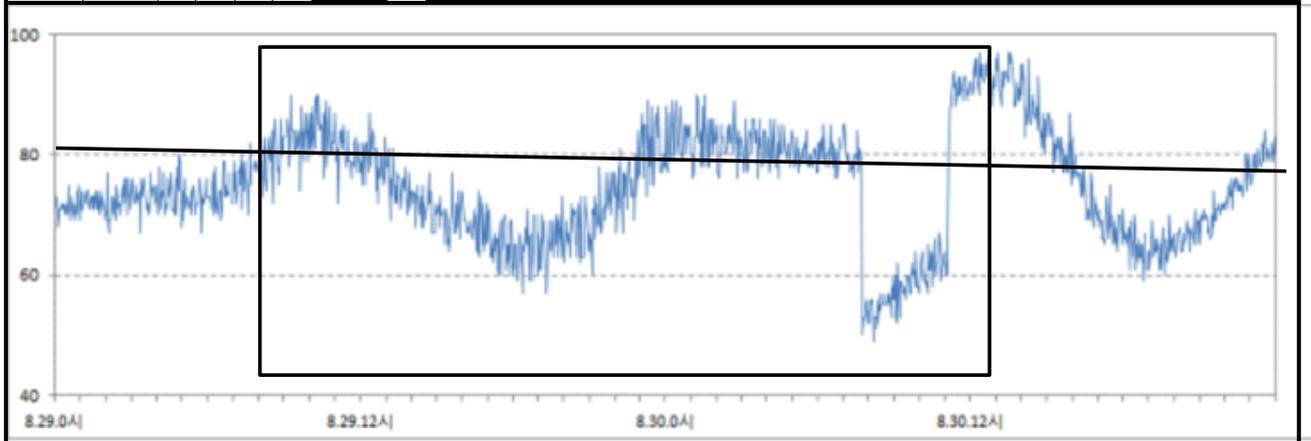
자료: 기상청 제출자료

[별표 3]

울릉도 검조소 조위 관측 값 명세(2분자료)

(단위: cm)

일자	시분	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
2016.8.29.	08	77	74	79	72	74	77	77	78	75	80	71	79	76	74	79	76	75	70	73	78	82	75	-	78	78	79	77	79	78	78
2016.8.29.	09	77	79	78	79	73	80	81	83	76	74	81	81	83	80	79	84	77	72	82	86	80	80	77	78	75	84	86	80	80	83
2016.8.29.	10	83	83	83	85	86	83	78	83	90	84	84	84	80	81	84	81	84	84	81	74	88	81	83	84	79	87	83	84	79	87
2016.8.29.	11	81	87	83	80	88	83	81	89	90	85	90	85	84	85	84	80	87	76	86	89	78	83	83	88	80	84	80	82	82	86
2016.8.29.	12	87	79	81	72	79	82	84	81	84	82	85	81	78	79	79	84	79	79	79	76	78	79	78	82	83	77	79	79	82	77
2016.8.29.	13	79	78	75	82	80	75	82	82	81	77	87	87	78	78	84	83	81	81	74	81	72	78	76	78	80	76	80	75	76	83
2016.8.29.	14	78	78	78	81	77	69	76	73	80	81	72	73	75	72	77	76	76	71	73	74	76	74	75	78	75	70	74	77	74	71
2016.8.29.	15 (중략)	74	73	72	74	73	68	75	73	73	70	70	73	68	75	68	72	69	70	71	72	73	77	72	74	68	67	67	67	72	70
2016.8.29.	22	67	64	66	60	71	70	73	66	72	71	68	69	78	69	67	68	71	71	72	69	77	71	71	73	77	70	73	73	77	73
2016.8.29.	23	77	73	67	73	78	71	81	74	72	67	77	73	77	76	71	76	79	79	76	73	76	73	73	69	80	73	76	84	76	77
2016.8.30.	00	81	84	87	82	76	85	85	81	73	89	78	80	83	75	88	75	76	80	85	87	83	88	83	80	77	77	78	80	78	78
2016.8.30.	01	88	78	77	87	82	79	82	89	80	79	81	85	89	81	80	82	83	88	83	80	79	80	85	84	80	85	83	84	85	82
2016.8.30.	02	80	80	76	77	83	83	83	90	89	84	82	84	78	79	88	78	90	87	83	78	80	86	78	86	83	82	80	86	82	83
2016.8.30.	03	83	85	77	76	81	80	85	83	83	81	80	80	81	84	85	82	85	82	83	80	85	89	82	85	76	82	84	79	82	83
2016.8.30.	04	82	80	77	77	86	85	77	78	82	84	83	80	85	86	86	82	84	82	84	76	86	82	81	83	78	79	84	83	84	79
2016.8.30.	05	83	83	77	79	86	80	79	83	86	79	79	78	82	76	85	82	80	80	82	85	82	81	80	79	81	82	78	80	80	84
2016.8.30.	06	83	80	78	79	79	83	77	81	78	79	79	81	80	79	82	81	84	79	78	80	78	80	79	78	80	81	80	81	77	77
2016.8.30.	07	82	82	79	82	83	79	82	85	79	78	80	80	81	78	84	85	80	78	82	77	76	81	78	76	79	83	-	-	81	83
2016.8.30.	08	85	85	83	81	79	80	79	79	77	78	79	78	76	80	80	79	84	79	77	81	80	77	50	51	53	53	55	56	52	54
2016.8.30.	09	52	55	56	55	56	49	53	53	53	51	56	52	55	54	57	55	-	57	56	55	55	56	57	55	57	56	53	58	56	60
폭풍해일특보 발효																															
2016.8.30.	10	56	60	53	52	62	57	53	59	58	59	57	57	58	56	60	59	59	60	57	57	60	62	60	61	58	64	59	58	58	57
2016.8.30.	11	59	60	62	64	59	61	59	58	59	57	65	61	61	64	63	58	63	66	61	60	61	62	65	67	65	59	61	62	63	64
2016.8.30.	12	60	62	60	66	84	88	-	88	90	93	94	91	92	88	90	93	90	90	93	91	90	89	93	93	93	89	91	90	91	92



자료: 기상청 제출자료

[별표 4]

태풍특보 사후분석 세부 내역

(단위: 건, 개)

구분	태풍명	사후분석보고서 등록	특보대상구역	특보발표 건수 (대상특보구역 수)	사후분석 대상		사후분석 세부내역
					특보 건수	특보구역 수	
2012년	제7호 카눈	2017. 3. 8.	해상	7건(40개)	3	17	- 태풍특보 사후분석보고서를 작성하면서 해상 특보구역에 대한 특보는 사후분석 대상에서 제외하여 분석을 실시하지 않았음 - 발표한특보특보구역별로 예측내용과 대응하는 상황을 비교하여 특보기준 미달 여부 등 차이를 분석하거나 특보기준 미달로 사후분석 대상이 되는 구체적인 특보·특보구역별로 그 차이발생 원인과 그로 인한 파급효과 분석 등을 상세하게 분석하지 않았음 - 각태풍과 관련된 구체적인 특보·특보구역을 기준으로 하지 않고 태풍별로 태풍의 경로 등 특성을 중심으로 주요지점의 최대 풍속, 최대 강수량 등 위주로 종합적인 분석만 실시하였음
			육상	8건(181개)	3	71	
	제15호 볼라벤	2017. 3. 8.	해상	11건(53개)	1	1	
			육상	11건(287개)	2	58	
	제16호 산바	2017. 3. 8.	해상	8건(56개)	-	-	
			육상	8건(308개)	3	92	
2013년	제24호 다나스	2017. 3. 8.	해상	8건(29개)	-	-	
			육상	8건(47개)	1	7	
2014년	제8호 너구리	2014. 10. 5.	해상	5건(14개)	-	-	
			육상	2건(10개)	1	4	
	제11호 할롱	2017. 3. 8.	해상	3건(4개)	-	-	
	제12호 나크리	2017. 3. 8.	해상	10건(44개)	2	6	
육상			10건(83개)	4	15		
2015년	제11호 낭카	2017. 3. 8.	해상	5건(9개)	1	1	
			육상	2건(2개)	1	1	
	제15호 고니	2017. 3. 21.	해상	18건(38개)	2	5	
			육상	5건(93개)	5	86	
2016년	제18호 차바	2017. 3. 8.	해상	10건(42개)	2	4	
			육상	7건(118개)	1	35	

자료: 기상청 제출자료

[별표 5]

시정현천계 물품검사 업무 담당자 명세

소속		직급/성명	근무기간	비위사실
기상청	△과	M	2009. 5. 11.~ 2010. 1. 26.	<ul style="list-style-type: none"> 안개관측망 구축사업 관련 1차 구매 시 물품검사(2009. 6. 5.) 부적정 - 제작사 시험성적서에 정확도 성능 기준에 대한 평가가 누락되어 있는데도 적합한 것으로 검사
		N	2009. 5. 11.~ 2010. 2. 12.	<ul style="list-style-type: none"> 안개관측망 구축사업 관련 2차 구매 시 물품검사(2010. 2. 11.) 부적정 - 제작사 시험성적서에 정확도 성능 기준에 대한 평가가 누락되어 있는데도 적합한 것으로 검사
한국기상산업 진흥원	○부	O	2010. 2. 1.~ 2014. 2. 6.	<ul style="list-style-type: none"> 안개관측망 구축사업 관련 3차(2010. 11. 16.) 구매, 2010년도(2010. 12. 27.)·2011년도(2011. 12. 12.)·2013년도(2014. 1. 7.) 자동기상관측장비 첨단화 사업 관련 구매 시 물품검사 부적정 - 제작사 시험성적서에 정확도 성능 기준에 대한 평가가 누락되어 있는데도 적합한 것으로 검사
	●실	P	2012. 11. 5.~ 2012. 12. 16.	<ul style="list-style-type: none"> 2012년도 자동기상관측장비 첨단화 사업 관련 구매 시 물품검사(2012. 12. 17.) 부적정 - 제작사 시험성적서에 정확도 성능 기준에 대한 평가가 누락되어 있는데도 적합한 것으로 검사
	●센터	Q	2014. 2. 7.~ 2017. 1. 31.	<ul style="list-style-type: none"> 2014년도(2015. 10. 15.)·2015년도(2016. 2. 22.)·2016년도(2016. 9. 8.) 자동기상관측장비 첨단화 사업 관련 구매 시 물품검사 부적정 - 제작사 시험성적서에 정확도 성능 기준에 대한 평가가 누락되어 있는데도 적합한 것으로 검사

주: 비교란의 괄호 안 일자는 해당 구매 시 물품검사 완료일을 나타냄

자료: 기상청 제출자료

[별표 6]

지진조기경보 구역 외 지진 발생 시 예상 진도 현황

(단위: km)

진앙	지진 규모	영향 크기 (MMI 진도)	영향 반경	영향 지역(진앙과의 거리)
휴전선 인근 ¹⁾	5.0	VI	14	파주시(11)
		V	20	파주시(11), 고양시(21)
	6.0	IX	12	파주시(11)
		VIII	25	고양시(21)
		VI	37	서울특별시(37), 인천광역시(37)
		V	67	수원시(67)
		V	67	수원시(67)
	7.0	XI	15	파주시(11)
		X	22	고양시(21)
		IX	30	은평구(30)
		VIII	44	서울특별시(38), 인천광역시(37)
		VII	65	수원시(67)
V		174	오산시(80) 세종특별자치시(158), 대전광역시(172)	
개성특급시	6.0	VI	37	파주시(30)
		V	67	고양시(42), 서울특별시(58), 인천광역시(64)
	7.0	IX	30	파주시(30)
		VIII	44	고양시(42)
		VII	65	서울특별시(58), 인천광역시(64)
		VI	96	수원시(84)
V	174	세종특별자치시(174)		
해주시	7.0	VI	96	강화군(70), 파주시(96)
		V	174	고양시(103), 인천광역시(107), 서울특별시(121), 수원시(138), 오산시(154)
배타적경제수역 인근 대한해협 ²⁾	6.0	VI	37	거제시(37), 부산광역시(32)
		V	67	창원시(56), 울산광역시(63)
	7.0	VIII	44	거제시(37), 부산광역시(32)
		VII	65	창원시(56), 울산광역시(63)
		V	174	포항시(116), 대구광역시(116)
쓰시마섬 인근 ³⁾	6.0	V	67	거제시(67), 부산광역시(62)
		VII	65	거제시(67), 부산광역시(62)
	7.0	VI	96	창원시(86), 울산광역시(93)
		V	174	포항시(146), 대구광역시(146)

주: 1. 휴전선 인근 북한지역(37.78, 126.66), 2. 배타적경제수역 인근 대한해협(34.758, 128.999), 3. 쓰시마 섬 인근 (34.651, 129.32)에서 각 시군구청 소재지까지의 거리를 측정함

자료: 기상청 제출자료

[별표 7]

2017년도 지진관측소 신설 예정지 중복 현황

(단위: km)

번호	기상청 신설 예정지		인접 관측소			인접 거리
	지점명	주소	지점명	주소	비고	
1	지산 (관측공백)	전라남도 진도군	함평관리소 (가스공사)	전라남도 함평군	운영 중	0.5
			진도변환소 (전력연구원)	전라남도 진도군	신설 예정	4.9
2	세종 (관측공백)	세종특별자치시	매천관리소 (가스공사)	충청북도 영동군	운영 중	1.0
			조치원관리소 (가스공사)	세종특별자치시	운영 중	4.4
			교원대*(지자연)	충청북도 청원군	운영 중	9.3
3	논산 (관측공백)	충청남도 논산시	논산관리소 (가스공사)	충남 논산시	운영 중	1.5
4	성주 (관측공백)	경상북도 성주군	성주저수지 (농어촌공사)	경북 성주군	운영 중	2.7
5	내초 (관측공백)	전라북도 군산시	새만금변전소 (전력연구원)	전라북도 군산시	신설 예정	2.9
6	웅촌 (양산단층)	울산광역시 울주군	청량관리소 (가스공사)	울산시 울주군	운영 중	3.9
7	익산 (관측공백)	전라북도 익산시	익산관리소 (가스공사)	전북 익산시	운영 중	4.9
8	어곡 (관측공백)	경상북도 고령군	달성보 (수자원공사)	대구광역시 달성군	운영 중	5.1
9	청도 (관측공백)	경상북도 청도군	청도관리소 (가스공사)	경북 청도군	운영 중	5.9
10	교동 (군사접경지)	인천광역시 강화군	난정저수지 (농어촌공사)	인천광역시 강화군	설치 예정	6
11	단장 (양산단층)	경상남도 밀양시	밀양댐 (수자원공사)	경상남도 밀양시	운영 중	0.4
12	장기* (양산단층)	경상북도 포항시 남구	감포댐 (수자원공사)	경상북도 경주시	운영 중	1.0
			학계리 (지자연)	경상북도 포항시 남구	운영 중	9.7
13	황성 (양산단층)	경상북도 경주시	용강관리소 (가스공사)	경상북도 경주시	운영 중	1.0
			남호관리소 (가스공사)	경상북도 영덕군	운영 중	3.7
			미정(지자연)	9.12지진 진앙지 북쪽	신설 예정	6.6

번호	기상청 신설예정지		인접 관측소			인접 거리
	지점명	주소	지점명	주소	비고	
14	안강 (양산단층)	경상북도 경주시	안강관리소 (가스공사)	경상북도 경주시	운영 중	1.6
			덕정리(지자연)	경상북도 영천시	운영 중	8.3
15	두서* (양산단층)	울산광역시 울주군	대곡댐 (수자원공사)	울산광역시 울주군	운영 중	1.6
			미정(지자연)	9.12지진 진앙지 남쪽	신설 예정	9.0
16	기장 (양산단층)	부산광역시 기장군	고리스위치야드 (전력연구원)	부산광역시 기장군	신설 예정	2.7
			새울원자력* (한수원)	울산광역시 울주군	운영 중	4.6
17	덕천 (양산단층)	부산광역시 북구	북부산변전소 (전력연구원)	부산광역시 북구	신설 예정	2.8
			김해관리소 (가스공사)	경상남도 김해시	운영 중	9.2
18	삼남 (양산단층)	울산광역시 울주군	고리원자력* (한수원)	울산광역시 울주군	운영 중	3.8
			양산* (지자연)	경상남도 양산시	운영 중	7.4
19	서동 (양산단층)	울산광역시 중구	진장관리소 (가스공사)	울산광역시 북구	운영 중	3.8
			새울원자력 (한수원)	울산광역시 울주군	운영 중	4.5
			방방골(지자연)	울산광역시 북구	운영 중	9.1
20	진해 (양산단층)	경상남도 창원시 진해구	진해관리소 (가스공사)	경상남도 창원시 진해구	운영 중	4.0
21	주촌 (양산단층)	경상남도 김해시	신김해변전소 (전력연구원)	경상남도 김해시	신설 예정	5.2
			진영관리소 (가스공사)	경상남도 김해시	운영 중	7.7
22	진영 (양산단층)	경상남도 김해시	진영관리소 (가스공사)	경상남도 김해시	운영 중	5.6
23	원리* (양산단층)	경상남도 양산시	삼랑진양수댐 (수자원공사)	경상남도 밀양시	운영 중	5.8
24	황용 (양산단층)	경상북도 경주시	미정(지자연)	9.12지진 진앙지 동쪽	신설 예정	6.6
			월성원자력* (한수원)	경상북도 포항시 남구	운영 중	8.6
25	강동 (양산단층)	경상북도 경주시	안계댐 (수자원공사)	경상북도 경주시	운영 중	6.9

번호	기상청 신설예정지		인접 관측소			인접 거리
	지점명	주소	지점명	주소	비고	
26	물금 (양산단층)	경상남도 양산시	양산관리소 (가스공사)	경상남도 양산시	운영 중	8.2
			북부산변전소 (전력연구원)	부산광역시 북구	신설 예정	8.6
27	산내 (양산단층)	경상북도 경주시	운문댐 (수자원공사)	경상북도 청도군	운영 중	9.3
28	상북 (양산단층)	울산광역시 울주군	고리원자력* (수력원자력)	울산광역시 울주군	운영 중	9.5
29	포항* (양산단층)	경상북도 포항시 남구	포항관리소 (가스공사)	경상북도 포항시 남구	운영 중	6.9
			미정*(지자연)	경상북도 포항시 북구	신설 예정	5.6
30	마라도* (영역확대)	제주특별자치도 서귀포시	마라도*(지자연)	제주특별자치도 서귀포시	운영 중	0.6
31	태하* (영역확대)	경상북도 울릉군	울릉도*(기상청)	경상북도 울릉군	운영 중	8.8

* 광대 역 속도계 관측소

자료: 기상청 및 유관기관 제출자료

[별표 8]

지진조기경보시스템 규모 3.0 이상 관측 현황

연번	발생일	진원시 (KST)	위도	경도	규모	진앙 위치
1	2015-01-06	13:06:41	38.45	126.25	3.2	북한 황해북도 평산 북서쪽 17km 지역
2	2015-01-08	20:15:19	37.52	125.65	3.7	인천 옹진군 연평도 남남서쪽 18km 해역
3	2015-02-03	19:54:54	33.58	127.66	3.2	전남 여수시 거문도 남남동쪽 52km 해역
4	2015-03-10	13:10:36	37.43	125.18	3.0	인천 옹진군 연평도 남서쪽 59km 해역
5	2015-03-19	16:20:18	36.52	127.65	3.1	충북 옥천군 북북동쪽 16km 지역
6	2015-04-13	18:02:03	37.18	125.49	3.3	인천 옹진군 연평도 남남서쪽 58km 해역
7	2015-07-14	14:34:37	33.44	126.97	3.5	제주 서귀포시 성산 남동쪽 20km 해역
8	2015-07-23	04:02:17	33.47	126.92	3.0	제주 서귀포시 성산 남동쪽 24km 해역
9	2015-08-03	10:11:26	33.41	127.02	4.0	제주 서귀포시 성산 남동쪽 22km 해역
10	2015-09-03	04:53:44	33.51	126.83	3.1	제주 서귀포시 성산 남동쪽 20km 해역
11	2015-10-01	09:21:26	35.79	129.13	3.0	경북 경주시 남서쪽 9km 지역
12	2015-10-30	15:17:30	35.75	129.38	3.2	경북 경주시 남동쪽 18km 지역
13	2015-11-24	11:27:54	35.69	129.74	3.4	울산 동구 동북동쪽 41km 해역
14	2015-11-24	14:10:00	35.61	130.00	3.0	울산 동구 북동쪽 36km 해역
15	2015-12-22	04:31:25	36.02	126.96	4.2	전북 익산시 북쪽 8km 지역
16	2016-02-11	05:57:45	36.20	127.48	3.3	충남 금산군 북쪽 12km 지역
17	2016-02-24	23:22:14	33.56	125.97	3.2	제주 제주시 고산 북서쪽 34km 해역
18	2016-02-26	18:46:12	33.24	127.29	3.2	제주 서귀포시 성산 동남동쪽 34km 해역
19	2016-03-05	11:11:52	35.57	129.88	3.5	울산 동구 동북동쪽 38km 해역
20	2016-03-14	05:17:07	38.66	125.85	3.3	북한 황해북도 송림 동쪽 21km 지역
21	2016-03-15	03:00:19	36.32	128.22	3.0	경북 상주시 남남동쪽 12km 지역
22	2016-03-27	18:28:40	39.24	126.03	3.1	북한 평안남도 평성 남동쪽 12km 지역
23	2016-04-28	10:16:44	35.42	128.57	3.1	경남 창원군 남남동쪽 15km 지역
24	2016-05-12	13:37:08	34.66	126.76	3.2	전남 강진군 북북동쪽 6km 지역
25	2016-06-03	04:53:38	36.38	127.91	3.3	경북 상주시 서쪽 22km 지역
26	2016-07-05	20:33:02	35.48	130.10	5.0	울산 동구 동쪽 52km 해역
27	2016-08-20	12:18:22	38.39	128.11	3.1	북한 강원 양구군 북북동쪽 32km 지역
28	2016-09-12	19:44:33	35.79	129.15	5.3	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
29	2016-09-12	19:48:07	35.70	129.20	3.6	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
30	2016-09-12	20:08:51	35.77	129.18	3.1	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역

연번	발생일	진원시 (KST)	위도	경도	규모	발생위치
31	2016-09-12	20:10:51	35.82	129.13	3.3	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
32	2016-09-12	20:32:54	35.77	129.18	5.9	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
33	2016-09-12	20:36:01	35.75	129.18	4.2	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
34	2016-09-12	20:38:35	35.87	129.15	3.6	경북 경주시 남남서쪽 7km 지역
35	2016-09-12	20:39:36	35.77	129.19	3.5	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
36	2016-09-12	20:40:41	35.77	129.20	3.4	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
37	2016-09-12	20:47:56	35.77	129.18	3.0	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
38	2016-09-12	21:20:49	35.77	129.18	3.2	경북 경주시 남남서쪽 7km 지역
39	2016-09-12	23:18:29	35.77	129.13	3.1	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
40	2016-09-12	23:52:31	35.77	129.15	3.2	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
41	2016-09-13	00:37:04	35.98	129.60	3.1	경북 경주시 남남서쪽 7km 지역
42	2016-09-13	08:24:48	35.77	129.15	3.4	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
43	2016-09-13	14:31:43	35.80	129.15	3.1	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
44	2016-09-14	00:48:41	35.77	129.15	3.1	경북 경주시 남남서쪽 11km 지역
45	2016-09-18	16:27:54	35.77	129.18	3.0	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
46	2016-09-19	20:33:58	35.75	129.15	4.7	경북 경주시 남남서쪽 11km 지역
47	2016-09-21	03:36:52	35.75	129.18	3.2	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
48	2016-09-21	11:53:55	35.77	129.13	3.7	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
49	2016-09-28	16:34:31	35.79	129.11	3.3	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
50	2016-09-28	21:10:35	35.79	129.15	3.0	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
51	2016-10-02	20:53:08	35.77	129.15	3.1	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
52	2016-10-10	22:59:10	35.77	129.15	3.5	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역
53	2016-10-12	00:29:37	35.77	129.15	3.1	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
54	2016-10-21	12:47:49	35.75	129.15	3.0	경북 경주시 남남서쪽 11km 지역
55	2016-10-23	03:00:05	35.79	129.18	3.0	경북 경주시 남남서쪽 7km 지역
56	2016-11-06	06:26:23	33.73	125.07	3.4	전남 신안군 흑산면 남남서쪽 106km 해역
57	2016-11-13	21:52:57	36.33	126.58	3.5	충남 보령시 북북동쪽 4km 지역
58	2016-12-12	17:53:18	35.77	129.15	3.5	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
59	2016-12-14	17:20:35	35.77	129.15	3.4	경북 경주시 남남서쪽 10km 지역

주: 2015년 1월 ~ 2016년 12월 발생한 지진을 대상으로 분석

자료: 기상청 제출자료

[별표 9]

관측소별 규모 3.0 이상 지진 미탐지 현황

(단위: 회, %)

연번	관측소코드	관측소명	센서종류	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율
1	NAH	남해	가속도계	기상청	46	40	87
2	YES	여수(기)	가속도계	기상청	43	37	86
3	CEJ	청주	가속도계	기상청	39	33	85
4	DKJ	덕정리	가속도계	지자연	41	32	78
5	BBK	방방골	가속도계	지자연	40	31	78
6	KCH	거창	가속도계	기상청	43	31	72
7	YSU	백운산	가속도계	기상청	44	31	70
8	TOH	동해	가속도계	기상청	33	30	91
9	PYC	평창	가속도계	기상청	37	30	81
10	CIG	칠곡	가속도계	기상청	42	30	71
11	HAD	하동	가속도계	기상청	45	30	67
12	JES	정선	가속도계	기상청	35	29	83
13	TEJ	대전	가속도계	기상청	41	28	68
14	YCH	예천	가속도계	기상청	42	28	67
15	HAC	합천	가속도계	기상청	43	28	65
16	IMS	임실	가속도계	기상청	38	27	71
17	JAS	장수	가속도계	기상청	39	27	69
18	SCH	순천	가속도계	기상청	43	27	63
19	CHO	전주	가속도계	기상청	38	26	68
20	YOW	영월	가속도계	기상청	39	26	67
21	TOY	통영	가속도계	기상청	43	26	60
22	GWYB	광양시추공	가속도계	기상청	45	25	56
23	YNDB	연도(여수)	가속도계	기상청	27	24	89
24	KOJ2	공주	가속도계	기상청	35	24	69
25	IMWB	임원시추공	가속도계	기상청	38	24	63
26	KUJA	거제시추공	가속도계	기상청	42	24	57
27	EMSB	음성시추공	가속도계	기상청	37	23	62
28	KMSA	금산시추공	가속도계	기상청	39	23	59
29	UJN	울진(기)	가속도계	기상청	41	23	56
30	MGY	문경	가속도계	기상청	41	20	49
31	TJN	대전	가속도계	지자연	41	20	49
32	IKSA	낭산(익산)	가속도계	기상청	28	19	68
33	JNPA	증평(증평)	가속도계	기상청	27	18	67
34	HKU	교원대	가속도계	지자연	37	18	49
35	GWL	사북	가속도계	기상청	39	18	46

연번	관측소코드	관측소명	센서종류	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율
36	SAC	산청	가속도계	기상청	43	18	42
37	CSO	청송	가속도계	기상청	41	17	41
38	JIN	진주	가속도계	기상청	44	17	39
39	JECB	제천	가속도계	기상청	30	16	53
40	SAJ	상주	가속도계	기상청	42	16	38
41	JSB	정선	가속도계	지자연	36	15	42
42	SUCA	순창시추공	가속도계	기상청	37	15	41
43	TBA	태백	가속도계	기상청	40	15	38
44	USN	울산	가속도계	기상청	41	15	37
45	MAS	마산	가속도계	기상청	43	15	35
46	BON	보은	가속도계	기상청	38	14	37
47	BSA	부산(청)	가속도계	기상청	39	14	36
48	SND	상동	가속도계	지자연	39	14	36
49	CPR	추풍령	가속도계	기상청	41	14	34
50	JEO2	완주	가속도계	기상청	39	13	33
51	NAWB	남원시추공	가속도계	기상청	39	13	33
52	OKCB	옥천시추공	가속도계	기상청	40	13	33
53	HAMB	함양시추공	가속도계	기상청	41	13	32
54	JRB	지리산	가속도계	지자연	42	13	31
55	CHR	창녕	가속도계	기상청	43	13	30
56	GSU	경상대	가속도계	지자연	44	13	30
57	YKDB	육지(통영)	가속도계	기상청	29	12	41
58	GRE	구례	가속도계	지자연	30	12	40
59	CHJ2	총주	가속도계	기상청	39	12	31
60	MAK	매곡리	가속도계	지자연	40	12	30
61	MGB	문경	가속도계	지자연	42	12	29
62	GIC	김천	가속도계	기상청	43	12	28
63	KMC	김천	가속도계	지자연	43	12	28
64	PHA2	포항	가속도계	기상청	40	11	28
65	MIYA	밀양시추공	가속도계	기상청	41	11	27
66	GKP1	경북대	가속도계	지자연	42	11	26
67	GUM	구미	가속도계	기상청	42	11	26
68	EURB	의령시추공	가속도계	기상청	43	11	26
69	JUR	중랑구	가속도계	기상청	12	10	83
70	CHYB	춘양	가속도계	기상청	29	10	34
71	ADOA	송현(안동)	가속도계	기상청	30	10	33
72	HACA	삼가(합천)	가속도계	기상청	30	10	33
73	DAU	대구(기)	가속도계	기상청	42	10	24
74	JAH	장흥	가속도계	기상청	12	9	75

연번	관측소코드	관측소명	센서종류	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율
75	EUSB	의성	가속도계	기상청	30	9	30
76	BUS2	부산 금정	가속도계	기상청	40	9	23
77	MKL	명계리	가속도계	지자연	40	9	23
78	ULJ2	울진 온정	가속도계	기상청	40	9	23
79	YSB	양산	가속도계	지자연	40	9	23
80	ADO2	안동	가속도계	기상청	41	9	22
81	SOD	종로구	가속도계	기상청	12	8	67
82	GWJ	광주	가속도계	기상청	13	8	62
83	MOK	영암	가속도계	기상청	13	8	62
84	YOJB	영주	가속도계	기상청	30	8	27
85	YODB	영덕	가속도계	기상청	29	7	24
86	HOC	홍천	가속도계	기상청	8	6	75
87	MRD	마라도	가속도계	지자연	8	6	75
88	MAN	무안	가속도계	기상청	9	6	67
89	YEG	영광	가속도계	기상청	9	6	67
90	PTK	평택	가속도계	기상청	11	6	55
91	CHY	춘양(봉화)	가속도계	기상청	12	6	50
92	KWJ	광주	가속도계	기상청	12	6	50
93	MOP	목포(기)	가속도계	기상청	12	6	50
94	YJD	영종도	가속도계	기상청	12	6	50
95	YOJ	영주	가속도계	기상청	12	6	50
96	NAJ	나주	가속도계	기상청	14	6	43
97	DAG2	경산	가속도계	기상청	41	6	15
98	PUA	부안	가속도계	기상청	9	5	56
99	SGP	서귀포	가속도계	기상청	10	5	50
100	ICN	이천	가속도계	기상청	11	5	45
101	YIN	용인	가속도계	지자연	11	5	45
102	EUS	의성	가속도계	기상청	12	5	42
103	SHHB	시흥시추공	가속도계	기상청	12	5	42
104	CHS	청송	가속도계	지자연	41	5	12
105	KAW	강릉	가속도계	기상청	4	4	100
106	OKEB	옥계시추공	가속도계	기상청	6	4	67
107	JEC	제천	가속도계	기상청	9	4	44
108	AJD	안좌도	가속도계	지자연	10	4	40
109	SSP	성산	가속도계	기상청	10	4	40
110	DDC	동두천	가속도계	기상청	11	4	36
111	YAPA	양평시추공	가속도계	기상청	11	4	36
112	YOD	영덕	가속도계	기상청	11	4	36
113	GSG	강서구	가속도계	기상청	12	4	33

연번	관측소코드	관측소명	센서종류	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율
114	INC	인천	가속도계	기상청	12	4	33
115	NOW	노원구	가속도계	기상청	13	4	31
116	BOSB	보성시추공	가속도계	기상청	15	4	27
117	YAY	양양	가속도계	기상청	4	3	75
118	HUK2	흑산도	가속도계	기상청	6	3	50
119	GOS1	고산	가속도계	기상청	8	3	38
120	HES	횡성	가속도계	기상청	8	3	38
121	ANM	안면도	가속도계	기상청	9	3	33
122	JEU	정읍	가속도계	기상청	9	3	33
123	YNCB	연천시추공	가속도계	기상청	9	3	33
124	NPR	나포리	가속도계	지자연	10	3	30
125	PORA	보령시추공	가속도계	기상청	10	3	30
126	JDO	진도	가속도계	기상청	11	3	27
127	MUS	문산	가속도계	기상청	11	3	27
128	GAHB	강화시추공	가속도계	기상청	12	3	25
129	SEO2	서울	가속도계	기상청	12	3	25
130	SWO	수원	가속도계	기상청	12	3	25
131	YOC	영천	가속도계	기상청	12	3	25
132	HWSB	화순	가속도계	지자연	15	3	20
133	YOCB	영천	가속도계	기상청	29	3	10
134	HDB	효동리	가속도계	지자연	40	3	8
135	GBI	북격렬비도	가속도계	기상청	7	2	29
136	GOCB	고창시추공	가속도계	기상청	8	2	25
137	BUY	부여	가속도계	기상청	9	2	22
138	HAN	해남	가속도계	기상청	9	2	22
139	SMKB	새만금시추공	가속도계	기상청	9	2	22
140	WAN	완도	가속도계	기상청	9	2	22
141	WJU2	원주	가속도계	기상청	9	2	22
142	BGD	보길도	가속도계	지자연	10	2	20
143	GUS	서천	가속도계	기상청	10	2	20
144	HALB	한림시추공	가속도계	기상청	10	2	20
145	JJB	제주도	가속도계	지자연	10	2	20
146	JJU	제주	가속도계	기상청	10	2	20
147	KOHB	고흥	가속도계	기상청	11	2	18
148	MUN	무안	가속도계	지자연	11	2	18
149	CEA	천안	가속도계	기상청	12	2	17
150	GMDB	거문도(여수)	가속도계	기상청	1	1	100
151	GGDB	가거도(신안)	가속도계	기상청	2	1	50
152	GOS2	고산	가속도계	기상청	2	1	50

연번	관측소코드	관측소명	센서종류	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율
153	WAN2	완도	가속도계	기상청	2	1	50
154	HANB	해남	가속도계	기상청	3	1	33
155	JMJ	주문진	가속도계	기상청	4	1	25
156	YKB	양구	가속도계	지자연	4	1	25
157	DGY2	대관령	가속도계	기상청	5	1	20
158	IJA	인제	가속도계	기상청	5	1	20
159	DACB	대청도시추공	가속도계	기상청	6	1	17
160	HWCB	화천시추공	가속도계	기상청	6	1	17
161	CWO	철원	가속도계	기상청	7	1	14
162	WID	위도	가속도계	지자연	8	1	13
163	CHC2	춘천	가속도계	기상청	9	1	11
164	DEI	덕적도	가속도계	기상청	10	1	10
165	SES2	서산	가속도계	기상청	10	1	10
166	HAWB	화성시추공	가속도계	기상청	12	1	8
167	SNU	서울대	가속도계	지자연	12	1	8
168	AMD	안마도(영광)	가속도계	기상청	2	0	0
169	BAR	백령도	가속도계	기상청	6	0	0
170	BUYB	부여	가속도계	기상청	1	0	0
171	CJD	추자도(제주)	가속도계	기상청	2	0	0
172	ECDB	어청도(군산)	가속도계	기상청	1	0	0
173	GAPB	가평(가평)	가속도계	기상청	1	0	0
174	HSB	홍성	가속도계	지자연	9	0	0
175	KSA	간성	가속도계	지자연	2	0	0
176	KWJ2	무등산(광주)	가속도계	기상청	1	0	0
177	MND	무녀도(군산)	가속도계	기상청	1	0	0
178	OYDB	외연도(보령)	가속도계	기상청	1	0	0
179	SEHB	서화시추공	가속도계	기상청	2	0	0
180	SKC	속초	가속도계	기상청	2	0	0
181	YPD	연평도	가속도계	지자연	7	0	0
182	YPDB	소연평도(인천)	가속도계	기상청	1	0	0

주: 1. 2015년 1월 ~ 2016년 12월 발생한 지진을 대상으로 분석

2. 지자연은 한국지질자원연구원을 의미함

자료: 기상청 제출자료

[별표 10]

주요 미탐지 지진관측소 미탐지 원인분석

(단위: 회, %)

연번	관측소 코드	관측소명	기관명	지진발생 횟수	미탐지 횟수	미탐지율	주요 미탐지 원인
1	NAH	남해	기상청	46	40	87	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
2	YES	여수(기)	기상청	43	37	86	가속도센서 이상
3	CEJ	청주	기상청	39	33	85	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
4	DKJ	덕정리	한국지질 자원연구원	41	32	78	메타데이터 값 입력 오류
5	BBK	방방골	한국지질 자원연구원	40	31	78	메타데이터 값 입력 오류
6	KCH	거창	기상청	43	31	72	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
7	YSU	백운산	기상청	44	31	70	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
8	TOH	동해	기상청	33	30	91	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
9	PYC	평창	기상청	37	30	81	배경잡음 이하의 지진파 미탐지
10	CIG	철곡	기상청	42	30	71	배경잡음 이하의 지진파 미탐지

주: 2015년 1월 ~ 2016년 12월 발생한 지진을 대상으로 분석

자료: 기상청 제출자료

[별표 11]

지진조기경보시스템 메타데이터(GAIN 값) 오류 현황

연번	기관명	관측소명	관측소코드	센서종류	정당 GAIN 값	시스템반영 GAIN 값
1	기상청	송현(안동)	ADOA	가속도계	6863608	1715902
2		청주	CEJA	가속도계	6845138	1710215
3		동두천	DDCA	가속도계	6821024	1710215
4		삼가(합천)	HACA	가속도계	6840520	1710130
5		합천	HCNA	가속도계	6836245	1710215
6		간동(화천)	HWCA	가속도계	6839494	1709873
7		기린(인제)	IJAA	가속도계	6842401	1710600
8		낭산(익산)	IKSA	가속도계	6843599	1710899
9		임실	IMSA	가속도계	6832311	1710215
10		인천	INCA	가속도계	6816919	1710215
11		진주	JINA	가속도계	6829746	1710215
12		증평	JNPA	가속도계	6847361	1711840
13		고흥	KOHB	속도계	649340880	7991306208
14		나주	NAJ	가속도계	2129582	1710215
15		부안	PUAA	가속도계	6808539	1710215
16		면온(평창)	PYCA	가속도계	6828891	1707222
17		순천	SCHA	가속도계	6828207	1710215
18		동해	TOHA	가속도계	6824615	1710215
19		강현(양양)	YAYA	가속도계	6844796	1711199
20		여수	YESA	가속도계	6844625	1710215
21	한국지질자원 연구원	홍성	HSB	속도계	3355443200	838860800
22		지리산	JRB	속도계	2516582400	629145600

주: 2017년 3월 현재
자료: 기상청 제출자료

[별표 12]

경주 지진 메타데이터 오류에 따른 규모 비교표

(단위: km)

연번	관측소명	관측소코드	진앙거리	실제관측값	정당관측값	규모차이	탐지 여부
1	명계리	MKL	7.21	5.948	5.948	-	○
2	울산	USN	8.71	-	-	-	×
3	효동리	HDB	20.53	6.468	6.468	-	○
4	덕정리	DKJ	20.75	-	-	-	×
5	경산	DAG2	25.13	6.027	6.027	-	○
6	영천	YOCB	30.80	5.855	5.855	-	○
7	방방골	BBK	31.48	-	-	-	×
8	양산	YSB	34.47	5.955	5.955	-	○
9	매곡리	MAK	44.26	6.225	6.225	-	○
10	청송	CHS	46.58	5.919	5.919	-	○
11	밀양시추공	MIYA	49.64	6.240	6.240	-	○
12	포항	PHA2	50.39	5.534	5.534	-	○
13	대구(기)	DAU	51.86	5.786	5.786	-	○
14	경북대	GKP1	53.07	5.762	5.762	-	○
15	부산 금정	BUS2	58.06	6.296	6.296	-	○
16	창녕	CHR	66.62	5.947	5.947	-	○
17	청송	CSO	69.89	5.943	5.943	-	○
18	안동	ADO2	74.44	5.763	5.763	-	○
19	부산(청)	BSA	74.91	5.652	5.652	-	○
20	철곡	CIG	77.44	5.183	5.183	-	○
21	의성	EUSB	78.73	5.628	5.628	-	○
22	마산	MAS	86.05	5.915	5.915	-	○
23	영덕	YODB	87.62	5.676	5.676	-	○
24	합천	HAC	93.62	6.315	6.315	-	○
25	의령시추공	EURB	94.35	5.943	5.943	-	○
26	구미	GUM	95.04	5.649	5.649	-	○
27	송현(안동)	ADOA	99.06	6.694	5.990	0.704	○
최종 규모산정 값				5.930	5.901	0.029	

자료: 기상청 제출자료

[별표 13]

재난관리책임기관 중 지진조기경보 통보기관 지정 명세

계	통보기관	미통보기관
	306개 기관	80개 기관
중앙 행정 기관	<u>14개 기관</u> -	<u>29개 기관</u> -
지방 자치 단체	<u>243개 기관</u> -	<u>2개 기관</u> -
공공 기관 등	<u>49개 기관</u> ☀, -	<u>49개 기관</u> ♠주식회사, -

자료: 기상청 제출자료와 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조 제5호 및 같은 법 시행령 제3조 [별표1의2] 재구성

감 사 원

징 계 요 구

제 목 기상레이더 관측망 구축사업 추진업무 부당 처리
소 관 기 관 기상청
조 치 기 관 기상청
내 용

1. 사건 개요

기상청은 수도권에서 광역 기상레이더로 관측하기 어려운 저층(해발고도 1km 이하)의 위험기상(집중호우, 폭설 등) 정보를 탐지하기 위하여 수도권 서부지역인 가현산(김포), 인천기상대(인천 중구), 황금산(안산) 등 3개소에 소형레이더를 설치하는 “X-밴드¹³⁹⁾ 소형 기상레이더(이하 “소형레이더”라 한다) 관측망 구축 사업”을 추진(총 사업비: 45억여 원¹⁴⁰⁾, 사업기간: 2016. 5. 10.~2017. 8. 2.)하고 있다.

그런데 이번 감사원 감사결과 기상청 관하 기상레이더센터는 소형레이더를 수도권 서부지역에 설치하지 못하고 전남 무안과 전북 군산에 임시로 설치하였다가 향후 수도권 서부지역에 적정장소를 확보한 후 이전할 계획으로 있어 이전설치 시 까지 당초 사업 목적을 달성할 수 없게 되었다.

그 원인을 분석한 결과 수도권 지역의 기후데이터, 레이더 바람자료에 대한 모

139) X-밴드 주파수(8~12GHz)를 사용하는 기상관측레이더로 고해상도 이미지 생성 가능

140) 내자: KRW 1,823,386,660, 외자 USD 2,400,000, 2016. 5. 10. 조달청 계약체결 당시 산출금액 4,552,426천원(환율 1USD=1,137.1원)

사실함을 하지 않았고, 소형레이더를 설치하고자 하는 장소의 해당 지방자치단체와 소형레이더를 설치할 수 있는지에 대한 협의도 하지 않아 소형레이더 설치장소가 선정되지 않았는데도 기상레이더센터 업무담당자들이 2015. 10. 30. 부당하게 소형레이더 관측망 구축사업을 발주한 것으로 확인되었으며 구체적 내용은 다음과 같다.

2. 업무 담당자의 부당한 업무 처리

기상청 관하 기상레이더센터 ◀과 J는 기상청 관하 국립기상과학원¹⁴¹⁾ (구 국립기상연구소, 이하 “기상과학원”이라 한다) ☞과에서 2014. 5. 12.부터 2015. 1. 21.까지 그리고 기상레이더센터 ◀과에서 2015. 1. 22.부터 2017. 5. 1. 현재까지, ☞국 ●관 K는 2014. 7. 21.부터 2017. 1. 31.까지 기상레이더센터 ◀과장으로, 수도권 기상청장 L은 2015. 7. 2.부터 2017. 1. 15.까지 기상레이더센터 센터장으로 소형레이더 관측망 구축사업 추진을 담당하거나 총괄하였다.

기상과학원이 2014. 11. 14. 주식회사 ◆◆(대표이사 I)와 계약을 체결하여 같은 해 12. 15. 납품받은 “연구용 소형레이더 관측망 입지선정 용역 사업” 과업지시서 ‘3.1. 일반 사항 ② 및 ③’에 따르면 계약상대자는 레이더 최적 설치지점을 법률적·행정적으로 소형레이더 설치에 하자가 없는 지역으로 선정하고 기상과학원은 계약상대자가 선정한 최적 설치지점에 대하여 토지 소유주와 협의하도록 되어 있다.

그리고 기상과학원이 2015. 3. 18. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축 계획”에 따르면 기존 가현산(김포)에 설치하기로 했던 소형레이더 1기는 평창동계올림픽 지원을 위해 평창 지역에 설치(올림픽 지원 후 수도권에 이전·설치)

141) 기상청의 1차 소속기관으로 2015. 1. 22. 국립기상연구소에서 국립기상과학원으로 명칭 변경

하고, 수도권 지역의 레이더 최적 설치지점은 기후데이터, 인구밀도 등 조사 분석과 레이더 바람자료에 대한 모사실험을 통해 결정하도록 되어 있다.

또한 기상과학원이 2015. 3. 31. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 모사실험 계획”에 따르면 2015년 4~5월에 관측시스템 모사실험 영역을 선정하고 해당 영역 내부에서 소형레이더 설치 가능 지점에 대한 모사실험을 수행하여 같은 해 11월까지 최적의 입지를 선정하는 것으로 되어 있다.

이후 기상레이더센터¹⁴²⁾가 2015. 9. 22. 수립한 “연구용 소형레이더 사업관련 실무반 검토결과에 대한 후속조치 계획”(이하 “실무반 검토결과 후속조치 계획”이라 한다)에 따르면 2015년 9월부터 2016년 2월까지 기상기자재관리협회의 실무반이 송부한 검토의견에 대한 후속조치를 추진하고, 2016년 1월에 미래창조과학부에 무선국 개설허가를 신청한 후 2016년 3월에 기상기자재관리협회의 취득심의를 거쳐 2016년 5월 조달청에 입찰공고를 의뢰하는 것으로 되어 있다.

한편 2015년 10월경 기상청장은 소형레이더 구축 사업 관계자인 L, K, J에게 2015년 소형레이더 구축사업 관련 예산을 불용할 필요가 있는지 여부와 2015년 내에 소형레이더 구축 사업 발주가 가능한지에 대해 검토 후 보고하도록 지시하였다.

따라서 J 등 소형레이더 구축사업 관계자들이 기상청장 지시에 따라 검토·보고하고 사업을 추진할 때에는 2015. 3. 18. 수립한 “X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축 계획”, 같은 해 3. 31. 수립한 “연구용 X-밴드 소형 기상레이더 관측망 모사실험 계획” 및 같은 해 9. 22. 수립한 실무반 검토결과 후속조치 계획 등에 따라 소형

142) 2015년 7월 기상과학원의 소형레이더 관측망 구축 사업을 이관받음

레이더의 최적 설치지점 재선정, 미래창조과학부의 무선국 개설허가 신청 등 사전 절차에 대한 이행 가능 여부 등을 면밀히 검토한 후, 2015년 내에 이행을 가능할 경우에 한하여 기상청장에게 2015년에 소형레이더 구축사업을 발주하겠다고 보고하고 2015년에 발주하여야 했다.

가. J의 경우

J는 2014. 12. 15. 납품된 “연구용 소형레이더 관측망 입지선정 용역 추진 사업”의 과업지시서를 작성하여 계약상대자는 법률적·행정적으로 소형레이더 설치에 하자가 없는 지역을 레이더 최적 설치지점으로 선정하여야 하고, 기상과학원은 위 최적 설치지점의 토지 소유자와 협의하여야 하지만 2015년에는 협의하지 않았다는 것을 알고 있었다.

그리고 J는 2015. 1. 9. 기상청(계측기술과)¹⁴³⁾에 소형레이더 관측망 구축사업에 대해 기상관측장비 도입심의위원회의 심의를 요청하는 공문을 시행하였고, 같은 해 1. 15. 기상청(계측기술과)으로부터 기상관측장비 도입심의위원회가 ‘평창동계 올림픽 지원’, ‘적정 설치장소’, ‘도농사업단과 중복성’ 등을 정리하여 정책간담회에 상정하도록 하는 내용의 ‘조건부 도입 타당’으로 심의하였다는 심의결과를 송부받아 소형레이더를 설치할 적정 지점에 대해 검토해야 하는 사실도 알고 있었다.

그리고 J는 2015년 7월 기상과학원이 수행하던 소형레이더 구축 사업을 이관받았으며 같은 해 9. 21. 기상과학원과 기상레이더센터 간의 사무인계인수서 작성시

143) 2015. 1. 12. 「기상청과 그 소속기관 직제 시행규칙」 개정에 따라 기상기술과에서 계측기술과로 명칭 변경. 「기상기자재 관리업무 처리운영규정」(기상청 훈령)에 따라 기상기자재도입위원회 및 기상기자재관리협의회 운영을 담당하고 있고 기상기자재관리협의회 안건을 검토하기 위한 ‘기상기자재관리협의회 실무반’(반장: 계측기술과장) 운영

에 입회자로 참석하여 기상과학원이 2015. 3. 18. 및 같은 해 3. 31. 수립한 소형레이더 구축 계획과 모사실험 계획에 대해 잘 알고 있었다.

또한 J는 2015. 9. 22. 「전파법」 제19조 제1항 및 같은 법 시행령 제31조 제1항의 규정에 따라 미래창조과학부에 무선국 개설허가를 신청한 후, 2016년 3월 기상기자재관리협회의 취득심의를 거쳐 2016년 5월 조달청에 공고를 요청하겠다는 내용으로 실무반 검토결과 후속조치 계획을 작성하여 K과 L의 검토 및 결재를 받았다.

한편 J는 2015년 10월경 기상청장이 2015년에 소형레이더 사업을 추진하기 어려운 이유에 대해 묻은 데 대해 K 및 L이 2015년 3월 수립된 소형레이더 관측망 구축 계획 및 실무반 검토의견을 이행하는 데 많은 시간(5~6개월)이 소요되어 2015년에 추진하기 어렵다고 대답하는 것을 들어 2015년 내에 소형레이더 구축 사업을 정상적으로 추진하는 것이 불가능하다는 사실을 잘 알고 있었다.

그런데 J는 2015년 10월경 기상청장이 소형레이더 구축 사업 관계자인 J, K, L 등으로 하여금 2015년 내에 소형레이더 구축 사업 발주가 가능한지에 대해 검토 후 보고하도록 지시한 데 대하여 기상레이더센터 센터장 L이 소형레이더 구축 사업을 추진할 것인지 말 것인지에 대해 질의하자 소형레이더 관측망 구축 사업이 필요하니 추진했으면 좋겠다고 답변하였다.

그리고 J는 2015. 10. 30. 인천기상대, 황금산(경기 안산), 선자령(강원 평창)에 소형레이더를 설치하는 내용의 소형레이더 구축 사업에 대해 계약을 요청하는 공문을 작성하여 K의 결재를 거쳐 기상레이더센터 ♥과¹⁴⁴)에 시행하였고, ♥과는 같은

날 L의 결재를 받은 후 조달청에 위 사업에 대한 계약을 요청하였다.

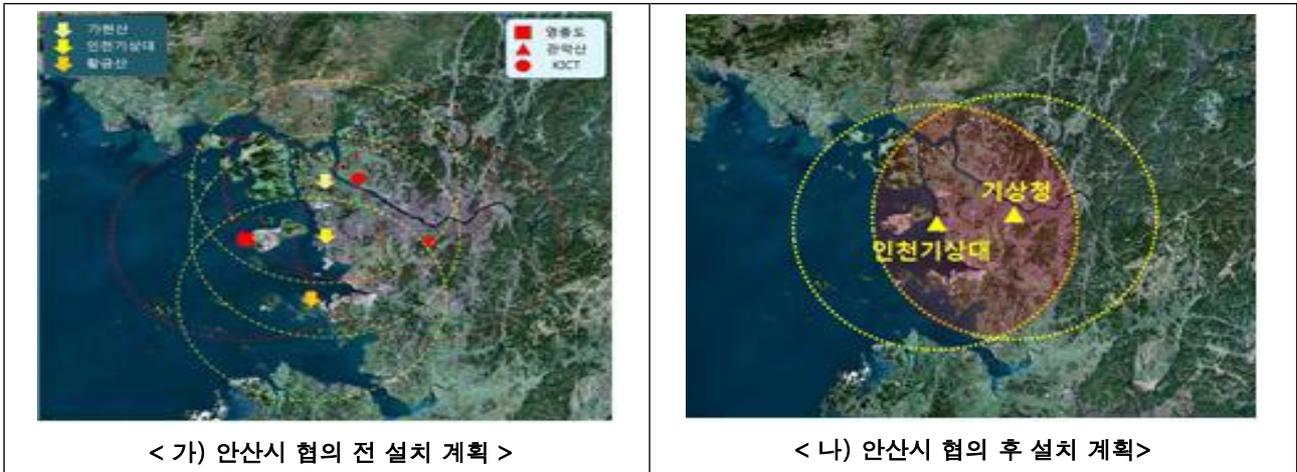
이후 J는 2015. 12. 10. K와 함께 안산시를 방문하여 황금산에 소형레이더 설치가 가능한지에 대해 협의하였으나 안산시장으로부터 황금산 복원계획이 예정되어 있어 황금산에 소형레이더 설치가 어렵다는 답변을 듣고도 황금산을 대체하기 위한 새로운 설치장소를 확보할 때까지 조달청에 소형레이더 구축 사업에 대한 입찰절차를 중지해달라고 요청하지 않은 채 2016. 2. 11. 오이도 근처 군부대에 소형레이더 설치 가능 여부에 대해 검토를 요청하였으나 같은 해 3. 14. 위 군부대로부터 설치가 어렵다는 회신을 받았고, 시화방조제 부근에 소형레이더 설치가 가능한지 검토하였으나 같은 해 3. 21. 해당 장소의 경우 전파간섭으로 설치가 불가능하였다.

그러자 J는 2016. 4. 6. 당초 [그림 1 가])과 같이 소형레이더의 설치장소 중 황금산을 기상청 본청(서울특별시 동작구)으로 변경하기 위한 검토를 실시하면서 소형레이더 고도각(운영각도 : 0.7°, 1.5°, 3.0°)에 대한 빔차폐 등을 검토하지 않은 채 기상레이더센터 내부 검토를 거쳐 [그림 1 나])와 같이 인천기상대, 기상청 본청에 설치하는 것으로 사업계획을 변경하였으나 2016. 9. 9.과 같은 해 10. 8. 동작구 및 동작구의회 반대¹⁴⁵⁾로 기상청 본청에 소형레이더를 설치하려는 계획은 또다시 무산되었다.

144) 기상레이더센터 내 계약업무 담당

145) 사드(THAAD)와 같은 주파수 대역을 이용하여 전자파에 따른 인체유해성 논란으로 인한 반대

[그림 1] 소형레이더 설치 변경 계획



자료 : 기상청 제출자료

기상청 본청에 소형레이더 설치 시 문제점

- (빔 차폐 시뮬레이션¹⁴⁶⁾ 결과 부적합) 감사원 감사기간(2017. 3. 20.~2017. 4. 14.) 중 기상청(본청)의 소형레이더 안테나 고도각별 빔 차폐 시뮬레이션 실시 결과 당초예정지인 황금산보다 차폐율이 크게 높은 것으로 분석됨
 - 황금산: 2.24%(0.5°), 0.42%(1.5°), 기상청(본청): 73.62%(0.7°), 31.24%(1.5°), 9.35%(3.0°)
 - 또한 기상청 주변(1km 이내)의 주요 고층건물로 인해 관측 사각지역이 발생하고, 사각지역 해소를 위해 소형레이더 안테나 고도각을 상향(9.4°)할 경우 관측 유효반경(50km)이 최대 44.4km가 줄어든 5.6km에 불과하여 사업효과가 거의 없음

이에 따라 기상레이더센터는 2016. 10. 24. 원점에서 소형레이더 관측망 구축 사업을 재추진하기로 결정한 후 2017. 1. 3. “소형 기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 용역”(용역비: 96백만여 원, 용역기간: 2017. 1. 3.~ 2017. 12. 2.) 계약을 체결하였다.

또한 기상레이더센터는 “소형기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 용역 사업”이 진행 중인 2017. 3. 28. 소형레이더 설치지점이 결정되지 않아 수도권에 소형

146) 레이더 빔의 전파 진행 경로에 대한 전파 차폐율 발생도 계산 실험

레이더를 설치할 수 없게 되자 [그림 2]와 같이 무안(전남) 및 오성산(전북 군산)에 임시로 소형레이더를 설치(관측 중첩영역 없음)하였다가 추후 설치지점이 결정되면 수도권에 소형레이더를 이전 설치(2018년 12월 이후)할 예정이다.

[그림 2] 인천기상대, 기상청 및 무안, 오성산에 소형레이더 설치 시 중첩영역 비교



자료: 기상청 제출자료

그 결과 45억여 원을 들여 도입한 소형레이더를 당초 사업목적과 달리 수도권 지역에 설치하지 못하게 될 우려가 있고 향후 수도권 지역에 설치하더라도 “소형기상레이더 관측망 설치지점 타당성 연구 사업” 용역비 96백만 원 등 총 455백여만 원¹⁴⁷⁾이 불필요하게 소요되며 수도권 지역 저층(해발고도 1km 이하)의 위험기상(집중호수, 폭설 등)의 정보 탐지가 상당기간 지연될 것으로 예상된다.

나. K와 L의 경우

K와 L은 J가 2015. 9. 22. 작성한 실무반 검토결과 후속조치 계획에 대하여 각각 검토하거나 결재하여 2016년 5월에서야 소형레이더 관측망 구축 사업의 발주가 가능하다는 것을 알고 있었다.

147) 소형레이더[무안 및 오성산(2기), 평창은 기상관측장비 도입심의위원회가 평창동계올림픽 지원을 위해 설치하도록 한 것으로 제외] 이전 설치비용: 1기당 63,800천원×2기=127,600천 원, 내용연수 경과에 따른 감가상각비용: 1기당 116,018천여 원(1기 단가 783,125천 원/108개월(조달청 고시 내용연수 9년)×16개월(2017. 8. 2.~2018. 12. 18. 16개월)×2기=232,036천여 원

그리고 K와 L은 2015년 10월경 기상청장이 2015년에 소형레이더 관측망 구축 사업을 추진하기 어려운 이유를 묻자 위 실무반 검토의견 후속조치 계획을 이행하는 데 5~6개월이 소요되어 2015년에 추진하기 어렵다는 답변을 하는 등 2015년 내에 소형레이더 구축 사업을 정상적으로 추진하는 것이 불가능하다는 것을 알고 있었다.

그런데 이후 L은 기상청장으로부터 2015년 내에 소형레이더 구축 사업 발주가 가능한지에 대해 검토 후 보고하도록 지시를 받고 2015년에 소형레이더 구축 사업 발주가 가능한지 여부를 제대로 검토하지 않은 채 2015년에 위 사업을 추진하겠다고 구두로 보고한 후 K와 J에게 2015년에 발주하도록 지시하였다.

그리고 K는 J가 2015. 10. 30. 기상레이더센터 ♥과에 소형레이더 구축 사업 계약을 의뢰하는 공문을 결재올리자 소형레이더의 최적 설치위치 재선정 및 미래 창조과학부에 무선국 개설허가 신청 등 절차가 2015년내에 가능한지를 확인하거나 J에게 이를 검토하도록 지시하지 않은 채 결재하였고, L은 ♥과가 조달청에 소형레이더 구축 사업 계약을 의뢰하는 공문을 올리자 막연히 조달청에 계약요청을 한 이후에 소형레이더의 설치위치 재선정 및 무선국 개설허가 신청 등의 절차를 이행하면 될 것이라고 생각하고 J 및 K에게 소형레이더 설치위치 등을 검토하도록 지시하지 않은 채 결재하였다.

그 후 K는 2015. 12. 10. J와 함께 안산시를 방문하여 황금산에 소형레이더 설치가 가능한지에 대해 협의하였으나 안산시장으로부터 황금산 복원계획이 예정되어 있어 황금산에 소형레이더를 설치하기 어렵다는 답변을 듣고도 조달청에 위 황

금산을 대체하기 위한 새로운 설치장소를 확보할 때까지 소형레이더 관측망 구축 사업의 입찰절차를 중지해달라고 직접 요청하거나 J로 하여금 조달청에 입찰절차를 중지해달라는 요청을 하도록 지시하지 않았다.

그 결과 “2항 가”와 같은 결과를 가져왔다.

관련자 의견 및 검토결과

J는 실무자의 입장에서는 예산이 불용되어 사업추진을 못하는 것보다 나은 것으로 판단하여 소형레이더 관측망 구축 사업을 추진하였다고 주장하나, J는 2015. 10. 16. 기획재정담당관실에 소형레이더 관측망 구축 사업의 2015년 예산을 불용하고 2016년 예산을 확보해달라는 내용으로 검토의견을 제출한 바 있고 예산 불용을 방지하기 위하여 추진이 곤란한 사업을 발주하였다는 주장은 인정하기 어렵다.

K와 L은 감사결과를 받아들이면서 2015년에 소형레이더 관측망 구축 사업을 발주하기로 결정한 데 대해 사업을 발주하기 전에 반드시 선행되어야 할 레이더 설치위치 선정, 미래창조과학부에 무선국 개설허가 신청 등의 사전절차를 이행하지 않은 상태에서 무작정 사업을 발주한 점을 인정하였다.

징계요구 양정 소형레이더 구축 사업 추진 업무를 부당하게 처리한 J, K, L의 행위는 「국가공무원법」 제56조의 규정에 위배된 것으로 같은 법 제78조 제1항 제1호의 규정에 해당한다.

조치할 사항 기상청장은 “X-밴드 소형 기상레이더 관측망 구축 사업” 추진업

무를 부당하게 처리한 J, K, L을 「국가공무원법」 제78조의 규정에 따라 징계처분
(경징계이상)하시기를 바랍니다.(징계)