발 간 번 호
11-1360000-001507-01

최 종 보 고 서

사 업 명	**시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구**
수행기관	**㈜환경예측연구소**

2017. 12.

- 제 출 문 -

기상청장 귀하

본 보고서를 “시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구에 관한 연구” 최종보고서로 제출합니다.

2017년 12월 15일

주식회사 환경예측연구소 대표이사 김종군

○주관연구기관명 : ㈜환경예측연구소

○연 구 기 간 : 2017.10.12. ~ 2017.12.15.

○주관연구책임자 : 김종군

○참 여 연 구 원 : 김희영, 민세윤, 박지현, 오유리, 이기웅, 장혜영, 최지희

목 차

제1장 과제의 개요 ····· 1

제1절 제안 배경 및 필요성 ····· 1

제2절 사업 목적 ····· 2

제3절 사업 개요 ····· 4

제4절 기대 효과 ····· 4

제2장 사업 수행 내용 ····· 5

제1절 우리나라 호우특보 특성에 대한 분석 ····· 5

제1항 현재 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 강우강도 연구 ····· 5

제2항 호우특보 기준 및 현행 호우특보 기준 문제점에 대한 방재유관기관(지자체 등)의 의견수렴 ····· 31

제2절 새로운 호우특보 강우량 도입 방안 ····· 36

제1항 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 도입 방안 ····· 37

제2항 새로운 호우특보 기준과 그 근거 ····· 46

제3절 새로운 호우특보체계(안) ····· 68

제1항 새로운 특보체계의 명칭 및 단계 ····· 68

제2항 기존 및 새로운 호우특보체계의 장단점 분석 ····· 69

제4절 호우특보시스템 구축 및 운영(안) ····· 70

제1항 새로운 호우특보 기준에 따른 과거 호우사례에 대한 모의실험 및 결과 분석 70

제2항 호우특보시스템 구축(안) 및 운영방안 ····· 85

제3항 새로운 호우특보 평가 방법 및 기준 ····· 88

제3장 결론 ····· 94

제4장 참고문헌 ····· 98

<표 목차>

표 2.1.1.1 우리나라의 호우특보 변천사 및 현재의 호우특보 기준(기상청, 2006) ····· 6
표 2.1.1.2 외국의 호우특보 기준 ····· 6
표 2.1.1.3 영국의 기상 특보(호우) 발표기준 ····· 8
표 2.1.1.4 일본의 호우특보 종류 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/warning _kind.html) ····· 9
표 2.1.1.5 일본의 기존 호우/홍수 특보 발표기준 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/shisu_kaisetsu.pdf) ····· 9
표 2.1.1.6 아부정 호우/홍수 경보 발표기준 (2013년 기준) (www.jma-net.go.jp/shimonoseki/kijun/yamaguchi/kijun_3532100.pdf) ····· 10
표 2.1.1.7 일본의 개선된 호우/홍수 특보 발표기준 ····· 10
표 2.1.1.8 아부정 호우/홍수 경보 발표기준 (2017년 기준) (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/yamaguchi.html) ····· 10
표 2.1.1.9 토양 우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/ dojoshisu.html) ····· 11
표 2.1.1.10 표면 우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai /hyomenshisu.html) ···· 12
표 2.1.1.11 유역 강우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/ ryuikishisu.html) ···· 12
표 2.1.1.12 호우 특별 경보 기준 (www.jma.go.jp/jma/en/Emergency_Warning/Relationships_between_criteria_and_indices.pdf) ····· 13
표 2.1.1.13 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구 ····· 14
표 2.1.1.14 새로운 호우특보 기준 1 ····· 16
표 2.1.1.15 새로운 호우특보 기준 2 ····· 17
표 2.1.1.16 1, 3, 6, 12, 24 시간 동안의 최대 누적강수량별 강수피해 여부 ····· 17
표 2.1.1.17 지역별 35년간(1973-2007) 누적한 호우 발생빈도 ····· 23
표 2.1.1.18 지역별 13년간(1994-2006) 누적한 호우에 의한 재해사례 ····· 23
표 2.1.1.19 지역별 호우특보 발표 기준값 ····· 29
표 2.1.2.1 설문 및 대면면담 기관 및 인원 ····· 33
표 2.2.1.1 호우피해사례 피해발생 누적확률(재해연보) ····· 40
표 2.2.1.2 호우피해사례 피해발생 누적확률(기상영향자료) ····· 41
표 2.2.1.3 재해연보자료와 기상영향자료의 호우피해사례 비교 ····· 42
표 2.2.1.4 최근 5년의 호우특보 발효횟수 ····· 44
표 2.2.1.5 최근 5년 강우빈도 ····· 44
표 2.2.1.6 호우피해와 관련성이 높은 호우주의보 강우량 기준안(mm) ····· 45
표 2.2.1.7 호우피해와 관련성이 높은 호우경보 강우량 기준안(mm) ····· 45
표 2.2.2.1 정확도 지수 분할표 ····· 47
표 2.2.2.2 강우등급별 hits 수 ····· 49
표 2.2.2.3 강우등급별 false alarms 수 ····· 49
표 2.2.2.4 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(50mm/3h) ····· 53
표 2.2.2.5 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(60mm/3h) ····· 53
표 2.2.2.6 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(100mm/12h) ····· 54

표 2.2.2.7 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(110mm/12h) ····· 54
표 2.2.2.8 기준시간별 강우등급별 강우일수, 확률, 강우시 강우강도 비율(볼드체 및 밑줄체는 기존, 볼드체는 도입안) ····· 56
표 2.2.2.9 60mm/3h와 70mm/6h 사례의 1시간 강우빈도 차이 ····· 58
표 2.2.2.10 90mm/3h와 110mm/6h 사례의 1시간 강우빈도 차이 ····· 59
표 2.2.2.11 70mm/6h 사례의 1시간 강우 분포 ····· 60
표 2.2.2.12 70mm/6h 사례의 3시간 강우 분포 ····· 60
표 2.2.2.13 60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포 ····· 61
표 2.2.2.14 110mm/6h 사례의 1시간 강우 분포 ····· 61
표 2.2.2.15 110mm/6h 사례의 3시간 강우 분포 ····· 61
표 2.2.2.16 90mm/3h 1시간 강우 분포 ····· 62
표 2.3.1.1 새로운 호우특보기준(안) ····· 68
표 2.3.2.1 새로운 기준안 도입으로 예상되는 변화 ····· 69
표 2.4.1.1 지점별 행정구역(시군)편성 목록 ····· 71
표 2.4.1.2 누적강우 70mm/6h에 대한 예측시간 별 초단기예보 검증분할표(184개 행정구역 평균) ····· 79
표 2.4.1.3 누적강우 60mm/3h에 대한 예측시간 별 초단기예보 검증분할표(184개 행정구역 평균) ····· 82
표 2.4.1.4 호우기준 70mm/6h 사례에 대한 초단기예보 지역별 예측결과 ····· 83
표 2.4.1.5 호우기준 60mm/3h 사례에 대한 초단기예보 지역별 예측성능 ····· 83
표 2.4.3.1 Flexible Verification 기준별 평가 ····· 90

<그림 차례>

그림 2.1.1.1 경기 북부지방인 동두천의 8월 23일 AWS(왼쪽) 관측자료와 RDAPS(오른쪽) 예상강수량 자료의 시간강수량과 일 누적강수량 ····· 19
그림 2.1.1.2 강원 북서지방인 철원의 8월 23일 AWS(왼쪽) 관측자료와 RDAPS(오른쪽) 예상강수량 자료의 시간강수량과 일 누적강수량 ····· 20
그림 2.1.1.3 각 기준시간별 강우강도에 따른 피해 발생빈도 분포 ····· 25
그림 2.1.1.4 각 기준시간별 강우강도에 따른 호우피해사례의 피해발생 누적확률 ····· 26
그림 2.1.1.5 방재특성 및 강수량 변화에 따른 호우특보 차등화 기준 ····· 27
그림 2.1.1.6 호우에 의한 재해피해민감도(DDS)의 지역별 분포 ····· 28
그림 2.1.1.7 호우특보 정확도 및 선행시간 ····· 29
그림 2.1.2.1 호우특보 발표기준 개선방안 사전 설명 자료 ····· 31
그림 2.1.2.2 설문지 ····· 32
그림 2.1.2.3 방재유관기관 설문 조사 결과 (방재 업무 근무 기간) ····· 34
그림 2.1.2.4 방재유관기관 설문 조사 결과 (호우특보 기준 값 개선) ····· 35
그림 2.1.2.5 방재유관기관 설문 조사 결과 (호우 특보 개선 방향) ····· 35
그림 2.2.1.1 새로운 호우특보 강우량 도입방안을 위한 과정 ····· 36
그림 2.2.1.2 개발흐름도 ····· 37
그림 2.2.1.3 기준시간별 강우강도(재해연보) ····· 39
그림 2.2.1.4 기준시간별 강우강도(기상영향자료) ····· 39
그림 2.2.1.5 기상영향자료의 비정량적인 피해규모 예시 ····· 41
그림 2.2.2.6 정확도 지수 ····· 46
그림 2.2.2.7 기준시간별 정확도 지수 ····· 48
그림 2.2.2.8 연평균 강우일수와 피해일수(3, 12시간 기준) ····· 50
그림 2.2.2.9 연평균 강우일수, 피해일수, 피해발생비율(3시간 기준) ····· 51
그림 2.2.2.10 연평균 강우일수, 피해일수, 피해발생비율(12시간 기준) ····· 51
그림 2.2.2.11 5년 평균 강우일수 분포도 ····· 55
그림 2.2.2.12 (a)70mm/6h와 (b)60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포, (c)70mm/6h 사례의 3시간 강우 분포 ····· 58
그림 2.2.2.13 (a)110mm/6h와 (b)90mm/3h 사례의 1시간 강우 분포, (c)110mm/6h 사례의 3시간 강우 분포 ····· 59
그림 2.2.2.14 현행 주의보 기준과 기준안의 강우일수 비교 ····· 63
그림 2.2.2.15 현행 경보 기준과 기준안의 강우일수 비교 ····· 63
그림 2.2.2.16 현행 주의보 기준과 기준안의 호우피해 사례수 비교 ····· 64
그림 2.2.2.17 현행 경보 기준과 기준안의 호우피해 사례수 비교 ····· 65
그림 2.4.1.1 새로운 호우특보 기준에 따른 호우사례 모의실험 및 분석 흐름도 ····· 70
그림 2.4.1.2 누적강우 70mm/6h에 대한 예측시간 별 초단기예보 예측성능 ····· 79
그림 2.4.1.3 누적강우 (a)50mm/3h, (b)60mm/3h에 대한 예측시간 별 초단기예보 예측성능 ····· 81
그림 2.4.2.1 개선된 VDAPS, 기존 현업, KLAPS 결과 비교(2016년 7월) ····· 87

그림 2.4.2.2 개선된 VDAPS, 기존 현업, KLAPS 결과 비교(2017년 7월) ····· 88
그림 2.4.3.1 Flexible Verification 검증분할 구성 ····· 90
그림 2.4.3.2 Flexible Verification 결과 예시(영국 사례) ····· 92
그림 2.4.3.3 평가영역 확장한 호우기준 예측평가결과(70mm/6h) ····· 93
그림 2.4.3.4 평가영역 확장한 호우기준 예측평가결과(60mm/3h) ····· 93

- 요 약 문 -

I. 과제명

시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구

II. 과제의 목적 및 필요성

○ 최근 짧은 시간에 집중되는 호우의 발생이 증가하는 등 기후 변화로 인한 우리나라 호우 패턴의 변화가 나타남
○ 현재의 호우특보 기준으로는 호우피해 대응이 미흡하여 변화된 호우 패턴에 맞춰 호우특보 발표기준을 강화하고 세분화할 필요가 있음
○ 호우특보 개선에 대한 수요와 호우피해와 강우량의 상관성을 고려한 현실적 특보 기준의 도입이 필요함
○ 호우특보 기준 개선에 따른 시스템적인 개선과 운영 방안 마련이 필요하며 개선된 호우특보 기준에 대한 실효적 평가 방법 및 기준 제시가 필요함
○ 따라서 본 사업은 새로운 호우특보 기준 도입을 위해 유관기관의 의견수렴 및 호우피해와 관련성이 높은 새로운 호우특보 기준 도입 방안 제시 및 호우특보 기준의 근거 마련을 목적으로 함
○ 뿐만 아니라 새로운 호우특보체계(안)를 제시하고 새로운 호우특보체계에 대한 호우특보시스템 구축 및 운영, 평가(안) 마련을 목적으로 함

III. 과제의 범위

○ 우리나라 호우특성에 대한 분석
○ 새로운 호우특보 강우량 도입 방안 제시
○ 새로운 호우특보체계(안) 제시
○ 호우특보시스템 구축 및 운영(안) 제시

IV. 최종 산출물

○ 우리나라 호우특보 기준값 및 외국의 호우특보 기준값 조사 결과
○ 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 강우강도 연구 조사 결과
○ 현행 호우특보의 문제점/개선점에 대한 방재유관기관의 의견수렴 결과
○ 새로운 호우특보 강우량 기준(안)
○ 새로운 호우특보 기준의 근거 자료
○ 새로운 호우특보체계(안)
○ 새로운 호우특보시스템 구축 및 운영(안)
○ 새로운 호우특보 평가 방법 및 기준(안)
○ 모의실험 및 결과 분석 자료
○ 최종보고서

V. 기대 효과

○ 최근 기후변화로 짧은 시간에 집중되는 호우 등 위험기상 발생패턴에 대응능력 향상
○ 호우피해와 강우량의 상관성을 고려한 현실적인 특보 기준 도입 근거 마련
○ 새로운 호우특보 기준의 신속한 도입 및 안정적 운영

제1장 과제의 개요

제1절 제안 배경 및 필요성

호우피해는 자연 재해 중 가장 빈번하게 발생하고 일상생활과 밀접하게 관련이 있는 자연재해이다. 작게는 교통의 불편부터 시작하여, 침수, 산사태, 하천의 범람 등 인명과 경제적, 사회적 큰 피해를 주기도 한다. 이에 대한 방재의 목적으로 기상청에서는 1964년 호우특보를 제정한 이후 몇 차례에 걸친 개정을 통해 보다 실효성 있는 특보 발효를 위해 노력하고 있다. 그러나 최근 지구온난화 등 기후변화로 인해 짧은 시간 내에 매우 강한 강우가 집중되는 “국지성 호우”가 빈번히 발생하는 등 호우의 형태가 변화하고 있어, 기존의 호우특보체계로는 대응의 한계가 있음이 사회적으로 이슈가 되고 있다. 기습적이고 피해가 큰 강우임에도 비가 내리기 시작한 이후에 특보를 발표하거나, 특보 발표시간과 실제 비가 내리는 시간이 맞지 않거나, 비보다 특보가 늦는 등 특보의 정확도 및 실효성에 대한 문제가 있음이 연일 보도되고 있다. 실제로 호우특보 정확도는 2011년 호우특보 개정 이후 매년 점차적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 현재의 호우특보 기준인 6시간, 12시간 누적강우량 기준으로는 1~2시간 내에 강한 강우가 집중되는 최근의 호우에 대응하기가 어려워 변화된 호우 패턴에 맞춰 호우특보 발표기준을 강화 혹은 세분화할 필요가 있다.

호우에 의한 피해는 자연적인 요인과 인위적인 요인이 복합적으로 작용하여 발생하며, 기후 변화에 의한 자연적 요인과 방재 관련 제반시설의 확대 등 인위적인 요인은 시대에 따라 변화한다. 예를 들어, 호우로 인한 큰 피해가 발생하였다면 정책적으로 해당 지역의 방재 관련 제반시설은 확대가 될 것이고, 동일한 수준의 강우에 대한 피해를 방지할 수 있을 것이다. 현재의 호우특보 기준은 2005년부터 2009년까지 5년간의 강우 자료와 피해 자료를 사용한 연구 결과를 기반으로 하여 2011년 개정된 것으로(김연희 등, 2011), 개정 이후의 자연적, 인위적 요인들이 많이 변화하였기에 호우피해와 자연적, 인위적 요소 간 상관성 재고가 요구된다. 정용승과 봉종헌(1993)에서도 3~5년 주기로 기준치에 대한 검토가 필요하다고 제안한 바 있다.

호우특보 기준 도입을 위해서는 기준 도입과 더불어 현재의 기상청 기술력에 대한 고려가 필요하다. 이론적으로 최상의 기준을 도입한다 하여도, 이를 뒷받침해 줄 기술력이 없다면 의미 없는 개정일 것이다. 2011년 개정 당시의 연구에서도 언급한 것처럼 선행시간 확보만 가능하다면 강우량의 기준치는 낮으면 낮을수록, 기준 강우시간은 짧을수록 좋다고 여겨지나, 이는 그에 준하는 정확도와 기술력을 요구한다. 기

상청은 통합모델 도입 및 개선, 다양한 관련 가이던스 개발 등 기술력 향상을 도모하고 있으며, 이를 고려한 호우특보기준(안) 도입이 필요하다.

제2절 사업 목적

본 사업은 새로운 호우특보 기준 도입을 위한 유관기관 등의 의견수렴 및 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구를 조사하여 연구 기초 자료 및 참고 자료를 마련하고, 새로운 호우특보 기준을 비롯한 특보체계(안)의 제시와 새로운 호우특보체계에 대한 호우특보시스템 구축 및 운영, 평가(안) 마련을 목적으로 한다.

첫 번째로 우리나라 호우특보 기준값의 변천사 및 현재의 호우특보 기준값을 조사하고 마찬가지로 외국의 호우특보 기준에 대한 조사를 수행한다. 이 후, 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구를 조사/분석하고 현행 호우특보의 정확도 및 선행시간을 분석하여 본 연구의 기초 자료로 활용한다. 방재유관기관(지자체 등)의 의견수렴을 위하여 현행 호우특보에 대한 설명 및 설문조사를 실시하여 호우특보 기준 및 현행 호우특보 기준 문제점에 대한 의견을 수렴한다. 의견수렴 결과는 호우특보 기준값 결정의 참고 자료로 활용하며 호우특보시스템 개선에 대한 참고 자료로 활용한다.

두 번째로 새로운 호우특보 강우량 도입 방안을 제시하기 위하여 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구와 호우특보 기준의 근거 마련 연구를 수행하고 연구 결과를 바탕으로 새로운 호우특보기준(안)을 제시한다. 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구에서는 최근 5년간의 호우피해 자료와 강우량 자료를 사용하여 호우피해 사례별 최대이동누적강우량의 도수 분포 실시하고, 분석 결과를 바탕으로 호우피해와의 관련성이 높은 호우특보 기준값을 설정한다. 이후, 설정한 기준값에 대한 강우일수와 피해일수, 대비 가능한 호우피해 사례수 분석 등을 실시하고 현행 기준값에 대한 분석 결과와 비교하여 기준값 변경에 대한 근거 자료를 생산하고 최종적으로 새로운 호우특보기준(안)을 제시한다.

다음으로 호우특보기준(안)이 결정되면 이에 대한 기상청의 기술력을 가늠하기 위한 모의실험을 통해 달라지는 기준(안)에 대해 예측성, 선행시간, 발효빈도 등을 분석한다. 실험은 기본적인 누적강우량에 대한 예측시간별 예측정확도 분석과 선행시간에 대한 분석을 수행한다. 이후 호우특보기준(안)의 개선에 대해 시스템적인 개선사항 및 운영방안에 대한 개선(안)을 제시하고, 특보발효 업무를 담당하는 기상청 담당자의 의견을 수렴하여 호우특보 운영에 대한 시스템적 개선사항(안)을 제공한다. 달라지는 기준(안)에 대해 이를 평가하는 방법에 대한 개선(안)을 제시한다.

끝으로 호우특보에 대한 평가 방안에 대해 제시한다. 현재의 호우특보 선행시간 및 지역적인 적중여부에 대한 평가는 예보관에게 매우 큰 부담으로 작용하여 적극적인 특보업무에 방해요소가 될 수 있다. 보다 적극적인 특보 발효와 발효된 특보의 상세한 검증/평가를 통해 개선방향을 제시할 수 있는 검증/평가 방법을 조사/분석하고 개선(안)을 제시한다.

제3절 사업 개요

○ 사업명 : 시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구
○ 사업기간 : 2017.10.12. ~ 2017.12.15.
○ 사업범위
- 우리나라 호우특성에 대한 분석
- 새로운 호우특보 강우량 도입 방안 제시
- 새로운 호우특보체계(안) 제시
- 호우특보시스템 구축 및 운영(안) 제시

제4절 기대 효과

최근의 재해 자료와 강우량 자료를 분석하여 최근 호우피해와 강우량의 상관성을 고려한 최적의 호우특보 기준값을 결정하여, 최근 기후변화로 짧은 시간에 집중되는 호우 등 위험기상 발생 패턴에 대한 대응 능력을 향상 시킬 수 있을 것이라 기대된다. 또한 국지성 호우에 대해 대비한 호우특보 기준값을 적용하면 호우특보의 정확도 향상과 실제 재해에 대비하는 현실적인 선행시간 선정(비가 내리기 시작할 때 또는 비가 내리기 전에 미리 호우특보를 발표 가능)이 가능하리라 기대한다.

달라지는 기준(안)에 대해 예측성, 선행시간, 발효빈도 등을 분석하고 달라지는 기준(안)에 대한 평가방법에 대한 개선(안)을 제시하여 새로운 호우특보 기준의 신속한 도입 및 안정적 운영을 기대한다.

제2장 사업 수행 내용

제1절 우리나라 호우특보 특성에 대한 분석

제1항 현재 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 강우강도 연구

먼저 우리나라의 호우특보 기준과 해외 사례를 조사하여, 호우특보 기준안 개선의 참고자료로 활용하였다. 또한 연관 선행연구 조사를 통해 본 연구의 수행방향을 설계하고 현행의 호우특보 특성에 대해 분석하였다.

○ 우리나라 호우특보 기준

우리나라 기상청의 기상특보는 주의보(advisory)와 경보(warning)로 분류된다. 주의보는 재해가 일어날 우려가 있는 경우나 사회, 경제 활동에 큰 영향을 미칠 가능성이 있을 경우 발표하고, 경보는 중대한 재해가 일어날 수 있음을 경고하는 기상정보이다(WMO,1992).

우리나라의 호우특보 변천사 및 현재의 호우특보 기준은 표 2.1.1.1 과 같다. 1964년, 처음으로 30mm/h 이상의 강수량이 예상될 때 호우주의보, 30mm/h 이상의 강수량이 3시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 호우 경보를 발표하는 호우특보가 제정되었다. 이후 1971년 재해 개념을 도입하여 80mm/24h 이상의 강우량과 이로 인한 다소의 피해가 예상될 때 호우주의보, 150mm/24h 이상의 강우량과 이로 인한 상당한 피해가 예상될 때 호우 경보를 발표하도록 수정되었다. 1983년 다시 재해 개념을 삭제하여 80mm/24h 이상의 강우량이 예상될 때 호우주의보, 150mm/24h 이상의 강우량이 예상될 때 호우 경보를 발표하게 되었다. 2004년에는 특보 기준시간을 24시간에서 12시간으로 조정하여 80mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때 호우주의보, 150mm/6h 이상의 강우량이 예상될 때 호우 경보를 발표하도록 하였다. 2011년 6월 1일 특보 기준의 변경으로 70mm/6h 이상의 강우량이 예상되거나 110mm/12h 이상이 강우량이 예상될 때 호우주의보, 110mm/6h 이상의 강우량이 예상되거나 180mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때 호우 경보를 발표하도록 수정되어 현재까지 시행되고 있다. 2004년 개정 이후부터는 호우특보체계에 대한 개념이 확립되고 당시의 호우와 피해간 상관성을 고려하여 기준 강우량이 변경된 것으로 사료된다.

표 2.1.1.1 우리나라의 호우특보 변천사 및 현재의 호우특보 기준(기상청, 2006)

시기	호우주의보	호우경보	비고
1964.12.02	30mm/h 이상의 강수량이 예상될 때	30mm/h 이상의 강수량이 3시간 이상 지속될 것으로 예상될 때	제정
1971.07.01	80mm/24h 이상의 강우량과 이로 인한 다소의 피해가 예상될 때	150mm/24h 이상의 강우량과 이로 인한 상당한 피해가 예상될 때	재해 개념 도입
1983.12.06	80mm/24h 이상의 강우량이 예상될 때	150mm/24h 이상의 강우량이 예상될 때	재해 개념 삭제
2004.06.29	80mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때	150mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때	기준시간 조정 (24h->12h)
2011.06.01	70mm/6h 이상의 강우량이 예상되거나 110mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때	110mm/6h 이상의 강우량이 예상되거나 180mm/12h 이상의 강우량이 예상될 때	특보 기준 변경

○ 외국의 호우특보 기준

다음으로 일본, 중국, 캐나다, 영국 등 외국의 호우특보 기준을 조사하였다(표 2.1.1.2).

표 2.1.1.2 외국의 호우특보 기준

국가	호우특보 기준			
일본	Advisory	Warning	Emergency Warning	
	호우로 인한 재해가 발생할 수 있을 경우	야마구치현 아부정 표면 우량 지수 : >=24 토양 우량 지수 : >=120	48시간 누적 강수 및 토양 우량 지수가 극값을 초과하는 경우	
중국	Blue	Yellow	Orange	Red
	50mm/12h	50mm/6h	50mm/3h	100mm/3h
캐나다	Warning			
	Prairie Northern	>=50mm/12h or >=75mm/24h		
	Ontario	>=50mm/12h and >=80mm/24h		
	Atlantic	winter:>=25mm/12h, summer: >=50mm/24h		
영국	Watch	Warning	Extreme Alert	
	위험 기상의 발생 가능성이 있을 경우	>=15mm/3h or >=4mm/h강수 2시간 이상 지속	30mm/h or 40mm/3h or 50mm/6h	

일본의 호우특보는 Advisory, Warning, Emergency Warning의 세 단계로 구분된다. 호우로 인한 재해가 발생할 수 있을 경우 Advisory, 표면 우량 지수와 토양 우량 지수가 지역별 특보 기준값을 넘을 것이라 판단되는 경우 Warning, 48시간 누적 강수 및 토양 우량 지수가 극값을 초과하는 경우 Emergency Warning을 발표한다. 기초 자치단체 행정구역인 시, 정, 촌마다 호우특보 발표기준을 갖는다. 기존에는 강우량과 토양 우량지수를 발표기준으로 사용하여 우리나라의 호우특보 기준과 유사한 기준을 사용하였지만, 2017년부터 토사/침수 위험도를 고려한 표면 우량지수, 토양 우량 지수를 호우특보의 기준으로 사용한다. 이를 통해 단순 강우량만을 고려하는 것이 아닌 지역별 runoff 등을 고려한 기준을 신설한 것으로 보인다.

중국의 경우 Blue, Yellow, Orange, Red의 네 단계로 호우특보를 구분한다. 50mm/12h 이상의 강우가 예상될 때 Blue, 50mm/6h 이상의 강우가 예상될 때 Yellow, 50mm/3h 이상의 강우가 예상될 때 Orange, 100mm/3h 이상의 강우가 예상될 때 Red 특보를 발표한다. 단계별로 기준시간, 강우강도를 차등화 하여 피해정도와 시급성을 고려하였다.

캐나다는 지역에 따른 호우특보 기준을 갖는다. 지역은 크게 Prairie/Northern, Ontario, Atlantic의 세 지역으로 나뉘고, Prairie/Northern 지역은 50mm/12h 또는 75mm/24h 이상의 강우가 예상될 때, Ontario 지역은 50mm/12h 또는 80mm/24h 이상의 강우가 예상될 때, Atlantic 지역은 겨울에는 25mm/12h, 여름에는 50mm/24h 이상의 강우가 예상될 때 Warning을 발표한다. 고위도에서 중위도까지 이르는 넓은 영역을 갖는 만큼, 지역과 계절에 따른 강우 특성을 고려하였다.

영국의 경우 Watch, Warning, Extreme Alert로 호우특보를 구분한다. 위험 기상 발생 가능성이 있을 경우 Watch, 15mm/3h 이상 강우가 예상되거나 4mm/h 이상 강우가 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 경우 Warning, 30mm/h 또는 40mm/3h 또는 50mm/6h 이상 강우가 예상될 경우 Extreme Alert를 발표한다. 우리나라에 비해 강우량의 절대치가 작은 편이나, 작은 강우에도 침수피해가 발생하는 등 피해가 고려된 기준이다.

조사한 각국의 호우특보 기준 중 비교적 우리나라의 호우특보와 유사한 영국과 일본의 사례에 대해서는 보다 상세하게 정리하였다.

- 영국의 호우특보 기준

영국의 기상 특보 발표기준은 표 2.1.1.3과 같이 Weather Watch, Warnings, Extreme Alert로 나뉜다. Weather Watch는 기상특보를 발표할 수 없지만 위험 기

상의 발생 가능성이 있는 경우를 말한다. Warning은 15mm/3h 이상의 강우 발생 또는 4mm/h의 강우가 최소 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발표한다. Warning은 강우 발생 예상 시간에 따라 나뉘는데, 60% 이상의 확률로 며칠 이내에 Warning 기준에 해당하는 강우가 발생할 것으로 예상될 때 Early Warning, 24시간 이내에 Warning 기준에 해당하는 강우가 발생할 것으로 예상될 때 Advanced Warning, 매우 높은 정확도로 몇 시간 이내에 Warning 기준에 해당하는 강우가 발생할 것으로 예상될 때 Flash Warning을 발표한다(weatherfaqs.org.uk/book/export/html/176). Extreme Rainfall Alert는 30mm/h, 40mm/3h, 50mm/6h 세 가지 조건 중 하나를 만족할 경우 발표한다. 지역적/전국적으로 발표 가능하고 발표 시간의 제약이 없다. Alert 기준에 해당하는 강우의 발생 가능성이 10%일 때 24h Advisories, Alert 기준에 해당하는 강우의 발생 가능성이 20~40%일 때 Early ERAs, Alert 기준에 해당하는 강우의 발생 가능성이 40% 이상일 때 Imminent ERAs를 발표한다(Stephenson et al, 2010).

표 2.1.1.3 영국의 기상특보(호우) 발표기준

<table>
<tr><th></th><th>Weather Watch</th><th colspan="3">Warnings</th><th>Extreme Rainfall Alert</th></tr>
<tr><td>내용</td><td>위험 기상의 발생 가능성이 있을 경우</td><td colspan="3">며칠~몇 시간 이내로 위험 기상이 발생할 것으로 예상. Early/Advanced/Flash Warning으로 나뉨</td><td>24~1시간 이내로 위험 기상이 발생할 것으로 예상</td></tr>
<tr><td rowspan="3">호우특보 기준값</td><td rowspan="3"></td><td>Early</td><td>Advanced</td><td>Flash</td><td rowspan="3">30mm/h, 40mm/3h, 50mm/6h 중 하나의 강수 예상</td></tr>
<tr><td>며칠 이내</td><td>24시간 이내</td><td>몇 시간 이내</td></tr>
<tr><td colspan="3">15mm/3h 이상의 강수 발생 예상, 4mm/h 강수 최소 2시간 이상 지속예상</td></tr>
</table>

- 일본의 호우특보 기준

일본의 호우특보 종류는 표 2.1.1.4와 같이 Advisory, Warning, Emergency Warning으로 나뉜다. 호우에 의한 산사태나 침수 피해가 발생할 우려가 있다고 예상되고, 비가 그치고도 토사 재해 등의 우려가 남아있을 경우 호우주의보(Advisory)를 발표한다. 호우에 의한 중대한 토사 재해와 홍수 피해가 발생할 우려가 있다고 예상되고, 비가 그치고도 중대한 토사 재해 등의 우려가 남아있을 경우 호우 경보(Warning)를 지속적으로 발표하고 경계사항을 특보 제목에 명시하여 발표한다. 태풍이나 집중 호우로 수십년에 한 번 있는 규모의 강우가 예상되거나, 수십년에 한 번 있는 강도의 태풍 또는 온대 저기압에 의해 호우가 발생할 것으로 예상되는 경우, 비

가 그치고도 중대한 토사 재해 등의 우려가 남아있을 경우 호우 특별 경보(Emergency Warning)를 지속적으로 발표하고 경계사항을 특보 제목에 명시하여 발표한다.

표 2.1.1.4 일본의 호우특보 종류 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/warning_kind.html)

특보 구분	설명
Advisory	호우로 인해 재해가 발생할 수 있을 경우 발표
Warning	호우로 인해 인명 및 재산에 큰 손실을 가져올 것으로 예상될 때 발표
Emergency Warning	호우로 인한 재해 발생 가능성이 매우 높을 때 발표 (50년간의 자료를 분석하여 기준 선정)

일본의 행정 구역은 광역 자치 단체인 도(都, 도쿄도), 도(道, 홋카이도), 부(오사카부, 교토부), 현(총 43개 현), 우리나라의 읍, 면에 해당하는 기초 자치 단체인 시, 정, 촌으로 나뉜다. 시, 정, 촌 단위로 서로 다른 호우특보 기준을 가지고 있기 때문에 시, 정, 촌 단위로 호우특보를 발표한다.

일본의 기존 호우/홍수 특보는 강우량, 토양 우량 지수, 유역 강우량 지수를 기준으로 발표하였다(표 2.1.1.5). 표 2.1.1.6은 2013년의 아부정 호우/홍수 경보 발표기준을 나타낸다.

표 2.1.1.5 일본의 기존 호우/홍수 특보 발표기준 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/shisu_kaisetsu.pdf)

요소	목적
강우량	침수 피해를 파악하기 위한 지표
토양 우량 지수	내린 비에 의한 토사 재해 위험도를 파악하기 위한 지표 (2008년 도입)
유역 강우량 지수	상류에 내린 비로 인한 하류의 홍수 위험도를 파악하기 위한 지표 (2008년 도입)

표 2.1.1.6 아부정 호우/홍수 경보 발표기준 (2013년 기준) (www.jma-net.go.jp/shimonoseki/kijun/yamaguchi/kijun_3532100.pdf)

특보	기준	기준값
호우	우량 기준 (침수 피해)	60mm/h
	토양 우량 지수 (토사 재해)	120
홍수	우량 기준	60mm/h
	유역 강우량 지수	오이가와유역=14
	복합 기준	-
	지정 하천 홍수 예보에 의한 기준	-

2017년 7월 4일부터 일본의 호우/홍수 특보 발표 시 비에 의한 재해 발생의 위험도 증가를 평가하는 기술인 토양 우량 지수, 표면 우량 지수, 유역 강우량 지수를 활용하여 발표하도록 개선되었다(표 2.1.1.7) (http://www.jma.go.jp/jma/press/1706/15a/20170615riskmap.html). 표면 우량 지수는 단시간 강우에 의한 침수 위험도를 파악하기 위한 지표로, 기존의 호우특보 발표기준에 사용되던 강우량 대신 표면 우량 지수를 사용한다. 개선된 기준에 의한 2017년 아부정 호우/홍수 경보 발표기준은 표 2.1.1.8과 같다.

표 2.1.1.7 일본의 개선된 호우/홍수 특보 발표기준

요소	목적
표면 우량 지수	침수 피해를 파악하기 위한 지표
토양 우량 지수	내린 비에 의한 토사 재해 위험도를 파악하기 위한 지표 (2008년 도입)
유역 강우량 지수	상류에 내린 비로 인한 하류의 홍수 위험도를 파악하기 위한 지표 (2008년 도입)

표 2.1.1.8 아부정 호우/홍수 경보 발표기준 (2017년 기준) (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/yamaguchi.html)

특보	기준	기준값
호우	표면 우량 지수 (침수 피해)	24
	토양 우량 지수 (토사 재해)	120
홍수	유역 강우량 지수	오이가와유역=15.5 향천 유역=11.4
	복합 기준	-
	지정 하천 홍수 예보에 의한 기준	-

요소별 정의는 다음과 같다. 토양 우량 지수는 내린 비에 의한 토사 재해 위험도의 증가를 파악하기 위한 지표로, 땅에 흡수되거나 지표면을 타고 흘러 강으로 모이는 빗물의 양을 구하기 위해, 비가 토양을 통해 흘러나오는 모습을 구멍이 뚫린 탱크를 사용하여 모델링한 탱크 모델로 토양 우량 지수를 계산한다. 표 2.1.1.9는 토양 우량 지수 계산식을 나타낸다.

표 2.1.1.9 토양 우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/dojoshisu.html)

토양 우량 지수 = $S_1+S_2+S_3$ (각 탱크의 저장 높이의 합)
$S_1(t+\Delta t)=(1-\beta_1\Delta t)\cdot S_1(t)-q_1(t)\cdot\Delta t+R$
$S_2(t+\Delta t)=(1-\beta_2\Delta t)\cdot S_2(t)-q_2(t)\cdot\Delta t+\beta_1\cdot S_1(t)\cdot\Delta t$
$S_3(t+\Delta t)=(1-\beta_3\Delta t)\cdot S_3(t)-q_3(t)\cdot\Delta t+\beta_2\cdot S_2(t)\cdot\Delta t$
- S_1, S_2, S_3 : 각 탱크의 저장 높이
- β_1, β_2, β_3 : 각 탱크의 침투 유출 구멍 침투 계수
- q_1, q_2, q_3 : 각 탱크의 측면 구멍 유출량
- $\triangle t$: 10분 , R : 분석 또는 예상되는 1시간 강우량의 1/6

표면 우량 지수는 내린 비에 의한 침수 위험도의 증가를 파악하기 위한 지표로, 지면 피복 상황과 지질, 지형, 경사도 등을 고려하여 내린 비가 지표면에 얼마나 쌓여있는지 탱크 모델을 이용하여 수치화한 지수이다. 1km 격자마다 표면 우량 지수가 계산되지만 실제 유출량은 일정 범위의 집수를 대상으로 250m 격자마다 산출한다. 표 2.1.1.10은 표면 우량 지수 계산식을 나타낸다.

표 2.1.1.10 표면 우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/hyomenshisu.html)

표면 우량 지수= $\frac{\sum_{n=1}^{9}[Q_s(n) \cdot \frac{m_s(n)}{100} + (Q_c(n) \cdot \frac{m_c(n)}{100} \cdot 0.7 + Q_s(n) \cdot \frac{m_c(n)}{100} \cdot 0.3)}{\sum_{n=1}^{9}(m_s(n)+m_c(n)) \cdot 100^2} \times 3600 \times 1000$
- q : 유출 높이 (mm/h) - Qs(n) : 비도시지역(농지, 숲, 황무지 등) 탱크 유출량(1km 격자) (m^3/s) - Qc(n) : 도시지역(건물, 도로, 철도 등) 탱크 유출량(1km 격자) (m^3/s) - ms(n) : 비도시 격자 수 , mc(n) : 도시 격자 수 - n : 250m 격자에 대한 주변 1km 격자의 번호 (1~9)

유역 강우량 지수는 하천의 상류 지역에 내린 비로 인한 하류 지역의 홍수 위험도 증가를 파악하기 위한 지표로, 내린 비가 지표면과 지해를 통해 하천에 흘러 들어가는 양을 탱크 모델 및 운동 방정식을 이용하여 수치화한 지수이다. 강우 유출량은 표면 우량 지수 계산식을 이용하여 계산하고(유출 과정), 유출된 빗물이 하천에 흘러 들어가는 양은 운동 방정식을 이용하여 계산한다(유하 과정). 표 2.1.1.11은 유역 강우량 지수 계산식을 나타낸다.

표 2.1.1.11 유역 강우량 지수 계산식 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/ryuikishisu.html)

운동방정식: $\nu = (1/n)R^{2/3}I^{1/2}$
- v : 유속 (m/s) , R : 수심 (m) , I : 경사 , n : 매닝마찰계수
연속방정식: $\frac{d\int_{\text{물길}} Adx}{dt} = \int_{\text{유역}} (r-i)dS + Q_{\text{상류단}} - Q_{\text{하류단}} = \int_{\text{유역}} e(r)dS + Q_{\text{상류단}} - Q_{\text{하류단}}$
- A : 유수단면적 (m^2) , r : 강우강도 , i : 침투 용적 - e(r) : 탱크모델에 의한 유출량

또한 호우 특별 경보 기준을 설정하여, 이에 해당하는 강우가 예상되거나 지속될 때는 특별 경보(Emergency Warning)을 발표하기도 한다(표 2.1.1.12).

표 2.1.1.12 호우 특별 경보 기준 (www.jma.go.jp/jma/en/Emergency_Warning/Relationships_between_criteria_and_indices.pdf)

구분	설명
Index 1	5x5km 격자로 이루어진 전체 영역 중, 48시간 누적 강수량과 토양 우량 지수가 50년에 한 번 관측되는 값을 초과하는 격자의 수가 50개 이상일 때
Index 2	5x5km 격자로 이루어진 전체 영역 중, 3시간 누적 강수량과 토양 우량 지수가 50년에 한 번 관측되는 값을 초과하는 격자의 수가 50개 이상일 때 (누적 강수량이 150mm/3h 초과하는 격자만 유효)

몇 년에 한 번 꼴로 발생하는 단시간의 호우를 관측하고 분석하여 각 지역의 기상대에서 '기록적인 단시간 호우' 기준을 발표한다. 지상 우량계에 의해 관측하고 기상레이더와 지상 우량계를 결합한 분석 강우량을 통해 기준을 설정한다. 기록적인 단시간 호우의 기준은 역대 1시간 강수량 중 가장 높은 두 개의 기록을 참고로 하여 예보구역별로 결정한다. 이 정보는 호우 경보를 발표하는 동안 현재의 강우가 토사 재해와 홍수 피해의 발생으로 이어질 강우인지 알리기 위해 발표한다 (www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/list_of_kirokuame_level.pdf).

우리나라와 해외의 호우특보 기준을 보며, 사용하는 호우특보의 기준치가 합리적이고 타당한 방법으로 설정되었다는 근거를 찾기는 어려우나, 각 나라의 실정에 맞게 상세한 기준을 갖고 있거나 단순히 강우량만이 아닌 복합적인 요인들을 고려하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 우리나라의 경우도 최근의 환경적인, 인위적인 요인들의 변화에 맞추어 기준을 개선할 필요가 있으며, 나아가 이를 고려할 수 있는 지속적인 연구가 필요하다.

○ 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구 조사

지금까지 선행된 강우량과 재해와의 연관관계에 대한 연구들을 보면(표 2.1.1.13), 정용승과 봉종헌(1993)은 60mm/24h, 120mm/24h 호우특보 기준치를 제시하였고 기준치 개정은 매 3~5년마다 검토하는 것을 제안하였다. 봉종헌 등(1998)은 강우량과 지역별 호우재해와의 관계를 조사하여 호우특보 기준의 개정방향을 제시하였다. 홍성길(1999)은 최대누적강우량에 대한 피해발생 누적확률 분석 및 정확도 평가를 수행하여 80mm/3h, 100mm/12h, 110mm/24h의 호우특보 기준값을 제시하였고, 이

정희 등(2003)은 수치모델 결과를 이용하여 호우특보체계를 평가하여 강수량 단순 누적 대신 시간별 가중치를 주어 합산한 잔류강우량 개념 도입을 주장하였다. 김연희 등(2009)은 한반도의 재해피해액과 기상청 호우특보 기준에 따른 강우와의 관계를 조사하고 각 지역별 강우강도와 재해의 연관성을 분석하여 재해피해발생 강우량의 대표 값과 기준값 조사 하였으며 김연희 등(2011)은 호우로 인한 호우피해 발생 가능성과 강우강도 개념을 고려하여 호우특보 기준 변경에 관한 연구를 수행하여 70mm/6h, 110mm/12h의 호우특보 기준값을 제시 하였다. 박상식과 강부식(2014)은 각 특보구역의 지형특성, 사회 인문적 재해발생요소를 고려하고, 침수피해 및 토사재해 가능성을 사전에 인지할 수 있는 호우특보 차등화 방안에 대한 연구를 수행하였다.

기상청에서도 여러 연구를 진행하였는데, 2007년에는 일반인과 전문가를 대상으로 델파이분석을 수행하여 4단계 특보체계(예비특보, 주의보, 경보, 중대경보)로 개편을 제시하였고, 2008년에는 재해피해가 발생했을 때 기상요소의 지역별 분포 특성, 재해 피해액과 기상특보 요소의 강도간의 연관성 분석, 지역별 기상특보 요소의 발생빈도, 극값분석을 통한 재현주기를 분석하여 지역별 호우특보 발표 기준값을 제시하였다.

표 2.1.1.13 호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구

저자	연구 내용
정용승과 봉종헌(1993)	- 60mm/24h, 120mm/24h 호우특보 기준치제시 - 기준치 개정은 매 3~5년에 한번씩 검토 제안
봉종헌 등(1988)	- 강우량과 지역별 호우재해와의 관계 조사 - 호우특보 기준의 개정방향 제시
홍성길(1999)	- 최대누적강우량에 대한 피해발생 누적확률 분석 및 정확도 평가 - 80mm/3h, 100mm/12h, 110mm/24h 호우특보 기준치 제시
이정희 등(2003)	- 수치모델 결과를 이용하여 호우특보 체제를 평가 - 강수량 단순 누적 대신 시간별 가중치를 주어 합산한 잔류강우량 개념 도입 주장
기상청(2007)	- 일반인과 전문가를 대상으로 델파이분석 수행 - 4단계 특보체계(예비특보, 주의보, 경보, 중대경보)로 개편 제시
기상청(2008)	- 재해피해가 발생했을 때 기상요소의 지역별 분포 특성, 재해 피해액과 기상특보 요소의 강도간의 연관성 분석, 지역별 기상특보 요소의 발생빈도, 극값분석을 통한 재현주기를 분석하여 지역별 호우특보 발표기준값 설정
김연희 등(2009)	- 한반도의 재해피해액과 기상청 호우특보 기준에 따른 강우와의 관계 조사 - 각 지역별 강우강도와 재해의 연관성을 분석하여 재해피해발생강

	우량의 대푯값과 기준값 조사
김연희 등(2011)	- 호우로 인한 호우피해 발생 가능성과 강우강도 개념을 고려하여 호우특보 기준 변경에 관한 연구 수행 - 70mm/6h, 110mm/12h 호우특보 기준 제시
박상식과 강부식(2014)	- 각 특보구역의 지형특성, 사회 인문적 재해발생요소를 고려하고, 침수피해 및 토사재해 가능성을 사전에 인지할 수 있는 호우특보 차등화 방안을 제시

- 기상특보 발표 및 통보기능 향상을 위한 기술개발연구 (II)(봉종헌, 1988)

봉종헌(1988)은 강우량과 지역별 호우 재해와의 관계를 조사하고 호우특보 기준의 개정방향을 제시하였다. 지역별 강수 특성 조사를 통해 80mm 이상의 호우는 남해안이 다른 지역보다 월등히 높은 빈도를 보이고 한강 유역과 금강 유역이 그 다음의 빈도를 보이며 80mm 이상의 호우빈도가 낮은 지역은 경상북도와 강원도 일부 지방이라 하였다. 지역별 강수 특성 조사를 통해 1일 최다 강수량 지역은 한강 하류(300mm 이상)와 장흥(547mm), 1시간 최다 강수량 지역은 경기 서부와 충남지역, 전주, 10분 최대 강수 지역은 서울을 포함한 경기 북부로부터 춘천에 이르는 지역과 경북 북부, 여수를 중심으로 한 남해안 지역임을 분석하였다.

호우로 인한 피해 조사를 통해 1971년부터 1980년까지 10년간 호우로 인한 인명피해는 총 3,640명이었으며, 그 중 산사태로 피해를 입은 것은 전체의 38%, 호우로 물이 불어나 급류로 인명 피해를 보인 것이 33%, 건물 붕괴에 의한 인명 피해는 24%임을 분석하였다.

지역별 호우에 따른 재해 조사를 위해 도시, 평야, 산간, 섬·해안으로 지역을 구분하고, 이재민과 총 피해액을 피해 종류로 하여 조사하였다. 도시 지역에서는 200mm 이상의 비가 내렸을 경우 100명 이상의 이재민을 보이나 이재민 수는 강우강도와 관계가 있고, 80mm 이상의 강수량에서 총 피해액이 증가하는 추세를 보였다. 평야 지역에서는 80~130mm 사이의 강수의 경우 40명 이하의 이재민이 발생하지만 130mm 이상 내릴 경우 이재민 수도 대체적으로 증가하고, 80~130mm의 강수는 6백만원 미만의 피해액을 보이나 160~300mm의 강수는 1억~10억의 피해액을 보였다. 산간 지역에서는 80~160mm의 강수까지는 이재민이 20명 정도로 큰 변화가 없다가 200mm 이상의 강수에서 이재민 수가 증가하는 추세를 보이고, 피해액의 규모는 일정하지 않으나 200mm 이상의 비가 내렸을 경우 산간 지역에서의 총 피해액 규모는 대략 1억 이상이었다. 제주도 울릉도 및 남해안 지역에서는 90~150mm까지는 25명 이하의 적은 이재민을 보이다가 200mm 이상에서 증가하여 큰 피해를 보였고,

90mm 이상의 강수에서부터 호우피해를 받기 시작하여 200mm 이상의 강수에서 피해액이 급격하게 증가하는 추세를 보였다.

현재의 호우특보 기준은 상습적으로 호우가 많이 내리는 지역이나 도시와 같이 비가 조금만 내려도 재해가 우려되는 지역 등 구분이 없고, 재해는 강우강도에 따라 발생하는 경향이 있는데 이를 고려하지 않는다 하였고, 도시, 평야, 산간, 섬·해안지역 등으로 지역을 세분하여 호우특보를 발표함이 좋을 것으로 사료된다고 하였다.

- 호우와 대설 주의보 및 경보의 새로운 기준치 선정(정용승, 봉종헌, 1993)

정용승과 봉종헌(1993)은 60mm/24h, 120mm/24h 호우특보 기준치를 제시하고 기준치 개정은 매 3~5년에 한 번씩 검토해야 한다고 제안하였다.

기상청이 현재 사용하고 있는 호우경보 등 기상특보의 기준치는 사회의 발전에 따라 새로운 문제점이 따르게 되고, 과학적인 근거가 미약한 가운데 오랫동안 이용되고 있는 기준치가 지역에 따라 불합리한 경우도 있기 때문에 기준치의 개정에 대한 논란이 수차례 있었다고 하였다.

호우주의보와 경보는 관측치에 미달되거나 초과되는 경우가 비교적 많아서, 일례로 1989년 7월 중순에 있던 장마는 한대전선대의 큰 남북 진동으로 인해 강우량이 예년보다 적었고, 7월 15, 16 양일간 기상청은 한 차례식의 호우주의보를 발표하였으나, 이 기간에는 150mm 미만의 비가 내렸으므로 호우경보에는 해당되지 않았으나 15명의 인명피해와 67억의 재산피해가 있었다고 보도되었다. 청주 관측소는 16일 46mm를 기록하였으나 측후소 서남서쪽 12km 떨어진 곳에서는 100mm 이상의 폭우로 개울이 범람하고 논둑이 파괴되어, 호우주의보에 미달되는 청주 근교가 재산 피해를 받았고, 다른 지역에서도 인명 피해가 있었기 때문에 현재의 기준치가 부적합하다고 말했다. 또한 호우 경보 급이 아닌 강수로 인해 많은 인명과 재산 피해가 있었기 때문에 호우경보 기준치의 재선정이 필요함을 제시하였다.

새로 제안한 호우 주의보 및 경보의 기준은 표 2.1.1.14, 표 2.1.1.15와 같다.

표 2.1.1.14 새로운 호우특보 기준 1

대우주의보	대우경보
24시간 강우량이 60mm 이상 예상될 때	24시간 강우량이 120mm 이상 예상될 때

표 2.1.1.15 새로운 호우특보 기준 2

대우주의보	대우경보
24시간 강우량이 50mm 이상, 또는 1시간 강우량이 20mm 이상 단, 산간 및 남해안(도서) 지방의 경우 60mm/24h	24시간 강우량이 100mm 이상, 또는 1시간 강우량이 40mm 이상 단, 산간 및 남해안(도서) 지방의 경우 120mm/24h

제안한 호우특보 기준을 보면(표 2.1.1.15), 일 강수 외에 시간당 강수를 제시하여, 대우와 짧은 시간 내의 강우로 인한 피해를 함께 고려하려 하였고, 또한 산간/도서 지방에 대한 고려가 있었음을 알 수 있다.

- 한국의 호우특보 기준 설정에 관한 연구(홍성길, 1999)

홍성길(1999)은 최대누적강우량에 대한 피해발생 누적확률을 분석하고 정확도를 평가하였으며, 80mm/3h, 100mm/12h, 110mm/24h 호우특보 기준치를 제시하였다. 대체적으로 강수량이 많아지면 피해규모도 커지지만 다른 한편으로는 강수량이 매우 적은데도 피해가 큰 경우가 많은데, 이는 현지에 내린 강수량에 의한 직접적인 피해라기보다는 상류의 호우로 인한 하류의 범람피해, 흠뻑 젖은 토양에 다시 비가 내려 발생한 피해라고 볼 수 있으므로, 이처럼 복잡한 상황 하에서는 재해를 야기하는 호우의 강도를 정량적으로 산출한다는 것은 매우 어려운 것으로 보인다 하였다. 따라서 여러 가지 시간 간격의 최대 누적강수량을 활용해서 재해 시작 강수량을 각각 결정할 목적으로 세계 각국에서 호우특보 기준 강수시간 적용 사례를 참고하여 1, 3, 6, 12, 24 시간 동안의 최대 누적강수량별 강수피해 여부를 분석하였고 그 결과는 표 2.1.1.16과 같다.

표 2.1.1.16 1, 3, 6, 12, 24 시간 동안의 최대 누적강수량별 강수피해 여부

Cumulative probability of damages	1h	3h	6h	12h	24h
25%	20	30	40	60	80
50%	20	40	60	80	100
75%	40	60	90	120	150
Maximum curvature	50	80	90	100	110

1, 3, 6, 12, 24시간에 대한 누적확률의 25%, 50%, 75% 및 최대 곡률점 등 몇 가지 경우에 대해 적중률, 임계 성공 지수, 검색 확률, 거짓 경보율 및 경험적 예보 숙련도와 함께 구한 종합 순위에서 50mm/h, 80mm/3h, 90mm/6h, 100mm/12h, 110mm/24h 호우 강도 기준의 정확도와 편의 평가가 가장 좋은 결과를 나타냈다.

5개의 호우 강도 기준에 대한 임의의 조합 모두에 대하여 정확도와 편의 평가를 시행하여 성적이 좋은 조합을 특보의 기준으로 삼을 수 있도록 평가를 시도한 결과, 두 가지 시간을 취한다면 100mm/12h, 110mm/24h를, 세 가지 시간을 취한다면 100mm/12h, 110mm/24h, 80mm/3h를 집중호우특보용 기준으로 선택할 수 있고, 80mm/3h 이상의 강수량은 6시간 이상 강수량과는 달리 비교적 단시간 강수를 대표하고, 정확도와 편의 평가에서 110mm/24h만으로도 편의를 크게 줄이는 효과가 나타나 110mm/24h 강수를 포함하지 않은 어느 조합의 경우보다도 편의가 적게 나타나기 때문에 특보 기준에서 24시간 강수량은 필수적이라 하였다.

결과적으로 80mm/3h, 100mm/12h, 110mm/24h를 특보 기준으로 함께 사용함으로써 단시간의 호우와 일반적인 호우 및 장시간의 호우에 대해서 특보를 발표하는데 효과적이라고 판단된다 하였다.

현재 우리나라에서 호우주의보와 경보를 발표함에 있어서 그 발표기준이 지니고 있는 개념은 중대한 재해발생 가능성에 바탕을 두고 있는데, 우리나라에서 최근 10년간 호우주의보 기준 범위의 호우 출현 시 60% 정도는 피해의 정도가 미미하였다고 볼 수 있어서, 현행 호우주의보의 기준 설정은 재해 발생을 경고하는 의미가 많은 것으로 보인다 하였다. 이를 개선하기 위해서는 호우특보의 개념을 WMO 기준에 맞추어 호우경보의 현 기준(150mm/24h)을 하향조정하거나 실제로 heavy rain warning에 속하는 호우주의보의 현 기준(80mm/24h)을 재해 발생 본래의 개념으로 상향조정하여 호우경보 기준으로 합치고 호우주의보를 폐지하는 것이 바람직하다 하였다.

1회 강수 중 1, 3, 6, 12, 24시간의 최대 누적강수량에 대한 피해 누적확률 분포를 통해 얻은 세 가지 기준은 단시간, 일반, 장시간의 호우를 잘 나타내고 있는 것으로 평가할 수 있다 하였고, 아울러 현행 호우특보와 비교해 볼 때 본 연구에서 제시한 새 기준이 간접적으로 선행시간을 다소 늘리는 효과도 나타내게 될 수 있다 하여, 호우특성에 대해 다른 기준치가 필요함을 알 수 있다.

- RDAPS 결과를 이용한 호우특보 체제 개선 실험(이정희 등, 2003)

같은 양의 비가 내렸더라도 24시간 동안 고르게 내린 경우와 단시간 집중호우는 피해면에서 엄청난 차이를 보인다. 또한 우리나라의 호우특보 기준은 지역적인 특성

을 고려하지 않고 있으며, 강수량 누적 개념의 호우특보 기준의 취약점도 있다. 제도적인 면에서는 충분한 선행시간의 미확보 및 호우를 발표하는 시각과 발표 시 해제시각을 표시하지 않는 점과 특보해당지역과 예상 강수량을 광범위하게 발표하등 등의 문제도 있다. 이에 위 연구에서는 호우특보의 이론적 취약점과 현업 적용시의 모순점 및 해결방안과 호우특보 시스템의 개선에 대한 조사와 실천 가능한 해결방안에 대한 소개를 하였다.

2003년 5월부터 8월까지의 기상청 산하 기상대와 관측소 87개 AWS의 강수량자료와 현업에서 운영되고 있는 아시아예보모델 RDAPS 강수자료를 이용하여 연구하였다. AWS 관측 값과 RDAPS 예측 값을 비교하였다. 그림 2.1.1.1은 경기 북부지방인 동두천의 8월 23일 시간강수량과 일 누적강수량으로써 왼쪽은 AWS 관측 강수량이고, 오른쪽은 RDAPS 예상 강수량이다. AWS 결과를 보면 경기 북부지방인 동두천의 8월 23일의 시간강수량과 일 누적강수량으로 3시부터 내리기 시작한 강수는 23시를 지나면서 주의보발령에 해당하는 강수량을 기록했고 RDAPS 결과를 보면 22일 12UTC에 발표된 RDAPS 예상 강수량은 이보다 조금 빠른 22일 22경에 강수가 시작되고 23일 9시에 94.4mm의 강수를 기록할 것으로 예상하였다. 그림 2.1.1.2는 강원 북서지방인 철원의 8월 23일 시간강수량과 일 누적강수량으로써 왼쪽은 AWS 관측 강수량이고, 오른쪽은 RDAPS 예상 강수량이다. AWS 강수량은 3시부터 시작해서 13시에 호우특보를 웃돌았고, 22일 12UTC에 발표된 예상강수량에서는 23일 9시에 이미 91.8mm를 기록할 것으로 예상했다. 이날의 호우특보 상황을 보면 8월 23일 6시 30분 발표, 8시 발효로 서울/경기지방과 강원영서지방에 호우주의보가 내려졌다. 이상의 두 지역을 보면, 실제 강수시작 시간보다 RDAPS 예측에서의 강수시작 시각이 빨랐고, 실제 주의보 수준에 해당하는 강수량인 80mm 이상을 나타내는 시점 또한 예상이 실제보다 빨랐다. 모델에 사용되는 초기 값이 정확하지 않을 경우 강수량을 제대로 모의하지 못한다는 단점이 있기는 하나, 강수량에 있어서 관측보다 예측이 빨라 선행시간을 충분히 확보할 수 있다는 장점을 가진다.

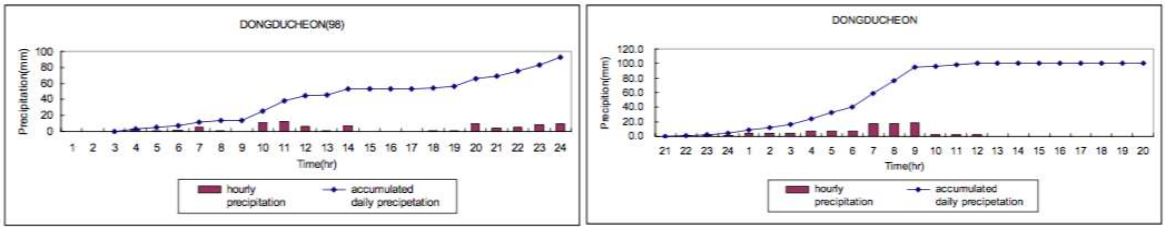


그림 2.1.1.1 경기 북부지방인 동두천의 8월 23일 AWS(왼쪽) 관측자료와 RDAPS(오른쪽) 예상강수량 자료의 시간강수량과 일 누적강수량

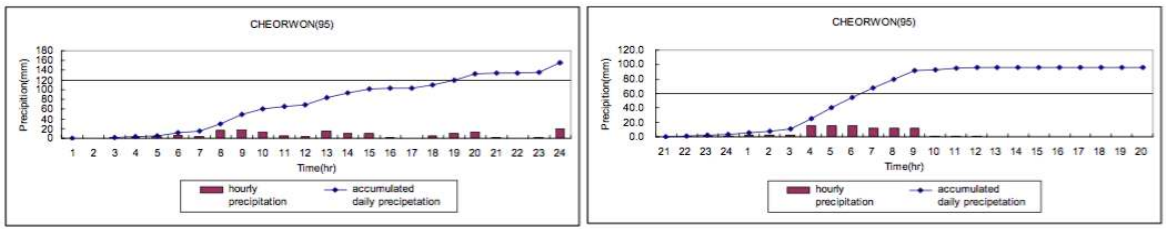


그림 2.1.1.2 강원 북서지방인 철원의 8월 23일 AWS(왼쪽) 관측자료와
RDAPS(오른쪽) 예상강수량 자료의 시간강수량과 일 누적강수량

자료를 분석한 결론은 첫째, RDAPS에 의한 강수량 예측은 양과 횟수에서 대체로 적게 나타났다. 주의보에 해당하는 강수량은 6월에 2차례, 7월에 1차례 그리고 8월에 5차례였고, 총 27개 지점이었다. 둘째 관측 값과 예측 값이 가장 잘 일치하는 날은 8월 23일 서울/경기지방과 강원 영서지방, 24일의 서울과 인천지역이다. 셋째 특보에 해당하는 강수량을 기록했으나 실제 강수지역과는 차이가 크거나 예측 강수량이 실제 강수량에 비해 훨씬 적게 모의하는 등 강수를 제대로 예측하지 못한 경우가 많았다.

위 연구에서는 강수량을 단순 누적하지 않고 시간별로 가중치를 주어 합계한 잔류량 도입을 주장하였다. 일강수량을 잔류량으로 바꾸는 방법은 Byun and Wilhite(1999)에 의해 개발되었고, Byun and Jung(1998)에 의하여 홍수에도 적용될 수 있음을 입증하였다. 잔류량 계산은 강수량의 시간별 차등 누적을 감안하는 방법으로 다음의 식으로 표현이 가능하다.

$$E = \sum_{N=1}^{D}\left(\left(\sum_{m=1}^{N} Pm\right)/N\right)$$

$$W = E \,/\, \left(\sum_{N=1}^{D}(1/N)\right)$$

E는 D일 동안 누적된 수자원지수, Pm은 m일 전의 일 강수량, N은 m과 D사이를 조절해 주는 변수이다. D를 365로 두는 것이 표준형이며, 90을 택할 경우 토양 수분량과 비례한다. W는 가용수자원지수로 큰 값일수록 잔류량이 많음을 뜻한다. 호우의 위험 정도는 다음의 식으로 표현이 가능하다.

$$V = W - Amax(W)$$
$$FI = V / St(V)$$

Amax(W)는 W의 연중 최고치의 평균값이고, St(V)는 V의 표준편차이며, FI는 홍수지수이다.

이전에 내린 비로 인한 잔여습기가 현재까지 남아 있고, 비록 누적량이 같다 하더라도 11개월 전에 비가 많이 온 경우와 1개월 전에 비가 많이 온 경우는 현재 남아 있는 강수량에서는 엄청난 차이가 난다. 24시간 동안의 강수량도 같은 맥락이다. 24시간 전에 내린 100mm와 1시간 전에 내린 100mm는 홍수를 초래할 위험에 있어서 같을 수 없으며, 이 점을 고려한 잔류량 방법의 도임이 필요하다.

모델의 통한 강수량 예측능력이 향상되면 호우특보의 정확도 및 선행시간도 자연히 해결 될 수 있으며, 보다 빠르고 나은 결과로 긴 선행시간을 확보할 수 있다. 누적량 중심의 호우특보 시스템이 차츰 발전하여 보다 발전된 개념의 호우특보 개념으로 바뀌는 것은 시간문제이며, 가능한 빨리 이 한계를 벗어나는 것이 호우피해를 줄이는 지름길이라 할 수 있다. 잔류량 개념의 도입과 중/장기적으로 꾸준한 투자를 한다면 훨씬 더 향상된 후우특보 발표를 할 수 있을 것으로 결론을 지었다. 위의 연구는 최근 일본에서 사용하는 표면, 토양 우량지수의 개념과 유사하여 단순 강수량을 이용한 특보가 아닌 실제 홍수위험을 지수화 한 의의가 있다. 아직까지는 우리의 기술력이 이를 충분히 뒷받침 해주기 어려우나, 이를 위한 연구와 투자가 필요함을 시사한다.

- 한반도 재해피해와 호우의 재현주기(김연희 등, 2009)

호우 강도가 재해 피해액과 연관이 깊지만, 지역특성이 매우 다르게 나타나서 호우강도가 약하더라도 피해가 큰 경우도 있고, 호우 강도가 강하더라도 피해가 적은 경우도 많은 것 같다. 이것은 지역적 방재 관련 인프라 또는 피해시설 유무 등과 가은 지역 특성과 연관되어 있기 때문이다. 이를 고찰하기 위해 기상청 호우특보 기준에 따른 강수와 재해 피해액과의 관계를 조사하였으며, 각 지역별 강우강도와 재해의 연관성 및 재현주기를 분석하였다.

호우 분석을 위하여 1973년부터 2007년까지 35년간 한반도 59개 지상 기상 관측소에서 관측된 강수량의 시간자료와 1997년부터 2006년까지 10년간 439개의 자동기상관측장비(AWS)에서 관측된 강수자료와 1994년부터 2006년까지 13년 동안 소방 방재청에서 제공된 재해연보를 이용하였다. 강우강도는 기상청 특보발령 기준을 이용하여 일반(강수량<80mm/12hr), 주의보(80mm/12hr<=강수량<=150mm/12hr)

그리고 경보(강수량<150mm/12hr)로 구분하여, 기상재해 피해액과의 연관성을 분석하였다. 지역별 호우분석을 위하여, 지역구분은 기상청에서 제시한 광역예보구역에 따라, 서울/인천/경기, 강원, 충북, 대전/충남, 전북, 광주/전남, 대구/경북, 부산/울산/경남, 제주의 9개 지역으로 분류하였다.

강수량과 피해액 사이의 산포도는 각 등급(일반, 주의보, 경보)에 대해서 두 값 사이의 관계를 분석하고 회귀직선을 통해 강수량과 피해액 사이의 선형관계를 살펴보는데 사용되었다. 강수량 극값분석 방법은 9개 지역에서 1973년부터 2007년까지 35년동안 각 해에서 12시간 강수량의 최대값(극값)을 하나씩 추출하였다. 강수량 극값의 분포는 극한 기상현상의 분포 특성을 잘 나타내는 검벨분포(Gumbel Distribution)와 와이블분포(Seibull Distribution)를 통해 살펴보았다. 검벨분포의 확률밀도함수 f(x)(PDF: Probability Density Function)와 누적분포함수 F(x)(CDF: Cumulative Distribution Function)는 다음과 같다.

$$f(x)=\frac{1}{\beta}\exp\left\{-\exp[-\frac{(x-\xi)}{\beta}]-\frac{(x-\xi)}{\beta}\right\}$$

$$F(x)=\exp\left\{-\exp[-\frac{(x-\xi)}{\beta}]\right\}$$

여기서 ζ와 β는 함수의 위치모수와 척도모수를 나타낸다. 와이블분포의 PDF는 다음과 같다.

$$f(x)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1}\exp\left(-\left(\frac{\beta}{\eta}\right)^{\beta}\right),\ x\geq 0,\ \eta,\ \beta>0$$

여기서 β와 η는 함수의 척도모수와 형상모수를 나타낸다.

한반도에서 관측한 호우의 극값의 주기성을 분석하이 위해서 재현주기(RP)를 분석하였다. 호우 극값과 연관된 재현주기는 극값의 크기 또는 그 이상의 값을 갖는 사건 발생 사이의 평균시간으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(x)=\frac{1}{\omega[1-F(x)]}$$

여기서 F(x)는 누적밀도함수, ω는 표본빈도를 각각 나타낸다.

1973년부터 2007년까지 35년 동안 강수자료를 이용하여 호우의 지역별 분포 특성, 발생빈도, 강수량에 따른 재해사례 및 재해 피해액을 분석하였다. 또한 호우 극값을 이용하여 재현주기를 분석하여 각 재현주기별 임계 강수량의 지역적 특성, 현행 기상청 특보 기준에 대한 재현주기를 분석하였다.

35년 동안 지역별 호우 발생빈도의 관측소 평균결과, 호우는 제주지역에서 74.3회로 가장 많이 발생하며, 서울/인천/경기지역(60.2회), 대전/충남(56.7회), 부산/울산/경남(56.1회) 순으로 많이 발생하였고, 전북과 대구/경북지역이 44.0회와 25.4회로 호우가 적게 발생하였다. 최근 35년간 호우 발생빈도 경향을 보면, 9개 지역 모두에서 증가하는 추세가 나타나며, 특히 강원과 제주지역에서 35년간 1.75회와 1.4회 증가하였으며 전라도 지역에서 0.35회 증가하였다. 호우에 의한 재해 발생 시, 9개 지역의 강수량 분포를 보면, 서울/인천/경기 지역에서 가장 큰 최대값(586.0mm)이 나타났고, 중앙값도 컸으며, 제주 지역에서는 중앙값이 가장 넓게 분포하고 있다. 각 지역의 재해사례는 서울/인천/경기 지역에서 326건(20.7%)으로 가장 많이 발생하였으며, 상대적으로 호우가 적은 전라지역에서도 재해사례가 많이 나타났다. 강수량과 재해 피해액과의 상관관계에서 모든 지역에서 강수량은 재해 피해액과 비례하게 나타났다. 도심지역인 서울/인천/경기, 대전/충남, 광주/전남은 강수량이 증가함에 따라 재해 피해액이 서서히 증가하지만, 충북, 전북지역은 주의보 이상에서 피해액의 규모가 급격히 증가한다. 표 2.1.1.17은 지역별 35년간(1973-2007) 누적한 호우 발생빈도를 나타낸 표이고, 표 2.1.1.18은 지역별 13년간(1994-2006) 누적한 호우에 의한 재해사례를 나타낸 표이다.

표 2.1.1.17 지역별 35년간(1973-2007) 누적한 호우 발생빈도

지역명	서울 인천 경기	대전 충남	충북	전북	광주 전남	부산 울산 경남	대구 경북	제주	강원
호우사례 횟수(%)	60.2 (12.9)	56.7 (12.1)	49.3 (10.6)	44.0 (9.4)	51.3 (11.0)	56.1 (12.0)	25.4 (5.5)	74.2 (15.9)	48.7 (10.5)

표 2.1.1.18 지역별 13년간(1994-2006) 누적한 호우에 의한 재해사례

지역명	서울 인천 경기	대전 충남	충북	전북	광주 전남	부산 울산 경남	대구 경북	제주	강원
재해사례 횟수(%)	326 (20.7)	164 (10.4)	119 (7.6)	159 (10.1)	227 (14.4)	219 (13.9)	222 (14.1)	24 (1.5)	112 (7.1)

극값 분석은 겜벨분포와 와이블분포 2개의 분포를 사용하여 강수량 극값 분석을 하였고, 호우에 대한 재현주기를 분석하였다. 각 재현주기별 해당 강수량은 서울/인천/경기지역에서 가장 크며, 대구/경북지역이 가장 작다. 호우 관측값 중 최대값은 586.0mm였으며, 이 값은 서울/인천/경기지역을 표본으로 한 경우에 그 재현주기는 약 256년이다. 현행 기상청의 주의보 발표기준값(80mm/12hr)은 모든 지역에서 1년에 한번은 발생 할 수 있는 현상이며, 경보 발표기준값(120mm/12hr)의 재현주기는 지역에 따라 1.4~2.8년의 주기로 발생 할 수 있는 기준에 해당된다.

동아시아 여름 몬순의 강도와 위치에 따른 재해 피해규모는 지리환경과 지역적 대비시스템에 따라 달라진다. 보통 대도시는 기반시설이 대체로 잘 갖추어져 있어서 재해피해를 발생시키는 강수량의 평균 기준값이 대체로 높은 반면, 산악 지방의 경우 적은 비에도 피해에 취약한 특성을 보인다. 다시 말해서 현재의 호우특보 기준은 지역에 관계없이 동일한 기준으로 정하였으나 향후 기상학적 요인, 방재대비 인프라, 취약성 등을 포함한 더 면밀한 조사를 거쳐서 호우특보의 기준을 지역에 따라 세분화하는 것이 필요함을 주장하였다.

- 최근 기상특성과 재해발생이 고려된 호우특보 기준 개선(김연희 등, 2011)

김연희 등(2011)은 최근 기후변화에 의한 강우 특성을 반영하고 호우피해 발생 가능성과 강우강도 개념을 고려하여 합리적이고 과학적인 호우특보 기준을 제시하기 위한 호우특보 기준 변경에 관한 연구를 수행 하였다. 연구 결과에서 호우특보 기준과 재해와의 상관관계를 찾아보기 어려웠으며, 호우와 그에 따른 피해발생 가능성과의 관계는 자연적인 것과 인위적인 것이 복합되어 나타나 지역적 인프라(기반시설)에 따라 큰 차이를 보인다고 하였고, 강우량과 피해규모와의 연관성을 찾기 어려워 무피해, 사소한 피해, 현저한 피해 등의 경계로 특보 기준을 정하는데 어려움이 있어서 재해 및 강우강도 개념, 지역별 특성, 시의성, 피해취약성 등을 반영하여 호우특보 기준을 제시할 필요성이 있다고 하였다.

호우특보 기준치와 호우피해 발생 가능성과의 관계가 높은 강우량은 각 기준시간별로 30mm/h, 50mm/3h, 80mm/6h, 100m/12h로 나타났으며, 선행시간이 확보될 수만 있다면 강우량 기준치는 낮을수록 좋다고 여겨지나, 실효성 있는 기상청 특보업무의 수행과 적절한 대응시간의 확보, 돌발 호우와 지속적 호우에 유기적으로 대비하기 위해서는 특보 기준시간을 6시간과 12시간을 함께 고려하는 것이 좋다고 하였다. 12시간 총 확률에서 6시간과 12시간의 기준치 이상을 둘 다 만족하는 비율의 차이가 작고 6시간과 12시간 기준의 총 확률에서 6시간과 12시간의 각 기준치 이상을 만족

하는 비율이 적절하게 차이 나는 기준은 80mm/6h와 100mm/12h로써, 호우현상을 감시하고 호우의 피해가능성을 알려주는데 용이할 것이라고 하였으며, 돌발호우에 해당하는 6시간 강우량과 지속적 호우에 해당하는 12시간 강우량을 다소 강화하는 수준으로 조정한 70mm/6h와 110mm/12h의 기준은 호우피해 시 빈도가 가장 높았던 강우량과 일치하며 총 사례는 2031회로 현 기준대비 발표횟수를 30% 정도 감소시킬 수 있다고 하였다. 그림 2.1.1.3은 각 기준시간별 강우강도에 따른 피해 발생빈도의 분포도이고, 그림 2.1.1.4는 각 기준시간별 강우강도에 따른 호우피해 사례의 피해발생 누적확률이다.

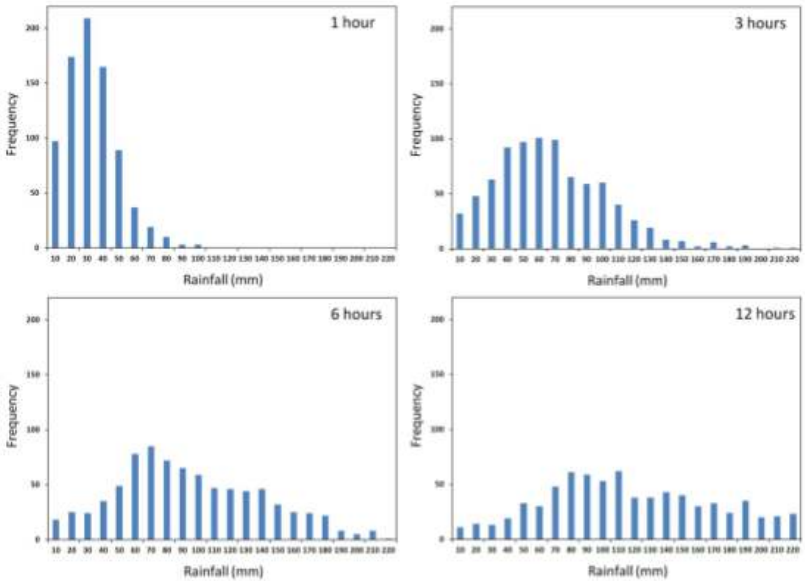


그림 2.1.1.3 각 기준시간별 강우강도에 따른 피해 발생빈도 분포

cumulative probability of damages	1 hr	3 hr	6 hr	12 hr
25%	10	30	50	70
50%	20	50	80	110
60%	30	60	90	130
70%	30	70	110	150
75%	30	80	120	160
80%	40	90	130	180
85%	40	90	140	190
90%	40	100	150	210
95%	50	120	170	240

그림 2.1.1.4 각 기준시간별 강우강도에 따른
호우피해사례의 피해발생 누적확률

각 기준시간별로 호우로 인한 피해빈도가 높은 강우량 수치인 최빈 호우피해 발생 강우강도 계급은 각각 30mm/h, 60mm/3h, 70mm/6h, 110mm/12h 이였으며, 또한 호우피해 발생의 80%에 해당되는 강우강도 계급은 각각 50mm/h, 100mm/3h, 140mm/6h, 190mm/12h 이였다. 호우피해사례별 피해발생 확률이 50%일 때, 즉 호우로 인한 피해를 발생할 가능성이 절반정도인 강우량의 경우 각 기준시간당 20mm/h, 50mm/3h, 80mm/6h, 110mm/12h 이였고, 피해발생 확률이 80% 이상인 즉, 호우로 인한 피해가 발생 가능성이 매우 높다고 할 수 있는 강우량은 각 기준시간당 40mm/h, 90mm/3h, 130mm/6h, 180mm/12h 이였다. 1시간 동안에 20mm의 비가 내렸다면 그로 인한 피해가 나타날 확률이 50%이고 40mm의 비가 내리면 피해확률이 90%에 이르는 것으로 보아 집중호우에 의한 피해는 꼭 고려되어야 한다고 하였다. 위 연구에서는 집중호우에 대한 고려를 언급하여, 과거와는 다른 호우 형태가 발달하기 시작했음을 시사한다. 또한 기준값 선정에 있어, 피해의 가능성을 고려하게 되었고 이를 반영하여 2011년 개정되어 지금까지 시행되고 있는 호우기준의 근거가 되었다.

- 지역별 방재역량을 고려한 호우특보 기준 차등화 (박상식, 강부식, 2014)

박상식과 강부식(2014)은 각 특보구역의 지형특성, 사회 인문적 재해발생 요소를 고려하고, 침수피해 및 토사재해 가능성을 사전에 인지 할 수 있는 호우특보 차등화 방안을 제시하였다. 전국에 동일한 호우특보 기준을 적용하게 되면 행정력 과다소비

우려와 국가예산의 효율적 집행을 방해하는 요인으로 작용하므로 지역별 차등화 방안을 제시하였다.

H-INDEX의 위험도 등급으로써 인구 당 침수 피해 규모를 다음의 3단계로 나눴고(< 2 : Low-class, 2~4 Normal-class, 4 > High-class), H-Index가 높아질수록 지역의 방재역량이 낮고, 침수피해가 상대적으로 위험한 지역으로 분류하였다. AMC 선행강수에 따른 토양함수조건으로써 AMC가 클수록 선행강수가 많다는 의미로 토사 재해가 발생할 가능성이 높음을 의미한다. 즉, H-Index가 높고 AMV가 클수록 방재역량이 열악해 재해에 취약하다는 의미로써, 호우특보 기준을 하향하여 발표하는 것이 필요하다고 주장하였다. 이에 따라 지역별로 각기 다른 방재특성 및 강수량 변화에 따라 차별화된 호우특보 발표기준을 제시하였다(그림 2.1.1.5).

Advisory				Warning			
70mm/6hr or more				110mm/6hr or more			
AMC* / H-I	I	II	III	AMC* / H-I	I	II	III
L	>90mm	>90mm	>57mm	L	>129mm	>129mm	>85mm
M	>70mm	>70mm	>44mm	M	>110mm	>110mm	>72mm
H	>50mm	>50mm	>31mm	H	>91mm	>91mm	>60mm

그림 2.1.1.5 방재특성 및 강수량 변화에 따른 호우특보 차등화 기준

- 지역별 기상특보 발표기준 설정에 관한 정책연구(기상청, 2008)

2008년도에 기상청에서는 재해피해가 발생했을 때 기상요소의 지역별 분포 특성, 재해 피해액과 기상특보 요소의 강도간의 연관성 분석, 지역별 기상특보 요소의 발생빈도, 극값분석을 통한 재현주기 분석 등을 수행하였다. 기상특보에 대한 재해피해민감도 지수(DDS Index)를 제안하여 각 지역별로 기상특보에 대한 재해민감도를 조사하였으며, 기상특보의 새로운 발표 기준값은 지역별 기상특보 변수의 발생빈도를 고려한 방법과 재해피해액을 고려한 방법에 각각 0.5의 가중치를 주어 결정하였다. 재해피해액과 기상특보 요소의 강도간의 연관성, 극값의 재현주기, 새로운 기상특보 발표 기준값을 종합적으로 분석한 결과로써 기상특보 발표 기준값 설정을 위한 기초자료뿐만 아니라 재해관련 정책수립에 활용 할 수 있도록 제시하였다. 재해피해민감도는 다음의 식으로 계산된다.

$$재해피해민감도(DDS) = \frac{재해피해액의평균값}{기상특보의평균값}$$

그림 2.1.1.6은 호우에 의한 재해피해민감도(DDS)의 지역별 분포를 나타낸 그림이다. 재해민감도의 단위는 각각 백만 원/(1mm/12h), 백만 원/(1mm/6h), 백만 원/(1mm/3h) 이다. ▲, ◆, ■는 각각 일반(주의보 기준에 미치지 못하지만 피해가 발생한 경우), 주의보, 경보에 해당하고 (a)는 12시간 강수량, (b)는 6시간 강수량, (c)는 3시간 강수량이다.

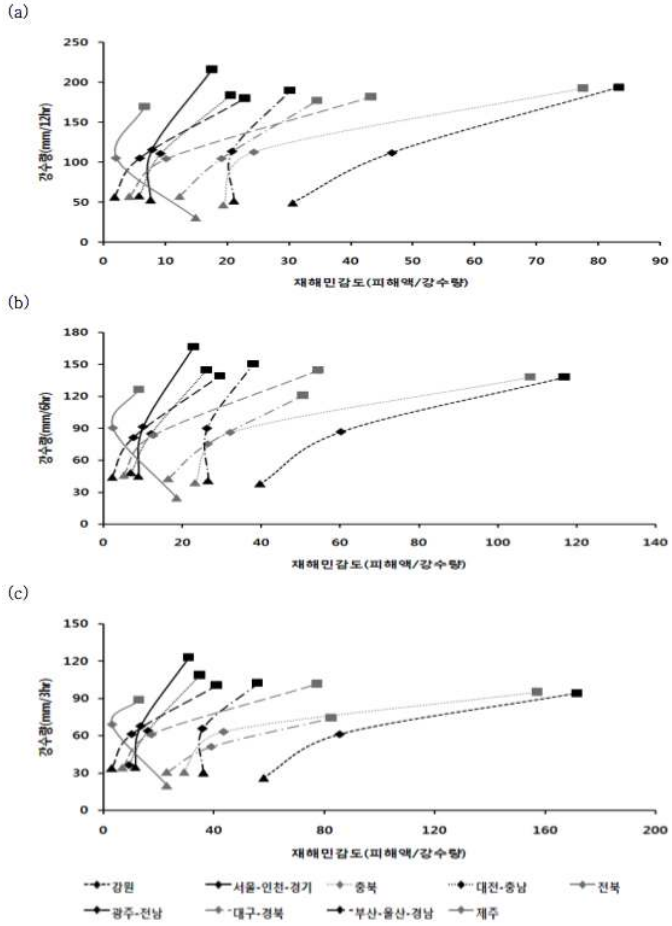


그림 2.1.1.6 호우에 의한 재해피해민감도(DDS)의
지역별 분포

새로운 기상특보 발표 기준값은 다음의 식으로 구해지며 이렇게 설정된 지역별 발표 기준값은 표 2.1.1.19에 설명되어 있다.

새로운 기상특보 발표 기준값 = 0.5 X [발생빈도를 고려한 방안]
+ 0.5 X [재해피해액을 고려한 방안]

표 2.1.1.19 지역별 호우특보 발표 기준값

호우특보		서울 인천 경기	대전 충남	충북	전북	광주 전남	부산 울산 경남	대구 경북	제주	강원
mm/3h	주의보	24.9	25.7	24.5	24.2	24.5	23.4	21.9	17.5	19.2
	경보	50.6	47.5	47.4	46.0	47.3	49.7	38.1	50.6	43.7
mm/12h	주의보	59.3	61.9	53.3	59.2	59.8	60.0	55.3	49.9	54.0
	경보	124.0	115.9	111.8	104.6	108.4	115.1	97.0	117.7	111.2

○ 호우특보 정확도 및 선행시간에 대한 분석

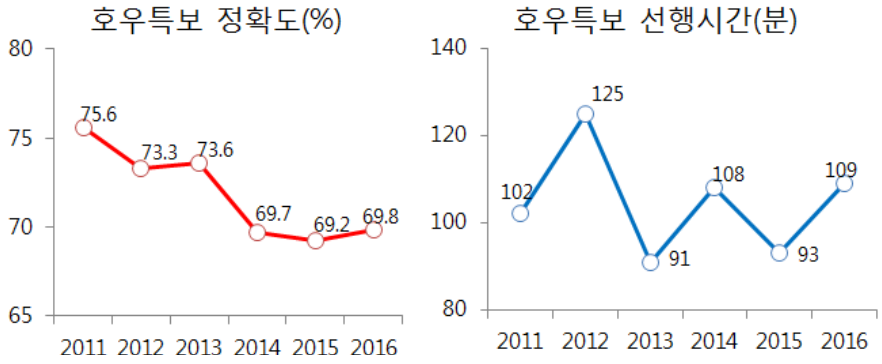


그림 2.1.1.7 호우특보 정확도 및 선행시간

그림 2.1.1.7은 호우특보 정확도 및 선행시간에 대한 그림이다. 호우특보 정확도 및 선행시간에 대한 식은 다음과 같다.

* 특보 정확도 : (특보 기준 도달횟수/특보발효횟수)*100
* 특보 선행시간 : 특보 기준 도달시각 – 특보발표시각

현재의 호우특보의 정확도는 대략 70% 전후이고, 선행시간은 100분 전후이다. 선행시간의 경우 연도 별 편차가 크지만 뚜렷한 경향성을 보이지 않으나, 호우특보 정확도의 경우 2011년 개정 이후 점차 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이미 선행연구에서도 기준에 대한 재고가 3~5년 주기로 이루어져야 함을 주장하였고, 매년 감소하고 있는 호우특보 정확도는 지금의 호우특보 기준에 대한 재고를 뒷받침 해주는 근거

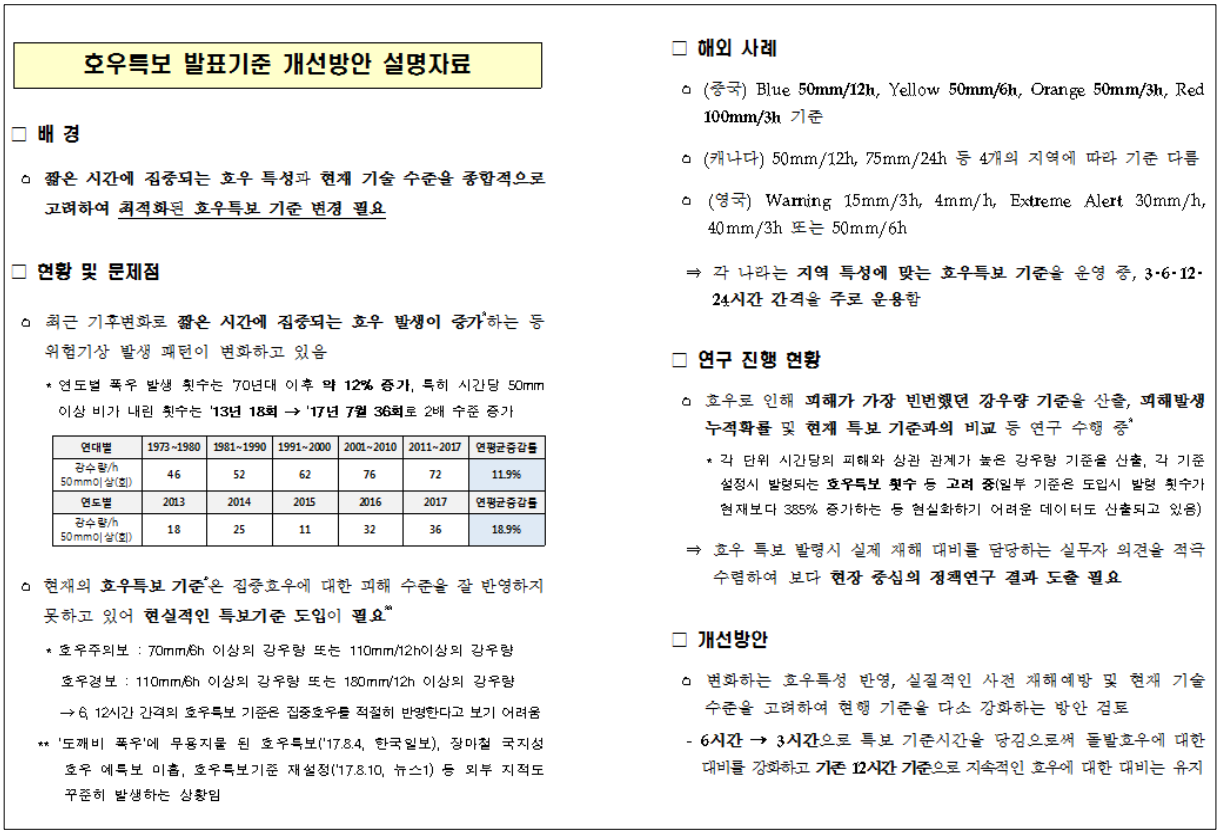
가 된다. 선행시간 역시 100분 전후의 값으로, 현행의 6시간 누적강수 기준으로 볼 때 실황에 의존하여, 강우가 발생하고서야 특보가 발효되고 있음을 의미하여 실효성 있는 방재를 위해서는 보다 긴 시간의 선행시간 확보가 요구된다. 실제로 최근 강수가 짧은 시간에 집중되는 “국지성 호우” 특성을 보이면서, 기습적이고 피해가 큰 강수임에도 불구하고 비가 내리기 시작한 이후에 특보를 발표하는 사례가 늘어나고 있으며, 특보 발표시간과 실제 비가 내리는 시간이 맞지 않거나, 비보다 특보가 늦는 경우에 대한 문제가 이슈화 되고 있다. 다음 항에서는 실제로 방재업무를 담당하고 있는 방재유관기관의 의견수렴을 통해 새로운 호우특보기준(안)을 위해 요구되는 사항들을 조사하였다.

제2항 호우특보 기준 및 현행 호우특보 기준 문제점에 대한 방재유관기관(지자체 등)의 의견수렴

의견수렴을 위한 설문조사 대상을 특정하고 의견수렴 전 설문조사를 실시하였다. 설문 내용은 대면면담을 위한 기본 정보와 질의 내용으로 구성되었고, 안전실의 방재 담당관 등을 대상으로 설문조사 및 의견수렴을 진행하였다.

○ 사전 설문지 배포

방재유관기관 담당자에게 대면면담을 위한 설명 자료와 설문지를 사전 배포하여 현재의 호우특보 기준값에 대한 의견과 문제점, 호우특보 발표기준 개선안에 대한 의견을 수집하였다.



호우특보 발표기준 개선방안 설명자료

□ **배 경**

ㅇ **짧은 시간에 집중되는 호우 특성**과 **현재 기술 수준을 종합적으로 고려하여** **최적화된 호우특보 기준 변경 필요**

□ **현황 및 문제점**

ㅇ 최근 기후변화로 **짧은 시간에 집중되는 호우 발생이 증가***하는 등 위험기상 발생 패턴이 변화하고 있음

* 연도별 폭우 발생 횟수는 '70년대 이후 **약 12% 증가**, 특히 시간당 50mm 이상 비가 내린 횟수는 **'13년 18회 → '17년 7월 36회**로 2배 수준 증가

연대별	1973~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2017	연평균증감률
강수량/h 50mm이상(회)	46	52	62	76	72	11.9%
연도별	2013	2014	2015	2016	2017	연평균증감률
강수량/h 50mm이상(회)	18	25	11	32	36	18.9%

ㅇ 현재의 **호우특보 기준***은 집중호우에 대한 피해 수준을 잘 반영하지 못하고 있어 **현실적인 특보기준 도입이 필요****

* 호우주의보 : 70mm/6h 이상의 강우량 또는 110mm/12h이상의 강우량
호우경보 : 110mm/6h 이상의 강우량 또는 180mm/12h 이상의 강우량
→ 6, 12시간 간격의 호우특보 기준은 집중호우를 적절히 반영한다고 보기 어려움

** '도깨비 폭우'에 무용지물 된 호우특보('17.8.4, 한국일보), 장마철 국지성 호우 예특보 미흡, 호우특보기준 재설정('17.8.10, 뉴스1) 등 외부 지적도 꾸준히 발생하는 상황임

□ **해외 사례**

ㅇ (중국) Blue **50mm/12h**, Yellow **50mm/6h**, Orange **50mm/3h**, Red **100mm/3h** 기준

ㅇ (캐나다) 50mm/12h, 75mm/24h 등 4개의 지역에 따라 기준 다름

ㅇ (영국) Warning 15mm/3h, 4mm/h, Extreme Alert 30mm/h, 40mm/3h 또는 50mm/6h

⇒ 각 나라는 **지역 특성에 맞는 호우특보 기준**을 운영 중, **3·6·12·24시간 간격**을 **주로 운용**함

□ **연구 진행 현황**

ㅇ 호우로 인해 **피해가 가장 빈번했던 강우량 기준**을 산출, **피해발생 누적확률** 및 **현재 특보 기준과의 비교** 등 연구 수행 중*

* 각 단위 시간당의 피해와 상관 관계가 높은 강우량 기준을 산출, 각 기준 설정시 발령되는 **호우특보 횟수** 등 **고려 중**(일부 기준은 도입시 발령 횟수가 현재보다 385% 증가하는 등 현실화하기 어려운 데이터도 산출되고 있음)

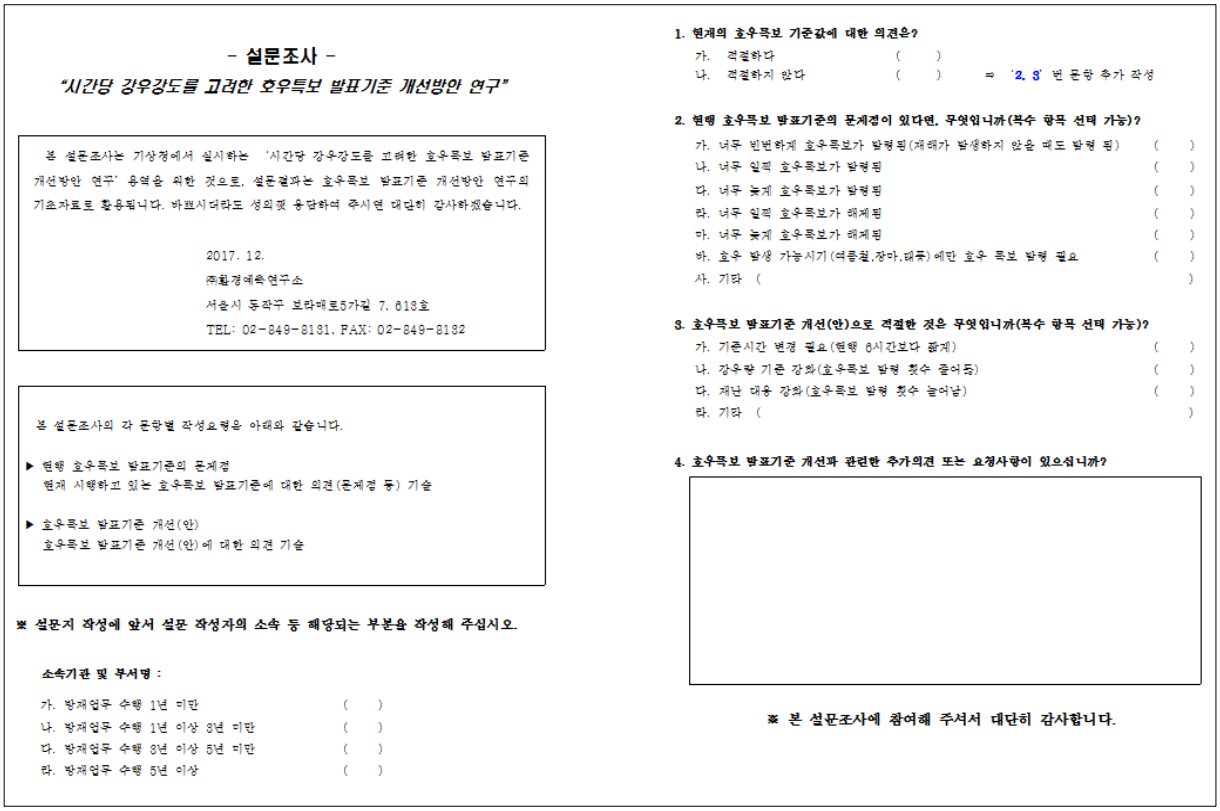
⇒ 호우 특보 발령시 실제 재해 대비를 담당하는 실무자 의견을 적극 수렴하여 보다 **현장 중심의 정책연구 결과 도출 필요**

□ **개선방안**

ㅇ 변화하는 호우특성 반영, 실질적인 사전 재해예방 및 현재 기술 수준을 고려하여 현행 기준을 다소 강화하는 방안 검토

- **6시간 → 3시간**으로 특보 기준시간을 당김으로써 돌발호우에 대한 대비를 강화하고 **기존 12시간 기준**으로 지속적인 호우에 대한 대비는 유지

그림 2.1.2.1 호우특보 발표기준 개선방안 사전 설명 자료



- 설문조사 -

"시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구"

본 설문조사는 기상청에서 실시하는 '시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구' 용역을 위한 것으로, 설문결과는 호우특보 발표기준 개선방안 연구의 기초자료로 활용됩니다. 바쁘시더라도 성의껏 응답하여 주시면 대단히 감사하겠습니다.

2017. 12.

㈜환경예측연구소

서울시 동작구 보라매로5가길 7, 613호

TEL: 02-849-8181, FAX: 02-849-8182

본 설문조사의 각 문항별 작성요령은 아래와 같습니다.

▶ 현행 호우특보 발표기준의 문제점
현재 시행하고 있는 호우특보 발표기준에 대한 의견(문제점 등) 기술

▶ 호우특보 발표기준 개선(안)
호우특보 발표기준 개선(안)에 대한 의견 기술

※ 설문지 작성에 앞서 설문 작성자의 소속 등 해당되는 부분을 작성해 주십시오.

소속기관 및 부서명 :

가. 방재업무 수행 1년 미만 ( )
나. 방재업무 수행 1년 이상 3년 미만 ( )
다. 방재업무 수행 3년 이상 5년 미만 ( )
라. 방재업무 수행 5년 이상 ( )

1. 현재의 호우특보 기준값에 대한 의견은?

가. 적절하다 ( )
나. 적절하지 않다 ( ) ⇒ '2, 3' 번 문항 추가 작성

2. 현행 호우특보 발표기준의 문제점이 있다면, 무엇입니까(복수 항목 선택 가능)?

가. 너무 빈번하게 호우특보가 발령됨(재해가 발생하지 않을 때도 발령 됨) ( )
나. 너무 일찍 호우특보가 발령됨 ( )
다. 너무 늦게 호우특보가 발령됨 ( )
라. 너무 일찍 호우특보가 해제됨 ( )
마. 너무 늦게 호우특보가 해제됨 ( )
바. 호우 발생 가능시기(여름철,장마,태풍)에만 호우 특보 발령 필요 ( )
사. 기타 ( )

3. 호우특보 발표기준 개선(안)으로 적절한 것은 무엇입니까(복수 항목 선택 가능)?

가. 기준시간 변경 필요(현행 6시간보다 짧게) ( )
나. 강우량 기준 강화(호우특보 발령 횟수 줄어듦) ( )
다. 재난 대응 강화(호우특보 발령 횟수 늘어남) ( )
라. 기타 ( )

4. 호우특보 발표기준 개선과 관련한 추가의견 또는 요청사항이 있으십니까?

※ 본 설문조사에 참여해 주셔서 대단히 감사합니다.

그림 2.1.2.2 설문지

○ 대면면담 결과

설문 및 대면면담 참여기관 및 인원은 표 2.1.2.1과 같다.

표 2.1.2.1 설문 및 대면면담 기관 및 인원

	기관명	날짜	인원(명)
설문 및 대면면담 참여기관 및 인원	서울시 하천관리과	2017. 12. 01.	4
	강서구청 물관리과	2017. 12. 01.	2
	종로구청 안전치수과	2017. 12. 01.	3
	경기도청 재난안전본부	2017. 12. 04.	2
	인천시청 재난예방과	2017. 12. 07.	2
	국립공원관리공단 방재관리부	2017. 12. 07.	1
	한국도로공사 재난안전처	2017. 12. 08.	2
	한국수자원공사 한강본부	2017. 12. 11.	2
	한강홍수통제소 예보통제과	2017. 12. 13.	12
	총 인원		29

• 설문 결과

방재유관기관 설문조사 결과, 그림 2.1.2.3은 설문 참여 인원에 대한 방재 업무 근무 기간에 대한 설문 결과로써, 설문 참여 총 인원 29명 중 방재업무 근무 기간 1년 미만은 7%(2명), 1~3년은 17%(5명), 3~5년은 14%(4명), 5년 이상은 62%(18명)으로 3년 이상의 경험을 축적한 인원이 75% 이상을 차지하였다. 그림 2.1.2.4는 호우특보 기준값 개선에 대한 설문 결과로써, 호우특보 기준값 개선의 필요성에 대한 질문에 29명 중 93%(27명)가 개선되어야 한다고 답변하여, 방재업무를 수행하는 인원들은 대체적으로 호우특보 기준 개선에 공감하였다. 그림 2.1.2.5는 호우특보 개선 방향에 대한 설문 결과로써, 호우특보 개선이 필요하다고 답한 인원이 복수 응답한 호우특보 개선 방향에 대한 조사 결과는 기준시간 변경(단축)이 필요하다고 답한 인원이 47%로, 국지성 호우에 대처할 수 있도록 기준시간을 현재보다 짧게 단축하는 것이 가장 적절하다고 답변하였으며, 이외에도 강우량 기준 강화(호우특보 발령횟수 감소) 39%, 재난대응 강화(호우특보 발령횟수 증가) 14%로 답변하였다.

- 면담 의견

방재유관기관의 면담 의견은 대체로 현재의 호우특보 기준값으로는 국지성 호우에 대비하기 어렵기 때문에 호우특보 기준값의 개선이 필요하다는 호우특보 정확성에 대한 의견이 주를 이루었다. 실제 국지성 호우가 빈발하는 현재의 호우특성을 반영하는(재난을 대비하는) 기준값(기준시간 단축) 선정이 시급하며, 기준값 변경을 함으로써 호우특보 정확도를 높이는 것이 필요하다는 의견이 주를 이루었다. 기준값 선정의 방향으로는 현재의 호우특보 기준시간을 국지성 호우를 대비할 수 있도록 단축(6시간 이하) 해야 한다는 의견이 주를 이루었다. 기타의견으로는 호우특보에 대한 예보관 평가 기준을 완화 또는 예보관 평가를 없애서 예보관이 소신을 가지고 호우특보를 발령 할 수 있도록 해야 한다는 의견도 있었다.

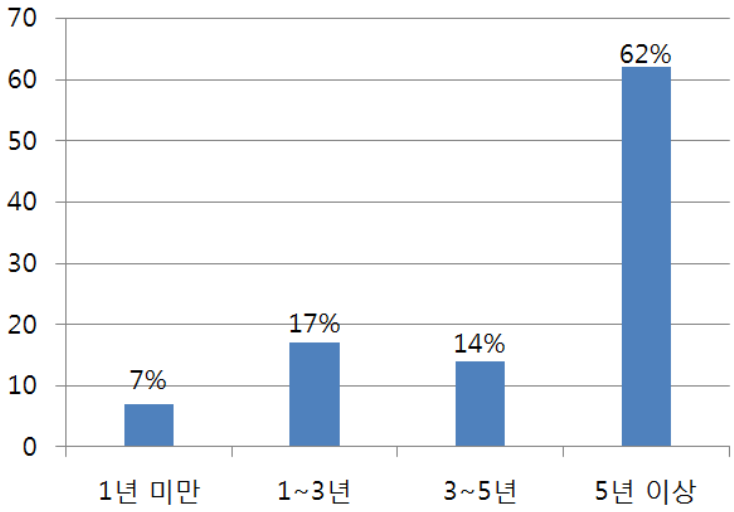


그림 2.1.2.3 방재유관기관 설문 조사 결과 (방재 업무 근무 기간)

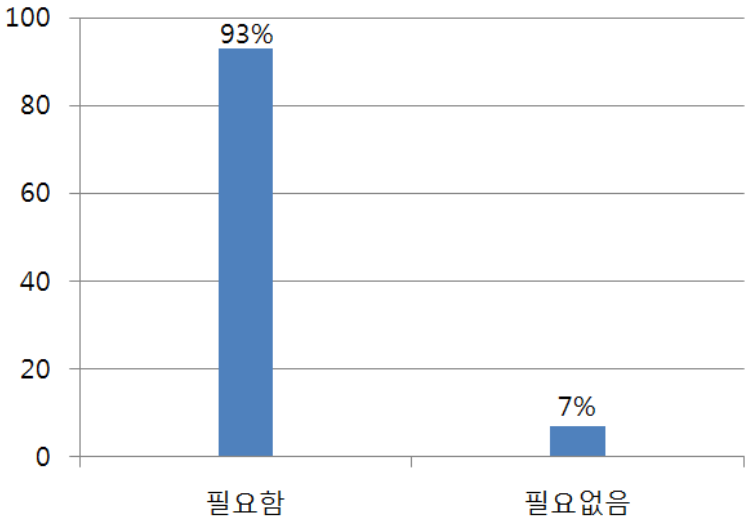


그림 2.1.2.4 방재유관기관 설문 조사 결과 (호우특보 기준 값 개선)

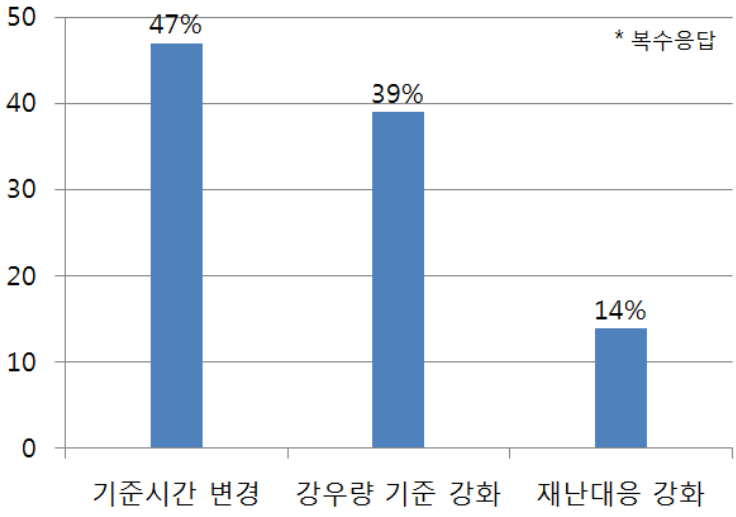


그림 2.1.2.5 방재유관기관 설문 조사 결과 (호우 특보 개선 방향)

제2절 새로운 호우특보 강우량 도입 방안

사회적인 요구와 변화하는 자연적, 인위적 요인들을 고려한 새로운 호우특보 강우량 도입 방안을 제시하기 위하여 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구와 호우특보 발표기준의 근거 및 방안 마련 연구를 실시하였다. 이를 바탕으로 현재의 기상청 기술력과 실효성을 고려한 새로운 호우특보 기준을 제시하였다. 새로운 호우특보 강우량 도입을 위한 연구는 그림 2.2.1.1과 같은 과정으로 진행되었다.

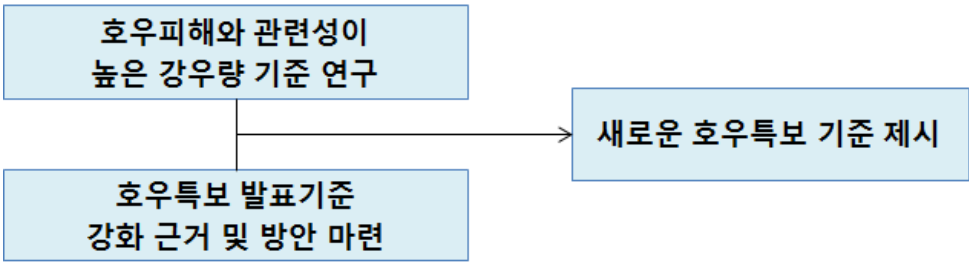


그림 2.2.1.1 새로운 호우특보 강우량 도입방안을 위한 과정

제1항 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 도입 방안

호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 도입 방안을 마련하기 위하여 강우량 및 호우피해 자료를 수집하고 호우피해사례를 선정한 뒤, 호우피해와 관련된 강우량 자료를 생산하였다. 이 후 호우피해와 강우강도의 연계성 분석을 위해 호우피해사례의 강우강도 분석을 수행하였고 분석결과를 바탕으로 호우피해와 관련성이 높은 최적의 강우량 기준을 선정하였다(그림 2.2.1.2)

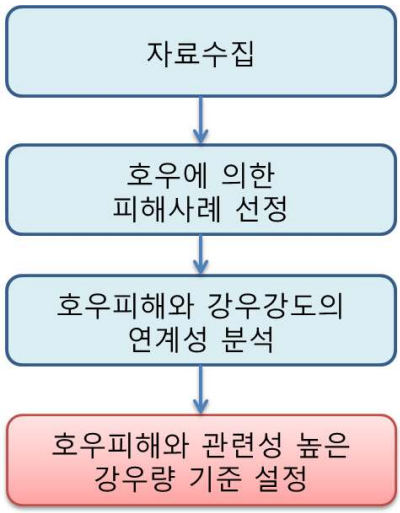


그림 2.2.1.2 개발흐름도

○ 자료수집

정용승과 봉종현(1993)은 강우량 기준치에 대해 3~5년 주기의 재고를 주장하였고, 김연희 등(2011)은 2005년부터 2009년까지의 5년간의 자료를 이용하여 호우특보 기준 개선 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 2011년 개정 이후 변화한 강우량과 호우피해 간 상관관계를 조사하기 위해 강우 관측, 호우피해 자료를 수집하였다.

- 기상청 자동기상관측장비(AWS)

현행 호우특보 기준이 개정된 2011년 6월 이후인 2012년부터 2016년까지의 5년간 기상청 자동기상관측장비(AWS)의 1, 12시간 누적강우량의 분자료를 사용하였다.

- 호우피해 자료

2012년부터 2016년까지 5년간의 소방방재청 중앙재난안전 대책본부에서 해마다 발행하는 재해연보의 피해 자료(표2.7 기간별 시군구별)를 이용하였다. 또한 기상청 영향예보팀이 생산한 최근 5년 동안의 호우피해 발생일과 발생장소 등이 기록된 호우피해 자료(이하, 기상영향자료) 또한 입수하였다. 기상영향자료는 자료 출처가 대부분 인터넷과 신문기사로 피해발생 일시와 장소, 정성적 피해 정보가 비교적 상세하게 나와 있다. 뿐만 아니라 기상영향자료는 피해 발생장소에 대한 AWS 지점 정보를 포함하고 있다.

○ 호우에 의한 피해사례 선정

호우피해사례를 선정하기 위해 2012년부터 2016년 재해연보에 작성된 사례를 정리하였다. 김연희 등(2011)은 강우량과 피해액과의 직접적인 상관관계를 찾기 어려워 명확한 호우피해사례를 선정하기 위해서 피해액이 백만 원 이상인 피해사례만을 대상으로 강우량과 호우피해의 상관성을 분석하였다. 본 연구에서도 이와 동일하게 총 피해액이 백만 원 이상인 사례를 호우에 의한 피해사례로 선정하였다.

피해지역의 강우 자료 생산을 위해 기상영향자료의 AWS 정보를 이용하여 호우피해 지역(시군구)의 대표 AWS 지점을 선정하였으며, 기상영향자료에 AWS 지점이 없을 경우에는 대표 지점을 선정하였다.

호우피해사례별 1, 3, 6, 12시간 최대이동누적강우량을 생산하여 호우피해와 강우강도의 연관성을 분석하는 데에 사용하였다. 김연희 등(2011)에서는 최대이동우적강우량이 피해를 유발했다는 가정을 따라 강우강도에 따른 피해 발생빈도를 분석하였다.

○ 최빈 피해발생 강우강도 분석

- 재해연보 호우피해사례

분석 기간 중 발생한 호우피해 사례수는 총 615개이며, 호우피해사례별 기준시간 1, 3, 6, 12시간에 대한 최대이동누적강우량의 빈도를 산출하였다(그림 2.2.1.3). 그 결과 최빈값을 보이는 강우강도는 기준시간별로 30mm/h, 60mm/3h, 70mm/6h, 100mm/12h으로 나타났다.

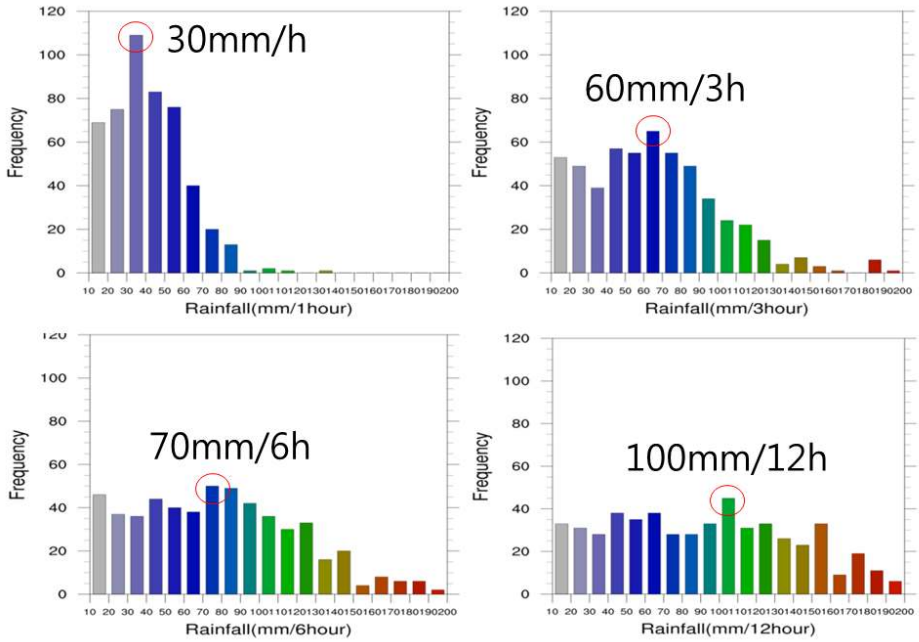


그림 2.2.1.3 기준시간별 강우강도(재해연보)

- 기상영향자료 호우피해사례

기상영향자료를 기반으로 선정된 호우로 인한 피해 사례수는 총 447개이며, 호우피해 발생 최빈값을 보이는 강우강도는 기준시간별 30mm/h, 40mm/3h, 70mm/6h, 70mm/12h으로 나타났다(그림 2.2.1.4).

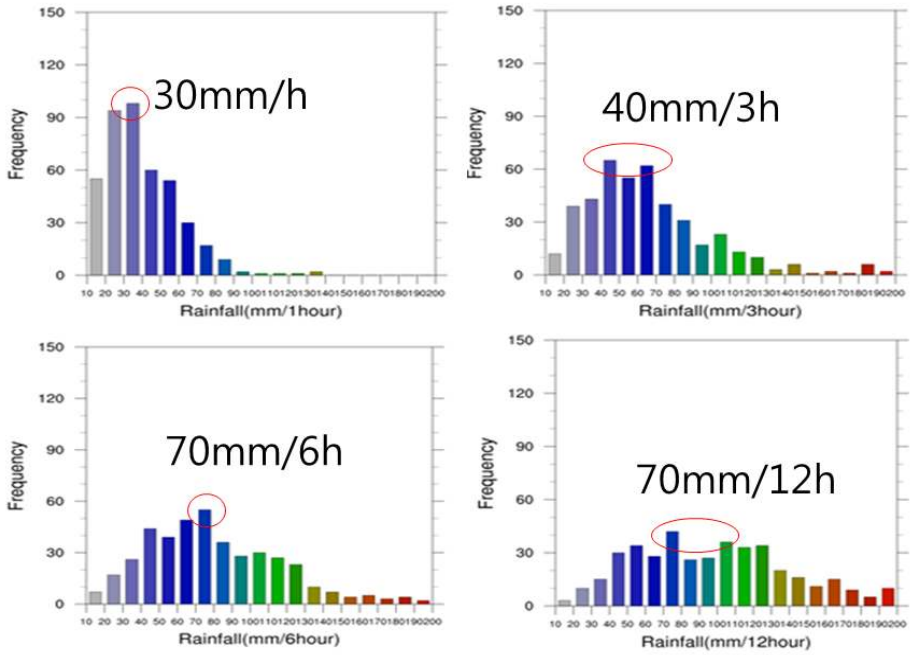


그림 2.2.1.4 기준시간별 강우강도(기상영향자료)

○ 호우피해 발생 누적확률별 강우강도

- 재해연보 호우피해사례

강우강도에 따라 누적확률을 산출하여 호우피해 발생 누적확률별 강우강도를 산출하였다. 호우피해 발생확률이 50% 이상일 때 즉, 호우로 인한 피해를 발생할 가능성이 절반정도일 때의 강우강도는 각 기준시간당 30mm/h, 40mm/3h, 70mm/6h, 90mm/12h이고 호우피해 발생확률이 80% 이상일 때 즉, 호우로 인한 피해발생 가능성이 매우 높다고 할 수 있는 강우강도는 각 기준시간당 50mm/h, 90mm/3h, 110mm/6h, 150mm/12h로 나타났다(표 2.2.1.1).

표 2.2.1.1 호우피해사례 피해발생 누적확률(재해연보)

피해발생 누적확률	1h	3h	6h	12h
25%	10	20	30	40
50%	**30**	**40**	**70**	**90**
60%	30	60	80	100
70%	40	70	90	120
75%	50	80	100	130
80%	**50**	**90**	**110**	**150**
90%	60	110	140	180
95%	70	120	170	220

- 기상영향자료 호우피해사례

호우피해 발생확률이 50% 이상일 때의 강우강도는 기준시간 별로 30mm/h, 50mm/3h, 70mm/6h, 90mm/12h 로 나타났고 호우피해 발생확률이 80% 이상일 때의 강우강도는 50mm/h, 80mm/3h, 110mm/6h, 140mm/12h로 나타났다(표 2.2.1.2).

표 2.2.1.2 호우피해사례 피해발생 누적확률(기상영향자료)

피해발생 누적확률	1h	3h	6h	12h
25%	20	30	40	50
50%	**30**	**50**	**70**	**90**
60%	30	60	80	110
70%	40	70	90	120
75%	50	80	110	130
80%	**50**	**80**	**110**	**140**
90%	60	100	130	170
95%	70	120	170	210

○ 재해연보와 기상영향자료에서의 결과 차이가 발생하는 원인

본 연구에서는 재해연보와 기상영향자료의 결과에서 차이가 발생하는 원인을 분석하여 최종적으로 재해연보를 사용하는 것으로 결정하였다. 차이가 발생하는 원인을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 피해규모의 정량적 산출의 어려움

재해연보자료의 경우 피해액이 백만 원 이상인 기준으로 사례를 선정하였으나, 기상영향자료의 경우 피해액을 정량적으로 산출할 수 없기 때문에 자료에 있는 모든 사례를 분석에 사용하였다(그림 2.2.1.5). 언론보도의 특성상 많은 비가 내렸을 때 혹은 큰 피해가 발생하였을 때 보도가 될 것으로 추정되지만, 비가 많이 내렸을 때 항상 큰 피해가 발생하는 것은 아니며, 반대로 큰 피해가 발생하였다 하더라도 항상 많은 비가 내렸다고 단정 지을 수 없다.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	피해발생일시	AWS지점	지점명	물리적 피해규모	비물리적피해규모	물리적피해	비물리적피해	비고
2	20120706	226	보은			가로수_나무 넘어짐,창고 손상		
3	20120705	624	상당			도로시설물 손상		
4	20120711	289	신창			주거시설침수		
5	20120711	940	동래	2명고립	2명고립	도로침수, 수리시설 범람	도로통제 및 사람고립	
6	20120711	940	동래		한때 통제		도로통제	
7	20120714	950	사하					피해신고와 지원 요청 접
8	20120713	279	구미	도로와 공장 등 10여 곳 침수		공장 침수,도로 침수		
9	20120714	710	나주			상가침수		
10	20120715	788	풍암	주택2채		주거시설침수	도로유실	
11	20120715	536	횡성		3명고립			
12	20120817	98	동두천	지하차도에 물이 차 통제됨	지하차도에 물이	도로 침수	도로 통제	
13	20120815	416	은평			도로침수, 수리시설 범람		
14	20120820	101	춘천	2~3T 가량 낙석		낙석		
15	20120820	649	부평			도로침수		
16	20120821	101	춘천	1개 차선 15M 도로유실		도로 유실		
17	20120822	531	가평			산사면_절개지 붕괴,토사 유출		
18	20130704	156	광주	1m 높이 축대		옹벽_축대 붕괴, 제방시설 범람		
19	20130705	156	광주					

그림 2.2.1.5 기상영향자료의 비정량적인 피해규모 예시

- 선정된 피해사례의 한계

재해연보자료에서 선정된 피해사례 수는 615개이지만, 기상영향자료에서 선정된 사례는 중복된 사례를 제외하고 총 447개이며, 호우피해사례의 출처는 대부분 인터넷 및 신문기사이기 때문에 2012년부터 2016년까지의 모든 피해사례가 기록되었다고 볼 수 없다.

- 선정된 피해사례의 차이

재해연보자료의 3시간당 최빈 강우강도는 60mm이고, 기상영향자료는 40mm로 나타났다. 기상영향자료의 두 번째로 큰 빈도수를 나타내는 강우강도는 60mm로 나타났으며, 40mm의 발생빈도와 4회 정도 차이가 나타났다. 이에 대한 사례 비교를 한 결과 40~50mm에 해당하는 재해연보의 사례와 기상영향자료의 사례가 매우 다르다는 것을 확인하였으며, 60~70mm에 해당하는 재해연보 사례와 기상영향자료 사례를 비교한 결과 40~50mm의 사례보다 두 경우가 일치하는 사례가 많은 것을 확인하였다(표 2.2.1.3). 따라서 두 결과의 차이가 발생하는 것은 두 자료의 공통적 사례를 제외한 나머지 사례가 40~50mm 구간에서는 기상영향자료의 사례가 더 많았으며, 60~70mm 구간에서는 재해연보 DB가 더 많기 때문에 발생하는 것으로 볼 수 있다. 표 2.2.1.3에서의 볼드체는 재해연보와 기상영향자료에 중복되는 사례를 나타낸다.

표 2.2.1.3 재해연보자료와 기상영향자료의 호우피해사례 비교

<최빈 호우강도 40~50mm 해당 사례>

기상영향자료		재해연보	
발생일시	AWS	발생일시	AWS
20120707	226	20120630	590
20120708	624	20120706	551
20120713	289	20120706	675
20120713	940	20120713	415
20120713	940	20120713	410
20120713	950	20120713	400
20120715	279	20120713	437
20120716	710	20120715	854
20120717	536	20120813	551
20120717	788	20120815	628
20120817	98	20120816	504
20120817	416	20120816	602
20120822	101	**20130705**	**156**
20120822	649	20130705	569
20120823	101	20130705	703
20120824	531	20130708	540
20130705	**156**	20130715	201
20130707	281	20130715	572
20130707	156	20130715	549

<최빈 호우강도 60~70mm 해당 사례>

기상영향자료		재해연보	
발생일시	AWS	발생일시	AWS
20120423	189	20120706	540
20120707	638	**20120706**	**569**
20120707	131	20120706	541
20120708	115	20120706	548
20120708	**569**	20120713	423
20120708	127	20120715	923
20120708	221	**20120715**	**708**
20120708	610	20120715	119
20120713	941	**20120815**	**112**
20120715	408	20120815	129
20120717	247	**20120816**	**119**
20120717	156	**20120823**	**119**
20120717	**708**	20120823	572
20120717	923	20120823	202
20120817	**119**	20120823	129
20120817	**112**	**20120823**	**627**
20120817	**112**	**20130705**	**247**
20120817	**112**	20130715	649
20120822	**119**	20130715	532

20130707	157	20130715	99
20130707	828	20130715	546
20130710	540	20130715	876
20130715	555	20130715	555
20130720	101	20130717	549
20130723	121	20130723	511
20130724	550	20130723	99
20130724	545	20130723	110
20130724	510	20130723	504
20130808	437	20130723	121
20130808	400	20130806	551
20130812	587	20130810	119
20130826	245	20130913	590
20130916	888	20140622	421
20140719	174	20140719	174
20140720	174	20140821	159
20140720	174	20140821	854
20140726	414	20140821	703
20140727	414	20140824	938
20140812	411	20140825	938
20140825	192	20140825	266
20140825	938	20140825	699
20140905	901	20140825	288
20140905	941	20140825	295
20140905	942	20140825	649
20150725	921	20140825	119
20150727	232	20140825	551
20150728	108	20140825	98
20150731	432	20140825	456
20150810	156	20160505	192
20150810	156	20160707	201
20160703	730	20160707	643
20160703	151	20160707	371
20160703	940	20160707	216
20160704	168	20160707	121
20160918	155	20160707	526
20160919	768	20160707	232
20160919	935	20160707	271
20160919	155	20160729	649
20160919	941	20160917	138
20160919	941	20160917	138
20160919	940		
20160920	263		
20160920	288		
20161224	918		
20161224	940		

20120822	119	20130715	98
20120822	627	20130715	540
20120825	527	20130715	504
20121028	159	20130715	212
20121029	159	20130723	540
20130707	247	20130723	541
20130707	143	20130723	549
20130716	212	20130723	541
20130716	504	20130731	619
20130716	98	20130806	912
20130718	504	20130913	545
20130724	541	20130913	445
20130724	540	20140725	437
20130724	549	20140725	565
20130724	108	20140821	400
20130808	365	20140821	938
20130808	453	20140821	151
20130808	602	20140821	174
20130826	244	20140821	281
20140728	510	20140821	278
20140823	281	20140825	754
20140823	616	20150429	268
20140827	741	20150713	262
20140905	943	20150726	938
20150725	938	20150729	119
20150725	938	20150808	136
20150731	119	20160707	407
20150731	445	20160707	416
20150731	119	20160707	401
20150731	119	20160707	400
20150810	136	20160707	112
20160703	546	20160707	112
20160703	572	20160707	511
20160703	257	20160707	133
20160704	939	20160707	133
20160706	604	20160707	572
20160706	612	20160707	572
20160706	641	20160707	445
20160706	400	20160707	571
20160706	611	20160707	555
20160919	731	20160707	661
20160919	932	20160707	226
20161224	904	20160707	612
		20160707	136
		20160707	294
		20160904	138

○ 최근 5년의 호우특보 발효횟수와 강우빈도의 비교

표 2.2.1.4는 최근 5년 동안 호우특보 발효횟수를 나타내며, 표2.2.1.5는 행정구역 184개에 대한 강우빈도를 나타낸다. 강우빈도수는 강우이벤트 분리방법(M.A. Sharp, 2016)을 적용한 강우빈도를 의미한다. 강우이벤트 분리방법은 강우이벤트 사이에 기준시간이상 강우가 지속되지 않았을 경우 두 이벤트는 별도의 이벤트로 간주하고, 기준시간보다 짧은 시간동안 강우가 지속되지 않을 경우 두 이벤트는 하나의 이벤트로 간주하는 방법이다. 호우주의보 발효횟수는 강우빈도보다 많게 나타났으며 호우경보는 전체 발효횟수가 적었으나, 연도별로 봤을 때 2012년을 제외한 4개 연도에서 경보 발효횟수가 강우빈도보다 많았다. 결론적으로 호우특보 발효횟수가 강우빈도보다 많은 편임을 알 수 있었다.

표 2.2.1.4 최근 5년의 호우특보 발효횟수

연도	주의보	경보
2012	1105	222
2013	779	145
2014	741	188
2015	399	80
2016	777	170
합계	**3801**	**805**
강우대비(%)	122.46	96.99

표 2.2.1.5 최근 5년 강우빈도

연도	주의보			경보		
	70mm/6h	110mm/12h	합계	110mm/6h	180mm/12h	합계
2012	698	396	1094	225	104	359
2013	384	196	580	89	31	120
2014	328	182	510	93	38	131
2015	188	102	290	49	24	73
2016	390	240	630	100	47	147
합계	**1988**	**1116**	**3104**	**586**	**244**	**830**

○ 호우피해와 관련성 높은 강우량 기준 설정

최빈 피해발생 강우강도, 피해발생 누적확률별 강우강도 분석 결과를 바탕으로 호우피해와 관련성이 높은 강우량 주의보 및 경보 기준안을 설정하였다. 최빈 피해발생 강우강도와, 피해발생 누적확률 50%의 강우강도, 현행 주의보 강우량을 고려하여 강화된 주의보 기준안을, 피해발생 누적확률 80%의 강우강도, 현행 경보 강우량을 고려하여 강화된 경보 기준안을 설정하였고, 설정한 결과는 표 2.2.1.6-7과 같다. 이후 2장 2절 2항에서는 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준안에 대한 강우빈도, 피해비율 등의 분석을 통해 강화된 호우특보 기준 도입에 대한 근거를 마련하고 최종적으로 새로운 호우특보 기준을 제시하였다.

표 2.2.1.6 호우피해와 관련성이 높은 호우주의보 강우량 기준안(mm)

구분		1안	2안	3안	4안
주의보	3h	60	60	50	50
	12h	100	110	100	110

표 2.2.1.7 호우피해와 관련성이 높은 호우경보 강우량 기준안(mm)

구분		1안	2안
경보	3h	90	90
	12h	180	150

제2항 새로운 호우특보 기준과 그 근거

○ 일일 강우피해 자료 생산

강우별 강우일수 분석을 위해 일일 강우피해 자료를 생산하였다. 1단계로 전국 210개 구역의 대표 AWS 지점을 선정하였다. 시, 군, 구별 피해지역에 해당하는 기상관측지점을 기준으로 기상청 예보구역을 참고해 지점을 선정하였다. 2단계로 일일 최대 이동누적강우량 자료를 생산하였다. 기준시간 1, 3, 6, 12시간에 대하여 일 최대 이동누적강우량을 산출하였다. 강우의 연속성을 고려하여 모든 날 각 기준시간동안 1시간 간격으로 이동하여 최대누적강우량을 산출하였다. 3단계로 일일 호우피해 자료를 생산하였다. 단순피해, 재산피해가 있는 경우는 yes, 피해가 없는 경우는 no로 분류하였다. 강우로 인한 피해는 일별 각 기준시간동안 최대강우량에 의해 야기되었다고 가정하였다.

○ 정확도 지수 분석

일반적인 정확도 지수 계산식에 강우량을 forecast, 피해여부를 observation으로 설정하여 강우와 피해간의 상관도를 분석하였다. 정확도 분석에 사용된 식은 그림 2.2.2.1과 같으며, 정확도 지수에 사용되는 인자는 표 2.2.2.1과 같다.

$$CSI = \frac{hits}{hits + misses + false\,alarms}$$

$$POD = \frac{hits}{hits + misses}$$

$$FAR = \frac{false\,alarms}{hits + false\,alarms}$$

$$HIT\ RATE(HR) = \frac{hits + correct\,negatives}{total}$$

$$*total = hits + misses + false\,alarms + correct\,negatives$$

그림 2.2.2.1 정확도 지수

표 2.2.2.1 정확도 지수 분할표

		Forecast(precipitation)	
		Yes	No
Observation(damage DB)	Yes	hits	miss
	No	false alarms	correct negative

CSI 지수가 가장 높은 값을 나타내는 강우강도는 기준시간별로 30mm/h, 50mm/3h, 60mm/6h, 90mm/12h으로 나타났다(그림 2.2.2.2). CSI 지수가 최대인 강우강도가 호우피해가 가장 많이 발생하는 강우강도라 할 수 있지만, 이 강우강도가 모든 피해를 포함하는 것은 아니다. POD 지수는 피해가 발생했을 때, 기준별 강우가 발생하였을 확률로서 약한 강우 일수록 포함 범위가 확대되므로 높은 값을 보여준다. FAR 지수는 기준별 강우가 발생했을 때 피해가 발생하지 않을 확률로서 CSI가 최대인 강우기준에서도 놓치는 피해사례가 있음을 의미한다.

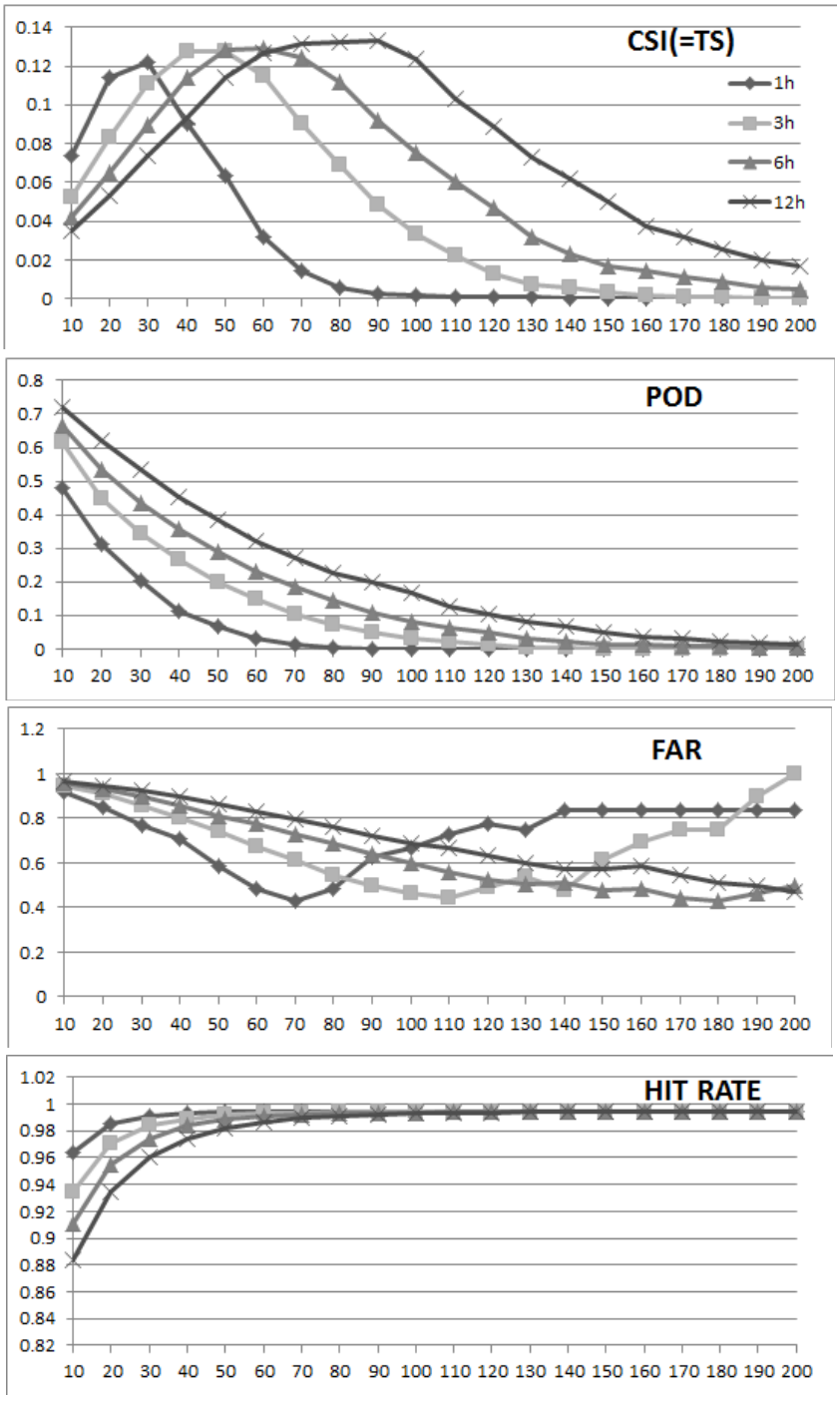


그림 2.2.2.2 기준시간별 정확도 지수

한편, 1시간, 3시간 강우의 FAR 지수가 강우강도에 따라 감소하다가 증가하는 것은 80mm/h, 120mm/3h 이상의 강우가 존재하였지만 호우피해가 발생하지는 않았기 때문이다(표 2.2.2.2-3).

표 2.2.2.2 강우등급별 hits 수

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1h	1084	709	458	260	158	74	33	14	6	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
3h	1385	1007	772	600	455	340	237	170	114	77	51	30	17	13	7	4	3	3	1	0

표 2.2.2.3 강우등급별 false alarms 수

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1h	12440	3970	1507	619	224	70	25	13	10	10	8	7	6	5	5	5	5	5	5	5
3h	24264	9873	4694	2467	1319	705	379	205	112	67	41	29	20	12	11	9	9	9	9	9

○ 기준시간별 시공간 평균 강우일수와 피해일수

2장 2절 1항에서 설정한 호우주의보 기준안 4개, 경보 기준안 2개의 강우일수와 피해일수 분석하였다. 일일 강우 피해 자료를 이용하여 각 지점에서 3시간과 12시간 일 최대강우강도 이상일 때의 조건을 만족하는 호우빈도와 피해빈도를 5년간 평균한 후 210개 지점에 대해 산술평균 하였다. 호우주의보 기준안의 3시간 기준 강우량의 강우빈도와 피해빈도를 살펴보면, 5년간 전국적으로 50mm/3h 이상인 강우빈도는 1.7회, 피해빈도는 0.4회이고 60mm/3h 이상인 강우빈도는 1.0회, 피해빈도는 0.3회로 나타났다(그림 2.2.2.3). 12시간 기준 강우량의 강우빈도와 피해빈도는 100mm/12h 이상인 강우빈도는 1.2회, 피해빈도는 0.36회로 나타났고, 110mm/3h 이상인 강우빈도는 0.83회, 피해빈도는 0.28회로 나타났다. 호우 경보 기준안의 3시간 기준 강우량의 강우빈도와 피해빈도를 살펴보면, 90mm/3h 이상인 강우빈도는 0.2회, 피해빈도는 0.1회로 나타났고 12시간 기준 강우량인 150mm/12h 이상인 강우빈도는 0.3회, 피해빈도는 0.1회로 나타났고, 180mm/12h 이상인 강우빈도는 0.1회, 피해빈도는 0.06회로 나타났다(그림 2.2.2.3).

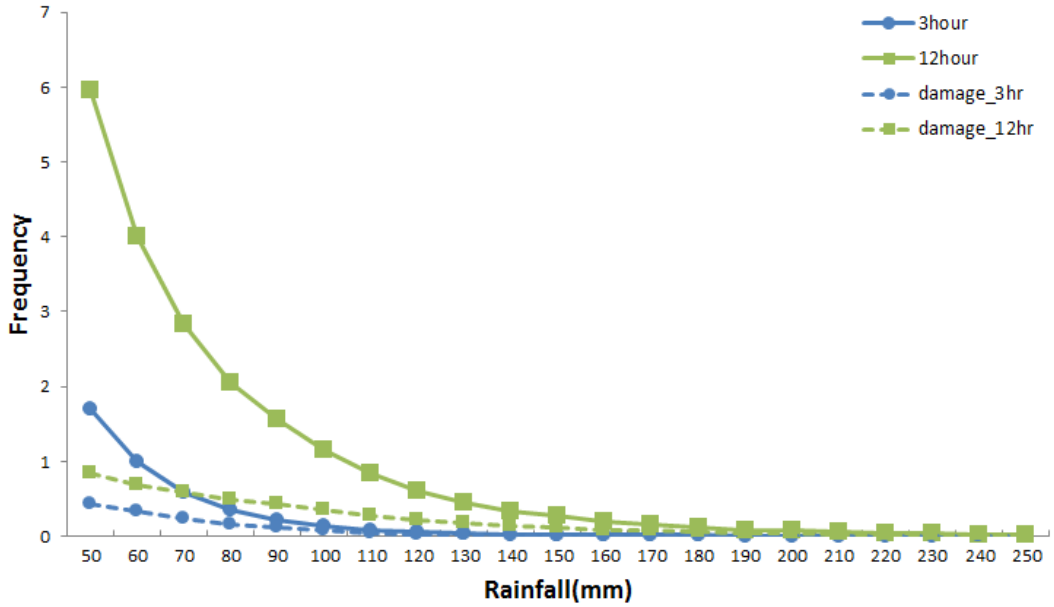


그림 2.2.2.3 연평균 강우일수와 피해일수(3, 12시간 기준)

○ 강우강도에 따른 피해빈도의 비율변화

그림 2.2.2.4와 5는 강우강도별로 해당하는 기준치 이상일 때의 강우빈도와 강우로 인한 피해빈도, 그리고 강우강도에 따른 피해빈도의 비율 변화를 나타낸다. 50mm/3h와 60mm/3h이상일 때 강우에 따른 피해비율은 각각 25.65%, 32.54%이고(그림 2.2.2.4), 100mm/12h와 110mm/12h이상일 때 강우에 따른 피해비율은 31.5%, 33.5%이다(그림 2.2.2.5).

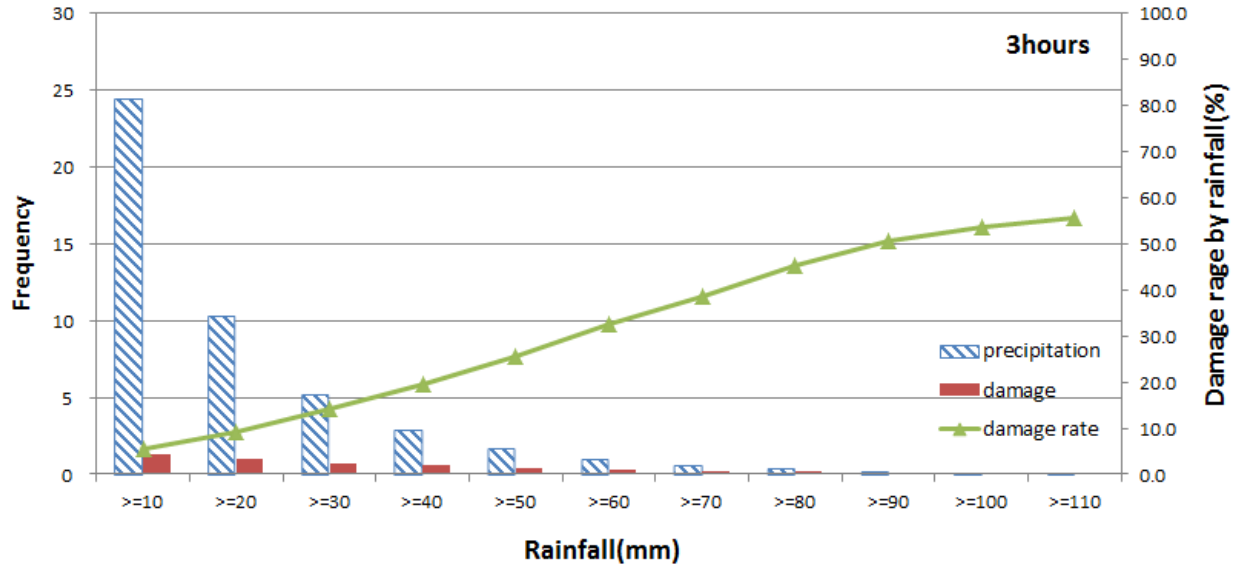


그림 2.2.2.4 연평균 강우일수, 피해일수, 피해발생비율(3시간 기준)

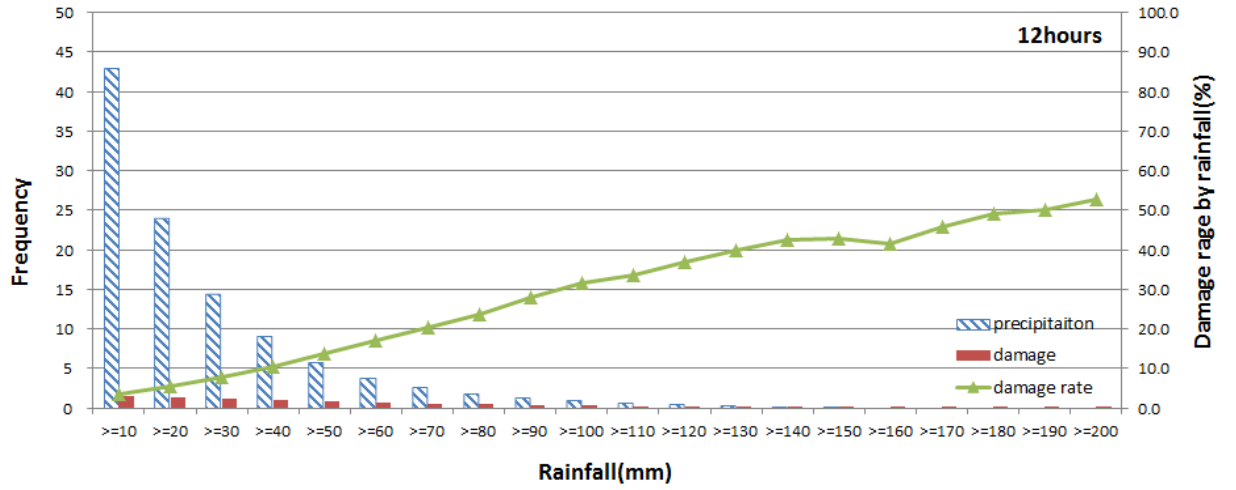


그림 2.2.2.5 연평균 강우일수, 피해일수, 피해발생비율(12시간 기준)

○ 지역별 강우빈도 및 호우로 인한 피해빈도 및 피해비율

표 2.2.2.4~7는 강우빈도와 호우로 인한 피해 발생빈도의 지역적 차이를 살펴보기 위해 호우특보 기준안의 기준 강우량인 50mm/3h, 60mm/3h과 100mm/12h, 110mm/12h의 이상일 때의 5년간 전 지점 평균한 강우빈도와 피해빈도를 주요 지역별로 나타냈으며, 그림 2.2.2.6은 기준 강우량 별 5년 평균된 강우일수의 분포도를 나타내었다.

50mm/3h 이상 강우가 가장 빈번하게 나타난 지점은 남해지점(3.8회)이고 피해발생이 가장 빈번하게 나타난 지점은 안산지점(2.4회)이였다. 시, 도 지역에서 강우빈도가 비교적 빈번했던 지역은 제주(2.8회), 부산(2.6회)으로 나타났고, 경북지역에서 0.78회로 50mm/3h 이상 강우가 가장 적게 나타났다. 강우에 따른 피해발생비율은 경기지역에서 52%로 가장 높았으며, 제주지역에서 0%로 가장 작게 나타났다.

60mm/3h 이상 강우가 가장 빈번하게 나타난 지점은 하동지점(2.8회)이고 피해발생이 가장 빈번하게 나타난 지점은 수원지점(1.8회)이였다. 시, 도 지역에서 강우빈도가 비교적 빈번했던 지역은 제주(2.4회), 부산(1.4회)으로 나타났고, 경북지역에서 0.41회로 가장 60mm/3h 이상 강우가 가장 적게 나타났다. 강우에 따른 피해발생비율은 경기지역에서 58%로 가장 높았으며, 제주지역에서 0%로 가장 작게 나타났다.

100mm/12h 이상 강우가 가장 빈번하게 나타난 지점은 남해지점(4회)이고 피해발생이 가장 빈번하게 나타난 지점은 강동지점(2.2회)이며, 110mm/12h 이상 강우가 가장 빈번하게 나타난 지점은 남해(3회), 피해발생이 가장 빈번했던 지점은 강동지점(1.6회)으로 나타났다.

표 2.2.2.4 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(50mm/3h)

지역	강우일수	강우피해일수	강우피해비율	연평균 피해일수 (>0 mm)
서울	2.16	0.46	22.12	1.42
인천	1.63	0.70	46.98	3.40
경기	1.84	0.97	51.88	4.09
강원	1.04	0.34	27.74	2.53
대전	1.33	0.20	17.04	1.13
충북	1.15	0.36	34.70	2.35
충남	1.52	0.43	30.06	2.04
광주	2.04	0.32	12.50	0.84
전북	1.52	0.34	23.46	1.18
전남	2.15	0.32	14.65	1.12
대구	1.20	0.05	3.57	0.35
경남	2.16	0.42	20.30	1.87
부산	2.62	0.40	16.10	1.22
울산	1.80	0.16	11.90	1.04
경북	0.78	0.14	18.79	1.18
제주	2.8	0.00	0.00	0.8
평균	1.69	0.43	26.58	1.95
최대값	남해(경남) 3.80	안산(경기) 2.40	-	수원(경기) 8.00

표 2.2.2.5 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(60mm/3h)

지역	강우일수	강우피해일수	강우피해비율	연평균 피해일수 (>0 mm)
서울	1.37	0.36	28.10	1.42
인천	1.03	0.50	51.71	3.40
경기	1.15	0.73	57.93	4.09
강원	0.54	0.18	22.16	2.53
대전	0.80	0.20	25.00	1.13
충북	0.64	0.31	51.52	2.35
충남	0.87	0.35	44.56	2.04
광주	1.32	0.28	17.33	0.84
전북	0.88	0.26	28.67	1.18
전남	1.24	0.23	15.33	1.12
대구	0.70	0.05	8.33	0.35
경남	1.31	0.32	23.32	1.87
부산	1.44	0.36	26.60	1.22
울산	0.84	0.12	16.67	1.04
경북	0.41	0.08	17.05	1.18
제주	2.40	0.00	0.00	0.80
평균	1.00	0.32	31.47	1.95
최대값	하동(경남) 2.80	수원(경기) 1.80	-	수원(경기) 8.00

표 2.2.2.6 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(100mm/12h)

지역	강우일수	강우피해일수	강우피해비율	연평균 피해일수 (>0 mm)
서울	1.25	0.39	29.72	1.42
인천	0.77	0.53	65.67	3.40
경기	1.12	0.74	62.17	4.09
강원	1.02	0.41	41.00	2.53
대전	1.13	0.20	14.29	1.13
충북	0.58	0.29	44.85	2.35
충남	0.93	0.32	34.78	2.04
광주	1.28	0.20	12.86	0.84
전북	0.71	0.26	37.75	1.18
전남	1.40	0.27	19.11	1.12
대구	0.85	0.00	0.00	0.35
경남	1.80	0.39	23.51	1.87
부산	2.25	0.42	20.64	1.22
울산	1.68	0.24	19.26	1.04
경북	0.55	0.07	9.05	1.18
제주	2.20	0.20	9.09	0.80
평균	1.15	0.36	32.62	1.95
최대값	남해(경남) 4.00	강동(서울) 2.20	-	수원(경기) 8.00

표 2.2.2.7 지역별 강우빈도수와 강우로 인한 피해빈도수(110mm/12h)

지역	강우일수	강우피해일수	강우피해비율	연평균 피해일수 (>0 mm)
서울	0.94	0.27	25.36	1.42
인천	0.50	0.33	66.67	3.40
경기	0.79	0.55	67.41	4.09
강원	0.67	0.29	42.24	2.53
대전	0.80	0.20	20.00	1.13
충북	0.47	0.24	40.91	2.35
충남	0.68	0.29	40.67	2.04
광주	0.88	0.12	10.67	0.84
전북	0.57	0.23	38.41	1.18
전남	1.04	0.23	21.60	1.12
대구	0.60	0.00	0.00	0.35
경남	1.40	0.34	27.24	1.87
부산	1.62	0.31	22.23	1.22
울산	1.28	0.20	17.94	1.04
경북	0.30	0.05	9.09	1.18
제주	1.60	0.00	0.00	0.80
평균	0.83	0.28	33.85	1.95
최대값	남해(경남) 3.00	강동(서울) 1.60	-	수원(경기) 8.00

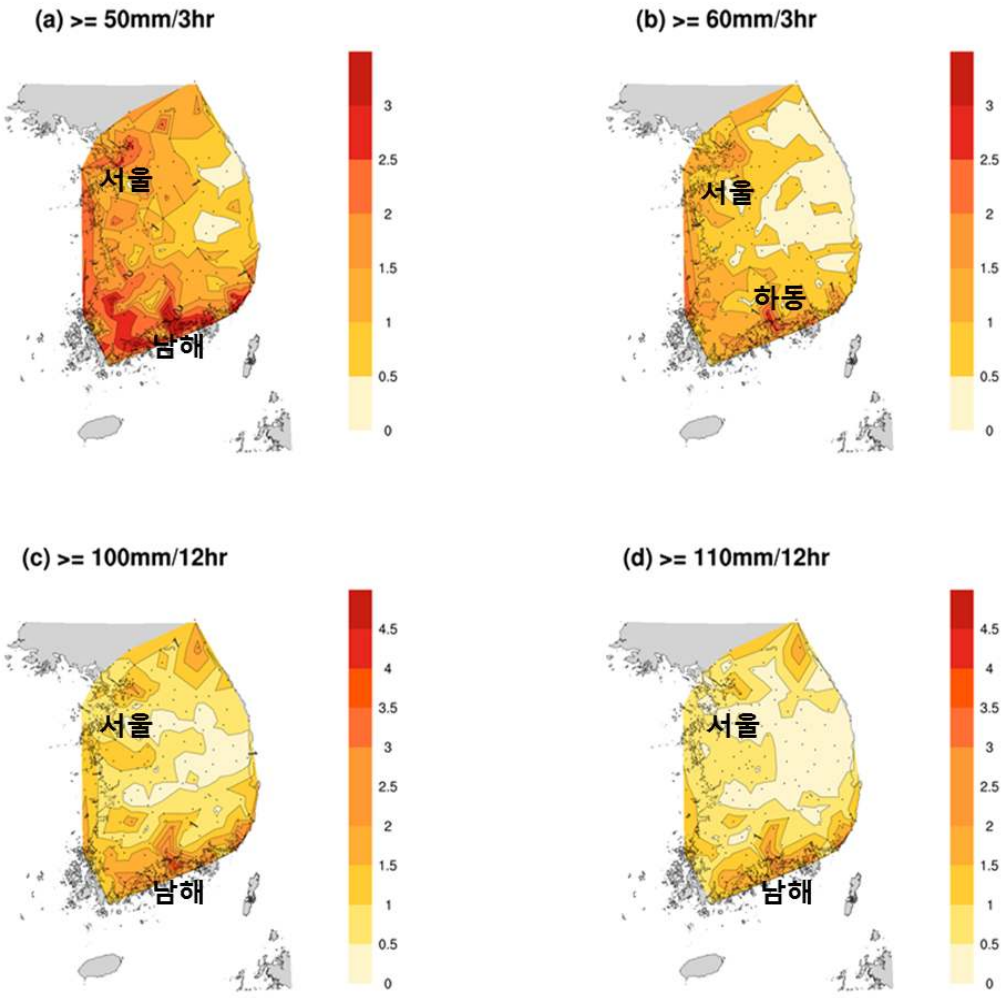


그림 2.2.2.6 5년 평균 강우일수 분포도

○ 강우등급별 강우량 기준치 이상일 때 강우 확률

표 2.2.2.8은 일일 강우 자료를 사용하여 분석한 3시간, 6시간, 12시간 강우의 강우등급별 강우 확률이다. 강우 확률은 강우량 기준치 이상일 때의 강우일수를 산출하고 5년간의 전체 일수에 대한 강우일수의 비율을 의미한다(표 2.2.2.8). 3시간, 6시간, 12시간 당 0.1 mm 이상(보통의 경우 강우 유무를 판별하는 기준 강우량)인 강우의 강우 확률은 각각 27.79%, 29.67%, 33.42%로 나타났다. 현행 주의보 기준인 70mm/6h 이상 강우의 강우 확률은 각각 0.41%로 나타나고 주의보 기준안인 50mm/3h와 60mm/3h 이상 강우의 강우 확률은 각각 0.47%, 0.27%로 나타났다. 현행 주의보 기준에 의하면 5년간 발생한 모두 강우 사례의 0.41%의 사례에 대해 호우주의보를 발표하고 있다고 볼 수 있는데 50mm/3h로 기준을 변경할 경우 발표횟수가 0.06% 증가하고, 60mm/3h로 변경할 경우 발표횟수가 0.14% 감소하게 된다.

표 2.2.2.8 기준시간별 강우등급별 강우일수, 확률, 강우시 강우강도 비율(볼드체 및 밑줄체는 기존, 볼드체는 도입안)

강우등급	3 hours			6 hours			12 hours		
	강우일수	확률	강우시 강우강도 비율	강우일수	확률	강우시 강우강도 비율	강우일수	확률	강우시 강우강도 비율
0.1	105812	27.79	100.000	112990	29.67	100.000	127256	33.42	100.000
10	25649	6.74	24.240	34673	9.11	30.687	45203	11.87	35.521
20	10880	2.86	10.282	17411	4.57	15.409	25311	6.65	19.890
30	5466	1.44	5.166	9596	2.52	8.493	15329	4.03	12.046
40	3067	0.81	2.899	5587	1.47	4.945	9674	2.54	7.602
50	**1774**	**0.47**	**1.677**	3471	0.91	3.072	6247	1.64	4.909
60	**1045**	**0.27**	**0.988**	2315	0.61	2.049	4194	1.10	3.296
70	616	0.16	0.582	**1563**	**0.41**	**1.383**	2980	0.78	2.342
80	375	0.10	0.354	1050	0.28	0.929	2154	0.57	1.693
90	**226**	**0.06**	**0.214**	686	0.18	0.607	1631	0.43	1.282
100	144	0.04	0.136	478	0.13	0.423	**1203**	**0.32**	**0.945**
110	92	0.02	0.087	**335**	**0.09**	**0.296**	**872**	**0.23**	**0.685**
120	59	0.02	0.056	233	0.06	0.206	636	0.17	0.500
130	37	0.01	0.035	150	0.04	0.133	463	0.12	0.364
140	25	0.01	0.024	110	0.03	0.097	356	0.09	0.280
150	18	0.00	0.017	75	0.02	0.066	**280**	**0.07**	**0.220**
160	13	0.00	0.012	64	0.02	0.057	212	0.06	0.167
170	12	0.00	0.011	45	0.01	0.040	164	0.04	0.129
180	12	0.00	0.011	35	0.01	0.031	**120**	**0.03**	**0.094**
190	10	0.00	0.009	26	0.01	0.023	92	0.02	0.072

강우 등급	3 hours			6 hours			12 hours		
	강우 일수	확률	강우시 강우강도 비율	강우 일수	확률	강우시 강우강도 비율	강우 일수	확률	강우시 강우강도 비율
200	9	0.00	0.009	24	0.01	0.021	74	0.02	0.058
210	7	0.00	0.007	17	0.00	0.015	53	0.01	0.042
220	7	0.00	0.007	15	0.00	0.013	48	0.01	0.038
230	6	0.00	0.006	12	0.00	0.011	38	0.01	0.030
240	6	0.00	0.006	10	0.00	0.009	30	0.01	0.024
250	6	0.00	0.006	8	0.00	0.007	25	0.01	0.020
260	4	0.00	0.004	6	0.00	0.005	23	0.01	0.018
270	4	0.00	0.004	5	0.00	0.004	16	0.00	0.013
280	4	0.00	0.004	5	0.00	0.004	14	0.00	0.011
290	4	0.00	0.004	4	0.00	0.004	11	0.00	0.009
300	4	0.00	0.004	4	0.00	0.004	7	0.00	0.006

○ 1시간, 3시간 최대 강우량 강우 분포

최근 5년 동안의 4월부터 12월까지의 강우량 자료를 이용하여 70mm/6h, 110mm/6h, 60mm/3h, 90mm/3h 강우 사례의 1시간/3시간 강우 분포를 비교하였다. 1시간/3시간 강우 분포는 70mm/6h, 110mm/6h, 60mm/3h, 90mm/3h 강우 사례를 추출하고 강우 사례별 행정구역 기준 1시간/3시간 최대 강우량을 산출하여 1시간/3시간 최대 강우량의 분포를 구하였다.

60mm/3h와 70mm/6h 강우 사례의 1시간 강우 분포를 비교한 결과, 60mm/3h 강우 사례의 경우 70mm/6h에 비해 40~60mm/h의 강한 강우가 더 많고 10~30mm/h의 약한 강우는 더 적은 것으로 나타났다(그림 2.2.2.8). 이는 60mm/3h로 특보 기준을 변경할 경우 40~60mm/h의 강한 강우에 대해서 특보를 더 발효하게 되고 10~30mm/h의 약한 강우에 대해서 덜 발효하게 된다고 해석할 수 있다. 70mm/6h 사례의 1시간 강우 분포의 10~20mm/h는 꾸준하게 6시간 동안 내려 70mm를 기록한 강우라 볼 수 있는데, 이 10~20mm/h 강우는 60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포에서는 나타나지 않는다(그림 2.2.2.8 (a), (b)). 60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포에서 20~60mm/h 강우는 크게 줄고, 30~40mm/h 강우는 다소 줄어드는 것으로 나타났다. 70mm/h 이상의 강우빈도는 70mm/6h와 60mm/3h 사례에서 거의 동일하게 나타났다. 한편, 70mm/6h 사례의 1시간 강우 분포에 단순히 3배 한 강우 분포(수록하지 않음)와 70mm/6h 사례의 3시간 강우 분포를 비교해 보면, 단순히 3배 한 강우 분포가 70mm/6h의 3시간의 강우가 보다 더 낮은 강우등급 쪽으로 치우쳐 분포한다.

이를 통해 1시간 강우의 지속 시간이 3시간 보다 짧다는 것을 짐작해 볼 수 있다.

표 2.2.2.9 60mm/3h와 70mm/6h 사례의 1시간 강우빈도 차이

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	-20	-106	-19	7	5	2	0	0	0	0	2	-129
2013	0	-8	-49	-16	6	16	4	0	0	0	0	0	-47
2014	0	-19	-51	-12	2	3	3	0	0	0	0	0	-74
2015	0	-11	-37	-5	8	8	2	0	0	0	0	0	-35
2016	0	-23	-62	-24	-2	11	6	0	0	0	0	0	-94
합계	0	**-81**	**-305**	**-76**	**21**	**43**	**17**	0	0	0	0	2	-379

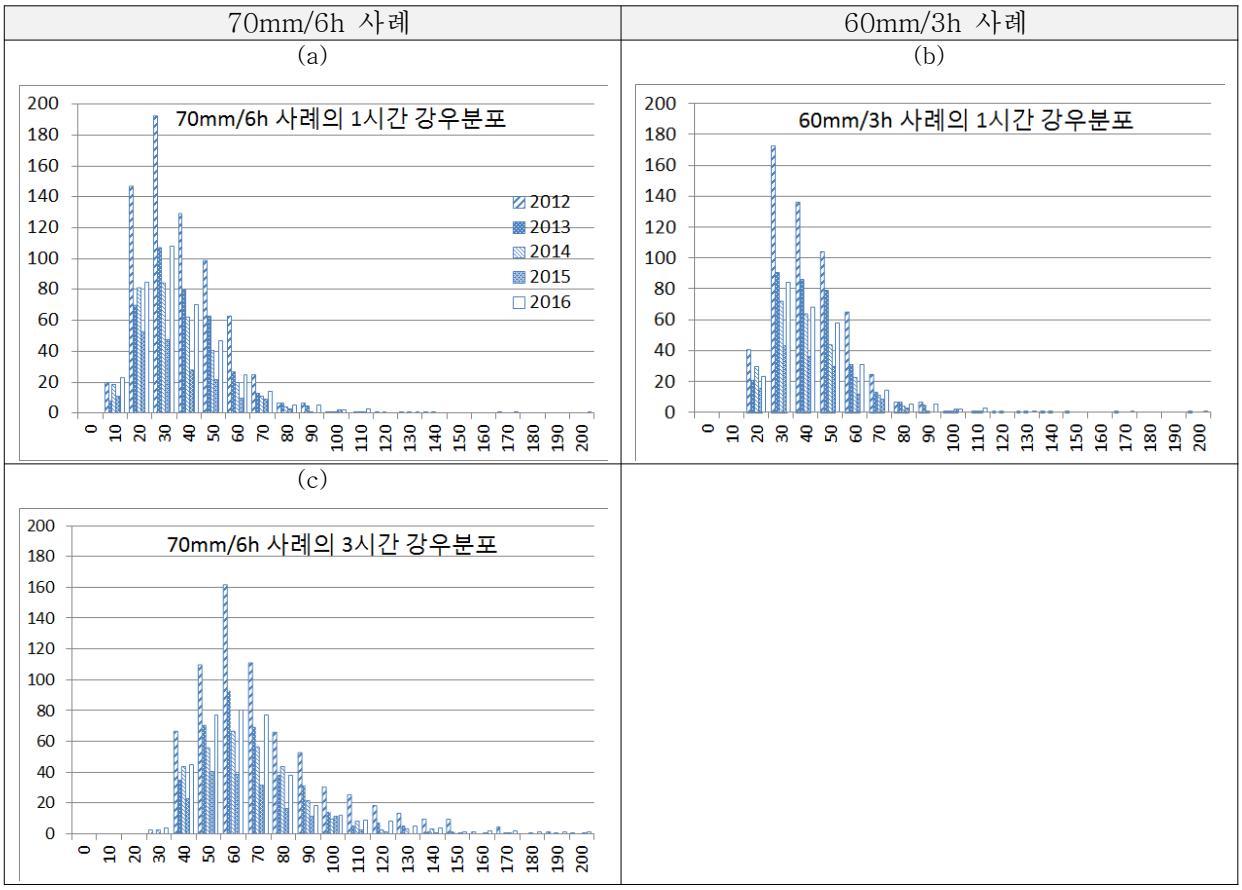


그림 2.2.2.7 (a)70mm/6h와 (b)60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포, (c)70mm/6h 사례의 3시간 강우 분포

110mm/6h와 90mm/3h의 1시간 강우 분포를 비교한 결과, 90mm/3h 강우 사례는 110mm/6h에 비해 60~90mm/h의 강한 강우가 더 많고 20~50mm/h의 약한 강우는 더 적은 것으로 나타났다. 90mm/3h로 특보 기준을 변경할 경우 60~90mm/h

의 강한 강우에 대해 특보를 더 발효하게 되고 20~50mm/h의 약한 강우에 대해서 덜 발효하게 된다고 해석할 수 있다. 90mm/3h 사례에서는 20~30mm/h 강우가 전혀 나타나지 않고, 30-40mm/h의 강우빈도가 크게 줄고, 40~50, 50~60mm/h의 강우빈도가 다소 줄어들게 나타났다. 60mm/h 이상의 강우빈도는 90mm/3h 사례에서 약간 늘어났지만 거의 동일하게 나타났다.

표 2.2.2.10 90mm/3h와 110mm/6h 사례의 1시간 강우빈도 차이

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	0	-10	-21	-15	2	1	1	1	1	0	1	-39
2013	0	0	-4	-5	1	-6	-1	2	1	0	0	0	-12
2014	0	0	-6	-19	-8	-3	2	0	0	1	0	0	-33
2015	0	0	-5	-5	-4	0	0	0	0	0	0	0	-14
2016	0	0	-4	-17	-10	-6	1	3	0	0	0	0	-33
합계	0	0	**-29**	**-67**	**-36**	**-13**	**3**	**6**	**2**	**2**	0	1	-131

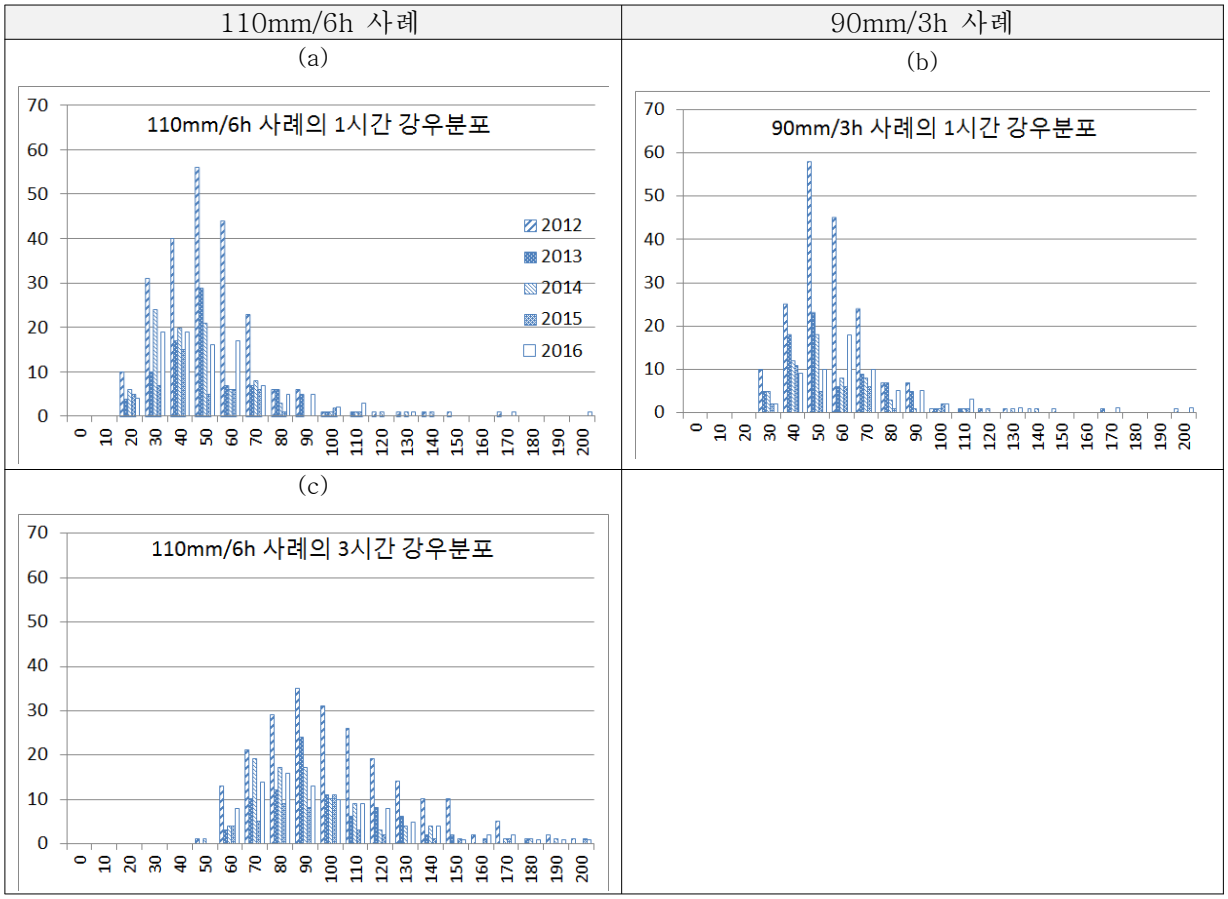


그림 2.2.2.8 (a)110mm/6h와 (b)90mm/3h 사례의 1시간 강우 분포, (c)110mm/6h 사례의 3시간 강우 분포

- 기준 강우별 1시간 및 3시간 강우 분포값

70mm/6h 사례의 1시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 30~40mm이다. 두 자리 수 분포(81.6%)를 보이는 구간은 20~50mm으로 나타났다. 20mm이상 강우는 전체 95.9%로 나타났다. 3시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 60~70mm, 두 자리 수 분포(79.3%)를 보이는 구간은 40~80mm으로 나타났고, 40mm이상 강우는 전체 99.49%로 나타났다.

표 2.2.2.11 70mm/6h 사례의 1시간 강우 분포

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	20	147	192	129	99	63	25	7	7	1	4	694
2013	0	8	70	107	80	63	27	13	7	5	1	1	382
2014	0	19	81	84	62	41	20	11	4	1	1	4	328
2015	0	11	53	48	28	22	10	9	3	0	2	1	187
2016	0	23	85	108	70	47	25	14	5	5	2	6	390
합계	0	81	436	539	369	272	145	72	26	18	7	16	1981
합계 (%)	0	4.1	**22**	**27.2**	**18.6**	**13.7**	7.32	3.63	1.3	0.9	0.35	0.81	100

표 2.2.2.12 70mm/6h 사례의 3시간 강우 분포

연도	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	120 mm	130 mm	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm	180 mm	합계
2012	3	67	110	162	111	66	53	31	26	19	14	10	10	2	5	3	692
2013	0	35	71	93	70	39	32	15	6	8	6	2	2	0	0	1	380
2014	3	44	56	67	57	44	22	10	9	3	4	4	0	0	1	2	326
2015	0	23	41	39	32	17	12	12	3	2	0	1	1	1	1	1	186
2016	4	45	77	80	77	38	18	12	9	8	5	4	1	2	2	3	385
합계	10	214	355	441	347	204	137	80	53	40	29	21	14	5	9	10	1969
합계 (%)	0.51	**10.9**	**18**	**22.4**	**17.6**	**10**	7	4.06	2.69	2.03	1.47	1.07	0.71	0.25	0.46	0.51	100

60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 30~40mm이다. 두 자리 수 분포(83%)를 보이는 구간은 30~60mm으로 나타났고, 30mm이상 강우는 전체 91.82%로 나타났다.

표 2.2.2.13 60mm/3h 사례의 1시간 강우 분포

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	0	41	173	136	104	65	25	7	7	1	6	565
2013	0	0	21	91	86	79	31	13	7	5	1	1	335
2014	0	0	30	72	64	44	23	11	4	1	1	4	254
2015	0	0	16	43	36	30	12	9	3	0	2	1	152
2016	0	0	23	84	68	58	31	14	5	5	2	6	296
합계	0	0	131	463	390	315	162	72	26	18	7	18	1602
합계 (%)	0	0	8.18	**28.9**	**24.3**	**19.7**	**10.1**	4.49	1.6	1.1	0.44	1.12	100

110mm/6h 사례의 1시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 50~60mm이고, 두 자리 수 분포(74.4%)를 보인 구간은 30~60mm이며, 30mm이상 강우는 전체 94.73%로 나타났다. 3시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 90~100mm이고, 두 자리 수 분포(60%)를 보인 구간은 70~100mm이며, 70mm이상 강우는 전체 93.7%로 나타났다.

표 2.2.2.14 110mm/6h 사례의 1시간 강우 분포

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	0	10	31	40	56	44	23	6	6	1	5	222
2013	0	0	4	10	17	29	7	7	6	5	1	1	87
2014	0	0	6	24	20	21	6	8	3	0	1	4	93
2015	0	0	5	7	15	5	6	6	1	0	2	1	48
2016	0	0	4	19	19	16	17	7	5	5	2	6	100
합계	0	0	29	91	111	127	80	51	21	16	7	17	550
합계 (%)	0	0	5.27	**16.5**	**20.2**	**23.1**	**14.5**	9.27	3.8	2.9	1.27	3.09	100

표 2.2.2.15 110mm/6h 사례의 3시간 강우 분포

연도	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	120 mm	130 mm	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm	180 mm	합계
2012	0	0	1	13	21	29	35	31	26	19	14	10	10	2	5	3	219
2013	0	0	0	3	10	12	24	11	6	8	6	2	2	0	0	1	85
2014	0	0	1	4	19	17	17	10	9	3	4	4	0	0	1	2	91
2015	0	0	0	4	5	9	8	11	3	2	0	1	1	1	1	1	47
2016	0	0	0	8	14	16	13	10	9	8	5	4	1	2	2	3	95
합계	0	0	2	32	69	83	97	73	53	40	29	21	14	5	9	10	537
합계 (%)	0	0	0.37	5.96	**12.8**	**15**	**18**	**13.6**	9.87	7.45	5.4	3.91	2.61	0.93	1.68	1.86	100

90mm/3h 사례의 1시간 강우 분포에서 최빈값을 나타내는 강우량은 시간당 50~60mm이고, 두 자리 수 분포(78.5%)를 보인 구간은 40~70mm이며, 30mm이상 강우는 전체 94.27%로 나타났다.

표 2.2.2.16 90mm/3h 1시간 강우 분포

연도	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	합계
2012	0	0	0	10	25	58	45	24	7	7	1	6	183
2013	0	0	0	5	18	23	6	9	7	5	1	1	75
2014	0	0	0	5	12	18	8	8	3	1	1	4	60
2015	0	0	0	2	11	5	6	6	1	0	2	1	34
2016	0	0	0	2	9	10	18	10	5	5	2	6	67
합계	0	0	0	24	75	114	83	57	23	18	7	18	419
합계 (%)	0	0	0	5.73	**17.9**	**27.2**	**19.8**	**13.6**	5.5	4.3	1.67	4.3	100

○ 기준강우별 강우일수

- 호우주의보

호우주의보 기준안 기준치를 만족하는 강우일수의 합집합과 교집합을 분석하여 현행 호우주의보 기준인 70mm/6h, 110mm/12h를 만족하는 강우일수의 합집합과 교집합과 비교하였다. 강우량 기준 조건을 둘 다 만족하는 확률(교집합 부분)이 작을수록 각각의 강우량 기준 조건을 만족하는 비율의 차이가 작게 나타날수록 돌발호우와 지속적 호우에 고르게 대비할 수 있다(김연희 등, 2011). 4개의 주의보 기준안은 현행 주의보 기준에 비해 돌발호우(3시간 강우량 기준만을 만족하는 부분)과 지속적 호우(12시간 강우량 기준만을 만족하는 부분)를 고르게 대비할 수 있는 것으로 나타났다(그림 2.2.2.9). 기준안 60mm/3h, 100mm/12h와 60mm/3h, 110mm/12h는 현행 대비 강우빈도가 작게 나타났고(-4%, -16%), 50mm/3h, 100mm/12h와 50mm/3h, 110mm/12h는 강우빈도가 크게 나타났다(+28%, +20%).

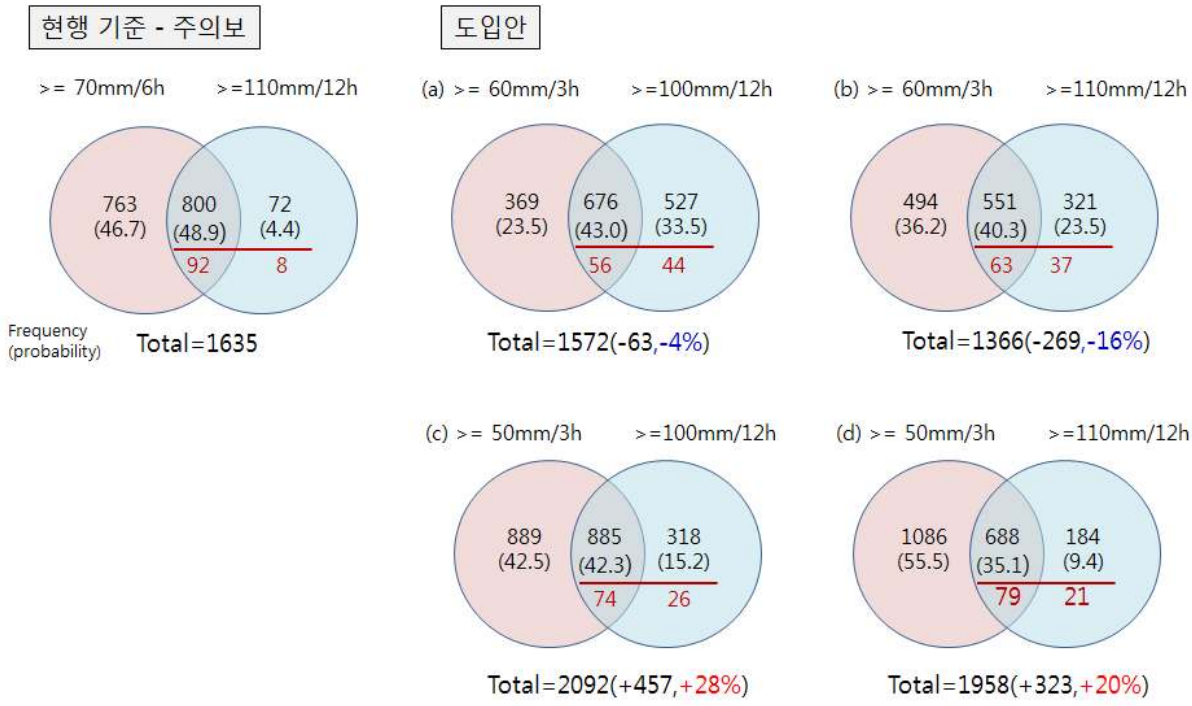


그림 2.2.2.12 현행 주의보 기준과 기준안의 강우일수 비교

– 호우경보

호우경보 기준안 기준치를 만족하는 강우일수의 합집합과 교집합을 분석하고 현행 호우경보 기준인 110mm/6h, 180mm/12h를 만족하는 강우일수의 합집합, 교집합과 비교하였다. 현행 경보 기준에 비해 경보 기준안 2개는 돌발호우와 지속적 호우를 고르게 대비할 수 있었다. 기준안 90mm/3h, 180mm/12h의 강우빈도는 현행 대비 작게(-21%), 90mm/3h, 150mm/12h는 크게 나타났다(+8%).

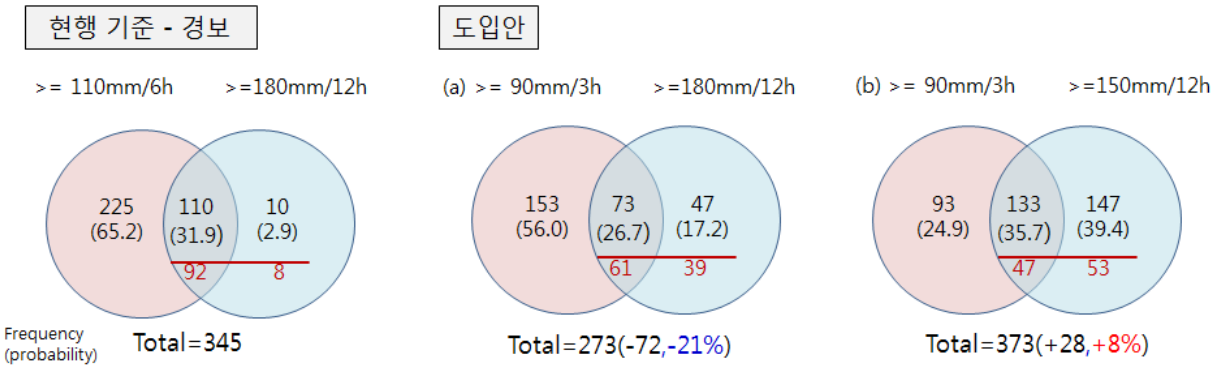


그림 2.2.2.13 현행 경보 기준과 기준안의 강우일수 비교

○ 기준강우별 호우피해 사례수

– 호우주의보

호우피해 사례 615개를 대상으로 호우주의보 기준안 기준치를 만족하는 피해사례수의 합집합과 교집합을 분석하여 현행 호우주의보 기준인 70mm/6h, 110mm/12h를 만족하는 호우피해 사례수의 합집합과 교집합과 비교하였다. 그 결과, 대비 가능한 호우피해 사례수의 변화를 파악할 수 있었는데, 4개의 주의보 기준안은 현행 주의보 기준에 비해 돌발호우(3시간 강우량 기준만을 만족하는 부분)과 지속적 호우(12시간 강우량 기준만을 만족하는 부분)에 의한 피해를 고르게 대비할 수 있는 것으로 나타났다. 기준안 60mm/3h, 100mm/12h, 50mm/3h, 100mm/12h와 50mm/3h, 110mm/12h는 대비할 수 있는 호우피해 사례수가 현행 대비 크게 나타났고(+4%, +15%, +13%), 60mm/3h, 110mm/12h는 현행 대비 작게 나타났다(-3%).

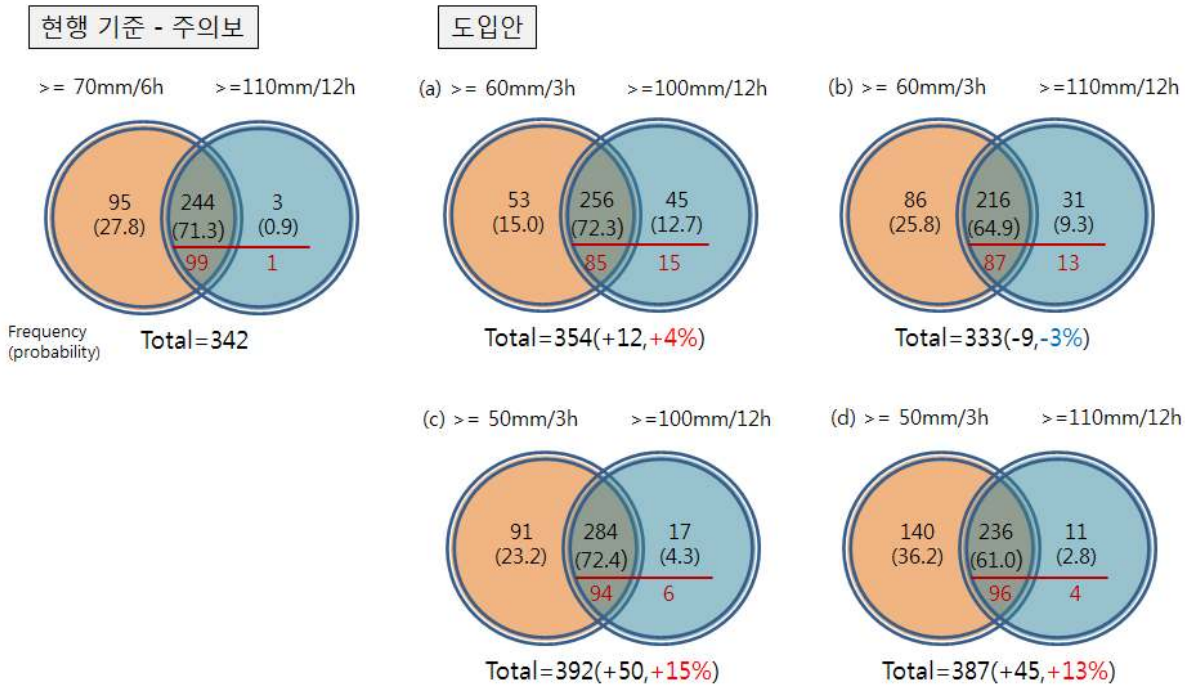


그림 2.2.2.14 현행 주의보 기준과 기준안의 호우피해 사례수 비교

– 호우경보

호우경보 기준안 기준치를 만족하는 호우피해 사례수의 합집합과 교집합을 분석하여 현행 호우경보 기준인 110mm/6h, 180mm/12h를 만족하는 호우피해 사례수의 합집합과 교집합과 비교하였다. 현행 경보 기준에 비해 경보 기준안 2개는 돌발호우

와 지속적 호우를 고르게 대비할 수 있는 것으로 나타났다. 기준안 90mm/3h, 180mm/12h 는 현행 기준에 비해 대비할 수 있는 피해 사례수가 작게 나타나고(-7%), 90mm/3h, 150mm/12h는 현행 기준에 비해 대비할 수 있는 호우피해 사례수가 크게 나타났다(+9%).

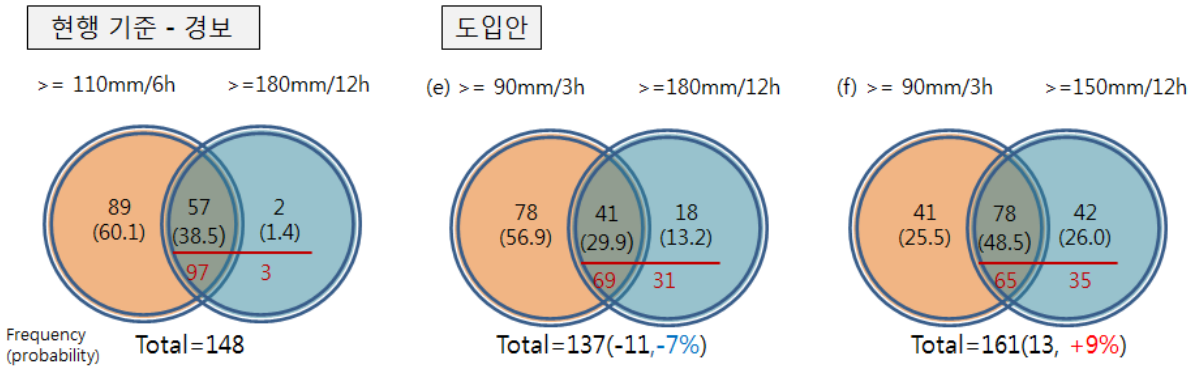


그림 2.2.2.15 현행 경보 기준과 기준안의 호우피해 사례수 비교

○ 새로운 호우특보 기준 제시

호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구를 통해 호우피해와 관련성이 높은 강화된 주의보 기준안 4개, 1) 60mm/3h, 100mm/12h, 2) 60mm/3h, 110mm/12h, 3) 50mm/3h, 100mm/12h, 4) 50mm/3h, 110mm/12h 와 경보 기준안 2개, 1) 90mm/3h, 180mm/12h, 2) 90mm/3h, 180mm/12h 를 설정하였다. 기준안에 대한 강우빈도, 호우 피해빈도, 피해비율, 1시간/3시간 강우 분포 등의 분석을 실시하고 분석 결과를 바탕으로 새로운 호우특보 기준을 제시하였다.

현행 기준과 기준안의 1시간 강우 분포에서 기준안 기준치를 만족하는 강우 사례가 현행 기준 기준치를 만족하는 강우사례에 비해 강한 시간당 강우를 포함하는 것 나타나 기준안이 집중호우가 빈발하는 최근의 호우 패턴을 보다 잘 반영한다고 볼 수 있었다. 두 가지 기준시간의 기준치에 대한 강우일수와 호우피해 사례수 산출하고 2개의 기준치의 합집합과 교집합을 분석한 결과, 기준안들은 현행 기준 보다 돌발호우와 지속적 호우를 고르게 대비할 수 있고 돌발호우와 지속적 호우로 인한 피해를 고르게 대비할 수 있는 것으로 나타났다. 주의보 기준안 60mm/3h, 100mm/12h와 60mm/3h, 110mm/12h는 현행 주의보 기준 보다 강우일수가 작게 나타났고(-4%, -16%) 50mm/3h, 100mm/12h와 50mm/3h, 110mm/12h는 크게 나타나(+28%, +20%), 호우특보 발효횟수 측면에서 60mm/3h, 100mm/12h와 60mm/3h, 110mm/12h가 개선된 주의보 기준안이라 볼 수 있었다. 또한, 기준안 60mm/3h, 100mm/12h, 50mm/3hr, 100mm/12h, 50mm/3h, 110mm/12h은 현행 주의보 기준보다 대비 가능한 호우피해 사례수가 크게 나타났고(+4%, +15%, +13%), 60mm/3h, 110mm/12h는 작게 나타나(-3%), 대비 가능한 호우피해 사례수 측면으로 봤을 때, 60mm/3h, 100mm/12h, 50mm/3h, 100mm/12h, 50mm/3h, 110mm/12h은 개선된 주의보 기준안이라 볼 수 있었다. 60mm/3h, 100mm/12h은 발효횟수와 호우피해 사례수 모두에서 개선된 기준안으로 나타났다. 경보 기준안 90mm/3h, 180mm/12h은 현행 경보 기준 보다 강우일수가 작게 나타나고(-21%) 90mm/3h, 150mm/12h은 크게 나타나(+8%), 90mm/3h, 180mm/12h가 호우특보 발효횟수 측면에서 개선된 기준으로 볼 수 있었다. 또한, 90mm/3h, 180mm/12h은 현행 경보 기준 보다 대비 가능한 호우피해 사례수가 감소하는 것으로 나타났고(-7%), 90mm/3h, 150mm/12h는 증가하는 것으로 나타나(+9%) 대비 가능한 호우피해 사례수 측면으로 봤을 때, 90mm/3h, 150mm/12h가 개선된 경보 기준안이라 볼 수 있는 것으로 나타났다.

위의 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서는 새로운 호우특보 주의보 기준으로 60mm/3h, 100mm/12h을, 경보 기준으로 90mm/3h, 150mm/12h(1안)과 90mm/3h, 180mm/12h(2안)을 제시하는 바이다.

제3절 새로운 호우특보체계(안)

제1항 새로운 특보체계의 명칭 및 단계

○ 호우특보기준(안) 제시

1, 2절을 통해 조사, 분석한 내용을 바탕으로 다음과 같이 새로운 호우특보의 기준(안)을 제시하였다(표 2.3.1.1). 주요 내용은 기존의 6시간 기준 누적강우에서 3시간 기준의 누적강우로 시간기준의 단축이다. 이를 통해 최근 빈번하게 발생하는 집중호우에 대한 대응능력을 강화코자 하였으며, 피해와 연관하여 최적의 강우강도를 선정하였다. 기준시간 단축으로 인해 놓칠 수 있는 다우에 대한 피해는 기존의 12시간 기준의 누적강우 체계를 유지하여 대응하게 하였다. 다우에 대해서도 피해와 연관하여 최적의 강우 기준을 제시하였다.

표 2.3.1.1 새로운 호우특보기준(안)

특보 구분	집중호우	다우
주의보 (1안)	60mm/3h	100mm/12h
경보 (1안)	90mm/3h	150mm/12h
경보 (2안)	90mm/3h	180mm/12h

○ 명칭 및 단계 확대 등 구조적 개선

호우특보의 강우기준 외에 특보의 명칭이나 단계 확대 등 구조적인 부분은 현행을 유지하는 것으로 한다. 이미 수년간 유지되어오는 구조적 체계에 대해 국가재난 위기경보단계 등 재난 대응 매뉴얼이 구축되어 있으며, 구조적인 변화를 가져올 경우 이에 대한 혼란이 야기될 가능성이 있다. 다만 재난 대응 지자체 등에서 사전 대비를 위해 예비특보를 충분히 활용해 줄 것을 당부하였으며, 주의보-경보의 재난적 의미에 대한 재고가 필요함을 이야기 하였다.

제2항 기존 및 새로운 호우특보체계의 장단점 분석

○ 기존 특보 대비 장단점 분석

현행 특보 기준 대비 새로운 특보 기준을 도입할 경우 예상되는 주요 변화는 다음과 같다(표 2.3.2.1). 우선, 발효횟수의 변화이다. 발효횟수의 경우 재난 대응 부서, 지자체 등의 업무 부하와 관련이 있어 빈번한 발효는 업무에 가중을 의미하며 자칫 안전 불감증의 문제와도 이어질 수 있다. 한편 발효빈도가 너무 줄어들며, 재난 대응이라는 목적과 부합하지 않아 적정한 수치의 발효가 필요하다. 이와 관련 하여 특보의 발효 예상 횟수와 이에 따른 피해사례 대비 수를 조사하였다. 60mm/3h, 100mm/12h의 경우 특보 발효횟수는 약 4% 감소하고, 피해사례에 대한 대비 수는 4% 증가하여 업무의 부하는 감소하되 오히려 피해에 대응하는 수는 증가하는 등 긍정적인 효과가 예상된다.

표 2.3.2.1 새로운 기준안 도입으로 예상되는 변화

특보기준(안)	변 화
60mm/3h, 100mm/12h	**발효횟수 4% 감소, 피해사례 대비 4% 증가**
90mm/3h, 150mm/12h	발효횟수 8% 증가, **피해사례 대비 9% 증가**
90mm/3h, 180mm/12h	**발효횟수 21% 감소**, 피해사례 대비 7% 감소

또한, 강우 기준시간 감소로 특보의 정확도 및 선행시간이 감소할 것으로 예상된다. 이를 확인하기 위해서는 실제 호우특보 변화에 대한 정확도 및 선행시간에 대한 검증 및 평가가 필요하나 기상청 현업 등 현실적으로 기존의 호우특보 기준, 새로운 호우특보 기준에 따른 특보를 이중으로 생산하는 것은 아직 제도적 도입이 이루어지지 않은 상황에서 불가능하다. 이에 대ㄴ한 대안으로 4절에서 호우특보의 참고자료로 사용되는 기상청 초단기예보자료를 이용한 모의실험으로 대략적인 예측성 등 주요 변화를 분석하였다.

제4절 호우특보시스템 구축 및 운영(안)

제1항 새로운 호우특보 기준에 따른 과거 호우사례에 대한 모의실험 및 결과 분석

○ 모의실험 개요

새로운 호우특보 기준에 따른 선행시간, 예보 정확도, 발효빈도 수 등의 변화에 대한 파악을 위해, 예보관의 실제 특보를 적용할 수 없으므로 기상청 현업의 초단기예보자료를 활용하여 기존 및 새로운 호우특보 기준에 따른 적중여부를 검증 및 분석하였다.

분석기간은 2017년 6월~8월까지 3개월의 자료를 사용하였고, 실제 관측에서 발생한 호우기준 초과사례는 6시간 강우 기준의 경우 305회, 3시간 강우 기준의 경우 302회 발생하였다. 분석에 사용한 자료 중 6시간 누적강우는 현업 결과이고, 3시간 누적강우는 추가적으로 기상청에서 생산하였다. 초단기예보자료는 레이더 등의 실황자료와 수치모델의 예측 값을 같이 사용하여, 10분~360분 예측의 6시간(3시간) 누적강우를 생산한다.

현재 시행 중인 시, 군 단위의 호우특보 검증을 위하여, 동네예보 격자형 자료인 초단기예보자료를 AWS 지점에 해당하는 격자 값으로 추출한 뒤, 각 지점들을 184개의 행정구역(시, 군)으로 편성하였다(표 2.4.1.1). 행정구역 편성 시에는 해당되는 지점 중 최대 누적강우량을 해당 행정구역의 대푯값으로 선정했다. 분석 대상으로는 기존의 호우특보 기준 강우인 70mm/6h와 새로운 호우특보 기준 강우인 60mm/3h, 50mm/3h 이다.

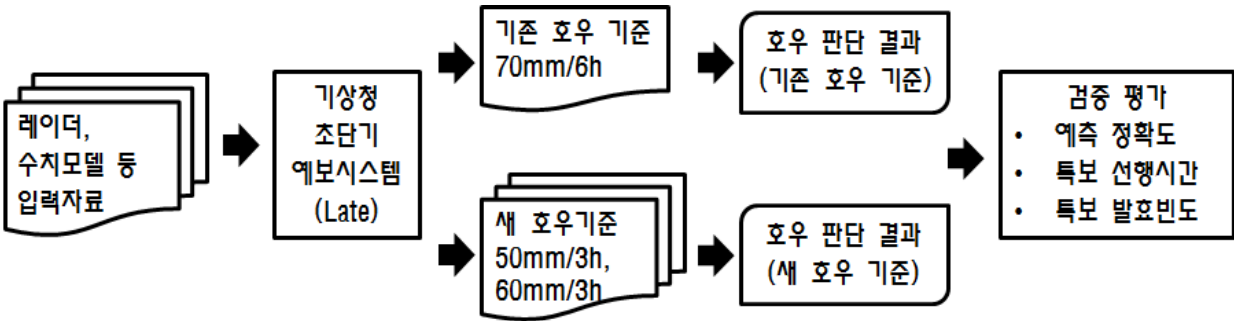


그림 2.4.1.1 새로운 호우특보 기준에 따른 호우사례 모의실험 및 분석 흐름도

표 2.4.1.1 지점별 행정구역(시군)편성 목록

지점번호	지점명	행정구역		지점번호	지점명	행정구역	
90	속초	강원	고성평지	597	대화	강원	평창평지
92	양양(공)	강원	양양평지	598	양주	경기	양주
93	북춘천	강원	춘천	599	광릉	경기	포천
95	철원	강원	철원	600	금왕	충북	음성
96	독도	강원	울릉도.독도	601	단양	충북	단양
98	동두천	경기	동두천	602	진천	충북	진천
99	파주	경기	파주	603	괴산	충북	괴산
100	대관령	강원	평창산간	604	옥천	충북	옥천
101	춘천	강원	춘천	605	영동	충북	영동
102	백령도	인천	서해5도	606	대산	충남	서산
104	북강릉	강원	강릉평지	607	근흥	충남	태안
105	강릉	강원	강릉평지	608	홍북	충남	홍성
106	동해	강원	동해평지	609	삽시도	충남	보령
108	서울	서울		610	홍성죽도	충남	홍성
110	김포(공)	서울		611	세종연서	세종	
112	인천	인천	인천	612	공주	충남	공주
113	인천(공)	인천	인천	614	서천	충남	서천
114	원주	강원	원주	615	논산	충남	논산
115	울릉도	강원	울릉도.독도	616	당진	충남	당진
116	관악(레)	경기	과천	617	성거	충남	천안
119	수원	경기	수원	618	청양	충남	청양
121	영월	강원	영월	619	음성	충북	음성
127	충주	충북	충주	620	엄정	충북	충주
129	서산	충남	서산	621	수산	충북	제천
130	울진	경북	울진평지	622	수안보	충북	충주
131	청주	충북	청주	623	증평	충북	증평
133	대전	대전		624	상당	충북	청주
135	추풍령	충북	영동	625	속리산	충북	보은
136	안동	경북	안동	626	옥천청산	충북	옥천
137	상주	경북	상주	627	태안	충남	태안
138	포항	경북	포항	628	예산	충남	예산
140	군산	전북	군산	629	세종전의	세종	
143	대구	대구		630	노은	충북	충주
146	전주	전북	전주	631	송도	인천	인천
151	울산(공)	울산		632	유구	충남	공주
152	울산	울산		633	정안	충남	공주
155	창원	경남	창원	634	아산	충남	아산
156	광주	광주		635	양화	충남	부여
159	부산	부산		636	계룡	충남	계룡
160	부산(레)	부산		637	신평	충남	당진
162	통영	경남	통영	638	영춘	충북	단양
163	무안(공)	전남	무안	639	덕산	충북	제천
165	목포	전남	목포	640	청천	충북	괴산
167	여수(공)	전남	여수	641	대청	충북	청주

168	여수	전남	여수	642	문화	대전	
169	흑산도	전남	흑산도.홍도	643	세천	대전	
170	완도	전남	완도	644	연무	충남	논산
172	고창	전북	고창	645	서부	충남	홍성
174	순천	전남	순천	646	춘장대	충남	서천
175	진도(첨찰산)	전남	진도	647	가곡	충북	영동
177	홍성(예)	충남	홍성	648	장동	대전	
182	제주(공)	제주	제주북부	649	부평	인천	인천
184	제주	제주	제주북부	650	양지	강원	철원
185	고산	제주	제주서부	651	외촌	강원	철원
188	성산	제주	제주동부	652	연천청산	경기	연천
189	서귀포	제주	제주남부	654	자월도	인천	옹진
192	진주	경남	진주	655	소청도	인천	서해5도
201	강화	인천	강화	656	볼음도	인천	강화
202	양평	경기	양평	657	대천항	충남	보령
203	이천	경기	이천	658	만리포	충남	태안
211	인제	강원	인제평지	659	계룡산	충남	계룡
212	홍천	강원	홍천평지	660	면온	강원	평창평지
216	태백	강원	태백	661	현내	강원	고성평지
217	정선군	강원	정선평지	662	승봉도	인천	옹진
221	제천	충북	제천	663	목덕도	인천	옹진
226	보은	충북	보은	664	영흥도	인천	옹진
229	북격렬비도	충남	태안	665	무의도	인천	인천
232	천안	충남	천안	666	안도	충남	태안
235	보령	충남	보령	667	옹도	충남	태안
236	부여	충남	부여	669	외연도	충남	보령
238	금산	충남	금산	670	양양	강원	양양평지
243	부안	전북	부안	671	청호	강원	속초평지
244	임실	전북	임실	672	상하	전북	고창
245	정읍	전북	정읍	673	진영	경남	김해
247	남원	전북	남원	674	사북	강원	정선산간
248	장수	전북	장수	675	남이섬	강원	춘천
251	고창군	전북	고창	676	위성센터	충북	진천
252	영광군	전남	영광	680	평화	강원	화천
253	김해시	경남	김해	681	원동	강원	철원
254	순창군	전북	순창	682	임남	강원	철원
255	북창원	경남	창원	683	오창가곡	충북	청주
257	양산시	경남	양산	684	춘천신북	강원	춘천
258	보성군	전남	보성	685	강정	제주	제주남부
259	강진군	전남	강진	686	대곡	경남	진주
260	장흥	전남	장흥	688	봉산	전남	담양
261	해남	전남	해남	690	풍산	전북	순창
262	고흥	전남	고흥	691	정산	충남	청양
263	의령군	경남	의령	692	백학	경기	연천
264	함양군	경남	함양	693	오창	충북	청주
266	광양시	전남	광양	694	원효봉	충남	예산

268	진도군	전남	진도	695	광덕산	강원	화천
271	봉화	경북	봉화평지	696	신기	강원	삼척산간
272	영주	경북	영주	697	서거차도	전남	진도
273	문경	경북	문경	698	해제	전남	무안
276	청송군	경북	청송	699	무안	전남	무안
277	영덕	경북	영덕	700	어청도	전북	군산
278	의성	경북	의성	701	무주	전북	무주
279	구미	경북	구미	702	익산	전북	익산
281	영천	경북	영천	703	진안	전북	진안
283	경주시	경북	경주	704	변산	전북	부안
284	거창	경남	거창	706	담양	전남	담양
285	합천	경남	합천	707	지도	전남	신안(흑산 면제외)
288	밀양	경남	밀양	708	광산	광주	
289	산청	경남	산청	709	구례	전남	구례
294	거제	경남	거제	710	나주	전남	나주
295	남해	경남	남해	711	이양	전남	화순
300	말도	전북	군산	712	순천시	전남	순천
301	임자도	전남	신안(흑산 면제외)	713	광양읍	전남	광양
302	장산도	전남	신안(흑산 면제외)	714	자은도	전남	신안(흑산 면제외)
303	가거도	전남	흑산도.홍도	716	하의도	전남	신안(흑산 면제외)
304	신지도	전남	완도	717	의신	전남	진도
305	여서도	전남	완도	718	상조도	전남	진도
306	소리도	전남	여수	719	선유도	전북	군산
308	옥도	전남	신안(흑산 면제외)	720	보길도	전남	완도
310	궁촌	강원	삼척평지	721	금일	전남	완도
311	가야산	경남	합천	722	조선대	광주	
312	주왕산	경북	청송	723	거문도	전남	거문도.초도
313	양지암	경남	거제	724	추자도	제주	추자도
314	덕유봉	전북	무주	725	우도	제주	제주동부
315	성삼재	전남	구례	726	마라도	제주	제주서부
316	무등산	광주		727	유수암	제주	제주북부
317	모악산	전북	완주	730	장성	전남	장성
318	용평	강원	평창산간	731	영암	전남	영암
319	천부	강원	울릉도.독도	732	보성	전남	보성
320	향로봉	강원	인제산간	733	함라	전북	익산
321	원통	강원	인제산간	734	완주	전북	완주
322	상서	강원	화천	735	덕유산	전북	무주
323	마현	강원	철원	736	진봉	전북	김제
324	송계	충북	제천	737	김제	전북	김제
325	백운	충북	제천	738	줄포	전북	부안
326	용문산	경기	양평	739	심원	전북	고창
327	우암산	충북	청주	741	화순	전남	화순
328	중문	제주	제주남부	742	운남	전남	무안

329	아라	제주	제주북부
330	대흘	제주	제주북부
351	남면	경기	양주
352	장흥면	경기	양주
353	덕정동	경기	양주
355	서탄면	경기	평택
356	고덕면	경기	평택
358	현덕면	경기	평택
359	선단동	경기	포천
360	내촌면	경기	포천
361	영중면	경기	포천
364	분당구	경기	성남
365	석수동	경기	안양
366	오전동	경기	의왕
367	신현동	경기	시흥
368	수택동	경기	구리
369	수리산길	경기	군포
370	이동묵리	경기	용인
371	기흥구	경기	용인
372	은현면	경기	양주
373	남방	경기	양주
374	청북	경기	평택
375	백석읍	경기	양주
400	강남	서울	
401	서초	서울	
402	강동	서울	
403	송파	서울	
404	강서	서울	
405	양천	서울	
406	도봉	서울	
407	노원	서울	
408	동대문	서울	
409	중랑	서울	
410	기상청	서울	
411	마포	서울	
412	서대문	서울	
413	광진	서울	
414	성북	서울	
415	용산	서울	
416	은평	서울	
417	금천	서울	
418	한강	서울	
419	중구	서울	
421	성동	서울	
422	북악산	서울	
743	비금	전남	신안(흑산면제외)
744	산이	전남	해남
745	성전	전남	강진
746	땅끝	전남	해남
747	청산도	전남	완도
748	벌교	전남	보성
749	도양	전남	고흥
750	백야	전남	여수
751	선흘	제주	제주북부
752	서광	제주	제주남부
753	어리목	제주	제주산지
754	함평	전남	함평
755	화순북	전남	화순
756	위도	전북	부안
757	진안주천	전북	진안
758	동향	전북	진안
759	뱀사골	전북	남원
760	복흥	전북	순창
761	태인	전북	정읍
762	강진면	전북	임실
763	여산	전북	익산
764	신덕	전북	임실
765	복내	전남	보성
766	여수산단	전남	여수
767	포두	전남	고흥
768	곡성	전남	곡성
769	염산	전남	영광
770	다도	전남	나주
771	안좌	전남	신안(흑산면제외)
772	수유	전남	진도
773	학산	전남	영암
774	전남도청	전남	무안
775	월야	전남	함평
776	현산	전남	해남
777	관산	전남	장흥
778	유치	전남	장흥
779	한림	제주	제주서부
780	제주남원	제주	제주남부
781	구좌	제주	제주동부
782	성판악	제주	제주산지
783	과기원	광주	
784	시종	전남	영암
785	북일	전남	해남
786	돌산	전남	여수
787	도화	전남	고흥

423	구로	서울	
424	강북	서울	
425	남현	서울	
430	경기	경기	수원
431	신곡	경기	의정부
432	향남	경기	화성
433	부천	경기	부천
434	안양	경기	안양
435	고잔	경기	안산
436	역삼	경기	용인
437	광명	경기	광명
438	군포	경기	군포
439	진안	경기	화성
440	설봉	경기	이천
441	김포	경기	김포
442	지월	경기	광주
443	보개	경기	안성
444	하남	경기	하남
445	의왕	경기	의왕
446	남촌	경기	오산
447	북내	경기	여주
448	산북	경기	여주
449	옥천	경기	양평
450	주교	경기	고양
451	오남	경기	남양주
452	신북	경기	포천
453	소하	경기	광명
454	하봉암	경기	동두천
455	읍내	경기	가평
456	연천	경기	연천
457	춘궁	경기	하남
458	퇴촌	경기	광주
459	오포	경기	광주
460	실촌	경기	광주
461	마장	경기	이천
462	모가	경기	이천
463	흥천	경기	여주
464	점동	경기	여주
465	가남	경기	여주
466	금사	경기	여주
467	양성	경기	안성
468	서운	경기	안성
469	일죽	경기	안성
470	고삼	경기	안성
471	송탄	경기	평택
472	포승	경기	평택
788	풍암	광주	
789	압해도	전남	신안(흑산면제외)
790	나로도	전남	고흥
791	피아골	전남	구례
792	표선	제주	제주동부
793	대정	제주	제주서부
794	황전	전남	순천
795	옥과	전남	곡성
796	초도	전남	거문도.초도
797	하태도	전남	흑산도.홍도
798	홍도	전남	흑산도.홍도
799	낙월도	전남	영광
800	후포	경북	울진평지
801	영양	경북	영양평지
802	온정	경북	울진평지
803	옥산	경북	의성
804	청하	경북	포항
805	죽장	경북	포항
806	선산	경북	구미
807	의흥	경북	군위
808	호미곶	경북	포항
809	대덕	경북	김천
810	성주	경북	성주
811	황성	경북	경주
812	고령	경북	고령
813	청도	경북	청도
814	부석	경북	영주
815	예천	경북	예천
816	구룡포	경북	포항
817	수비	경북	영양산간
818	마성	경북	문경
819	예안	경북	안동
820	하회	경북	안동
821	공성	경북	상주
822	김천	경북	김천
823	군위	경북	군위
824	가산	경북	칠곡
825	칠곡	경북	칠곡
826	신령	경북	영천
827	경산	경북	경산
828	달성	대구	
829	외동	경북	경주
830	기계	경북	포항
831	석포	경북	봉화산간
832	안계	경북	의성
833	은척	경북	상주

473	가산	경기	포천
474	영북	경기	포천
475	관인	경기	포천
476	화현	경기	포천
477	상패	경기	동두천
478	왕징	경기	연천
479	장남	경기	연천
480	미산	경기	연천
481	탄현	경기	파주
482	광탄	경기	파주
483	진동	경기	파주
484	창현	경기	남양주
485	신천	경기	가평
486	외서	경기	가평
487	대곶	경기	김포
488	송산	경기	화성
489	서신	경기	화성
490	초성리	경기	연천
491	군남	경기	연천
492	학온동	경기	광명
494	세종고운	세종	
495	하개정	경기	안성
496	세종금남	세종	
497	삽당령	강원	강릉산간
498	구룡령	강원	홍천산간
499	중면	경기	연천
500	양도	인천	강화
501	대연평	인천	서해5도
502	교동	인천	강화
503	도라산	경기	파주
504	포천	경기	포천
505	가평조종	경기	가평
506	금촌	경기	파주
507	창수	경기	포천
508	왕산	인천	인천
509	관악	서울	
510	영등포	서울	
511	공촌동	인천	인천
512	인천연수	인천	인천
513	덕적도	인천	옹진
514	대부도	경기	안산
515	운평	경기	화성
516	안성	경기	안성
517	간성	강원	고성평지
518	해안	강원	양구산간
519	사내	강원	화천
520	설악동	강원	속초산간
834	화서	경북	상주
835	봉화읍	경북	봉화평지
836	현서	경북	청송
837	이산	경북	영주
838	동로	경북	문경
839	길안	경북	안동
840	하양	경북	경산
841	화북	경북	영천
842	산내	경북	경주
843	금강송	경북	울진산간
844	영덕읍	경북	영덕
845	대구북구	대구	
846	서구	대구	
847	소보	경북	군위
848	청도금천	경북	청도
849	지보	경북	예천
850	감포	경북	경주
851	소곡	경북	울진평지
852	죽변	경북	울진평지
853	팔공산	경북	칠곡
854	삼동	울산	
855	가파도	제주	제주서부
856	광양백운산	전남	광양
857	완도읍	전남	완도
858	지산	전남	진도
859	토함산	경북	경주
860	신암	대구	
861	월정	제주	제주동부
862	김녕	제주	제주동부
863	외도	제주	제주북부
864	완산	전북	전주
865	오등	제주	제주북부
866	용강	제주	제주산지
867	삼각봉	제주	제주산지
868	사제비	제주	제주산지
869	영실	제주	제주산지
870	진달래밭	제주	제주산지
871	윗세오름	제주	제주산지
872	지리산	경남	산청
873	원주백운산	강원	원주
874	동송	강원	철원
875	설악산	강원	양양산간
876	삼척	강원	삼척평지
877	문막	강원	원주
878	도계	강원	삼척산간
879	스키점프	강원	평창산간
880	금악	제주	제주서부

521	강현	강원	양양평지
522	화촌	강원	홍천평지
523	주문진	강원	강릉평지
524	강문	강원	강릉평지
525	봉평	강원	평창평지
526	평창	강원	평창평지
527	신동	강원	정선평지
528	백령면	인천	서해5도
529	원덕	강원	삼척평지
530	태하	강원	울릉도.독도
531	가평북면	경기	가평
532	의정부	경기	의정부
533	신둔	경기	이천
534	장호원	경기	이천
535	서석	강원	홍천평지
536	횡성	강원	횡성
537	임계	강원	정선산간
538	신서	경기	연천
539	포천이동	경기	포천
540	고양	경기	고양
541	남양주	경기	남양주
542	청평	경기	가평
543	영종도	인천	인천
544	전곡항	경기	화성
545	안산	경기	안산
546	경기광주	경기	광주
547	양동	경기	양평
548	여주	경기	여주
549	용인	경기	용인
550	오산	경기	오산
551	평택	경기	평택
552	김화	강원	철원
553	대진	강원	고성평지
554	미시령	강원	고성산간
555	화천	강원	화천
556	양구	강원	양구평지
557	기린	강원	인제산간
558	팔봉	강원	홍천평지
559	내면	강원	홍천산간
560	진부	강원	평창산간
561	청일	강원	횡성
562	영월주천	강원	영월
563	북평	강원	정선평지
565	시흥	경기	시흥
566	연곡	강원	강릉평지
567	적성	경기	파주
568	일동	경기	포천
881	새만금	전북	군산
882	상무대	전남	장성
883	안덕	제주	제주남부
884	기상(과)	제주	제주남부
885	태풍센터	제주	제주남부
886	군산산단	전북	군산
887	세종연기	세종	
888	청남대	충북	청주
889	현충원	서울	
890	신례	제주	제주남부
891	색달	제주	제주남부
900	두서	울산	
901	울기	울산	
902	시천	경남	산청
903	도천	경남	창녕
904	사상	부산	
905	양산상북	경남	양산
906	화개	경남	하동
907	삼천포	경남	사천
908	진해	경남	창원
909	서이말	경남	거제
910	영도	부산	
911	매물도	경남	통영
912	백천	경남	함양
913	상주면	경남	남해
914	서하	경남	함양
915	삼가	경남	합천
916	단성	경남	산청
917	사천	경남	사천
918	고성	경남	고성
919	창녕	경남	창녕
920	함안	경남	함안
921	가덕도	부산	
922	단장	경남	밀양
923	기장	부산	
924	간절곶	울산	
925	생림	경남	김해
926	진북	경남	창원
927	송백	경남	밀양
929	개천	경남	고성
930	사량도	경남	통영
931	욕지도	경남	통영
932	하동	경남	하동
933	금남	경남	하동
934	수곡	경남	진주
935	청덕	경남	합천
936	신포	경남	의령

569	구리	경기	구리	937	해운대	부산	
570	금곡	인천	인천	938	부산진	부산	
571	화성	경기	화성	939	금정구	부산	
572	성남	경기	성남	940	동래	부산	
573	청운	경기	양평	941	북구	부산	
574	대신	경기	여주	942	대연	부산	
575	용인이동	경기	용인	943	매곡	울산	
576	백암	경기	용인	944	길곡	경남	창녕
577	장봉도	인천	옹진	945	대병	경남	합천
578	호도	충남	보령	946	북상	경남	거창
579	하장	강원	삼척산간	947	명사	경남	거제
580	옥계	강원	강릉평지	948	삼장	경남	산청
581	상동	강원	영월	949	정자	울산	
582	신림	강원	원주	950	사하	부산	
583	안흥	강원	횡성	951	내장산	전북	정읍
585	신남	강원	인제평지	953	장목	경남	거제
586	북산	강원	춘천	954	온산	울산	
587	방산	강원	양구평지	958	갈매여	전북	부안
588	남산	강원	춘천	959	해수서	전남	진도
589	능곡	경기	고양	961	간여암	전남	여수
590	과천	경기	과천	962	광안	부산	
591	치악산	강원	원주	963	이덕서	울산	
592	부론	강원	원주	966	풍도	경기	안산
593	양양영덕	강원	양양산간	967	도리도	경기	화성
594	서화	강원	인제산간	968	남항	부산	
595	진부령	강원	고성산간	969	북항	부산	
596	오색	강원	양양산간				

○ 모의실험 결과 분석

먼저, 예측시간에 따른 호우기준 이상의 누적강우에 대한 예측 성능 분석을 위해 호우 사례의 중복 판단을 무시하고 호우기준 이상의 누적강우가 발생한 시점에 대해 예측시간 별로 정확성을 분석하였다. 정확도 분석에는 일반적인 검증 지수인 CSI(Critical Success Index), POD(Probability Of Detection), FAR(False Alarm Ratio)를 사용하였다. 각 지수별 의미는 다음과 같다.

- 성공임계지수(CSI) : 예보가 적중한 횟수를 예보 또는 관측에서 발생한 총수로 나눈 것으로 일반적으로 0.3이상의 값을 유의한 예측성능으로 간주한다.
- 탐지확률(POD) : 실제 발생 현상에 대해 예보가 적중한 확률로 1에 가까울수록 정확한 예보를 의미한다.

- 오보율(FAR) : 전체 예보 중 실제 현상이 발생하지 않은 경우의 확률로 0에 가까울수록 정확한 예보를 의미한다.

현행 기준의 70mm/6h에 대한 초단기예보 기준의 호우특보의 예측성은 다음 그림 2.4.1.2와 같다. 실선은 성공임계지수(CSI), 파선은 오보율(FAR), 점선은 탐지확률(POD)를 의미하며 해석의 편의상 실제 지수에 100을 곱하여 표기하였다. 성공임계지수 관점에서 볼 때 70mm/6h에 대한 초단기예보의 호우특보 예측성은 예측시간 120분까지 유의한 성능을 보이며, 오보율과 탐지확률 관점에서는 예측시간 130분까지의 예측은 오보율 보다는 적중률이 높은 것을 알 수 있다. CSI나 POD, FAR의 관점에서 모두 약 2시간 내의 특보는 신뢰할 수 있는 정보이나, 이후의 예측결과는 신뢰하기 어렵다는 결론을 얻을 수 있으며 따라서 이 자료를 통한 특보의 선행시간은 약 2시간 정도가 될 것으로 유추해 볼 수 있다. 표 2.4.1.2는 184개 행정구역 별 검증분할표로 평균하였을 때 유의한 예측성이 나타나는 2시간 이내에서는 오보보다는 놓침의 문제가 정확도에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

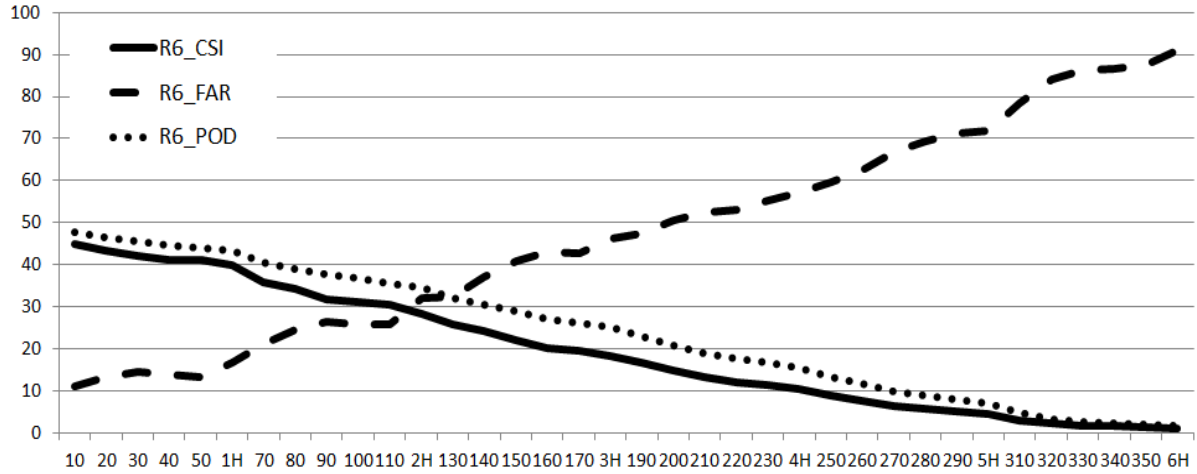


그림 2.4.1.2 누적강우 70mm/6h에 대한 예측시간 별 초단기예보 예측성능

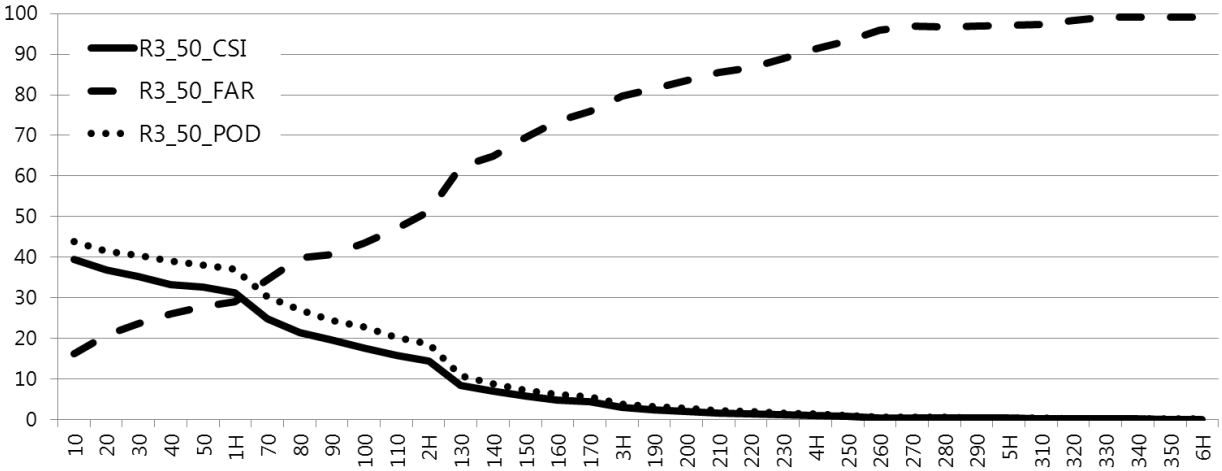
표 2.4.1.2 누적강우 70mm/6h에 대한 예측시간 별 초단기예보 검증분할표(184개 행정구역 평균)

구분 / 예측시간	H	M	F	C
10분	23	22	1	13023
20분	23	22	2	13023
30분	22	23	2	13023

구분 / 예측시간	H	M	F	C
40분	22	23	2	13023
50분	21	24	2	13023
60분	21	24	2	13023
70분	20	26	2	13022
80분	19	26	3	13022
90분	18	27	3	13022
100분	18	27	3	13022
110분	17	28	3	13021
120분	17	28	3	13021
130분	15	30	4	13021
140분	15	31	4	13020
150분	14	31	5	13020
160분	13	32	5	13020
170분	13	33	5	13020
180분	12	33	5	13020

그림 2.4.1.3은 새로운 호우기준 인 a)50mm/3h와 b)60mm/3h에 대한 초단기예보 기준의 호우특보의 예측성을 나타낸 것이다. 실선은 성공임계지수(CSI), 파선은 오보율(FAR), 점선은 탐지확률(POD)를 의미하며 해석의 편의상 실제 지수에 100을 곱하여 표기하였다. 각각의 호우기준에 대해 보다 낮은 기준인 50mm/3h가 60mm/3h 보다 좋은 예측성을 보이나, 뚜렷한 차이라고 보기는 어렵다. 성공임계지수 관점에서 볼 때 3시간 강우 기준에 대한 초단기예보의 호우특보 예측성은 예측시간 60분까지 유의한 성능을 보이며, 오보율과 탐지확률 관점에서는 예측시간 70분까지의 예측은 오보보다는 적중의 예보확률이 높은 것을 알 수 있다. CSI나 POD, FAR의 관점에서 모두 약 1시간 내의 특보는 신뢰할 수 있는 정보이나, 이후의 예측결과는 신뢰하기 어렵다는 결론을 얻을 수 있으며 따라서 이 자료를 통한 특보의 선행시간은 약 1시간 정도가 될 것으로 유추해 볼 수 있다.

a) 50mm/3h



b) 60mm/3h

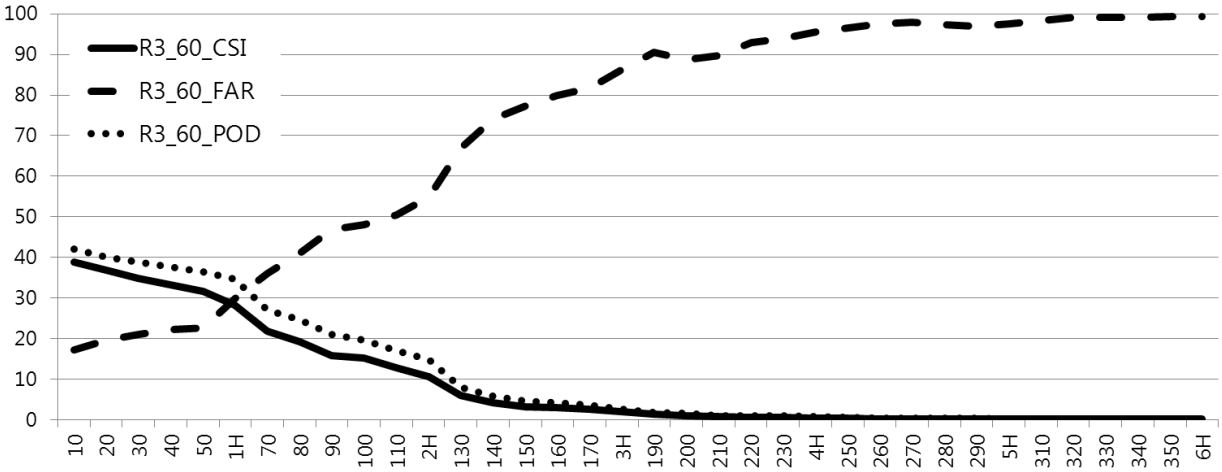


그림 2.4.1.3 누적강우 (a)50mm/3h, (b)60mm/3h에 대한 예측시간 별 초단기예보 예측성능

표 2.4.1.3 누적강우 60mm/3h에 대한 예측시간 별 초단기예보 검증분할표(184개 행정구역 평균)

구분 / 예측시간	H	M	F	C
10분	11	13	1	13071
20분	10	13	1	13071
30분	10	14	1	13071
40분	10	14	2	13071
50분	9	14	2	13071
60분	9	15	2	13070
70분	7	17	2	13070
80분	6	17	3	13069
90분	5	18	3	13069
100분	5	19	4	13069
110분	4	19	3	13069
120분	4	19	4	13069
130분	2	21	3	13069
140분	2	22	4	13069
150분	1	22	4	13068
160분	1	22	4	13068
170분	1	22	4	13068
180분	1	23	4	13068

초단기예보의 예측결과를 가상의 호우특보 발표로 가정하였을 때, 호우강도 기준을 변경함으로 선행시간은 약 1시간 정도 감소하고, 성공임계지수 기준으로 약 5%p 정도 정확도가 감소함을 예상할 수 있다.

다음으로 같은 호우 사례에 대해 중복을 제외하고, 사례별 적중 횟수 및 최초 탐지시간(선행시간), 탐지확률, 발효빈도를 분석하였다. 표 2.4.1.4는 기존의 호우기준인 70mm/6h에 대한 결과이다. 전체 호우 발생사례 320회 중 80회의 사례에 대해 적중하여 탐지확률은 25%를 보여준다. 발효빈도는 총 672회로 실제 적중 80회에 비해 매우 오보가 많음을 알 수 있다. 이러한 오보는 특히 유효예측시간 이후의 예측시간대에서 주로 발생하였다. 평균적인 선행시간은 122분으로 앞서 분석하였던 예측성 분석의 유효예측 정보를 제공하는 2시간의 결과와 일치하는 것을 확인 할 수 있었다. 다만 선행시간의 경우 지역별, 사례별로 편차가 매우 커 최소 10분에서 최대 310분까지의 변동성을 보였다.

표 2.4.1.4 호우기준 70mm/6h 사례에 대한 초단기예보 지역별 예측결과

	전국	서울	강원	경기	경북	경남	전북	전남	충북	충남	제주	세종	대전	울산	광주	부산	인천
적중	80	2	18	27	6	4	4	10	7	2	0	0	0	0	0	0	0
놓침	240	4	37	68	16	9	12	28	13	15	17	5	1	1	2	1	11
총사례	320	6	55	95	22	13	16	38	20	17	17	5	1	1	2	1	11
POD	0.25	0.33	0.33	0.28	0.27	0.31	0.25	0.26	0.35	0.12	0	0	0	0	0	0	0
발효빈도	672	7	139	128	86	55	31	81	62	37	11	6	6	3	4	1	10
선행시간	122	75	84	101	130	280	198	152	120	165	-	-	-	-	-	-	-

표 2.4.1.5는 새로운 호우기준인 60mm/3h에 대한 결과이다. 전체 호우 발생사례 318회 중 68회의 사례에 대해 적중하여 탐지확률은 21%로 약 4% 감소한 것을 알 수 있다. 발효빈도는 총 669회로 실제 적중 68회에 비해 매우 오보가 많음을 알 수 있다. 이러한 오보는 특히 유효예측시간 이후의 예측시간대에서 주로 발생하였으며, 예측 유효시간이 1시간으로 감소하여 보다 증가한 것으로 사료된다. 평균적인 선행시간은 84분으로 앞서 분석하였던 예측성 분석의 유효예측 정보를 제공하는 1시간의 결과보다는 약 20분 길게 분석되었다. 다만 선행시간의 경우 지역별, 사례별로 편차가 매우 커 최소 10분에서 최대 340분까지의 변동성을 보였다.

표 2.4.1.5 호우기준 60mm/3h 사례에 대한 초단기예보 지역별 예측성능

	전국	서울	강원	경기	경북	경남	전북	전남	충북	충남	제주	세종	대전	울산	광주	대구	부산	인천
적중	68	3	8	31	5	1	2	7	5	2	0	0	1	0	0	1	0	2
놓침	250	6	37	60	18	11	14	37	23	12	13	5	0	1	2	0	1	10
총사례	318	9	45	91	23	12	16	44	28	14	13	5	1	1	2	1	1	12
POD	0.21	0.33	0.18	0.34	0.22	0.08	0.13	0.16	0.18	0.14	0	0	1	0	0	1	0	0.17
발효빈도	669	8	123	114	108	53	38	74	57	49	12	7	3	3	4	5	1	10
선행시간	84	63	66	82	48	110	115	141	116	75	-	63	20	-	-	60	-	35

지금까지의 분석을 통해, 초단기예보를 일종의 가상 특보로 간주하여 호우강도를 바꾸었을 때 예상되는 예측성과 선행시간 등 특보의 성능과 관련된 항목들에 대해 2017년 여름철 6월에서 8월까지 조사하였다. 본 실험에서의 호우특보 발효빈도는 기준변화와 거의 무관한 것으로 나타났으며, 선행시간은 약 40분, 탐지확률은 4%정도

감소하는 것으로 나타나 기준 변경으로 인한 호우특보의 정확도 및 선행시간이 감소할 것으로 예상된다. 그러나 이는 어디까지나 기계적인 시스템을 이용한 평가로서 실제 호우특보에 대한 예측성 평가는 기준 변경 후 시험운영을 통해 실제 예보관들의 특보를 통해 다시 평가되어야 할 필요가 있다.

제2항 호우특보시스템 구축(안) 및 운영방안

제시한 호우특보체계 기준(안)에 대하여 호우특보시스템의 구축(안)을 제시하고, 이를 운영하는 방안을 마련하였다.

○ 총괄예보관실 의견 조사

실제의 호우 사례 및 피해를 기준으로 제시한 호우특보기준(안)에 대해 초단기예보를 바탕으로 기술력을 검증하였고 이를 바탕으로 실제 특보업무를 담당하는 예보관의 의견을 수렴하였다.

제시한 기준(안)에 대해서는 기존의 6시간 강우 기준에서 3시간 강우 기준으로 교체하여 집중호우를 고려하는 것이 적합하다는 의견을 주었으며, 특보 운영에 대해서는 특보평가에 대한 재검토가 필요하다는 의견이 많았다. 특히 현재 시행되고 있는 선행시간에 대한 평가와 인접지역 강우에 대한 평가에 대한 의견들은 현재의 특보 평가 체계가 예보관에게 많은 부담을 주는 것으로 사료되며, 이는 소극적인 특보 발효와 이어질 우려가 있다. 시스템적으로는 짧아지는 강우 기준시간에 따라 일부 특보에 대해 선행적인 자동화와 특보발효를 위한 지원 툴, 가이던스 등의 개발 필요성을 제시하였다. 장기적으로는 지자체 및 행정안전부 등과 연계하여 지역별 기준값 차등화 연구가 필요하다는 의견이 있었다.

○ 전문가 자문회의

학계와 방재유관기관의 전문가 자문회의를 통해 호우특보기준(안)에 대한 학계와 방재유관기관의 의견을 수렴하였다.

학계에서는 홍수 피해 측면(산악지역 돌발홍수 등)에서 시간당 강우 기준으로 교체하여 활용성을 높이고, 연구 자료로 사용된 재해연보는 향후 연구를 위해 보다 정확하고 상세한 DB 구성이 필요하다는 의견을 주었다. 이외 기상청의 호우특보 기준은 방재대응기관(행정안전부, 국토부 등) 업무와의 상관성을 고려해야 한다는 의견과, 기상청은 강우량 예측을 통한 특보 발표기준을 제시할 뿐, 지역별 기준값 차등화 특보 기준은 행정안전부, 국토부, 지자체 등 방재대응기관의 소관업무로 지자체에 기상전문가가 상주하여 조언하는 방식이 필요하다는 의견이 있었다.

방재유관기관에서는 3시간 단위의 특보는 나우캐스팅으로, 재난대응기관 및 대국

민에 빠른 전파 및 선행시간 확보가 중요하다는 의견이 있었고, 기존의 호우특보 6시간 강우 기준에서 3시간 강우 기준으로 교체하는 방향은 적절하며, 방재 대응기관 및 국민 입장에서 호우주의보와 경보의 목적, 피해를 고려한 다양한 측면(방재능력 향상에 따른 피해 DB 변경, 정확도 향상에 대한 실현가능성 등)에서의 검토 및 중장기적으로 기상청과 행정안전부 등 지자체 피해발생 확률 분포 등에 대한 공동연구가 필요하다는 의견이 있었다.

○ 시스템 개선(안) 제시

강우 기준시간 변경에 따른 가장 우선적인 개선사항은 3시간 누적강우의 예측/실황 자료의 신설이다. 현재의 수치모델, 실황 등 누적강우는 1시간, 6시간, 12시간의 간격으로 생산되고 있어, 이를 직관적으로 이해할 수 있도록 3시간 누적강우 자료를 생산하고 예보관들에게 제공하는 것이 우선시 되어야 한다.

앞서 총괄예보관실의 의견에서도 언급되었듯 짧아지는 강우 기준시간과 줄어들 것으로 예상되는 선행시간 등을 고려할 때, 일부 특보에 대한 자동화와 전파체계를 개선하는 것이 필요할 것으로 보인다. 실황 기준으로 시간당 강우가 일정 임계값을 초과할 경우, 자동으로 통보를 하거나 예보관에게 알람 등을 통해 특보가 발효 될 수 있도록 하는 체계가 요구된다.

또한 호우특보 생산에 예측자료로 활용되는 초단기예보 자료의 개선이 필요하다. 현재의 예측성능으로는 6시간 누적강우는 2시간, 3시간 누적강우는 1시간 정도 유의한 예측결과를 보여주고 있으나, 보다 긴 시간의 예측성능 확보가 요구된다. 이를 위해 개선작업이 이루어지고 있는 VDAPS의 예측 결과를 활용하는 것도 고려 할 필요가 있다.

다음은 기상청(2017.12.5.)에서 현업 통합모델기반 초단기예보시스템 강우예측성능보고를 통해 2016년 7월, 여름철에 대한 개선된 VDAPS의 예측성능을 기존 현업 및 KLAPS결과와 비교한 내용이다(그림 2.4.2.1). 예측성능은 개선된 VDAPS가 기존 현업과 KLAPS보다 모든 강우 구간에 대해 좋은 예측성능을 보여주고 있다.

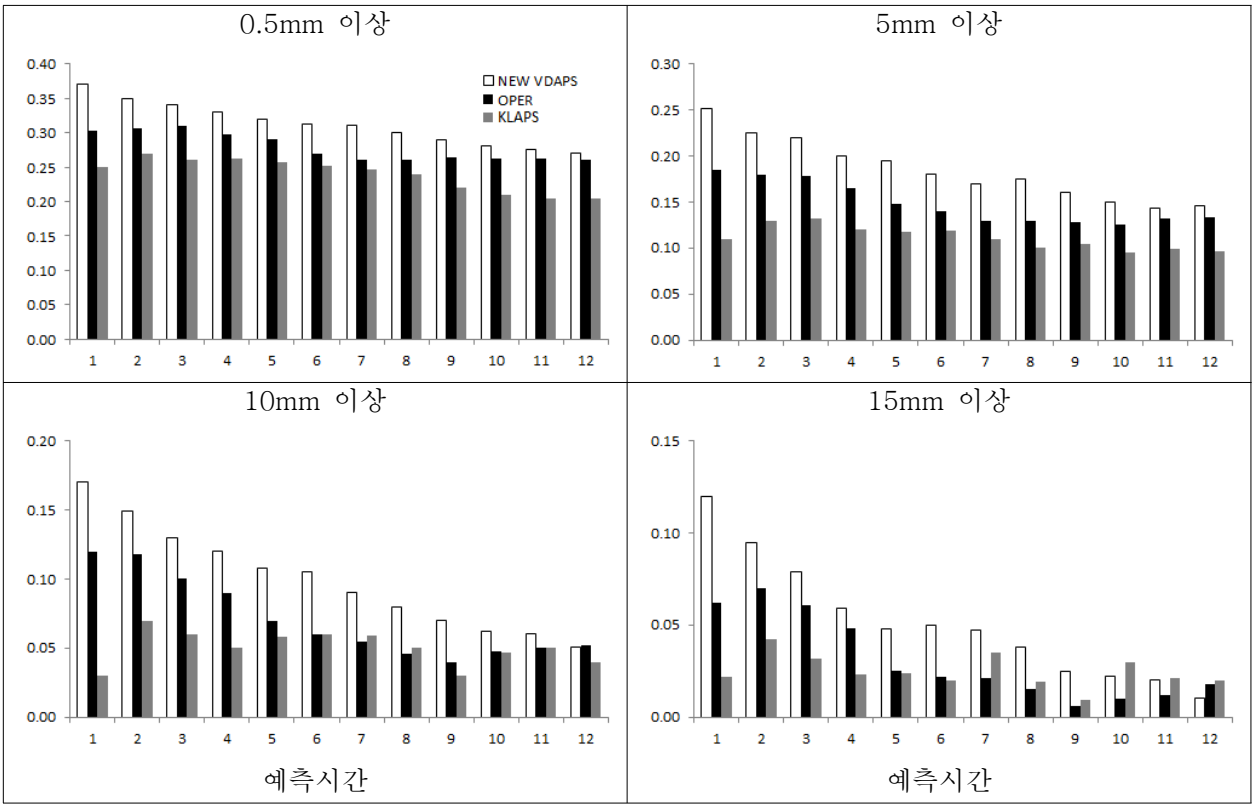


그림 2.4.2.1 개선된 VDAPS, 기존 현업, KLAPS 결과 비교(2016년 7월)

다음은 2017년 7월, 여름철에 대한 개선된 VDAPS의 예측성능을 기존 현업 및 KLAPS결과와 비교한 내용이다(그림 2.4.2.2). 예측성능은 약한 강우(0.5mm 이상)에서 예측시간 초반에 KLAPS의 성능이 우수하나 그 외의 강우 구간에서는 개선된 VDAPS가 기존 현업과 KLAPS보다 좋은 예측성능을 보여주고 있다.

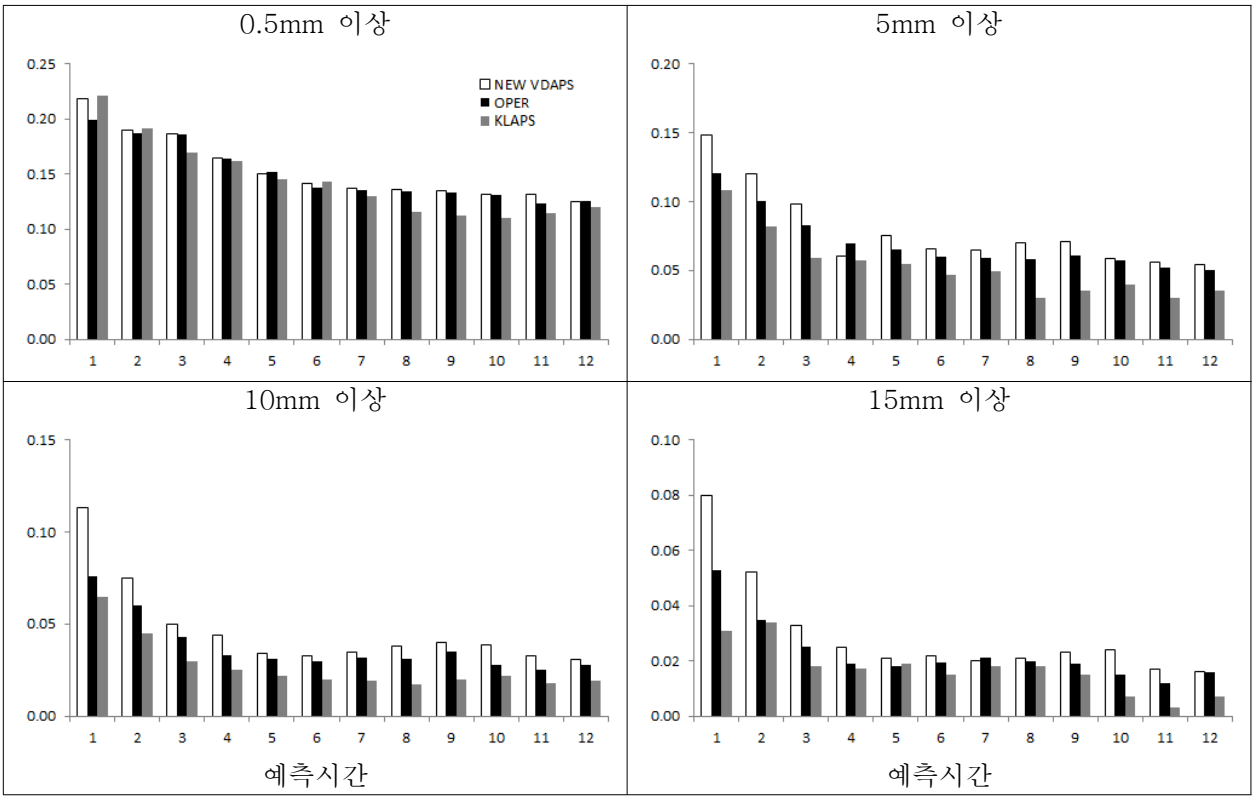


그림 2.4.2.2 개선된 VDAPS, 기존 현업, KLAPS 결과 비교(2017년 7월)

선행시간 확보와 함께 특보 해제 시간을 함께 제공하기 위한 시스템 개발이 필요하다. 각 지자체 의견수렴 과정에서 강우가 그쳤음에도 호우특보가 해제되지 않아 비상근무가 계속 이어지는 등 업무 부하에 대한 의견이 있었다. 이를 위해서는 가급적 호우특보를 발표할 때 예상 해제 시점에 대한 정보를 제공해 줄 수 있어야 한다. 다만 이를 위해서는 호우사례에 대한 시작과 종료까지의 흐름에 대한 예측이 신뢰할 수 있는 수준으로 예보관의 기술력이 향상되거나, 이를 지원할 수 있는 가이던스들이 필요하다. 기술적으로는 통계적 분석을 통해 호우 해제에 적합한 임계강우를 산출하거나, 강우의 감소 경향이나 인접 호우 셀에 대한 판단이 가능한 가이던스가 개발되어야 한다. 또한 집중호우인지 장마인지 등 강우의 특성에 따른 고려가 이루어져야하기 때문에 단기적으로 모든 호우특성에 대한 해제 정보를 생산하기는 어려울 것으로 사료되며, 단계적인 연구 및 개발이 이루어질 필요가 있다.

제3항 새로운 호우특보 평가 방법 및 기준

달라지는 호우특보기준(안)에 따라 이를 검증/평가하는 방법 역시 개선될 필요가 있다. 총괄예보관실의 의견에서도 언급되었듯 선행시간이라는 평가 요소와 행정구역

별 발표에 따른 지역 적중에 대한 평가 요소는 실제로 예보관들의 특보 발효에 큰 부담으로 작용하는 것으로 보이며, 발표 강우량에 따른 놓침/오보에 따른 사후 분석 역시 업무적 부하로 작용하는 것으로 조사되었다. 이번 항에서는 기존의 단순 강우량 적중 등에 대한 평가가 아닌 예보시간, 평가 강우량 문턱 조정, 적중지역 확장 등을 통해 예보관이 보다 적극적인 특보업무를 수행 할 수 있고, 이를 정량적으로 평가할 수 있는 방법에 대해 소개한다.

○ Flexible Verification

Flexible Verification (M.A.Sharpe, 2016)는 영국 기상청에서 제시한 격자형 nowcasting을 평가하는 방법이다. 전통적으로 평가에는 적중(Hit), 놓침(Miss), 오보(False), 현상 없음(Correct)의 4분위 분할을 사용한다. 정량적인 평가를 위해 사건의 발효 시점 및 Event threshold가 정확히 일치해야만 적중으로 평가가 되기 때문에 실제 강우가 0.1mm라도 적거나, 1분이라도 빠르거나 늦게 발생한다면 이는 놓침으로 평가가 된다. 단순히 시점과 강우량을 정확히 맞추는 것도 중요한 평가 항목이지만, 특보의 경우 예보와는 달리 방재의 성격을 강하게 갖고 있기 때문에 이에 대한 방안으로 소개된 것이 Flexible Verification이다. 그림 2.4.3.1은 Flexible Verification에서 도입한 새로운 검증 분할 구간이다. 전통적인 Hit, Miss, Flase Alarm, Non-event(Correct)의 검증 분할 구간 외에 강우는 있었으나 기준치보다 낮은 Low event threshold를 갖는 Low Hit, 예측한 시간보다 다소 빨리, 혹은 다소 늦게 이벤트가 발생한 Early Hit, Late Hit과 같은 개념을 도입하였다. 구체적인 검증방법은 성공임계지수를 계산하는 것과 유사하다. 가장 엄격한 기준을 적용한 SS(Strict), 시간 기준을 완화한 ST(Temporal), 강도 기준을 완화한 SI(Intensity), 시간 및 강도 기준을 모두 완화한 SF(Flexed) 에 따라 각각의 성공임계 지수를 생산한다. SS의 경우, 호우강도 및 발생 시간에 대한 기준완화를 거치지 않은 전통적인 성공임계지수 생산과 같다. 시간 기준을 완화하는 ST의 경우 Early Hit 또는 Late Hit을 Hit로 판단하게 된다. 강도 기준을 완화하는 SI의 경우 Low Hit를 Hit로 판단한다. 복합적인 경우에 따른 평가는 표 2.4.3.1을 따르게 된다.

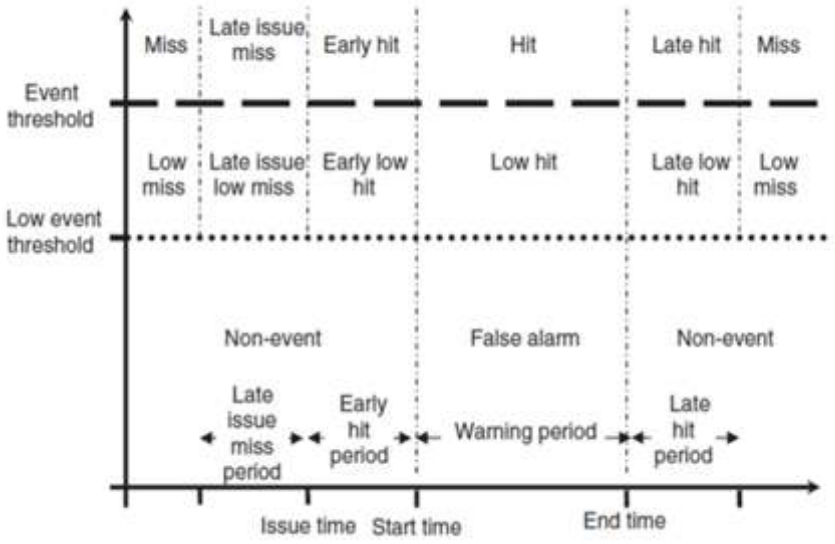


그림 2.4.3.1 Flexible Verification 검증분할 구성

표 2.4.3.1 Flexible Verification 기준별 평가

Classification	SS	ST	SI	SF
Hit	H	H	H	H
LateHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2F+ 1/2M	H
EarlyHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2F+ 1/2M	H
LowHit	F	F	H	H
LateLowHit	F	F	F	H
EarlyLowHit	F	F	F	H
False Alarm	F	F	F	F
Miss	M	M	M	M
Low Miss	C	C	M	M
Late Issue Miss	M	M	M	M
Late Issue Low Miss	C	C	M	M
Hit+ Late Low Hit	H	H	H	H
Hit+ Early Low Hit	H	H	H	H
Hit+ Late Hit	1/2H+ 1/2M	H	1/2H+ 1/2M	H
Hit+ Early Hit	1/2H+ 1/2M	H	1/2H+ 1/2M	H
LateHit+ EarlyHit	2/3M+ 1/3F	H	2/3M+ 1/3F	H
LateHit+ EarlyLowHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2F+ 1/2M	H
LateHit+ LowHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2M+ 1/2H	H
LateLowHit+ EarlyHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2F+ 1/2M	H
LateLowHit+ LowHit	F	F	H	H
EarlyHit+ LowHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2M+ 1/2H	H
LowHit+ EarlyLowHit	F	F	H	H
LateLowHit+ EarlyLowHit	F	F	F	H
Hit+ LateLowHit+ EarlyLowHit	H	H	H	H

Hit+ LateHit+ EarlyLowHit	1/2H+ 1/2M	H	1/2H+ 1/2M	H
Hit+ LateLowHit+ EarlyHit	1/2H+ 1/2M	H	1/2H+ 1/2M	H
Hit+ LateHit+ EarlyHit	2/3M+ 1/3H	H	2/3M+ 1/3H	H
LowHit+ LateHit+ EarlyHit	2/3M+ 1/3F	H	2/3M+ 1/3H	H
LowHit+ LateHit+ EarlyLowHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2M+ 1/2H	H
LowHit+ LateLowHit+ EarlyHit	1/2F+ 1/2M	H	1/2M+ 1/2H	H
LowHit+ LateLowHit+ EarlyLowHit	F	F	H	H

시간 및 강도 완화 외에 인접 지역에 대한 거리기준 완화 역시 비슷한 개념으로 적용이 가능하다. 선행연구에서는 격자형으로 구성된 평가 지역에 대해 거리적 임계값을 2마일 간격으로 확장시켜, 검증 지역에 강우가 예상되었으나, 검증 지역이 아닌 검증 인근지역에 비가 내렸을 경우 그 거리가 임계값 이하일 경우 해당 예보를 맞는 예보로 간주하였다. 실제로 영국 기상청의 선행연구에서 수행한 시간, 강우강도와 거리의 기준별 완화에 따른 평가지수 변화의 결과를 보면(그림 2.4.3.2), 기준 완화 단계별 성공임계지수가 높아지는 것을 알 수 있다. 막대그래프의 가장 아래쪽 흑색은 SS기준의 성공임계지수이고, 그 위쪽의 회색은 ST기준의 성공임계지수, 그 위쪽의 눈금 선은 SI기준이며, 가장 위쪽은 SF기준의 성공임계지수이다. 가장 엄격한 기준 적용에 비해 강도 및 시간 기준을 완화 시켰을 때 2배 정도 높은 평가지수를 얻을 수 있었고, 거리기준을 점차 완화함에 따라 평가지수의 결과가 상승함을 보여준다. 또, 선행연구에서는 시간에 대한 기준 완화보다는 강도에 대한 기준 완화가 더 큰 영향을 주며 영역 확장에 대한 효과는 약 10마일 정도에서 한계를 갖는 것으로 보이고, 영역이 확장되면서 강도 기준 및 시간 기준에 대한 효과는 감소하는 것으로 나타난다. 그러나 호우강도, 시간, 거리에 대한 임계치의 최적의 값은 선행연구에서도 제시하고 있지 못하며, 주관적인 선택의 필요가 있음으로 결론을 지었다.

우리의 호우특보체계에 대해 Flexible Verification을 도입하기 위해서는 우선 시군단위의 발효가 이루어지고 있기 때문에 거리기준에 대한 평가는 다른 방법의 접근이 필요하다. 이를 위해 지리적으로 인접한 행정구역을 조사하였다. 총 184개의 행정구역에 대해 각각 지리적으로 맞닿은 행정구역을 유효 평가 지역으로 설정하였다. 다음으로 해당 지역에 호우특보를 발효하였을 때 인근 행정구역 중 한 곳이라도 기준치 이상의 강우가 있는 경우를 적중한 호우특보로 판단하였다. 기존의 호우기준인 70mm/6h에 대해 적중지역을 인근 지역까지 확장하였을 때 성공임계지수는 6~10% p 상승하였다(그림 2.4.3.2).

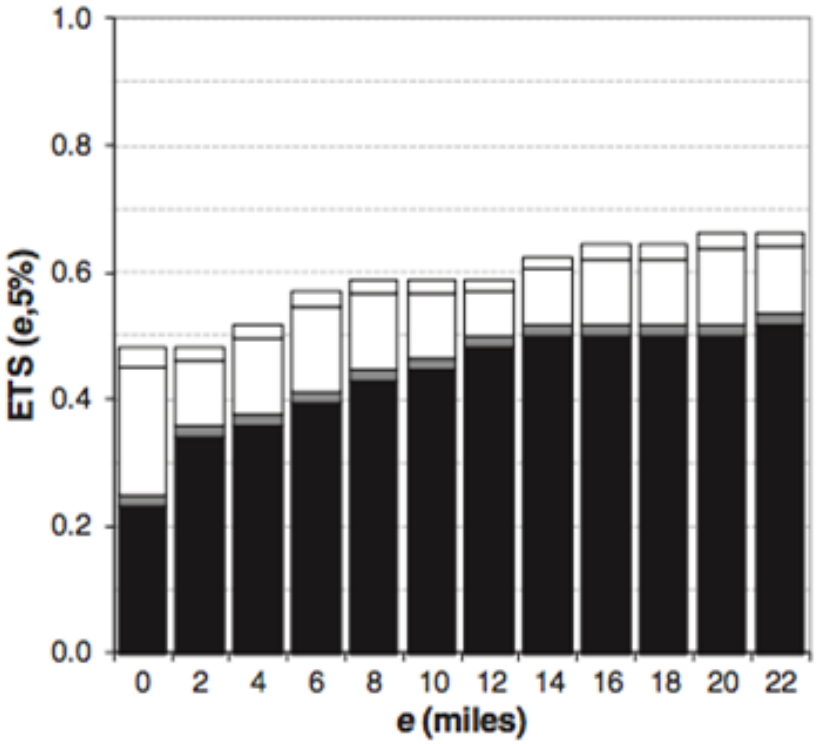


Figure 7. The equitable threat score evaluated for $c = 0.05$, as a function of area extension, for all NSWW (gales) issued during 2010. The stacked columns show increasing values of ETS as a function of spatial flex, with ETS_s (black), ETS_T (grey), ETS_C (intermediate black line) and finally ETS_F.

그림 2.4.3.2 Flexible Verification 결과 예시(영국 사례)

새로운 호우기준인 60mm/3h에 대해서도 성공임계지수가 7~10%p 상승하여 호우기준에 따른 차이와 관계없이 유사한 효과를 확인할 수 있다(그림 2.4.3.3). 이러한 결과는 본 평가 방법이 경우 오보(False)를 줄이고, 그만큼 적중(Hit)을 높일 수 있으므로 이와 같은 지수의 상승효과를 볼 수 있다. 기준시간 및 기준 강도에 대한 평가는 기술적인 문제로 직접 수행할 수 없었으나, 개념적인 부분에서는 영국사례의 결과로 미루어 예상 가능한 결론을 얻을 수 있었다.

본 실험의 결과는 다년간의 실제 호우특보사례가 아닌 2017년 여름철 3개월에 대한 초단기예보의 예측결과를 이용한 모의실험에 대한 평가이기에 나타난 결과가 갖는 수치 자체의 통계적 유의성은 찾기 어려우나, 선행연구의 결과와도 일치하는 경향성을 보여주므로 방법론적인 적용에 있어서는 유의한 결과이다.

각각의 기준치 완화를 통해, 평가 대상인 호우특보체계의 개선방향을 호우강도, 예측시점, 예측영역 등 분야별 설정이 가능하며 각각에 대해 현재의 기술력을 고려한 평가지표로서 활용이 가능할 것으로 예상된다.

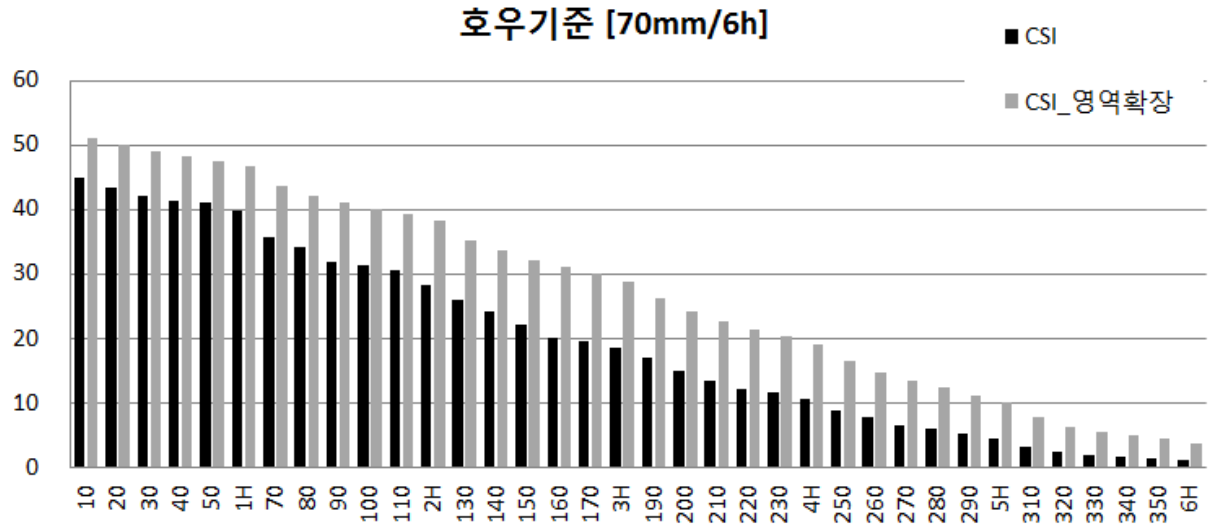


그림 2.4.3.3 평가영역 확장한 호우기준 예측평가결과(70mm/6h)

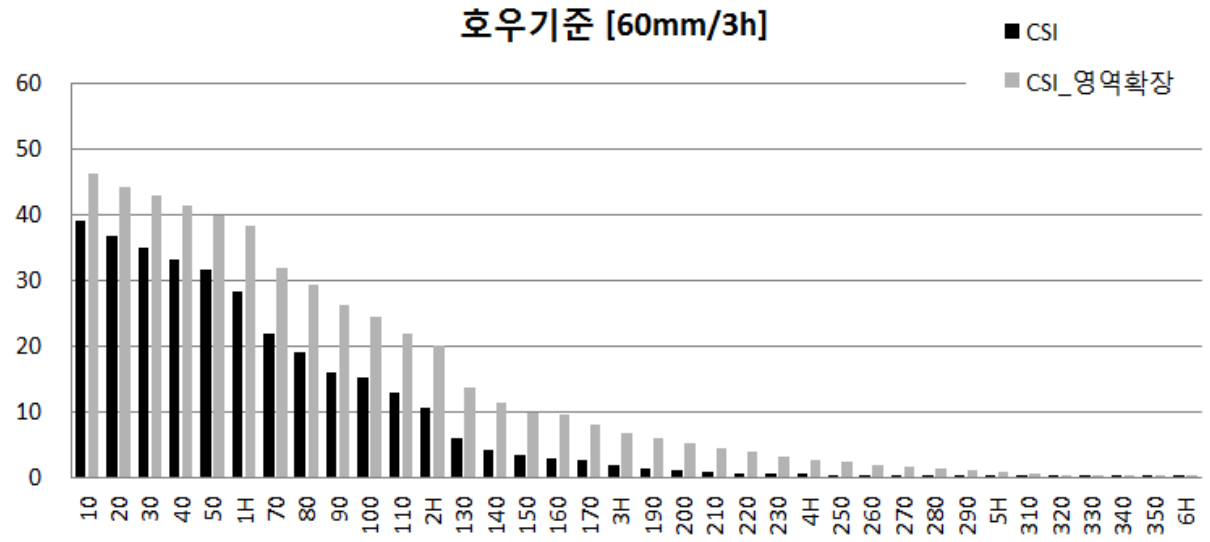


그림 2.4.3.4 평가영역 확장한 호우기준 예측평가결과(60mm/3h)

제3장 결론

우리나라 호우특보 기준값의 변천사 및 현재의 호우특보 기준값을 조사하였다. 호우특보 기준값은 1964년에 처음 제정되어 재해 개념이 도입/삭제되기도 하였으며 기준시간 조정 및 기준값 변경을 통해 현재의 호우특보 기준인, 호우주의보 70mm/6h, 110mm/12h와 호우경보 110mm/6h, 180mm/12h으로 설정되었다. 외국의 호우특보 기준은 일본의 경우는 우리나라와 비슷한 주의보/경보 개념으로서, 기존에는 강우량 기준의 호우특보 기준값을 발표하였지만, 2017년 7월부터는 토양 우량 지수(토사재해 위험도)와 표면 우량 지수(침수재해 위험도)를 이용하여 호우특보 발표를 하고 있으며, 중국의 경우는 Blue, Yellow, Orange, Red로 호우특보를 발표하고 있다.

호우특보 기준과 재해발생을 연계한 연구들을 분석하였다. 김연희 등(2011)은 호우로 인한 호우피해 발생 가능성과 강우강도 개념을 고려하여 호우특보 기준 변경에 관한 연구를 수행하여 70mm/6h, 110mm/12h의 호우특보 기준값을 제시하였고, 박상식과 강부식(2014)은 각 특보구역의 지형특성, 사회 인문적 재해발생요소를 고려하고, 침수피해 및 토사재해 가능성을 사전에 인지할 수 있는 호우특보 차등화 방안에 대한 연구를 수행하였다. 기상청에서도 여러 연구를 진행하였는데, 2008년에는 재해피해가 발생했을 때 기상요소의 지역별 분포 특성, 재해 피해액과 기상특보 요소의 강도간의 연관성 분석, 지역별 기상특보 요소의 발생빈도, 극값분석을 통한 재현주기를 분석하여 지역별 호우특보 발표기준값을 제시하였다.

현재의 호우특보의 정확도는 대략 70% 전후이고, 선행시간은 100분 전후이다. 하지만, 최근 강우가 짧은 시간에 물 폭탄을 터뜨리는 “국지성 호우” 특성을 보이면서, 기습적이고 피해가 큰 강우임에도 불구하고 비가 내리기 시작한 이후에 특보를 발표하는 사례가 늘어나고 있으며, 특보 발표시간과 실제 비가 내리는 시간 사이는 들쭉날쭉하고 비보다 특보가 늦는 경우도 있고, 국지성 호우가 늘어남에 따라 호우특보 정확도 역시 점차 낮아지고 있는 추세이다. 이에 따라 호우특보 기준 변경에 대한 의견이 있다. 호우특보 기준값 변경 시 재해 피해에 대해 충분히 고려하여 변경 되어야 한다.

호우특보 기준 및 현행 호우특보 기준 문제점에 대한 방재유관기관(지자체 등)의 의견수렴을 진행하였다. 의견수렴을 위한 설문조사 대상을 특정하고 의견수렴 전 설문조사를 실시하였다. 설문 내용은 대면면담을 위한 기본 정보와 질의 내용으로 구성되었고, 안전실의 방재 담당관 등을 대상으로 설문조사 및 의견수렴을 진행하였다. 의견수렴은 총 9개 기관의 29명을 대상으로 진행하였다.

설문 결과는 호우특보 기준값 개선의 필요성에 대한 질문에 대해 93%가 개선이 필요하다고 답변했고, 호우특보 개선이 필요하다고 답한 인원 중, 호우특보 개선 방향으로는 기준시간 변경(단축)이 가장 적절(47%)하다고 답변하였으며, 차례로 강우량 기준 강화(39%), 재난대응 강화(14%)로 나타났다. 면담을 통해 수렴한 의견으로는 국지성 호우가 빈발하는 현재의 호우특성을 반영하는 기준값 선정이 시급하며, 기준값 변경을 함으로써 호우특보 정확도를 높이는 것이 필요하다는 의견이 대부분이었다. 기준값 선정의 방향으로는 국지성 호우를 대비할 수 있도록 기준시간을 단축(6시간 이하)해야 한다는 의견이 주를 이루었다.

호우 패턴 변화와 그에 따른 호우특보 개정 요구를 반영할 수 있는 새로운 호우특보 기준 도입 방안 제시를 위해 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구와 호우특보 발표기준 강화 근거 및 방안 마련 연구를 실시하였고, 연구 결과를 바탕으로 새로운 호우특보 기준을 제시하였다. 호우피해와 관련성이 높은 강우량 기준 연구를 위해 2012년부터 2016년까지의 재해연보 호우피해 자료와 AWS 1시간, 12시간 분 강우량 자료를 사용하였다. 호우피해 사례는 피해액이 백만 원 이상인 사례로 선정하였다. 사례별 최대이동누적강우량의 도수 분포를 분석한 결과 최빈 피해발생 강우강도는 30mm/h, 60mm/3h, 70mm/6h, 100mm/12h으로 나타났고, 호우피해 발생확률이 50% 이상일 때의 강우강도는 30mm/h, 40mm/3h, 70mm/6h, 90mm/12h, 발생확률이 80% 이상일 때의 50mm/h, 90mm/3h, 110mm/6h, 150mm/12h로 나타났다. 최빈 피해발생 강우강도와 50% 피해발생 확률 강우강도 등을 고려하여 호우피해와 관련성이 높은 강화된 주의보 기준안 4개, 1) 60mm/3h, 100mm/12h, 2) 60mm/3h, 110mm/12h, 3) 50mm/3h, 100mm/12h, 4) 50mm/3h, 110mm/12h 를 설정하고 80% 피해발생 확률 강우강도 등을 고려하여 경보 기준안 2개 1) 90mm/3h, 180mm/12h, 2) 90mm/3h, 150mm/12h 를 설정하였다. 설정된 기준안에 대한 강우빈도, 피해비율 등의 분석을 통해 강화된 호우특보 기준 도입에 대한 근거를 마련하고 최종적으로 새로운 호우특보 기준을 제시하였다.

설정된 기준안의 기준치에 대한 최근 5년간 전국 평균된 강우일수와 피해일수를 분석한 결과, 50mm/3h 이상인 강우빈도는 1.7회, 피해빈도는 0.4회이고 60mm/3h 이상인 강우빈도는 1.0회, 피해빈도는 0.3로 나타났고, 100mm/12h 이상인 강우빈도는 1.2회, 피해빈도는 0.36회 이고 110mm/3h 이상인 강우빈도는 0.83회, 피해빈도는 0.28회로 나타났다. 강우일수와 피해비율은 지역별로 차이를 보이는 것을 확인하였다. 현행 기준과 기준안의 1시간 강우 분포 비교를 통해 기준안 기준치를 만족하는 강우사례가 현행 기준 기준치를 만족하는 강우사례에 비해 강한 시간당 강우를 포함

하는 것으로 확인하였다.

기준안별 2개 기준치에 대한 강우일수와 호우피해 사례수 산출하고 2개의 기준치의 합집합과 교집합을 분석한 결과, 기준안들은 현행 기준 보다 돌발호우와 지속적 호우를 고르게 대비할 수 있고 돌발호우와 지속적 호우로 인한 피해를 고르게 대비할 수 있는 것으로 나타났다. 첫 번째 주의보 기준안 60mm/3h, 100mm/12h는 현행 기준에 비해 강우일수가 다소 줄고(-4%) 대비 가능한 호우피해 사례수가 다소 늘어드는 것으로 나타났고(+4%), 두 번째 주의보 기준안 60mm/3h, 10mm/12h는 현행 기준에 비해 강우일수가 대폭 줄어들고(-16%) 대비 가능한 호우피해 사례수가 줄어드는 것으로 나타났으며(-3%), 세 번째 주의보 기준안 50mm/3h, 100mm/12h와 네 번째 주의보 기준안 50mm/3h, 110mm/12h는 강우일수와 대비 가능한 호우일수가 크게 늘어나는 것으로 나타났다. 또한, 첫 번째 경보 기준안 90mm/3h, 180mm/12h는 현행 기준 대비 강우일수가 대폭 줄고(-21%), 대비 가능한 호우피해 사례수가 줄어들고(-7%), 두 번째 경보 기준안 90mm/3h, 150mm/12h는 강우일수가 늘어나고(+8%), 대비 가능한 호우피해 사례수가 늘어나는 것으로 나타났다(+9%).

주요 분석 결과를 바탕으로 최종적으로 새로운 호우특보 주의보 기준으로 60mm/3h, 100mm/12h, 경보 기준으로 90mm/3h, 150mm/12h(1안), 9 0 mm/3h, 180mm/12h(2안)를 제시하였다.

호우 사례 분석 및 피해와의 상관성을 고려하여 제시하는 호우특보기준(안)은 60mm/3h, 100mm/12h의 주의보 기준과 90mm/3h 및 150mm/12h, 180mm/12h이다. 별도의 특보체계 명칭 개편이나 단계 확대 등은 현행의 호우특보에 대한 국가재난 위기경보 단계 등 재난 대비 매뉴얼을 대폭 수정해야하는 등의 사회적 혼란을 야기할 수 있으므로, 현행의 구조를 유지하되 기준이 되는 강우량만 수정하는 것이 좋을 것으로 보인다. 개선된 기준(안)의 경우 특보의 발효횟수는 일부 감소하고, 실제 피해에 대한 사례는 다소 증가되어 재난대응 관련 지자체 등의 업무 부하는 감소하되, 보다 실효성 있는 특보가 될 것으로 예상된다. 다만, 기준시간이 줄어드는 관계로 이에 대한 정확도 하락, 선행시간 감소 등의 문제점도 예상되어 실제 기준(안) 도입 시 충분한 시험운영이 필요할 것으로 사료된다.

제시한 호우특보기준(안)에 대해 실제 예보관들의 특보를 통한 검증 및 분석을 하는 것은 이후 시험운영단계에서 시행 될 부분이고, 본 연구에서는 초단기예보의 누적강우량을 일종의 가상 예보관의 호우특보 발효로 가정하고, 달라지는 기준(안)에 대해 예측성, 선행시간, 발효빈도 등을 분석하였다. 분석한 기간은 2017년 6~8월까지의 여름철에 한정하였고, 분석기간 동안 발생한 호우사례는 약 300회 정도가 있었다.

기본적인 누적강우량에 대한 예측시간별 예측정확도를 분석한 결과 기존 호우기준 체계에서는 약 2시간 정도 유의한 예측성능을 갖는 것으로 분석되었고, 3시간 기준으로 단축할 경우 70분 정도 유의한 예측성능을 갖는 것으로 조사되었다. 실제 호우 사례에 대해서도 탐지확률은 약 4%정도 감소하였고, 선행시간은 122분에서 84분으로 약 40분 정도 감소하며, 실제 호우특보 발효빈도는 크게 달라지지 않는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 호우특보기준(안)을 제시하며 예상되었던 문제점과 일치하여 이에 대한 개선 노력이 요구됨을 시사한다.

호우특보기준(안)의 개선에 대해 시스템적인 개선사항 및 운영방안에 대해 제시하였다. 우선 실제 특보발효 업무를 담당하는 기상청 총괄예보관실의 의견을 수렴하였다. 대체로 변경되는 기준(안)에 대해서는 긍정의 의견이었으며, 이를 운영하는 방안에 대해서는 평가체계 개선, 지원 툴 개발, 특보 자동화 등 다양한 요구가 있는 것으로 조사되었다. 이를 바탕으로 시스템적 개선사항은 우선 변경되는 기준시간에 대해 3시간 누적강우의 실황, 예측의 자료가 생산, 제공되어야 할 필요가 있다. 현재 1, 6, 12시간 기준의 강우가 생산되고 있어 직접적인 정보를 줄 수 있는 3시간 누적강우에 대한 자료 생산이 시급할 것으로 보인다. 또한 줄어드는 선행시간 및 기준시간에 대해 재난대응 기관들의 빠른 대응을 위해 특보의 자동화, 빠른 전파 등 정보 전달로 인한 시간적 손실을 보완할 방안 마련이 필요하다. 실제로 기상청의 지진경보시스템의 경우 탐지 수초 내에 긴급재난문자 알림 등의 방법으로 즉각적인 전파를 시행하고 있다. 또한 선행시간 및 예측성 확보를 위해 초단기예보자료의 개선이 필요하다. 계속적으로 이에 대한 모델 개선, 가이던스 개발 등의 노력으로 보다 정확도 높고, 먼저 유의한 예측정보를 확보할 수 있는 기반 마련이 필요하다.

끝으로 달라지는 기준(안)에 대해 이를 평가하는 방법에도 개선이 필요하다. 예보관들의 의견조사 결과 선행시간 및 지역적인 적중여부에 대한 평가는 매우 큰 부담으로 작용하여 적극적인 특보업무에 방해요소로 작용하는 것으로 조사되었다. 이를 위해 세계 각국에서도 다양한 검증/평가 방법을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 영국 기상청에서 소개한 Flexible Verification 방법을 제시하였다. 이 방법은 강우강도, 특보 발효시간 및 적중 시간, 지역적인 평가 영역 확장 등 특보의 검증 평가에 다소 기준을 완화하고, 현재의 특보가 시간, 강도, 공간 등 어느 부분에서 보완이 필요한지를 검증/평가 할 수 있는 방법으로 여겨진다. 다만 우리나라의 특보체계에 적용하기 위해서는 우리 상황에 맞도록 다소 수정하는 과정은 필요하다.

제4장 참고문헌

Stephenson, D. B., I. T. Jolliffe, C. A. T. Ferro, C. A. Wilson, M. Sharpe, M. Mittermaier, T. D. Hewson, 2010: White Paper Review on the Verification of Warnings, 20p

Sharpe, M. A., 2016: A flexible approach to the objective verification of warnings, Meteorol.Appl. 23: 65-75pp

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/warning_kind.html

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/shisu_kaisetsu.pdf

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/press/1706/15a/20170615riskmap.html

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/dojoshisu.html

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/hyomenshisu.html

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/ryuikishisu.html

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/en/Emergency_Warning/Relationships_between_criteria_and_indices.pdf

Japan Meteorological Agency. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/list_of_kirokuame_level.pdf

Japan Meteorological Agency. http://www.jma-net.go.jp/shimonoseki/kijun/yamaguchi/kijun_3532100.pdf

Weather FAQs. weatherfaqs.org.uk/book/export/html/176

WMO, 1992: International Meteorological Vocabulary, WMO No. 182, 784p

기상청, 2006: 기상 예·특보 개선에 관한 연구, 8p

기상청, 2007: 기상특보제도 개편을 위한 정책연구

기상청, 2008: 지역별 기상특보 발표기준 설정에 관한 정책연구

기상청, 2017: 현업 통합모델기반 초단기예보시스템 강수예측성능보고

김연희, 김맹기, 이우섭, 백을선, 2009: 한반도 재해피해와 호우의 재현주기, 기후연

구지, 4(2), 98-109pp
김연희, 최다영, 장동언, 유희동, 진기법, 2011: 최근 기상특성과 재해발생이 고려된 호우특보 기준 개선, 대기기상학회, 21, 481-495pp
박상식, 강부식, 2014: 지역별 방재역량을 고려한 호우특보 기준 차등화, 한국방재학회, 14(5), 67-76pp
봉종헌, 홍성길, 김정우, 하경자, 최진택, 최영진, 김행병, 이천우, 최정부 등, 1988: 기상특보 발표 및 통보 기능 향상을 위한 기술개발 연구(II) 특보 기준 개선을 위한 기초조사, 기상연구소 연구보고서, 75-97, 135-136pp
이정희, 변희룡, 김기훈, 정환근, 정윤선, 2003: RDAPS 결과를 이용한 호우특보 체재 개선 실험, 대기, 13(3), 300-30pp
정용승, 봉종헌, 1993: 호우와 대설주의보 및 경보의 새로운 기준치 설정, 한국기상학회지, 29(2), 176-180pp
홍성길, 1999: 한국의 호우특보 기준 설정에 관한 연구, 한국기상학회지, 35(2), 179-192pp