

발 간 등 록 번 호

11-1543000-001501-01

# 센서-네트워크 기술을 활용한 농업·농촌시설의 돌발재해 조기 예·경보체계 개발 최종보고서

2016. 9. 24.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단  
협동연구기관 / (주)케이스포유

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “센서-네트워크 기술을 활용한 농업·농촌시설의 돌발재해 조기 예·경보체계 개발”(개발기간 : 2013.09.25. ~ 2016.09.24.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016.09.24.

주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (대표자) 김 성 철



참 여 기 관 명 : (주)케이스포유 (대표자) 서 승 원



주관연구책임자 : 배 원 길

참여기관책임자 : 서 승 원

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라  
보고서 열람에 동의합니다.

## 〈 보고서 요약서 〉

과제고유번호	313018-3	해당단계 연구기간	3	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	농식품기술개발사업			
	세부사업명	기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명	해당없음			
	세부과제명	센서-네트워크 기술을 활용한 농업·농촌시설의 돌발재해 조기 예·경보체계 개발			
연구책임자	배원길	해당단계 참여 연구원 수	총: 17명 내부: 17명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 410,000천원 민간: 140,000천원 계: 550,000천원
		총연구기간 참여 연구원 수	총: 51명 내부: 51명 외부: 0명	총연구개발비	정부: 1,230,000천원 민간: 420,000천원 계: 1,650,000천원
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교 산학협력단			참여기업명: (주)케이스포유	
위탁연구					
요약	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업·농촌 시설의 돌발재해 (홍수, 산사태, 토석류 포함)의 발생에 대비한 안전성 제고를 위한 안전망 통합기반기술을 개발함으로써 농업·농촌시설의 안심(ANSIM)체계를 구축하는 데 있음</li> <li>- 시군별로 홍수 잠재적 위험성을 평가하고, 실제 풍수해 피해액과 통계분석을 통해 5개 유형으로 분류하여 각 유형별 치수대책 방향을 제시</li> <li>- 국지예보모델자료(LDAPS)를 이용하여 돌발재해 예측모형을 구축하였음. 돌발홍수 예측모형은 SCS TR-20모형, 산사태는 Chu의 침투모형과 무한사면 해석을 연동하여 주의 및 경보를 발령하도록 플랫폼 구축</li> <li>- 저비용, 저전력, 긴 통신거리가 가능한 proprietary network 기반의 수위 및 변위 감지 센서-통신 모듈을 개발하였으며, 통신환경이 열악할 경우 게이트웨이를 릴레이방식으로 연결하여 활용할 수 있도록 미들웨어를 구성하였으며 시스템 운영을 위한 관리시스템을 구축하였음</li> <li>- 재해의 영향권에 있는 지역주민에 대한 서비스 체계로 모바일 애플리케이션을 구축하여 12시간 이후의 예보현황과 인근의 계측정보를 확인하고 대처할 수 있도록 하였음</li> </ul>				보고서 면수: 399면

## 〈 요약 문 〉

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<p>본 연구개발의 최종 목표는 농업·농촌 시설의 돌발재해(홍수, 산사태, 토석류 포함)의 발생에 대비한 안전성 제고를 위한 안전망 통합기반기술을 개발함으로써 농업·농촌시설의 “안심”(ANSIM, ANti-risk System of abrupt natural disasters as an Integrated Model)체계를 구축하는 데 있으며, 이를 위하여 1) 농업·농촌시설의 돌발재해 피해 위험잠재능 평가, 2) 초단기예보를 활용한 돌발재해 예보 플랫폼 구축, 3) 센서-네트워크 기술을 활용한 돌발재해 조기경보 시스템 구축, 4) 시범지구 적용과 재해대응 정책 및 규정(안) 마련의 연구를 수행함</p>					
연구개발성과	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 시군별로 홍수위험성을 평가하기 위해 기존의 수정 PFD 개념을 도입하고, 3개 세부요소인 피해대상, 피해가능성, 방어능력 별로 162개 시군별로 각각 지수값을 산정하였으며, 그 결과에 따라 3차원 그룹화를 통해 시군별 치수대책 방향성을 설정하였음</li> <li>2) 강우예보자료인 국지예보모델자료(LDAPS:UM1.5kmL70)를 이용하여 돌발재해 예측모형을 구축하였음. 돌발홍수 예측모형은 SCS TR-20모형을 이용하였으며 계획홍수량의 50%, 70%에서 주의 및 경보를 발령하도록 하였음. 산사태는 Chu의 침투모형과 무한사면 해석을 연동하였으며 안전율 1.2, 1.1에서 주의 및 경보를 발령하도록 하였음</li> <li>3) 농촌지역에 적합하도록 저비용, 저전력, 긴 통신거리가 가능한 proprietary network 기반의 수위 및 변위 감지 센서-통신 모듈을 개발하였으며, 통신환경이 열악할 경우 게이트웨이를 릴레이방식으로 연결하여 활용할 수 있도록 미들웨어를 구성하였으며 시스템 운영을 위한 관리시스템을 구축하였음</li> <li>4) 돌발 홍수 및 산사태에 대한 직접 영향권에 있는 지역주민에 대한 서비스 체계로 모바일 애플리케이션을 구축하여 12시간 이후의 예보현황과 인근의 계측정보를 확인하고 대처할 수 있도록 하였음</li> <li>5) 예측시스템, 센서-네트워크 현장시스템, 모바일 애플리케이션의 시범운영지구를 구축하고 실제 운영을 통하여 시스템의 안정성과 활용성을 검증하였음</li> </ol>					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 돌발재해 위험 예상지구의 센서-네트워크 기술을 활용한 조기 경보시스템 개발로 특허 및 신기술 출원/등록 실시하며, 기술이전 계획을 수립한 후 참여기업에 기술이전 실시</li> <li>2) “배수개선사업”, “농촌마을종합개발사업” 등 본 제품의 사업적용이 가능한 농식품부, 산림청, 소방방재청 등 관련 정부기관에 연구성과가 반영될 수 있도록 노력하며, ODA 사업 등 국외 수요에 대응하고자 함</li> <li>3) 집중호우 등에 의한 돌발재해, 특히 돌발홍수, 산사태, 토석류 등의 조기경보시스템을 개발하여 전국 돌발재해 위험지구 및 농업·농촌시설에 보급함으로써 매년 발생하고 있는 “인명피해”를 최소화 하고, 농업/농촌시설을 보호할 수 있는 “사회안전기술”의 보급 및 증대 예상</li> <li>4) 돌발 자연재해에 대비한 기술 및 정책 개발로 대국민 안전인식 제고에 기여</li> </ol>					
중심어 (5개 이내)	돌발재해	센서-네트워크 기술	재해예보플랫폼	재해경보시스템	방재대책	

## 〈 SUMMARY 〉

		코드번호	D-02		
Purpose& Contents	<p>Final goal achievement of this study is to construct ANSIM(Anti-risk System of abrupt natural disasters as an Integrated Model) that can prepare sudden disaster occurred in rural area by to develop the integrated foundation technology of safety net. To do this, 1) To evaluate the risk potential of sudden disaster about rural area facility, 2) To construct the sudden disaster forecast platform using short term to be reported, 3) To construct the early warning system of sudden disaster using sensor-network, 4) To establish policy and regulation and to apply the system in model area.</p>				
Results	<p>1) We proposed the flood preparation direction that was calculated by stereotyping and potential flood damage(PFD) used existing research related PFD for risk estimation of flood to cities and countries. The PFD was calculated by flood damage for 10 years used cluster analysis technique and decision making tree algorithm. We introduced the reclassification criteria from stereotyping that was classified into five types for presentation of the best flood prevention measure by region.</p> <p>2) We constructed the forecasting model of sudden disaster using the local data assimilation(LDAPS:UM1.5kmL70) that is the information of rainfall forecast. The forecasting model was developed by model of SCS TR-20 that issue warning and watch at design flood discharge of 50% and 70%. The model of landslide work with infinite slope model and chu's infiltration model at a safety factor of 1.1 and 1.2.</p> <p>3) We developed the sensor-network module of water level and displacement based proprietary network that suit rural area as low cost, low power, and long range communication. This system include middle way that gateway connected by relay way for overcoming poor communication-environment. The managerial system was introduced for operation.</p> <p>4) We constructed the mobile application that serves a local resident lived in direct impact from sudden disaster. This system can send in an alarm about futural disaster after 12hours.</p> <p>5) We verified the system of stability and utilization using model area where includes forecasting system, sensor-network field system, and mobile application.</p>				
Expected Contribution	<p>1) We patented an inventions that relates an early warning system using sensor-network in expectation area of sudden disaster and planed transfer of technique to participating firms.</p> <p>2) We has tried research result to reflect a government enterprise and to respond demands of foreign country as ODA.</p> <p>3) This system could decrease the damage of human life from sudden disaster such as localized heavy rain, flash-flood, and landslide. also, The warning system will raise social security technology that applies prevention of facilities in rural.</p> <p>4) We expect that technology and policy should raise the safety perception of the public.</p>				
Keywords	Abrupt Disaster	Ubiquitous Sensor Network	Disaster Prediction Platform	Disaster Warning System	Disaster Prevention Policy

## < CONTENTS >

Chapter 1. Summaries of the research .....	7
Chapter 2. The present status of technology development .....	18
Chapter 3. The content and results of R&D .....	26
Section 1. Development of sensor-network technique to measure abrupt disaster .....	26
Section 2. Development of disaster prediction models for early warning system .....	115
Section 3. Development of service systems of early warning system .....	284
Section 4. Development of test-bed and operation results .....	328
Section 5. Strategy of regional disaster prevention using early warning systems .....	363
Section 6. Summary and conclusion .....	378
Chapter 4. Achievement of objectives and contribution to related fields .....	387
Chapter 5. Outcomes and Applications of Research and Development .....	391
Chapter 6. Foreign technology information collected in research process .....	392
Chapter 7. Security of development result .....	392
Chapter 8. Research facility and equipments .....	392
Chapter 9. Performance result of safety management at laboratory .....	392
Chapter 10. Typical performance .....	393
Chapter 11. The others, other detail .....	394
Chapter 12. Reference .....	395

## 〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요 .....	7
제2장 국내외 기술개발 현황 .....	18
제3장 연구수행 내용 및 결과 .....	26
제1절 돌발재해 돌발재해 감지 센서-네트워크 기술 개발 .....	26
제2절 돌발재해 예·경보를 위한 예측기술 개발 .....	115
제3절 돌발재해 예·경보 서비스를 위한 시스템 개발 .....	284
제4절 센서-네트워크 기반 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구 구축 및 운영결과 .....	328
제5절 돌발재해 예·경보시스템 활용 지역방재 전략 제시 .....	363
제6절 요약 및 결론 .....	378
제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도 .....	387
제5장 연구결과의 활용계획 .....	391
제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	392
제7장 연구개발 결과의 보안등급 .....	392
제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....	392
제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 .....	392
제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	393
제11장 기타사항 .....	394
제12장 참고문헌 .....	395

# 제1장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발 목적

본 연구개발의 최종 목표는 농업·농촌 시설 (수리·농업 시설 및 주택 포함)의 돌발재해 (홍수, 산사태, 토석류 포함)의 발생에 대비한 안전성 제고를 위한 안전망 (Green-Safety) 통합기반기술을 개발함으로써 농업·농촌시설의 “안심” (ANSIM, ANti-risk System of abrupt natural disasters as an Integrated Model)체계를 구축하는 데 있으며, 인지, 예비, 경보, 대응 등 방재체계 단계별 목표는 다음과 같다.

1. (인지) 돌발재해 피해 유형구분 및 위험잠재능을 평가하고 구조적·비구조적 예방대책을 조사·분석함으로써 장기적인 방재대책 책정 및 방재대책 개선에 기여하고자 함
2. (예비) 초단기 기상예보를 활용한 돌발재해 예보 플랫폼을 구축함으로써 인명·재산 피해에 대해 사전 예방에 기여하고자 함
3. (경보) 센서-네트워크 기술 개발을 통한 돌발재해 경보체계를 구축함으로써 재해 발생시 실시간 정보제공으로 국민 안전에 기여하고자 함
4. (대응) 농업·농촌 시설에 적합한 돌발재해 대응 방재 정책 및 규정(안)을 작성함으로써 방재대책 실무에 활용하고자 함

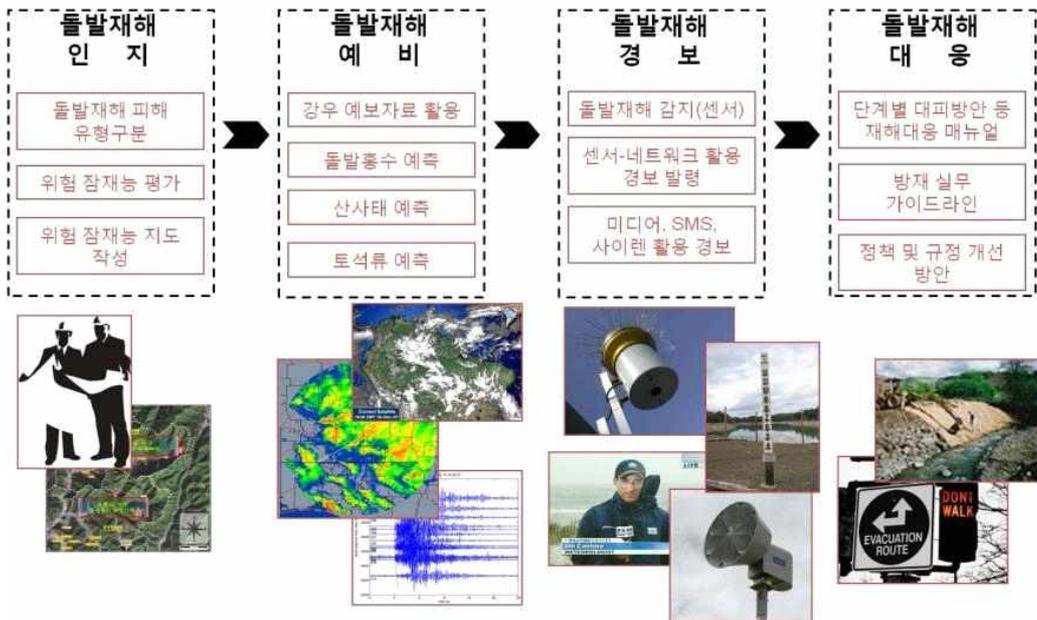


그림 1-1-3 | 안심체계 구축을 위한 단계별 방재체계

## 제2절 연구개발의 필요성

### 1. 연구의 배경

#### 가. 막대한 돌발재해에 따른 피해

돌발재해는 단기간의 기상현상으로 인하여 발생하는 자연재해를 의미하며, 주로 국지적인 급경사 지역에서 짧은 반응시간동안에 발생하는 재해로 예측이 어렵다는 특징이 있을 것으로 있다. 가장 대표적인 돌발재해로는 돌발홍수가 있으며, World Meteorological Organization은 상대적으로 높은 침투유량과 함께 발생하는 짧은 지속시간의 홍수라고 정의하고 있으며, American Meteorological Society에서는 국지성 집중호우에 대하여 거의 경보가 없는 상태에서 급속하게 발생하는 홍수로 정의하고 있다.

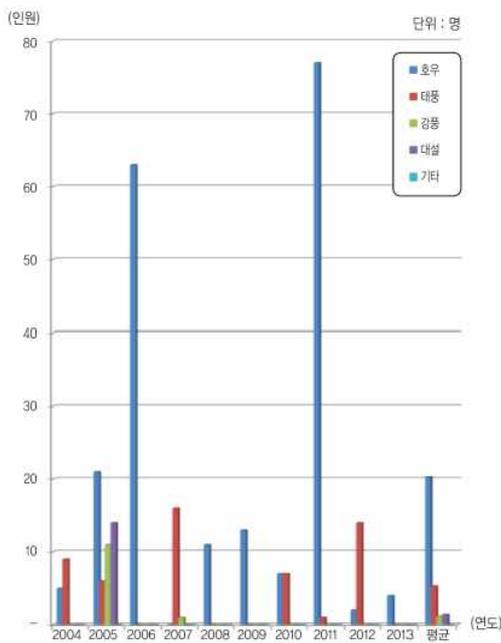


그림 1-2-4 | 최근 10년간 원인별 인명피해(사망·실종) 현황

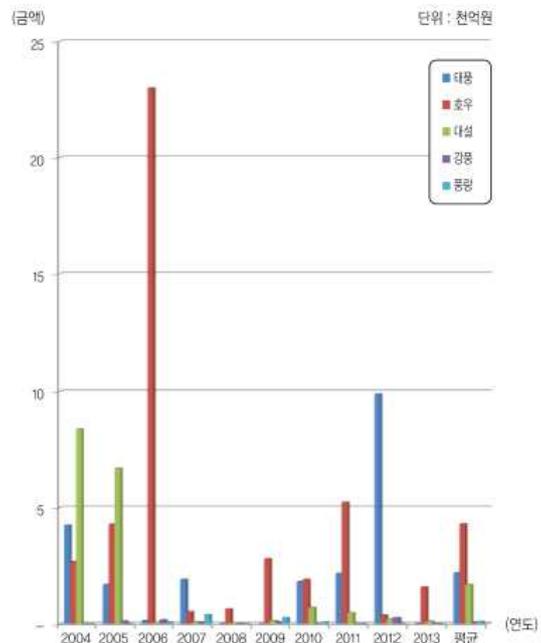


그림 1-2-5 | 최근 10년간 원인별 피해액

폭풍, 홍수, 해일, 지진, 산사태 등 자연현상으로 생기는 인명피해, 재산손실 및 시설물 피해액을 살펴보면, 최근 10년간 (2005~2014년) 연평균 인명피해는 27명, 재산피해는 6,944억 원에 달하고 있다. 피해원인을 보면 대부분의 피해가 태풍 및 호우에 의한 것으로 나타났다. 태풍에 의한 대부분의 피해가 호우에 의한 것이라고 보면 호우에 의한 인명 및 재산피해가 대부분을 차지하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 호우가 발생시키는 대표적인 돌발재해가 홍수와 산사태로 판단된다.

2011년의 경우 824 ha에 달하는 산사태로 인하여 총 43명의 인명피해와 1,480억 원의 산림분야 총 복구비용이 소요된 바 있고, 2013년에는 이보다 감소하였으나 312 ha의 산사태가 발생하여 3명의 인명피해가 발생하였다 (통계청).

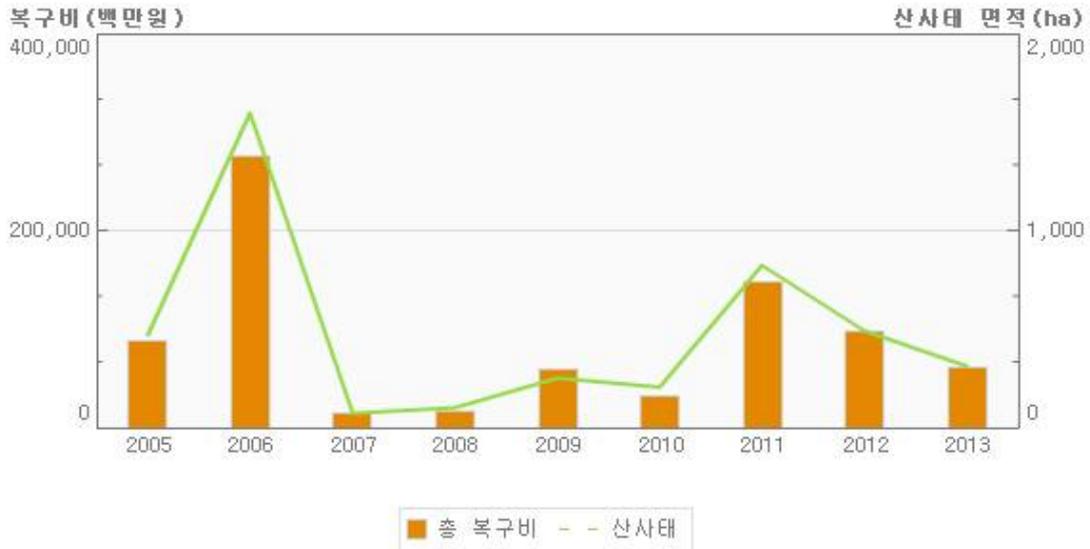


그림 1-2-6 | 산사태 피해 및 복구비 현황

2011년 7월에 발생한 우면산 산사태 및 토석류 피해 사례에서와 같이 적기에 주의보와 경보를 인근 주민들에게 발령함으로써 상당수의 인적 및 물적 피해를 예방할 수 있었을 것으로 보고 있다. 한편, 최근 여가생활에 대한 국민들의 관심 증대 및 삶의 질 향상에 대한 욕구로 인하여 주거시설 및 여가시설이 농촌 마을에 상당수 새로 건설되고 있으며, 농촌에 새로 들어서는 시설들은 시설비의 절감을 위하여 목조식, 조적식의 약한 구조로 건설되는 경우가 많고, 건설하는 과정에서 상부의 지반이 약해질 수 있으며, 이러한 상황에서 주로 휴가철인 7~8월경의 국지성 집중호우로 인한 돌발재해의 발생 시 막대한 인명의 피해가 예상되며, 실제로 2011년 7월 춘천에서 일어난 산사태 및 토석류로 인하여 펜션이 매몰되어 13명의 인명피해와 다수의 사상자가 발생한 바 있다.

최근 국내 돌발재해 발생현황을 파악하기 위하여 2009년~2011년 사이의 재해연보를 분석, 태풍을 제외한 집중호우로 인해 발생한 재해현황을 조사한 결과는 표 1-1과 같으며, 대체로 7월~8월사이의 발생하는 집중호우에 의하여 많은 인명피해 및 농업·농촌시설의 재산 피해가 발생하였다. 농업·농촌시설에 대한 재해 피해의 60.6 %는 집중호우에 의하여 발생하였으며, 나머지 25.3 %는 태풍에 의하여, 14.0 %는 대설에 의한 피해로 집계되고 있다. 2011년에 발생한 재해에 의한 피해액은 약 7,942억 원으로 집계되었으며, 그 중 농업·농촌시설과 관련이 있는 주택, 농경지, 상하수도 시설, 수리시설, 사망시설, 축사, 비닐하우스, 수산증양식, 어망, 어구 등에 대한 피해 규모는 약 2,400억 원으로 총 피해의 약 30.2 %를 차지하는 것으로 나타났다.

표 1-2-1 | 집중호우로 인한 최근 국내 발생 재해 피해현황

발생시기	발생지역	기상개황	인명피해	재산피해
2009.7.7.~7.8.	전남나주, 화순 등 4개도 33개 시군구	최대 312.5 mm 시우량 107 mm	사망 2명 이재민 1,503명	210억원
2009.7.11.~7.16.	경기, 강원 등 13개시도, 165개 시군구	시간당 70 mm 3시간이상 지속, 평균 300 mm 내외 시우량 81 mm	사망 9명 실종 1명 이재민 10,411명	2,302억원
2010.7.16.~7.18.	경남 합천군 등 9개시도 28개 시군구	12시간 지속강우량 256 mm (합천, 142년 빈도)	이재민 280명	108억원
2010.7.23.~7.24.	보령, 부여, 서천, 청양등 4개시도 18개 시군구	12시간 지속강우량 296 mm (보령, 70년 빈도) 시우량 93.5 mm	사망 3명 실종 1명 이재민 839명	210억원
2010.8.13.~8.18.	전북, 전남, 경남 등 12개시도 96개 시군구	일 최고 485.5 mm (장수) 시우량 72.5 mm	사망 1명 이재민 2,917명	851억원
2010.9.21.~9.22.	수도권 등 7개시도 68개 시군구	시우량 98 mm	사망 2명 이재민 64,752명	593억원
2011.7.7.~7.16.	15개 시도, 137시군구	일최대강수량 305 mm (고흥)	사망 9명 실종 1명 이재민 1,425명	1,354억원
2011.7.26.~7.29.	중부지방, 12개시도, 100개 시군구	일최대강수량 449.5 mm (동두천)	사망 61명 실종 6명 이재민 63,885명	377억원

재해 유형에 따라서 주택, 농경지, 상하수도시설, 수리시설 등과 같이 농촌기반 시설의 경우 집중호우에 의한 피해가 높게 집계되었으며, 농작물의 피해는 호우보다는 태풍에 의한 피해가 크게 발생한 반면, 축사와 비닐하우스와 같이 농축산물의 생산에 관한 시설은 호우나 태풍보다는 대설에 의한 피해가 높게 집계되었다.

이와 같은 결과를 통하여 농업·농촌시설의 재해에 대한 방재계획을 수립하는데 있어서 지역에 따른 농업생산기반시설, 농작물, 축사와 비닐하우스 등 대상에 따라 차별화된 맞춤형 방재 계획을 수립하는 것이 중요함을 알 수 있다.

표 1-2-2 | 재해별 농업·농촌시설관련 재해피해현황 - 2011년

	피해액 (백만)	태풍	호우	대설
건물	28,136	4,211	23,126	799
농경지	15,404	4,066	11,339	
상하수도	11,911	3,211	8,700	
수리시설	47,437	14,008	33,429	
사방	84,932	20,080	64,853	
축사	10,183	1,199	1,115	7,869
수산증양식	11,074	8,355	704	1,741
어망,어구	2,839	1,106	133	1,600
비닐하우스	27,620	4,364	1,798	21,458
총액	239,536(총 피해의 30.2%)	60,600	145,197	33,467



농경지유실 (합천군 목촌천 2010.7.18.)



사찰피해 (남원시 산동면 2010.8.18.)



축사 피해 (남원시 산동면 2010.8.18.)



비닐하우스 피해 (태안군 원북면 2010.9.3)

그림 1-2-7 | 2010년 국내 피해사례(소방방재청 재해연보)



펜션의 토석류 피해 (춘천, 2011. 7.27.)



토석류 피해 (서울시 서초구 2011.7.29.)



주택 침수 (여주군 금사면 2011.7.29.)



소하천 피해 (순천시 낙안면 2011.8.10.)

그림 1-2-8 | 2011년 국내 피해사례(소방방재청 재해연보)



산사태 피해 - 강원도 철원군 갈말읍



산사태 피해 - 강원도 춘천시 서면



농경지 피해 - 경기도 이천시 백사면



농작물 피해 - 경기도 양평군 양평읍

그림 1-2-9 | 2013년 국내 피해사례(소방방재청 재해연보)

#### 나. 기후변화에 따른 극치 기상현상 출현 증가로 돌발재해 피해 증가 예상

지구온난화로 인한 기후변화에 관한 연구에 따르면 최근 지구온난화의 징후가 매우 뚜렷하고 강우강도는 증가할 것으로 예측되며, 매년 발생하는 극한수문사상으로 인한 피해도 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다. 특히 산지에서의 돌발홍수 및 산사태로 인하여 토석이 물과 함께 하류로 세차게 밀려나면서 표층의 토사, 나무, 바위 등을 동반하여 하류로 떠내려가는 토석류 (Debris Flow)를 형성하게 되며, 우리나라 산지는 토심이 얇고 수목의 생장이 양호하여 상대적으로 지상부에 바이오매스가 많아 집중 호우 시 산사태로 인한 토석류 피해가 발생하기 쉽다. 토석류는 돌발적으로 발생하며 엄청난 파괴력을 지니고 있어 넓은 면적을 대상으로 막대한 인명 및 재산 피해를 야기할 수 있다.

우리나라의 최근 10년간 (1999~2008년) 1일 100 mm 이상 집중호우의 발생빈도는 총 385회로 70~80년대 222회에 비해 무려 1.7배나 증가하였으며 이상기후로 인한 국지성 폭우로 각종 피해가 커지고 있는 추세이다 (김병식 등, 2012). 이러한 원인으로서는 기후변화와 변동이 기정사실로 인정되고 있으며, 재해의 증가 및 피해의 규모와 빈도가 전 세계적으로 증가하고 있는 실정으로, 최근 강우의 양상이 소규모 국지성 집중호우의 형태로 변화하여 빈번한 돌발재해를 야기하고 있는 상황이다.

#### 다. ICT 기술의 발달

최근 데이터 전송기술 발달로 실시간 모니터링이 가능한 감시 인프라의 구축 가능하고, 스마트폰 및 블루투스를 이용한 스마트-센서 관련 시장이 확대되면서 가속도센서, 자이로센서, 압력센서, 광센서, 온도센서, 이온센서, 화학센서 등이 집적화 (소형화)되고 가격이 저렴해짐에 따라 기존 고가의 경사계, 간극수압계, 토양수분계를 대체할 수 있는 기술이 개발되고 있다. USN (사물통신, Ubiquitous Sensor Network)과 같은 무선통신기술의 개발로 농촌 지역과 같은 광범위한 감시체계를 구축해야 하는 지역에서 최소한의 손실로 데이터를 전송할 수 있는 기술이 개발되었으며, 특히, 기존의 계측 및 모니터링 방법은 근거리 무선통신을 통해 데이터를 수집하고, 고가의 CDMA (Code Division Multiple Access) 통신 기술을 통해 중앙의 데이터 센터로 자료를 전송하였지만 최근 무선기술은 별도의 통신망 이용 없이 자체적으로 5~30 km의 통신반경을 제공해 줄 수 있어 경제적인 시스템 구축이 가능하게 되었다. 센서 및 통신모듈의 집적화에 따라 계측기의 저전력 구조 개발이 가능해져 작은 배터리 용량으로 장시간 운용이 가능해 졌으며, 또한 태양력, 풍력, 지열 등을 이용한 자가발전 센서기술이 개발됨에 따라 계측기의 활용도가 높아지고 있다. 6LoWPAN (IETF 워킹 그룹)과 같이 저전력 무선 사설 네트워크 (Low-power Personal Area Network), 센서 네트워크 상에서 양방향 All-IP 통신을 지원하는 기술이 개발됨에 따라 다양한 센서를 설치·운영·통신·관리 할 수 있는 기술이 개발되고 있으며 최근에는 기상의 예·경보를 비롯하여 홍수, 토석류 등의 감시, 방재행정 무선을 비롯한 정보통신 네트워크 등을 여러 분야에 다양하게 쓰이고 있다.

## 2. 연구의 필요성

앞서 살펴본 바와 같이 반복적인 재난으로부터 인명과 재산을 보호하기 위해 농업·농촌 시설에 적용가능한 과학적인 분석과 체계적인 방재대책이 필요한 시점이다. 특히 돌발홍수, 산사태, 토석류에 의한 농업·농촌시설의 피해가 증가됨에 따라 대책마련이 필요하나 재해 피해 저감, 재해원인 규명, 피해복구 및 보상 등의 종합적인 대책마련이 부족한 실정이다. 농업 농촌시설의 재해 위험성 평가 및 방재기준을 마련하고, 피해 저감기술의 개발이 시급하다. 또한 돌발재해 발생 시 조기경보를 통한 인명대피 등 피해저감 기반기술 개발이 필요하며 이를 기준으로 돌발재해 유형별 재해 대응 매뉴얼 및 실무 가이드라인 등이 필요한 상태이다. 방재에 관한 여러 가지 정보를 분석, 처리하여 정확하게 전달하는 것은 방재관계 기관이 수행하는 방재대책활동을 효과적으로 추진하는 데에 필수 불가결한 요소이며, 일원화된 통합 방재체계 마련이 시급히 필요하다.

이에 기존의 돌발홍수, 산사태 및 토석류 경보 시스템의 경제적, 운영적 한계를 극복하는 새로운 유형의 센서를 개발하고, 국내의 IT 기반의 강점을 살려 다수의 센서를 효율적으로 통제할 수 있는 네트워크 시스템을 개발하고 효과적인 경보 시스템을 구축하여 농업·농촌 시설에 제공하고자 한다. 이와 같은 시스템은 추후 국내에 돌발재해 발생 위험이 높은 지역에 보급함으로써 농업·농촌시설의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단하며, 돌발재해가 빈번히 발생할 수 있는 동남아시아 및 중국 등 인근 국가에 보급 수출함으로써 국가 이미지 제고 및 국제경쟁력 향상에 이바지할 수 있을 것으로 사료된다.

## 3. 연구개발 범위

### 가. 연구과제 범위설정

「농어업재해대책법」에서 정의한 농업재해는 한해 (旱害), 수해, 풍해, 냉해, 우박, 서리, 조해 (潮害), 설해, 동해, 병충해, 그 밖에 농어업재해대책심의위원회가 인정하는 자연현상으로 인한 농림업용 시설, 농경지, 농림작물, 가축의 피해 (병충해의 경우 한해, 수해 등 상기 자연현상을 직접원인으로 하여 발생하는 병해충)를 농업재해로 정의하였다.

돌발재해 유형은 농업재해 중 피해액의 대부분을 차지하며 대표적인 돌발 재해 유형인 수해와 이의 2차적인 재해인 산사태 및 토석류를 본 연구의 범위로 설정하였으며, 돌발재해인 홍수, 산사태, 토석류로 인해 피해가 예상되는 수리·농업시설 및 주택 등을 포함한 농업·농촌시설을 본 연구의 재해예방 시설로 설정하였다.

### 나. 연구개발의 주요내용

연구 목표를 달성하기 위하여 위험잠재능 평가 (돌발재해 인지), 예보 플랫폼 구축 (돌발재해 예비), 조기경보시스템 구축 (돌발재해 경보), 대응 정책 및 규정안 (돌발재해 대응), 시범지구 적용 (적용성 평가) 등 5개 소과제로 구성하여 추진하였으며, 각 소과제별 주요 연구내용은 다음과 같다.



## 농업농촌시설의 돌발 재해 방재체제 구축

그림 1-2-10 | 연구 과제의 구성 체계

### 가. 농업·농촌시설의 돌발재해 피해 위험잠재능 평가

- 과거 돌발재해 이력 조사 분석
- 돌발재해 사례 분석을 통한 피해 유형 구분
- 피해 유형별 위험잠재능 평가 체계 개발
- 피해 유형별 돌발재해 위험잠재능지도 작성
- 피해 유형별 구조적·비구조적 예방 대책 조사 및 분석

### 나. 초단기예보를 활용한 돌발재해 예보 플랫폼 구축

- 초단기기상예보를 활용한 돌발재해 예보체계 확립
- 돌발재해 예보 플랫폼 개발
- 돌발재해 예보 플랫폼 운용 및 적용성 평가

### 다. 센서-네트워크 기술을 활용한 돌발재해 조기경보 시스템 구축

- 돌발재해 감지용 무선 센서노드 개발
- 농업·농촌 시설에 적합한 센서-네트워크 모듈 개발
- 계측정보 분석 및 통신기술을 활용한 조기경보시스템 구축
- 개발된 시스템의 신뢰성 확보를 위한 실내외 테스트베드 구축 및 적용

### 라. 시범지구 적용

- 초단기기상예보 연계 돌발재해 예보 플랫폼 적용 : 10개 시범지구 이상
- 센서-네트워크를 활용한 조기 경보시스템 테스트 베드 적용 : 2개 시범지구 (실제 적용), 8개 시범지구 이상(시뮬레이션 적용)
- 시범사업 지구의 적용성 및 신뢰성 평가

마. 돌발재해 대응 정책 및 규정(안) 마련

- 국내외 돌발재해 대응 정책/규정 조사
- 조기경보시스템을 활용한 방재 전략 수립(단계별 대피방안 등)
- 재해 시나리오별 방재 실무 가이드라인 작성
- 재해피해 저감을 위한 구조적·비구조적 대응 지침 작성
- 방재대책 적용을 위한 정책 및 규정 개선 방안 제시

다. 연차별 연구개발의 목표 및 내용

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2013	[위험잠재능 평가] ○ 과거 돌발재해 이력 조사·분석 ○ 피해 유형별 위험잠재능 평가 체계 조사	○ 과거 돌발재해 이력 조사 분석 ○ 국내외 농업농촌시설의 돌발재해 유형 분석 ○ 위험잠재능 평가 체계 및 정량화 기법 조사 ○ 관련 자료 조사 및 데이터베이스 구축
		[예보 플랫폼 구축] ○ 국내외 활용가능 초단기강우예측자료 선정 ○ 통계적 분석을 통한 돌발재해 방재기준 설정	○ 국내외 돌발재해 예보체계 조사 분석 및 개선방향 도출 ○ 국내외 활용가능 강우예측자료 검토 및 선정 ○ 국내외 돌발재해 예측모형 검토 및 선정 ○ 강우예측모형과 돌발재해 예측모형의 연계기술을 활용한 돌발재해 예보 플랫폼 구축 방안 마련
		[조기경보시스템 구축] ○ 돌발재해 조기 경보 무선센서 및 네트워크 기반 기술개발	○ 기존에 사용되는 상용 센서 조사 및 장단점 분석 ○ 국내 실정에 맞는 센서 모듈의 개발 방향 제시 ○ 돌발재해 감지를 위한 수위계측용 무선센서 모듈 개발 ○ 돌발재해 감지를 위한 산사태/토석류 감지 무선센서 모듈 개발 ○ 농업·농촌 현장에 적용 가능한 통신모듈 개발
		[대응 정책 및 규정안] ○ 국내외 돌발재해 대응 정책/규정 조사 ○ 농업·농촌 시설 적용 돌발재해 대응 정책 조사	○ 국내외 돌발재해 대응 정책 조사 ○ 돌발재해 관련 현행 시행법 조사·분석 ○ 돌발재해 발생 시 현재의 대응 방법에 대한 사전 조사 ○ 전문가 자문 등을 통한 대응전략 및 정책 수립 방향성 제시
		[시범지구 적용] ○ 초단기기상예보 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 적용 시범지구 선정	○ 초단기기상예보를 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 시범지구 선정 (10개 마을 이상) ○ 시범지구 기후·지형 자료 조사 및 과거 돌발재해 피해 사례 조사
2차년도	2014	[위험잠재능 평가] ○ 피해 유형별 위험잠재능 평가 체계 선정 및 개발 ○ 피해 유형별 돌발재해 위험잠재능지도 작성	○ 돌발재해 유형별 위험잠재능 평가 기법 선정·개발 ○ 시범지구에 대한 돌발재해 위험잠재능 평가 ○ 피해 유형별 위험잠재능지도 작성

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
3차년도	2015	<p>[예보 플랫폼 구축]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상청 초단기 예보를 연계한 돌발재해 발생가능 예보 플랫폼 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실시간 초단기 기상예보자료 연계방안 마련</li> <li>○ 돌발재해 위험지역 특성자료 데이터베이스 구축방안 마련</li> <li>○ 돌발재해 예측모형 연계방안 마련</li> <li>○ 돌발재해 예보 플랫폼 개발</li> <li>○ 플랫폼 적용을 위한 시범지구 선정 및 타당성 검토 (10개 마을 이상)</li> </ul>
		<p>[조기경보시스템 구축]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 센서-네트워크 기술 적용 조기경보시스템 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 센서 노드에 대한 현장 적용성 평가 (실내·외 실험)</li> <li>○ 돌발재해 감지 센서-네트워크 모듈 개발</li> <li>○ 센서-네트워크 기술을 활용한 돌발재해 조기경보시스템 구축</li> <li>○ 조기경보시스템 활용방안 마련</li> </ul>
		<p>[대응 정책 및 규정안]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조기경보시스템을 활용한 방재 전략 수립 (단계별 대피방안 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조기경보시스템을 활용한 방재 전략 수립</li> <li>○ 마을 유형별 및 재해유형별 대응 매뉴얼 개발</li> <li>○ 재해예방사업을 위한 주민참여 콘텐츠 개발</li> <li>○ 재해 위험성 및 대응전략에 대한 홍보 방안 구상</li> </ul>
		<p>[시범지구 적용]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초단기 기상예보 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 적용</li> <li>○ 센서-네트워크를 활용한 조기경보시스템 테스트베드 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초단기 기상예보를 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 시범지구 적용</li> <li>○ 센서-네트워크를 활용한 조기경보시스템의 테스트베드 적용 및 평가 (2개 시범지구 설치 운용, 8개 시범지구 이상 시뮬레이션 적용 평가)</li> <li>○ 조기경보시스템의 실제 운영 시 발생 가능한 문제점 도출</li> </ul>
		<p>[위험잠재능 평가]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 피해 유형별 구조적·비구조적 예방 대책 조사 및 분석</li> <li>○ 피해 유형별 예방대책 개선 방안 마련</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내외 농업농촌시설 방재시설 설치 사례 조사 및 특성 연구</li> <li>○ 기존 방재시설 효과 분석 및 개선방안 도출</li> <li>○ 피해 유형별 구조적·비구조적 재해예방대책 개선 방안 마련</li> </ul>
	<p>[예보 플랫폼 구축]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 돌발재해 예보 플랫폼 시스템의 운용 및 적용성 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예보 플랫폼 운용 자료 수집 및 분석</li> <li>○ 시범지구에서의 예보 플랫폼 정확도 분석</li> <li>○ 예보 플랫폼 효율적 운영방안 제시</li> <li>○ 예보 플랫폼 운영 매뉴얼 작성</li> </ul>	
	<p>[조기경보시스템 구축]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조기경보시스템의 적용성 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시범지구 적용 및 센서 모듈의 평가</li> <li>○ 시뮬레이션 실험을 통한 시스템 적용성 평가</li> <li>○ 조기경보시스템 운영 매뉴얼 작성</li> </ul>	
	<p>[대응 정책 및 규정안]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농업·농촌 시설의 돌발재해 방재 실무 가이드라인 작성</li> <li>○ 농업·농촌 시설의 재해피해저감 대응매뉴얼 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 방재실무 가이드라인 작성</li> <li>○ 재해피해저감 대응매뉴얼 작성</li> <li>○ 규정(안) 및 정책제안 수립</li> </ul>	
	<p>[시범지구 적용]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시범사업 지구의 적용성 및 신뢰성 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농업·농촌 시설에 대한 돌발재해 예보 플랫폼 적용성 평가</li> <li>○ 센서-네트워크를 이용한 조기경보체계 적용성 및 신뢰성 평가</li> </ul>	

## 제2장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 국내외 돌발홍수 관련 연구 현황

국내에서 수행한 돌발홍수에 관한 연구는 2000년대에 들어 홍수예보에서 각광 받기 시작한 레이더 강우자료를 적용하여 홍수 예경보 시스템을 개발하는 방향으로 진행되어 왔으며, 이와 관련하여 건설교통부에서는 2001~2003년 동안 “전국 강우레이더 설치 및 홍수예경보 시스템개선기본 계획 수립” 연구사업을 시행하여 전국 11개소에 첨단 강우레이더를 설치하여 홍수예보업무를 개선하는 기본계획을 도출하였다. 한국수자원공사에서는 2004~2006년 동안 단기 강수예측 방법론 및 유출예측 시스템을 구축하였으며, 한국건설기술연구원에서는 2005~2007년 동안 레이더 강우자료에 의한 돌발홍수 예보시스템인 F2MAP를 완성하였다. 기상청에서 생산중인 수치예보자료(GDAPS, RDAPS)의 수문학적 활용성에 관하여 검토한 결과 전반적으로 강수가 저평가되는 경향을 보였으나, 강수유무에 대한 정성적 판단은 비교적 정확하였고, 초기의 예보선행시간에서는 강수량예보의 정확성이 증가된다는 예비결론에 도달한바 있다. 그리고 이들 연구에서는 강우수치예보와 유출모형의 연계해석이 시도되었고, 예보선행시간에 따른 강우수치예보의 정확도를 정량적으로 확인할 수 있었다(한국수자원공사 2003). 기상수치예보자료의 초기 강수과소예보 및 단점을 보완하고 국지적인 대류성 강수예측을 위한 고해상도 지형효과를 고려한 진단적 강수예측기술(Qualitative Precipitation Forecast, QPF)도 연구되고 있다(Oh et al., 2004). 배덕호 등(2006)은 한계유출량(Threshold Runoff)과 특정 유역의 토양수분 상태 및 단기 기상예보 자료 등으로부터 한 강유역의 돌발홍수능(Flash Flood Guidance, FFG)을 계산할 수 있는 한국형 돌발홍수 예경보시스템을 개발하였다. 김병식 등(2007)은 GIS, 레이더 그리고 수문지형학적 기법에 근거를 가지는 돌발홍수 모니터링 및 예보 모형인 F2MAP 모형을 개발하였다. F2MAP 모형은 크게 (1) 레이더 강우 산정 모듈 (2) 지형분석을 위한 GIS 모듈 (3) 한계유출량과 돌발홍수 기준 산정을 위한 수문학적 모듈의 세 부분으로 구성되어 있다.

국외에서는 현재 레이더자료와 지상관측자료를 함께 사용하는 Data Merging, 인접 관측소의 공간적 분포를 이용하여 특정 지점의 강우를 생산하는 Interpolation, 그리고 지상 강우자료의 결측을 효과적으로 대체할 수 있는 결측치 처리까지 다양한 분야의 연구가 이루어지고 있다. Merging 기법을 다룬 논문을 살펴보면 Chiang 등(2007)이 지상 자료와 레이더 강우자료의 가중치를 이용한 병합기법을 제안하였고 태풍에 매우 유용한 결과를 제공한다는 것을 확인하였다. Smith 등(2007)은 2003년부터 2005년까지 발생한 36개의 태풍 사상에 레이더 자료 및 지상 자료를 이용해 각각 분석하였는데 작은 유역에서 레이더 자료가 더 효율적으로 돌발홍수를 표현한다는 사실을 밝혔으며 논문의 마지막에 Merging 기법을 소개하였다. 미국의 국립기상청인 NWS는 지방정부들로부터 지방홍수 예·경보를 위한 지원업무와 관련하여 끊임없는 요구를 받고 있으며 이를 수용하여 미국 전역을 대상으로 하는 홍수 예·경보시스템과 병행하여 지역단위의 홍수예보업무 지원을 위한 LFWS(Local Flood Warning System)를 개발하게 되었다. LFWS는 미국의 군소 지역단위(County, City, Community 등)를 기반으로 하고 있으며 자원봉사자, 강우관측소, 수위관측소, 홍수예측을

위한 수문모형, 수문모형의 운영체제, 이동통신 네트워크와 이를 담당하는 운영자(Local Coordinator)로 구성되어 있다. 미국 전역을 대상으로 하는 경우에는 20,000개소의 LFWS가 소요되는 것으로 조사되었으나 최근까지 NWS는 미국 전역에 걸쳐서 4,000개의 Community에 이와 같은 LFWS를 구축하고 있으며 지역단위 수문관측 장비의 부족 및 예산상의 이유로 인하여 미국 전역에 걸친 LFWS의 운영은 불가능한 것으로 보고되고 있다. 특히 수문관측 자료의 부족과 함께 지역단위 홍수예보를 하는 경우에 국지성 집중호우 및 유역의 짧은 예보시간(Forecast Lead Time)등과 같은 기술적인 문제로 인하여 최근에 와서는 LFWS보다는 돌발홍수 예·경보(Flash Flood Guidance, FFG)를 통한 지역단위 홍수예보에 초점을 맞추고 있는 실정이다. 지역단위 홍수예경보인 LFWS는 운영체제의 구조에 따라서 수동시스템(Manual Self-Help LFWS)과 자동시스템(Automated System)으로 구분되며 최근에 와서는 수동시스템 보다는 자동시스템의 의존율을 높이고 있다. 특히 자동화시스템으로는 ALERT(Automated Local Evaluation in Real Time) 시스템과 IFLOWS(Integrated Flood Observing and Warning System) 및 FFG가 있다.

## 제2절 국내외 돌발홍수 예경보 시스템 기술 현황

한강홍수통제소는 “강우레이더를 이용한 돌발홍수예보시스템 개발” 사업을 통해 우리나라의 강우특성을 반영하여 한국형돌발지수를 개발하고 Web기반의 강우레이더를 활용한 돌발홍수예보시스템을 개발하고 안성천 등에 시범운영하고 있다.

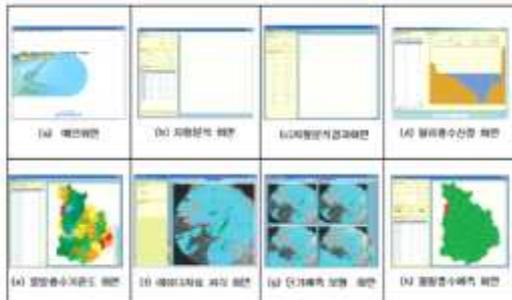


그림 2-2-1 | 돌발홍수 예보시스템 화면 (김양수, 2006)

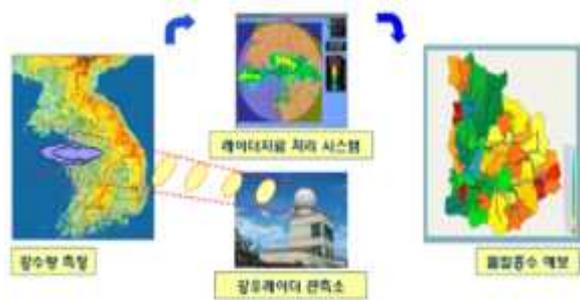


그림 2-2-2 | 돌발홍수 예보시스템 체계 (한강홍수통제소)

배덕효 등 (2007)은 유역의 토양수분 상태, 한계유출량, 레이더 및 단기 기상예보 자료 등으로부터 실시간 돌발홍수능(Flash Flood Guidance, FFG)을 계산하고 돌발홍수 경보(warning)과 주의보(watching) 절차에 따라 돌발홍수를 예·경보 할 수 있는 한국형 돌발홍수예경보시스템(KoFFG)을 개발하였다.

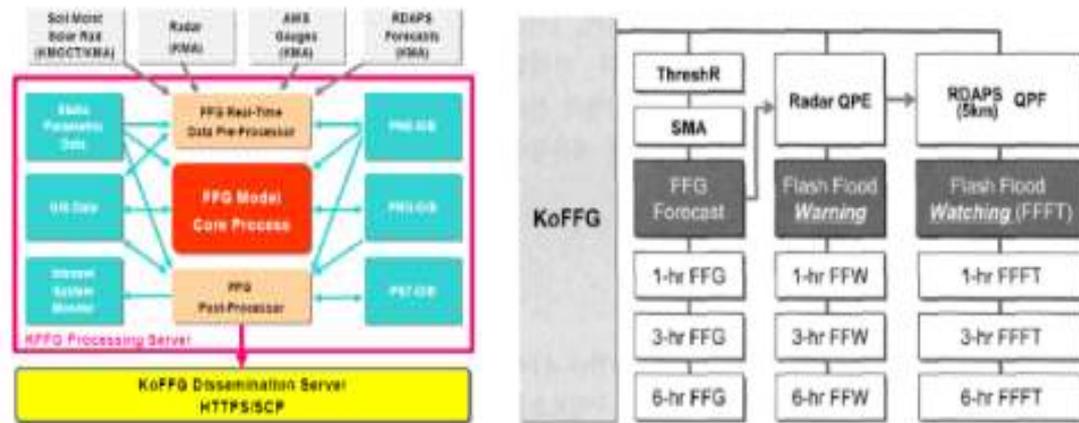


그림 2-2-3 | 한국형 돌발홍수 예경보시스템(KoFFG) 구성도 (배덕효와 김진훈, 2007)

소방방재청 방재연구소에서는 기상청의 초단기 강우예측모형인 MAPLE 자료를 기반으로 한 산지돌발홍수예측시스템을 개발하고 돌발홍수 위험지역을 선정하여 각 지역별 경보발령 기준 설정을 통해 예·경보하는 시스템을 구축하고 시범적으로 운영하고 있다.



그림 2-2-4 | 산지돌발홍수예측시스템 및 메신저를 통한 예경보 전송 (정재학 등, 2011)

산림청은 산림공간정보서비스(Forest Geographic Information Service, FGIS)를 통해 산사태위험지관리시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 산사태위험지역의 체계적인 관리와 재해예측 및 대책수립 등의 의사결정을 지원하는 시스템으로 C/S환경 및 WEB환경으로 구축하였다. 산사태 일반정보, 실시간 산사태 예보제 실시, 산림행정 관련 대장정보 DB 및 WEB GIS를 이용한 전국 산림지역의 산사태 발생 위험등급 서비스 제공을 위해 산사태정보시스템을 운영하고 있다. 기상청 강우자료(동네예보)와 권역별 산사태 토양함수지수 등을 분석하여 읍·면·동단위로 예측정보를 Web으로 제공하고 있으며, 국립산림과학원에서 2012년에 새롭게 작성한 로지스틱 회귀분석을 이용한 산사태판정식에 근거하여 새롭게 제작된 산사태위험지도(축척 1/5,000)를 제공하고 있음. 산사태위험지도는 전국의 산림을 대상으로 집중강우 등 산사태유발요인이 작용할 경우, 산사태 발생이 진행될 가능성이 높은 지역을 위험순으로 5등급으로 구분하고, 산사태위험예측정보는 2012년 국립산림과학원에서 작성한 탱크모델과 전국 10개의 권역별 기준강우지수와 기상청에서 제공하는 실측 및 예측 강우자료(5km×5km)를 활용하여 산사태위험예측정보를 분석하고 있음. 산사태위험예측정보는 산사태주의보와 경보로 구분되어 분석되며, 시군구 산지재해담당자 및 관련 기관에 제공함으로써 효과적인 산사태 대응방안을 수립할 수 있도록 지원한다.

미국에서는 지역 단위의 효과적인 홍수 예·경보를 위하여 통합홍수관측 및 경보 시스템(Integrated Flood Observing and Warning System, IFLOWS)이 1978년에 국가 돌발홍수개선계획(National Flash Flood Program Development Plan)의 일환으로 제안되었음. IFLOWS 프로그램의 목적은 지역의 돌발홍수로부터의 생명과 재산 그리고 경제적인 피해를 줄이자는데 있으며, 초창기 NWS와 미국 아팔라치아지역의 돌발홍수관리를 위해 구축되었다. 1979년에는 버지니아, 서부 버지니아와 켄터키 주의 경계에 있는 3개 주와 12개 카운티로 시스템이 확장되었으며 1981년에 전형(Prototype)프로그램이 완성되어 운영에 들어갔다. 최근에는 IFLOWS 프로그램이 알라바마, 코네티컷, 델라웨어 등의 22개 동부지역 주에 확장되어 지역홍수 예·경보를 위하여 사용하고 있고 또한 이는 자동홍수 경보시스템(Automated Flood Warning System, AFWS)망과도 연계되어 운영 되고 있다.

지역 및 산악, 그리고 도시 지역의 강한 호우로 인한 돌발홍수의 방어를 위하여 1969년 NWS 재해조사팀의 보고를 바탕으로 돌발홍수감시 및 경보체제를 최초로 구축하였다. 이러한 돌발홍수시스템은 13개의 하천 예보국(River Forecast Centers, RFC)에 의한 하천수위

예·경보 프로그램이 미치지 못하는 지역 및 유역에 우선 예·경보 업무를 제공하고, 융설로 인한 단기간 홍수문제가 있는 지역에 예·경보를 제공하며, 하천홍수 예·경보 시스템이 있는 곳이라도 강우에 특히 민감한 지역에는 이 예·경보 시스템을 제공함을 목적으로 함. 돌발홍수 감시 및 경보 프로그램은 하천정보국의 하천수위 예보지역이 아닌 유역에 단기 융설홍수를 경보하는 수단이다.

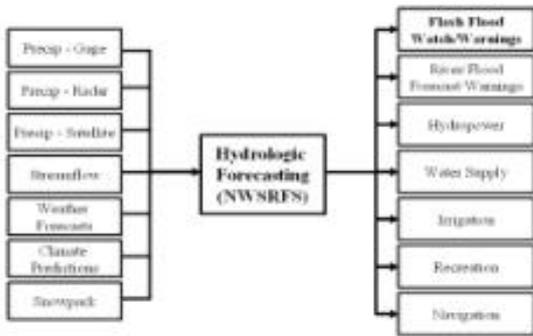


그림 2-2-5 | 미국 NWS 홍수 예경보시스템



그림 2-2-6 | 미국 돌발홍수예측시스템 구성요소

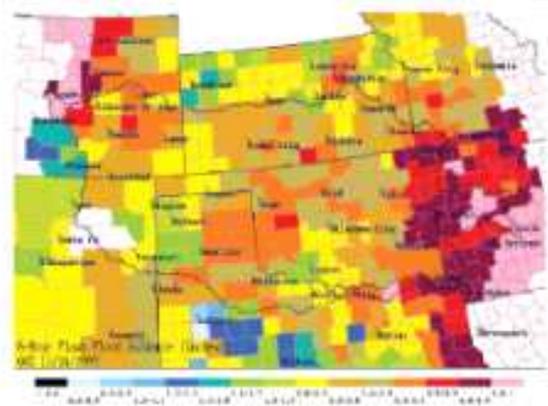
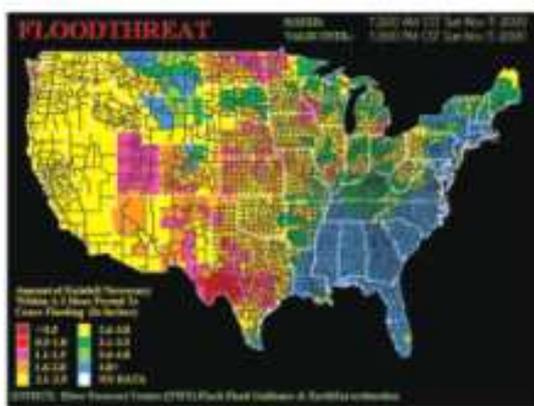


그림 2-2-7 | 미국 NWS 돌발홍수 예경보사례(배덕효, 2006)

일본에서는 국토교통성 강우레이더 및 T/M 자료를 이용하여 홍수예경보를 실시하며, 종합적인 홍수관리는 하천정보센터(Foundation of River and Basin Integrated Communications, Japan, FRICS)에서 실시하며, FRICS에서는 전국의 하천관리자나 시·정·촌, 매스미디어에 하천 유역의 정보를 제공하며 강우레이더, 광섬유 등의 최신 기술을 개발하고 있다. 호주에서는 전역을 8개의 지역으로 구분하며 기상 관측, 예보 및 경보시스템을 구축하였으며, 평균해수면 분석을 기준으로 호주 전역에 대한 총괄적인 수백 가지 기상자료들을 결합시켜 동시에 제시하는 것으로 이들은 매일 신문과 TV를 통하여 공개된다.

### 제3절 국내외 산사태 및 토석류 예측 및 예보기술 현황

건설교통부와 한국건설기술연구원이 공동으로 개발한 절토사면 유지관리 시스템(Cut Slope Management System, CSMS)은 일반 국도변의 절토사면을 감시하기 위한 시스템으로서 절토사면 지표부의 변위를 측정하기 위하여 신축계(Slope Movement Sensor)를 사용하였으며, 이 신축계는 절토사면의 안정영역과 불안정영역에 각각 설치되어 두 지점간의 거리 변동을 계측하여 붕괴의 진행상태를 파악하는 방법으로 구성되어 있다. CSMS는 정확한 계측 및 절토면의 붕괴에 대한 조기탐지가 가능하고, 무선원격 시스템에 의해 도로관리부서에 정보가 자동으로 전송되도록 하는 등의 장점이 있지만, 설치비용이 과다하게 소요되고 유지관리가 어려우며 도로절개면 등에 제한적으로 적용할 수 있는 등의 단점이 있다. 건설교통부 산하에 “낙석 및 산사태 방재연구단”이 구성되어 2005년~2010년 까지 통합사면관리 기술 개발, 광역산사태 저감기술 개발, 사면안정성 증대기술 개발 연구가 세부과제로 진행된바 있다. 김형우 등(2008)은 무선센서 네트워크를 이용하여 산사태 감지방법 및 정보발령 기준치를 설정하는 연구를 진행하였으며, 이 연구에서는 산사태를 감지하기 위해 진동센서(3축 가속도 센서, G-Link)를 이용하였고, 무선통신 기술로 Zigbee를 이용하여 테스트베드를 대상으로 무선센서 네트워크를 운용하였다. 3축 가속도 센서는 10cm 이하의 작은 사이즈의 센서를 통해 사면의 기울기, 변위 등을 측정할 수 있으며, Ad-hoc 기능의 센서 네트워크 기술을 적용하여 산악 지형에 센서를 설치하고 운용할 수 있는 기반 기술을 개발하였다는 데 의의가 있으나, 센서의 배터리 수명이 15일 내외이고 무선통신 반경이 50m를 넘지 않는다는 점에서 파일럿 시스템 정도의 한계를 가졌다.

미국 지질조사국(USGS)는 1997년 집중호우에 의해 네바다 북 캘리포니아의 50번 국도가 경사면 붕괴로 피해가 발생하자 전 국토의 붕괴우려사면을 대상으로 실시간 모니터링 시스템을 설치하였으며, 이 시스템은 일정 시간 간격으로 지오폰(geophone)을 이용한 지반의 움직임, 간극수압계를 이용한 지하수의 압력, 익스텐소메타(extensometer)를 이용한 사면의 거동을 계측하고, 사면의 거동이 감지될 경우 실시간으로 정보를 미국지질조사국에 전송하도록 구성되어 있다. 특히 지오폰은 토석류가 발생할 때 동반되는 진동과 소리를 감지할 수 있는 20~200Hz 범위의 진동감지센서를 채용하고 있으나, 이러한 시스템이 넓은 범위의 경사면에 설치되기 어렵고, 유지관리가 어려우며, 한국의 산악지형에 적합하지 않다는 단점이 있다. 일본에서는 암반사면의 붕괴예측을 위하여 음향방출(Acoustic Emission)이라는 비파괴방법이 사용되고 있는데, 이것은 암반이 파괴되기 시작할 때 발생하는 미세한 음향을 감지함으로써 붕괴를 예측하는 기법으로, 이를 위해 암반 내부에 높은 대역의 주파수 및 낮은 대역의 주파수를 각각 감지할 수 있는 센서를 설치한 후 어느 임계값 이상이 되면 자동으로 경보를 알리는 시스템 구조로 되어 있음. 이러한 방법은 암반사면의 붕괴에 대한 조기탐지가 가능하지만, 설치비용 및 유지관리비용이 과다하게 필요하고 설치 지반 특성에 따라 주파수의 파형 분석을 필요로 한다는 점에서 단점이 있다. 대만의 구분이산(九分二山)의 산사태지 복구 및 감시대책의 일환으로 산사태 하류의 계류에 광섬유를 이용한 토석류 감지센서와 초음파 수위센서를 설치하여 토석류 발생을 빠른 시간 안에 감지할 수 있도록 하고 있으며, 인공호 및 그 주변에는 수위 및 토양수분 센서를 설치하여 항시적으로 토양중의 물의 이동과 인공호의 수위를 감시하는 체계를 갖추고 있다. 현장에서 측정된 자료는 현장에 설치된 관측소에 저장되며, 위성전화를 이용하여 수도보지국의 감시소까지 전송된다.

## 제4절 본 연구개발의 위치

### 1. 돌발재해 예측모형

본 연구에서 다루는 돌발재해는 홍수와 산사태로 기상 특히 강우량에 의한 것으로 예측을 위해서는 기상예보자료를 필요로 한다. 국내에서 기상청에서는 총 20종의 수치예보 모델들이 하루 100여회 수행되고 있으며, 이 수치모델들은 하루에 약 1.7TB의 데이터를 생산함과 동시에 약 100,000장이 넘는 분석 및 예상 일기도들을 생산하고 있다. 이중 본 연구에서는 전 지구, 지역, 국지 예보모델 3가지로 나뉘는 예보모델 자료 중 해상도, 예측시간, 자료갱신주기, 용량, 가용성 등을 고려하여 국지예보모델자료(LDAPS; UM 1.5kmL70)이 적합한 것으로 판단되었으며, 강수량처럼 연직으로의 변화가 없는 단일 층에서 나타나는 기상요소가 필요함에 따라 국지예보모델의 단일면 자료를 사용하였다.

본 연구에서는 홍수량 추정 모형으로 TR-20모형을 선정하였다. TR-20 모형은 미국의 토양보전국에서 개발한 모형으로, 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양 특성과 식생피복상태 등에 대한 자료만으로도 직접유출량을 계산할 수 있으며, 하도, 저수지, 유역의 홍수추적과 유출수문곡선의 합성 또는 분리 등이 가능하도록 구성된 모형이다. 이는 본 연구에서 대상으로 하는 홍수 예·경보 대상지역이 소유역이고 수위·유량 자료가 미비한 지역이 대부분이기 때문이다. 산림청 등에서 운영하는 광역산사태모형은 이미 운영 중에 있으므로 이를 활용할 수 있으나 산사태가 발생하는 강우에 의한 침투 및 그에 따른 사면파괴의 물리적 거동을 반영하지 못하는 한계를 극복하기 위하여 강우 침투해석(Chu 모델)과 사면안정해석(무한사면해석)을 연동하여 적용하였다. 이는 산사태 안정해석에 있어서 많은 침투 및 강도 특성이 필요하다는 단점이 있으나 실제 산사태 발생기작을 반영한다는 장점이 있어 채택하였다.

### 2. 돌발재해 경보시스템

돌발재해 예·경보 시스템을 구축하고자하는 지역에 설치되는 센서-네트워크 기술에서 센서는 초음파 수위센서와 기울기센서를 적용하였으며 본 연구에서 개발한 센서를 사용하였고 적용성을 확인하였다. 전체적으로 농촌지역에 적합하도록 저비용, 저전력, 긴 통신거리가 가능한 proprietary network 기반의 수위 및 변위 감지 센서-통신 모듈을 개발하였으며, 통신환경이 열악할 경우 게이트웨이를 릴레이방식으로 연결하여 활용할 수 있도록 미들웨어를 구성하였다.

### 3. 돌발재해 예·경보 시스템의 차별성

본 연구에서 개발한 돌발재해 예·경보 시스템은 기상예보자료를 이용한 12시간 이후의 돌발재해 예측모형과 실시간으로 작동되는 경보시스템으로 구성되어 예측과 실시간 감시를 동시에 수행하도록 구축된 시스템이다. 기상예보자료가 갱신되면 과거 예측자료는 실시간 예측자료로 대체되며 지속적으로 강우 상황에 대처할 수 있고, 예측의 불확실성은 현장에 설치된 센서-네트워크 시스템으로 보완할 수 있도록 하였다. 센서-네트워크 시스템은 기존의 복잡하고, 고비용의 유지관리가 어려운 시스템을 배제하여 소유역에 저비용으로 적용할 수 있도록 개발하였다.

#### 4. 돌발재해 예·경보 시스템의 확장성

본 연구에서 적용한 기상예보자료를 이용한 예측모형과 실시간 감시시스템의 결합은 현재 개발된 홍수 및 산사태뿐만 아니라 예측기술과 계측기술이 결합될 수 있는 많은 농업·농촌의 재해(강풍, 강설, 한파 등)에 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 예측에 의한 사전의 대비가 가능하고 보다 정밀한 예측에 집중함으로써 현장의 실시간계측에 대한 부담을 줄일 수 있어 시설비용이 과다하게 되는 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제3장 연구수행 내용 및 결과

### 제1절 돌발재해 감지 센서-네트워크 기술 개발

제2차 국가안전관리기본계획 (2010~2014년)에서는 재난관리, 안전관리, 국가기반 보호체계 등이 중점적으로 제시되었으며, 특히 재난재해 및 안전관리에 대한 대책이 복구중심에서 예방중심으로 전환될 것을 명시하고 있다. 이에 따라 고속도로, 철도, 항구 등 국가기반시설과 해안, 산 등 자연재해 발생위험이 높은 지역에 대한 재난재해 예방을 위한 인프라 구축 및 연구사업을 활발히 지원하고 있다. 재난재해에 대한 예방적 인프라 구축을 위해서는 위험한 환경에서의 설치 용이성, 데이터 및 전원 공급을 위한 케이블 설치의 불필요, 고장 시 수리의 용이성, 조밀한 관측을 위한 저가형 모니터링 장비, 넓은 지역을 포괄할 수 있는 무선통신 지원, 저전력 또는 자가발전 모듈 등의 요구조건을 만족해야 한다.

본 장에서는 재난재해의 예방적 인프라 구축을 위한 무선 센서-네트워크 기술의 개발, 대표적인 재난재해로서 돌발홍수와 산사태를 조기에 탐지하고 경보할 수 있는 재해 경보 체계 구축 방법을 설명한다. 기존 재난재해 방재 센서는 국가기반시설을 중심으로 설치·운영되고 있다. 이러한 시설은 전력 및 통신 기반이 잘 갖추어져 있는 경우가 많고 특정 구역을 대상으로 하기 때문에 센서의 통신체계 및 전력공급 등의 문제를 상대적으로 쉽게 해결할 수 있었다. 그러나 농업·농촌 시설의 경우 통신, 전력공급 환경이 열악하고 설치가 어려우며 광범위 지역을 커버해야하며, 기존 센서에 비해 상당히 저렴한 가격으로 제작해야 하는 어려움이 있다. 본 연구는 농업·농촌 시설 보호를 위한 센서를 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 이를 위해 다음 요구사항을 만족할 수 있는 센서 및 통신 체계 구축을 목표로 하였다.

- 면단위 또는 군단위에서 운용할 수 있는 통신반경 지원
- 설치 및 유지보수가 편리한 형태로 개발
- 저가형으로 광범위한 지역에 설치할 수 있는 형태로 개발
- 실시간 데이터 전송 및 관리
- 산악지형에서 설치·운용 가능
- 별도의 전원 공급 없이 장기간 운용할 수 있는 형태
- 센서의 유실 및 망실에 효과적으로 대응할 수 있는 형태

#### 1. 돌발재해 대응분야 무선 센서-네트워크 기술동향 및 선정

무선 센서-네트워크를 간단히 정의하면 무선으로 작동하는 센서가 네트워크를 이루어 데이터 전송이 이루어지는 것을 말한다. 위키피디아는 ‘공간적으로 분산된 자동 센서들이 온도, 소리, 압력 등 물리적 또는 환경적 상태를 모니터링하고 이러한 센서들이 네트워크를 이루어서 그들의 데이터를 주요 위치로 전달하는 센서 네트워크’로 정의하고 있다.

무선 센서-네트워크 기술과 유사한 개념으로 사물인터넷(Internet of Things; IoT) 및 사물지능통신(Machine to Machine; M2M) 기술이 최근 빠르게 부상하고 있다. 사물지능통신(M2M)은 사물이 서로 간에 통신을 한다는 의미와 지능통신이 결합되어 있는 것으로, 사람

이 접근하기 힘든 지역에서 이동통신사가 사용하는 기존 셀룰러 주파수(800MHz~2.4GHz)를 활용하고 수십 km 내외의 센서간 통신을 지원하는 기술과 RFID/USN 기술과 같이 주로 홈네트워킹 분야에서 900MHz 주파수 대역을 사용하고 100m 이내에서 주로 활용되는 기술로 구분된다. 무선 센서 네트워크(WSN)는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)로 불리기도 하는데 USN이 WSN을 포함하는 개념이라고 할 수 있다. 한편 사물인터넷, 사물기반인터넷, 사물통신망 등으로 호칭되는 ‘Internet of Things’는 센서, 지능이 스마트폰과 같은 물리적인 소비자 장치 및 인터넷 등과 상호 연결되는 것으로 정의되고 있다. 이러한 개념으로 볼 때 무선 센서-네트워크 기술이 사물인터넷 또는 사물지능통신에 있어서 핵심을 이루고 있다고 볼 수 있다 (권오상, 2012).

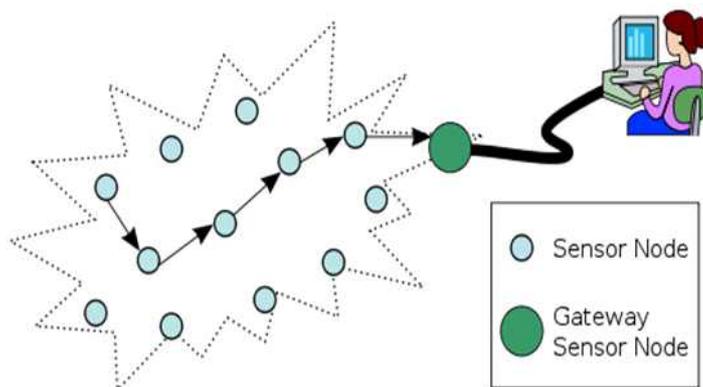


그림 3-1-1 | 무선 센서-네트워크(WSN) 개념도 (<http://en.wikipedia.org/wiki/File:WSN.svg>)

### 가. 무선 센서-네트워크 시스템 구성

무선 센서-네트워크 기술은 미국의 스탠포드 대학에서 구조물의 실시간 계측이 가능한 시스템을 개발하였고, 상용화된 제품으로 미국 버클리 대학에서 개발한 Mote라 불리는 소형 무선 센서 플랫폼이 그 시발점이 되었다. 또한 무선 센서-네트워크를 위한 운영체제로 미국 버클리 대학에서 개발한 TinyOS가 대표적이며, 국내에서는 전자통신연구원(ETRI)에서 개발한 Nano-QPlus가 기술 개발 초기 단계에서 많이 이용되었다. 센서 네트워크가 기존의 네트워크와 구분되는 점은 기본 목적이 상호간의 정보 전달보다는 자동화된 원격 정보의 수집에 있다는 것이다. 즉, 각 센서노드가 특정 목적을 위해 필요한 주변 정보를 모니터링하고, 센서노드 간의 무선통신(Wireless Communication)을 이용하여 응용 서비스 서버와 연결된 게이트웨이에 전달함으로써, 사용자가 특정 지역과 공간상의 정보를 보다 정밀하고 다양하게 원격으로 수집하여 활용할 수 있다는 것이다.

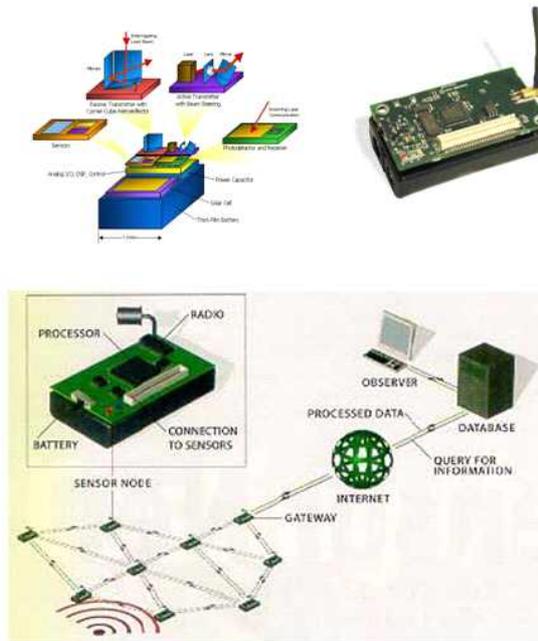
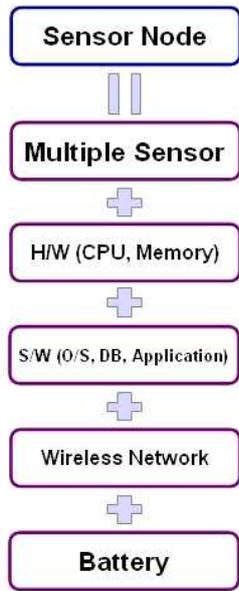


그림 3-1-2 | 무선 센서-네트워크 구조(김석우, 2007)

무선 센서-네트워크의 시스템 구성을 보면 크게 센서노드(H/W), 센서 플랫폼(S/W), 무선 네트워킹 그리고 응용 서비스를 위한 서버 시스템으로 구분할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 H/W 부분에 있어서는 미 국방성의 DRAPA 프로젝트의 지원에 따라 개발된 버클리 대학의 Mote 시리즈가 시초가 되고 있으며, 최근에는 개발환경을 간소화하고 저가형으로 센서를 개발할 수 있도록 한 Arduino가 가장 많이 이용되고 있다. 센서 플랫폼으로는 초창기 적은 용량으로 센서 운영체계를 구축할 수 있는 TinyOS가 많이 이용되었으며, 최근에는 고성능 칩을 이용하여 일반 Linux가 센서에 포팅되어 이용되기도 한다. 무선 네트워킹 기술로는 전통적인 RF 기술을 이용한 단거리 통신을 시작으로 3G, LTE 등의 기술을 이용한 장거리 통신이 이용되고 있으며 RFID, NFC, WiFi, Bluetooth, Zigbee, GSM, LTE 등의 다양한 기술이 현장 상황 및 통신 여건에 따라 선택·활용되고 있다.

#### 나. 센서노드 하드웨어

스마트 센서노드는 대부분 버클리 대학의 Mote 시리즈를 근간으로 개발되었다. 센서노드에 들어가는 CPU의 경우 ATmel, ARM, Motorola 등에서 개발되어 왔으며 최근에는 Intel, Cisco, 쉐컴 등의 거대 전자·통신 기업이 자체적인 플랫폼을 출시하고 있다. 초창기에서 현재까지 가장 많이 이용되고 있는 ATmel의 ATmega 시리즈는 고성능 RISC 비트 칩이면서 프로그램용 코드 메모리를 내장하고 있어 쉽게 반복적인 프로그래밍이 가능하기 때문이다. 일반적으로 무선-센서 네트워크를 구성하는 단말(센서-노드)은 크게 3개의 계층으로 분류될 수 있는데, 센서나 액추에이터 등과 같이 모니터링을 담당하는 Things 단말, Things 단말들의 데이터를 수집하여 인터넷으로 전송하는 게이트웨이급 단말, 그리고 수집된 대규모 데이터를 분석 및 처리를 담당하는 서버급 단말로 구성된다.

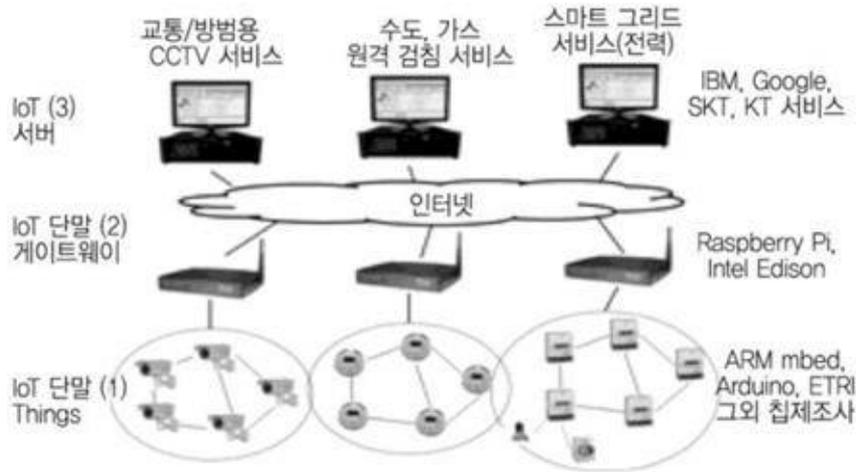


그림 3-1-3 | 무선 센서-네트워크 서비스에서의 단말 계층도

위의 그림에서 보인 것과 같이 대규모의 Things 단말이 하나의 게이트웨이급 단말과 연결되고 인터넷을 통해 서버로 연결되는 구조로 무선 센서-네트워크 서비스가 수행된다. Things 단말들은 자율적으로 네트워크를 구성하고 상호연동하여 데이터 수집이 가능하게 하는 저사양/저전력 기반 기술을, 게이트웨이급 단말은 Things 단말에서 오는 데이터를 수집하고 Things 단말 간 네트워크를 관리 및 이중 네트워크를 연동하는 기술을, 고성능의 서버급 단말은 데이터가 인터넷을 통해 전달되면 이를 분석하고 예측하고 대응할 수 있는 클라우드 기반 빅데이터기술을 포함한다. 이와 같은 3단계의 계층분류에 따라 센서-노드의 형태 및 구성이 달라져야 하며, 특히 말단 Things 노드는 저전력/저가형 개발이 필요한 반면에, 게이트웨이급 단말의 경우에는 상대적으로 고성능의 제품 구조를 갖추고 있어야 한다.

#### (1) 게이트웨이급 단말 플랫폼 동향

게이트웨이급 단말은 많은 데이터를 수집하고 처리하기 위해 상대적으로 고성능의 프로세서와 고용량의 메모리 및 다중 통신 모듈(인터페이스)을 탑재하는 방향으로 개발되고 있으며, 이를 구동하고 제어하는 운영체제도 하드웨어 사양에 맞게 안드로이드나 리눅스 등의 다기능 운영체제를 탑재하고 있다. 게이트웨이급 단말에서 주로 이용되는 플랫폼은 영국의 라즈베리파이 재단에서 보급하고 있는 저가형 RaspberryPI 플랫폼과 인텔에서 개발한 공개 플랫폼인 ‘갈릴레오’와 ‘에디슨’ 플랫폼, 그리고 퀄컴에서 통신과 서비스를 결합한 형태로 개발한 AllJoyn, AllPlay 서비스 플랫폼 등이 대표적이다. 게이트웨이급 단말 플랫폼 동향에 대하여 다음의 표에 요약하였다.

표 3-1-1 | 라즈베리파이 플랫폼

- ✓ 라즈베리 파이(Raspberry Pi)는 영국의 라즈베리 파이 재단(Raspberry Pi Foundation)이 교육목적으로 개발한 초소형 싱글 보드 컴퓨터로서, 기존의 데스크탑 PC와 유사하게 키보드, 모니터 등의 주변기기와 연결해 사용이 가능
- ✓ 라즈베리 파이는 700MHz ARM CPU와 그래픽 처리장치(Graphic Process Unit, GPU), 디지털 신호 처리 장치(Digital Signal Processor, DSP), SD램(RAM) 등이 탑재된 미국 브로드컴(BroadComm)사의 BCM2835 SoC를 기반으로 함
- ✓ 모델 A에는 256MB의 램이 탑재되며 1개의 USB 2.0 포트가 내장된 반면, 모델 B에는 512MB의 램이 탑재되며 2개의 USB 포트 및 이더넷 네트워크 기능도 내장되어 있다는 점에서 차이가 있음
- ✓ 아두이노와 마찬가지로 다양한 센서와 액츄에이터를 연결해 다양한 기능을 구현할 수 있는 가운데, 2013년 5월에는 전용 카메라 모듈도 발매하는 등 그 활용성을 점차 향상시켜나가고 있음
- ✓ 현재는 교육용 목적은 물론 다양한 부문에서 R&D 목적으로 활용되고 있어 단체의 수익도 증가 추세를 이어가고 있으나, 자선 단체로서 초기의 설립 및 단말 개발 목적을 달성하기 위한 활동의 일환으로 단말 기부 활동도 활발히 펼치고 있음



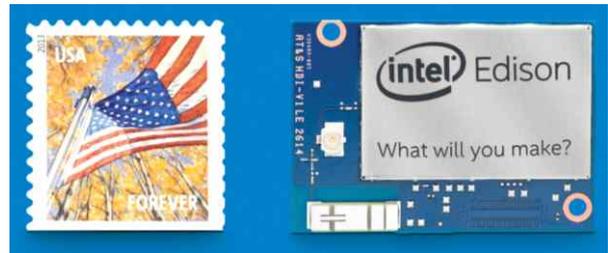
Raspberry Pi Model B (512MB RAM)

표 3-1-2 | 비글보드(Beagle Board) 플랫폼

- ✓ 비글보드(Beagle Board)는 라즈베리 파이와 유사한 소형 단일 보드 컴퓨터의 일종으로서, 칩 제조 벤더인 텍사스 인스트루먼트(Texas Instrument, TI)가 OMAP(Open Multimedia Application Platform) 3530이라는 SoC 프로세서를 기반으로 2008년 7월에 처음 출시
- ✓ OMAP 3530에는 720MHz의 ARM CPU를 비롯해 고속 비디오 및 오디오와 2D/3D 그래픽 처리장치가 탑재되어 있는 등 강력한 성능을 구현하고 있으며, 리눅스를 비롯해 안드로이드, 우분투(Ubuntu) 등 다양한 OS를 지원
- ✓ 2011년 10월에는 베어본 PC(bearbone PC) 개발 보드에 적합한 비글본(BeagleBone)을 내놓으며, 비글본은 TI의 시타라(Sitara) AM 3358 SoC를 기반으로 720MHz의 ARM CPU를 탑재했으며, 내장 이더넷 포트, PHY를 지원하는 USB, A/D 컨버터 등 수많은 다른 주변장치와 함께 제공되어 필요한 외부 부품의 수를 최소화하여 설계를 한층 간소화하는 것은 물론 판매 가격도 89달러로 인하여 대중화의 기반을 마련하고 있음

표 3-1-3 | 인텔의 에디슨 플랫폼

- ✓ WiFi, 블루투스 등 통신을 지원하는 SD 크기의 소형 및 초저전력 지원 개발 플랫폼으로, PC 및 스마트폰 뿐만 아니라 의자, 커피메이커 등의 제품을 대상으로 개발되었음
- ✓ 이 HW 플랫폼은 22nm 400MHz의 듀얼 코어 SoC(System on Chip)인 인텔 퀴크 프로세서를 탑재하고, 응용에 따라 메모리는 2GB까지 확장 가능하며, 센서와 같은 경량 단말인 아두이노와 연동 가능한 IA(Intel Architecture) 지원 Galileo 개발보드가 지원된다. 뿐만 아니라, 아두이노 연동 개발보드와 개발환경(IDE: Integrated Development Environments)을 50,000여 개 대학에 배포할 예정이며, 공개 지원 커뮤니티를 통해 제품의 개발 활성화를 추진 중임
- ✓ 에디슨 플랫폼의 장점은 라즈베리파이 플랫폼에 비해 성능이 고사양이며, 보드 구성을 자유롭게 할 수 있고, 배터리 소모가 매우 적은 단말용 센서 노드 플랫폼인 아두이노와 유사함
- ✓ 그러나 칩 형태로 출시되기 때문에 소량의 제품을 개발할 경우에는 PCB 모드를 개발하고 칩을 인스톨하기 위한 공정이 많기 때문에 개발 시간이 많이 걸리는 단점이 있음



인텔 에디슨 플랫폼

표 3-1-4 | 퀄컴의 서비스 플랫폼

- ✓ 2G 통신모뎀부터 통신의 강점을 가진 퀄컴은 자신의 칩 셋 기반으로 약 100종 이상의 휴대폰과 IoE(Internet of Everything) 에코시스템을 위한 연결 솔루션을 출시하고 있음
- ✓ 자동차 인포테인먼트와 디지털신호 응용을 위한 Snapdragon MSM8960, 텔레메틱스를 위한 MDM6600 및 스마트 미터링, 산업자동화 등을 위한 QSC6270 등 다양한 칩셋을 제공하고 있다. 개발환경으로 IoE SW/HW Development Platform을 통하여 IoE/M2M(Machine to Machine) 단말과 3G/4G infra 네트워크와 연동 관련 개발을 쉽게 할 수 있도록 지원하고 있다. 또한, IoE 단말 간의 seamless 연결을 위한 AllJoyn 서비스 플랫폼을 AllSeen Alliance 프로젝트를 통해 공개하고 있으며, 모든 사람에게 무선 오디오를 지원하기 위해 AllPlay 서비스를 개발 및 제공하고 있음
- ✓ 퀄컴의 서비스 플랫폼은 CDMA 또는 LTE 망을 이용해 비디오와 같은 대용량의 자료를 실시간 전송하기 위한 센서 개발에 강점이 있으나, 개발환경이 친숙하지 않고 오픈소스 하드웨어 정책을 제공하지 않기 때문에 개발 사례 및 예제를 쉽게 구할 수 없다는 점에서 많이 이용되고 있지 못함

(2) Things 단말 플랫폼 동향

Things 단말은 배터리 또는 태양광 자가발전을 통해 운용되어야 하므로 경량/저전력 기반 기술로 구성되는 것이 일반적이며, 일반적인 RF 통신 WiFi, Zigbee, CDMA, LTE 등의 통신방식을 지원한다. 게이트웨이 단말에 비해 데이터 처리 프로세스가 필요하지 않기 때문에 저사양으로 구성된다. Things 단말 플랫폼 동향에 대하여 다음의 표에 요약하였다.

표 3-1-5 | Arduino 플랫폼

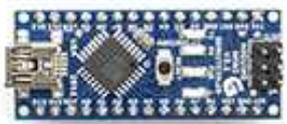
- ✓ 아두이노는 8비트 AVR CPU를 탑재한 저사양의 마이크로컨트롤러 보드이지만, 센서와 액츄에이터를 이용할 수 있는 여러 개의 디지털핀과 아날로그핀이 있고, 이를 통해 온도, 습도 등을 측정하는 다양한 센서는 물론 스피커, LED, 모터 등의 다양한 액츄에이터를 연결하는데 적합하다. 여기에 GSM, 와이파이, 이더넷 등의 통신 연결 모듈인 '셴드(Shield)'나 LCD 스크린, USB 어댑터(Adopter) 등의 악세서리를 결합시키면 아두이노의 활용도는 더욱 높아짐
- ✓ 다양한 OS도 오픈소스 기반으로 한 단일보드 마이크로 컨트롤러로 SW 개발환경(IDE)을 제공하며, 센서, LED, 모터 등의 외부 전자장치를 통제하는 제품을 개발할 수 있는 환경을 함께 제공하고 있다. 기본적으로 ATmel사의 AVR 기반으로 단일보드를 제공하였으나 현재는 Cortex-M을 이용한 제품도 많이 출시되고 있음
- ✓ 현재 아두이노의 HW 버전은 아두이노 듀이(Due)를 비롯해 디시밀라(Diecimila), 듀이밀라노브(Duemilanove), 우노(UNO), 레오나르도(Leonardo), 메가(Mega), 나노(Nano), 미니(Mini), 릴리패드(LilyPad) 등 다양하게 분화되어 있음
- ✓ 다른 OSHW에 비해 모델의 종류가 월등히 많으며, 그 사이즈도 매우 다양하기 때문에 여러 형태 및 규모의 제품 개발에 적용이 유리함



아두이노 UNO R3 (Duemilanoves)



아두이노 레오나르도 (Leonardo)



아두이노 Nano



아두이노 Micro

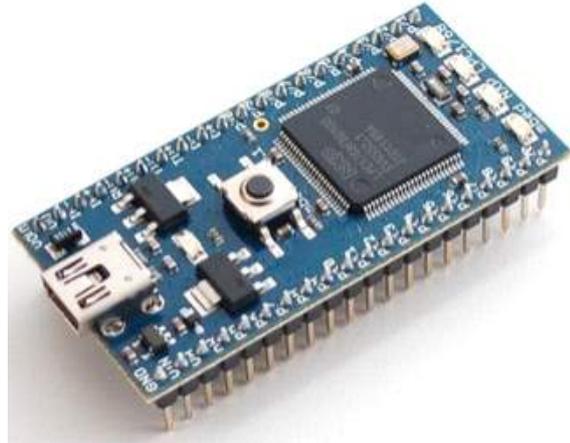
아두이노(Arduino) 제품 군

표 3-1-6 | Freescale 단말 플랫폼

- ✓ 개방형 개발 플랫폼인 이클립스(eclipse IDE) 상에서 FreeScale에서 개발한 다양한 MCU와 연동하여 구동되는 CodeWarrior SDK를 제공하며, PCB 보드 개발 전에 응용 SW를 개발하고 성능을 점검하기 위한 HDK를 제공하고 있음
- ✓ 아두이노 보드와 연동 가능한 센서(MMA8652 가속센서, FXAS21000 자이로센서, MAG3110 3축 자기센서, MPL3115A2 압력센서, FXOS8700 6축 센서 등)를 확장하여 개발할 수 있는 Freedom Development Platform 환경을 제공하고 있음

표 3-1-7 | ARM Mbed 프로젝트

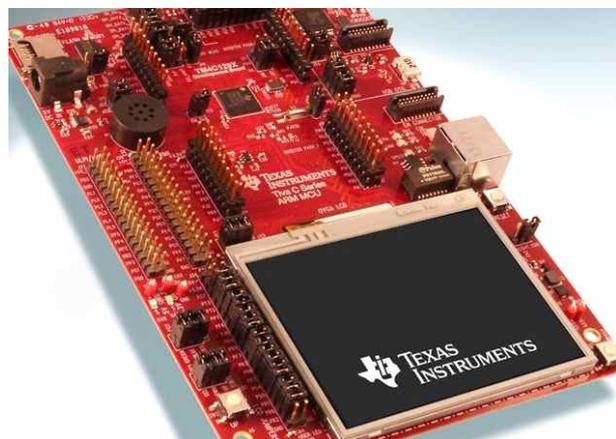
- ✓ 모바일 CPU 시장의 강자인 ARM에서 만든 공개 프로젝트로, ARM Cortex-M 계열의 저전력 MCU(Micro Controller Unit)를 이용한 사용자 친화형 개발환경을 제공하고 있으며, 보드를 구성하는 MCU 및 부품들의 위치, 핀 번호 연결 등의 정보를 제공하고 다른 부품들을 손쉽게 추가하거나 교체할 수 있도록 정보를 공개하고 있음
- ✓ 이는 ARM사가 독자적으로 제공하는 프로젝트가 아니라, Cortex-M을 마이크로 컨트롤러로 사용하여 제어모듈을 생산하는 Freescale, STMicro, TI 및 NXP 등 경량단말을 위한 칩 제조업체들이 HW 플랫폼을 공개하고 협력하는 체계로 구축되어 있음
- ✓ 이 프로젝트는 클라우드 서버에 컴파일러, 디버거 등의 개발 SW를 제공하고, 사용자는 관련 응용을 설치하지 않고도 바로 웹 기반으로 프로젝트를 생성하고 소스에 대한 실행파일을 얻도록 손쉬운 개발 툴 제공하고 있다. 또한, 사용자/개발자는 자신이 개발한 기능을 공개 라이브러리 형식으로 제공이 가능함
- ✓ 프로젝트의 확산을 위해서 ARM사는 HDK(Hardware Development Kit)와 SDK(Software Development Kit)를 공개하고 있으며, 관련업체에서는 자사의 개발보드를 공개하여 개발자의 자발적인 참여를 유도하고 있음



ARM Mbed 마이크로컨트롤러

표 3-1-8 | TI 단말 플랫폼

- ✓ TI(Texas Instruments)는 16/32비트 MCU를 기반으로 에너지, 의료, 센서, 공장자동화, 물류 자동화 등의 다양한 분야에 자사의 칩 판매를 확대하고 있으며 특히, 초저전력 스마트 그리드 단말을 위한 MSP430, 산업 자동화/공정 제어 및 정보 가전/포터블 전자장치를 위한 Hercules Safety Cortex-M MCU 관련 저전력 MCU보드를 제공하고 있음
- ✓ 관련 분야에서 시장 확장을 위해서 개발자를 위한 CCS(Code Composer Studio)를 제공하며, 이 개발환경에는 기본적으로 컴파일러, 툴 체인 및 IDE(주변장치 설정 및 드라이버 라이브러리, TI RTOS) 등이 포함되어 있음



TI intros Cortex-M4 마이크로컨트롤러

(3) 센서노드 하드웨어 비교 및 돌발재해 경보센서 개발 플랫폼 선정

돌발재해 경보체계 시스템은 위에서 언급한 바와 같이 Things 단말 센서노드, 게이트웨이 센서노드, 서비스 서버 플랫폼과 같은 3단계의 계층으로 구성하였다. Things 단말 센서노드의 경우 돌발홍수를 모니터링하기 위한 수위계측기 및 산사태를 사전에 감지하기 위한 기울기 센서로 구성되며, 게이트웨이 센서노드의 경우 면단위/군단위의 넓은 지역에 설치된 센서 단말로부터 데이터를 수집하고, 각각의 센서노드에 대한 상태감시, 모니터링 주기 결정, 모니터링 자료의 서버 시스템 전송 등의 기능을 수행하도록 하였다. 이를 위해 게이트웨이 단말은 센서노드에 비해 상대적으로 고성능의 MCU를 필요로 하기 때문에 게이트웨이 플랫폼 기술을 이용하도록 하였다. 서버 시스템의 경우 일반적인 Linux 서버를 이용하도록 하였다.

(가) Things 단말 플랫폼 비교 및 대상 기종 선정

Things 단말 센서노드의 경우 ARM mbed, Arduino, IRIS Mote, TI intros MCU를 대상으로 비교 분석하여 플랫폼을 결정하였다. 다음의 표와 같이 Thing 단말 센서노드 플랫폼 별로 SW 개발환경인 운영체제, 프로세서의 성능, 메모리 용량, 소모전류 및 적용 대상 센서의 지원여부 등을 종합적으로 고려하였다.

표 3-1-9 | Things 단말 플랫폼 비교

플랫폼 명 (제조사)	운영체제	프로세스 코어	메모리	소모전류	선택
ARM mbed (NXP, ST, Freescale)	mbed RTOS 펌웨어	ARM Cortex-M0	32~64KB	20~22mA	
		ARM Cortex-M0+		4~6mA	
		ARM Cortex-M3		32~50mA	
		ARM Cortex-M4		10~25mA	
Arduino (ATmel)	펌웨어	AVR	8KB	1.6mA	◎
		ARM Cortex-M3	96KB	56~77mA	
IRIS Mote (Crossbow)	TinyOS	ATmega 1281	8KB	31~66mA	
AiMiR (누리텔레콤)	NanoQPlus	ARM Cortex-M3	128KB	6mA	
LaunchPad (TI)	TI/RTOS, 펌웨어	MSP430	2KB	0.23mA	
		ARM Cortex-M4	32KB	15~45mA	

Things 단말 센서노드 플랫폼 선정에 있어서 가장 중요한 인자로 저전력 MCU를 선택하는 것이다. 특히 산사태를 감지하기 위한 기울기 센서의 경우 산악지형의 나무 아래에 설치되는 경우가 많으므로 태양광 발전에 어려움이 있다. 즉, 배터리로 1년 이상을 동작해야 하며, 그늘에서 저효율의 태양광 발전으로 배터리를 유지해야하기 때문에 10mA 이하의 소모전류 기종을 선택하는 것이 유리하다. 이러한 조건을 만족하는 단말 플랫폼으로 ARM mbed와 Arduino, AiMiR, LaunchPad(MSP430)가 가능하며, 센서 통신 및 사용자 인터페이스 프로그램을 지원하기 위한 8KB 이상의 메모리 용량, 그리고 개발환경 및 샘플코드, 적용 센서의

인터페이스 지원여부를 종합적으로 고려하였을 경우 Arduino(AVR MCU) 타입을 선정하였다. 특히 Arduino(AVR MCU)는 가격이 5천원 이하로 저렴하여 상용화하기 유리하고, 다양한 센서에서 해당 인터페이스 및 샘플코드를 지원하기 때문에 최적의 솔루션으로 선정하였다. 그러나 Arduino의 경우 운영체제로 펌웨어를 사용하기 때문에 TinyOS와 같이 센서-네트워크 통신 프로토콜 스택을 지원하지 않는다. 결국 네트워크 표준기술을 이용하는 반면에 배터리 용량을 키울 것인지, 아니면 소모전류가 작은 MCU를 선택하고 통신 프로토콜 스택을 개별적으로 개발하여 펌웨어에 포팅할 것인지에 대한 선택이 필요하였다. 본 연구에서는 하드웨어적인 소모전력의 중요성이 더 큰 것으로 판단하여 저전력 MCU를 선택하고, 표준 무선 센서-네트워크 프로토콜 스택을 사용하는 대신에 돌발재해 경보시스템에 최적화된 프로토콜을 개발하는 것으로 결정하였다.

MCU의 구체적인 사양으로는 ATmel사의 AVR 프로세서인 ATMEGA128 기반으로 만들어졌다. ATMEGA128은 8-비트 AVR 마이크로 컨트롤러로 128KB의 플래시와 4KB의 램, 4KB의 EEPROM, 10-비트 A/D 컨버터 8채널 등을 탑재하였고 최대 16MHz로 동작시킬 수 있다. 프로그램의 개발은 AVR C 기반 AVR Studio를 사용하여 진행되었다. 기능의 구현은 전통적인 sequential processing loop과 state machine을 통하여 만들어졌으며 컴파일 된 펌웨어의 크기는 약 40KB 정도이다.

(나) 게이트웨이 단말 플랫폼 비교 및 대상 기종 선정

게이트웨이 단말 플랫폼으로서 라즈베리파이, 에디슨, 비글보드 3개의 플랫폼을 대상으로 비교 분석하여 플랫폼을 결정하였다. 다음의 표는 3개 플랫폼을 대상으로 운영체제, 프로세스 성능, 메모리 용량, 소모전류를 비교한 것이다.

표 3-1-10 | Things 단말 센서노드 플랫폼 비교

플랫폼명 (제조사)	운영체제	프로세서코어	메모리	소모전류	선택
Raspberry Pi (Broadcom)	Linux	ARM11	256 ~ 512MB	500~700mA	◎
BeagleBoard (beagleboard.org)	Linux	ARM Cortex-A8	256MB	250~400mA	
Edison (Intel)	Linux, 펌웨어	Quark	256 ~ 512MB	180~680mA	

돌발홍수 및 산사태를 감지하기 위한 센서는 면단위 또는 군단위에 설치되고 무선 센서-네트워크를 통해 수 km 밖에 설치된 게이트웨이 센서노드에 모니터링 정보가 전달된다. 통신 무선 센서-네트워크에 적용된 RF 모듈의 경우 5km 이상의 통신 반경을 지원하고 중계기를 설치할 경우 20km 이상으로 확장할 수 있기 때문에 게이트웨이 센서노드는 열악한 현장여건에서 벗어나 마을회관, 면사무소, 군청 등의 관공서에 설치할 수 있게 된다.

따라서 상전(전력 공급) 조건의 위치에 설치할 수 있는 장점이 있기 때문에 저전력 구조보다는 실시간 데이터를 빠르게 처리하고 서비스 서버에 전달할 수 있는 형태의 고성능 프로세서를 탑재하는 방향으로 플랫폼 기종을 선택하였다.

라즈베리파이 플랫폼의 경우 매우 작은 소형의 보드이지만 일반 Linux 장비와 유사한 형태로 운영할 수 있고 고성능의 MCU를 포함하고 있으며, 프로그램 개발을 위한 통합환경 및 오픈소스 개발형태로 다양한 샘플코드 및 적용 사례가 있기 때문에 게이트웨이 센서노드 플랫폼으로 적당하다. 에디스 플랫폼의 경우에도 라즈베리파이와 유사한 성능을 지원하고 라즈베리파이에 비해 저전력 구조를 제공하지만, 보드 구성에 있어서 납땜 등의 수작업이 많고 가격이 상대적으로 비싸 라즈베리파이 플랫폼을 선정하였다.

라즈베리파이 플랫폼의 상세 규격으로는 Broadcom 사의 BCM2836 SoC를 탑재한 라즈베리 파이2 모델B를 기반으로 하였다. BCM2836은 900MHz로 동작하는 ARM Cortex-A7 4개를 기반으로 하며 GPU를 비롯한 Broadcom사의 chip들을 내장하고 있다. 100Mbps의 이더넷과 4개의 USB포트, HDMI 출력 외에 40핀의 GPIO의 포트를 탑재하고 있다. 라즈베리 파이에는 다양한 운영체제가 포팅될 수 있어 용도에 맞게 선택적으로 사용이 가능하다. 본 프로젝트에는 Raspbian이라는 데비안 계열의 리눅스가 적용되었다.

#### (다) 통신 중계기 플랫폼 비교 및 대상 기종 선정

농촌·농업 시설의 경우 상당히 넓은 지역을 대상으로 센서를 설치하고 정보를 모니터링해야 한다. 일반적으로 많이 이용되는 무선 센서-네트워크 통신체계로 Zigbee가 이용되고 있는데 이는 Full-Mesh 네트워크를 지원하지만 개활지에서 100m, 산악지형 및 도심지에서는 20~50m의 통신반경을 지원하기 때문에 돌발재해 통신 체계로 적당하지 않다.

본 과제에서는 400MHz 대역의 RF 통신을 기반으로 통신 체계를 구축하였다. 이 통신 기술은 10mA 이내의 전력으로 최대 5km의 통신 반경을 지원한다. 그러나 일반적인 농촌 지역의 경우 산악지형으로 이루어진 경우가 많고 산사태 및 돌발홍수로 인한 사고 발생 지점이 대부분 산악지형에서 발생하고 있으므로 통신 지장물이 많은 지역을 대상으로 하고 있다. 이러한 통신 지장물이 많은 지역에서 면단위 돌발재해 경보체계를 구축하기 위해서는 센서노드와 게이트웨이 노드간의 직접적 통신 방법뿐만 아니라 중계기를 통한 통신 반경확대가 필요하다. 이러한 중계기 개발을 위한 단말의 플랫폼으로는 Things 센서노드 플랫폼과 같은 형태의 MCU를 선택하였다. 구체적인 플랫폼 사양으로는 ATmel사의 AVR 프로세서인 ATMEGA128 기반으로 만들어졌다. ATMEGA128은 8-비트 AVR 마이크로 컨트롤러로 128KB의 플래시와 4KB의 램, 4KB의 EEPROM, 10-비트 A/D 컨버터 8채널 등을 탑재하였고 최대 16MHz로 동작시킬 수 있다.

#### 다. 무선 센서-네트워크 MAC/PHY 기술

돌발홍수 또는 산사태와 같은 돌발재해 방재체계 구축을 위해서는 사전 예보와 함께 실시간 모니터링 데이터를 기반으로 하는 조기 경보 시스템 개발이 필요하다. 이러한 돌발재해 조기 예경보 시스템을 위한 무선 센서-네트워크 기술구현의 핵심은 실시간성, 저전력 RF 통신, 서비스 품질, 전송주기 및 속도, 신호지연 등에 대한 대응 기술 개발이 핵심이다. 특히 농업·농촌 지역을 대상으로 하는 경우 단일 시설에 대한 집중적인 관리 방법이 아닌 넓은 지역에 대한 모니터링과 실시간 대응이 필요하며, 이를 위해서는 군단위/면단위 지역을 커버하는 통신 반경이 지원되는 RF 통신기술의 활용이 필요하다. 이러한 이유로 저수지, 댐, 중요 교량에 설치된 수위 관측 센서의 경우 대부분 유선망에 연결하여 데이터를 수집하거나 각각의 센서노드에 CDMA/LTE 모뎀을 설치하여 데이터 전송을 지원하는 방식을 이용

하고 있다. 그러나 돌발홍수 조기 경보를 위한 수위센서, 산사태 위험지역에 광범위하게 설치되는 기울기 센서 마다 CDMA 모뎀을 설치하는 것은 센서를 유지하기 위한 통신비가 과도하게 소요되고, 통신 모뎀을 운영하기 위한 전력소모가 심해 적용에 한계가 있다. 따라서 돌발재해 대응을 위한 무선 센서-네트워크는 저전력으로 넓은 통신 반경을 지원할 수 있는 통신 모듈의 선택이 필요하다.

현재 무선 센서-네트워크 관련 표준기술은 무선 근거리 개인 통신망(WPAN) 전송 규격을 위한 IEEE802.15 표준 규격과 이를 기반으로 상위 계층 규격을 정하여 관련 산업에 적용하려는 ZigBee 규격이 있으며, IP기술을 센서네트워크에 접목하기 위해 IETF의 6LoWPAN WG, ROLL WG, CORE BoF 등에서 표준화가 진행 중이다. 또한 HART와 ISA는 WirelessHART와 ISA-100.11a 등의 표준 작업을 마치고 공정 모니터링 및 산업 자동화에 적용을 위한 노력을 기울이고 있다. ISO와 IEC도 IEC62591과 ISO/IEC18000-7 등 무선 센서-네트워크 관련 표준규격을 승인하거나 현재 표준화가 진행 중이다. 이러한 표준기술은 대상이 되는 통신계층 혹은 서비스 목적에 따라 표준 규격 작업이 진행되고 있으며, 각 단체가 목적으로 하는 서비스영역을 기반으로 시장에서의 기술 선점을 위해 발 빠르게 표준 작업을 진행해 나가고 있다. 그러나 IEEE802.15.4 MAC 기술은 네트워크 트래픽의 증가에 따라 발생하는 빈번한 재전송에 의한 심각한 성능 저하와 시의성(時宜性, timeliness)을 갖는 센싱 정보 전달의 요구 품질을 만족할 수 없다는 제약 사항을 갖는다. 또한 동종 혹은 이종의 무선 간섭에 의한 수신 신호 품질 저하는 무선 근거리 개인 통신망으로서의 제 기능을 발휘할 수 없다는 문제점을 가져 관련 시장의 활성화에 한계를 보이고 있다(정운철 등, 2010). 또한 대부분의 ZigBee 통신을 지원하는 RF 통신 모듈의 최대 전송 거리가 1km 이내로 센서노드를 조밀하게 설치하거나 CDMA 기반의 싱크노드를 설치해야 하는 현장 적용상의 문제가 있다.

최근에 도심지 및 학교 등에 안전망 구축을 위해 자체적인 Proprietary 네트워크 기술을 이용하는 경우가 많다. 이러한 기술은 IEEE802.15.4 MAC 기술에서 제공하지 못하는 실시간 대용량 데이터 전송 또는 장거리 원격 모니터링을 위한 센서-네트워크 구축에 이용된다.

#### (1) 소출력 무선통신 기술

국내에서는 방송통신을 위한 주파수 대역 외에 일부 대역을 의료복지, 교통물류, 생산제조, 공공안전 등 산업활동과 일상생활 전반에 걸친 소출력 무선기기·무선센서 등 전파이용 기기의 용도로 별도 지정하고 있다. 이러한 주파수 대역은 일반적으로 ISM(Industrial, Science, Medical) 대역으로 불리며, ISM 대역은 일정 출력 이하에 대해서 허가 대상에서 제외하고 있다. 이러한 ISM 대역을 사용하는 기술로 WiFi, Bluetooth, ZigBee, RFID 등 우리가 흔히 사용하는 무선기기의 대부분이 여기에 포함된다. 다음의 그림과 표는 국내 주파수 대역의 할당 현황과 국내 소출력 주파수 분배 동향을 보인 것이다.

표 3-1-11 | 국내 소출력 주파수 분배 동향 (한국전파진흥협회, 2009)

분배년도	주요 적용 부문	분배 대역
2005년	자동차 안전용	특정 소출력 (433.759~434.045MHz)
	소출력 통신용	통신용 UWB (3.1~4.8GHz 및 7.2~10.2GHz)
	다양한 기기 적용	비허가 무선기기/용도 미지정 (57~64GHz)
	가정내 무선전화기	디지털무선전화기 (1786.750~1791.950MHz)
2007년	만성질환자 원격 의료용	채내이식무선의료기기 (402~405MHz)
	방법, 자동문, 차량 감지	물체감시센서용 (24.05~24.25GHz)
	주요 시설 침입자 감시, 지하 매설물 탐지, 공항출입자 검색, 교량 및 구조물 균열 감지	센서용 UWB (3.1~4.8, 7.2~10.2GHz)
2008년	방법, 자동문, 차량 감지	물체감시센서용(10.5~10.55GHz)
	야외 공연용 무선 마이크	특정소출력무선기기 (음성 및 음향신호용, 925~932MHz)
	물류, 위치 인식	RFID (915~923.5MHz)

## 대한민국 주파수 분배도표

(2013. 3)



미래창조과학부  
한국전파진흥협회

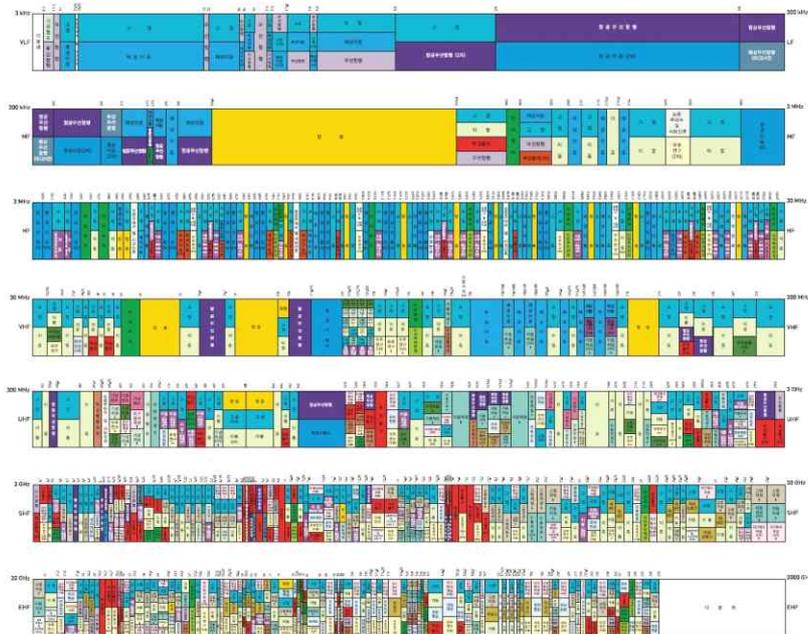


그림 3-1-4 | 국내 주파수 분배표

국내 전파법에 의해 소출력 무선통신 기기의 출력한계는 10mA로 제한된다. 무선 통신 거리에 가장 큰 영향을 주는 요소는 다음과 같다.

### (가) 수신감도

규정 출력의 범위 내에서 통신 거리의 차이에 가장 큰 영향을 미치는 요소로, 제품의 성능을 평가하는 항목이 되고 있다. 협역대 아날로그 음성 전송의 경우는 SINAD를 기준으로 -116dBm 이상의 성능이 나오는 것이 우수한 제품으로 평가받는다. 데이터의 경우에는

BER(Bit Error Rate) 또는 PER(Packet Error Rate)를 측정하여 결정한다. 수신감도 항목은 인접 채널 선택도와 일정 부분 Trade-off가 되는 항목이어서, 수신증폭기(LNA) 설계 시 최대치를 초과하지 않도록 설계하는 것이 필요하다.

(나) 송신 출력

대부분의 국가에서 서로 다른 규격과 시행규칙이 있지만 ISM 밴드에서는 송신부의 고출력이 허용되지 않고 대부분 10mA 이하이다. 송신 출력을 높이면 당연히 송신 거리가 증가하지만, 출력을 높임으로 해서 소비 전력이 증가하고 인접채널누설전력 (ACP)이 증가할 경우 통신 에러가 발생할 확률이 높아진다.

(다) Third Overtone Inter-modulation

비선형 소자를 통한 RF 신호처리 과정에서 두 개의 다른 입력 주파수의 하모닉(harmonic) 주파수끼리의 합과 차가 조합된 출력주파수 성분이 나오는 현상으로 원래 신호에 방해되는 왜곡 현상이 발생한다.

(라) 주파수에 따른 차이

통신 범위는 사용하는 주파수에 따라 달라진다. 400MHz의 전파는 회절 현상에 따라 너 높은 직진성을 갖는 2.4GHz의 전파보다 더 큰 송신 거리를 가질 수 있다.

(마) 변조방식에 따른 차이

진폭 변조(ASK) 파형은 주파수 변조(FSK) 또는 PSK 보다 잡음에 취약하다. 전파가 수신기에 도달하더라도 데이터 오류가 발생할 수 있다.

(바) 안테나

Omni Directional 안테나의 경우 수직 및 수평 방사 패턴을 확인 할 필요가 있으며, 일반적으로 송신 출력을 높이는 것보다 안테나의 변경을 통해 송신 거리를 확대할 수 있다.

(사) 프레넬존(Fresnel Zone)

전파가 전력의 감쇠 없이 송신기에서 수신기로 도달하기 위해서는, 눈에 보이지 않는 일정 크기의 타원형 공간이 필요하다. 이러한 타원형 공간은 안테나 사이의 최단거리를 따라 형성되며, 프레넬존 내부에 장애요소가 있는 경우 수신 필드 강도가 약화될 수 있으며, 수신 필드 강도가 약한 경우 오류가 발생할 확률이 점차 증가한다. 수신기의 수신 감도는 절대값으로 거리에 따라 전파 손실이 발생한다. 일반적으로 프레넬존을 확보하기 위해서는 송신기와 수신기가 지면에서 일정 높이 이상으로 유지하는 것이 필요하다.

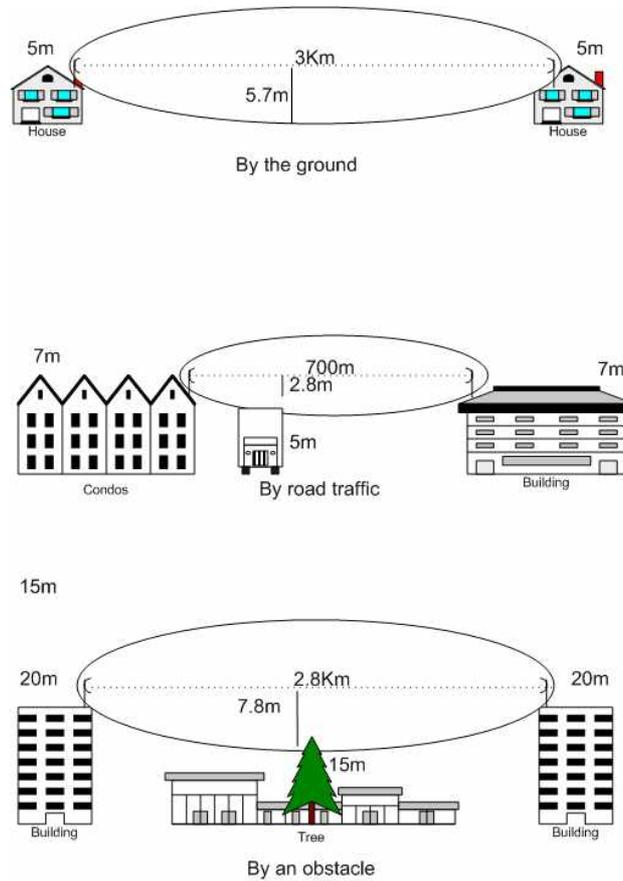


그림 3-1-5 | 프레넬존에 대한 다양한 예제  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel\\_zone](http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone)

무선 센서-네트워크에 이용되는 다양한 통신 방법에 대한 특징 및 최대 송신 거리를 비교하면 다음과 같다. 일반적으로 많이 사용되는 무선 LAN, Bluetooth, ZigBee 등의 통신 방식은 대부분 10m~1km 정도의 송신 반경을 제공한다. ZigBee의 경우 제품에 따라 1km까지의 송신거리를 제공하지만 지장물이 있는 경우 100m 정도의 송신거리를 제공한다.

표 3-1-12 | 통신방법별 특성

통신규격	설명	주파수대역	전송속도	송신거리
무선 LAN	무선을 이용한 근거리 통신망	2.4GHz, 5GHz	600Mbps	70m
Bluetooth	개인 근거리 무선 네트워크(PAN)	2.4GHz	2.1Mbps	10~100m
ZigBee	저전력, 저렴한 근거리 무선 네트워크	유럽 868MHz 미국 915MHz 국내 2.4GHz	250kbps	10~100m
RFID	IC칩과 무선을 통해 개체의 정보를 관리하는 기술	150kHz, 13.56MHz, 300MHz~1GHz, 2.45GHz	-	수m~수십m
Proprietary Network	특수 목적으로 RF 통신 모델 이용	300MHz, 400MHz 등 다양	-	2~5km

농업·농촌 시설의 돌발재해 경보체계 구축을 위해서는 넓은 지역에 센서를 설치하고 중앙에서 데이터를 수집하여 데이터 분석 및 경보를 발생해야 하는데, 이러한 시스템을 구축하기 위해서는 면단위/군단위를 커버할 수 있는 통신 거리가 제공되어야 한다. 그러나 대부분의 소출력 무선 통신 기술이 이를 만족하지 못한다. 다만, 일부 Proprietary Network RF 모델에서 5km 정도의 통신 반경을 제공하고 자체적으로 7 홉 이상의 중계 기능을 제공하기 때문에 이를 이용할 경우 면단위/군단위 무선 센서-네트워크 구축이 가능하다. 단, 일반적인 Proprietary Network RF 모델의 경우 ZigBee와 같이 IEEE802.15.4 MAC 표준기술을 지원하지 않기 때문에 mesh 네트워크 구성, 라우팅 방법, 비콘을 통한 무선 통신 충돌 회피 기능 등의 주요한 무선 센서-네트워크 프로토콜을 자체적으로 구현해야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 농촌 및 산악지형에 센서를 설치하고 비교적 넓은 지역을 커버해야 하는 요구조건이 다른 통신 품질 향상 요구조건보다 우선하기 때문에 장거리 통신을 지원하는 Proprietary Network RF 모델을 이용하였다. 국내에서 가장 안정적으로 운영될 수 있으며 5km 가지의 송신 거리를 제공하는 “EM Tech”의 “WAM-424XA1” RF 통신 모델을 선택하였다. WAM-424XA1 RF 통신 모델은 424MHz 주파수 대역을 사용하고 디지털 AFSK 변조를 사용하여 전송 시 노이즈가 적고, DPLL 클럭을 사용한 디지털 Data Slicer 기능과 32 종류의 패턴 인식에 의한 Bit 에러 검출과 보정 기능을 내장하고 있고, 협대역의 크리스탈 필터(MCF 4 pole)사용으로 인접 채널 선택도를 높여 수신 감도가 -120dBm에서 BER이 0.001%이하 고감도의 수신 기능, Bi-phase Mark Encoder/ Decoder기능을 내장하고 있어 별도의 데이터 코딩이 필요가 없이 UART 데이터를 직접 사용할 수가 있어, 무선통신에 대한 전문지식이 전혀 없는 사용자라도 시리얼 통신(UART)에 대한 기본개념을 가지고 있는 사용자라면 쉽게 기존의 시리얼 통신기기를 무선으로 전환시킬 수 있는 장점이 있다.

## (2) 무선 센서-네트워크 프로토콜

무선 센서-네트워크에서는 소형화, 스마트 센싱, 효율적인 라우팅, 신뢰성 있는 네트워크, 고장복구 및 회피방안 등이 요구되는데 Fault-Tolerance, 가변적인 네트워크 구조, 효율적인 라우팅을 지원하는 단순한 프로토콜 등이 솔루션으로 지원된다. 무선 센서-네트워크의 특징은 일반적인 Ad-Hoc 네트워크와 차별화되는데, 이러한 솔루션들을 구현하기 위해서 IEEE 802.15.4 그룹에서는 무선 컨트롤 네트워크로 저속, 저가격, 저소비 전력을 근간으로 하는 LR-WPAN(Low Rate-Wireless Persona Area Network)을 제정하여 2003년 표준화 하였다. 그러나 표준화한 계층은 하위 2단계인 물리(PHY)계층과 MAC 계층으로, 나머지 상위 계층은 개발자에게 자유롭게 구현하도록 하였다.

표준으로 정해진 IEEE 802.15.4의 특징은 우선 전송속도를 주파수에 따라 듀얼모드로 20, 40, 250 kbps로 정하고 CSMA-CA 규격을 사용하여 무선 채널에 액세스하도록 하였다. 또한 노드 내의 최대 255 개 디바이스를 연결할 수 있으며 최대 노드간 통신 거리는 100m로 설정하였다. 그러나 표준화 제정에 애플리케이션 서비스에 필요한 유연한 네트워크 구조(Topology), 라우팅 알고리즘, 보안 등에 대한 부분은 빠져 있었다. 비영리 조직인 ZigBee Alliance는 IEEE 802.15.4 상위 부분 설계를 위해서 조직되었으며 네트워크 구조/라우팅/보안 등을 표준화하여 ZigBee Stack에 추가하였다. 업체들 그것들을 기반으로 자사의 프로파일 일을 작성하였고, 서로 다른 업체에서 만든 디바이스 사이에 상호 운용성과 호환성을 보장하게 되었다.

이처럼 ZigBee Alliance는 다양한 응용 분야에서 활용될 수 있도록 프로파일의 정의와 개발에 역점을 두고 있고, 대상 분야는 Network Architecture, Application Framework, Security, Gateway 등으로 점차 세분화되고 있다. 하지만, ZigBee 역시 하나의 단체일 뿐 WSN에서 표준은 아니다. 오히려 Full Stack으로 표준화된 ZigBee가 단순하고 가벼운 네트워크 프로토콜을 지향하는 WSN에 너무 무겁다는 견해도 만만치 않다. 그 실례로 미국의 Crossbow, Dust Networks, Arch Rock과 같은 센서-네트워크 제조사들은 무선 센서-네트워크 플랫폼으로 TinyOS 를 탑재하고 무선 RF 모듈은 IEEE 802.15.4 호환되는 프로토콜을 자체 개발하여 사용하고 있다. 그 외에도 소규모 오피스나 가정을 타깃으로 하는 ZWave 같은 무선 프로토콜도 미국에서는 많이 사용되고 있다. 우리나라의 경우에는 대부분의 WSN 업체들이 IEEE 802.15.4/ZigBee을 채택하고 있으나 정보통신부, 산업자원부 산하의 연구단체에서 차세대 무선 프로토콜로 IPV6를 근간으로 하는 IP-USN 프로토콜을 집중적으로 연구 개발하는 실정이다 (김석우, 2007).

#### (가) 무선 센서-네트워크 MAC 표준화 기술

##### ① ZigBee

ZigBee는 저속 전송 속도와 근거리 통신을 위하여 ZigBee Alliance에서 개발한 무선 네트워크 기술인데, 작은 크기로 전력 소모량이 적고 값이 싸 홈네트워크 등 유비쿼터스 구축 솔루션으로 각광받고 있으며 지능형 홈네트워크, 빌딩 등의 근거리 통신 시장과 산업용기기 자동화, 물류, 휴먼 인터페이스, 텔레매틱스, 환경 모니터링, 군사 등에 활용된다. ZigBee 프로토콜은 물리 계층, 미디어 액세스 제어(MAC) 계층, 네트워크 계층, 그리고 어플리케이션 계층으로 이루어져 있다. ZigBee의 물리 계층과 MAC 계층은 IEEE 802.15.4 표준에 정의되어 있으며, 그 이외의 프로토콜 스택은 ZigBee 사양에 정의되어 있다. IEEE 802.15.4 초기 버전에서 유럽은 868 MHz 대역에서 20kbps를, 미국은 915 MHz에서 40kbps를 지원하였다. ZigBee 네트워크 계층은 트리 구조와 메쉬 구조를 위한 라우팅과 어드레싱을 지원하고 있으며, 어플리케이션 프로파일로는 ZigBee Home Automation Public Profile과 ZigBee Smart Energy Profile이 대표적으로 사용된다. 또, 새로운 ZigBee 사양인 RF4CE는 가전의 원격 제어를 위한 솔루션과 스타 토폴로지를 위한 간단한 네트워크 스택을 정의하고 있는데, RF4CE는 2.4GHz의 주파수 대역을 사용하고 AES-128을 이용한 보안을 제공한다.

##### ② Z-Wave

Z-Wave는 ZenSys가 주축이 된 Z-Wave Alliance에서 제정한 홈오토메이션 무선 전송 방식이며, Z-Wave의 주 목적은 무선 네트워크에서 하나 이상의 노드들과 제어 유닛 사이에서 신뢰성 있는 통신을 제공하는 것이다. Z-Wave는 물리 계층, 미디어 액세스 제어(MAC) 계층, 전송 계층, 라우팅 계층, 그리고 어플리케이션 계층으로 구성되어 있으며, 900MHz 대역(유럽: 869MHz, 미국:908MHz)과 2.4GHz대역을 사용하면서 9.6kbps, 40kbps, 그리고 200kbps의 속도를 제공한다. Z-Wave 기술은 장치간의 통신을 위해 컨트롤러와 슬레이브의 두가지 장치를 정의하는데, 컨트롤러는 슬레이브에서 명령을 전송하며, 슬레이브는 명령에 대한 응답을 하거나 명령을 수행하는 기능을 한다. Z-Wave의 라우팅 계층은 소스 라우팅 기반의 라우팅을 지원한다.

### ③ INSTEON

SmartLabs에서 개발한 INSTEON은 무선 기술을 활용하여 조명 스위치를 연결하는 기술로서, RF 링크와 AC-전원 링크간에 메쉬 네트워크 토폴로지를 구성하여 작은 구역에서 장치간의 통신을 실현한다. INSTEON 기술은 904 MHz 대역에서 동작하며, 38.4 kbps 데이터 전송 속도를 제공한다. INSTEON의 디바이스들은 전송자의 역할, 수신자의 역할, 혹은 중계자의 역할을 수행할 수 있으며, 동일한 구간에 위치하지 않은 디바이스들 간의 통신은 시간 구간 통기화 방법을 이용한 멀티-홉 라우팅을 사용하여 가능하게 한다.

### ④ WAVENIS

Wavenis 무선기술은 WSN 응용과 M2M 응용들을 지원하기 위해 2-way 무선 플랫폼 기술을 제공하며, Coronis Systems에서 모니터링 응용과 제어를 위한 프로토콜 스택을 구현하여 빌딩/홉 자동화에 적용하였다. Wavenis 저전력 및 장거리 무선 기술은 간단한 포인트-투-포인트 연결과 여러 리피터 고급 트리 구조, 메쉬 네트워크의 다양한 구성을 지원한다.

### ⑤ 6LoWPAN - IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network

센서 네트워크에 IP 기반 네트워크 프로토콜을 운용하는 것은 과도한 시스템 자원을 요구하기 때문에 부적절한 선택이라는 인식이 존재하였으나 최소한의 기능만 가진 TCP/IP 프로토콜 스택을 센서 네트워크에 적용하여도 센서 네트워크가 동작할 수 있음 확인하게 됨에 따라 관련 연구가 진행되었고 '05.3월 6LoWPAN WG이 신설되었다. 6LoWPAN은 L2 layer에 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크 상에 IPv6를 지원하기 위한 이슈를 다루는 그룹으로, 저전력 저속 환경의 서비스를 대상으로 필요한 기술 표준화를 목표로 하고 있다. 6LoWPAN WG에서 IP 프로토콜로써, IPv4가 아닌 IPv6를 채택한 이유는 대규모 센서 노드가 필요한 미래의 서비스, 즉 사물인터넷 환경에서의 서비스를 고려하여 대규모 주소 할당이 가능하고, 주소 자동 설정(auto configuration)이 가능하기 때문이다. 6LoWPAN WG 이전에 저전력 무선 네트워크의 핵심 기술로 높은 주목을 받고 있는 ZigBee 기술은 IEEE 802.15.4의 PHY/MAC 기술을 바탕으로 "ZigBee Alliance"에서 개발되었으나, ZigBee 기술은 공개 표준(open standard)이 아니라 "ZigBee Alliance"에 가입한 멤버에 한해서 기술사용이 가능한 제약이 존재한다. 6LoWPAN WG은 이러한 지적재산권 측면에서의 제약에서 자유로우며 기존 인터넷과 연동이 효율적이고 확장성을 가진 검증된 프로토콜 기술을 통해 다양한 인터넷 응용들을 사용할 수 있다는 장점이 있다.

#### (나) 무선 센서-네트워크 라우팅 프로토콜

무선 센서-네트워크에서 저전력으로 센싱 데이터를 게이트웨이 또는 싱크노드까지 신뢰성있게 전달하는 기능은 가장 중요하다. 앞서 설명한 바와 같이 IEEE 802.15.4에서는 PHY/MAC 계층을 표준화한 것으로, 네트워크 계층은 자체적으로 구성하도록 하였으며, ZigBee Alliance의 경우에는 IEEE 802.15.4 표준에 네트워크 계층까지 포함한 프로토콜 스택을 제공한다. 그러나 ZigBee 방식은 통신 거리가 100m 이내로 통신 반경이 작으며, 라우팅/네트워크 토폴로지(구조)/보안까지 포함함으로 해서 Things 단말 노드에서 이를 전부 수용하기에는 무리가 있다. 본 연구에서는 Proprietary 네트워크 형태의 무선 센서-네트워크 모델을 이용한다. 이 기술은 5km 까지의 장거리 무선 통신을 가능하게 한 반면에, 가장 단

순한 형태의 MAC/PHY 계층에 대한 프로토콜만을 제공하기 때문에 네트워크 계층에 필요한 프로토콜은 따로 정의해야 한다. 다음은 ZigBee에서 제공하는 네트워크 프로토콜을 분석하고, 이에 대응하여 본 연구과제에서 자체적으로 개발한 네트워크 프로토콜을 간단히 설명한다.

#### ① ZigBee 네트워크 계층(Network Layer)

ZigBee에서 네트워크 계층(NWK)은 Star & Mesh 토폴로지를 지원한다. Star 토폴로지에서 ZigBee Coordinator라는 단일 디바이스에 의해 제어되어진다. ZigBee Coordinator는 네트워크 안의 디바이스를 관리 및 초기화하고, 다른 모든 종단 디바이스가 직접적으로 ZigBee Coordinator와의 통신을 책임진다. Mesh 토폴로지에서 ZigBee Coordinator는 네트워크가 시작되고, 네트워크는 ZigBee 라우터를 이용하여 확장되어질 수 있다 (원강호 등, 2004). ZigBee에서 라우팅 알고리즘은 신뢰성, 비용, 저전력, 무선 네트워크, 제품의 제어와 모니터링과 같은 ZigBee Alliance의 요구사항을 맞추기 위해 디자인 되었다. 이러한 목적은 가격과 성능 간의(예를 들면, 산업상의 제어와 공격적인 가격목표를 위한 애플리케이션 요구들 사이) 균형을 유지한다. 여기에서“비용”은 전력과 통신비용 뿐 아니라 디바이스 비용을 포함하는 넓은 의미로 해석되어지며, 예를 들면 ROM/Flash Size, Non-volatile RAM Requirement, RAM Size, Communications Cost, Packet overhead 및 Computation cost를 포함하는 여러 가지 Factor에 대하여 고려해야 한다.

ZigBee 네트워크계층(NWK)에서는 다음의 두 가지 라우팅 방법을 네트워크 내의 디바이스 특성 및 네트워크의 비용 간의 균형을 위하여 적절히 적용하여 사용한다.

- 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) : 계층적 라우팅은 ZigBee 라우팅 알고리즘의 기본 라우팅 알고리즘이다. 계층적 라우팅은 계층적으로 네트워크 주소를 배정하게 되고 이러한 주소체계를 이용하여 라우팅을 하는 메커니즘을 가지고 있다. 계층적 어드레싱 스킴은 흥미로운 특성을 가지게 되는데 바로, 디바이스가 프레임을 받으면 언제나, 주소에 대한 비교만으로 프레임의 목적지가 계층에서의 자신의 자손이던지 상위 계층인지 판단을 할 수 있게 된다. 즉, 트리 아래로 경로를 결정하건 혹은 트리 위로 경로를 결정하건 항상 판단이 가능하게 된다.
- 테이블 드리븐 라우팅(Table-driven routing): 계층적 라우팅에서 가장 큰 문제점은 최적의 경로가 아닌 서브 옵티멀한 경로를 만들어 내는 경우가 있다는 것이다. 즉, 계층적 라우팅은 디바이스가 메모리를 요구하지 않는다는 장점이 있기는 하지만 대신 더 많은 통신을 요구하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 라우팅 테이블을 가지는 방법을 이용하게 되었다. 물론 디바이스나 응용분야에 따라 통신비용과 디바이스 가격 간의 중요도가 다르게 될 것이다. 테이블 드리븐 라우팅은 RREQ와 RREP 메시지를 이용하여 라우팅 경로를 발견하고 노드들은 발견된 경로에 대한 라우팅 테이블을 유지하게 된다. 라우팅 스택의 개발자는 라우팅 테이블을 포함하거나 또는 포함되지 않는 스택을 제공해 줄 수 있다. 그리고 라우팅 테이블을 포함하거나 하지 않는 스택을 옵션으로 제공할 수 있다. 라우팅 테이블을 위한 약간의 공간을 가진 ZigBee Router는 RN+라 하고, 라우팅 테이블을 가지지 않는 ZigBee Router는 RN-라고 한다. 이러한 스택 옵션들을 이용하

여 라우팅 테이블의 할당을 조절함으로써 애플리케이션 개발자는 디바이스 비용뿐만 아니라 라우팅 경로의 셋업을 위한 통신 비용과 유지비용을 포함하는 값들을 제어할 수 있다.

## ② 돌발재해 대응 무선 센서-네트워크 구성에서의 네트워크 계층(Network Layer)

산사태 조기경보 센서와 같이 산악지형에서 태양광 발전이 어려운 환경에서 운용되어야 하는 센서의 경우 내부 배터리로 2~3년 이상을 동작해야 하므로 센싱을 위한 기능 외에 통신 및 라우팅을 위한 통신을 최소화 하는 것이 바람직하다. 이를 위해 센서의 Wake 모드를 최소화 하고, 게이트웨이에서 데이터 갱신 주기를 결정하면 이에 따라 수동적으로 Sleep 모드에서 깨서 통신을 하는 수동적인 통신 방식을 이용한다. 이러한 통신 방식을 이용하기 때문에 네트워크 토폴로지 운영 방식은 ZigBee에서의 Star 방식을 채용하였다. 다만, 센서 간의 무선 통신 거리가 최대 5km 이내로 한정되어 있으므로 중계기 노드를 구성하고 중계기에서는 하위 관리 센서노드의 정보를 갖게 하는 테이블 드리븐 라우팅 방법을 이용하도록 하였다. 이 때 이용되는 중계기는 일종의 싱크 노드와 같은 역할을 하며, 대부분 통신의 지장물을 피하고 프레넬존을 확보하기 위해 산의 정상이나 건물의 옥상에 설치하여 라우팅 체계를 구축함에 따라 상대적으로 태양광을 이용한 자가발전이 유리하다. 따라서 중계기 노드는 상시적으로 센서노드의 통신을 중계할 수 있는 전력을 확보할 수 있다.

## 라. 돌발재해 대응분야 센서 기술 동향 및 적용 센서 선정

### (1) 돌발홍수 감시 센서

돌발홍수는 도시지역과 도시 외 지역(산지지역)에 따라 그 발생양상은 다르게 나타날 뿐만 아니라, 돌발홍수의 시공간적 분포와 강우강도는 일반적인 홍수사상과는 매우 다른 양상을 가지고 있다. 또한 이러한 일반적인 홍수사상들은 비교적 장기간의 관측데이터를 가지고 있으며 이에 대한 분석을 통해 예측 및 예·경보를 비교적 정확하게 실시하고 있다. 그러나 돌발홍수의 경우는 관측이 매우 어렵고, 돌발홍수를 모형화하거나 지배적인 프로세스를 구하는 것이 어렵다. 돌발홍수를 연구하는데 있어 가장 큰 장애물은 신뢰할만한 관측데이터가 절대 부족하다는 것이다. 돌발홍수에 관한 수많은 연구들은 대부분이 특정한 호우 또는 제한된 조건을 가지고 접근한 경우가 대부분이고 돌발홍수에 관한 강우-유출 관계를 분석한 경우는 극히 드문 실정이다 (정재학 등 2009).

결과적으로 돌발홍수를 연구하는데 있어 가장 필요한 것은 위험 지역에 자동계측 시설을 조밀하게 설치하여 돌발홍수를 분석할 수 있는 대규모 데이터를 수집함과 동시에 돌발홍수에 의한 피해가 예상되는 경우 즉각적인 경보체계를 구축하는 것이다. 돌발홍수에 대한 자동계측 센서는 돌발홍수에 따른 하천변 관광객 또는 행락객의 대피가 목적인 경우에도 효과적으로 운영될 수 있다. 산악지형에서의 돌발홍수는 수문 및 기상관측 정보를 통해 예측할 수 없는 경우가 많아 인명 피해를 줄이기 위해서는 직접 대상지에서의 수위 계측 정보를 통해 즉각적인 경보체계 구축이 필요하다. 기존 방재관련 데이터의 수집 및 관리는 소방방재청을 중심으로 운영되고 있다. 이는 중앙집중식 관리체제로 돌발홍수 예보 측면에서는 매우 유용할 수 있으나, 농업·농촌시설에 대한 돌발홍수의 경보 체계는 이러한 중앙집중식보다 즉각적인 대응이 필요하므로 군/면/리 단위에서 운영될 수 있어야 한다.

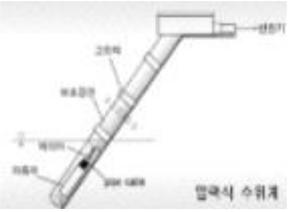
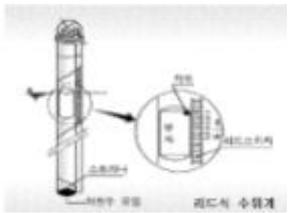
본 연구에서는 돌발홍수에 대해 수문정보를 수집하고 즉각적인 경보체계를 구축하기 위한 센서로 돌발홍수 피해가 예상되는 산간 계곡 및 소규모 하천에 수위계측기를 조밀하게 설치하고, 무선 통신 기술을 통해 자료를 분석하여 재해가 예상되는 경우 즉각적으로 관리 담당자 또는 방재 담당관에 연락을 취할 수 있는 센서 시스템을 구축하고자 하였다.

이러한 수위계측 센서는 무선 센서-네트워크 기술을 이용한 실시간 데이터 전송을 지원하며, 돌발재해 위험지구 내의 산간계곡, 소규모 하천에 조밀하게 설치할 수 있는 형태의 설치의 용이성과 저렴한 제조원가, 관리운영의 용이성을 만족할 수 있도록 하였다.

#### (가) 수위관측 센서 연구 현황

기존 수위관측 센서 또는 돌발홍수 관측장비로 개발되거나 연구된 사례를 살펴보면 다음과 같다. 현재 전국 주요 교량에 설치되어 수위를 연속적으로 측정하는 센서 형식으로 초음파 수위계측기가 이용되고 있다. 일부 저수지 및 댐에서는 압력식 수위계가 이용되고 있으며, 소규모 하천 및 교량에 대해서는 목측에 의한 방오 수위표를 설치하여 운용하고 있다. 최근에는 초음파 수위계의 오차를 줄이고 안정적인 수위관측을 위해 영상을 통한 수위계측(김원 등, 2007)이 연구되고 있다.

표 3-1-13 | 집중호우로 인한 최근 국내 발생 재해 피해현황

센서종류	센서형태	장·단점
<p>목측(目測)에 의한 방오수위표</p>		<p>(장점) 가장 단순한 형태로 활용성이 많음                      (장점) 최근 CCTV 영상을 이미지프로세싱을 통해 수위정보를 디지털화하는 장비 개발                      (단점) 정보처리를 위한 별도의 장비 혹은 관리자가 필요함                      (단점) CCTV 영상이용의 경우 상전(상시전력) 시설이 필요하므로 시설 및 유지관리에 많은 비용 발생</p>
<p>압력식 수위계</p>		<p>· 수중에 설치한 수압부가 받는 수압의 변화를 측정                      (장점) 다양한 지형 및 구조물에 설치 운용                      (단점) 돌발홍수와 같이 유속이 빠른 경우 구조물 손상 등이 발생</p>
<p>리드식 수위계</p>		<p>· 관측지점의 수중에 설치한 측정기둥의 기밀 실린더 내에 리드 스위치를 일정 간격으로 배치하여 수위 측정                      (장점) 하상에 H강의 세워 설치하므로 설치용이, 장비 운용이 쉽고 유지관리 비용 저렴                      (단점) 홍수 시 측정 기둥이 손상                      (단점) 소규모 하천에 부적합</p>
<p>부자식 수위계</p>		<p>· 설치지점에 관측우물을 설치하여 운용                      (장점) 측정기구가 단순하고 안정적인 데이터 축적이 가능                      (단점) 도수관 및 관측우물을 설치                      (단점) 도수관의 유입토사의 처리 필요</p>
<p>초음파식 수위계</p>		<p>· 초음파를 수면에 발사하여 반사된 초음파의 도달시간을 수위로 변환하는 방식                      (장점) 수면과 비접촉식으로 설치가 간단                      (장점) 토사퇴적과 수초, 부유물에 의한 피해가 없으므로 유리                      (단점) 수면의 물결등에 의해 계측 오차가 커지고, 낙뢰 등의 피해가 잦음</p>
<p>접촉식 수위계</p>		<p>· 수위표 표면에 5~10mm 간격의 리드를 설치하여 수면의 접촉 리드의 전기전도도를 측정하여 수위측정                      (장점) 측정기구가 단순하고 안정적인 데이터 축적이 가능                      (장점) 수위표 기능을 같이 사용                      (장점) 외부에 부유물 부착을 방지하는 코팅을 사용하여 내구성 증대</p>

(나) 돌발홍수 감지 센서 개발

본 연구과제의 대상지역은 대부분 산간계곡 및 소규모 하천과 같이 센서의 설치 및 운용이 열악한 곳에 설치되는 경우가 많다. 또한 돌발홍수 발생 시 부유물 또는 토사가 같이 내려오는 경우가 많으므로 접촉식 수위 센서의 설치가 어려운 환경이 대부분이다. 반면에 소규모 하천의 경우 여름철 하천 바닥의 수초에 의해 초음파 수위계측기가 운용할 수 없는 환경이 이루어진 곳도 많다.

따라서 본 연구에서는 초음파 수위 계측기와 부자식 수위계를 개발하여 설치 여건에 맞도록 설치하는 방안을 도입하였다. 연구 1년차에는 접촉식 수위계측기를 개발하여 시범지구에서 설치한 바 있으나, 제작에 과도한 수작업이 요구되고, 진흙 등이 센서에 부착되어 센서가 오동작을 하는 경우가 있어 연구 2년차에는 초음파 계측 센서로 “MB7389 HRXL-MaxSonar®-WRMT(MaxBotix Inc. 제품으로 5m, 10m, 20m 측정용 센서)”를 선택하였다. 초음파 수위 계측기는 1mm 정밀도로 5m, 10m, 20m 반경에서 측정할 수 있도록 개발하였다. 개발한 센서는 기존 상용 초음파 수위계측기에 비해 설치가 용이하고 제작비용도 50만원 안팎으로 기존 센서의 1/10 가격에 제작할 수 있는 기술을 개발하였다. 향후에는 초음파 수위계측기가 운용될 수 없는 환경에 적용할 수 있는 부자식 수위계 개발을 검토할 계획이다.

표 3-1-14 | 돌발홍수 감지용 초음파 수위 계측기 주요 제원 및 기능

<p>• 현장설치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 현장 접근이 어렵거나 구조물 설치가 어려운 환경에 적합하도록 개발되어 산악지형, 수위 변화가 큰 소규모 하천, 관개수로/배수로 등에 효과적으로 적용 가능</li> <li>✓ 자가발전, 저전력 구조로 개발되어 전원 연결 등의 기반시설 없이 설치 운영이 가능</li> <li>✓ 내장 배터리(4.2V)로 3개월 이상의 연속측정이 가능하며, 태양광 패널을 통해 2시간 만에 완전충전 가능</li> <li>✓ 콘크리트 블록, 앵커링 등 다양한 형태의 설치방식을 지원하며, 10분 내외로 설치 가능</li> <li>✓ 완전 방수체 합체 적용으로 현장 적용성이 뛰어나며, 장거리 무선통신 모듈(RF)을 내장하여 별도의 설비 없이 원격지에서 실시간 데이터 관측 가능</li> </ul>
<p>• 무선통신 모듈</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 424MHz 통신 주파수를 이용하며, 개활지에서 5km, 산악지형에서 1km 이상의 통신 지원</li> <li>✓ 산악지형 또는 통신 지장물이 있는 경우 중계기 설치를 통해 통신 반경을 확장</li> <li>✓ 중계기를 이용하여 최대 45km 통신 반경 확대 가능</li> <li>✓ 중앙의 게이트웨이(데이터 로거)는 자체적으로 데이터 관리 WEB 서버를 포함하고 있으며, 내부의 LTE 모듈을 통해 원격지 서버에 데이터 전송 가능</li> </ul>
<p>• 데이터 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 사용자의 설정에 따라 측정 주기 변경 가능 (최소 30초)</li> <li>✓ 게이트웨이(데이터 로거) WEB 서버를 통해 실시간 데이터 관측 및 측정 주기 변경 가능</li> <li>✓ 이상치 검정 알고리즘을 통해 수위 계측값이 이상치 검정 및 보정 지원</li> <li>✓ 센서노드, 게이트웨이, 중앙 WEB 서버에 관측정보가 별도로 저장됨에 따라 데이터 유실 가능성 최소화 (데이터 용량 8GByte)</li> <li>✓ 온도, 습도 데이터 관측을 기본적으로 제공하며, 현장 여건에 따라 추가적인 센서 부착 가능</li> </ul>
<p>• 센서 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Google Map을 이용한 센서의 정확한 설치 위치 확인</li> <li>✓ Map에서 실시간 관측값을 확인할 수 있으며, 배터리 상태, 장비 상태 감지 가능</li> <li>✓ 별도의 시스템 구축 없이 전국적인 데이터 모니터링 환경 구축 가능</li> </ul>

(2) 산사태 감지 센서 개발

산사태 및 토석류에 대한 모니터링 및 조기 경보 시스템의 경우 CCTV를 이용한 토석류 관측 및 모니터링으로 부터 시작되었다. 이후 강우량계, 피에조미터, 지오폰, Ultrasonic sensor, radar device 등의 센서를 이용한 모니터링이 수행되어오고 있다. 국내의 경우 도로 교통 연구원(2008)에서는 토석류 감지센서, 강우량계, CCTV 등을 사용하여 토석류를 관측하고 고속도로상의 광네트워크망과 연결하여 무선송수신하는 방식을 사용한 바가 있으며, 지질자원연구원(2008)에서는 토석류 감지센서, 토석류 거동 관측 센서, 함수비 측정 센서, 지오폰, 강우량계, 웹카메라 등을 사용하였으며, RF 로거와 CDMA 무선 센서-네트워크 방식으로 통신을 지원하였다.

최근까지의 연구를 통해 산사태 조기감지 센서는 지오폰(geophone)을 이용한 지반의 움직임, 간극수압계를 이용한 지하수의 압력, 익스텐소메타(extensometer)를 이용한 사면의 거동을 계측하는 형태로 구성되고 있다. 이러한 방법은 국가기반시설, 도심지 산사태 취약지역, 주요 고소도로 및 국도와 같이 산사태가 발생하였을 경우 그 피해가 크고, 위험지구의 면적이 크지 않은 경우에 많이 이용되고 있다. 간극수압계는 산사태의 거동을 분석할 수 있는 중요한 센싱 요소이지만, 센서 설치를 위해서 산악지형에 수 미터에서 수십 미터까지 보링을 하고 센서를 설치해야 하기 때문에 상당한 비용이 소요된다. 따라서 상당히 넓은 지역을 대상으로 센서를 설치해야 하는 농촌 및 산악지형의 경우 기존 산사태 탐지 센서를 적용하기에는 예산상 문제가 있다.

본 연구에서는 기존의 연구와 같이 산사태를 정확히 예측하고 관리하는 기술을 개발하기 보다는 산사태 위험지구에 대해 예방차원의 노력을 하고, 혹시 산사태가 발생할 경우 인명피해를 최소화하기 위한 몇 분 이전의 조기경보 체계를 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 가장 단순한 형태의 센서를 통해 데이터를 수집하고, 이상 징후가 있을 경우 실시간으로 지역 방재 관리자 또는 거주민에게 경보를 하는 형태로 시스템을 구축하고자 하였다. 또한 산사태를 조기 감지하기 위한 방법으로 지면변위 센서와 토양수분 센서를 이용하였다. 이러한 방법이 정확한 산사태 거동을 탐지할 수 없지만, 발생 수 분 전에 산사태 의심 징후를 포착할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이러한 지면변위 센서는 옹벽 등에 설치하여 변위 및 기울기를 측정하고 경보할 수 있으므로 산사태뿐만 아니라 농업·농촌 시설의 재해 빈도가 높은 축대 붕괴 등에도 이용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

#### (가) 기존 산사태 조기 감지를 위한 센서 개발 연구 현황

건설교통부와 한국건설기술연구원이 공동으로 개발한 절토사면 유지관리 시스템(Cut Slope Management System, CSMS)은 일반 국도변의 절토사면을 감시하기 위한 시스템으로서 절토사면 지표부의 변위를 측정하기 위하여 신축계(Slope Movement Sensor)를 사용하였으며, 이 신축계는 절토사면의 안정영역과 불안정영역에 각각 설치되어 두 지점간의 거리 변동을 계측하여 붕괴의 진행 상태를 파악하는 방법으로 구성되어 있다. CSMS는 정확한 계측 및 절토면의 붕괴에 대한 조기탐지가 가능하고, 무선원격 시스템에 의해 도로관리부서에 정보가 자동으로 전송되도록 하는 등의 장점이 있지만, 설치비용이 과다하게 소요되고 유지관리가 어려우며 도로절개면 등에 제한적으로 적용할 수 있는 등의 단점이 있다.

김형우 등(2008)은 무선센서 네트워크를 이용하여 산사태 감지방법 및 경보발령 기준치를 설정하는 연구를 진행하였으며, 이 연구에서는 산사태를 감지하기 위해 진동센서(3축 가속도 센서, G-Link)를 이용하였고, 무선통신 기술로 Zigbee를 이용하여 테스트베드를 대상으로 무선센서 네트워크를 운용한 바 있다. 3축 가속도 센서는 10cm 이하의 작은 사이즈의 센서를 통해 사면의 기울기, 변위 등을 측정할 수 있으며, Ad-hoc 기능의 센서 네트워크 기술을 적용하여 산악 지형에 센서를 설치하고 운용할 수 있는 기반 기술을 개발하였다. 그러나 센서의 배터리 수명이 15일 내외이고 무선통신 반경이 50m를 넘지 않는다는 점에서 개선의 여지가 있다. 이 연구에서 주목할 부분은 3축 가속도센서(G-Link)와 GeoStudio(캐나다 GEOSLOPE사의 사면안정 시뮬레이션 프로그램)을 이용하여 변위 및 경사에 대한 임계값을 산정한 결과 선행강우로 지반이 완전히 포화된 상태에서 x방향 변위 20mm, 경사각 3도 이상일 경우 산사태의 위험이 있는 것으로 판단하였다.

미국 지질조사국(USGS)는 1997년 집중호우에 의해 네바다 북 캘리포니아의 50번 국도가 경사면 붕괴로 피해가 발생하자 전 국토의 붕괴위험사면을 대상으로 실시간 모니터링 시스템을 설치하였다. 이 시스템은 일정 시간 간격으로 지오폰(geophone)을 이용한 지반의 움직임, 간극수압계를 이용한 지하수의 압력, 익스텐소메타 (extensometer)를 이용한 사면의 거동을 계측하고, 사면의 거동이 감지될 경우 실시간으로 정보를 미국지질조사국에 전송하도록 구성되어 있다. 특히 지오폰은 토석류가 발생할 때에 동반되는 진동과 소리를 감지할 수 있는 20~200Hz 범위의 진동감지센서를 채용하고 있어 정확한 산사태의 예측 및 모니터링 정보를 제공한다. 그러나 이러한 시스템은 넓은 범위의 경사면에 설치되기 어렵고, 유지관리가 어려우며 설치비가 고가라는 점에서 한계가 있다.

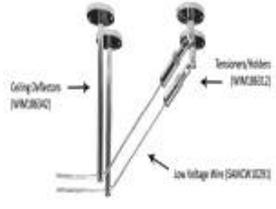
일본에서는 암반사면의 붕괴예측을 위하여 음향방출(Acoustic Emission)이라는 비파괴방법이 산사태 모니터링 방법으로 연구되었다(2006년). 이러한 방법은 암반이 파괴되기 시작할 때 발생하는 미세한 음향을 감지함으로써 붕괴를 예측하는 기법으로, 이를 위해 암반 내부에 높은 대역의 주파수 및 낮은 대역의 주파수를 각각 감지할 수 있는 센서를 설치한 후 어느 임계값 이상이 되면 자동으로 경보를 알리는 시스템 구조로 되어 있다. 음향방출 모니터링 방법은 암반사면의 붕괴에 대한 조기탐지가 가능하다는 장점이 있는 반면에, 설치비용 및 유지관리비용이 과다하게 필요하고 설치 지반 특성에 따라 주파수의 파형 분석을 필요로 한다는 점에서 단점이 있다.

표 3-1-15 | 사면붕괴 감지를 위한 센서 기술현황

구 분	센서 종류	장·단점
절토사면유지관리 시스템	사면변위계 지하수위계	(장점) 정확한 계측 및 조기탐지 가능 (단점) 설치 및 유지관리 비용 과다 (단점) 좁은 범위의 절토사면에 적용가능
미국 지질조사국	익스텐소메타 (extensometer) 지오폰 (geophone)	(장점) 토양수분, 진동 등의 복합적인 사면거동 분석 가능 (단점) 설치 및 유지관리 비용 과다
일본 음향방출 분석법	Acoustic Sensor	(장점) 지반붕괴의 조기탐지 가능 (단점) 설치 및 유지관리 비용 과다, 설치지점의 사전분석이 필요함
대만, 홍콩 광섬유센서	초음파 수위계측기 토석류 감지 광섬유센서 지오폰 (geophone) CCTV	(장점) 다양한 센서정보의 통합을 통해 정확한 정보체계 구성 가능 (단점) 유지관리 비용 과다 (단점) 광섬유센서의 경우 잦은 오작동 발생 (단점) 약천후 특히 낙뢰 등의 피해 잦음 (단점) 수위계측기 및 CCTV등을 운용하기 위해서 상전(전원공급)이 필요하지만, 설치 지역 제한

이상의 산사태 탐지를 위한 센서개발 연구를 통해 이용된 센서는 지중경사계, 간극수압계, 텐션메타, 자이로센서, 레이저 거리측정기 등으로 이에 대한 장·단점은 다음 표와 같다.

표 3-1-16 | 산사태 감지를 위한 센서 기술현황

센서종류	센서형태	장·단점
지중경사계		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착 및 성토지반에 대해 토립자의 수평변위를 계측하기 위한 장비</li> <li>(장점) 정확한 계측 및 조기탐지 가능</li> <li>(단점) 지중에 설치봉을 매설해야 하므로 설치비용이 많고 유지관리 어려움</li> <li>(단점) 절토사면에 적합하지만 산사태 등의 감지센서로 적용 불가능</li> </ul>
간극수압계 지하수위계		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양내 간극수압을 측정하여 지반의 안정성 계측하기 위한 센서</li> <li>(장점) 토양수분에 대한 정확한 계측 가능</li> <li>(단점) 설치 및 유지관리 비용 과다</li> <li>(단점) 산사태 등의 감지센서로 적용 불가능</li> </ul>
텐션메타 (Tension Wire)		<ul style="list-style-type: none"> <li>(장점) 지반의 정확한 거동을 계측</li> <li>(단점) 설치 및 유지관리 비용 과다</li> <li>(단점) 산사태 등의 감지센서로 적용 불가</li> </ul>
레이저 거리측정기		<ul style="list-style-type: none"> <li>(장점) 원격에서 거리를 측정하여 사면의 거동을 분석할 수 있음</li> <li>(단점) 유지관리 비용 과다</li> <li>(단점) 장애물이 없는 지역에 적용 가능</li> <li>(단점) 우리나라 산악지형에 적용 불가능</li> </ul>

(나) 산사태 조기감지 센서 개발

본 연구과제의 대상지역은 농촌지역 및 산악지형으로 대부분 센서의 설치 및 운용이 열악한 곳이다. 이러한 현장 여건을 감안하여 산사태 조기감지 센서는 매우 단순한 형태의 센서로 개발하고 설치 후 배터리의 충전 없이 최소 2~3년, 음영지역에서 태양광 충전이 가능하도록 하기 위한 태양전지 판넬의 이용, 통신 및 센싱에 필요한 전력 소모를 최소화 하는데 개발 목적을 두고 있다. 먼저 산사태 감지를 위한 센서로는 6축 자이로 센서와 토양수분 측정센서를 적용하였다. 6축 자이로 센서는 3축에 대한 기울기를 0.5도 정밀도로 측정이 가능하며, 3축을 중심으로 하는 변위를 1cm 정밀도로 측정할 수 있다. 자이로 센서를 운용하기 위한 전력 소모는 0.5mA 이하로 초전력구조로 센서를 개발할 수 있다. 또한 토양수분 센서는 전기전도도를 이용한 센싱 방법을 이용하며 ±10% 정도의 오차를 가지고 지표면에서 10~50cm 까지 토양수분을 측정한다. 토양수분 센싱에 필요한 전력은 5mA 정도로, 이상 징후가 없는 경우에는 1시간에 1회, 이상 징후가 있거나 토양수분이 급격히 올라가는 경우에는 1분마다 측정하여 자료의 정밀도를 높이고 더불어 전력 소모를 최소화할 수 있도록 개발하였다.

본 연구에서 사용한 지면변위 센서는 Analog Devices 사의 ADXL335 칩을 사용하였으며, 토양수분 센서는 자체 개발하였다. 본 연구를 통해 개발한 센서는 별도의 설치 기구 없이 40cm 길이의 금속막대를 지중에 심는 형태로 개발되었으며, 통신 거리가 산악지형에서 1~5km 까지 지원되므로 대상지역에 쉽게 설치하고 운용할 수 있도록 하였다. 또한 통신에 필요한 전력소모를 최소화하기 위해 이상 징후가 없는 경우에는 1시간 간격으로 게이트웨이 에 Keep-Alive 통신만을 하고, 이상 징후가 있거나 토양수분이 급격히 올라가는 경우에는 1분 간격의 통신, 그리고 지표면 변위 및 기울기가 일정 임계값 이상을 초과하는 경우에는 실시간으로 데이터를 전송할 수 있도록 통신 프로토콜을 구성하였다.

표 3-1-17 | 산사태 조기 감지용 센서의 주요 제원 및 기능

<p>• 현장설치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 무선(RF) 방식의 통신 방식을 지원하여 5km 원거리 센서의 데이터 수집이 가능하여 시군구 단위로 센서 구축 및 운용 가능</li> <li>✓ 내장 배터리(4.2V)를 내장하여 1년 이상 자체동작이 가능하고, 음지 차광지역에서 발전할 수 있는 태양광 패널을 적용하여 반영구적 동작 가능</li> <li>✓ 경사면에 폴대 형식으로 지면에 박거나 옹벽에 앵커링을 통해 설치하는 등의 다양한 방식으로 설치 가능</li> <li>✓ 저가형으로 재해 위험지역에 조밀하게 센서 설치 가능</li> </ul>
<p>• 무선통신 모듈</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 424MHz 통신 주파수를 이용하며, 개활지에서 5km, 산악지형에서 1km 이상의 통신 지원</li> <li>✓ 산악지형 또는 통신 지장물이 있는 경우 중계기 설치를 통해 통신 반경을 확장</li> <li>✓ 중계기를 이용하여 최대 45km 통신 반경 확대 가능</li> <li>✓ 중앙의 게이트웨이(데이터 로거)는 자체적으로 데이터 관리 WEB 서버를 포함하고 있으며, 내부의 LTE 모듈을 통해 원격지 서버에 데이터 전송 가능</li> </ul>
<p>• 데이터 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 센서의 동작 상태를 확인할 수 있는 Keep-Alive 기능</li> <li>✓ 변위 센서, 토양수분 외에 온/습도 센서 부착</li> <li>✓ 기울기, 변위 기준(임계치) 설정 기능 지원</li> </ul>
<p>• 센서 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Google Map을 이용한 센서의 정확한 설치 위치 확인</li> <li>✓ Map에서 실시간 관측값을 확인할 수 있으며, 배터리 상태, 장비 상태 감지 가능</li> <li>✓ 별도의 시스템 구축 없이 전국적인 데이터 모니터링 환경 구축 가능</li> <li>✓ 데이터 통신 상태에 따라 중계기 및 센서 통신 루트를 동적으로 변경하여 유연한 통신 환경 구축 지원</li> </ul>

## 2. 무선 센서-네트워크 통신 플랫폼 개발

돌발홍수 및 산사태 조기감지 센서 운영을 위해서는 센서노드에서 정보를 실시간으로 수집하고 수집된 정보를 기반으로 재해경보를 발령하기 위한 무선 센서-네트워크 통신체계 구축이 필요하다. 현재 국내 대부분의 연구에서는 도심지 또는 빌딩, 주거시설에서의 무선 센서-네트워크 구축을 중심으로 연구되기 때문에 단거리 통신을 기반으로 하고 센서노드간의 메시 네트워크를 구성하는 ZigBee 표준을 기반으로 하고 있다. 그러나 이러한 ZigBee 표준은 대부분 10m~100m 거리의 센서 간 통신을 기반으로 한다. 다만, 센서가 데이터의 수집 기능뿐만 아니라 메시-네트워크 구성을 위한 통신 연계 서비스를 제공해야 하기 때문에 소규모 출력으로 신뢰성 있는 데이터 전송을 지원하는 저전력 MCU 개발 연구는 참조할 수 있지만, 원천적으로 단거리 통신을 기반으로 개발된 기술을 농촌 및 산악지형에 적용하기에는 무리가 있다.

우리나라 농촌지역의 대부분은 면단위에 편입되어 있으며, 면의 평균 반경은 10km 내외로 구성되어 있다. 지방자치단체의 최소단위인 군은 4~10개의 면으로 구성되어 있으며, 대략적으로 20~40km 내외의 반경을 이루게 된다. 농촌·농업시설의 방재체계는 군단위로 구성되며, 산사태 위험지구의 관리, 산간 계곡의 안전관리, 주거시설의 안전관리가 군단위 또는 면단위에서 이루어지게 된다. 따라서 지장물이 있는 현장 여건에서 100m 통신 반경을 가지는 ZigBee와 같은 무선 센서-네트워크 통신 표준을 재해 방재체계 구축에 이용하는 것은 사실상 어렵게 된다. 이런 이유로 전국 주요 하천의 교량에 설치된 수위관측 지점의 통신 체계 그리고 수자원공사가 관리하는 전국 주요 댐, 농어촌공사가 관리하는 주요 농업용 저수지의 저수위/ 유량관리를 위한 센서는 대부분 유선 네트워크를 이용한 통신 방법을 이용하거나 CDMA/LTE 모뎀을 이용한 통신 방법을 이용하고 있다. 그러나 주요 하천의 교량 및 댐 및 저수지와 같이 관리 포인트가 적고 주위에 기반시설이 잘 갖추어진 곳에서의 CDMA 통신 체계를 산악지형 및 절개면에 위치한 산사태 위험지구, 산간계곡을 중심으로 하는 소하천 돌발홍수 관측을 위한 통신체계로 적용하는 것은 관리 방법 및 경제성 면에서 불리하다. 일반적으로 CDMA/LTE 통신 모뎀을 이용하기 위해서는 단말기 당 월 5천원 정도의 통신비가 요구되는데 군단위로 약 1,000대의 계측기를 운영할 경우 월 5백만원의 통신비가 요구된다.

이러한 통신 거리 및 관리비 문제를 해결하기 위해서는 싱크노드(주위의 센서로부터 데이터를 전송받아 게이트웨이 및 서버에 데이터를 전송하기 위한 포인트)를 CDMA/LTE 통신 방식을 이용하고, 싱크노드 주위 1~10km 반경에 위치한 센서노드는 RF 통신을 이용한 무선 센서-네트워크를 구축하는 방법이 요구된다. 또한 무선 센서-네트워크 통신 방식을 결정하는 데에는 센서노드의 전력사용 관점에서도 고려해야 한다. 대부분의 돌발재해 관측 센서 설치지점은 매우 열악해서 자가발전이 어렵거나 음영(그늘) 지역에 따른 태양전지 효율이 낮은 경우가 많다. 센서 간 메시-네트워크를 구성하는 것은 결국 센서가 데이터 송신의 주체이면서 데이터 전달을 위한 중계기 역할을 해야 하기 때문에 항상 RF 수신을 대기하고 있어야 한다. 대부분의 RF 모뎀이 5mA 이하의 전력소모를 제공한다 하여도 항상적으로 통신 모뎀에 전력을 공급하기 위해서는 배터리 용량을 키워야 하고 배터리 교환을 위한 유지 보수 기간이 2~3개월로 짧아져 유지 보수에 필요한 경비가 증가하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 센서노드는 단순히 일정 주기 또는 이벤트에 따라 그때그때 깨어나 데이터를 전

송하고 다시 Sleep 모드로 들어가는 방법을 강구해야 한다. 이를 위해서는 메시 네트워크 구조가 아니라 Star 형식의 네트워크 토폴로지 구성이 필요하다. 스타 방식의 네트워크 토폴로지는 중앙에 싱크노드 또는 게이트웨이가 위치하고 각각의 센서노드가 1:1로 연결되는 방식으로 가장 단순하면서도 저전력 네트워크 구성이 가능한 이점이 있다. 그러나 산간지형에서 안정적인 통신을 지원하고 통신 지원 반경 이상의 지역에 대해 통신 서비스를 지원하기 위해서는 스타 방식의 네트워크 토폴로지를 확장할 수 있는 중계기의 기능이 필요하다. 이러한 중계기는 통신 반경의 확대 및 태양광 발전이 용이한 산의 정상, 건물의 옥상에 설치하게 되며, 이로 인해 상시적인 데이터 수신 모드를 가질 수 있다.

본 연구에서는 이러한 다양한 현장여건을 고려하여 별도의 허가가 필요 없는 소출력(10mA) 장거리 RF 통신 모듈인 “WAM-424XWS”를 이용하였다. 다만, WAM-424XWS는 ZigBee와 같이 라우팅 및 통신에 필요한 프로토콜 스택을 제공하지 않기 때문에 별도의 프로토콜을 정의하고 이에 따라 센서의 상태관리, 데이터 전송, 라우팅, 네트워크 관리 기능을 수행할 수 있도록 하였다. 본 절에서는 먼저 RF 통신 모듈의 상세 규격 및 제공 기능을 살펴보고, 자체적으로 정의한 통신 프로토콜 스택을 설명한다. 또한 통신 모듈 구성을 위한 모드 개발 및 PCB 설계 내용을 설명한다.

### 가. RF 통신 모듈

본 연구에서 사용한 RF 통신모듈은 10mA 이하의 소출력에서 424.8MHz 주파수를 이용하여 최대 5km의 장거리 통신을 지원하는 EM테크의 “WAM-424XWS”이다. 무선 통신용 모듈 WAM-424XWS 모델은 저전력과 통신 에러율이 적은 제품으로 외부 전원 제어 및 에러 검출 및 보정 처리가 가능한 제품으로 아래 사양과 같다.

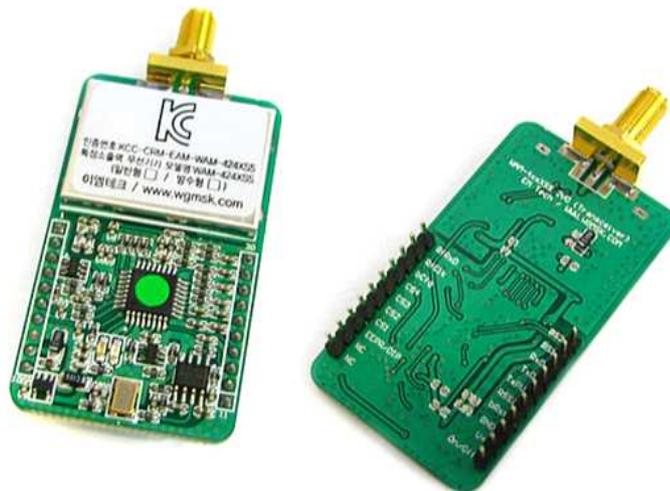


그림 3-1-6 | WAM-424XWS 통신모듈 형상

#### (1) RF 통신 모듈의 주요 기능 및 규격

장거리 소출력 통신모뎀(WAM-424XWS, 424.8MHz)의 주요 기능 및 규격을 살펴보면 다음과 같다.

- 데이터 전송용 특정 소출력 무선기기 Multi-Channel 424MHz 대역 10 채널 사용, Digital AFSK(MSK) 변복조 방식 사용
- UART 통신 3V/5V I/F가 가능하며 1200 ~ 38400bps
- TCXO(온도 보상 크리스탈) 사용
- 전력소모를 줄이기 위한 모듈 전원 on/off 단자 지원
- 자동 모드 전환 기능
- 동작 모드(상태) 확인용 LED : 2EA
- 단일 3.3V ~ 9/0V 전원 송신모드 : <50mA , 수신모드 : <40mA

표 3-1-18 | WAM-424XWS 주요 성능 제원

항목	단위	규격	설명
사용전원	V	3.3~9.0	권장치
소비전류	mA	TxMode:<50 RxMode:<40	
RF Data Rate	bps	1200	
변복조방식		AFSK(MSK)	
주파수편차	ppm	±2	TCXO 사용
RF Impedance	ohm	50	
수신감도	dBm	-125(Typ)	에러검출/보정 기능 사용
RF 출력	dBm	10	최대 13dBm(별도주문)
RF 주파수	MHz	219.000~219.225	10-채널 선택 가능
점유주파수대폭	MHz	<8.5	
인접채널 전력(ACP)	dBc	>50	
Harmonics	dBc	>50	2 <sup>nd</sup> harmonic:57@219.0MHz 3 <sup>rd</sup> harmonic:59@219.0MHz
Deviation	KHz	<±2.5	
시리얼 통신	bps	1,200~38,400	Parity Bit 사용가능 3V/5V 통신 가능

(가) 송신부

- 송신 출력 : 10mW(10dBm)
- Deviation : < ±2.5kHz
- 인접 채널 전력(ACP) : >50dBc @219.0000MHz
- 2차·3차 하모닉 : > 50dBc @219.0000MHz

(나) 수신부

- 에러검출/보정 기능 내장(출력 2배 증가 효과)
- 수신 감도 : -125dBm(Typ)
- RSSI 출력 지원

- RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 수신기의 사용 주파수의 수신강도를 나타내며, RSSI 출력 값은 다음 그림과 같이 -55~-130Bm 까지 선형에 가깝게 나타난다.

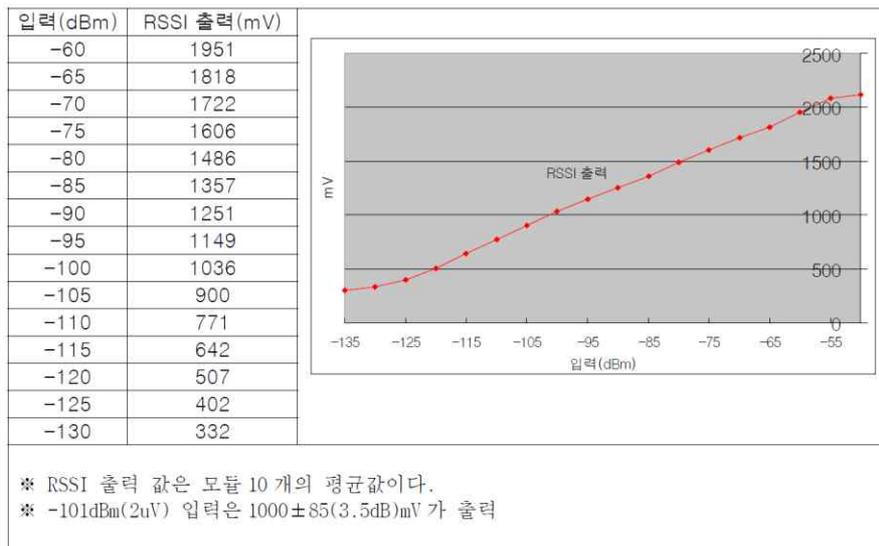
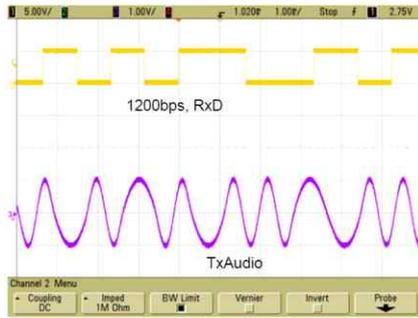
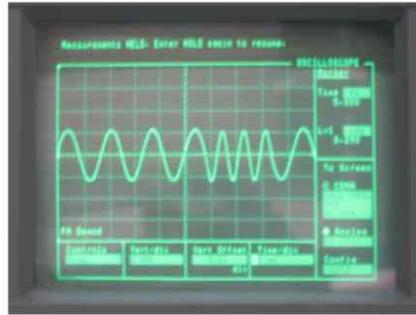


그림 3-1-7 | RF 모듈의 수신 주파수와 수신강도

- WAM-424XWS 모듈의 가장 특별한 기능으로 일반적인 에러 검출 및 보정기능이 없는 모듈보다는 수신감도가 3~5dB(출력 2 배 증가 효과)정도가 향상되어 소출력 (10mW) 통신에서도 장거리 통신이 가능하다.  
 실제 데이터는 4-bit 단위로 에러를 복구&검출할 수 있는 데이터 1-bit 가 부가되어 5-bit 가 전송이 된다. 수신처리는 5-bit 단위로 처리가 되며, 5-bit 데이터에서 1-bit 에러가 발생한 경우에는 100%복구가 가능하며, 2-bit 에러가 발생한 경우에는 50%이상 복구가 가능하고, 3-bit 이상 에러가 발생한 경우에는 복구가 불가능하다.
- 장거리 통신을 위해서는 송신 출력을 높게, 수신 감도를 좋게 하는 2 가지 방법이 있다. ISM Band(424,447 대역)의 출력은 최대 10mW 로 제한이 있어 송신 출력을 10mW 로 하고, 수신기의 감도와 인접 채널 선택도를 좋게 해주는 방법이 이용된다. WAM 모델에서는 데이터의 수신감도를 높이기 위해서 Digital Data Slicer 기능과 32 종류의 패턴을 인식하여 에러를 검출하고 보정해 주는 기능 등을 사용하고, 인접 채널 선택도를 높여주기 위해서 협대역의 크리스탈 필터 10M7.5B(4 Pole)를 사용하여 인접 주파수에 따른 영향을 줄여 수신 감도가 -120dBm 입력 시 에러가 거의 없도록 하고 있다.
- AFSK 변조는 송신 데이터(RxD Pin)를 송신기에 FM 변조를 위한 Audio 신호를 생성 시켜주는 부분으로 1200Hz(Data Low)와 600Hz(Data High)의 사인 파형을 생성하여 FM 변조가 되어 RF 로 출력이 된다. FSK 모델보다는 AFSK 모델이 점유대역이 좁고, 노이즈 특성이 우수하며 데이터의 전송률이 높다.



AFSK 송신(변조) 파형



AFSK 수신(복조) 파형

그림 3-1-8 | AFSK 변/복조 파형

(다) 송수신기 H/W 블록 특징

WAM-424XWS 송수신기의 주요 특징은 1) AFSK Modem 기능, 2) 자동 모드전환 기능, 3) Digital Data Slicer 기능, 4) Bit 에러 검출 및 보정 기능, 5) Bi-Phase Mark Encoder/Decoder 등을 내장하고 있다는 것이다. 특히 Bi-Phase Mark Encoder/Decoder 기능을 내장하고 있어 Bit coding(맨체스터 방식 등)이나 Byte Coding 방식이 필요가 없이, UART의 데이터를 직접 연결하여 사용할 수 있다. 데이터의 송신 시 자동 모드전환 기능이 있어 별다른 H/W I/F(인터페이스) 없이 UART와 직접 연계가 가능하다.

데이터의 수신회로 중에서 무엇보다 중요한 회로가 Data Slicer 회로이다. 일반적으로 비용절감 차원에서 Data Slicer 는 AF 신호의 자체 바이어스와 비교기를 사용해서 데이터를 출력을 하는 방식을 많이 사용하고 있다. 그러나 WAM 모델의 수신기는 DPLL 클럭과 정확한 기준 전압(2.4V)을 사용해 수신데이터의 한 비트의 중앙에서 3 번 샘플링해서 2 번 이상 검출된 값이 Error 검출 및 보정부분으로 출력이 되며, Digital Data Slicer 출력 데이터는 Bit 에러 검출 및 보정부로 입력이 되어, 에러 발생 시 에러를 보정해 주는 기술을 사용하여, 에러 검출 및 보정부의 출력이 Bi-Phase Mark Encoder 로 입력이 되어 수신된 데이터가 TxD 핀으로 출력이 된다. 여러 보정 기능을 사용하여 데이터의 수신율을 높여 주고, 데이터의 출력이 정확히 송수신 속도에 맞춰서 출력이 되는 장점을 가지고 있다.

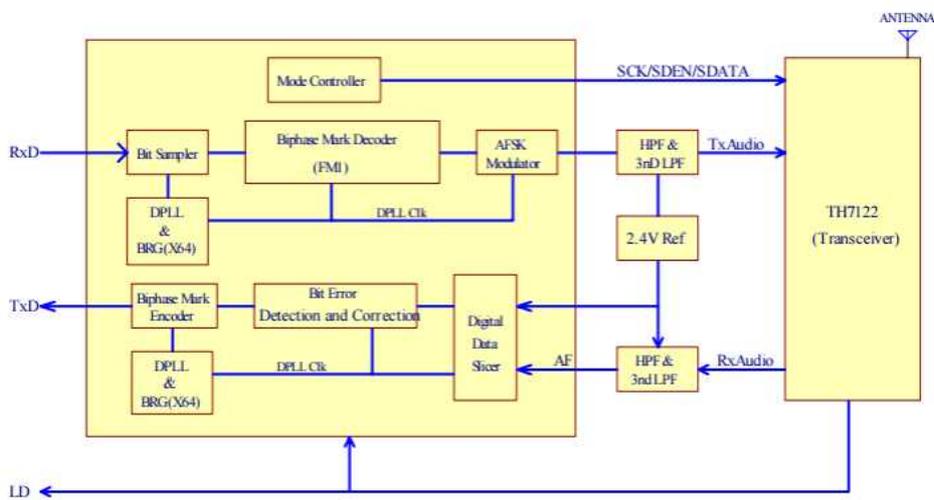


그림 3-1-9 | WAM-424XWS 송수신 모듈 블록도

(라) 센서 마이크로컨트롤러(MCU)와의 연결

WAM-424XWS의 가장 큰 장점으로 센서노드의 펌웨어를 구성하는 과정에서 별도의 통신 모듈을 프로그램하는 것이 아니라 단순히 Serial Port에서 입출력을 하는 것과 같은 방법으로 RF 통신 모듈을 동작할 수 있다는 것이다. 즉, MCU에 내장된 UART나 SCC(Serial Communication Controller)등과 같이 송수신기를 연결하여 사용하는 경우에는 데이터 통신 선과 전원만을 연결 시켜주면 된다.

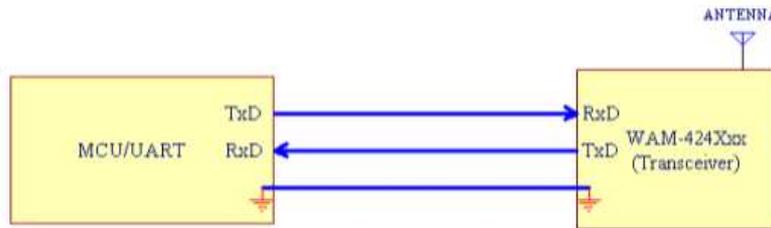


그림 3-1-10 | MCU와 통신 모듈의 연결방법

통신 모듈의 동작 및 통신 모듈을 시험하기 위한 방법으로 PC와 연결을 통해 시험할 경우, PC 와 송수신기의 연결은 COM port 와 USB Serial Converter 를 사용하여 연결하는 2 가지 방법을 지원한다.

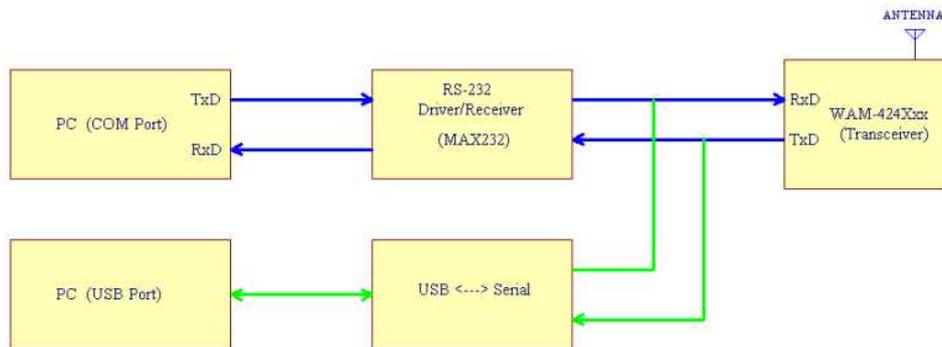


그림 3-1-11 | 통신 시험을 위한 PC와 통신 모듈의 연결 방법

(마) 무선 통신용 안테나

WAM-424XWS 통신모델은 “1/2 Ramda Whip Antenna”를 사용한다. 이 안테나는 안테나 길이가 파장의 1/2로 지면에 수직으로 파장이 생성되며, 가격이 저렴하고 장거리 통신에 유리하다. 안테나의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

표 3-1-19 | 무선 통신용 안테나(1/2 Ramda Whip Antenna) 제원 및 기능

Electrical performance	Specifications	Shape
FrequencyRange	424MHz±20MHz	
NominalImpedance	50 ohm	
RadiationPattern	Omni-Directional	
Polarization	Vertical	
V.S.W.R	Less than 1:2.0	
Gain	≤2 dBi	
Connector	SMA-P(수)	
AntennaLengthAPP.	345 mm	
Operating Temperature	-30°C ~ +70°C	

(2) RF 통신 모듈 현장 실험

일반적으로 무선 통신 거리에 가장 큰 영향을 주는 요소로는 수신감도, 송신출력, Third Overtone Inter-modulation, 주파수 파장, 변조방식, 안테나, 프레넬존(Fresnel Zone), 날씨 및 온도 등이다. 본 연구는 장거리 소출력 통신모뎀(WAM-424XWS, 424.8MHz)과 동일한 “1/2 Ramda Whip Antenna”를 이용함에 따라 통신 거리에 영향을 주는 요소로는 프레넬존과 날씨 및 온도 영향을 감안할 수 있다.

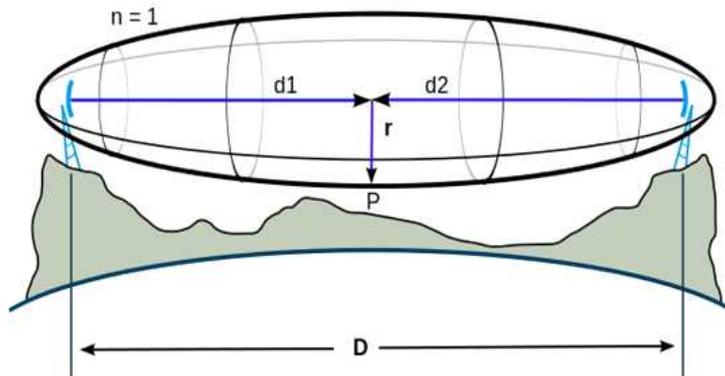


그림 3-1-12 | 프레넬존의  
모식도([https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel\\_zone](https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone))

프레넬존(Fresnel Zone)은 전파가 전력의 감소 없이 송신기에서 수신기로 도달하기 위한 눈에 보이지 않는 일정 크기의 타원형 공간을 의미한다. 이러한 타원형 공간은 안테나 사이의 최단거리를 따라 형성되며, 프레넬존 내부에 장애요소가 있는 경우 수신 필드 강도가 약화될 수 있으며, 수신 필드 강도가 약한 경우 오류가 발생할 확률이 점차 증가한다. 일반적으로 프레넬존은 식과 같이 구해진다.

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1-1)$$

여기에서  $F_n$ 은  $n$ 번째 프레넬존의 반경을 의미하며,  $d_1$ 과  $d_2$ 는 양 끝단에서의 거리,  $\lambda$ 는 미터로 표현된 파장 길이를 의미한다. 프레넬존의 중앙점에서 지표면 또는 장애물까지의 거리를 구하기 위한 식으로는 다음과 같다.

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}} \quad (1-2)$$

여기에서  $D$ 는 프레넬존의 양 끝단 거리를 의미하는 것으로 센서 간의 거리(m)를 의미한다.  $f$ 는 파장 길이로 GHz로 표현된 값을 의미한다.

식 1-2를 통해 거리 1km에서 424.8MHz 파장의 프레넬존 반경을 구해보면 약 13.7m의 프레넬존 반경이 구해진다. 즉, 중앙 장애물에서 13m 이상의 높이가 확보될 경우 통신상의 문제가 없다는 의미이다. 단, 장애물이 전혀 없는 경우가 최선이지만, 지장물이 반경의 약 40%를 넘지 않는 조건에서 통신 조건이 가능해지며, 가능하면 20%를 넘지 않는 것이 좋다는 현장 실험 결과가 있다.

그러나 돌발홍수를 감지를 위한 수위센서 및 산사태 조기감지를 위한 기울기 센서의 경우 이러한 프레넬존을 확보하기에는 현장이 열악하기 때문에 현장 시험을 통해 통신 거리를 측정하고 위치 확보가 어려울 경우 중계기를 이용하여 통신 거리를 확보하는 방법을 사용하였다. 통신거리 실험 방법은 이론적인 프레넬존의 분석과 이를 통한 센서 또는 중계기의 최적위치를 파악하는 방법과 직접 현장 실험을 통해 통신 상태를 확인하는 방법으로 이루어졌다. 현장 실험에는 두 대의 센서와 통신 감도를 측정하기 위한 RF 스니퍼를 이용하였으며, 산악지형이 가장 많은 강원도 평창을 대상으로 하였다.

#### (가) 프레넬존의 이론적 통신반경 분석

프레넬존을 분석하는 방법으로 “Geocontext-Profiler”을 적용하였다. 이 방법은 센서가 설치되는 두 지점을 Google 지도에서 선택을 하면 Google API를 통해 자동으로 지형 프로파일을 가져오고, 이에 따라 프레넬존을 분석할 수 있는 기능을 제공한다.

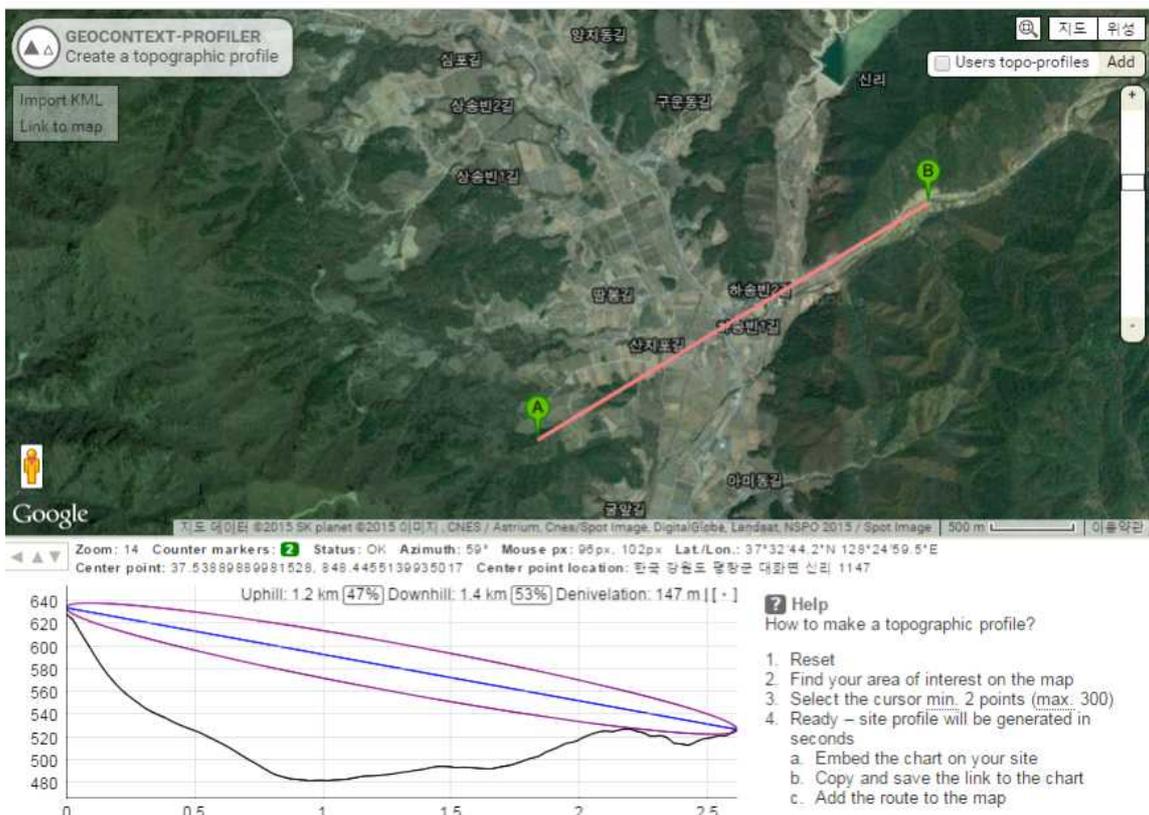


그림 3-1-13 | 프레넬존 분석 방법 (<http://www.geocontext.org/>)

우선 현장조건은 강원도 평창 대화면 일대로 돌발홍수 감지 수위센서가 반경 10km에 5곳에 설치되어 있다. 센서가 설치된 소하천은 게이트웨이에서 약 10km 거리에 있으며, 하천 주변에는 하천을 기준으로 약 100~500m 높이의 산으로 둘러싸여 있어 센서와 게이트웨이 간의 직접적인 통신이 불가능한 상태이다.

이를 위해 통신 중계기를 적당한 곳에 위치하고 라우팅을 할 수 있는 토폴로지를 구성하고 각각의 중계기에 센서가 연결된 형태로 구성을 하고자 하였다. 이 때 중계기의 위치 설정이 관건이며, RF 통신 모듈의 최대 통신 거리(5km)이내에 위치하면서 프레넬존을 확보할 수 있는 공간을 찾는 것이 중요하다.

#### 나. 무선 센서-네트워크 프로토콜

일반적으로 무선 센서-네트워크의 통신 프로토콜은 IEEE 802.15.4 표준을 따르고 있으며, ZigBee Alliance은 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 MAC/PHY 프로토콜 위에 애플리케이션 서비스에 필요한 유연한 네트워크 구조(Topology), 라우팅 알고리즘, 보안 등의 기능을 포함한 Network 계층 레이어의 프로토콜 스택을 포함하고 있다. 그러나 IEEE 802.15.4 표준은 100m 내외의 통신 반경에서 센서간의 메시 네트워크를 기본 가정으로 하고 있기 때문에 돌발재해 조기경보 센서에 이용하기에는 무리가 있다. 특히 센서 현장 설치 여건이 열악하고 저전력으로 운용할 수 있는 형태로 개발하기 위해서는 별도의 무선 센서-네트워크 프로토콜의 설계가 요구된다.

본 연구에서는 10mA 이하의 소출력에서 장거리 통신이 가능한 RF 통신 모듈 사용을 전제하고 이에 맞는 통신 프로토콜 스택 개발을 목적으로 하였다. 센서간의 네트워크 토폴로지 형태는 게이트웨이를 중심으로 하는 스타(star) 방식을 채용하고 있으며, 무선 통신 구간을 확대하기 위해 중계기 기능을 추가하고 각각의 중계기는 하위 센서 정보를 포함하는 형태의 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) 방법을 적용하였다. 본 절에서는 이러한 네트워크 운용을 위한 프로토콜의 정의와 설계 방법에 대해 설명한다.

#### (1) 통신 프로토콜을 위한 PDU(Packet Data Unit) 정의

돌발재해 조기경보를 위한 무선 센서-네트워크는 통신의 신뢰성을 기반으로 실시간 데이터 수집을 전제로 한다. 즉, 특정 시점에서의 재해관련 센싱 정보는 즉각적으로 게이트웨이에 전송되어 관리자에게 경고(알람)를 발생시킬 수 있어야 한다. 이를 위해서는 센서의 배터리 및 동작 상태를 주기적으로 관리하여 센서 장비가 안정적으로 운영될 수 있는 환경이 조성되어야 하며, 일정 임계값 이상의 센싱 정보가 감지되면 실시간적으로 데이터가 전송되어야 한다. 또한 무선 통신 또는 기타 여러 현장 여건에 의해 데이터 전송이 실패할 경우 데이터의 재전송을 통한 무결점 통신을 지원할 수 있어야 한다.

돌발홍수 및 산사태의 경우 대부분 5분~1시간 간격의 주기적인 모니터링을 하다가 이상 징후가 발생하면 데이터 관측 주기를 짧게 하여 신속한 경보가 발령될 수 있도록 하는 동적 관측주기 설정 기능을 가져야 한다. 그러나 센서노드가 설치된 현장의 수문/토질 조건이 상이하므로 센서노드에 이러한 임계값 및 주기변화 알고리즘을 입력하여 일률적으로 운영하는 것은 문제가 있다. 예를 들어 산간 계곡과 소하천의 하류에서 수위변화 양상 및 변화 속도는 매우 상이하며, 같은 임계값을 주거나 같은 주기별 관측을 할 경우에 인명 대피를 위한 시간을 놓치는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 중앙 서버에서 각각의 센서 간 특성을 분석해 별도의 관측 주기를 설정하거나 경보 발생 임계값을 설정하는 기능, 또는 임계값 이상의 변화가 있을 경우 관측 주기의 변경이 센서 별로 상이하게 설정 수 있어야 한다.

본 연구과제를 통해 개발한 통신 프로토콜은 OSI-7 계층의 구조를 참조하여 RF 무선 링크에서 고신뢰 통신을 지원하기 위하여 고안되었다. 이를 위해서는 TCP/IP 통신에서의 Session과 같은 통신 프로토콜을 무선 센서-네트워크에 적용하는 방법을 채용하였다. 즉, 센서는 처음 전원이 켜지면 게이트웨이에 조인(Join)을 요청(Request)하고 게이트웨이는 조인 메시지가 올 경우 해당 센서의 형태 및 설치위치, 기존 데이터의 상황을 종합적으로 분석해 해당 센서의 관측 주기를 설정해 센서에게 조인 응답(Response)를 한다. 센서는 게이트웨이로부터 수신한 관측주기를 장비에 셋팅하고 조인 응답에 대해 ACK를 보냄으로써 TCP의 3-way Handshaking 형태로 세션을 생성한다. 조인된 센서는 게이트웨이에서 설정한 Delay 주기만큼 Sleep 모드를 유지하여 전력 소모를 최소화 하고, 설정된 지연 시간에 따라 센싱 프로세스를 수행하고 관측값을 다시 게이트웨이에 전송한다. Report 값을 수신한 게이트웨이는 수신된 값을 DB에 저장하고 다시 Delay 시간을 설정하여 센서에게 전송함으로써 관측 주기의 동적 관리가 가능하도록 하였다.

이러한 통신 체계를 지원하기 위해 아래 그림과 같이 PDU를 정의하였다.

## PDU

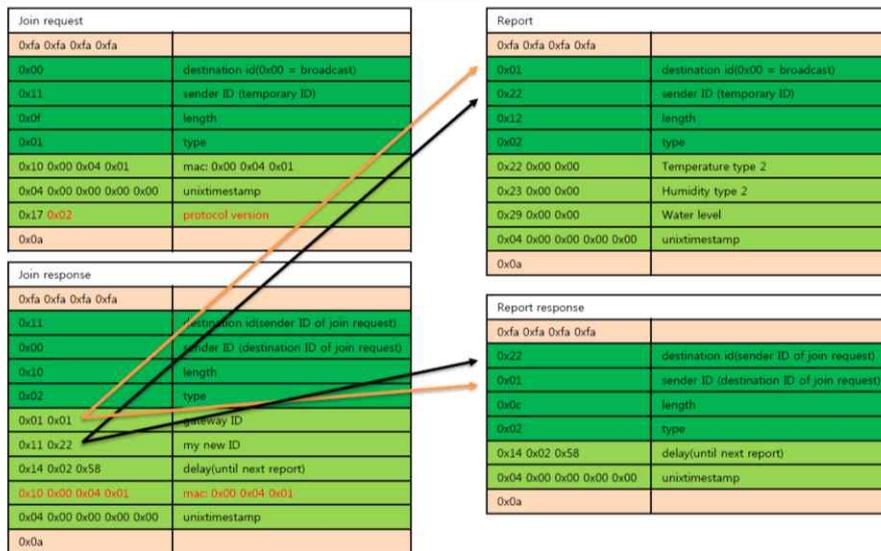


그림 3-1-14 | 무선 센서-네트워크 통신 프로토콜 PDU 정의

기본 PDU는 4바이트의 preamble과 1바이트의 postamble 사이에 위치하며 헤더와 페이로드로 구성된다. 헤더는 destination address (1 byte), source address (1 byte), length(1 byte, 전체 패킷 길이), type(1byte, 패킷 타입)의 4바이트로 구성되며 type 바이트는 변형된 REST 프로토콜의 HTTP verbs를 따랐다. 페이로드는 REST 프로토콜의 POST request와 같이 "변수 번호", "변수값"의 어레이로 이루어진다. 이는 확장성과 프로그램 유연성을 위한 것이다. 아래는 Zone 또는 Cell 관련 변수정의이다. 여기서 변수값의 길이는 유동적임에 유의할 필요가 있다.

표 3-1-20 | 통신 프로토콜 PDU 페이로드 구성을 위한 변수 정의

버전	변수번호	변수 설명	길이(Byte)	비고
0x02	0x00	Gateway ID	1	
	0x01	Channel		
	0x02	comm. Timeout	1	
	0x03	Report interval	2	
	0x04	unixtime	4	
	0x05	Routing	가변	0 : no of mac 1~ 3 : 1st mac 4~ 6 : 2nd mac 7~ 9 : 3rd mac 10~12 : 4th mac
	0x10	MAC	3	
	0x11	ID	1	
	0x12	Channel	1	
	0x13	VCC	2	
	0x14	Delay	2	
	0x15	Internal temperature	1	
	0x16	Type of sensor board	1	
	0x17	Protocol Version	1	
	0x18	LQI	1	
	0x19	RSSI	1	

통신 프로토콜은 무선 통신의 낮은 신뢰성을 극복하기 위하여 TCP의 Three-Way Handshake 메커니즘을 도입하였다. 무선 통신은 request, response, ack의 3단계로 진행된다. 이를 하나의 transaction으로 본다. 그러나 TCP의 연결과 달리 하나의 transaction은 다음 transaction과 연관 관계가 없다. 전체 네트워크의 상태는 transaction 기준으로 천이된다. 대부분의 경우 센서노드는 상시 전원이 공급되지 않고 배터리로 구동되므로 게이트웨이로부터 지정받은 지연 주기에 따라 Sleep 모드에서 깨어나 상태를 리포트하고 게이트웨이가 지정한 주기 동안 다시 Sleep 모드로 전환된다.

PDU 헤더에 RTC(Real-time Clock) 값이 포함된 것은 데이터의 정합성과 신뢰성을 확보하기 위함이다. RTC는 센서와 게이트웨이 간의 시간을 동기화하여 관측주기와 경보 시간을 정확히 일치시키는 역할을 하며, 통신의 장애로 일부 데이터가 누락될 경우 센서에 설치된 SD 메모리카드에서 데이터를 동기화하기 위함이다.

## (2) Join/Report 사이클

센서노드는 사전에 게이트웨이에 등록되어야 한다. 센서노드에 전원이 인가되면 주기적으로 절전모드에서 깨어나 join request를 송출한다 (상기의 join request PDU 참조). 센서노드로부터의 join request에 대해 게이트웨이는 등록되어 있는 센서노드인지를 확인하고 등록되어 있지 않은 센서의 경우 PDU를 무시한다. 게이트웨이는 등록된 센서의 Join Request Packet를 수신하면 최대절전모드 지연 시간 등의 변수값을 포함한 join response를 송출한다. Join response를 수신한 센서노드는 등록된 상태로 천이하고 join ack를 송출한다. 이러한 3단계의 Handshaking을 거치게 되면 센서노드가 게이트웨이에 정상적으로 등록된다.

센서의 Join Request에 게이트웨이가 Response를 하지 않으면 센서노드는 10초 내에 다시 한 번 Join Request를 송신한다. 두 번째 Request에도 Response가 없으면 30~60초 사이의 난수를 생성하고 해당 시간만큼 Delay 시간을 가진 후에 다시 Join을 시도한다. 이러한 프로세스는 통신이 회복되었을 경우 센서노드가 빠르게 Join 할 수 있도록 하고, 아울러 센서노드의 연속적인 Join Request에 의해 다른 센서의 통신이 방해되는 경우를 최대한 배제하기 위함이다.

게이트웨이가 관리하는 zone/cell에 등록된 이후에는 게이트웨이가 지정한 최대절전 지연 시간에 따라 최대절전모드에 머물다 깨어나 report request를 송출하여 report transaction을 수행한다. 아래는 join/report cycle을 표시한다.

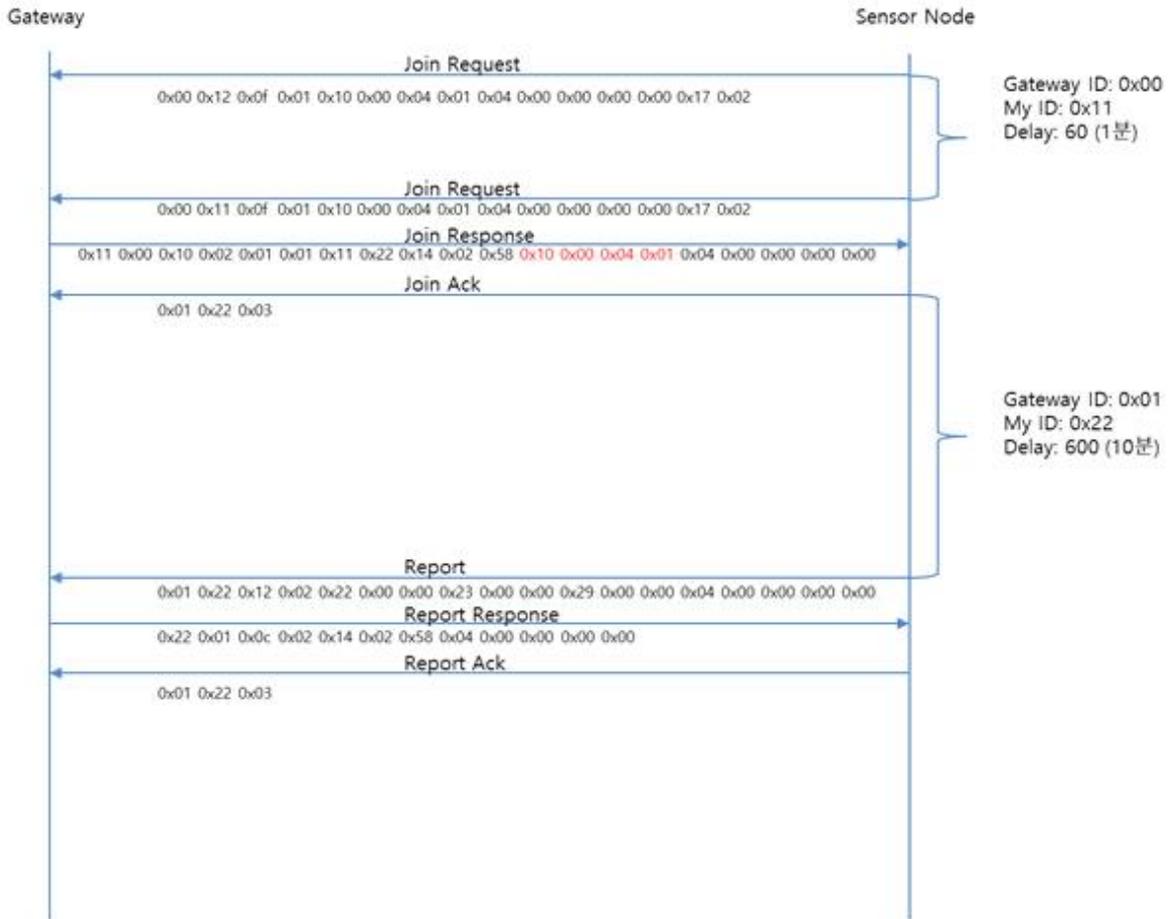


그림 3-1-15 | 무선 통신을 위한 Join Request/Response 사이클

### (3) 중계기를 통한 라우팅 프로토콜

중계기 노드도 일반적인 Join/Response 프로세스를 그대로 사용한다. 다만, 게이트웨이에서 Join Response 패킷에 해당 중계기 하위 센서노드의 MAC 주소 리스트를 포함하여 전달함으로써 중계기에서 센서노드의 패킷중 중계 대상을 결정할 수 있도록 한다는 점만 다르다. 이러한 방법은 게이트웨이와 중계기 노드 사이에서는 테이블 드리븐 라우팅 방법을 이용하는 반면에 센서노드 차원에서는 게이트웨이를 중심으로 한 단순한 Star 방식의 토폴로 구성되도록 하는 장점이 있다. 이를 통해 무선 통신 거리의 한계(5km)를 확장하고 산악 지형에서의 통신 신뢰성을 확보할 수 있도록 지원한다.

그림 3-1-16은 중계기를 통한 라우팅 프로토콜의 방법을 설명한다. 만약 무선 센서-네트워크가 게이트웨이, 중계기 2대, 센서 2대로 이루어진 경우 다음과 같은 중계 프로세스를 거치게 된다.

- 관리자가 센서\_1과 센서\_2를 설치하고, GUI에서 등록한다.
- 센서\_1과 센서\_2는 전원이 인가되면(Power-On) 게이트웨이에 Join을 시도한다. 단, 센서\_1과 센서\_2에서는 거리가 멀어 게이트웨이까지 통신이 전송되지 못한다. 무선 센서-네트워크에서는 모든 패킷이 Broadcasting 되므로 중계기\_2에 수신된다.
- 중계기\_2에서는 등록된 센서가 아니므로 수신된 패킷을 Drop 한다.

- 관리자가 중계기\_1과 중계기\_2를 설치하고 시스템에 등록한다. 그리고 센서\_1과 센서\_2는 중계기\_2를 거쳐 중계기\_1에 전달되고 최종적으로 게이트웨이에 전달될 수 있도록 토폴로지를 구성한다.
- 중계기\_1이 게이트웨이에 Join 요청을 한다. 게이트웨이는 중계기\_1의 하위에 센서\_1과 센서\_2가 있음을 Join Response Packet 안에 Entry List를 통해 전달한다.
- 중계기\_2가 게이트웨이에 Join 요청을 하게 되고, 위의 동일한 방법으로 하위 센서노드 리스트를 받게 된다.
- 다시 센서\_1이 게이트웨이에 Join Request를 보낸다. 중계기\_2는 하위 센서노드임을 확인하고 이를 Forwarding 한다.
- 중계기\_1은 중계기\_2로부터 수신한 Packet을 분석해 하위 센서노드임을 확인하고 다시 Forwarding 한다.
- 게이트웨이는 센서\_1의 Join Request에 대응해 Join Response를 송신한다.
- 게이트웨이가 송신한 Packet은 중계기\_1과 중계기\_2를 거쳐 센서\_1에 전달된다.
- 센서\_2가 게이트웨이에 Join Request를 보낸다. 중계기\_2는 하위 센서노드임을 확인하고 이를 Forwarding 한다.
- 중계기\_1은 중계기\_2로부터 수신한 Packet을 분석해 하위 센서노드임을 확인하고 다시 Forwarding 한다.
- 게이트웨이는 센서\_2의 Join Request에 대응해 Join Response를 송신한다.
- 게이트웨이가 송신한 Packet은 중계기\_1과 중계기\_2를 거쳐 센서\_2에 전달된다.

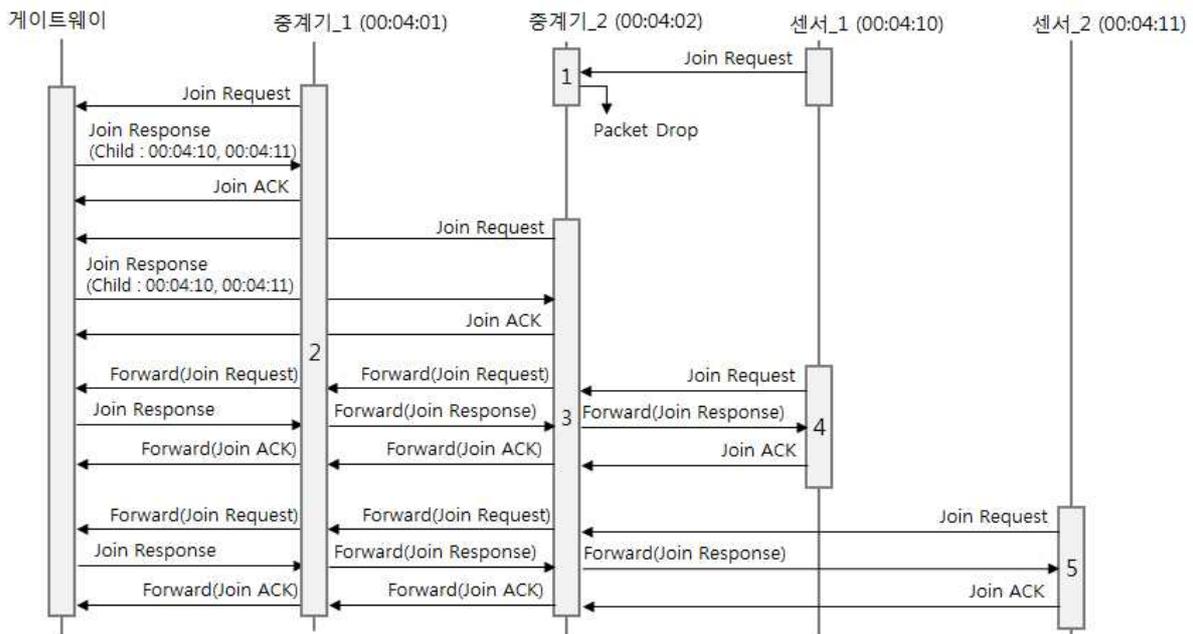


그림 3-1-16 | 중계기를 이용한 라우팅 프로토콜 이용 방법

## 다. 무선 센서-네트워크 토폴로지 구성

관리자는 WEB 상에서 센서를 등록하고 네트워크 토폴로지를 구성할 수 있다. 센서가 5개, 중계기가 3개인 네트워크를 보이고 있다. 센서 2개는 중계기\_1에 연결되어 있고 중계기\_2에는 센서 1개, 중계기\_3에는 센서 2개가 연결되어 있다. 이러한 센서와 중계기 간의 네트워크 토폴로지는 다음과 같은 방법으로 구성할 수 있다.

- 관리자는 먼저 센서와 통신 반경을 감안한 중계기를 현장에 설치한다.
- 설치한 센서와 중계기를 WEB 시스템에 접속해 등록한다. 센서와 중계기는 기본적으로 MAC 주소를 통해 구분되지만, WEB 상에서 해당 ID가 할당된다.
- 센서를 해당 중계기 하위의 네트워크 토폴로지를 갖도록 설정한다. 설정하는 방법은 해당 센서 또는 중계기를 마우스 클릭하면 상위(Parent) 노드를 설정할 수 있는 화면(그림 3-1-18)이 보인다. 화면에서 “Parent” 항목이 상위 노드를 가르키는 것으로 상위 노드에 해당하는 ID 값을 입력한다. 입력에 성공하면 WEB 시스템은 자동으로 네트워크 토폴로지를 나타내는 연결선이 업데이트 된다. 그리고 상위 노드가 Join을 하거나 주기적인 업데이트 요청을 하게 될 때 해당 네트워크 토폴로지 구성 정보를 전달한다.

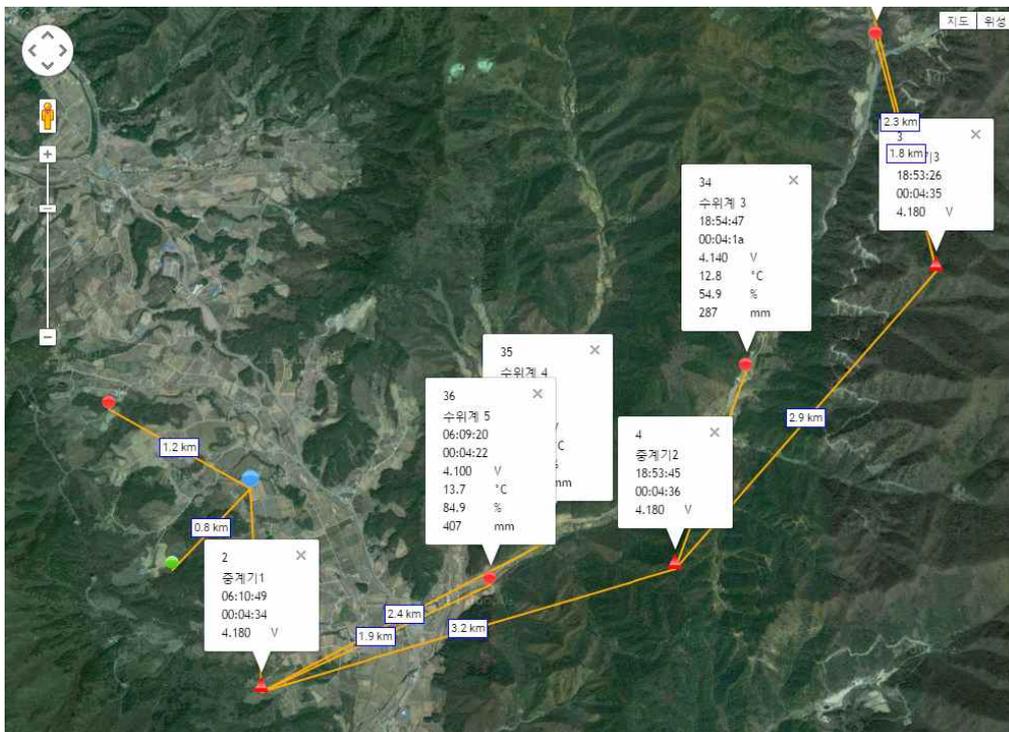


그림 3-1-17 | 네트워크 토폴로지 구성을 위한 예제

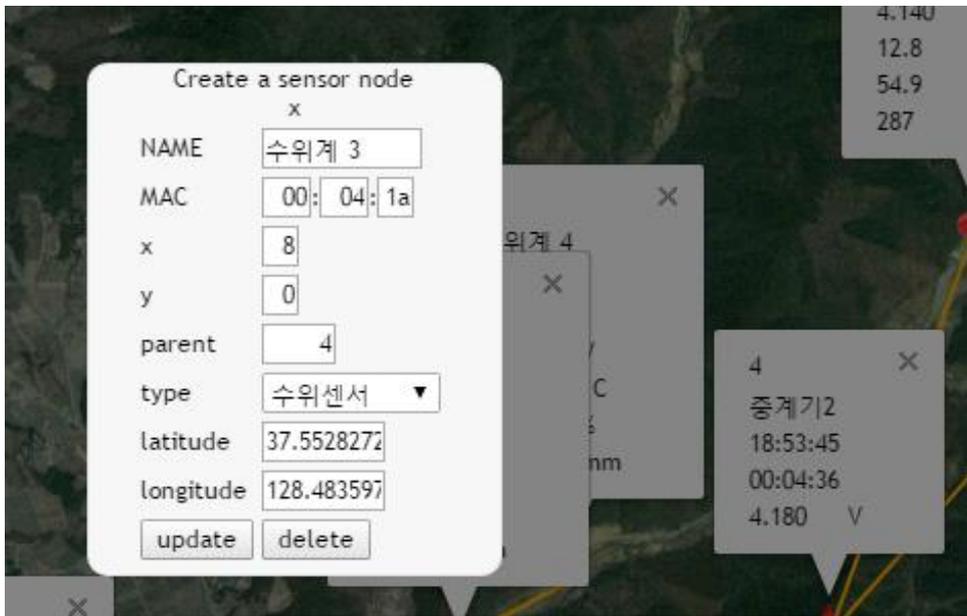


그림 3-1-18 | 네트워크 토폴로지 변경 화면

### 3. 돌발홍수 감지를 위한 수위 센서 개발

#### 가. 초음파 수위 계측 센서

본 연구에서는 초음파 계측 센서로 “MB7389 HRXL-MaxSonar®-WRMT(MaxBotix Inc. 제품으로 5m, 10m, 20m 측정용 센서가 제공됨)”를 선택하였다. 이 센서는 1mm 정밀도와 노이즈 감소 기능을 자체 내장하고 있으며, 완전 방진/방수체로 구성되어 현장에서 운용될 수 있는 최상을 기능을 제공한다. 또한 2.9mA의 저전력으로 운용될 수 있어 저전력 센서노드 개발이 가능하다. MaxSonar-WR 제품의 주요 기능을 살펴보면 다음과 같다.

- 분해능: 1 mm
- 읽기속도: 6.66Hz reading rate
- 빌트인 온도 보정 기능
- 거리측정용 42kHz 초음파 센서
- 세계의 센서 출력(Analog Voltage, Serial, Pulse Width)에서 데이터 읽음
- 사실상 데드존이 없음. 30cm보다 가까운 물체는 30cm로 표시함
- 최대 측정거리: 5000mm ~ 20,000mm
- 동작전압: 2.7-5.5V
- 저전력: 2.9mA
- 동작온도: -40°C to +65°C
- 전압, 습도, 노이즈에 대한 실시간 자동 보정
- 진보된 노이즈 tolerance와 clutter reject을 위한 펌웨어 필터링
- 방수방진지수: IP67, Chemical Resistant F-Option (옵션임)
- 탐지 범위 내 가장 큰 반향 신호를 검출
- 만약 가장 큰 물체가 탐지 되지 않는다면, 동적으로 다음으로 작은 물체를 탐지
- 탱크 등의 수위 측정 등에 가장 적합
- 길고 얇은 빔 패턴

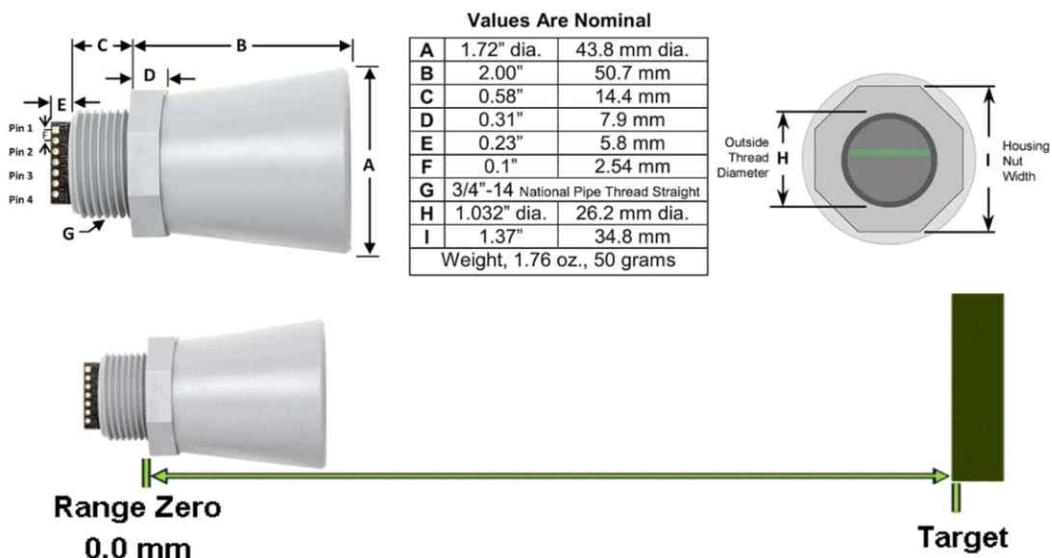


그림 3-1-19 | 초음파 센서(MB7389 HRXL-MaxSonar®-WRMT)

## 나. 초음파 수위 계측기 형상

초음파 수위 계측기는 합체와 태양광 패널, 초음파 센서, 그리고 현장 설치를 위한 마운팅으로 구성된다. 합체에는 통신모듈, MCU를 포함한 PCB, 배터리를 포함하며, 초음파 센서의 부착을 위한 프레임 구조로 되어 있다.

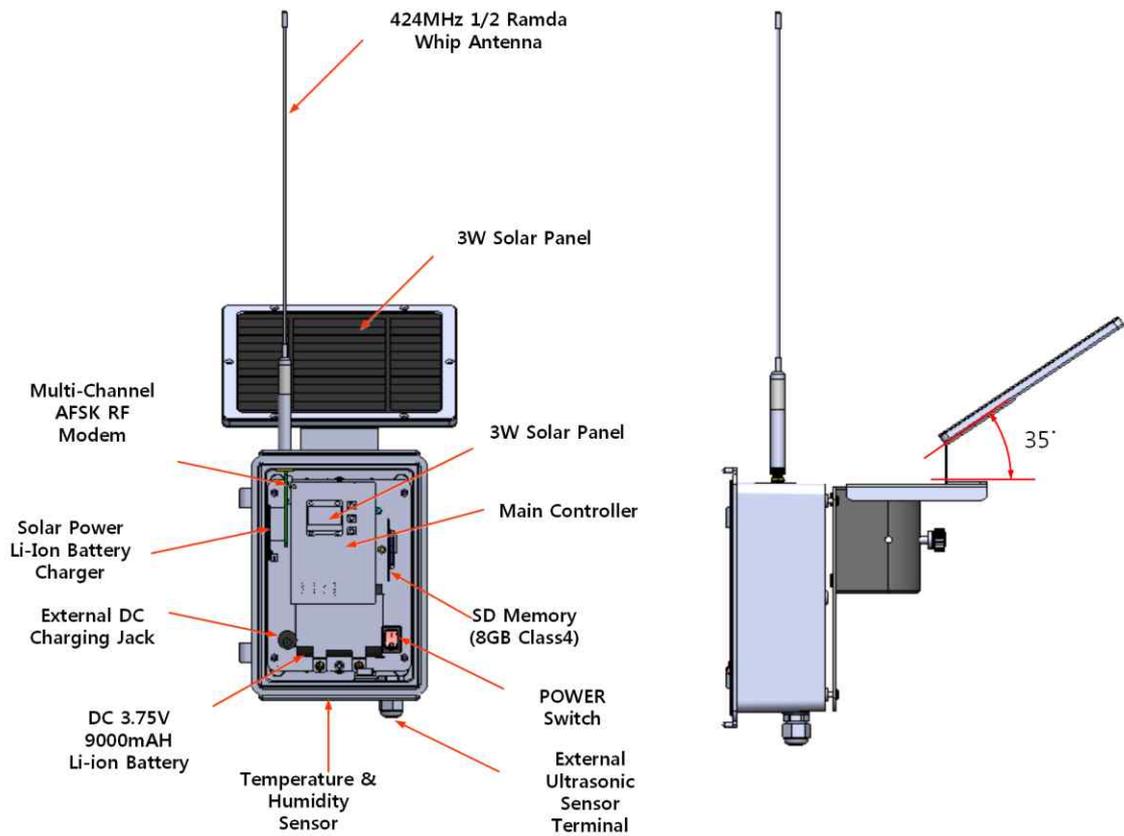


그림 3-1-20 | 초음파 수위 계측기 합체 구성도

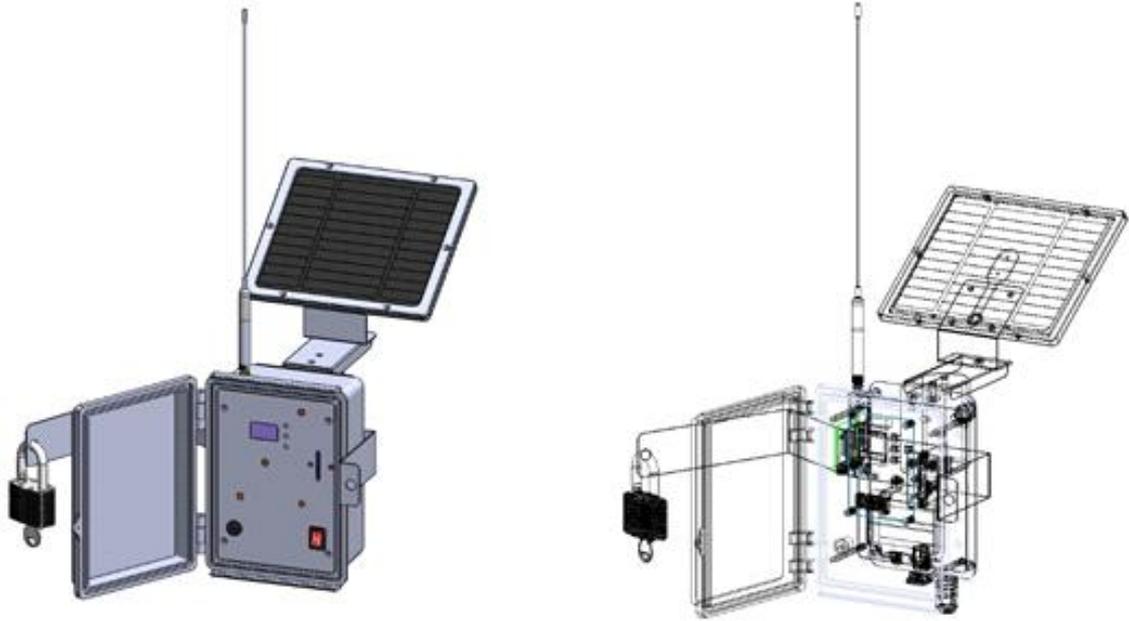


그림 3-1-21 | 초음파 수위 계측기 내부 구성 설계도



그림 3-1-22 | 돌발홍수 조기 감지를 위한 초음파 수위 계측기 형상

수위계측기 함체는 완전 방진/방수 함체로 내부의 전자회로 및 배터리를 보호할 수 있도록 하였으며, 외부에 철재 도난방지 시건장치를 할 수 있도록 하였다. 내부에는 메인 PCB 보드, 배터리, 통신모듈을 포함하고 있다. 함체를 열면 간단한 장비 조작 패널이 있고, 계측 정보를 저장하는 메모리를 볼 수 있으며, 장비의 전원 버튼을 볼 수 있다. SD 메모리 카드는 매 30초 간격으로 수위 계측 정보가 저장되고 장비 내부에 있는 RTC(Realtime Clock)가

게이트웨이와 동기화 되므로 정확한 시간의 관측정보를 추출할 수 있다. 조작판 상단에는 3개의 버튼이 있어, 맨 위쪽의 버튼은 관측정보를 보여주는 화면과 통신 상태 및 수위 영점 조절 상태를 보여주는 화면간의 전환 기능을 수행한다. 가운데 버튼과 맨 아래 버튼은 수위 영점 조절을 위한 버튼으로 가운데 버튼을 길게 누르면 10cm 간격으로 수위값이 올라가고, 짧게 누르면 1mm 간격으로 수위값이 올라간다. 아래 버튼은 가운데 버튼과 반대로 10cm 또는 1mm 간격으로 수위값을 내리는 기능을 한다. 왼쪽 하부에는 장비가 완전 방전 된 경우 4V 어댑터를 이용하여 충전할 수 있는 충전잭이 위치한다.



그림 3-1-23 | 초음파 수위 계측기 함체 및 내부 모습

태양광 패널 부분은 함체 위쪽에 마운트 할 수 있고 태양 방향에 따라 방향을 조정할 수 있도록 하였다. 날씨가 좋은 경우 2시간의 태양광 발전으로 배터리를 완전 충전할 수 있으며, 태양광 발전 없이 내부 배터리로 약 15일(5분 간격 수위 계측 시)을 유지할 수 있다.



그림 3-1-24 | 태양광 패널 형상

표 3-1-21 | 태양광 패널의 상세 스펙

---

PCB size : 138*160*1.5 mm
Monolithic : 10.93*156 mm
Efficiency : 16%
Voltage : 5.5V
Current : 540mA
Power : 3W
Connector : 2.0mm JST
Type : 156 Two line
PCB Material : all Glass fiber
PCB requirements : positive
Quality requirements :
flatness less than 0.1mm
clean, does not allow to have the scratch
take off paint the phenomenon, such as a hole does not allow to
have the deviation
Note : tolerance Positive and negative 0.1mm
Name : PET laminated (138*160)
Arrangement : 1*11(series)NO spacing posted artical black

---

내부 배터리 구성에 있어서 수위계에 사용하는 MCU 및 센서의 동작전압은 DC 3.3V로써 배터리 및 전압 변환 효율을 감안하여 배터리 전압은 DC 3.7V(완전충전 4.2V) 결정하였다. 배터리는 리튬 이온 배터리를 사용한다. 리튬 이온 배터리는 동일 크기의 니켈 카드뮴 배터리보다 용량이 약 3배 높고, 메모리 현상이 없어서 배터리의 용량이 줄어들지 않아 오랫동안 사용할 수 있으며, 카드뮴, 납, 수은 등 환경 규제 물질을 포함하지 않고, 충전하여 재사용하는 2차 전지이므로 환경 친화적인 제품인 점을 감안하여 결정하였다. LG 리튬이온 ICR18650 D1(3.75V,3000mAh, 4/3FA사이즈) 3개를 병렬로 연결하여 9000mAh의 용량을 갖췄다.

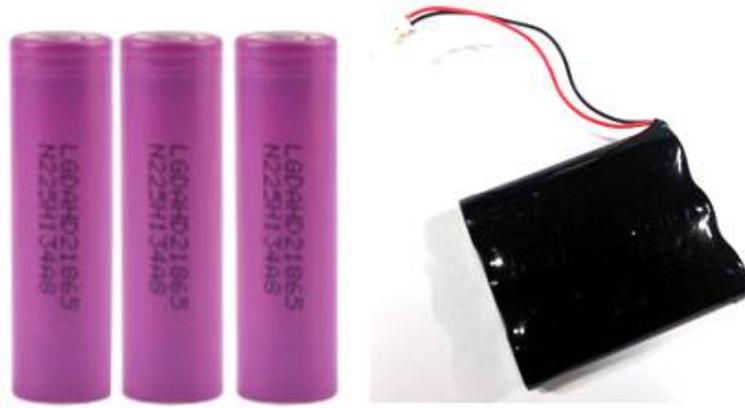


그림 3-1-25 | 수위 계측기 내부 배터리

초음파 센서 부위는 “ㄱ”모양의 프레임 구조를 가지는데 가운데 브라켓을 이동하여 초음파 계측기의 높이를 조절할 수 있고, 옆으로 뺀 프레임을 조정하여 마운트 지점에서 초음파 센서의 거리를 조절할 수 있도록 하였다. 초음파 센서는 방수 형태로 별도 제작하여 프레임에 부착하였다. 도난 및 훼손을 방지하기 위해 모든 나사는 특수 나사를 사용하여 특별 공구가 아니면 장비를 해체할 수 없도록 하였다.



그림 3-1-26 | 초음파 센서 부분의 형상

수위 계측기의 경우 교량위에 설치하거나 보/웨어 상단부에 앵커로 고정하여 설치하는 경우, 저수지 제체 및 뚝에 매립하여 설치하는 경우가 많다. 본 장비는 이러한 모든 경우에 활용할 수 있도록 프레임 구조를 마운트 할 수 있는 발판을 구성하고, 콘크리트 구조물 위에 설치할 경우 앵커 볼트를 이용하여 설치할 수 있도록 하였으며, 매립하여 설치가 필요한 경우 30cm 콘크리트 블록에 결합하여 매립할 수 있도록 하였다.



그림 3-1-27 | 콘트리트 구조물 및 매립을 통한 수위 센서 마운트 방법

#### 다. 초음파 수위 계측기 회로 구성

초음파 수위 계측 센서는 ATmel사의 AVR 프로세서인 ATMEGA128 기반으로 만들어졌다. ATMEGA128은 8-비트 AVR 마이크로 컨트롤러로 128KB의 플래시와 4KB의 램, 4KB의 EEPROM, 10-비트 A/D 컨버터 8채널 등을 탑재하였고 최대 16MHz로 동작시킬 수 있다.

프로그램의 개발은 AVR C 기반 AVR Studio를 사용하여 진행되었다. 기능의 구현은 전통적인 sequential processing loop과 state machine을 통하여 만들어졌으며 컴파일 된 펌웨어의 크기는 약 40KB 정도이다.

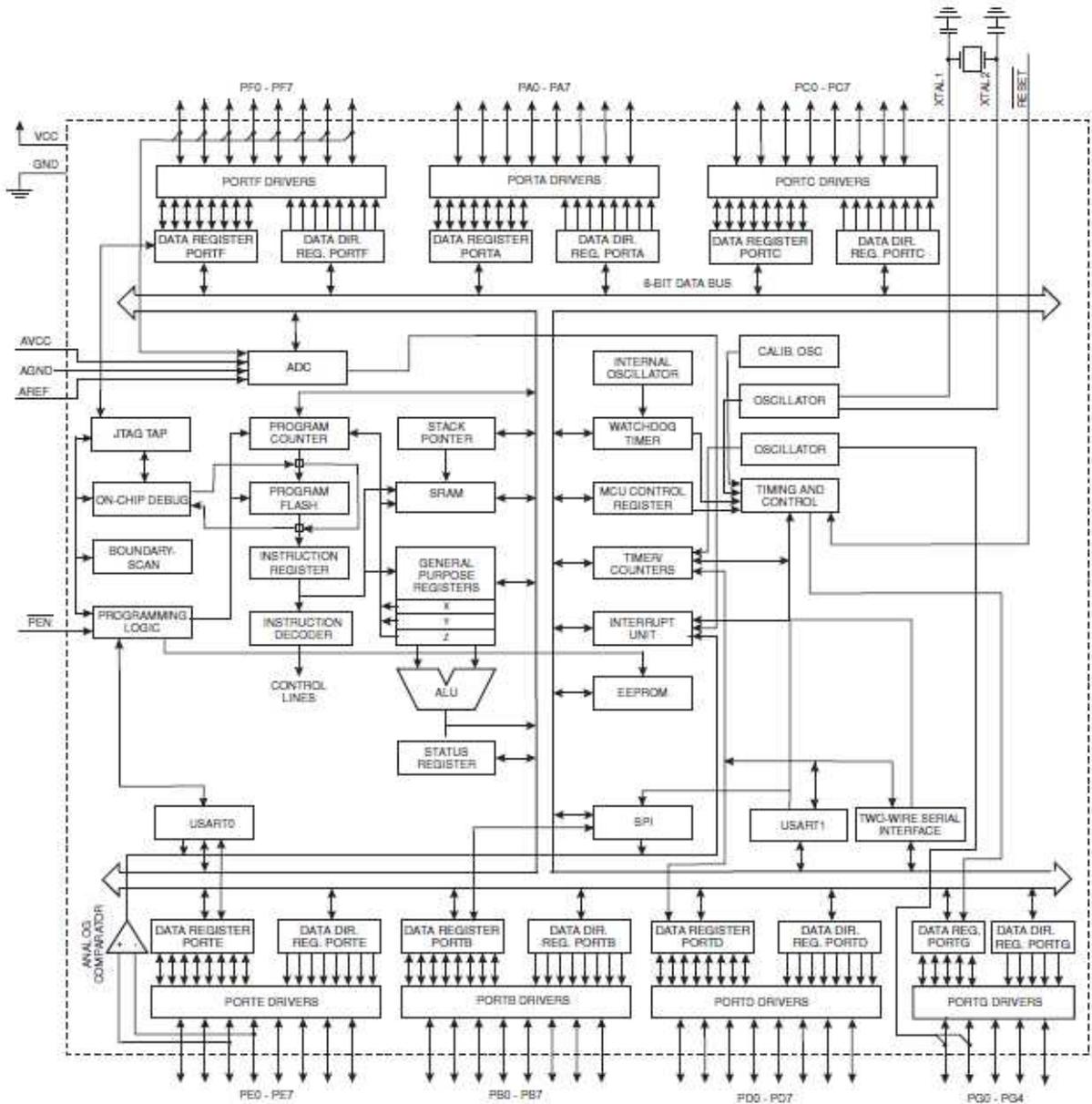


그림 3-1-28 | ATMEGA128A 내부구조

센서의 동작을 컨트롤하기 위한 프로그램은 다음의 플로우차트와 같은 기능 구성으로 작성되었다. 주과정 프로세스는 무선 RF 통신 준비, 게이트웨이에 Join, 계기판의 인터럽트 처리, 일정 Delay 시간을 대기한 후 수위 계측 및 계측 정보의 송신 과정을 거치게 된다. 계기판의 버튼 조작에 의한 인터럽트 과정은 화면전환, 수위 영점 조정 과정을 담당하며, 수위 계측 및 관련 자료 송/수신 과정은 데이터 수집 및 리포트 프로세스에 의해 동작한다.

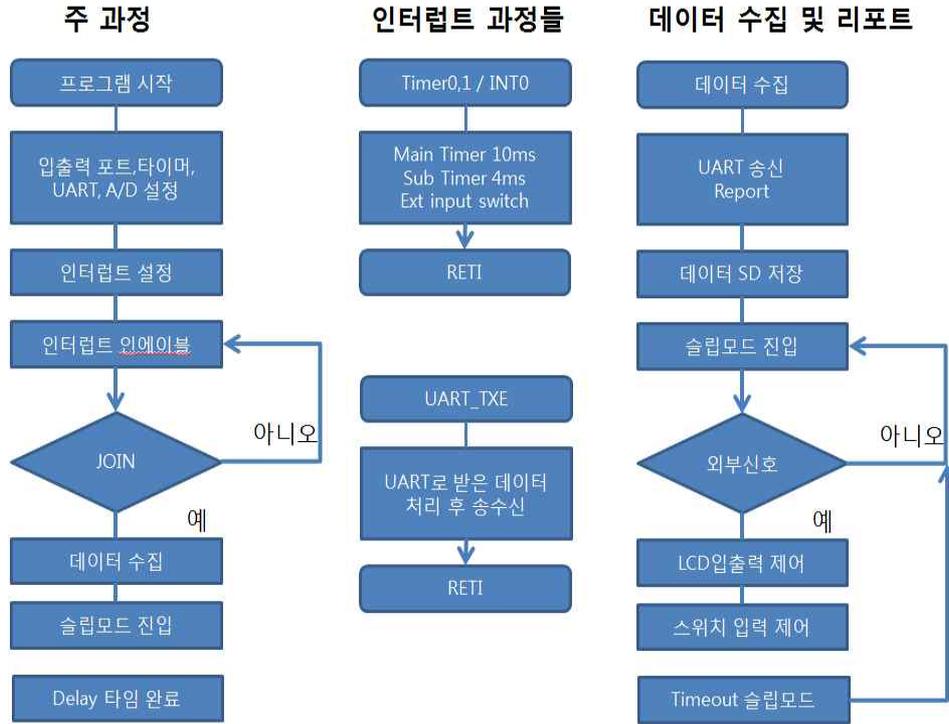


그림 3-1-29 | 초음파 수위 계측기 MCU 프로세스

PCB 회로구성에 있어서 센서노드의 전력관리는 다음 회로 구성을 통해 저전력으로 운용될 수 있도록 하였다. 게이트웨이에서 지정한 Delay 시간 동안은 최대절전 모드로 전환하여 수  $\mu\text{A}$  이내의 전력으로 대기할 수 있도록 하였다. 구성된 회로는 다음과 같은 동작을 수행한다.

- PG0\_Sensor\_ON\_OFF를 OFF 시킴으로써 센서 전원 완전 차단
- PA3\_DCDC\_ON\_OFF를 OFF 시킴으로써 5V DC 사용 전원 완전 차단.
- RF\_ON\_OFF를 OFF 시킴으로써 통신 할 때만 전력을 사용

MCU 전원은 3V를 사용하도록 설계하였다. 또한 저전력 센서 운영을 위해 관측 및 통신 동작 시간 이외에는 Sleep 모드로 동작하도록 하였으며, 이를 위해 32.768kHz의 크리스탈 방법을 사용하였다.

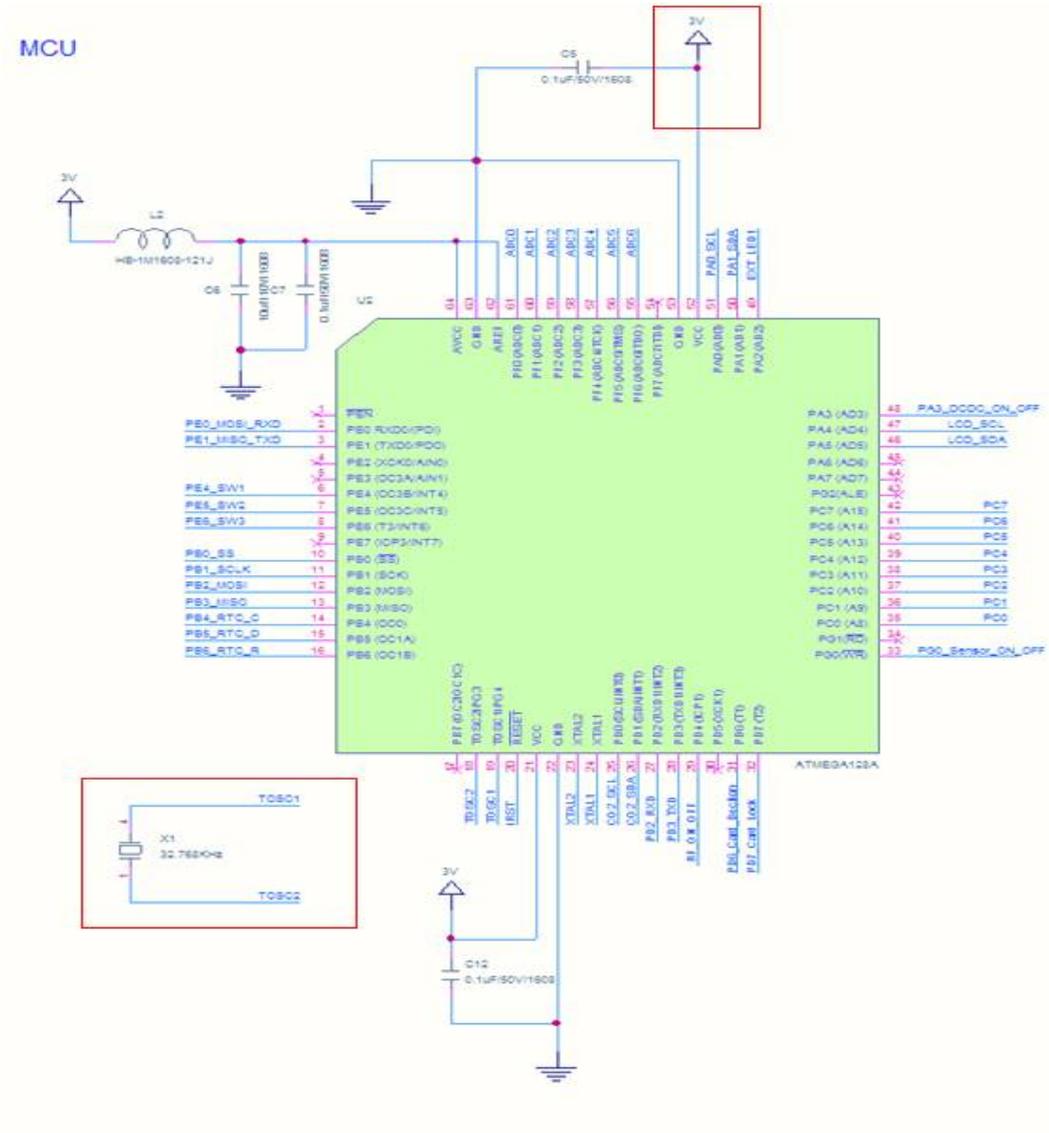


그림 3-1-30 | MCU 주변 회로 설계

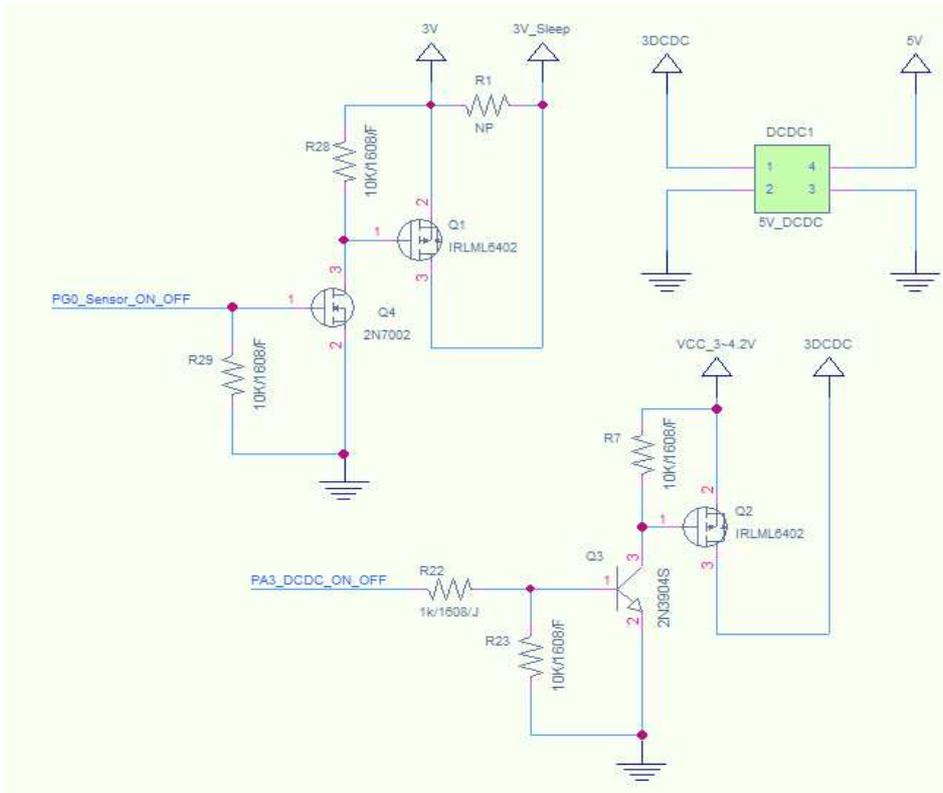


그림 3-1-31 | 초음파 수위계측기 MCU 전원 관리 회로 구성

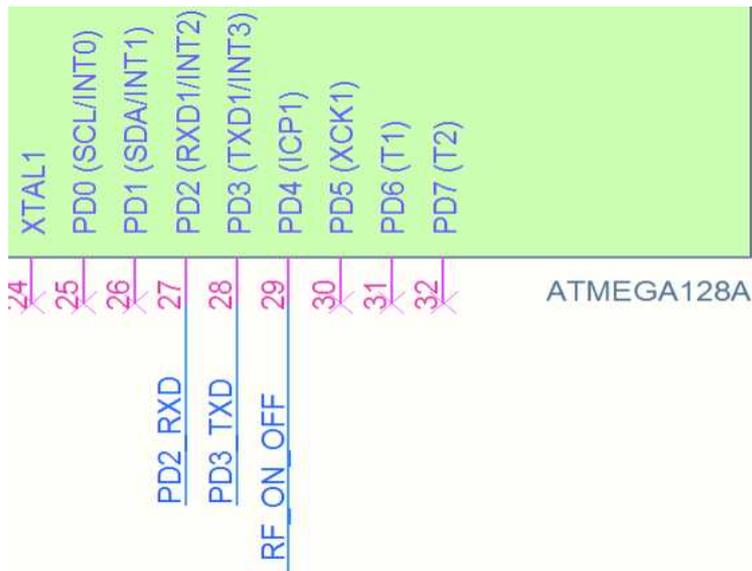


그림 3-1-32 | 초음파 수위센서 전력관리를 위한 MCU(ATmega128) 핀 연결 관리

계측 데이터는 게이트웨이와 Join된 상태에서는 게이트웨이에서 설정한 지연시간에 따라 관측 자료를 SD 카드에 기록한다. 만약 Join 상태가 아닌 경우에는 30초 간격으로 수위 자료를 계측하고 관련 자료를 SD 카드에 저장한다. SD 카드는 8GB의 용량을 이용할 수 있도록 하였으며, 수위 계측자료는 게이트웨이와 동기화된 시간에 따라 날짜별로 파일을 구성

에 기록할 수 있도록 하였다. 통신 상태와 관계없이 관측자료의 안정적인 관리를 위해 자료는 수위 센서노드의 SD 카드에 1차적으로 저장되고, 게이트웨이에 2차 저장되고, 마지막으로 사용자 WEB 서비스를 위해 인터넷을 통해 서버에 전달되어 DB에 저장되는 3중 구조를 가지게 된다. 따라서 센서와 게이트웨이간 통신 불능 시에는 센서노드에 있는 SD 카드에서 자료를 구할 수 있으며, 게이트웨이와 WEB 서버의 통신이 안 될 경우에는 통신 재개시에 자동으로 게이트웨이에 있는 자료가 WEB 서버 DB로 이관되어 동기화 되도록 하였다.

수위 센서노드에서 SD 카드에 데이터를 저장하는 과정은 배터리 소모가 많아 이에 따른 문제가 발생하지 않도록 풀업 저항 47kΩ 단자를 적용하여 전류값을  $I=V/R = 3/47000 = 6.3\mu A$ 로 최소화 시켰다.

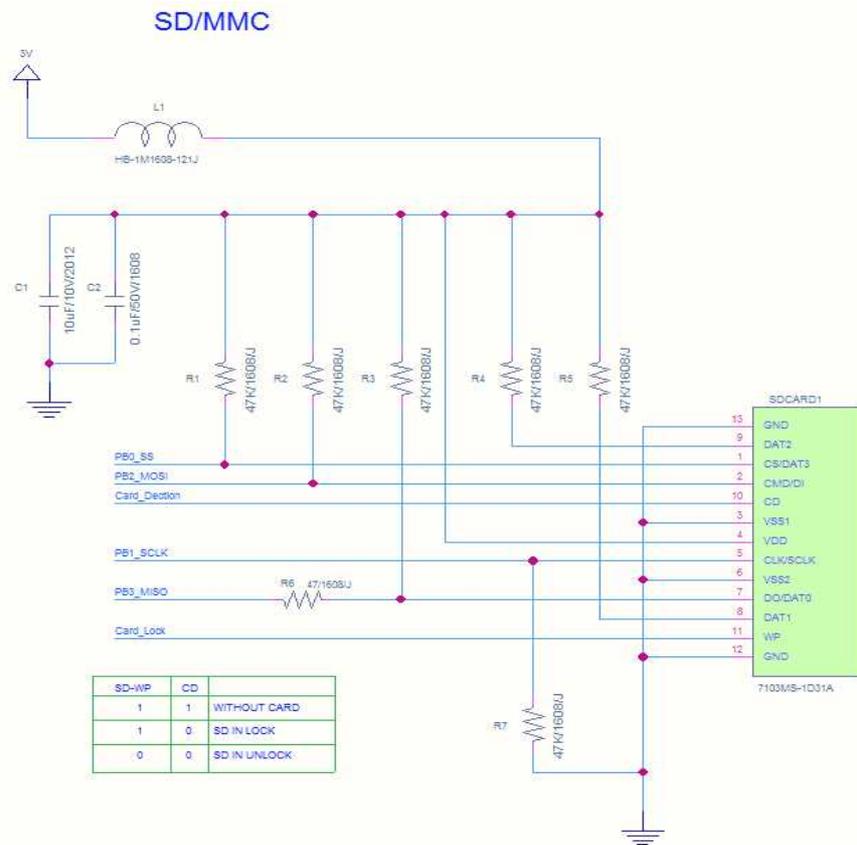
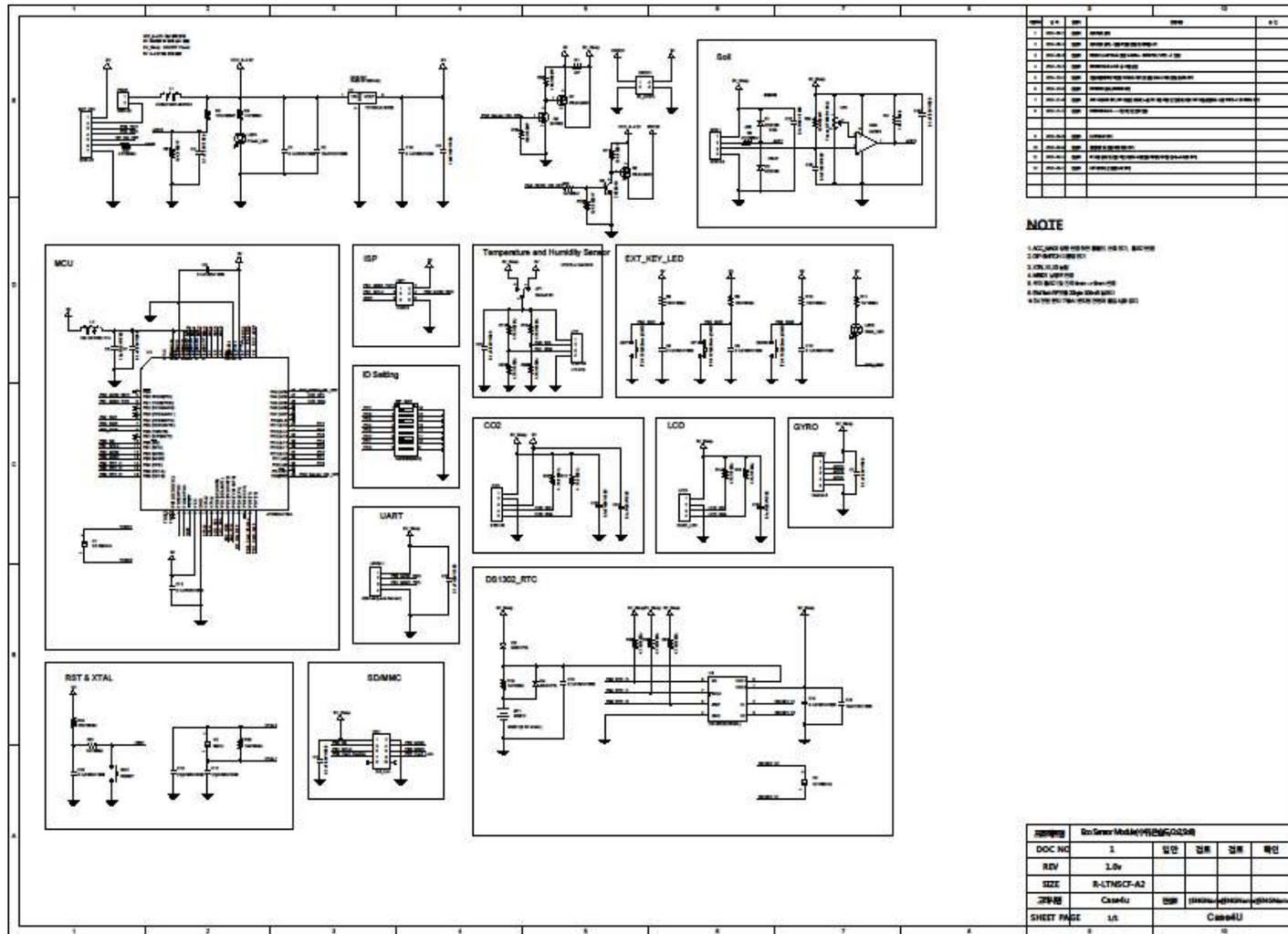


그림 3-1-33 | SD 카드 전력소모 관리를 위한 회로 설계

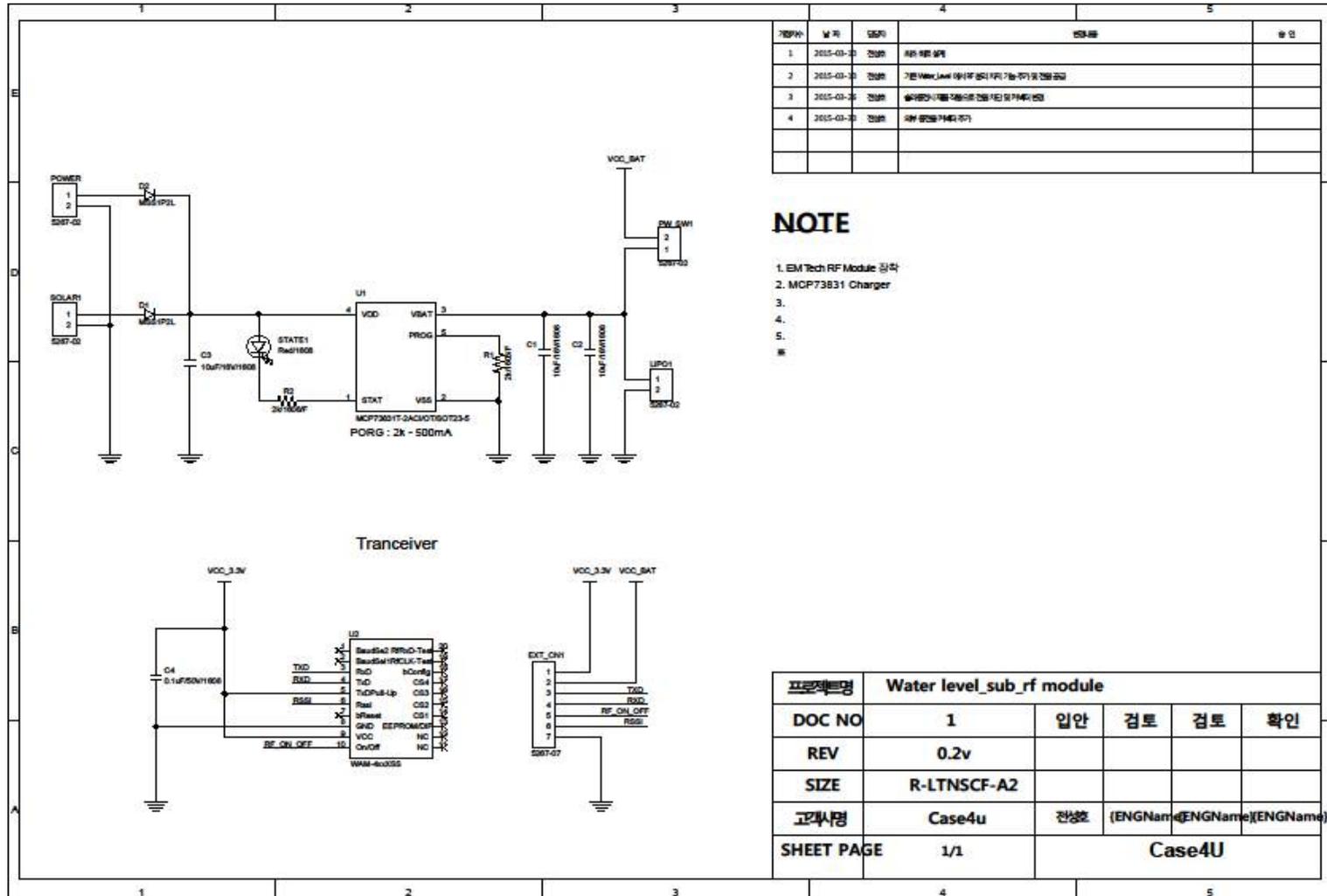
(1) 초음파 수위 계측 관련 회로도

초음파 수위 계측기 센서는 총 4개의 PCB로 구성되어 있다. MCU를 포함하는 중앙 회로는 전력관리, 데이터 관리, 통신 관리를 담당하고, 무선통신 회로는 무선 RF 통신 모듈을 컨트롤 하는 역할을 하며, SD카드 관리 회로는 데이터 저장 및 SD 카드 관리에 필요한 전력을 관리하고, 온습도 센서 회로도 는 계측기의 부가정보로서 온도와 습도를 계측하고 관리할 수 있는 기능을 수행한다.

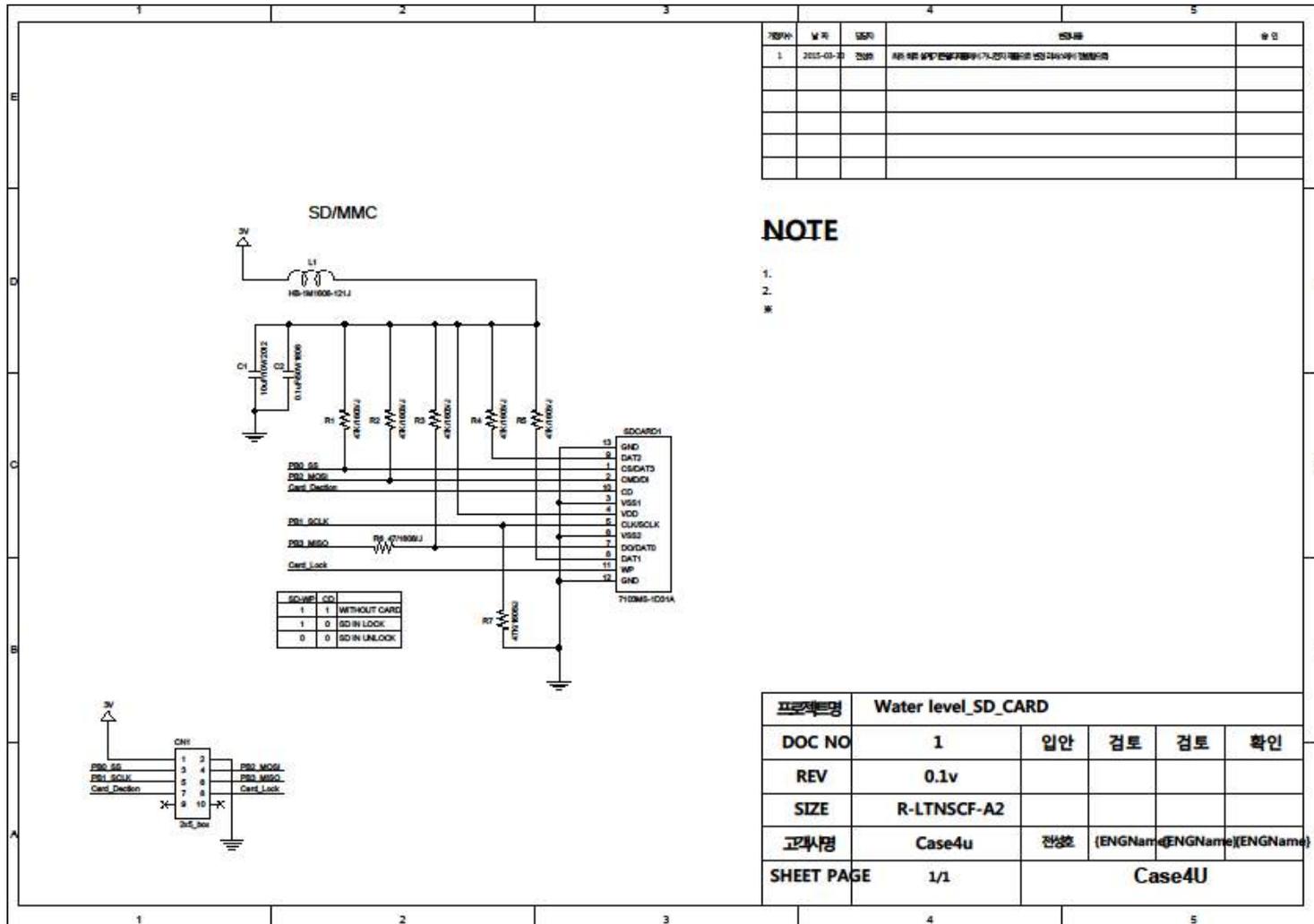
(가) 초음파 수위 계측기 중앙 회로도



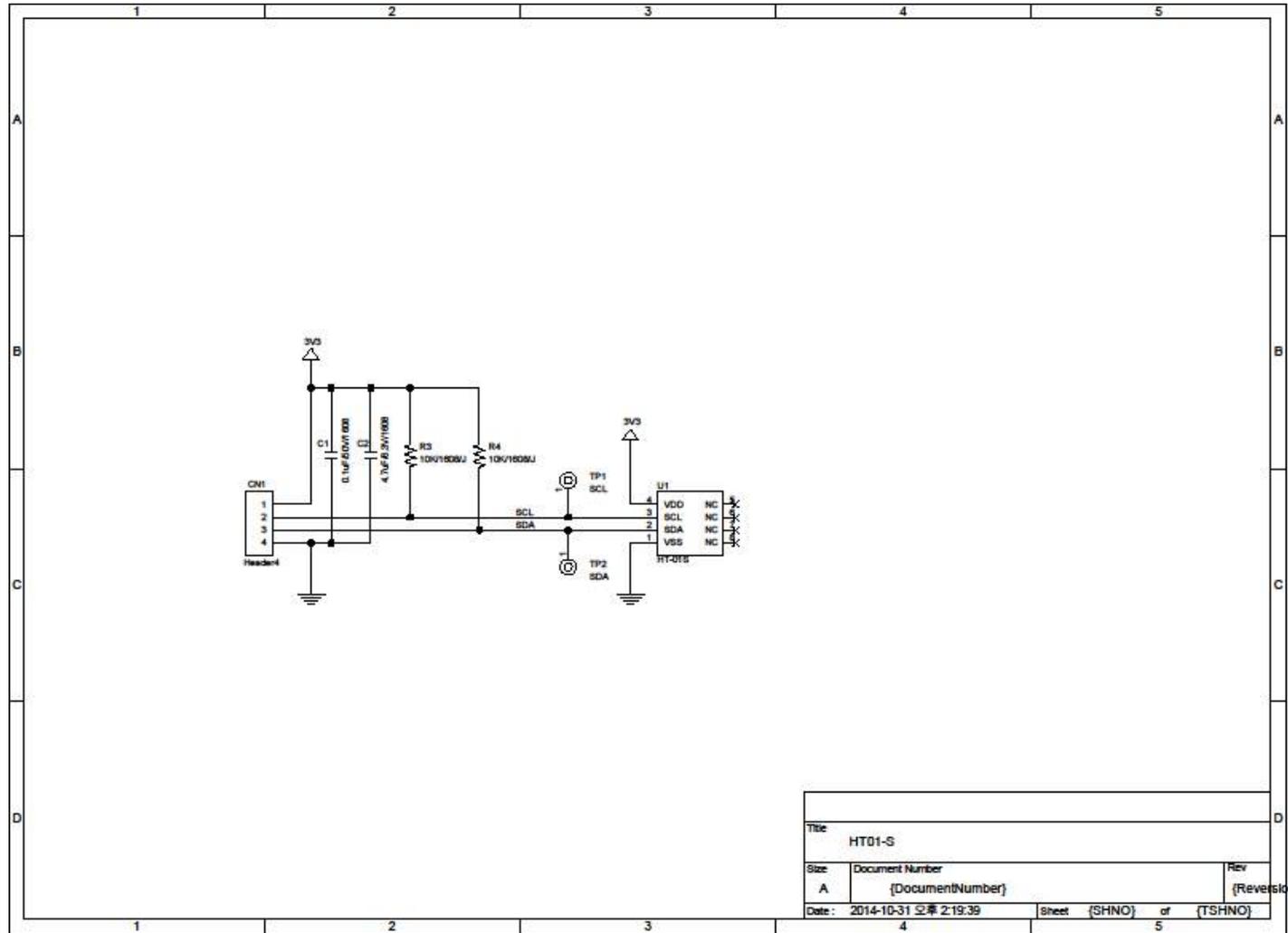
(나) 무선 RF 통신 관리 회로도



(다) SD 카드 관리 회로도



(라) 온습도 센서 관리 회로도



라. 초음파 수위 계측기 PCB 설계

(1) 초음파 수위 계측기 중앙회로 PCB 설계

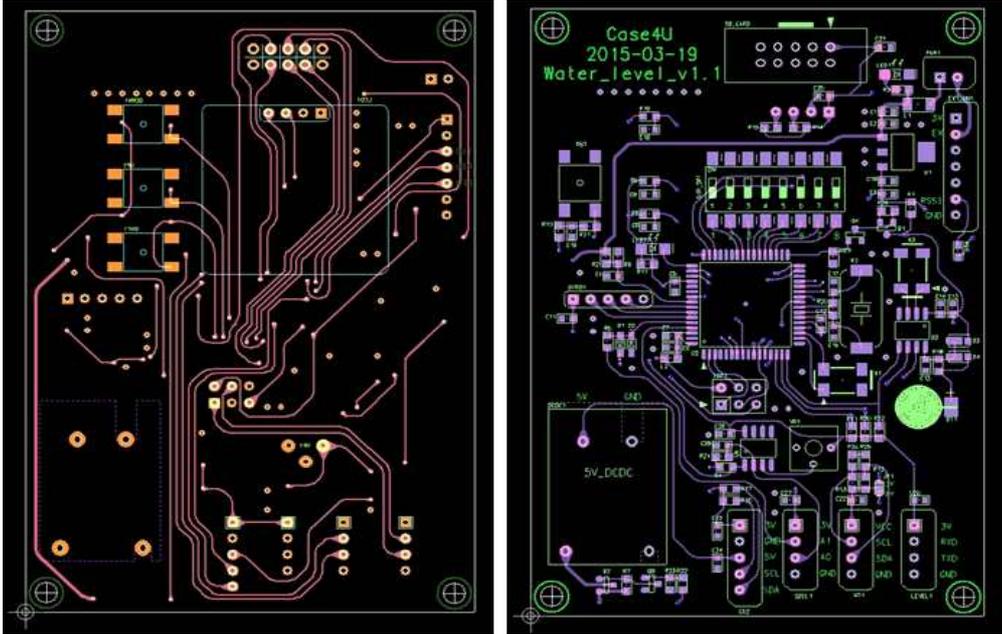


그림 3-1-34 | 초음파 수위 계측기 중앙회로 PCB 설계 거버 데이터

(2) 초음파 수위 계측기 중앙회로 PCB 설계

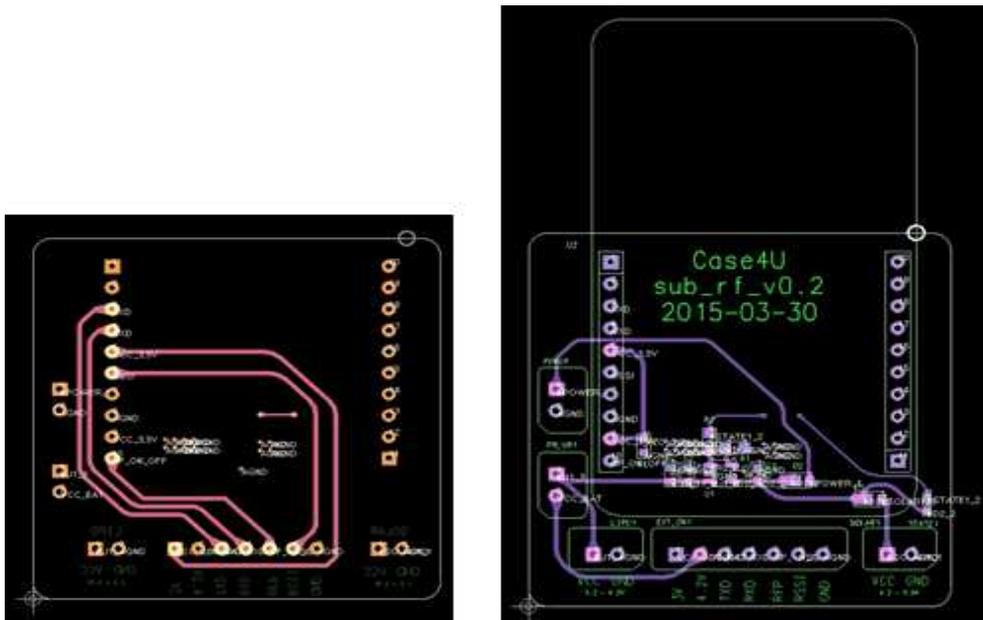


그림 3-1-35 | 초음파 수위 계측기 무선 RF 통신 회로 PCB 설계 거버 데이터

(3) 초음파 수위 계측기 SD 카드 관리 PCB 설계

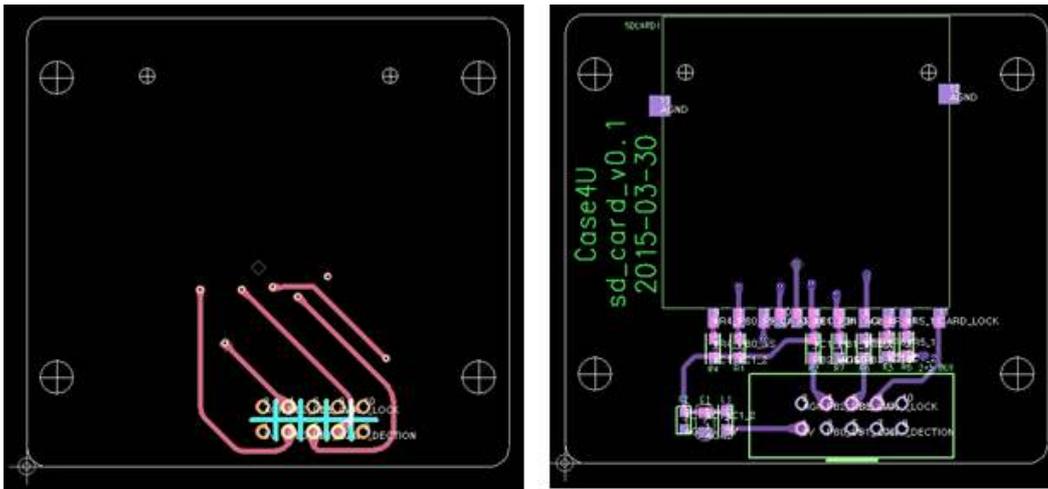


그림 3-1-36 | 초음파 수위 계측기 SD 카드 관리 PCB 설계 거버 데이터

(4) 초음파 수위 계측기 온습도 센서 관리 PCB 설계

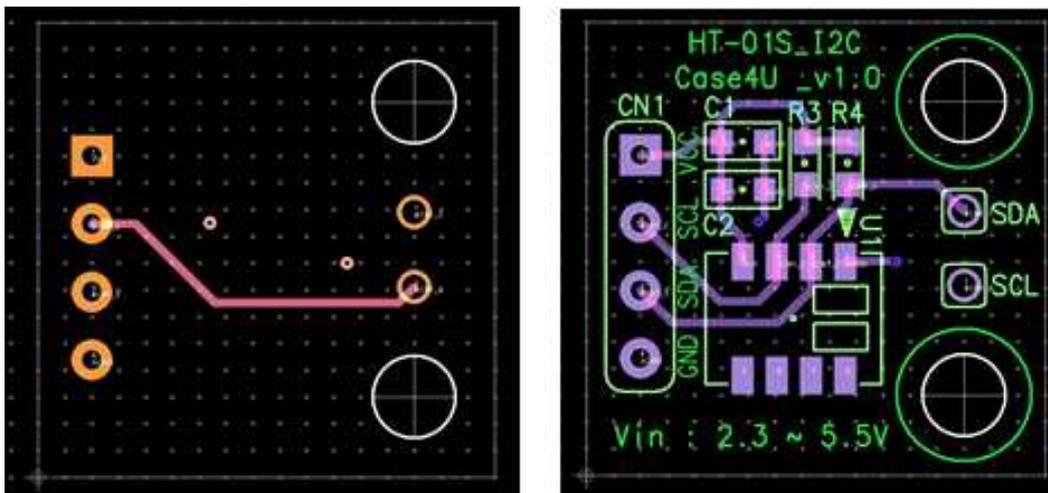


그림 3-1-37 | 초음파 수위 계측기 온습도 센서 관리 PCB 설계 거버 데이터

#### 4. 돌발산사태 감지를 위한 변위 센서 개발

산사태 예·경보 시스템은 도로교통연구원, 지질자원연구원, 국립산림과학원 등 다양한 연구기관에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 서울시 우면산 산사태 이후 이러한 연구가 더욱 다양하게 진행되어 예보 차원의 연구 사업이 실제 센서를 설치하는 경보 차원의 시스템으로 전환되어 연구가 진행 중에 있다. 센서를 이용한 산사태 경보 시스템은 대부분 CCTV를 이용한 토석류 관측 및 모니터링, 강우량계, 간극수압계(피에조미터), 지오폰, Ultrasonic sensor, radar device 등의 다양한 센서를 설치하고 종합적으로 분석하는 형태로 운영되고 있다. 그러나 간극수압계 및 지오폰 센서 등을 설치하기 위해서는 보링 작업이 필요하고, 다양한 센서를 운영하기 위한 전원, 통신 등의 부가적인 현장 설치가 요구되기 때문에 설치비 및 유지보수비 문제로 넓은 산악지형을 대상으로 적용하기에는 아직까지 문제가 있다.

본 연구에서는 산사태를 조기 감지하기 위한 방법으로 지면변위 센서와 토양수분 센서를 이용하였다. 이러한 방법이 정확한 산사태 거동을 탐지할 수 없지만, 발생 수 분 전에 산사태 의심 징후를 포착할 수 있을 것으로 판단되며, 의심 징후가 발생하면 지역 관리자에게 즉각적으로 경보를 발령하고 대피하여 인명피해를 최소화 할 수 있다. 본 연구의 대상 지역은 주로 산악지형의 농촌 지역을 대상으로 하므로, 넓은 지역을 커버하고 매우 저렴한 가격으로 설치할 수 있는 센서 개발이 요구된다. 또한 통신 반경이 군 단위에서 이루어 질 수 있어야 하며, 설치 후 별도의 유지관리 없이 운용이 가능한 형태로 개발되어야 한다. 이러한 센서는 옹벽 등에 설치하여 변위 및 기울기를 측정하고 경보할 수 있으므로 산사태뿐만 아니라 농업·농촌 시설의 재해 빈도가 높은 축대 붕괴 등에도 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 산사태 조기감지 센서는 6축 자이로 센서와 토양수분 측정 센서를 포함하고 있다. 자이로 센서는 변위를 정밀하게 측정할 수 있는 기능을 제공하고, 토양수분 센서는 최대 50cm 깊이의 지중 토양수분을 측정할 수 있다. 또한 최대 5km의 통신 반경을 지원하는 RF 무선 통신 기술을 채용하고, 산악지형에서 신뢰성 있는 통신을 지원할 수 있는 통신 프로토콜을 개발하여 신속한 경보체계 구축을 지원할 수 있다. 그리고 나무 그늘과 같은 태양광 음영 지역에서 태양광 발전을 할 수 있는 태양광 패널과 저전력 구조의 회로를 구성하여 2~3년 이상의 기간 동안 유지보수 없이 자체 배터리로 운용 가능한 센서를 개발하였다.

##### 가. 지면 변위 측정 6축 자이로 센서

본 연구에서 사용한 지면변위 센서는 Analog Devices 사의 ADXL335 칩을 사용하였다. ADXL335 칩은 손톱보다 작은 크기로 초저전력 구조(350uA)로 구성되어 센서 운용에 따른 전력의 소모가 거의 없다. 해당 센서는 X, Y, Z 축의 각 가속도 정보를 전압 레벨로 출력해주고 해당 출력 핀들은 Atmega32L CPU 의

ADC 핀에 연결되어 분석된다. 처음 전압이 가해졌을 때 측정된 X 축, Y 축 각 가속도를 0g로 가정하여 각 가속도를 계산하며, Z 축은 1g 로 가정하여 계산한다. 그림 3-1-38에서 보는 바와 같이 자이로센서는 전압의 변화를 이용하여 3축 가속도로 변환하는 로직을 내장하고 있다. 식 1-3은 전압 변화를 3축 가속도로 변환하는 함수를 나타낸다. V1과 V2는 2축에 대한 전압의 변화를 나타내며, g1과 g2는 해당 축에 대한 중력가속도를 나타낸다.

$$V_{OUT} = [(V_2 - V_1) / (g_2 - g_1)] \times g + V_{OFF} = S \times g + V_{OFF} \quad (1-3)$$

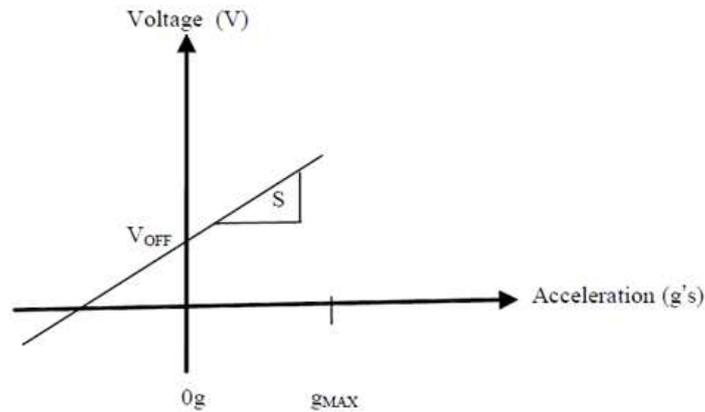
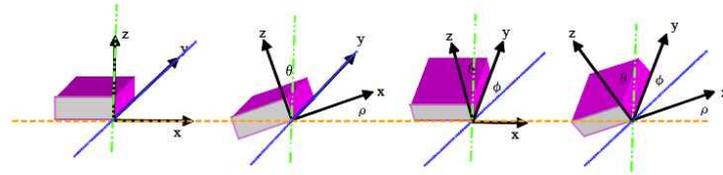


그림 3-1-38 | 자이로센서에서 가속도 값 추출 방법

일반적으로 센서가 다이내믹 상태에서는 가속도에서 변위각을 얻는 것이 어렵지만 고정(Static) 상태에서는 외력이 없을 경우 중력가속도 형태의 출력값을 이용하여 변위각을 계산할 수 있다. 또한 각 축의 3가지 성분값을 이용하여 변위각을 계산함으로써 한 성분에 포함된 관성정보의 오차를 줄일 수 있다. 아래 그림은 각 성분에 대한 센서의 출력값을 이용하여 변위각을 계산하는 방법이다.



Three Axis for Measuring Tilt

$$\rho = \arctan\left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}}\right)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{A_Y}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{A_X^2 + A_Y^2}}{A_Z}\right)$$

그림 3-1-39 | 변위각의 계산식

위와 같은 계산식을 이용하여 변위각을 센서 내부에서 출력하는 방법으로 프로그램에 대한 간단한 계산(Sudo-Program)은 다음과 같다.

```

valx = analogRead(xaxis); // read the value from the sensor
valy = analogRead(yaxis); // read the value from the sensor
valz = analogRead(zaxis); // read the value from the sensor

int pfx = valx;
int pfy = valy;
int pfz = valz;

// autoZeroCalibration(pfx,pyf,pfz);
int fx = (pfx - g0x);
int fy = (pfy - g0y);
int fz = (pfz - g0z);

float ax = fx*(3.3/(1024.0*0.800));
float ay = fy*(3.3/(1024.0*0.800));
float az = fz*(3.3/(1024.0*0.800));

// Compute rho,phi, theta
x = atan(ax/sqrt((pow(ay,2)+pow(az,2))))*(360/(2*3.141592));
y = atan(ay/sqrt((pow(ax,2)+pow(az,2))))*(360/(2*3.141592));
z = atan(sqrt((pow(ay,2)+pow(ax,2)))/az)*(360/(2*3.141592));

```

ADXL335 칩의 출력값은 x, y, z 값에 대한 중력가속도에 대한 변환값으로 표시되는데, 각 축별로 0 ~ 255의 값-범위를 가진다. x, y 축을 중심으로한 회전 각은 변위가 없을 경우 128의 값을 가지게 되며 앞으로 90도 회전한 경우 255의 값을, 뒤로 90도 회전한 경우 0의 값을 가진다.

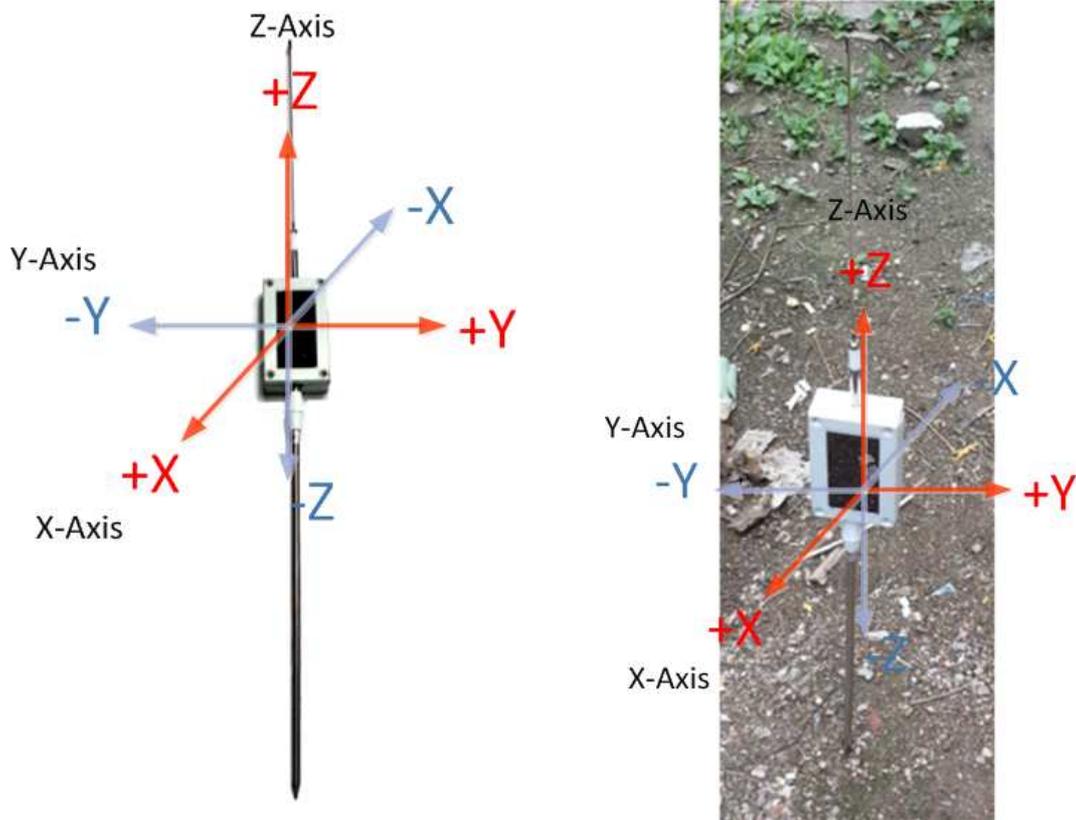


그림 3-1-40 | 기울기 센서의 좌표계 맵핑

ADXL335 칩의 주요 기능을 살펴보면 다음과 같다.

- 3-axis sensing
- Small, low-profile package
- 4 mm × 4 mm × 1.45 mm LFCSP
- Low power - 350  $\mu$ A (typical)
- Single-supply operation
- 1.8 V to 3.6 V
- 10,000 g shock survival
- Excellent temperature stability
- BW adjustment with a single capacitor per axis
- RoHS/WEEE lead-free compliant

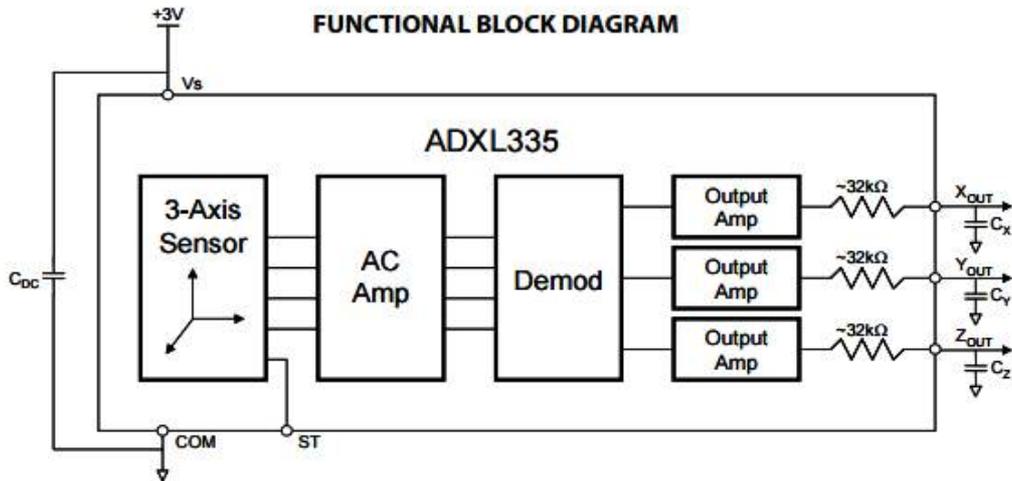


그림 3-1-41 | ADXL335 기능 블록 다이어그램

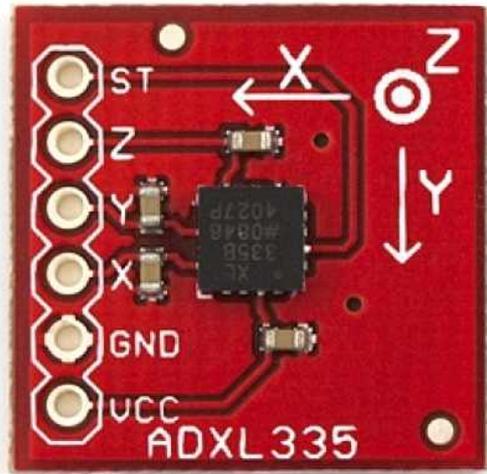


그림 3-1-42 | ADXL335 자이로 센서

#### 나. 지면변위 센서 형상

지면변위 센서는 합체와 합체 전면부에 부착된 태양광 판넬, 토양수분 센서, 그리고 통신모듈로 구성된다. 센서 설치의 용이성을 위해 하부에 40cm 길이의 폴대를 설치하여 지면에 꼽기만 함으로써 설치 완료할 수 있는 제품으로 구성하였다. 옹벽 등의 붕괴에 대비한 센서로 활용할 경우에는 하부 폴대를 제거하고 별도 제작한 브라켓 형태의 구조물을 옹벽에 앵커링하고 그 위에 센서를 부착하는 방법을 이용할 수 있다.

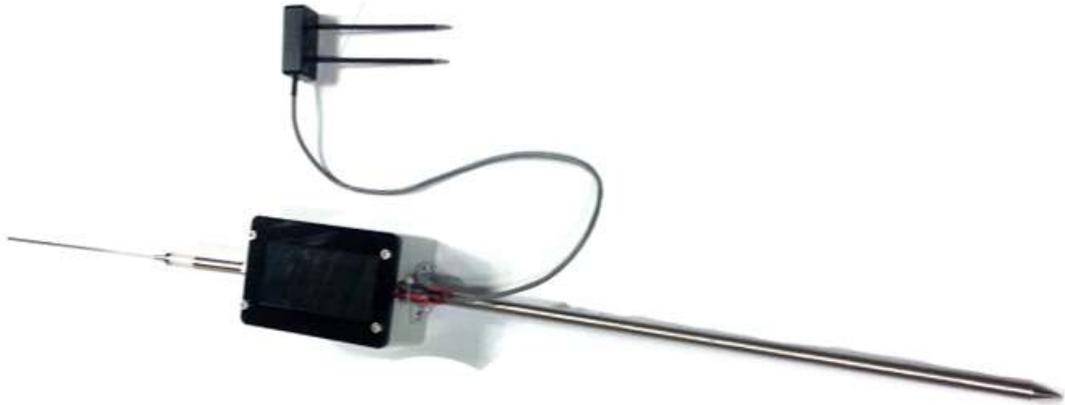


그림 3-1-43 | 지면 변위 측정을 위한 센서 형상

지면변위 센서의 합체는 완전 방수체로 구성되어 있어 현장 설치 시 내구성을 확보할 수 있도록 하였다. 합체 전면부에는 태양광 판넬을 부착하여 자가발전에 의한 반영구적인 운영을 지원할 수 있도록 하였다. 내부에는 메인 PCB 보드, 배터리, 통신모듈을 포함하고 있다. 합체를 열면 간단한 장비 조작 판넬이 있고, 계측 정보를 저장하는 메모리를 볼 수 있으며, 장비의 전원 버튼을 볼 수 있다. SD 메모리 카드는 매 30초 간격으로 계측 정보가 저장되고 장비 내부에 있는 RTC(Realtime Clock)이 게이트웨이와 동기화 되므로 정확한 시간의 관측정보를 추출할 수 있다.

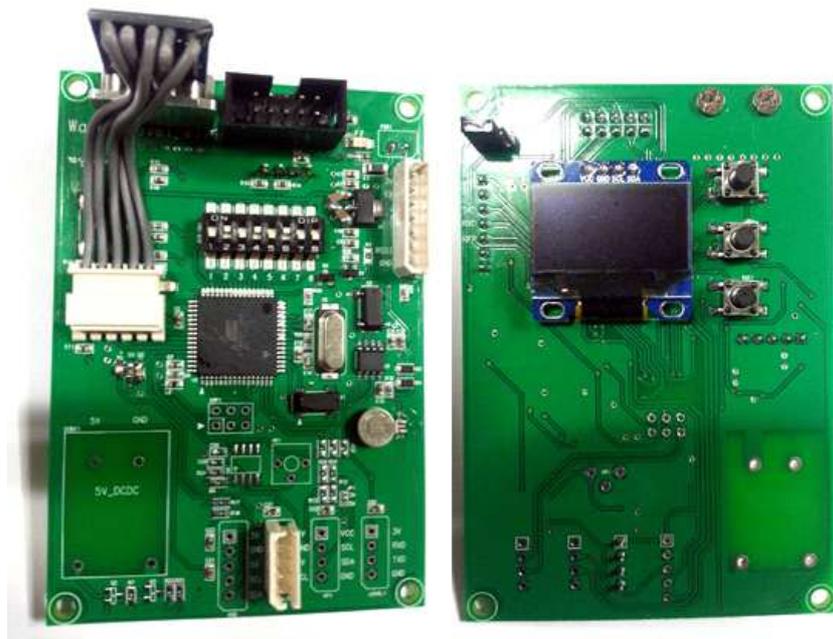


그림 3-1-44 | 지면 변위 센서 메인 PCB 앞/뒷면 형상



그림 3-1-45 | 지면 변위 센서 합체 내부 모습

태양광 패널은 합체 전면부에 부착되어 있다. 적용된 태양광 패널은 A-Si 박막형 태양광 판넬로 실내 조명 또는 구름이나 그늘진 곳에서도 발전을 할 수 있는 모델로 산악지형에서 운용이 가능한 형태로 개발하였다. A-Si 박막형 태양광 판넬은 계산기 등에 많이 사용되는 태양 전지판으로 실내의 조명빛이나 구름이 낀 날씨에서도 사용이 가능한 제품이다. 동일한 조건하에서 박막형 태양전지는 단결정 타입 실리콘 태양전지보다는 연간 8%정도 더 많은 전기를 생산하며, 다결정 실리콘 타입보다는 13% 정도 더 많은 전기를 생산한다. 온도 상승에 따른 효율의 저하도 실리콘 전지에 비해서 적은 장점이 있다.



그림 3-1-46 | 박막형 태양전지 설치 구조

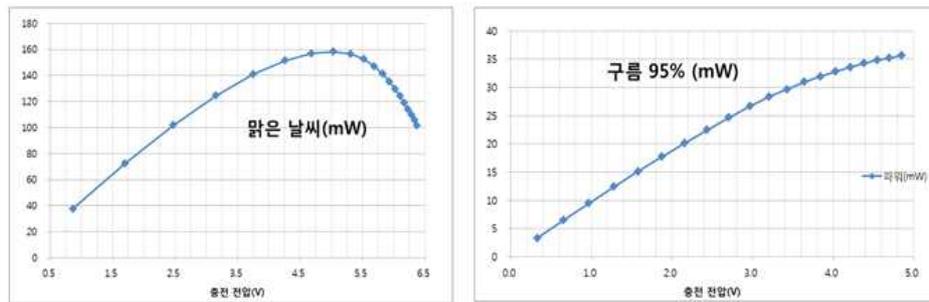


그림 3-1-47 | 날씨에 따른 태양광 패널의 발전량 비교

내부 배터리 구성에 있어서 수위계에 사용하는 MCU 및 센서의 동작전압은 DC 3.3V로써 배터리 및 전압 변환 효율을 감안하여 배터리 전압은 DC 3.7V(완전충전 4.2V) 결정하였다. 배터리는 리튬 이온 배터리를 사용한다. 리튬 이온 배터리는 동일 크기의 니켈 카드뮴 배터리보다 용량이 약 3배 높고, 메모리 현상이 없어서 배터리의 용량이 줄어들지 않아 오랫동안 사용할 수 있으며, 카드뮴, 납, 수은 등 환경 규제 물질을 포함하지 않고, 충전하여 재사용하는 2차 전지이므로 환경 친화적인 제품인 점을 감안하여 결정하였다. LG 리튬이온 ICR18650 D1(3.75V,3000mAh, 4/3FA사이즈) 3개를 병렬로 연결하여 9000mAh의 용량을 갖췄다.

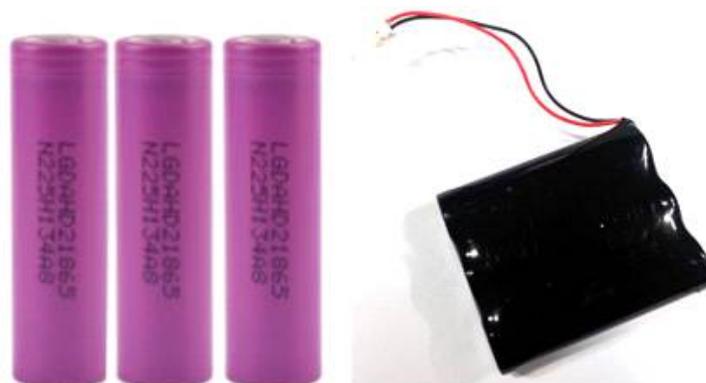


그림 3-1-48 | 지면 변위 측정 센서 내부 배터리

#### 다. 지면 변위 센서 회로 구성

지면변위 센서는 ATmel사의 AVR 프로세서인 ATMEGA128 기반으로 만들어졌다. ATMEGA128은 8-비트AVR 마이크로 컨트롤러로 128KB의 플래시와 4KB의 램, 4KB의 EEPROM, 10-비트 A/D 컨버터 8채널 등을 탑재하였고 최대 16MHz로 동작시킬 수 있다. 프로그램의 개발은 AVR C 기반 AVR Studio를 사용하여 진행되었다. 기능의 구현은 전통적인 sequential processing loop과 state machine을 통하여 만들어졌으며 컴파일 된 펌웨어의 크기는 약 32KB 정도이다.

센서의 동작을 컨트롤하기 위한 프로그램은 수위 계측기 프로그램의 플로우-차트와 같은 기능 구성으로 작성되었다. 주과정 프로세스는 무선 RF 통신 준비, 게이트웨이에 Join, 계기판의 인터럽트 처리, 일정 Delay 시간을 대기한 후 자이로센서 및 토양수분 센서의 계측 그리고 계측 정보의 송신 과정을 거치게 된다. 초음파 수위 계측기와 동일한 형태의 프로세스를 거치게 되며, 다만 계측 센서만 다르므로 본 절에서는 상세한 플로우-차트를 포함하지 않는다.

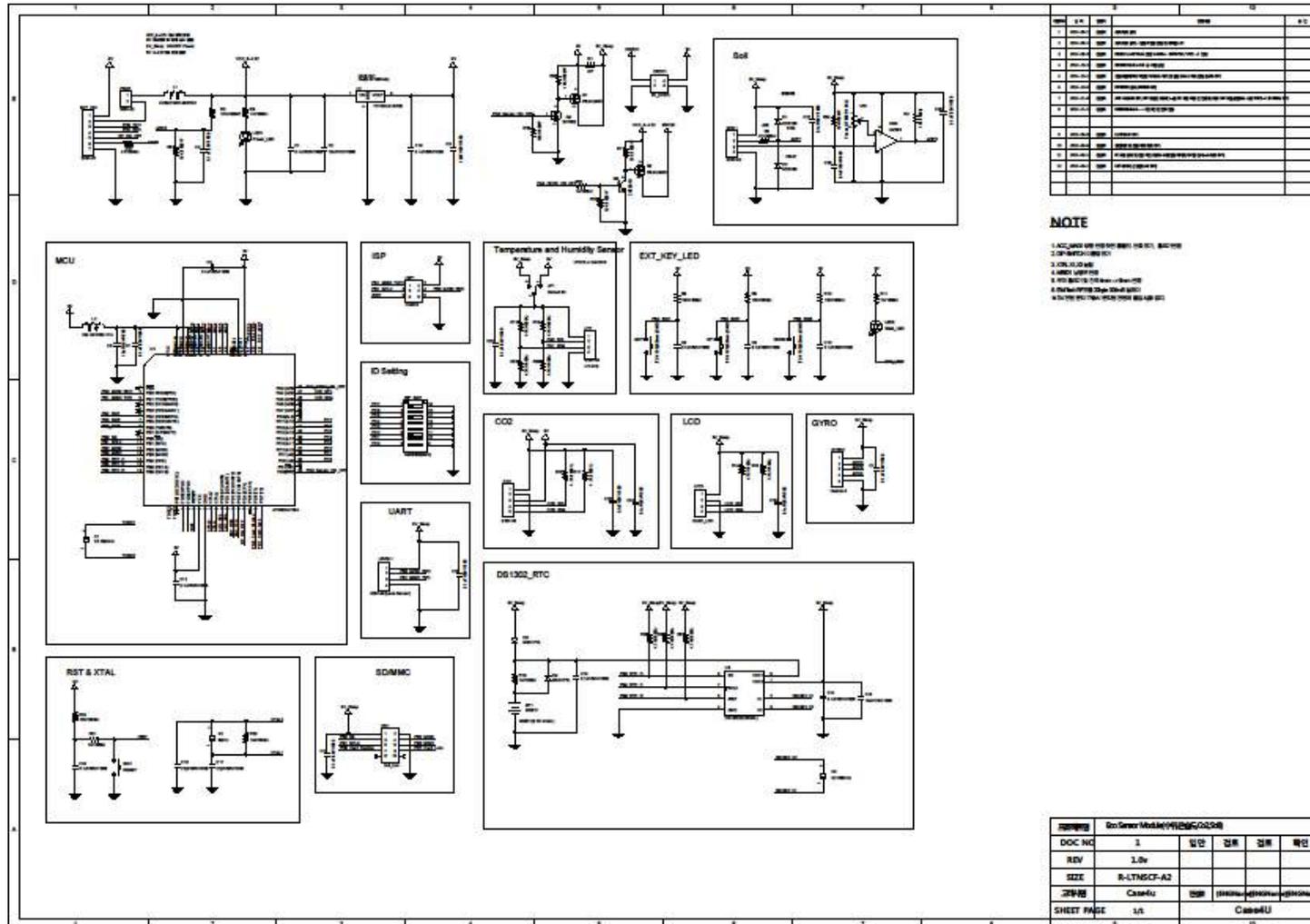
계측 데이터는 게이트웨이와 Join된 상태에서는 게이트웨이에서 설정한 지연시간에 따라 관측 자료를 SD 카드에 기록한다. 만약 Join 상태가 아닌 경우에는 30초 간격으로 변위 자료 및 토양수분 자료를 계측하고 관련 자료를 SD 카드에 저장한다. SD 카드는 8GB의 용량을 이용할 수 있도록 하였으며, 계측자료는 게이트웨이와 동기화된 시간에 따라 날짜별로 파일을 구성에 기록할 수 있도록 하였다.

지표면 변위에 대한 계측 정보는 일반적으로 일정한 주기별로 저장되고 관측되지만, 지면 변위가 일정 임계값 이상으로 관측될 경우, 또는 토양 수분이 일정 임계값 이상으로 증가할 경우에는 자체적으로 지연 시간을 줄여 10초 주기로 관측할 수 있도록 하였다. 또한 게이트웨이의 지연시간 설정과 관계없이 일정 임계값 이상의 변위가 관측되면 실시간적으로 관련 정보를 게이트웨이에 송신토록 하였다. 이를 통해 산사태 연구에 필요한 일반적인 관측정보를 제공함과 동시에 위험 징후 발생시 조기에 탐지하고 경보를 발생 시킬 수 있는 체계를 구축할 수 있다.

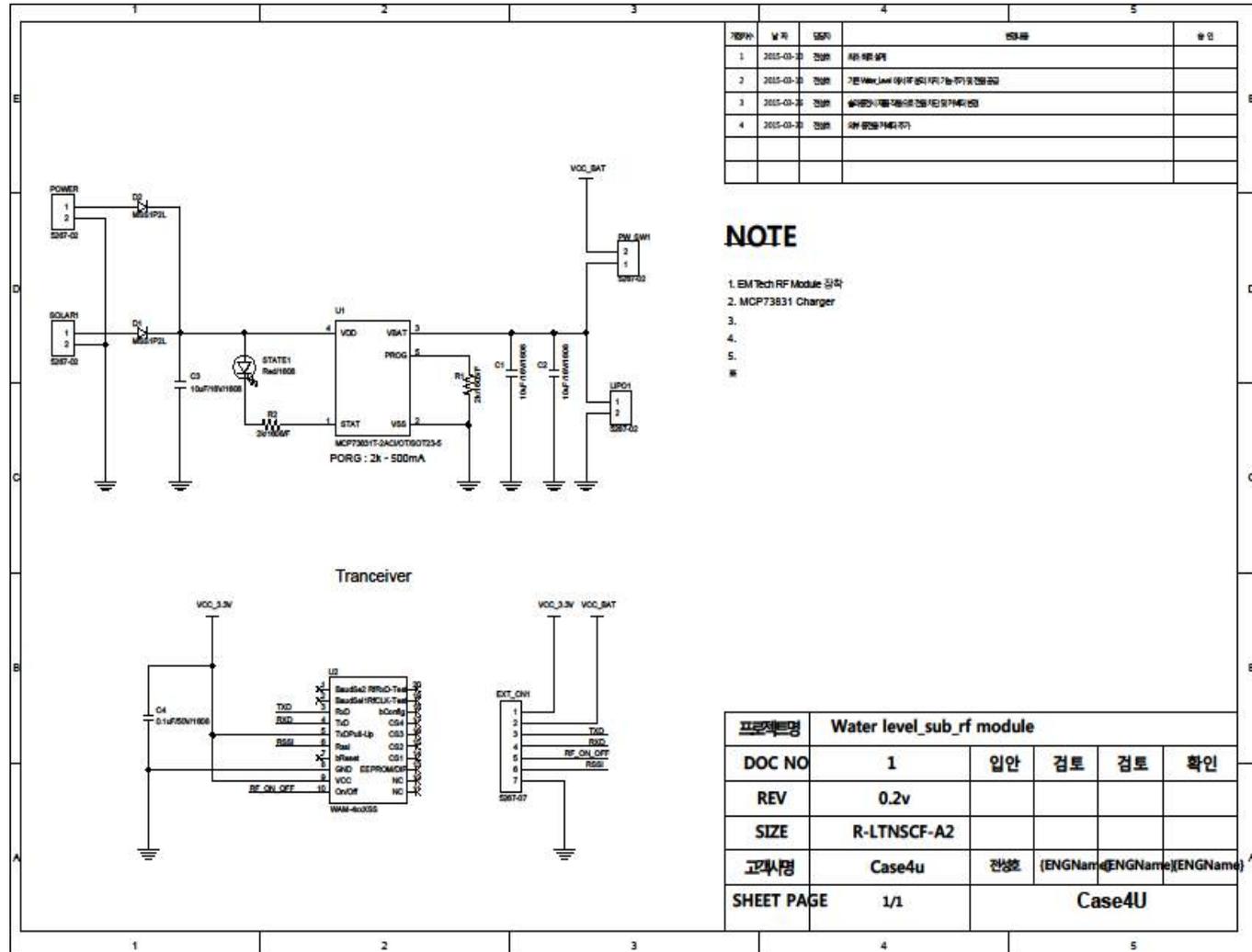
##### (1) 지면 변위 측정 회로도

지면 변위 센서는 총 4개의 PCB로 구성되어 있다. MCU를 포함하는 중앙 회로는 전력관리, 데이터 관리, 통신 관리를 담당하고, 무선통신 회로는 무선 RF 통신 모듈을 컨트롤 하는 역할을 하며, SD카드 관리 회로는 데이터 저장 및 SD카드 관리에 필요한 전력을 관리하고, 기울기 센서 회로는 자이로 센서의 센싱을 통제한다.

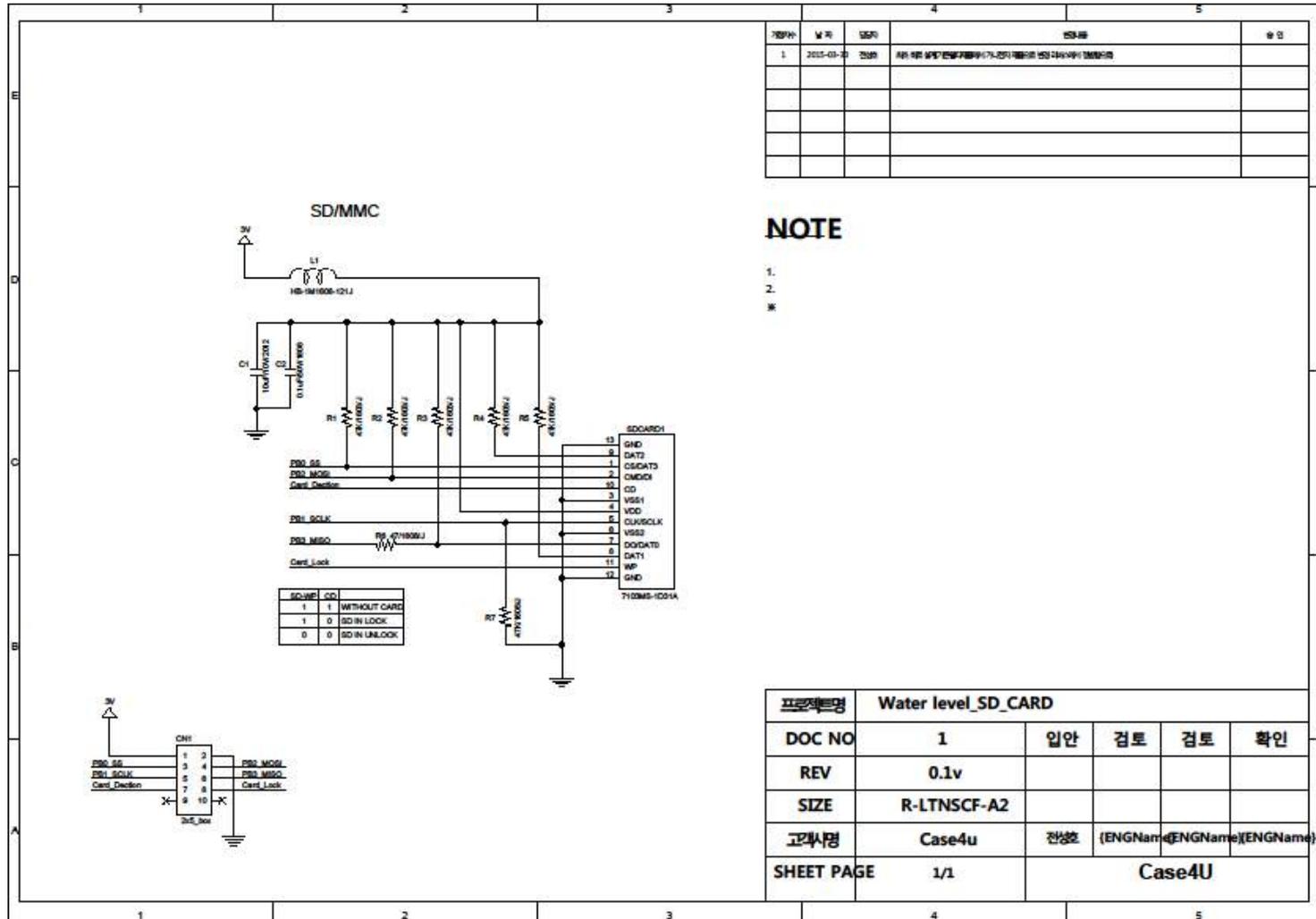
(가) 지면 변위 센서 중앙 회로도



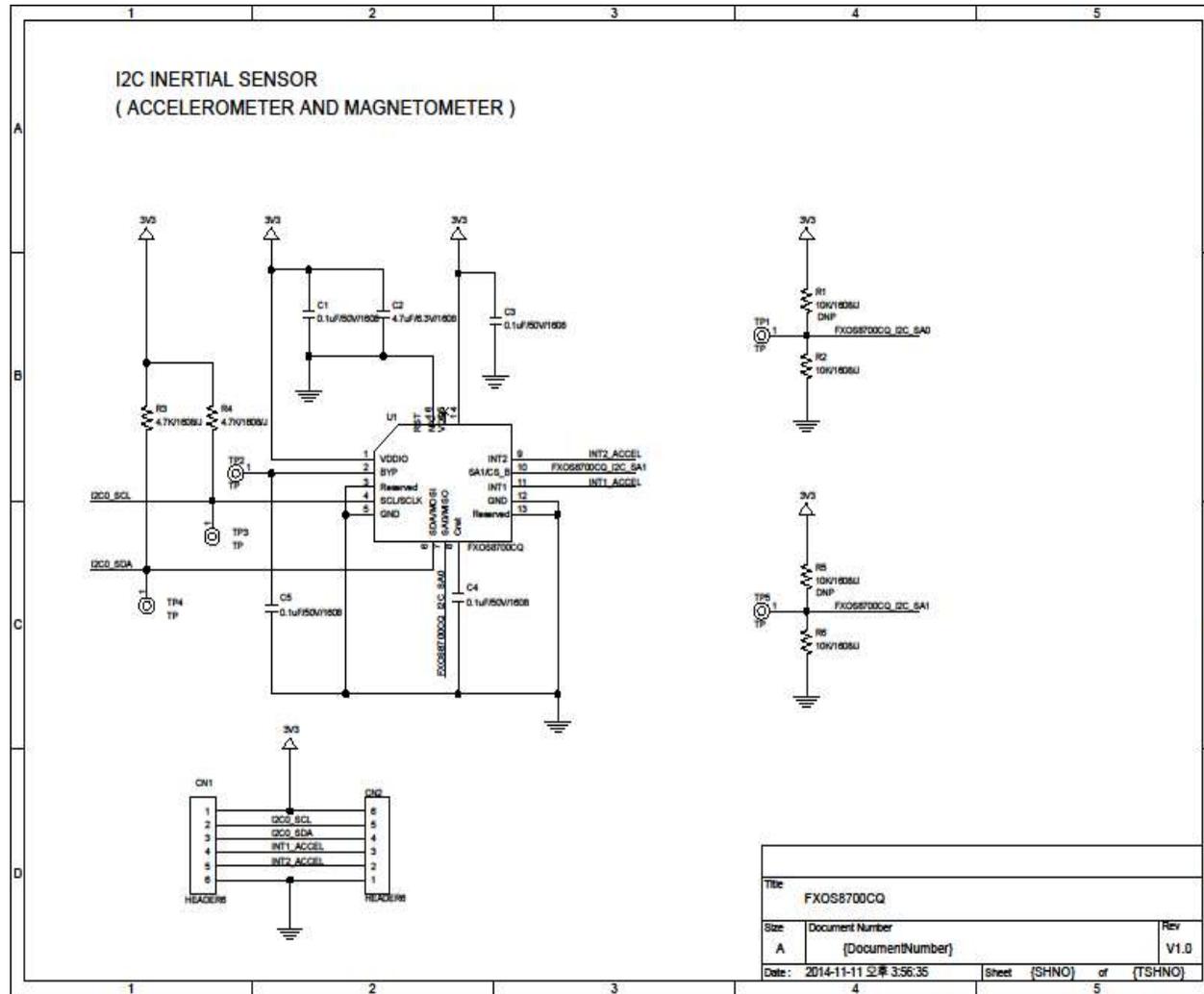
(나) 무선 RF 통신 관리 회로도



(다) SD 카드 관리 회로도



(라) 자이로 센서 관리 회로도



라. 지면 변위 측정 센서의 PCB 설계

(1) 지면 변위 센서 중앙회로 PCB 설계

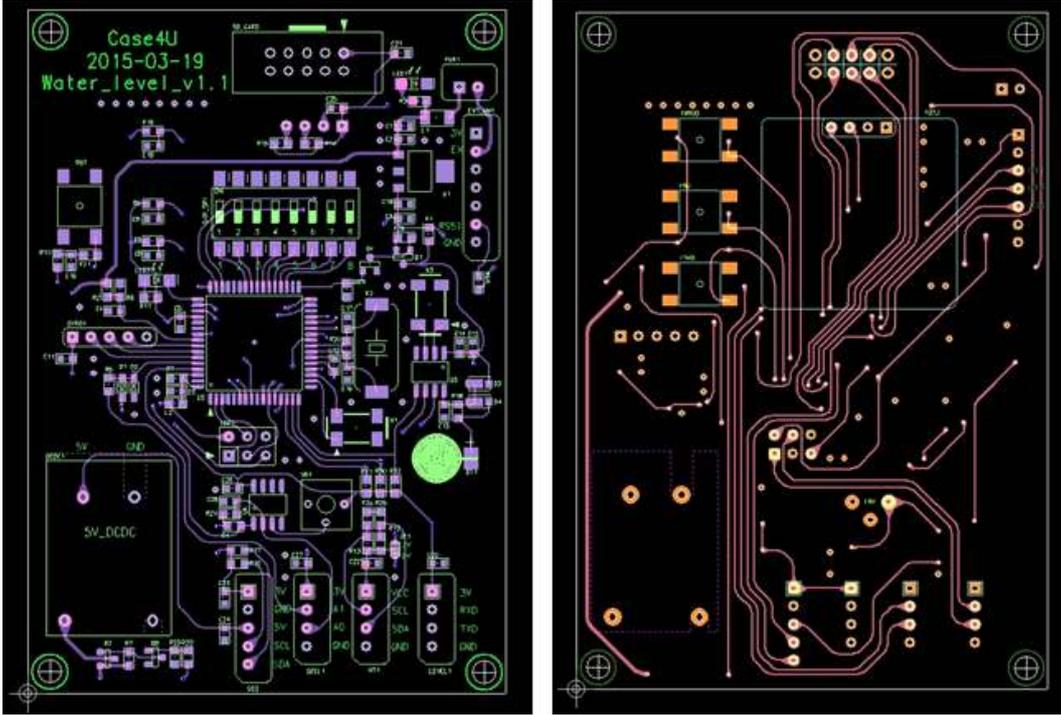


그림 3-1-49 | 지면 변위 센서 중앙회로 PCB 설계 거버 데이터

(2) 지면 변위 센서에서 기울기 센서 PCB 설계

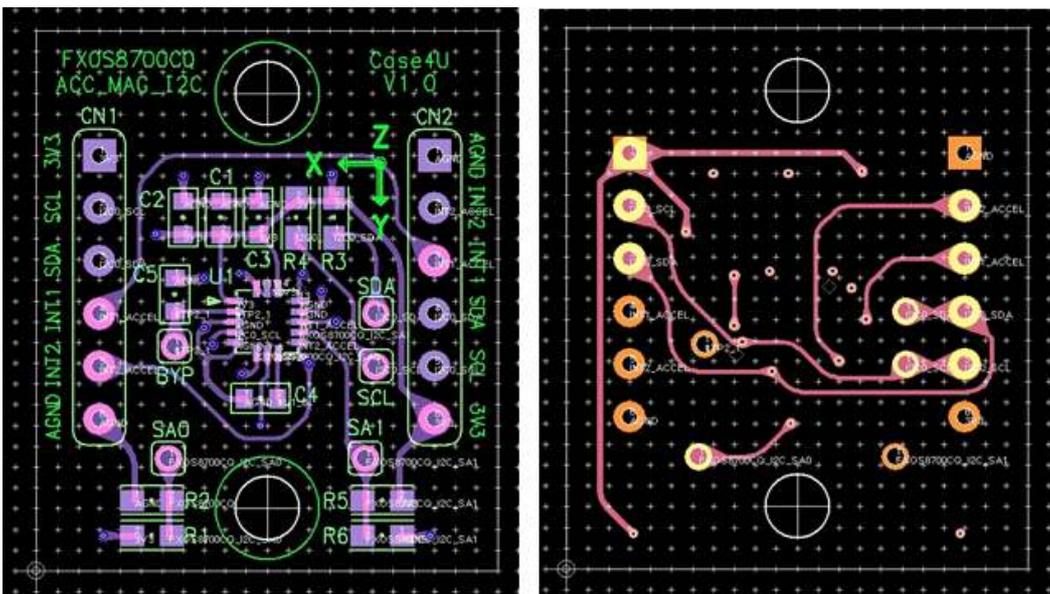


그림 3-1-50 | 지면 변위 센서에서 기울기 센서 PCB 설계 거버 데이터

## 5. 데이터 수집 및 관리를 위한 게이트웨이 개발

돌발홍수 및 산사태를 감지하기 위한 센서는 면단위 또는 군단위에 설치되고 무선 센서-네트워크를 통해 수 km 밖에 설치된 게이트웨이에 모니터링 정보가 전달된다. 통신 무선 센서-네트워크에 적용된 RF 모듈의 경우 5km의 통신 반경을 지원하고 중계기를 설치할 경우 20km 이상으로 확장할 수 있기 때문에 게이트웨이는 열악한 현장여건에서 벗어나 마을회관, 면사무소, 군청 등의 관공서에 설치할 수 있게 된다. 산사태 조기경보 시스템의 경우 산악 지형 및 관리 형태에 따라 근처 농가나 마을 이장 집에 설치하고 운영할 수 있다. 따라서 상전(전력 공급) 조건의 위치에 설치할 수 있는 장점이 있기 때문에 저전력 구조 보다는 실시간 데이터를 빠르게 처리하고 서비스 서버에 전달할 수 있는 형태의 고성능 프로세서를 탑재하는 방향으로 플랫폼 기종을 선택하였다.

본 연구에서는 이러한 조건을 만족하기 위해 가장 저렴하면서도 고성능 플랫폼인 라즈베리파이를 기반으로 하여 게이트웨이 제품을 개발하였다.

센서노드에서 수집된 센싱 정보는 게이트웨이에 설치된 MySQL DBMS에 저장되고, 실시간 적으로 내부에 설치된 LTE 라우터를 통해 인터넷 상의 WEB 서버와 동기화 된다. 사용자는 WEB 상에서 해당 지역 또는 게이트웨이 별로 할당된 URL을 통해 자료의 현황 및 그래프를 이용한 데이터 분석, 그리고 사용자가 지정한 기간동안의 데이터를 Microsoft Excel 형식으로 다운받을 수 있다.

조기 경보 체계는 WEB 상의 게이트웨이와 동기화된 DB를 통해 일정 임계값 이상의 센싱 정보가 발견될 경우 실시간 경보를 발령한다. 발령 방법은 WEB 상에서 경보 메시지를 띄울 수 있고, 지정한 관리자(지방자치단체의 사회 안전 담당관, 마을 이장, 지역 주민 등)에게 문자 메시지로 경보 상황을 알린다.

### 가. 게이트웨이용 MCU 플랫폼의 선정 및 적용

게이트웨이는 Broadcom 사의 BCM2836 SoC를 탑재한 라즈베리 파이 2 모델 B를 기반으로 한다. BCM2836은 900MHz로 동작하는 ARM Cortex-A7 4개를 기반으로 하며 GPU를 비롯한 Broadcom사의 chip들을 내장하고 있다. 100Mbps의 이더넷과 4개의 USB포트, HDMI 출력 외에 40핀의 GPIO의 포트를 탑재하고 있다. 라즈베리 파이에는 다양한 운영체제가 포팅되어 있어 용도에 맞게 선택적으로 사용이 가능하다. 본 프로젝트에는 Raspbian이라는 데비안 계열의 리눅스가 적용되었다.

라즈베리파이에는 센싱 정보를 관리하기 위한 MySQL DBMS를 설치하였다. MySQL DB는 센서노드 정보, 데이터 관리 정보 테이블로 구성되며, Linux 상의 Deamon 프로세스가 데이터 수집과 동시에 관련정보를 WEB 상의 서비스 서버에 전송한다. 이를 통해 게이트웨이와 WEB 서비스 서버가 동기화 된다.



그림 3-1-51 | Raspberry Pi Model B

#### 나. 게이트웨이용 합체 개발

게이트웨이 합체는 상전의 이용 여부에 따라 다음 2가지 형태로 개발하였다. 2년차 연구에서는 상전을 이용하는 형태로 합체를 최소화하고 무선-네트워크의 Relay 기반하여 데이터를 수집하고 관리하는 방법을 채용하였으나, 현장 적용결과 상전 이용에 제한이 있는 곳이 많아 기존 상전을 이용하는 방식과 상전 이용이 불가능한 지역을 위한 태양광 패널을 이용한 독립 합체 2가지 형태로 개발하였다. 태양광 패널을 이용한 독립합체는 기존 중계기 또는 센서합체에 이용한 태양광 패널의 크기보다 8배 확장한 대용량 패널을 이용하고 Raspberry Pi 모델 대신에 저전력을 구조로 구성된 아두이노 칩셋을 이용하였다. 다만, 기존에는 내부 WEB 서버를 운용하여 사이트에서도 데이터의 수집 및 처리 방법을 볼 수 있는 기능을 제공한 반면에 독립형 합체에서는 단순히 자료를 외부의 WEB 서버에 자료를 전송하고 관리자의 설정값을 센서에 전달하는 기능만을 구현하고 있다. 또한 독립형 합체에서는 배터리 용량을 기존보다 4배 확장하여 태양광 패널을 통한 자가발전 용량을 최대한 지원할 수 있도록 구성하였다.

##### (1) 상전 이용 게이트웨이 합체 개발

게이트웨이 합체는 방수/방진 합체로 구성하였다. 내부에는 통신모듈, 라즈베리 파이, 배터리, 전원 관리 모듈, 인터넷 상의 WEB 서버와 동기화를 위한 LTE 라우터가 포함된다. 게이트웨이는 상전(상시 전력 연결)이 연결되므로 저전력 구조로 구성하기 보다는 고성능 프로세스 처리가 가능하도록 플랫폼을 개발하였다.

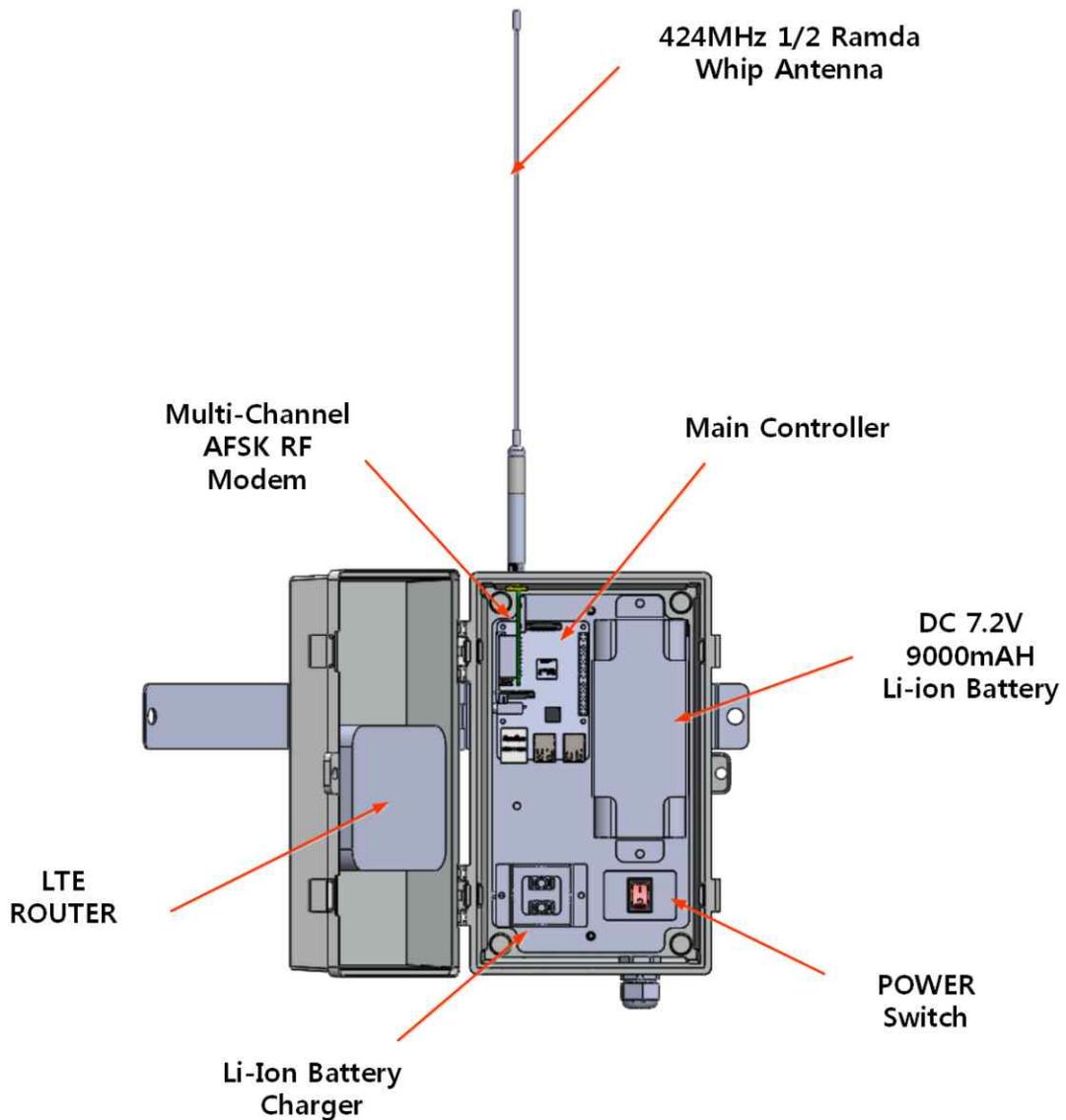


그림 3-1-52 | 게이트웨이 함체 형상

상전이 공급되는 구조임에도 배터리와 전원관리 모듈을 포함한 이유는 순간적으로 전원이 불안정하거나 일시적으로 전원이 공급되지 않은 상황에서도 게이트웨이 통신 모듈과 정보 관리 프로세스가 운영되기 위한 조치로서 일반적인 서버의 UPS와 같은 기능을 수행한다. 내부 내장 배터리는 대용량으로 구성하여 전원 공급 없이도 12시간 게이트웨이를 정상적으로 운영할 수 있도록 하였으며, 전원 공급 상태를 파악하고 일시적인 전원 공급 이상이 있을 경우 이를 관리자에게 통보하기 위해 Watch-Dog 형태의 전원공급 모니터링 모듈을 추가적으로 구성하였다.

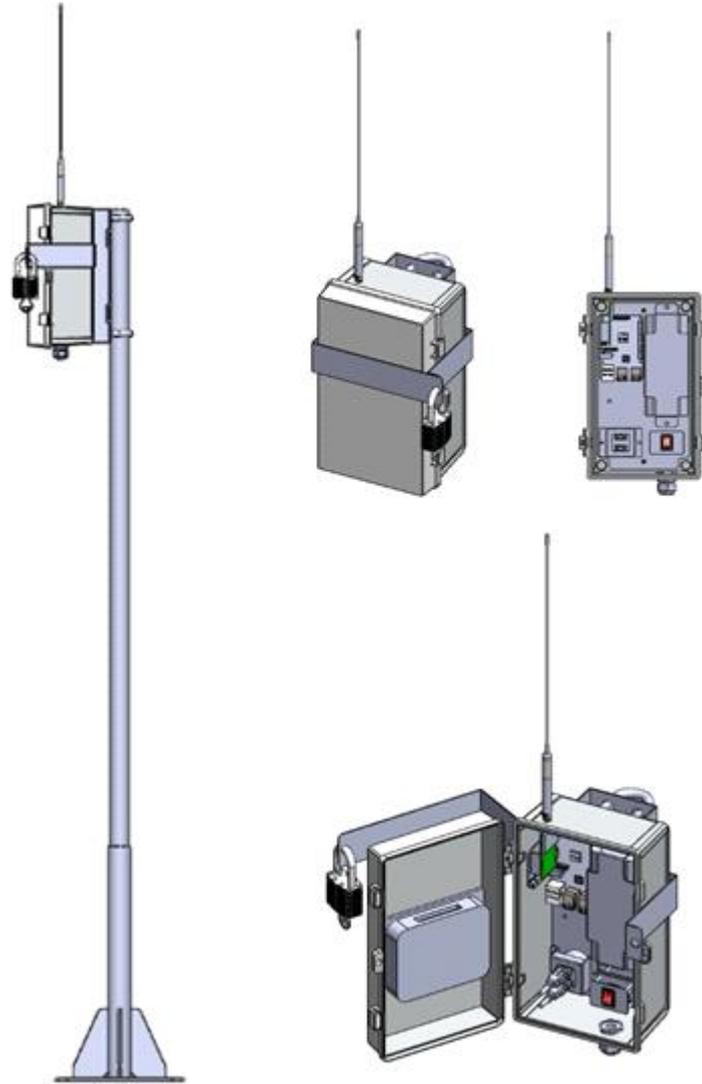


그림 3-1-53 | 게이트웨이 거치대 결합 형상

게이트웨이는 Linux OS를 탑재한 라즈베리파이를 이용함에 따라 통신 모듈 외에 다른 회로를 구성하지 않았다. 통신모듈과 라즈베리파이의 연결은 Serial 통신과 같은 형태를 띠기 때문에 통신 모듈과 연결 라즈베리파이의 연결은 USB-to-Serial 형태로 구성된다. 또한 라즈베리파이의 Ethernet Port를 LTE 라우터와 연결함으로써 인터넷과의 통신 연결을 지원한다.



그림 3-1-54 | 게이트웨이 제작 모습

(2) 독립형 게이트웨이 함체 개발



그림 3-1-55 | 독립형 게이트웨이 설치 모습

상전 이용이 제한된 지역에서 게이트웨이를 이용할 경우 적용할 수 있는 모델을 구성하였으며, 300 X 280 크기의 대용량 태양광-패널을 적용하고 함체 내부에 35,000mAh 배터리를 적용하였다. 이를 통해 자가발전 없이 15일을 운영할 수 있으며, 일조 조건에 따라 다르지만 하루 4시간의 일조에 따른 태양광 자가 발전이 가능할 경우 안정적으로 시스템이 동작할 수 있도록 하였다.

#### 다. 게이트웨이 통신환경 설정

게이트웨이는 내부에 LTE 라우터를 포함하고 있다. 이를 통해 센서노드에서 수집된 관측정보를 인터넷 상의 WEB 서버에 전달하고, WEB 서버를 통해 원격지의 사용자가 실시간으로 관측정보를 조회하고 경보 관련 알람을 전달 받는다. LTE 라우터를 통해 관리자가 원격지에서 게이트웨이 서버를 Reverse SSH Tunnel을 이용하여 라즈베리파이에 접속하여 하위 센서의 동작상태를 확인하거나 센서의 S/W 업데이트, 로그정보 조회 기능을 활용할 수 있다.

게이트웨이에 전원이 인가되면 LTE 라우터가 인터넷에 접속하고 포트를 통해 라즈베리파이에게 사설 IP를 할당한다. 게이트웨이는 할당 받은 IP를 통해 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 인터넷 상의 WEB 서버와 DB를 동기화 한다. 또한 WEB 서버와 Reverse SSH Tunnel을 생성한다. 관리자는 생성된 Reverse SSH Tunnel을 통해 일반 서버에 접속하는 것과 같은 방식으로 원격지의 게이트웨이와 통신을 할 수 있게 된다. 다음 그림은 무선 센서-네트워크에서 Reverse SSH Tunnel 프로세스에 대해 나타내고 있다.

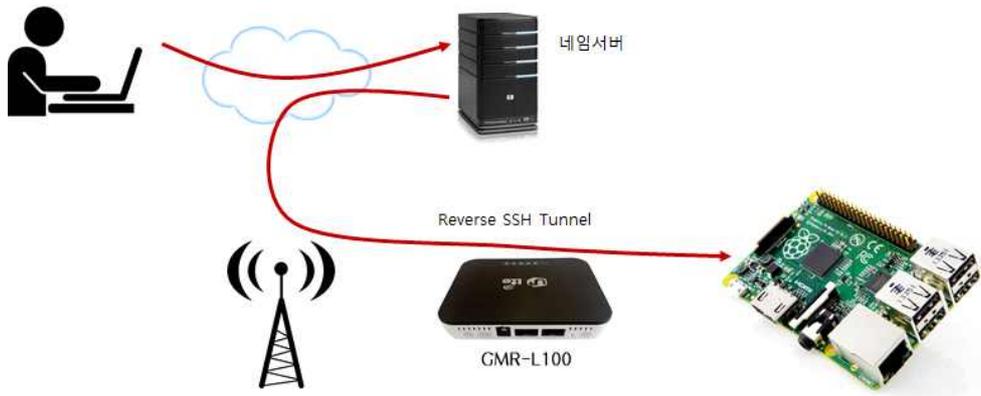


그림 3-1-56 | 게이트웨이에서 Reverse SSH Tunnel 연결 개념도

#### 라. 데이터 이중화 관리

센서 정보를 관리하는데 있어서 가장 중요한 부분은 신뢰성 있는 데이터 수집 및 관리에 있다. 본 연구과제에서는 데이터 관리에 있어서 통신 및 전원의 이상으로 데이터가 유실되는 경우를 방지하기 위해 3단계의 데이터 이중화 구조를 취하고 있다. 즉, 센싱된 자료는 센서노드의 SD 카드에 저장되고, 게이트웨이의 DB에도 저장되며, 게이트웨이와 동기화 되는 인터넷 WEB 서버의 DB에도 저장된다. RF 통신의 이상이 있는 경우에도 최소한 센서노드에 정보가 저장되어 있으므로 이를 이용하여 복원할 수 있으며, LTE 라우터의 이상이 있는 경우에는 게이트웨이와 WEB 서버간의 통신이 재개되는 대로 DB가 동기화가 되기 때문에 기존 누락된 정보가 다시 업로드 될 수 있다. 다음 그림은 데이터 3중 저장 구조를 도식화 한 것이다.

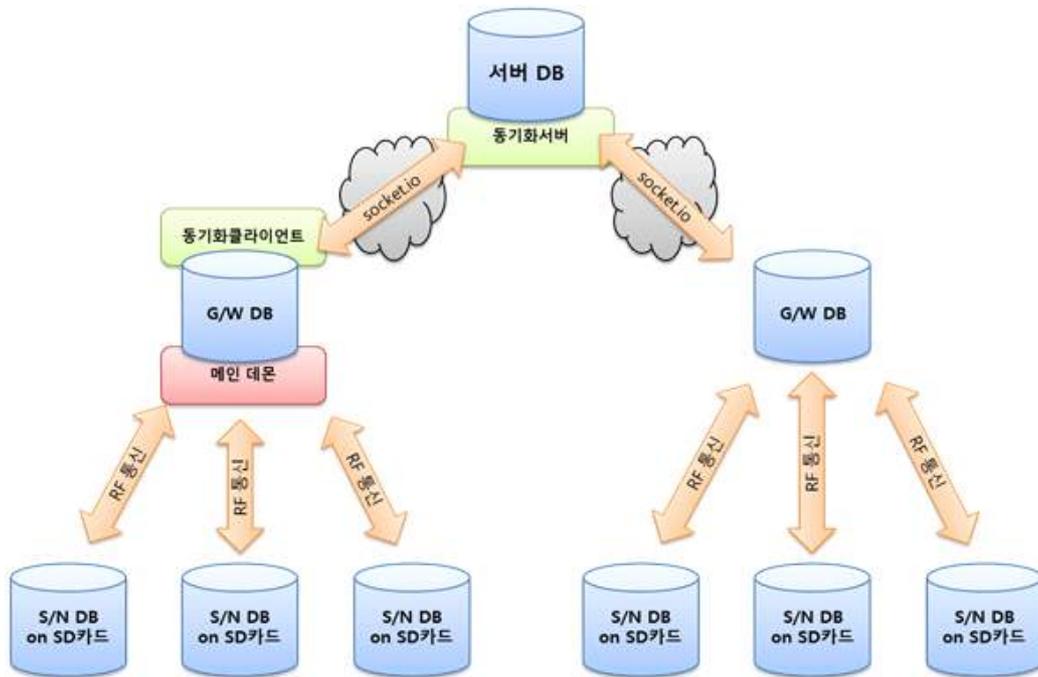


그림 3-1-57 | 센싱 데이터의 이중화 관리 방법

그림 3-1-57과 같이 센서 데이터의 흐름은 센서노드에서 게이트웨이를 거쳐 서버로 전파되는 상향식이며 각종 설정은 하향식이다. 센서노드-게이트웨이 구간은 무선으로 이루어져 있으며 게이트웨이-서버 구간은 인터넷을 이용한다. 센서노드-게이트웨이 구간은 무선으로 이루어져 있으며 무선 구간은 다양한 환경적 요인에 의해 품질이 시시각각 변한다. 3-way handshaking 기반으로 통신의 신뢰도를 높이려고 노력하였지만 통신이 여의치 않을 경우에 대비하여 센서노드는 센싱된 데이터를 SD카드에 저장한다. 게이트웨이에서의 데이터 관리는 MySQL 데이터베이스 중심으로 이루어진다.

무선 통신을 통하여 게이트웨이에 수집된 센서 데이터는 데이터베이스에 저장되며 이는 주기적으로 인터넷 서비스 서버의 데이터베이스로 업로드된다. 게이트웨이에서 WEB 서버와의 DB 동기화는 게이트웨이의 서비스로 등록된 싱크데몬을 통해 이루어진다. 싱크데몬은 LTE 라우터를 통한 인터넷 연결을 확인하고 연결이 된 경우에 게이트웨이에서 수집한 정보와 WEB 서버에 저장된 정보를 실시간으로 비교하여 해당 정보를 동기화 하는 구조로 되어 있다.

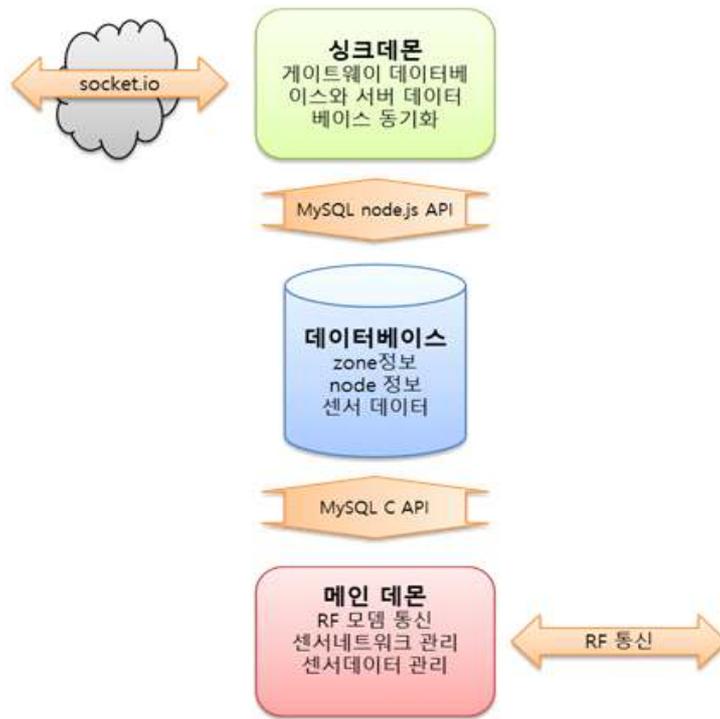


그림 3-1-58 | 게이트웨이-WEB 서버간의 DB 동기화 방법

#### 마. RF 통신 중계기 개발

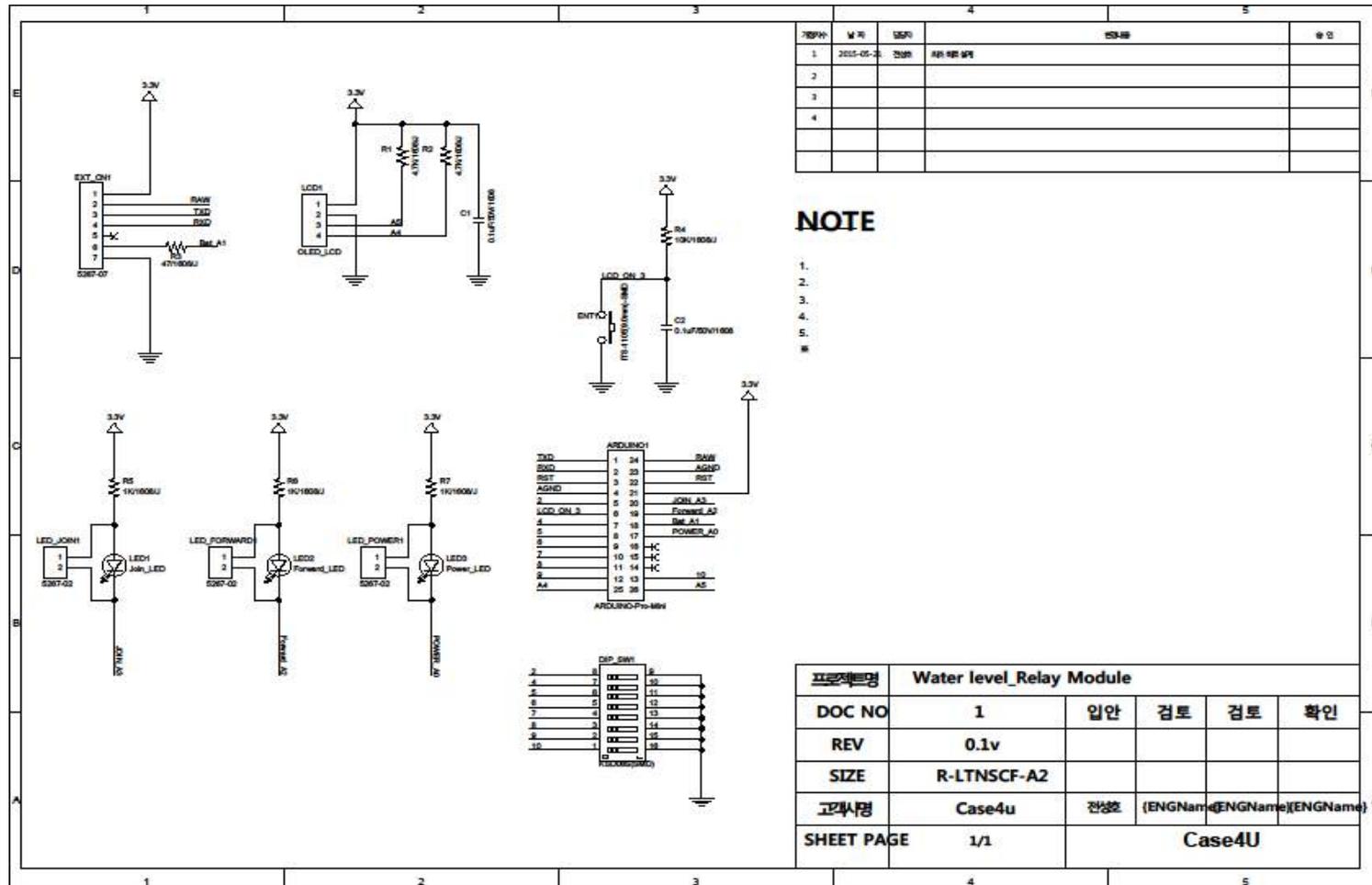
본 연구에서 RF 통신 시스템으로 적용한 424.8MHz RF 통신 시스템은 10mA의 소출력으로 5km 통신 반경을 지원하여 ZigBee와 같은 무선 통신 시스템에 비해 넓은 통신 반경을 지원한다. 그러나 농촌 지역의 돌발홍수 및 산사태를 조기 감지하기 위한 위해서는 군단위 또는 면단위의 넓은 면적을 커버하는 통신 시스템 개발이 필요하다. 또한 대부분의 지역이 산악지형으로 되어 있어 통신 반경이 개활지에 비해 짧고, 통신에 방해가 되는 지장물이 많이 최대 지원 통신 반경보다 훨씬 더 짧은 통신 반경을 나타내게 된다. RF 중계 시스템은 이러한 산악지형에서 적용하기에 유리하고, 통신 Relay를 통해 통신 반경을 확대할 수 있는 기회를 제공한다. 4개의 중계 시스템을 설치할 경우 대부분의 면단위 또는 군단위를 커버할 수 있다.

본 연구에서 적용한 통신 시스템의 네트워크 토폴로지 운영 방식은 Star 방식을 이용한다. Star 방식의 네트워크 구성은 센서노드와 게이트웨이가 1:1로 연결되는 방식으로 센서노드의 저전력 운영에 가장 좋은 방식이다. 그러나 Star 방식의 네트워크 토폴로지는 통신 반경내에서만 적용이 가능하므로 최대 통신 반경 5km라는 제약 사항을 가지게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 중계 시스템을 이용한 통신 반경 확대 방식을 채용하고 있다. 중계 시스템은 센서노드와 게이트웨이의 통신 상에서 나타나지 않고 다만 브로드캐스팅 되는 무선 Packet을 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) 방법에 의해 상위 또는 하위

노드에 전달하는 방식을 지원한다. 즉, 하위 센서노드에서 송신된 Packet은 중계기에 의해 상위 노드에 전달되고, 상위 노드에서 송신된 Packet은 하위 노드에 브로드캐스팅 된다. 이를 위해 중계기가 게이트웨이에 Join을 요청하면 게이트웨이는 해당 중계기에 연결되어야 하는 하위 노드의 리스트를 Join Response에 포함하여 전송한다. 중계기는 하위 센서노드 MAC 주소를 Linked 리스트에 저장하고, 해당 노드에서 송신된 Packet이 수신될 경우 이를 상위 노드에 전달하는 기능을 수행한다. 중계기는 하위 센서노드의 Packet 또는 상위 센서/중계기 노드에서 오는 Packet을 수신할 수 있도록 상시 수신 대기 상태로 있어야 하므로 일반 센서노드에 비해 통신 모듈 쪽 전력 소모가 많다. 그러나 대부분의 중계기는 통신반경을 확보하고 프레넬존을 확보하기 위해 산의 정상이나 건물의 옥상에 설치되기 때문에 태양광 발전을 하는데 지장물이 없게 된다. 이를 통해 중계기는 충분한 태양광 발전을 할 수 있어 중계 시스템을 운용할 수 있게 된다. 중계기는 일반 초음파 수위 계측 센서노드와 유사한 형상을 가지며 다만 내부에 수위 계측용 센서 관리 모듈과 계기판 관리 모듈을 포함하지 않는다. 이 부분을 제외하고 나면 대부분 같은 모듈을 사용하기 때문에 본 절에서는 중계 시스템을 운용하기 위한 중앙 MCU 회로 부분에 대해서만 회로도 및 PCB 설계 부분을 설명한다.

(1) 중계기 회로 구성

(가) RF 통신 중계기 회로 설계



(2) 중계기 PCB 설계

(가) 무선 통신 중계기 중앙회로 PCB 설계

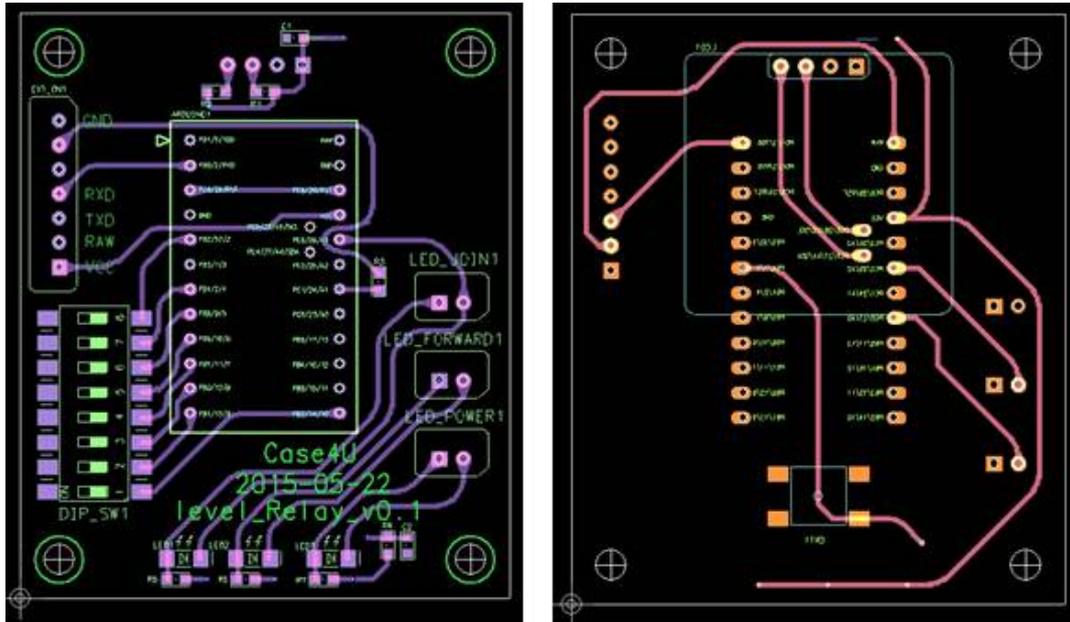


그림 3-1-59 | 무선 통신 중계기 중앙회로 PCB설계

바. 센서의 보호

본 연구에서 개발한 수위 및 기울기 센서는 외부환경에서 작동하여 방진 및 방수에 취약한 경우 시스템의 신뢰성에 영향을 미치며 지속적인 유지관리의 어려움이 발생할 수 있다. 외부에 노출되는 센서 및 중계기를 보호하는 함체의 방진 및 방수 성능을 검증하기 위한 인증시험을 실시하였다. 방진 및 방수에 대한 규격은 IP(International Protection)등급으로 표시되고 국제보호등급의 규격은 IEC60529이다. 등급은 IPXXX 로 표기되며 각 X에는 특성에 대한 보호정도 번호가 부여되며 의미하는 바는 다음과 같다.

표 3-1-22 | 방진방수 등급의 보호정도

첫 숫자(고체에 대한 보호정도)	두 번째 숫자(액체에 대한 보호정도)
1:50mm 이상의 고체로부터 보호됨	1:수직의 낙수로부터 보호됨
2:12mm 이상의 고체로부터 보호됨	2:15°정도 틀이치는 낙수물로부터 보호됨
3:2.4mm 이상의 고체로부터 보호됨	3:60°까지의 스프레이로부터 보호됨
4:1.0mm 이상의 고체로부터 보호됨	4:모든 방향의 스프레이로부터 보호됨
5:먼지로부터 보호됨	5:모든 방향의 낮은 압력으로 분사되는 물로부터 보호됨
6:먼지로부터 완벽하게 보호됨	6:모든 방향의 높은 압력으로 분사되는 물로부터 보호됨
	7:15cm-1m까지 침수되어도 보호됨
	8:장기간 침수되어 수압을 받아도 보호됨

**시험 성적서**

1. 성적서 발급번호 KR16-YP0105
  2. 신청자
    - 회 사 명 서울대학교 산학협력단
    - 주 소 서울특별시 관악구 관악로 1(신림동, 서울대학교 60동 5층)
    - 신청일자 2016년 10월 06일
  3. 제조자
    - 회 사 명 서울대학교 산학협력단
    - 주 소 서울특별시 관악구 관악로 1(신림동, 서울대학교 60동 5층)
  4. 시험성적서의 용도 품질평가용
  5. 시험대상품목
    - 제 품 명 파이 박스
    - 모 델 명 AL-W0150
  6. 시험방법/기준 KS C IEC 60529: 2006 / IP65
  7. 시험 기간 2016년 10월 07일~2016년 10월 10일
  8. 시험 환경
    - 온 도 (15~35) °C
    - 상대습도 (25~75) % R.H
    - 기 압 (86~106) kPa
  9. 시험 결과 첨부 성적서 참조
- \* 이 성적서는 신청자가 제출한 시료에 대한 시험 결과이며, 당 시험소의 사전 서면동의 없이 성적서의 내용을 전체 및 복사 할 수 없습니다.

확 인	시험자	기술책임자
	성 명: 황 진 호	성 명: 최 도 홍

2016. 10. 11

(주)케이씨티엘 대표이사



**시험 성적서**

1. 성적서 발급번호 KR16-YP0105
  2. 신청자
    - 회 사 명 서울대학교 산학협력단
    - 주 소 서울특별시 관악구 관악로 1(신림동, 서울대학교 60동 5층)
    - 신청일자 2016년 10월 06일
  3. 제조자
    - 회 사 명 서울대학교 산학협력단
    - 주 소 서울특별시 관악구 관악로 1(신림동, 서울대학교 60동 5층)
  4. 시험성적서의 용도 품질평가용
  5. 시험대상품목
    - 제 품 명 파이 박스
    - 모 델 명 AL-W0150
  6. 시험방법/기준 KS C IEC 60529: 2006 / IP65
  7. 시험 기간 2016년 10월 07일~2016년 10월 10일
  8. 시험 환경
    - 온 도 (15~35) °C
    - 상대습도 (25~75) % R.H
    - 기 압 (86~106) kPa
  9. 시험 결과 첨부 성적서 참조
- \* 이 성적서는 신청자가 제출한 시료에 대한 시험 결과이며, 당 시험소의 사전 서면동의 없이 성적서의 내용을 전체 및 복사 할 수 없습니다.

확 인	시험자	기술책임자
	성 명: 황 진 호	성 명: 최 도 홍

2016. 10. 11

(주)케이씨티엘 대표이사



그림 3-1-60 | 방진방수 인증

인증은 센서 보호용 파이박스과 중계기 보호용 철함박스에 대하여 수행하였다. 등급의 세 번째 숫자는 충격에 대한 보호정도로 본 과업에서는 제외하였다. 최종적으로 센서는 IP65등급으로 보호될 수 있는 것으로 인증되었으며, 이는 센서의 작동 중 먼지로부터 완전하게 보호되고 강우에 대하여 보호되는 수준으로 작동시 외부환경에 적절하게 보호되는 것으로 나타났다.

(1) 방진시험(IP6X)

방진시험의 시험조건과 시험시 그림은 다음과 같다.

표 3-1-23 | 방진 시험조건

항목	내용
제1특성숫자	IP6X
시험조건	시험용 활석분진의 표준체 와이어 공칭지름 : 50 $\mu$ m 시험용 활석분진의 표준체 와이어 간격 : 75 $\mu$ m 단위 부피당 활석분진의 양 : 2kg/m <sup>3</sup>
시험시간	8시간
정의	먼지의 침투가 없어야 함



그림 3-1-61 | 방진시험 후 내부확인

(2) 방수시험(IPX5)

방수시험의 시험조건과 시험시 그림은 다음과 같다.

표 3-1-24 | 방수 시험조건

항목	내용
제2특성숫자	IPX5(불 분사에 대한 보호)
시험조건	물분사 호스노즐 지름 : 6.3mm 유속률 : 12.5L/min±5% 분사거리 : 2.5-3.0m
시험시간	1min/m <sup>2</sup> , 최저 3min
정의	모든 방향에서 외곽에 분사하여 내뿜어진 물은 영향을 미치지 않아야함



그림 3-1-62 | 방수시험 후 내부확인

## 제2절 돌발재해 예·경보를 위한 예측기술 개발

### 1. 돌발재해 예측기술 개요

본 연구에서 구축하고자 하는 돌발재해 예·경보 시스템은 현장에 설치되는 센서-네트워크 기술을 기반으로 하는 하드웨어와 관리시스템에서 예·경보를 위해 자료를 분석하고 상황의 전파 및 대응을 담당하는 소프트웨어 부분으로 구성된다. 본 연구에서 다루는 돌발재해 예측기술은 강우예측자료를 이용하여 사전에 홍수 및 산사태의 위험정도를 예측하여 정보를 전달하는 부분이다. 따라서 돌발재해의 예측을 위해서는 예보 시스템의 운영에 적합한 강우예측자료를 선정할 필요가 있다. 적절한 해상도와 예측시간을 제공하고 본 연구에서 구축하는 시스템에서 실시간으로 획득이 가능해야 한다. 그리고 홍수 및 산사태 예측기술은 획득된 강우예측자료와 대상 지구에 대하여 구축된 기초자료를 이용하여 홍수 및 산사태 위험도를 판단할 수 있어야 한다. 홍수 및 산사태의 예측은 기존에 활용되는 기술을 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이미 적용성이 검증되고 활용 실적이 많은 기술을 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 본 장에서 다루는 돌발재해 예측기술은 다음의 그림에서 예보기준을 설정하고, 강우자료가 입력되면 홍수 및 산사태 위험도를 평가할 수 있는 기술이다.

본 장에서는 이러한 예·경보 시스템 상에서 돌발홍수 및 산사태 예측기술에 대해서 다룬다.

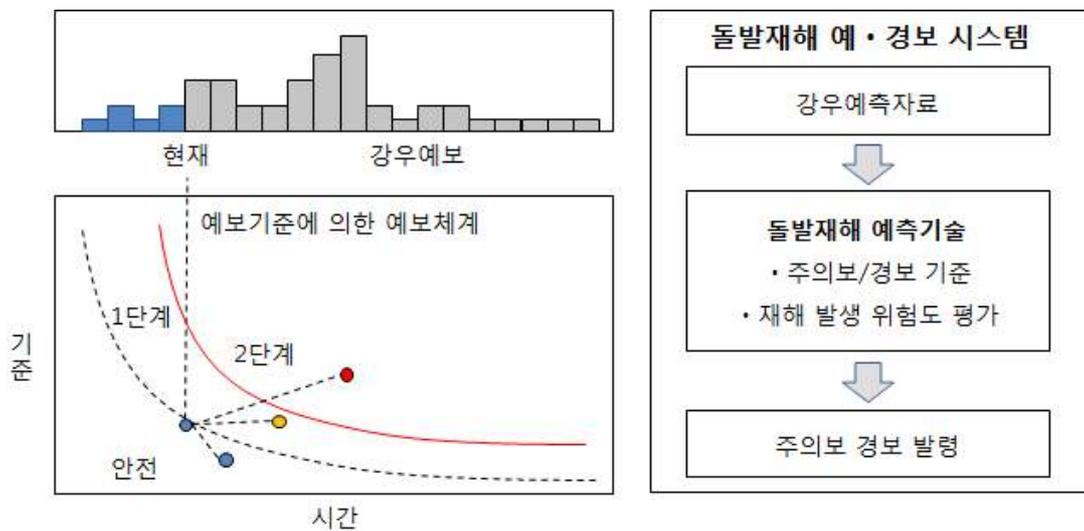


그림 3-2-1 | 돌발재해 예·경보 체계상의 예측기술 모식도

## 2. 돌발재해 예·경보를 위한 기상예보자료 선정

기상청에서는 초단기 예보부터 기후변화에 이르기까지 각종 국가 계획 수립, 경영관리, 일상생활에 필요한 기온, 강수 등 각종 4차원 시공간 예측자료를 생산하고 있다. 1989년 4월 수치예보반이 설립되면서 제한적으로 수치예보모형을 운영해 왔다. 1997년 2월 일본기상청으로부터 전지구예보시스템 (GDAPS, Global Data Assimilation and Prediction System)을 도입하여 본격적인 현업운영을 시작하였으며, 이후 2008년 영국 기상청의 통합모형(UM)을 도입하였다. 최근 10여 년간 전 지구모형의 해상도(현재수평 30km)를 증가시키는가 하면 지속적으로 예측성능을 개선하여 국내 수치예보 기술축적과 예보정확도 향상에 기여해 왔다(기상청, 2010). 기상청에서 생산되는 수치예보자료 중 일 25GB는 기상산업과 공공분야에 직접 사용되고 있어, 수치예보자료의 사회 경제적 가치를 확산하여 산업 활용도를 높이는 것은 기상산업 발전을 위해 무엇보다 중요한 일이 되었다. 현재 기상청은 기상산업분야의 다각화 및 기상산업 활성화를 위해 노력하고 있으며, 그 노력의 일환으로 수치예보자료에 대한 이해를 돕고, 수치예보자료 활용기술을 보급하고 있다.

### 가. 국내 수치예보모델 및 자료 현황

기상청은 슈퍼컴퓨터 3호기를 사용하여 단기 및 주간예보를 위해 19종의 수치예보모델을 하루 약 100회 이상 현업 운영하고 있다. 이 외에도 장기예측, 기후변화 관련 모델들과 연구 개발을 위한 다양한 수치예보모델들이 운영되고 있다. 단기 및 주간예보를 위한 수치예보모델은 전지구예보모델, 지역예보모델, 국지모델, 응용 및 통계모델 등으로 구분된다. 전지구예보모델(UM N512L70)은 이중 가장 기본이 되는 모델로써 특정한 경계 없이 지구 전체를 대상으로 예측을 수행한다. 지역예보모델과 같이 특정한 지역을 대상으로 하는 모델들은 전지구모델로부터 지역 경계조건을 내려받아 수행된다. 동아시아 지역을 예측하는 지역예보모델로는 UM 12km L70, KWRF 10km 두 종류가 운영되고 있다. 또한 한반도 영역의 위험 기상 예측을 위한 1.5km 고해상도 국지예보모델을 운영하고 있다.

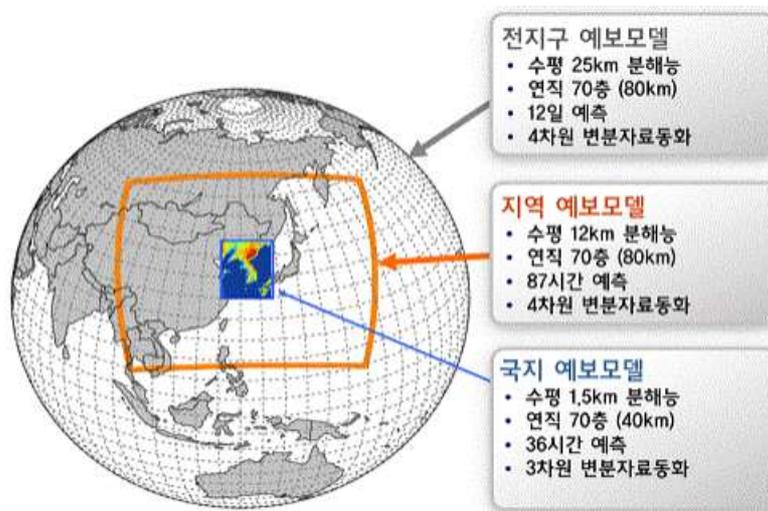


그림 3-2-2 | 수치예보모델의 종류

표 3-2-1 | 국내 수치예보모델의 종류

모델종류		수평해상도	연직층수	예측기간	운영목적
전지구모델(GDAPS)		25km	70	12일	전지구 중기예측
전지구 양상블모델(EPS)		40km	70	12일	
지역모델(RDAPS)		12km	70	87시간	동아시아 단기예측
초단기모델(KLAPS)		5km	22/40	12시간	한반도 초단기예측
파고모델	GWW3	60km	-	12일	전지구 해상파고예측
	RWW3	8km	-	87시간	아시아 해상파고예측
	CWW3	1km	-	72시간	지방청 관할해역 해상파고예측
폭풍해일모델(RTSM)		8km	-	72시간	폭풍해일고
황사모델(ADAM2)		30km	-	72시간	황사 수송 예측
태풍모델(DBAR)		35km	-	72시간	태풍 진로 및 강도 예측
동네예보/통계모델		-	-	2-10일	동네, 기온 예측
국지예보모델(LDAPS)		1.5km	70	36시간	한반도 단기예측

이처럼 기상청에서는 총 20종의 수치예보 모델들이 하루 100여회 수행되고 있으며, 이 수치모델들은 하루에 약 1.7TB의 데이터를 생산함과 동시에 약 100,000장이 넘는 분석 및 예상 일기도들을 생산하고 있다. 이 자료들은 과학적이고 객관적인 일기예보 생산을 위해 기상청 내부에서 활용되고, 기상분야가 낙후된 아시아 개도국 28개국 309개 도시에 수치자료를 지원하고 있다. 또한 국내 유관기관 및 언론에 제공하고 국내 기상 산업을 위하여 기상산업진흥원으로 매일 실시간 제공되고 있으며, 제공되는 수치자료는 다음과 같다.

표 3-2-2 | 기상산업진흥원 수치자료

구분		파일명	용량/일
UM 전구	등압면	g512_v070_ergl_pres_h(000~288).\${ANLTIM}.gb2	38.9GB
	단일면	g512_v070_ergl_unis_h(000~288).\${ANLTIM}.gb2	34GB
UM 지역	등압면	r120_v070_ereaa_pres_h(000~087).\${ANLTIM}.gb2	8GB
	단일면	r120_v070_ereaa_unis_h(000~087).\${ANLTIM}.gb2	4.3GB
UM 국지	등압면	l015_v070_erlo_pres_h(000~036).\${ANLTIM}.gb2	23.1GB
	단일면	l015_v070_erlo_unis_h(000~036).\${ANLTIM}.gb2	12.1GB
KWRF	등압면	kwrf_lc10_post_rsiz_pack_grib. \${ANLTIM}	530MB
해양모델	지역 파랑모델	rww3_wind. \${ANLTIM}	270MB
		rww3_wavhgt. \${ANLTIM}	
		rww3_wavdir. \${ANLTIM}	
		rww3_wavlen. \${ANLTIM}	
		rww3_wavprd. \${ANLTIM}	
	전구 파랑모델	gww3_wind. \${ANLTIM}	494MB
		gww3_waveht. \${ANLTIM}	
		gww3_wavedir. \${ANLTIM}	
	폭풍해일모델	rtsm_post_2dim. \${ANLTIM}	41MB

### 나. 국지예보모델자료 (LDAPS; UM 1.5kmL70)

본 연구에서는 전지구, 지역, 국지 예보모델 3가지로 나뉘는 예보모델 자료 중 해상도, 예측시간, 자료갱신주기, 용량, 가용성 등을 고려하여 국지예보모델자료가 가장 적합한 것으로 판단되었으며, 강수량처럼 연직으로의 변화가 없는 단일 층에서 나타나는 기상요소가 필요함에 따라 국지예보모델의 단일면 자료를 가용하였다. 국지예보모델(UM 1.5kmL70)의 공간 해상도는 1.5km이며, 연직으로 약 40km까지 70층으로 구성되며, 3시간 간격으로 전지구모델로부터 경계장을 제공받아 1일 8회(00, 06, 12, 18UTC : 36시간 예측, 03, 09, 15, 18UTC : 3시간 예측) 수행한다. 국지예보모델은 3차원 변분자료 동화 기법을 이용하여 각각의 자체 분석-예측 순환 체계로 운영하고 있다. 국지예보모델의 산출자료는 등압면 자료와 단일면 자료 2종류가 제공되고 데이터 형식은 WMO에서 제시한 GRIB2 형식으로 제공하고 있으며, 국지예보모델의 산출자료는 다음과 같다.

#### (1) 등압면 예보자료

등압면 예보자료는 1000hPa에서 50hPa까지의 등압면에서 총 7개의 변수를 제공한다.

표 3-2-3 | 등압면 예보자료

파일명	1015_v070_erlo_pres_h\${HHH}.\${ANLTIM}.gb2
수평격자	602(동서)×781(남북) Lambert-conformal projection 동서방향 : 121.834° E부터 1.5km도 간격 / 남북방향 : 32.257° N부터 1.5km간격
예측시간	h000~h036까지 1시간간격 예측
1회 제공 파일개수	h000~h036까지 37개 (00, 06, 12, 18UTC)

#### (2) 단일면 예보자료

본 연구에서 가용한 단일면 예보자료는 단일면 및 토양면에서 총 78개 변수를 제공하며, 외부에 제공되는 단일면/토양면의 변수 목록은 표 3-2-5와 같다.

표 3-2-4 | 단일면 예보자료

파일명	1015_v070_erlo_unis_h\${HHH}.\${ANLTIM}.gb2
수평격자	602(동서)×781(남북) Lambert-conformal projection 동서방향 : 121.834° E부터 1.5km도 간격 / 남북방향 : 32.257° N부터 1.5km간격
예측시간	h000~h036까지 1시간간격 예측
1회 제공 파일개수	h000~h036까지 37개 (00, 06, 12, 18UTC)

표 3-2-5 | 단일면/토양면 외부제공 변수 (78종)

Sec.	Item	Name	Time	Domain	Abbrev
1	201	Net Down Surface SW Flux	1시간평균값	단일면	NDNSW
1	230	Direct SW Flux (ON RHO LEVELS)	1시간평균값	$\rho_{level}$ 제1층 (2.5m)	SWDIR
1	231	Diffuse SW RAD Flux (ON RHO LEVELS)	1시간평균값	$\rho_{level}$ 제1층 (2.5m)	SWDIF
1	235	Total Downward Sfc. SW Flux	1시간평균값	단일면	TDSWS
2	201	Net Downward Sfc. LW Flux	1시간평균값	단일면	NDNLW
2	205	Outgoing LW Flux(TOA)	1시간평균값	단일면	OULWT
2	207	Downward LW RAD Flux (Surface)	1시간평균값	단일면	DLWS
4	201	Large-scale Precipitation	1시간누적값	단일면	NCPCP
4	202	Large-scale Snow	1시간누적값	단일면	SNOL
4	203	Large-scale Precipitation Rate	1시간평균값	단일면	LSPRATE
4	204	Large-scale Snowfall Rate	1시간평균값	단일면	LSSRATE
3	25	Boundary Layer Depth after B. LAYER	1시간순간값	단일면	HPBLA
3	202	Heat Flux from Sfc. to Deep Soil 1	1시간평균값	단일면	HFSOIL
3	208	Lowest Layer Bulk Richardson No. RIB	1시간평균값	$\rho_{level}$ 제1층 (2.5m)	LLRIB
3	209	U-Component of wind	1시간순간값	단일면	UGRD
3	210	V-Component of wind	1시간순간값	단일면	VGRD
3	217	Sfc. Heat Flux	1시간평균값	단일면	HFSFC
3	219	X-comp. Sfc. & BL Wind Stress	1시간평균값	$\theta_{level}$ 제1층 (5m)	XBLWS
3	220	Y-comp. Sfc. & BL Wind Stress	1시간평균값	$\theta_{level}$ 제1층 (5m)	YBLWS
3	234	Latent Heat NET Flux	1시간평균값	단일면	LHTFL
3	236	Temperature	1시간순간값	단일면	TMP
3	236	minimum Temperature	1시간최저값	단일면	TMIN
3	236	Maximum Temperature	1시간최고값	단일면	TMAX
3	237	Specific Humidity	1시간순간값	단일면	SPFH
3	241	Total Surf Moisture Flux per time step	1시간누적값	단일면	TOMFS
3	245	Relative Humidity	1시간순간값	단일면	RH
3	247	Visibility	1시간순간값	단일면	VIS
3	248	Fog Fraction	1시간순간값	단일면	FOGFR
3	250	Dewpoint Temperature	1시간순간값	단일면	DPT
3	253	Prob. of Visibility less than 5km	1시간순간값	단일면	PVIS5
3	254	TL of 1.5m	1시간순간값	단일면	15TL
3	255	QT of 1.5m	1시간순간값	단일면	15QL
3	281	visibility at 1.5m(incl precip)	1시간순간값	단일면	VISIP
3	290	Surface Sensible Heat Flux on Tiles	1시간순간값	9 tiles	SHFLT
3	304	Turbulent mixing height after B. Layer	1시간순간값	단일면	HTBM
3	306	Stratocum. over Stable BL Indicator	1시간순간값	단일면	SCST

Sec.	Item	Name	Time	Domain	Abbrev
3	308	Decoupled SC. not over CU. Indicator	1시간순간값	단일면	DSCNC
3	309	Decoupled SC. over CU. Indicator	1시간순간값	단일면	DSCOC
3	314	Surface Net Radiation on Tiles	1시간순간값	9 tiles	NETTL
3	316	Surface Temp. on Tiles	1시간순간값	9 tiles	STOT
3	319	Canopy Height on PFTS	1시간순간값	5 pfts	HCNP
3	321	Canopy Water ON Tiles	1시간순간값	5 pfts	WCNP
3	328	1.5m Temperature over Tiles	1시간순간값	9 tiles	T15T
3	329	1.5m Specific Humidity over Tiles	1시간순간값	9 tiles	SH15
3	360	Height of Decoupled Layer Base	1시간순간값	단일면	HDLB
3	462	Stomatal Conductance on PFTS	1시간순간값	5 pfts	STCP
3	463	Maximum Wind Speed	1시간최대값	단일면	MAXGUST
3	476	Combined Boundary Layer Type	1시간순간값	단일면	CBLT
8	201	Land Snow Melt Amount	1시간누적값	단일면	SNOM
8	223	Soil Moisture Content in a Layer	1시간순간값	토양층	SMCL
8	225	Soil Temperature(Validation to deprecate)	1시간순간값	토양층	TSOIL
8	234	Surface Runoff rate	1시간순간값	단일면	ROFR
8	235	Sub-Surface Runoff Rate	1시간순간값	단일면	SROFR
9	202	Very Low Cloud Cover	1시간순간값	단일면	VLCDC
9	203	Low Cloud Cover	1시간순간값	단일면	LCDC
9	204	Medium Cloud Cover	1시간순간값	단일면	MCDC
9	205	High Cloud Cover	1시간순간값	단일면	HCDC
9	210	Cloud Base for >2.5 Octa KFT	1시간순간값	단일면	CB25
9	212	Cloud Base for >4.5 Octa KFT	1시간순간값	단일면	CB45
9	216	Total Cloud Amount-Random Overlap	1시간순간값	단일면	TCAR
9	217	Total Cloud Amount-Max/Rdm Overlp	1시간순간값	단일면	TCAM
9	218	Cloud Fraction below 1000FT ASL	1시간순간값	단일면	CFB10
9	219	Low Cloud base(FT ASL)	1시간순간값	단일면	LCB
9	221	Wet Bulb Freezing Level Height	1시간순간값	단일면	WBFLH
9	223	Total Cloud Top Height (KFT)	1시간순간값	단일면	TCTH
15	245	50m-Wind U-component	1시간최소값	단일면	50MU
15	245	50m-Wind V-component	1시간최대값	단일면	50MV
15	246	50m-Wind U-component	1시간최소값	단일면	50MU
15	246	50m-Wind V-component	1시간최대값	단일면	50MV
16	222	Pressure Reduced to MSL	1시간순간값	단일면	PRMSL
0	23	Snow Amount over Land AFT TSTP	1시간누적값	단일면	SNOAL
0	24	Surface Temperature	1시간순간값	단일면	TMP
0	25	Planetary Boundary Layer Height	1시간순간값	단일면	HPBL
0	26	Surface Roughness	1시간순간값	단일면	SFCR
0	30	Land COVER	1시간순간값	단일면	LAND
0	31	Fraction of Sea Ice	1시간순간값	단일면	FRICE
0	33	Orography	1시간순간값	단일면	DIST
0	409	Surface Pressure	1시간순간값	단일면	PRES



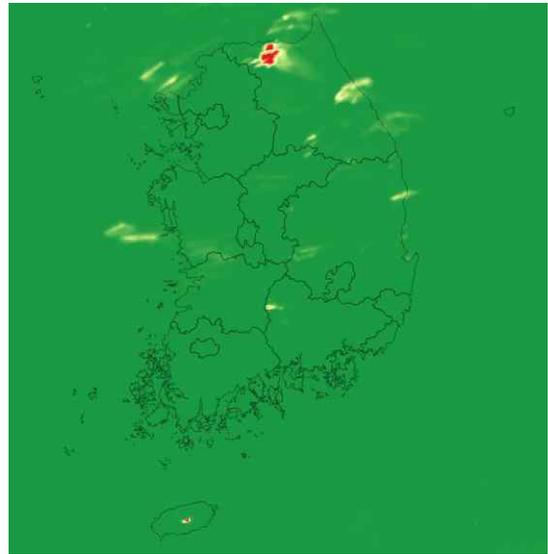
a) 2015/06/12 18:00 현재



b) 2015/06/12 18:00 기준 12시간 후



c) 2015/06/12 18:00 기준 24시간 후



d) 2015/06/12 18:00 기준 36시간 후

그림 3-2-3 | 제공받은 LDAPS 자료의 예

### 3. 돌발재해 예·경보 서비스를 위한 대상지구 선정

#### 가. 대상지구 선정기준

본 연구에서는 대상지구 선정을 위하여 우선 전국을 제주도를 제외한 5개 광역단위 (경기권, 강원권, 충청권, 경상권, 전라권)로 구분하였다. 국지성 호우 등에 의한 피해는 특정 지역에 국한되는 경우가 많으며 피해규모도 대형화되는 추세에 있는 점을 감안하여 소방방재청의 시군별 평균 홍수피해 주기자료를 이용하여 각 광역권 내에서 피해주기가 높은 시군을 우선 선정하였다. 선정된 각 시군에서는 [자연재해대책법]에 의해 지정·고시되는 자연재해위험 개선지구 중 침수위험지구와 붕괴위험지구를 검토 하였다. 침수위험지구와 붕괴위험지구 중에서 정비 중인 지구를 제외하고 미정비·미착수 지구를 대상으로 지정등급이 높고, 최근에 지정·고시된 지구를 우선순위로 하여 대상지구를 선정하였으며, 선정된 절차를 요약하면 다음과 같다.

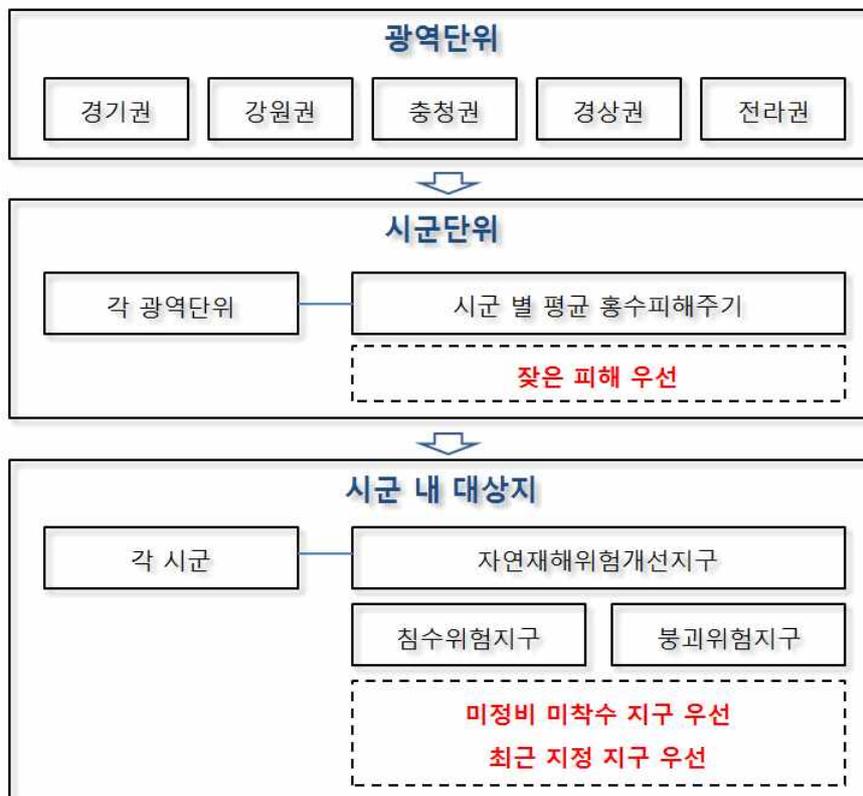


그림 3-2-4 | 연구대상지구 선정 절차

#### 나. 시군별 평균 홍수피해 주기

최근 발생하는 풍수해는 대부분 집중호우에 의한 것으로 피해규모가 대형화되고 있는 추세이며, 특히 돌발홍수와 같은 국지성 호우양상은 많은 피해를 유발한다. 이처럼 홍수피해는 빈발하고 있으나 시군 간의 홍수피해 발생빈도나 피해액을 비교할 수 있는 합리적인 방법론이 마련되지 않은 실정이다.

본 연구에서는 전국 162개 시군별 도시유형 및 소방방재청 자연재해위험개선지구 관리지침 (2013.7.8.고시, 제2013-024호)에 의거한 평균 홍수 피해주기 자료 (년간 피해발생빈도)를 활용하여 홍수피해 주기가 높은 시군을 살펴보았다. 여기서, 대도시는 인구 100 만명을 넘

는 광역시급 도시, 중소도시는 인구 100 만명 미만의 시급 도시, 전원도시는 인구 증가 등 여러 가지 여건변화로 인해 군 전체가 시로 승격된 도시, 농촌지역은 군급 도시중 인구 밀도가 500인/km<sup>2</sup> 이상이고, 임야가 70% 미만인 지역, 산간지역은 농촌지역 이외의 군급 도시로 구분된다.

#### 다. 자연재해위험개선지구

자연재해위험개선지구란 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설 등 불가항력적인 자연의 힘에 의한 현상으로부터 안전하지 못하여 국민의 생명과 재산에 피해를 줄 수 있는 지역과 자연재해저감시설을 포함한 주변지역으로서 법 제12조에 따라 지정된 지구를 말한다. 이 지침은 「자연재해대책법」 제12조부터 제15조 및 같은 법 시행령 제8조부터 제12조에 따라 자연재해위험개선지구 지정 및 정비계획 수립 등에 대한 세부운영 기준을 정함을 목적으로 한다. 지형적인 여건 등으로 인하여 재해가 발생할 우려가 있는 지역을 체계적으로 정비·관리하여 자연재해를 사전 예방하거나 재해를 경감시키기 위하여 지정한다. 지정권자는 시장·군수·구청장이며, 자연재해위험개선지구는 필요에 따라 수시로 지정할 수 있으며, 자연재해위험개선지구의 기준에 부합하는 지역 및 재해위험시설에 대하여 지구로 지정·관리하는 것을 원칙으로 한다.

#### 라. 대상지구의 선정

연구대상지역은 소방방재청의 시군별 평균 홍수피해 주기자료에서 제주도를 제외한 5개 시도별로 대도시와 중소도시를 제외한 농촌·산간·전원지역의 피해주기가 높은 시군의 자연재해 위험개선지구 안에서 대상지구를 선정하였다. 이 때, 자연재해위험 개선지구는 침수위험지구와 붕괴위험지구로 지정·고시된 지구 중에서 설계중이거나 정비중인 지구를 제외하고 미정비·미착수 지구를 대상으로 지정등급이 높은 지구, 최근 지정·고시된 지구를 우선순위로 하였다.



그림 3-2-5 | 최종 선정된 대상지구 위치도

표 3-2-6 | 최종 선정된 대상지구

	시도	시군	읍면	지구명	유형
1	강원도	평창군	대화면	대화 (PHL)	산사태위험 대상지구
2			대화면	신리 (PSL)	산사태위험 대상지구
3			대화면	신리 (PSF)	홍수위험 대상지구
4	경기도	포천시	신북면	덕둔 (PDL)	산사태위험 대상지구
5			일동면	화대 (PHF)	홍수위험 대상지구
6	충청남도	예산군	예산읍	간양 (YGL)	산사태위험 대상지구
7		보령시	성주면	성주 (SSF)	홍수위험 대상지구
8	경상북도	안동시	남후면	무릉 (AML)	산사태위험 대상지구
9			녹전면	사신 (ASF)	홍수위험 대상지구
10	전라남도	임실군	임실읍	현곡 (IHL)	산사태위험 대상지구
11		장성군	서삼면	추암 (JCF)	홍수위험 대상지구

#### (1) 강원권 대상지구 선정

강원도는 고성군의 시군별 평균 홍수피해 주기는 가장 높았으나 자연재해위험개선지구로 지정·고시된 지역이 유실위험지구와 고립위험지구만 지정되어 있었으며 다음으로 홍수피해 주기가 높았던 평창군에서 대상지구를 선정하였다. 먼저, 침수위험 대상지는 지정등급이 높고 최근 지정·고시되었던 중부지구와 주진지구는 정비사업이 진행되어 제외하였으며, 미착수 지구인 신리지구와 덕거지구 중 지정등급이 높은 신리지구를 홍수위험 대상지구로 선정하였다. 붕괴위험 대상지는 미착수 지구이면서 지정등급이 높고 최근 지정·고시되었던 중리지구와 외거문리 지구가 있었으나, 향후 지속적인 모니터링과 센서 및 통신상태의 점검을 위하여 연구 수행기관의 인근인 대화 및 신리지구를 선정하였다. 산사태 발생 시 예상되는 인명 및 재산피해를 검토하면 연구대상지역으로 적절할 것으로 판단된다.

#### (2) 경기권 대상지구 선정

경기권은 시군별 평균 홍수피해 주기가 높은 여주군과 가평군은 연구대상지역 선정기준 해당되는 사항이 없거나 자연재해위험개선지구로 지정·고시된 지구가 없어 제외하였으며, 포천시에서 대상지구를 선정하였다. 침수위험지구로 지정·고시된 5개 지구 중 피해면적이 가장 컸던 일동면에서 침수위험지구를 선정하였으며 붕괴위험지구는 응급조치는 완료되었으나 다시 붕괴위험이 우려되는 신북면의 한 사면을 산사태 위험지구로 선정하였다.

#### (3) 경상권 대상지구 선정

경상권의 경우 홍수피해주기가 2.93으로 가장 높은 경상북도 안동시에서 시범지구를 선정하였다. 침수위험지구는 안동시 남선면에 위치한 신석지구를 대상으로 하고자 하였으나 저수지를 수원공으로 하는 유역이 주를 이루고 있어 이들을 제외하고, 침수피해 기록이 있는 안동시 녹전면 사신리의 한 유역을 대상지구로 선정하였다. 붕괴위험지구는 안동시 남후면에서 상대적으로 붕괴위험이 예상되는 무릉리의 사면을 선정하였다.

#### (4) 전라권 대상지구 선정

전라권의 경우 홍수피해 주기가 3.07로 가장 높은 3개 시군(장성군, 신안군, 나주시) 중 중소도시인 나주시는 제외하고 미착수 지구가 다수이고 최근의 지정·고시된 지구가 다수인 장성군을 우선으로 하였다. 장성군은 4개의 침수위험지구 중 서삼면에 2개소가 지정·고시되어 있으며 서삼면에서 저수지를 수원공으로 하는 유역을 제외한 한 유역을 대상지구로 선정하였다. 붕괴위험지구는 보성군은 정비중에 있어 제외하고, 최근 지정·고시되었던 임실군에서 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 현곡리의 한 사면을 선정하였다.

#### (5) 충청권 대상지구 선정

충청권은 홍수피해 주기가 2.53으로 충청도내 가장 높으며, 추진상황이 미착수이면서 최근 지정·고시된 지구가 있는 보령시를 대상으로 홍수위험지구를 선정하였다. 산사태위험지구는 충청도 내 홍수피해주기가 높은 보령시와 홍성군에는 없어 제외하고, 다음으로 높은 예산군에서 산사태 위험지구를 선정하였다.

## 4. 돌발홍수 예·경보를 위한 적용기술

### 가. 돌발홍수 위험잠재능 평가

전 세계적으로 홍수에 대한 영향평가는 대상 지역마다 지형 및 인문, 사회와 같은 여러 특성에 의하여 각기 다르게 발생하기 때문에 그에 맞는 영향 및 취약성 평가 수행이 선행되어야 하고, 적절한 적응 대책 수립이 요구된다 (이문환 등, 2011). 도시화의 가속화, 이상 기후 등으로 인해 홍수피해 잠재성은 증가하고 있으며, 치수 및 방재 선진국이라고 불리는 유럽 및 미국에서도 홍수 위험성에 대한 다양한 연구가 진행되어왔으나 홍수 위험성 자체를 분석하고 모의하는데 초점이 맞추어져 있어 여전히 홍수 피해는 증가하고 있다. 이에 1990년대부터 홍수 피해지역의 취약성 및 노출성의 개념을 포함한 위험관리에 대한 이론이 나오기 시작했으며, 2000년대 들어서 이를 평가할 수 있는 시스템 및 지수개발의 연구가 활발히 진행되고 있다 (송재하, 2012).

국내의 경우, 수자원장기종합계획 (건설교통부, 2001)에서 치수안전도 설정을 위해 국내에서 처음으로 홍수위험잠재능 (PFD: Potential Flood Damage)이라는 개념을 도입·적용하여 전국 150개 치수단위구역별 잠재적인 홍수피해 위험성을 나타내고 치수방향을 제시하였다. 이후 PFD 개념에 대한 후속 연구들이 활발히 진행되어 왔는데, 김정훈과 김영오 (2003)는 기존 PFD의 위험성요소를 가능성 요소와 방어능력 요소로 분리하고 세부요소를 수정·보완한 수정 PFD를 제안하였다. 이승중 등 (2006)은 기존 PFD와 수정 PFD를 비교하여 수정 PFD의 이론적 타당성을 제시하고 PFD를 이용한 유역의 목표치수안전도를 설정하는 새로운 방안을 제시하였으며, 안재현 등 (2007)은 유역종합치수계획들의 검토를 통해 기존 PFD의 문제점을 분석하고 일부 세부요소를 수정·추가하여 개선방안을 제시하였다.

한편 PFD 단점을 보완하기 위해 취약성이나 확률론적 개념의 도입하는 등 홍수피해 양상을 정량적인 수치로 나타내고 해석력을 높이기 위한 지표 개발에 다각적인 노력을 기울이고 있다. 국토연구원 (2005)은 과거 33년간의 홍수피해 자료를 바탕으로 홍수발생빈도와 피해액의 관계를 빈도분석하여 전국 232개 시군구의 홍수피해특성을 분석하고 계량적인 홍수피해지표를 제시하였다. 박석근 (2006)은 홍수피해잠재능에 취약성과 노출성 개념을 도시홍수에서 처음 적용한 사례로 홍수피해발생 잠재위험도라는 개념을 정의하고 이를 산정하기 위한 방법론을 제시하였다. 국토해양부 (2008)는 이상홍수취약성지수 (EFVI: Excess Flood Vulnerability Index)를 개발하고 6개의 그룹별 적정 홍수방어 대책을 제시하고 적정성 검토를 위해 안성천 유역에 적용하였다. 박태선 등 (2010)은 지역별 홍수피해의 잠재적 위험성을 손쉽게 파악할 수 있도록 자연적, 사회적, 정책적 및 시설적 요인을 바탕으로 홍수피해지표 (FDI: Flood Damage Index)를 제안하여 전국 229개 시군의 잠재적 홍수피해 위험성을 비교하였다. 임광섭 등 (2010)은 P-S-R (Pressure-State-Response) 구성체계로 치수특성 평가 지수들을 개발하고 이를 통합한 홍수위험지수 (FRI: Flood Risk Index)를 제시하여 전국 117개 중권역의 홍수위험지수를 분석하였으며, 송재하 등 (2013)은 지역의 전반적인 홍수위험 상태를 파악할 수 있는 홍수위험지수 (FRI: Flood Risk Index)의 산정방안을 제시하고 이를 낙동강 유역에 적용하여 자연재해위험지구의 침수위험 지구와 비교를 통해 그 적용성을 검토하였다. 문승록 등(2014)은 홍수 취약성 개념을 적용하여 지역사회 대비능력을 고려한 홍수피해저감지수 (FDRRI: Flood Disaster Risk Reduction Index)를 개발하고 이를 낙동강유역에 적용하였다.

(1) 홍수위험잠재능 산정기법

본 연구에서는 김정훈과 김영오 (2003)에 의해 제안되고 이승중 등 (2006)에 의해 이론적 타당성이 입증된 수정 PFD의 개념을 도입하고, 세부지표들은 관련 선행연구들의 검토를 통해 일부 추가하거나 수정하였다. 가중계수는 두 변수간의 상대적인 관련성을 나타내는 상관계수를 가중계수로 부여하였으며, 치수단위구역이 아닌 시군구별 잠재적인 홍수피해 취약정도를 나타내는 지수를 산정하여 보다 현실적인 치수대책을 마련하고 이를 시·공간적으로 비교하고자 하였다 (그림 3-2-6).

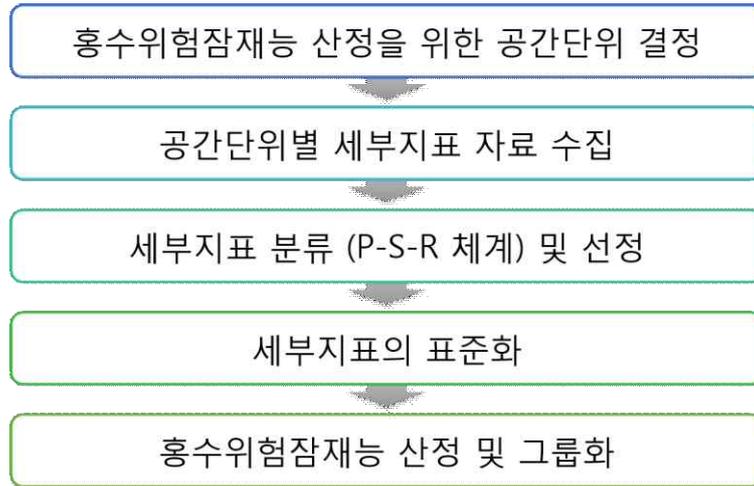


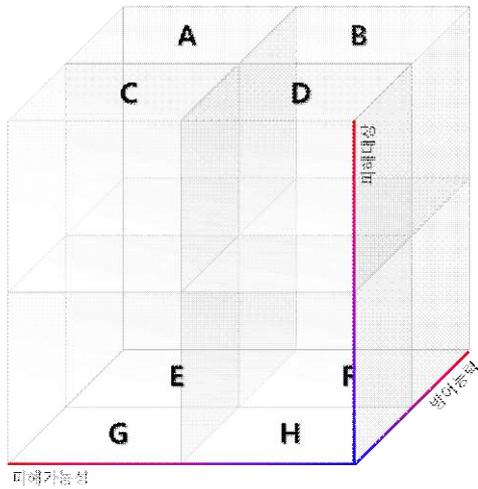
그림 3-2-6 | 홍수위험잠재능 산정 절차

먼저 수정 PFD는 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3개 요소로 구분되며 산정식은 식 (2-1)과 같이 정의하였다, 구축된 세부요소들을 무차원화하여 PFD를 산정하며, 수정 PFD는 홍수가 발생해도 치수단위구역에 피해를 입을 대상이 없는 경우 (피해대상=0), 치수단위구역에 홍수가 발생할 가능성이 없는 경우 (피해가능성=0), 치수단위구역이 홍수피해에 대해 완벽한 방어시설물을 구축하고 있는 경우 (방어능력=0) 중 하나라도 포함된다면 그 지역의 홍수위험잠재능은 없다고 판단하였다. 산정 결과는 그림 3-2-7와 같이 8개의 그룹으로 세분화하고, 각 그룹별 치수대책 방향을 제시하였다.

$$PFD = [F_{PO}, F_{POSS}, F_{DEF}] \tag{2-1}$$

$$\begin{aligned}
 F_{PO} &= [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_i F_i] \\
 F_{POSS} &= [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_j F_j] \\
 F_{DEF} &= [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_k F_k]
 \end{aligned}$$

여기서  $\alpha_i, \alpha_j, \alpha_k$ 는 지수별 가중계수,  $F_i, F_j, F_k$ 는 각 세부요소이다.



- A: 피해대상 > 0 , 피해가능성 > 0 , 방어능력 > 0
- B: 피해대상 > 0 , 피해가능성 ≤ 0 , 방어능력 > 0
- C: 피해대상 > 0 , 피해가능성 > 0 , 방어능력 ≤ 0
- D: 피해대상 > 0 , 피해가능성 ≤ 0 , 방어능력 ≤ 0
- E: 피해대상 ≤ 0 , 피해가능성 > 0 , 방어능력 > 0
- F: 피해대상 ≤ 0 , 피해가능성 ≤ 0 , 방어능력 > 0
- G: 피해대상 ≤ 0 , 피해가능성 > 0 , 방어능력 ≤ 0
- H: 피해대상 ≤ 0 , 피해가능성 ≤ 0 , 방어능력 ≤ 0

그룹별 치수대책 방향

- A : 홍수시설의 강화가 필요하고, 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중화해야 할 지역
- B : 홍수방어시설의 강화를 필요로 하지만 A에 비해 지역적 여건을 고려하여 구조적 대책 모색
- C : 홍수방어시설의 설치 필요하나, 구조적 대책보다는 비구조적대책과 지역적 여건을 고려한 치수안전대책을 모색
- D : 상류지역의 범람에 의해 하류지역의 홍수범람 감소를 모색하는 등 지역적 여건을 고려한 대책 마련
- E : 홍수방어시설의 설치가 필요하고, 치수안전도의 상향조정이 필요하지만, 구조적 대책과 비구조적 대책의 병행 모색
- F : 홍수방어시설이 필요하나, 비구조적 대책을 모색
- G : 홍수방어 시설은 어느정도 충분하므로 비구조적 대책에 비중을 두고 대책을 모색
- H : 자연친화적인 사업과 병행될 수 있는 방향으로 모색

그림 3-2-7 | 홍수위험잠재능의 그룹화

(2) 홍수위험잠재능 지표의 선정

(가) 공간단위의 결정

홍수위험잠재능 (PFD)는 대부분 치수단위구역별 자료의 부재로 시군별 자료를 편입면적 비로 변환하여 사용하고 있어 이론적 근거가 미흡하다. 또한 우리나라의 홍수피해에 대한 계획과 대책은 시군구별로 이루어지고 있기 때문에 치수단위구역과 같은 개념보다는 시군구별 분석과 대책마련이 보다 현실적이다 (박태선 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 시군구별 홍수위험잠재능 평가를 위해 다음 표 3-2-7과 같이 구분하여 서울특별시, 광주광역시, 대전광역시, 세종특별자치시 각 1개, 부산광역시(기장군), 대구광역시(달성군), 울산광역시(울주군), 제주도(제주시, 서귀포시) 각 2개, 인천광역시(강화군, 옹진군) 3개, 경기도 31개(28개 시, 3개 군), 강원도 18개(7개 시, 11개 군), 충청북도 11개(3개 시, 8개 군), 충청남도 15개(8개 시, 7개 군), 전라북도 14개(6개 시, 8개 군), 전라남도 22개(5개 시, 17개 군), 경상북도 23개(10개 시, 13개 군), 경상남도 18개(8개 시, 10개 군)로 총 167개 시군을 대상으로 분석을 실시하였다.

표 3-2-7 | 홍수위험잠재능 평가를 위한 시군별 구분

구분	분석대상 시·군
서울(1)	서울특별시
광역시(11)	부산광역시(부산광역시, 기장군), 대구광역시(대구광역시, 달성군), 인천광역시(인천광역시, 강화군, 옹진군), 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시(울산광역시, 울주군)
세종(1)	세종특별자치시
경기(31)	수원시, 성남시, 의정부시, 안양시, 부천시, 광명시, 평택시, 동두천시, 안산시, 고양시, 과천시, 구리시, 남양주시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 파주시, 이천시, 안성시, 김포시, 화성시, 광주시, 양주시, 포천시, 여주시, 연천군, 가평군, 양평군
강원(18)	춘천시, 원주시, 강릉시, 동해시, 태백시, 속초시, 삼척시, 홍천군, 횡성군, 영월군, 평창군, 정선군, 철원군, 화천군, 양구군, 인제군, 고성군, 양양군
충북(11)	충주시, 제천시, 청주시, 보은군, 옥천군, 영동군, 진천군, 괴산군, 음성군, 단양군, 증평군
충남(15)	천안시, 공주시, 보령시, 아산시, 서산시, 논산시, 계룡시, 당진시, 금산군, 부여군, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군, 태안군
전북(14)	전주시, 군산시, 익산시, 정읍시, 남원시, 김제시, 완주군, 진안군, 무주군, 장수군, 임실군, 순창군, 고창군, 부안군
전남(22)	목포시, 여수시, 순천시, 나주시, 광양시, 담양군, 곡성군, 구례군, 고흥군, 보성군, 화순군, 장흥군, 강진군, 해남군, 영암군, 무안군, 함평군, 영광군, 장성군, 완도군, 진도군, 신안군
경북(23)	포항시, 경주시, 김천시, 안동시, 구미시, 영주시, 영천시, 상주시, 문경시, 경산시, 군위군, 의성군, 청송군, 영양군, 영덕군, 청도군, 고령군, 성주군, 칠곡군, 예천군, 봉화군, 울진군, 울릉군
경남(18)	진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시, 거제시, 양산시, 창원시, 의령군, 함안군, 창녕군, 고성군, 남해군, 하동군, 산청군, 함양군, 거창군, 합천군
제주(2)	제주시, 서귀포시

(나) 지표의 선정과 분류

홍수피해는 지역에 따라 발생빈도와 홍수피해 규모가 다양하기 때문에 합리적이고 효과적인 치수대책을 위해서는 지역 간의 홍수피해원인과 위험성 정도를 나타내는 계량화된 지표를 이용하여 치수대책을 수립하여야 한다 (송재하, 2012). 이에 관련 선행연구들로부터 홍수피해에 미치는 영향 인자들을 도출하고 자료의 신뢰성, 구득성 등을 고려하여 주요 지표들을 수집하였다. 수집된 지표들은 시군별 홍수피해주기 (소방방재청, 2013)와의 상관분석을 통해 상관계수가 0.2이상인 지표들을 최종 지표로 선정하였으며, 총 60개의 세부지표 중 20개의 지표가 선정되었다. 피해대상( $F_{PO}$ )에는 홍수피해 대상이 되는 인문, 사회, 자연환경 특성들을 수집하였으며, 피해가능성( $F_{POSS}$ )은 과거 홍수피해 이력, 홍수피해 위험지역 등 홍수가 발생하여 나타난 현상과 관련된 지표를 수집, 마지막으로 방어능력( $F_{DEF}$ )은 치수대책과 관련된 방재시설물이나 응급의료기관 등 홍수예방을 위한 대책을 나타내는 지표들로 구성하였다.

표 3-2-8 | 홍수위험잠재능 평가 지표 선정

요소	지표명	출처	자료기준년도
피해대상 (F <sub>PO</sub> )	◦ 인구밀도(F <sub>PD</sub> )*	국가통계포털	2015
	◦ 재해취약인구비(F <sub>EPR</sub> )*	국가통계포털	2015
	◦ 농가인구비(F <sub>FPR</sub> )*	국가통계포털	2015
	◦ 기초생활수급자비(F <sub>BSR</sub> )*	한국도시통계	2015
	◦ 경지면적(F <sub>CA</sub> )*	국가통계포털	2015
	◦ 산림면적(F <sub>FA</sub> )*	국가통계포털	2015
피해 가능성 (F <sub>POSS</sub> )	◦ 하천면적(F <sub>RA</sub> )*	국가통계포털	2015
	◦ 불투수율(F <sub>IR</sub> )*	국가통계포털	2013
	◦ 자연재해위험지구수(F <sub>NHA</sub> )*	국민안전처	2015
	◦ 최근10년 우심피해발생수(F <sub>FD</sub> )**	재해연보	2006-2015
	◦ 평년 100mm/day 이상인 날의 수(F <sub>PR</sub> )**	기상청	1981-2010
	◦ 10년빈도 확률강우량 (F <sub>PP</sub> )*	확률강우량도 활용시스템	-
	◦ 최근10년 농경지 피해밀도(F <sub>IA</sub> )**	재해연보	2006-2015
방어능력 (F <sub>DEF</sub> )	◦ 하수도설치율(F <sub>DR</sub> )*	하수도통계	2015
	◦ 수리시설수해면적(F <sub>BA</sub> )*	농업생산기반정비통계연보	2015
	◦ 저수지 개소수(F <sub>NR</sub> )*	농업생산기반정비통계연보	2015
	◦ 빗물이용시설 저류조용량(F <sub>RT</sub> )**	하수도통계	2015
	◦ 우수지면적(F <sub>RBA</sub> )**	하수도통계	2015
	◦ 1인당 의료기관 수(F <sub>NMI</sub> )**	국가통계포털	2015
	◦ 재정자립도(F <sub>FIR</sub> )*	국가통계포털	2015

\* 기존 2차년도 선정지표 중 최신의 자료로 업데이트, 추가된 시군의 지표 추가 및 분리

\*\* 기존 2차년도 선정지표 중 시간적 기준이 통일된 자료 및 홍수와 관련성이 높은 지표로 개선

#### (다) 지표의 표준화 방법

선정된 지표들은 서로 단위나 범위가 서로 달라 통합된 분석을 위해서는 지표의 표준화가 필요하다. 표준화 방법은 경제 분야 지표 및 환경, 의료분야 지표 등 거의 모든 영역에서 이용되는 방법으로 Nardo 등 (2005)은 지표의 조합에 관한 방법에서 복합 지표 개발을 위한 표준화 방법으로 10가지를 제안하였다. 이 중 가장 많이 사용되는 방법인 Z-Score를 활용하여 표준화하였다.

Z-Score 방법은 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차가 1이 되도록 만드는 방법으로 자료의 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는 지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 평균치 이하의 점수는 음수 값으로 산정되므로 별도의 처리가 필요하지만 본 연구에서는 평균값이 0을 기준으로 각 요소 간 대소 관계를 구분하여 그룹을 분류하고자 하였으므로 음수 값을 별도로 처리하지 않았다.

표 3-2-9 | 지표 표준화 방법 (Nardo 등, 2005; 명수정 등, 2010)

구분	설명	표준화 식
순위매기기 (ranking)	<ul style="list-style-type: none"> <li>지표의 값들에 순위를 매기는 방법</li> <li>단순하고 간단하지만 많은 정보를 알려주지 못함</li> </ul>	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
Z-스코어 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>가장 보편적인 방법</li> <li>모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법</li> <li>자료의 수치가 그 분포의 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z 값으로 나타냄</li> </ul>	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$
스케일 재조정 (re-scaling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>표준편차보다 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법</li> <li>지표들을 표준화하여 이것들이 모두 동일한 범위 (0~1)를 갖도록 작성</li> </ul>	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
기준선과의 차이 (distance to reference country)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기준으로 하는 대리지표에 대한 측정지표의 비율을 이용하는 방법</li> </ul>	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}} \text{ or } I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}$
범주 스케일 (categorical scales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 자료를 범주값 (categorical score)으로 대입하는 방법</li> <li>우선 범주를 선택하고, 각 범주를 점수화 하여 모든 자료들이 범주에 해당되는 지정 점수를 할당받게 됨</li> </ul>	<p>if <math>x_{qc}^t</math> in the upper 5-th percentile then <math>y_{qc}^t=100</math>                      if <math>x_{qc}^t</math> in the upper 15-th percentile then <math>y_{qc}^t=80</math>                      if <math>x_{qc}^t</math> in the upper 35-th percentile then <math>y_{qc}^t=60</math></p>
평균 상위 및 하위 지표 (indicators above or between the mean)	<ul style="list-style-type: none"> <li>평균값 부근에 위치하는 경계값 p를 임의로 정하여 이 p값의 상위와 하위 지표들을 고려하는 방법</li> <li>매우 간편하고 이상치에 의한 영향을 받지 않는 장점이 있으나, 경계값 수준의 임의성과 절대적 수준의 정보가 누락될 수 있다는 단점이 있음</li> </ul>	<p>if <math>x_{qc}^t/x_{qc=\bar{c}}^{t_0} &gt; (1+p)</math> then <math>I_{qc}^t=1</math>                      if <math>x_{qc}^t/x_{qc=\bar{c}}^{t_0} &gt; (1-p)</math> then <math>I_{qc}^t=-1</math>                      if <math>(1-p) &lt; x_{qc}^t/x_{qc=\bar{c}}^{t_0} &lt; (1+p)</math> then <math>I_{qc}^t=0</math></p>
순환지표 (cyclical indicators)	<ul style="list-style-type: none"> <li>비즈니스 경향 조사를 수행하는 연구기관에서 주로 사용하는 지표</li> <li>시계열 자료를 이용하여 순환 지표로 계산하며, 계산은 자료들이 시계열 분포를 이룰 때 시간의 평균값을 뺀 뒤 평균과의 차이에 대한 절대 값의 시간평균으로 나눔으로써 변환이 이루어 짐</li> </ul>	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t( x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t) )}$
연간차이 백분율	<ul style="list-style-type: none"> <li>수년 동안의 자료가 이용 가능할 때만 사용 가능한 방법</li> </ul>	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t} \times 100$
자연적 구분법 (Natural Breaks)	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터 값이 자연스러운 방식으로 그룹화 되는 방법</li> <li>데이터 상에 나타난 본래 패턴 및 그룹 특성을 토대로 구분될 수 있는 점을 식별하며, 이 분류점을 기준으로 나눔</li> </ul>	

#### (4) 가중치 산정 방법

지표의 정확한 선정은 의사결정에 있어서 중요한 요소가 되며 이러한 지표를 표준화하고 가중치를 부여하는 방법도 중요한 의미를 지닌다. 지표의 가중치 결정은 중요도에 따른 지표의 영향력 크기를 규명하는 것으로 최종 결과 및 의사결정에 중대한 영향을 미치게 된다. 잘못된 가중치 산정은 선정한 지표의 값을 왜곡하고 잘못된 분석결과를 도출하게 되며, 최종 의사결정에 있어서 부적절한 선택을 유발하는 요인이 된다 (송재하, 2012). 가중치 산정 방법은 표 3-2-10과 같이 매우 다양하며 홍수잠재능평가 시 주로 계층분석기법 (AHP)이 활용되고 있으나 전문가의 오판이 전체적인 가중치 산정에 영향을 미칠 수 있다는 단점이 있다 (장옥재와 김영오, 2009). 본 연구에서 2차년도에는 홍수피해의 원인과 피해간의 상호 관계에 기반을 둔 지수 산정을 위해 시군별 홍수피해주기 (소방방재청, 2013)와 세부지표들 간의 상관분석을 통한 상관계수를 가중치로 산정하였으나, 3차년도에는 가중치를 적용하지 않고, 수집된 지표들 중에서 최종 지표 선정 시 참고자료로만 활용하였다.

표 3-2-10 | 가중치 산정방법별 장·단점 비교

방법	장점	단점
척도표시법	· 적용이 용이함	· 인자간의 상대적 중요도 파악 곤란 · 질문 표현방법에 따라 응답이 다름
순위척도법	· 인간의 사고방식에 적합함 · 적용이 용이함	· 순위는 우선도를 나타낼 뿐 가중치나 인자간의 상대적 중요도 파악이 곤란 · 우선순위에 따라 부여하는 점수 자체가 임의적일 수 있음
점수할당법	· 균형잡힌 상대적 중요도의 도출 가능 · 가중치의 도출이 신속·용이함	· 인자수가 증가하면 배점이 곤란 · 인자의 측정단위, 과제의 내용을 구체적으로 고려하지 못함
다중회귀분석법	· 작성자의 저항감이 없음	· 다수의 프로필을 준비해야 함 · 프로필의 설계와 구성이 곤란함
개인질문법	· 다양성 확보가 가능 · 보편적 객관성을 확보할 수 있음	· 설문자 수가 많고 시간도 많이 소요 · 국민적 이해가 어려운 내용에는 적용이 곤란함
교환분석법	· 이론적 타당성을 잘 갖추고 있음	· 질문과 응답에 많은 시간과 노력 필요
계층분석법 (AHP)	· 인자들의 영향을 상대적 크기로 표시 · 종합적인 비교·검토가 가능 · 판단의 적합성 검토가 가능	· 조사방법이 까다롭고 긴 시간이 필요 · 전문가집단으로 조사대상을 한정하는 것이 바람직
델파이 기법	· 전문가를 상대로 하는 조사 방법 · 토론에서 오는 비효율성을 감소 · 소수에 의한 결정을 방지	· 설문 시간과 노력에 많은 시간 소요
컨조인트	· 통계분석 프로그램 이용이 가능	· 분석할 수 있는 인자의 수에 한계가 있으며, 인자의 개수가 작을 경우 사용이 제한됨
엔트로피	· 비교적 쉬운 정보이론을 바탕으로 함 · 불확실성이 다소 감소함 · 객관적인 가중치 산정방법	· 인자간의 의존도를 고려하므로, 중복되는 인자가 있을 경우 가중치에 영향

표 3-2-11 | 홍수위험잠재능 평가 지표의 상관계수 및 가중치

요소	지표명	상관계수	가중치
피해대상 (F <sub>PO</sub> )	◦ 인구밀도(F <sub>PD</sub> )*	0.53	0.19
	◦ 재해취약인구비(F <sub>EPR</sub> )*	0.42	0.15
	◦ 농가인구비(F <sub>FPR</sub> )*	0.45	0.16
	◦ 기초생활수급자비(F <sub>BSR</sub> )*	0.46	0.17
	◦ 경지면적(F <sub>CA</sub> )*	0.60	0.22
	◦ 산림면적(F <sub>FA</sub> )*	0.29	0.10
피해가능성 (F <sub>POSS</sub> )	◦ 하천면적(F <sub>RA</sub> )*	0.26	0.11
	◦ 불투수율(F <sub>IR</sub> )*	0.47	0.19
	◦ 자연재해위험지구수(F <sub>NHA</sub> )*	0.40	0.16
	◦ 최근10년 우심피해발생수(F <sub>FD</sub> )**	0.49	0.20
	◦ 평년 100mm/day 이상인 날의 수(F <sub>PR</sub> )**	0.20	0.08
	◦ 10년빈도 확률강우량 (F <sub>PP</sub> )*	0.29	0.12
	◦ 최근10년 농경지 피해밀도(F <sub>IA</sub> )**	0.33	0.13
방어능력 (F <sub>DEF</sub> )	◦ 하수도설치율(F <sub>DR</sub> )*	0.40	0.16
	◦ 수리시설수해면적(F <sub>BA</sub> )*	0.48	0.19
	◦ 저수지 개소수(F <sub>NR</sub> )*	0.37	0.14
	◦ 빗물이용시설 저류조용량(F <sub>RT</sub> )**	0.26	0.10
	◦ 유수지면적(F <sub>RBA</sub> )**	0.21	0.08
	◦ 1인당 의료기관 수(F <sub>NMI</sub> )**	0.34	0.13
	◦ 재정자립도(F <sub>FIR</sub> )*	0.52	0.20

\* 기존 2차년도 선정지표 중 최신의 자료로 업데이트, 추가된 시군의 지표 추가 및 분리

\*\* 기존 2차년도 선정지표 중 시간적 기준이 통일된 자료 및 홍수와 관련성이 높은 지표로 개선

(3) 홍수위험잠재능 산정 결과

(가) 피해대상, 피해가능성, 방어능력 산정 결과

수집한 자료와 산정된 가중치를 이용하여 전국 167개 시군의 피해대상, 피해가능성, 그리고 방어능력을 산정한 결과는 그림 3-2-8~그림 3-2-10과 같다. 홍수피해 대상은 홍수피해에 대한 환경적·사회적 노출정도를 평가하기 위한 수단으로 산정된 값이 높을수록 해당 지역이 홍수에 취약한 것으로 판단할 수 있다. 그림 3-2-7을 살펴보면, 타 시군과 비교해서 비교적 인구밀도는 낮으나 재해취약인구비, 농가인구비, 기초생활 수급자비, 경지면적, 산림면적이 높은 경상북도 의성군, 영양군, 봉화군, 전라남도 고흥군, 신안군, 경상남도 합천군의 피해대상 지수가 높은 것으로 나타났다. 가중치를 적용했을 경우 충청북도 청원군, 충청남도 서산시, 전라북도 익산시의 경우 피해대상 지수 값이 상대적으로 높아져 피해대상지역에 포함되었으며 이 외의 시군은 가중치를 적용하지 않았을 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

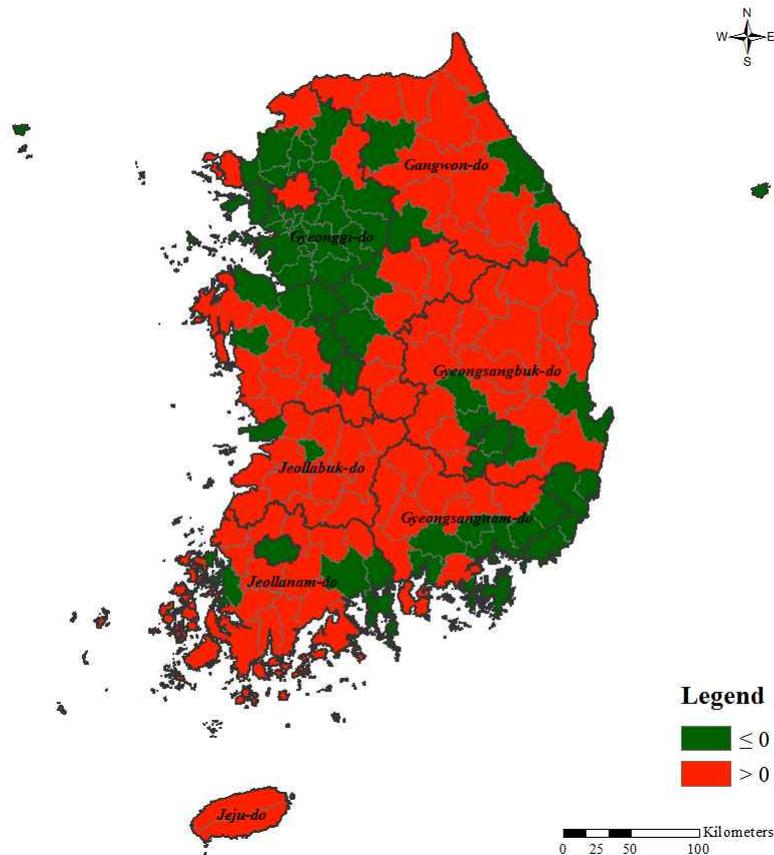


그림 3-2-8 | 피해대상 지수의 공간분포

표 3-2-12 | 피해대상 지수 및 인자별 상·하위 5위 시군

인자	하위 시군		상위시군(취약 시군)
인구밀도	1	강원 인제군	서울특별시
	2	경북 영양군	경기 부천시
	3	경북 봉화군	경기 안양시
	4	강원 평창군	경기 수원시
	5	강원 화천군	경기 광명시
재해취약인구비	1	경기 시흥시	전남 고흥군
	2	경기 오산시	경북 의성군
	3	경북 구미시	경북 군위군
	4	경기 안산시	경남 합천군
	5	경남 거제시	전남 보성군
농가인구비	1	서울특별시	충남 청양군
	2	경기 성남시	전북 장수군
	3	경기 안양시	경북 의성군
	4	경기 부천시	경북 청송군
	5	인천광역시	경북 영양군
기초생활수급자비율	1	경기 용인시	전북 김제시
	2	경남 거제시	전북 남원시
	3	경기 의왕시	전북 정읍시
	4	경기 화성시	경북 영양군
	5	충남 계룡시	전남 진도군
경지면적	1	경기 과천시	전남 해남군
	2	경기 구리시	제주특별자치도
	3	경기 군포시	충남 서산시
	4	경기 안양시	전북 익산시
	5	경기 광명시	전북 김제시
산림면적	1	경기 부천시	강원 홍천군
	2	경기 오산시	강원 인제군
	3	전남 목포시	강원 평창군
	4	경기 구리시	경북 안동시
	5	경기 광명시	강원 삼척시
피해대상 지수	1	충남 계룡시	경북 의성군
	2	경기 과천시	전남 해남군
	3	경기 의왕시	경북 봉화군
	4	경기 하남시	전남 고흥군
	5	경기 시흥시	전북 김제시

피해가능성 지수는 대체적으로 홍수에 직접적으로 노출되어 있는 정도를 파악할 수 있으며 피해대상과 마찬가지로 값이 높을수록 해당 지역이 홍수 위험성이 높다. 하천면적, 불투수율, 자연재해위험지구수, 최근 10년(2006-2015) 우심피해발생수, 평년(1981-2010) 100mm/day 이상인 날의 수, 10년 빈도 확률강우량, 최근10년(2006-2015) 농경지 피해밀도(농경지피해액/농경지면적)을 대상으로 지표를 산정한 결과는 그림 3-2-7과 같다. 피해가능성 지수가 높은 지역으로는 부산광역시, 서울시, 강원 평창군, 인제군, 홍천군, 전남 고흥군, 전북 군산시와 완주군, 경남 창녕군, 남해군, 제주도 서귀포시와 제주시 등으로 대체적으로 서해안과 남해안에 편중되었다. 이는 집중호우나 태풍이 서남해안 지방을 관통하는 경우가 많고 홍수피해 발생빈도도 잦음에 따라 이를 반영한 지표들로 구성된 피해가능성 지수 또한 높은 것으로 사료된다. 타 시군에 비해 상대적으로 불투수율이 작고, 하천면적이 작은 경북 울릉군과 영양군, 강원도 태백시와 최근 10년(2006-2015)동안 우심피해발생이 없고, 평년 100 mm/day 이상인 날이 1.4일로 가장 적은 경북 군위군과 청송군에서 피해가능성이 적은 지역에 해당되었다. 서울시와 부산시에서 피해가능성이 가장 크게 나타났는데, 이는 최근 10년(2006-2015) 우심피해발생 횟수가 17회로 부산광역시에서 가장 많았고, 서울시는 불투수율과 하천면적이 타 시군에 비해 매우 높아 상대적으로 피해가능성이 크게 나타난 것으로 보인다.

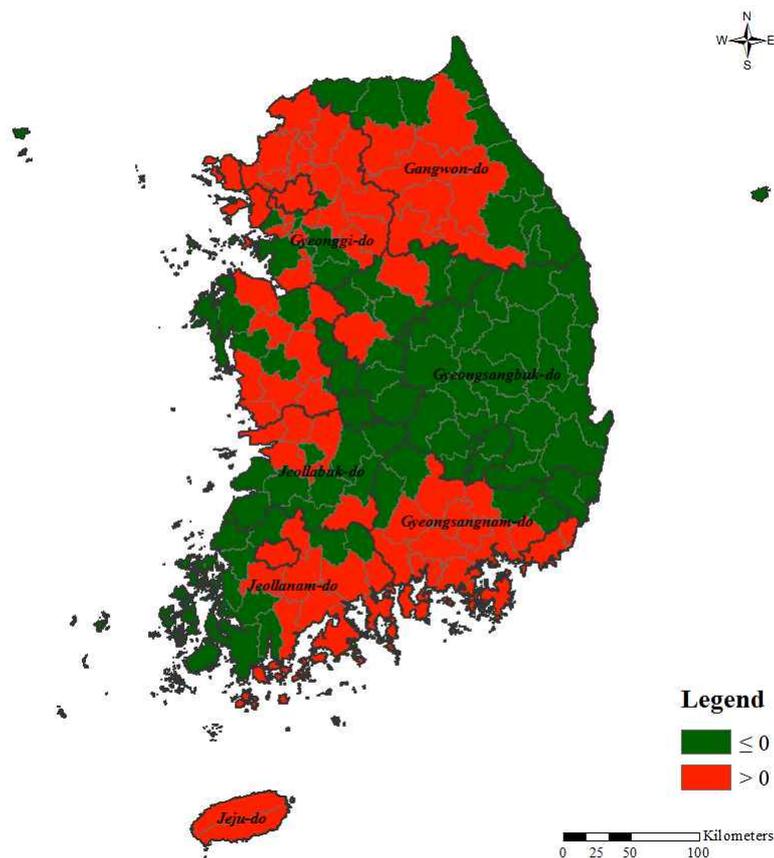


그림 3-2-9 | 피해가능성 지수의 공간분포

표 3-2-13 | 피해가능성 지수 및 인자별 상·하위 5위 시군

인자	하위 시군		상위시군(취약 시군)
하천면적	1	전남 신안군	경북 안동시
	2	인천 옹진군	전북 김제시
	3	경기 부천시	서울특별시
	4	경기 과천시	경기 파주시
	5	경기 군포시	경기 여주시
불투수율	1	강원 인제군	경기 부천시
	2	강원 화천군	서울특별시
	3	경북 영양군	경기 수원시
	4	강원 삼척시	전남 목포시
	5	강원 영월군	경기 오산시
자연재해위험지구수 (미착수, 정비중)	1	강원 화천군	경남 창녕군
	2	전북 무주군	제주 서귀포시
	3	경기 가평군	전북 완주군
	4	경북 청도군	경북 문경시
	5	전남 구례군	전남 고흥군
최근10년 (2006-2015) 우심피해발생수	1	인천 옹진군	부산광역시
	2	인천 강화군	충남 서천군
	3	경기 하남시	전남 고흥군
	4	경기 과천시	경남 하동군
	5	경기 의정부시	경남 창원시
평년(1981-2010) 100mm/day 이상인 날의 수	1	경북 군위군	경남 거제시
	2	경북 청송군	경남 남해시
	3	경북 구미시	제주 서귀포시
	4	경북 영천시	경기 동두천시
	5	경북 안동시	경남 고성군
10년빈도 확률강우량	1	경북 울진군	인천 강화군
	2	경북 영덕군	경기 김포시
	3	경북 울릉군	인천광역시
	4	경북 영양군	경기 고양시
	5	강원 속초시	서울특별시
최근10년 (2006-2015) 농경지피해밀도	1	충남 계룡시	강원 인제군
	2	경기 오산시	강원 평창군
	3	경기 군포시	부산 기장군
	4	충북 증평군	전북 정읍시
	5	경기 구리시	경기 동두천시
피해가능성 지수	1	경북 울릉군	부산광역시
	2	경북 영양군	서울특별시
	3	강원 태백시	강원 평창군
	4	경북 군위군	강원 인제군
	5	경북 청송군	전남 고흥군

마지막으로 방어능력은 풍수해 발생 시에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로 지역별 대응능력의 분포를 파악할 수 있다. 수집한 지표 값의 역수를 취하여 피해대상과 피해가능성 지수와 마찬가지로 지표 값들이 높을수록 홍수방어 능력이 미진한 것으로 보았다. 타 시군에 비해 울릉군의 홍수방어 능력이 매우 미비했는데 이는 전체적인 지표값이 모두 높고 하수도 설치율이 전국 평균인 72%보다 현저히 낮은 1.3 %로 현저히 낮아 홍수방어 능력이 매우 높게 산정된 것으로 판단된다.

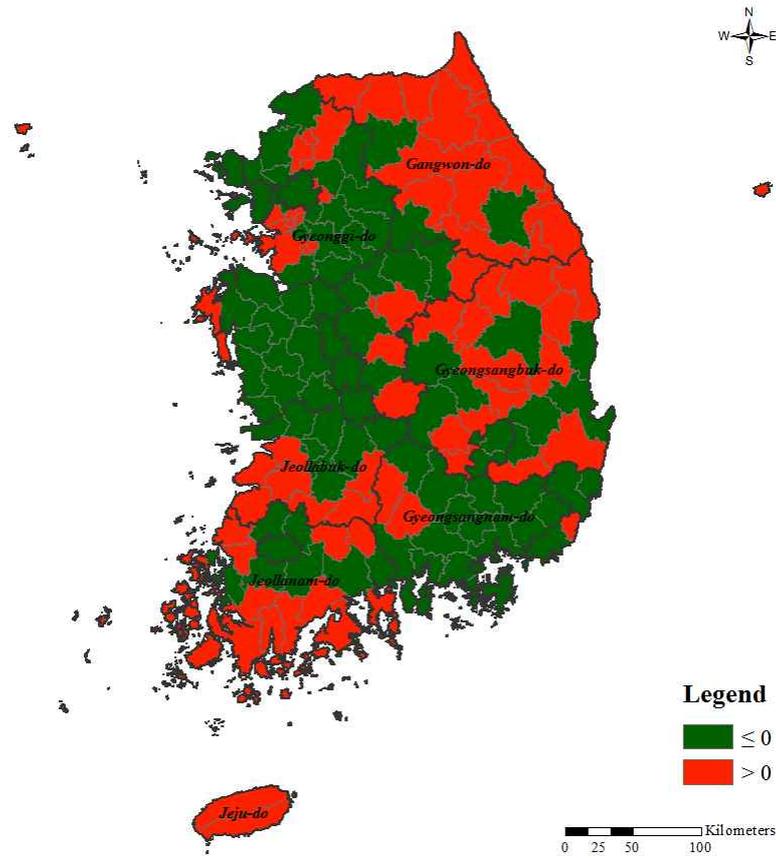


그림 3-2-10 | 방어능력 지수의 공간분포

표 3-2-14 | 방어능력 지수 및 인자별 상·하위 5위 시군

인자	하위 시군		상위시군(취약 시군)
하수도 설치율	1	서울특별시	경북 울릉군
	2	경기 구리시	인천 옹진군
	3	경기 수원시	전남 진도군
	4	경기 군포시	충남 태안군
	5	경기 안산시	인천 강화군
수리시설 수해면적	1	전북 김제시	경북 울릉군
	2	충남 당진시	강원 태백시
	3	전북 익산시	경기 안양시
	4	충남 서산시	경기 구리시
	5	경북 경주시	경기 의정부시
저수지 개소수	1	경북 영천시	경북 울릉군
	2	경북 의성군	강원 태백시
	3	경북 경주시	경기안양시
	4	경북 군위군	경기 구리시
	5	전남 해남군	제주 서귀포시
빗물이용시설 저류조용량	1	제주 제주시	경북 울릉군
	2	제주 서귀포시	강원 동해시
	3	서울특별시	부산 기장군
	4	경기 수원시	경기 과천시
	5	인천광역시	경기 군포시
유수지면적	1	경기 연천군	경북 울릉군
	2	경기 김포시	강원 동해시
	3	경기 고양시	부산 기장군
	4	강원 정선군	경기 과천시
	5	경기 성남시	경기 군포시
1인당 의료기관수	1	전북 임실군	경기 양주시
	2	전북 순창군	경기 광주시
	3	전남 곡성군	울산 울주군
	4	전북 무주군	경기 시흥시
	5	전남 함평군	경북 칠곡군
재정자립도	1	서울특별시	전남 신안군
	2	울산광역시	전남 해남군
	3	인천광역시	전남 진도군
	4	경기 성남시	경북 봉화군
	5	경기 화성시	전남 구례군
방어능력 지수	1	대구광역시	경북 울릉군
	2	부산광역시	강원 태백시
	3	대전광역시	경기 과천시
	4	경기 성남시	경기 의정부시
	5	광주광역시	경기 안양시

(나) 홍수위험잠재능 그룹화 결과

최종적으로 홍수위험잠재능(PFD) 등급을 분류한 결과는 다음 그림 3-2-9과 같으며, 표 3-2-15와 같이 8개 그룹으로 분류하여 치수대책 방향을 판단할 수 있도록 하였다 (Kim and Kim, 2003; Kim, 2004; Park, 2006; Song, 2012). 치수사업이 시급한 A지역은 총 14개 시군이 해당되었으며, 강원 5개(홍천군, 횡성군, 영월군, 평창군, 인제군)과 전남 4개(고흥군, 보성군, 장흥군, 완도군)이 가장 많은 비중을 차지하였다. 모든 부분에서 홍수의 잠재적 위험성이 낮은 H지역은 20개 시군이 해당되었으며 광역시와 세종시, 경기지역의 시군 8개를 제외하면 충북 2개(진천군, 음성군), 충남 3개(아산시, 계룡시, 홍성군), 전북 1개(전주시), 전남 2개(목포시, 무안군), 경북 3개(포항시, 구미시, 경산시), 경남 1개(양산시) 시군이 해당되었다. 시도별로 살펴보면, 경기도의 경우 피해대상에서 인구밀도는 상대적으로 높지만 재해취약인구비나 농가인구비가 낮고, 경지면적과 산림면적도 적어 홍수 취약성이 적은 G와 H 지역이 주를 이루었다. 반면, 강원도는 도내의 시지역은 인구밀도는 높지만 재해취약인구나 산림면적은 적었고, 군지역은 인구밀도는 작지만 재해취약인구나 산림면적이 많아 피해대상에서 시지역과 군지역의 차이가 크게 나타났으며, 하수도 설치율을 제외한 나머지 방어능력 지표들이 현저히 낮게 나타나 전체적으로 홍수의 잠재적 위험성이 높은 A와 B 그룹에 많이 분포하였다.

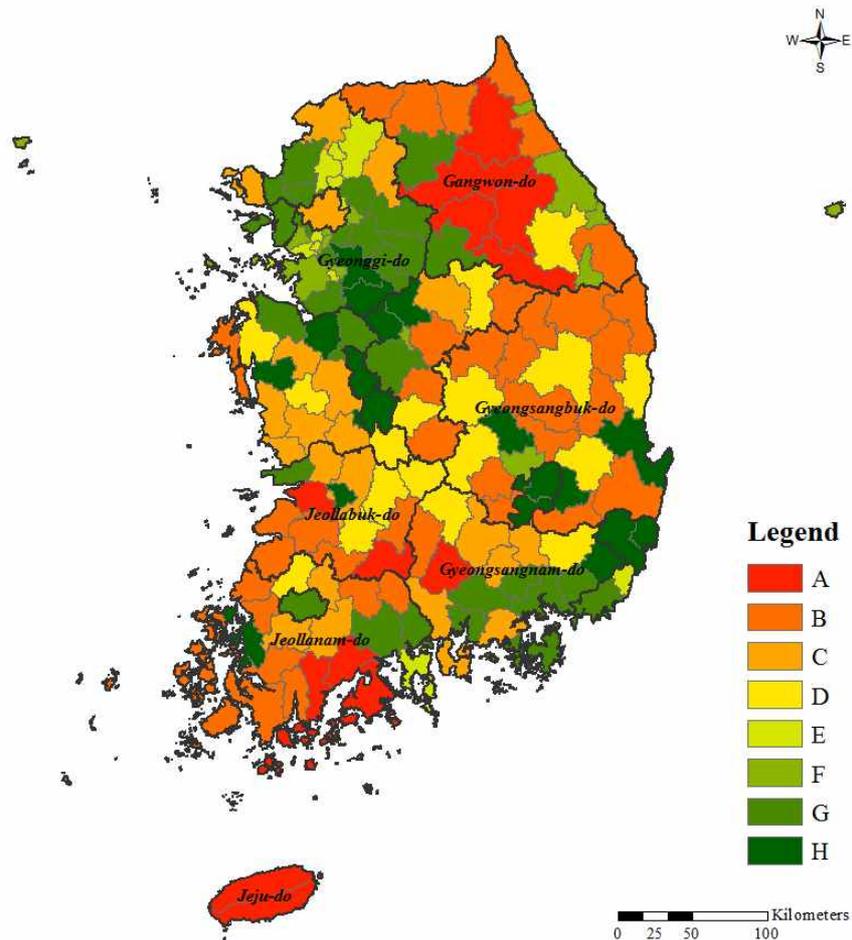


그림 3-2-11 | 지역별 홍수위험잠재능 그룹화 결과

표 3-2-15 | 시군별 홍수위험감재능 그룹화 결과 및 치수대책 방향

등급	구분			
A등급	치수대책	홍수시설의 강화가 필요하고, 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중화해야할 지역		
	해당시군 (14)	강원	(5)	홍천군, 횡성군 영월군, 평창군, 인제군
		전북	(2)	남원시, 김제시
		전남	(4)	고흥군, 보성군, 장흥군, 완도군
		경남	(1)	산청군
제주	(2)	제주시, 서귀포시		
B등급	치수대책	홍수방어시설의 강화를 필요로 하지만 A에 비해 지역적 여건을 고려하여 구조적 대책 모색		
	해당시군 (39)	강원	(6)	삼척시, 철원군, 화천군, 양구군, 고성군, 양양군
		충북	(4)	보은군, 영동군, 괴산군, 단양군
		충남	(1)	태안군
		전북	(5)	정읍시, 장수군, 순창군, 고창군, 부안군
		전남	(9)	곡성군, 구례군, 강진군, 해남군, 영암군, 함평군, 영광군, 진도군, 신안군
		경북	(13)	경주시, 영주시, 문경시, 군위군, 의성군, 청송군, 영양군, 청도군, 고령군, 성주군, 예천군,
경남		(1)	함양군	
C등급	치수대책	홍수방어시설의 설치가 필요하나, 구조적 대책보다는 비구조적대책과 지역적 여건을 고려한 치수안전대책을 모색		
	해당시군 (22)	서울	(1)	서울특별시
		광역시	(1)	인천 강화군
		경기	(2)	연천군, 가평군
		충북	(1)	충주시
		충남	(6)	공주시, 보령시, 논산시, 부여군, 서천군, 예산군
		전북	(2)	익산시, 완주군
		전남	(3)	나주시, 담양군, 화순군
경남		(6)	의령군, 창녕군, 고성군, 남해군, 하동군, 합천군	
D등급	치수대책	상류지역의 범람에 의해 하류지역의 홍수범람 감소를 모색하는 등 지역적 여건을 고려한 대책 마련		
	해당시군 (17)	강원	(1)	정선군
		충북	(2)	제천시, 옥천군
		충남	(3)	서산시, 금산군, 청양군
		전북	(3)	진안군, 무주군, 임실군
		전남	(1)	장성군
		경북	(5)	김천시, 안동시, 영천시, 상주시, 영덕군
경남		(2)	밀양시, 거창군	

등급	구분			
E등급	치수대책	홍수방어시설의 설치가 필요하고, 치수안전도의 상향조정이 필요하지만, 구조적 대책과 비구조적 대책의 병행 모색		
	해당시군 (11)	광역시	(1)	부산 기장군
		경기	(9)	의정부시, 안양시, 동두천시, 안산시, 구리시, 오산시, 군포시, 양주시, 포천시
		전남	(1)	여주시
F등급	치수대책	홍수방어시설이 필요하나, 비구조적 대책을 모색		
	해당시군 (13)	광역시	(1)	인천 옹진군
		경기	(5)	과천시, 시흥시, 의왕시, 하남시, 화성시
		강원	(4)	강릉시, 동해시, 태백시, 속초시
		충북	(1)	증평군
		경북	(2)	칠곡군, 울릉군
치수대책	홍수방어 시설은 어느정도 충분하므로 비구조적 대책에 비중을 두고 대책을 모색			
G등급	해당시군 (31)	광역시	(3)	부산광역시, 인천광역시, 광주광역시
		경기	(13)	수원시, 성남시, 부천시, 광명시, 평택시, 고양시, 남양주시, 파주시, 이천시, 김포시, 광주시, 여주시, 양평군
		강원	(2)	춘천시, 원주시
		충북	(1)	청주시
		충남	(2)	천안시, 당진시
		전북	(1)	군산시
		전남	(2)	순천시, 광양시
		경남	(7)	진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 거제시, 창원시, 함안군
H등급	치수대책	자연친화적인 사업과 병행될 수 있는 방향으로 모색		
	해당시군 (20)	광역시	(5)	대구광역시, 대구 달성군, 대전광역시, 울산광역시, 울산 울주군
		세종	(1)	세종특별자치시
		경기	(2)	용인시, 안성시
		충북	(2)	진천군, 음성군
		충남	(3)	아산시, 계룡시, 홍성군
		전북	(1)	전주시
		전남	(2)	목포시, 무안군
		경북	(3)	포항시, 구미시, 경산시
		경남	(1)	양산시

## 나. 풍수해 피해액을 고려한 홍수위험잠재능 유형화

지난 10년간 (2004~2013) 풍수해로 인한 피해액은 5조 7천억원으로 자연재해 전체 피해액의 79%를 차지하며 (국민안전처, 2014), 호우경보 강수빈도는 기상관측 이래 지난 20년 (1991~2010)동안 60% 증가하면서 집중호우에 각별한 주의와 대처가 요구되고 있다 (기상청, 2011). 국·내외적으로 홍수피해 경감을 위한 총체적인 노력을 경주하여 왔으나 도시화의 가속화, 이상기후 등으로 인하여 홍수피해 잠재성은 증가하고 있다. 이에 홍수 피해지역의 취약성 및 노출성의 개념을 포함한 위험관리에 대한 이론이 나오기 시작했으며, 최근에는 과거의 홍수발생 원인과 현상을 종합하여 미래의 홍수위험발생 양상을 정량적인 수치로 나타낼 수 있는 다양한 지수들도 개발되고 있다 (Song et al., 2013). 이들 중에서 홍수피해잠재능은 수문요소뿐만 아니라 사회·경제적 요소까지 포괄하여 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 취약도를 나타내는 지수로 단위구역별 치수대책과 투자우선순위를 차별화하기 위한 필요성으로 개발되었다 (Jang and Kim, 2009).

본 연구에서 산정한 홍수위험잠재능은 수정 PFD의 개념을 도입하여 홍수피해주기와 상대적으로 상관성이 높은 지표를 대상으로 홍수 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3개 구성요소를 3차원 그룹화를 통해 방재적 측면에서의 지역별 잠재적인 홍수위험성을 평가하였다. 그러나, 실제 홍수피해는 지역에 따라 발생빈도와 홍수피해 규모가 다양하기 때문에 보다 합리적이고 객관적인 지역별 비교가 이루어지기 위해서는 실제 홍수피해액과 홍수위험성의 관계를 통해 평가하는 것이 추가적으로 필요하다. 의사결정나무 기법은 인간이 이해할 수 있는 명시적인 규칙을 통해 집단을 분류하고 일반적으로 두 개 이상의 집단을 생성하므로 분류에 많이 이용되며, 특히, 모집단의 분포를 사전에 예상할 수 없는 상황에서 사전에 결정된 특정 조건에 부합하는 집단을 식별할 필요가 있는 분석에 활발하게 활용되고 있다(김안나와 김정섭, 2006). 또한 흔히 사용되는 통계기법인 군집분석은 대상들의 특성을 분석하여 유사한 성질을 갖고 있는 대상들을 동일한 집단으로 분류하는 방법으로 각 대상들이 갖고 있는 값을 거리(distance)로 환산하여 가까운 거리에 있는 대상들을 하나의 집단으로 묶는 방법이다. 이에 의사결정나무기법 및 비계층적 방법의 대표적인 K-means 군집분석을 통해 최근 10년(2006-2015)간 시군별 풍수해 피해액과 홍수위험잠재능을 분석하여 결과를 비교함으로써 보다 직관적이고 현실성 있는 유형화 결과를 살펴보고자 하였다.

### (1) 의사결정나무 기법

의사결정나무는 의사결정규칙(decision rule)을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류(classification)하거나 예측(prediction)을 수행하는 분석방법이다. 분석과정의 나무구조에 의해서 표현되기 때문에 판별 분석(Discriminant Analysis), 회귀분석(Regression Analysis), 신경망(Neural Networks) 등과 같은 방법들에 비해 연구자가 분석과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 의사결정나무는 분류 또는 예측을 목적으로 하는 어떤 경우에도 사용될 수 있으나 분석의 정확도보다는 분석과정의 설명이 필요한 경우에 더 유용하게 사용되며, 활용될 수 있는 응용분야는 다음과 같다 (최종후 등, 1998).

- 세분화(Segmentation) : 관측개체를 비슷한 특성을 갖는 몇 개의 그룹으로 분할하여 각 그룹별 특성을 발견하고자 하는 경우

- 분류(Classification) : 여러 예측변수(predicated variable)에 근거하여 목표변수(target variable)의 범주를 몇 개의 등급으로 분류하고자 하는 경우
- 예측(Prediction) : 자료로부터 규칙을 찾아내고 이를 이용하여 미래의 사건을 예측하고자 하는 경우
- 차원축소 및 변수선택(Data reduction and variable screening) : 매우 많은 수의 예측변수 중에서 목표변수에 큰 영향을 미치는 변수들을 골라내고자 하는 경우
- 교호작용효과의 파악(Interaction effect identification) : 여러 개의 예측변수들이 결합하여 목표변수에 작용하는 교호작용을 파악하고자 하는 경우
- 범주의 병합 또는 연속형 변수의 이산화(Category merging and discretizing continuous variable) : 범주형 목표변수의 범주를 소수의 몇 개로 병합하거나, 연속형 목표변수를 몇 개의 등급으로 범주화 하고자 하는 경우

일반적으로 의사결정나무 분석은 다음과 같은 단계를 거친다 (Berry and Linoff, 1997; 강현철 등, 1998).

- 의사결정나무의 형성 : 분석의 목적과 자료구조에 따라서 적절한 분리기준(split criterion)과 정지규칙(stopping rule)을 지정하여 의사결정나무를 얻는다.
- 가지치기 : 분류오류(classification error)를 크게 할 위험(risk)이 높거나 부적절한 규칙을 가지고 있는 가지(branch)를 제거한다.
- 타당성 평가 : 이익도표(gains chart)나 위험도표(risk chart) 또는 검정용 자료(test data)에 의한 교차타당성(cross validation) 등을 이용하여 의사결정나무를 평가한다.
- 해석 및 예측 : 의사결정나무를 해석하고 분류 및 예측모형을 설정한다.

이상과 같은 과정에서 정지기준, 분리기준, 평가기준 등을 어떻게 지정하느냐에 따라서 서로 다른 의사결정나무가 형성된다.

#### (가) CHAID 알고리즘

CHAID(Chi-squared Automatic Interaction Detection)는 카이제곱 검정(범주형 목표변수) 또는 F-검정(연속형 목표변수)을 이용하여 다지분리(multiway split)를 수행하는 알고리즘이다. CHAID 알고리즘은 목표변수가 범주형일 때, Pearson의 카이제곱 통계량 또는 우도비 카이제곱 통계량(likelihood ratio Chi-square statistic)을 분리기준으로 사용한다. 여기서 목표변수가 순서형 또는 사전 그룹화 된 연속형인 경우에는 우도비 카이제곱 통계량이 사용된다. 카이제곱 통계량은 관측도수( $f_{ij}$ )로 이루어진  $r \times c$  분할표로부터 계산된다. 분할표의 구조는 표 3-2-15와 같다. 분할표로부터, Person의 카이제곱 통계량은 식 (2-2)와 같이 정의되고, 우도비 카이제곱 통계량은 식 (2-3)으로 정의된다.

$$x^2 = \sum_{i,j} \frac{(f_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (2-2)$$

$$x^2 = 2 \sum_{i,j} f_{i,j} \times \log_e \left( \frac{f_{ij}}{e_{ij}} \right) \quad (2-3)$$

표 3-2-16 | 분할표의 구조

설명변수 \ 목표변수	범주 1	범주 2	...	범주 c	합계
범주 1	$f_{11}$	$f_{12}$	...	$f_{1c}$	$f_{1s}$
범주 2	$f_{21}$	$f_{22}$	...	$f_{2c}$	$f_{2s}$
...	...	...	...	...	...
범주 r	$f_{r1}$	$f_{r2}$	...	$f_{rc}$	$f_{rs}$
합계	$f_{s1}$	$f_{s2}$	...	$f_{sc}$	$f_{ss}$

이 때 두 통계량의 자유도(degree of freedom)는  $(r-1)(c-1)$ 로서 동일하다. 여기서  $e_{ij}$ 는 분포의 동일성 또는 독립성의 가설 하에서 계산된 기대도수(expected frequency)를 말하며, 다음 식  $e_{ij} = \frac{f_i \times f_j}{f_{..}}$  과 같이 계산된다.

카이제곱 통계량이 자유도에 비해서 매우 작다는 것은 예측변수의 각 범주에 따른 목표변수의 분포가 서로 동일하다는 것을 의미한다. 따라서 예측변수가 목표변수의 분류에 영향을 주지 않는다고 결론지을 수 있다. 자유도에 대한 카이제곱 통계량 값의 크고 작음은 P-값으로 표현될 수 있는데, 카이제곱 통계량 값이 자유도에 비해서 작으면 P-값은 커지게 된다. 결국 분리기준을 카이제곱 통계량 값으로 한다는 것은 P-값이 가장 작은 예측변수와 그 때의 최적분리에 의해서 자식마디를 형성시킨다는 것을 의미한다.

(나) CART 알고리즘

CART(Classification and Regression Trees)는 지니 지수(범주형 목표변수인 경우 적용) 또는 분산의 감소량(연속형 목표변수인 경우 적용)을 이용하여 이진분리(binary split)를 수행하는 알고리즘이다(Quinlan, 1993). 지니 지수(Gini Index)는 불순도(impurity)를 측정하는 하나의 지수이다. 일반적으로 CART는 범주형 목표변수에 대해서는 지니 지수를 분리기준으로 사용한다. 지니 지수는 각 마디에서의 불순도 또는 다양도(diversity)를 재는 척도 중의 하나이며, 목표변수의 범주가 2개인 경우에는 카이제곱 통계량을 사용하는 것과 같은 결과를 갖는다.

CART 알고리즘은 지니 지수를 가장 감소시켜주는 예측변수와 그 변수의 최적분리를 자식마디로 선택한다. 자식마디로 분리되었을 때의 불순도가 가장 작도록 자식마디를 형성하는 것이다. 이는 다음과 같은 자식마디에서의 불순도 가중합을 최소화하는 것과 동일하다.

(2) 의사결정나무 기법을 활용한 홍수위험잠재능 유형화

우리가 관심 갖는 대상을 목표변수라 하며 목표변수를 설명 및 분류하는데 이용되는 변수를 설명변수라 한다. 의사결정나무는 목표변수가 범주형 변수인 경우 분류나무라 하며 각 범주에 속하는 빈도(최빈값)에 기초하여 분리가 일어나며, 목표변수가 계량형 변수인 경우에 회귀나무라 하고 목표변수의 평균 및 중앙값에 기초하여 분리가 일어난다.

본 연구에서는 여러 가지 의사결정나무 알고리즘 중에서 CHAID 알고리즘을 이용하여 홍수위험잠재능의 유형화를 시도하였다. CHAID 알고리즘은 카이제곱-검정(이산형 목표변수) 또는 F-검정(연속형 목표변수)을 이용하여 다지분리(Multiway Split)를 수행하는 알고리즘

이다. 다지분리란 부모 마디에서 자식 마디들이 생성될 때, 2개 이상의 분리가 일어나는 것을 허용함을 의미한다. 의사결정나무기법의 적용을 위해 목표변수로 최근 10년(2006-2015)간 시군별 풍수해 피해액으로 설정하고, 설명변수로는 본 연구에서 산정한 홍수위험잠재능의 구성요소인 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3개 변수를 선정하여 표준화하였다. 피해대상, 피해가능성은 양(+)<sup>1</sup>의 상관관계, 방어능력은 음(-)<sup>2</sup>의 상관관계를 고려하여 모든 변수값이 높아질수록 홍수피해액이 증가하는 것으로 설정하였다. 설명변수들간의 분리(splitting)와 병합(merging)기준은 0.05수준으로 설정하였으며 정지규칙으로 최대 나무깊이(maximum tree depth)는 3 수준으로 하였다.

의사결정나무기법을 활용하여 풍수해 피해액에 따른 시군별 유형화 분류결과 총 3번의 분리과정을 거쳐 최종적으로 6개 그룹으로 분류할 수 있었다(그림 3-2-10). 첫 번째 분리는 ‘피해가능성’ 변수에 의해 이루어졌으며, 피해가능성이 높을수록 홍수피해액이 증가하는 것으로 파악되었다. 상대적으로 홍수 피해액이 낮은 시군 중에서는 ‘피해대상’ 변수에 의해 두 번째 분리가 이루어지고, ‘방어능력’ 변수에 의해 세 번째 분리가 이루어졌다. 홍수 피해액이 높은 시군은 ‘방어능력’ 변수에 따라 분리가 이루어져 피해가능성이 높고, 방어능력이 미진할수록(방어능력 변수 값이 높을수록) 상대적으로 홍수 피해액이 큰 것으로 파악되었으며, 여기에는 강원 홍천군, 평창군, 인제군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 경기 포천시, 제주 제주시와 서귀포시가 해당되었다(그림 3-2-13, 표 3-2-17).

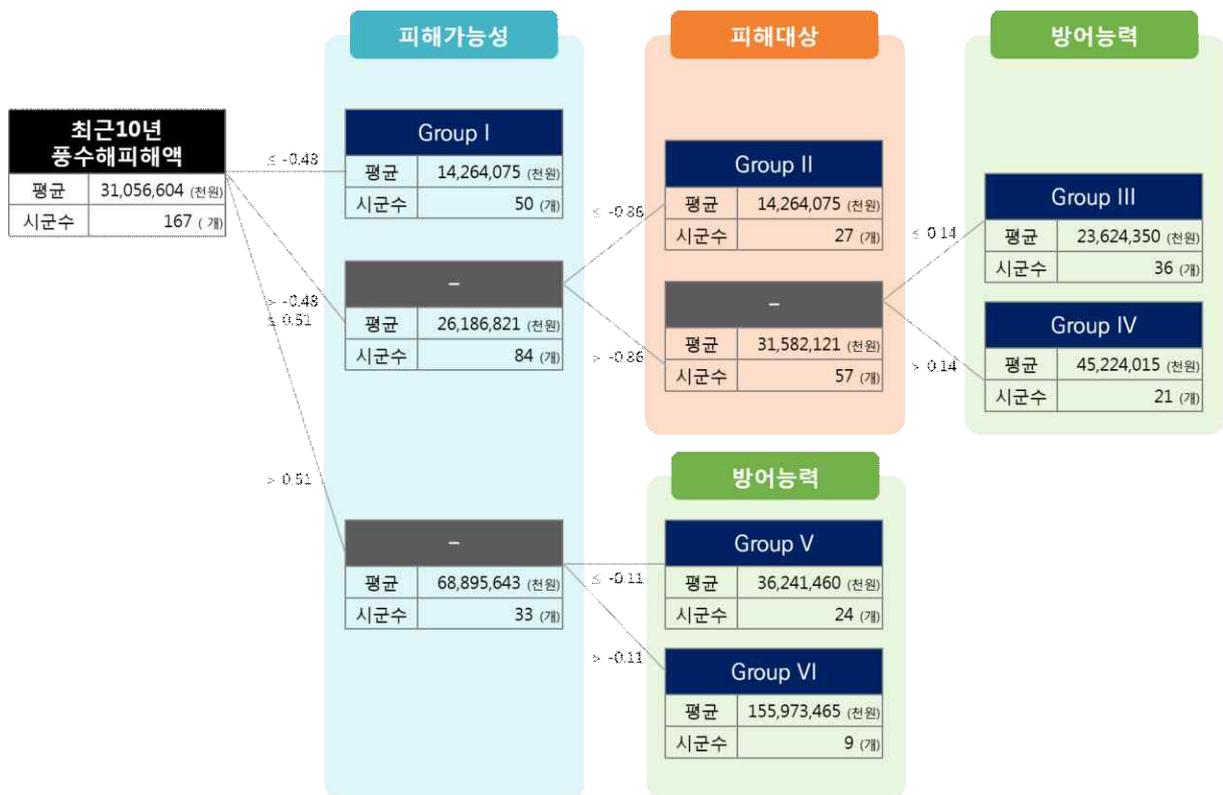


그림 3-2-12 | 의사결정나무 기법을 활용한 홍수위험잠재능 유형화 결과

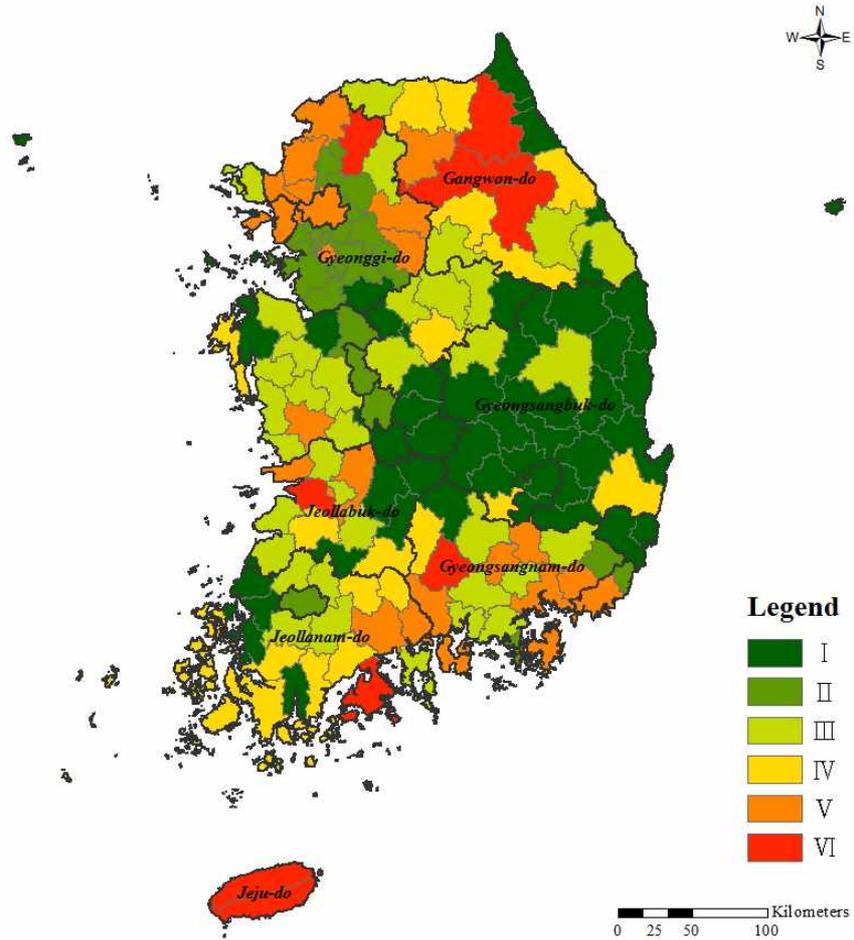


그림 3-2-13 | 의사결정나무 기법을 활용한 지역별 홍수위험잠재능 유형화 결과

표 3-2-17 | 의사결정나무 기법을 활용한 시군별 홍수위험잠재능 유형화 분류결과

그룹	구분			
I 그룹	해당시군 (50)	광역시	(5)	대구광역시, 대구 달성군, 인천 옹진군, 울산광역시, 울산 울주군
		경기	(1)	안성시
		강원	(5)	동해시, 태백시, 속초시, 고성군, 양양군
		충북	(6)	보은군, 옥천군, 영동군, 진천군, 단양군, 증평군
		충남	(4)	아산시, 서산시, 계룡시, 금산군
		전북	(4)	진안군, 무주군, 장수군, 순창군
		전남	(5)	목포시, 강진군, 무안군, 함평군, 영광군
		경북	(19)	포항시, 김천시, 구미시, 영주시, 영천시, 상주시, 경산시, 군위군, 의성군, 청송군, 영양군, 영덕군, 청도군, 성주군, 칠곡군, 예천군, 봉화군, 울진군, 울릉군
		경남	(1)	거창군

그룹	구분			
Ⅱ 그룹	해당시군 (27)	광역시	(3)	부산 기장군, 광주광역시, 대전광역시
		세종	(1)	세종특별자치시
		경기	(20)	성남시, 의정부시, 안양시, 광명시, 평택시, 동두천시, 안산시, 과천시, 구리시, 남양주시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 이천시. 화성시, 광주시, 양주시
		충남	(1)	천안시
		경남	(2)	통영시, 양산시
Ⅲ 그룹	해당시군 (36)	광역시	(1)	인천 광화군
		경기	(1)	가평군
		강원	(4)	원주시, 삼척시, 정선군, 철원군
		충북	(4)	충주시, 제천시, 청주시, 음성군
		충남	(8)	공주시, 보령시, 논산시, 당진시, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군
		전북	(5)	전주시, 익산시, 임실군, 고창군, 부안군
		전남	(5)	여수시, 나주시, 담양군, 화순군, 장성시
		경북	(2)	안동시, 문경시
Ⅳ 그룹	해당시군 (21)	경남	(6)	진주시, 사천시, 밀양시, 함안군, 고성군, 합천군
		강원	(5)	강릉시, 횡성군, 영월군, 화천군, 양구군
		충북	(1)	괴산군
		충남	(1)	태안군
		전북	(2)	정읍시, 남원시
		전남	(9)	곡성군, 구례군, 보성군, 장흥군, 해남군, 영암군, 완도군, 진도군, 신안군
		경북	(2)	경주시, 고령군
Ⅴ 그룹	해당시군 (14)	경남	(1)	함양군
		서울	(1)	서울특별시
		광역시	(2)	부산광역시, 인천광역시
		경기	(8)	수원시, 부천시, 고양시, 파주시, 김포시, 여주시, 연천군, 양평군
		강원	(1)	춘천시
		충남	(1)	부여군
		전북	(2)	군산시, 완주군
전남	(2)	순천시, 광양시		
Ⅵ 그룹	해당시군 (14)	경남	(7)	김해시, 거제시, 창원시, 의령군, 창녕군, 남해군, 하동군
		경기	(0)	포천시
		강원	(0)	홍천군, 평창군, 인제군
		전북	(0)	김제시
		전남	(0)	고흥군
		경남	(0)	산청군
제주	(0)	제주시, 서귀포시		

### (3) 군집분석

#### (가) 군집분석의 개념 및 적용

군집분석(Cluster Analysis)은 다변량기법의 하나로서 대상물들이 지니고 있는 특성을 토대로 이들을 분류하는 것이다. 군집분석은 대상물(object)들을 분류하여 사전에 결정된 어떤 선정기준에 따라 군집 내에서의 각 대상물이 서로 유사하도록 만든다. 이에 따라 분류된 대상물들로 구성된 군집들은 내적(군집 내) 동질성이 높고 외적(군집 간) 이질성이 높아지는 결과를 보여주게 된다. 그러므로 성공적으로 분류하게 되면, 상이한 군집들은 서로 거리를 두게 된다. 군집분석의 목적은 관측개체를 몇 개의 그룹(군집)으로 나눔으로써, 즉 세분화함으로써 대상 집단에 대한 이해 및 효율적인 활용을 가능하게 한다.

세분집단의 구성을 위하여 가장 널리 이용되고 있는 방법 중 하나가 군집분석(cluster analysis)을 이용하는 것이다. 군집분석은 대상들의 특성을 분석하여 유사한 성질을 갖고 있는 대상들을 동일한 집단으로 분류하는 방법인데, 요인분석이나 판별분석과는 달리 각 대상들이 갖고 있는 값을 거리(distance)로 환산하여 가까운 거리에 있는 대상들을 하나의 집단으로 묶는 방법이다. 요인분석이나 판별분석 등은 자료의 상관관계(correlation)를 이용하여 유사한 집단으로 분류하지만 군집분석은 자료들 간의 거리 측정치의 차이를 근거로 분류하는 방법이다.

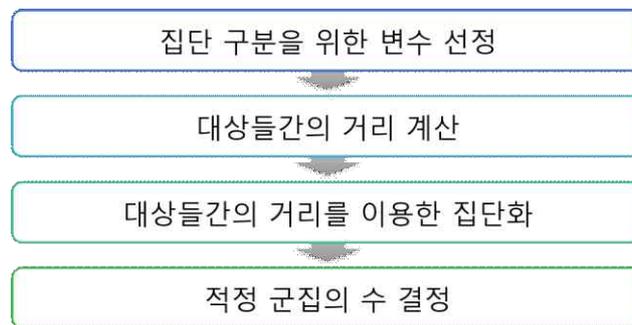


그림 3-2-14 | 군집분석의 적용 과정

군집분석의 적용 과정은 그림 3-2-14와 같이 4단계로 이루어지는데, 첫 번째로 연구 대상들을 다수의 집단으로 의미 있게 구분할 수 있을 것으로 판단되는 변수를 선정하여야 한다. 즉, n개의 대상에서 p개의 변수를 선정한다. 일반적으로 이용되는 변수의 척도는 등간척도 이상인 경우가 많으나, 명목척도나 서열척도인 경우에도 이단계 군집분석과 LCM 군집분석에서는 적용이 가능하다. 두 번째로 이 변수들을 이용해 모든 대상들 간의 유사성을 나타내는 지표인 거리(distance)를 계산한다. 군집분석은 관측개체간 거리, 즉 비유사성을 어떻게 정의하느냐에 따라 달라지는데, 개체 I의 관측을  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})^t$ ,  $i = 1, \dots, n$  이라고 할 때, 가장 통상적인 개체간 비유사성의 정의는 제곱 유클리드 거리(squared Euclidean distance)이다. 개체 i와 k사이의 제곱 유클리드 거리  $D_{ik}^2$ 은 다음 식 (2-4)와 같이 정의된다.

$$D_{ik}^2 = (x_{i1} - x_{k1})^2 + \dots + (x_{ip} - x_{kp})^2 = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2 \quad (2-4)$$

그리고, 이를 일반화하여,

$$D_{ik} = (|x_{i1} - x_{k1}|^m + \dots + |x_{ip} - x_{kp}|^m)^{\frac{1}{m}}, \quad m > 0 \quad (2-5)$$

식 (2-5)와 같이 개체  $i$ 와  $k$ 사이의 거리를 정의한 것이 민코브스키 거리 (minkowski) 거리이다. 민코브스키 거리는  $m=2$ 이면 유클리드 거리와 같고,  $m=1$ 이면 도시블록(city block) 거리이다. 유클리드 거리나 민코브스키 거리를 산출하기 위해서는 각 변수를 표준화하는 것이 원칙이다. 통상적으로 거리를 계산하는 방법은 전체 대상을 두개씩 골라 거리를 계산하는 유클리드 거리(euclidean distance)이다. 그 외 제곱 유클리드거리(squared euclidean distance)와 이를 일반화하여 거리를 정의한 민코브스키 거리(minkowski distance), 도시 블록 거리(city block distance), 변수간의 유사성 지표로 해석될 수 있는 상관계수 등이 적용될 수 있다.

세 번째로 계산된 대상들간의 거리를 기준으로 가까운 대상들로부터 군집화(cluster analysis)하는 과정을 거치는데, 이러한 군집 방법은 크게 계층적 방법(hierarchical method)과 비계층적 방법(nonhierarchical method)으로 구분된다. 계층적 방법에서는 군집의 형성에 위계가 있어 모든 대상이 거리가 가까운 대상을 차례로 묶어주는 방법이다. 따라서 모든 대상이 하나의 군집으로 묶일 때까지 반복하여 일단 한 군집에 속하게 되면 두 개체는 다시 흩어지지 않는다. 비계층적 방법에서는 대상간의 거리에 따라 순차적으로 묶어지는 것이 아니라, 군집이 형성된 이후에도 일정 기준에 따라 개체들이 이합집산을 되풀이하는 과정을 거친다. 마지막으로 네 번째는 집단 간 차이가 유의미하게 나타나는 적절한 집단 수를 결정하고 각 집단을 확정짓는다. 연구자는 군집분석의 결과를 바탕으로 몇 개의 집단이 유의한지를 판단해야 한다. 집단의 수를 연구자가 사전에 지정하는 K-means 방법의 경우에도 최적의 집단 수는 한 번에 결정되는 것이 아니라 최소집단 수와 최대 집단수를 지정한 후 이중 적절한 집단 수를 연구자가 결정해야한다. 이를 위해 연구자가 주관적 판단이나 기존 연구 결과를 활용하며 분산분석이나  $x^2$ 분석을 통하여 집단별로 주요 변수들에 있어 차이가 가장 유의하게 나타나는 집단의 수를 찾기도 한다.

군집분석은 각 단계별로 다양한 선택 대안이 있고, 어떤 대안을 선택하는가에 따라 동일한 자료에 대한 분석이라도 결과에 많은 차이가 발생할 수 있어 연구자는 각 단계별 대안과 적용 방법을 명확히 이해하여야 한다. 그러므로 군집분석에서는 어떤 특성에 대한 측정치의 차이를 비교할 것인가의 변수 선정의 문제와 어떻게 유사성의 차이를 측정할 것인가의 거리척도 문제, 대상들 간의 거리가 산출되었을 때 어떻게 대상들을 묶어나갈 것인가의 문제, 그리고 적절한 군집수를 찾는 것이 군집분석의 주요 과제이다.

#### (나) K-means 군집분석

흔히 사용되는 통계기법인 군집분석의 방법은 군집의 형성에 위계가 있어서 일단 한 군집에 속하게 되면 두 개체는 다시 분리되지 않으면서 군집화해가는 방법인 계층적 방법과 일정 기준에 따라 각 개체들이 다른 군집으로 분리되는 과정을 거치면서 분류하게 되며 더 이상의 분리가 일어나지 않을 때 최종 군집의 해로 제시하는 비계층적 방법이 있다. 이때 가장 대표적인 비계층적 군집분석 방법이 K-means이다. 비계층적 군집분석은 계층적 군집분석과는 달리 개체가 어느 한 군집에만 속하도록 하는 상호 배반적 군집방법이다. 이 방법

은 군집의 수(K)를 사전에 제공해야 한다. 각 개체가 어느 군집에 속하는지를 분석하는 방법으로 다량의 데이터에 대한 군집분석에 유용하게 이용되는 방법으로 가장 대표적인 방법이 K-means이다.

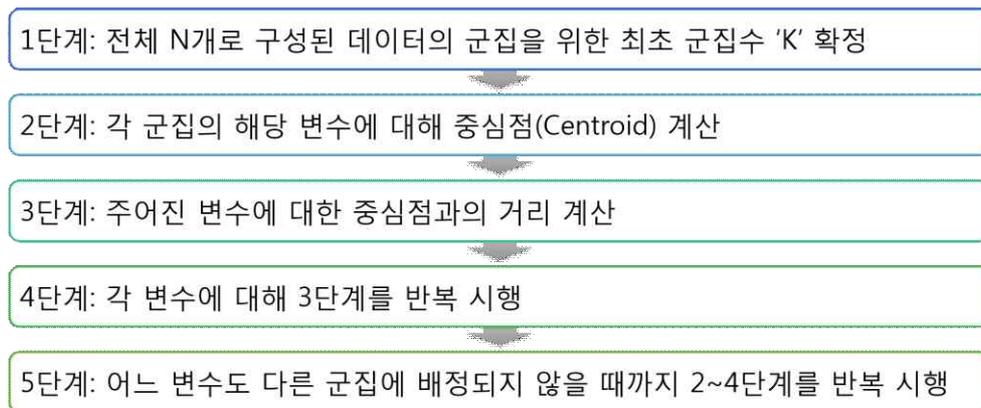


그림 3-2-15 | K-means 군집화 과정

K-means를 이용한 군집분석은 연구자가 군집의 기준변수, 군집의 수를 미리 지정하는 것 외 계층적 군집분석 대비 다수 응답자의 데이터 처리가 상대적으로 용이하다는 특징을 가지고 있어 최근 많은 연구자들의 활용도가 높다. K-means는 사전에 지정된 군집의 수에 따라 그 결과가 달라지기 때문에 입력자료의 군집 구조에 적합한 군집의 개수(K)를 결정하는 것이 매우 중요하다. 하지만 군집분석은 데이터를 분석하면서 군집의 수를 결정하는 경험적 분석방법이기 때문에 군집의 수를 변화시켜 주면서 수행된 결과를 비교해 가는 분석 과정이 요구된다.

#### (4) K-means 군집분석을 활용한 홍수위험잠재능 유형화

본 연구에서는 군집 분석 방법 중에서도 구획분할 군집분석(partitioning cluster analysis)의 대표적인 방법인 k-means 분석을 이용하였다. 데이터 세트 간에 같고 다름을 정의하는 거리 함수(distance measure)로는 변수 변화의 방향성도 고려하는 코사인 거리함수(cosine distance measure)를 사용하였고, 각 군의 개체들 사이의 거리 합이 최소가 될 때까지(추가적인 반복으로 거리 합이 더 이상 감소하지 않을 때까지) 분류를 반복하게 된다. 군집 수를 늘려가면서 위의 분석을 시행하여 가난 높은 분석 적중률을 보이는 군집의 수를 선택하여 최적화 하였다.

최근 10년(2006-2015) 풍수해 피해액과 홍수위험잠재능의 3개 구성요소인 피해대상, 피해가능성, 방어능력을 8개의 군집(cluster)으로 분류하였다. 각 그룹별 특징을 살펴보면, 먼저 풍수해피해액이 크고 홍수위험잠재능이 높은 VII와 VIII 그룹은 피해가능성이 높음을 알 수 있으며, 특히 VII 그룹에 비해 VIII 그룹은 피해대상과 방어능력도 모두 높아 홍수의 잠재적 위험이 매우 높은 지역으로 강원도 평창군과 인제군이 해당되었다. VI그룹은 VII와 VIII그룹에 비해 방어능력이 준수한 지역으로 서울특별시와 부산광역시로 나타났다. V그룹은 풍수해 피해액은 VI와 VII그룹에 비해서는 작지만 전국 평균 피해액과 유사하며, 피해가능성은 VII그룹보다 보다 높은 지역으로 나타났다. III와 IV 그룹은 풍수해 피해액은 전국 평균 피해액보

다 작고 피해가능성이 작으며 방어능력이 준수한 지역이지만, IV그룹은 V그룹에 비해 피해 대상이 많은 지역으로 나타났으며, III그룹은 IV그룹에 비해 피해대상이 적은 지역으로 나타났다. 풍수해 피해액이 가장 적은 I 그룹은 II그룹에 비해 방어능력이 현저히 미진한 지역으로 경북 울릉군이 해당되었다.

표 3-2-18 | 최종 군집중심

구분 \ 그룹	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
최근 10년 풍수피해액	-0.52	-0.38	-0.34	-0.26	-0.10	0.88	0.47	8.02
피해대상	-1.32	-1.20	-1.22	0.81	-0.51	-0.01	0.79	0.98
피해가능성	-2.48	-0.48	-0.45	-0.67	0.56	4.22	0.41	3.26
방어능력	8.01	-0.13	1.81	0.16	-0.72	-1.36	0.26	0.58
군집수	1	27	8	51	46	2	30	2

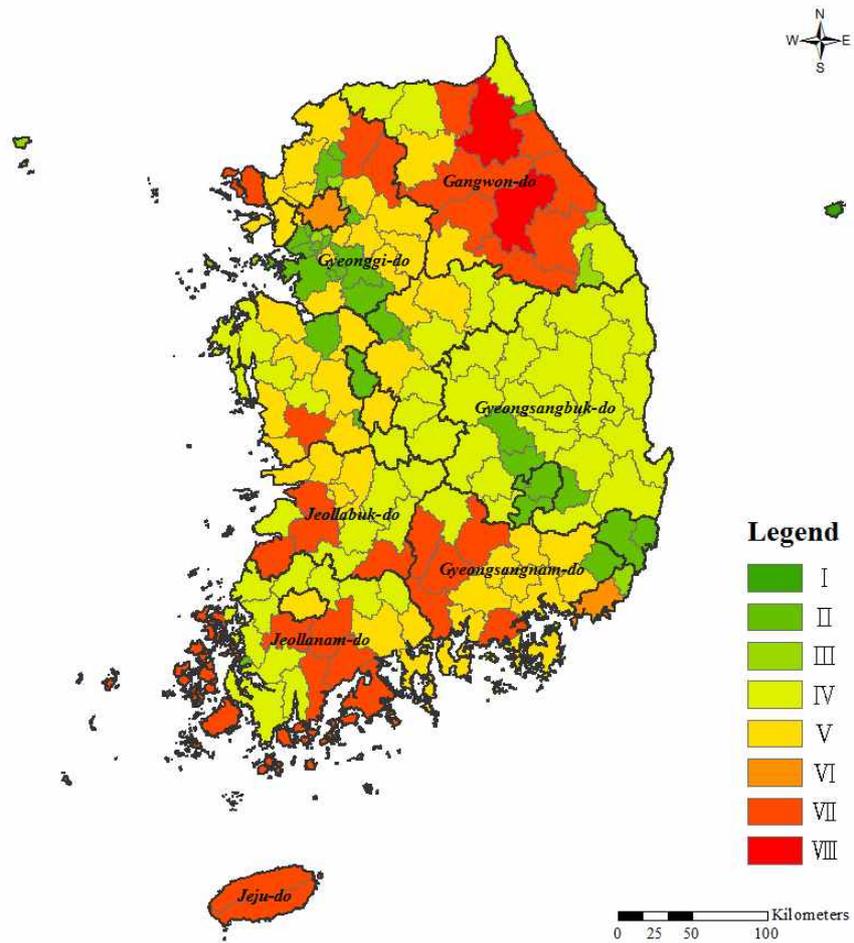


그림 3-2-16 | 군집분석(K-means)을 활용한 지역별 홍수위험잠재능 유형화 결과

표 3-2-19 | 군집분석(K-means)을 활용한 시군별 홍수위험잠재능 유형화 분류결과

그룹	구분			
I 그룹	해당시군 (1)	경북	(1)	울릉군
II 그룹	해당시군 (27)	광역시	(4)	대구광역시, 대구 달성군, 울산광역시, 울산 울주군
		세종	(1)	세종특별자치시
		경기	(12)	광명시, 동두천시, 안산시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 안성시, 화성시, 양주시, 속초시
		강원	(1)	속초시
		충북	(2)	진천군, 증평군
		충남	(2)	아산시, 계룡시
		전남	(1)	목포시
		경북	(3)	구미시, 경산시, 칠곡군
III 그룹	해당시군 (8)	광역시	(2)	부산 기장군, 인천 용진군
		경기	(6)	의정부시, 안양시, 과천시, 구리시, 동해시, 태백시
IV 그룹	해당시군 (51)	강원	(4)	삼척시, 철원군, 화천군, 고성군
		충북	(6)	제천시, 보은군, 옥천군, 영동군, 괴산군, 단양군
		충남	(5)	서산시, 금산군, 청양군, 홍성군, 태안군
		전북	(6)	진안군, 무주군, 장수군, 임실군, 순창군, 부안군
		전남	(10)	담양군, 곡성군, 구례군, 강진군, 해남군, 영암군, 무안군, 함평군, 영광군, 장성군
		경북	(19)	포항시, 경주시, 김천시, 안동시, 영주시, 영천시, 상주시, 문경시, 군위군, 의성군, 청송군, 영양군, 영덕군, 청도군, 고령군, 성주군, 예천군, 봉화군, 울진군
		경남	(1)	거창군
V 그룹	해당시군 (46)	광역시	(3)	인천광역시, 광주광역시, 대전광역시
		경기	(13)	수원시, 성남시, 부천시, 평택시, 고양시, 남양주시, 파주시, 이천시, 김포시, 광주시, 여주시, 연천군, 양평군
		강원	(2)	춘천시, 원주시
		충북	(3)	충주시, 청주시, 음성군
		충남	(7)	천안시, 공주시, 보령시, 논산시 당진시, 서천군, 예산군
		전북	(4)	전주시, 군산시, 익산시, 완주군
		전남	(3)	여주시, 순천시, 광양시
		경남	(10)	진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시, 거제시, 창원시, 의령군, 함안군, 창녕군, 남해군

그룹	구분			
Ⅵ그룹	해당시군 (2)	서울	(1)	서울특별시
		광역시	(1)	부산광역시
Ⅶ그룹	해당시군 (30)	광역시	(1)	인천 강화군
		경기	(2)	포천시, 가평군
		강원	(7)	강릉시, 홍천군, 횡성군, 영월군, 정선군, 양구군, 양양군
		충남	(1)	부여군
		전북	(4)	정읍시, 남원시, 김제시, 고창군
		전남	(8)	나주시, 고흥군, 보성군, 화순군, 장흥군, 완도군, 진도군, 신안군
		경남	(5)	고성군, 하동군, 산청군, 함양군, 함천군
제주	(2)	제주시, 서귀포시		
Ⅷ그룹	해당시군 (2)	강원	(2)	평창군, 인제군

#### (5) 지역별 홍수위험잠재능 유형 재분류

최근의 기상이변은 홍수대책 수립에 많은 혼란을 가져오고 있으며 명확한 대책을 수립하기에 어려운 환경을 제공한다. 또한 빈번하게 발생하는 홍수피해를 겪으면서 구조적, 비구조적 홍수방지 대책을 수립하여 적용하고 있지만, 홍수대응책은 주로 위험성분석(Hazard analysis)을 기반으로 이루어져 위험을 억제하는 구조적 대책에 국한되고 있다. 또한 홍수 위험성 분석에 대해 지속적인 학문적 연구가 이루어졌음에도 불구하고 분석기법을 활용한 결과물의 정확성에 대한 실증적 비교 연구나 최적 대안에 대한 명확한 방향은 아직까지 제안되지 못한 상태이며, 특히 실무 적용에 있어 연구자나 실무자의 주관적 편견, 자의적 판단에 따라 분석기법이 선택, 적용되고 있는 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 전국 167개 시군을 대상으로 치수대책 마련의 우선지역을 선정하는데 있어 홍수의 잠재적 취약성을 산정하고, 추가적으로 실제 풍수해 피해액을 고려하여 의사결정나무 기법 및 군집분석을 통해 취약지역을 분류하였다. 이는 홍수 방어대안에 있어 피해를 최소화하기 위한 피해대상, 피해가능성, 방어능력 등을 검토하여 홍수대안설정에 있어 조건별 대책을 제시하는데 의미가 있다. 3가지 방법으로 분류한 결과를 바탕으로 지역별 취약부분을 쉽게 평가할 수 있도록 유형등급에 따라서 구조적 대책, 비구조적 대책 등의 대책 우선순위를 종합적으로 제시할 수 있는 재분류 기준을 마련하여 포괄적 대안을 제시하였다. 재분류를 통해 홍수위험관리(flood risk management) 측면에서 홍수의 위험성과 취약성을 고려한 홍수대응 대책을 마련하고자 최종적으로 5개의 유형으로 지역을 분류하였으며, 이는 홍수방어대책을 수립하여야 할 지역을 타당한 근거를 가지고 최적이 아닌 최선의 홍수방어 대안을 제시하고자 하였다.

표 3-2-20 | 홍수위험잠재능 재분류 기준

기존 유형화 결과 분류						재분류 기준		
홍수위험잠재능 그룹화		의사결정나무 기법 활용 유형화		군집분석 활용 유형화				
A	구조	I	비구조	I	비구조	1	비구조 3회	자연친화적 홍수대처능력 강화지역
B	구조	II	비구조	II	비구조	2	병행 2회, 비구조 1회 병행 1회, 비구조 2회	비구조적대책 집중지역
C	병행	III	비구조	II	비구조	3	구조 1회 병행 1회 이상	구조적대책 병행 비구조적대책 우선지역
D	병행	IV	병행	II	병행	4	구조 2회, 병행 및 비구조 1회	구조적대책 우선지역
E	병행	V	구조	V	병행	5	구조 3회	구조적대책 집중지역
F	비구조	VI	구조	VI	병행			
G	비구조			VII	구조			
H	비구조			VIII	구조			

재분류 결과, 전국 167개 시군 중에서 홍수위험잠재능 그룹이 A에 해당하고, 의사결정나무 기법을 활용한 유형화 결과가 VI그룹에 해당되며, 군집분석을 활용한 유형화 결과가 VII 그룹에 해당되는 강원 홍천군, 평창군, 인제군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 제주 시와 서귀포시가 5그룹에 포함되었다. 5그룹은 최근 10년 동안의 풍수해 피해액도 높고, 홍수의 잠재적 위험성이 높아 구조적 대책에 집중해야 하는 지역으로 분류하였다. 홍수위험잠재능이 A그룹이면서 군집분석 VII그룹에 해당되거나 홍수위험잠재능 B그룹이면서 군집분석 VIII그룹, 홍수위험잠재능 C그룹이지만 의사결정나무 분석결과 V그룹인 경우가 재분류 결과 4그룹에 해당되며 경기 포천시, 강원 횡성군, 영월군, 양구군, 양양군, 전북 정읍시, 남원시, 고창군, 전남 보성군, 장흥군, 완도군, 진도군, 신안군, 경남 하동군과 함양군으로 16개 시군이 해당되었다. 반면, 모두 비구조로 나타난 지역은 27개 시군으로 자연친화적 홍수대처능력 강화지역으로 판단할 수 있었다. 구조적 대책이 1회라도 있는 3그룹의 경우는 구조적대책을 병행하면서 비구조적대책에 우선해야 할 지역으로 분류되었고, 병행이나 비구조 대책이 1회 또는 2회로 나온 지역은 비구조적대책 집중지역으로 분류하였다. 서울시와 세종시를 비롯한 광역시, 경기도 (포천시 제외)는 모두 1~3그룹에 해당되며, 비교적 이러한 대도시지역은 홍수방어를 위해 인명, 재산상의 피해 경감시설들의 지속적인 확충 및 관리가 이루어졌고, 보다 효율적인 홍수피해 예방대책의 시행을 위해 다양한 비구조적 대책을 마련해야 할 지역으로 분류하였다.

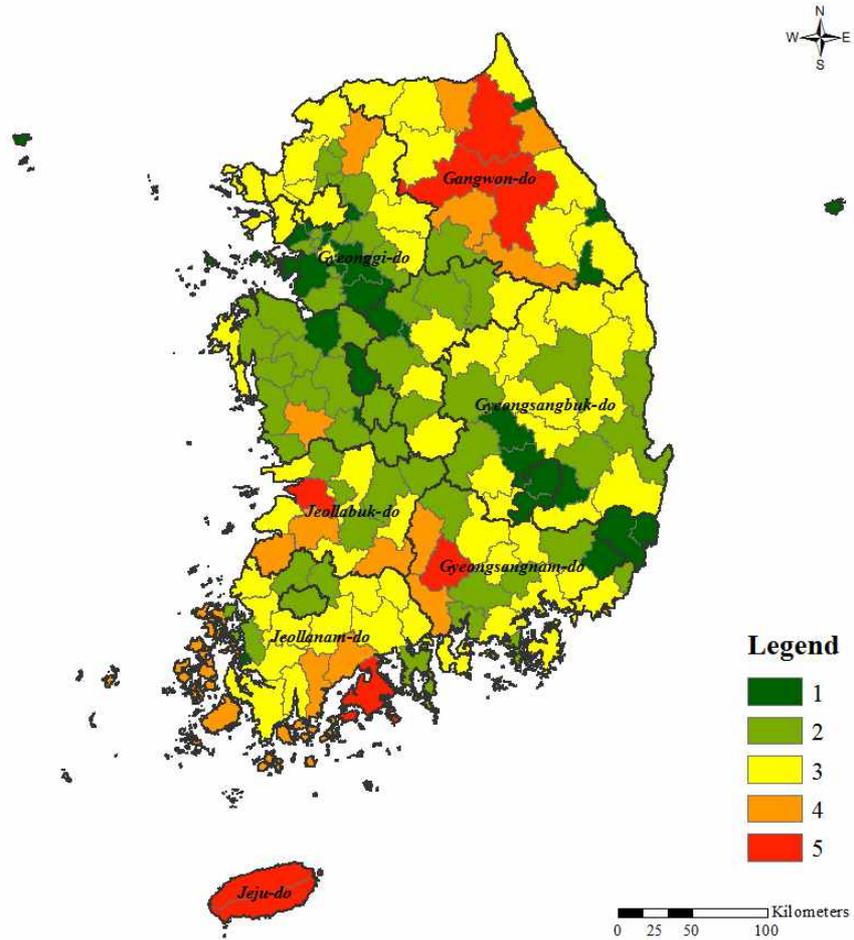


그림 3-2-17 | 지역별 홍수위험잠재능 유형 재분류 결과

표 3-2-21 | 시군별 홍수위험잠재능 유형 재분류 결과

그룹	구분			
1그룹	해당시군 (27)	광역시	(5)	대구광역시, 대구 달성군, 인천 옹진군, 울산광역시, 울산 울주군
		세종	(1)	세종특별자치시
		경기	(8)	광명시, 과천시, 시흥시, 의왕시, 하남시, 용인시, 안성시, 화성시
		강원	(3)	동해시, 태백시, 속초시
		충북	(2)	진천군, 증평군
		충남	(2)	아산시, 계룡시
		전남	(1)	목포시
		경북	(4)	구미시, 경산시, 칠곡군, 울릉군
		경남	(1)	양산시

그룹	구분			
2그룹	해당시군 (54)	광역시	(3)	부산광역시 기장군, 광주광역시, 대전광역시
		경기	(13)	성남시, 의정부시, 안양시, 평택시, 동두천시, 안산시, 구리시, 남양주시, 오산시, 군포시, 이천시, 광주시, 양주시
		강원	(1)	원주시
		충북	(5)	충주시, 제천시, 청주시, 옥천군, 음성군
		충남	(11)	천안시, 공주시, 보령시, 서산시, 논산시, 당진시, 금산군, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군
		전북	(4)	전주시, 익산시, 진안군, 무주군
		전남	(4)	여수시, 담양군, 무안군, 장성군
		경북	(6)	포항시, 김천시, 안동시, 영천시, 상주시, 영덕군
		경남	(6)	진주시, 통영시, 사천시, 밀양시, 함안군, 거창군
3그룹	해당시군 (62)	서울	(1)	서울특별시
		광역시	(3)	부산광역시, 인천광역시, 인천 강화군
		경기	(9)	수원시, 부천시, 고양시, 파주시, 김포시, 여주시, 연천군, 가평군, 양평군
		강원	(7)	춘천시, 강릉시, 삼척시, 정선군, 철원군, 화천군, 고성군
		충북	(4)	보은군, 영동군, 괴산군, 단양군
		충남	(1)	태안군
		전북	(5)	군산시, 완주군, 장수군, 순창군, 부안군
		전남	(11)	순천시, 나주시, 광양시, 곡성군, 구례군, 화순군, 강진군, 해남군, 영암군, 함평군, 영광군
		경북	(13)	경주시, 영주시, 문경시, 군위군, 의성군, 청송군, 영양군, 청도군, 고령군, 성주군, 예천군, 봉화군, 울진군
경남	(8)	김해시, 거제시, 창원시, 의령군, 창녕군, 고성군, 남해군, 합천군		
4그룹	해당시군 (16)	경기	(1)	포천시
		강원	(4)	횡성군, 영월군, 양구군, 양양군
		전북	(3)	정읍시, 남원시, 고창군
		전남	(5)	보성군, 장흥군, 완도군, 진도군, 신안군
		경남	(2)	하동군, 함양군
5그룹	해당시군 (8)	강원	(3)	홍성군, 평창군, 인제군
		전북	(1)	김제시
		전남	(1)	고흥군
		경남	(1)	산청군
		제주	(2)	제주시, 서귀포시

#### 다. 홍수량 모의기법

돌발홍수의 기본 개념은 미국의 국립기상청 (NOAA's NWS)에서 1970년대 중반에 처음으로 도입되었으며 1990년대 초반 컴퓨터의 발달과 지형정보시스템 (geographic Information System, GIS)이 보편화되면서 소유역 단위로 돌발홍수기준 산정이 가능해졌다. Sweeney (1992)는 돌발홍수 기준의 표준적인 산정알고리즘을 제시하였으며, Carpenter와 Georgakakos (1993)는 돌발홍수 기준을 산정하는데 있어 중요한 한계유출량 산정의 4가지 방법을 제시하였다. NOAA (2001)는 Arc View/Avenue를 이용하여 GIS 기반의 돌발홍수기준 산정모형인 AV-TreshR를 개발하였다. 돌발홍수는 전통적으로 누적초과강우 (excessive precipitation accumulation)에 대한 분석과 예보에 집중되어 연구되어 왔다. 선진국의 경우, 1970년대부터 우량관측소의 우량을 집중형 모형 (lumped model)에 적용하여 유출량 산출에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 현재는 강우레이더의 도입으로 인하여 집중형 모형 (lumped model)과 분포형 모형 (distributed model)을 이용한 유출량 산출에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 돌발홍수예보는 강우자료의 정확성뿐만 아니라 정확한 유출량의 산출에 있다.

Michaud와 Sorooshian (1994)은 반건조성 기후 지역의 대류 폭풍에 의해 발생하는 돌발홍수 예보와 관련된 방법론적 문제에 대하여 연구하였다. 8개의 강우 측정 지역과 10개의 우량측정 지점의 갖추어져 있는 150 km<sup>2</sup> 유역에 24개의 호우 자료를 이용하여 3개의 강우-유출 모형의 결과를 비교하였다; ① 단순 집중형 모형 (simple lumped model), ② 단순 분포형 모형 (simple distributed model), ③ 복합 분포형 모형 (complex distributed model). 모의된 침투 홍수량, 침투 시간, 유출 체적의 평균 자승 오차를 비교할 때 단순 분포형 모형과 복합 분포형 모형이 단순 집중형 모형보다 좋은 결과를 보여주었다.

Michaud와 Sorooshian (1994)은 복합 분포형 모형을 이용하여 예측시간까지 관측된 유량을 기초로 하여 작성된 유출 수문곡선을 이용하여 모의 실험을 실행하였다. 홍수 경보는 계산된 홍수량은 한계유출을 초과할 때마다 발령되었다. 계산시간은 15분 간격으로 실시하였으며 24개의 호우 사상의 모의 실험 후에, 경보의 신뢰도는 0.71의 값을 보여 주었다. 경보를 발령하기 위한 소요되는 시간은 30-75분을 보여주었다. 이 논문은 다음과 같은 돌발홍수 예보의 어려움을 정의 하였다. 첫째, 상대적으로 조밀한 강우 관측소 네트워크 (한 개의 강우 관측소: 20 km<sup>2</sup>)도 대류성 강우를 예측하고 공간적 범위와 깊이를 추정하는데 불충분하다. 둘째, 강우예측 없이는 경보의 신뢰도는 제한적이라는 것이다.

Krajewski 등 (1991)은 Monte Carlo 방법을 이용하여 우량 관측소 밀도와 강우 샘플링 빈도를 이용하여 수문곡선 매개변수를 모의하였다. 대류성 호우는 추계학적 모형 (stochastic model)을 이용하여 강우를 발생시켰으며, 분포형 강우-유출 모형 (distributed rainfall-runoff model) (0.1 km<sup>2</sup>당 강우 관측소, 5분 간격의 샘플링 빈도)을 통하여 7.5 km<sup>2</sup>의 농경지역으로부터의 실제 유출 수문곡선을 산출하였다. 모의된 우량주상도는 실제 주상도와 비교를 실행 하지 않았으며 다른 분포형 강우-유출 모형 (1.5 km<sup>2</sup>당 강우 관측소, 1시간 간격의 샘플링 빈도)의 결과값과 비교되었다. 모의된 2개의 결과값을 비교한 결과, 우량 관측소의 밀도보다는 강우 샘플링 빈도가 모형 수행에 많은 영향을 미치는 결론을 얻었다. 비록 이 결론이 샘플의 제한성으로 인하여 일반적인 결과를 보여준다고는 할 수 없지만 강우예측에 대한 다른 결론을 얻어 낼 수 있다. 예보에서 중요한 것은 점 강우량 예측이 아니라 강우의 시 공간적 예측을 하는 것이 중요하다는 것이다.

Enrica (2001)은 48 km<sup>2</sup> 소유역에 1992년 10월에 발생한 돌발홍수 우량 및 레이더 자료를 이용하여 수문학적 분포형 모형 (Hydrologic distributed model)을 적용하였다. 수문학적 분포형 모형은 두개의 종속 모형으로 구성되어 있다. 첫 번째 종속 모형을 이용하여 1 km<sup>2</sup> 격자망으로 구성된 소유역에 수지 공식 (budget equation)을 적용하여 토양변화에 따른 총 유출량을 산출하였다. 두 번째 종속 모형을 이용하여 선형 저수지로 가정된 각 격자망에 홍수 추적 (flood routing)을 실시할 수 있다.

James 등 (1993)은 홍수예보에 강우 레이더를 이용하였다. 두 개의 우량 관측소와 한 개의 강우레이더 자료를 이용하여 75 km<sup>2</sup> 유역에 분포형 강우-유출 모형을 적용하였다. 3개 형식 데이터: ① 강우관측소 데이터, ② 강우레이더를 이용한 강우 데이터, ③ 강우관측소 및 강우레이더를 이용한 데이터를 이용하여 홍수 수문곡선을 산출하였다. 2개의 자료를 이용한 결과값이 관측소 수문곡선과 비슷한 결과를 보여주었다. Amburn과 Fortin (1993)에 의한 사례 연구는 레이더를 이용한 강우 예측의 장·단점을 보여 준다. 오클라호마 북서부에서 발생한 여름 호우로 인한 강우량은 11개의 강우 관측소 (단지 2개만 배수유역에 위치해 있다)에서는 4.0 inch의 최대 강우와 1.44 inch의 유역 평균 강우를 관측하였다. 반면에 레이더를 이용한 강우량은 9.1 inch의 최대 강우와 5.2 inch의 유역 평균 강우를 관측하였다. NWS는 객관적인 관점에서 2개의 관측 방법으로 관측된 최대 강우량과 유역 평균 강우량에 대하여 조사한 결과, 강우 관측소에서 관측된 관측 값은 홍수 중심에 대한 값을 대표하지 못하였고 레이더를 이용하여 관측된 값은 우박(hail)에 의하여 레이더의 반사율 (reflectivity field)에 악영향을 미쳤다는 것을 알았다.

Biswajit (2003)등은 차세대 기상 레이더 (Next Generation Weather Radar, NEXRAD)를 이용하여 강우의 시공간적 분포를 산정하였으며, Kinematic wave 공식을 이용하여 지표수를 계산하였다. 이 결과를 이용하여 충적선상지-산록평야 (alluvial fan-piedmont plain)에 대한 돌발홍수를 예보하였다. Scott (2002)는 강우 레이더를 이용하여 강우값을 예측하였으며 이 값을 이용하여 GRASS 강우-유출 모형에 적용하였다. 이 모형은 다음과 같은 기능을 가지고 있다. ① 일정 유역에 대한 돌발홍수 주의 (watch)에 대한 정보를 제공하며, ② 시공간적으로 변화하는 레이더-강우 추정값을 이용하여 유역에 대한 돌발홍수 가능성을 관찰하고, ③ 예보 목적에 따른 유역 변화 상태 결과 요약하며, ④ 레이더-강우 추정값과 돌발홍수 기준값을 통합하고, ⑤ 소규모 및 국부지역에 대한 돌발홍수 가능성에 대한 정보를 제공한다. Veronique (2002)등은 호우 사상 데이터: ① 국부 (local) 홍수를 유발하는 2개의 대류성 (convective) 기후로 인하여 발생한 강우 사상, ② 3-4시간의 지속시간동안에 100 mm의 강우를 발생한 산악지역의 준 정상 시스템의 두 가지 강우 사상, ③ 550 mm의 강우를 보여준 하나의 이상 홍수 사상 (extreme flood event)를 이용하여 수치실험을 실시하였다. 이러한 호우 사상에 대한 수치 실험을 통하여 짧은 지속시간 (0-18시간, 특히 0-6시간)을 가진 강우에 대한 정량적 강우 예측 (Quantitative Precipitation Forecast, QPF)은 유역의 높은 해상도를 가진 자료와 다양한 유역 매개변수가 적용된다면 보다 좋은 결과를 보여 줄 수 있다는 것이다. Seann (2004) 등은 통계학-분포형 모형 (statistical-distribution model)을 제안하였다. 통계학-분포형 모형의 목적은 현재 지속적으로 사용되고 있는 분포형 모형인 Hydrology Laboratory Research Modeling System (HL-RMS)과 현재의 강우 자료를 이용하여 돌발홍수 예보에 대한 불확실성을 정량화 하는 것이다. 만약 통계학적-분포형 방법이 그 자체로 홍수 확률이 어느 정도의 위험성을 내포하였는가를 판정할 수 없다면, 돌발홍수

기준 (Flash Flood Guidance, FFG) 시스템에서 제공된 상대적 홍수 위험도에 따라 홍수확률의 위험도를 판정할 수 있다.

농업 유역의 강우-유출 모형은 크게 홍수유출 모형과 장기유출 모형으로 나뉘며, 홍수유출 모형은 단순한 블랙박스 모형과 물리적 매개변수를 적용한 모형으로 구분할 수 있다. 블랙박스 모형들로는 TANK 모형, 저류함수모형 등이 있으며, 매개변수를 보정하여 적용할 수 있다. 그러나, 수위·유량 관측자료가 미비한 농업 유역에서의 폭우사상에 대한 유출량 추정을 위해서는 물리적 매개변수를 채용하는 모형을 적용하는 것이 유리하며, 이러한 물리적 매개변수를 사용하는 모형으로 CREAMS 등과 같은 포장단위 모형과 ANSWERS, TR-20 등의 유역단위 모형 등이 있다. CREAMS(Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System) 모형은 미국의 토양보전국에서 1980년에 개발된 모형으로, 홍수유출과 장기유출 모의가 가능하며, 수문, 침식 및 화학물질 모의까지 포함하고 있다. Bonta와 Rao (1992, 1994)는 CREAMS의 수문 부모형을 이용하여 농업 소유역의 홍수유출 및 침투유량의 계절적 분포에 대하여 연구한 바 있으며, 국내의 경우 서울대 (1989)에서 해남간척지구에 적용한 바 있다. ANSWERS 모형은 분포형 매개변수 모형으로서, Huggins와 Monke (1966)에 의해 홍수유출 모형으로 개발되었으며, 미계측 유역의 수문, 토양유실량 등을 모의 발생시킬 수 있으며, 토지이용 변화에 따른 영향 평가 등에 널리 적용되어 왔다. Beasley 등 (1980)에 의해서 중·대유역에 적용될 수 있도록 확장되었고, 국내의 경우 김병진 등 (1988)이 반월유역에 적용성을 검토한 바 있다. TR-20 모형은 미국의 토양보전국에서 개발한 모형으로, 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양 특성과 식생피복상태 등에 대한 자료만으로도 직접유출량을 계산할 수 있으며, 하도, 저수지, 유역의 홍수추적과 유출수문곡선의 합성 또는 분리 등이 가능하도록 구성된 모형이다. Nanushkode (1977)가 Michigan의 Saginaw만에 적용하여 양호한 결과를 얻었으며, 국내의 경우 박창언 (1994)이 영산강유역의 나주~하구둑 구간에 적용하여 영산강 홍수예경보 프로그램 개발에 응용한 바 있다.

그 외 관련연구로서, 심순보 등 (1976)과 윤용남 등 (1976)은 수위·유량자료가 미비한 금강수계의 무심천 대표유역에 대하여, 합성단위도법을 적용하여 계획홍수량을 산정하였으며, 김재형 등 (1986)은 저류상수 결정에 있어, 유역특성인자 뿐만 아니라 강우특성인자도 상관관계에 포함시켜 다중회귀분석을 통한 단일선형저수지 모형을 구성하고, IHP 대표시험유역 중 7개 소유역에 대하여 모형의 적용성을 조사한 바 있다.

#### (1) 유역 홍수량 추정 모형 (TR-20)

소유역에서의 홍수유출량 산정을 위하여 SCS에서 제시한 유출곡선번호법과 무차원단위도법을 이용하여 소유역 홍수추적 모형을 구성하였다. 유역에서의 유출량은 총강우량과 보유수량에 의해 결정되며, 강우초기에 발생하는 일정량의 손실량을 고려하여, SCS에서는 총강우량과 유효우량간의 관계를 다음의 식으로 정의하였다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2-6)$$

여기서,  $P$  : 호우별 총우량 (mm),  $S$  : 유역의 최대잠재보유수량 (mm),  $Q$  : 직접 유출량에 해당하는 유효우량 (mm)

이때, S는 유역의 토양이나 토지이용 및 처리상태 등의, 이른바 수문학적 토양-피복형에 따른 유역의 유출 특성을 나타내는 유출곡선번호 CN (runoff curver number)을 이용하여 다음과 같이 나타내어진다.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (2-7)$$

이렇게 계산되어진 유효우량 Q는 SCS 무차원단위도법을 이용한 단위도 합성을 통하여 유출수문곡선을 생성하게 된다. 원리는 다음 그림에서 보는 바와 같이 유출수문곡선이 삼각형의 형태를 갖게 된다는 가정하에 단위도의 합성을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{1}{2} q_p (t_p + t_r) \quad (2-8)$$

여기서,  $Q$  : 직접유출량의 총용적 (mm),  $q_p$  : 첨두유출량 (mm/hr),  
 $t_p$  : 첨두유출량 도달시간 (hr),  $t_r$  : 감수시간 (hr)

식 (2-8)로부터,

$$q_p = \frac{2Q}{t_p + t_r} \quad (2-9)$$

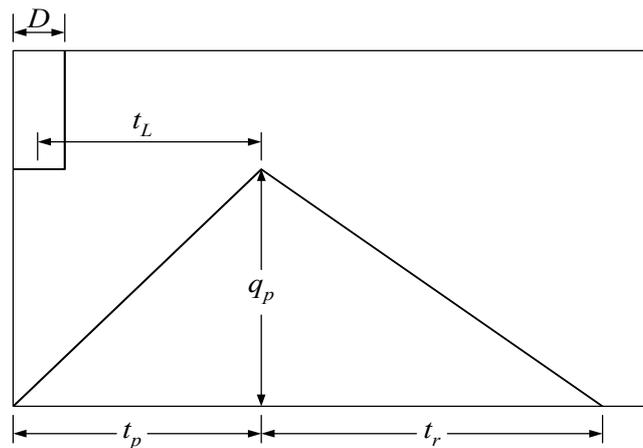


그림 3-2-18 | SCS 삼각형 단위도

이 때,  $t_p$ 는 위의 그림으로부터 다음과 같이 나타내어진다.

$$t_p = \frac{1}{2} D + t_L \quad (2-10)$$

여기서,  $D$  : 유효강우의 지속시간 (hr),  $t_L$  : 지체시간 (hr)

그리고 SCS의 실험결과로부터, 유역의 지체시간  $t_L$ 과 홍수도달시간  $t_c$ 와의 관계는 다음의 식으로 나타내어진다.

$$t_L = 0.6t_c \quad (2-11)$$

또한, 감수시간  $t_r$ 은 유역의 특성에 따라 다음 표와 같이 5가지의 경우로 나타내어질 수 있다 (김현영 등, 1998).

표 3-2-22 | 유역조건에 따른 단위도의 감수시간

Basin Characteristics	Recession time
Mountain area (impervious zone)	$t_r = 1.15 t_p$
Mountain area (pervious zone)	$t_r = 1.34 t_p$
Moderate slope area	$t_r = 1.67 t_p$
Low hill area	$t_r = 2.27 t_p$
Plain & swamp area	$t_r = 2.30 t_p$

식 (2-9)와 (2-10)로부터  $q_p$ 와  $t_p$ 를 구할 수 있고, 다음 그림에 주어진 SCS 무차원단위도를 이용하여 최종적으로 단위도의 합성이 가능하며, 각 소유역 출구점에서의 유출수문곡선 계산을 할 수 있다.

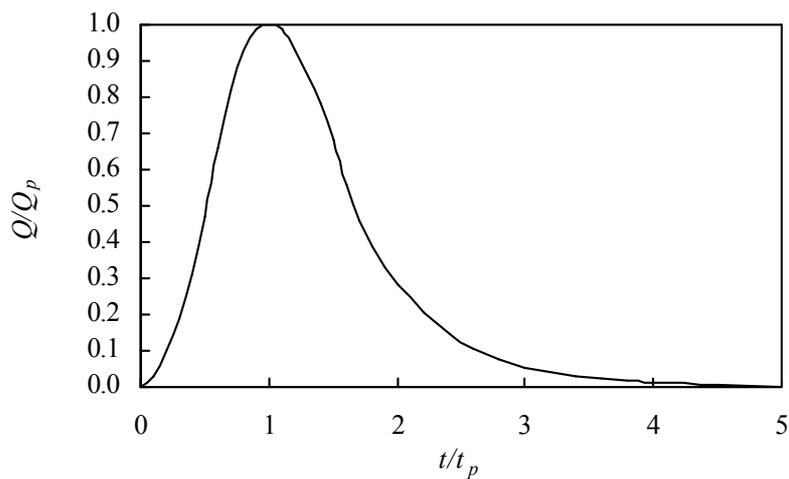


그림 3-2-19 | SCS 무차원 단위도 (SCS, 1972)

선행토양함수조건 (antecedent moisture condition, AMC)은 SCS에서 제시한 기준과 우리나라의 관계특성에 따라, 1년을 성수기 (growing season, 4~9월)와 비성수기 (dormant season, 10~3월)로 나누었고, 각 경우에 대하여 5일 선행강우량의 크기에 따라, 아래 표와 같이 분류하였다.

표 3-2-23 | 5일 선행강수량에 의한 선행토양함수조건의 분류

AMC Group	5-day Antecedent rainfall, RF5 (mm)	
	Growing season	Dormant season
I	RF5 < 35.56	RF5 < 12.70
II	35.56 < RF5 < 53.34	12.70 < RF5 < 27.94
III	RF5 > 53.34	RF5 > 27.94

유효우량 산정을 위한 SCS방법에서 유출곡선지수(CN)는 대상구역의 토지이용상태, 식생 피복 처리상태, 수직배수 능력을 나타내는 수문학적 조건 및 토양군의 종류 등에 따라 결정된다. 수문학적 토양군은 A, B, C, D 4개 종류로 분류되며 토양군별 침투능의 크기는 A, B, C, D 순이므로 유출률은 반대로 D, C, B, A 순이다.

우리나라의 경우 토양군별 면적 구분에는 일반적으로 농업과학기술원에서 제작한 축척 1:25,000 이상인 수치화된 정밀토양도를 사용하고 있으며, 우리나라 전역에 산재하여 있는 토양 종류는 약 1,200여 가지로 조사된 바 있고, 각각 토양부호 및 개별 토양부호별로 수문학적 토양형(A, B, C, D) 중의 하나로 분류되도록 되어 있다. 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수 기준은 표 3-2-17과 같다. 이와 같은 유출곡선지수는 선행함수조건인 AMC-II 조건이므로 실제 분석에 적용할 경우에는 AMC-III 조건 등으로 변환하여 사용하였다.

표 3-2-24 | 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수 기준 (AMC-II 조건)

수치토지이용도		수치토지피복도		토 양 군				비 고 (SCS 분류기준 등)
세분류	코드번호	중분류	코드번호	A	B	C	D	
경지정리답	1110	논	210	79	79	79	79	별도 기준(논)
미경지정리답	1120			79	79	79	79	
보통, 특수작물	1210	밭	220	63	74	82	85	조밀 경작지, 등고선 경작, 불량
과수원기타	1220	과수원	240	70	79	84	88	이랑 경작지, 등고선 경작, 불량
자연초지	2110	자연초지	410	30	58	71	78	초지, 등고선경작, 양호
인공초지	2120	기타초지	430	49	69	79	84	자연목초지 또는 목장, 보통
침엽수림	2210	침엽수림	320	48	69	79	85	산림, HC=2
활엽수림	2220	활엽수림	310	48	69	79	85	
혼합수림	2230	혼효림	330	48	69	79	85	
골프장	2310	골프장	420	49	69	79	84	개활지, 보통
공원묘지	2320	기타초지	430	49	69	79	84	
유원지	2330	위락시설지역	140	49	69	79	84	
암벽 및 석산	2340	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
일반주택지	3110	주거지역	110	77	85	90	92	주거지구, 소구획 500 m <sup>2</sup> 이하
고층주택지	3120			77	85	90	92	
상업, 업무지	3130	상업지역	130	89	92	94	95	도시지역, 상업 및 사무실지역
나대지 및 인공녹지	3140	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
도로	3210	교통지역	150	83	89	92	93	도로, 포장도로(도로용지 포함)
철로 및 주변지역	3220			83	89	92	93	
공항	3230			83	89	92	93	
항만	3240			83	89	92	93	
공업시설	3310	공업지역	120	81	88	91	93	도시지구, 공업지역
공업나지, 기타	3320	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
발전시설	3410	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000 m <sup>2</sup>
처리장	3420			61	75	83	87	
교육, 군사시설	3430			61	75	83	87	
공공용지	3440			61	75	83	87	
양어장, 양식장	3510			100	100	100	100	별도기준(수면)
채광지역	3520	채광지역	610	68	79	86	89	개활지, 불량
매립지	3530	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000 m <sup>2</sup>
광천지	3540	채광지역	610	68	79	86	89	개활지, 불량
가축사육시설	3550	기타재배지	250	68	79	86	89	자연목초지 또는 목장, 불량
갯벌	4110	연안습지	520	100	100	100	100	별도기준(수면)
염전	4120							
하천	4210	내륙수	710	100	100	100	100	
호, 소	4310							
댐	4320	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000 m <sup>2</sup>
백사장	4410	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
-	-	하우스재배지	230	76	85	89	91	도로, 포장, 개거
-	-	내륙습지	510	100	100	100	100	별도기준(수면)
-	-	해양수	720	100	100	100	100	

## (2) 도달시간 산정

### (가) 도달시간의 정의

도달시간 (travel time) 혹은 집중시간 (time of concentration)은 유역의 최원점에서 하도의 시점까지 표면류 흐름 (overland flow)의 유하시간과 하도시점에서 하도중점까지의 하도흐름의 유하시간의 합으로 정의되며, 표면류 흐름의 유하시간과 하도흐름의 유하시간은 산정 방법을 달리 적용하는 것이 원칙이다. 그러나 실무에서는 유역의 최원점에서 하도시점까지 표면류 흐름의 유하시간을 무시할 수는 없지만 중규모 이상 하천유역의 경우 전체 도달시간에서 차지하는 비중이 작은 점, 하도시점이 지도축척에 따라 달라지는 문제점 등을 감안하여 유역의 최원점에서 하도중점까지의 유하시간을 동일한 방법을 적용하여 산정하고 있는 경우가 많다. 이에 따라 도달시간은 유역의 최원점에서 하도중점까지의 유하시간을 동일한 방법으로 산정하는 방식을 채택하는 것이 바람직하며, 이와 같은 방식을 적용할 경우 구간을 적절히 구분하여 처리할 필요가 있다.

### (나) 하천 경사의 산정 및 도달시간 구간 분할 방법

경사 산정 방법은 단순경사와 등가경사 (equivalent slope) 중 등가경사 방법을 채택하는 것을 원칙으로 한다. 도달시간 산정을 위한 구간 분할시에는 유역최원점에서 유역출구점까지 종단도를 그린 후 유역의 경사 변화를 반영할 수 있도록 고려하면서 경사가 유사한 구간을 하나의 구간으로 구분하는 것으로 적절할 개소수로 분할하되, 추가적으로 홍수량 산정에서 고려하는 지류 합류점 및 주요 구조물 지점 등을 고려하여야 한다. 이와 같이 구간을 분할한 후 구간별 도달시간의 합으로 전체 도달시간을 산정하는 방법과 전체 등가경사를 계산한 후 전체 구간에 대한 도달시간을 한꺼번에 산정하는 방법이 있다. 두 가지 방법 중에서 구간별 도달시간을 합하여 산정하는 방법이 물리적으로 보다 타당성을 가지는 방법이며, 이 방법의 경우 구간을 적절하게 분할하는 것이 중요하다.

### (다) 기존 도달시간 공식 검토

자연하천유역의 도달시간 산정에는 다음과 같이 외국에서 개발된 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kraven 공식(I), Kraven 공식(II) 등의 경험공식들을 주로 사용하고 있다.

- Kirpich 공식: 농경지 소유역을 대상으로 유도된 공식

$$T_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2-12)$$

- Rziha 공식: 자연하천의 상류부( $S \geq 1/200$ )에 적용되는 공식

$$T_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}} \quad (2-13)$$

- Kraven 공식 (I): 자연하천의 하류부( $S < 1/200$ )에 적용되는 공식

$$T_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}} \quad (2-14)$$

- Kraven 공식(Ⅱ): 자연하천의 경사별 유속을 적용하는 공식

$$T_c = 16.667 \frac{L}{V} \quad (2-15)$$

( $S < 1/200$  :  $V = 2.1$  m/s,  $1/200 \leq S \leq 1/100$  :  $V = 3.0$  m/s,  $S > 1/100$  :  $V = 3.5$  m/s)

여기서,  $T_c$ 는 도달시간(min),  $L$ 은 유로연장(km),  $S$ 는 평균경사(무차원),  $V$ 는 평균유속(m/s)

기존 도달시간 경험공식을 대상유역에 적용하여 보면 대부분 산정 결과의 차이가 매우 크게 나타나지만 적절한 채택 기준은 아직까지 제시되지 않고 있으므로, 유속을 토대로 도달시간을 산정하는 Kraven(Ⅱ) 공식이 가장 많이 사용되고 있으나 본 연구에서는 미계측유역에 적용하기 위해 농경지 소유역을 대상으로 유도된 Kirpich공식을 활용하였다.

### (3) 설계홍수량 산정을 위한 강우의 시간적 분포

설계강우의 시간적 분포양상은 설계지역의 과거 강우자료로부터 강우지속기간동안에 총강우량이 시간이 경과함에 따라 어떻게 분포하는가를 통계학적으로 분석하여 그 지역에 적합한 시간분포 모형을 만들어 수공구조물의 설계조건에 따라 결정할 수 있다.

설계강우의 시간분포를 결정할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 일반적으로 사용하고 있는 방법은 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 모노노메 방법, 강우강도-지속시간-빈도 관계를 이용하여 수학적으로 모형화 하는 방법인 Keifer & Chu 방법 (Chicago 방법), 실측 강우의 시간대별 누가곡선을 작성하여 이용하는 설계우량주상도 및 Huff의 4분위법, 강우량의 시간분포를 이동 평균법을 이용하여 분석하는 Pilgrim & Codery 방법, 지속시간별 강우 자료를 통계처리하는 Yen & Chow 방법 등이 있다. 본 연구에서는 수자원관리기법 개발연구조사 보고서 (건설교통부, 2000)에서 제시되었으며, 가장 합리적인 방법으로 알려져 보편적으로 사용되는 Huff의 4분위법을 사용하여 분석하였다. Huff의 4분위법은 강우의 누가곡선을 이용하여 전 지속기간을 4등분하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지를 조사하여 제시한 것이며, 강우지속기간을 4등분하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제 1구간 호우 (First-quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제 2구간 호우 (Second-quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제 3구간 호우 (Third-quartile storm), 그리고 마지막 구간일 경우는 제 4구간 호우 (Fourth-quartile storm)로 분류하였다. 각 분위별 우량은 누가우량배분률의 다항식 모형, 표준우량주상도의 작성, 강우지속기간비의 결정, 누가우량 배분율의 결정, 우량주상도의 종거 결정, 대상지역의 설계분위 결정의 순서를 거쳐 배분하게 된다. 본 연구에서는 국토해양부(2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완연구”에서 사용한 Huff의 3분위법을 기준으로 강우의 시간적 분포를 산정하였다.

### 라. 돌발홍수 예·경보를 위한 기준 설정

돌발홍수 예·경보를 위한 기준 설정을 위해 국내 주요 구조물의 설계빈도 및 하천법 시행규칙 등을 참고하였다. 일반수공구조물과 지방하천, 농업생산기반시설의 배수로 등의 설계강우 빈도는 대부분 20년 수준으로 설정하고 있다. 본 연구에서는 24시간 기준 10년 설계강우 빈도를 기준으로 설정하였으며, 하천법 시행규칙에서 홍수주의보 및 경보 발령기준은 계획홍수량의 50 %를 돌발홍수 주의보, 70 %를 돌발홍수 경보 발령기준으로 설정하였다.

표 3-2-25 | 국토해양부 홍수예보 실시 요령 (하천법 시행규칙)

1. 업무흐름

- ㉠ 유역내 설치된 우량, 수위관측소에서 매시간 무선으로 전송된 자료를 전산기에 자동입력
- ㉡ 강우에 따른 유출량계산, 댐저수량을 고려하여 주요지점의 하천수위와 홍수규모 판단
- ㉢ 수위가 주의보수위 및 경보수위 이상으로 상승 예상시 홍수주의보 및 경보 발표
- ㉣ 홍수대비에 필요한 수방활동 및 대피를 위하여 방송, 신문 등 통신매체 및 관계기관장에게 통지

2. 발령 및 해제기준

- ㉠ 홍수주의보 : 주의보수위(계획홍수량의 50/100에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위, 5년 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 60/100에 해당하는 수위)를 초과할 것이 예상되는 경우
- ㉡ 홍수경보 : 경보수위(계획홍수량의 70/100에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위, 5년 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 80/100에 해당하는 수위)에 가까워지거나 초과할 것이 예상되는 경우
- ㉢ 해제 : 주의보 이하로 내려갈 것이 예상되는 경우

3. 예보발령자

- ㉠ 홍수예보 시설이 있는 유역 : 관할 홍수통제소장
- ㉡ 홍수예보 시설이 없는 유역 : 관할 지방국토관리청장

표 3-2-26 | 주요 수공구조물의 설계빈도 (하천설계기준·해설, 국토해양부, 2009)

구분	구조물의 종류	설계기준
일반수공구조물	배수시설	2~50년
	배수로	20년 이상
	방수로	20년 이상
	배수제	20년 이상
	배수문	20년 이상
	배수펌프	20년 이상
	유수 및 저류지	20년 이상
하천제방	국가하천의 주요구간	200년 이상
	국가하천	100~200년
	지방하천	50~200년
홍수방어(조절)용	저수지	50~SPF(표준설계홍수량)
	여수로	PMF(가능최대홍수량)
	제방	10~SPF(표준설계홍수량)

표 3-2-27 | 하천의 설계빈도 (설계홍수량 산정요령, 2012)

적용 하천범위	설 계 빈 도	관 리 자	비 고(과거의 구분)
국가하천의 주요구간	200년빈도 이상	국토해양부장관	직할하천의 주요 구간 (주요도시 관류)
국가하천	100~200년빈도	국토해양부장관	직할하천의 기타 구간 (주요 지류)
지방하천	50~200년빈도	광역자치단체장	지방1급 및 2급하천 (준용하천), 도시하천

표 3-2-28 | 농업생산기반정비사업 계획설계기준 배수편

- 설계 강우량
  - 전체 강우자료와 최근 30개년 이상 강우자료로 20년 빈도의 발생확률을 갖는 48시간 연속 강우량 분석 후 큰 값을 설계 강우량으로 채택
- 배수계획시 설계강우량 기준
  - 배수 펌프장과 배수로 : 20년 빈도이상
  - 승수로 : 50년 빈도 이상
  - 국가하천 및 지방하천 : 하천설계기준 적용
  - 배수문 : 유역규모 유역 내 취락 등에 따라 규모별로 20~100년 빈도

표 3-2-29 | 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편

- 설계 강우량
  - 전체 강우자료와 최근 30개년 이상 강우자료로 20년 빈도의 발생확률을 갖는 48시간 연속 강우량 분석 후 큰 값을 설계 강우량으로 채택
- 농촌용수 저수지의 설계홍수량은 200년 확률홍수량, 기왕최대홍수량, 지역최대홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하며, 필댐에 대해서는 20%를 증가시킨 유량을 설계홍수량으로 함. 일정규모 (유역면적 2,500ha, 저수용량 500만<sup>m</sup> 수준) 이상의 댐 붕괴 시 인명과 재산에 피해가 클 것으로 예상되는 필댐에서는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 적용할 수 있음

## 마. 기왕 호우사상에 의한 돌발홍수 모의

### (1) 신리지구 (PSF)

#### (가) 현황조사 및 자료 구축

강원도 평창군 대화면 신리에 위치한 신리지구 (PSF)는 총 유역면적은 17.10 km<sup>2</sup>, 하천연장은 7.2 km으로 그림 3-2-20과 같이 5개의 소유역으로 구분하였다. PSF#01 지점과 PSF#03 지점은 각각 펜션과 민박집이 자리잡고 있어 홍수발생 시 인명피해가 우려되며, 현장조사 자료와 기본주제도를 바탕으로 각 소유역별 유역면적, 하천연장, 하천경사, 유역의 도달시간 등을 도출하였다. 유역의 도달시간(time of concentration, Tc)은 농경지 소유역을 대상으로 유도된 공식인 Kirpich 공식을 활용하여 산정하였으며, PSF#05 지점의 도달시간은 11.86 hr로 산정되었다. CN값은 각각의 토지이용상태에 대하여 수문학적 토양군별로 선행토양함수조건(antecedent moisture condition, AMC)을 고려하여 산출하였으며, 상류에서 하류로 갈수록 논과 밭의 면적이 증가함에 따라 CN값이 증가하는 것으로 나타났다. 기상자료는 대관령 기상관측소, 시간별 강우자료는 평창군 신리초교의 강우관측자료를 수집하여 홍수량 추정을 위한 입력자료를 구축하였다.

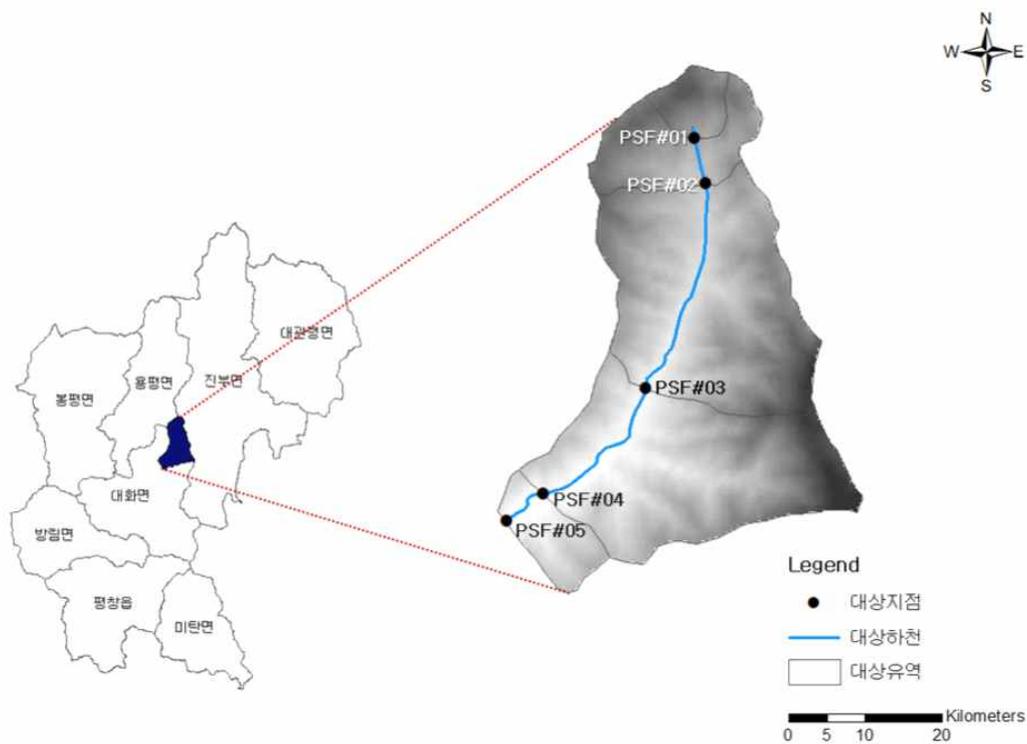


그림 3-2-20 | 신리지구 유역 개황

표 3-2-30 | 신리지구 지점별 입력자료

구 분		현 황						
공간적 범위		(상류) 강원도 평창군 대화면 신리 16-2번지 일대						
		(하류) 강원도 평창군 대화면 신리 1716번지 일대						
		지점	PSF#01	PSF#02	PSF#03	PSF#04	PSF#05	
		경도	128°29'34"	128°29'39"	128°29'00"	128°28'00"	128°27'43"	
		위도	37°34'49"	37°34'30"	37°33'10"	37°32'30"	37°32'19"	
유역 특성 인자	지형 특성	유역면적(km <sup>2</sup> )	0.70	2.56	9.47	16.01	17.10	
	하천 특성	하천연장(m)	958	1,576	4,464	6,600	7,215	
		하천경사	0.20	0.20	0.10	0.08	0.07	
	수문 특성	C N 값	AMC-I	32.63	33.57	31.73	31.91	34.70
			AMC-II	53.55	54.62	52.53	52.74	55.85
			AMC-III	72.62	73.46	71.79	71.96	74.42
		도달시간(hr)	1.70	2.49	7.20	10.91	11.86	
기상 특성	기상관측소 (KMA)	대관령 (100)		자료보유 기간	1971/07 ~ 2015/07			
	우량관측소 (MOLIT)	평창군 신리초교 (10024150)		자료보유 기간	1982/07 ~ 2015/07			

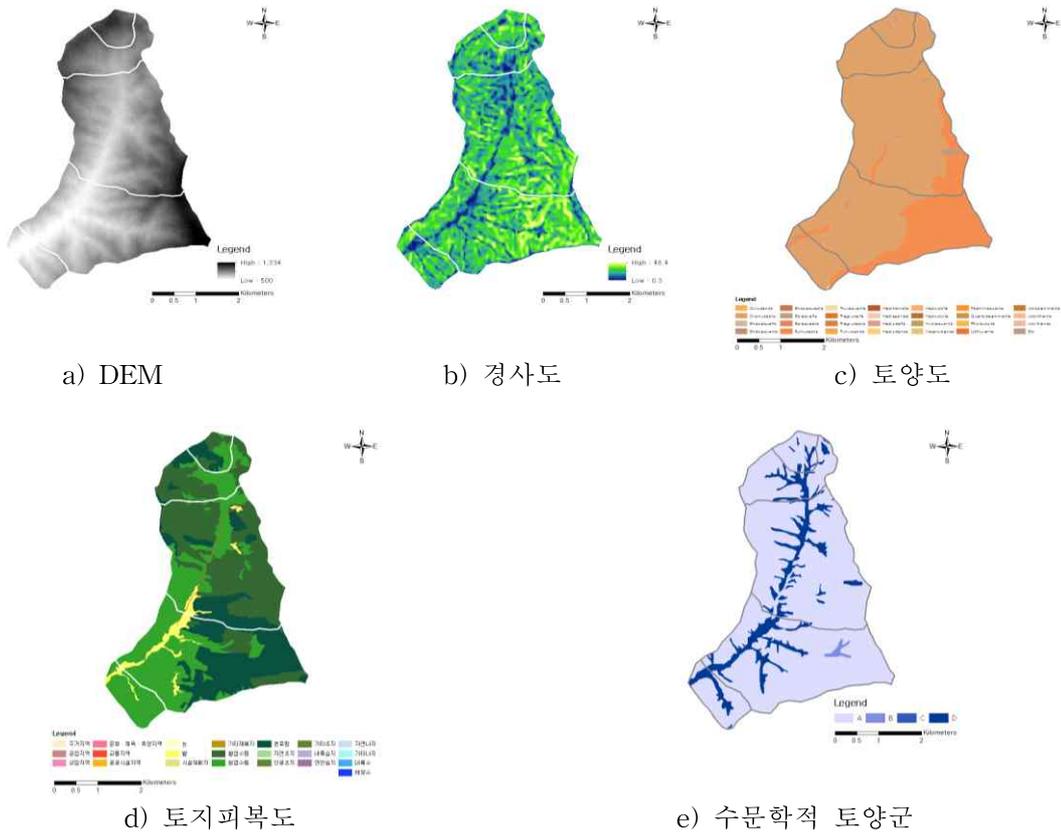


그림 3-2-21 | 신리지구 기본주체도



a) PSF#01 상류방향



b) PSF#01 하류방향



c) PSF#02 상류방향



d) PSF#02 하류방향



e) PSF#03 상류방향



f) PSF#03 하류방향



g) PSF#04 상류방향



h) PSF#04 하류방향

그림 3-2-22 | 신리지구 지점별 전경



i) PSF#05 상류방향



j) PSF#05 하류방향

그림 3-2-5 | 신리지구 지점별 전경 (계속)

(나) 설계강우량

설계강우량은 국토해양부(2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완연구”에서 결과로 제시한 주요 관측소 지점의 확률강우량, 확률강우강도, 시간분포, ARF 등을 추출할 수 있는 k-PRISM을 이용하였다. 신리지구는 유역에서 가장 가까운 위치에 있는 대관령 관측소의 24시간 설계강우량을 기준으로 Huff의 3분위법을 시간적 분포로 활용하여 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 그리고 200년에 대한 설계강우량 자료를 수집하였다.

표 3-2-31 | 신리지구 재현기간별 설계강우량 (대관령 관측소)

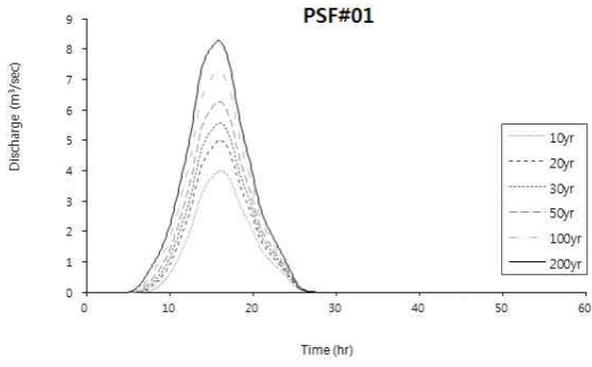
재현기간 시간 (hr)	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.47	0.55	0.59	0.65	0.72	0.80
1.0	1.34	1.56	1.69	1.84	2.06	2.27
1.5	2.10	2.44	2.64	2.88	3.23	3.56
2.0	2.75	3.20	3.46	3.78	4.23	4.67
2.5	3.23	3.76	4.07	4.44	4.97	5.49
3.0	3.46	4.04	4.37	4.77	5.33	5.89
3.5	3.90	4.54	4.91	5.36	6.00	6.62
4.0	4.27	4.98	5.38	5.88	6.57	7.26
4.5	4.58	5.34	5.77	6.31	7.05	7.79
5.0	4.57	5.33	5.77	6.30	7.04	7.77
5.5	4.54	5.29	5.72	6.25	6.99	7.71
6.0	4.94	5.76	6.23	6.80	7.61	8.40
6.5	5.34	6.22	6.73	7.35	8.22	9.08
7.0	5.73	6.68	7.23	7.89	8.82	9.75
7.5	5.63	6.57	7.10	7.75	8.67	9.57
8.0	5.96	6.94	7.51	8.20	9.17	10.13
8.5	6.71	7.83	8.46	9.24	10.33	11.41
9.0	7.52	8.76	9.47	10.34	11.57	12.77
9.5	8.36	9.75	10.54	11.51	12.87	14.21
10.0	9.59	11.17	12.08	13.19	14.75	16.29
10.5	10.44	12.17	13.16	14.37	16.07	17.74
11.0	11.21	13.07	14.14	15.44	17.26	19.06
11.5	12.02	14.01	15.15	16.54	18.49	20.42
12.0	12.84	14.97	16.19	17.68	19.77	21.83
12.5	15.79	18.41	19.90	21.74	24.30	26.84
13.0	15.64	18.24	19.72	21.53	24.08	26.59
13.5	15.44	17.99	19.46	21.25	23.76	26.24
14.0	15.17	17.68	19.11	20.87	23.34	25.78
14.5	15.06	17.55	18.98	20.73	23.18	25.60
15.0	15.30	17.83	19.28	21.06	23.55	26.00
15.5	14.37	16.74	18.11	19.77	22.11	24.42
16.0	13.34	15.55	16.81	18.36	20.53	22.67
16.5	12.21	14.24	15.39	16.81	18.80	20.76
17.0	10.33	12.04	13.02	14.22	15.90	17.56
17.5	8.52	9.93	10.74	11.72	13.11	14.48
18.0	7.85	9.15	9.89	10.80	12.08	13.34
18.5	7.12	8.30	8.98	9.81	10.97	12.11
19.0	6.35	7.40	8.00	8.74	9.77	10.79
19.5	4.78	5.57	6.02	6.58	7.35	8.12
20.0	3.85	4.49	4.85	5.30	5.93	6.54
20.5	3.51	4.09	4.42	4.83	5.40	5.96
21.0	3.14	3.67	3.96	4.33	4.84	5.35
21.5	2.76	3.22	3.48	3.80	4.25	4.69
22.0	2.35	2.74	2.97	3.24	3.62	4.00
22.5	1.92	2.24	2.43	2.65	2.96	3.27
23.0	1.47	1.72	1.86	2.03	2.27	2.51
23.5	1.00	1.17	1.26	1.38	1.54	1.70
24.0	0.51	0.59	0.64	0.70	0.78	0.86

(다) 설계강우량에 따른 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

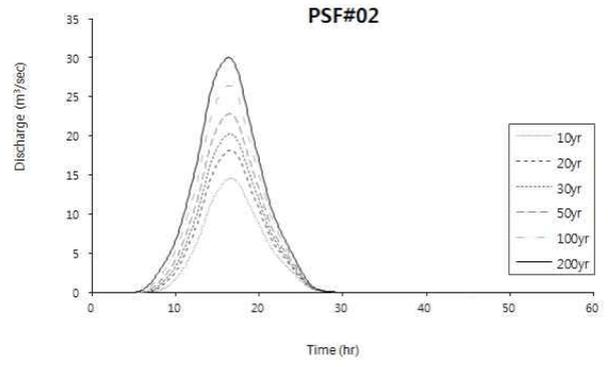
SCS TR-20모형을 활용하여 신리지구 5개 소유역의 설계빈도별 홍수량을 산정한 결과는 표 3-2-32, 그림 3-2-23과 같다. 본 연구에서는 일반수공구조물과 지방하천, 농업생산기반 시설의 배수로 등에서 사용하고 있는 20년 수준을 고려하여 10년 설계빈도를 채택하였으며, 10년 빈도의 PSF#01 지점부터 PSF#05 지점까지 첨두홍수량은 4.0 m<sup>3</sup>/s, 14.6 m<sup>3</sup>/s, 41.3 m<sup>3</sup>/s, 58.7 m<sup>3</sup>/s, 64.3 m<sup>3</sup>/s로 산정되었다. 홍수주의보 및 경보 발령기준은 하천법시행규칙에서 제시하고 있는 계획홍수량의 50%를 주의보, 70%를 경보 발령기준으로 설정하였으며, PSF#01 지점은 첨두홍수량 4 m<sup>3</sup>/s의 50 %인 2 m<sup>3</sup>/s을 주의보 발령기준, 70 %인 2.8 m<sup>3</sup>/s을 경보 발령기준으로 설정, PSF#05 지점은 첨두홍수량 64.4 m<sup>3</sup>/s의 50 %와 70 %인 32.2 m<sup>3</sup>/s와 45.0 m<sup>3</sup>/s를 각각 주의보, 경보 발령기준으로 결정하였다

표 3-2-32 | 신리지구 지점별/재현기간별 홍수 주의보 및 경보 발령기준

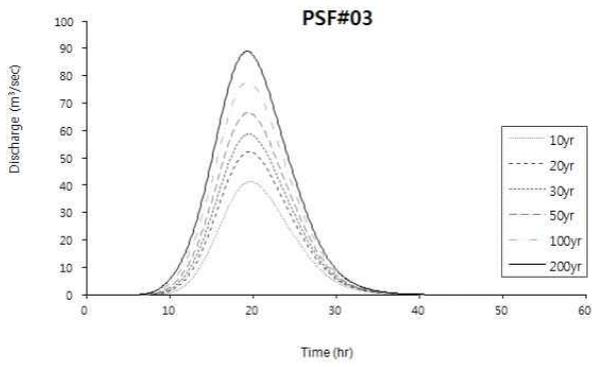
구분	PSF#01		PSF#02		PSF#03		PSF#04		PSF#05	
	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보
10yr	2.0	2.8	7.3	10.2	20.7	28.9	29.3	41.1	32.2	45.0
20yr	2.5	3.5	9.1	12.7	26.1	36.6	37.2	52.1	40.4	56.6
30yr	2.8	3.9	10.1	14.2	29.3	41.1	41.8	58.5	45.2	63.3
50yr	3.1	4.4	11.4	16.0	33.3	46.6	47.5	66.5	51.1	71.6
100yr	3.6	5.1	13.2	18.5	38.9	54.4	55.6	77.8	59.6	83.4
200yr	4.1	5.8	15.0	21.0	44.5	62.3	63.6	89.1	67.9	95.1



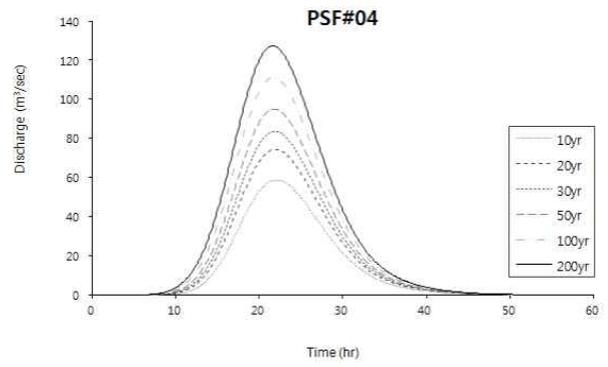
a) PSF#01



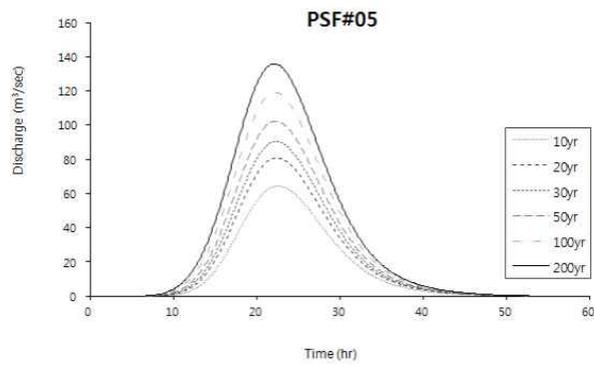
b) PSF#02



c) PSF#03



d) PSF#04



e) PSF#05

그림 3-2-23 | 신리지구 지점별/설계빈도별 설계홍수량 모의 결과

(라) 기왕강우에 의한 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

기왕강우는 평창군 신리초교의 시간별 강우관측자료를 이용하여 최근 5년 (2010~2015) 동안 강우자료 중에서 단일 강우사상 중 비교적 강우량이 많은 5개 사상을 선정하였다. 선정된 강우사상들의 강우량은 최소 143 mm에서 최대 306 mm의 범위를 가지고 있다.

표 3-2-33 | 신리지구 강우사상 선정 결과

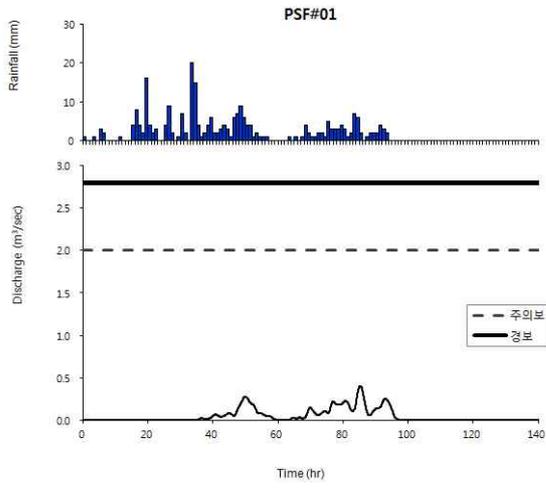
강우사상		강우기간	강수량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST110622	2011/06/22 18:00 - 2011/06/26 15:00	256	2.7	I
2	ST110703	2011/07/03 05:00 - 2011/07/03 22:00	143	7.9	III
3	ST110726	2011/07/26 19:00 - 2011/07/28 05:00	147	4.2	III
4	ST120705	2012/07/05 08:00 - 2012/07/06 18:00	175	5.0	II
5	ST130713	2013/07/13 24:00 - 2013/07/15 23:00	306	6.4	III

① ST110622 (2011/06/22 18:00 - 2011/06/26 15:00) 강우사상 모의 결과

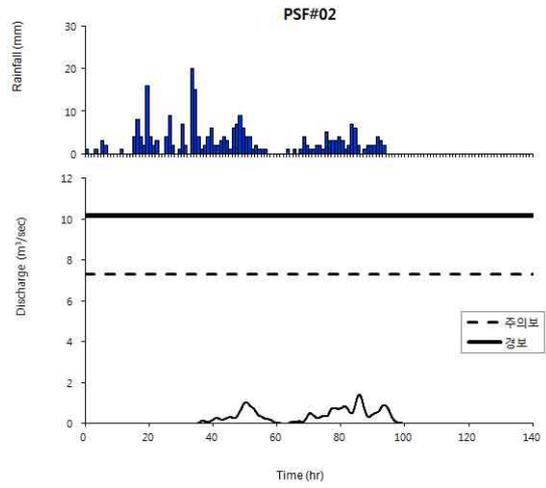
신리지구의 5개 지점에 대하여 ST110622 강우사상(강수량 256 mm)의 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴보았다. 홍수량 모의 결과, 모든 지점에서 주의보 및 경보 발령기준을 초과하는 침투홍수량이 발생되지 않은 것으로 나타났다.

표 3-2-34 | 신리지구 ST110622 강우사상 모의 결과

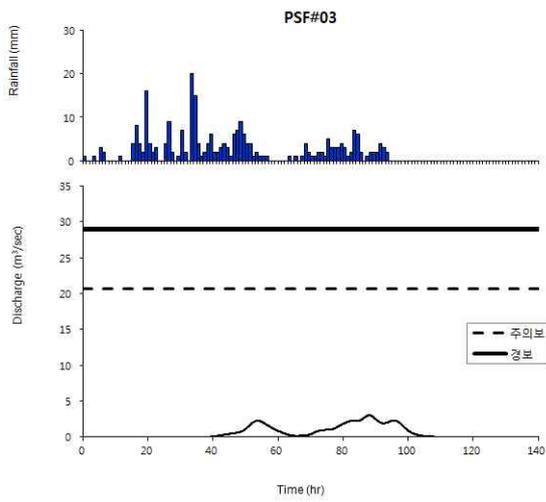
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	0.40	2.0	2.8	×
PSF#02	1.41	7.3	10.2	×
PSF#03	3.02	20.7	28.9	×
PSF#04	4.46	29.3	41.1	×
PSF#05	5.48	32.2	45.0	×



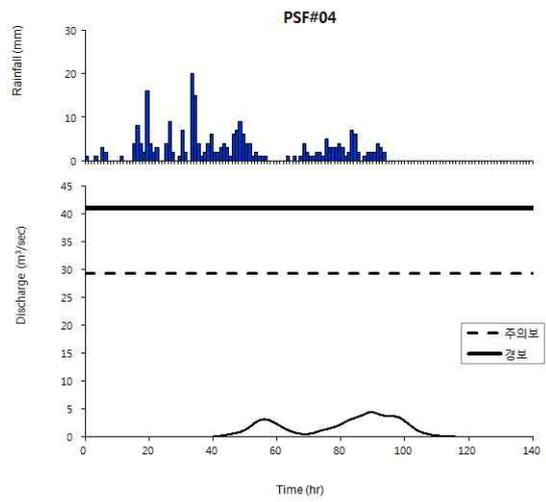
a) PSF#01 지점



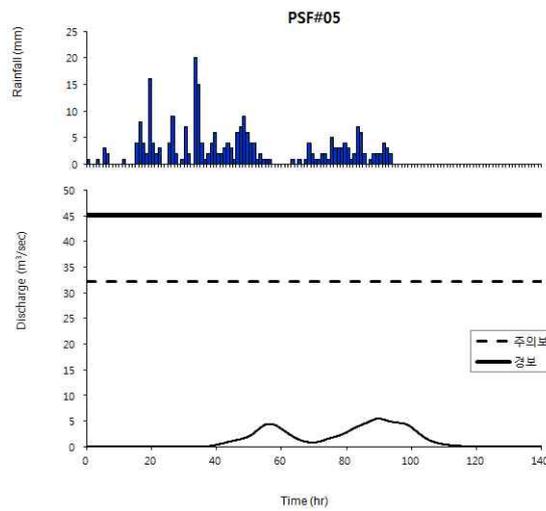
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

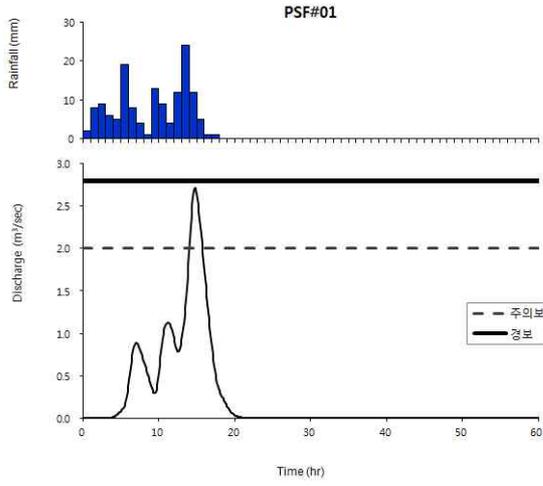
그림 3-2-24 | 신리지구 ST110622 강우사상의 지점별 모의 결과

② ST110703 (2011/07/03 05:00 - 2011/07/03 22:00) 강우사상 모의 결과

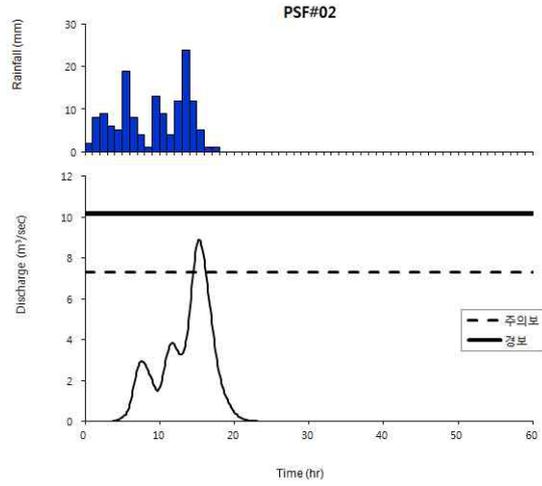
ST110703 강우사상은 선정된 5개의 강우사상 중 강수량은 143 mm로 가장 작으나 강우강도는 7.9 mm/hr로 가장 큰 강우사상으로 10년 빈도의 홍수량을 모의하고, 특보 발령기준을 살펴본 결과 상류인 PSF#01 지점과 PSF#02 지점에서 특보기준을 초과하는 것으로 나타났다. 먼저, PSF#01 지점은 첨두홍수량이 2.72 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발령기준인 2.0 m<sup>3</sup>/s를 초과하고 경보 발령기준과 0.08 m<sup>3</sup>/s 차이를 보였다. PSF#02 지점은 첨두홍수량 8.89 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발령기준인 7.3 m<sup>3</sup>/s를 초과하였으며, 나머지 PSF#03, PSF#04, PSF#05 지점에서는 첨두홍수량이 특보기준을 초과하지 않았다.

표 3-2-35 | 신리지구 ST110703 강우사상 모의 결과

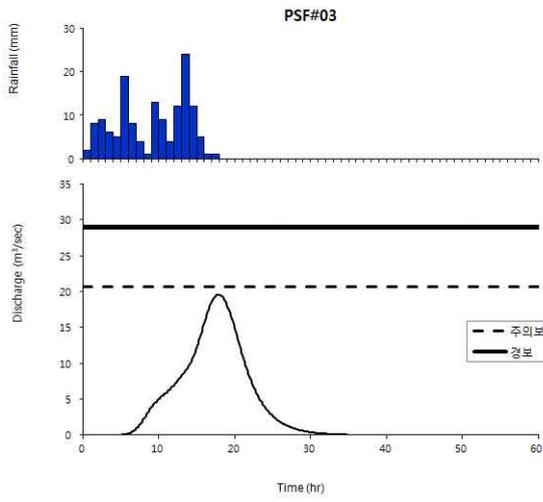
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발령 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	2.72	2.0	2.8	○
PSF#02	8.89	7.3	10.2	○
PSF#03	19.57	20.7	28.9	×
PSF#04	26.14	29.3	41.1	×
PSF#05	28.21	32.2	45.0	×



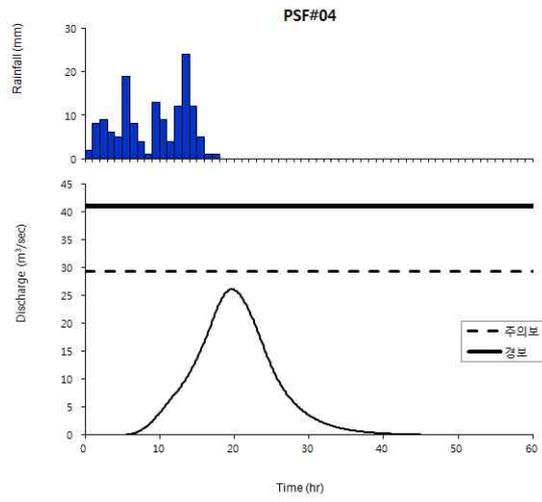
a) PSF#01 지점



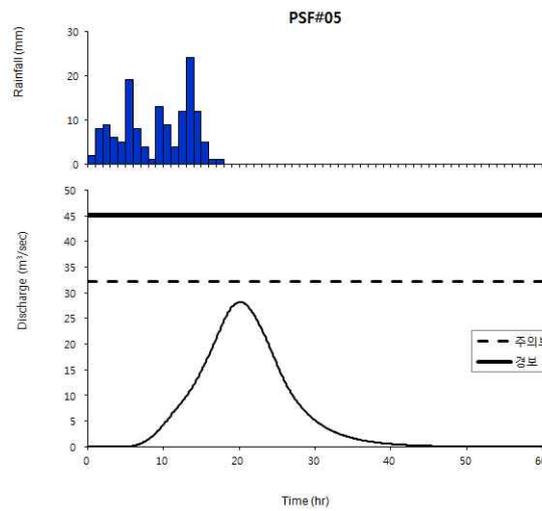
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

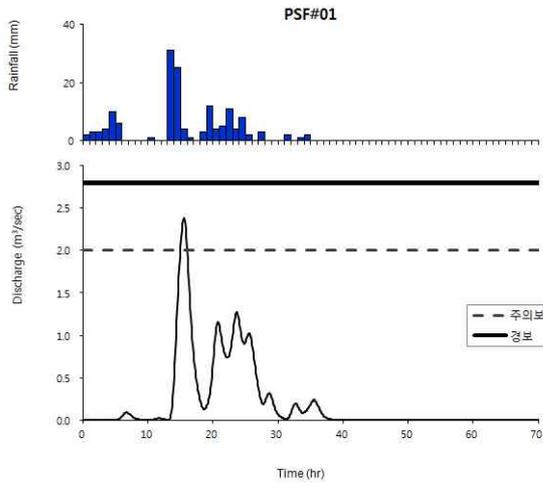
그림 3-2-25 | 신리지구 ST110703 강우사상의 지점별 모의 결과

③ ST110726 (2011/07/26 19:00 - 2011/07/28 05:00) 강우사상 모의 결과

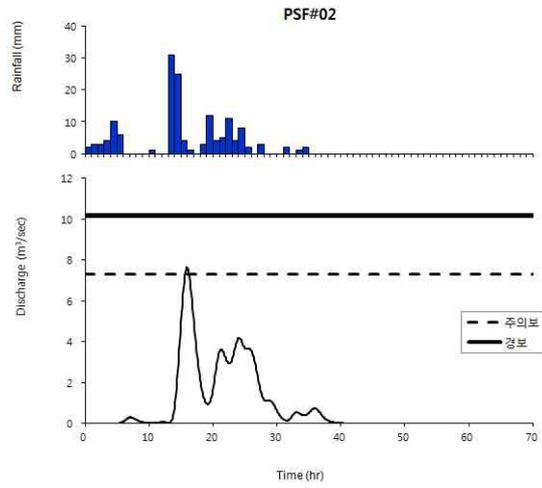
ST110726 강우사상(강수량 147 mm)에 대하여 10년 빈도의 홍수량을 모의하고, 특보 발령기준을 살펴본 결과 ST110703 강우사상과 마찬가지로 상류인 PSF#01 지점과 PSF#02 지점에서 특보기준을 초과하였다. 먼저, PSF#01 지점은 첨두홍수량이 2.39 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발표기준인 2.0 m<sup>3</sup>/s를 초과하였고, PSF#02 지점은 첨두홍수량 7.64 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발표기준인 7.3 m<sup>3</sup>/s를 초과하였다.

표 3-2-36 | 신리지구 ST110726 강우사상 모의 결과

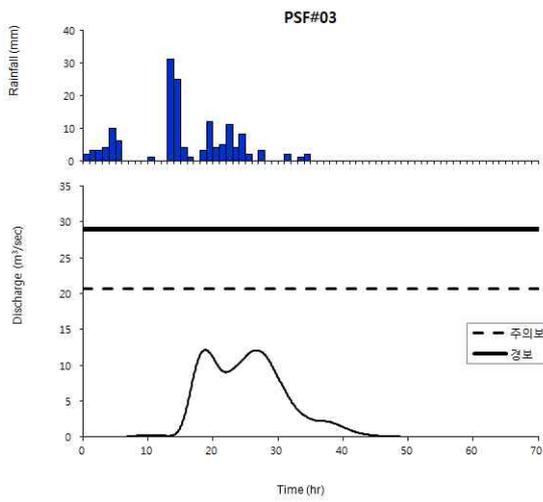
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	2.39	2.0	2.8	○
PSF#02	7.64	7.3	10.2	○
PSF#03	12.12	20.7	28.9	×
PSF#04	18.48	29.3	41.1	×
PSF#05	20.36	32.2	45.0	×



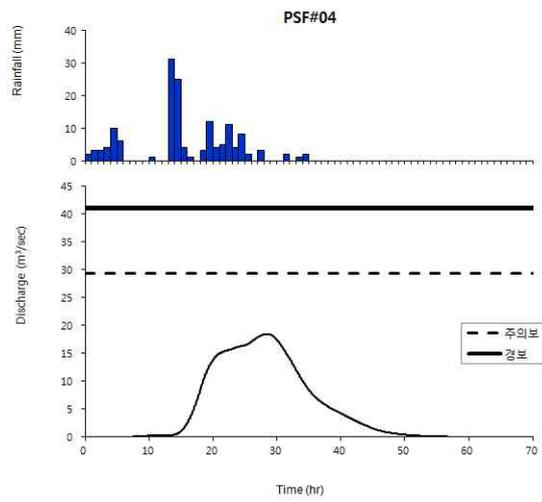
a) PSF#01 지점



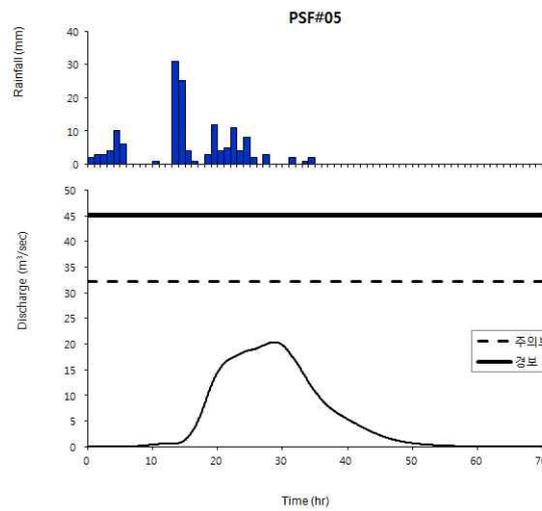
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

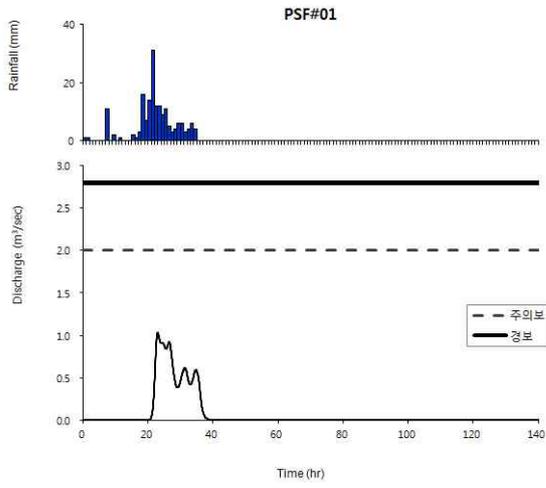
그림 3-2-26 | 신리지구 ST110726 강우사상의 지점별 모의 결과

④ ST120705 (2012/07/05 08:00 - 2012/07/06 18:00) 강우사상 모의 결과

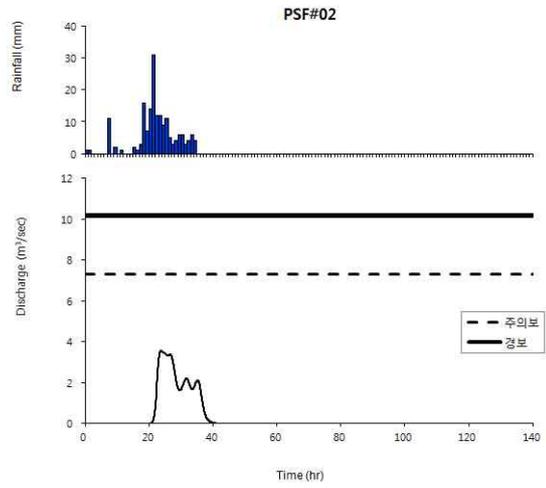
ST120705 강우사상(강수량 175 mm)에 대하여 5개 지점의 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보 발표기준을 살펴본 결과, 전 지점에서 주의보 및 경보 발령기준을 초과하는 홍수량이 발생되지 않은 것으로 나타났다.

표 3-2-37 | 신리지구 ST120705 강우사상 모의 결과

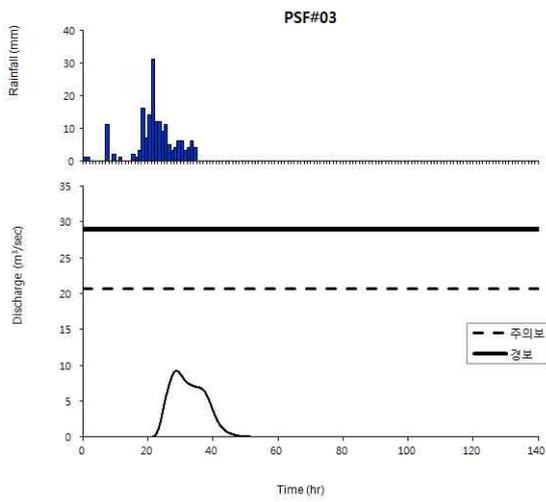
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	1.03	2.0	2.8	×
PSF#02	3.55	7.3	10.2	×
PSF#03	9.22	20.7	28.9	×
PSF#04	13.08	29.3	41.1	×
PSF#05	15.73	32.2	45.0	×



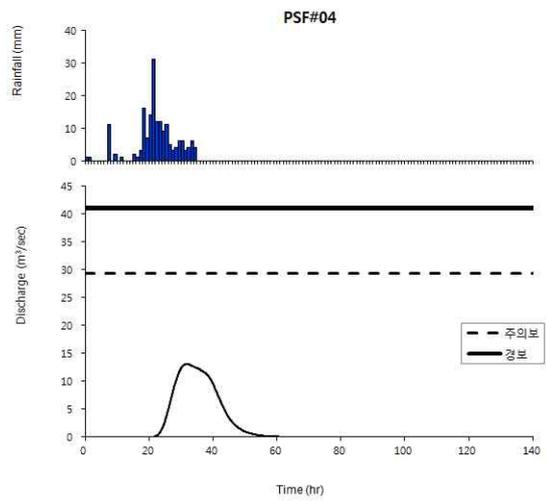
a) PSF#01 지점



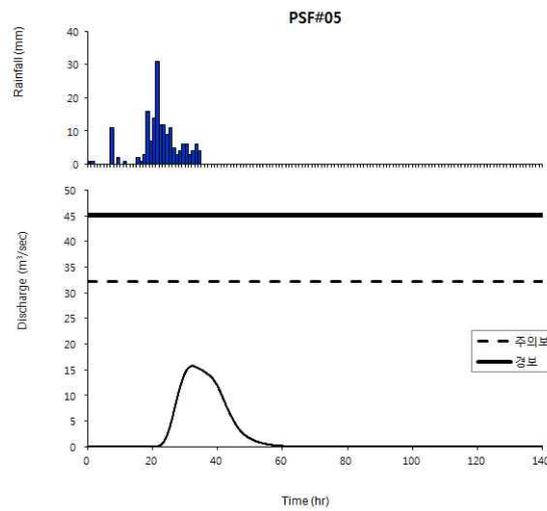
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

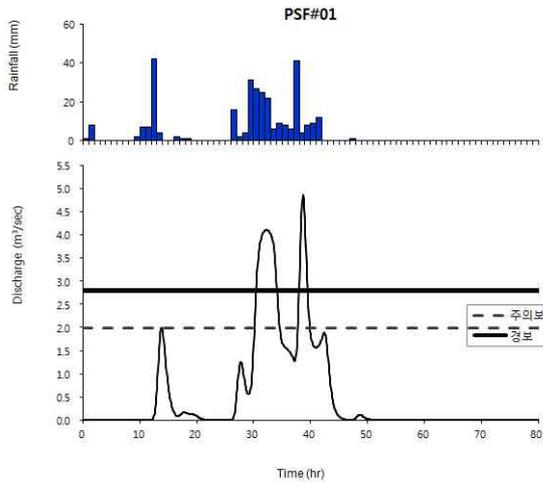
그림 3-2-27 | 신리지구 ST120705 강우사상의 지점별 모의 결과

⑤ ST130713 (2013/07/13 24:00 - 2013/07/15 23:00) 강우사상 모의 결과

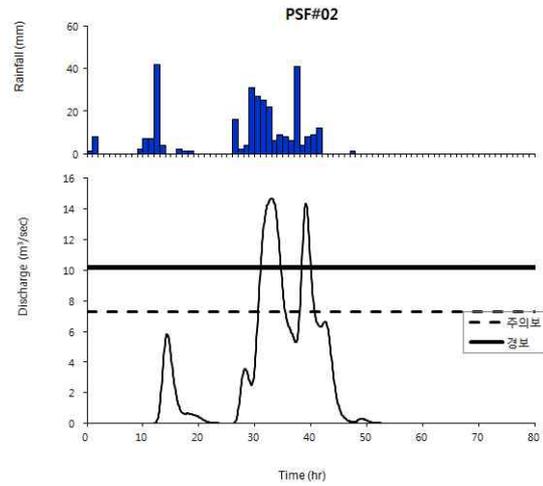
ST130713 강우사상(강수량 306 mm)에 대하여 10년 빈도의 홍수량을 모의하고, 홍수 특보 발표기준을 살펴본 결과, 전 지점에서 경보 발령기준을 초과하는 것으로 나타났다. 먼저, PSF#01 지점은 침투홍수량 4.87 m<sup>3</sup>/s로 경보 발령기준인 2.8 m<sup>3</sup>/s보다 2.07 m<sup>3</sup>/s 더 초과하였으며, PSF#02 지점은 침투홍수량 14.68 m<sup>3</sup>/s로 경보 발령기준인 10.2 m<sup>3</sup>/s보다 4.48 m<sup>3</sup>/s 초과하는 것으로 나타났다. 하류로 갈수록 각 지점에 발생한 침투홍수량과 경보 발령기준 홍수량과 차이가 크게 나타났는데, 경보 발령기준보다 PSF#03 지점은 8.26 m<sup>3</sup>/s, PSF#04 지점은 11.93 m<sup>3</sup>/s, 마지막 PSF#05 지점은 12.33 m<sup>3</sup>/s 초과하는 것으로 나타났다. 실제 ST130713 강우사상의 강원도 평창군의 침수피해 기록을 보면, 집중호우로 인해 2013년 7월 15일 PSF#05 지점 아래 위치한 신4리교의 교각과 상반이 침하되는 피해가 발생한 것으로 조사되었다.

표 3-2-38 | 신리지구 ST130713 강우사상 모의 결과

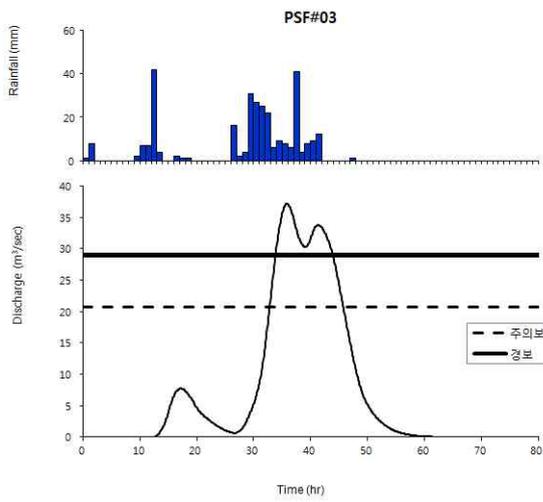
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	4.87	2.0	2.8	○
PSF#02	14.68	7.3	10.2	○
PSF#03	37.16	20.7	28.9	○
PSF#04	53.03	29.3	41.1	○
PSF#05	57.33	32.2	45.0	○



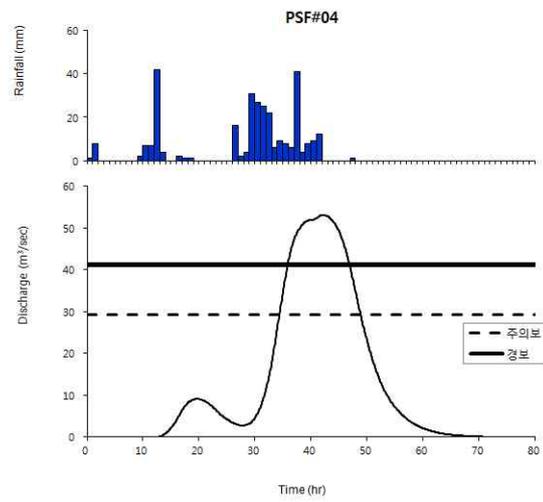
a) PSF#01 지점



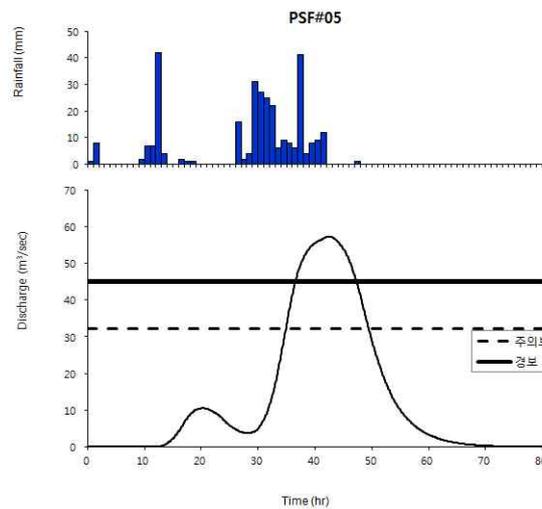
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

그림 3-2-28 | 신리지구 ST130713 강우사상의 지점별 모의 결과

## (2) 화대지구 (PHF)

### (가) 현황조사 및 자료 구축

경기도 포천시 일동면 화대리에 위치한 화대지구 (PHF)는 유역면적 5.47 km<sup>2</sup>으로 작은 유역으로 인명 및 재산피해가 우려되는 곳을 중심으로 4개의 소유역으로 구분하였다. 화대지구의 PHF#01 지점 인근에는 펜션들이 있었으며, PHF#02 지역부터 PHF#04 지역까지 하천 양안 주변으로 마을이 자리잡고 있어 홍수발생 시 인명피해가 우려되는 지역이다. 현장조사 자료와 기본주제도를 바탕으로 화대지구 4개 유역의 지형, 하천, 수문 등 유역특성인자들을 결정하였으며, 유역의 도달시간은 Kirpich 공식 활용, CN값은 각각의 토지이용상태에 대하여 수문학적 토양군별로 선행토양함수조건을 고려하여 산출하였다. 시간별 강우관측자료는 가평군 하면사무소의 관측자료를 수집하여 홍수량 추정을 위한 입력자료를 구축하였다.

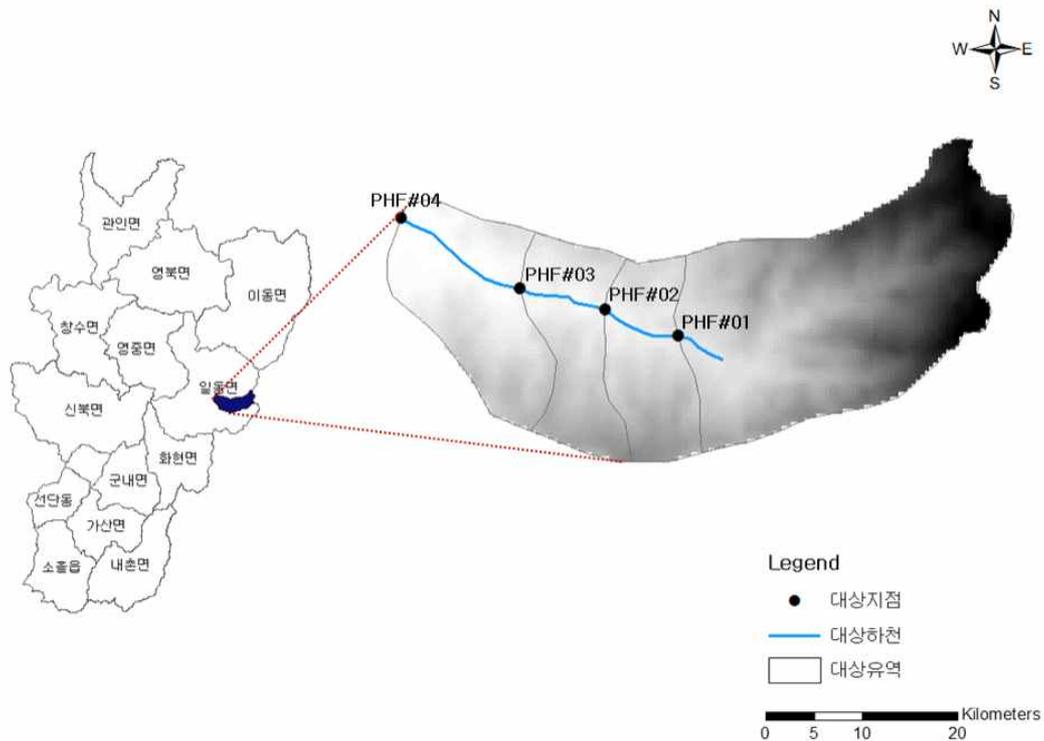


그림 3-2-29 | 화대지구 유역 개황

표 3-2-39 | 화대지구 지점별 입력자료

구 분		현 황					
공간적 범위		(상류) 경기도 포천시 일동면 화대리 7-1번지 일대					
		(하류) 경기도 포천시 일동면 화대리 106-1번지(지청교) 일대					
		지점	PHF#01	PHF#02	PHF#03	PHF#04	
		경도	127°21'23"	127°21'04"	127°20'41"	127°20'07"	
		위도	37°57'03"	37°57'08"	37°57'17"	37°57'28"	
유역 특성 인자	지형 특성	유역면적(km <sup>2</sup> )	2.87	3.61	4.36	5.47	
	하천 특성	하천연장(m)	2,220	2,783	3,402	4,377	
		하천경사	0.21	0.18	0.15	0.13	
	수문 특성	C N 값	AMC-I	56.09	53.54	42.17	32.94
			AMC-II	75.25	73.29	63.45	53.91
			AMC-III	87.49	86.32	79.97	72.90
		도달시간(hr)	3.17	4.02	5.07	6.52	
	기상 특성	기상관측소 (KMA)	철원 (95)		자료보유 기간	1988/01 ~ 2015/07	
		우량관측소 (MOLIT)	가평군 하면사무소 (10154010)		자료보유 기간	1980/07 ~ 2015/07	

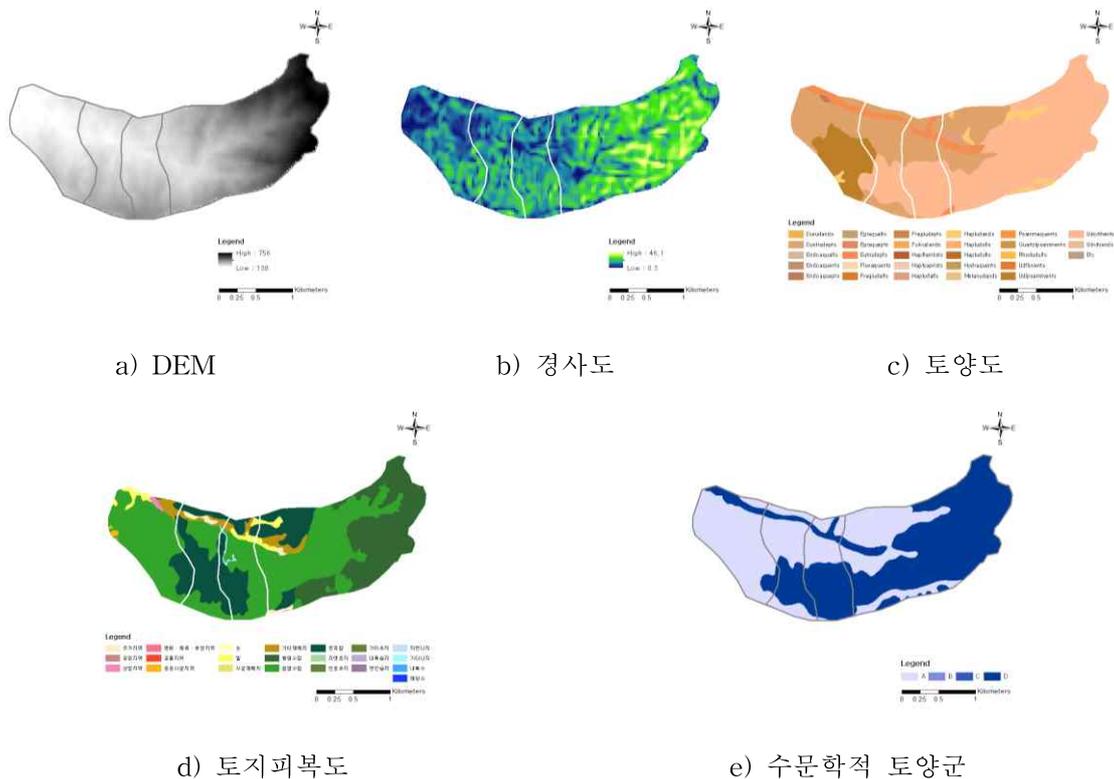


그림 3-2-30 | 화대지구 기본주제도



a) PHF#01 상류방향



b) PHF#01 하류방향



c) PHF#02 상류방향



d) PHF#03 상류방향



e) PHF#03 하류방향



f) PHF#04 상류방향



g) PHF#04 하류방향

그림 3-2-31 | 화대지구 지점별 전경

(나) 설계강우량

설계강우량은 국토해양부(2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완연구”에서 결과로 제시한 주요 관측소 지점의 확률강우량, 확률강우강도, 시간분포, ARF 등을 추출할 수 있는 k-PRISM을 이용하였다. 화대지구는 유역에서 가장 가까운 위치한 철원 관측소의 24시간 설계강우량을 기준으로 Huff의 3분위법을 시간적 분포로 활용하여 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 그리고 200년에 대한 설계강우량 자료를 수집하였다.

표 3-2-40 | 화대지구 재현기간별 설계강우량 (철원 관측소)

재현기간 시간 (hr)	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.47	0.55	0.59	0.65	0.72	0.80
1.0	1.34	1.56	1.69	1.84	2.06	2.27
1.5	2.10	2.44	2.64	2.88	3.23	3.56
2.0	2.75	3.20	3.46	3.78	4.23	4.67
2.5	3.23	3.76	4.07	4.44	4.97	5.49
3.0	3.46	4.04	4.37	4.77	5.33	5.89
3.5	3.90	4.54	4.91	5.36	6.00	6.62
4.0	4.27	4.98	5.38	5.88	6.57	7.26
4.5	4.58	5.34	5.77	6.31	7.05	7.79
5.0	4.57	5.33	5.77	6.30	7.04	7.77
5.5	4.54	5.29	5.72	6.25	6.99	7.71
6.0	4.94	5.76	6.23	6.80	7.61	8.40
6.5	5.34	6.22	6.73	7.35	8.22	9.08
7.0	5.73	6.68	7.23	7.89	8.82	9.75
7.5	5.63	6.57	7.10	7.75	8.67	9.57
8.0	5.96	6.94	7.51	8.20	9.17	10.13
8.5	6.71	7.83	8.46	9.24	10.33	11.41
9.0	7.52	8.76	9.47	10.34	11.57	12.77
9.5	8.36	9.75	10.54	11.51	12.87	14.21
10.0	9.59	11.17	12.08	13.19	14.75	16.29
10.5	10.44	12.17	13.16	14.37	16.07	17.74
11.0	11.21	13.07	14.14	15.44	17.26	19.06
11.5	12.02	14.01	15.15	16.54	18.49	20.42
12.0	12.84	14.97	16.19	17.68	19.77	21.83
12.5	15.79	18.41	19.90	21.74	24.30	26.84
13.0	15.64	18.24	19.72	21.53	24.08	26.59
13.5	15.44	17.99	19.46	21.25	23.76	26.24
14.0	15.17	17.68	19.11	20.87	23.34	25.78
14.5	15.06	17.55	18.98	20.73	23.18	25.60
15.0	15.30	17.83	19.28	21.06	23.55	26.00
15.5	14.37	16.74	18.11	19.77	22.11	24.42
16.0	13.34	15.55	16.81	18.36	20.53	22.67
16.5	12.21	14.24	15.39	16.81	18.80	20.76
17.0	10.33	12.04	13.02	14.22	15.90	17.56
17.5	8.52	9.93	10.74	11.72	13.11	14.48
18.0	7.85	9.15	9.89	10.80	12.08	13.34
18.5	7.12	8.30	8.98	9.81	10.97	12.11
19.0	6.35	7.40	8.00	8.74	9.77	10.79
19.5	4.78	5.57	6.02	6.58	7.35	8.12
20.0	3.85	4.49	4.85	5.30	5.93	6.54
20.5	3.51	4.09	4.42	4.83	5.40	5.96
21.0	3.14	3.67	3.96	4.33	4.84	5.35
21.5	2.76	3.22	3.48	3.80	4.25	4.69
22.0	2.35	2.74	2.97	3.24	3.62	4.00
22.5	1.92	2.24	2.43	2.65	2.96	3.27
23.0	1.47	1.72	1.86	2.03	2.27	2.51
23.5	1.00	1.17	1.26	1.38	1.54	1.70
24.0	0.51	0.59	0.64	0.70	0.78	0.86

(다) 설계강우량에 따른 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

화대지구 4개 소유역의 설계빈도별 홍수량을 산정한 결과는 표 3-2-41, 그림 3-2-32와 같다. 본 연구에서 채택한 설계빈도 10년의 침투홍수량은 PHF#01 지점부터 PHF#04 지점까지 각각 18.6 m<sup>3</sup>/s, 22.0 m<sup>3</sup>/s, 21.9 m<sup>3</sup>/s, 20.9 m<sup>3</sup>/s로 산정되었으며, 이를 바탕으로 홍수 주의보 및 경보 발령기준을 설정하였다. PHF#01 지점은 침투홍수량이 18.6m<sup>3</sup>/s로 이의 50%인 9.3 m<sup>3</sup>/s는 주의보, 70%인 13.0m<sup>3</sup>/s는 경보 발령기준으로 설정, 하류인 PHF#04 지점은 침투홍수량 20.9m<sup>3</sup>/s로 10.5m<sup>3</sup>/s와 14.6m<sup>3</sup>/s를 각각 주의보, 경보 발령기준으로 결정하였다.

표 3-2-41 | 화대지구 지점별/재현기간별 홍수 주의보 및 경보 발령기준

구분	PHF#01		PHF#02		PHF#03		PHF#04	
	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보
10yr	9.3	13.0	11.0	15.4	10.9	15.3	10.5	14.6
20yr	11.1	15.5	13.2	18.5	13.5	18.8	13.2	18.5
30yr	12.2	17.0	14.5	20.3	14.9	20.9	14.9	20.8
50yr	13.5	18.9	16.1	22.5	16.8	23.5	17.0	23.8
100yr	15.2	21.3	18.2	25.5	19.3	27.0	19.8	27.8
200yr	17.0	23.7	20.3	28.5	21.7	30.4	22.7	31.8

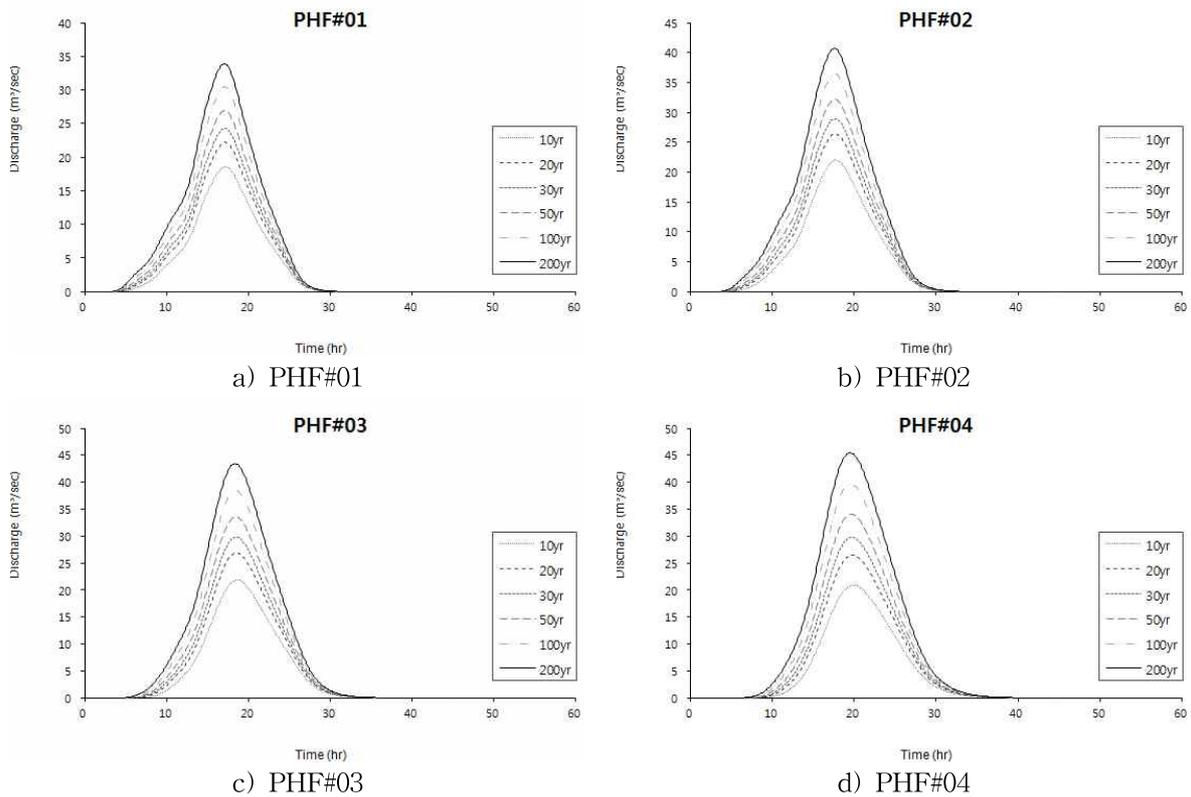


그림 3-2-32 | 화대지구 지점별/설계빈도별 설계홍수량 모의 결과

(라) 기왕강우에 의한 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

가평군 하면사무소의 시간별 강우관측자료를 이용하여 최근 5년 (2010~2015)동안 강우자료 중에서 단일 강우사상 중 비교적 강우량이 많은 5개 사상을 선정하였다. 선정된 강우사상들의 강우량은 최소 212 mm에서 최대 709 mm의 범위를 가지고 있다.

표 3-2-42 | 화대지구 강우사상 선정 결과

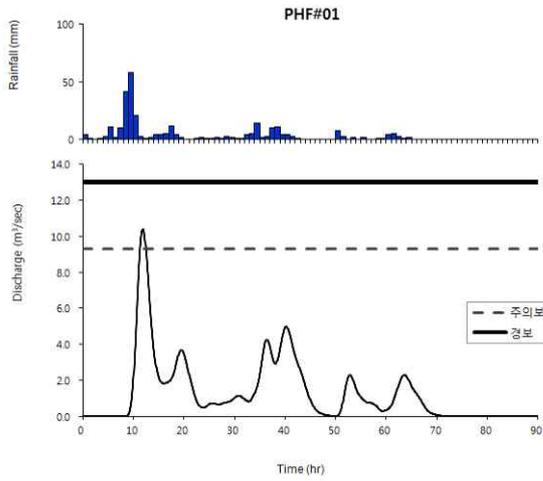
강우사상		강우기간	강수량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST100909	2010/09/09 16:00 - 2010/09/12 08:00	297	4.6	I
2	ST110629	2011/06/29 01:00 - 2011/06/30 20:00	276	6.3	III
3	ST110726	2011/07/26 17:00 - 2011/07/29 06:00	709	11.4	II
4	ST120819	2012/08/19 12:00 - 2012/08/22 11:00	212	2.9	III
5	ST130712	2013/07/12 05:00 - 2013/07/15 21:00	391	4.4	III

① ST100909 (2010/09/09 16:00 - 2010/09/12 08:00) 강우사상 모의 결과

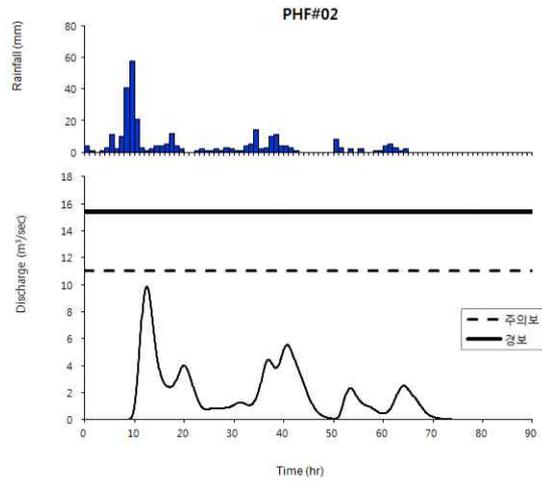
ST100909 강우사상(강수량 297 mm)에 대하여 4개 지점의 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴보았다. 홍수량을 모의한 결과 최상류인 PHF#01 지점에서 10.40 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 산정되었으며, 주의보 발령기준인 9.3 m<sup>3</sup>/s을 초과하는 홍수량이 발생했던 것으로 나타났다.

표 3-2-43 | 화대지구 ST100909 강우사상 모의 결과

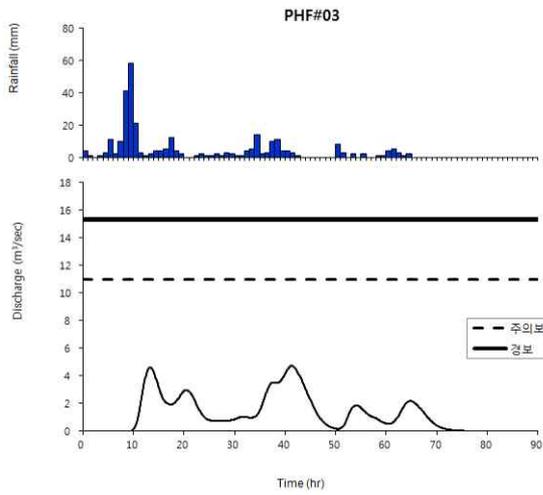
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PHF#01	10.40	9.3	13.0	○
PHF#02	9.88	11.0	15.4	×
PHF#03	4.72	10.9	15.3	×
PHF#04	3.68	10.5	14.6	×



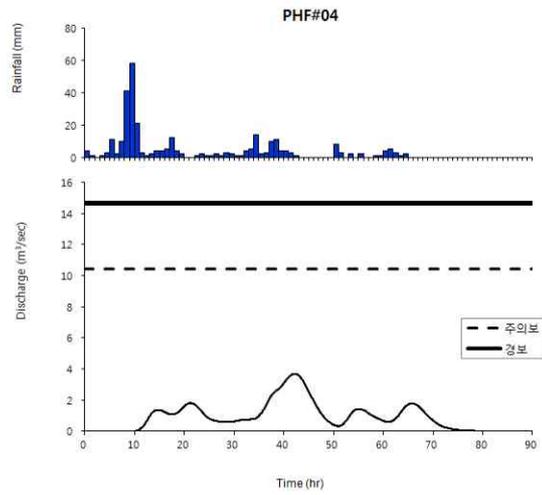
a) PHF#01 지점



b) PHF#02 지점



c) PHF#03 지점



d) PHF#04 지점

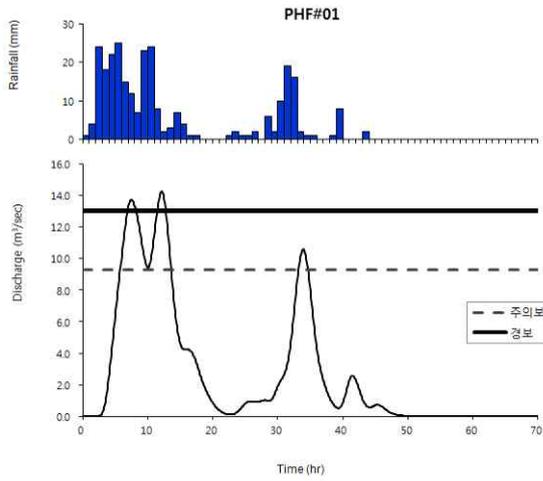
그림 3-2-33 | 확대지구 ST100909 강우사상의 지점별 모의 결과

② ST110629 (2011/06/29 01:00 - 2011/06/30 20:00) 강우사상 모의 결과

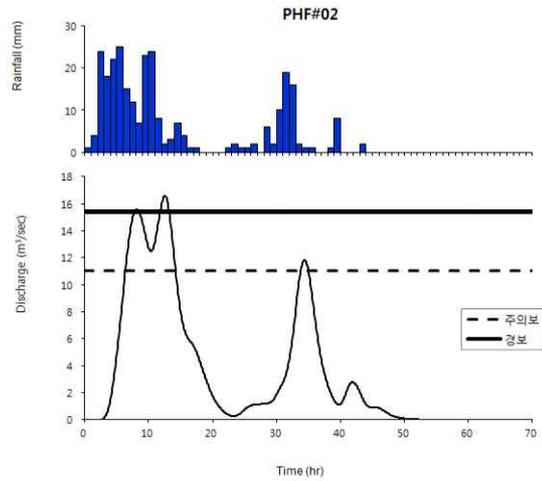
화대지구의 4개 지점에 대하여 ST110629 강우사상(강수량 276 mm)의 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴보았다. ST110629 강우사상을 모의한 결과 전 지점에서 주의보 및 경보 발령기준을 초과하는 홍수량이 발생된 것으로 나타났다. 먼저, PHF#01 지점의 첨두홍수량인 14.30 m<sup>3</sup>/s는 주의보 발령기준인 9.3 m<sup>3</sup>/s과 경보 발령기준인 13.0 m<sup>3</sup>/s를 모두 초과하였으며, PHF#02 지점의 첨두홍수량인 16.58 m<sup>3</sup>/s도 주의보 발령기준인 11.0 m<sup>3</sup>/s와 경보 발령기준인 15.4 m<sup>3</sup>/s를 초과하였다. PHF#03지점과 PHF#04 지점도 모두 경보 발령기준을 초과하는 첨두홍수량이 발생한 것으로 모의되었다.

표 3-2-44 | 화대지구 ST110629 강우사상 모의 결과

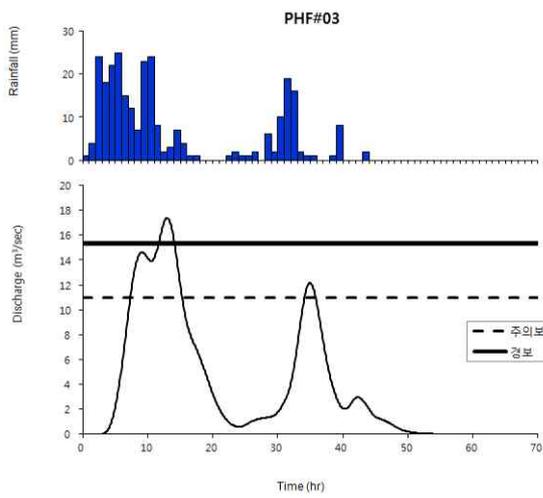
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PHF#01	14.30	9.3	13.0	○
PHF#02	16.58	11.0	15.4	○
PHF#03	17.38	10.9	15.3	○
PHF#04	17.87	10.5	14.6	○



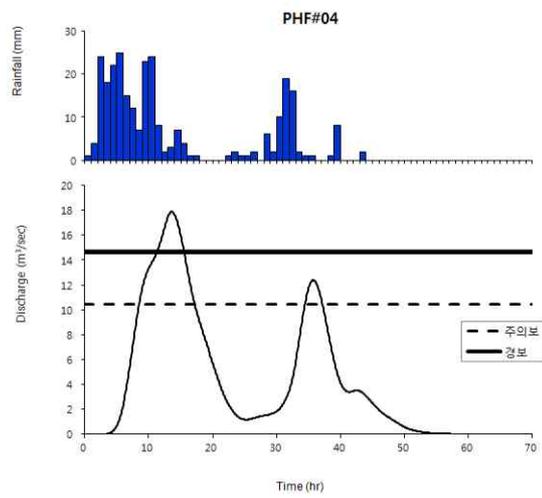
a) PHF#01 지점



b) PHF#02 지점



c) PHF#03 지점



d) PHF#04 지점

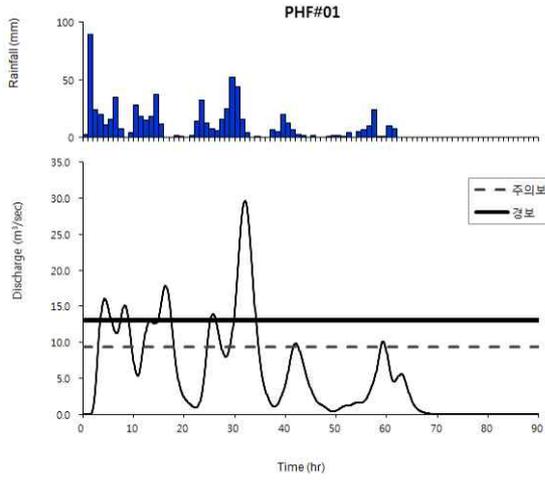
그림 3-2-34 | 확대지구 ST110629 강우사상의 지점별 모의 결과

③ ST110726 (2011/07/26 17:00 - 2011/07/29 06:00) 강우사상 모의 결과

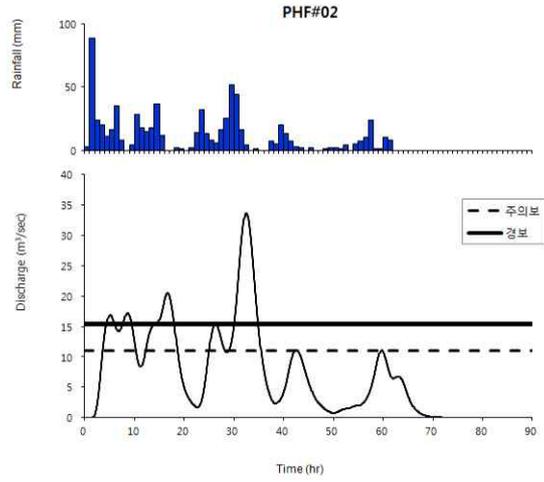
화대지구의 5개 강우사상 중 강수량이 709 mm로 가장 많고, 강우강도가 11.4 mm/hr로 가장 크며 AMC-II 조건인 ST110726 강우사상에 대하여 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과 전 지점에서 경보 발령기준을 크게 초과하는 것으로 나타났다. 하류로 내려갈수록 첨두홍수량과 경보 발령기준과 차이가 크게 나타났으며 PHF#01 지점의 경우, 경보 발령기준인 13.0 m<sup>3</sup>/s보다 16.6 m<sup>3</sup>/s 초과하는 29.6 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 발생, PHF#02 지점은 경보 발령기준인 15.4 m<sup>3</sup>/s보다 18.26 m<sup>3</sup>/s 초과하는 33.66 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 발생하였다. PHF#03 지점은 경보 발령기준인 15.3 m<sup>3</sup>/s보다 19.99 m<sup>3</sup>/s 초과하는 35.29 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 발생하였으며, 하류인 PHF#04 지점은 경보 발령 기준인 14.6 m<sup>3</sup>/s보다 22.19 m<sup>3</sup>/s 초과하는 36.79 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 발생된 것으로 모의되었다.

표 3-2-45 | 화대지구 ST110726 강우사상 모의 결과

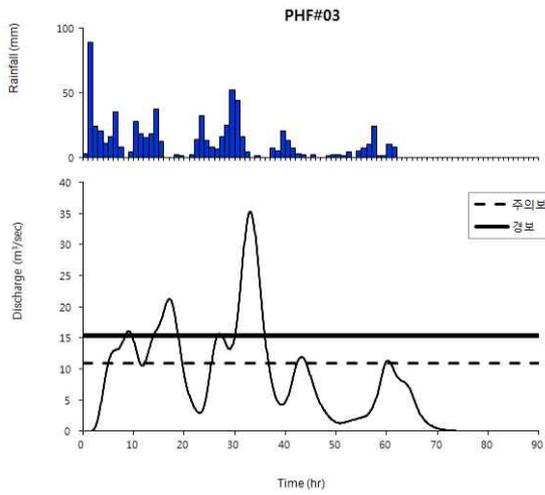
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PHF#01	29.60	9.3	13.0	○
PHF#02	33.66	11.0	15.4	○
PHF#03	35.29	10.9	15.3	○
PHF#04	36.79	10.5	14.6	○



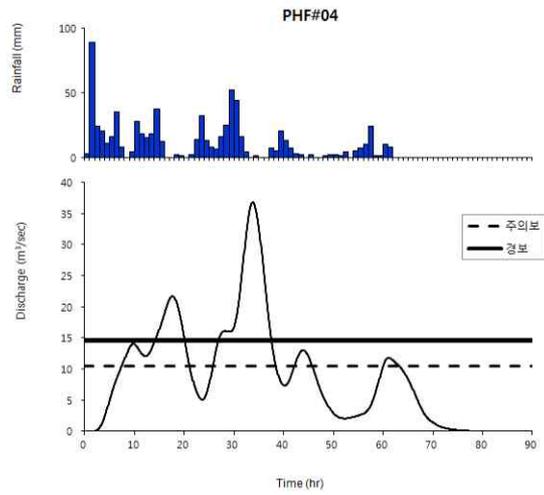
a) PHF#01 지점



b) PHF#02 지점



c) PHF#03 지점



d) PHF#04 지점

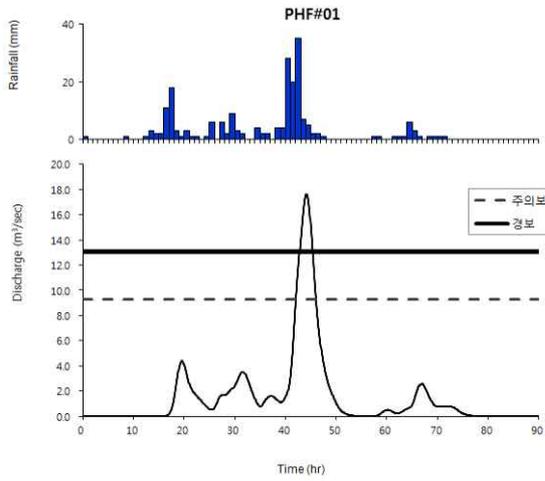
그림 3-2-35 | 확대지구 ST110726 강우사상의 지점별 모의 결과

④ ST120819 (2012/08/19 12:00 - 2012/08/22 11:00) 강우사상 모의 결과

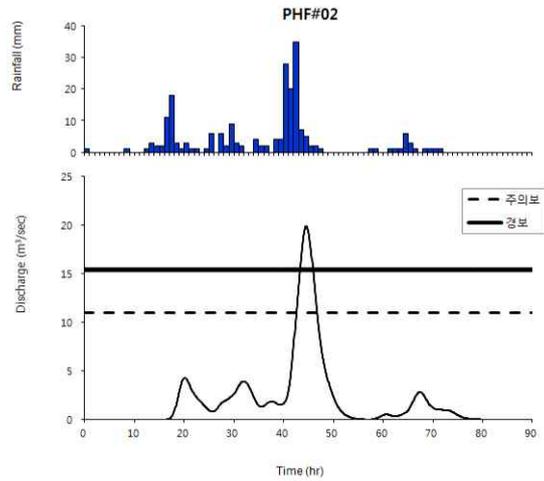
ST120819 강우사상(강수량 212 mm)에 대하여 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과 모든 지점에서 홍수 경보 발령기준을 초과하는 침투홍수량이 발생된 것으로 나타났으며, PHF#01 지점부터 PHF#04 지점까지 각 지점별 경보 발생기준 보다 약 4.5 m<sup>3</sup>/s 이상을 초과하는 침투홍수량이 발생된 것으로 모의되었다.

표 3-2-46 | 화대지구 ST120819 강우사상 모의 결과

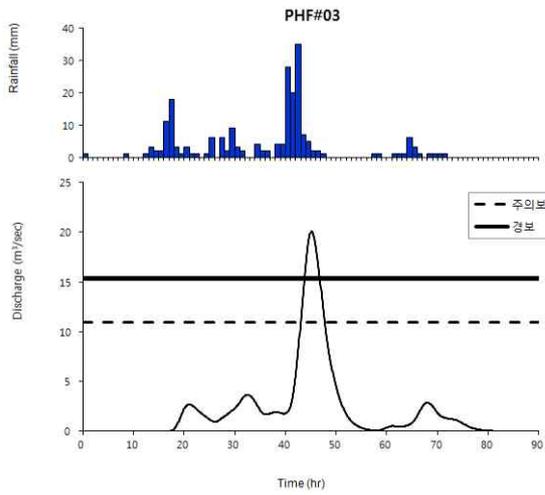
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PHF#01	17.66	9.3	13.0	○
PHF#02	19.92	11.0	15.4	○
PHF#03	20.05	10.9	15.3	○
PHF#04	19.55	10.5	14.6	○



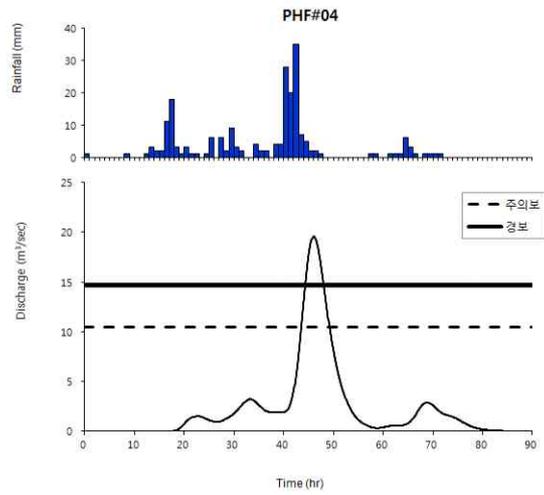
a) PHF#01 지점



b) PHF#02 지점



c) PHF#03 지점



d) PHF#04 지점

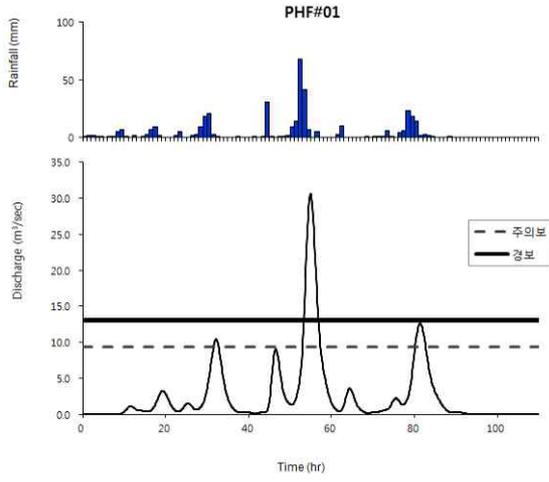
그림 3-2-36 | 화대지구 ST120819 강우사상의 지점별 모의 결과

⑤ ST130712 (2013/07/12 05:00 - 2013/07/15 21:00) 강우사상 모의 결과

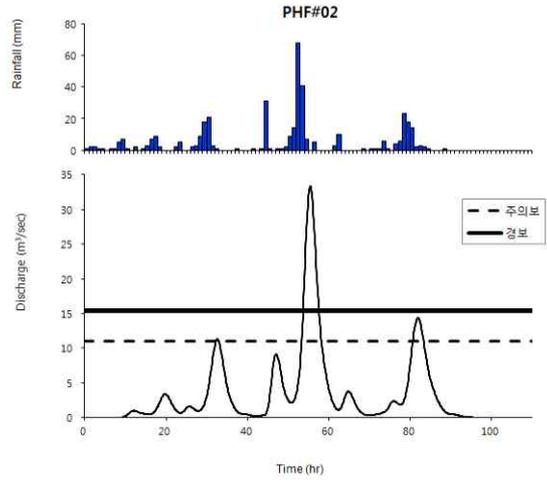
화대지구의 5개 강우사상 중 ST130712 강우사상(강수량 391 mm)에 대하여 10년 빈도의 홍수량을 모의한 결과 모든 지점에서 홍수 경보 발령기준을 초과하는 침투홍수량이 발생된 것으로 나타났다. PHF#01 지점은 경보 발령기준인 13.0 m<sup>3</sup>/s 보다 17.55 m<sup>3</sup>/s 초과한 30.55 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생되었으며, 하류인 PHF#04 지점에서는 경보 발령기준인 14.6 m<sup>3</sup>/s 보다 18.38 m<sup>3</sup>/s 초과한 32.98 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생된 것으로 모의되었다.

표 3-2-47 | 화대지구 ST130712 강우사상 모의 결과

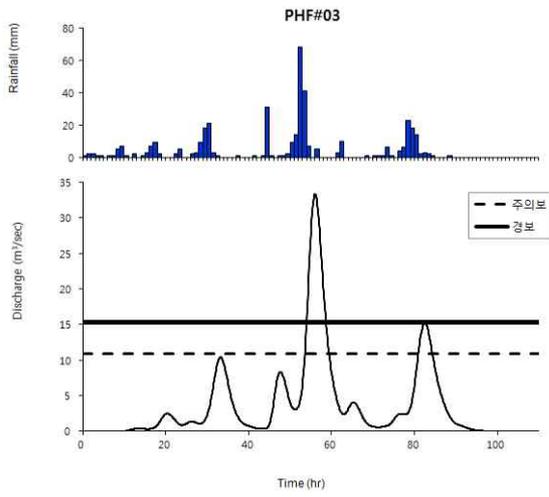
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PHF#01	30.55	9.3	13.0	○
PHF#02	33.30	11.0	15.4	○
PHF#03	33.32	10.9	15.3	○
PHF#04	32.98	10.5	14.6	○



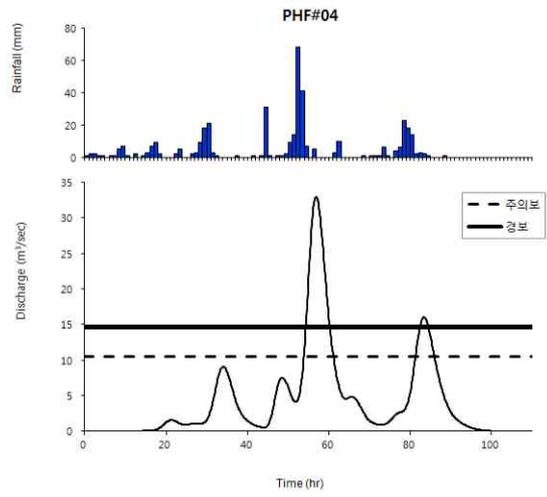
a) PHF#01 지점



b) PHF#02 지점



c) PHF#03 지점



d) PHF#04 지점

그림 3-2-37 | 화대지구 ST130712 강우사상의 지점별 모의 결과

### (3) 성주지구 (BSF)

#### (가) 현황조사 및 자료 구축

충청남도 보령시 성주면 성주리에 위치한 성주지구 (BSF)는 유역면적 2.04 km<sup>2</sup>, 하천연장 2.69 km로 작은 유역이다. 성주지구는 면소재지 중심부에 위치해 있으며 인근에 성주산자연휴양림 및 펜션이 자리잡고 있어 인구가 밀집된 곳으로 특히 하류인 BSF#03 지점 밑에는 마을회관과 면사무소, 보건지소가 위치하고 있으며 하천보다 낮은 지역에 위치해 매년 여름이면 재해위험에 항상 노출되어 있던 위험지역이다. 보령시에서 집중호우 상습침수지역에 대한 자연재해 예방사업을 시행중에 있었으나 여전히 침수피해 등 재해위험에 노출되어 있어 인명과 재산피해가 우려되고 있으며, 성주지구 현장조사 자료와 기 수집한 기본주제도와 현장조사 자료를 바탕으로 각 소유역별 유역면적, 하천연장, 하천경사 등을 도출하고, Kirpich 공식을 활용하여 유역의 도달시간 등을 산정하였다. CN값은 각각의 토지이용상태에 대하여 수문학적 토양군별로 선행토양함수조건을 고려하여 산출하였으며, 기상자료는 유역과 가까이 위치한 보령 기상관측소 자료를 수집, 시간별 강우자료는 도화담의 강우관측자료를 수집하여 TR-20 모형 구동을 위한 입력자료를 구축하였다.

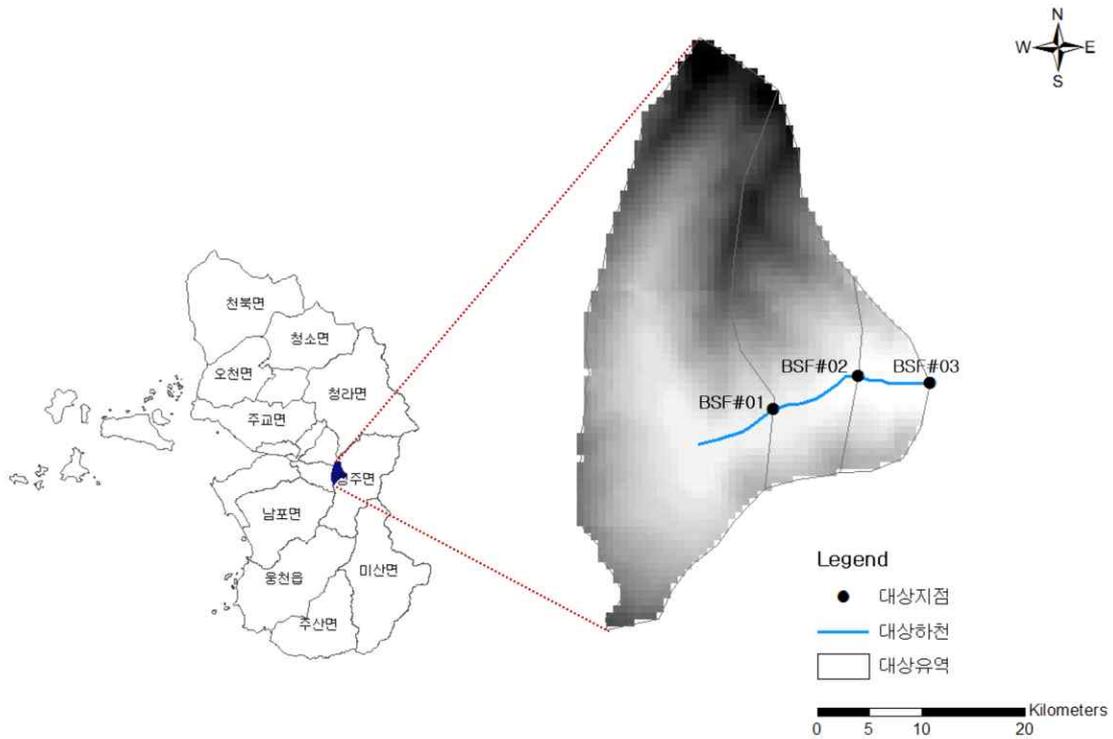


그림 3-2-38 | 성주지구 유역 개황

표 3-2-48 | 성주지구 지점별 입력자료

구분		현황				
공간적 범위		(상류) 충청남도 보령시 성주면 성주리 산16번지 일대				
		(하류) 충청남도 보령시 성주면 성주리 산45번지 일대				
	지점	BSF#01	BSF#02	BSF#03		
	경도	126°38'32"	126°38'46"	126°38'58"		
	위도	36°20'07"	36°20'10"	36°20'09"		
유역 특성인자	지형 특성	유역면적(km <sup>2</sup> )	1.32	1.87	2.04	
	하천 특성	하천연장(m)	2,020	2,383	2,690	
		하천경사	0.13	0.13	0.12	
	수문 특성	C N 값	AMC-I	51.50	52.36	57.22
			AMC-II	71.65	72.36	76.10
			AMC-III	85.32	85.75	87.99
		도달시간(hr)	3.53	4.06	4.60	
	기상 특성	기상관측소(KMA)	보령 (235)	자료보유기간	1972/01 ~ 2015/07	
		우량관측소(MOLIT)	도화담 (32034020)	자료보유기간	1976/02 ~ 2015/07	

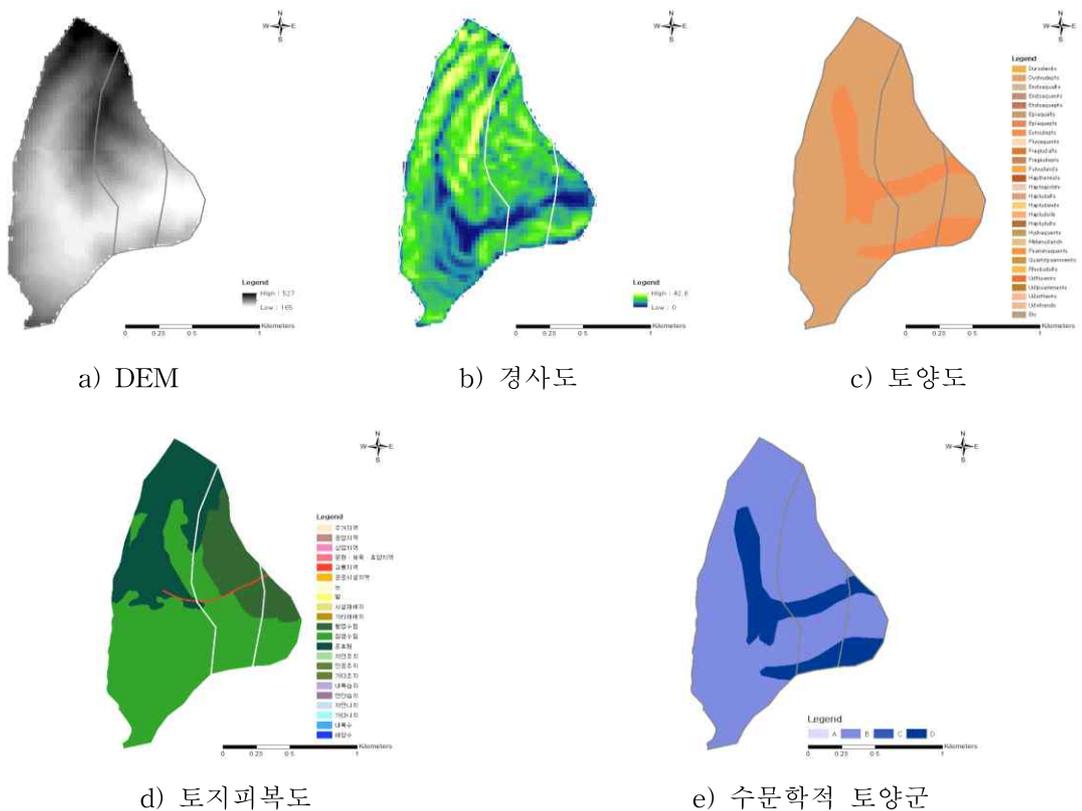


그림 3-2-39 | 성주지구 기본주제도



a) BSF#01 상류방향



b) BSF#01 하류방향



c) BSF#02 상류방향



d) BSF#02 하류방향



e) BSF#03 상류방향



f) BSF#03 하류방향

그림 3-2-40 | 성주지구 지점별 전경

(나) 설계강우량

설계강우량은 국토해양부(2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완연구”에서 결과로 제시한 주요 관측소 지점의 확률강우량, 확률강우강도, 시간분포, ARF 등을 추출할 수 있는 k-PRISM을 이용하였다. 성주지구는 유역에서 가장 가까운 위치한 보령 관측소의 24시간 설계강우량을 기준으로 Huff의 3분위법을 시간적 분포로 활용하여 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 그리고 200년에 대한 설계강우량 자료를 수집하였다.

표 3-2-49 | 성주지구 재현기간별 설계강수량 (보령 관측소)

재현기간 시간 (hr)	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.52	0.60	0.65	0.71	0.79	0.87
1.0	1.43	1.65	1.78	1.94	2.15	2.37
1.5	2.14	2.47	2.66	2.91	3.22	3.55
2.0	2.64	3.05	3.29	3.59	3.98	4.39
2.5	2.70	3.12	3.36	3.67	4.07	4.48
3.0	1.98	2.29	2.47	2.69	2.99	3.29
3.5	2.34	2.70	2.91	3.18	3.52	3.88
4.0	2.69	3.11	3.35	3.66	4.06	4.47
4.5	3.04	3.52	3.79	4.14	4.59	5.06
5.0	3.69	4.26	4.59	5.01	5.56	6.12
5.5	4.29	4.96	5.34	5.83	6.47	7.13
6.0	4.33	5.00	5.39	5.89	6.53	7.19
6.5	4.31	4.98	5.36	5.85	6.49	7.15
7.0	4.22	4.87	5.25	5.73	6.36	7.00
7.5	2.79	3.22	3.47	3.79	4.20	4.63
8.0	2.42	2.80	3.01	3.29	3.65	4.02
8.5	3.12	3.61	3.89	4.25	4.71	5.19
9.0	3.89	4.50	4.85	5.29	5.87	6.47
9.5	4.73	5.47	5.89	6.43	7.13	7.85
10.0	6.44	7.44	8.02	8.75	9.71	10.69
10.5	7.20	8.32	8.97	9.79	10.85	11.96
11.0	7.74	8.94	9.63	10.52	11.66	12.85
11.5	8.29	9.58	10.32	11.27	12.49	13.76
12.0	8.86	10.23	11.02	12.04	13.35	14.71
12.5	10.79	12.47	13.44	14.67	16.27	17.93
13.0	10.74	12.41	13.37	14.60	16.18	17.83
13.5	10.64	12.30	13.25	14.47	16.04	17.67
14.0	10.51	12.14	13.08	14.28	15.83	17.45
14.5	10.58	12.22	13.16	14.38	15.94	17.56
15.0	11.04	12.76	13.75	15.01	16.64	18.34
15.5	10.28	11.88	12.80	13.97	15.49	17.07
16.0	9.44	10.91	11.75	12.83	14.22	15.67
16.5	8.52	9.85	10.61	11.59	12.85	14.16
17.0	6.91	7.98	8.60	9.39	10.41	11.47
17.5	5.37	6.20	6.68	7.30	8.09	8.91
18.0	4.93	5.69	6.13	6.70	7.43	8.18
18.5	4.45	5.15	5.54	6.06	6.71	7.40
19.0	3.95	4.56	4.91	5.37	5.95	6.56
19.5	2.78	3.21	3.46	3.78	4.19	4.61
20.0	2.16	2.50	2.69	2.94	3.26	3.59
20.5	2.05	2.37	2.55	2.79	3.09	3.40
21.0	1.93	2.23	2.40	2.62	2.90	3.20
21.5	1.80	2.08	2.24	2.44	2.71	2.98
22.0	1.66	1.91	2.06	2.25	2.50	2.75
22.5	1.51	1.74	1.88	2.05	2.27	2.51
23.0	1.35	1.56	1.69	1.84	2.04	2.25
23.5	1.19	1.37	1.48	1.62	1.79	1.98
24.0	1.02	1.18	1.27	1.38	1.53	1.69

(다) 설계강우량에 따른 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

성주지구 3개 소유역의 설계빈도별 홍수량을 산정한 결과는 표 3-2-50, 그림 3-2-41과 같다. 본 연구에서 채택한 설계빈도 10년의 침투홍수량은 상류부터 차례로 5.9 m<sup>3</sup>/s, 8.2 m<sup>3</sup>/s, 9.3 m<sup>3</sup>/s였으며, 계획홍수량의 50%인 주의보 발령기준은 BSF#01 지점 2.9 m<sup>3</sup>/s, BSF#02 지점 4.1 m<sup>3</sup>/s, BSF#03 지점 4.6 m<sup>3</sup>/s로 산정되었다. 계획홍수량의 70%인 경보 발령기준은 BSF#01 지점 4.1 m<sup>3</sup>/s, BSF#02 지점 5.8 m<sup>3</sup>/s, BSF#03 지점 6.5 m<sup>3</sup>/s로 산정되었다.

표 3-2-50 | 성주지구 지점별/재현기간별 홍수 주의보 및 경보 발령기준

구분	BSF#01		BSF#02		BSF#03	
	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보
10yr	2.9	4.1	4.1	5.8	4.6	6.5
20yr	3.5	5.0	5.0	6.9	5.5	7.7
30yr	3.9	5.5	5.4	7.6	6.1	8.5
50yr	4.3	6.1	6.1	8.5	6.7	9.4
100yr	4.9	6.9	6.9	9.6	7.6	10.6
200yr	5.5	7.7	7.7	10.8	8.5	11.9

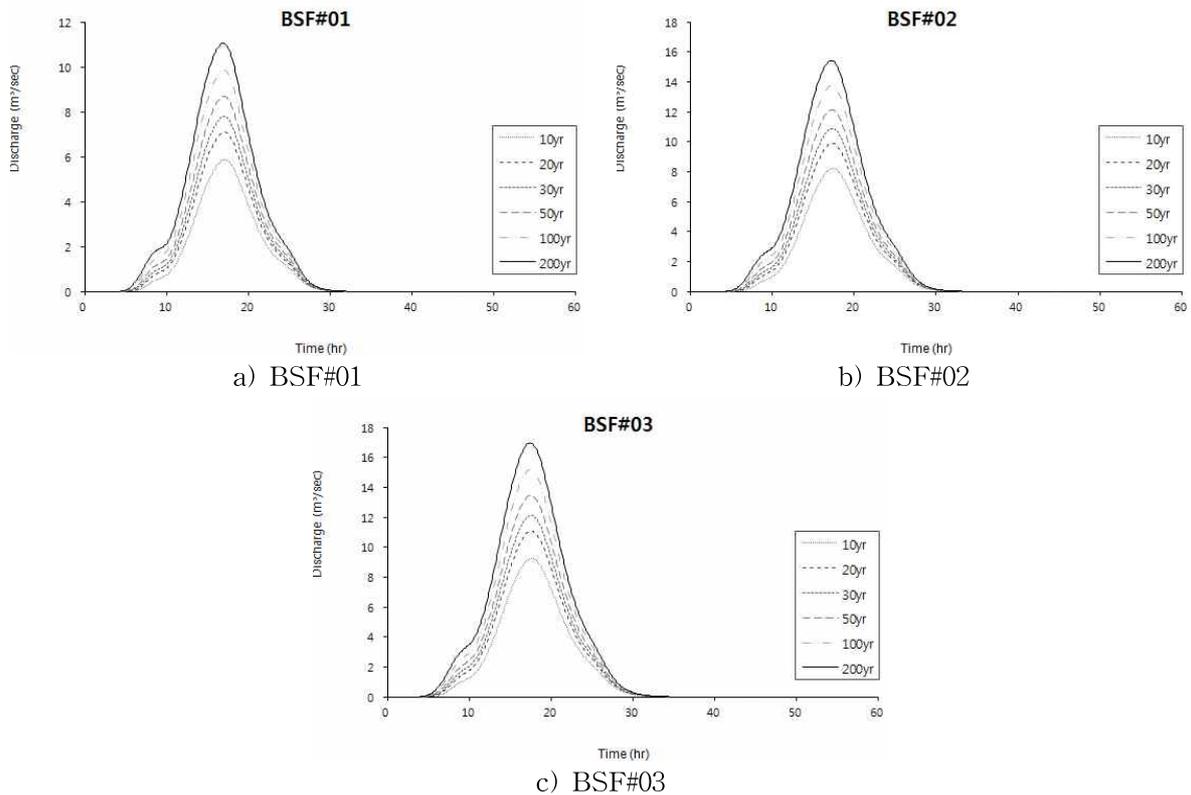


그림 3-2-41 | 성주지구 지점별/설계빈도별 설계홍수량 모의 결과

(라) 기왕강우에 의한 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

도화담의 시간별 강우관측자료를 이용하여 최근 5년 (2010~2015)동안 강우자료 중에서 단일 강우사상 중 비교적 강우량이 많은 5개 사상을 선정하였다. 선정된 강우사상들의 강우량은 최소 147 mm에서 최대 440 mm의 범위를 가지고 있었으며, 강우강도는 ST110817 강우사상에서 9.9 mm/hr로 가장 크게 나타났다.

표 3-2-51 | 성주지구 강우사상 선정 결과

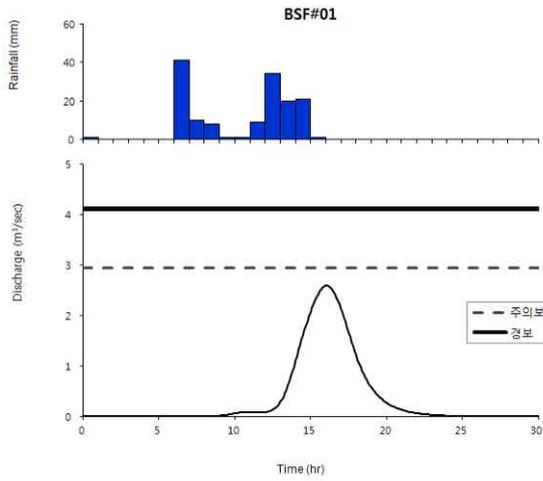
강우사상		강우기간	강수량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST100723	2010/07/23 09:00 - 2010/07/23 24:00	147	9.2	I
2	ST110623	2011/06/23 21:00 - 2011/06/26 13:00	216	3.4	II
3	ST110710	2011/07/10 01:00 - 2011/07/12 23:00	440	6.3	III
4	ST110817	2011/08/17 08:00 - 2011/08/18 01:00	178	9.9	I
5	ST130617	2013/06/17 21:00 - 2013/06/19 01:00	188	6.5	I

① ST100723 (2010/07/23 09:00 - 2010/07/23 24:00) 강우사상 모의 결과

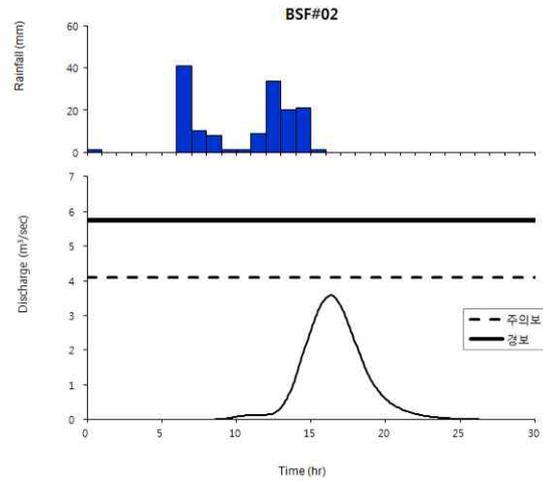
성주지구의 ST100723 강우사상의 강수량은 147 mm로 3개 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴보았다. 홍수량 모의 결과 BSF#01 지점에서 2.59 m<sup>3</sup>/s, BSF#02 지점에서 3.58 m<sup>3</sup>/s, BSF#03 지점에서 4.53 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 산정되었다. BSF#03 지점에서의 첨두홍수량이 주의보 발령 기준인 4.6 m<sup>3</sup>/s에 가장 근접했으나 기준에는 도달하지 않았으며, 다른 지점 모두 주의보 및 경보 발령기준에 미치지 않았던 것으로 나타났다.

표 3-2-52 | 성주지구 ST100723 강우사상 모의 결과

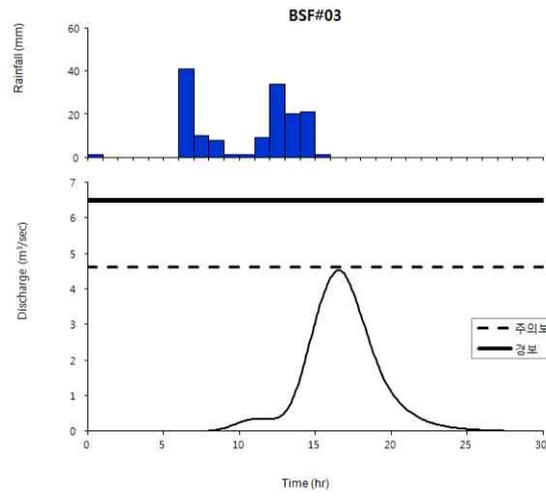
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
BSF#01	2.31	2.9	4.1	×
BSF#02	3.16	4.1	5.8	×
BSF#03	3.55	4.6	6.5	×



a) BSF#01 지점



b) BSF#02 지점



c) BSF#03 지점

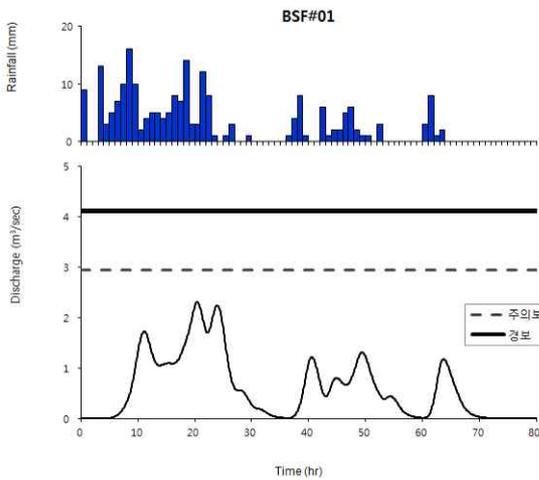
그림 3-2-42 | 성주지구 ST100723 강우사상의 지점별 모의 결과

② ST110623 (2011/06/23 21:00 - 2011/06/26 13:00) 강우사상 모의 결과

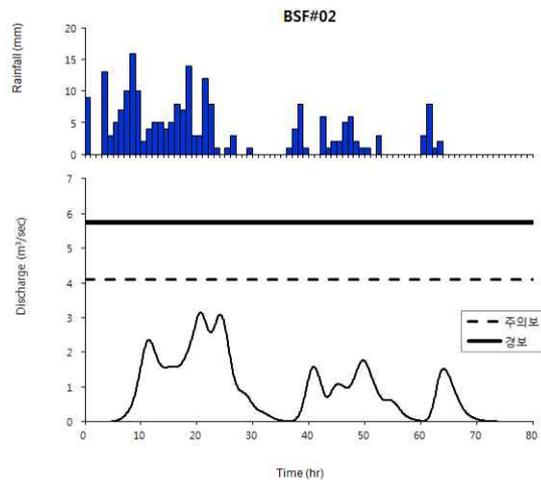
성주지구의 ST110623 강우사상의 강수량은 216 mm로 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과, BSF#01 지점에서 2.31 m<sup>3</sup>/s, BSF#02 지점에서 3.16 m<sup>3</sup>/s, BSF#03 지점에서 3.55 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 산정되었으며, 모든 지점에서 주의보 발령기준에도 미치지 않았다.

표 3-2-53 | 성주지구 ST110623 강우사상 모의 결과

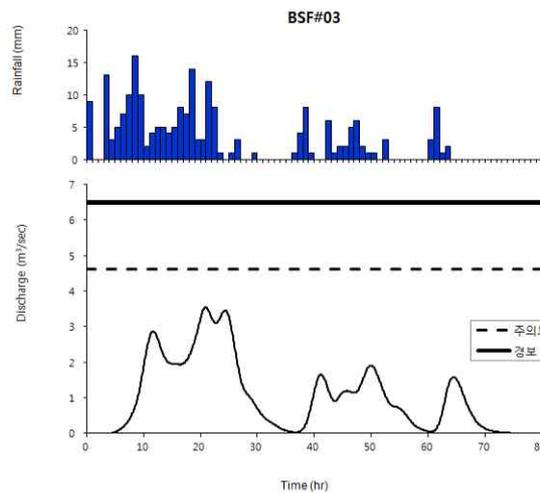
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
BSF#01	2.31	2.9	4.1	×
BSF#02	3.16	4.1	5.8	×
BSF#03	3.55	4.6	6.5	×



a) BSF#01 지점



b) BSF#02 지점



c) BSF#03 지점

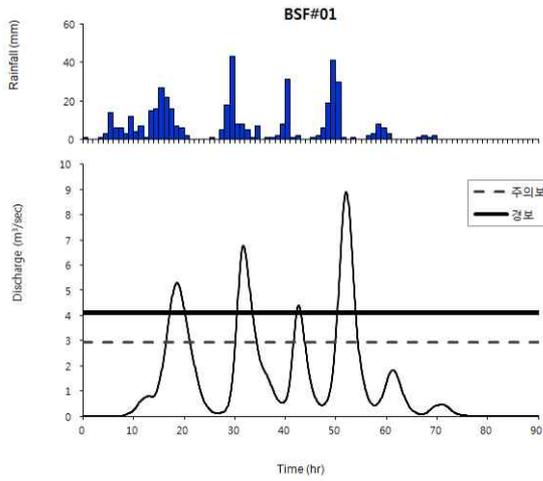
그림 3-2-43 | 성주지구 ST110623 강우사상의 지점별 모의 결과

③ ST110710 (2011/07/10 01:00 - 2011/07/12 23:00) 강우사상 모의 결과

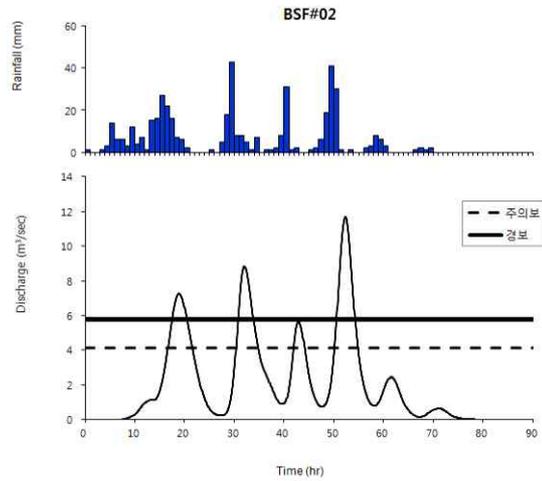
ST110710 강우사상의 강수량은 440 mm로 선정된 5개의 강우사상 중 강수량이 가장 많은 강우사상이다. ST110710 강우사상의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, 강우기간 동안 BSF#01 지점에서는 4차례나 경보기준인 4.1 m<sup>3</sup>/s를 상회하는 침투홍수량이 발생하였으며, BSF#02과 BSF#03 지점에서는 경보기준인 5.8 m<sup>3</sup>/s과 6.5 m<sup>3</sup>/s를 상회하는 침투홍수량이 3번씩 발생한 것으로 모의되었다.

표 3-2-54 | 성주지구 ST110710 강우사상 모의 결과

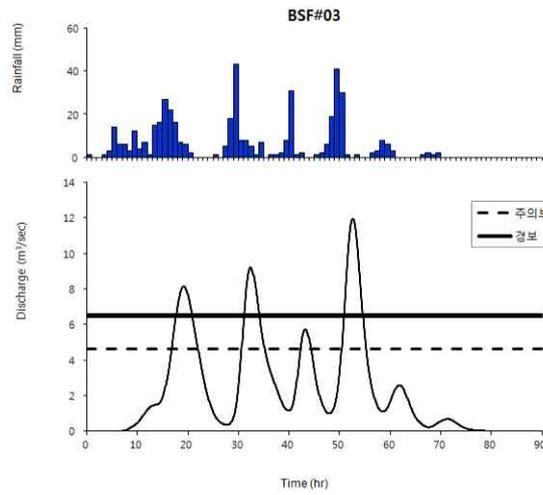
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
BSF#01	2.31	2.9	4.1	○
BSF#02	3.16	4.1	5.8	○
BSF#03	3.55	4.6	6.5	○



a) BSF#01 지점



b) BSF#02 지점



c) BSF#03 지점

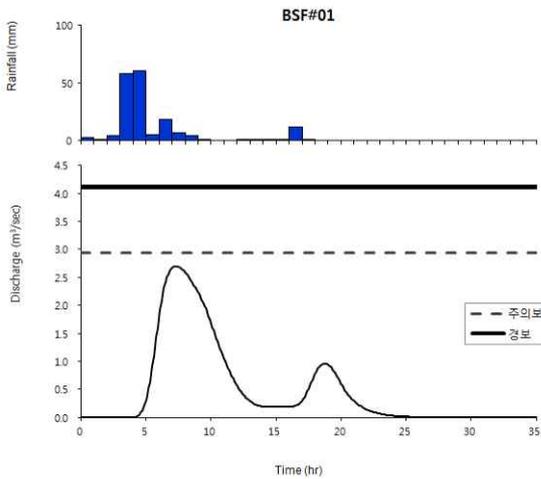
그림 3-2-44 | 성주지구 ST110710 강우사상의 지점별 모의 결과

④ ST110817 (2011/08/17 08:00 - 2011/08/18 01:00) 강우사상 모의 결과

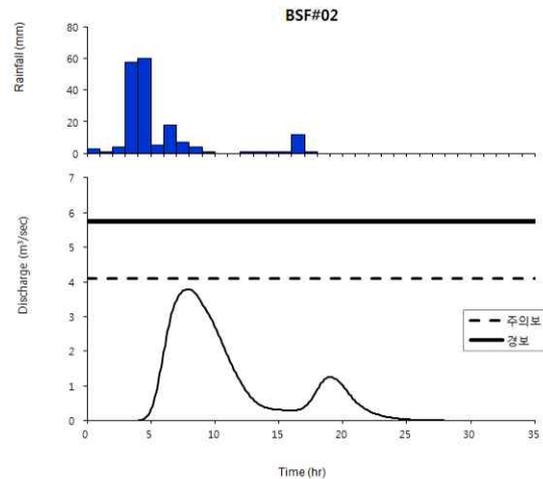
ST110817 강우사상의 강수량은 178 mm이나 강우강도는 9.9 mm/hr로 선정된 강우사상 중 강우강도가 가장 크다. ST110817 강우사상의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과, BSF#01과 BSF#02 지점에서는 주의보 발령기준에도 미치지 못하였으나, BSF#03 지점에서는 침투홍수량이 5.02 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발령기준인 4.6 m<sup>3</sup>/s를 상회하는 것으로 모의되었다.

표 3-2-55 | 성주지구 ST110817 강우사상 모의 결과

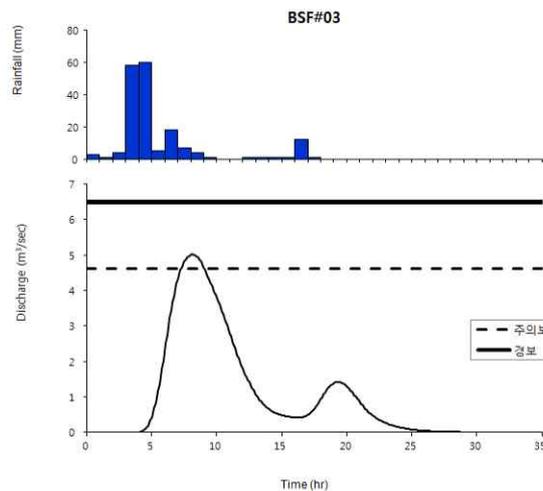
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
BSF#01	2.70	2.9	4.1	×
BSF#02	3.79	4.1	5.8	×
BSF#03	5.02	4.6	6.5	○



a) BSF#01 지점



b) BSF#02 지점



c) BSF#03 지점

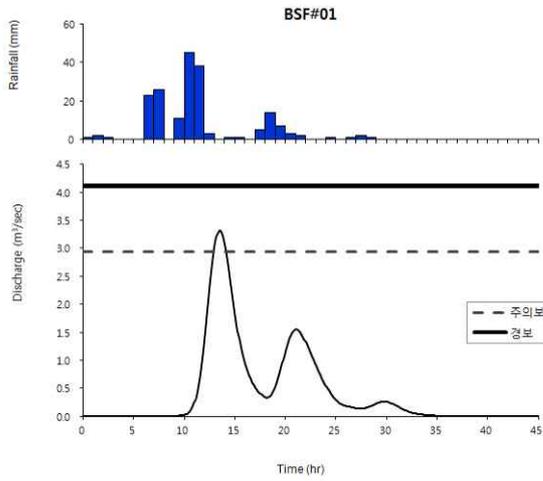
그림 3-2-45 | 성주지구 ST110817 강우사상의 지점별 모의 결과

⑤ ST130617 (2013/06/17 21:00 - 2013/06/19 01:00) 강우사상 모의 결과

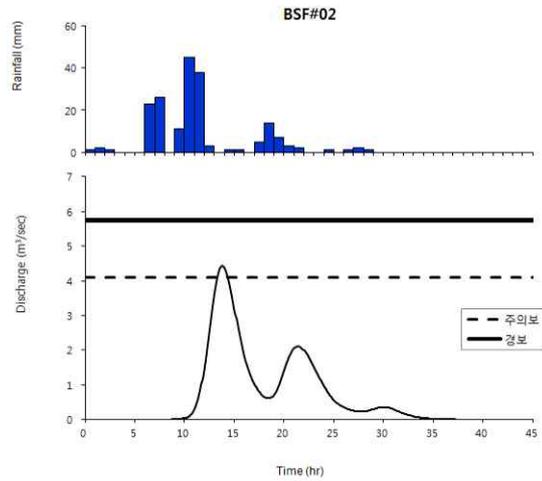
ST130617 강우사상(강수량 188 mm)의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하고 홍수 특보발령기준을 살펴본 결과, BSF#01 지점의 경우, 주의보 발령기준인 2.9 m<sup>3</sup>/s보다 0.41 m<sup>3</sup>/s 초과하는 3.31 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생, BSF#02 지점은 주의보 발령기준인 4.1 m<sup>3</sup>/s보다 0.33 m<sup>3</sup>/s 초과하는 4.43 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하였다. 하류인 BSF#03 지점도 주의보 발령기준인 4.6 m<sup>3</sup>/s보다 0.93 m<sup>3</sup>/s 초과하는 5.53 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생된 것으로 모의되었다.

표 3-2-56 | 성주지구 ST130617 강우사상 모의 결과

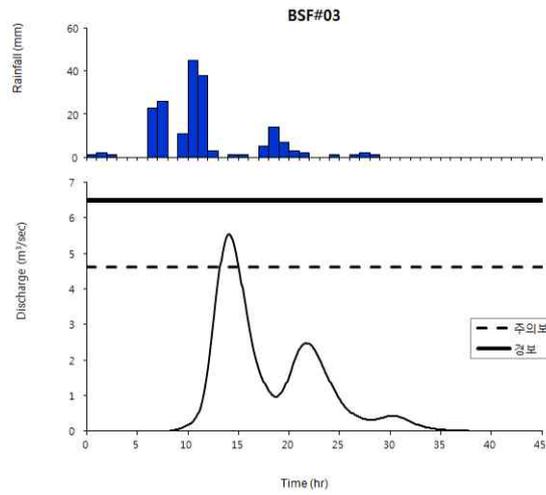
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
BSF#01	3.31	2.9	4.1	○
BSF#02	4.43	4.1	5.8	○
BSF#03	5.53	4.6	6.5	○



a) BSF#01 지점



b) BSF#02 지점



c) BSF#03 지점

그림 3-2-46 | 성주지구 ST130617 강우사상의 지점별 모의 결과

#### (4) 사신지구 (ASF)

##### (가) 현황조사 및 자료 구축

경상북도 안동시 녹전면 사신리에 위치한 사신지구 (ASF)는 유역면적 4.98 km<sup>2</sup>, 하천연장 4.25 km로 사신지구는 집중호우 시 호안유실과 월류피해 발생으로 농경지 등 침수피해가 발생하고 기존 시설물의 노후와 통수단면이 부족하여 집중호우 시 재해를 유발하는 곳으로 인명 및 재산피해가 우려되는 곳을 중심으로 4개의 소유역으로 구분하였다. 현장조사 자료와 기 수집한 기본주제도와 현장조사 자료를 바탕으로 각 소유역별 유역면적, 하천연장, 하천경사 등을 도출한 결과 비교적 하천경사가 완만하였으며, 수문학적 토양군은 A그룹이 주를 이루고 있었다. 다른 지구와 마찬가지로 Kirpich 공식을 활용하여 유역의 도달시간을 산정하고, CN값은 각각의 토지이용상태에 대하여 수문학적 토양군별로 선행토양함수조건을 고려하여 산출하였다. 시간별 강우자료는 예안2 지점, 기상자료는 안동 기상관측소자료를 수집하여 홍수량 산정을 위한 입력자료를 구축하였다.

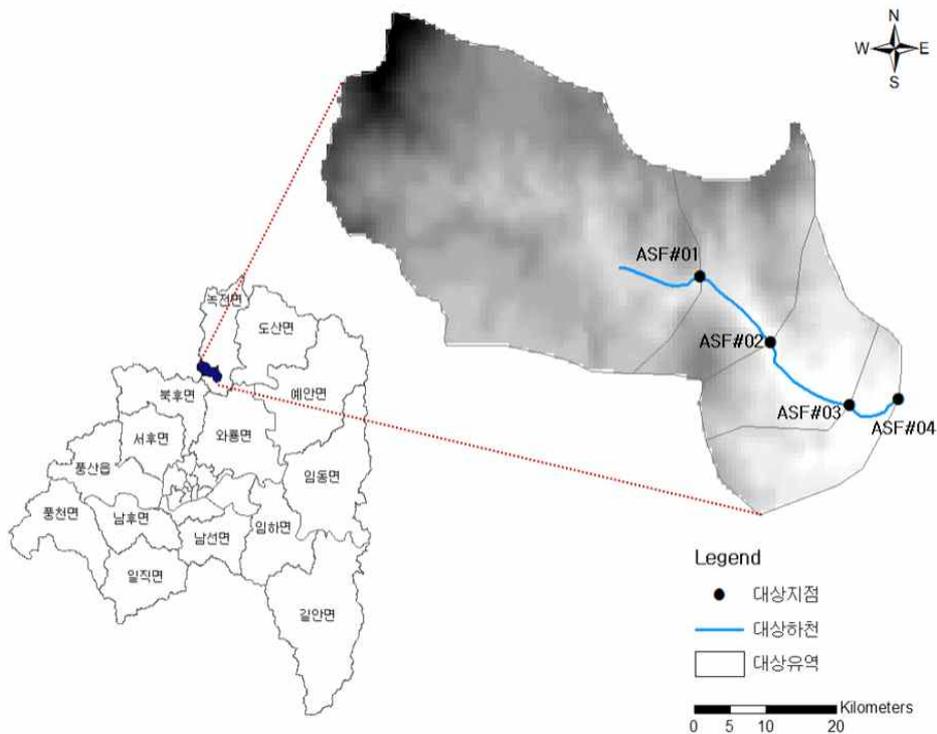


그림 3-2-47 | 사신지구 유역 개황

표 3-2-57 | 사신지구 지점별 입력자료

구 분		현 황					
공간적 범위		(상류) 경상북도 안동시 녹전면 사신리 706-1번지 일대					
		(하류) 경상북도 안동시 녹전면 사신리 445-1번지 일대					
		지점	ASF#01	ASF#02	ASF#03	ASF#04	
		경도	128°45'24"	128°45'41"	128°46'00"	128°46'12"	
		위도	36°42'37"	36°42'19"	36°42'07"	36°42'08"	
유역 특성 인자	지형 특성	유역면적(km <sup>2</sup> )	3.06	3.86	4.49	4.98	
	하천 특성	하천연장(m)	2,661	3,259	3,892	4,249	
		하천경사	0.07	0.08	0.07	0.06	
	수문 특성	C N 값	AMC-I	36.89	31.71	36.59	37.31
			AMC-II	58.19	52.51	57.87	58.63
			AMC-III	76.20	71.78	75.96	76.52
		도달시간(hr)	5.63	6.25	7.67	8.46	
	기상 특성	기상관측소 (KMA)	안동 (136)		자료보유 기간	1973/01 ~ 2015/07	
		우량관측소 (MOLIT)	예안2 (20014030)		자료보유 기간	1980/06 ~ 2015/07	

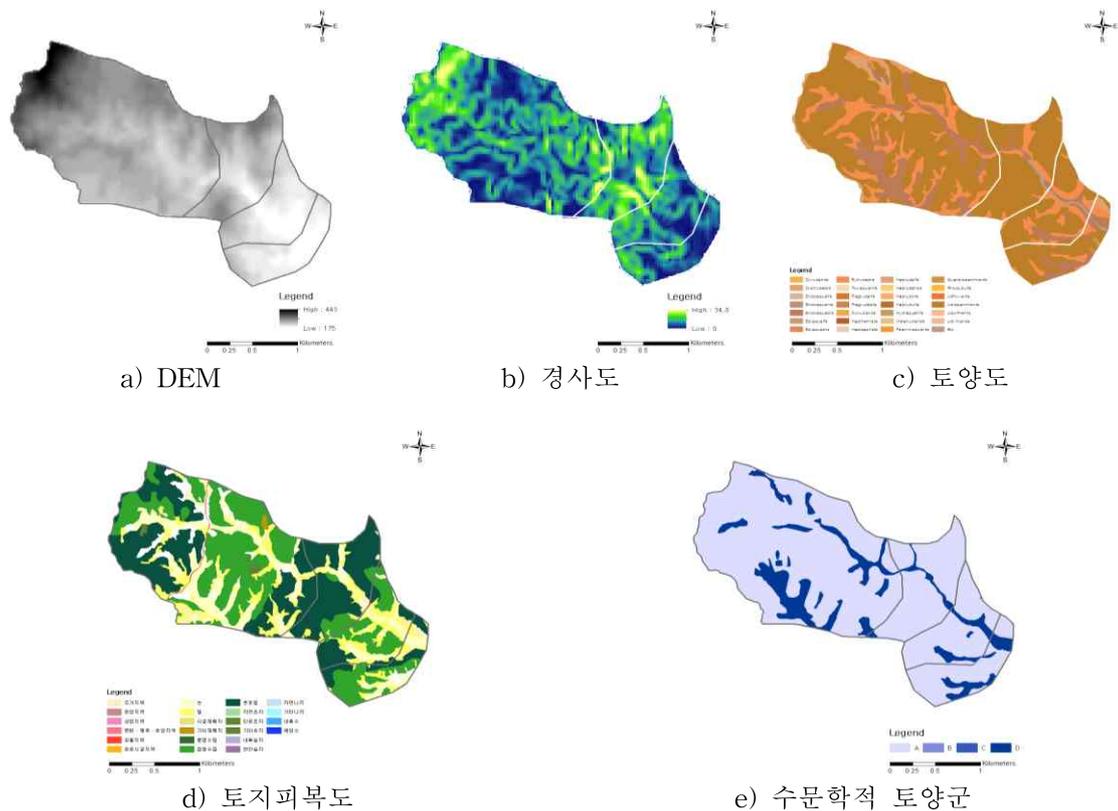


그림 3-2-48 | 사신지구 기본주제도



a) ASF#01 상류방향



b) ASF#01 하류방향



c) ASF#02 상류방향



d) ASF#03 하류방향



e) ASF#04 상류방향



f) ASF#04 하류방향

그림 3-2-49 | 사신지구 지점별 전경

(나) 설계강우량

설계강우량은 국토해양부(2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완연구”에서 결과로 제시한 주요 관측소 지점의 확률강우량, 확률강우강도, 시간분포, ARF 등을 추출할 수 있는 k-PRISM을 이용하였다. 사신지구는 유역에서 가장 가까운 위치한 안동 관측소의 24시간 설계강우량을 기준으로 Huff의 3분위법을 시간적 분포로 활용하여 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 그리고 200년에 대한 설계강우량 자료를 수집하였다.

표 3-2-58 | 성주지구 재현기간별 설계강우량 (보령 관측소)

재현기간 시간 (hr)	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.18	0.20	0.21	0.23	0.25	0.27
1.0	0.52	0.57	0.60	0.65	0.71	0.76
1.5	0.82	0.91	0.96	1.03	1.12	1.21
2.0	1.09	1.20	1.27	1.37	1.48	1.60
2.5	1.30	1.44	1.52	1.63	1.78	1.91
3.0	1.44	1.59	1.68	1.81	1.96	2.11
3.5	1.64	1.81	1.90	2.05	2.23	2.40
4.0	1.81	2.00	2.11	2.27	2.47	2.65
4.5	1.96	2.17	2.28	2.46	2.67	2.88
5.0	2.02	2.24	2.36	2.54	2.76	2.97
5.5	2.07	2.29	2.41	2.60	2.83	3.04
6.0	2.24	2.48	2.61	2.81	3.05	3.29
6.5	2.40	2.66	2.79	3.01	3.27	3.52
7.0	2.56	2.83	2.98	3.21	3.48	3.75
7.5	2.55	2.82	2.97	3.20	3.48	3.75
8.0	2.68	2.96	3.12	3.36	3.65	3.93
8.5	2.94	3.25	3.42	3.69	4.01	4.31
9.0	3.21	3.55	3.74	4.02	4.37	4.71
9.5	3.49	3.86	4.06	4.38	4.76	5.12
10.0	3.69	4.08	4.30	4.63	5.03	5.42
10.5	4.02	4.44	4.67	5.04	5.47	5.89
11.0	4.38	4.85	5.10	5.50	5.97	6.43
11.5	4.77	5.27	5.54	5.97	6.49	6.99
12.0	5.16	5.71	6.01	6.47	7.03	7.57
12.5	6.51	7.20	7.57	8.16	8.87	9.55
13.0	6.49	7.17	7.54	8.13	8.83	9.51
13.5	6.44	7.12	7.49	8.07	8.77	9.44
14.0	6.37	7.04	7.41	7.98	8.67	9.33
14.5	6.38	7.06	7.43	8.00	8.69	9.36
15.0	6.58	7.27	7.65	8.24	8.96	9.64
15.5	6.20	6.86	7.22	7.78	8.45	9.10
16.0	5.79	6.40	6.74	7.26	7.89	8.49
16.5	5.34	5.90	6.21	6.69	7.27	7.83
17.0	4.62	5.10	5.37	5.79	6.29	6.77
17.5	3.91	4.32	4.55	4.90	5.32	5.73
18.0	3.60	3.98	4.19	4.52	4.91	5.28
18.5	3.27	3.62	3.81	4.10	4.46	4.80
19.0	2.92	3.23	3.40	3.66	3.98	4.28
19.5	2.16	2.39	2.52	2.71	2.95	3.17
20.0	1.74	1.92	2.02	2.18	2.37	2.55
20.5	1.61	1.78	1.88	2.02	2.20	2.36
21.0	1.48	1.63	1.72	1.85	2.01	2.16
21.5	1.33	1.47	1.55	1.67	1.82	1.95
22.0	1.18	1.30	1.37	1.48	1.61	1.73
22.5	1.02	1.13	1.19	1.28	1.39	1.49
23.0	0.85	0.94	0.99	1.07	1.16	1.25
23.5	0.67	0.74	0.78	0.84	0.92	0.99
24.0	0.49	0.54	0.57	0.61	0.66	0.71

(다) 설계강우량에 따른 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

사신지구 4개 소유역의 설계빈도별 홍수량을 산정한 결과는 표 3-2-59, 그림 3-2-50과 같다. 본 연구에서 결정한 10년 계획빈도의 홍수량 주의보 및 경보 발령기준을 살펴본 결과, ASF#01 지점의 경우 주의보 1.9 m<sup>3</sup>/s, 경보 2.6 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점은 주의보 1.8 m<sup>3</sup>/s, 경보 2.5 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점은 주의보 2.4 m<sup>3</sup>/s, 경보 3.4 m<sup>3</sup>/s였으며, 하류인 ASF#04 지점은 주의보 2.7 m<sup>3</sup>/s, 경보 3.8 m<sup>3</sup>/s를 각각 발령 기준으로 설정할 수 있었다.

표 3-2-59 | 사신지구 지점별/재현기간별 홍수 주의보 및 경보 발령기준

구분	ASF#01		ASF#02		ASF#03		ASF#04	
	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보	주의보	경보
10yr	1.9	2.6	1.8	2.5	2.4	3.4	2.7	3.8
20yr	2.3	3.2	2.2	3.1	3.0	4.2	3.3	4.6
30yr	2.5	3.6	2.5	3.4	3.3	4.6	3.6	5.1
50yr	2.9	4.1	2.9	4.0	3.8	5.3	4.2	5.8
100yr	3.4	4.8	3.4	4.8	4.4	6.2	4.9	6.8
200yr	3.9	5.4	3.9	5.5	5.1	7.1	5.5	7.7

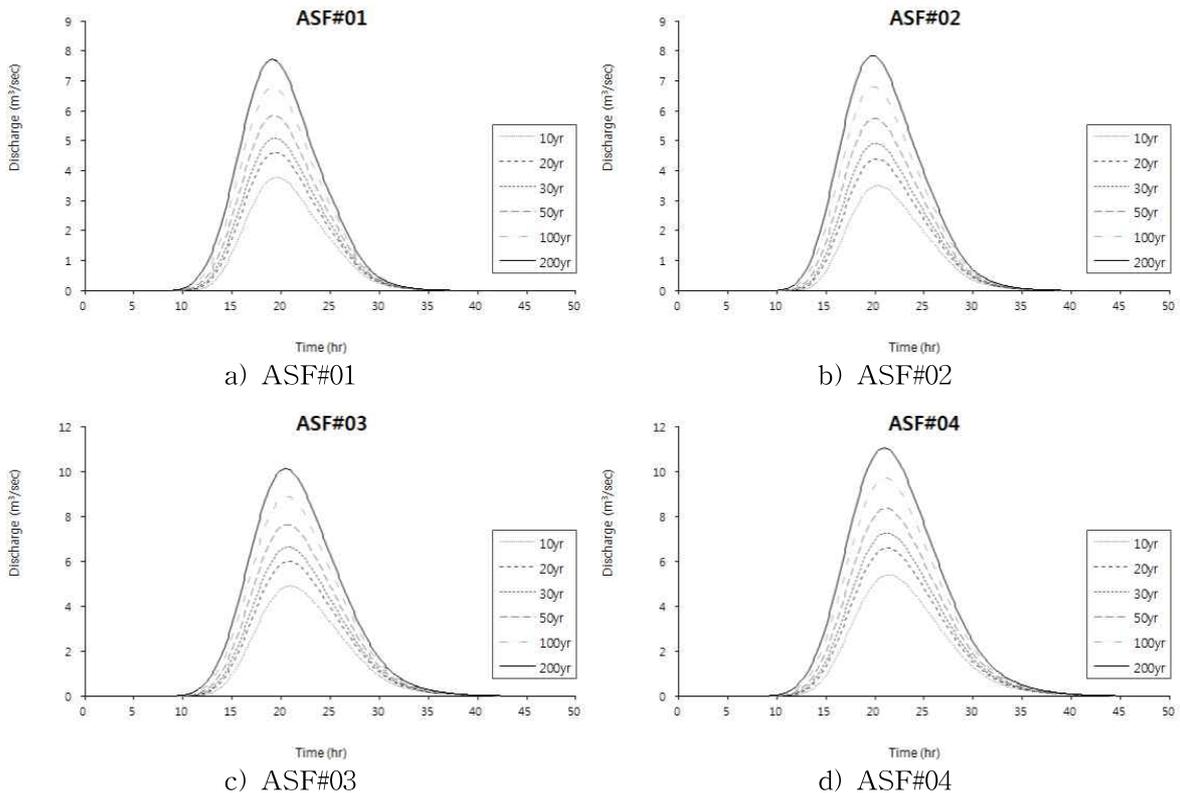


그림 3-2-50 | 사신지구 지점별/설계빈도별 설계홍수량 모의 결과

(라) 기왕강우에 의한 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

예안2 관측소의 시간별 강우관측자료를 이용하여 최근 5년 (2010~2015)동안 강우자료 중에서 단일 강우사상 중 비교적 강우량이 많은 5개 사상을 선정하였다. 선정된 강우사상들의 강우량은 최소 111 mm에서 최대 240 mm의 범위를 가지고 있었으며 모두 AMC-I 조건으로 분류되었다.

표 3-2-60 | 사신지구 강우사상 선정 결과

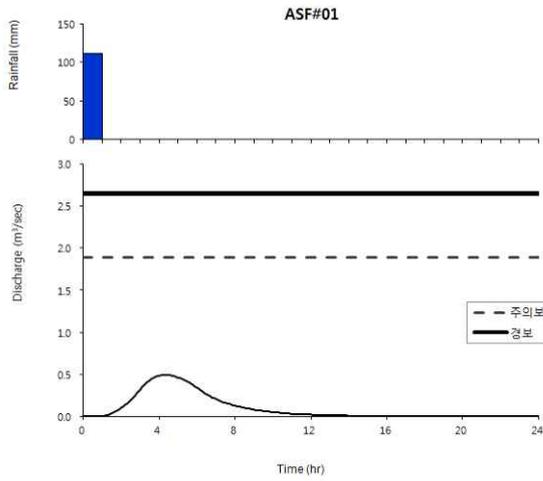
강우사상		강우기간	강수량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST110511	2011/05/11 11:00	111	111	I
2	ST110623	2011/06/23 24:00 - 2011/06/26 20:00	240	3.5	I
3	ST120812	2012/08/12 13:00 - 2012/08/13 13:00	138	5.5	I
4	ST130618	2013/06/18 02:00 - 2013/06/19 06:00	133	4.6	I
5	ST140817	2014/08/17 21:00 - 2014/08/20 03:00	144	2.6	I

① ST110511 (2011/05/11 11:00) 강우사상 모의 결과

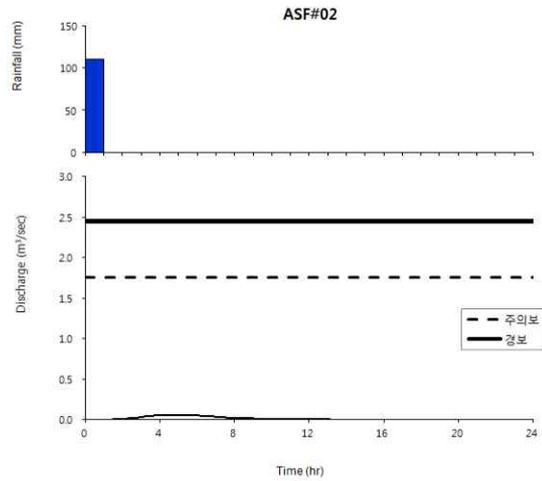
사신지구의 ST110511 강우사상의 경우 1시간동안 111 mm가 내린 강우사상으로 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과, 4개 지점 모두 주의보 발령기준에는 도달하지 않는 것으로 모의되었다.

표 3-2-61 | 사신지구 ST110511 강우사상 모의 결과

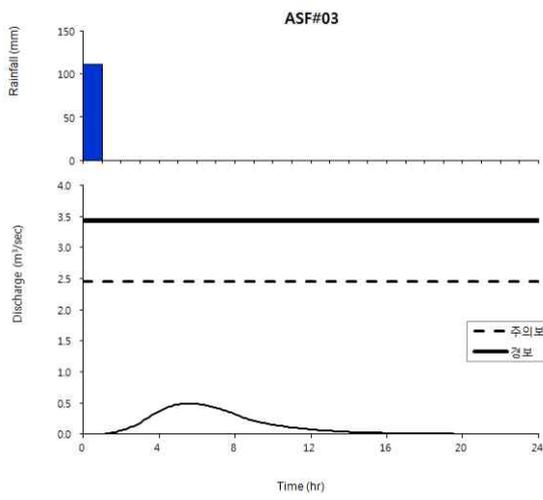
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
ASF#01	0.49	1.9	2.6	×
ASF#02	0.06	1.8	2.5	×
ASF#03	0.49	2.4	3.4	×
ASF#04	0.59	2.7	3.8	×



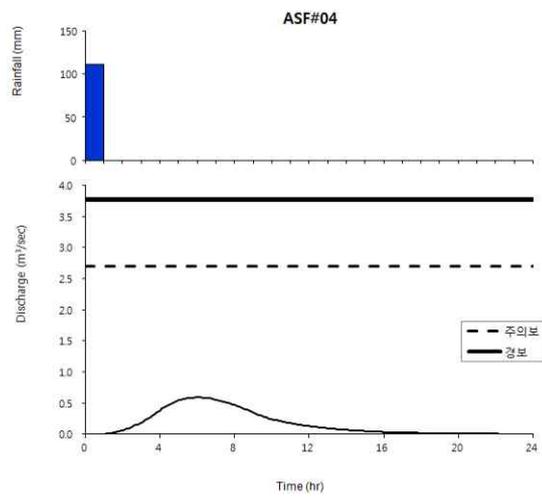
a) ASF#01 지점



b) ASF#02 지점



c) ASF#03 지점



d) ASF#04 지점

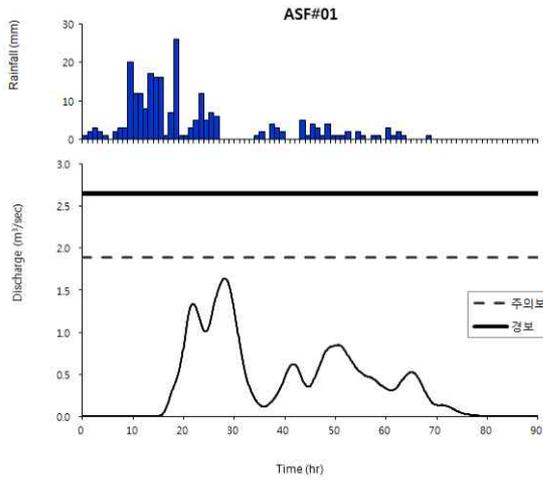
그림 3-2-51 | 사신지구 ST110511 강우사상의 지점별 모의 결과

② ST110623 (2011/06/23 24:00 - 2011/06/26 20:00) 강우사상 모의 결과

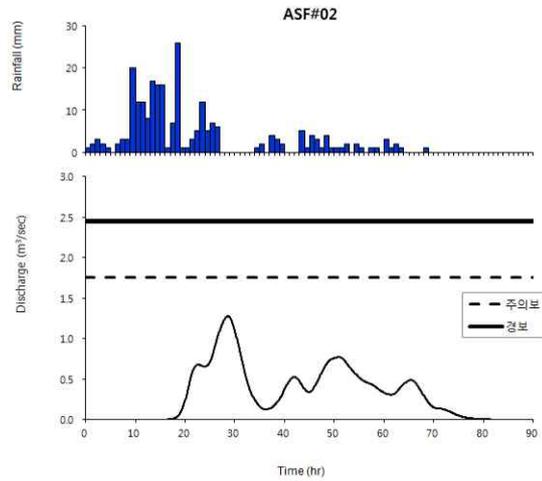
사신지구의 ST110623 강우사상의 경우 강수량이 240 mm로 선정된 5개 강우사상 중 강수량이 가장 많은 강우사상이다. 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하고 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, 강우기간 동안 ASF#01 지점은 1.64 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점은 1.28 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점은 2.13 m<sup>3</sup>/s, ASF#04 지점은 2.40 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하였으며, 4개 지점 모두 주의보 발령기준에는 미치지 않았다.

표 3-2-62 | 사신지구 ST110623 강우사상 모의 결과

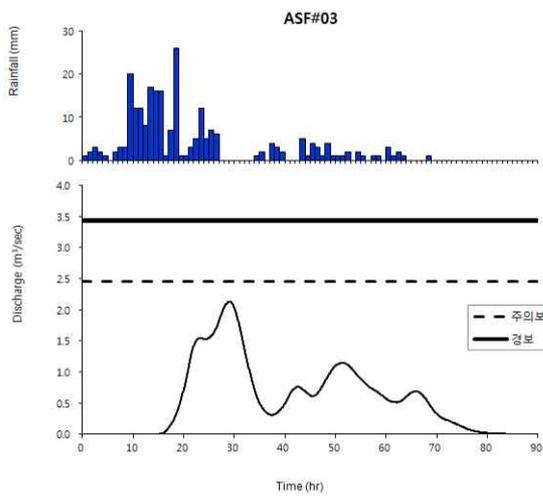
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
ASF#01	1.64	1.9	2.6	×
ASF#02	1.28	1.8	2.5	×
ASF#03	2.13	2.4	3.4	×
ASF#04	2.40	2.7	3.8	×



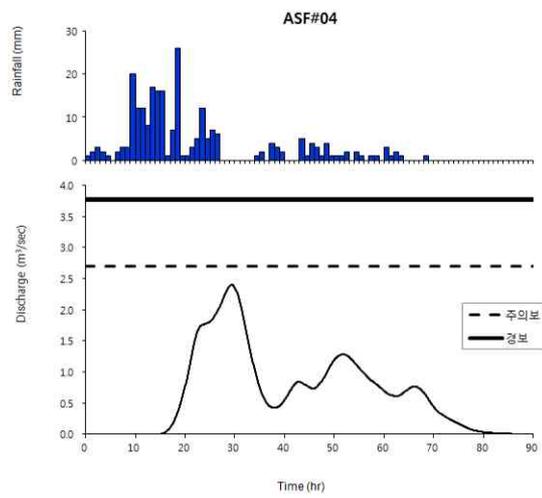
a) ASF#01 지점



b) ASF#02 지점



c) ASF#03 지점



d) ASF#04 지점

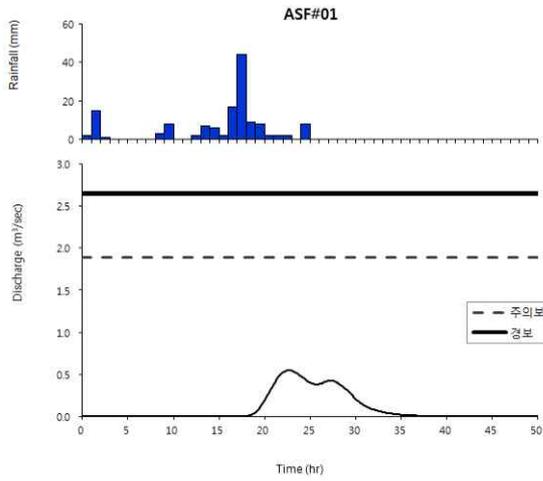
그림 3-2-52 | 사신지구 ST110623 강우사상의 지점별 모의 결과

③ ST120812 (2012/08/12 13:00 - 2012/08/13 13:00) 강우사상 모의 결과

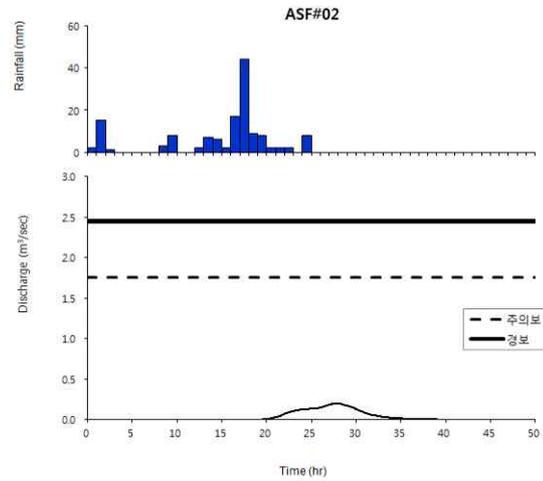
ST120812 강우사상(강수량 138 mm)의 10년 빈도 홍수량을 모의하고 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, 강우기간 동안 ASF#01 지점 0.55 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점 0.20 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점 0.62 m<sup>3</sup>/s, ASF#04 지점 0.74 m<sup>3</sup>/s의 첨두홍수량이 발생하였으며, 각각 주의보 발령기준에는 ASF#01 지점 1.35 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점 1.60 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점 1.78 m<sup>3</sup>/s, ASF#04 지점 1.96 m<sup>3</sup>/s만큼 차이를 보였다.

표 3-2-63 | 사신지구 ST120812 강우사상 모의 결과

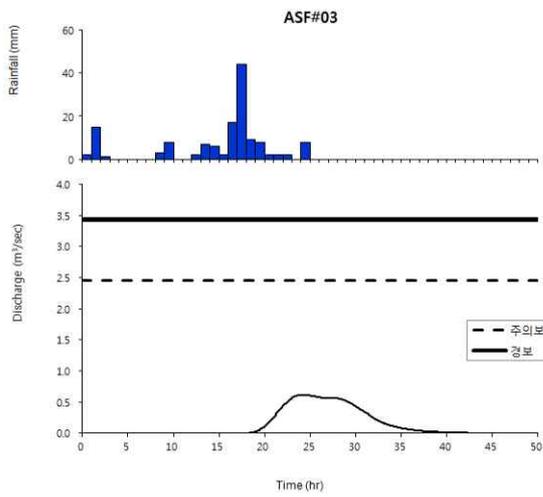
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
ASF#01	0.55	1.9	2.6	×
ASF#02	0.20	1.8	2.5	×
ASF#03	0.62	2.4	3.4	×
ASF#04	0.74	2.7	3.8	×



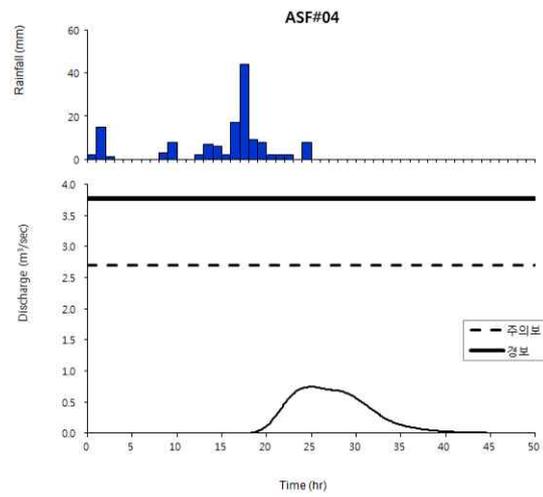
a) ASF#01 지점



b) ASF#02 지점



c) ASF#03 지점



d) ASF#04 지점

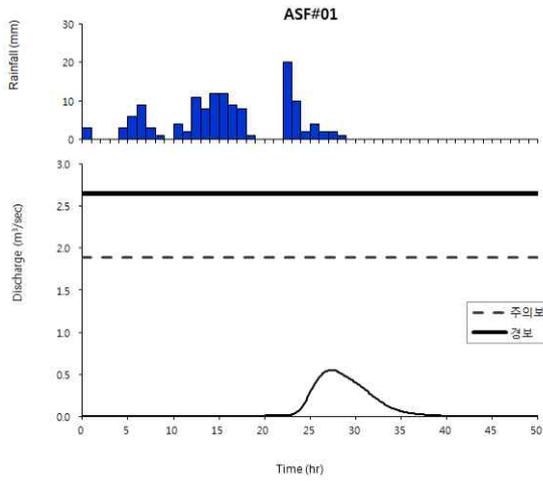
그림 3-2-53 | 사신지구 ST120812 강우사상의 지점별 모의 결과

④ ST130618 (2013/06/18 02:00 - 2013/06/19 06:00) 강우사상 모의 결과

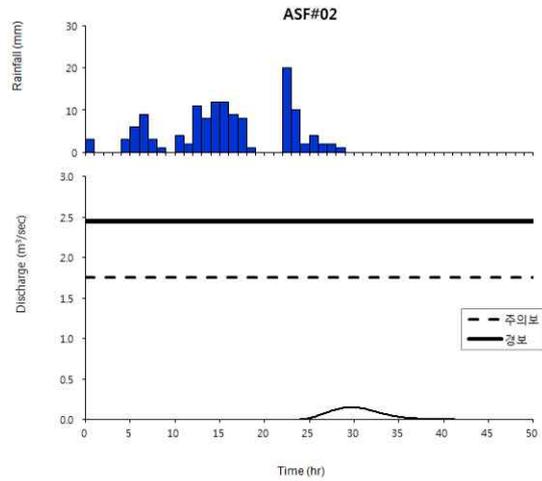
사신지구의 ST130618 강우사상(강수량 133 mm)의 10년 빈도 홍수량을 모의하고 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, 앞서 모의한 3가지 강우사상과 마찬가지로 모든 지점에서 주의보 발령기준에도 미치지 않는 것으로 모의되었다. 주의보 발령기준과 ASF#01 지점 1.35 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점 1.65 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점 1.76 m<sup>3</sup>/s, ASF#04 지점 1.93 m<sup>3</sup>/s만큼 차이를 보였다.

표 3-2-64 | 사신지구 ST130618 강우사상 모의 결과

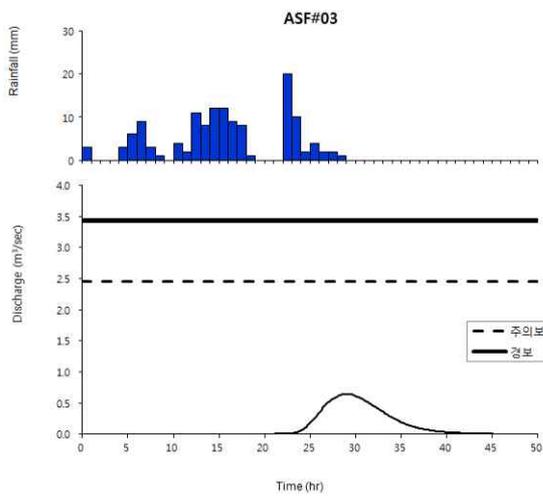
지점명	첨두홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
ASF#01	0.55	1.9	2.6	×
ASF#02	0.15	1.8	2.5	×
ASF#03	0.64	2.4	3.4	×
ASF#04	0.77	2.7	3.8	×



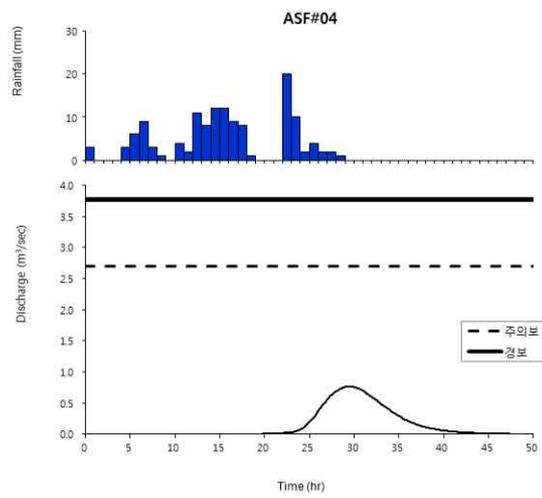
a) ASF#01 지점



b) ASF#02 지점



c) ASF#03 지점



d) ASF#04 지점

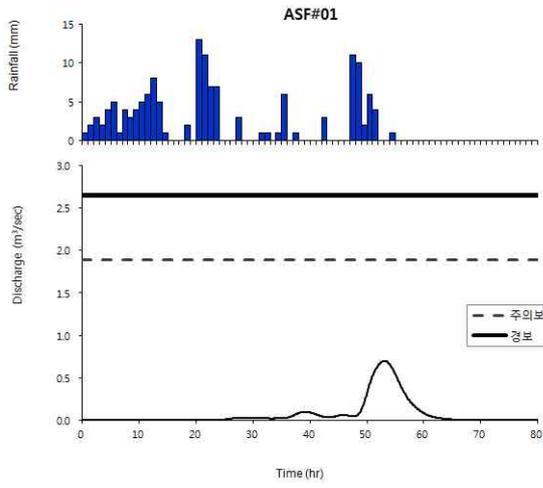
그림 3-2-54 | 사신지구 ST130618 강우사상의 지점별 모의 결과

⑤ ST140817 (2014/08/17 21:00 - 2014/08/20 03:00) 강우사상 모의 결과

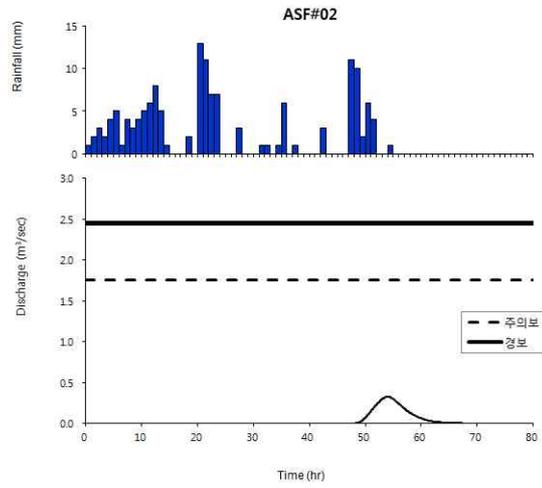
ST140817 강우사상(강수량 144 mm)도 앞서 모의한 강우사상들과 마찬가지로 10년 빈도 홍수량을 모의하고 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, ASF#01 지점 0.70 m<sup>3</sup>/s, ASF#02 지점 0.33 m<sup>3</sup>/s, ASF#03 지점 0.85 m<sup>3</sup>/s, ASF#04 지점 0.97 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하였으며, 모든 지점에서 주의보 발령기준에도 도달하지 않는 것으로 모의되었다.

표 3-2-65 | 사신지구 ST130618 강우사상 모의 결과

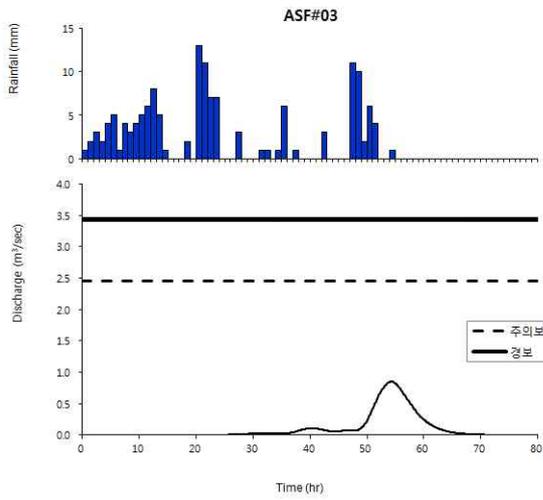
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
ASF#01	0.70	1.9	2.6	×
ASF#02	0.33	1.8	2.5	×
ASF#03	0.85	2.4	3.4	×
ASF#04	0.97	2.7	3.8	×



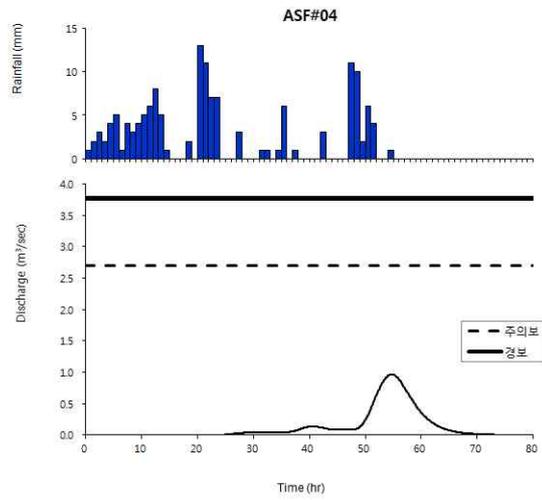
a) ASF#01 지점



b) ASF#02 지점



c) ASF#03 지점



d) ASF#04 지점

그림 3-2-55 | 사신지구 ST130618 강우사상의 지점별 모의 결과

(5) 추암지구 (JCF)

(가) 현황조사 및 자료 구축

추암지구 (JCF)는 전라남도 장성군 서삼면 추암리에 위치한 장성 축령산 자연휴양림(편백나무숲)부터 추암저수지 사이의 유역면적 1.9 km<sup>2</sup>, 하천연장 1.8km에 해당하는 작은 유역이다. 매우 작은 유역이지만 유역내에는 추암마을, 민박집, 펜션 등이 매우 밀집하고 있어 홍수발생 시 인명 및 재산피해가 우려된다. 현장조사 자료와 기본주제도를 바탕으로 각 소유역별 유역면적, 하천연장, 하천경사 등을 도출하고, 유역의 도달시간은 Kirpich 공식을 활용하여 산정하였으며, JCF#02 지점의 도달시간은 2.76 hr으로 산정되었다. CN값은 각각의 토지이용상태에 대하여 수문학적 토양군별로 선행토양함수조건을 고려하여 산출하였으며, 기상자료는 광주 기상관측소 자료를 수집하였다. 시간별 강수량 자료의 경우 북이 관측소보다 장성댐 관측소가 유역에 더 가까이 위치하였으나 결측값이 몇 달간 존재한 장성댐 관측소를 제외하고, 결측값이 없는 북이관측소의 시간별 강우관측자료를 수집하여 TR-20 모형 구동을 위한 입력자료를 구축하였다.

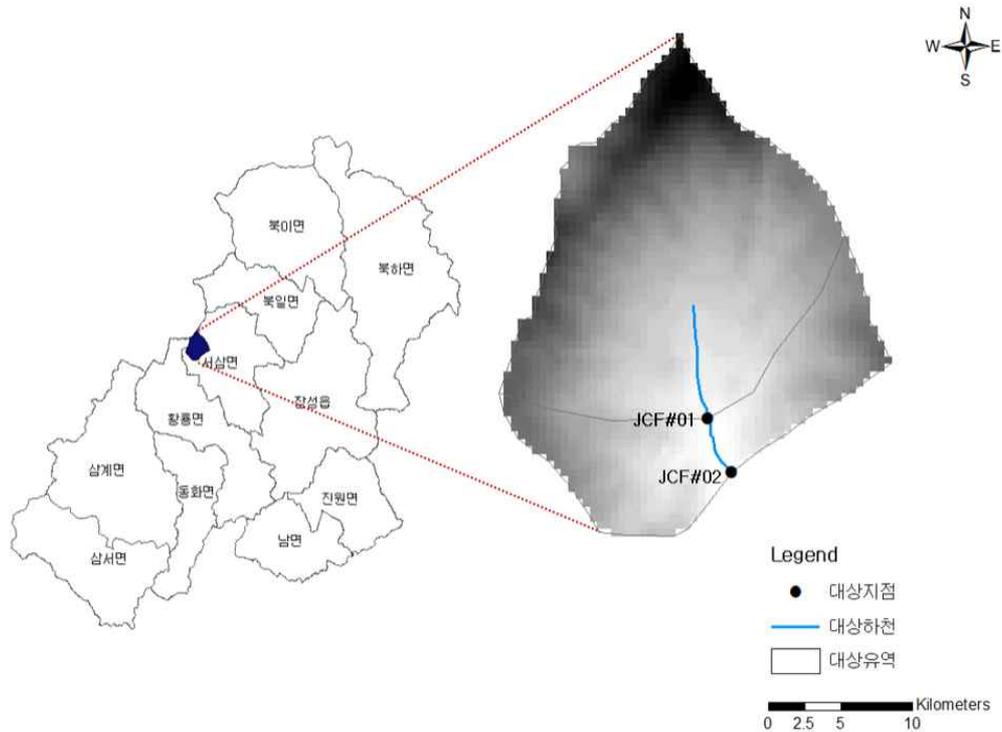


그림 3-2-56 | 추암지구 유역 개황

표 3-2-66 | 추암지구 지점별 입력자료

구분		현황			
공간적 범위		(상류) 전라남도 장성군 서삼면 추암리 686-2번지 일대			
		(하류) 전라남도 장성군 서삼면 추암리 1084-1번지 일대			
		지점	JCF#01	JCF#02	
		경도	126°43'47"	126°43'51"	
		위도	35°21'12"	35°21'05"	
유역 특성인자	지형 특성	유역면적(km <sup>2</sup> )	1.33	1.90	
	하천 특성	하천연장(m)	1,559	1,800	
		하천경사	0.22	0.20	
	수문 특성	C N 값	AMC-I	37.62	30.43
			AMC-II	58.95	51.01
			AMC-III	76.76	70.55
		도달시간(hr)	2.39	2.76	
기상 특성	기상관측소 (KMA)	광주 (156)	자료보유 기간	1960/01 ~ 2015/07	
	우량관측소 (MOLIT)	북이 (50024020)	자료보유 기간	1980/06 ~ 2015/07	

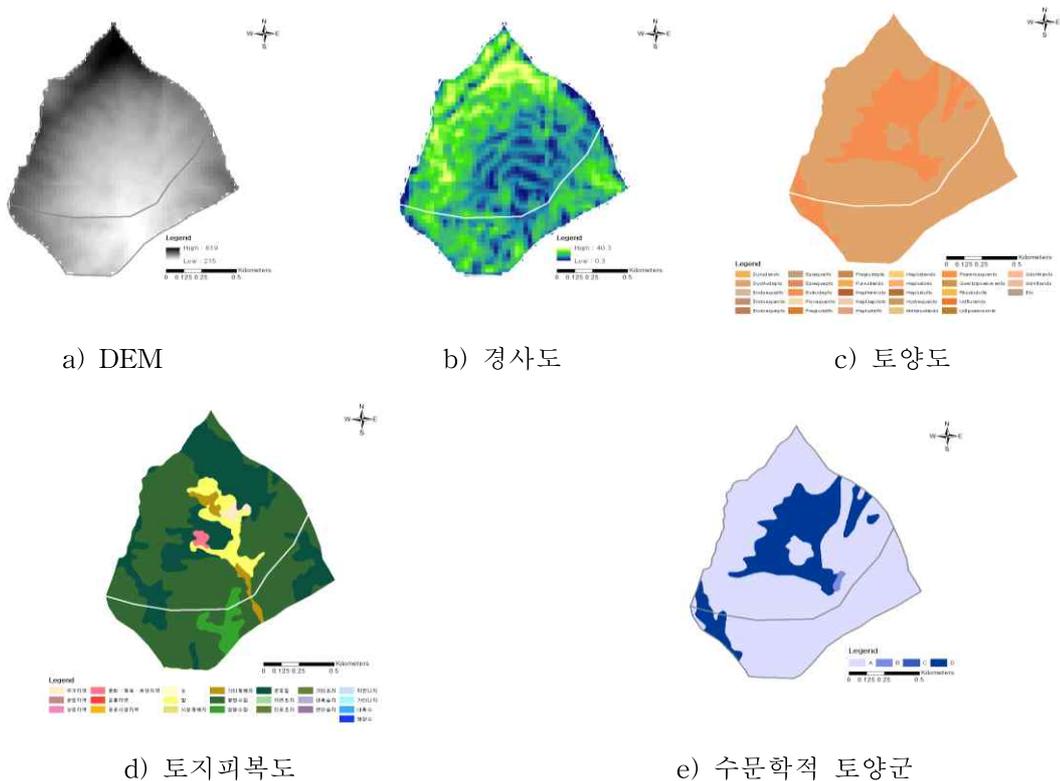


그림 3-2-57 | 추암지구 기본주제도



a) JCF#01 상류방향



b) JCF#01 하류방향



c) JCF#02 상류방향



d) JCF#02 하류방향

그림 3-2-58 | 추암지구 지점별 전경

(나) 설계강수량

설계강수량은 국토해양부(2011)의 “확률강수량도 개선 및 보완연구”에서 결과로 제시한 주요 관측소 지점의 확률강수량, 확률강우강도, 시간분포, ARF 등을 추출할 수 있는 k-PRISM을 이용하였다. 추암지구는 유역에서 가장 가까운 광주 관측소의 24시간 설계강수량을 기준으로 Huff의 3분위법을 시간적 분포로 활용하여 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 그리고 200년에 대한 설계강수량 자료를 수집하였다.

표 3-2-67 | 추암지구 재현기간별 설계강우량 (광주 관측소)

재현기간 시간 (hr)	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.29	0.33	0.36	0.39	0.43	0.47
1.0	0.83	0.95	1.02	1.10	1.22	1.34
1.5	1.30	1.48	1.59	1.73	1.91	2.10
2.0	1.70	1.95	2.09	2.27	2.51	2.75
2.5	1.99	2.29	2.45	2.66	2.95	3.23
3.0	2.14	2.45	2.63	2.86	3.16	3.47
3.5	2.41	2.76	2.96	3.22	3.56	3.90
4.0	2.64	3.03	3.25	3.53	3.90	4.27
4.5	2.83	3.25	3.48	3.78	4.18	4.58
5.0	2.83	3.24	3.48	3.78	4.18	4.58
5.5	2.81	3.22	3.45	3.75	4.15	4.54
6.0	3.05	3.50	3.76	4.08	4.51	4.95
6.5	3.30	3.78	4.06	4.41	4.88	5.34
7.0	3.54	4.06	4.36	4.73	5.24	5.74
7.5	3.48	3.99	4.28	4.65	5.14	5.64
8.0	3.68	4.22	4.53	4.92	5.44	5.96
8.5	4.15	4.76	5.11	5.54	6.13	6.72
9.0	4.65	5.33	5.72	6.21	6.86	7.52
9.5	5.17	5.93	6.36	6.90	7.64	8.37
10.0	5.92	6.79	7.29	7.92	8.76	9.59
10.5	6.45	7.40	7.94	8.62	9.53	10.45
11.0	6.93	7.95	8.53	9.26	10.24	11.22
11.5	7.43	8.51	9.14	9.92	10.98	12.03
12.0	7.94	9.10	9.77	10.60	11.73	12.85
12.5	9.76	11.19	12.01	13.04	14.42	15.80
13.0	9.67	11.09	11.90	12.92	14.29	15.66
13.5	9.54	10.94	11.74	12.75	14.10	15.45
14.0	9.37	10.75	11.53	12.52	13.85	15.18
14.5	9.31	10.67	11.45	12.43	13.75	15.07
15.0	9.46	10.84	11.63	12.63	13.97	15.31
15.5	8.88	10.18	10.93	11.86	13.12	14.38
16.0	8.24	9.45	10.14	11.01	12.18	13.35
16.5	7.55	8.65	9.29	10.08	11.16	12.22
17.0	6.39	7.32	7.86	8.53	9.44	10.34
17.5	5.26	6.04	6.48	7.03	7.78	8.52
18.0	4.85	5.56	5.97	6.48	7.17	7.85
18.5	4.40	5.05	5.42	5.88	6.51	7.13
19.0	3.92	4.50	4.83	5.24	5.80	6.36
19.5	2.95	3.39	3.63	3.94	4.36	4.78
20.0	2.38	2.73	2.93	3.18	3.52	3.85
20.5	2.17	2.49	2.67	2.90	3.20	3.51
21.0	1.94	2.23	2.39	2.60	2.87	3.15
21.5	1.71	1.96	2.10	2.28	2.52	2.76
22.0	1.45	1.67	1.79	1.94	2.15	2.35
22.5	1.19	1.36	1.46	1.59	1.76	1.93
23.0	0.91	1.04	1.12	1.22	1.35	1.48
23.5	0.62	0.71	0.76	0.83	0.92	1.00
24.0	0.31	0.36	0.39	0.42	0.46	0.51

(다) 설계강우량에 따른 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

추암지구 2개 소유역의 설계빈도별 홍수량을 산정한 결과는 표 3-2-68과 그림 3-2-59와 같다. 상류인 JCF#01 지점의 경우 10년 빈도 침투홍수량은 4.0 m<sup>3</sup>/s로 주의보는 2.0 m<sup>3</sup>/s, 경보는 2.8 m<sup>3</sup>/s가 발령기준이 되며, 20년 빈도는 주의보 2.5 m<sup>3</sup>/s, 경보 2.8 m<sup>3</sup>/s, 50년 빈도는 주의보 3.1 m<sup>3</sup>/s, 경보 4.4 m<sup>3</sup>/s, 200년빈도는 주의보 4.1 m<sup>3</sup>/s, 경보 5.7 m<sup>3</sup>/s을 발령기준으로 설정하였다. 하류인 JCF#02 지점은 본 연구에서 채택한 10년 빈도 침투홍수량이 4.3 m<sup>3</sup>/s으로 주의보는 2.2 m<sup>3</sup>/s, 경보는 3.0 m<sup>3</sup>/s일 때 발령되도록 설정하였다.

표 3-2-68 | 추암지구 지점별/재현기간별 홍수 주의보 및 경보 발령기준

구분	JCF#01		JCF#02	
	주의보	경보	주의보	경보
10yr	2.0	2.8	2.2	3.0
20yr	2.5	3.5	2.8	3.9
30yr	2.8	3.9	3.2	4.4
50yr	3.1	4.4	3.6	5.1
100yr	3.6	5.0	4.3	6.0
200yr	4.1	5.7	5.0	7.0

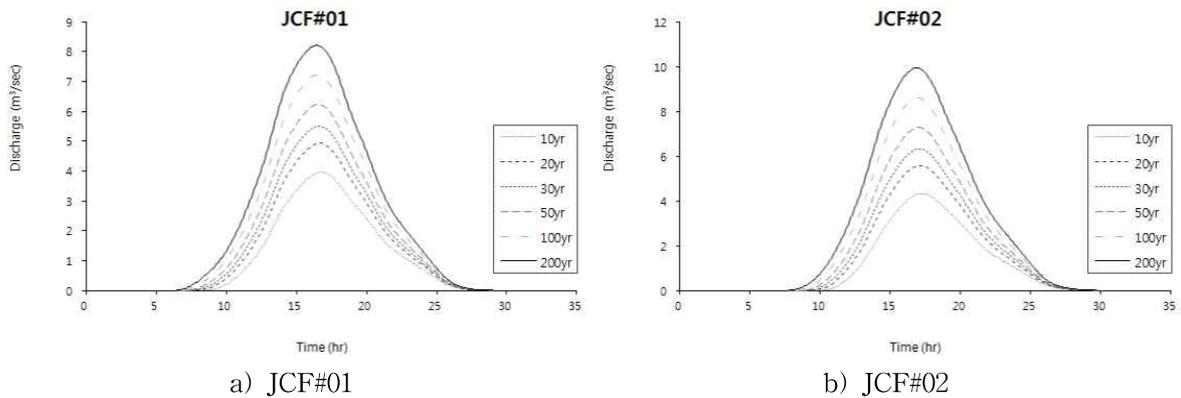


그림 3-2-59 | 추암지구 지점별/설계빈도별 설계홍수량 모의 결과

(라) 기왕강우에 의한 홍수량 모의 및 특보 발령기준 설정

북이 관측소의 시간별 강우관측자료를 이용하여 최근 5년 (2010~2015)동안 강우자료 중에서 단일 강우사상 중 비교적 강우량이 많은 5개 사상을 선정하였다. 선정된 강우사상들의 강우량은 최소 193 mm에서 최대 283 mm의 범위를 가지고 있었다.

표 3-2-69 | 사신지구 강우사상 선정 결과

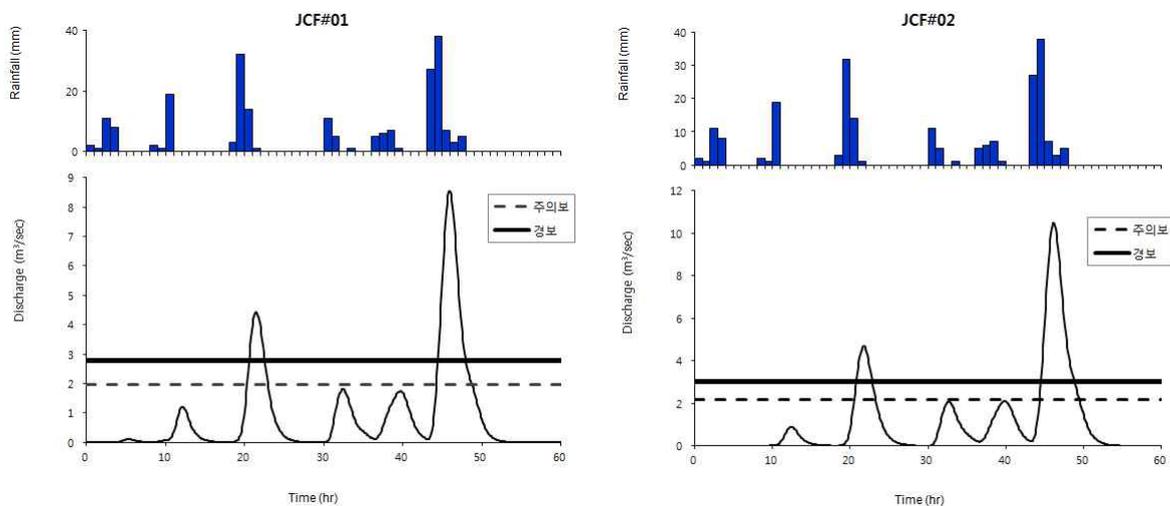
강우사상		강우기간	강수량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST100815	2010/08/15 07:00 - 2010/08/17 06:00	210	4.4	Ⅲ
2	ST110708	2011/07/08 06:00 - 2011/07/11 03:00	218	3.1	Ⅱ
3	ST110809	2011/08/09 06:00 - 2011/08/09 20:00	283	18.9	Ⅲ
4	ST130704	2013/07/04 17:00 - 2013/07/05 15:00	241	10.5	Ⅱ
5	ST130823	2013/08/23 07:00 - 2013/08/24 21:00	193	4.9	Ⅱ

① ST100815 (2010/08/15 07:00 - 2010/08/17 06:00) 강우사상 모의 결과

추암지구 ST100815 강우사상의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과, JCF#01 지점에서 8.56 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점에서 10.49 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생한 것으로 모의되었다. 두 지점 모두 경보 발령기준을 초과하였는데, JCF#01 지점은 경보 발령기준인 2.8 m<sup>3</sup>/s에 비해 5.76 m<sup>3</sup>/s 초과, JCF#02 지점은 경보 발령기준인 3.0 m<sup>3</sup>/s에 비하여 7.49 m<sup>3</sup>/s 초과한 것으로 모의되었다.

표 3-2-70 | 추암지구 ST100815 강우사상 모의 결과

지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
JCF#01	8.56	2.0	2.8	○
JCF#02	10.49	2.2	3.0	○



a) JCF#01 지점

b) JCF#02 지점

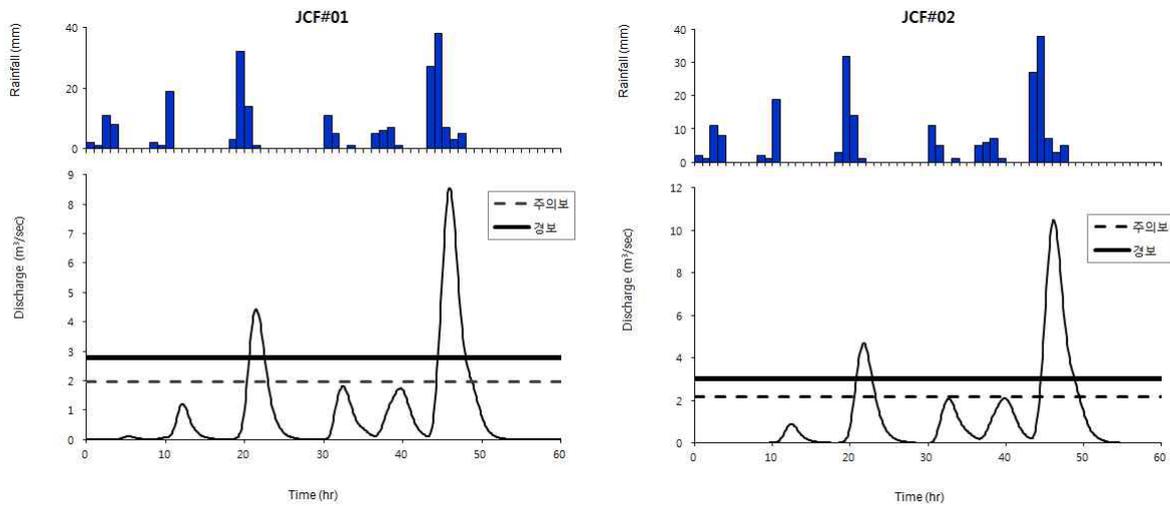
그림 3-2-60 | 추암지구 ST100815 강우사상의 지점별 모의 결과

② ST110708 (2011/07/08 06:00 - 2011/07/11 03:00) 강우사상 모의 결과

추암지구 ST110708 강우사상의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하여 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, JCF#01 지점에서 4.33 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점에서 4.53 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하여 두 지점 모두 경보 발령기준을 1.53 m<sup>3</sup>/s만큼 초과한 것으로 모의되었다.

표 3-2-71 | 추암지구 ST110708 강우사상 모의 결과

지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
JCF#01	4.33	2.0	2.8	○
JCF#02	4.53	2.2	3.0	○



a) JCF#01 지점

b) JCF#02 지점

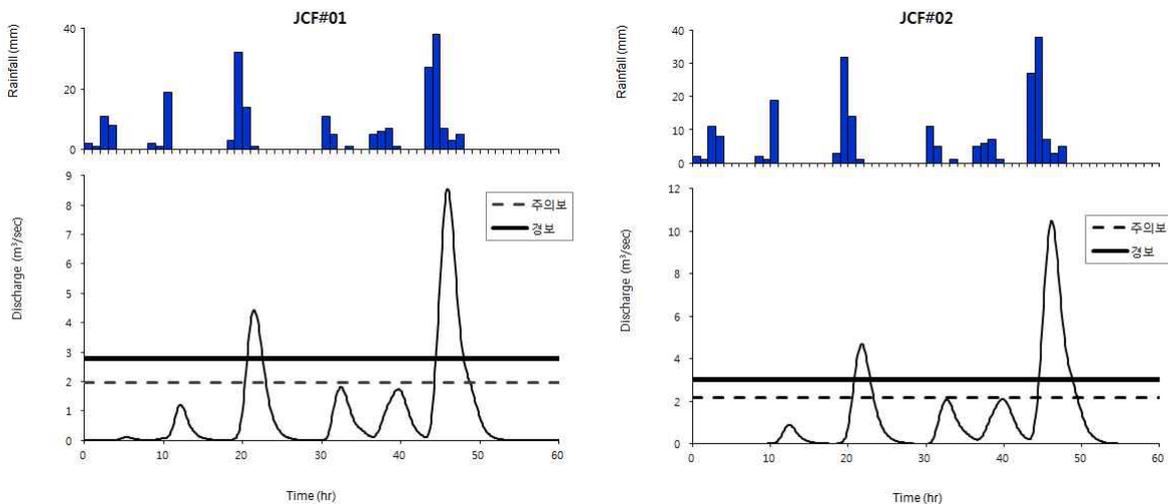
그림 3-2-61 | 추암지구 ST110708 강우사상의 지점별 모의 결과

③ ST110809 (2011/08/09 06:00 - 2011/08/09 20:00) 강우사상 모의 결과

추암지구 ST110809 강우사상의 경우 강수량이 283 mm로 선정된 5개 강우사상 중 강수량이 가장 많으며 강우강도도 18.9 mm/hr로 가장 큰 강우사상이다. ST110809 강우사상의 10년 빈도 홍수량을 모의하여 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, JCF#01 지점에서 11.90 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점에서 15.04 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하였으며 경보 발령기준에 비하여 JCF#01 지점은 9.1 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점은 12.04 m<sup>3</sup>/s만큼의 큰 차이를 보였다.

표 3-2-72 | 추암지구 ST110809 강우사상 모의 결과

지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
JCF#01	11.90	2.0	2.8	○
JCF#02	15.04	2.2	3.0	○



a) JCF#01 지점

b) JCF#02 지점

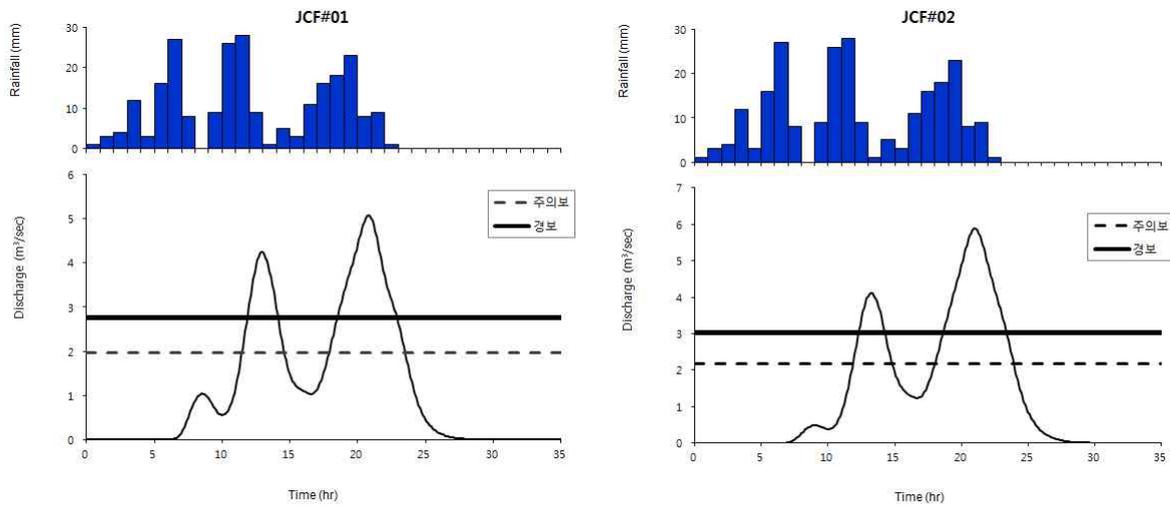
그림 3-2-62 | 추암지구 ST110809 강우사상의 지점별 모의 결과

④ ST130704 (2013/07/04 17:00 - 2013/07/05 15:00) 강우사상 모의 결과

ST130704 강우사상(강수량 241 mm)의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의하여 홍수 특보발표 기준을 살펴본 결과, JCF#01 지점에서 5.08 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점에서 5.89 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생하여 경보 발령기준을 2.28 m<sup>3</sup>/s, 2.89 m<sup>3</sup>/s만큼 초과한 것으로 모의되었다.

표 3-2-73 | 추암지구 ST130704 강우사상 모의 결과

지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
JCF#01	5.08	2.0	2.8	○
JCF#02	5.89	2.2	3.0	○



a) JCF#01 지점

b) JCF#02 지점

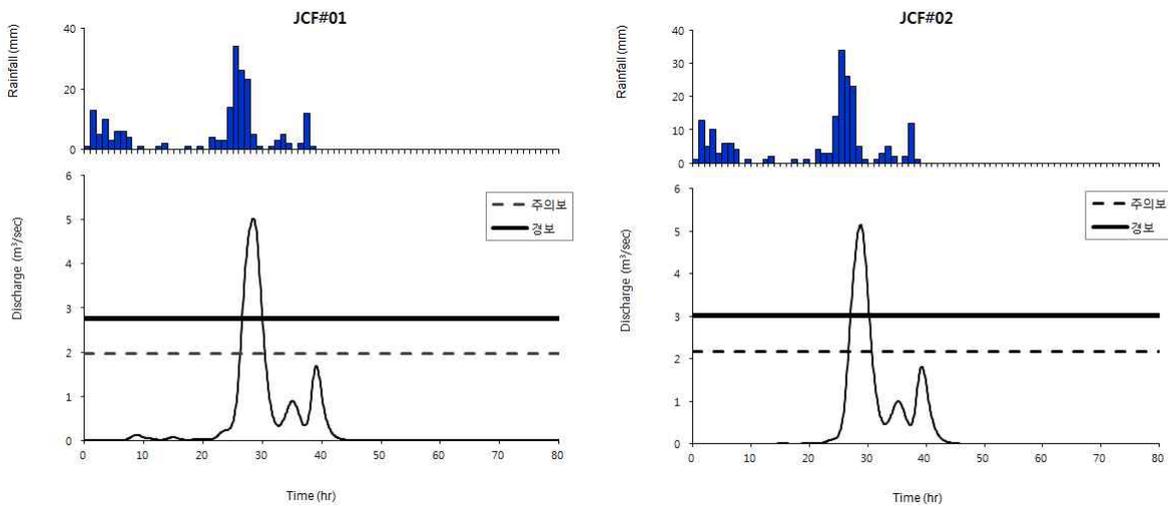
그림 3-2-63 | 추암지구 ST130704 강우사상의 지점별 모의 결과

⑤ ST130823 (2013/08/23 07:00 - 2013/08/24 21:00) 강우사상 모의 결과

추암지구 ST130823 강우사상의 지점별 10년 빈도 홍수량을 모의한 결과, JCF#01 지점에서 5.03 m<sup>3</sup>/s, JCF#02 지점에서 5.16 m<sup>3</sup>/s의 침투홍수량이 발생한 것으로 모의되었다. 두 지점 모두 경보 발령기준을 초과하였는데, JCF#01 지점은 경보 발령기준인 2.8 m<sup>3</sup>/s에 비해 2.23 m<sup>3</sup>/s 초과, JCF#02 지점은 경보 발령기준인 3.0 m<sup>3</sup>/s에 비하여 2.16 m<sup>3</sup>/s 초과한 것으로 모의되었다.

표 3-2-74 | 추암지구 ST130823 강우사상 모의 결과

지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
JCF#01	5.03	2.0	2.8	○
JCF#02	5.16	2.2	3.0	○



a) JCF#01 지점

b) JCF#02 지점

그림 3-2-64 | 추암지구 ST130823 강우사상의 지점별 모의 결과

## 5. 돌발산사태 예·경보를 위한 적용기술

### 가. 산지재해 위험도 평가기술

#### (1) 산지재해 위험도 평가기술 개요

산사태에 대한 위험도를 분석한다는 것은 산사태에 영향을 미치는 직·간접적 요인과 토지 이용의 상관관계를 분석한다는 것이다.

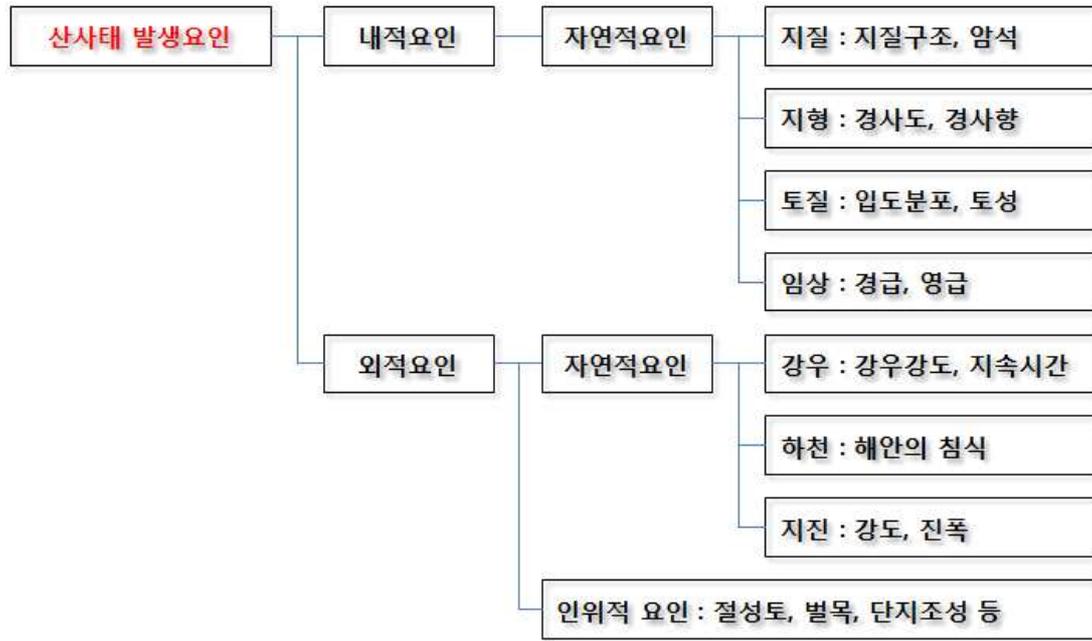


그림 3-2-65 | 산사태 발생원인

산지재해 특히 산사태의 위험성 평가 및 예측과 관련된 연구는 크게 체험적 해석기법 (Heuristic analysis), 통계적 해석기법 (Statistical analysis), 결정론적 해석기법 (Deterministic analysis)으로 구분할 수 있다. 체험적 해석기법은 실제 산사태 현장정보를 기반으로 하여 발생요인에 인위적 가중치를 부여하는 방법으로 현재 산림청에서 운영 중인 ‘산사태 위험지 관리시스템’에서 이용되고 있다. 이 방법은 가중치에 대한 객관성이 결여될 수 있으며 산사태 발생의 물리적 메커니즘을 반영하기 어렵다는 단점이 있지만 광역단위에서 산사태 발생가능성을 평가할 수 있다는 장점이 있다. 통계적 해석기법은 체험적 해석기법과 유사하게 실제 산사태 현장정보에 기초하여 발생요인에 대한 상관관계를 통계적 기법으로 해석하며 사면 안정성을 파괴확률로 제시한다. 한국지질자원연구원에서 수행한 ‘산사태재해 예측 및 저감기술 개발’의 연구성과인 산사태 재해위험지도가 이 기법을 기반으로 산사태 위험정보를 제공한다. 이 방법 역시 산사태 발생의 물리적 메커니즘을 반영하기 어려우며, 임의 대상 지역의 산사태 발생 인자들의 통계적 특성을 반영하는 식을 사용하기 때문에 타 지역에서의 직접적 적용에서 한계를 가진다.

표 3-2-75 | 산사태 위험성 평가 및 예측기법의 종류와 특성 (Wang et al., 2005)

Type of analysis	Technique	Scale of use recommended			Advantages	Disadvantages
		Regional	Medium	Large		
Heuristic analysis	Qualitative map combination	Yes	Yes	No	The degree of hazard is determined rapidly after the fieldwork on the basis of a detailed geomorphological map taking into account a large number of factors as attribute database.	The length of operations involved. The problem if subjectivity in attributing weighted values.
Statistical analysis	Bivariate statistical analysis	No	Yes	No	To map out in detail the occurrence of past landslides.	Difficult to prepare data. Under no consideration of trigger factor. Just susceptibility assessment.
	Multivariate statistical analysis	No	Yes	Restricted use	To collect sufficient information on the variables that are considered to be relevant to the occurrence of landslides. Objective in methodology.	
Deterministic analysis	Safety factor analysis	No	No	Yes	To permit quantitative factor of safety to be calculated.	Data requirements for deterministic models can be prohibitive, and frequently it is impossible to acquire the input data.
	Probability of failure	No	No	Yes	External existing models can be used without losing time in programming the model algorithms in a GIS. Encourage investigation and measurement of geotechnical parameters in details.	

광역단위의 산사태를 평가하기 위해서는 광역 정보를 활용할 수밖에 없으며 체험적이거나 통계적 기법을 활용할 수밖에 없는 한계가 있을 수 있다. 표 3-2-75는 산사태 위험성 평가 및 예측기법의 종류와 특성을 요약한 것이다. 체험적, 통계적 해석기법과 달리 결정론적 해석기법은 산사태와 관련된 내·외적 발생요인의 상호작용을 고려한 알고리즘을 이용하여 GIS 기반의 수문·지형·지질 정보를 활용하여 산사태 위험성 평가 및 예측에 활용된다. 최근 GIS 및 Remote sensing 기술의 발전에 따라 국외에서는 이 방법을 이용하여 다양한 산사태 해석 모형 및 시스템이 개발되고 있다. 국외에서 개발된 모형을 다음의 표 3-2-30에 요약하였다.

표 3-2-76 | 물리적 기반의 결정론적 산사태 위험해석 모형 (Safaei et al., 2008)

Model	Description	Developer	Year
CHASM	Combined Hydrology And Stability Model	Anderson/Lloyd	1991
LISA	Level I Stability Analysis	Hammond et al.	1992
SHALSTAB	Shallow Landsliding Stability Model	Montgomery/Dietrich	1994
SMORPH	Slope MORPHology	Shaw and Johnson	1995
dSLAM/IDSSM	Distributed Shallow Landslide Model / Integrated Dynamic Slope Stability Shallow Landslide Model	Wu and Sidle	1997
SINMAP	Stability Index Mapping	Pack et al.	1998
SHETRAN	System Hydrology European TRANsport	Ewen et al.	2000
TRIGRS	The Transient Rainfall Infiltration and Grid based Regional Slope-stability	Iverson	2000
PROBSTAB	PROBability of STABILITY PCRaster GIS package	Van Beek	2002
PISA	Probabilistic infinite slope analysis	Haneberg	2004
SUSHI	(Saturated Unsaturated Simulation for Hill slope Instability) model	Capparelli et al.	2006
GEOtop-FS	combines the hydrological distributed model GEOtop and an infinite slope geotechnical model	Simoni et al.	2008

이러한 모형은 광역 단위에서 산사태의 발생가능성을 평가하는 모델이다. 즉 광역 단위에서 상대적으로 산사태 발생가능성이 큰 지역을 선정하고 평가하는 데 유용한 모델이다. 이 상에서 살펴본 모델 중에서 현재 국내의 전체 지역에 대하여 적용할 수 있도록 구축된 시스템은 산림청의 ‘산사태 정보시스템’이다.

## (2) 산사태정보시스템(산림청)

이 시스템에서는 기상청의 강우자료(동네예보)를 분석하여 사전에 설정한 권역별 산사태 토양함수지수(예측기준)를 이용하여 읍·면·동 단위로 예측정보를 제공하고 있다. 권역별로 과거의 산사태 발생이력 분석결과를 토대로 토양 내 빗물의 양을 토양함수지수로 산정하고 그 지수에 따라 예·경보를 발생하고 있다.

이를 위하여 시스템에서는 전국을 강우분포와 지질특성을 고려하여 권역을 구분하였다. 강우는 1987~2007년의 7~9월 평균강우량의 분포를 이용하여 4개 권역으로 구분하였고 (1 권역: 600~1,100 mm, 2권역: 550~900 mm, 3권역: 650~850 mm, 4권역: 500~800 mm), 지질은 화성암류 (1권역), 변성암류 (2권역), 퇴적암류 (3권역)로 구분하였다. 이렇게 구분된 총 12개의 권역 중 지질특성이 유사한 2개 권역은 통합하여 총 10개 권역으로 구분하였다.



그림 3-2-66 | 산사태 예측을 위한 권역구분 (산림청)

10개 권역 별로 과거 산사태 발생 이력분석 결과를 토대로 토양 내 빗물의 약을 토양함수 지수로 산정하고 그 지수에 따라 예·경보 기준을 설정하였다. 아래의 표는 각 권역에 대한 토양함수지수를 나타낸다. 각 권역에서 토양함수지수의 80%에 도달할 경우 ‘주의보’, 100%에 도달할 경우 ‘경보’를 발령한다.

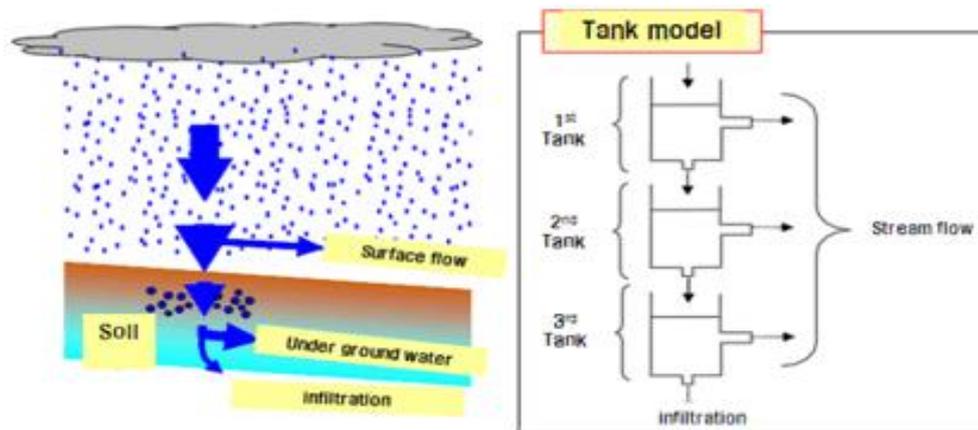


그림 3-2-67 | 토양함수지수 산정을 위한 탱크모델 개념도 (산림청)

표 3-2-77 | 권역별 토양함수지수 (산림청)

권역별	충부권역			전라경남권역			충청권역		경북권역	
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	4-1	4-2
토양함수지수	105	92	62	62	59	67	67	89	130	87

산림청에서 제공하는 이상의 산사태예측정보는 읍·면·동 단위에서 산사태 발생 가능성을 예측하고 주민에게 예·경보를 발령하고 피해예방의 기초자료로 활용하는 측면에서 매우 유의한 시스템으로 볼 수 있다. 하지만 본 연구에서 목적으로 하는 지점 단위의 국소적인 산사태의 예측과 예·경보시스템으로 활용하기에는 한계가 있다.

## 나. 산지재해 위험도 평가를 위한 예측모형

이상에서 광역단위의 예측모형, 특히 산림청의 산사태예측정보는 지역단위에서 충분히 활용성을 가지고 있고 산사태의 위험도 평가에 있어서 그래도 적용이 가능할 것으로 보인다. 단지 특정 사면이 선정된 상태에서는 물리적인 특성을 구할 수 있으므로 산사태의 발생 기작을 고려한 역학적 안정해석을 수행하는 적절한 예측모형을 수립할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 광역 단위에서 위험 사면을 추출한 후에는 개별 사면에 대한 역학적 안정성과 강우자료와의 분석을 통하여 강우기준을 설정하고 기준에 적합한 계측을 통하여 예·경보를 발생시켜야 할 것이다. 다음의 그림은 선정된 개별 사면에 대하여 산사태 위험도를 판단하기 위한 기준을 설정하기 위한 절차를 도식화 한 것이다.

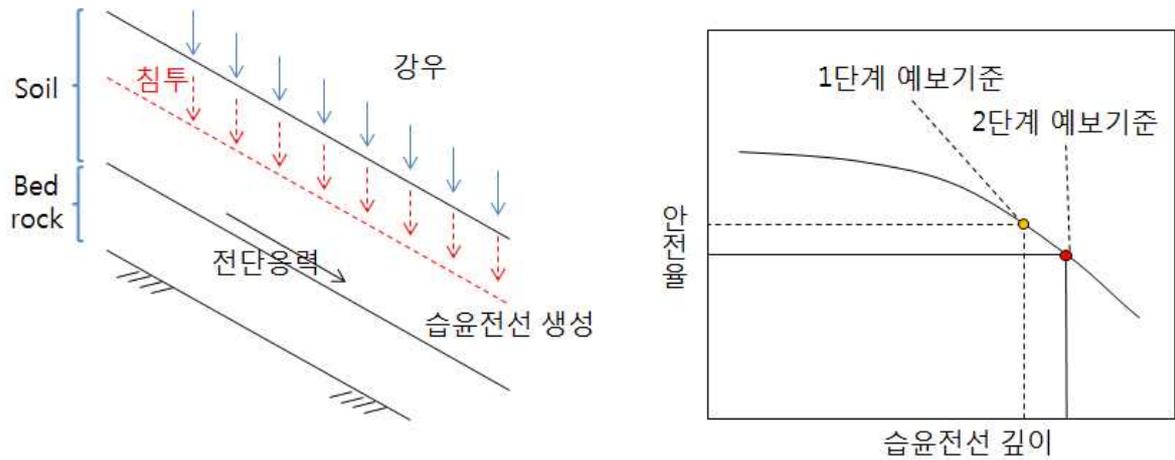


그림 3-2-68 | 강우침투에 의한 습윤전선의 진행 및 안전율의 변화

산사태 위험도를 평가하기 위해서는 강우에 따른 사면의 안정해석이 우선되어야 하므로 사면에 대한 조사 및 강우자료의 획득이 우선되어야 하며, 안정해석을 위한 기본적인 실험이 필요하다. 실험은 강우 이전에 불포화 상태인 사면을 통한 강우의 침투를 해석하기 위한 실험을 포함해야 한다. 그리고 강우에 따른 사면을 통한 침투해석을 통해 포화심도의 변화와 그에 따른 안정성의 변화를 분석해야 하면 강우에 따른 안전율의 변화를 제시할 수 있다.

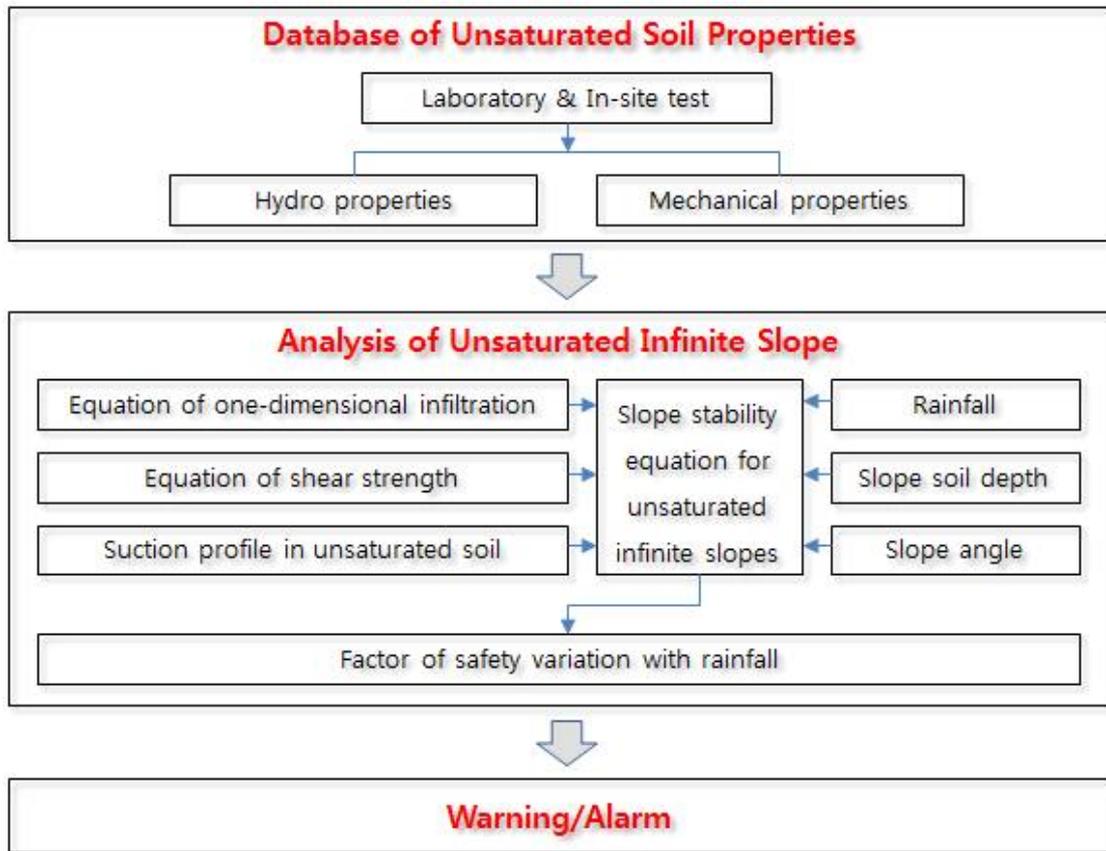


그림 3-2-69 | 강우에 따른 산지재해 예측 모형

돌발 산사태 예측모형은 위의 그림에서 제시된 바와 같이 현장의 물성데이터를 이용한 침투해석과 안정해석을 통하여 사면의 안전율의 변화에 따라 산사태 발생 가능성을 예측하는 것이다. 이를 위해서는 대상 사면의 침투해석과 안정해석을 위한 자료가 구축되어 있어야 하며 향후 예측되는 강우의 변화에 따른 안전율의 변화를 해석할 수 있어야 한다. 본 연구에서 적용하는 산사태 예측모형에 대하여 살펴본다.

(1) 불포화 지반에 대한 강우침투

강우 시 사면파괴는 강우의 지반 내 침투에 따른 습윤전선 (wetting front)의 발달과 포화대의 형성으로 인하여 발생하며 (Fredlund and Rahardjo, 1995) 불포화토의 흡수력 (suction pressure) 변화가 사면의 안정성에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 불포화토의 총 흡수력은 모관흡수력과 삼투흡수력으로 구분된다. 삼투흡수력은 유체의 농도차에 의해서 발생하는 흡수력으로 유체가 물일 경우 무시할 수 있다. 따라서 불포화토의 흡수력 ( $\psi$ )은 대기압 ( $u_a$ )과 수압( $u_w$ )의 차인 모관흡수력 ( $u_a - u_w$ )과 동일하며 체적함수비 (volumetric water content)와 일정한 함수의 관계가 성립한다. 이를 불포화토의 함수특성곡선 (Soil-water characteristic curve, SWCC)이라하며 불포화토의 특성을 규명하는 고유의 특성이다. Van Genuchten (1980)은 세 개의 매개변수를 사용하여 유연한 형태의 함수특성곡선식을 제안하였으며 다음과 같다.

$$\Theta = \left[ \frac{1}{1 + (a\psi)^n} \right]^m \quad (2-16)$$

여기서,  $\Theta$  : 정규체적함수비 (=  $\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ )

$\theta$  : 체적함수비 (%), 아래첨자 's'는 포화를 'r'은  
잔류상태를 나타냄

$\psi$  : 모관흡수력 (kPa)

$a$  : 공기함입치와 관련된 곡선맞춤변수

$m$  : 높은 모관흡수력 범위에서 곡선 기울기와 관련된 곡선맞춤변수  
(=  $1 - 1/n$ )

$n$  : 함수특성곡선의 변곡점에서 기울기와 관련된 곡선맞춤변수

강우에 따른 사면 표층부의 포화심도를 산정하기 위해서는 일차원 침투이론이 적용되는데 대표적인 일차원 침투이론으로는 Darcy의 법칙이 있으며, 강우 시 지반내로 침투한 물은 1차원 연직흐름 (중력방향) 상태로 가정하고 있다. 포화심도를 산정하는 방법은 Green&Ampt Method (Green and Ampt, 1911), Wetting Band Method (Lumb, 1962), Pradel&Raad Method (Pradel and Raad, 1993), Mein&Larson Method (Mein and Larson, 1973) 등이 있다. Green&Ampt 모델은 부분 포화된 토양에서의 물의 흐름에 대한 물리적인 특성들을 바탕으로 여러 가지 가정을 도입하여 불포화 지반에서의 침투 모델을 제시하였으며 다른 방법들은 이 방법을 바탕으로 하고 있지만 침투량을 계산하기 위하여 각각 다른 침투율을 가정하여 사용하고 있다. Chu et al. (2005)은 Green and Ampt 모델을 바탕으로 여러 개의 층으로 구성된 지반에 비정상 강우가 내릴 때의 강우 침투를 모사할 수 있는 모델을 제안하였다.

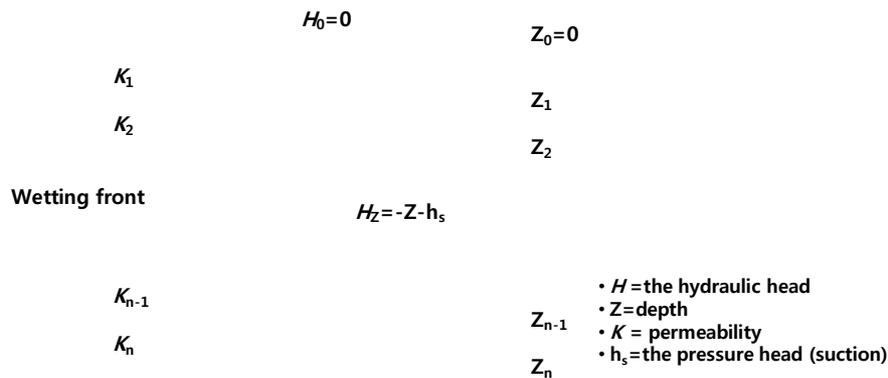


그림 3-2-70 | 다층지반 내로의 침투이론 (Chu et al., 2005)

위 그림은 제안된 침투 모델의 지반 조건을 나타낸 것으로  $H_0$ 는 수막 (ponding) 깊이를 나타내지만 가파른 사면의 경우 유출이 용이하기 때문에 일반적으로 무시된다. 비정상 강우에 대한 침투해석은 수막현상이 발생할 경우와 발생하지 않을 경우로 나누어 해석된다. 여기서 강우강도를  $I$ , 지반의 침투능을  $f$ 라고 하면 강우 발생 후  $n$  층에서의 침투는 다음과 같다.

①  $I \geq f$  일 경우 (Surface ponding case)

습윤전선이  $n$  번 층을 통과할 경우 ( $Z_{n-1} < z \leq Z_n$ ) 지반의 침투는 다음과 같다.

$$f_z = \frac{z + \psi_{mf_n}}{\sum_{j=1}^{n-1} \frac{Z_j - Z_{j-1}}{K_j} + \frac{z - Z_{n-1}}{K_n}} \quad (2-17)$$

그리고 누적 침투량은 다음과 같다.

$$F_z = F_{Z_{n-1}} + (z - Z_{n-1})\Delta\theta_n = \sum_{j=1}^{n-1} (Z_j - Z_{j-1})\Delta\theta_j + (z - Z_{n-1})\Delta\theta_n \quad (2-18)$$

깊이  $Z$  까지 침투하는데 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$t_z = t_{n-1} + \frac{\Delta\theta_n}{K_n}(z - Z_{n-1}) + \Delta\theta_n \left[ \sum_{j=1}^{n-1} Z_j \left( \frac{1}{K_j} - \frac{1}{K_{j+1}} \right) - \frac{\psi_{mf_n}}{K_n} \right] \ln \frac{z + \psi_{mf_n}}{Z_{n-1} + \psi_{mf_n}} \quad (2-19)$$

②  $I < f$  일 경우 (Non-ponding case)

지표 수막이 발생하지 않을 경우 지반의 침투능은 강우강도와 동일하며 강우는 모두 지반으로 침투하여 piston flow를 형성한다.

$$f_z = I \quad (2-20)$$

$$F_z = F_{Z_{n-1}} + \int_{t_{n-1}}^t i dt \quad (2-21)$$

$$z = \frac{F_z - F_{Z_{n-1}}}{\Delta\theta_n} + Z_{n-1} \quad (2-22)$$

Morel-Seytoux et al. (1996)은 Van Genuchten의 함수특성곡선식을 이용하여 습윤전선에서 모관흡수력 ( $\psi_{mf}$ ) 산정식을 다음과 같이 제안하였다.

$$\psi_{mf} = \frac{0.046m + 2.07m^2 + 19.5m^3}{\alpha(1 + 4.7m + 16m^2)} \quad (2-23)$$

여기서,  $\psi_{mf}$  : 습윤전선에서의 모관흡수력(kPa)

$\alpha, m$  : Van Genuchten의 함수특성곡선식의 맞춤 변수

(2) 강우 시 무한사면 안정해석

무한사면 (infinite slope)이란 경사각이 일정하고 길이가 대단히 긴(반무한대)인 사면으로 활동하는 토층의 두께가 비교적 얇은 사면을 말한다. 우리나라의 경우 산사태 발생 유형을 살펴보면 얇은 사면파괴형태가 가장 많은 부분을 차지하며 이에 따른 쇄설성 유동(debris flow)이 발생하게 된다. 얇은 사면파괴는 파괴형상이 사면과 평행하고 파괴길이에 비해 파괴심도가 매우 얇은 파괴를 말하며 자연사면 파괴의 대부분은 이와 같은 얇은 파괴형상을 나타내므로 무한사면 안정해석을 통하여 간단히 안정성을 평가할 수 있다. 무한사면의 안정해석은 토층의 병진활동을 하는 것으로 가정하여 해석하게 되며 파괴면은 지표면과 평행한 평면으로 나타나게 된다. 특히, 활동면의 길이가 비교적 길다면 활동면의 시점과 종점에서의 단부효과(end effect)를 무시할 수 있으므로 간단하게 해석을 수행할 수 있다. 다음 그림은 무한사면의 일반적인 형태를 나타내며 지반이 균질할 경우 무한사면의 안전율은 식 (2-24)를 통하여 산정할 수 있다.

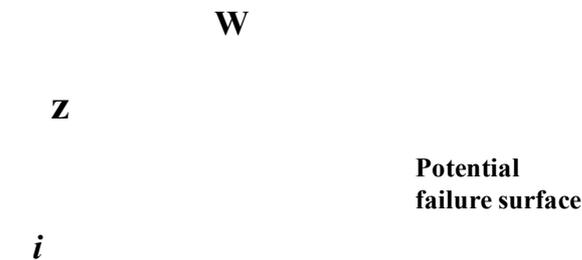


그림 3-2-71 | 무한사면해석 조건

$$F_s = \frac{c + (Z\gamma \cos^2\beta)\tan\phi}{Z\gamma \sin\beta \cos\beta} \quad (2-24)$$

여기서,  $Z$  : 예상 파괴면까지의 토심

$\beta$  : 사면의 경사

$\gamma$  : 흙의 단위중량

$u$  : 파괴면의 공극수압

$\phi'$  : 파괴면의 유효 마찰각

$c'$  : 파괴면의 유효 점착력

기존 연구 및 사례에 의하면 강우 시 사면파괴는 지하수위 상승으로 인한 사면 내 간극수압 증가에 따른 파괴보다는 강우의 침투로 습윤전선이 임계깊이에 도달하여 얇은 파괴가 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 불포화토 사면에서 강우 침투에 따른 포화 및 전단강도 감소를 고려한 사면안정해석이 필요하다.

불포화 지반의 전단강도는 Fredlund 등이 제안한 불포화토의 전단강도식을 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau_s = c' + \sigma' \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi_b \quad (2-25)$$

여기서,  $c'$  : 포화지반의 점착력  
 $\phi'$  : 포화지반의 유효강도정수  
 $\sigma'$  : 파괴면에서의 유효연직응력  
 $(u_a - u_w) \tan \phi_b$  : 모관흡수력에 의한 겉보기 점착력

모관흡수력에 의한 겉보기 점착력은 함수특성곡선으로부터 산정할 수 있으며 다음과 같다 (Vanapalli et al., 1996).

$$(u_a - u_w) \tan \phi_b' = \Theta [(u_a - u_w) \tan \phi'] \quad (2-26)$$

여기서,  $\Theta$  : 모관흡수력이  $(u_a - u_w)$ 일 때의 정규체적함수비

따라서 불포화 지반에서의 무한사면 안정해석식은 다음과 같이 구할 수 있다.

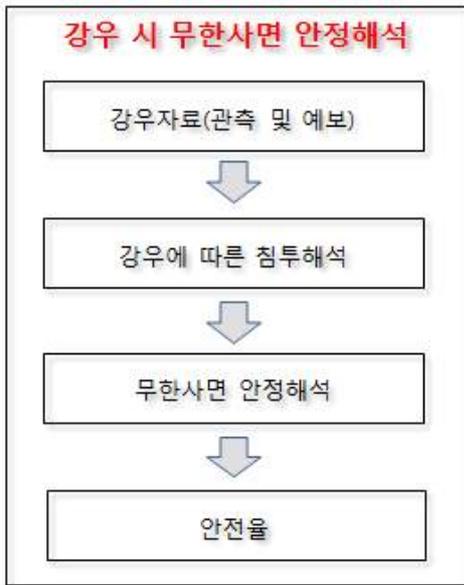
$$F_s = \frac{c' + \sigma' \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi' \Theta}{\tau} \quad (2-27)$$

식 (2-27)을 모관흡수력으로 나타내면 다음과 같다.

$$F_s = \frac{c' + \sigma' \tan \phi' + \psi \tan \phi' \left( \frac{1}{1 + (a\psi)^n} \right)^m}{\tau} \quad (2-28)$$

### (3) 강우예보자료 연계 예보시스템 구축

앞서 설명한 강우에 의한 산사태 예측모형은 강우가 시작되는 시점에서 단기 강우예보자료를 이용하여 향후의 산사태 가능성을 예측하게 된다. 그리고 매 시간단위로 제공되는 강우 예보자료에 의하여 동일한 해석을 수행하여 산사태 가능성을 매 시간단위로 지속적으로 예측할 수 있다. 이때, 앞서의 강우예보자료는 관측자료로 대체되고 강우가 지속되는 동안 예보시스템이 작동한다.



0 hr 예측		1 hr 예측		2 hr 예측		...
시간	강우	시간	강우	시간	강우	
0 hr	mm	0 hr	mm	0 hr	mm	관측
1 hr	mm	1 hr	mm	1 hr	mm	
2 hr	mm	2 hr	mm	2 hr	mm	
3 hr	mm	3 hr	mm	3 hr	mm	예보
4 hr	mm	4 hr	mm	4 hr	mm	
5 hr	mm	5 hr	mm	5 hr	mm	
6 hr	mm	6 hr	mm	6 hr	mm	
7 hr	mm	7 hr	mm	7 hr	mm	
8 hr	mm	8 hr	mm	8 hr	mm	
9 hr	mm	9 hr	mm	9 hr	mm	
10 hr	mm	10 hr	mm	10 hr	mm	
11 hr	mm	11 hr	mm	11 hr	mm	
12 hr	mm	12 hr	mm	12 hr	mm	

그림 3-2-72 | 강우자료에 의한 산사태 예측모형의 구동

#### 다. 산지재해 예·경보를 위한 기준 설정

##### (1) 안전율에 의한 예보기준 설정

사면의 안정성의 기준으로 활용되는 안전율은(Factor of Safety) 주어진 활동면에 대해 흙의 전단강도를 사면에 발생하는 전단응력으로 나눈 값이다. 따라서 이론상으로는 1.0 이상이면 사면은 안전한 것이지만 실제에 있어서 안전율이 허용안전율(Allowable Factor of Safety) 이상이 되어야만 사면이 안전한 것으로 판정한다. 이는 사면의 실제거동에 대한 불확실성을 도입한 안전율 개념이다. 허용안전율은 자료의 불확실성에 대한 대비(강도정수, 하중, 해석방법 및 모델의 불확실성 등)와 사면의 변형을 허용치 이내로 제한하는 기능을 하게 된다.

흙 또는 암으로 이루어진 사면의 허용안전율에 대해서는 많은 기준이 제시되어 있고, 성토 및 절토, 자연사면에 대해서 일반적으로 이러한 기준을 활용할 수 있을 것이다. 다음은 건설공사 비탈면에 일반적으로 적용되는 설계기준이다.

표 3-2-78 | 건설공사 비탈면 설계기준 (국토교통부)

구분	기준안전율	내 용
건기	$F_s > 1.5$	◦ 지하수가 없는 것으로 고려
우기	$F_s > 1.2$ or $1.3$	◦ 지하수위를 결정하여 해석하는 경우 현장 지반조사결과, 지형 조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위 결정 ( $F_s > 1.2$ 적용) ◦ 강우침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우 ( $F_s > 1.3$ 적용)
지진	$F_s > 1.1$	◦ 지하수위는 우기조건과 동일하게 적용 (지진계수는 평창지역 지진구역계수 0.07, 내진 1등급 기준의 위험도계수 1.4를 적용하여 0.098g 적용)

본 연구에서 대상으로 하는 산지재해는 자연사면에 대한 것으로 위의 기준을 그대로 적용하는 것에 대해서는 이견이 있을 수 있으나, 본 연구가 예·경보 시스템을 구축하고 일반적인 기준을 적용하여 타당성을 검토하는 것이므로 상기의 기준을 적용하는 것이 전체 연구의 타당성에 문제는 없을 것으로 판단하였다. 따라서 1단계 예보(주의보)는 안전율이 1.2이하가 되면 발령하는 것으로 하였다.

해석에 의하면 안전율이 1.0 이하가 되면 사면이 파괴되는 것을 의미하지만 실제로는 안전율 1.0 이하에서도 파괴되지 않을 수도 있고 안전율 1.0 이상에서도 파괴될 수 있다. 지반의 불확실성과 실험변수 및 해석의 불확실성을 반영한 결과이다. 그러나 안전율 1.0은 사면의 파괴여부를 결정하는 중요한 지표이다. 따라서 2단계 예보는 사면의 파괴를 의미하는 안전율 1.0에 근접했다는 경고로 안전율이 1.1에 도달하면 발령하는 것으로 하였다. 본 연구에서 적용한 산지재해의 안전율에 따른 예보기준은 다음과 같다.

- 1단계 예보(주의보) : 사면의 안전율이 1.2 이하
- 2단계 예보(경 보) : 사면의 안전율이 1.1 이하

(2) 기울기센서에 의한 산사태 경보기준

세계적으로 많은 나라에서 산사태 예·경보 및 모니터링 시스템을 운영 중이다. 이러한 시스템은 특정 항목을 계측 또는 예측하여 예·경보를 발생하게 되는데 현재 알려진 21개 시스템에 대하여 Michoud 등(2013)이 정리한 바에 의하면 약 18개 시스템이 사면의 변형을 계측하고 있으며 14개 시스템이 강우(weather)를 계측하여 시스템에 활용하고 있다.

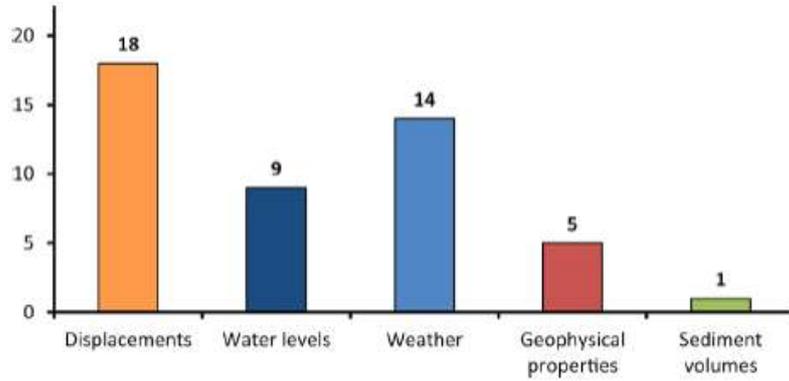


그림 3-2-73 | 산사태 경고 시스템 중 계측항목(21개소 모니터링 시스템 중 중복 항목 포함)

본 연구에서는 강우는 초단기 예보자료를 이용하여 예보시스템에 활용하고 변형 (기울기)은 계측센서로 계측하여 경고시스템에서 활용한다.

강우에 의한 돌발산사태 경보를 위해 현장에 설치되는 센서는 사면의 변위를 측정하게 되고 설치 이후 지속적인 모니터링 시스템으로 작동하게 된다. 현장의 기울기센서를 장기적으로 모니터링 시스템으로 본다면 변형-시간 관계를 나타낼 수 있으며 이러한 관계를 이용하여 산사태를 예측하고 조기에보를 하고자 하는 노력이 있어왔다(Saito and Uezawa, 1961; Fukuzono, 1985; Voight, 1988). Fukuzono(1990)는 다음의 그림과 같이 역속도(inverse velocity)개념으로 산사태가 발생할 미래의 시간을 예측하고자 하였지만 실제 적용성에는 문제점이 있는 것으로 나타났다. 다음의 그림은 모니터링 시스템으로서 계측센서에서 나타날 수 있는 시간에 따른 변위의 거동을 나타낸다.

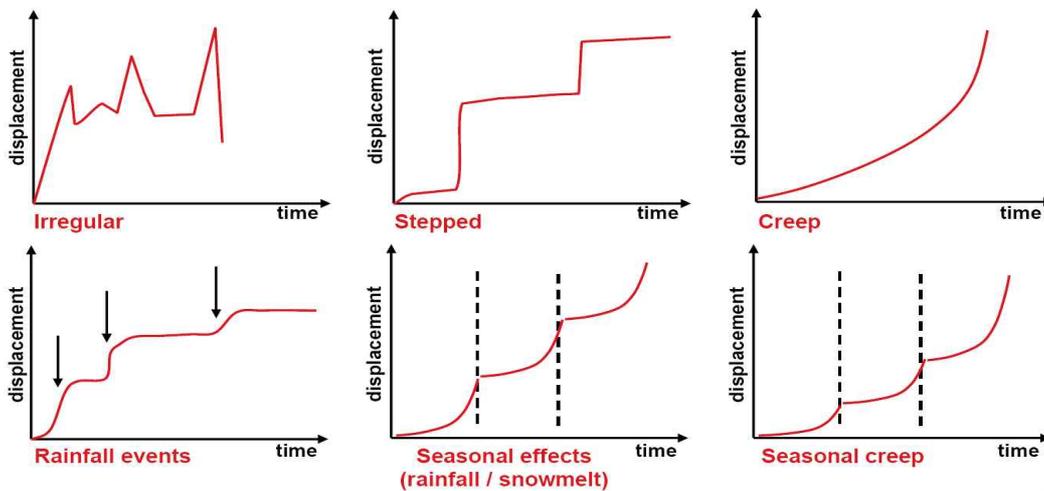


그림 3-2-74 | 사면 변형의 시간에 따른 거동(Agliardi, 2010)

시간에 따른 변형거동은 사면의 장기적인 거동을 이해하는 데에는 도움이 될 수 있지만 즉각적인 조치가 필요한 경보를 발령하기 위해서는 변형값에 대한 한계치가 필요하다. 이러한 센서 한계치는 사면의 종류, 규모(사면길이 및 면적 등), 구성(암 또는 흙의 종류, 심도 등) 등에 따라 달라 질 수 있으며, 현재까지 범용적으로 적용될 수 있도록 제시된 값은 없다.

표 3-2-79 | 사면 변형에 따른 경보수준 예(Emergency Preparedness Centre in Stranda, Norway, modified from Blikra et al., 2007)

Velocity (mm/day)	Alarm level	Activities and alarms
0.1-0.5	Level 1 - Green Normal situation	Minor seasonal variations No alarm
0.5-2	Level 2 - Blue Awareness	Important seasonal fluctuations for individual and multiple sensors Values < excess thresholds for Level 2
2-5	Level 3 - Yellow Increase awareness	Increased displacement velocity, seen on several individual sensors Values < excess thresholds for Level 3
5-10	Level 4 - Orange High hazard	Acceleration in displacement velocity observed on multiple sensors Values < excess thresholds for Level 4
>10	Level 5 - Red Critical situation	Further acceleration Values > excess thresholds for Level 4

표 3-2-79는 사면의 변형을 속도 (mm/day) 개념으로 나타내었을 때 경보의 단계별로 적용된 예를 나타낸다. Terzaghi (1950)는 산사태가 지속적인 안전율의 감소로 나타나며 이때의 지속적인 사면의 변형에 대하여 다음의 그림과 같이 설명하고 있다. 즉, 사면의 파괴를 연속적인 응력-변형의 거동으로 보았다.

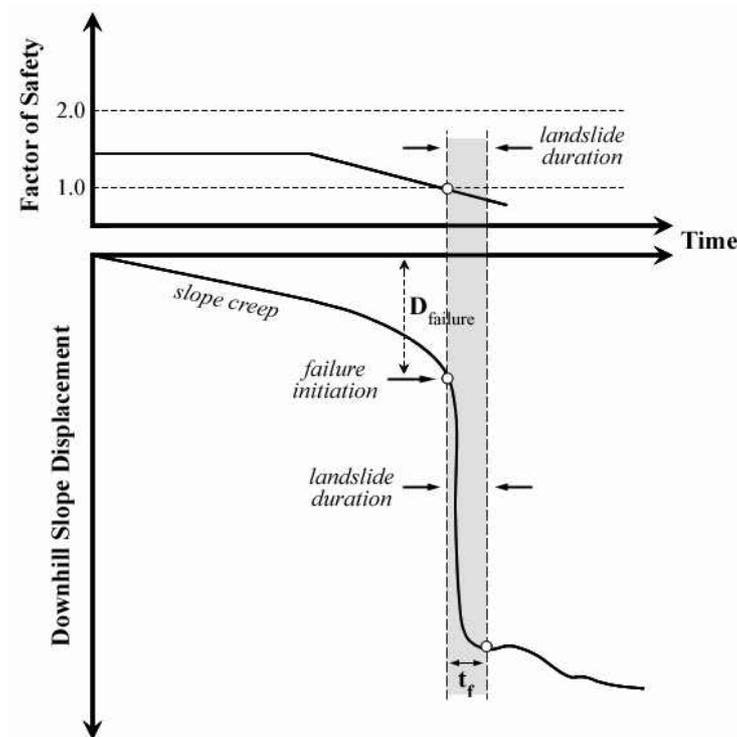


그림 3-2-75 | 안전율 변화에 따른 사면의 변형(Terzaghi, 1950)

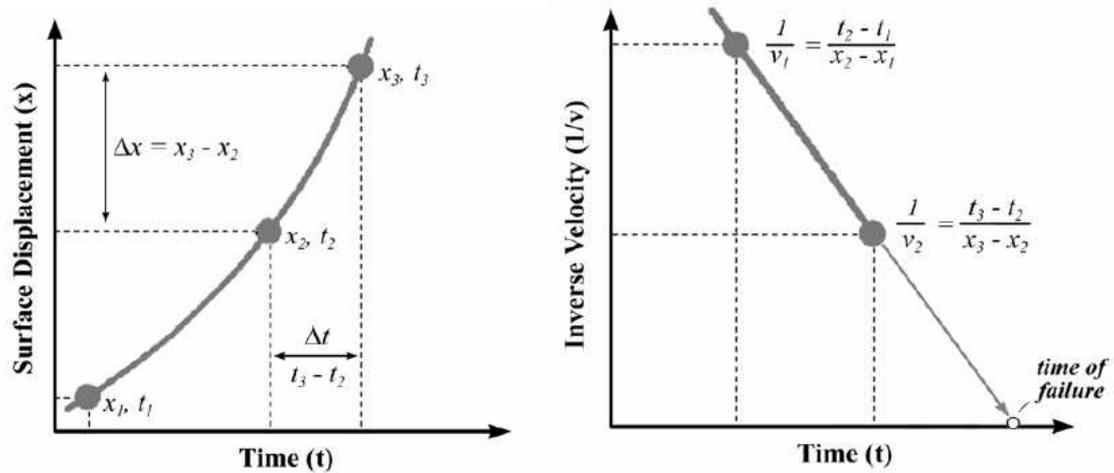


그림 3-2-76 | 사면 변형의 역속도에 의한 사면파괴의 예측(Fukuzono, 1990)

이상과 같이 사면 표면의 지속적인 모니터링과 그 결과의 장기적 관측결과를 이용하면 경보기준의 설정이 가능할 수 있다. 하지만, 이상과 같은 경보기준이 모든 사면에 대하여 적용성이 있을 것으로 가정하는 것은 매우 위험하다. 모든 사면의 creep 거동을 보이는 것도 아니며 강우에 의한 급작스러운 산사태의 발생이 동일한 변형의 거동을 보인다는 연구결과도 없다. 따라서 본 연구에서 경보를 발생하고자 하는 개별 사면의 거동을 장기간에 걸친 거동으로 판단하고자하는 것은 본 연구의 목적에 부합되지 않는 것으로 판단된다. 기본적으로 사면의 파괴는 급작스럽게 발생한다는 가정에서 출발하지 않으면 실제로 발생할 수 있는 파괴에 대하여 경보를 발생시키지 않는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서 1차적으로 설정하는 경보의 기준은 '강우가 발생하고 이상의 변형 발생 시'로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단하였다. 향후 계절적 변동 등을 포함할 수 있는 정도의 장기적인 계측자료가 발생하는 경우에는 각 사면에 적합한 경보 기준을 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

### 라. 제3절 기왕 호우사상에 의한 돌발산사태 모의

호우사상에 의한 돌발산사태 모의는 산사태 위험도 평가기술에 의해 강우 침투에 따른 안전성의 변화를 평가하여 주의보 및 경보의 발령상황을 모의하기 위한 것이다. 따라서 각 시범지구에 대하여 호우사상을 선정하고 강우에 따른 포화심도를 침투해석을 통해 산정한다. 그리고 포화심도가 변화함에 따른 안전율의 변화를 다음의 그림과 같이 산정하여 포화심도가 주의보 또는 경보기준에 도달하면 상황을 전파하는 것으로 모의하였다. 모의에 사용된 호우사상은 과거 5년 간의 강우 중에서 1일 강우량이 큰 강우사상 중에서 지속시간이 비교적 길어서 산사태 발생에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되는 호우사상을 선정하였다.

침투해석 및 안정해석은 앞서 제시된 산지재해 위험도 평가기술을 이용하였다. 이때 안전율의 계산은 포화대에서의 간극수압을 고려하였으며, 습윤전선에서의 안전율과 토사와 암반의 경계면에서의 안전율을 비교하여 작은 값을 전체 사면의 안전율로 하였다.

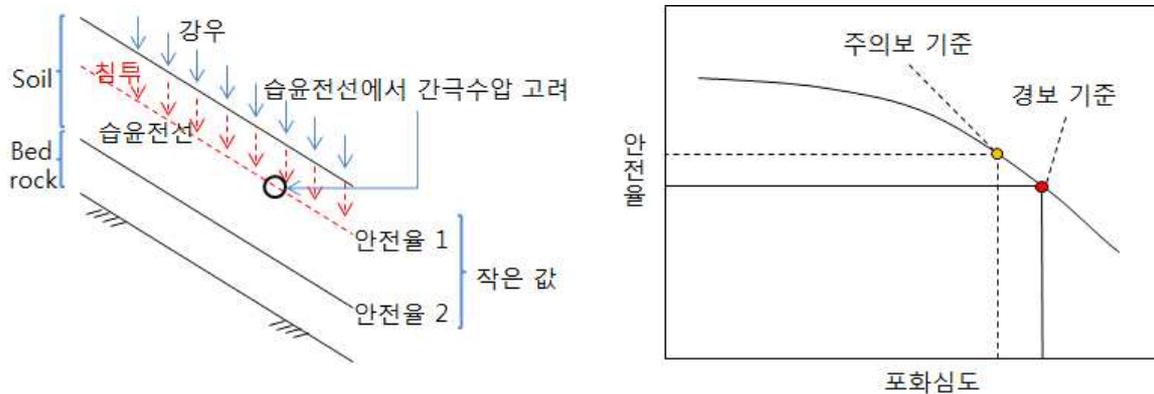


그림 3-2-77 | 포화심도의 변화 및 예보기준의 설정 방법

#### (1) 대화지구(PHL)

##### (가) 지구 현황 및 입력자료

대화지구는 강원도 평창군 대화면 신리저수지 인근으로 사면 하부에 약 2m가량의 암반이 드러나 있으며 상부에는 식생이 분포하고 있다. 대상사면의 아래에는 펜션이 있어 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 지구이다. 대상 사면의 전경 및 표층 식생 상태는 다음과 같다.



a) 대화지구 사면 전경



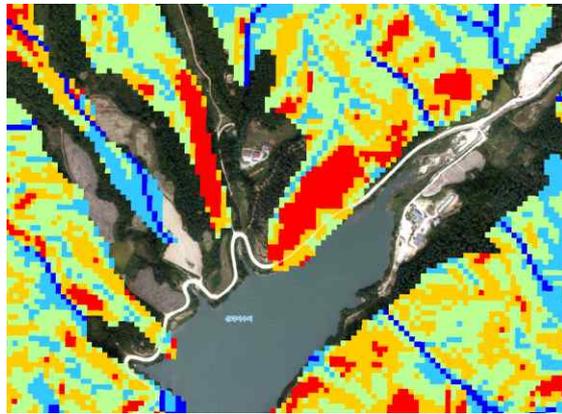
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-78 | 대화지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 대화지구는 특정 위치에서 위험등급 1등급도 나타나지만 주로 위험등급 2-3등급이 분포하는 것으로 나타났다.



a) 대화지구 사면 위치



b) 대화지구 산사태 위험지도

그림 3-2-79 | 대화지구 사면위치 및 산사태 위험지도

대화지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다.

표 3-2-80 | 대화지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.71
	자연함수비	17.2
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	18.6
침투 특성	a	0.0246
	m	0.3209
	n	1.4725
	$\theta_0$ (%)	26.00
	$\theta_s$ (%)	41.50
	$\psi_{mf}$ (cm)	86.93
	$K_s$ (cm/hr)	0.71
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	14.2
	유효마찰각(°)	20.5
사면 형상	사면기울기(°)	24
	사면 토심(cm)	300

대화지구와 신리지구는 인접한 지구로 같은 호우사상을 적용하였다. 강우는 2013년 7월 13일 01시부터 2013년 7월 16일 24시까지 발생한 강우로 최대 시강우량은 42 mm/hr이 발생하였다

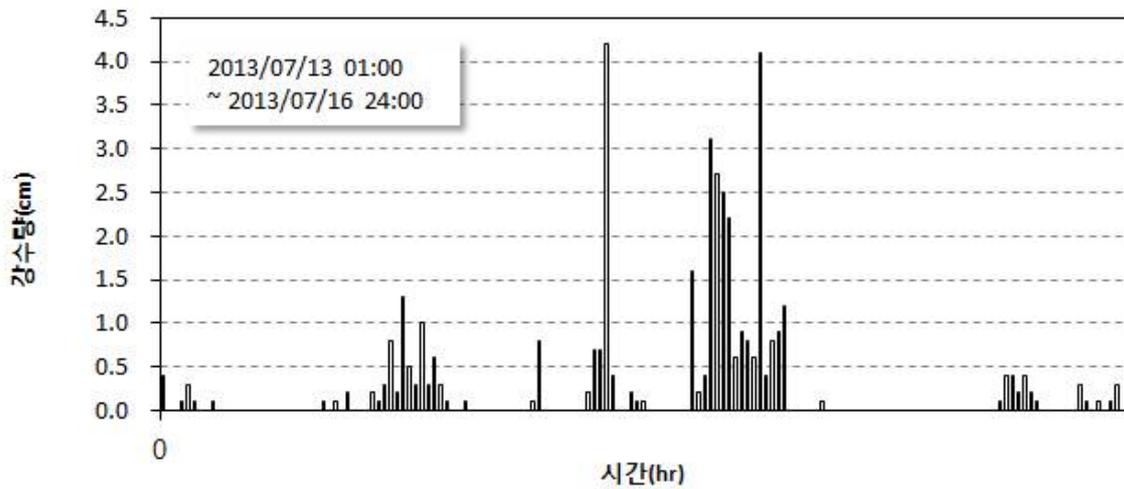


그림 3-2-80 | 대화지구, 신리지구 예·경보 모의를 위한 호우사상

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

다음의 그림은 대화지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가 상대적으로 작은 편이므로 안전율은 1.7로 안정한 상태로 나타났다.

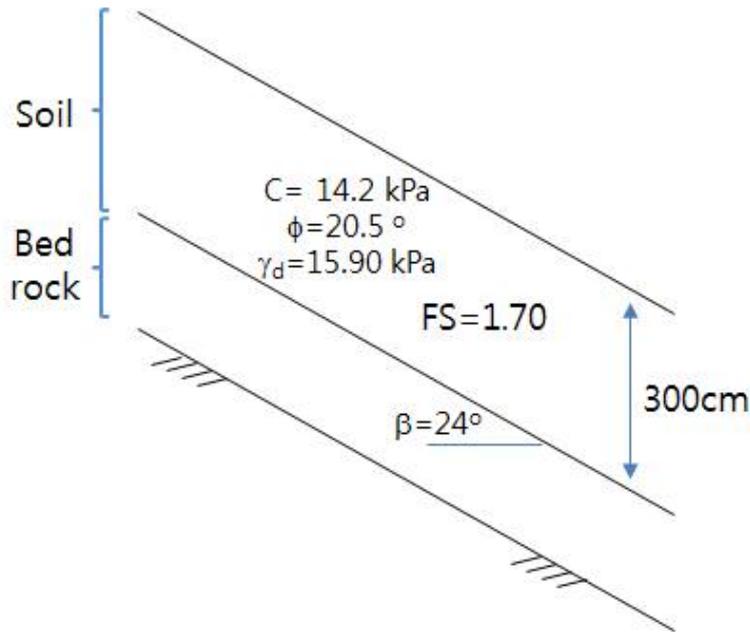


그림 3-2-81 | 대화지구 사면의 안전율

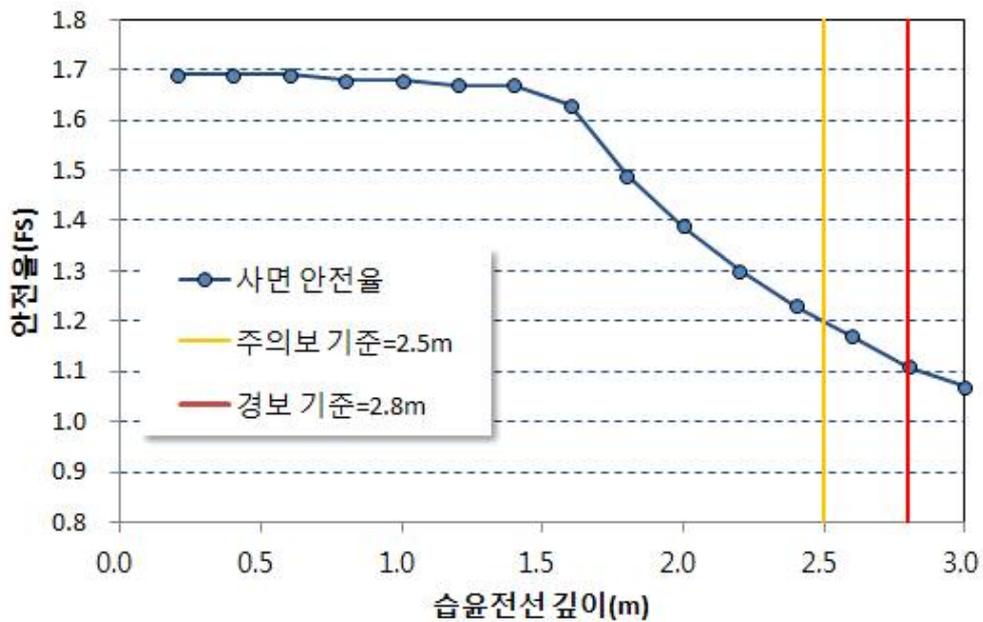


그림 3-2-82 | 대화지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

위의 그림은 대화지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 2.5 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.2 이하가 되고, 이후 포화심도가 2.8 m에 도달하면 안전율은 1.1 이하가 되는 것으로 나타났다.

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

다음의 그림은 대화지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 그림 (a)에서 발생한 강우량 중 토양 침투능을 초과하는 강우량은 지표 유출되고 (b)에서와 같이 침투가 발생하였다. 토양의 침투능을 초과하는 강우량은 유출되는 것이므로 침투능을 초과하는 폭우가 짧은 시간에 집중되는 강우사상은 홍수에 큰 영향을 미치지만 산사태의 위험도에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상할 수 있다. 오히려 신리지구의 침투능을 고려하면 1 cm/hr의 강우가 지속되는 것이 산사태의 위험도를 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. (c)에서 보면 적용된 강우사상 동안에 포화깊이는 지속적으로 증가하지만 사전에 설정된 주의보 기준인 2.5 m에 미치지 못하는 1.42 m로 적용한 강우사상에 대해서는 예보가 발령되지 않는 것으로 나타났다.

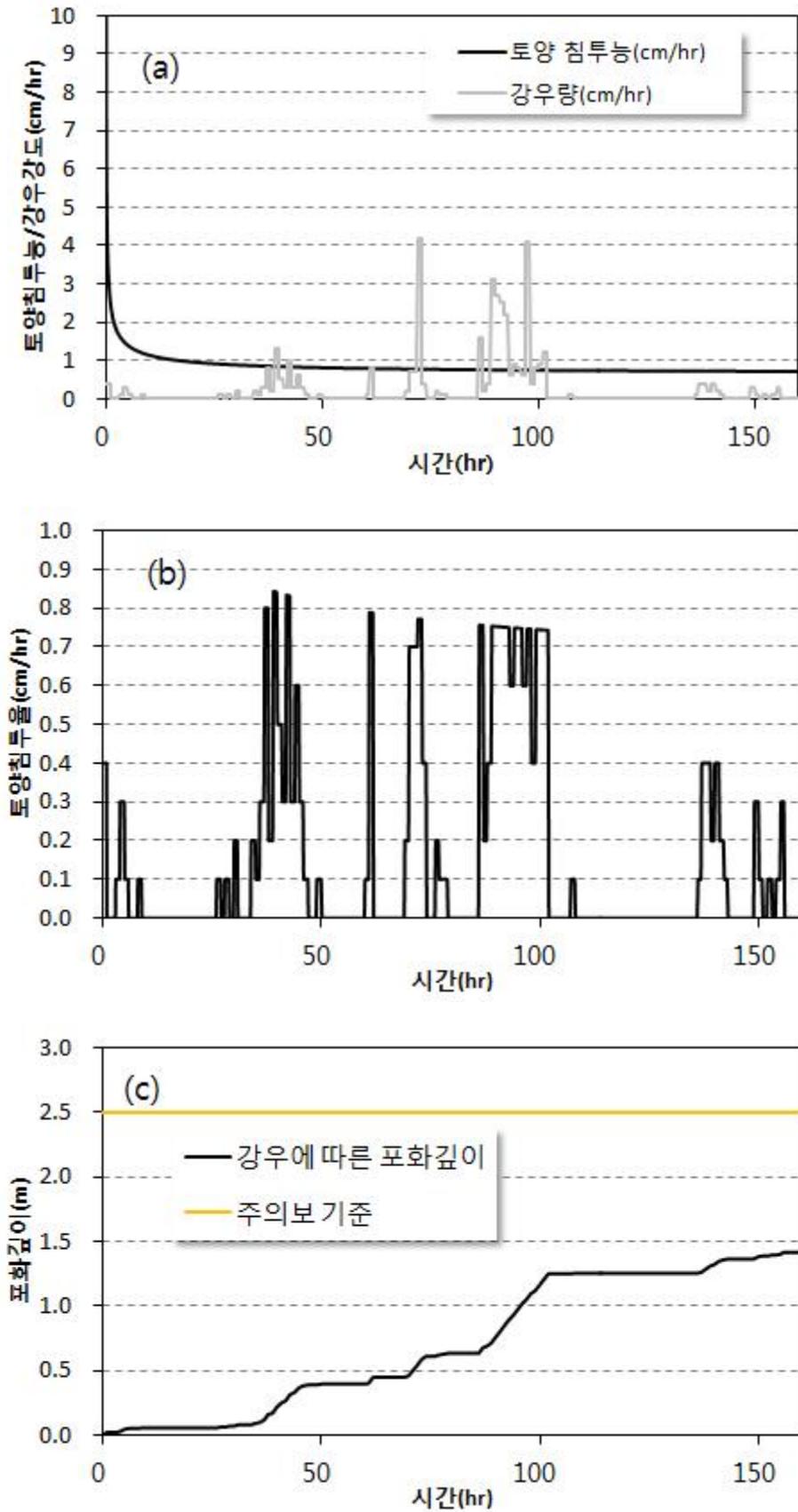


그림 3-2-83 | 대화지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

(2) 신리지구(PSL)

(가) 지구 현황 및 입력자료

신리지구는 강원도 평창군 대화면 신리에 위치하고 아래에 민박집이 있으며 경사가 매우 급한 사면이다. 대상 사면의 전경 및 표층 식생 상태는 다음과 같다.



a) 신리지구 사면 전경



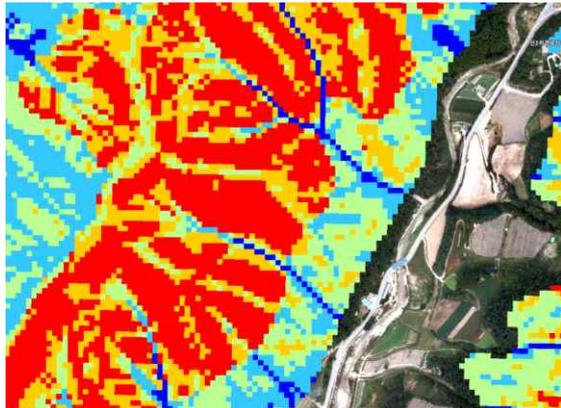
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-84 | 신리지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 신리지구는 사면의 아래에서 3-4등급으로 나타나지만 사면의 상부에서는 위험등급 1등급이 대부분으로 나타났다.



a) 신리지구 사면 위치



b) 신리지구 산사태 위험지도

그림 3-2-85 | 신리지구 사면위치 및 산사태 위험지도

신리지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다. 신리지구는 대화지구와 인접한 곳으로 호우사상은 대화지구와 동일한 사상을 적용하였다.

표 3-2-81 | 신리지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.63
	자연함수비	19.1
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	17.78
침투 특성	a	0.0410
	m	0.4284
	n	1.7496
	$\theta_0$ (%)	27.90
	$\theta_s$ (%)	42.12
	$\psi_{mf}$ (cm)	80.80
	$K_s$ (cm/hr)	1.2
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	13
	유효마찰각(°)	21.0
사면 형상	사면기울기(°)	45
	사면 토심(cm)	200

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

아래의 그림은 신리지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가 45°로 급경사지이며 사면의 안전율은 1.49로 안정한 상태로 나타났다.

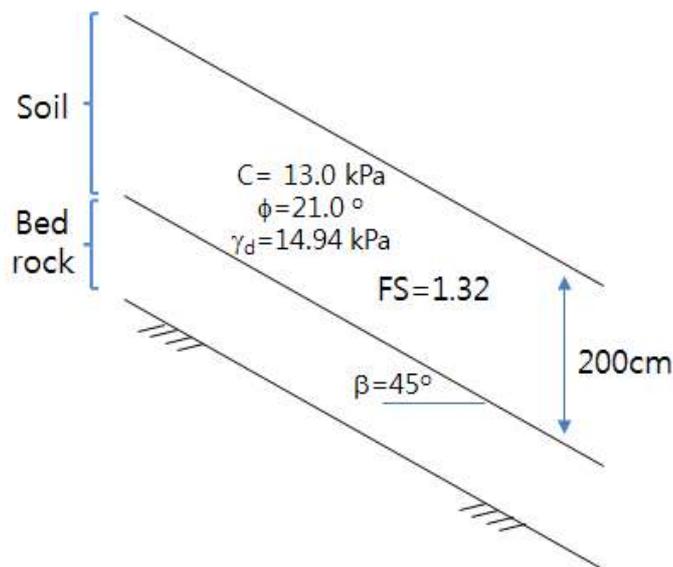


그림 3-2-86 | 신리지구 사면의 안전율

다음의 그림은 신리지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 1.33 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.3 이하가 되고, 이후 포화심도가 1.50 m에 도달하면 안전율은 1.1 이하가 되는 것으로 나타났다.

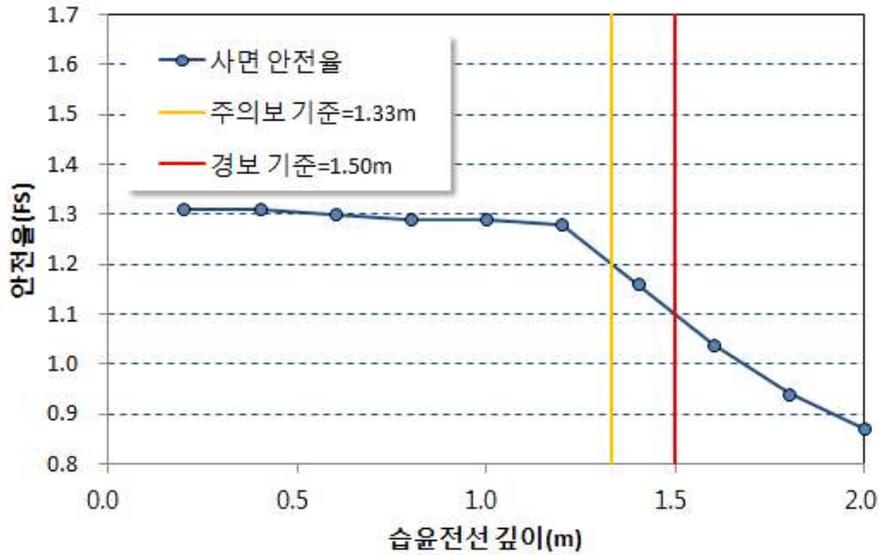


그림 3-2-87 | 신리지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

다음의 그림은 신리지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 신리지구는 대화지구와 인접한 지구로 동일한 강우사상을 적용하였다.

적용한 강우사상이 시작되고 약 100 시간 경과 후에 포화깊이는 주의보기준인 1.33 m에 도달하여 주의보를 발령하는 것으로 나타났다. 사면의 기울기가 크고 전반적인 안전율이 낮은 사면이므로 대화지구에서는 발령되지 않은 예보가 동일한 강우사상에 대해서도 나타나는 것으로 판단된다. 강우가 끝나는 156시간에 이르면 경보기준인 1.5 m에는 미치지 못하여 2단계 예보는 발령되지 않았으나 포화깊이가 1.48 m에 이르러 매우 위험한 단계까지 도달한 것으로 나타났다.

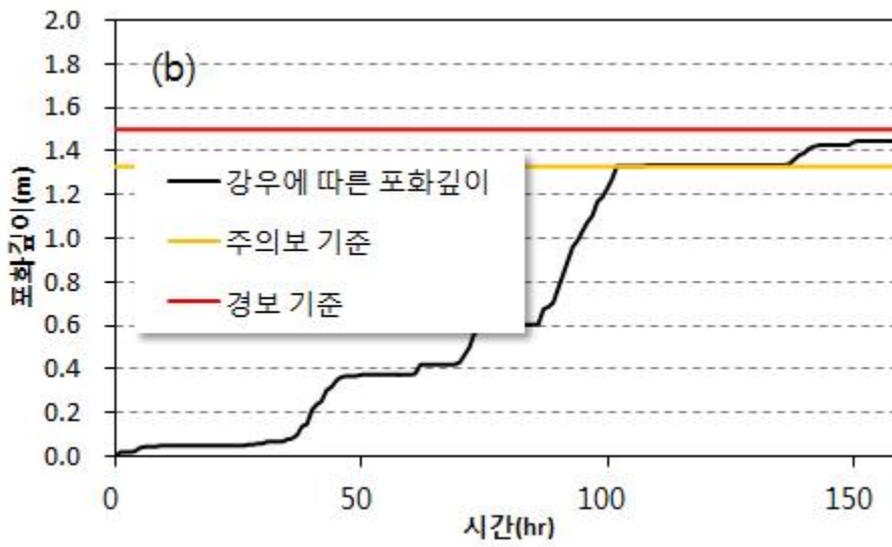
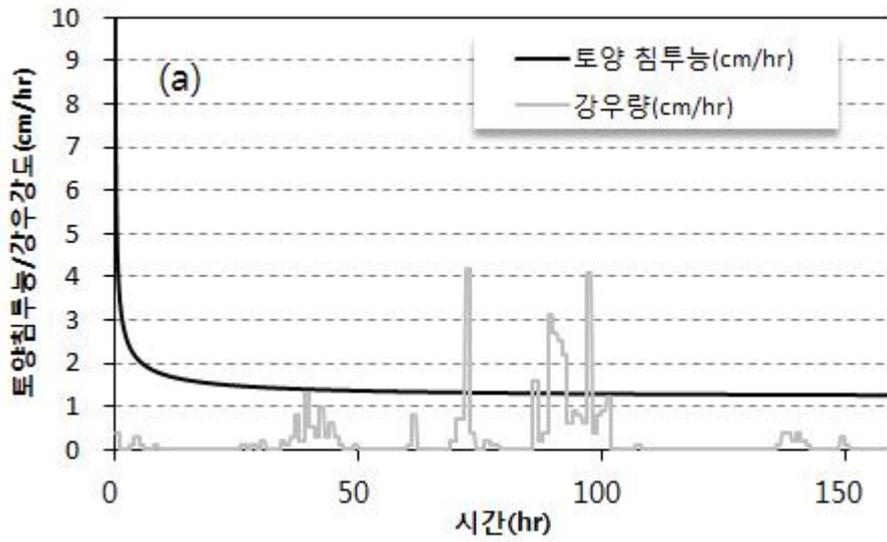


그림 3-2-88 | 신리지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

(3) 덕둔지구(PDL)

(가) 지구 현황 및 입력자료

덕둔지구는 경기도 포천시 신북면에 위치하며 사면은 크지 않으나 사면아래에 인접하여 주택이 있어 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 지구이다.



a) 덕둔지구 사면 전경



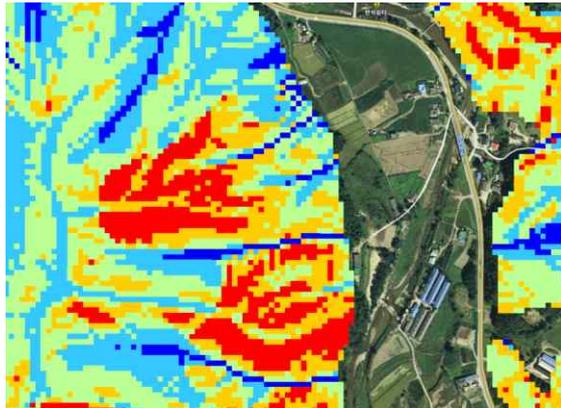
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-89 | 덕둔지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 덕둔지구는 사면의 전체가 위험등급 1-2등급이 대부분으로 나타났다.



a) 덕둔지구 사면 위치



b) 덕둔지구 산사태 위험지도

그림 3-2-90 | 덕둔지구 사면위치 및 산사태 위험지도

덕둔지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다.

표 3-2-82 | 덕둔지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.65
	자연함수비	16.5
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	16.96
침투 특성	a	0.0378
	m	0.3862
	n	1.6291
	$\theta_0$ (%)	29.50
	$\theta_s$ (%)	41.00
	$\psi_{mf}$ (cm)	75.09
	$K_s$ (cm/hr)	0.72
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	12.5
	유효마찰각(°)	25.2
사면 형상	사면기울기(°)	27
	사면 토심(cm)	210

덕둔지구에 적용한 강우는 2011년 7월 26일 17시부터 2011년 7월 28일 06시까지 발생한 강우로 최대 시강우량은 62 mm/hr가 발생하였다.

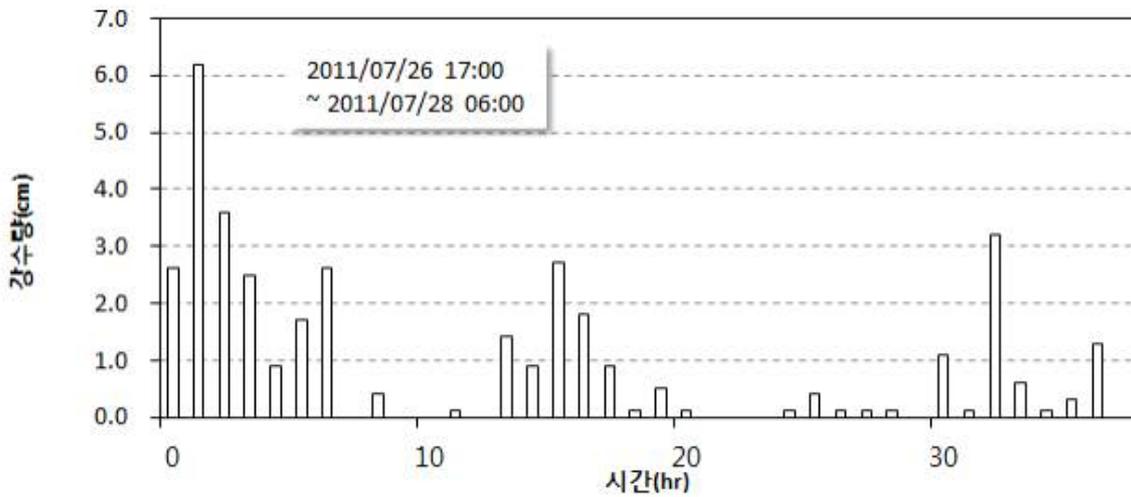


그림 3-2-91 | 덕둔지구 예·경보 모의를 위한 호우사상

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

다음의 그림은 덕둔지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가 27°로 상대적으로 완만한 편이고 사면의 안전율은 2.13로 안정한 상태로 나타났다.

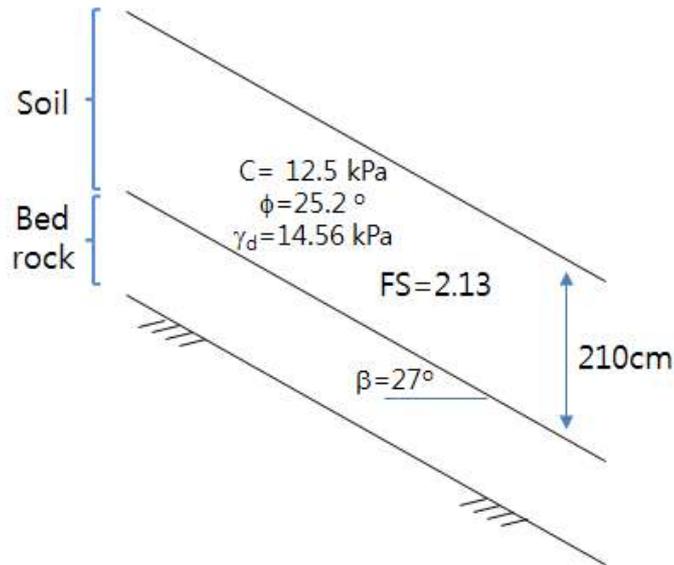


그림 3-2-92 | 덕둔지구 사면의 안전율

아래의 그림은 덕둔지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 2.5 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.2 이하가 되는 것으로 나타났다. 덕둔지구의 경우 사면의 경사가 완만한 편이고 사면의 토심도 상대적으로 작은 편이다. 또한 덕둔지구는 조사된 토심이 2.1 m이므로 해석상으로 사면이 주의보 기준에 도달하는 경우는 없는 것으로 나타났다. 그러나 사면에서 가장 위험한 조건으로 가정하면 본 지구에 대해서는 토심 전체가 포화되는 시점에 주의보를 발령하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

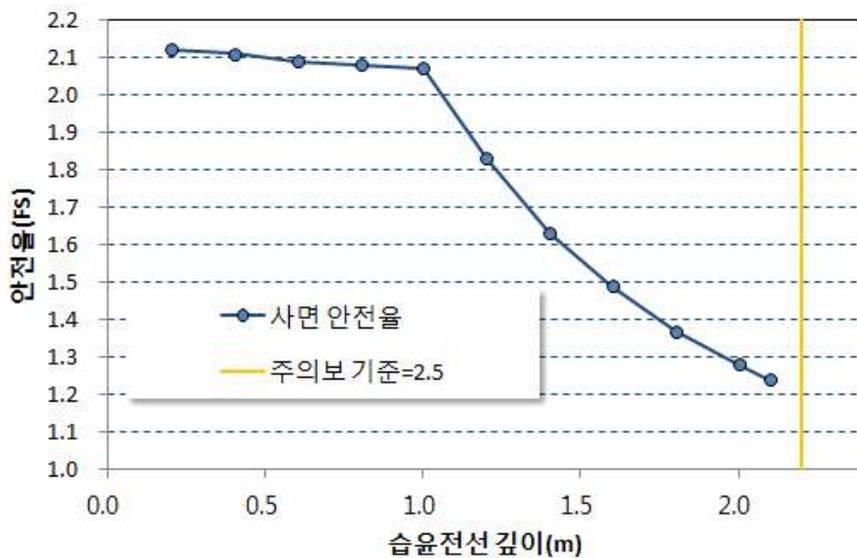


그림 3-2-93 | 덕둔지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

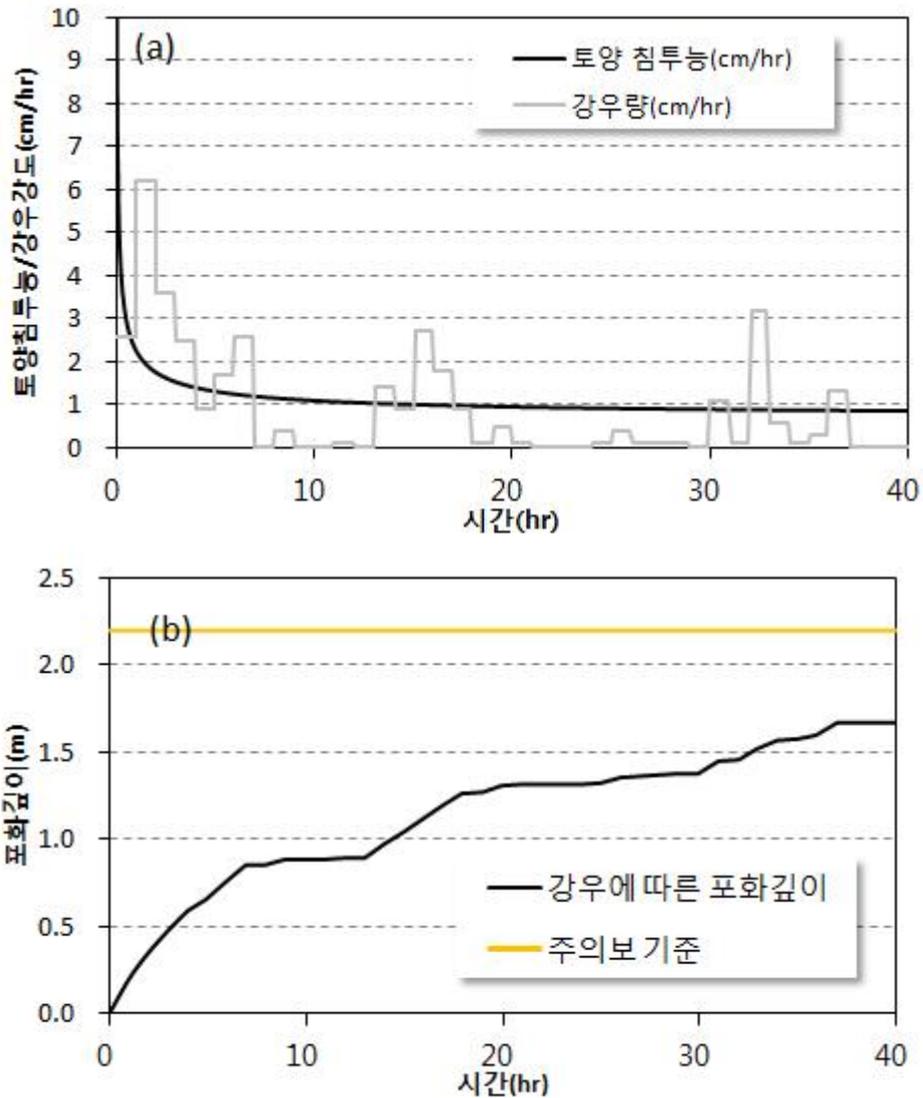


그림 3-2-94 | 덕둔지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

위의 그림은 덕둔지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 강우사상 동안에 발생한 포화깊이는 주의보기준인 2.2 m에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 덕둔지구는 사면이 완전 포화되는 경우 주의보를 발령하는 지구로 적용된 강우사상에 의해서 사면이 완전히 포화되지는 않는 것으로 나타났다.

#### (4) 간양지구(YGL)

##### (가) 지구 현황 및 입력자료

간양지구는 충청남도 예산군 예산읍에 위치하며 사면은 크지 않으나 사면아래에 인접하여 주택과 온실 및 도로가 있어 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 지구이다.



a) 간양지구 사면 전경



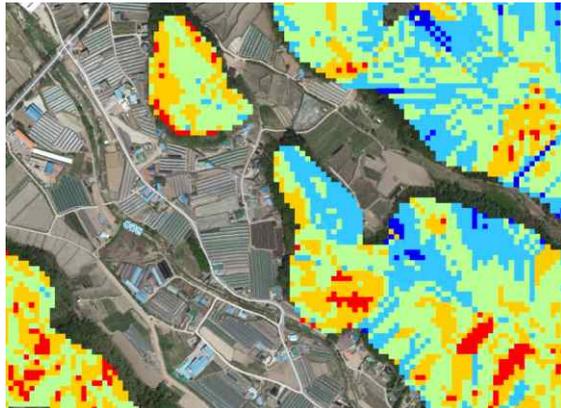
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-95 | 간양지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 간양지구는 사면의 전체가 위험등급 1, 2, 3등급이 대부분으로 나타났다.



a) 간양지구 사면 위치



b) 간양지구 산사태 위험지도

그림 3-2-96 | 간양지구 사면위치 및 산사태 위험지도

간양지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다.

표 3-2-83 | 간양지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.64
	자연함수비	16.5
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	18.58
침투 특성	a	0.0294
	m	0.3690
	n	1.5849
	$\theta_0$ (%)	27.90
	$\theta_s$ (%)	42.12
	$\psi_{mf}$ (cm)	90.23
	$K_s$ (cm/hr)	0.69
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	14.0
	유효마찰각(°)	23.4
사면 형상	사면기울기(°)	29
	사면 토심(cm)	250

간양지구에 적용한 강우는 2010년 8월 12일 20시부터 2010년 8월 15일 10시까지 발생한 강우로 최대 시강우량은 90 mm/hr이 발생하였다. 강우사상의 초반에 집중적인 강우가 발생하고 이후 산발적인 강우가 연속된 사상을 선정하였다.

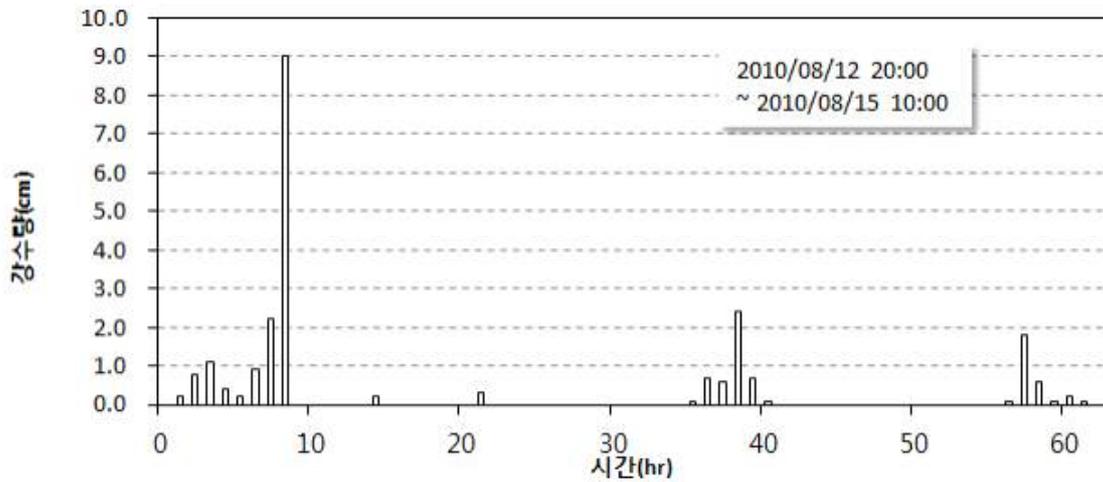


그림 3-2-97 | 간양지구 예·경보 모의를 위한 호우사상

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

다음의 그림은 간양지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가 29°로 상대적으로 완만한 편이고 사면의 안전율은 1.81로 안정한 상태로 나타났다.

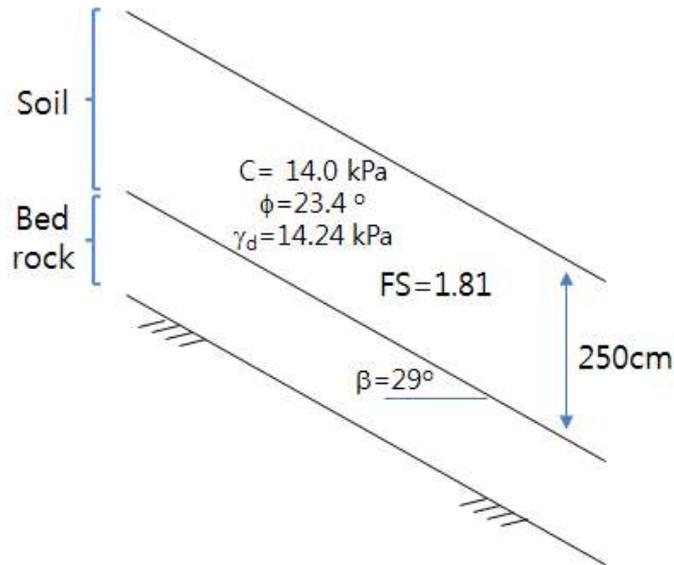


그림 3-2-98 | 간양지구 사면의 안전율

다음 그림은 간양지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 2.13 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.2 이하가 되고, 이후 포화심도가 2.40 m에 도달하면 안전율은 1.1 이하가 되는 것으로 나타났다.

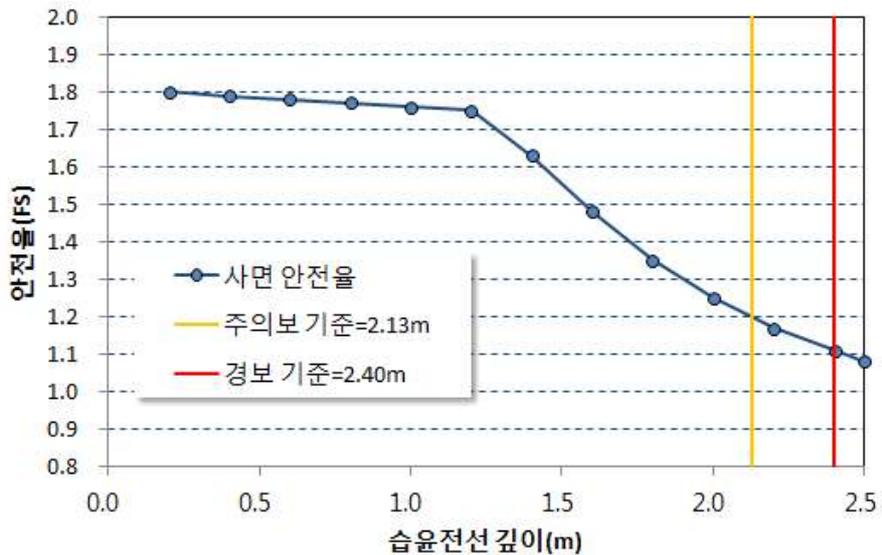


그림 3-2-99 | 간양지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

다음의 그림은 간양지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 초기에 발생한 강우의 대부분이 지표로 유출되고 이후 몇 시간 단위의 강우가 이어진 강우사상이다.

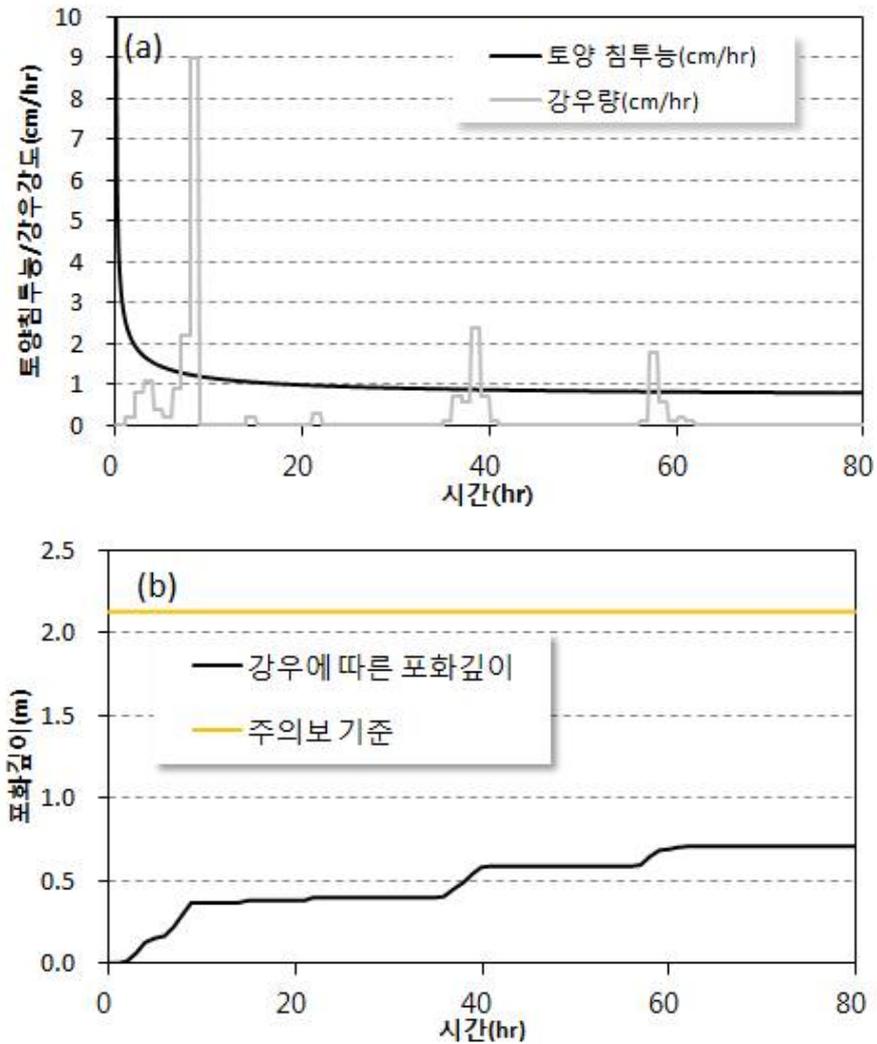


그림 3-2-100 | 간양지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

강우사상 동안에 발생한 포화깊이는 주의보기준인 2.13 m에 미치지 못하는 0.71 m로 나타났으며 이때까지 사면의 안전율은 1.78로 매우 안전한 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 적용한 강우사상은 비록 시간 강우량이 크지만 이어지는 강우의 지속시간이 상대적으로 짧아 사면의 안정성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

(5) 무릉지구(AML)

(가) 지구 현황 및 입력자료

무릉지구는 경상북도 안동시 남후면 무릉리에 위치하며 사면은 크지 않으나 사면아래에 인접하여 주택이 있어 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 지구이다.



a) 무릉지구 사면 전경



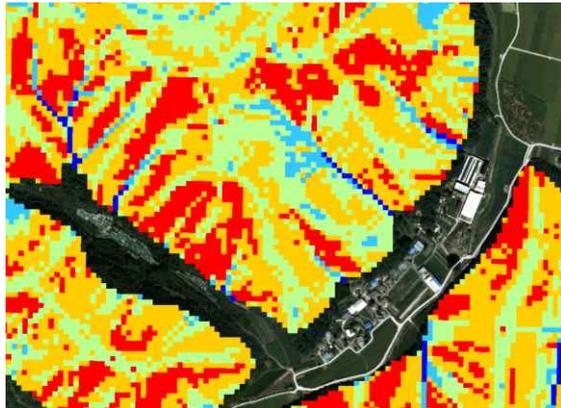
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-101 | 무릉지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 무릉지구는 사면의 전체가 위험등급 1, 2, 3등급이 대부분으로 나타났다.



a) 무릉지구 사면 위치



b) 무릉지구 산사태 위험지도

그림 3-2-102 | 무릉지구 사면위치 및 산사태 위험지도

무릉지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다.

표 3-2-84 | 무릉지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.69
	자연함수비	15.4
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	18.58
침투 특성	a	0.0381
	m	0.3855
	n	1.6275
	$\theta_0$ (%)	27.00
	$\theta_s$ (%)	35.50
	$\psi_{mf}$ (cm)	74.35
	$K_s$ (cm/hr)	1.11
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	15.3
	유효마찰각(°)	26.0
사면 형상	사면기울기(°)	42
	사면 토심(cm)	210

무릉지구에 적용한 강우는 2011년 6월 24일 03시부터 2011년 6월 26일 14시까지 발생한 강우로 최대 시강우량은 20 mm/hr이 발생하였다. 약 60시간 동안 비교적 산발적인 강우가 연속된 사상을 선정하였다.

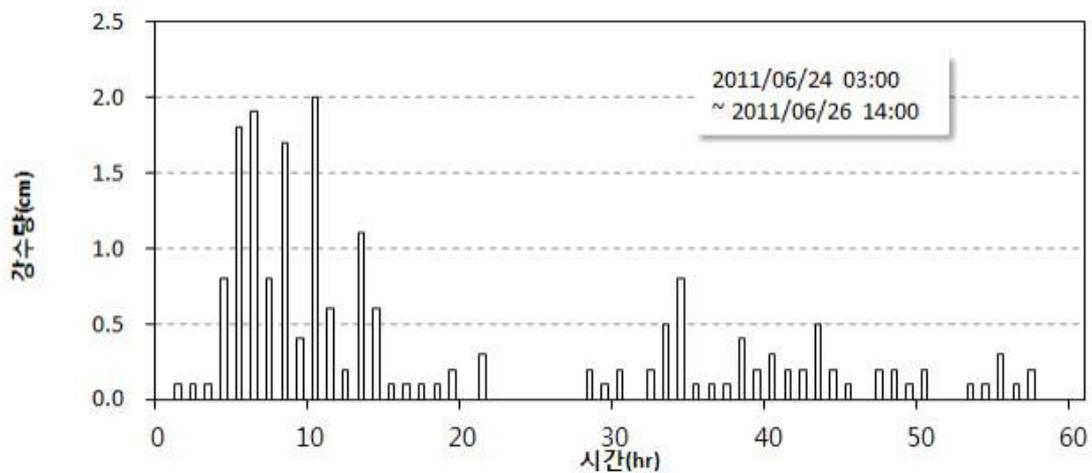


그림 3-2-103 | 무릉지구 예·경보 모의를 위한 호우사상

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

다음의 그림은 무릉지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가 42°로 상대적으로 급한 편이고 사면의 안전율은 1.57로 안정한 상태로 나타났다.

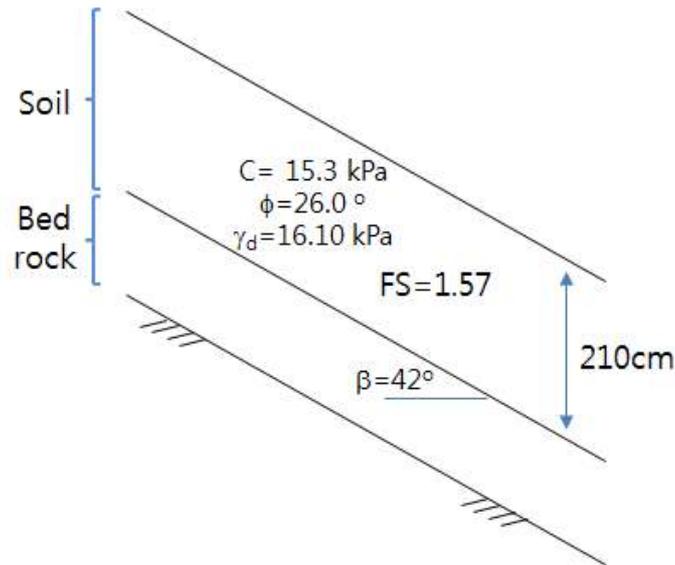


그림 3-2-104 | 무릉지구 사면의 안전율

아래의 그림은 무릉지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 1.67 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.2 이하가 되고, 포화심도가 1.88 m에 도달하면 2단계 예보기준인 안전율 1.1이하가 되는 것으로 나타났다. 그리고 토심 전체가 포화되면 안전율은 약 1.0까지 감소하는 것으로 나타났다.

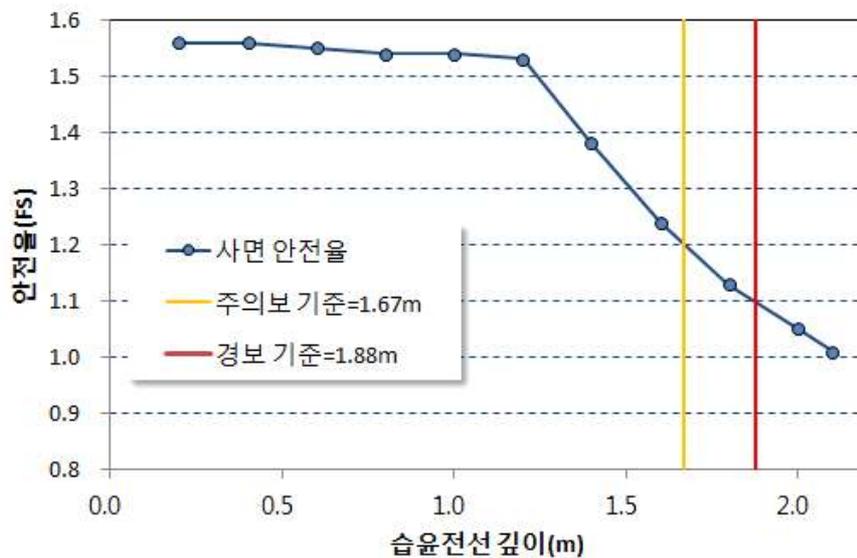


그림 3-2-105 | 무릉지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

다음의 그림은 무릉지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 그림 (a)에서 보면 강우량 중 토양 침투능을 초과하는 부분이 없어 지표 유출은 거의 없으나 침투되는 강우량 또한 크지 않은 강우사상이다.

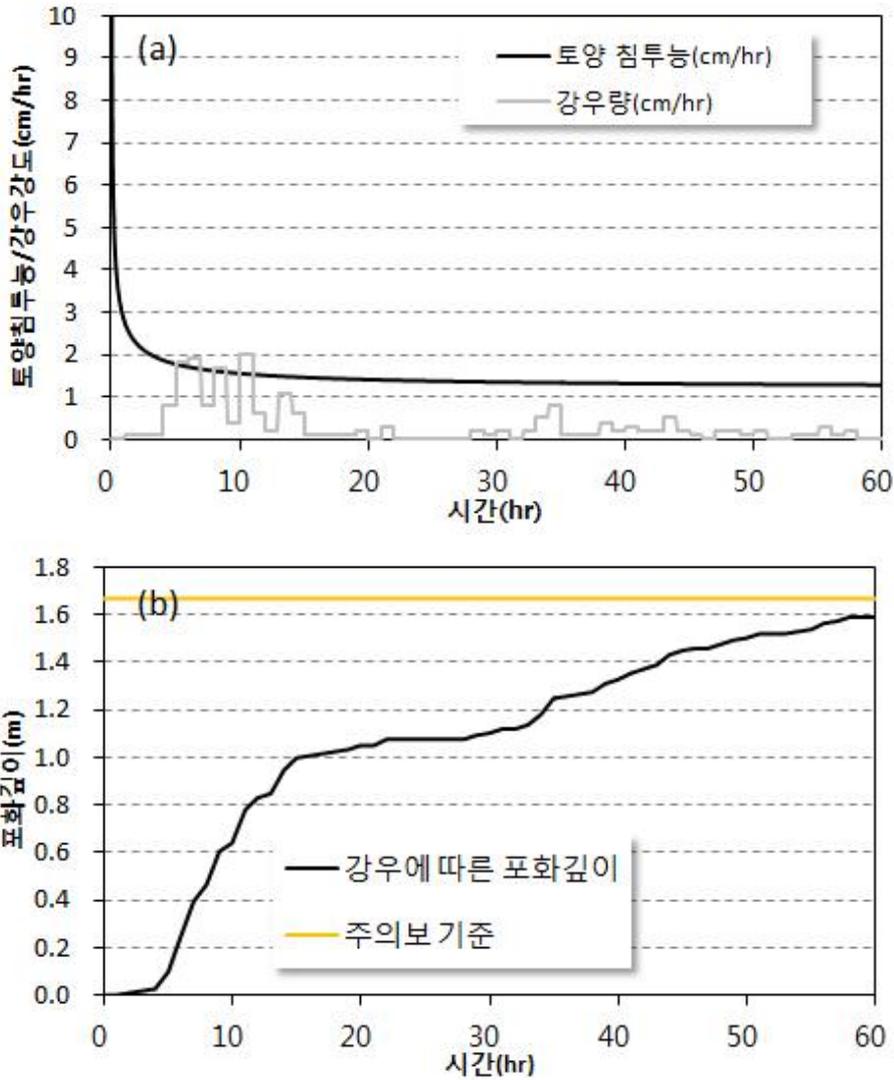


그림 3-2-106 | 무릉지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

강우사상 동안에 발생한 포화깊이는 주의보 기준인 1.67 m을 초과하지 않는 1.62 m로 나타났다. 적용한 강우사상에 대하여 주의보에는 접근하지 않았으나 안전율은 1.23까지 낮아진 것으로 나타났다.

(6) 현곡지구(IHL)

(가) 지구 현황 및 입력자료

현곡지구는 전라북도 임실군 임실읍 현곡리에 위치하며 사면은 크지 않으나 사면아래에 인접하여 주택이 있어 사면이 파괴되는 경우 인명 및 재산피해가 예상되는 지구이다.



a) 현곡지구 사면 전경



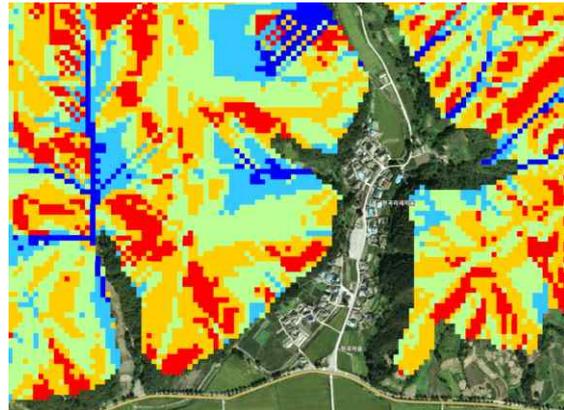
b) 현장조사 및 시료채취

그림 3-2-107 | 현곡지구 사면전경 및 현장조사

산림청에서 제공하는 산사태위험지도에서 현곡지구는 사면의 전체가 위험등급 1-2등급이 대부분으로 나타났다.



a) 무릉지구 사면 위치



b) 무릉지구 산사태 위험지도

그림 3-2-108 | 현곡지구 사면위치 및 산사태 위험지도

현곡지구의 산사태 위험도 평가를 위한 안정해석에 필요한 자료에 대한 현장조사 및 실험 결과를 요약하면 다음의 표와 같다.

표 3-2-85 | 현곡지구 산사태 예보를 위한 자료

특성		값
기본 특성	비중	2.67
	자연함수비	23.2
	습윤단위중량( $kN/m^3$ )	18.63
침투 특성	a	0.0387
	m	0.4377
	n	1.7783
	$\theta_0$ (%)	27.90
	$\theta_s$ (%)	43.00
	$\psi_{mf}$ (cm)	88.36
	$K_s$ (cm/hr)	1.25
강도 특성	유효점착력( $kPa$ )	10.9
	유효마찰각(°)	22.3
사면 형상	사면기울기(°)	31
	사면 토심(cm)	200

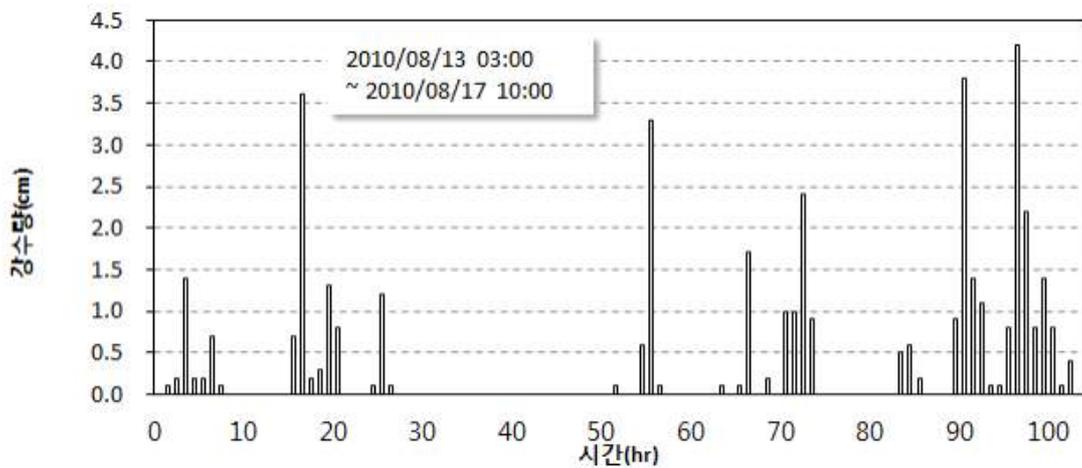


그림 3-2-109 | 현곡지구 예·경보 모의를 위한 호우사상

현곡지구에 적용한 강우는 2010년 8월 13일 03시부터 2010년 8월 17일 10시까지 발생한 강우로 최대 시강우량은 42 mm/hr이 발생하였다. 약 100시간 동안 비교적 산발적인 강우가 연속된 사상을 선정하였다.

(나) 침투 및 안정해석에 따른 예·경보 기준 설정

다음의 그림은 현곡지구의 강우가 없는 조건에서의 사면의 안전율을 나타낸다. 사면의 경사가  $31^\circ$ 이며 사면의 안전율은 1.60로 안정한 상태로 나타났다.

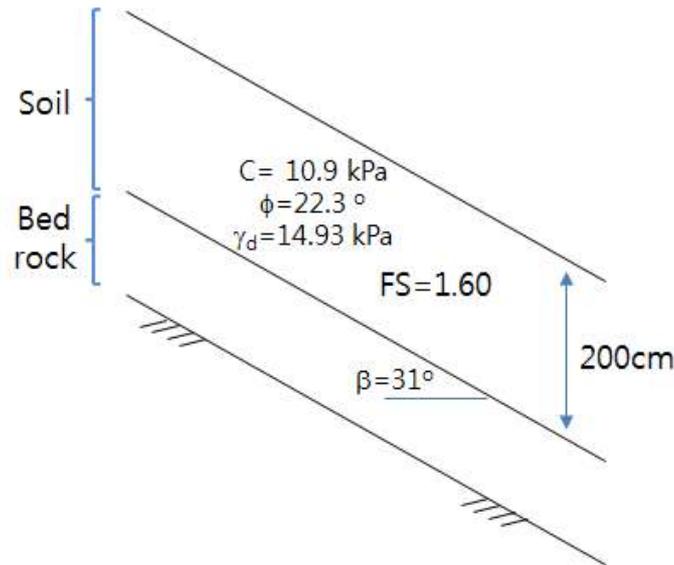


그림 3-2-110 | 현곡지구 사면의 안전율

아래의 그림은 현곡지구의 포화심도의 변화에 따른 안전율의 변화를 나타낸다. 지속적인 강우가 발생하여 포화심도가 1.49 m에 도달하면 안전율은 1단계 예보기준인 1.2 이하가 되고, 이후 포화심도가 1.69 m에 도달하면 안전율은 1.1 이하가 되는 것으로 나타났다. 토심 전체가 포화되면 사면의 안전율은 1.0 이하가 되는 것으로 나타났다.

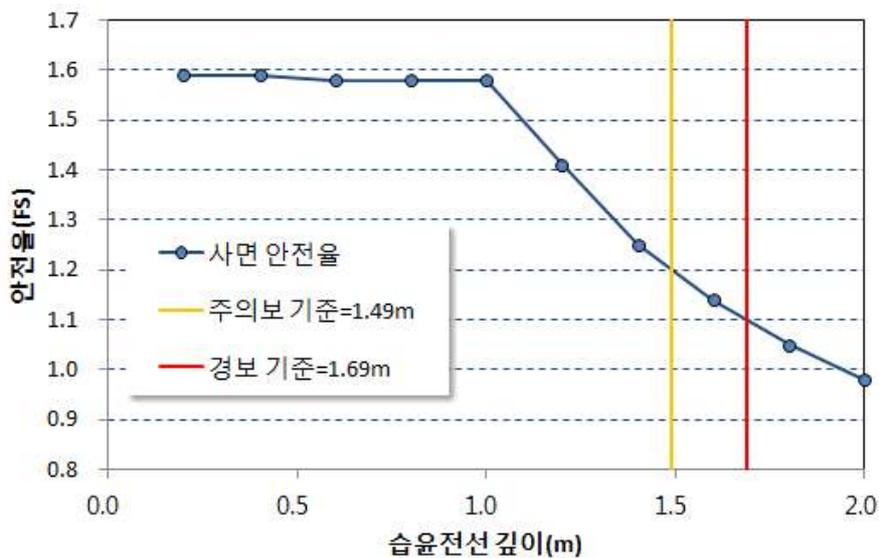


그림 3-2-111 | 현곡지구의 포화심도 깊이에 따른 안전율 변화

(다) 기왕 호우사상에 의한 예·경보 발령 현황

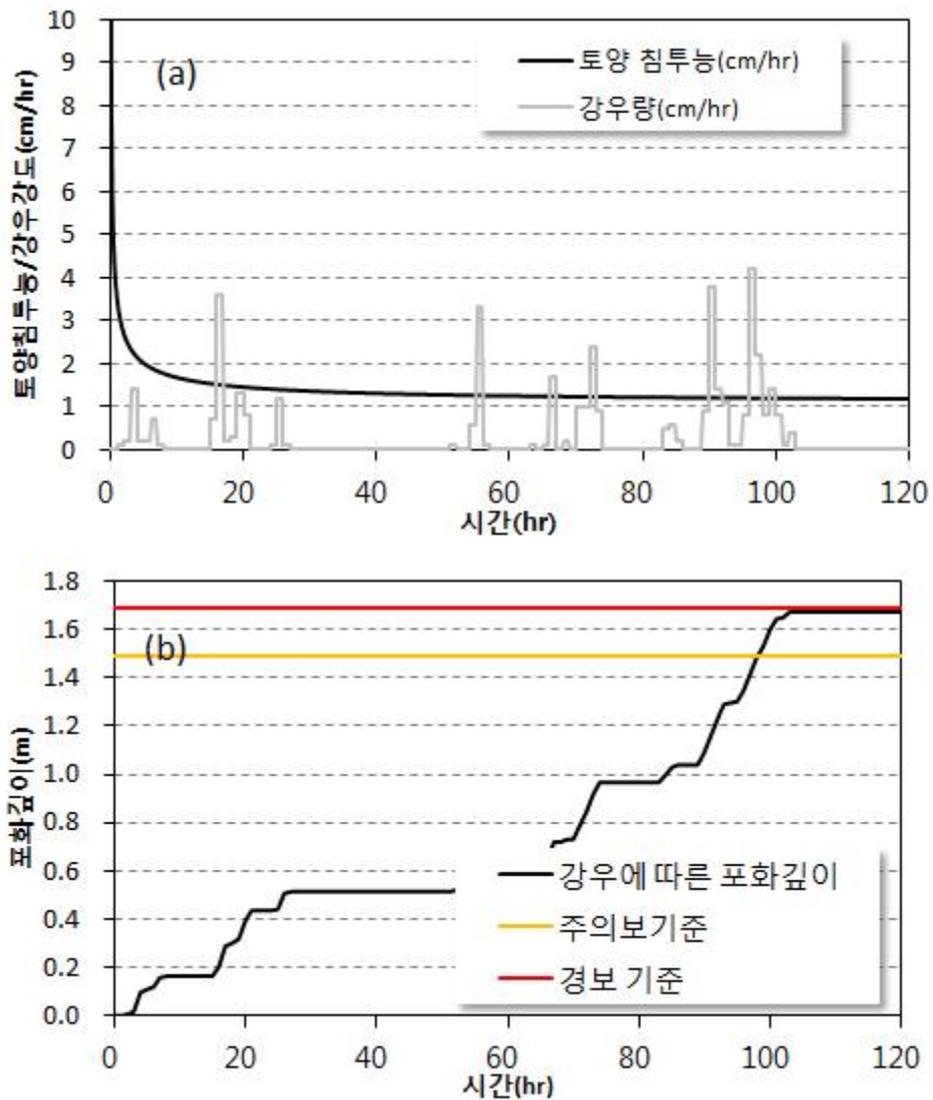


그림 3-2-112 | 현곡지구의 과거 강우사상에 의한 침투깊이 및 예보 현황

위의 그림은 현곡지구의 기왕 강우사상에 의한 사면의 위험잠재능을 평가한 그림이다. 강우가 발생하고 약 100시간 경과 후 사면의 포화깊이는 주의보 기준인 1.49 m에 도달하였으며, 적용한 강우사상이 끝나는 시점에서 포화깊이는 경보기준인 1.69 m에 조금 미치지 못하는 1.68 m로 나타났다. 적용된 기준에 의하면 강우가 조금 더 지속되었다면 사면에 대하여 경보를 발령했을 것으로 판단된다. 적용된 강우사상에 의하여 최종적인 사면의 안전율은 1.1로 나타났다.

## 제3절 돌발재해 예·경보 서비스를 위한 시스템 개발

### 1. 데이터 및 센서 관리 시스템 개발

본 연구과제에서 개발한 돌발홍수 및 산사태를 감지하기 위한 센서는 면단위 또는 군단위에 설치되고 무선 센서-네트워크를 통해 수 km 밖에 설치된 게이트웨이에 모니터링 정보가 전달되고, 게이트웨이에 수집된 센싱 정보와 수문정보, 기상정보, 토양 및 토질정보가 결합되어 돌발재해 예·경보 체계가 구축된다. 본 절에서는 지역단위로 센서에서 계측된 정보를 모니터링 및 센서의 현황을 관리하기 위한 관리시스템 개발에 대하여 설명한다. 관리시스템은 일반적인 관리기능 외에 일정 임계값 이상의 이상 징후에 대해 지역 관리자에게 통보하는 돌발재해 경보 시스템 기능을 포함하고 있다. 우선 돌발홍수 및 산사태 위험지구에 대한 데이터 모니터링 시스템과 경보 시스템의 관리체계에 대해 설명하고, 모니터링 시스템 구축 결과에 대해 설명한다.

#### 가. 인터넷 서비스 관리체계

센서 모니터링과 이를 이용한 경보 시스템은 WEB 서비스와 스마트폰 App. 서비스를 통해 구축되었다. 센서 계측값은 지역단위로 구축된 게이트웨이에서 수집되고, 다시 게이트웨이에 수집된 정보는 실시간적으로 WEB 서버에 전달된다. WEB 서버는 Linux 상에서 동작하며 다음 그림과 같은 시스템 아키텍처를 통해 구축되었다.

돌발재해 서버는 Linux OS를 기반으로 구축되었으며, Apache WEB 서버와 MySQL DBMS, 그리고 Node.js 프레임워크 및 SocketIO 프레임워크를 이용한다. 또한 사용자 환경으로 WEB 기반의 어플리케이션과 스마트폰 App. 기반의 서비스로 제공된다. 웹서비스는 Socket.IO, Google map service, Flot 등의 플랫폼 API를 사용하며 이들은 모두 javascript/jQuery 기반으로 작성되었다. 웹서비스의 주요 모듈로는 다음과 같다.

- 지역단위 서비스를 위한 Zone 설정 및 관리 모듈 : 군단위 또는 면단위 지역 별 서비스를 위해서는 통신 환경에 따라 몇 개의 구역별로 대상 지역을 구분하고 각각의 구역을 담당하는 게이트웨이를 통합적으로 관리할 수 있는 기능이 필요하다. 이러한 구역 별 서비스 존을 Zone이라 하고 Zone 별로 관리자 및 경보 통보를 위한 관리자가 선임될 수 있다. 각각의 Zone 별로 서비스 접근 권한이 할당되어 모니터링 권한과 돌발재해 경보에 대한 접근권한이 설정된다.
- 관리자 등록 및 접근 권한 설정 모듈 : Zone 별로 센서를 관리하고 경보를 통지하는 관리자를 선임할 수 있는 기능을 제공한다. 먼저 관리자가 등록되며, Zone의 관리설정에서 관리자의 접근권한을 설정할 수 있다.
- 센서 등록 모듈 : 해당 Zone에 설치된 센서를 등록하고 관리할 수 있는 기능에 제공된다.

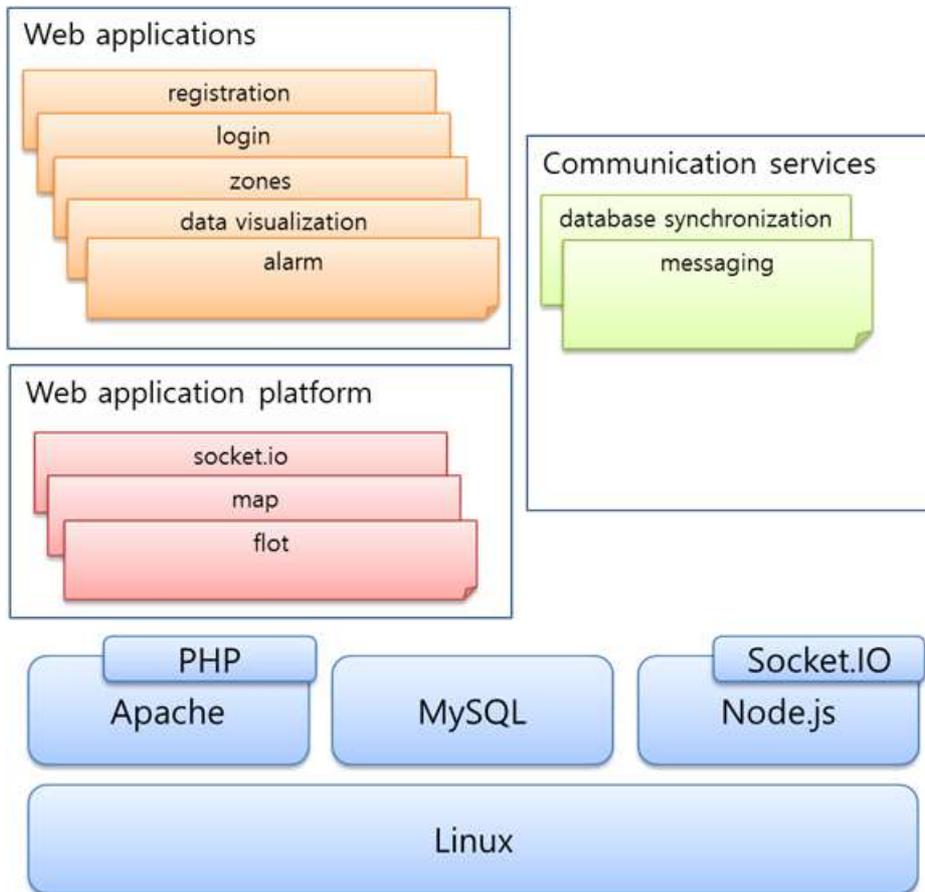


그림 3-3-1 | 인터넷 서비스 관리체계

- 무선 네트워크 토폴로지 구성 모듈 : 해당 Zone에 대해 통신 환경 및 중계기를 통한 라우팅 경로를 설정할 수 있는 기능을 제공한다. 기본적으로 Map 기반 하에서 네트워크 토폴로지를 구성할 수 있다.
- 센서 모니터링 모듈 : 해당 Zone에 포함된 센서의 계측 값을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기능과 그래프를 이용한 분석 기능, 관련 관측값의 다운로드 기능을 제공한다.
- 돌발재해 조기 경보 서비스 모듈 : 해당 Zone의 센서 계측값을 기반으로 센서 별로 설정된 일정 임계값(수위 계측기의 경우 하천 프로파일에 대한 수위 값, 산사태 조기 감지 센서의 경우 센서 별로 설정된 기울기 및 지표면 변위에 대한 임계값)을 초과한 경우 경보가 발령되며, 발령된 경보는 해당 관리자에게 스마트폰 App.을 통한 통지 및 문자 메시지를 통한 알람 기능이 제공된다.

다음 그림은 센서노드, 게이트웨이, WEB 서비스 사이에서 임계값 이상의 계측값이 발생한 경우 데이터의 전달 과정을 표시한 것이다. 비정상적인 기울기 센서값이 발생할 경우 기울기 센서노드는 sleep 모드에서 깨어나 게이트웨이에 데이터 송신을 개시한다. 기울기의 변화가 발생하는 동안 데이터 송신을 계속되며 이를 수신한 게이트웨이는 서버로 메시지를 전송한다. 돌발홍수에 대응한 수위 계측값도 이와 유사한 절차를 통해 조기 경보 시스템에 전달된다.

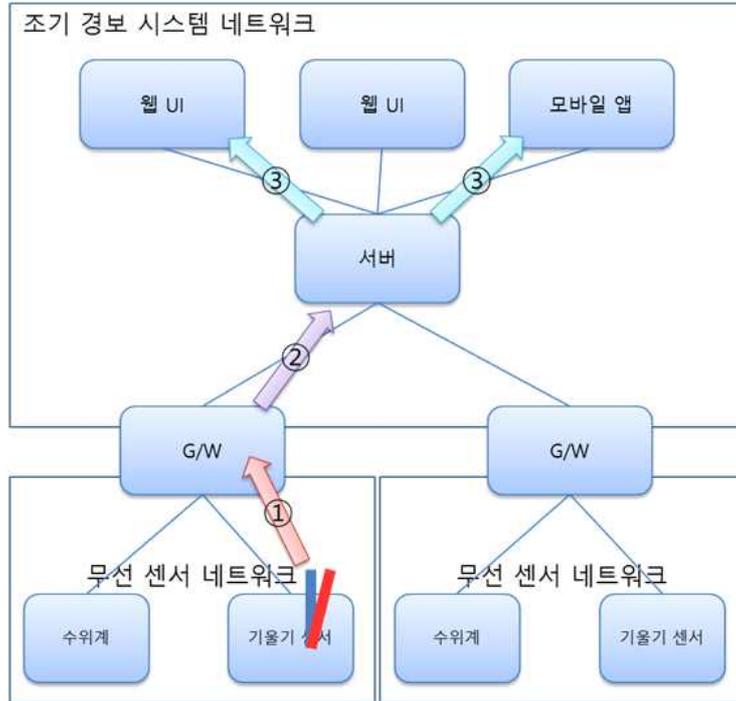


그림 3-3-2 | 조기 경보 시스템에서의 자료 전달 과정 모식도

돌발재해 조기 경보 시스템을 위한 센싱 정보는 다음과 같다.

표 3-3-1 | 돌발재해 조기 경보 체계에 이용된 센서 관측 값

관측정보 이름	정보 타입	설명
id	Int(1)	일련번호
mac	mediaumint(1)	센서노드 MAC
zone	varchar(32)	소속 존
temperature	smallint(1)	온도(0.1도 단위)
humidity	smallint(1)	습도(0.1% 단위)
water_level	smallint(1)	수위(mm 단위)
soil	smallint(1)	토양수분
gyro_x	smallint(1)	X축 기울기
gyro_y	smallint(1)	Y축 기울기
gyro_z	smallint(1)	Z축 기울기
gyro_dx	smallint(1)	X축 변위
gyro_dy	smallint(1)	Y축 변위
gyro_dz	smallint(1)	Z축 변위
vbat	smallint(1)	배터리 전압
ts	timestamp	타임스탬프

## 나. 네임서버를 이용한 WEB 서비스 관리

기본적으로 센서노드는 게이트웨이 별로 관리된다. 경우에 따라서는 각각의 게이트웨이 별로 관리자가 별도로 선임될 수 있으며, 관리자별로 접근권한을 배타적으로 설정할 수 있다. 이러한 배타적 설정 권한은 사용자 로그인을 통해 접근권한을 설정할 수도 있고 게이트웨이 별로 서로 다른 가상머신 (Virtual Machine) 구성을 통해 완전히 WEB 서비스를 구분할 수 있다.

본 연구에서는 네임서버와 가상머신을 이용하여 관리자별로 완전히 WEB 서비스를 구분하는 방법을 적용하였다. 이러한 방법은 다음과 같은 절차를 통해 구축하였다.

먼저 WEB 서비스를 위해 DNS(Domain Name Service)에 도메인을 등록하고 해당 도메인의 네임서버를 WEB 서비스를 관리하는 서버로 할당하였다 (Domain : linksensor.net).

네임서버에서는 게이트웨이가 등록될 때마나 별도의 URL을 설정하도록 하고, URL별로 가상머신을 설정하고 가상머신 상에서 WEB 서버와 DBMS가 구축될 수 있도록 하였다. URL은 도메인 네임 앞에 4자리 숫자를 통해 구분되는데, “http://00XX.linksensor.net”와 같은 형태로 구성된다. “00XX”에서 “00”은 추후 활용하기 위한 것으로 모든 게이트웨이에서 동일하며, “XX”은 게이트웨이 일련번호를 의미한다. 일반 사용자 또는 특정 게이트웨이 관리자는 해당 게이트웨이에 설정된 URL을 통해 WEB 서비스에 접근할 수 있다.

## 다. 지역단위 서비스를 위한 Zone 설정 및 관리 모듈

군단위 또는 면단위에 설치된 수위 계측 센서 및 지표면 변위 센서는 통신 환경에 따라 몇 개의 구역으로 구분하여 게이트웨이가 설치될 수 있다. 이러한 구분 방법은 산악지형에 따른 통신 환경, 행정구역에 따른 관리자 구분, 한 개의 게이트웨이에서 관리할 수 있는 센서의 수에 따라 다양한 형태로 구분될 수 있다. 센서 계측값은 게이트웨이 별로 관리되지 않더라도, 웹 서비스에서는 하나 이상의 게이트웨이를 모아 Zone으로 설정하고 각각의 Zone에 관리자를 설정하여 센서 관리 효율을 높일 수 있다. 따라서 Zone은 물리적인 게이트웨이를 관리에 편하도록 논리적으로 다시 재 분류하는 작업으로 볼 수 있다. Zone은 다음과 같은 체계로 구성되며, 논리적인 Zone의 설정은 다음 그림과 같이 이루어 질 수 있다.

- LinkSensor : LinkSensor는 전체 시스템을 관리하는 노드라고 볼 수 있다. 이 최상위 노드의 관리자는 시스템의 관리자가 된다.
- District : District는 군단위 또는 면단위 행정구역별로 센서노드를 구분하기 위한 노드이다. “zone”은 하나 이상의 게이트웨이에 속한 센서노드를 논리적으로 재분류한 것으로 특정 게이트웨이에 속한 센서노드들이 다른 zone에 포함될 수 있다.
- Node : Node는 수위 센서 또는 변위 센서를 가리킨다.

Zone의 등록권한은 시스템 관리자(Administrator)에 있다. 시스템 관리자는 WEB 서비스에 접속하여 그림 3-3-3과 같이 Zone 설정 화면에서 Zone을 설정하고, 해당 Zone에 센서노드를 그룹화 할 수 있다.

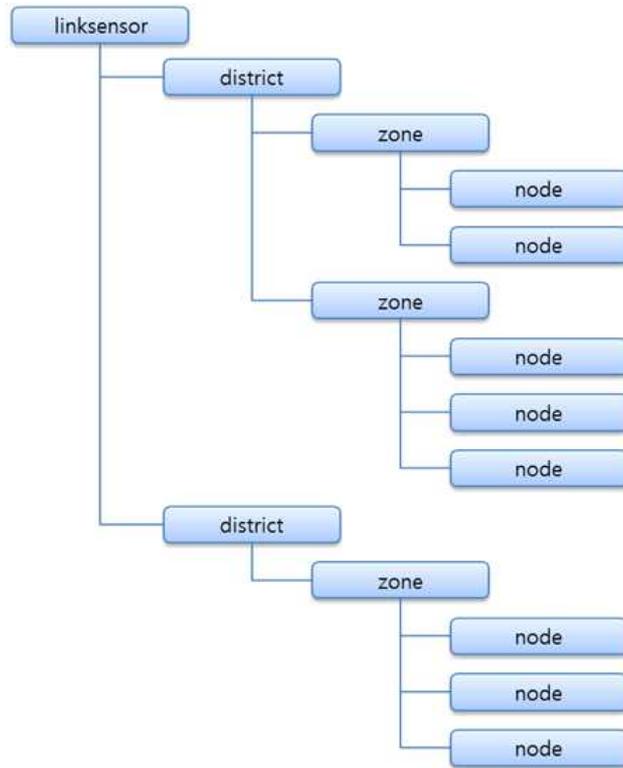


그림 3-3-3 | 센서노드의 논리적인 Zone으로 분류

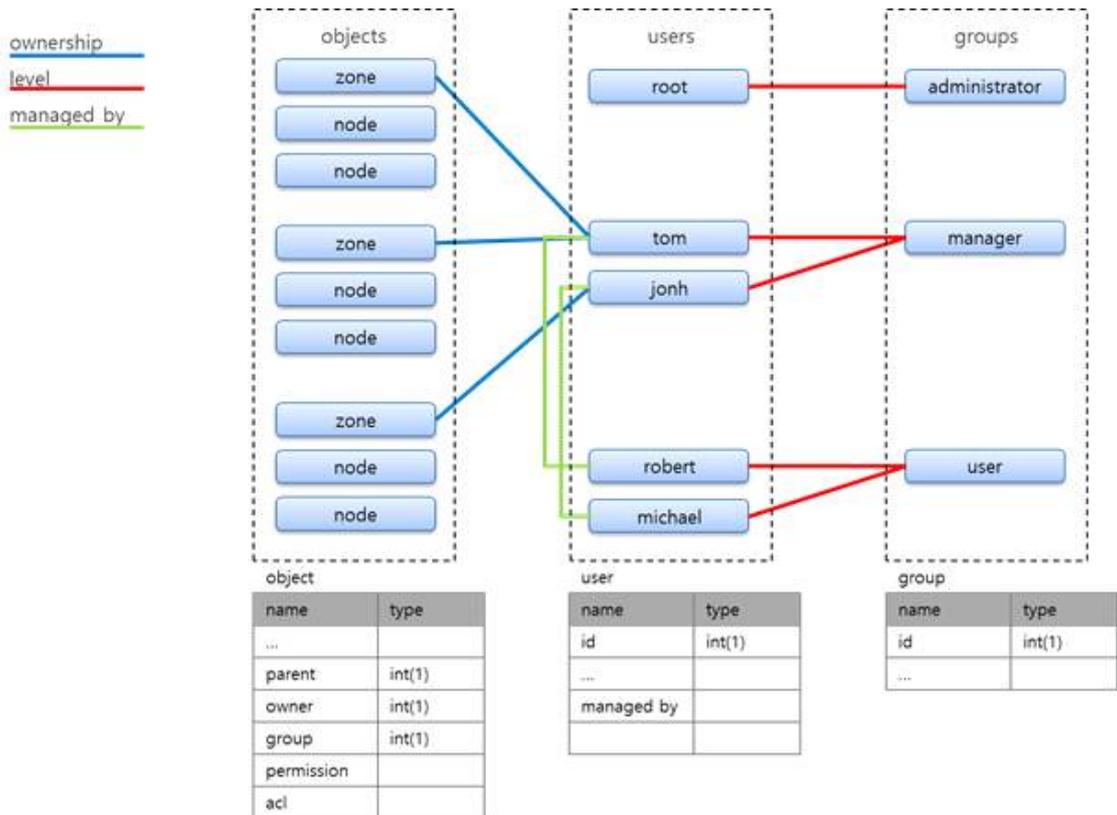


그림 3-3-4 | Zone, 관리자, 관리자 그룹간의 연결 관계

## 라. 센서 등록 및 네트워크 토폴로지 구성

관리자 권한을 가진 사용자는 WEB 서비스에 접속해서 센서를 등록하거나 네트워크 토폴로지를 변경할 수 있다.

### (1) 센서 등록 및 변경 기능

센서노드의 경우 새로운 위치에 센서를 등록하는 경우, 센서의 위치를 변경하는 경우, 센서를 기존 게이트웨이에서 다른 게이트웨이로 하위 노드로 변경하는 경우, 센서를 회수하는 경우 4가지에 조치를 취할 수 있다. 센서를 등록하는 방법은 WEB 화면에서 화면 맨 위에 “편집모드” CheckBox를 선택하여 센서의 해당 위치에 마우스를 클릭하면 센서의 등록 화면이 Pop-Up 된다.

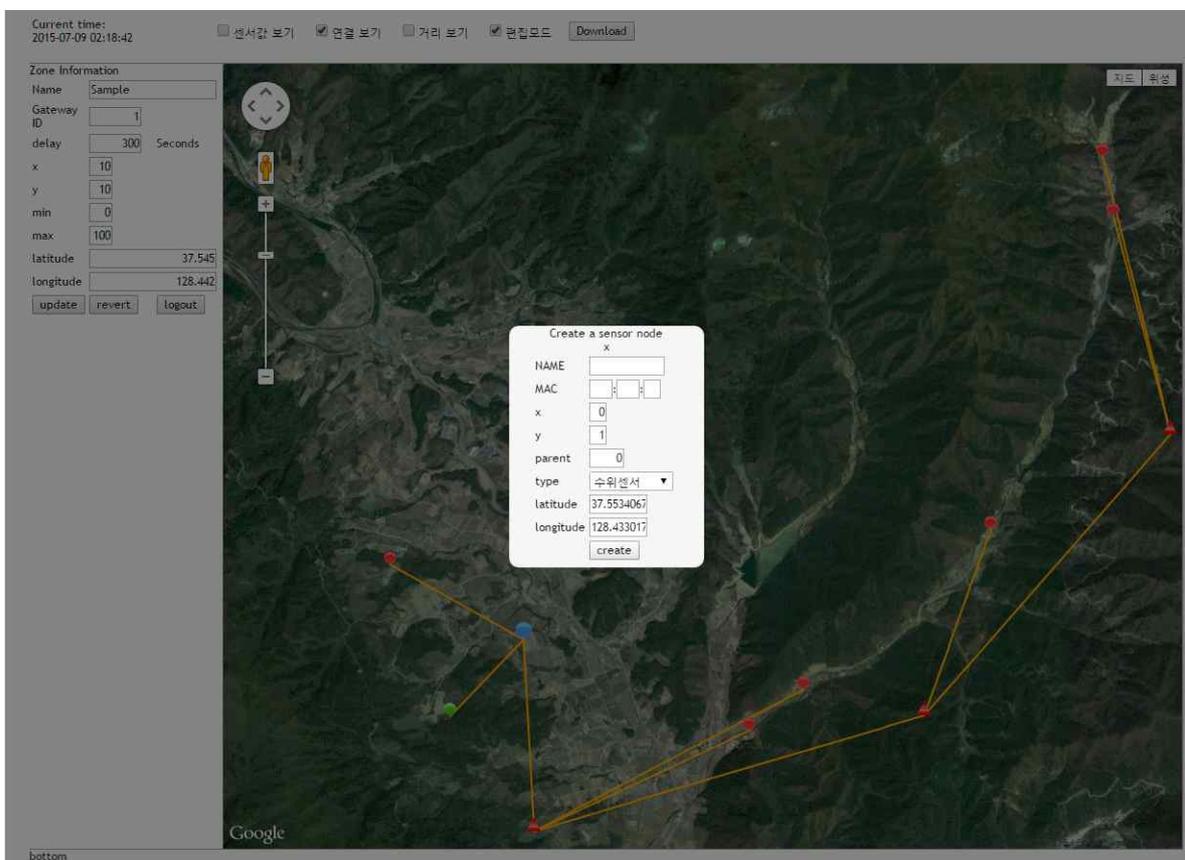


그림 3-3-5 | 센서 등록 WEB 화면

- Name 필드는 센서의 이름을 정의하는 것으로 추후 수정이 가능하다.
- MAC 주소는 센서에 할당된 정확한 MAC 주소를 입력해야 한다. MAC 주소는 등록한 후 수정이 되지 않는다.
- x, y 필드는 인터넷 접속이 되지 않는 상황에서 게이트웨이에 직접 접속하여 수정할 경우 Map 상이 아니라 격자 모양의 센서 화면에서 해당 센서를 어떤 격자에 위치시킬 것 인지를 결정하는 방법이다.
- Parent는 네트워크 토폴로지를 구성하는데 있어서 상위 노드가 어떤 것인지 결정하는 것으로, 센서노드의 MAC 주소가 아닌 센서 등록시 자동으로 할당된 ID 값을 적는다. 게이

트웨이에 직접 접속하는 경우 Parent는 “0”이 된다.

- Map에서 마우스 클릭한 곳 외에 센서를 임의의 위치로 이동할 경우 위도와 경도를 직접 입력할 수 있다.

센서의 위치이동인 경우 WEB 화면에서 센서를 가리키는 아이콘을 마우스로 이동시키거나 센서 편집 화면에서 위·경도 값을 변경함으로써 적용할 수 있다. 센서의 삭제 방법은 센서 편집 화면에서 “Delete”를 클릭하면 된다.

## (2) 센서 통신을 위한 네트워크 토폴로지 구성

중계기를 이용하여 무선 통신 토폴로지를 변경할 경우에는 해당 센서를 클릭하여 센서의 편집화면을 Pop-Up하고 해당 센서의 “Parent” ID를 변경함으로써 가능하다. 상위 센서노드를 변경하면 자동으로 화면의 네트워크 토폴로지가 변경된다. WEB 서버에서 변경된 네트워크 토폴로지는 실시간으로 게이트웨이에 변경된 정보가 전달되고, 해당 중계기가 Join 하거나 Keep-Alive 메시지를 보낼 때 변경된 라우팅 리스트가 해당 중계기 또는 센서노드에 전달된다.

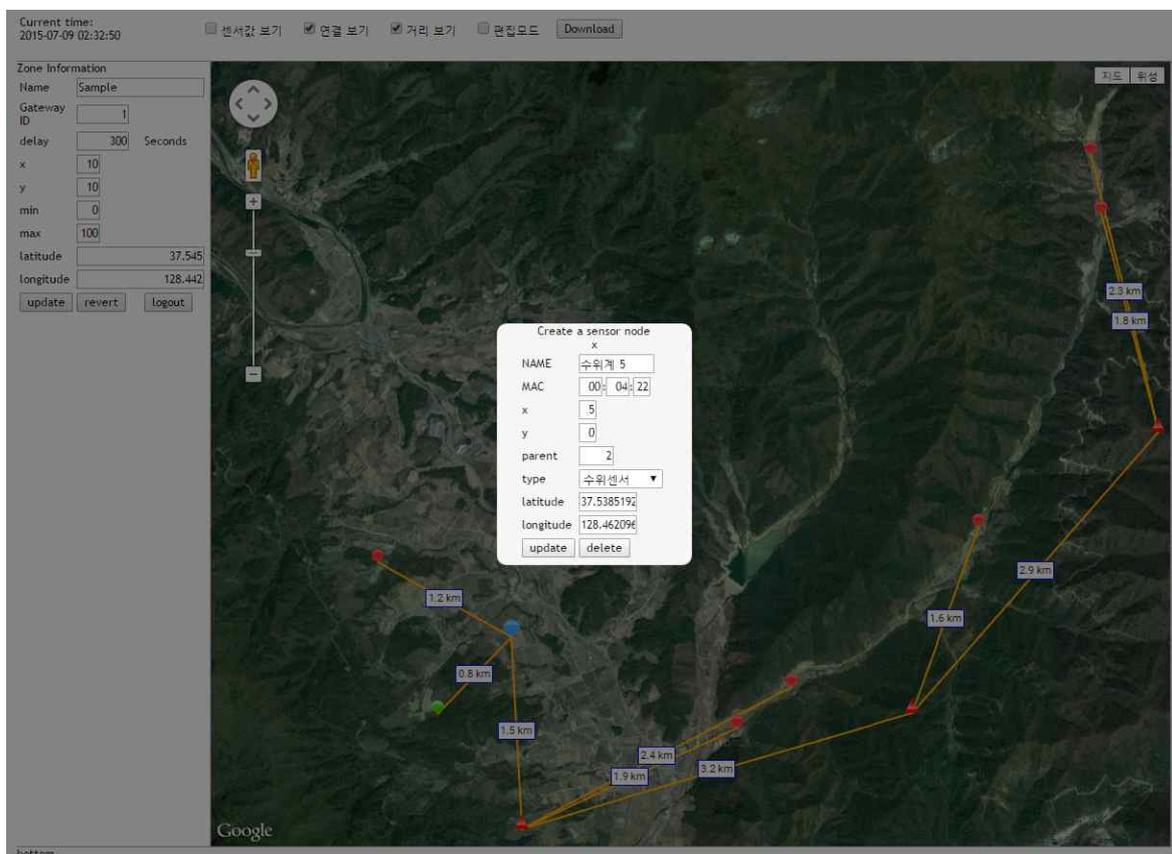


그림 3-3-6 | 네트워크 토폴로지 재구성 방법

이러한 방법은 외부 기온의 변화, 지장물의 변화 등에 따라 기존 통신 반경 및 수신감도가 바뀐 경우 WEB에서의 토폴로지를 변경하는 작업만으로 통신 체계 전체를 변경할 수 있는 방법을 제공하기 때문에 동적인 네트워크 토폴로지 구성이 가능해진다.

### 마. 자료 수집 이력 조회 및 분석 기능

센서 자료의 수집 및 분석 기능은 수위계 자료와 기울기 자료가 별도로 구성되어 있으며 수위 측정 또는 기울기 변위 측정값의 원시자료를 같이 표시함으로써 자료의 이상 여부를 판단할 수 있도록 하였다.

수위 측정값에 대한 조회 기능은 Zone 또는 그룹을 선택함으로써 해당 그룹에 속한 모든 센서의 실시간 자료를 조회하는 기능과 특정 센서를 지목하여 이에 대한 상세 정보를 조회하는 기능으로 구성되어 있다. 수위측정 센서의 측정값으로는 측정 시간, 자료 저장(수신) 시간, 온도, 습도, 센서 전압, SD메모리카드 자료 저장 여부, 수위값1, 수위값2로 구성된다. 여기에서 수위1 값은 초음파 수위센서가 직접 측정한 거리값을 mm 단위로 표현한 것이며, 수위2 값은 센서를 처음 설치할 때 측정한 초음파 센서와 수위까지의 거리를 이용하여 수위값을 계산한 값을 의미한다. 예를 들어 당초 설치시 수위까지의 거리가 4,000mm 이고, 이때 측정한 수위값이 1,000mm, 그리고 현재 측정한 거리가 4,500mm 이라면 현재 수위는 500mm가 된다.

No	그룹	ID	일차	시간	온도	습도	수위1	수위2	전압	SD저장	저장시간
1934	평창_수위계_1	401	2016-11-03	15:18:52	8.8	44.2	3181.0	-3183.0	3340.0	0	15:05
1933	평창_수위계_1	401	2016-11-03	15:13:51	9.1	44.5	3183.0	-3185.0	3340.0	0	15:00
1932	평창_수위계_1	401	2016-11-03	15:08:51	9.2	43.6	3186.0	-3187.0	3340.0	0	14:55
1931	평창_수위계_1	401	2016-11-03	15:03:51	9.6	42.6	3188.0	-3191.0	3340.0	0	14:50
1930	평창_수위계_1	401	2016-11-03	14:58:51	9.9	43.7	3194.0	-3194.0	3340.0	0	14:45
1929	평창_수위계_1	401	2016-11-03	14:54:03	9.8	41.7	3197.0	-3200.0	3340.0	0	14:40
1928	평창_수위계_1	401	2016-11-02	23:46:12	3.1	77.8	3175.0	-3173.0	3380.0	0	23:20

그림 3-3-7 | 수위센서 관리화면

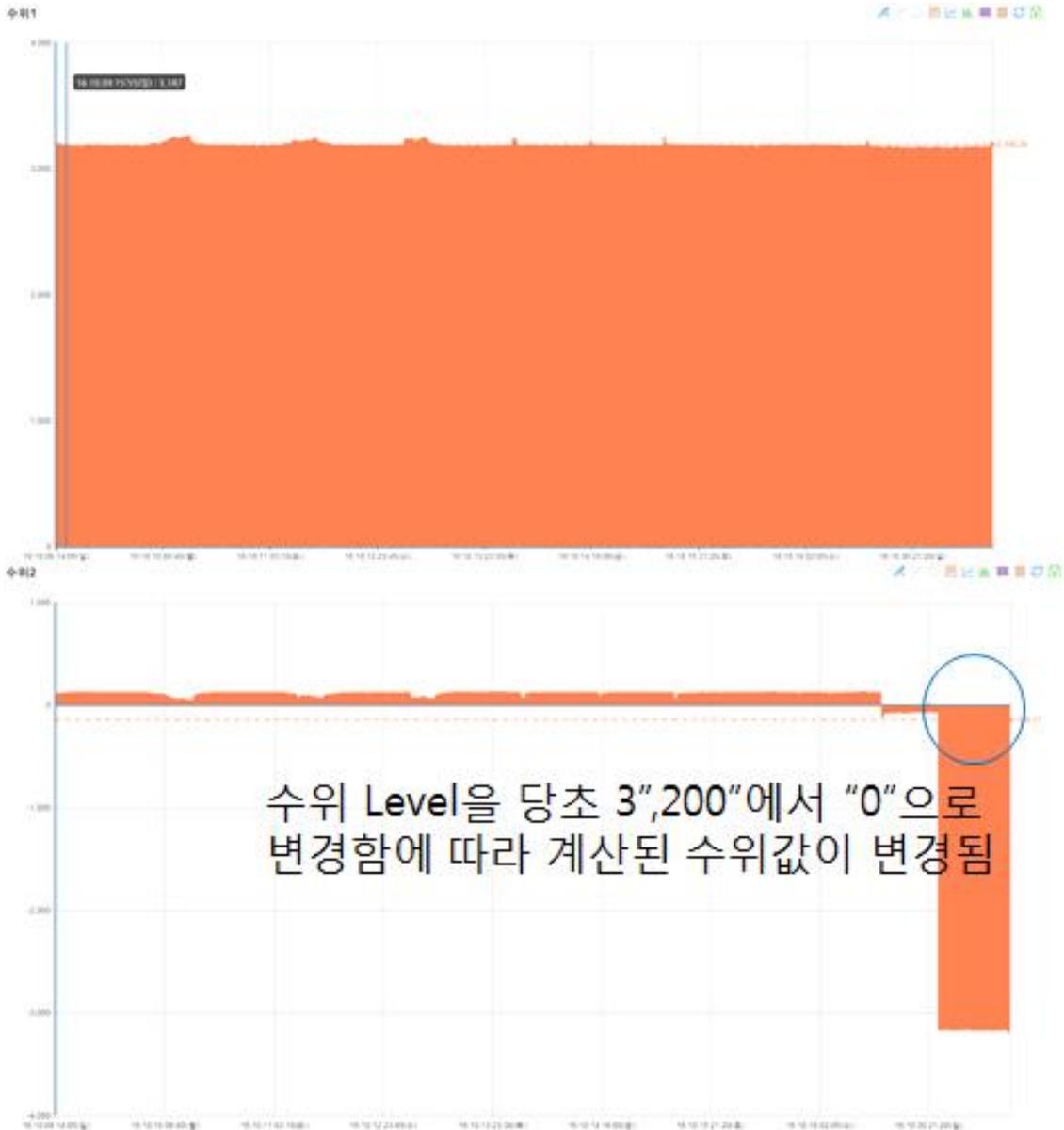


그림 3-3-8 | 수위센서 값 조정

기울기 센서의 측정값은 측정시간, 자료 저장(수신) 시간, 토양의 수분함량(%) 센서 전압, SD메모리카드 자료 저장 여부, X, Y, X 변위(변위각)로 구성된다. 변위값은 다양한 시스템에서 그 용도에 따라 이용할 수 있도록 하기위해 원시자료 형태의 변위각을 출력하도록 하고 있다. 따라서 변위각은 0~255 범위에서 표현되며, 지표면에 수직하게 위치한 경우 X=128, Y=128, Z=0의 값을 가지게 된다. 이에 대한 변환 방법은 3장에 자세하게 설명하고 있다.

관리자(admin) | 아이디/비밀번호 변경

로그

데이터 이력

설정

데이터 이력

관측기준: 기울기 내림차순

그룹 선택: 기울기

센서 ID 선택: 10

일자조건: [날짜 선택] [초기화]

시간조건: [시:분:초] - [시:분:초]

Y: [ ] - [ ]

Z: [ ] - [ ]

수분: [ ] - [ ]

X: [ ] - [ ]

전압: [ ] - [ ]

그래프 표시:  통계 그래프 활성화 (+센서 ID를 선택해야만 가능)

표시갯수: 30 개

검색

No	그룹	ID	일자	시간	Y	Z	수분	X	전압	SD저장	저장시간
666	기울기	10	2016-11-06	21:33:15	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	629	21:10
665	기울기	10	2016-11-06	21:21:13	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	628	21:05
664	기울기	10	2016-11-06	21:20:38	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	627	21:00
663	기울기	10	2016-11-06	21:12:35	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	626	20:55
662	기울기	10	2016-11-06	21:12:00	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	625	20:50
661	기울기	10	2016-11-06	21:04:22	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	624	20:45
660	기울기	10	2016-11-06	21:03:54	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	623	20:40
659	기울기	10	2016-11-06	20:55:58	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	622	20:35
658	기울기	10	2016-11-06	20:55:23	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	621	20:30
657	기울기	10	2016-11-06	20:36:55	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	620	20:25
656	기울기	10	2016-11-06	20:23:43	150.0	146.0	0.0	109.0	3960.0	619	20:20
655	기울기	10	2016-11-06	20:21:48	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	618	20:15
654	기울기	10	2016-11-06	20:14:32	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	617	20:10
653	기울기	10	2016-11-06	19:55:14	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	613	19:50
652	기울기	10	2016-11-06	19:47:50	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	613	19:50
651	기울기	10	2016-11-06	19:44:22	150.0	145.0	0.0	109.0	3960.0	612	19:45

그림 3-3-9 | 기울기센서 관리화면

**바. 센서의 임계값 설정 변경**

각각의 센서 별로 관측값이 임계값 이상으로 변경될 경우 알람을 생성하는 로직을 변경할 수 있다. 즉, 수위 계측기의 경우 하천의 상류/중류/하류에 따라 돌발홍수의 발생 메커니즘과 위험 구간, 수위 상승 속도가 다르기 때문에 각각의 센서 별로 임계값 설정이 가능해야 한다.

WEB 화면에서 관리자는 해당 센서를 선택하고 선택된 센서의 임계값을 설정할 수 있다. 수위계측기의 경우 등록된 하천의 프로파일에서 최대 수심 대비 % 형식으로 1차 경보, 2차 경보 임계값을 설정할 수 있다. 임계값의 기본값은 1차 경보의 경우 최대 수심 대비 50% 수준이며, 2차 경보의 경우 70%이다.

기울기 센서의 경우 기본 임계값은 변위에 대해서는 20mm, 기울기에 대해서는 3도가 설정되어 있으며, 경사정도, 토양상태 등의 현장 여건에 따라 관리자가 설정할 수 있다.

상세정보

**Name**

**MAC**

**Parent**

**Type**

**Latitude**

**Longitude**

**Thresholds**

Type	Name	Value	
최대	최대값	180	<input type="button" value="-"/>
경고	3차경고	90	<input type="button" value="-"/>
경고	2차경고	60	<input type="button" value="-"/>
경고	1차경고	30	<input type="button" value="-"/>

그림 3-3-10 | 센서 임계치 설정 화면

#### 사. 센서 모니터링 및 경보 시스템

센서 모니터링 시스템과 경보 시스템은 별도의 WEB 화면으로 구축하였다. 모니터링의 실시간 데이터의 모니터링 및 네트워크 토폴로지의 구성, 센서의 등록, 센서 상태 관리를 목적으로 하는 반면에 경보 시스템은 이상 징후가 발생한 센서에 대한 실시간적 상태 정보 표시, 알람 발생을 목적으로 하기 때문에 두 개의 화면으로 구성하여 각각의 목적에 맞게 시스템을 구성할 수 있도록 하였다.

또한, 일반 WEB 브라우저에서 모니터링 할 수 있는 기능과, 스마트폰 App.을 통해 정보를 모니터링 하고 경보를 통지하는 두 가지 방법을 제공한다.

##### (1) 센서 모니터링 WEB 화면

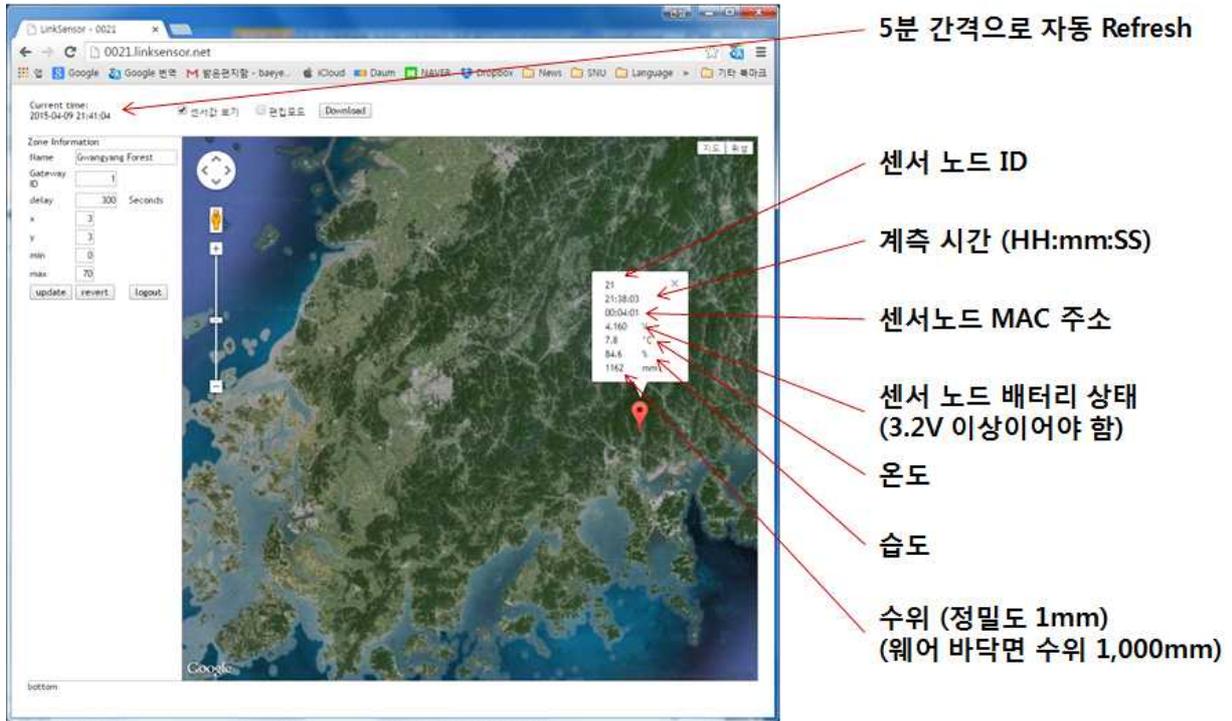


그림 3-3-11 | 센서 모니터링 WEB 화면

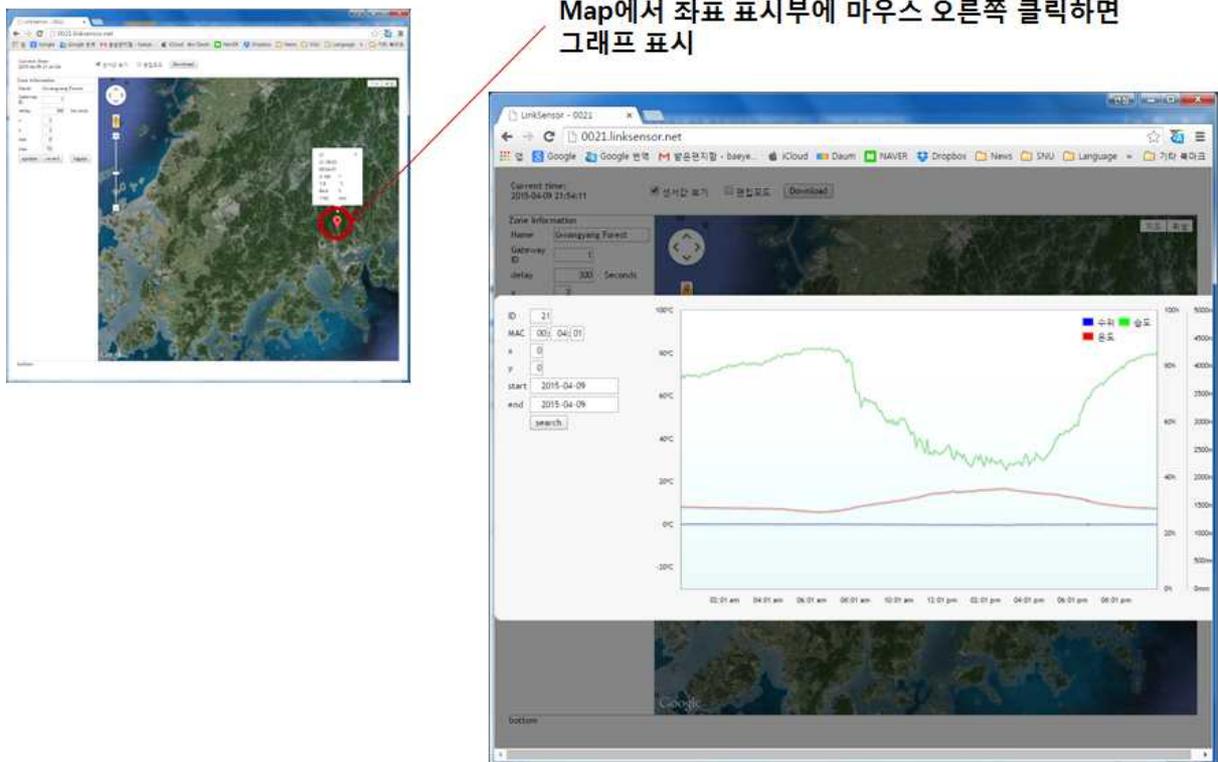
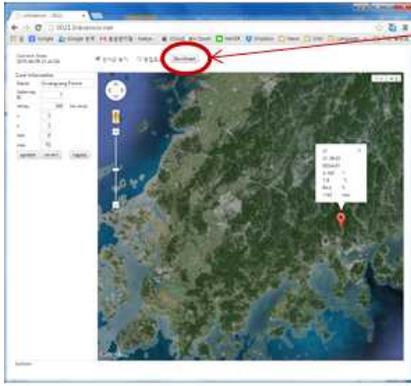


그림 3-3-12 | 센서 모니터링 자료 그래프 분석



게이트웨이가 연결된 모든 센서노드에 대한 계측 정보 다운로드 기능

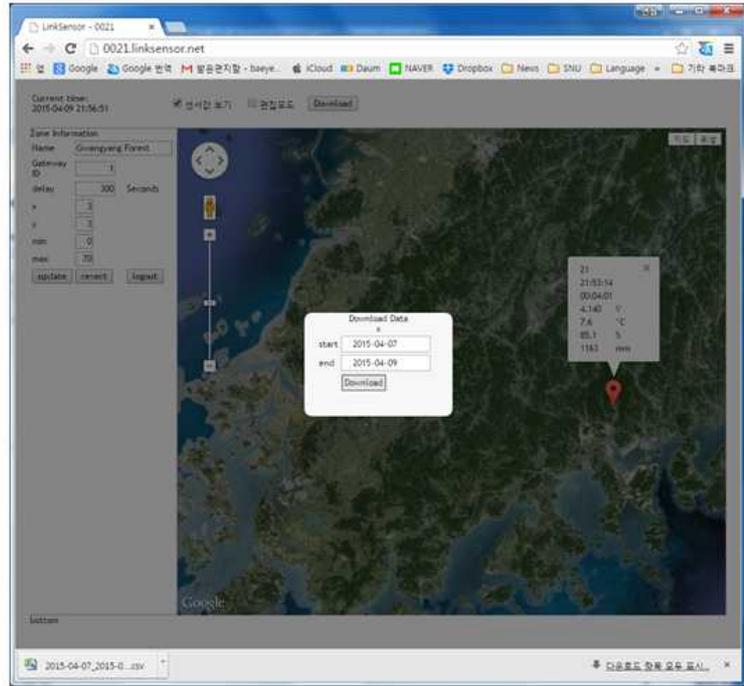


그림 3-3-13 센서 모니터링 자료의 다운로드

Sensor-id	Sensor-mac	time	temperature	humidity(%)	water_level(%)	voltage
21	00401	2015-04-07 00:00	9.8	94.4	1181	4.16
21	00401	2015-04-07 00:05	9.7	94.3	1186	4.16
21	00401	2015-04-07 00:10	9.7	94.3	1184	4.16
21	00401	2015-04-07 00:15	9.7	94.2	1181	4.16
21	00401	2015-04-07 00:20	9.7	94.3	1183	4.16
21	00401	2015-04-07 00:25	9.7	94.4	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 00:30	9.7	94.4	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 00:35	9.8	94.7	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 00:40	9.8	94.9	1184	4.16
21	00401	2015-04-07 00:46	9.8	94.8	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 00:51	9.8	94.7	1183	4.16
21	00401	2015-04-07 00:56	9.8	94.7	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:01	9.8	94.8	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:06	9.8	94.7	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:11	9.8	94.8	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:16	9.7	94.5	1183	4.16
21	00401	2015-04-07 1:21	9.7	94.9	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:26	9.7	94.9	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:31	9.7	94.8	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:36	9.7	94.7	1183	4.16
21	00401	2015-04-07 1:41	9.7	94.5	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:46	9.7	94.4	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:51	9.7	94.3	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 1:56	9.7	94.2	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:02	9.7	94.3	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:07	9.7	94.1	1181	4.16
21	00401	2015-04-07 2:12	9.6	94	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:17	9.6	93.9	1183	4.16
21	00401	2015-04-07 2:22	9.6	94	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:27	9.6	94.1	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:32	9.7	94.3	1181	4.16
21	00401	2015-04-07 2:37	9.6	94.3	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:42	9.6	94.4	1185	4.16
21	00401	2015-04-07 2:47	9.6	94.5	1181	4.16
21	00401	2015-04-07 2:52	9.6	94.5	1182	4.16
21	00401	2015-04-07 2:57	9.6	94.6	1182	4.16

그림 3-3-14 | 센서 모니터링 자료의 다운로드(엑셀화면)

(2) 센서 모니터링 스마트폰 App 화면

센서의 관측값은 WEB 뿐만 아니라 스마트폰 App.을 통해서도 볼 수 있다. 현재는 안드로이드 계열의 스마트폰에서만 설치할 수 있는 형태로 개발되었다. 관리자는 해당 App을 다운받아 설치하고, 관리자로 로그인 설정을 하면 관리자에게 접근 허가가 주어진 Zone에 대한 정보를 볼 수 있다. 해당 Zone을 선택하면 Zone 안에 구성된 센서의 실시간 관측 정보를 아래 그림과 같이 볼 수 있다. 상단의 버튼을 클릭하면 다시 Zone 리스트를 보여준다.



The screenshot shows a mobile application interface for sensor monitoring. The title bar at the top reads '시험포장' (Test Area) and includes navigation icons. The main content area displays a list of sensor data for different zones, with each entry showing a sensor ID, location, date and time, and various measured values including voltage, temperature, and humidity.

Zone ID	Location	Date/Time	Voltage (V)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Other Value
00:04:04 - weir_6	수위센서 35.90201,127.03144	2015-07-04 00:03:43	4.160	19.7	93.1	16 mm
00:04:0e - paddy_3	수위센서 35.90146,127.03264	2015-07-03 23:58:37	4.180	19.7	95.0	86 mm
00:04:08 - paddy_2	수위센서 35.90146,127.03306	2015-07-04 00:05:35	4.180	19.6	94.1	113 mm
00:04:11 - paddy_8	수위센서 35.90247,127.03308	2015-07-03 23:59:51	4.180	19.7	95.1	52 mm
00:04:0c - weir_3	수위센서 35.90200,127.03268	2015-07-03 23:57:22	4.140	19.6	95.5	74 mm
00:04:15 - paddy_5	수위센서 35.90146,127.03183	2015-07-03 23:51:46	4.180	19.4	93.1	0 mm
00:04:05 - weir_2	수위센서 35.90199,127.03309					
00:04:0f - weir_7	수위센서 35.90200,127.03104	2015-07-04 00:02:29	4.200	19.5	93.8	25 mm
00:04:0a - paddy_6	수위센서 35.90146,127.03144	2015-07-03 23:56:09	4.240	19.5	95.5	153 mm

그림 3-3-15 | 센서 관리용 스마트폰 App

## 2. 돌발재해 예·경보 서비스 시스템 개발

집중 호우로 인한 홍수 및 산사태 등 돌발적 자연 재해는 신속하고 정확한 의사 결정과 정보 전달을 기본으로 선제적 대응을 가능하게 하는 피해 예방 대책이 필요하다. 이를 위해서는 미래에 대한 돌발 재해를 예측하고, 예측된 재해 정보를 사용자에게 신속히 전달 할 수 있는 체계화되고 안정적인 시스템이 요구된다. 이에 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 전국의 강수 예보 자료를 이용하여 연구 대상 지역의 강수량을 추출하고 수치 계산 전용 컴퓨터 시스템을 통해 홍수나 산사태의 수준을 예측하여 사용자에게 제공하는 일련의 시스템을 구축하였다.

예측 자료의 배포는 GIS(Geographic Information System) 및 LBS(Location-Based Service), 무선 통신망 등을 이용하여 개별 사용자에게 최적화된 정보가 능동적으로 제공될 수 있도록 하였다. 예측 자료는 Mobile Web, Apple iOS, Google Android 등과 같은 모바일 플랫폼을 이용하여 수동적으로 접근할 수 있을 뿐만 아니라 이상 징후가 예측 될 시 푸시 알림을 이용하여 능동적으로 제공 될 수 있도록 하였다. 또한 보다 다양한 사용자 층을 지원하여 정보 전달력을 높이기 위해 스마트 단말기를 사용하지 않는 사용자라 할지라도 재해 상황을 전달 받을 수 있도록 SMS(Short Message Service)를 이용한 알림 서비스를 함께 제공한다. 이렇게 구축된 시스템은 Android, iOS 등 각 플랫폼 고유의 방식으로 배포된다. 시스템의 구성은 다음 그림과 같다.

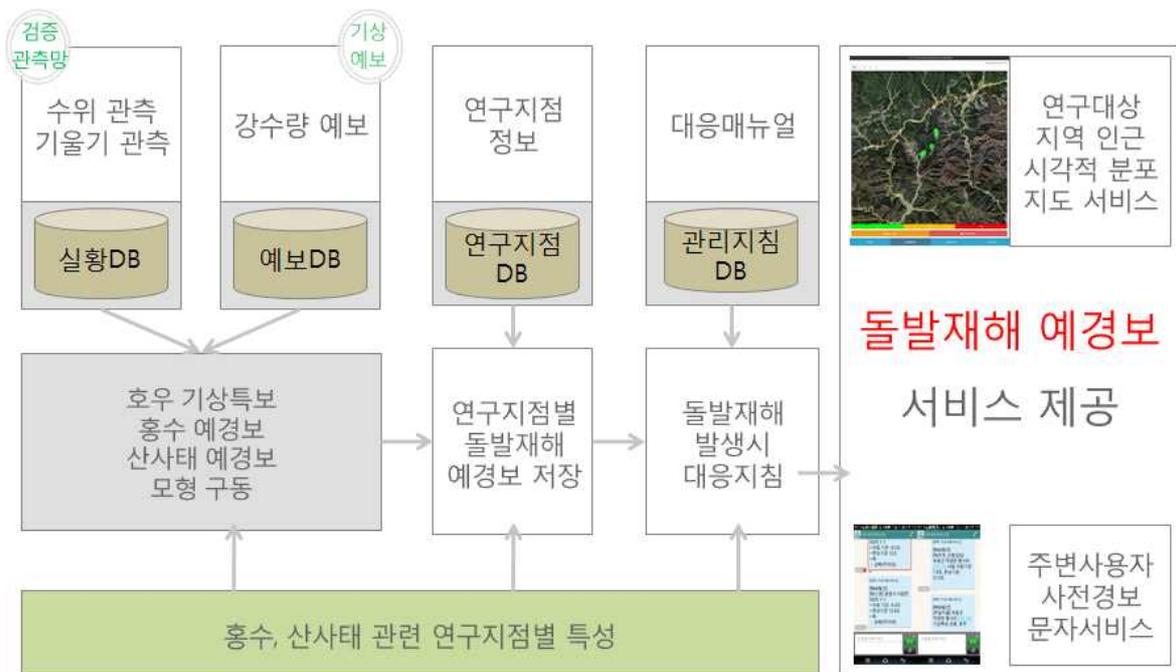


그림 3-3-16 | 돌발재해 예·경보 서비스 시스템 구성

## 가. 시스템 구성

### (1) 서버 구성

서버 시스템은 관측 및 예보 데이터 수신, 모델 계산, SMS 발송, Push Notification 등 최종 사용자 인터페이스를 제외한 전체 시스템의 전반적인 핵심 기능을 담당하고 있다. 또한 서버 측 시스템은 소프트웨어의 다양성 및 라이선스 정책에 따라 Linux CentOS 7 운영체제를 기반으로 구축되었다. 시스템을 구성하는 세부 모듈들은 Python, Oracle Java, C/C++ 등 각 모듈에 적합하거나 종속적인 프로그래밍 언어를 사용하여 구현되었다. 데이터 수집을 위한 Oracle MySQL Server, 클라이언트와의 인터페이스를 위한 Apache Web Server, UM 처리를 위한 GDAL 및 OpenJDK, 웹 서버를 위한 Django 등 사용자 이 두터운 다양한 오픈소스 프로젝트들을 이용하여 구축되었다.

표 3-3-2 | 예·경보 서비스 시스템 서버 구성

명칭	버전	용도	세부 기능
Linux CentOS	7.0	운영체제	-
Oracle MySQL	5.6	데이터베이스	데이터 저장
Apache HTTP Server	2.0	웹 서비스	TCP 80번 포트를 이용하여 클라이언트와 서버의 인터페이스를 담당
Python	2.7.11	웹 서비스	모델 구동, 웹 서버, SMS 발송, Push Notification
Django	1.9	웹 서비스	HTTP Server를 통해 들어오는 사용자의 요청을 실제로 처리하고 그에 맞는 응답을 제공
GDAL	1.9.0	예측 모델	국가농림기상센터로 부터 제공되는 기상자료로 부터 연구 대상 지역의 지점 자료를 추출, 격자형 자료 처리
Java(OpenJDK)	1.7.0	예측 모델	GDAL을 이용하여 추출된 자료를 다른 단계에서 사용될 수 있도록 가공하거나 누적 강우 계산, DB에 입력하는 등 실제 활용, 산사태 모델 구동
C/C++(gcc)	4.8.5		유출량 계산 모델 구동

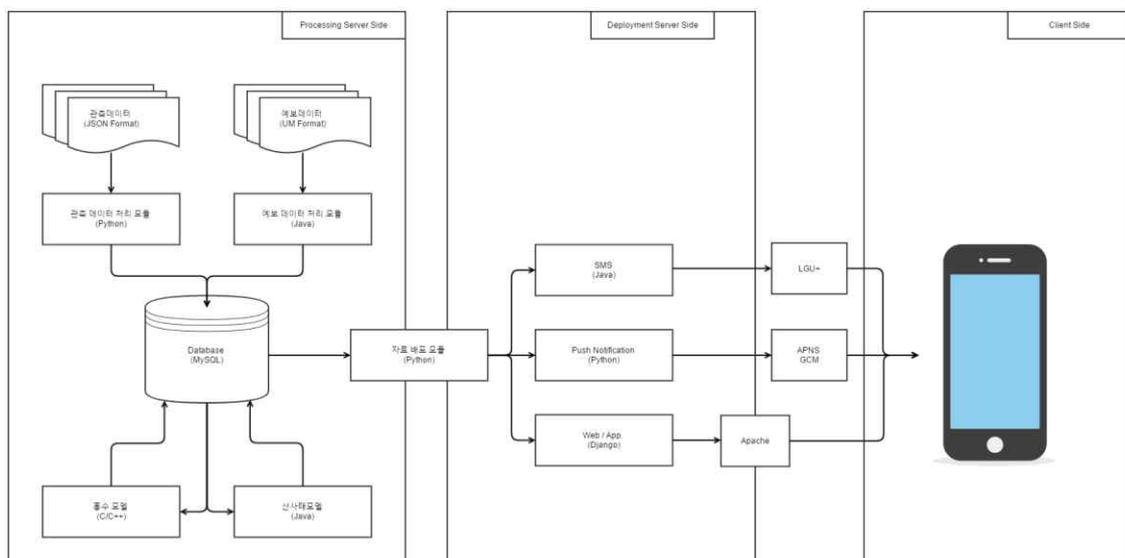


그림 3-3-17 | 예·경보 서비스 시스템 서버 구성

(가) 관측 자료 처리 모듈

기 구축된 관측 데이터 배포 서버로부터 관측 데이터를 JSON(JavaScript Object Notation) 형식으로 수신한 뒤 이를 해석하여 데이터베이스에 기록한다. JSON은 속성-값 쌍으로 이루어진 데이터 형식이며 인간이 읽을 수 있는 텍스트를 사용하여 개방형 표준 포맷이다. 현재 비동기 클라이언트/서버 통신을 위해 매우 광범위하게 사용되고 있으며 수많은 프로그래밍 언어에서 쉽게 이용될 수 있도록 라이브러리 구축이 매우 잘 되어 있다. JSON 형식의 관측 데이터의 수신은 수동적 폴링 방식을 이용하여 매 1분 간격으로 시도한다. 1회 허용 시간은 10초, 총 3회를 시도하며 수신 실패 시 관리자에게 알림을 발송한다. 수신이 성공된 자료는 간단한 변환 과정을 거쳐 데이터베이스에 기록한다.

(나) 예보 데이터 처리 모듈

국가농림기상센터(NCAM, National Center for Agro Meteorology)로부터 받은 바이너리 형식의 UM 데이터로 부터 각 지점의 강수량 값을 추출하여 데이터베이스에 등록한다. UM 자료는 최초 기상청으로 부터 배포되며 NCAM 데이터 수집 서버에 일정한 시간 간격으로 수집된다. 본 과제의 예보 데이터 수집 모듈은 일정 시간 간격마다 NCAM 데이터 수집 서버에 접속하여 데이터 수신을 시도한다.

수신된 데이터는 한반도 전체 영역을 포함하는 1.5km 해상도의 격자형 자료이며 36시간의 예보자료를 제공한다. Java로 작성된 예보 데이터 처리 모듈은 GDAL 라이브러리를 이용하여 각 연구 대상 위치의 36시간 강수량 예보자료를 추출하여 데이터베이스에 등록한다.

(다) 홍수 모델(C/C++)

데이터베이스에 저장된 예보 강수량, 과거 강수량, 실황 강수량 그리고 각 지점별 특성 자료 값을 이용하여 구동되는 gcc 4.8.5를 이용하여 컴파일된 독립 실행형 프로그램이다. 관측 자료 처리 모듈로 인해 예보 값이 관측 값을 대체하는 주기(10분)에 맞추어 구동되며 결과 값은 데이터베이스에 기록된다.

(라) 산사태 모델(Java)

홍수 모델과 유사하게 데이터베이스에 저장된 예보 강수량, 과거 강수량, 실황 강수량 그리고 각 지점별 특성 자료 값을 이용하여 구동되는 Java로 작성된 독립 실행형 프로그램이다. 관측 자료 처리 모듈로 인해 예보 값이 관측 값을 대체하는 주기(10분)에 맞추어 구동되며 결과 값은 데이터베이스에 기록된다.

(마) 자료 배포 모듈

이전 년차에서는 각 모델이 자료 배포를 능동적으로 수행했었으나 모듈간 종속성 문제로 인해 예측 모델은 예측 만 수행하고 자료의 배포는 별도의 모듈이 담당하도록 설계 변경을 하였다. 자료 배포 모듈은 크게 능동적은 알림 방식과 수동적인 조회 방식의 두 가지 방식으로 자료를 배포 한다. 수동적은 조회 방식은 사용자가 웹 브라우저나 모바일 앱 등을 이용하여 해당 시스템에 직접 접속하여 필요한 자료를 찾아보는 방식이고, 능동적 알림 방식은 사용자의 개입 없이 돌발적인 상황에 능동적으로 데이터를 밀어내는 방식이다.

Android 또는 iOS용 앱이 설치되어 있는 사용자는 Push Notification을 통해 알림이 발송되고, 일반 사용자는 SMS를 이용하여 알림이 발송된다. SMS, Push 모두 외부에 위치한 각 플랫폼에서 제공하는 서버에게 발송을 요청하고 실제 발송을 위임하는 방식으로 수행된다.

데이터의 조회는 데스크탑 및 모바일 웹 브라우저, 모바일 앱을 이용하여 수행할 수 있다. 데스크탑의 웹 브라우저는 최소 인터넷 익스플로러 10이상이 권장된다. 모바일 웹을 이용할 경우 푸시 알림등의 서비스가 제한되므로 되도록 구글 플레이 스토어나 애플 인하우스 앱 배포처를 통해 설치 형 앱을 사용할 것이 권장된다.

## (2) 클라이언트 구성

클라이언트 시스템은 다양한 앱 개발 방법 중 하나인 하이브리드(Hybrid) 방식을 채택하였다. 하이브리드 방식은 Android, iOS와 같은 플랫폼에 독립적이고 공통적으로 적용될 수 있는 부분은 모바일 웹(Mobile Web) 기술로 개발을 하고, 모바일 웹으로 해결하기 어렵거나 플랫폼에 종속적인 기능은 네이티브 앱(Native App.)으로 개발하는 방식을 말한다. 본 클라이언트 시스템에서 모바일 웹으로 개발된 부분은 사용자 인터페이스, 데이터 시각화 등과 같이 플랫폼에 독립적인 부분이고, 네이티브로 개발된 부분은 푸시 알림, 로컬 알림, 위치 기반 서비스, 진동 및 알림 음 등과 같이 플랫폼에 종속적인 부분이다.

네이티브 앱 방식은 모바일 기기에 직접 다운로드하여 로컬(기기)에 저장되는 바이너리 실행 파일을 두는 방식을 말한다. 사용자가 직접 설치하거나 경우에 따라 기업의 관리자가 설치할 수 있다. 네이티브 앱은 애플사의 앱스토어(App Store), 안드로이드의 플레이 스토어(Play Store) 등과 같은 공용 앱스토어에서 다운로드하면 되나, 모바일 공급업체에서 직접 제공하는 경우도 있다. 모바일 기기에 앱을 설치한 후에는 기기에서 제공하는 다른 서비스처럼 사용자가 앱을 실행할 수 있다. 네이티브 앱은 모바일 OS에서 제공하는 모든 API에 액세스할 수 있으며, 대부분 해당 모바일 OS의 고유 기능을 활하여 최대한의 성능을 낼 수 있는 것이 주요 장점이다. 하지만 네이티브 앱을 만들려면 각 모바일 OS에 맞는 프로그램을 각각 개발해야 하므로 제작 비용 및 유지보수 비용이 높은 것이 단점이다.

웹 앱 방식은 OS와 직접 연동하여 독립적으로 실행하는 네이티브 앱과 달리 단말기에 내장되어 있는 웹 브라우저 내에서 실행되는 방식을 말한다. 브라우저는 그 자체가 OS API에 직접 액세스하는 네이티브 앱이지만 브라우저 내에서 실행되는 웹 앱이 액세스할 수 있는 API는 웹 브라우저가 제공하는 몇몇에 한정되어 있다. 또한 웹 브라우저의 대행을 통해 요청을 처리하게 되어 상대적으로 낮은 성능을 보인다. 하지만 웹 앱의 가장 큰 장점 중 하나는 멀티 플랫폼을 지원한다는 것과 이에 따라 개발 비용이 적게 든다는 점, 유지 보수가 쉽다는 점이다.

하이브리드 방식은 네이티브 개발과 웹 앱 개발 기술의 장점을 조금씩 혼합한 것을 말한다. 이 방식을 사용하면 개발자가 모바일 플랫폼에 독립적으로 웹 기술을 이용하여 애플리케이션을 개발할 수 있으며, 필요 시 각 플랫폼에 맞는 네이티브 부분을 작성하여 웹 부분과 결합 시키는 방식을 취할 수 있는 구조이다. 이 방식은 각 플랫폼의 네이티브 기능을 개발하는 수고를 되도록 줄이고 공통된 기능 개발에 비용을 집중할 수 있는 장점이 있다.

본 연구의 클라이언트 시스템은 하이브리드 앱 개발에 활용할 수 있는 다양한 도구 중 Apache Cordova라는 프레임워크를 사용하였다. Apache Cordova는 널리 사용되고 있는 하이브리드 모바일 앱 개발 프레임워크로서 Nitobi라는 회사에서 PhoneGap라는 이름으로 개

발 되었다. 이 회사는 현재 Adobe사에 인수되었으며 Adobe사는 PhoneGap의 소스를 Apache 재단에 기부함으로써 Apache Incubator에 속하게 되었다. Apache Incubator에서 PhoneGap은 Apache Callbakc으로 불리다 현재의 Apache Cordova라는 이름으로 바뀌었다.

현재는 iOS, Android 용 앱을 제작하였으며, 향후 WebOS, Windows Mobile, Symbian Blackberry, Tizen 등 다양한 플랫폼을 지원할 수 있도록 하였다. 클라이언트 시스템은 사용자의 요청에 따라 원격 서버에 존재하는 데이터를 받아 시각적으로 가공하여 제공하거나 사용자가 입력한 데이터를 서버로 보내 이를 재구성하여 다시 돌려받는다. 즉 사용자에게 제공되는 모든 데이터는 원격에 위치한 고성능 서버가 처리하고, 클라이언트 시스템은 사용자의 요청을 받아들이고 사용자에게 제공할 데이터의 시각화를 담당한다.

모바일 앱 제작을 위해 플랫폼 독립 기술인 HTML5, CSS3, Javascript를 최대한 이용한다. 이렇게 제작된 결과물은 모바일 플랫폼이 추가되거나 심지어 모바일 플랫폼이 아니라 하더라도 웹 표준만 준수하는 어떠한 장치에서도 수행될 수 있다. 또한 모든 플랫폼에 대해 동일한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있게 된다. 웹 기술로는 표현이 불가능 하거나 성능상 개선이 필요한 부분을 추려내어 네이티브로 개발하거나, 네이티브와 웹의 연결 방식으로 개발하여 개발 및 유지보수를 용이하게 한다.

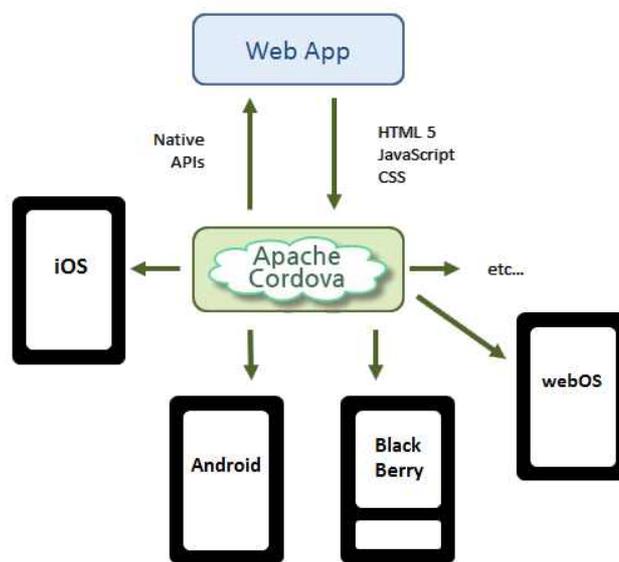


그림 3-3-18 | 예·경보 서비스 시스템 클라이언트

## 나. 기능의 설계 및 데이터 분석

### (1) 서비스 기능 설계

서비스 시스템을 처리되어야 할 자료, 서비스에 필요한 요건은 아래와 같이 정의된다.

표 3-3-3 | 예·경보에 필요한 서비스 요건

구분	분야	요건명	요구되는 조건
기상정보	자료 확보	12시간 강수량 예측자료 확보	기상예보자료를 활용하여 연구대상지점의 12시간 이후의 강수량을 예측할 수 있는 자료를 활용
	자료 처리	시간별 강수량 및 누가 강수량 처리	지점별 강수량 시간별 강수량, 누가강수량을 저장
	자료 처리	강수량 기준 기상특보(호우) 처리	누가 강수량을 이용하여 기상특보 수준을 파악
	정보 조회	3시간 단위 미래 호우특보 제공	연구 지점별로 조회 시점 현재, +3, +6, +9, +12시간 이후 기상특보 현황을 제공
	정보 조회	시간별 강수량 및 누가강수량 표 제공	조회 시점 기준 -3시간부터 ~ +6시간 이후까지 시간별 강수량과 누가 강수량을 표로 제공
	정보 조회	시간별 강수량 및 누가강수량 그래프 제공	조회 시점 기준 -3시간부터 ~ +6시간 이후까지 시간별 강수량과 누가 강수량을 그래프 제공
돌발재해 예보	자료 확보	홍수 및 산사태 관련 입력자료	모형 구동에 필요한 입력자료는 파일 형태로 제공
	자료 처리	지점별 홍수 발생 예측	제공되는 홍수 예측 프로그램을 매 시간마다 구동하여 결과를 저장하고 예·경보 수준을 예측
	자료 처리	지점별 산사태 발생 예측	제공되는 산사태 예측 프로그램을 매 시간마다 구동하여 결과를 저장하고 예·경보 수준을 예측
	정보 조회	지점별 홍수 예·경보 조회	지도 기반에서 연구대상지점별 홍수 예보를 현재부터 ~ 12시간 후까지 제공
	정보 조회	지점별 산사태 예·경보 조회	지도 기반에서 연구대상지점별 산사태 예보를 현재부터 ~ 12시간 후까지 제공
	문자 발송	홍수 예·경보 문자 발송	홍수 예·경보 예측시 사용자에게 문자를 발송
	문자 발송	산사태 예·경보 문자 발송	산사태 예·경보 예측시 사용자에게 문자를 발송
대응 매뉴얼	자료 확보 구축	대응 매뉴얼 구축	HTML 형태의 초기자료로 구축
	정보 조회	재해 위험단계 매뉴얼 제공	산사태(경계, 위험), 홍수(경계, 위험)별 대응 매뉴얼을 제공

위와 같이 돌발재해 예·경보 안심서비스의 요구조건을 기능으로 구현하기 위하여 아래와 같은 응용 기능을 분할하였다. 응용 기능 분할은 요구된 조건이 빠짐없이 구현되도록 분석하는 첫 번째 단계이다.

표 3-3-4 | 예·경보 서비스를 위한 기능의 분할

구분	관련요건명	응용기능명	구현방안
기상정보	12시간 강수량 예측자료 확보	예보 강수량 수집	국가농림기상센터로부터 매 3시간마다 국지예보 모델자료를 연계하여 자료를 수집받는다.(기관간 FTP 자동 연계, 프로그램 구현은 필요없음)
	시간별 강수량 및 누가 강수량 처리	시간별 강수량 추출	매일 3시간 주기마다 국지예보모델자료의 h000 ~h036 총 37시간의 예보자료를 읽어 연구지점 자료를 추출하여 데이터베이스를 갱신한다.
		누가 강수량 계산	비강수 지속시간을 기록하고 비강수 지속기간 24시간이 될 때 누가 강수량을 초기화하며 그 이외는 시간별 강수량을 누적한다
	강수량 기준 기상특보(호우) 처리	기상특보(호우) 처리	누가 강수량을 이용하여 80mm일 때 호우주의보, 110mm 이상일 때 호우 경보로 지정한다
	3시간 단위 미래 호우특보 제공	호우특보 제공	연구 지점별로 조회 시점 현재, +3, +6, +9, +12 시간 별로 기상특보 현황을 색상으로 구분되게 제공한다.
	시간별 강수량 및 누가강수량 표 제공	강수량 표 제공	조회 시점 기준 -3시간부터 ~ +6시간 이후까지 시간별 강수량과 누가 강수량을 표로 제공 한다
	시간별 강수량 및 누가강수량 그래프 제공	강수량 그래프 제공	조회 시점 기준 -3시간부터 ~ +6시간 이후까지 시간별 강수량(라인)과 누가 강수량(컬럼)를 그래프 제공 한다
돌발재해 예보	홍수 및 산사태 관련 입력자료	지점별 돌발재해 모수 등록	홍수 및 산사태 관련 모형 구동에 필요한 각 지점별 모수는 입력 파일 형태로 저장하고 각 모형의 위험단계 기준은 데이터베이스에 등록한다.
	지점별 홍수 발생 예측	지점별 홍수 발생 예측	제공되는 홍수 예측 프로그램을 매 시간마다 구동하여 자바 기반을 프로그램으로 호출하여결과를 저장하고 시간별 홍수 예·경보 수준을 예측 한다.
	지점별 산사태 발생 예측	지점별 산사태 발생 예측	제공되는 산사태 예측 프로그램을 매 시간마다 구동하여 자바 기반을 프로그램으로 호출하여 결과를 저장하고 시간별 산사태 예·경보 수준을 예측 한다.
	지점별 홍수 예·경보 조회	지점별 홍수 예·경보 조회	지도 기반에서 연구대상지점별 홍수 예보를 현재부터 ~ 12시간 후까지 6시간 단위로 안전, 경계, 위험단계로 제공한다.
	지점별 산사태 예·경보 조회	지점별 산사태 예·경보 조회	지도 기반에서 연구대상지점별 산사태 예보를 현재부터 ~ 12시간 후까지 6시간 단위로 안전, 경계, 위험단계로 제공한다.
	홍수 예·경보 문자 발송	홍수 예·경보 문자 발송	지점별 홍수 예측 후 예·경보 지점에 대하여 즉시 사용자에게 예측시점과 위험수준(예·경보)을 통보한다.
	산사태 예·경보 문자 발송	산사태 예·경보 문자발송	지점별 산사태 예측 후 예·경보 지점에 대하여 즉시 사용자에게 예측시점과 위험수준(예·경보)을 통보한다.
대응 매뉴얼	대응 매뉴얼 구축	대응 매뉴얼 구축	HTML 형태로 산사태(경계, 위험), 홍수(경계, 위험)별 대응 매뉴얼을 파일로 저장한다.
	재해 위험단계 매뉴얼 제공	대응 매뉴얼 제공	산사태(경계, 위험), 홍수(경계, 위험)별 대응 매뉴얼을 제공한다.

이상의 기능에 대하여 다음과 같이 설계되었다.

표 3-3-5 | 예·경보 서비스 기능의 설계

프로그램명	관련 응용기능	처리 유형	관련 데이터	프로그램 동작
UM Reader	- 시간별 강수량 추출 - 시간별 강수량 추출	배치	- 지점 강수정보(조회) - 지점 1시간 강수정보(등록, 수정)	국지예보자료 데이터로부터 연구 지점의 위치(위경도)에 해당하는 강수량 값을 추출 한다. 추출된 강수량 값을 시간별로 데이터베이스에 저장한다. 추출된 강수량 및 기존 데이터베이스에 저장된 값을 이용하여 누가강수량을 계산 한 후 데이터베이스에 저장 한다.
홍수 모델	- 홍수위험도 산정	배치	- 지점 강수 정보	시간별 12시간 이후까지의 예보 자료를 입력 받아 시간별 홍수 위험도를 계산한다.
산사태 모델	- 산사태 위험도 산정	배치	- 지점 강수 정보	시간별 12시간 이후까지의 예보 자료를 입력 받아 시간별 산사태 위험도를 계산한다.
SMS	- SMS 발송	온라인	- 시간별 강수 위험도 - 시간별 산사태 위험도	홍수 모델 및 산사태 모델 구동이 완료 되면, 산출된 위험도를 기반으로 사용자에게 SMS를 송신한다.
AJAX	- 서버/클라이언트 인터페이스	온라인	- 지점 정보 - 강수 정보 - 위험도 정보	사용자의 요청에 따라 그에 상응하는 데이터를 JSON 형식으로 제공한다.
Web	클라이언트 뷰	온라인	- 지점 정보 - 강수 정보 - 위험도 정보	사용자의 요청에 따라 그에 상응하는 데이터를 HTML 형식으로 제공한다.

(2) 데이터 분석

(가) 강수 예보자료 분석(기상청 격자자료 데이터)

- 예보모델 종류 : 국지예보모델자료(LDAPS; UM 1.5kmL70)
- 데이터 형식 : GRIB2
  - GRIB의 정의 : GRIB 데이터 형식이란 수치모델에서 산출되는 격자자료를 세계기상기구(WMO)에서 결정한 표준규격에 따라 이진파일(binary) 형식으로 구성한 것
- 데이터 종류 : 등압면 자료와 단일면 자료 중 단일면 자료 활용
  - 등압면 자료와 단일면 자료 특성은 다음과 같다.

표 3-3-6 | 강우예보자료 중 등압면 자료와 단일면 자료의 특성

등압면 자료	단일면 자료
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주요 예/진단변수의 표준 등압면 자료</li> <li>· 모델면에서 계산되는 변수를 모델 내에서 등압면으로 내삽하거나 모델면 출력자료를 모델 외부에서 별도 내삽</li> <li>· 일반적으로 예상일기도 생산 등에 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강수/강설량, 지표면 각종 속량(플럭스), 2m 기온, 10m 바람 등 단일면과 토양층에서 정의되는 주요 진단변수</li> <li>· 각 물리과정의 세부 진단이 가능한 진단변수들 포함</li> </ul>

※ 예단변수 : 모델 역학방정식들의 계산으로부터 직접 산출되는 변수  
 진단변수 : 다른 변수들로부터 계산되어 산출되는 변수

· 산출자료(국지예보모델의 단일면 예보자료)  
 단일면/토양면에서 제공되는 총 78개 변수 중 Large-scale Precipitation(1시간 강우량)을 활용하였다.

표 3-3-7 | 단일면/토양면 변수 및 활용변수

Sec	Item	Name	Time	Domain	Abbrev
1	201	Net Down Surface SW Flux	1시간 평균값	단일면	NDNSW
1	230	Direct SW Flux (ON RHO LEVELS)	1시간 평균값	제1층(2.5m)	SWDIR
1	231	Diffuse SW RAD Flux (ON RHO LEVELS)	1시간 평균값	제1층(2.5m)	TDSWS
1	235	Total Downward Sfc. SW Flux	1시간 평균값	단일면	NDNLW
2	201	...	...	...	...
2	205	...	...	...	...
2	207	...	...	...	...
4	201	Large-scale Precipitation	1시간 누적값	단일면	NCPCP
4	202	Large-scale Snow	1시간 누적값	단일면	SNOL
4	203	Large-scale Precipitation Rate	1시간 평균값	단일면	LSPRATE
4	204	...	...	...	...
3	25	...	...	...	...
3	202	...	...	...	...
3	208	..	...	...	...

• 메타 정보

- Driver: GRIB/GRIdded Binary (.grb)
- Size is 602, 781
- Coordinate System is:

```
PROJCS["unnamed",  
  GEOGCS["Coordinate System imported from GRIB file",  
    DATUM["unknown",  
      SPHEROID["Sphere",6371229,0],  
      PRIMEM["Greenwich",0],  
      UNIT["degree",0.0174532925199433]],  
    PROJECTION["Lambert_Conformal_Conic_2SP"],  
    PARAMETER["standard_parallel_1",30],  
    PARAMETER["standard_parallel_2",60],  
    PARAMETER["latitude_of_origin",38],  
    PARAMETER["central_meridian",126],  
    PARAMETER["false_easting",0],  
    PARAMETER["false_northing",0]]
```

Origin = (-388728.892353164672386,553886.033706998336129)

Pixel Size = (1500.000000000000000,-1500.000000000000000)

Corner Coordinates:

Upper Left ( -388728.892, 553886.034) (121d 3' 0.65"E, 43d 1'29.30"N)

Lower Left ( -388728.892, -617613.966) (121d49'36.52"E, 32d14'59.00"N)

Upper Right ( 514271.108, 553886.034) (132d32'31.74"E, 42d56'27.84"N)

Lower Right ( 514271.108, -617613.966) (131d31' 1.92"E, 32d10'50.99"N)

Center ( 62771.108, -31863.966) (126d43'55.24"E, 37d42'11.75"N)

• 강수량 정보 속성 (h000 파일의 경우임)

Band 8 Block=602x1 Type=Float64, ColorInterp=Undefined

Description = -10[-] SFC="Ground or water surface"

NoData Value=9999

Metadata:

GRIB\_COMMENT=Large scale precipitation [kg/(m<sup>2</sup>)]

GRIB\_ELEMENT=NCPCP

GRIB\_FORECAST\_SECONDS=-3600 sec

GRIB\_REF\_TIME= 1433030400 sec UTC

GRIB\_SHORT\_NAME=-10-SFC

GRIB\_UNIT=[kg/(m<sup>2</sup>)]

GRIB\_VALID\_TIME= 1433030400 sec UTC

(나) 관계형 데이터 분석

① 지점정보

표 3-3-8 | 지점 정보

속성명	속성유형	부모키	속성설명
경도	숫자	PK	지점의 경도
위도	숫자	PK	지점의 위도
지점명	문자		지점의 명칭
지점유형	문자		지점 수위, 기울기 측정 유형
지점코드	문자		지점 처리시 코드
돌발재해 홍수 예보 기준	숫자		홍수 예보 기준치
돌발재해 홍수 경보 기준	숫자		홍수 경보 기준치
돌발재해 산사태 예보 기준	숫자		산사태 예보 기준치
돌발재해 산사태 경보 기준	숫자		산사태 경보 기준치

② 지점 1시간 강수정보

표 3-3-9 | 지점 1시간 강수정보

속성명	속성유형	부모키	속성설명
경도	숫자	PK	지점의 경도
위도	숫자	PK	지점의 위도
예측시간	날짜시간	PK	강수 예측 시간
강수량	숫자		예측 1시간 강수량
비강수지속시간	날짜		비 강수 누적 시간
누가강수량	숫자		비 강수 누적 24시간 이내의 누가 강수량
시간별 홍수정보	숫자		0.1 시간 홍수정보의 시간별 최대값
시간별 홍수 위험수준	숫자		1시간별 홍수 위험 단계
시간별 산사태정보	숫자		0.1 시간 산사태정보의 시간별 최대값
시간별 산사태 위험수준	숫자		1시간별 산사태 위험 단계

③ 지점 0.1시간 홍수 상세정보

표 3-3-10 | 지점 0.1시간 홍수 상세정보

속성명	속성유형	부모키	속성설명
경도	숫자	PK	지점의 경도
위도	숫자	PK	지점의 위도
예측일시분	날짜시간	PK	홍수 예측 일시분
홍수 예측값	숫자		0.1 시간의 홍수 예측값

④ 지점 0.1시간 산사태 상세정보

표 3-3-11 | 지점 0.1시간 산사태 상세정보

속성명	속성유형	부모키	속성설명
경도	숫자	PK	지점의 경도
위도	숫자	PK	지점의 위도
예측일시분	날짜시간	PK	산사태 예측 일시분
산사태 예측값	숫자		0.1 시간의 산사태 예측값

(다) 데이터 설계 및 기상자료 전송을 위한 인터페이스 설계

표 3-3-12 | SITE (엔터티명 : 지점정보)

필드명	속성명	자료형	부모키	속성설명
LON	경도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 경도
LAT	위도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 위도
SITE_NM	지점명	VARCHAR(20)		지점의 명칭
SITE_CLASS	지점유형	CHAR(1)		지점 수위, 기울기 측정 유형
SITE_CD	지점코드	VARCHAR(10)		지점 처리시 코드
DISCHARGE_WARNING	돌발재해 홍수 예보 기준	DOUBLE(6,2)		홍수 예보 기준치
DISCHARGE_ALERT	돌발재해 홍수 경보 기준	DOUBLE(6,2)		홍수 경보 기준치
LANDSLIDE_WARNING	돌발재해 산사태 예보 기준	DOUBLE(6,2)		산사태 예보 기준치
LANDSLIDE_ALERT	돌발재해 산사태 경보 기준	DOUBLE(6,2)		산사태 경보 기준치

표 3-3-13 | SITE\_UM\_PRCP (엔터티명 : 지점 1시간 강수정보)

필드명	속성명	자료형	부모키	속성설명
LON	경도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 경도
LAT	위도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 위도
FCT_TIME	예측시간	DATETIME	PK	강수 예측 시간
PRCP	강수량	DOUBLE(6,2)		예측 1시간 강수량
NORAIN_HOUR	비강수지속시간	INT(10)		비 강수 누적 시간
ACC_PRCP	누가강수량	DOUBLE(6,2)		비 강수 누적 24시간 이내의 누가 강수량
DISCHARGE	시간별 홍수정보	DOUBLE(6,2)		0.1 시간 홍수정보의 시간별 최대값
DISCHARGE_ALERT_LEVEL	시간별 홍수 위험수준	TINYINT		1시간별 홍수 위험 단계
LANDSLIDE	시간별 산사태정보	DOUBLE(6,2)		0.1 시간 산사태정보의 시간별 최대값
LANDSLIDE_ALERT_LEVEL	시간별 산사태 위험수준	TINYINT		1시간별 산사태 위험 단계

표 3-3-14 | SITE\_DISCHARGE (엔터티명 : 지점 0.1시간 홍수상세정보)

필드명	속성명	속성유형	부모키	속성설명
LON	경도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 경도
LAT	위도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 위도
FCT_TIME	예측일시분	DATETIME	PK	홍수 예측 일시분
DISCHARGE	홍수 예측값	DOUBLE(6,2)		0.1 시간의 홍수 예측값

표 3-3-15 | SITE\_LANDSLIDE (엔터티명 : 지점 0.1시간 산사태상세정보)

필드명	속성명	속성유형	부모키	속성설명
LON	경도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 경도
LAT	위도	DOUBLE(10,6)	PK	지점의 위도
FCT_TIME	예측일시분	DATETIME	PK	산사태 예측 일시분
LANDSLIDE	산사태 예측값	DOUBLE(6,2)		0.1 시간의 산사태 예측값

국가농림기상센터로부터 강수량 예보자료를 전송받기 위한 인터페이스의 프로토타입 시스템은 국가농림기상센터와 내부 네트워크로 연결된 전산 자원간 인터페이스로 NFS를 활용하지만 본 서비스가 외부 기관에서 동작하도록 할 경우는 NFS가 아닌 다른 파일 전송 규약을 인터페이스로 할 수도 있다.

표 3-3-16 | 강우예보자료 전송을 위한 인터페이스

자료명	연계방법	송신기관	송신시스템	연계주기
국지예보모델	NFS	국가농림기상센터	데이터 전송 시스템	1시간

(라) 예·경보 서비스 화면(UI) 설계

예·경보 서비스를 위한 시스템의 화면(UI) 구조도 및 기능은 다음의 그림 3-3-19 및 표 3-3-17과 같다.



그림 3-3-19 | 예·경보 서비스 UI 메뉴 구조도

표 3-3-17 | 예·경보 서비스 화면 메뉴

기상정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지점별 데이터 제공</li> <li>- 3시간 단위 12시간 까지의 홍수 위험도 제공</li> <li>- 그래프 또는 테이블 형식의 강수량 및 누가강수량 시각화</li> </ul>
돌발재해 예보	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지점별 데이터 제공</li> <li>- 3시간 단위 12시간 까지의 홍수, 산사태 위험도 제공</li> <li>- 지도 형식의 데이터 시각화</li> </ul>
돌발재해 경보	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지점별 데이터 제공</li> <li>- 3시간 단위 12시간 까지의 홍수, 산사태 위험도 제공</li> <li>- 지도 형식의 데이터 시각화</li> </ul>
대응 매뉴얼	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산사태, 홍수에 대해 경계 및 위험에 대한 대응 지침을 제공</li> </ul>

## ① 디자인



그림 3-3-20 | 앱 아이콘

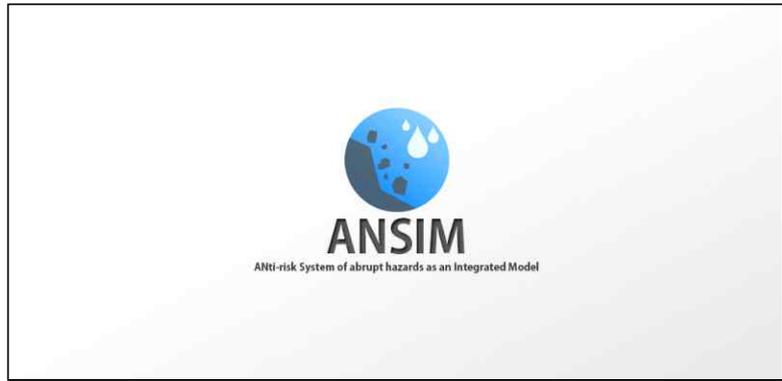


그림 3-3-21 | 스플래시 이미지

스마트폰 앱의 아이콘은 흰색을 배경으로 하고, 산사태와 강수를 시각화한 두 개의 이미지를 이용하여 표현하였다. 스플래시 이미지는 좌측상단을 흰색으로 하고 우측하단을 회색으로 하는 그라데이션을 배경으로 아이콘 및 시스템 이름의 약자, 시스템 이름을 순서대로 배치하였다. 스마트폰 앱의 레이아웃은 제목 및 상태를 표출하는 헤더 부분, 사용자에게 제공될 주요 정보를 표출하는 콘텐츠 부분, 주요 기능으로의 이동을 담당하는 메인 메뉴 부분으로 크게 나뉜다. GPS, 네트워크 및 기타 오류가 있을 경우 헤더부분의 색상이 경고 색상으로 전환된다. 콘텐츠 부분은 사용자가 선택한 메인 메뉴 또는 서브 메뉴에 따라 그에 맞는 정보가 표출된다.

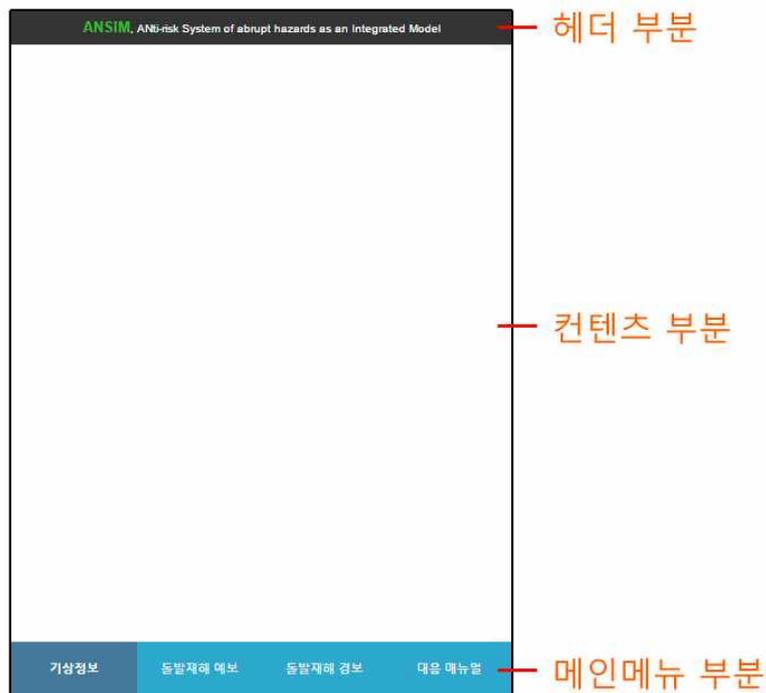


그림 3-3-22 | 앱 레이아웃

표 3-3-18 | 예·경보 서비스 아이콘

용도	아이콘 이미지	의미
수위		안전
		경계
		위험
산사태		안전
		경계
		위험

② 화면 정의

표 3-3-19 | 화면 정의(메인 화면)

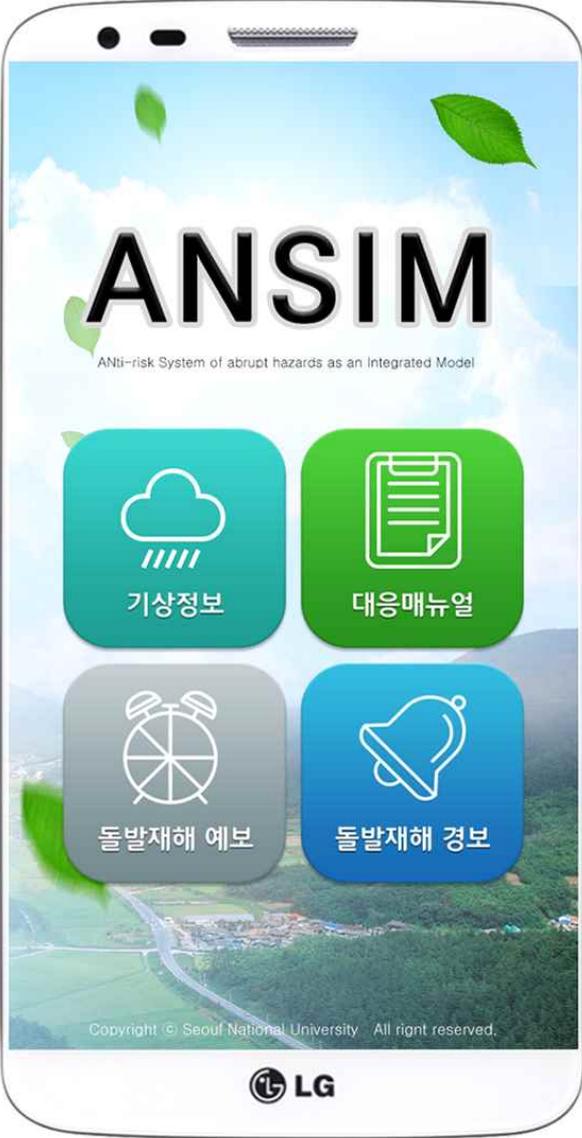
화면명	메인 화면
화면	
화면설명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 앱 실행 후 최초 화면</li> <li>2. 각 항목으로 이동할 수 있는 버튼 배치</li> <li>3. 환경설정으로 이동할 수 있는 버튼 배치</li> </ol>
응용기능	해당 기능으로의 이동

표 3-3-20 | 화면 정의(강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 1)

화면명	기상정보 - 강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 1																		
화면	 <p>The screenshot displays the following information:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Header:</b> ANSIM, ANti-risk System of abrupt hazards as an Integrated Model</li> <li><b>Location:</b> 현재 위치: 경기도 평택시 오성면 교포리 102-4</li> <li><b>Location Selector:</b> 무명교(신리지구1)</li> <li><b>Forecast Table:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시간</th> <th>현재</th> <th>3시간 이후</th> <th>6시간 이후</th> <th>9시간 이후</th> <th>12시간 이후</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>현재</td> <td>안전</td> <td>경계</td> <td>경계</td> <td>위험</td> <td>위험</td> </tr> <tr> <td>누적강수</td> <td>14 mm</td> <td>19 mm</td> <td>26 mm</td> <td>37 mm</td> <td>2 mm</td> </tr> </tbody> </table> </li> <li><b>Chart:</b> A combined bar and line chart showing '강수량' (Rainfall) as blue bars and '누가강수량' (Cumulative Rainfall) as an orange line. The left Y-axis ranges from 4 to 5, and the right Y-axis ranges from 40 to 50.</li> <li><b>Bottom Navigation:</b> 기상정보, 돌발재해 예보, 돌발재해 경고, 알림 및 대응지침</li> </ul>	시간	현재	3시간 이후	6시간 이후	9시간 이후	12시간 이후	현재	안전	경계	경계	위험	위험	누적강수	14 mm	19 mm	26 mm	37 mm	2 mm
시간	현재	3시간 이후	6시간 이후	9시간 이후	12시간 이후														
현재	안전	경계	경계	위험	위험														
누적강수	14 mm	19 mm	26 mm	37 mm	2 mm														
화면설명	1. 현재 시각 및 3, 6, 9, 12 시간 후의 강수량 및 경보 상태 제공																		
응용기능	1. 지점 변경																		

표 3-3-21 | 화면 정의(강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 2)

화면명	기상정보 - 강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 2
화면	<p>The screenshot displays a mobile application interface for weather and hazard information. At the top, it shows the time '오전 10:14' and the system name 'ANSIM, ANTI-risk System of abrupt hazards as an Integrated Model'. Below this, there are two risk level indicators: '9시간 이후' (9 hours later) with a risk level of 37 mm and '12시간 이후' (12 hours later) with a risk level of 2 mm. The main part of the screen features a dual-axis chart. The left Y-axis represents '강수량' (Rainfall) in mm, ranging from 0 to 5. The right Y-axis represents '누가강수량' (Cumulative Rainfall) in mm, ranging from 0 to 50. The X-axis shows time intervals from 09시 to 21시. Blue bars represent current rainfall, and an orange line with circular markers represents cumulative rainfall. At the bottom, there is a navigation bar with four tabs: '기상정보' (Weather Info), '돌발재해 예보' (Sudden Disaster Forecast), '돌발재해 경보' (Sudden Disaster Warning), and '알림 및 대응지침' (Alerts and Response Guidelines). Navigation arrows and a refresh icon are also present.</p>
화면설명	1. 과거 3시간, 미래 12시간에 대한 강수량 및 누적 강수량 그래프 정보 제공
응용기능	1. 지점 변경 2. 그래프의 특정 시각 선택시 상세 정보 표출

표 3-3-22 | 화면 정의(강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 3)

화면명	기상정보 - 강수 예보 및 위험 지수 제공 화면 2																																																																				
화면	 <p>The screenshot displays the 'ANSIM, ANti-risk System of abrupt hazards as an Integrated Model' interface. It features three forecast cards for 6, 9, and 12 hours, each with a color-coded bar (green, orange, red) and cumulative precipitation values. Below these is a table with columns for '시각' (Time), '강수량' (Precipitation), '누가강수량' (Cumulative Precipitation), and '기상특보현황' (Weather Alert Status). The table lists hourly data from 07:00 to 10:00 on October 31st. At the bottom, there are navigation buttons for '기상정보', '돌발재해 예보', '돌발재해 경보', and '알림 및 대응지침', along with back, forward, and refresh icons.</p> <table border="1" data-bbox="552 815 1219 1435"> <thead> <tr> <th>시각</th> <th>강수량</th> <th>누가강수량</th> <th>기상특보현황</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10월 31일 07시</td><td>4</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 08시</td><td>3</td><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 09시</td><td>4</td><td>11</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 10시</td><td>3</td><td>14</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 11시</td><td>2</td><td>16</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 12시</td><td>1</td><td>17</td><td>1</td></tr> <tr><td>10월 31일 01시</td><td>2</td><td>19</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 02시</td><td>1</td><td>20</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 03시</td><td>4</td><td>24</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 04시</td><td>2</td><td>26</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 05시</td><td>4</td><td>30</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 06시</td><td>4</td><td>34</td><td>2</td></tr> <tr><td>10월 31일 07시</td><td>3</td><td>37</td><td>3</td></tr> <tr><td>10월 31일 08시</td><td>1</td><td>38</td><td>3</td></tr> <tr><td>10월 31일 09시</td><td>1</td><td>39</td><td>3</td></tr> <tr><td>10월 31일 10시</td><td>2</td><td>41</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	시각	강수량	누가강수량	기상특보현황	10월 31일 07시	4	4	1	10월 31일 08시	3	7	1	10월 31일 09시	4	11	1	10월 31일 10시	3	14	1	10월 31일 11시	2	16	1	10월 31일 12시	1	17	1	10월 31일 01시	2	19	2	10월 31일 02시	1	20	2	10월 31일 03시	4	24	2	10월 31일 04시	2	26	2	10월 31일 05시	4	30	2	10월 31일 06시	4	34	2	10월 31일 07시	3	37	3	10월 31일 08시	1	38	3	10월 31일 09시	1	39	3	10월 31일 10시	2	41	3
시각	강수량	누가강수량	기상특보현황																																																																		
10월 31일 07시	4	4	1																																																																		
10월 31일 08시	3	7	1																																																																		
10월 31일 09시	4	11	1																																																																		
10월 31일 10시	3	14	1																																																																		
10월 31일 11시	2	16	1																																																																		
10월 31일 12시	1	17	1																																																																		
10월 31일 01시	2	19	2																																																																		
10월 31일 02시	1	20	2																																																																		
10월 31일 03시	4	24	2																																																																		
10월 31일 04시	2	26	2																																																																		
10월 31일 05시	4	30	2																																																																		
10월 31일 06시	4	34	2																																																																		
10월 31일 07시	3	37	3																																																																		
10월 31일 08시	1	38	3																																																																		
10월 31일 09시	1	39	3																																																																		
10월 31일 10시	2	41	3																																																																		
화면설명	1. 과거 3시간, 미래 12시간에 대한 강수량 및 누적 강수량 테이블 정보 제공																																																																				
응용기능	1. 지점 변경																																																																				

표 3-3-23 | 화면 정의(돌발재해 예보-홍수1)

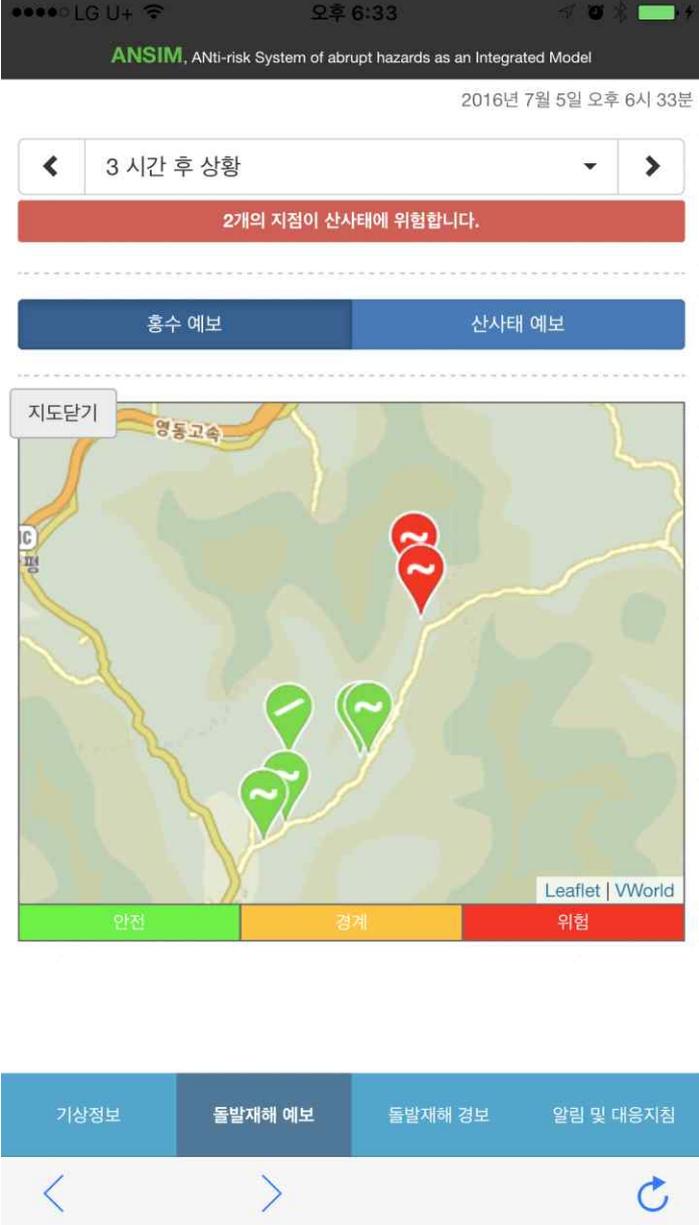
화면명	돌발재해 예보 - 홍수
화면	
화면설명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현재 시각 및 3, 6, 9, 12 시간 후 홍수 위험 정보 제공</li> <li>2. GIS 기반으로 관측 지점의 위험 정보 제공</li> <li>3. 모든 관측 지점에 대한 종합 정보 제공 (‘모든 지점이 홍수에 안전합니다’라는 문구가 지점 선택 창 아래 제시되어 있음)</li> </ol>
응용기능	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 관측 지점 지점(지도 상의 마커) 선택 시 부가 정보 표출</li> <li>2. 지도를 이동 확대, 축소, 이동 하여 지리적 상세 정보 제공</li> </ol>

표 3-3-24 | 화면 정의(돌발재해 예보-홍수2)

화면명	돌발재해 예보 - 홍수
화면	
화면설명	<p>1. 모든 관측 지점에 대한 종합 정보 제공          ('2개 지점이 홍수에 위험합니다'라는 문구가 지점 선택 창 아래 제시되어 있음)          이하 위 설명과 동일</p>
응용기능	<p>이하 위 기능과 동일</p>

표 3-3-25 | 화면 정의(돌발재해 예보-산사태)

<p>화면명</p>	<p>돌발재해 예보 - 산사태</p>
<p>화면</p>	
<p>화면설명</p>	<p>1. 산사태 마커(  )를 이용하여 홍수와 동일한 방식으로 정보 제공</p>
<p>응용기능</p>	<p>이하 위 기능과 동일</p>

표 3-3-26 | 화면 정의(홍수 또는 산사태 부가 정보 제공 화면)

화면명	돌발재해 예보 - 홍수 또는 산사태 부가 정보 제공 화면																		
화면	<p>The screenshot shows the ANSIM application interface. At the top, it displays the time '오후 9:12' and the date '2016년10월28일 PM 9시12분41초'. Below the title bar, there is a navigation menu with '현재 상황' selected. A red warning banner states '2개의 지점이 홍수에 위험합니다.'. Below this, there are two tabs: '홍수 예보' (selected) and '산사태 예보'. The main content area features a map with a '지도닫기' button and a '닫기' button. A table provides detailed hazard information:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시간</th> <th>위험도</th> <th>누적강수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>현재</td> <td>위험</td> <td>누적강수:4mm</td> </tr> <tr> <td>3시간 이후</td> <td>경계</td> <td>누적강수:8mm</td> </tr> <tr> <td>6시간 이후</td> <td>경계</td> <td>누적강수:6mm</td> </tr> <tr> <td>9시간 이후</td> <td>안전</td> <td>누적강수:3mm</td> </tr> <tr> <td>12시간 이후</td> <td>위험</td> <td>누적강수:3mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>At the bottom, there are navigation buttons for '기상정보', '돌발재해 예보' (selected), '돌발재해 경고', and '다음 매뉴얼'. A bottom bar contains back, forward, and refresh icons.</p>	시간	위험도	누적강수	현재	위험	누적강수:4mm	3시간 이후	경계	누적강수:8mm	6시간 이후	경계	누적강수:6mm	9시간 이후	안전	누적강수:3mm	12시간 이후	위험	누적강수:3mm
시간	위험도	누적강수																	
현재	위험	누적강수:4mm																	
3시간 이후	경계	누적강수:8mm																	
6시간 이후	경계	누적강수:6mm																	
9시간 이후	안전	누적강수:3mm																	
12시간 이후	위험	누적강수:3mm																	
화면설명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현재 시각 및 3, 6, 9, 12 시간 후 산사태 위험 정보 제공</li> <li>2. 지점 선택시 팝업되는 창을 통해 부가 정보 제공</li> <li>3. 닫기 버튼을 통해 팝업창 제거</li> </ol>																		
응용기능	지점 선택 시 부가 정보 표출																		

표 3-3-27 | 화면 정의(돌발재해 경보-수위경보)

화면명	돌발재해 경보 - 수위 경보
화면	
화면설명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현재의 수위 값 및 수위 변화량 정보 시각화</li> <li>2. 과거 12시간의 수위 변화량 그래프 제공</li> </ol>
응용기능	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 그래프의 특정 시각 선택 시 상세 정보 제공</li> </ol>

표 3-3-28 | 화면 정의(돌발재해 경보-기울기경보)

화면명	돌발재해 경보 - 기울기 경보
화면	
화면설명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현재의 기울기 값 및 기울기 변화량 정보 시각화</li> <li>2. 과거 12시간의 기울기 변화량 그래프 제공</li> </ol>
응용기능	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 그래프의 특정 시각 선택 시 상세 정보 제공</li> </ol>

표 3-3-29 | 화면 정의(알림 및 대응지침)

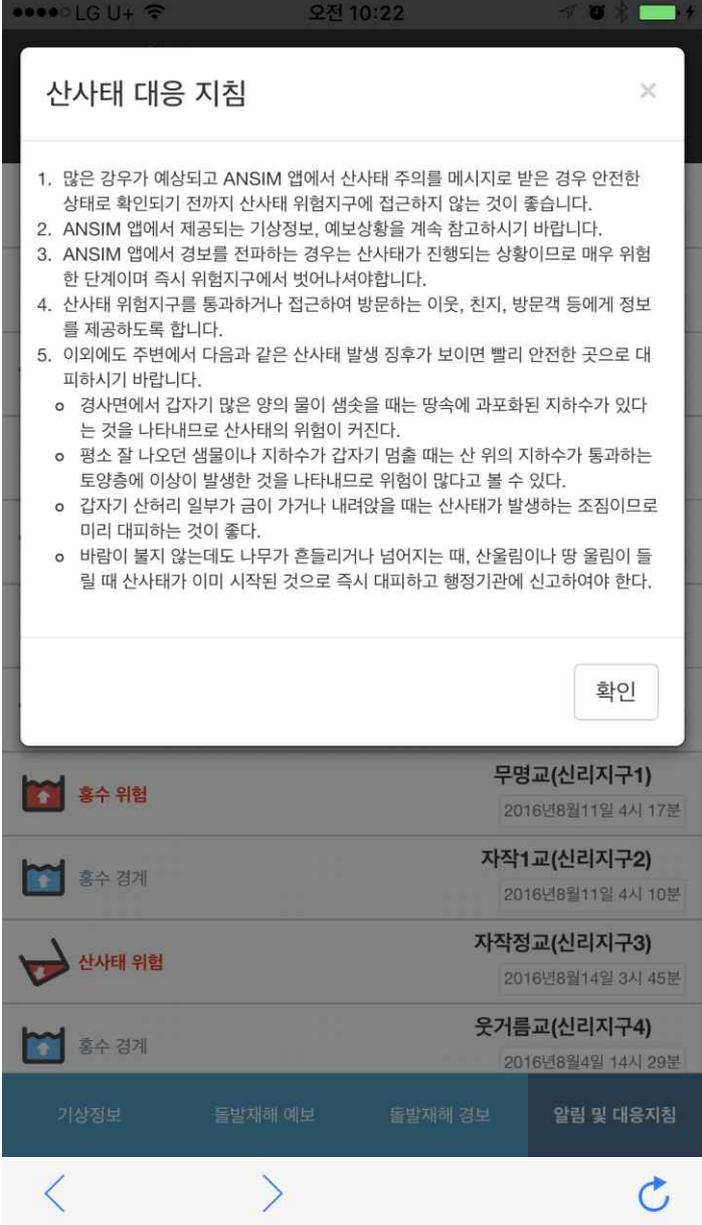
화면명	알림 및 대응 지침 - 대응 지침 조회 화면
화면	
화면설명	1. 선택된 재해 및 경보 단계 별 대응 지침 제공
응용기능	없음

표 3-3-30 | 화면 정의(푸시알림 수신 화면)

화면명	알림 및 대응 지침 - 푸시 알림 수신 화면
화면	
화면설명	1. 수신된 푸시 메시지 조회
응용기능	해당 없음

(마) 예·경보 서비스 앱 배포

현재까지 개발된 안드로이드 앱은 구글 플레이 스토어에 ANSIM이라는 이름으로 등록되어 있다. ANSIM이라는 키워드로 검색하면 앱을 찾을 수 있으며 현재의 최종 버전은 0.0.3이다. 구글 플레이 스토어에 접속 할 수 있는 안드로이드 단말기와 계정이 있다면 사용자 제한 없이 앱을 다운로드 받아 설치할 수 있게 설정되어 있다. iOS 앱은 안드로이드와는 다르게 내부 개발자용으로만 배포하고 있으며, 연구 종료 시점에 맞추어 iOS도 함께 제공할 예정이다.

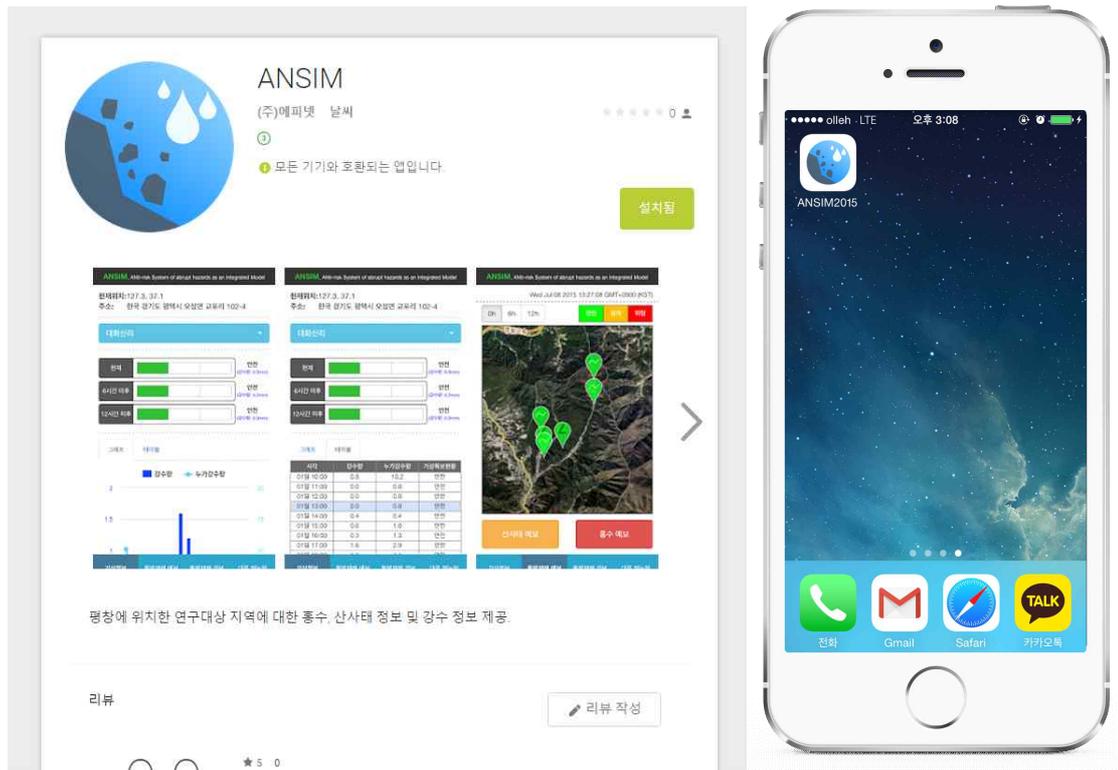


그림 3-3-23 | 예·경보 서비스 앱의 배포 및 설치화면

## 제4절 센서-네트워크 기반 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구 구축 및 운영결과

### 1. 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구 구축

#### 가. 대상지구 돌발재해 예·경보 시스템 현황

##### (1) 대상지구 재해저감 대책

돌발재해 예·경보 시스템 대상지구인 평창군의 풍수해저감대책은 전지역단위와 수계 및 위험지구 단위 저감대책으로 구성되어 있다. 전지역단위 저감대책은 구조물적 대책, 비구조물적 대책 및 비구조적 예방대책 등으로 구분할 수 있다. 구조물적 대책은 해당 지자체의 침수 및 내수배제 문제가 전반적으로 개선되어지는 저감대책을 말하며, 비구조적 대책은 재난 예·경보, 홍수터관리, 홍수보험, 비상대처계획 수립, 해안침식 모니터링 및 이력조사 확대, 해양 이상현상 관측망 및 예경보시스템 구축 등이 이에 해당한다.

본 연구에서 개발한 돌발재해 예·경보 시스템은 비구조적 예방대책의 하나로 볼 수 있다. 재난 예·경보의 목적은 강우로 인해 발생하는 홍수의 규모와 발생시간을 정확하고 신속하게 예측하여 홍수에 대비할 수 있도록 유관기관과 지역주민에게 사전에 홍수에 대한 정보를 제공함으로써 대비 및 대피에 필요한 시간을 확보하여 홍수로부터 피해를 최소화하는데 있다. 평창군에서는 통합경보방송시스템을 구축하여 각 읍·면 마을단위 경보방송이 필요한 지역에 추가로 통합경보방송수신기를 설치하였고, 군과 각 읍·면 재해경보방송 취약마을간 재난방송시스템을 구축하고 있다. 또한, 오지마을이나 마을관리 휴양지 등 재난경보가 필요한 지역에 대해 군 재난대책본부의 경보발령내용을 수신할 수 있도록 수신기 설치 등의 대책을 마련하고 있으며 전화회선 및 기존 마을앰프 등을 활용하여 재난경보시스템을 구축방안도 계획하고 있다.

그러나 평창군의 통합경보방송시스템은 강우기록과 수위를 기준으로 주민대피를 알리는 경보위주시스템으로써 사전대비 및 대피를 위한 강우와 수위예보기능이 부족한 실정이다. 최근 산악지역에서 빈번히 발생하는 돌발홍수에 대처하기 위한 돌발재난 예·경보 시스템의 보완이 필요하다. 본 연구에서 개발한 예·경보 시스템은 이러한 보완의 측면에서 일부분을 담당할 수 있을 것으로 기대된다.

##### (2) 대상지구 재난 관측소 및 예·경보시스템 현황

평창군 관내에 기 설치된 강우, 수위관측소 현황 및 경보기준수위는 다음 표와 같으며, 다음으로 평창군에서 운영 중인 재난 예·경보시스템 중 자동우량(수위) 경보시설의 현황을 나타내었다.

표 3-4-1 | 평창군 수위관측소 현황

구분	하천명	위치	수위(EL.m)		기준	비고
			영점표고	경계수위		
수위 관측소	평창강	상방림교	358.065	366.819	자기	한강홍수통제소
	평창강	선애교	385.500	391.820	자기	한강홍수통제소
	평창강	평창교	287.744	296.556	자기	한강홍수통제소
	속사천	장평교	527.058	531.338	자기	한강홍수통제소
	속사천	이목정	592.000	595.565	자기	한강홍수통제소
	대화천	하안미	375.065	378.729	자기	한강홍수통제소
	홍정천	백옥포	505.869	510.477	자기	한강홍수통제소

표 3-4-2 | 평창군 자동우량(수위)경보시설 현황

경보시설 설치장소	비고
봉평면 덕거리 우량경보국	우량경보국
정선수위국	수위국
방림면 구포교수위경보국	수위경보국
용평면 백옥포리 우량수위경보국	우량수위경보국
홍정 삼거리 경보국	경보국
허브나라앞 경보국	경보국
산채시험장 경보국	경보국
금당경보국	경보국
개수경보국	경보국
천제당 경보국	경보국
방림 합천소 경보국	경보국
노람뜰 경보국	경보국
다수경보국	경보국
진부리 경보국	경보국
봉평경보국	경보국
마하리 경보국	경보국
너운보 경보국	경보국
대하리 경보국	경보국
금당산 중계국	중계국
천제당 중계국	중계국
평창군청 우량국	우량국
용평면사무소 우량국	우량국
미탄면사무소 우량국	우량국
방림면사무소 우량국	우량국
도암면사무소 우량국	우량국
대화면사무소 우량국	우량국
봉평면사무소 우량국	우량국
진부면사무소 우량국	우량국
홍정1우량국	우량국
홍정2우량국	우량국
방림면 너운 세월교 우량경보	우량경보국
용평면 노동 야영장 우량경보국	우량경보국
봉평면 덕거리 우량경보국	우량경보국
정선수위국	수위국
방림면 구포교 수위경보국	수위경보국
용평면 백옥포리 우량수위경보국	우량수위경보국

다음 그림은 평창군의 재난 예·경보시스템의 위치를 도상에 나타낸 것이다.

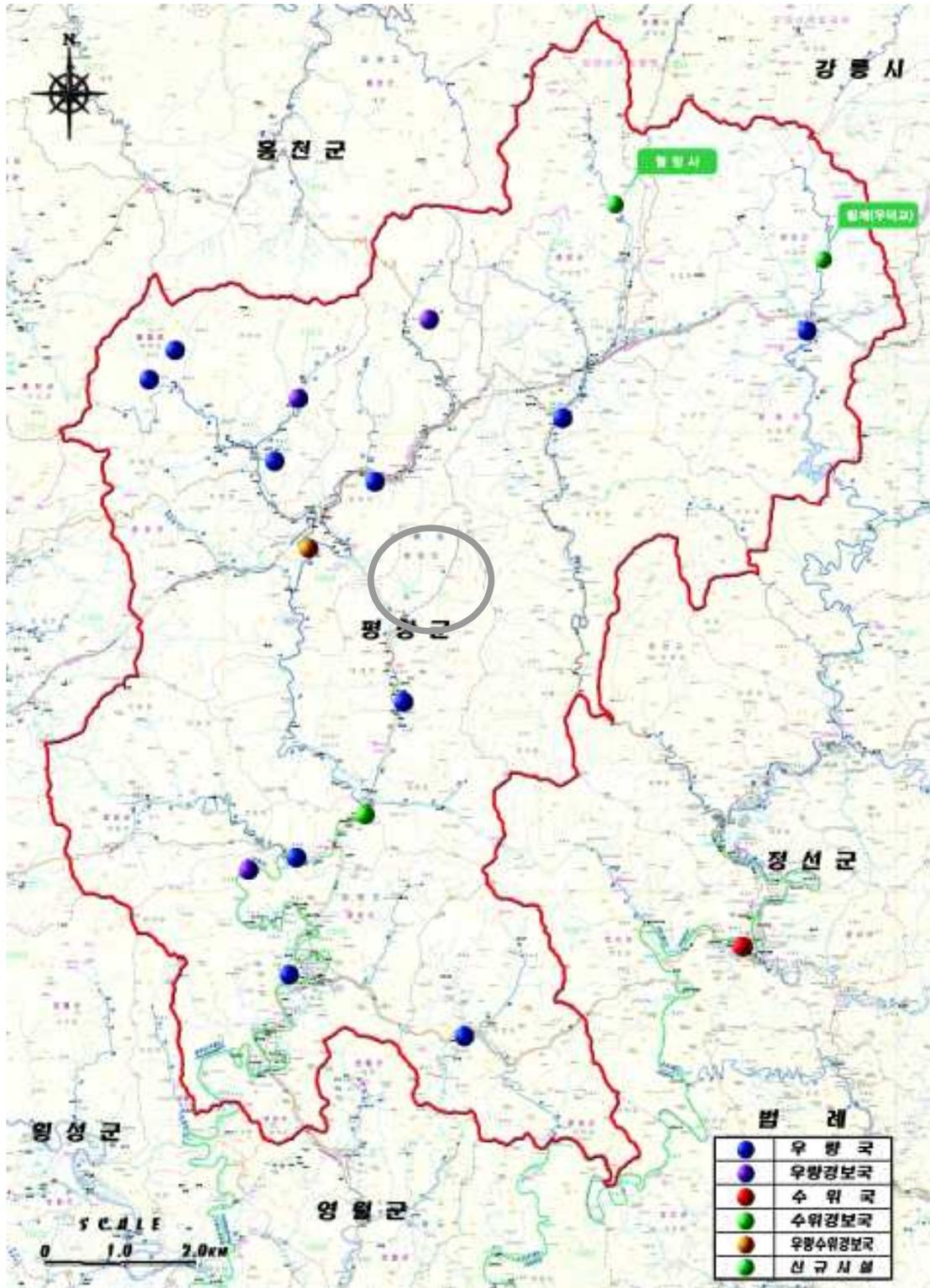


그림 3-4-1 | 평창군 재난 예·경보 시스템 및 연구대상 시범지구

(3) 돌발재해 예·경보 시스템 운영 체계

재해 종류와 규모 및 이에 대한 대응의 지역적 규모에 따라 예방·인지·대응 체계는 다를 수 있으며 다음 그림과 같이 매우 많은 조직의 연계를 통한 대응체계를 요구할 수 있다.

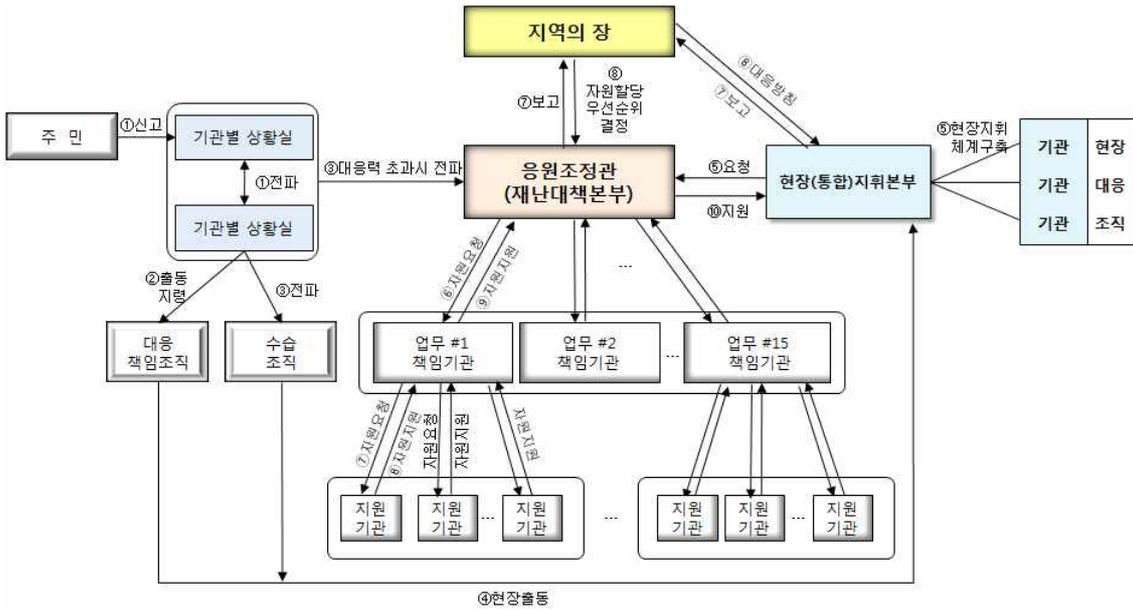


그림 3-4-2 | 지역 재난대응 체계도(강원도 예시)

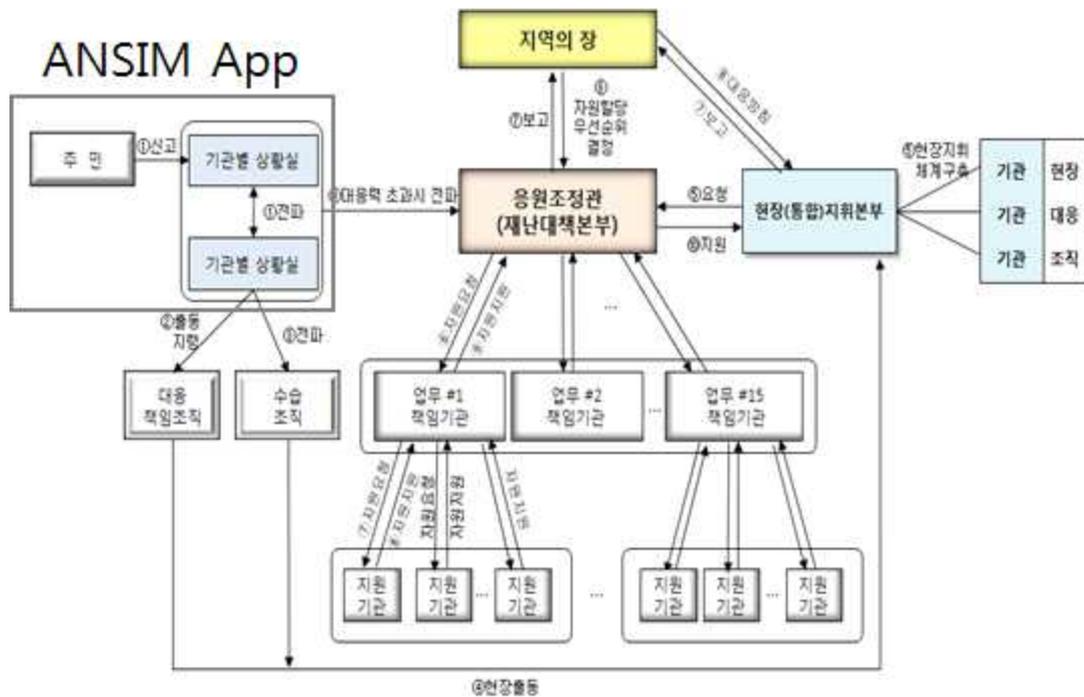


그림 3-4-3 | 돌발재해 예·경보시스템(ANSIM) 운영단위

본 연구에서 제시하는 돌발재해 예·경보 체계는 농촌지역의 소규모 유역에 대한 시스템으로 각 지역단위에서 운영하는 시스템의 일부로 편입될 수 있도록 구성하는 것이 바람직하며 본 연구에서 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구는 지역 내의 주민에 대한 직접적인 상황

전과를 목적으로 구성하였다. 최종적으로 운영결과를 반영하여 구축되는 시스템에서는 ANSIM 앱의 예·경보 메시지는 지역주민에게 직접적으로 전달되며 지역주민이 속한 지역의 안전 및 재난관리와 관련된 업무에 종사하는 관계 공무원에게 전달되도록 한다.

### 나. 돌발재해 예·경보 센서 및 네트워크 구축

#### (1) 현장 센서, 중계기 및 게이트웨이 설치

본 연구에서 제안하고 개발된 하드웨어 및 소프트웨어를 모두 포함하는 시스템을 구축하였다. 대상지구에 구축된 예·경보 시스템은 본 연구에서 개발된 센서-네트워크 기반의 하드웨어 일체와 관리시스템 및 예·경보 서비스 시스템이다. 본 지구에 대해서는 지속적인 모니터링을 수행하여 시스템의 적응성을 검증하고 수정·보완 작업을 수행할 계획이다. 예·경보 시스템은 강원도 평창군 신리 일대에 구축하였다.

대상 지구는 산사태 2개 지구에 각 2개 센서, 홍수 1개 소유역에 5개 센서로 구성하였고 센서를 관리할 수 있는 관리시스템과 예·경보 서비스를 제공할 수 있는 시스템을 구축하였다. 센서와 중계기 사이의 최대 2.4 km로 원활하게 통신이 작동되는 것으로 나타났다. 각 센서별 위치와 센서의 설치 현황을 다음의 그림에 나타내었다.

표 3-4-3 | 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구 구축내역

기기 종류	센서 명	위치		비고
		Latitude	Longitude	
기울기 센서	PHL#1	37.55252	128.46735	
기울기 센서	PHL#2	37.55248	128.46742	
기울기 센서	PSL#1	37.55232	128.48257	
기울기 센서	PSL#2	37.55255	128.48279	
수위 센서	PSF#1	37.58027	128.49299	
수위 센서	PSF#2	37.57500	128.49445	
수위 센서	PSF#3	37.55282	128.48359	
수위 센서	PSF#4	37.54147	128.46694	
수위 센서	PSF#5	37.53851	128.46209	
중계기	MID#1	37.55954	128.49956	
중계기	MID#2	37.53960	128.47763	
중계기	MID#3	37.53139	128.44293	
게이트웨이	GAT#1	서울대학교 평창캠퍼스		



그림 3-4-4 | 수위 센서(PSF#1) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-5 | 수위 센서(PSF#2) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-6 | 수위 센서(PSF#3) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-7 | 수위 센서(PSF#4) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-8 | 수위 센서(PSF#5) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-9 | 기울기 센서(PSL#1, #2) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-10 | 기울기 센서(PHL#1, #2) 설치 위치 및 현황



그림 3-4-11 | 중계기 설치 현황

수위 센서의 경우 주민의 왕래가 잦은 교량이 위치한 곳으로 훼손을 방지하기 위한 안내 문구를 부착하였고, 향후 모니터링 및 센서의 검정을 위해 수위표를 부착하였다.



그림 3-4-12 | 안내문구 내용 및 수위표 부착

## (2) 현장실험을 통한 네트워크 구축

게이트웨이와 중계기의 연결을 위한 중계기의 위치 결정을 위해 Geocontext를 이용하여 프레넬존을 확인하였다. 분석결과를 보면 게이트웨이는 해발 690m 위치에 설치되고 중계기가 약 660m에 위치하며 가운데 680m의 산(지장물)이 위치해 두 센서가 직접 보이는 형태는 아니지만 프레넬존이 확보되는 것으로 분석되었다. 다만 지장물의 높이가 높아 통신 감도는 현저히 떨어질 것으로 분석되었다.

현장실험은 두 센서 간의 60byte 크기의 패킷을 100번 교환하고 데이터가 정확히 송/수신되는 횟수를 구하는 방법으로 수행하였다. 현장실험 결과 99%의 데이터 수신 상태를 보여 양호한 상태가 됨을 확인하였다. 이러한 결과는 게이트웨이 설치 위치가 연구소 건물 옥상으로 이에 대한 높이 증가 효과에 인한 것으로 판단되었다.



그림 3-4-13 | 통신 반경 현장 실험 모습

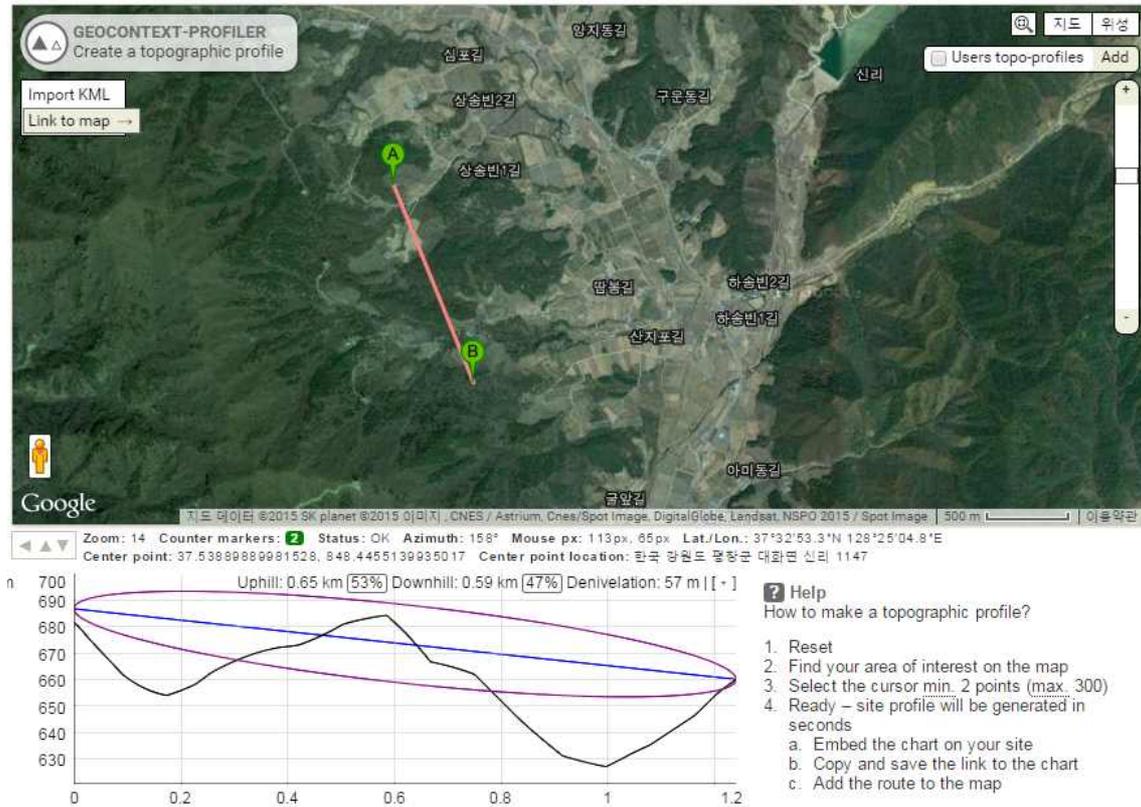


그림 3-4-14 | 센서 간 통신 신뢰성 분석을 위한 프레넬존 분석(I)

최상류측 센서와 중계기 1번 사이의 프레넬 존을 분석하면 해발 860m와 720m 사이의 고도차를 가지고 약 2km의 이격되어 있다. 프레넬존 상황으로는 지장물이 없고 통신 가시거리가 확보되는 양호한 환경으로 분석되지만, 중계기의 위치가 산 중턱에 위치하여 나무 등의 지장물이 있어 수신 감도가 현저히 떨어지는 문제가 있었다. 즉, 중계기에서 센서로 데이터를 전송할 경우 수신확률이 100%로 양호한 상태를 보였지만, 센서에서 중계기로의 데이터 전송은 수신 성공률이 80%로 상당히 떨어지는 결과를 보였다. 이런 경우 중계기의 안테나 설치 높이를 지면에서 7m 정도 높일 경우 수신 성공률이 95% 이상으로 올라감을 확인할 수 있었다.

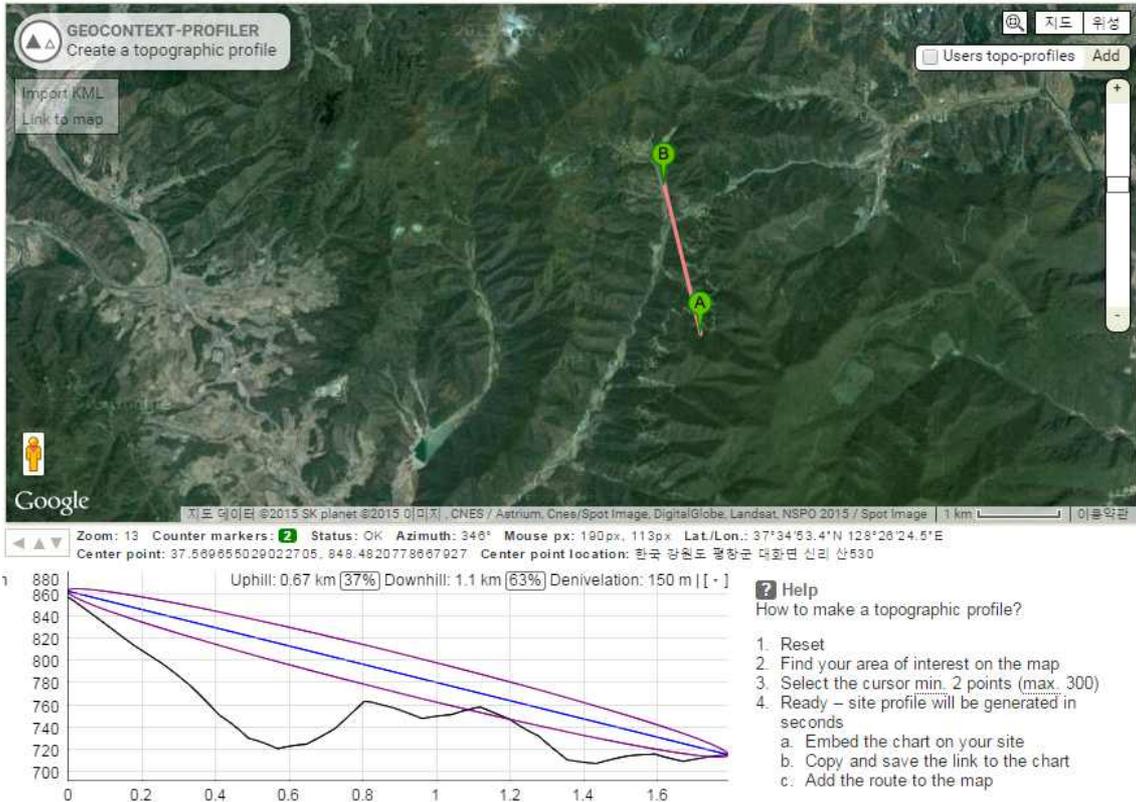


그림 3-4-15 | 센서 간 통신 신뢰성 분석을 위한 프레넬존 분석(II)

이상과 같은 과정을 거쳐서 앞 중계기와 게이트웨이를 이용한 네트워크가 완성되었다. 모든 센서의 통신상태를 확인하였으며 지속적인 모니터링을 통하여 통신관련 문제점을 진단하고 해결하도록 연구를 수행할 계획이다. 돌발재해 예·경보 시스템의 시범 운영지구에 설치된 현장 하드웨어를 관리자 프로그램에 나타내면 다음의 그림과 같다.

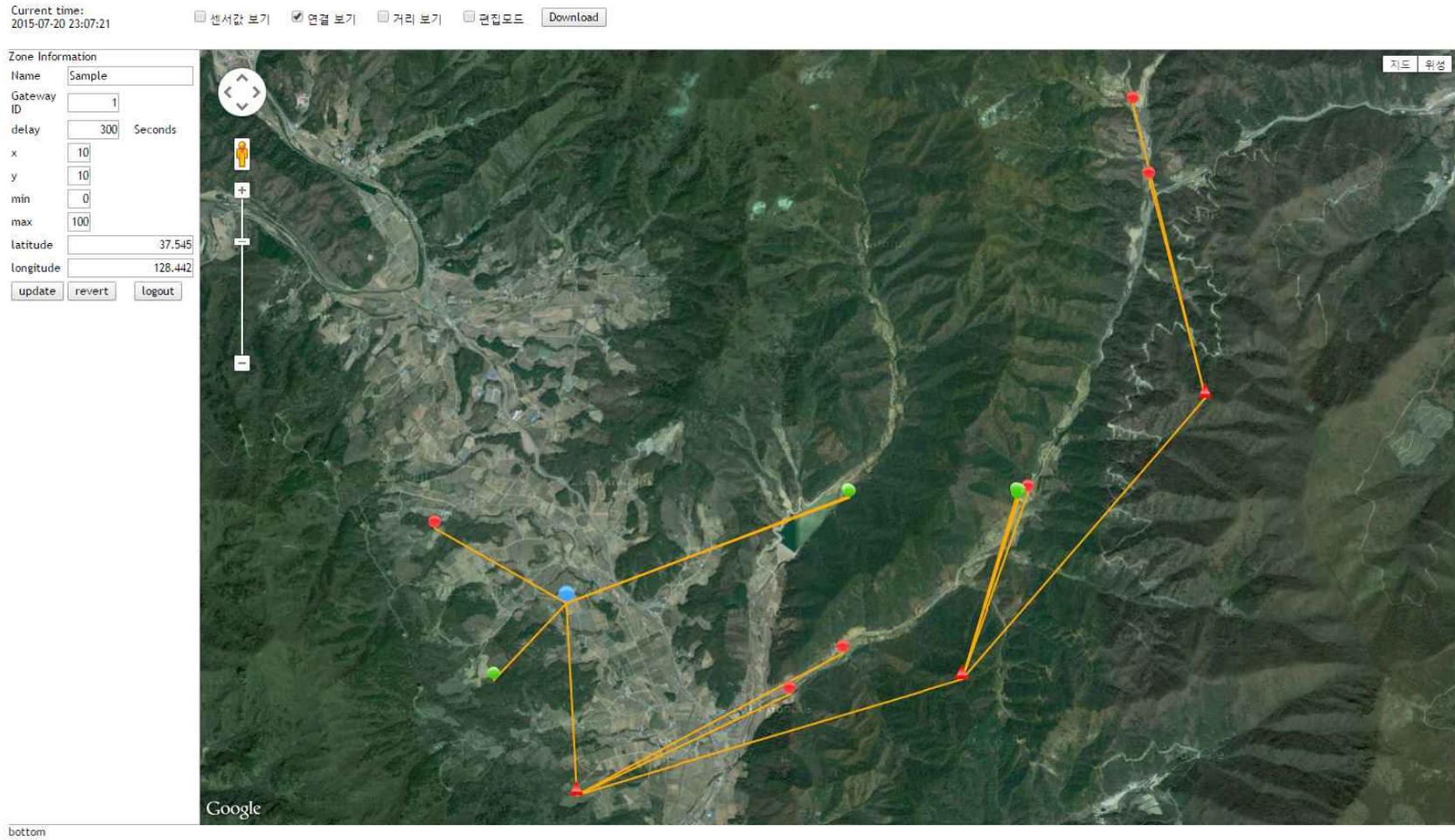


그림 3-4-16 | 관리시스템 상의 센서 중계기 및 게이트웨이(● : 수위 센서, ● : 기온기센서, ▲ : 중계기, ● : 게이트웨이)

(3) 돌발재해 예·경보 관리 및 서비스 체계 구축

(가) 돌발재해 예·경보 관리 시스템 구축

관리시스템은 현재 수위센서와 기울기센서로 구분하여 구축되어 있으며 센서의 위치, 현재 계측값 등의 정보를 확인하고 관리할 수 있게 구축되었다(‘돌발재해 예경보 서비스를 위한 시스템 개발 참조).



그림 3-4-17 | 대상지구 돌발재해 관리시스템 구축(기울기)



그림 3-4-18 | 대상지구 돌발재해 관리시스템 구축(수위)

(나) 돌발재해 예·경보 서비스 앱 운영

관리시스템을 통하여 대상지구의 강우예보자료를 획득하고, 이를 이용하여 돌발재해 예·경보를 위한 해석에 필요한 기본 자료를 구축하였다. 현재는 돌발재해 예·경보 서비스를 위한 서비스 앱 (ANSIM)이 대상지구에 대하여 구축되었다(‘돌발재해 예경보 서비스를 위한 시스템 개발내용 참조).

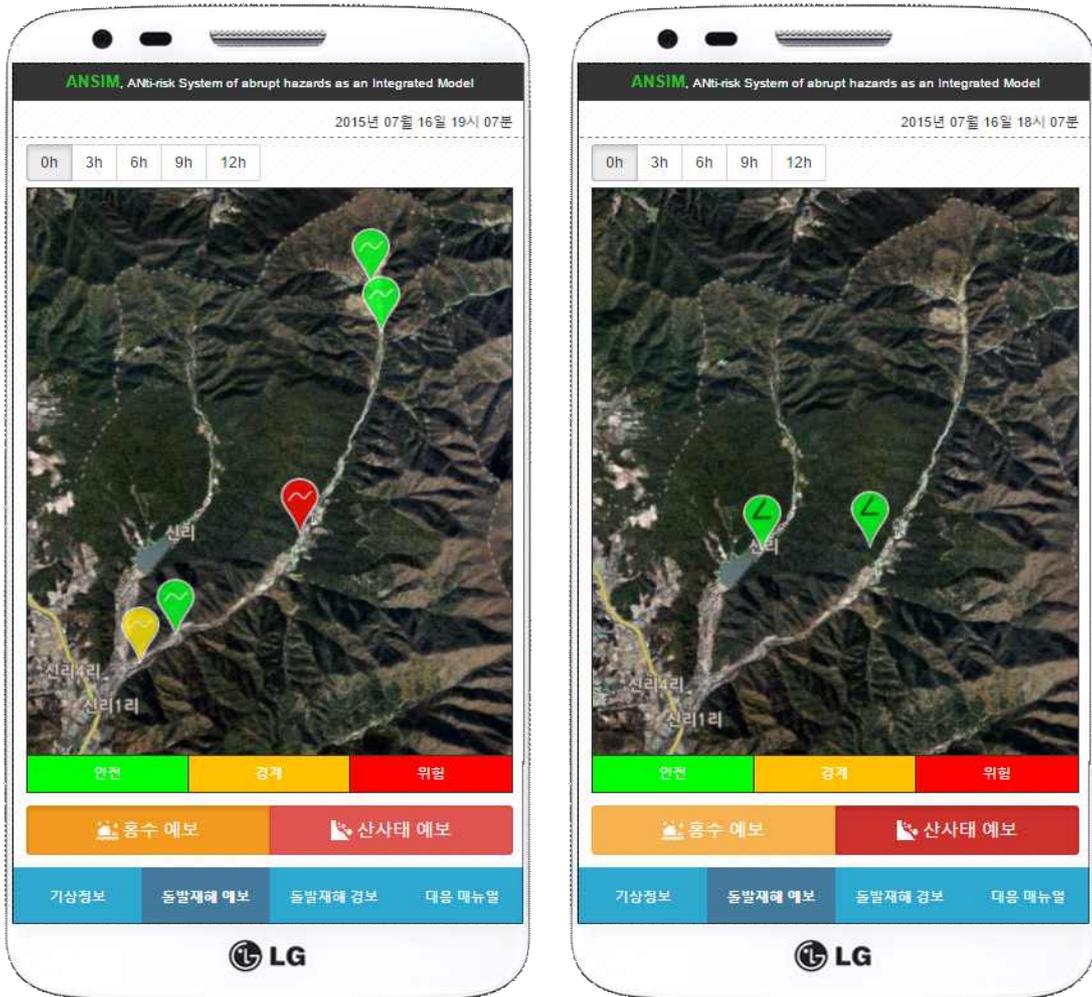


그림 3-4-19 | 대상지구 돌발재해 예·경보 서비스 체계 구축

#### (4) 지역주민 서비스 네트워크 구축

본 연구의 목적은 돌발재해 예·경보 시스템을 구축하여 지역의 주민 또는 방문객의 안전을 확보하는 것으로 예·경보 현황이 정확한 시기에 정확한 내용으로 전달되어야 한다. 따라서 시범지구의 대상 주민의 적극적인 협조가 필요한 것으로 판단하였다. 따라서 센서가 구축된 위치에서 피해가 예상되는 주민을 방문하여 연구내용과 돌발재해 예·경보 서비스의 전달방법과 향후 대책에 대하여 설명하였다. 이러한 과정을 거쳐 지역 주민에 대한 서비스 체계를 완성하였다.

또한 ANSIM 앱을 통한 예·경보 메시지는 지역주민의 고령화 및 통신기기 사용 환경에 맞게 스마트폰을 사용하지 않아도 SMS 수신이 가능하고, 앱이 설치되어 있지 않아도 SMS 수신이 가능하도록 구축하였다.



그림 3-4-20 | 지역주민 설명



그림 3-4-21 | ANSIM 앱을 통한 서비스 체계 구축

## 2. 돌발재해 예·경보 시스템 대상지구 운영

### 가. 주요 강우사상

예·경보 시스템 운영 중 발생한 강우사상 중 주요 강우사상을 선정하였다. 단일 강우사상 중 강우량이 30mm/day 이상이며, 강우강도가 4.0mm/hr를 초과하는 3개 사상이 발생하였다. 발생한 강우사상들의 강우량과 강우강도, 5일 선행강수량에 의한 선행 토양함수조건(AMC)은 다음과 같다. ST160701 강우사상과 ST160816 강우사상은 5일 선행강우량이 각각 2 mm, 0 mm로 적어( $P_5 < 35.56 \text{ mm}$ ) 토양이 대체로 건조상태이고 침투율이 대단히 커서 유출률은 대단히 낮은 상태(lowest runoff potential)로 추정되었으며, 246 mm의 집중호우가 내린 ST160704 강우사상은 99 mm 강우가 내린지 51시간 뒤의 강우로 선행하는 5일 동안 강우량이 101 mm로 많아 ( $P_5 > 53.34 \text{ mm}$ ) 토양이 거의 포화상태이며, 침투율이 대단히 작아서 유출률이 대단히 큰 상태(highest runoff potential)로 판단되었다.

표 3-4-4 | 신리지구 강우사상 선정 결과

강우사상		강우기간	강우량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	AMC 조건
1	ST160701	2016/07/01 15:00 - 2016/07/02 04:00	99	7.1	I
2	ST160704	2016/07/04 08:00 - 2016/07/06 10:00	246	4.8	III
3	ST160816	2016/08/16 20:00 - 2016/08/16 21:00	39	19.5	I

### 나. 강우사상에 의한 돌발홍수 예·경보 시스템 운영결과

#### (1) 강우사상에 의한 돌발홍수 예·경보 시스템 운영결과

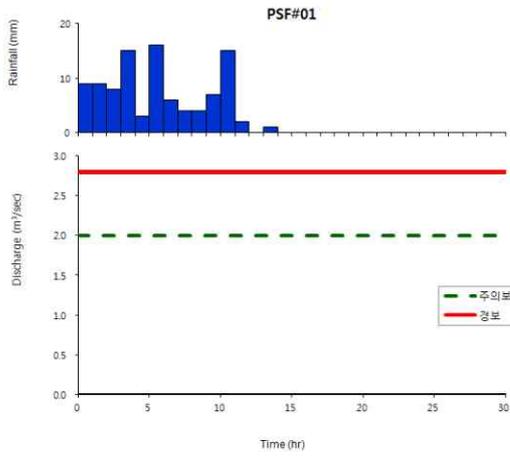
다음은 운영기간 중 주요 강우사상에 대하여 돌발홍수를 해석한 결과이다.

#### ▪ ST160701 (2016/07/01 15:00 - 2016/07/02 04:00) 강우사상 해석 결과

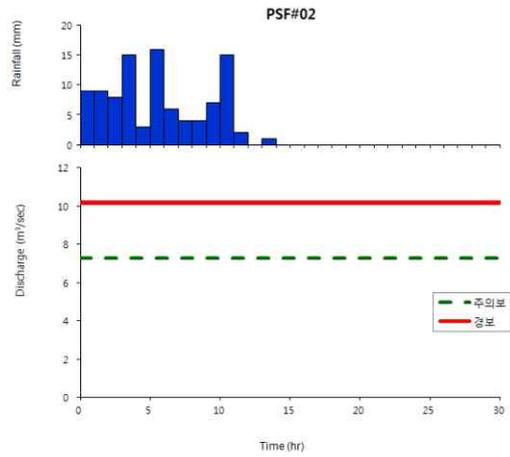
신리지구의 5개 지점에 대하여 ST160701 강우사상(강수량 99 mm)의 10년 빈도 홍수량을 모의하고, 홍수 특보발표 기준을 살펴보았다. 홍수량 모의 결과, PSF#05 지점을 제외한 모든 지점에서 침투홍수량이 발생하지 않았으며, PSF#05 지점의 경우도 0.02 m<sup>3</sup>/s로 나타나 ST160701 강우사상은 모든 지점에서 주의보 및 경보 발령기준을 초과하는 침투홍수량이 발생되지 않은 것으로 나타났다.

표 3-4-5 | 신리지구 ST160701 강우사상 모의 결과

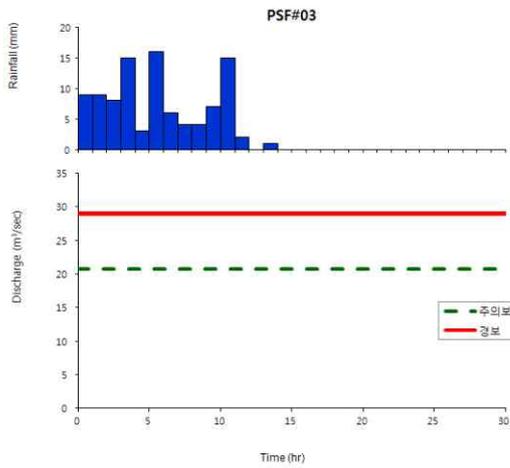
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	0.00	2.0	2.8	×
PSF#02	0.00	7.3	10.2	×
PSF#03	0.00	20.7	28.9	×
PSF#04	0.00	29.3	41.1	×
PSF#05	0.02	32.2	45.0	×



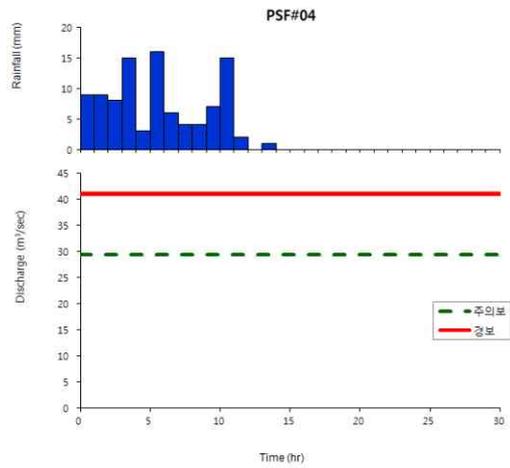
a) PSF#01 지점



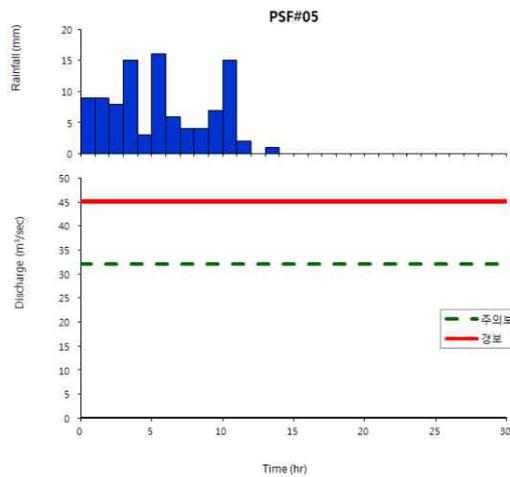
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

그림 3-4-22 | 신리지구 ST160701 강우사상의 지점별 해석 결과

▪ ST160704 (2016/07/04 08:00 - 2016/07/06 10:00) 강우사상 해석 결과

ST160704 강우사상은 강우량 246 mm로 2016년 1월부터 10월 20일까지 강우량 중 가장 많은 강우량을 기록한 강우사상이다. 이 기간동안에 강원 중북부를 중심으로 시간당 30 mm 내외, 200 mm가 넘는 기록적인 폭우가 계속되면서 도내 각 지역마다 도로 침수 또는 유실, 주택 및 농경지 침수, 토사유실 등 피해가 속출했다. 강원도에서는 4~6일 집중호우로 인명피해(실종) 4명, 국도·지방도로 유실 및 낙석, 도로 침수 등 총 15건의 도로피해, 논 134 ha, 밭 9.9 ha, 시설작물 4.7 ha가 침수되었고, 주택 반파 1곳, 침수 6곳으로 집계되었다.



그림 3-4-23 | 7월 4일 23시경  
(누적강우량: 116 mm) PSF#01  
지점에서 하류방향 전경

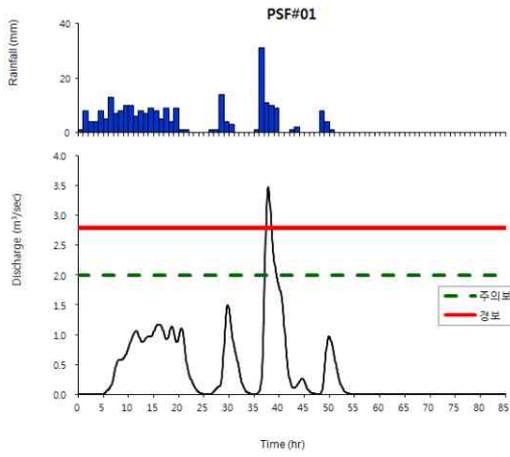


그림 3-4-24 | 집중호우가 내린 7월 5일  
오전 평창군 대화면 상안미리 지방도  
424호선 토석 20여ton 도로 유출

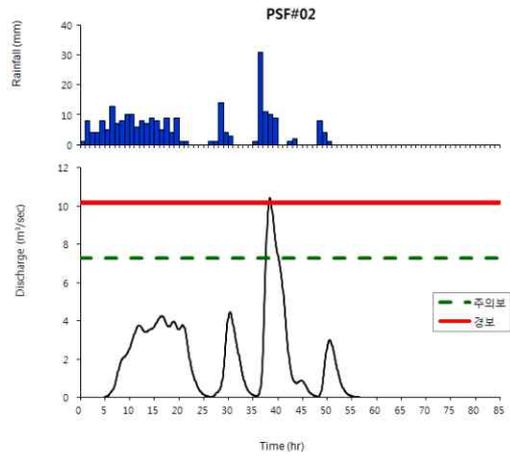
ST160704 강우사상은 선행하는 5일 동안 강우량이 101 mm로 매우 많아 토양이 포화상태이며, 침투율이 대단히 작아 유출률이 매우 큰 상태로 예상되었다. 이에 10년 빈도의 홍수량을 모의하고, 특보 발령기준을 살펴본 결과 PSF#01 지점과 PSF#02 지점에서 경보기준을 초과, PSF#03 지점에서 주의보기준을 초과하는 것으로 나타났다. PSF#01 지점은 첨두홍수량이 3.48 m<sup>3</sup>/s로 경보 발표기준인 2.8 m<sup>3</sup>/s를 초과하였고, PSF#02 지점의 첨두홍수량은 10.44 m<sup>3</sup>/s로 경보 발표기준인 10.2 m<sup>3</sup>/s를 초과하였다. PSF#03 지점의 첨두홍수량은 21.56 m<sup>3</sup>/s로 주의보 발표기준인 20.7 m<sup>3</sup>/s를 초과하였으나 경보 발표기준인 28.9 m<sup>3</sup>/s에는 근접하지 못하였다. 나머지 PSF#04, PSF#05 지점에서는 첨두홍수량이 특보기준을 초과하지 않았다.

표 3-4-6 | 신리지구 ST160704 강우사상 모의 결과

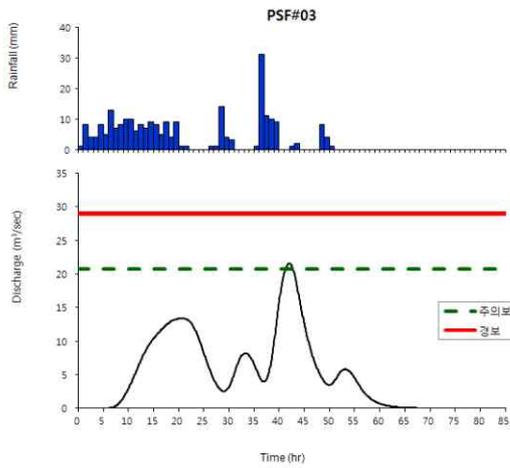
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	3.48	2.0	2.8	○
PSF#02	10.44	7.3	10.2	○
PSF#03	21.56	20.7	28.9	○
PSF#04	27.67	29.3	41.1	×
PSF#05	28.66	32.2	45.0	×



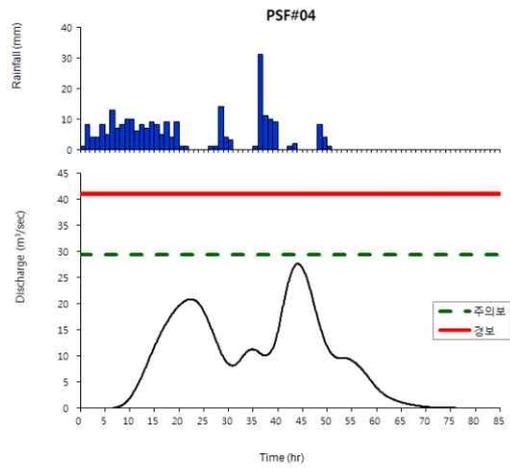
a) PSF#01 지점



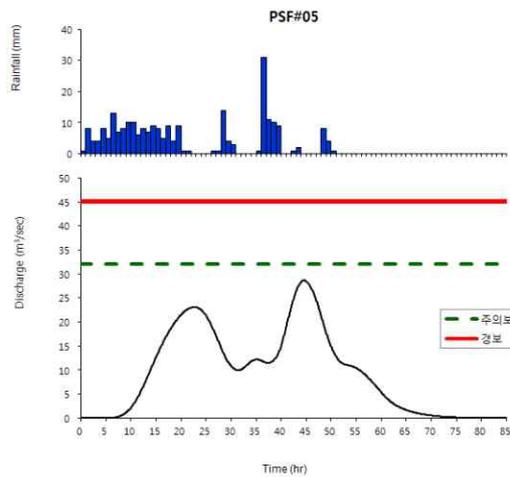
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



d) PSF#04 지점



e) PSF#05 지점

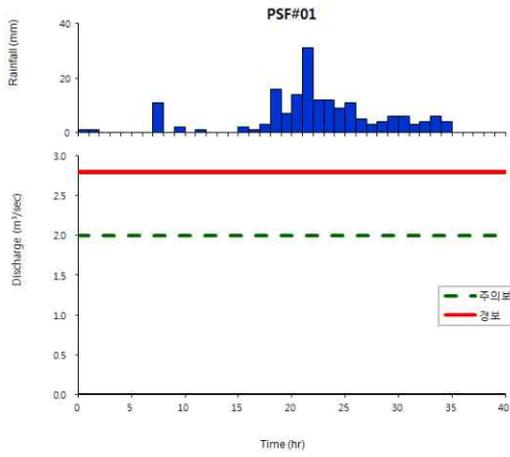
그림 3-4-25 | 신리지구 ST160704 강우사상의 지점별 해석 결과

▪ ST160816 (2016/08/16 20:00 - 2016/08/16 21:00) 강우사상 해석 결과

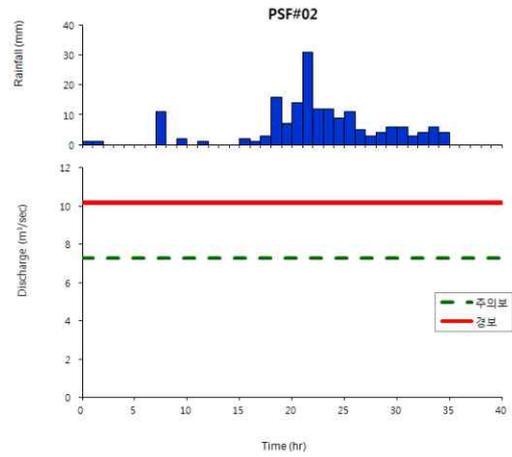
ST160816 강우사상은 선정된 3개의 강우사상 중 강수량은 39 mm로 가장 작으나 강우강도는 19.5 mm/hr로 가장 큰 강우사상이다. 10년 빈도의 홍수량을 모의하고, 특보 발령기준을 살펴본 결과, 전 지점에서 침투홍수량이 발생되지 않아 주의보 및 경보 발령기준을 초과하지 않은 것으로 나타났다.

표 3-4-7 | 신리지구 ST160816 강우사상 모의 결과

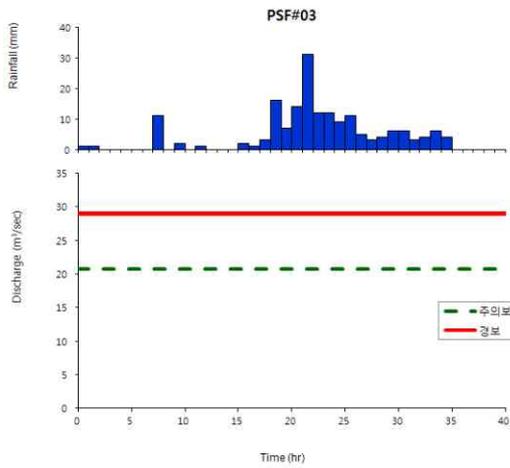
지점명	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	10년 빈도 홍수 특보발표 기준 (m <sup>3</sup> /s)		
		주의보	경보	초과여부
PSF#01	0.00	2.0	2.8	×
PSF#02	0.00	7.3	10.2	×
PSF#03	0.00	20.7	28.9	×
PSF#04	0.00	29.3	41.1	×
PSF#05	0.00	32.2	45.0	×



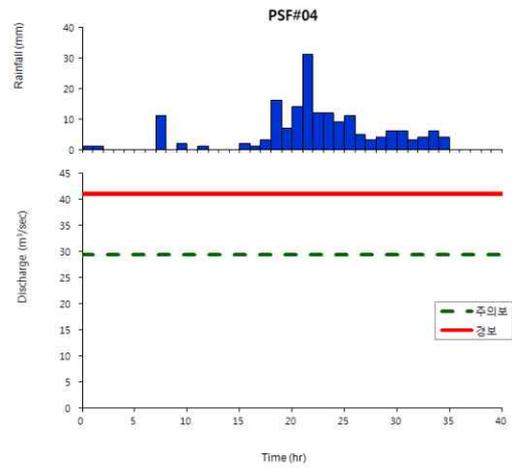
a) PSF#01 지점



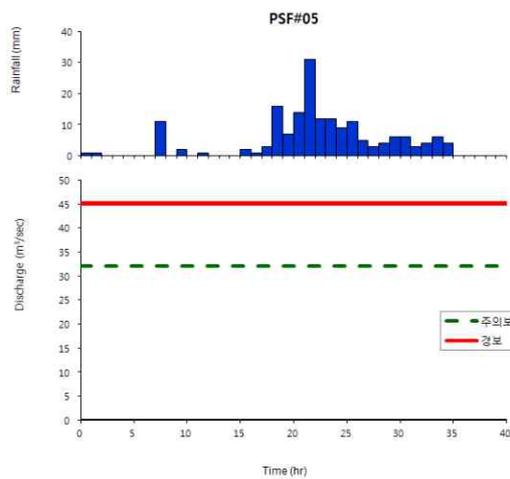
b) PSF#02 지점



c) PSF#03 지점



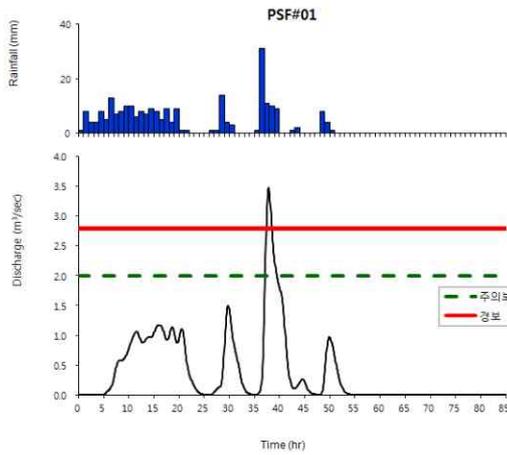
d) PSF#04 지점



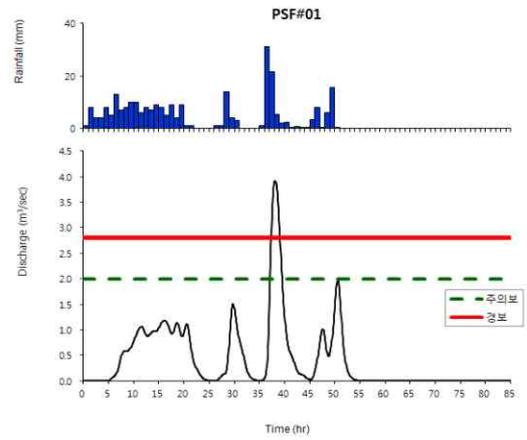
e) PSF#05 지점

그림 3-4-26 | 신리지구 ST160816 강우사상의 지점별 해석 결과

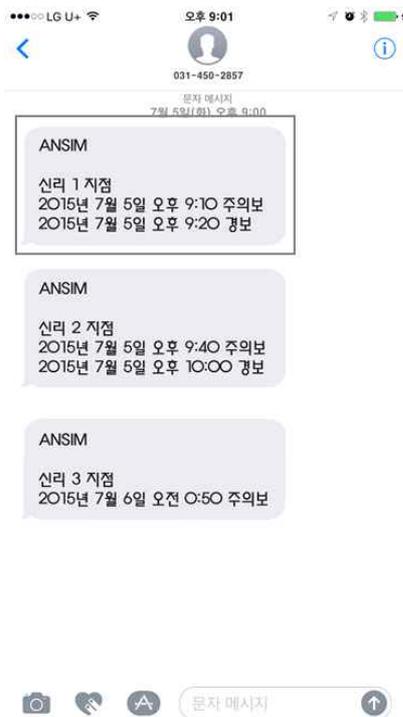
실제로 ST160701, ST160816 두 강우사상에 의해서는 모의한 바와 같이 예·경보 시스템 상에서 예보를 발령한 이력은 없다. 다음은 ST160704 강우 사상에 대하여 PSF#01 지점에서 7월 5일 21시에 예측된 강우를 이용하여 예보시스템 상에서 모의한 홍수 예측결과이며 그에 따라 시스템 운영자에게 전송된 주의보 및 경보 화면을 나타낸다.



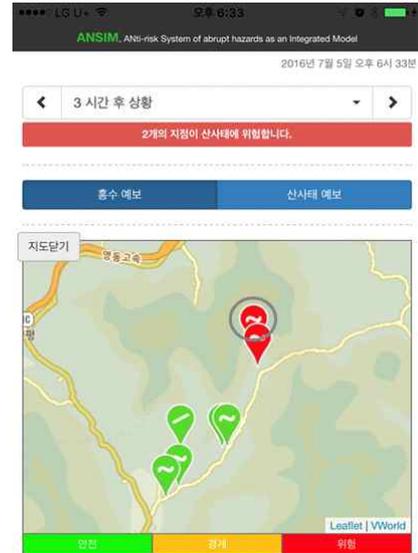
a) PSF#01 실제 강우



b) PSF#01 예측 강우



c) PSF#01 예보 메시지

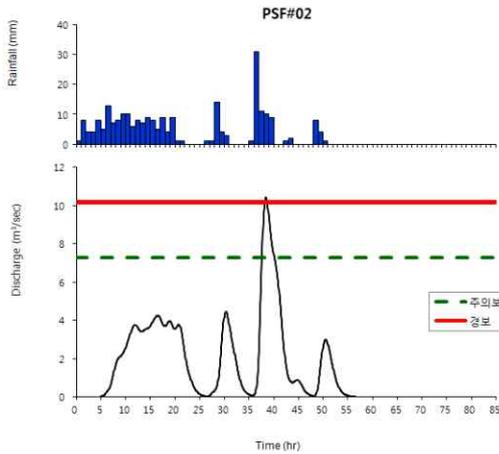


d) PSF#01 앱 화면

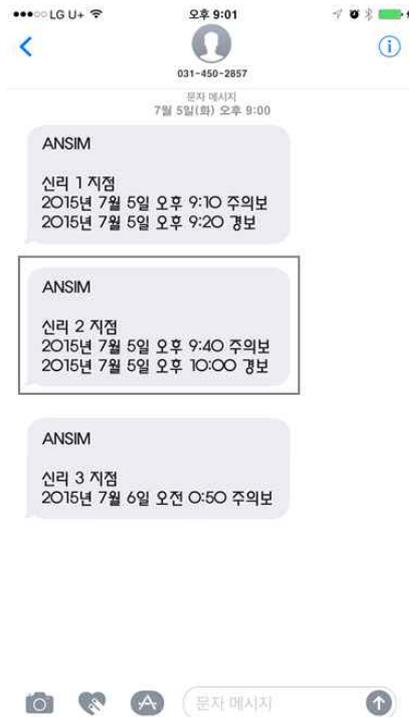
그림 3-4-27 | 신리지구 ST160816 강우사상의 예경보 현황

위 그림에서 a)는 실제 강우에 대한 해석 결과이고, b)는 2016년 7월 5일 20시까지는 실제 강우 21시 이후는 예측강우를 이용한 해석결과이다. 따라서 돌발홍수 예보시스템에서는 해석결과를 이용하여 21시에 주의보 및 경보메시지를 c)와 같이 전송하였고, d)는 이때 ANSIM 앱에서 지점의 정보를 확인한 그림이다.

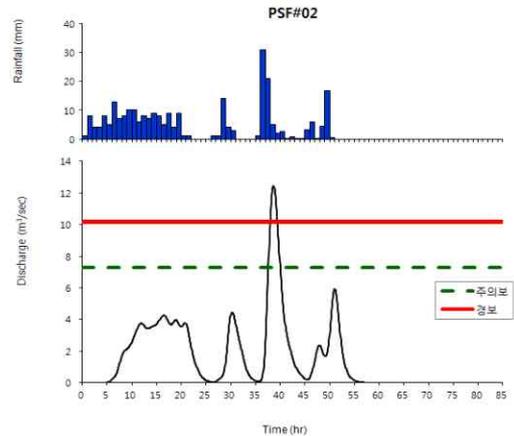
다음은 ST160704 강우 사상에 대하여 PSF#02 지점에서 7월 5일 21시에 예측된 강우를 이용하여 예보시스템 상에서 모의한 홍수 예측결과이며 그에 따라 시스템 운영자에게 전송된 주의보 및 경보 화면을 나타낸다.



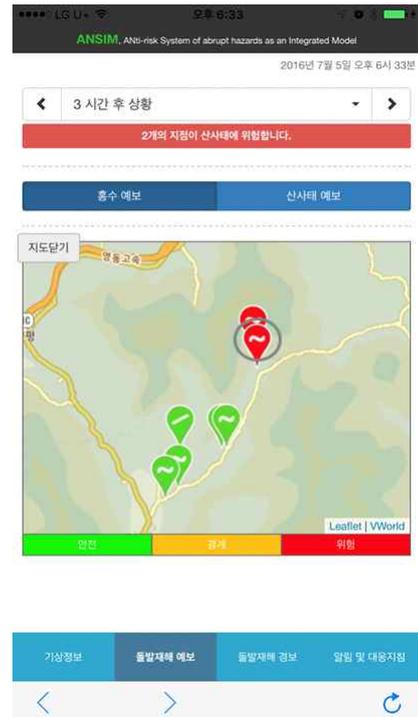
a) PSF#02 실제 강우



c) PSF#02 예보 메시지



b) PSF#02 예측 강우

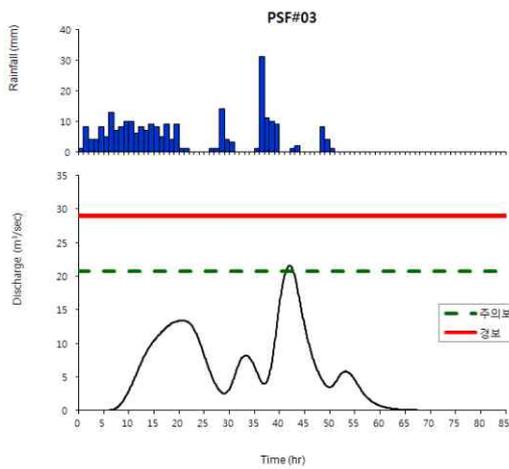


d) PSF#02 앱 화면

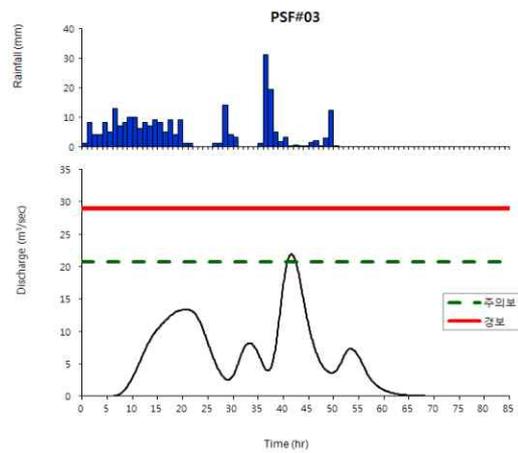
그림 3-4-28 | 신리지구 ST160816 강우사상의 예경보 현황

위 그림에서 a)는 실제 강우에 대한 해석 결과이고, b)는 2016년 7월 5일 20시까지는 실제 강우 21시 이후는 예측강우를 이용한 해석결과이다. 따라서 돌발홍수 예보시스템에서는 해석결과를 이용하여 21시에 주의보 및 경보메시지를 c)와 같이 전송하였고, d)는 이때 ANSIM 앱에서 지점의 정보를 확인한 그림이다.

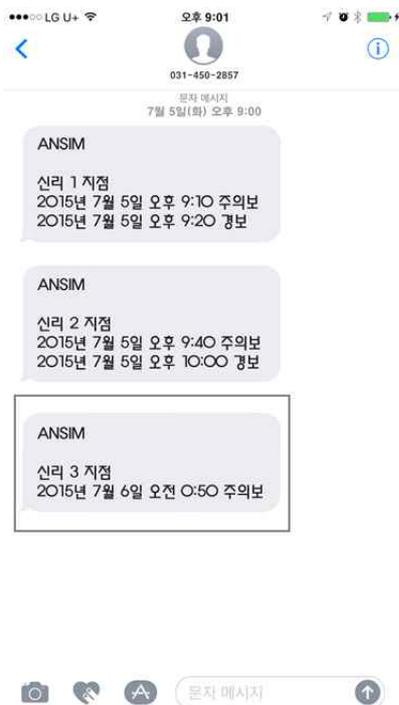
다음은 ST160704 강우 사상에 대하여 PSF#03 지점에서 7월 5일 21시에 예측된 강우를 이용하여 예보시스템 상에서 모의한 홍수 예측결과이며 그에 따라 시스템 운영자에게 전송된 주의보 및 경보 화면을 나타낸다.



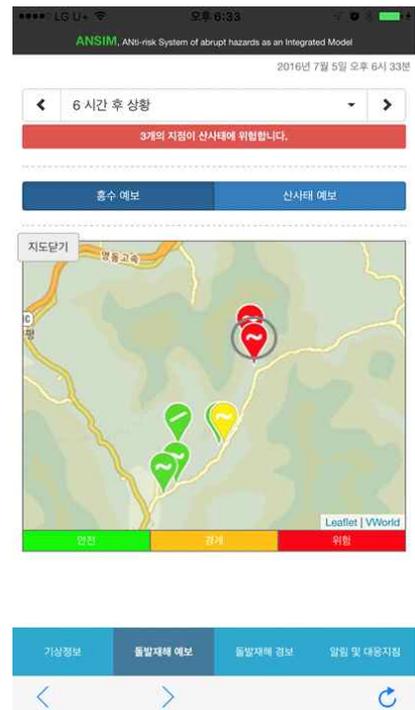
a) PSF#03 실제 강우



b) PSF#03 예측 강우



c) PSF#03 예보 메시지



d) PSF#03 앱 화면

그림 3-4-29 | 신리지구 ST160816 강우사상의 예경보 현황

(2) 강우사상에 의한 돌발홍수 경보시스템 운영결과

다음의 그림은 ST160701 강우사상에 의한 지점별 현장의 수위계측결과이다.

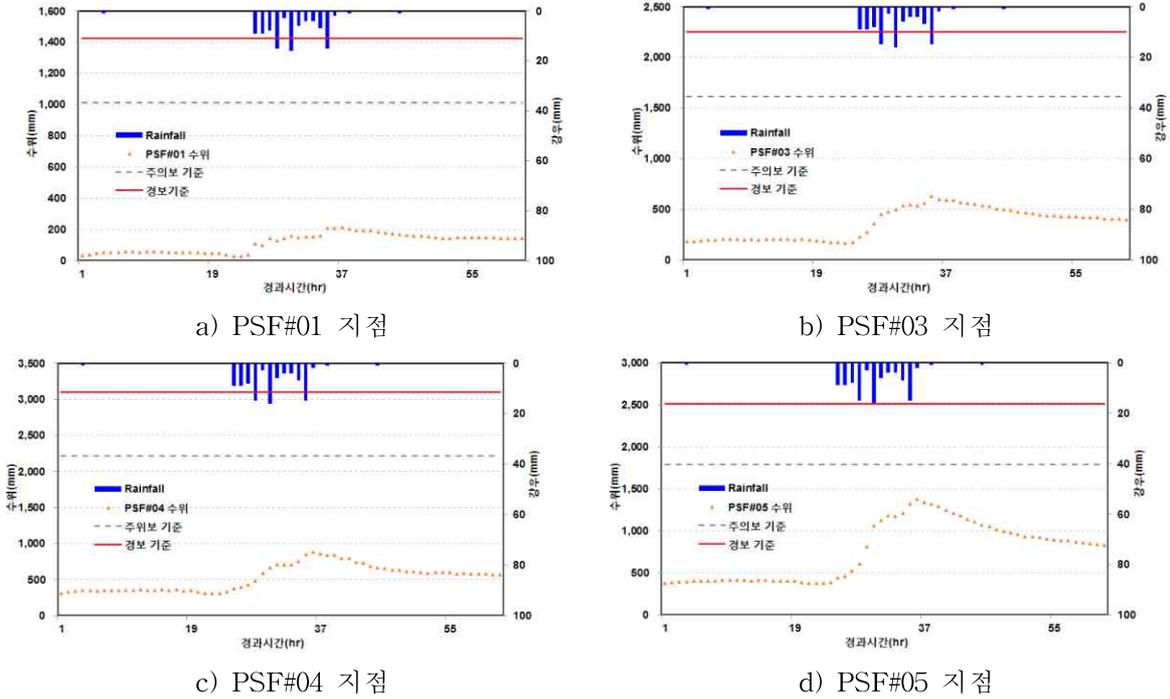


그림 3-4-31 | 신리지구 ST160816 강우사상의 지점별 수위 계측 결과

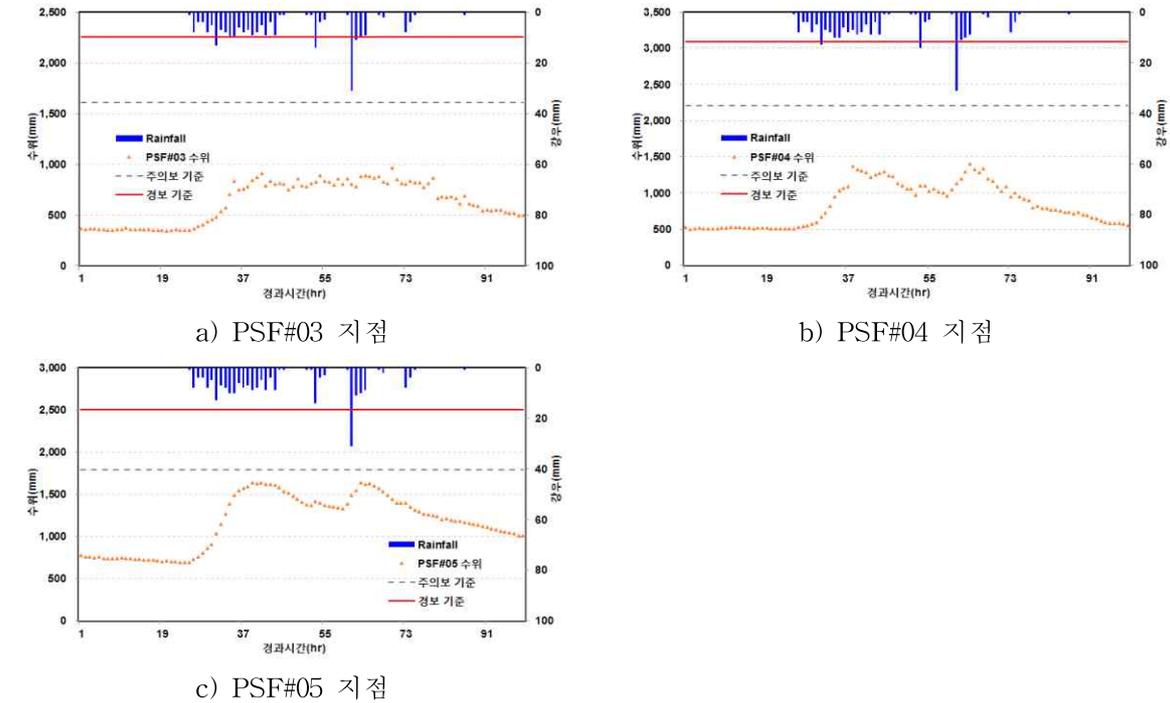
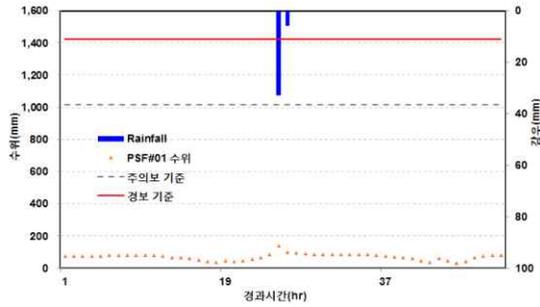
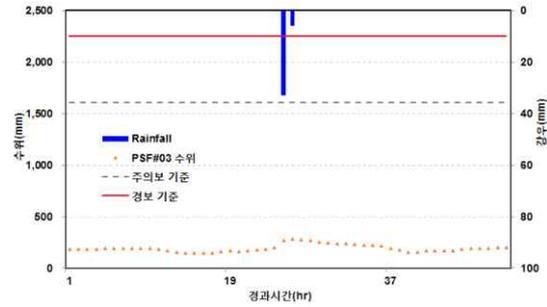


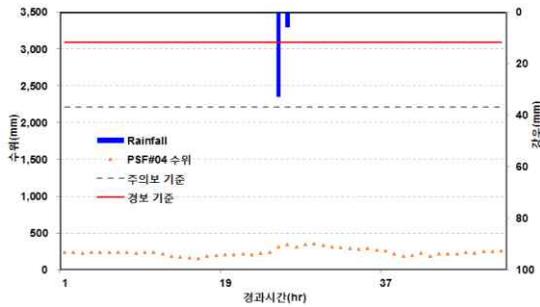
그림 3-4-32 | 신리지구 ST160816 강우사상의 지점별 수위 계측 결과



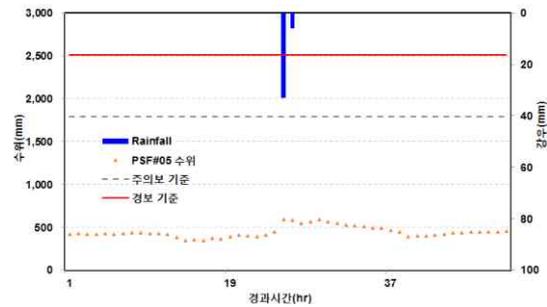
a) PSF#01 지점



b) PSF#03 지점



c) PSF#04 지점



d) PSF#05 지점

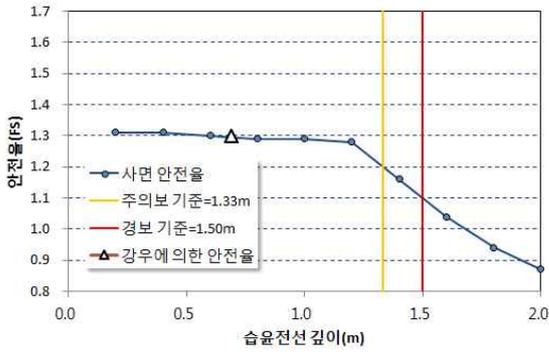
그림 3-4-33 | 신리지구 ST160816 강우사상의 지점별 수위 계측 결과

#### 다. 강우사상에 의한 돌발 산사태 예·경보 시스템 운영결과

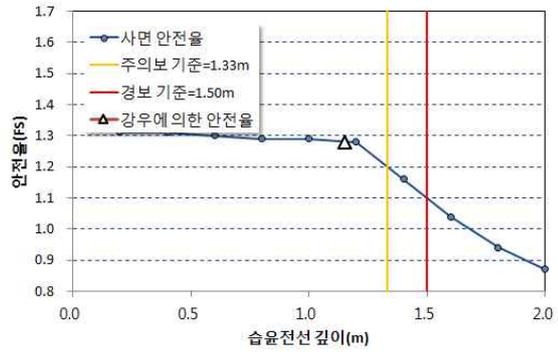
##### (1) 강우사상에 의한 돌발 산사태 예·경보 시스템 운영결과

신리지구(PSL)의 산사태 지점에 대하여 운영기간 중 발생한 주요 강우사상에 대하여 산사태를 해석한 결과는 다음 그림과 같다. ST160701 강우사상에 대하여 습윤전선이 진행하면서 초기 안전율 1.32에서 안전율이 감소하지만 주의보 및 경보기준에는 미치지 못하는 것으로 나타났다(그림에서  $\Delta$  위치까지 안전율 감소). 또한 ST160704 강우사상에 대해서는 이전 보다 안전율의 감소가 크지만 마찬가지로 예·경보시스템 상의 주의보 및 경보기준에 도달하지 못하였다. ST160816 강우사상은 단 시간에 집중된 강우이지만 대부분 지표에서 유출되고 습윤전선의 침투에 영향을 주지 못하여 안전율의 변화는 매우 미미하였다.

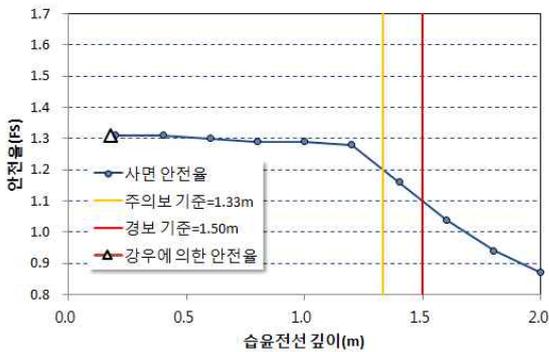
결론적으로 본 연구에서 구축한 돌발재해 예·경보 시스템의 운영기간 중에서는 산사태에 대한 예·경보상황을 발생하지 않았으며 실제 운영 중 산사태 예·경보상황 전파 이력은 없었다.



a) ST160701 강우사상



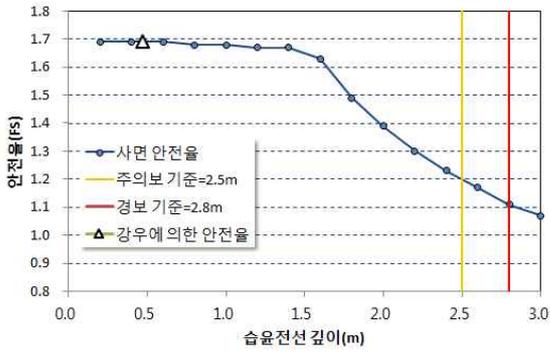
b) ST160704 강우사상



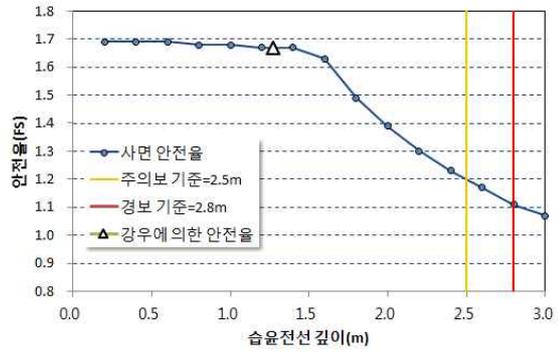
c) ST160816 강우사상

그림 3-4-34 | 신리지구 강우사상에 대한 산사태 해석 결과

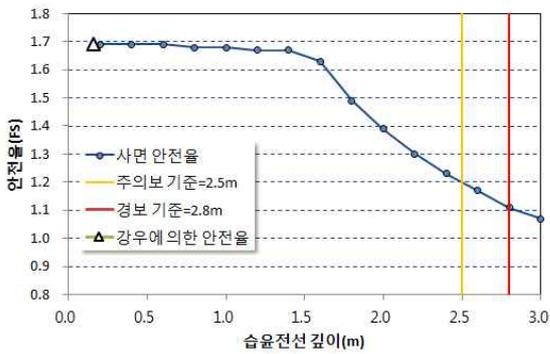
대화지구(PHL) 산사태 지점에 대하여 운영기간 중 발생한 주요 강우사상에 대하여 산사태를 해석한 결과는 다음 그림과 같다. ST160701 강우사상에 대하여 습윤전선이 진행하면서 초기 안전율 1.69에서 안전율이 감소하지만 주의보 및 경보기준에는 미치지 못하는 것으로 나타났다(그림에서 △ 위치까지 안전율 감소). 또한 ST160704 강우사상에 대해서는 이전 보다 안전율의 감소가 크지만 마찬가지로 예보시스템 상의 주의보 및 경보기준에 도달하지 못하였다. ST160816 강우사상은 안전율의 변화는 매우 미미하였다. 결론적으로 본 연구에서 구축한 돌발재해 예·경보 시스템의 운영기간 중에서는 산사태에 대한 예보상황을 발생하지 않았으며 실제 운영 중 산사태 예보상황 전과 이력은 없었다.



a) ST160701 강우사상



b) ST160704 강우사상

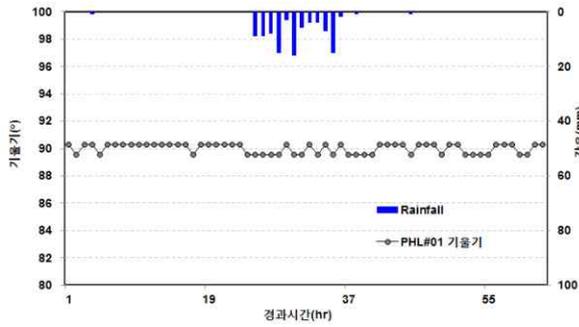


c) ST160816 강우사상

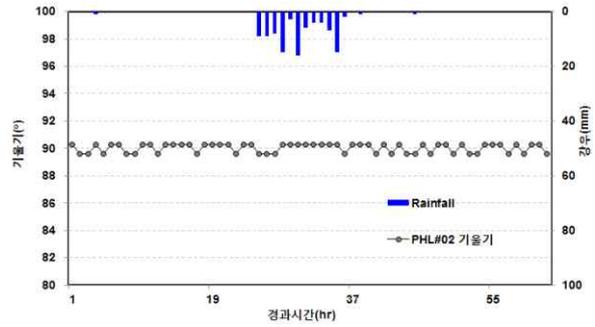
그림 3-4-35 | 대화지구 강우사상에 대한 산사태 해석 결과

(2) 강우사상에 의한 돌발 산사태 경보시스템 운영결과

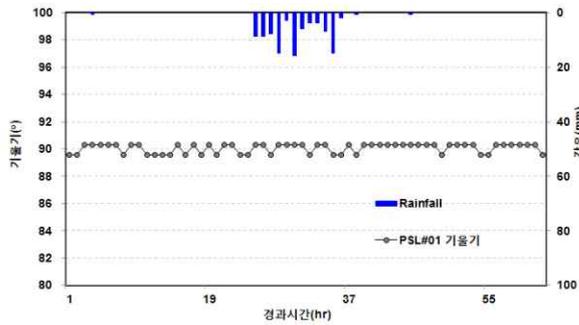
신리지구(PSL)의 산사태 지점에 대하여 운영기간 중 발생한 주요 강우사상에 대한 기울기 센서의 계측결과는 다음 그림과 같다. 2016년 시스템 시범운영 기간 중 강우에 의한 사면의 변위는 발생하지 않은 것으로 나타났다. 기울기의 값이 약 1°내에서 발생하고 있으나 센서의 측정오차범위로 판단된다. 강우사상에 의한 예보에서와 마찬가지로 시스템 운영기간 중 기울기 센서에 의한 경보발령 상황은 발생하지 않았다.



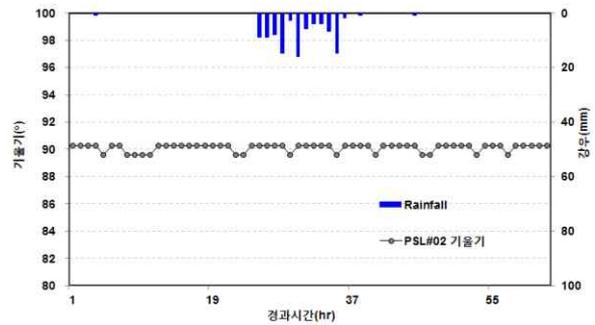
a) 신리지구 PHL#01



b) 신리지구 PHL#02

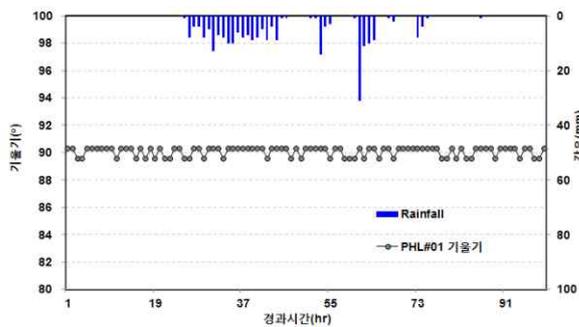


c) 대화지구 PSL#01

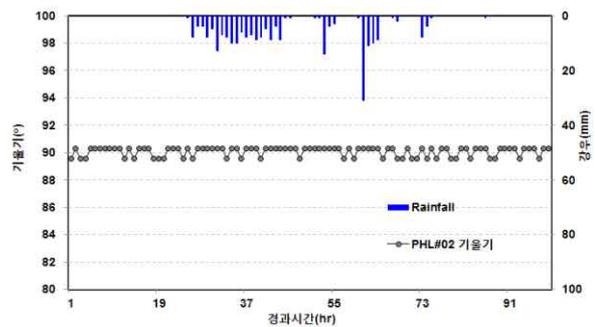


d) 대화지구 PSL#02

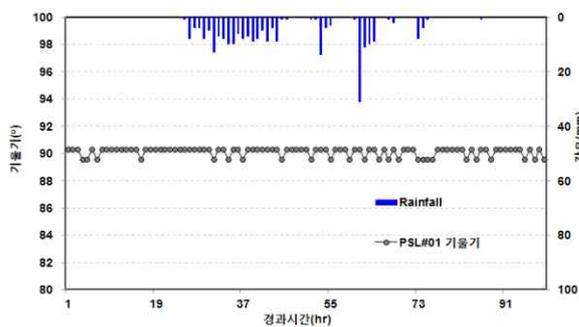
그림 3-4-36 | ST160701 강우사상의 지점별 기온기 계측결과



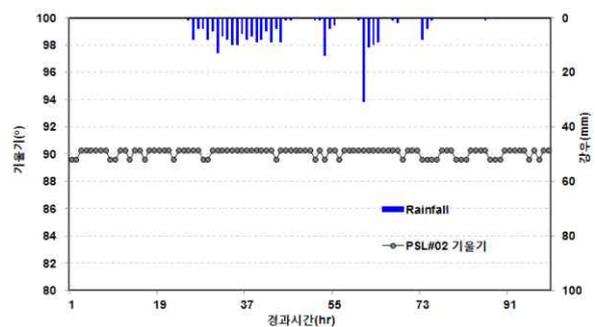
a) 신리지구 PHL#01



b) 신리지구 PHL#02

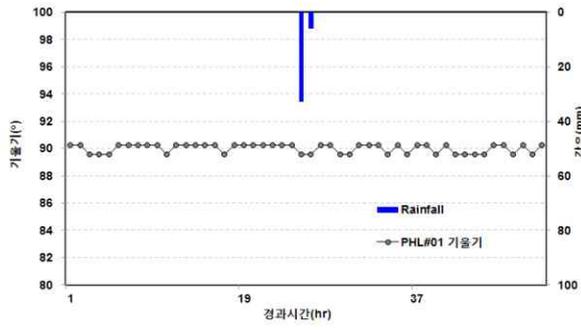


c) 대화지구 PSL#01

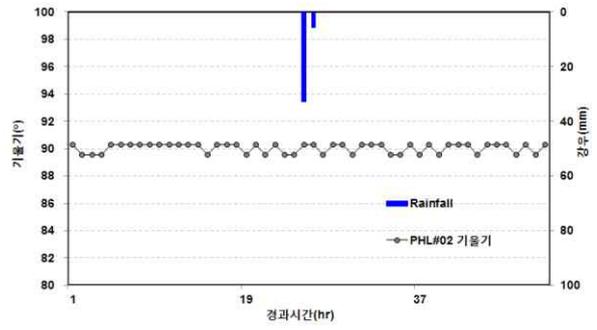


d) 대화지구 PSL#02

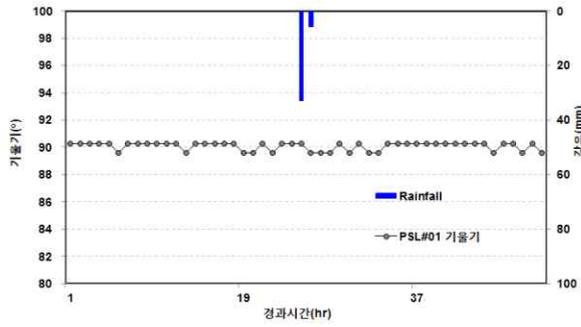
그림 3-4-37 | ST160704 강우사상의 지점별 기온기 계측결과



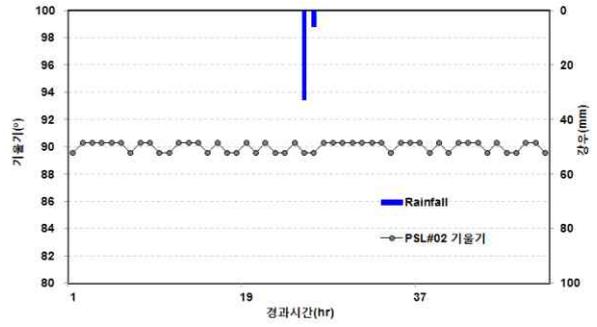
a) 신리지구 PHL#01



b) 신리지구 PHL#02



c) 대화지구 PSL#01



d) 대화지구 PSL#02

그림 3-4-38 | ST160816 강우사상의 지점별 기온기 계측결과

## 제5절 돌발재해 예·경보시스템 활용 지역방재 전략 제시

재해에 강한 도시, 마을을 만들기 위한 노력이 1990년대에 들어서면서 본격적으로 세계 각 지역에서 이루어지고 있다. 사회, 경제적 기반이 성숙단계에 들어선 국가에서는 매년 반복적으로 발생하는 재해를 극복하기 위한 노력들이 정책적으로 전개되어 왔다. 일본에서는 1995년 1월 고베지역에서 발생한 한신아와지 대지진을 계기로 지역 단위의 방재가 정책의 핵심으로 부각되었다. 이는 대규모 재해시에 국가에 의해 제공 받는 방재서비스가 그 역할을 제대로 수행을 못한다는 교훈으로부터 국가방재에서 자율방재로 정책의 방향을 전환하였다.

유엔지역개발센터(UNCRD : United Nations Centre for Regional Development)에서도 2002년부터 CBDM(Community Based Disaster Management)에서 방재를 키워드로 하여 개발도상국을 중심으로 지역주민 방재역량을 키우는데 역점을 두고 있다. 지역을 단위로 하는 방재는 기존의 방재가 재해를 유발시키는 발생요인에 중점을 두고 있는데 반하여 재해를 유발시키는 요인이 지역에 어떠한 영향을 주며 어떻게 이를 극복하여야 하는지에 중점을 두고 있다. 하나의 자연현상이 어디에서 발생하는가에 따라 재해인지 일반적인 자연현상인지를 구별하는 재해분류의 기본적인 정의와도 부합한다고 할 수 있다. 즉, 재해에 강한 지역을 만드는 것은 재해로 발전할 수 있는 자연현상에 대하여 재해로 발전시키는 인자를 제거하는 것, 즉, 지역이 가지고 있는 재해에 대한 취약성을 해소하는 것으로 간단히 정리할 수 있다(소방방재청, 2008).

우리나라는 해외 국가에 비하여 유사유형의 재해가 유사지역에서 반복적으로 발생하는 국가라고 할 수 있다. 또한 국가단위의 재해대책이 복구 중심으로 되어 있으며, 예산 또한 예비비를 통하여 복구비가 집행되는 것과 같이 예방관련 예산 수립도 쉽지 않은 현실이다. 최근 들어 예방 중심의 방재정책을 기초로 하고 있지만, 예산부처, 지방자치단체 등에서 정책적 우선순위에 밀려 예방중심의 방재정책을 집행해 나아가는데 많은 어려움이 있는 것이 현실이다(소방방재청, 2008).

현재 지역을 단위로 하여 재해위험지구를 운영하고 있으나 이는 재해발생이력을 통하여 재해발생인자를 중심으로 운영되고 있어, 지역주민의 의견과는 그다지 밀접한 관계가 있다고 할 수 없는 상황이다. 지역의 안전을 확보하기 위해서는 무엇보다도 그 지역의 주민들이 주체가 되어 스스로 지역에 대한 위험을 자각할 필요가 있으며, 이를 통하여 스스로 만들어 가는 과정이 필요할 것이다. 국가의 방재서비스 또한 재해발생요인에 초점을 맞추는 것이 아니라 지역주민들이 스스로 재해발생요인을 발견하고 이를 해결하기 위한 노력을 지원하는 방향으로 정책을 전환할 필요가 있다(백민호 등 2010). 특히, 농촌 및 산촌지역의 경우 재해에 노출된 지역이 굉장히 넓고 공공부문에 의한 방재 노력만으로 필요한 모든 부분에 걸쳐 섬세하게 대처하고 지역 주민들의 안전에 대한 욕구수준을 충족시키는 데에는 한계가 있다.

한편, 최근 국민안전처에서는 기존에 시행하고 있던 안심마을과 방재우수마을 사업을 통합하여 2015년부터 “안전마을 만들기 사업”을 추진하고 있으며, 시도별로 대상마

을 1-2개소를 선정하여 최종적으로 사업대상지역을 공모형식을 시행하고 있다.

그러므로, 본 장에서는 농산촌지역에 적합한 돌발재해 대응정책을 수립하기 위하여 지역주민 주도형 방재체제에 관한 국내외 주요 사례 및 현황을 바탕으로 재해유형별 대응 방안, 농촌지역 주민주도형 돌발재해 예방 콘텐츠 및 홍보방안을 검토하고 본 연구에서 개발된 돌발재해 예·경보시스템을 활용한 주민참여형 방재 전략을 검토·제시하고자 한다.

## 1. 예·경보시스템 활용 주민 참여형 전략 제시

우리나라의 경우 계획단계에서 방재개념이 적용되지 않은 지역이 많으며 사후피해 복구에 치중하여 체계적인 방재대책 수립이 미흡하다. 자연재해위험지구 정비 사업은 타 부처 유관사업과의 연계성 없이 독립적으로 추진되고 있으며, 국비지원에 의존하는 등 수동적 예방사업 추진으로 인하여 재해예방효과가 저감되고 있는 실정이다. 또한, 수해위험교량, 급경사지, 소규모시설 등 재해에 취약한 지방관리시설이 산재해 있으나, 지방재정의 열악으로 예방투자가 적기 이루어지지 못하여 재난관리의 사각지대로 방치되고 있다.

소방방재청에서는 지역방재개념을 도입, 타 부처 사업 및 지방관리 재해취약시설 등을 패키지화하고, 주민참여 유도를 통해 지역자율 방재의식을 고취시킬 수 있는 『방재마을 조성사업』을 2009년부터 도입하여 왔다. 방재마을은 지역방재 개념을 도입하여, 도시와 마을 단위에서 지자체와 주민들이 함께 참여하여 지역 자율 방재의식을 고취시키는 것으로, 방재도시계획과 주민참여를 결합한 개념이다(백민호 등, 2010).

방재도시계획이 구조적계획을 중심으로 한 개념이라면, 주민참여는 비구조적 계획을 중심으로 한 개념으로 일반적인 주민참여와는 달리 방재분야의 주민참여는 지역의 방재력을 향상 시킨다는 점에서 도시계획분야의 주민참여와는 그 의미가 다르다고 할 수 있다. 본 절에서는 주민 참여형 방재정책의 국내외 사례 분석을 통해 본 연구에서 개발한 돌발재해 조기 예·경보시스템을 활용한 재해 대응 전략의 시사점을 도출하고자 한다.

### 가. 국내 사례

#### (1) 방재마을 만들기 사업<sup>1)</sup>

소방방재청이 주관하는 방재마을 시범사업은 지역방재 개념을 도입하여, 도시(시·군·구)와 마을(읍·면·동 및 통·리) 단위에서 지자체와 주민들이 함께 참여하는 방재마을 만들기 사업유형으로 재해예방 건강마을, 방재문화 활력마을, 방재기반 우수마을 등을 제시하고 있다. 방재마을 만들기 시범사업 대상지는 지정학적 위치에 따라 산악지형이 70% 이상은 산악형, 해안에 접하는 일반지역은 해안형, 해안에 접하지 않은 지역으로 광역시·일반시·읍의 인구밀집지역은 도시형, 해안에 접하지 않은 지역으로 도시형 이외의 지역은 농촌형, 그리고 도시·농촌·산간·해안형이 2개 이상 복합적으로 위치한 지

1) 백민호 등(2010), 소방방재청(2008), 권건주 등(2009) 에서 요약 정리

역은 복합형으로 유형화하고 있다.

방재마을 만들기 시범사업의 유형은 아래의 그림과 같이 대상단위, 대상지역, 재해유형별로 구분하여 구조적 사업(하드웨어적 사업)과 비구조적 사업(소프트웨어적 사업)으로 나누어진다. 구조적 사업의 콘텐츠는 유역 방재 콘텐츠, 사방댐 구축 콘텐츠, 정보화체계 구축 콘텐츠, 통수량 억제 콘텐츠, 풍수해 예방 콘텐츠, 지진피해 경감 콘텐츠, 침수피해 예방 콘텐츠 등이, 비구조적 사업의 콘텐츠는 재해예방을 위한 주민·기업·단체 자구노력, 풍수해 예방 활동, 지진피해 경감활동, 침수피해 예방활동 등이 해당된다.

2008년 8월 재해위험지구가 있는 253개 지방자치단체의 사업계획 중 주민 스스로가 자연재해를 극복하고자 하는 의지가 강한 16개 후보지구를 선정하여 민간전문가와 합동으로 평가하여 방재시범마을을 선정하고 사업을 진행하여 왔다. 그러나, 아직까지 우리나라는 지역방재력 향상을 위한 방재만들기 사업을 제도적으로 뒷받침하는 지원책이 부족한 것이 현실이다. 권건주 등(2009)은 방재마을 만들기 활성화 방안을 법률적 측면, 행정계획적 측면, 조직적 측면으로 구분하여 제시하고 있다. 법률적 측면으로는 방재마을 만들기 관련 법률로 자연재해대책법의 일부개정과 지자체단위에서 시행할 수 있는 조례제정을 제시하였으며, 행정계획적 측면에서의 활성화 방안으로는 사업계획 수립시 주민참여 확대, 비구조적 재해예방계획 확대 등을 제시하였다. 조직적 측면에서는 지역방재 리더를 선발하고 적극 육성하는 방안, 지역방재 거버넌스체계 활성화 방안을 제시하였다.

표 3-5-1 | 방재마을 만들기 사업유형 및 내용

<p>개념</p>		
<p>사업 유형</p>	<p>구조적</p>	<p>- 시설적 대책에 관한 사업</p>
	<p>비구조적</p>	<p>- 조직구조의 개선 사업</p>
<p>대상 지역</p>	<p>산악형</p>	<p>- 산악지형이 70% 이상</p>
	<p>해안형</p>	<p>- 해안에 접하는 일반지역</p>
	<p>도시형</p>	<p>- 광역시, 일반시, 읍의 인구밀집지역 - 해안에 면하지 않은 지역</p>
	<p>농촌형</p>	<p>- 해안에 면하지 않은 지역으로 그 밖의 지역</p>
	<p>복합형</p>	<p>- 도시, 농촌, 산간, 해안형의 내용이 2개 이상 복합적으로 위치한 지역</p>
<p>재해 유형</p>	<p>태풍</p>	<p>- 각종 재해에 대한 주민 홍보 및 교육</p>
	<p>호우</p>	<p>- 체계적인 예·경보 시스템 구축</p>
	<p>산사태</p>	<p>- 라이프라인의 방재성 확보</p>
	<p>대설</p>	<p>- 방재를 위한 교육 및 훈련</p>
	<p>지진</p>	<p>- 도시의 방재구조화(구획화)</p>
	<p>해일 (쓰나미)</p>	<p>- 재해 발생시 위험한 구역에 대한 조치 - 일반건축물의 안전성에 대한 지도 - 문화재의 재해예방조치 - 방재영농체제의 확립 - 도로재해 예방 - 특별방재구역 등의 재해 예방 - 피해정보의 수집·장치 등의 정비 - 타 기관과의 상호지원 등</p>

(2)

(3) 안전마을 만들기 사업<sup>2)</sup>

최근 국민안전처에서는 기후변화 등으로 국지성 집중호우, 가뭄 등 재난이 다양화되고 주민생활 거주지에서 피해가 증가하고 있는 상황에서 국가가 구축한 재난관리체계 하에서 지자체의 안전시설 개선과 주민의 자발적 참여를 통한 안전마을 만들기 사업을 추진하고 있다. 본 사업은 사업 목적이 비슷한 안심마을과 방재우수마을 사업을 통합추진하는 것으로 개인·가족이 생활하는 마을 안전이 국가안전으로 발전되도록 주민의 안전한 삶 확보를 위한 국민운동으로 전개하고자 하는 목적을 지니고 있다. 주민공동체, 지자체, 행정기관이 참여하는 마을단위 협업사업으로 추진하고, 사업대상지는 마을단위 공모를 통해 재난과 생활안전이 취약하면서 예방활동이 우수한 마을을 사업대상지로 선정하며, 민간전문가 컨설팅단을 참여시켜 자문 등 효율성을 제고하고 있는 사업이다. 구체적인 사업내용 및 추진방법은 다음과 같다.

표 3-5-2 | 안전마을 만들기 사업 사업내용 및 추진방법

구분	내 용
주요 사업내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재난안전(풍수해, 가뭄 등)과 생활안전분야(범죄, 교통안전 등)로 구분</li> <li>·(안전활동)주민공동체 주도 위험지역 예찰, 안전교육·훈련 등의 활동 전개</li> <li>·(안전인프라) 재난안전과 생활안전이 확보되도록 위험요인 정비</li> </ul>
사업 흐름도	<pre> graph LR     A[사업 공모(공고) (시·도)] --&gt; B[사업계획 수립 및 응모 (주민공동체+시·군·구)]     B --&gt; C[사업계획 1차심사 중앙제출 (시·도)]     C --&gt; D[중앙평가 (서면 및 현장심사) (중앙)]     D --&gt; E[안전마을 사업대상 선정 (중앙)]     E --&gt; F[안전마을 만들기 사업추진 (주민공동체+시·군·구)]     F --&gt; G[성과평가 및 정산]     </pre>

## 나. 국외 사례

### (1) 일본

일본에서는 마을만들기(まちづくり) 차원의 방재 및 안전 관련사업이 존재하고 있다. 안전 및 방재를 목적으로 하는 다양한 형태의 마을만들기(まちづくり)가 지자체들에서 운영되고 있는데, ‘방재마을만들기’는 주로 지진과 그에 따른 화재를, ‘수해에 안전한 마을만들기’는 풍수해를, ‘안전·안심 마을만들기’는 주로 방범과 생활안전을 대상으로 시행하고 있는 상황이다. ‘수해에 강한 마을만들기’ 사업의 경우 H/W 대책(구조적 대책)과 S/W 대책(비구조적 대책)으로 구분하여 시행 되고 있다.

2) 신상영(2013), 국민안전처(2015)에서 요약 정리



그림 3-5-1 | 수해에 강한 마을만들기의 일반적인 대책(일본)

또한, 재해예방을 위한 다양한 주민조직이 구성되어 있다. 가장 대표적인 조직으로 재난대응 민간자원봉사자 네트워크(NVNAD : Nippon Volunteer Network Avtive in Disaster)가 1996년 구축되어 활동하고 있으며, 민간자원봉사자 네트워크는 재난 시에 활동하는 다양한 자원봉사기관을 조정하는 최초의 비영리 비정부조직으로 지자체와 자원봉사 단체간의 네트워크가 구축되어 있다.

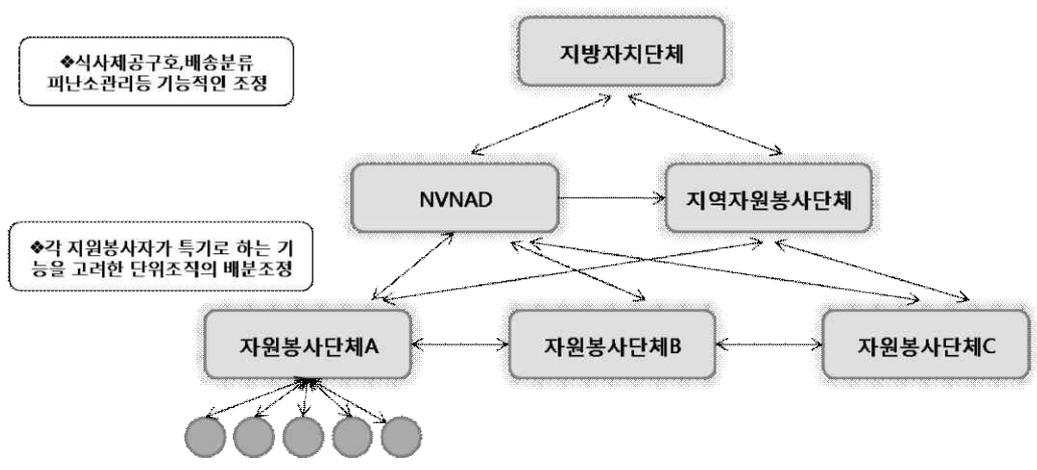


그림 3-5-2 | 일본의 지자체와 자원봉사 단체 간의 네트워크 구축

(2) 미국

미국은 1988년 재난구호 및 지원법(Safford Disaster Relief and Emergency Assistance Act)의 제정으로 단계별 재난관리체계(예방 및 경감,대비,대응 및 복구)와 통합적인 재난관리를 할 수 있는 법체계를 마련하게 되었다. 또한 2000년 재해경감법의 제정으로 재해발생 전과 후로 구분하여 재해의 피해를 줄일 수 있는 재해경감계획을 수립하도록 하고 있으며,이 계획을 수립한 지역에서는 연방정부로부터 재난복구기금을 지원받을 수 있도록 명시하고 있다(김명호,2007).

한편, Donald Geis가 처음으로 소개한 후, CUSEC(CUSEC : Central U.S. Earthquake Consortium), 미 연방 재난관리청(FEMA : Federal Emergency

Management Agency )등에서 도입, 사용하고 있는 재난저지공동체(DRC : Disaster Resilient Community)개념은 지역사회의 경제적, 환경적, 사회적 지속가능성을 담보하면서 주민의 삶의 질(Quality of Life)을 유지 하는 방재측면에서의 장기적, 전략적 지역사회 접근으로 이해한다. 그러면 지방정부가 지역사회를 기반으로 공공과 민간의 협력 관계를 통해 사전에 재난발생을 줄일 수 있도록 활동하는 것이 핵심 내용으로 아래 그림과 같이 미 연방 재난관리청과 협의하여 재난복구계획을 시행하고 있다.

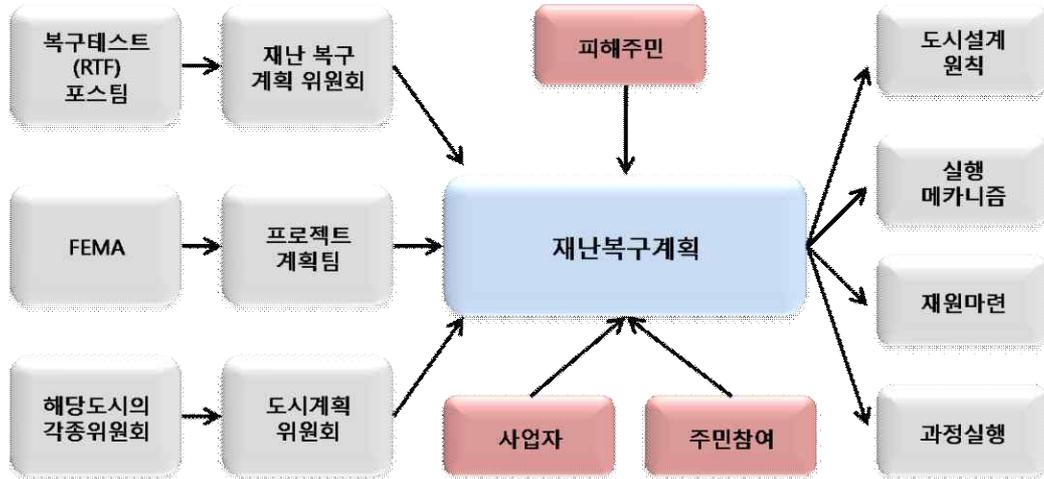


그림 3-5-3 | 미 연방 재난관리청의 재난 저지공동체를 위한 재난 복구계획 모델 예시

**다. 조기 예·경보시스템 활용 주민 참여형 돌발재해 예방전략 제시**

이상의 국내외 지역주민 참여형 방재전략 사례를 바탕으로 도출된 안전마을 만들기 구축에 필요한 시사점을 도출하면 다음과 같이 정리할 수 있을 것이다.

표 3-5-3 | 지역주민 참여형 방재전략(백민호 등(2010), 신상영(2013) 등에서 재구성)

구분	내용
주민 참여형 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 행정기관 위주보다는 지역주민위주로 사업을 추진하고 행정은 주민들의 방재역량을 강화하기 위한 지원을 주목적으로 추진</li> <li>- 지역공동체 기반 형성정도를 고려한 주민 참여 방안 모색</li> </ul>
지역방재 거버넌스의 활성화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지방정부, 지역주민, 유관기관 등이 참여하는 지역방재 거버넌스 체계를 구축하고, 방재전문가의 적절한 활용을 통하여 지역사회에서 지역방재력 향상을 위하여 추진할 수 있는 재해예방활동을 주민들이 직접 참여하도록 재 해예방프로그램을 개발하거나 주민들이 자발적으로 참여하도록 동기부여를 함</li> <li>- 기존의 주민조직 및 사회단체의 중복 배제 및 운영 내실화 필요</li> </ul>
비구조적 재해예방 확충	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대부분의 방재마을 시범사업의 경우 구조적 재해예방활동에 투입되는 사업비가 비구조적 재해예방활동에 투입되는 사업비에 비하여 절대적으로 많은 것으로 나타남.</li> <li>- 지역 재해 특성에 적합한 비구조적 재해예방 확충 필요</li> <li>- 지역방재력을 확보하기 위하여 구조적인 대책도 중요하지만 지역주민들이 자발적으로 참여할 수 있도록 각종 방재훈련이나 방재지도 만들기 등 소프트웨어적 사업비의 증가 필요</li> </ul>
사전컨설팅 제도 및 단계별 평가 시스템 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>- “방재마을 만들기”사업을 전국 지방자치단체로 확대하기 위해서는 방재마을 만들기 사업 신청부터 사업추진까지 단계별 사업계획에 대한 방재전문가의 컨설팅과 사업진행에 대한 평가지침을 마련하여 각 단계별 성과평가를 실시</li> </ul>

특히, 본 연구에서 개발된 조기경보시스템을 이용할 경우 국민안전처에서 시행하고 있는 안전마을 만들기 사업의 핵심요소로 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 공모사업 추진시 필수적으로 제출되고 있는 마을안전지도(표 3-5-4)가 작성될 경우 지리정보시스템을 활용하여 본 예·경보시스템에 적용이 가능하므로 보다 효율적인 재해 대응 정책으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이상의 결과를 바탕으로 조기경보시스템을 활용한 안전마을 만들기 전략을 제시하면 다음과 같다.

- 우선, 넓은 지역에 산개되어 있는 농촌지역 돌발재해 안전지도를 주민참여와 함께 제작하여야 하며 해당 안전지도를 활용하여 돌발재해 감지 센서-네트워크를 구성하여 안전마을 만들기 사업에 활용하여야 할 것이다. 특히, 돌발홍수 및 산사태의 경우 짧은 시간에 인명피해 및 재산 피해를 야기할 수 있기 때문에 이에 대한 경계와 대피 기술 및 조기감시체계를 구축함으로써 대상지역 주민에게 빠르고 직접적으로 위험을 경고함으로써 효율적인 재난 예방이 가능할 것으로 기대한다.

- 재해 유형별 맞춤형 돌발재해 예·경보시스템의 개발이 필요하다. 본 연구과제에서는 돌발홍수 및 산사태를 중심으로 강우예측자료와 센서-네트워크 기술을 활용하여 조기 예·경보시스템을 구축한 바 농촌지역에서 많은 피해가 발생하고 있는 폭설, 강풍, 서리 등 주요 재해에 대한 추가적인 예·경보시스템의 개발이 이루어진다면 보다 효율적인 방재대책 수립이 가능할 것이다.
- 재해 발생시 조기 예·경보시스템을 충분히 활용할 수 있도록 지역방재 거버넌스의 구축과 상황전파 체제 구축이 필요하다. 실제 재해가 예보되더라도 재해정보가 지역주민에게 원활히 전파되지 않을 시에는 재해 대피가 어렵게 된다. 즉, 조기 예·경보시스템의 구축도 중요하지만 후속적인 S/W 대책이 필수적이라 할 수 있을 것이다.
- 지역맞춤형 돌발재해 예·경보시스템의 보급이 필요하다. 도시를 중심으로 하는 재난대피 및 경보체계는 농산어촌 및 특수지역에 적용하기 부족한 반면, 대부분의 돌발재해로 인한 피해는 농산어촌에 집중되어 발생하고 있다. 따라서 농산어촌의 지형적 및 구조적인 특성을 고려한 돌발재해 예경보 체계를 구축하는 것이 중요하다. 이를 통하여 농산촌에 대한 이해관계 및 노하우를 바탕으로 상대적으로 기반시설이 취약한 농산촌의 안전격차해소와 재난안전 능력을 향상시켜야 한다.
- 재해발생에 따른 과학적인 안전 대피체계를 구축하여야 한다. 자연재해에 대한 위험성 평가를 바탕으로 정량적, 정성적인 피해에 대한 시나리오에 따른 안전한 대피경로를 설정하고, 해당지역의 주민들에게 재해발생을 신속하게 전달할 수 있도록 다양한 매체를 사용하여 신속한 재해 경보체계를 구축하여야 한다.
- 재해발생 시 지역맞춤형 대응 전략 매뉴얼 개발이 필요하다. 정부가 제시하고 있는 재해 시 대피 방안을 포함한 재해 대응 매뉴얼의 경우 일반적인 내용을 포함하고 있어 지역 주민에게 공감대를 얻기 힘든 측면이 있다. 2015년 서울 양천구청에서는 이에 착안하여 지역 특화형 안전 매뉴얼을 작성하여 배포하고 있는 등 해당 지역의 특수성에 입각한 매뉴얼 개발이 필요하다. 예를 들어 농산어촌의 경우 도시와는 다르게 응급환자를 위한 병원이나 긴급구조와 관련된 인적·물적 자원이 부족한 것이 일반적이다. 따라서 재해발생 시 긴급구조가 가능하도록 연락망, 응급구조시설 설치, 긴급구조자원의 조달 및 지원 등이 신속하게 이루어질 수 있도록 보고체계 및 담당부서를 명확하고 단순하게 정리하며, 체계적이고 효율적으로 운영될 수 있도록 대응전략 매뉴얼을 구축하여야 한다.

**다음 절차에 따라 안전 마을지도 만들기를 시행한 후 결과를 첨부하여 주십시오.**

1. 참여자의 모집(최소 10명 이상)과 마을 안전지도 작성목적에 대한 합의
  - ✓ 참여자의 조건 : 마을에 대해 구석구석 잘 알고 있다고 생각하는 사람
  - ✓ 마을안전지도의 작성 목적 : 1) 마을주민들의 자연재난, 생활안전, 범죄 및 기타 위험요인으로부터의 안전을 높이기 위하여, 2) 마을내 각종 시설물과 생활환경에 대한 위험요인, 취약성 및 취약지점, 취약계층, 안전시설 및 피난처 등의 안전요인 등을 파악하고, 3) 마을주민들간 공유를 통해 마을공동체의 안전도를 개선 하고자 함
  - ✓ 여기서 마을안전은 상기 사업계획서의 안전마을 응모동기 및 목표, 마을의 미래상 등과 관계가 있어야 함
  - ✓ 마을의 특성에 따라 안전목표 분야가 여러 개가 있을 수 있으며(예: 어린이안전 및 식품 안전), 이 때 분야별로 안전지도를 작성하여 첨부하는 것도 가능
2. 마을지도의 구비 : 네이버나 구글 등 포털사이트 지도의 확대출력(최소 2매 이상)
  - ✓ 각 건물과 골목길이 잘 보일 수 있도록 표시된 정도의 자세한 지도가 필요하며, 이러한 지도를 쉽게 구할 수 없는 경우 시·군·구청의 협조를 구함
3. 참여자의 토의를 통한 위험요인 및 안전시설에 대한 사전 평가
  - ✓ 지도 상에 위험요인은 붉은 점으로, 안전시설은 파란 점으로 표시
  - ✓ 각각의 점에 번호를 부여하여, 별도의 용지에 해당 위험요인과 안전시설의 구체적인 내용을 기입
4. 참여자들의 현장답사를 통한 위험요인 및 안전시설에 대한 검증
  - ✓ 현장을 방문하면 사전 평가의 결과와 상이하게 느껴질 수 있음
  - ✓ 현장방문 및 검증결과를 통해 마을 안전지도 초안작성 완료
5. 완성된 초안을 바탕으로 마을주민 공청회를 실시하여 지도를 완성
  - ✓ 초안의 각종 위험요인과 안전시설에 대한 의견수렴 및 기타 지도에 표시되지 않은 위험요인 및 안전시설에 대한 파악 등
6. 완성된 최종안을 바탕으로, 마을의 안전도를 개선시키기 위한 안전 시범마을 조성사업의 구체적인 사업내용을 발굴하여 이를 토대로 사업계획서를 작성
  - ✓ 필요시 별도의 주민자치 모임이나 회의를 활용하여 주민의견을 최대한 수렴

[참고] 마을 안전지도의 샘플

지난 2013년 5월 29일 울산북구청과 커뮤니티매핑센터(공동대표 임완수, 서정주. 홈페이지는 <https://www.facebook.com/communitymappingcenter> 참조)의 어린이안전 커뮤니티매핑 워크숍 샘플지도 (<http://www.mapplerk.com/ucsafe/>)입니다. 자료제공에 흔쾌히 협조해주신 커뮤니티매핑센터에게 감사드립니다. 상기 웹사이트의 지도에서 각각의 위험요인(붉은색 점)과 안전시설(초록색 점)을 클릭하시면 세부적인 위험요인이 제시되어 있습니다.



## 2. 주민참여 콘텐츠 구축 및 홍보방안 제시

우리나라는 해외 다른 국가에 비하여 유사유형의 재해가 유사지역에서 반복적으로 발생하는 국가라고 할 수 있다. 또한 국가단위의 재해대책이 아직까지는 복구 중심으로 되어 있으며, 예산 또한 예비비를 통하여 복구비가 집행되는 것과 같이 예방관련 예산 수립도 쉽지 않은 현실이다. 지금까지 방재예산의 집행을 보면, 재해를 유발시킬 수 있는 인자에 대한 보강, 감시 등 구조적 대책 위주로 많은 예산이 집중되어 왔으나, 재해를 유발시키는 인자의 수가 많기 때문에 이를 모두 해소할 수 없으며, 예산 투입대비 효과와 관련하여 고려하여 본다면 재해 유발 인자에 대한 예산 투입에도 한계에 봉착할 수 있는 가능성이 높다. 투입대비 효과를 높이기 위해서는 재해유발인자와 지역과의 연계를 통하여 피해를 감소시킬 수 있는 방안이 우선시 되어야 하며, 이를 위해서는 지역자체를 재해에 강한 구조로 전환시키는 것이 무엇보다도 필요하다. 본 절에서는 농촌지역의 특수성을 고려한 다양한 주민참여 콘텐츠 및 홍보방안을 검토하고자 한다.

### 가. 주민참여 콘텐츠 구축방안

현재 진행 중인 자연재해위험지구 정비 사업은 타 부처 유관사업과의 연계성 없이 독립적으로 추진되고 있으며, 국비지원에 의존하는 등 수동적 예방사업 추진으로 인하여 재해예방효과가 저감되고 있는 실정이다. 또한, 농촌지역의 경우 수해위험교량, 급경사지, 소규모시설 등 재해에 취약한 시설이 산재해 있으나, 지방재정 열악으로 예방투자가 적기 이루어지지 못하여 재난관리의 사각지대로 방치되고 있다. 즉, 앞서 제시한 대로 지역방재개념을 도입, 타 부처 사업 및 지방관리 재해취약시설 등을 패키지화하고, 주민참여 유도를 통해 지역자율 방재의식을 고취시킬 수 있는 주민참여 콘텐츠를 개발할 필요가 있다. 또한 아이디어 기획에서부터 사업 실행 후 운영 및 관리에 이르기까지 전 과정에 걸쳐서 주민이 적극적으로 참여해야만 재해 예방사업의 효율적인 성과를 얻을 수 있을 것이다.

지역주민 참여에 따른 재해예방 사업의 효과 사례를 들어보면, 2014년 11월 22일 규모 6.7의 강진이 발생했던 일본 나가노현 하쿠바촌에서 주민들의 끈끈한 연대에 힘입어 사망자 없이 전원 구조된 경우를 볼 수 있다. 해당지역의 경우 사고 후 신속한 대응이 가능토록 한 '주민 네트워크 시스템'과 2011년 동일본대지진 등을 겪으면서 어느 집에 몇 명이 살고 있고, 혼자 사는 노인이 어디 있는가를 상세히 담은 '마을 지도'가 재해 대응에 핵심적인 역할을 수행하였다. 즉, 공공부문에서 담보할 수 없는 지역주민 참여형 비구조적 대책이 재해예방에 효율적임을 확인할 수 있다.

신상영(2013)의 연구에 따르면 지역공동체 기반 형성정도에 따라 소극적 참여에서 적극적 참여 등 단계별 프로그램 개발이 필요하다고 제시하였으며 지역공동체 기반이 미약한 지역에서는 소극적 주민참여형태로 안전마을 만들기 여건조성 및 사업발굴을 중심으로 전개하고 기반이 갖 형성된 지역에서는 민관파트너십을 중심으로 하고 공공부문은 촉진자·지원자 역할을 수행하는 것이 적절하다고 제시하였다. 기반이 활발한

지역의 경우에는 다양하고 종합적인 사업 및 프로그램을 본격적으로 전개하는 것을 제시하고 있으며, 해당 내용을 정리하면 다음 표와 같다.

표 3-5-5 | 지역동동체 기반 형성정도에 따른 안전마을 만들기 주민참여방안

구분	1단계	2단계	3단계
지역공동체 기반	지역공동체 기반이 미약한 경우	지역공동체 기반이 형성된 경우	지역공동체 활동이 활발한 경우
주민참여 형태	여건조성 및 사업 발굴(인큐베이팅)	민관파트너십, 공공부문의 적극적인 역할	주민 중심의 자율적 참여
주요 활동	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 주민모임 활성화</li> <li>✓ 안전교육 및 홍보</li> <li>✓ 지역안전리더 발굴·육성</li> <li>✓ 안전위해요인 조사 및 발굴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 성공사례 공유 및 지역 내 다양한 주체 간 협력</li> <li>✓ 비용이 적게 들거나 사업 추진이 비교적 용이한 소규모 핵심 사업 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 안전관련 다양하고 종합적인 사업의 추진 및 전개</li> <li>✓ 안전 이외의 지역이슈들과 결합하여 사업 추진</li> <li>✓ 보다 광범위한 협력 네트워크 구축</li> </ul>

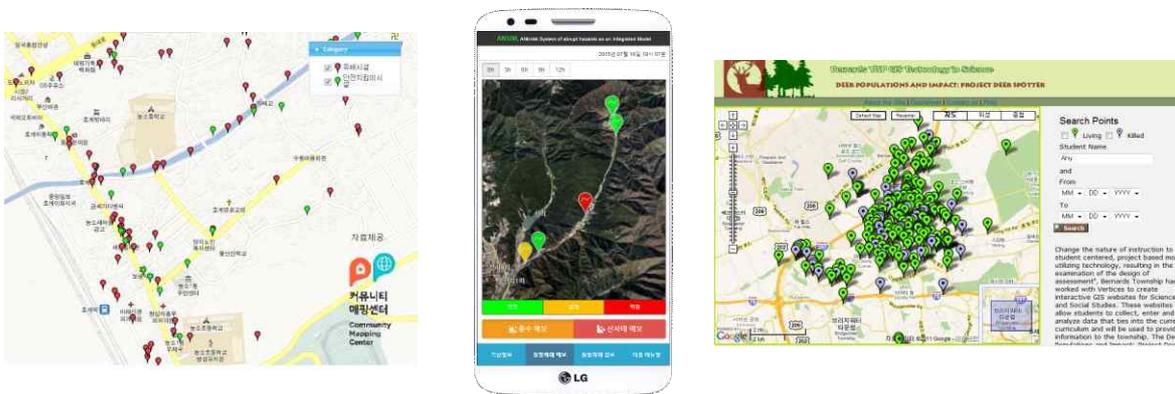
또한, 안전마을 만들기 사업영역과 대상에 따른 주민참여방식의 차별화가 필요하며, 특히 비구조적 예방사업의 경우 지역주민 중심으로 전개되어야 할 것이다. 여건조성 및 사업발굴 (인큐베이팅)은 대부분 지역주민이 주된 활동주체가 되고 공공부문은 이를 지원하는 형태가 바람직하며, 지역안전상의 위해요인을 조사·발굴하기 위한 주민의 견조사, 위험지역이나 취약지역을 파악하기 위한 마을 둘러보기, 지역 주민이 직접 작성하는 안전지도 만들기 등이 주요 콘텐츠가 될 수 있을 것이다. 마을안전을 위한 개선프로그램을 본격적으로 운영하는 단계에서는 사업에 따라 다르나, 안전지도·계몽활동이나 감시·순찰활동과 같은 경우에는 지역주민이 주된 활동주체가 되고 공공부문은 이를 지원하는 형태로 추진하여야 할 것이다.

본 연구에서 개발된 센서-네트워크 기반의 조기 예·경보시스템(ANSIM)의 효율적 적용을 위해서도 주민참여가 필수적이라 할 수 있다. ANSIM의 경우 교량, 급경사지, 소규모 시설 등 재해취약지점을 대상으로 하고 있다. 즉, 해당지역 주민의 의견 조사 및 재해취약지점의 위치를 파악하고 이를 지리정보시스템을 활용한다면 효율성 높은 시스템 개발이 가능할 것으로 사료된다.

한편, 농촌지역의 재해예방을 위해서 휴대폰 속에 기지국이나 GPS와 연결되는 칩을 부착해 위치추적 서비스, 공공안전 서비스 등 다양한 위치와 관련된 각종 정보를 제공하는 위치기반서비스(Location Based Service, LBS)에 대한 활용도도 점점 증가하고 있다. 위치기반서비스는 GIS와의 연동이 필수적일 것으로 생각되며, 최근 정보통신기술의 발달과 함께 주민참여의 환경이 조성되고 있고 주민참여가 내포하는 의미 또한

증가하고 있는 실정 하에 주민참여형 GIS(Public Participation GIS, PPGIS) 또는 공공참여형 GIS(Public Participatory GIS, PPGIS)의 개념을 Process 설계단계에서부터 고려할 필요성이 있다고 판단된다.

농촌지역 돌발재해 관련 각종 정보의 경우, 국가에서 기구축한 정보를 일반인 및 농촌지역 주민들에게 일방향으로 제공하는 형태로는 소기의 성과를 획득하는데 한계점을 가질 것으로 예상되며, 체감도에서도 매우 미흡할 것으로 예측된다. PPGIS의 개념을 도입하여 주민들의 능동적인 참여를 통해 실질적인 정보 획득이 가능함을 물론 정보시스템의 활용측면에서 획기적인 개선이 이루어 질 것으로 예상된다.



a) 주민에 의한 안전지도 작성      b) 위험지점 입력      c) PPGIS 활용 위험지구 입력

그림 3-5-4 | 주민참여에 의한 ANSIM 활용방안(예시)

#### 나. 조기에경보시스템 활용 홍보 방안

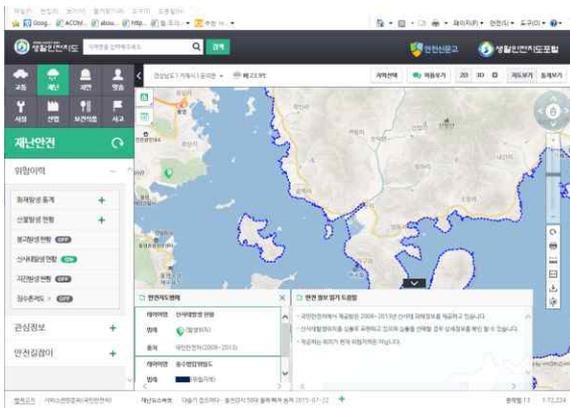
국민안전처 및 국가재난정보센터(National Disaster Information Center)에서는 자연재난 대비 국민행동요령 등을 국민안전방송, 모바일 애플리케이션, 홍보동영상, 인터넷, 홍보만화, 홍보 책자 등 다양한 형태의 홍보방안을 강구하여 활용하고 있다 (그림 3-5-5 참조). 또한, 2014년 국민안전처에서는 생활안전지도의 홍보를 위하여 대국민 아이디어 공모전을 실시하는 등 재난대응에 관한 국민 공감대 형성에 다양한 노력을 경주하고 있다.



a) 모바일 애플리케이션(안전디딤돌)



b) 홍보 동영상



c) 생활안전지도 웹화면



d) 홍보 만화

그림 3-5-5 | 정부 주도 재난대응 홍보방안

영국의 경우, 환경청에서는 지역사회 스스로 홍수에 대처할 수 있도록 개인, 지역사회, 사업체를 위한 홍수매뉴얼(Flood plan guidance) 가이드라인을 제작 배포하고 있으며, 홍수매뉴얼에는 홍수발생 이전, 진행, 복구 시 누가, 언제, 무엇을 할 것인지에 대한 실천 가능한 행동요령을 명시하고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 우리 정부에서는 재난 대응 홍보에 많은 노력을 기울이고 있으나 아직까지 개인에게 무엇을 지원하며, 개인과 지역사회는 무엇을 준비해야 하는지에 대한 다양한 정보와 매뉴얼 제공이 부족한 상태이다. 영국 환경청의 홍수매뉴얼을 살펴보면 홍수발생 시 지역사회 구성원이 고려해야 할 것과 해야 할 일에 대한 실천 가능한 절차를 기술하고 있는데, 지역사회, 개인, 사업체에 다음 표와 같은 가이드라인을 제시하고 있다.

표 3-5-6 | 영국 환경청의 구성원별 홍수 매뉴얼 가이드라인

구분	가이드라인
개인	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 정보 메시지 수신 등록</li> <li>✓ 주요 재난대응 연락처 명기</li> <li>✓ 주요 스위치 위치 명기</li> <li>✓ 도움 가능한 연락처</li> <li>✓ 홍수예상 시 행동 요령(가정, 집밖, 회사, 대피장소 등 위치별 세부사항 명기)</li> </ul>
지역사회	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 지역사회를 위한 가이드라인은 총 9단계로 상황별 필요한 내용으로 구성</li> <li>✓ 홍수위험위치 목록, 위치별 홍수원인 및 특이사항, 위치별 행동사항·필요장비·소요시간, 작업유형별 인원구분, 주요 연락처 및 세부사항, 주요 기관과의 협력사항, 도움 필요한 사람 명단·연락처·위치, 홍수복구에 필요한 주요 연락처 및 위치 등 제시</li> </ul>
사업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 지역사회 가이드라인과 유사하나 세부적인 지도 작성과 보다 많은 장비확보 강조</li> </ul>

이상의 사항을 고려하여 보면 농촌지역 돌발재해 발생시 개인이 준비할 수 있는 일은 개인이 준비할 수 있도록 재해대응 매뉴얼을 제작 배포하는 것이 우선 필요할 것이다. 본 연구에서 개발한 모바일 애플리케이션 기반의 돌발재해 예·경보시스템의 경우 해당 정보를 제공하는 데 용이하며, 또한 위험지점별 특성을 바탕으로 지역주민과 함께 지점별 재해 대비 매뉴얼을 각각 제시할 경우 보다 효율적인 피해예방에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 제6절 요약 및 결론

한반도의 기후변화에 따른 집중 호우, 기록적 폭설 등으로 홍수, 절개지 붕괴, 산사태 등의 발생빈도가 급증하고 있으며, 건당 피해규모가 커짐에 따라 방재대책의 중요성이 나날이 증대되고 있다. 폭풍, 홍수, 해일, 지진, 산사태 등 자연현상으로 생기는 인명피해, 재산손실 및 시설물 피해액을 살펴보면 2003년부터 2011년까지 연평균 인명피해는 68명, 재산피해는 1조 6582억원에 달하고 있으며, 피해의 대부분은 하천, 사방, 도로 등의 공공시설(전체 피해액의 약 72%)과 비닐하우스, 축사 등과 같은 농업시설(약 20%)에 집중되어 있다. 특히, 국지성 집중호우는 돌발홍수 뿐만 아니라 지반의 파괴로 인한 산사태를 발생시키는 등 돌발재해에 대한 대비가 시급한 상황이다. 기후변화에 따른 폭우, 폭설과 같은 기상이변 문제는 비단 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 빈번히 발생하는 현상으로 이에 대해 방재대책과 관련된 다양한 관점에서의 연구들이 진행되고 있다. 일반적으로 재난관리는 예방, 대비, 대응, 복구 등 4단계로 구성되어 있다. 최근 들어서는 기존의 재난 발생 후 복구중심의 재난관리체계에서 재난위험요인을 사전에 예방·대비하는 예방중심의 국가 재난관리정책으로 전환됨에 따라서 돌발재해 예방을 위한 예·경보시스템이 많이 개발되고 있는 상황이다.

최근에 들어서는 USN 기술을 바탕으로 실시간 수문관측자료 및 사면변위 관측자료를 기반으로 돌발재해 예·경보시스템을 구성하여 활용하고 있다(Lee et al., 2010, Kim, 2010). 현재 이용되고 있는 재난대응분야의 USN에 사용되는 통신기술은 Zigbee, CDMA 등으로 넓고 통신환경이 열악한 농촌지역에 적용하기에는 통신거리 및 비용 등의 한계점을 지니고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 농촌지역을 대상으로 강우예측자료를 기반으로 하는 돌발홍수 및 산사태 예측 기법과 USN 기반의 돌발재해 실시간 감지방법을 통합한 농촌지역 돌발재해 통합 예·경보시스템 통합기반기술을 개발함으로써 농업·농촌시설의 “안심”(ANSIM, ANti-risk System of abrupt natural disasters as an Integrated Model) 체계를 구축하는 데 목표를 두었다. 이를 위하여 1) 시군별 돌발재해 위험잠재능 평가, 2) 강우예측 자료의 선정, 3) 돌발홍수 및 산사태 예측 기법의 구성, 4) 농촌지역에 적합한 돌발재해 감지용 USN 개발 및 통신 네트워크 구성, 5) 지역주민 및 방문객을 대상으로 하는 돌발재해 모바일 애플리케이션 기반 예·경보 서비스 체계, 6) 돌발재해 대비 지역주민 참여형 대응전략을 제시하고자 한다.

본 연구에서 구성하고자 하는 농촌지역 적합형 돌발재해 예·경보시스템의 전체 구성은 그림 3-6-1과 같다. 우선, 돌발홍수 및 산사태의 예측을 위하여 기상청에서 제공하고 있는 여러 강우예측자료 중 공간적·시간적 해상도를 고려하여 적절한 강우예측정보를 선정하고 홍수량 모의모형 및 산사태 해석모형을 통해 돌발재해 모의를 실시하였다. 또한, 돌발홍수 및 산사태 경보 발령기준을 설정하였으며, 모의된 예측자료를 바탕으로 경보발령기준을 초과하는 경우 지역주민 및 방문객들에게 SMS 및 앱기반 서비스를 통해 경보를 발령하는 시스템을 구성하였다.

한편, 모의기법과 모의에 사용된 유역 및 토양 특성치 등의 불확실성 등에 의하여 실제 유역 및 사면에서는 모의에 따른 예측과 다른 거동이 발생할 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 홍수위 및 사면의 거동을 계측하여 즉시 경보를 발령할 수 있도록 수위계 및 변위센서를 설치하여 실시간 돌발재해 감지 모니터링 시스템을 구축하였다.

개발된 돌발재해 예·경보시스템의 적용성을 평가하기 위하여 총 11개소의 시범지구를 선정하였으며, 8개 지구의 경우 기왕 강우에 의한 돌발재해 모의 및 경보기준을 설정하였으며, 3개 지구의 경우 개발된 돌발재해 USN 및 통신게이트웨이를 설치하여 시스템에 적용하였다.

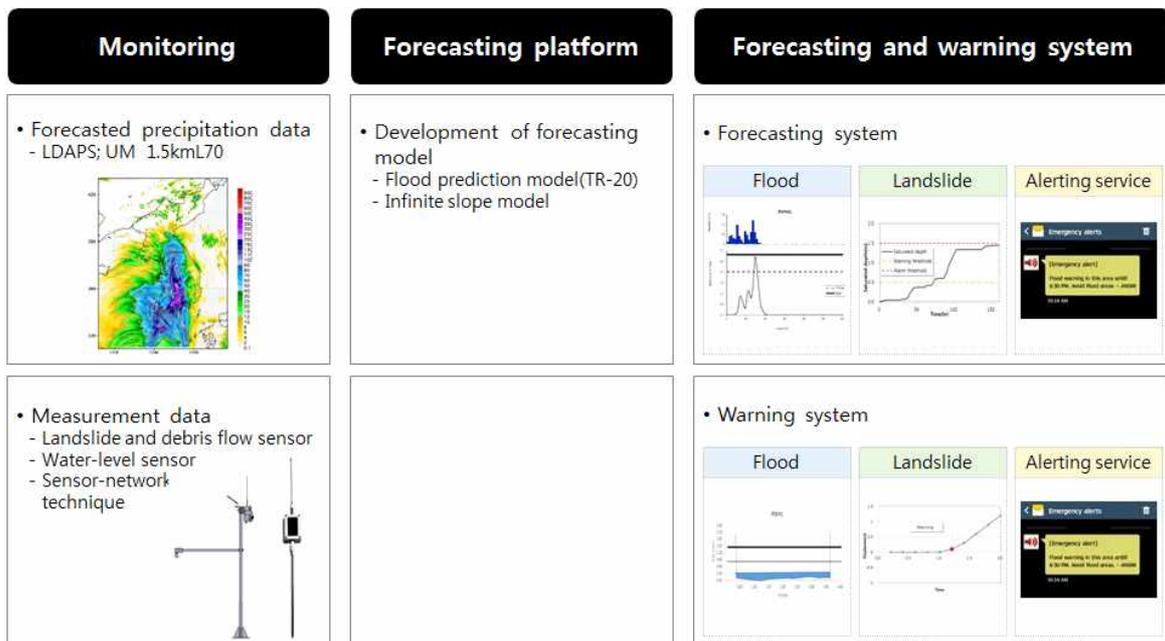


그림 3-6-1 | 농업·농촌시설의 ANSIM 체계 구성도

## 1. 돌발재해 위험잠재능 평가

먼저, 홍수위험성을 평가하기 위해 기존의 수정 PFD 개념을 도입하고, 홍수피해에 영향을 미치는 요인들을 바탕으로 관련 지표들을 수집·검토하였다. 수집한 60개 지표 중 홍수피해주기와 상대적으로 상관성이 높은 20개 지표들을 최종적으로 사용하였으며, Z-score 방법을 이용하여 표준화하였다. 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3개 구성요소를 바탕으로 홍수위험잠재능을 산정하여 3차원 그룹화를 통해 시군별로 치수대책 방향을 설정하였다. 홍수위험잠재능을 바탕으로 보다 합리적이고 객관적인 지역별 대책마련 위해 최근 10년(2006-2015)간 풍수해 피해액을 고려하여 홍수위험잠재능을 유형화 하였다. 먼저, 의사결정나무 기법을 활용하여 유형화 한 결과 총 3번의 분리과정을 거쳐 최종적으로 6개 그룹으로 분류되었다. 첫 번째 분리는 ‘피해가능성’ 변수에 의해 이루어졌으며, 상대적으로 홍수 피해액이 낮은 시군 중에서는 ‘피해대상’ 변수에 의해 두 번째 분리가 이루어지고, ‘방어능력’ 변수에 의해 세 번째 분리가 이루어졌으며,

홍수 피해액이 높은 시군은 ‘방어능력’ 변수에 따라 분리가 이루어졌다. K-means 군집분석은 군집 수를 늘려가면서 분석을 시행하여 가장 높은 적중률을 보이는 군집의 수를 선택하여 최적화 한 결과 8개의 군집으로 분류하였다. 3가지 방법의 분류 결과를 바탕으로 지역별 취약부분을 쉽게 평가할 수 있도록 유형등급에 따라서 구조적 대책, 비구조적 대책 등의 대책 우선순위를 종합적으로 제시할 수 있는 재분류 기준을 마련하고 재분류를 통해 지역별 최선의 홍수방어 대책을 제시하였다.

최종적인 유형화 결과, 홍수위험잠재능 A그룹, 의사결정나무 유형화 결과 VI그룹, 군집분석 유형화 결과 VII그룹에 해당되는 강원 홍천군, 평창군, 인제군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 제주시와 서귀포시가 구조적 대책에 집중해야하는 지역인 5그룹에 포함되었다. 서울시와 세종시, 광역시, 경기도(포천시 제외)는 모두 1~3그룹에 해당되며, 비교적 대도시지역은 홍수방어를 위해 인명, 재산상의 피해 경감시설들의 지속적인 확충 및 관리가 이루어졌고, 보다 효율적인 홍수피해 예방대책의 시행을 위해 다양한 비구조적 대책을 마련해야 할 지역으로 판단되었다.

## 2. 돌발재해 모의를 위한 강우예측자료의 선정

기상청에서는 초단기 예보부터 기후변화에 이르기까지 각종 국가 계획 수립, 경영관리, 일상생활에 필요한 기온, 강수 등 각종 4차원 시공간 예측자료를 생산하고 있다. 농촌지역에 적합한 돌발재해의 예측을 위해 공간적·시간적 해상도를 검토하여 최종적으로 국지예보모델자료(LDAPS; UM 1.5kmL70)을 선정하여 이용하였다.

국지예보모델(UM 1.5kmL70)의 공간 해상도는 1.5km이며, 연직으로 약 40km까지 70층으로 구성되며, 3시간 간격으로 전지구모델로부터 경계장을 제공받아 1일 8회(00, 06, 12, 18UTC : 3시간 예측, 03, 09, 15, 18UTC : 3시간 예측) 예측을 수행하고 1시간단위 자료를 제공하고 있다. 국지예보모델의 산출자료는 등압면 자료와 단일면 자료 2종류가 제공되며, 데이터 형식은 WMO에서 제시한 GRIB2 형식으로 제공하고 있어 이를 활용하였다.

## 3. 돌발재해 모의기법 및 경보기준 설정

돌발재해에 대비한 조기경보 시스템의 구축 및 위험지역에 대한 적절한 대책을 수립하여 피해를 최소화하기 위해서는 강우예측자료를 바탕으로 한 돌발재해 모의기법 활용 및 경보기준 설정이 필수적이다.

돌발홍수의 경우 Jang et al.(2010)이 사용하여 국내 농촌 소유역의 미계측 유역에서 적합성이 검증된 소유역 홍수추적 모형 SCS TR-20모형을 활용하였다. 24시간 설계강우량을 기준으로 해당 유역의 홍수량을 모의하고 하천법시행규칙에서 제시하고 있는 홍수주의보 및 경보 발령기준인 계획홍수량의 50%를 주의보, 70%를 경보 발령기준으로 설정하였다. 이때 24시간 설계강우량의 시간적 분포는 Huff의 3분위법을 활용하였으며, 설계강우빈도는 일반수공구조물과 지방하천, 농업생산기반시설의 배수로 등에서 사용하고 있는 20년 수준을 고려하여 10년 설계강우빈도를 이용하였다.

산사태 예측 모의를 위해서는 강우침투모형을 결합한 무한사면 안정해석 모형을 활용하였다. 침투모형은 Chu et al.(2005)이 제안한 모형을 사용하였다. 무한사면(infinite slope)이란 경사각이 일정하고 길이가 대단히 긴(반무한대)인 사면으로 활동하는 토층의 두께가 비교적 얇은 사면을 말하며, 우리나라의 경우 산사태 발생 유형을 살펴보면 얇은 사면파괴형태가 가장 많은 부분을 차지하며 이에 따른 쇄설성 유동(debris flow)이 발생하게 되는 것을 고려하였다. 얇은 사면파괴는 파괴형상이 사면과 평행하고 파괴길이에 비해 파괴심도가 매우 얇은 파괴를 말하며 자연사면 파괴의 대부분은 이와 같은 얇은 파괴형상을 나타내므로 무한사면 안정해석을 통하여 간단히 안정성을 평가할 수 있다. 사면의 안정성 기준으로 활용되는 안전율(Factor of Safety)은 주어진 활동면에 대해 흙의 전단강도를 사면에 발생하는 전단응력으로 나눈 값이다. 따라서 이론상으로는 1이상이면 사면은 안전하지만 실제에 있어서 안전율이 허용 안전율(Allowable Factor of Safety) 이상이 되어야만 사면이 안전한 것으로 판정한다. 국토교통부에서 제시하고 있는 우기 시 건설공사 비탈면 설계기준에서는 기준 안전율을 1.2 또는 1.3으로, 지진 시에는 1.1로 설정하고 있는 것으로 고려하여 산사태 주의보의 기준안전율은 1.2, 산사태 경보의 기준안전율은 1.1로 설정하였다.

#### 4. 농촌지역에 적합한 돌발재해 감지용 USN 개발 및 통신 네트워크 구성

재해에 대한 예방적 센서 인프라 구축을 위해서는 위험한 환경에서의 설치 용이성, 데이터 및 전원 공급을 위한 케이블 설치의 불필요, 고장 시 수리의 용이성, 조밀한 관측을 위한 저가형 모니터링 장비, 넓은 지역을 포괄할 수 있는 무선통신 지원, 저전력 또는 자가발전 모듈 등의 요구조건을 만족해야 한다. 기존 재해 감지 센서는 국가 기반시설을 중심으로 설치·운영되고 있으며, 이러한 시설은 전력 및 통신 기반이 잘 갖추어져 있는 경우가 많고 특정 구역을 대상으로 하기 때문에 센서의 통신체계 및 전력공급 등의 문제를 상대적으로 쉽게 해결할 수 있어 대부분 유선망에 연결하여 데이터를 수집하거나 각각의 센서 노드에 Zigbee, CDMA/LTE 모뎀을 설치하여 데이터 전송을 지원하는 방식을 이용하고 있다.

그러나, 기존의 재해감지 센서-통신 모듈에 활용되고 있는 Zigbee, CDMA 통신기술의 경우 통신거리 및 비용등의 한계점을 지니고 있어 농촌지역에 적합하도록 저비용, 저전력, 긴 통신거리가 가능한 proprietary network 기반의 수위 및 변위 감지 센서-통신 모듈을 자체적으로 개발하였으며, 통신환경이 열악할 경우 게이트웨이를 릴레이 방식으로 연결하여 활용할 수 있도록 미들웨어를 구성하였으며 무선센서 네트워크의 전체 구성도는 다음 그림과 같다.

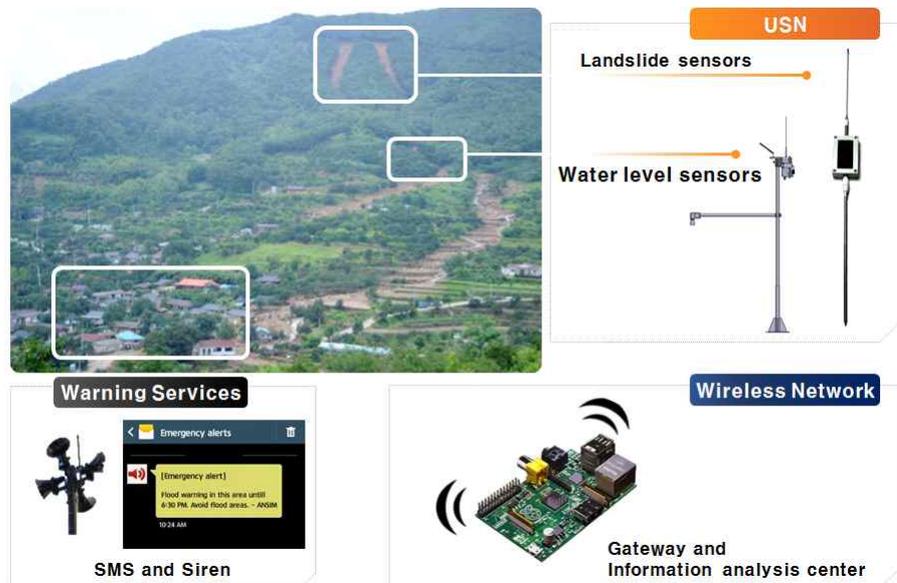


그림 3-6-2 | 센서-네트워크 활용 예·경보시스템 구성도

연구과제의 대상지역은 농산촌지역으로 대부분 센서 설치 및 운용 환경이 매우 열악한 곳으로, 이러한 현장 여건을 감안하여 돌발재해 감지 USN 모듈은 매우 단순한 형태의 개발하고 설치 후 배터리의 충전 없이 최소 2~3년, 음영지역에서 태양광 충전이 가능하도록 하기 위한 태양전지 판넬의 이용, 통신 및 센싱에 필요한 전력 소모를 최소화 하는데 개발 목적을 두었다. 또한, 무선(RF) 방식의 통신 방식을 지원하여 5km 원거리에서 데이터 수집이 가능하도록 개발하여 시군구 단위로 센서네트워크 망의 구축이 가능하도록 하였다. 돌발홍수를 위한 USN 모듈로 초음파 센서를 활용하였으며, 산사태 감지를 위한 센서로는 6축 자이로 센서를 적용하였다. 또한 통신에 필요한 전력소모를 최소화 하기 위해 이상 징후가 없는 경우에는 1시간 간격으로 게이트웨이에 Keep-Alive 통신만을 하고, 이상징후가 있을 경우에는 1분 간격의 통신, 그리고 일정 임계값 이상을 초과하는 경우에는 실시간으로 데이터를 전송할 수 있도록 통신 프로토콜을 구성하였다.

일반적으로 무선 센서-네트워크의 통신 프로토콜은 IEEE 802.15.4 표준을 따르고 있으며, ZigBee Alliance은 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 MAC/PHY 프로토콜 위에 애플리케이션 서비스에 필요한 유연한 네트워크 구조(Topology), 라우팅 알고리즘, 보안 등의 기능을 포함한 Network 계층 레이어의 프로토콜 스택을 포함하고 있다. 그러나 IEEE 802.15.4 표준은 100m 내외의 통신 반경에서의 센서-네트워크를 기본 가정으로 하고 있기 때문에 본 연구에 적용하기에 적합하지 않다. 특히, 센서 현장 설치 여건이 열악하고 저전력으로 운용할 수 있는 형태로 개발하기 위해서는 별도의 무선 센서-네트워크 프로토콜의 설계가 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 10mA 이하의 소출력에서 장거리 통신이 가능한 RF 통신 모듈 사용을 전제하고 이에 맞는 통신 프로토콜 스택을 개발하였으며, 센서간의 네트워크 토폴로지 형태는 게이트웨이를 중심으로

로 하는 스타(star) 방식을 채용하였고, 무선 통신 구간을 확대하기 위해 중계기 기능을 추가하고 각각의 중계기는 하위 센서 정보를 포함하는 형태의 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) 방법을 적용하였다.

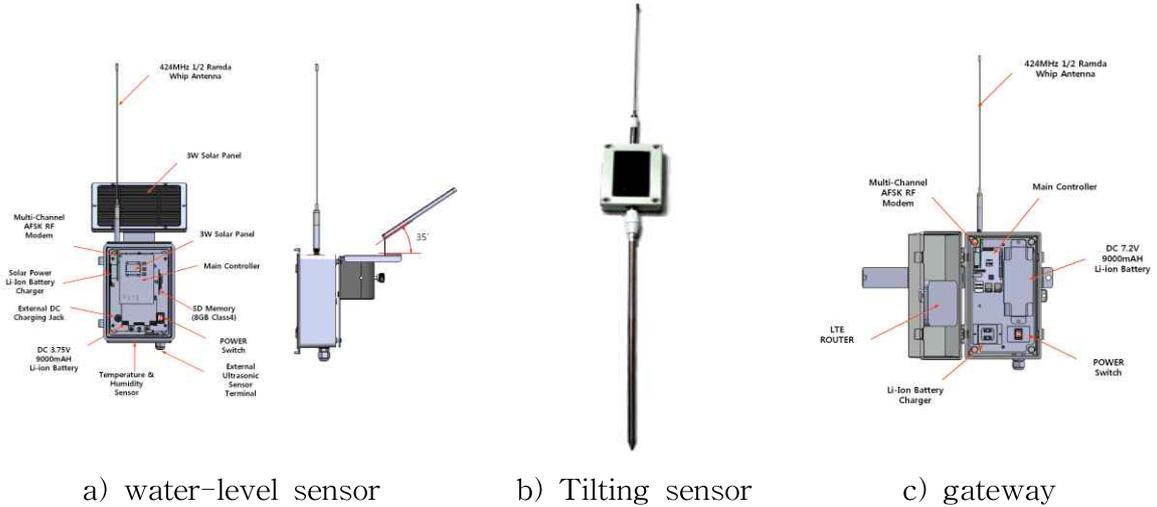


그림 3-6-3 | 돌발재해 감지 통신 모듈 및 게이트웨이 개발

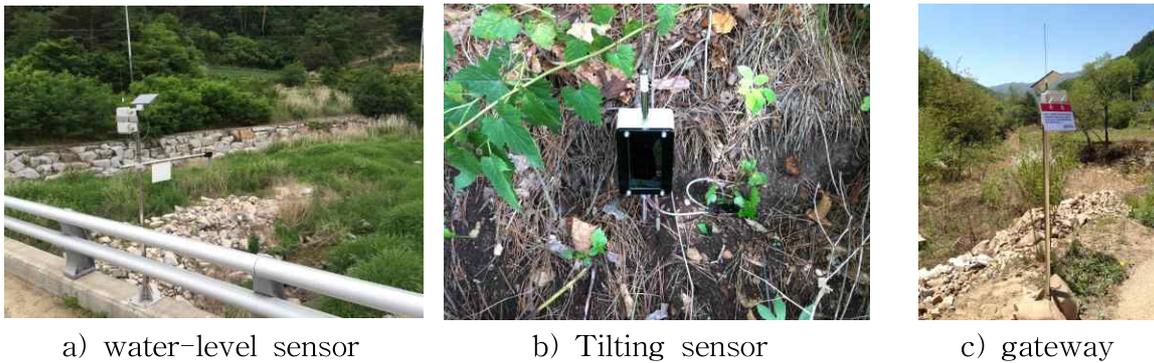


그림 3-6-4 | 돌발재해 감지 통신 모듈 및 게이트웨이 설치 전경

## 5. 모바일 애플리케이션 돌발재해 예·경보시스템 구축

집중 호우로 인한 홍수 및 산사태 등 돌발적 자연 재해는 신속하고 정확한 의사 결정과 정보 전달을 중심으로 선제적 대응을 가능하게 하는 피해 예방 대책이 필요하다. 이것은 가까운 미래에 대한 돌발 재해를 예측하고 예측된 재해 상황을 사용자에게 전달할 수 있는 체계화되고 안정적으로 운영될 수 있는 시스템이 요구됨을 뜻한다. 이에 본 연구에서는 GIS(Geographic information system)를 기반으로 하여 호우 특보 판정, 홍수 예측, 산사태 예측 등의 핵심적인 자료 처리 기술로 생성된 자료를 iOS 및 Android와 같은 스마트 단말기의 애플리케이션에서 접근할 수 있도록 하였으며 보다 광범위한 대응을 위해 스마트 단말기를 사용하지 않는 사용자라 할지라도 재해 상황을 전달 받을 수 있도록 SMS(Short Message Service)를 이용한 알림 서비스를 함께 제

공하고자 프로토타입을 구축하였으며, 구축된 돌발재해 통합 예·경보시스템을 ANSIM(Anti-risk System of abrupt hazards as an Integrated Model)으로 명명하였다.

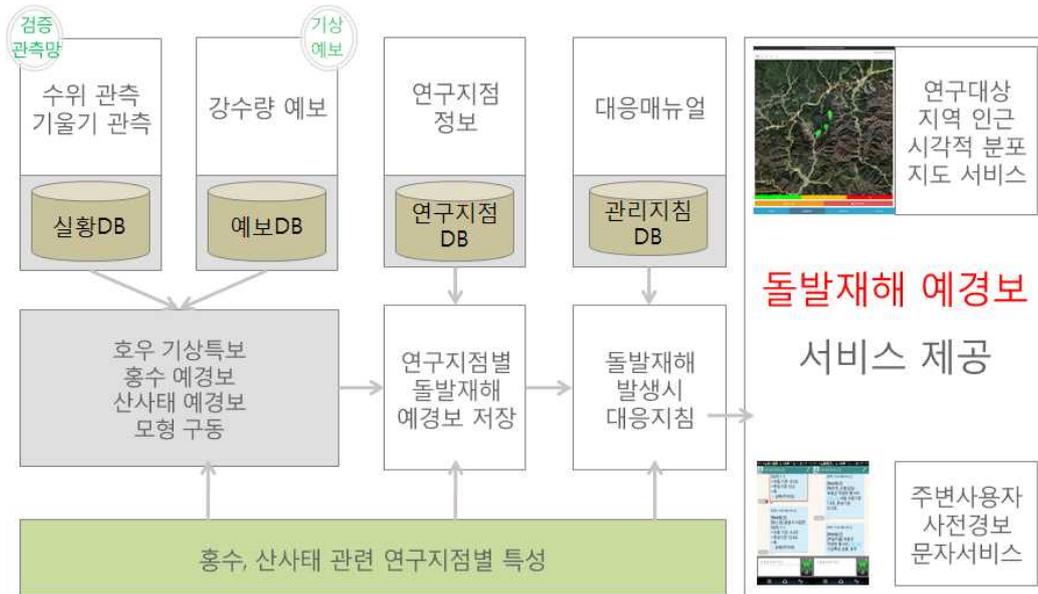


그림 3-6-5 | ANSIM 서비스 체계

ANSIM 서비스는 실제 사용자(지역주민 및 방문객) 요구에 맞는 인터페이스를 구상하였으며, 이에 적합하도록 데이터베이스(DB)를 설계하였다. 구성된 데이터베이스를 바탕으로 최종적으로 개발된 기본적인 시스템의 구성도는 그림 3-6-6과 같다.

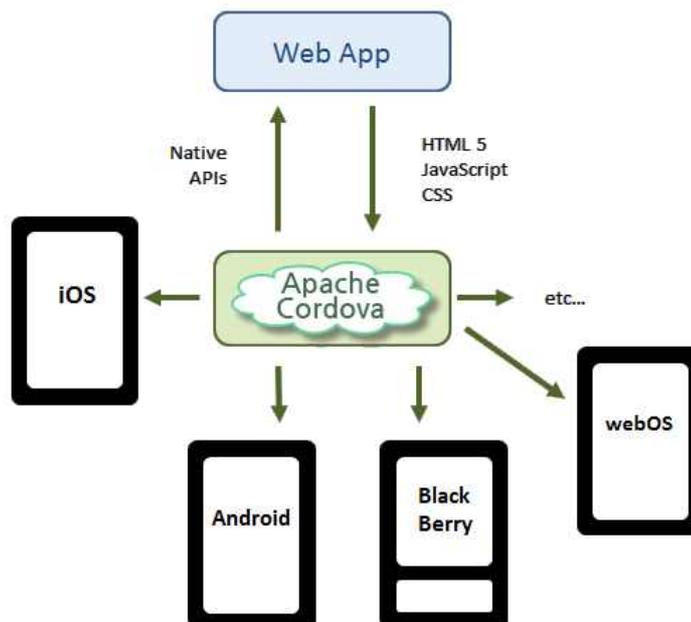


그림 3-6-6 | ANSIM 서비스 개발 구성도

서버 측면에서는 데이터 송수신, 모델 계산, SMS발송 등 최종 사용자 인터페이스를 제외한 전체 시스템의 전반적인 핵심 기능을 담당하고 있다. 또한 서버측 시스템은 소프트웨어의 다양성 및 라이선스 정책에 따라 Linux 기반의 Oracle Java, C/C++, PHP 등 다수의 프로그래밍 언어를 사용하여 구현되었다. 데이터를 보존하기 위해서는 오픈 소스 버전의 Oracle MySQL 서버가 사용되었고, 클라이언트와의 인터페이스를 위해 Apache Web Server가 사용되었다.

클라이언트 시스템은 다양한 앱 개발 방법 중 하나인 하이브리드(Hybrid) 방식을 채택하였다. 플랫폼에 독립적이고 공통된 부분은 모바일 웹 기술로 개발을 하고, 모바일 웹으로 해결하기 어려운 부분은 네이티브(Native)로 개발하였다. 모바일 웹으로 개발된 부분은 사용자 인터페이스, 데이터 시각화 등과 같이 플랫폼에 독립적인 부분이고, 네이티브로 개발된 부분은 푸시 알림, 위치 기반 서비스 등과 같이 플랫폼에 종속적인 부분이다. 본 클라이언트 시스템은 하이브리드 앱 개발에 도움을 주는 다양한 도구 중 Apache Cordova라는 프레임워크를 사용하여 iOS, Android, WebOS, Windows Mobile, Symbian Blackberry, Tizen 등 다양한 플랫폼을 지원할 수 있도록 하였다. 사용자에게 제공되는 모든 데이터는 원격에 위치한 고성능 서버가 처리하고, 클라이언트 시스템은 사용자의 요청을 받아들이고 사용자에게 제공할 데이터의 시각화를 담당하도록 구성하였다. 다음 그림은 실제 구축된 ANSIM 서비스 적용결과를 나타내고 있다.

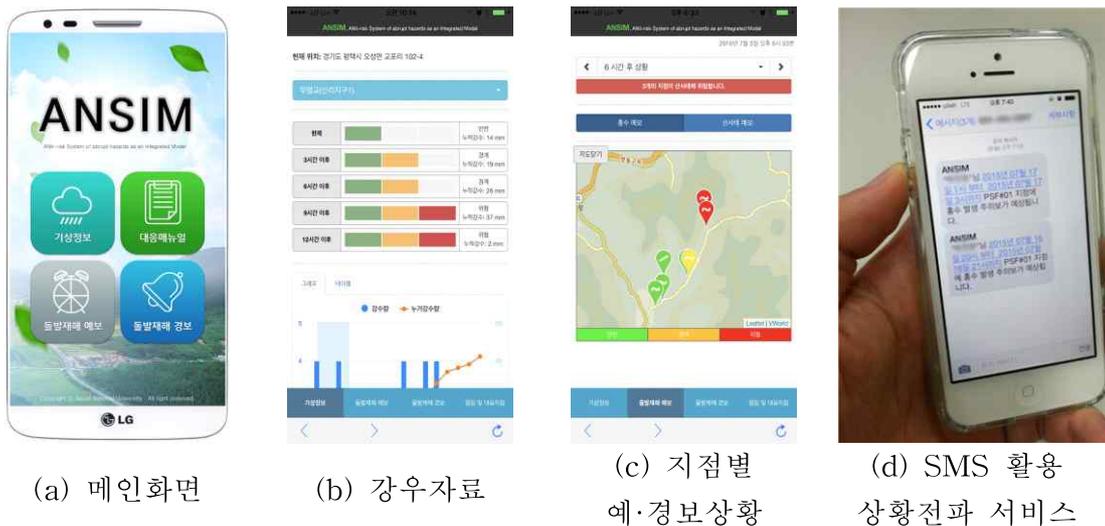


그림 3-6-7 | ANSIM 서비스 구현 화면

## 6. 돌발재해 예·경보시스템 시범 대상지구 운영결과

본 연구에서 이상과 같이 개발된 돌발재해 예·경보시스템을 시범적으로 운영하고 적용성을 검증하기 위하여 대상지구를 구축하고 운영하였다. 연구기간 중 재해를 유발할 정도의 강우사상은 발생하지 않았으나, 강우량이 30mm/day이상이고 강우강도가

4.0mm/hr을 초과하는 3개 강우사상에 대하여 운영결과를 제시하였다. 1개 강우사상에 대해서는 주의 및 경고 단계의 홍수예측이 발생하여 시스템에서 예보 메시지를 발송하였고, 다른 1개 강우사상에 대해서는 주의 단계의 홍수예측이 발생하여 메시지를 발송하였다. 산사태의 경우 강우사상에 대하여 주의 및 경고단계의 상황은 발생하지 않았다. 현재 구축된 시스템 하드웨어 및 운영 소프트웨어는 정상적으로 작동하는 것을 확인하였으며 연구 종료 후에도 지속적으로 운영하면서 보완할 계획이다.

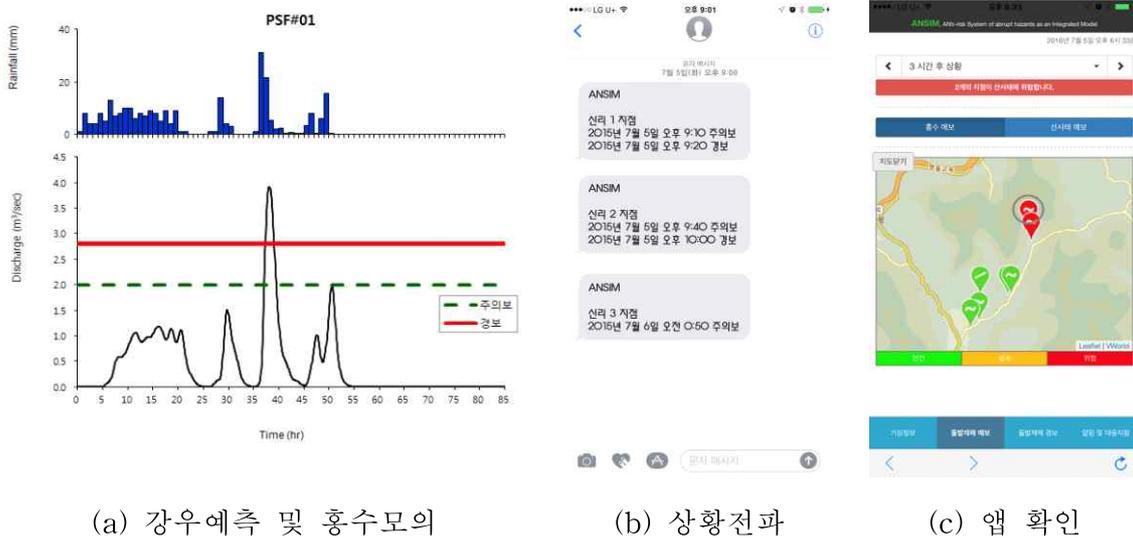


그림 3-6-8 | 돌발재해 예·경보시스템 시범운영 결과

## 7. 돌발재해 대비 지역주민 참여형 대응전략

우리나라는 해외 국가에 비하여 유사유형의 재해가 유사지역에서 반복적으로 발생하는 국가라고 할 수 있다. 또한 국가단위의 재해대책이 복구 중심으로 되어 있으며, 예산 또한 예비비를 통하여 복구비가 집행되는 것과 같이 예방관련 예산 수립도 쉽지 않은 현실이다. 최근 들어 예방 중심의 방재정책을 기초로 하고 있지만, 예산부처, 지방자치단체 등에서 정책적 우선순위에 밀려 예방중심의 방재정책을 집행해 나아가는데 많은 어려움이 있는 것이 현실이다.

농촌 및 산촌지역의 경우 재해에 노출된 지역이 굉장히 넓고 공공부문에 의한 방재 노력만으로 필요한 모든 부분에 걸쳐 섬세하게 대처하고 지역 주민들의 안전에 대한 욕구수준을 충족시키는 데에는 한계가 있다. 그러므로, 농산촌지역에 적합한 돌발재해 대응정책을 수립하기 위하여 지역주민 주도형 방재체제에 관한 국내외 주요 사례 및 현황을 바탕으로 재해유형별 대응 방안, 농촌지역 주민주도형 돌발재해 예방 콘텐츠 및 홍보방안을 검토하고 본 연구에서 개발된 돌발재해 예·경보시스템을 활용한 주민참여형 방재 전략을 검토·제시하였다.

## 제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

### 제1절 목표달성도

구분	연구개발의 목표	평가의 착안점	가중치	달성도
1 차 년 도	[위험잠재능 평가] ○ 과거 돌발재해 이력 조사·분석 ○ 피해 유형별 위험잠재능 평가 체계 조사	○ 돌발재해 유형별 분류 및 위험도 평가 방법의 적정성	20	100%
	[예보 플랫폼 구축] ○ 국내외 활용가능 초단기강우예측자료 선정 ○ 통계적 분석을 통한 돌발재해 방재기준 설정	○ 돌발재해 예보 플랫폼 구축 설계의 적절성	20	100%
	[조기경보시스템 구축] ○ 돌발재해 조기 경보 무선센서 및 네트워크 기반 기술개발	○ 수위계측센서 및 산사태/토석류 감지 센서노드 제작의 적정성	20	100%
	[대응 정책 및 규정안] ○ 국내외 돌발재해 대응 정책/규정 조사 ○ 농업·농촌 시설 적용 돌발재해 대응 정책 조사	○ 국내외 돌발재해 대응 정책 및 규정 조사의 적정성	20	100%
	[시범지구 적용] ○ 초단기기상예보 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 적용 시범지구 선정	○ 시범지구 선정의 적정성	20	100%
2 차 년 도	[위험잠재능 평가] ○ 피해 유형별 위험잠재능 평가 체계 선정 및 개발 ○ 피해 유형별 돌발재해 위험잠재능지도 작성	○ 돌발재해 피해 유형별 위험잠재능지도 제작의 적정성	25	100%
	[예보 플랫폼 구축] ○ 기상청 초단기 예보를 연계한 돌발재해 발생가능 예보 플랫폼 개발	○ 돌발재해 예보 플랫폼 개발의 적정성	25	100%
	[조기경보시스템 구축] ○ 센서-네트워크 기술 적용 조기경보시스템 구축	○ 돌발재해 조기경보시스템 시제품 제작의 실용성 및 적정성	25	100%
	[대응 정책 및 규정안] ○ 조기경보시스템을 활용한 방재 전략 수립 (단계별 대피방안 등)	○ 방재전략 수립의 적정성	10	100%
	[시범지구 적용] ○ 초단기기상예보 연계한 돌발재해 예보 플랫폼 적용 ○ 센서-네트워크를 활용한 조기경보시스템 테스트베드 적용	○ 예보 플랫폼 및 조기경보시스템의 시범지구 적용 및 평가의 적정성	15	100%

3 차 년 도	[위험잠재능 평가] ○ 피해 유형별 구조적·비구조적 예방 대책 조사 및 분석 ○ 피해 유형별 예방대책 개선 방안 마련	○ 피해 유형별 구조적·비구조적 재해예방대책 도출의 적정성	25	100%
	[예보 플랫폼 구축] ○ 돌발재해 예보 플랫폼 시스템의 운용 및 적용성 평가	○ 돌발재해 예보 플랫폼의 시범지구 운용 및 현장 적용성	25	100%
	[조기경보시스템 구축] ○ 조기경보시스템의 적용성 평가	○ 돌발재해 조기경보시스템의 신뢰성 평가 및 실용화 기술지원의 적정성	25	100%
	[대응 정책 및 규정안] ○ 농업·농촌 시설의 돌발재해 방재 실무 가이드라인 작성 ○ 농업·농촌 시설의 재해피해저감 대응매뉴얼 작성	○ 돌발재해 방재실무 가이드라인의 실용성 및 적정성	10	100%
	[시범지구 적용] ○ 시범사업 지구의 적용성 및 신뢰성 평가	○ 돌발재해 예보 플랫폼의 시범지구 운용 및 현장 적용성	15	100%

## 제2절 관련분야 기여도

### 1. 연구 분야별 기여도

#### 가. 돌발재해 예측모형

본 연구에서 다루는 돌발재해는 홍수와 산사태로 기상 특히 강우량에 의한 것으로 예측을 위해서는 기상예보자료를 필요로 하며 가장 적절한 것으로 판단되는 국지예보 모델자료(LDAPS; UM 1.5kmL70)을 선정하였다. 예측모형을 선정함에 있어서는 예측의 신뢰성을 최대한 유지하면서 국내 농어촌의 소규모 유역에 적용이 가능한 모형을 선정하였다. 기존의 연구에서 적용한 예측모형이 때로는 대상지구에 대한 지나치게 많은 입력자료를 요구하거나 복잡한 적용과정을 거치면서 적용성이 감소하는 경우도 있는 것으로 조사되었으며 또한 실제 재해의 발생거동을 반영하지 못하는 모형을 사용하는 경우도 조사되었다. 따라서 소유역이고 수위·유량 자료가 미비한 지역에 적용할 수 있는 홍수량 추정모형인 TR-20모형과 침투해석과 사면안정해석을 연동한 산사태 예측모형을 사용하였다. 예측모형에 의한 재해예측기술과 센서-네트워크 기술에 의한 재해정보기술의 융합에 있어서 예측모형의 적절한 선정의 사례를 제공한 것으로 판단된다.

#### 나. 돌발재해 정보시스템

돌발재해 예·경보 시스템을 구축하고자하는 지역에 설치되는 센서-네트워크 기술에서 센서는 초음파 수위센서와 기울기센서를 적용하였으며 본 연구에서 개발한 센서를 사용하였고 적용성을 확인하였다. 전체적으로 농촌지역에 적합하도록 저비용, 저전력, 긴 통신거리가 가능한 proprietary network 기반의 수위 및 변위 감지 센서-통신 모듈을 개발하였으며, 통신환경이 열악할 경우 게이트웨이를 릴레이방식으로 연결하여 활용할 수 있도록 미들웨어를 구성하였다. 또한 재해의 직접적인 피해 당사자인 농어촌 주민 및 방문객 등에게 직접적인 정보를 전달할 수 있는 서비스 시스템을 구축하였다. 이러한 개발을 통하여 시스템의 관리자 및 주민에게 직접적인 재해 예·경보 정보를 획득하고 대비할 수 있는 시스템을 구축하였다.

#### 다. 돌발재해 예·경보시스템

본 연구에서 개발한 돌발재해 예·경보 시스템은 기상예보자료를 이용한 12시간 이후의 돌발재해 예측모형과 실시간으로 작동되는 경보시스템으로 구성되어 예측과 실시간 감시를 동시에 수행하도록 구축된 시스템으로, 예측의 불확실성은 현장에 설치된 센서-네트워크 시스템으로 보완할 수 있도록 하였다. 센서-네트워크 시스템은 기존의 복잡하고, 고비용의 유지관리가 어려운 시스템과 달리 소유역에 저비용으로 적용할 수 있도록 개발하였다.

## 2. 기대성과

### 가. 기술적 측면

- 집중호우 등에 의한 돌발재해, 특히 돌발홍수, 산사태, 토석류 등의 조기경보시스템을 개발하여 전국 돌발재해 위험지구 및 농업농촌시설에 보급함으로써 매년 발생하고 있는 “인명피해”를 최소화 하고, 농업/농촌시설을 보호할 수 있는 “사회안전기술”의 보급 및 증대
- ICT 기술의 농업부문 적용에 있어서 새로운 가치창출에 기여
- 센서-네트워크 기술을 이용한 경보체계를 자체개발하여 추후 예상되는 다양한 계측기술의 선도적인 위치 자리매김
- 농식품부, 안전행정부, 소방방재청, 산림청, 지자체 등 기술지원을 통한 안정적인 시장확보 가능

### 나. 경제·산업적 측면

- 돌발재해 조기 예경보시스템 기술 개발을 통한 농업·농촌 시설의 거주 안정성 확보
  - 적은 비용(50백만원 이내)으로 1개 마을의 경보체계를 구축할 수 있는 기술개발을 통해 사회적 안전망 구축비용 최소화 기여
  - 기존 고가의 장비 이용을 지양하고, 저가의 무선기술을 이용한 장비 개발로 숙련자가 아닌 현장 담당자가 쉽게 운용할 수 있는 시스템 구축
- 센서-네트워크 기술을 이용한 돌발재해 조기경보시스템 개발을 통하여 신규 시장 창출
  - 전국 5,121개 산촌마을에 대한 조기경보 시스템 개발 및 보급
  - 전국 주요 수리·농업시설에 대한 조기경보 시스템 적용 및 보급
  - 전국 돌발재해 위험지구 및 주요 농업시설의 조기경보체계 구축을 통해 약 100억원의 비용절감 효과 기대
- 계측센서 관련 시장에서 수입대체효과
  - 각속도, 진동, 경사 센서 등 기존 수입에 의존하던 센서의 수입대체효과로 매년 10억원 이상의 수입대체효과 기대

## 제5장 연구결과의 활용계획

### 제1절 활용계획 일반사항

- 돌발 자연재해에 대비한 기술 및 정책 개발로 대국민 안전인식 제고 기여
- 전국 시/군/구 지자체에 대한 방재시스템으로 보급 추진
- 농식품부, 산림청 및 기타 정부기관에 시험 및 연구용으로 보급 추진
- 관련 사업(계측센서, TC/TM 등)의 기술적 교두보로 활용

### 제2절 제품화 및 사업화 계획

#### 1. 제품 생산 및 교육계획

- 돌발재해 위험 예상지구의 센서-네트워크 기술을 활용한 조기 경보시스템 개발
- 지구 특성에 적합한 맞춤형 센서-네트워크 시스템 기술 개발
- 특허 및 신기술 출원/등록
- 제품의 신속한 제작 능력 강화를 위한 설비 설치
- 소프트웨어 개발을 위한 신규 인력 확보 및 교육
- 제품 설치 및 교육을 위한 신규인력 확보

#### 2. 주요 수요처 마케팅 계획

수요 예상처	전국 시/군/구 등 262개 기초지자체 농식품부, 산림청, 소방방재청 등 관련 정부기관 방재관련 연구 대학 및 연구소 (100여개) 한국농어촌공사, 수자원공사 등 관련 정부투자기관 (15,000 여개)
--------	---

- 제품개발 특화
  - “배수개선사업”, “농촌마을종합개발사업” 등 본 제품의 사업적용이 가능한 농식품부, 산림청, 소방방재청 등 관련 정부기관에 연구성과가 반영될 수 있도록 노력
  - 제품개발과 영업주체간의 유기적인 협력을 지원하되, 특화된 업무를 할당하여 중복 투자를 방지하고 매출 및 이익 극대화 실현

#### 3. 기술이전 계획

- 기술성 평가와 지적재산권 출원, 세부 기술이전 전략 및 계획을 수립한 후, 개발 결과물을 참여기업에 기술이전 실시

## **제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보**

해당사항 없음

## **제7장 연구개발 결과의 보안등급**

해당사항 없음

## **제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설· 장비 현황**

해당사항 없음

## **제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적**

해당사항 없음

## 제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문게재 지/ 특허등록 국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부 /인용횟수 등)
1	특허	지피에스 모듈 및 메모리 탑재형 유선 및 유속 측정용 부유식 항해 캡슐 및 지피에스 모듈 및 메모리 탑재형 부유식 항해캡슐을 이용한 유선 및 유속 측정 방법	서울대학교	공동개발	대한민국		2015.05.29		
2	특허	기울임 감지 센서가 구비된 포스트를 이용한 돌발재해 예보 경보 장치	서울대학교	공동개발	대한민국		2015.06.01		
3	논문	강우에 의한 돌발 산사태 예·경보 시스템 구축 방안	서울대학교	제1저자	대한민국		2015.07.31	단독	우수논문상 수상
4	논문	지역별 홍수피해 주기를 고려한 홍수위험잠재능 평가	서울대학교	제1저자	대한민국		2015.07.31	단독	
5	논문	농촌지역 돌발홍수 피해 경감을 위한 USN기반 통합 예·경보 시스템 (ANSIM)의 개발	서울대학교	제1저자	대한민국		2015.9.30	단독	

## 제11장 기타사항

해당사항 없음

## 제12장 참고문헌

1. Aleotti, P., 2004, A Warning System for Rainfall-Induced Shallow Failure, *Engineering Geology*, (73), pp. 247-265.
2. Brakensiek, D. L., and Onstad, C. A., 1977, Parameter estimation of the Green and Ampt infiltration equation, *Water Resource Research*, 13, pp. 1009-1012.
3. Chu, S. T., 1978, Infiltration during an unsteady rain, *Water Resource. Research*, 14(3), pp. 461-466.
4. Communities and Local Government, 2009, Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk Practice Guide.
5. Crosta, G.B. and Frattini, P., 2000, Rainfall threshold for triggering soil slips and debris flow. *Mediterranean Storms, Proceedings of the EGS 2nd Plinius Conference, Siena, Italy.* pp. 463-487.
6. Dahal, R. K. and Hasegawa, S., 2008, Representative Rainfall Thresholds for Landslides in the Nepal Himalaya, *Geomorphology* 100: 429-443.
7. Defra and Environment Agency, 2005, Flood Risk Assessment Guidance for New Development.
8. Forman, R. T. T. and M. Godron, 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
9. Fredlund, D. G. and Xing, A, 1994, Equations for the Soil-Water Characteristic Curve, *Canadian Geotechnical Journal* 31: 521-532.
10. Fredlund, D. G., and Morgenstern, N. R., 1977, Stress state variables for unsaturated soils, *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 103(GT5), pp. 447~466.
11. Hamlin, M. J., 1983, The significance of rainfall in the study of hydrology process at basin scale, *Journal of Hydrology*, 65, pp. 73-94.
12. Hutchinson, J. N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation of geology and hydrology, General Report. In *Landslides, Proc. 5th. Int. Symp. on Landslides (Ed. C. Bonnard)*, 1, pp. 3-35.
13. Korea Precipitation Frequency Data Server(KPFDS) : <http://www.k-idf.re.kr/>
14. Liu, C. and Wu, C., 2008, Mapping susceptibility of rainfall-triggered shallow landslides using a probabilistic approach, *Environmental Geology*, 55, pp. 907-915.
15. Lu, N. and Likos, W. J., 2004, *Unsaturated Soil Mechanics*, Hoboken, New Jersey : John Willey & Sons, Inc.
16. Pack, R. P., Tarboton, D. G., and Goodwin, C. N., 1998, The SINMAP approach to terrain stability mapping, 8th Congress of the International Association of Engineering Geology.

17. River Bureau, 2010, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Practical Guidelines on Strategic Climate Change Adaptation Planning - Flood Disasters, Japan.
18. Rover, J. M., Victoria, A. B. and David, A. J., 2003, Forecasting for flood warning, *Comptes Rendus Geoscience*, 337, pp. 203-217.
19. Roy C. Sidle and Hirotaka Ochiai, 2006, Landslides : processes, prediction, and land use, American Geophysical Union.
20. Saito, H., Nakayama, D., and Matsuyama, H., 2010, Relationship between the Initiation of a Shallow Landslide and Rainfall Intensity-Duration Thresholds in Japan, *Geomorphology* 118: 167-175.
21. Salciarini, D., Godt, J. W., Savage, W. Z., Conversini, P., Baum, R. L. and Michael, J. A., 2006, Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. *Landslides* 3(3), pp. 181-194.
22. Terzaghi, K., and Peck. R. B., 1967, Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York, pp. 425.
23. US Homeland Security, 2013, National Response Framework.
24. Wilson, R. C., and Wiczorek, G. F., 1995, Rainfall threshold for the initiation of debris flows at La Honda, California, *Environmental and Engineering Geoscience*, 1(1), pp. 11-27.
25. Yagi, N. and Yatabe, R., 1987, Prediction Model of Slope Failure in Sandy Soil due to Rainfall, Proc., 8th Asian Regional Conf., Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp. 217-220.
26. 강원도, 2004, 영월지역 수해방지 종합대책 수립 보고서.
27. 강원도, 2008, 대화천 하천기본계획 보고서.
28. 건설교통부, 2001, 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구.
29. 건설교통부, 2005, 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발 1차년도 보고서.
30. 건설교통부, 2006, 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발 2차년도 보고서.
31. 건설교통부, 2007, 임진강 강우레이더 시스템 최적화 연구용역.
32. 건설교통부, 2007, 홍수량 산정기법 가이드라인 보고서.
33. 경기개발연구원, 2011, 영국의 홍수매뉴얼 벤치마킹, GRI 정책이슈.
34. 경제·인문사회연구회, 2014, 안전혁신 마스터플랜 기본 방향 및 주요 해외사례.
35. 국립기상연구소, 2008, 레이더 활용기술(II).
36. 국립방재교육연구원, 2010, 소하천 홍수모형 선정 및 적용성 검토.
37. 국립방재연구소, 2000, 사면붕괴 방지대책 제도화를 위한 기본방안연구.
38. 국립방재연구소, 2002, 사면붕괴의 유형별 원인과 저감대책 연구.
39. 국민안전처, 2015, '15년도 안전마을 만들기 사업 추진계획.

40. 국토연구원, 2005. 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구.
41. 국토해양부, 2012, 설계홍수량 산정요령(안).
42. 권건주, 한기위, 백민호, 2009, 지역방재력 향상을 위한 방재마을 만들기 활성화 방안에 관한 연구, 한국방재학회논문집 9(5), 47-56
43. 권오상, 2012, M2M(사물지능통신) 발전 방향과 과제, Journal of Communication & Radio Spectrum.
44. 권욱, 2005, 소집단 재난관리 리더십 육성방안, 한국위기관리논집 1(1), 117-128.
45. 김경석, 2008, 토석류 발생 지형과 유발 강우 특성 분석, 대한토목학회논문집, 28(5C), pp. 263-271.
46. 김경수, 김원영, 채병곤, 조용찬, 2000, 강우에 의한 산사태의 지질공학적 특성 -충청북도 보은지역-, 대한지질공학회지, 10(2), pp. 163-174.
47. 김병식, 홍준범, 김형수, 윤석영, 지형분석모형과 강우레이더를 이용한 돌발홍수 모형 개발 I:방법론 및 모형의 개발, 대한토목학회논문집, 27(2), pp.151-159.
48. 김산, 2005, 산지 소하천의 돌발홍수예경보 시스템, 울산대학교 석사학위논문.
49. 김석우, 2007, 센서 네트워크 연구개발 및 상용화 사례, IITA 주간기술동향 1325호.
50. 김선정, 김건태, 정종혁, 한상욱, HEC-HMS/RAS와 HEC-GeoRAS 모형을 이용한 홍수범람 시나리오 수립 및 분석, 한국방재학회지, 13(4), pp.199-205.
51. 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 이사로, 김정환, 윤운상, 2000, 산사태 예측
52. 김재홍, 2002, 강우시 불포화 풍화토의 습윤에 의한 무한사면 안정성해석, 석사학위논문, 연세대학교.
53. 김종각, 2010, 집중강우에 따른 비탈면 안정성 해석, 석사학위논문, 관동대학교.
54. 농림부, 2003, 배수개선 농경지의 침수피해 모의시스템 개발.
55. 문정희, 윤혜철, 1997, 산사태의 발생요인과 재해 예지방법연구, 한국지역개발학회, 9(3), pp. 107-124.
56. 박석근, 2006, 홍수피해발생 잠재위험도 산정방안 연구, 인하대학교 석사학위논문.
57. 박용운, 2005, SWMM과 HEC-RAS 모형을 이용한 해안 도시 홍수예경보 시스템 구축, 부산대학교 석사학위논문.
58. 박종민, 2003, GIS를 이용한 농경지 침수피해 모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위논문.
59. 배덕효, 2002, 돌발홍수예측 모델링 기법, 한국수자원학회지, 35(4), pp.11-15.
60. 배덕효, 김진훈, 2006, 한강유역 돌발홍수 예측시스템, 한국수자원학회지, 39(7), pp. 29-35.
61. 배민기, 정규원, 박상준. 2009. 환경정보시스템을 이용한 산사태 발생위험 예측도 작성: 경상북도를 중심으로. 한국환경과학회지, 18(11), pp. 1189-1197.
62. 성충현, 2004, HEC-HMS 모형을 이용한 단위도 모형 비교연구, 서울대학교 석사학위논문.

63. 소방방재청, 2004-2013, 재해연보.
64. 소방방재청, 2008, 방재시범마을 조성을 위한 연구.
65. 소방방재청, 2008, 방재의 경제성 분석 및 국가경제 파급효과 연구 - 분석모형 Framework 설정을 중심으로 - .
66. 소방방재청, 2008, 재해위험 개선 및 이주대책사업 시행 지침 개발을 위한 연구용역 보고서.
67. 소방방재청, 2010, 방재마을 구축 및 활성화 방안에 관한 연구.
68. 소방방재청, 2013, 자연재해위험개선지구 관리지침.
69. 소방방재청, 2013, 지능형 돌발홍수예경보 시스템 개발.
70. 송재하, 2012, 홍수방어대안을 위한 중·소하천 유역의 홍수위험도 평가에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문.
71. 송창섭, 신창섭, 2005, 불포화토의 투수특성, 한국농공학회논문집, 47(4), pp. 35-41.
72. 신상영, 2013, 주민참여형 안전마을 만들기, 서울연구원 정책리포트 134.
73. 안원식, 2000, 돌발홍수지수 산정에 관한 연구, 수원대학교 산업기술연구소 논문집, 15, pp.11-19.
74. 원강호, 김재호, 유준재, 2004, 지그비(ZigBee), TTA 저널 표준기술 동향 94호.
75. 유남재, 박병수, 2001, 집중호우시 산사태 원인분석에 관한 사례연구, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 21(A), pp. 303-315.
76. 유남재, 박병수, 이명옥, 이종호, 2001, 무한사면 안정해석법을 이용한 산사태의 확률론적 모델 개발, 한국토목학회문집, 21(1C), pp. 57-68.
77. 유철상, 김경준, 2007, 강우 레이더와 지상 우량계의 통합관측효과, 한국수자원학회 논문집, 40, pp. 841-849.
78. 윤용남, 1994, 공업수문학, 청문각.
79. 이건행, 김형수, 김수전, 김병식, 2010, 강우-유출 모형의 불확실성을 고려한 돌발홍수기준, 한국습지학회지, 12(3), pp.155-163.
80. 이성진, 이혜지, 이승래, 2005, 화강풍화토에 대한 함수특성곡선 추정방법에 대한 연구, 한국지반공학회논문집, 21(1), pp. 15-27.
81. 임상준, 박승우, 1997, 논의 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회지, 30(4), pp.379-387.
82. 장종경, 2002, GCIUH 및 GIS를 이용한 산악 지역 돌발홍수예경보 시스템 구축에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문.
83. 전경수, 김병익, 2001, 돌발홍수 예경보 시스템, 한국수자원학회지, 34(2), pp.48-56.
84. 전일권, 김경수, 남일기, 박성천, 이관영, 2010, 하천관리실무, 동화기술.
85. 정상섭, 최재영, 이재환, 2009, 지속강우특성에 따른 불포화 풍화토사면의 안정성분석, 대한토목학회논문집, 19(1C), pp. 1-9.
86. 조성은, 이승래, 2000, 강우침투에 따른 불포화 토사사면의 안정해석, 한국지반공학회논문집, 16(1), pp. 51-64.

87. 조성은, 이승래, 2000, 강우특성을 고려한 사면의 표면파괴에 대한 안정성 평가, 한국지반공학회논문집, 16(5), pp. 107-116.
88. 중앙안전관리위원회, 행정안전부, 2010, 국가안전관리기본계획(2010-2014).
89. 차경섭, 2004, 다중셀과 지형지수를 이용한 광역 산사태 위험지 예측, 박사학위논문, 서울대학교.
90. 평창군, 2012, 평창군 풍수해저감종합계획.
91. 한국과학기술기획평가원, 2013, 2013년도 정부연구개발예산 현황분석.
92. 한국방송통신전파진흥원, 2014, 무선 센서 네트워크 기반 IoT를 위한 통신 기술, 방송통신기술 이슈&전망 제37호.
93. 한국전파진흥협회, 2009, 미래사회 전파이용촉진 및 확산을 위한 정책방안 연구.
94. 한국지방행정연구원, 2014, 제3차 국가안전관리기본계획 수립방안에 관한 연구.
95. 한국토지주택연구원, 2011, LID기술을 이용한 홍수저감 효과 분석.
96. 행정안전부, 2008, 국가안전관리계획 기능 강화 방안 연구.
97. 행정안전부, 2009, 국가안전관리기본계획 (2010~2014).