



이종국

이주대학교 건설시스템공학과  
연구교수 박사  
jongkook153@gmail.com

JOURNAL OF DISASTER PREVENTION

## ICT 를 활용한 실시간 도시홍수 상황관리

### 머리말

마른장마로 예상되던 2016년 장마는 7월 초 전국에 200mm 이상의 비를 뿌리며 이곳저곳에 홍수피해를 가져왔다. 올해 장마가 강해진 이유를 엘니뇨나 라니냐의 영향으로 보는 분석도 있지만 구체적인 증거는 불충분하다. 장마는 계절이 바뀌면서 인도 중국 대만 우리나라 일본에 걸쳐 매년 6월 초부터 7월 말까지 발생하는 기상현상이다. 특히 이번 장마는 중국 중남부에 오래 머물면서 큰 홍수 피해를 일으켰고 3조원 이상의 피해와 150명 이상의 사망자를 발생하였다.

2015년에 마른장마와 이상가뭄을 경험했던 우리는 6월 달 강우량이 평균의 반에도 미치지 못하자 작년과 같은 상황이 재개 될 까봐 노심초사 하였다. 그러나 7월1일 부터 시작된 본격적인 장마로 이곳저곳에서 물난리를 겪었다. 서울시 중랑천과 한강주변 저지대는 침수로 교통이 통제되고 전국의 여러 곳에서 산사태가 발생하였다. 특히 영동선을 오가는 무궁화 열차의 탈선소식은 듣는 이의 간담을 서늘하게 했다. 집중호우로 물러진 경사면에서 큰 바위덩어리가 철로로 떨어져 대형 사고로 이어질 뻔 했으나 다행히 기관사의 재빠른 대응으로 인명피해 없는 탈선사고로 마무리 되었다.

장마는 보통 전선을 이루면서 남북으로 진동하기 때문에 국부적인 집중호우의 가능성은 언제나 있다. 그런데 최근의 장맛비는 예전과는 좀 다른 모습을 보인다. 7월 1일 오후 2시경 서울 신촌지역에 쏟아진 시간당 30mm 비로 연세대학교 도서관 지하가 침수되는 사고가 있었다. 시간당 30mm 비는 고작 확률빈도가 1.3년 밖에 안 되는데 왜 이런 물난리가 났을까? 여러 가지 이유를 찾을 수 있겠지만 이번 장맛비의 초단기 집중호우에 무게가 실린다. 이같이 도시홍수의 원인이 되는 집중호우의 패턴이 변하고 있는 상황에서 도시홍수방어를 위한 현실적인 대안은 무엇인지에 대해서 논의하고자 한다.

### 지구온난화와 도시홍수의 증가

지구온난화로 인한 기후변화의 단면을 깊이 살피지 않더라도 몇 가지는 쉽게 떠올릴 수 있다. 인

류의 산업 활동으로 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 농도가 계속 높아질 경우 파리기후협약에서 제시한 평균기온 상한선 목표인 2°C 달성하지 못할 수 있다. 더구나 이번에 새롭게 제시된 전략적 목표인 1.5°C 유지는 난관에 봉착할 가능성이 크다. 지구온난화로 인한 기후변화로 해수면은 상승하고 홍수와 가뭄은 심화될 것이다.

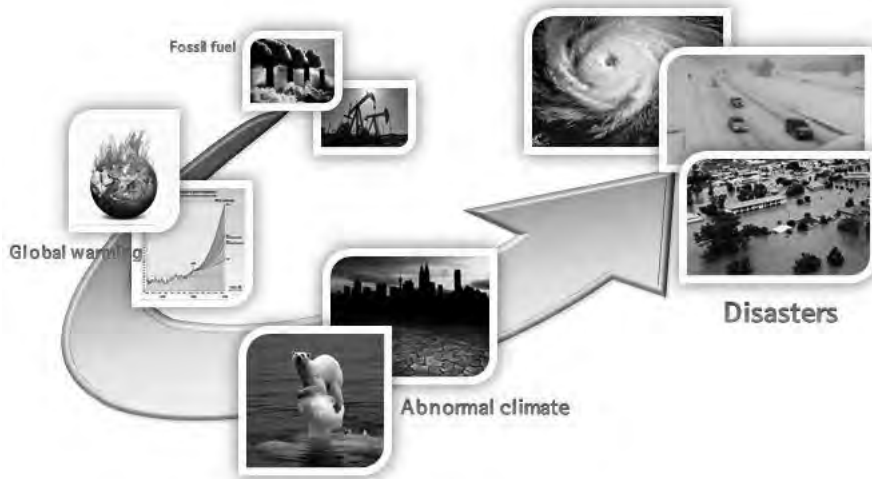


그림 1. 지구온난화로 더 심각해지는 재난상황 개념도

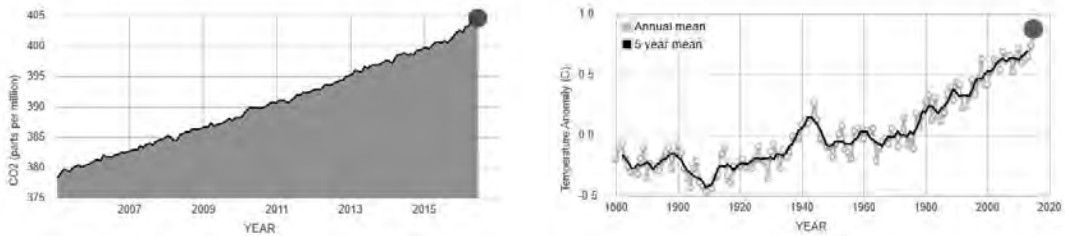


그림 2. 현재시점(2016. 06) 지구 이산화탄소 농도(404.48ppb)와 평균기온 상승분(0.87°C)

미국 NASA 자료 (<http://climate.nasa.gov/vital-signs/>)

학자들에 따르면 한반도에서 기후변화로 년 강수량의 증가는 상대적으로 크지 않으나 변동성이 훨씬 증가하는 것으로 연구결과가 나오고 있다. 즉 강수량의 변동성이 커지면 홍수와 가뭄이 더 빈번하게 나타나고 그 진폭이 커지면서 피해를 입을 확률은 증가한다. 즉 큰비가 올 경우 단기간에 걸쳐 집중호우로 나타날 확률이 더 커지는 것이다. 앞서 연세대학교 침수사고의 경우처럼 시간당 30mm의 호우가 10분당 5mm씩 오는 게 아니라 10분당 15mm 씩 단지 20분 만에 오는 형태가 된다. 이렇게 호우의 양상이 바뀌면 전체의 양은 같더라도 집중도가 달라지기 때문에 문제가 발생한다. 특히 도시지역에서는 이 문제가 더 심각해진다.

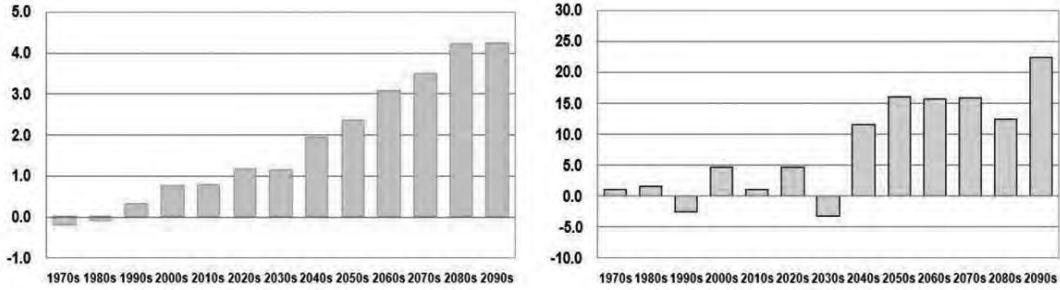


그림 3. 한반도 지역의 기온과 강수량 변화 예측  
기상청 자료 ([http://web.kma.go.kr/4rivers/sub\\_02\\_01.jsp](http://web.kma.go.kr/4rivers/sub_02_01.jsp))

우리나라 도시의 수방시설물, 즉 도로측구, 배수로, 배수펌프장, 우수관, 물받이, 집수정 등등 우수배제를 위한 시설물의 설계는 확률빈도 개념에서 이루어진다. 수방시설물의 설계빈도는 그 중요도에 따라 5년에서 30년 빈도로 설정된다. 서울시의 5년 빈도 한 시간 확률강우량은 62.1mm 이지만 대규모 침수피해가 있었던 강남역 주변은 시간당 49mm 에 불과했다. 물론 추후 조사를 통하여 강남역 주변의 우수관로가 문제가 있는 것으로 밝혀졌지만 원인은 단지 관로의 문제만이 아니다. 즉 1시간보다 짧은 집중호우 현상이 도시홍수 문제를 어렵게 하고 있다.

## 호우 예·경보 기준과 도시홍수방어 실패

장마철 정부나 지자체의 수방대응은 기상청의 호우 예·경보에서 시작한다. 기상청이 발표하는 호우예보는 6시간 강우량이 70mm, 12시간 강우량이 110mm를 넘을 것으로 예측될 때 발표한다. 호우경보는 6시간 강우량이 110mm, 12시간 강우량이 180mm를 넘을 것으로 예측될 때 발표한다. 호우의 원인이 무엇인지에 상관없이 위의 기준에 따라 예·경보를 시행한다. 따라서 6시간 총강우량이 1시간에 10mm 이상 꾸준히 나뉘어서 오거나 아니면 70mm 가 한 시간에 오는 것과 상관없이 호우주의보가 발령된다.

도시홍수방어의 측면에서 볼 때 호우 예·경보가 강수량의 시간적 분포 없이 발표되기 때문에 홍수가 발생할지 안할지를 여부를 판단하기 어렵다. 우리나라에서 도시유역은 도달시간이 40분 이내로 6시간 호우 예·경보의 의미는 크게 없다. 도시홍수산정을 위한 실제적인 호우 예보가 되기 위해서는 강우량의 시간적 분포가 주어져야 가능성을 판단할 수 있을 것이다. 연세대의 예처럼 10분 단위 강우의 집중현상으로 인한 도시홍수방어는 현재와 같은 호우 예·경보 체제에서는 예측하기 어렵다. 물론 기상청도 좀 더 자세한 호우 예·경보를 내고 싶겠지만 현재수준의 예보기술 한계로 초단기 호우 예·경보의 실시는 어려움이 많다.

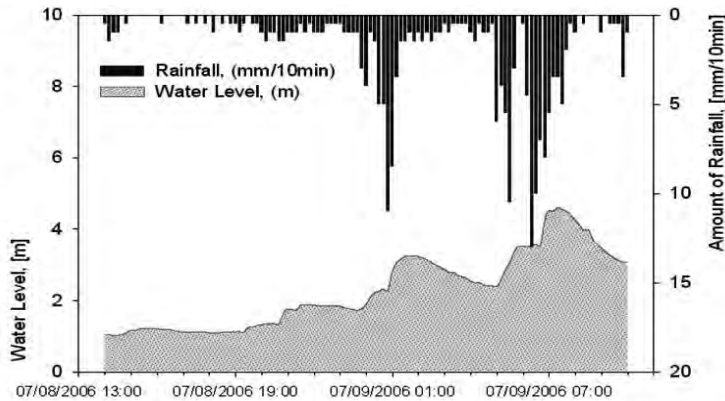


그림 4. 도달시간이 짧은 도시홍수 구역의 수문곡선의 예  
 (부산대 신현석 교수 논문에서 인용 <http://j-kosham.or.kr/journal/article.php?code=20710>)

큰 그림으로 보면 호우 예·경보를 통하여 도시홍수 발생유무를 판단하는 것이 맞지만 실상은 실패의 확률이 높다. 그 이유는 도시홍수 발생유무가 단기간의 집중호우에 의해서 발생하는 확률이 점점 커지고 있고 실제로 여기에 맞는 예·경보 할 수 있는 방법이 마땅치 않기 때문이다. 따라서 도시홍수방어를 위한 접근법은 기존의 호우 예·경보에 의존하는 방식에서 벗어나 새로운 접근방식이 요구된다. 즉 X-band를 이용한 도시의 초단기 집중호우 감시, LID를 이용한 도시홍수 저감 방안 수립, AUV와 Drone를 이용한 도시홍수 피해 파악과 이 글에서 말하고자 하는 ICT를 활용한 도시홍수방어 등의 새로운 접근법이 필요하다.

## 도시홍수방어를 위한 새로운 접근법의 필요성

도시홍수방어를 위한 문제점에서 지적했듯이 최근 도시지역 집중호우의 증가 경향과 도시홍수방어에 맞지 않는 현재의 호우 예·경보 발령기준은 도시홍수방어를 위한 새로운 접근법을 필요로 한다. 다시 말하면 집중호우로 인한 도시 침수피해가 갈수록 빈번해지는 상황에서 어떻게 집중호우로 인한 도시홍수 발생 상황을 신속히 탐지하고 그에 따른 적절한 대응을 할 것인가? 와 어떻게 하면 1시간 보다 짧은 초단기 호우 예·경보를 수행할 수 있을까? 로 모아진다. 첫 번째 질문에 대한 답은 ICT를 이용한 실시간 도시홍수 상황관리 같은 방법이 필요하다. 두 번째의 경우는 근거리 X-band 강우레이더의 도입 등과 같은 접근법이 필요하다. 이와 같은 접근법은 우리나라 도시홍수의 특성을 반영하여 1시간 이내의 집중 호우 예·경보를 실행하는 것과 같은 의미를 지닌다.

7월 1일 서울의 장맛비를 예로 들면 시간당 30mm의 비는 총강우량이 50mm 정도를 기록하며 단 시간 내에 그쳤다. 시간당 30mm 강우는 서울지방의 확률강우빈도 1.3년에 해당하는 강우량이다. 소규모 수공구조물 설계빈도인 5년 빈도 62.1mm에도 이르지 못하는 양이었다. 따라서 도시홍수방어를 위한 전략은 한 시간 내의 강우량을 변화, 즉 1시간 보다 짧은 기간의 강우량의 변화를 포착해야 그로 인한 도시홍수피해의 가능성을 포착할 수 있다. 즉 집중호우로 인한 피해를 저감할 수 있는 새로운 전략이 수립되어야 한다.

연세대 도서관이 위치하고 있는 서울 신촌지역과 가까운 AWS 지점이 서대문지점과 한강지점이다. 이 당시 두 곳의 15분 강우강도의 변화를 살펴보면 7월1일 15시30분과 35분에 서대문지점은 18.5mm, 22.5mm 한강지점은 22.5mm, 24.5mm 를 기록하였다. 이 값들은 소규모 우수배제 수공구조물의 설계빈도인 5년을 넘는 양이다. 즉 1시간 강우강도는 30mm로 1년 빈도에 머물지만 15분 강우강도가 5년 빈도 이상으로 배수로의 설계기준에 상회했고 결과적으로 우수가 배수관을 넘쳐 도서관 지하로 유입된 것으로 판단된다. 이런 사실은 이날 도서관이 침수된 사실을 보도한 인터넷 신문 노컷뉴스의 기사내용의 침수시간과 정확히 일치한다. ‘연세대와 연세춘추 및 학생들에 따르면, 이날 오후 3시 30분쯤 중앙도서관 지하 1층에 별안간 비가 들어쳐 천장이 무너지고 매점과 일부 강의실 등이 침수됐다’.

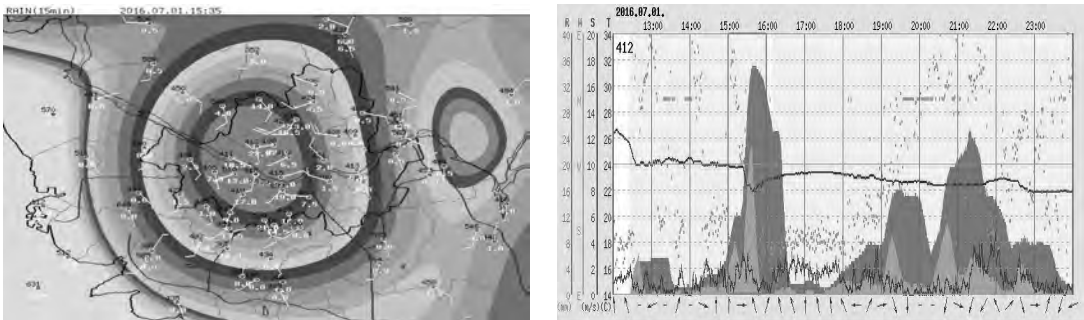


그림 5. 2016년 7월1일 연세대 도서관 침수사고를 가져온 서울 신촌지역 초단기 집중호우 기상청 AWS 자료 ([http://www.kma.go.kr/weather/observation/aws\\_distribution\\_popup.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/aws_distribution_popup.jsp))

도시홍수피해의 새로운 양상은 최근 몇 년간 다양하게 나타나고 있다. 2014년 8월 25일 부산지역의 집중호우 피해는 금정구의 AWS지점에서 1435분에 시간당 130mm를 기록하였고 이 양은 확률 빈도 350년에 해당하는 엄청난 양이다. 이때 15분 최대 강우량도 29.5mm로서 약 20년 빈도에 해당한다. 이날 금정구에 위치한 온천천 주변 저지대에서는 엄청난 침수 피해를 겪었고 그때의 홍수상황은 수자원학회지 특집에서 자세히 다루었다(수자원학회지 2014년 10월호). 이 날 대도시 지역인 부산의 홍수상황과 피해는 시민들의 SNS 제보와 미디어의 보도로 상세하게 알려졌다.

그런 반면에 고리원전2호기 펌프장의 침수피해는 별로 알려진 내용이 없다. 하지만 이날 고리

원전이 위치한 기장지점의 15분 최대 강우량은 1510분에 40mm를 1시간 최대 강우량은 1515분에 117.5mm를 기록하였다. 확률강우빈도로 보면 15분은 200년 이상의 빈도 1시간은 165년 빈도의 기록적인 강우였다. 이 날 상황을 보도한 허핑톤포스트의 기사에 의하면 1554분께 고리원전2호기의 취수장 건물이 약 70cm 정도 침수되어 고리원전 2호기를 수동으로 멈췄다고 보도하였다. ‘한국수력 원자력은 지난 25일 오후 3시 54분께 부산시 기장군 장안읍에 있는 고리원전 2호기의 취수건물이 70cm가량 침수하는 바람에 취수 펌프가 멈춰 고리 2호기를 수동으로 정지했다고 26일 밝혔다’.

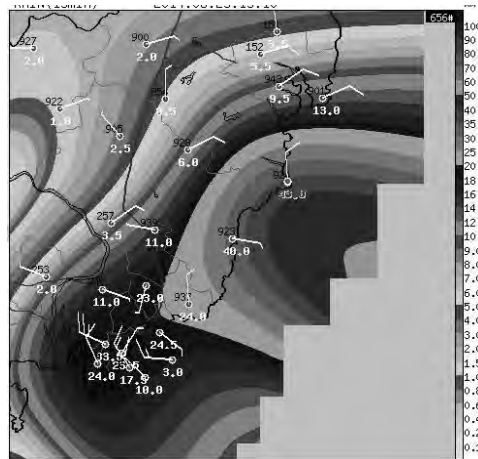


그림 6. 2014년 8월25일 1510분 부산 기장에서 15분 지속기간 강우 분포 (40mm/15분)

이와 같이 최근의 도시홍수 피해는 1시간 이내의 집중호우로 인한 피해가 그 주를 이루고 도시홍수방어를 위한 새로운 접근법은 새로운 상황에 어떻게 접근할 수 있을지가 관건이 된다. 원전시설의 설계빈도는 일반 도시의 우수배제 시설의 설계기준과는 많이 다르다. 그러나 어느 강우 지속기간을 기준으로 선택하느냐에 따라서 단기간의 집중호우에 일부시설의 침수가능성은 있다. 실제로 기장에서 15분 동안 40mm가 내린 강우는 한 시간으로 환산하면 160mm에 해당하는 양으로 확률빈도가 무려 2000년이 넘는 어마어마한 양이다. 물론 어디서나 수공구조물의 설계빈도를 이 정도의 양도 감당할 수 있도록 강화할 수 있지만 경제적 측면과 사용성 면에서 생각할 수 없는 안이다. 따라서 새로운 도시홍수방어 전략은 집중호우가 발생할 때 홍수피해를 최소화 할 수 방법에 초점이 모아지고 이를 위해서 새로운 도시홍수방어를 위한 접근법을 필요로 한다.

## 도시홍수방어를 위한 ICT 활용 : 스마트빅보드

앞서 설명한 것처럼 새로운 도시홍수 양상에 대응하고 피해를 저감하기 위한 방안으로 수공구조

물의 설계빈도를 상향하고 대응하는 것은 시간을 갖고 점진적으로 진행해야 한다. 서울시와 같이 배수펌프장의 설계빈도를 30년으로 상향하고 운전능력을 올리고 있지만 이미 설계된 도시의 수공구조물을 일시에 바꾼다는 것을 천문학적인 투자를 의미한다. 따라서 변화된 양상에 적응하기 위한 전략적 접근법은 설계기준을 상회하는 집중호우가 발생할 경우 도시홍수 피해가 발생할 수 있음을 인식하고 피해를 최소화 할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 특히 도시홍수로 인한 재산피해 예방도 중요하지만 인명피해가 발생하지 않도록 신경 쓰며 도시홍수의 발생 가능성과 함께 하는 지혜가 필요하다.

이런 의미에서 초단기 집중호우에 의한 도시홍수 피해 발생의 유무를 사전에 판단할 수 있는 수단이 절실히 요구된다. 국립재난안전연구원은 2012년부터 스마트기술과 빅데이터를 융합하여 실시간으로 재난상황관리를 수행할 수 있는 스마트빅보드를 개발하여 왔다. 최신의 ICT 기술을 도입한 스마트빅보드는 각종 센서와 CCTV에서 들어오는 정보를 한데 묶고 정부기관과 민간에서 생산하는 재난관련 빅데이터 정보를 융합하여 입력된 정보를 바탕으로 인공지능을 통하여 재난상황을 판단할 수 있도록 하였다. 집중호우가 발생할 경우 어느 지역이 홍수피해의 가능성이 높은지를 즉시 파악할 수 있다. 동시에 침수로 인한 교통체증의 유무, 재난지역에서의 실시간 영상중계, 재난관련 실시간 양방향 소통 등 재난상황을 스마트하게 관리하고자 하는 모든 요소가 포함된 실시간 스마트 재난상황관리 시스템이다.



그림 7. 실시간 스마트 재난상황관리 시스템 : 스마트빅보드

스마트빅보드는 재난상황판단에 필요한 각종 정보를 한곳에 모아 필요한 정보를 추려내고 재난의 원인을 확인한 후 현재의 상황을 모니터링 할 수 있도록 구성되어 있다. 도시홍수 탐지의 과정을 예로 들면 강우레이더를 통하여 서해상의 강한 비구름대가 육지로 유입되면 해당 지역 AWS 정보를 확인한 후 침수흔적도와 비교하면서 도시홍수 상황 발생을 탐지하게 된다. 도시홍수 상황으로 판

단되면 수천 개 달하는 CCTV와 교통상황을 보면서 눈으로 재난상황을 파악한다. 그러나 이 정보로 충분하지 않을 경우 시민들의 SNS 공유정보를 조회하여 더 구체적인 상황파악에 나선다. 이런 과정을 거쳐 재난현장의 상황이 파악된 후에는 현장의 피해내용 파악과 복구를 위해 관계자를 파견했을 때는 스마트빅보드 앱을 사용하여 현장에서 직접 실시간으로 동영상을 스마트빅보드로 전송하면서 동시에 그 앱을 통하여 각종 지시와 정보를 주고받을 수 있다.



그림 8. 자유자재로 상황을 설정하여 스마트한 상황관리가 가능한 스마트빅보드  
(국립재난안전연구원 스마트빅보드 <http://sbb.ndmi.go.kr>)

## 국민과 정부가 함께하는 새로운 도시홍수방어 전략

하이티의 대지진 피해 복구사례, 미국의 허리케인 샌디 피해 복구사례를 통하여 SNS가 각국 정부기관의 재난극복 노력을 넘어 재난상황의 파악과 피해복구에 얼마나 큰 힘을 발휘했는지를 잘 알 수 있었다. 우리나라의 경우도 2012년 강남역 침수피해, 2014년 부산 대구모 도시홍수 침수피해 그리고 이번 장마철 연세대 도서관의 침수사태에서 재난이 발생할 경우 SNS를 통하여 재난정보를 실시간으로 공유할 수 있었다. 이렇게 국민들이 자발적으로 참여하여 재난정보를 생산하고 공유하는 행동을 집단지성(crowdsourcing) 이라 한다. 이 집단지성을 잘 활용하면 도시홍수방어 전략수립에 있어 획기적인 전기를 마련할 수 있다. 왜냐하면 그 어떤 시스템도 바로 내 눈앞에 펼쳐지고 있는 재난상황을 효과적으로 모니터링 할 수는 없기 때문이다.





그림 9. 집단지성을 활용하는 새로운 재난상황관리 개념도

2014년 8월 25일 부산 금정구에 시간당 130mm, 확률빈도 350년의 폭우가 쏟아 졌을 때 부산 온천천에 설치된 지하체의 모니터링 시스템은 대부분 침수되어 피해상황을 파악할 수가 없었다. 하지만 시민들은 이러한 급박한 상황을 SNS를 통하여 생생히 중계함으로써 어디서 어떻게 상황이 전개되고 있는지 어떤 피해가 발생하였는지를 잘 보여주었다. 이런 상황은 부산시가 모든 가구에 재난용 CCTV를 설치하는 것보다 더 큰 효과를 볼 수 있는데 왜냐하면 현장의 모습만이 아니라 재난상황에 대한 평가와 의견을 함께 공유하기 때문이다. 즉 우리 동네 앞 골목은 얼마나 물이 빨리 들어오는지, 우리 동네 하천변은 과거에 얼만 cm 침수가 되었는지, 우리 동네 공사장 어떤 곳이 침수가 잘 되는지, 우리 동네 주변 지하철역으로 어떻게 빗물이 들어오는지 등등 우리의 생활공간 전반에 걸친 살아 있는 재난정보를 공유할 수 있기 때문이다.

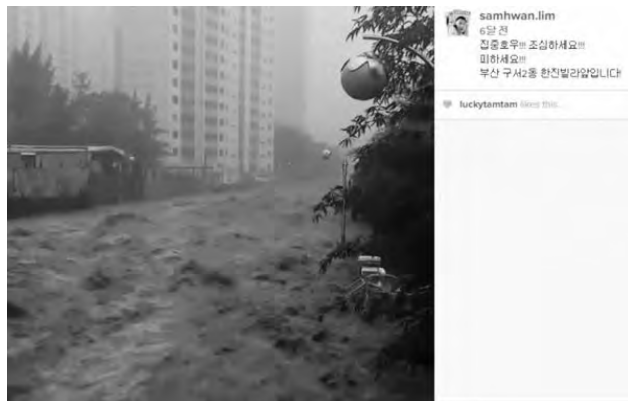


그림 10. 2014년 8월 24일 부산 온천천 도시홍수 상황을 알리는 SNS(트윗)의 예

도시홍수방어를 위한 목적으로 집단지성을 이용할 경우 그 파급효과가 클 수밖에 없다. 왜냐하면 지금은 1인 1스마트폰 시대이기 때문에 도시지역은 인구수만큼 스마트폰이 보급되어 있다고 해도 과언이 아니다. 이것은 마치 부산에 500만대 이상의 재난상황용 CCTV를 설치한 것과 같은 효과를 볼 수 있다. 재난현장에 대한 지식과 경험이 포함된 국민이 생산한 재난정보는 정부 주도의 재난상황관리 패러다임을 양방향 소통이 가능한 방식으로 바꿀 수 있는 혁신적 접근법이다.

기후변화 시대의 도시홍수의 패턴은 집중호우 피해가 빈발하고 정부가 효과적으로 대처하기에는 시간적, 공간적 제약이 있는 현실에서 시민들의 집단지성을 적극적으로 수용한 새로운 접근법이 미래지향적인 도시홍수방어 전략이다. ‘구슬이 서말이라도 꿰어야 보배’ 라는 말이 있다. 스마트 기술 사회를 살아가는 우리가 도시홍수방어를 위해서는 무엇을 해야 할 지가 자명해졌다. 흩어진 구슬을 한데 모으고 열심히 꿰어서 도시홍수방어를 위한 보배로 바꾸는 노력이 필요한 시점이다.

## 맺음말

스마트빅보드와 같이 스마트기술, 빅데이터 그리고 집단지성을 기반으로 하는 새로운 도시홍수방어 전략은 정부가 최우선 정책과제로 추진하고 있는 정부 3.0에 취지에도 잘 부합한다. 정부 3.0은 개방·공유·소통·협력으로 국민과 정부가 새로운 세상을 열고 국민 개개인에게 맞춤형 서비스를 열고자 하는 것이다. 스마트빅보드는 바로 정부 3.0에 철학에 아주 잘 맞는 새로운 도시홍수방어 전략으로서 정부와 국민이 재난정보를 개방하고, 서로가 공유하며, 소통할 수 있는 공간을 마련하고 도시홍수방어를 위한 적극적 협력을 가능하도록 하는 플랫폼이다. 국민과 정부가 도시홍수방어를 위하여 이 개념을 적극적으로 실천한다면 날로 늘어나는 도시홍수 피해를 회피하거나 적어도 최소화 할 수 있는 도시홍수방어 전략으로 자리매김 할 수 있을 것이다.