

모바일 GIS를 이용한 홍수 위험 경고 서비스 구현

박종덕* · 구자용**

Implementation of Flood Warning Service with Mobile GIS

Jong Duk Park* · Cha Yong Ku**

요약 : 도시화와 기후 변화의 영향으로 홍수의 발생빈도와 피해규모가 점점 커지고 있다. 본 연구는 홍수 피해 저감 대책의 일환으로 집중호우가 발생할 때 침수위험지역에 있는 스마트폰에 위험 신호를 전송하여 사용자가 신속한 대처를 할 수 있도록 유도하는 모바일 GIS 서비스를 구현하였다. 오픈소스 소프트웨어를 이용하여 시스템을 구성하여, 모바일 환경에서 서버와 클라이언트 간의 위치 정보를 이용한 GIS 분석 기능을 구현하였다. 본 연구의 결과 홍수 위험 경고와 같은 재해 분야에 모바일 GIS 서비스를 효과적으로 이용할 수 있다. 모바일 GIS 서비스는 도시의 홍수 위험을 예방하는 효율적인 방재 대책이 될 수 있다.

주요어 : 모바일 GIS, 홍수 경고 서비스, 스마트폰, 오픈소스 GIS 소프트웨어

Abstract : Partly due to the climate changes, flooding occurs more often than before. Particularly high urbanization causes more damages by flooding with unexpected downpours. Recent mobile telecommunication technology can help to reduce the damage by a natural disaster with quick alarming process. This research aimed to implement a flood warning GIS service system based on open source software and mobile hybrid application program with LBS. The developed system utilized location information of mobile clients for smart phone users to get alerted to flooding immediately. This service system would be very useful in urban areas to reduce the flood damages.

Key Words : mobile GIS, flood warning service, smart phone, open source GIS software

1. 서론

우리나라에서 주로 여름철에 집중적으로 발생하는 홍수는 해마다 많은 인명과 재산의 피해를 입히고 있다. 최근에는 기후변화와 지구온난화의 영향으로 홍수의 발생빈도가 커지고, 그 피해 규모도 증가하고 있다. 홍수로 인한 피해를 줄이기 위한 방안으로 과거에는 제방, 댐, 저수지 등 구조물적 대책을 세워 홍수를 대

비하는 방안이 주로 적용되었으나, 대책 이후에도 홍수는 지속적으로 발생하였으며 최근의 국지성 집중 호우로 인해 구조물적인 대책의 한계에 직면하였다. 이에 비구조물적 대책의 일환으로 홍수위험지도의 효용성이 인식되었다(Ha *et al.*, 2010). 홍수위험지도는 피해가 예상되는 침수지역에 대해 침수 시간 및 정도 등을 표현한 지도로 도심 취약지에 대해 주로 제작된다(Lee *et al.*, 2009). 이 지도는 홍수방재계획과 주민대피계획 수립 및 홍수시 주민대피 안내도로 활용될 수

* 국토연구원 국토인프라·GIS연구본부 연구원(Researcher, Korea Research Institute for Human Settlements), bbollong@paran.com

** 상명대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Sangmyung University), koostar@smu.ac.kr

있다. 또한 재해에 대한 응급대책의 일환으로 홍수 예·경보시스템을 운영하고 있다. 홍수 예·경보시스템은 그 하부 시스템으로 모니터링시스템, 예측시스템, 의사결정시스템을 포함한다(Lee, 2006). 모니터링시스템에서 수위 및 우량관측소로부터 관측된 자료를 수집하고 분석하여 예측시스템을 통해 강우분석 및 홍수 예측을 수행하며, 의사결정시스템을 통해 홍수 예·경보를 수행하여 침수취약지역의 주민이 사전에 대피할 수 있도록 함으로써 인명 및 재산피해를 줄이기 위해 노력하고 있다.

그러나 이와 같은 노력에도 불구하고, 인구가 밀집해 있는 도시지역의 피해는 증가하고 있다. 대부분의 상업시설과 주거시설이 밀집된 도시 공간의 특성상 한번 피해가 생기면 대규모의 피해로 이어지는 것이 최근의 경향이다. 따라서 홍수위험지도나 홍수 예·경보시스템 등의 기존 홍수피해 저감대책과 더불어 새로운 방안의 도입 검토가 필요한 시점이다. 즉 기존의 정적인 홍수 예·경보시스템과 달리 실시간으로 지역주민에게 홍수 정보를 제공할 수 있는 방안을 마련해야 한다.

최근 급속도로 확산되고 있는 스마트폰을 이용한 홍수 정보 서비스가 그 대안이 될 수 있다. 스마트폰 열풍으로 일컬어지는 모바일 시장의 급속한 팽창으로 스마트폰 국내 이용자 수는 2011년 3월에는 1천만명, 2011년 10월에는 2천만명을 넘어섰다(Seoul Economy, 2011). 또한 스마트폰 시장의 팽창과 더불어 관련 기술도 다양해지고 발전하고 있다. 최근에는 증강현실, 소셜 네트워킹 서비스(SNS, Social Networking Service) 등이 각광 받으며 그 활용도 역시 다양해졌다. 이와 같이 스마트폰은 사람들과 매우 밀접한 관계를 맺고 있고, 활용도가 날이 다양해지고 있으므로 이를 통해 홍수의 위험을 미리 알려준다면 홍수로 인한 재산 및 인명 피해 감소에 크게 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 도시 홍수피해 저감대책의 일환으로 집중호우가 발생할 때 침수취약지역에 있는 스마트폰에 위험 신호를 전송하여 스마트폰 사용자가 신속한 대처를 할 수 있도록 유도하는 서비스 시스템 모형 구현방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 오픈 소스 소프트웨어를 활용하여 GIS 서버를 구축하고, 안드

로이드 운영체제에서 배포 가능하도록 모바일 하이브리드 애플리케이션을 설계하였다. 또한 지도 매쉬업(Mash-up) 서비스를 기반으로 하여 침수취약지역과 스마트폰 좌표의 교차 여부, 가까운 대피소 찾기, 대피소까지의 최단경로 분석 등의 기능을 수행할 수 있도록 WMS(Web Map Service), WFS(Web Feature Service), WPS(Web Processing Service) 서비스를 이용해 시스템을 구현하였다.

2. 선행 연구검토

1) 홍수 예·경보 체계

우리나라 정부는 홍수로 인한 피해를 줄이기 위하여 홍수 예·경보시스템을 운영하고 있다. 이는 비구조물적인 홍수 피해를 줄이기 위한 방안 중 하나로서 1974년 한강 홍수 예보시스템의 수문학적 모형을 개발하고 운영하면서 시작되었다(Ministry of Construction and Transportation, 2006). 현재는 한강홍수통제소 뿐만 아니라 낙동강, 금강, 영산강 등 주요 하천통제소에서 이를 구축하여 관리·운영하고 있다. 홍수 예·경보시스템은 대부분 인구 및 산업이 밀집한 도시지역을 대상으로 하고 있으며, 관련한 주요 연구사례를 살펴보면 다음과 같다.

도시지역의 홍수 예보를 위한 모델개발은 국내 고유의 모델 개발보다는 국외에서 검증된 모형을 국내에 도입하여 도시 홍수 예보를 하려는 노력이 시도되고 있다(Lee, 2005). 이러한 도시 홍수 예보와 더불어 도시 내배수의 해석모형을 개발하기 위해서는 많은 관측 자료가 요구되며, 이들 자료의 부족으로 내배수의 해석에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 모델에서 필요한 기본지형조건을 고해상도의 LiDAR 자료를 사용하는 등 자료의 정확도 및 정밀도를 높여 분석의 정확도를 높이는 연구도 진행되었다(Park and Choi, 2011; Ha *et al.*, 2010).

또한 기상레이더를 이용하여 강우량을 추정하고 이러한 결과를 도시 홍수 예보에 활용하기 위한 연구도

진행되고 있다. Bae(2006)는 기상청의 기상 레이더의 자료구조 및 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 산출현황을 분석하고, 이들 레이더 강수량의 수문 홍수 예보에 대한 활용 유무를 검토하였다. 또한 Ministry of Construction and Transportation (2006)는 “도시 홍수 예·경보 및 침수 예측 기술” 연구를 통하여 기상청 강우 예보를 연계한 도시지역 홍수 예·경보의 정확도를 개선하는 연구를 진행하였다.

나아가 홍수 예측시스템 개발을 위한 Korea Meteorological Administration(2005)의 연구에서는 한강유역의 실시간 돌발홍수능(FFG, Flash Flood Guidance) 운영체계를 구축하였고, 개발한 FFG 시스템의 통합운영 및 검증에 관한 연구를 수행하였다. 또한 Bae and Kim(2007a, 2007b)도 한계유출량, 특정유역의 토양수분 상태 및 레이더 추정강우 등으로부터 한강유역의 FFG를 계산할 수 있는 한국형 돌발홍수 예경보시스템(KoFFG, Korea FFG)을 개발하기 위한 연구를 수행하였다. 이들은 국내 한강유역의 과거 홍수자료를 조사·분석하고 구축한 FFG 시스템의 정확도를 분석한 결과 실제 발생했던 돌발 홍수를 사전에 매우 정확하게 예측할 수 있는 것으로 검토하였다(Central Civil Defense and Disaster Management Institute, 2009).

이상과 같이 기존의 홍수피해 저감을 위한 연구는 과거 홍수 피해지역이나 침수 취약지역을 조사·검토하고, 관련 자료를 수집한 후 홍수범람 해석을 실시하여 정확한 침수시나리오를 작성하는데 초점을 두고 있다. 즉 홍수범람을 해석할 때 가장 현실을 잘 반영할 수 있도록 강우, 수위 등을 예측하고, 분석 모형을 달리하여 홍수범람 해석을 수행하였다. 한편으로는 홍수가 발생할 때 예방과 응급대책의 일환으로 예측한 결과를 통보할 수 있는 체계를 만드는 연구도 활발히 진행되었다.

그러나 이러한 연구 노력에도 불구하고 최근의 경향은 홍수피해가 증가하고 있다. 따라서 기존의 홍수피해 저감대책과 더불어 새로운 방안을 도입하기 위한 검토가 필요하다.

2) 모바일 GIS

모바일 GIS란 이동이 가능한 모바일 플랫폼에서 언제 어디서나 공간과 관련된 자료를 수집, 저장, 분석, 출력할 수 있는 응용 시스템을 말한다(Jeon and Cho, 2007). 모바일 플랫폼에는 노트북이나 PDA 등과 같이 이동이 가능한 전산 기기가 주를 이루었으나 최근에는 스마트폰이나 태블릿 PC 등 보다 향상된 기능을 가진 플랫폼이 이용되고 있다. 최근 스마트폰 열풍에 힘입어 다양한 모바일 GIS 분야의 서비스가 애플리케이션 형태로 제공되고 있다.

모바일 GIS는 크게 세 가지 기술들이 결합되어 실행된다(Kim, 2011). 첫째는 모바일 플랫폼의 개발이다. 컴퓨터 하드웨어의 발달은 고도의 성능을 가진 컴퓨터를 소형화하기에 이르러 이제 스마트폰과 같은 모바일 플랫폼이 등장하기에 이르렀다. 최근 등장하고 있는 스마트폰과 태블릿 PC의 경우 기존의 개인용 컴퓨터와 동등한 계산 능력과 저장 공간을 가지고 있어, 손안의 컴퓨터 역할을 하고 있다. 많은 용량과 처리를 필요로 하는 GIS 서비스 역시 이러한 모바일 플랫폼에서 기능을 수행할 수 있게 되었다. 둘째는 무선 인터넷을 이용한 웹 GIS 기술이다. 모바일 플랫폼의 기능이 크게 향상되었다 하더라도 대용량의 지리정보를 저장하고 처리하기 위해서는 웹 GIS 기술이 필요하다. 웹 GIS를 이용하여 서버에서 지리 정보 데이터베이스를 관리하고 자료의 분석과 처리를 수행한 후, 클라이언트인 모바일 기기에 그 결과를 전송하는 것이다. 특히 모바일 기기는 유선이 아닌 무선에서 인터넷을 접속하여야 하기 때문에 서버와 클라이언트 간의 통신량이 최소화 되도록 설계되어야 한다. 최근 모바일 플랫폼의 발달로 클라이언트에서도 어느 정도의 지리정보가 처리될 수 있는 애플리케이션이 개발되고 있다. 셋째는 GPS를 이용한 위치정보 서비스 기술이다. 모바일 플랫폼은 이동할 수 있다는 특성이 있기 때문에 어디에 위치하고 있는가에 대한 위치 정보 서비스는 모바일 기기의 주요 기능 중의 하나이다. 현재 이용되고 있는 대부분의 스마트폰이나 태블릿 PC에는 GPS 칩이 내장되어 있으며, 이를 이용하여 다양한 위치 정보 서비스를 제공하고 있다.

지리학에서 모바일 GIS에 대하여 수행되었던 연구는 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 용량이 작은 모바일 플랫폼에서 GIS 기능을 구현하기 위한 연구들이다. 모바일 기기는 크기가 작고 이동성이 뛰어난 반면, 시스템 처리속도나 메모리 측면에서는 기존의 지리정보 처리기술을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 무선 인터넷 지도 서비스를 이용한 연구(Lee and Park, 2004), 또는 지도 데이터를 경량화 하는 연구(Youn, Kim and Jun, 2008) 등과 같이 모바일 플랫폼에 적합한 GIS 기능에 대한 연구가 수행되었다. 두 번째는 모바일 GIS를 이용하여 현장에서 직접 자료의 위치와 내용을 관리하는 시스템을 개발하는 것이다. 모바일 GIS를 이용하여 유적 조사에 활용하기 위한 시스템을 개발한 연구(Jang, 2006), 농작물 작황 조사 시스템을 개발한 연구(Mun and Lee, 2008) 등과 같이 모바일 기기에서 GIS와 GPS 기능을 이용하여 현장의 조사 자료를 관리할 수 있는 시스템을 개발하는 연구가 수행되었다.

최근에는 홍수나 자연재해에 대한 대책의 하나로 모바일 GIS가 이용되고 있다. 최근 소방방재청에서 제공하고 있는 CBS(cell broadcasting service)에서는 재해 발생 지역에서 휴대폰을 소지한 사용자에게 재난 정보를 서비스하고 있다. 이와 같이 현대인에 있어 필수품처럼 이용되고 있는 모바일 기기에서 GIS 기능을 구현하는 연구는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

3. 홍수위험 정보시스템 설계

1) 시스템 요구사항 분석

홍수 위험 정보 시스템의 주요 기능은 다음과 같다. 먼저 자신의 위치를 지도에 표현한다. 그리고 현재 홍수위험 정보가 내려진 상황이라고 가정할 때, 자신의 위치가 침수취약지역 내에 포함되어 있는지 판단한다. 마지막으로 사용자 애플리케이션의 위치에서 가장 가까운 대피소를 찾고, 대피소까지의 최단경로를 표시한다.

이러한 기능을 수행하기 위하여 본 연구의 홍수 위험 정보 시스템은 서버와 클라이언트 구조를 가진 웹 GIS를 기반으로 운영된다. 즉 서버에는 대용량의 GIS 데이터베이스와 GIS 엔진이 필요하며, 클라이언트에는 홍수 정보 서비스가 효과적으로 구현될 수 있는 애플리케이션이 필요하다. 이러한 기능을 효과적으로 구현하기 위하여 개방형 소스를 이용한 매쉬업 기능을 이용하여야 한다. 이러한 요구사항을 구체적으로 정리하면 다음과 같다.

첫째, GIS 서버에는 Geometry를 가지는 공간 데이터베이스를 서비스 할 수 있는 데이터베이스 관리시스템(DBMS, Data Base Management System)과 GIS 엔진이 필요하다. 이 연구에서는 특정 상업용 소프트웨어에 종속적이지 않도록 오픈소스 기반의 소프트웨어를 선정하여 아키텍처를 설계하도록 한다.

둘째, 클라이언트에는 모바일 하이브리드 애플리케이션을 개발한다. 일반적인 모바일 네이티브 애플리케이션은 빠른 속도를 제공하고, 단말기의 기능들을 효과적으로 활용할 수 있지만, 모바일 OS에 종속적이므로, OS 별로 개발해야 하는 단점이 있다. 웹 애플리케이션은 순수 브라우저 기반의 애플리케이션으로 별도 설치 없이 편한 업그레이드된 기능을 사용할 수 있고, Open API 등을 통한 매쉬업(Mash-up)이 가능하다. 하지만 브라우저 성능에 영향을 받으며, 대용량의 처리에 한계가 있다. 따라서 이 두 가지 애플리케이션의 장점을 가질 수 있도록 모바일 하이브리드 애플리케이션으로 시스템을 설계하도록 한다.

셋째, Open API를 통한 매쉬업 기술이 필요하다. 해당 시스템은 위치기반의 서비스를 하기 때문에 보다 효율적인 서비스를 위해 Map API를 이용한 서비스 융합이 필요하다.

2) 시스템 설계

본 시스템은 자료의 중첩 분석, 최단경로 등의 공간 분석이 필요하므로 서버와 클라이언트의 역할이 적절히 분배되어 제 기능을 할 수 있도록 시스템을 설계하여야 한다. 서버와 클라이언트 간에 수행하는 작업들을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 클라이언트는 자신의 위치를 지도에 표현하고, 현재의 위치가 홍수로부터 위험한 지역에 포함하는지를 판단하기 위해 자신의 좌표를 포함하여 서버에 요청(Request)한다.

둘째, 서버는 요청받은 좌표를 바탕으로 침수취약지역 자료와 중첩 분석을 실시하고, 중첩 여부에 대한 응답(Response)을 해준다.

셋째, 클라이언트는 위험지역에 포함된다는 응답을 받으면 경고 메시지를 표시하고, 가까운 대피소와 최단경로를 찾기 위해 서버에 요청한다.

넷째, 서버는 대피소와 최단경로를 분석하여 해당 정보를 응답해주고, 클라이언트는 이를 지도에 표현한다.

따라서 본 연구에서는 위의 작업과정들을 원활히 수행할 수 있도록 클라이언트(스마트폰), 애플리케이션 서버(WAS, GIS 엔진), DB 서버(DBMS)의 3-Tier 구조로 논리적인 아키텍처를 설계하였다. 클라이언트에서 보낸 위치정보에 대한 중첩 분석과 가까운 대피소로의 대피경로 분석을 애플리케이션 서버에서 수행하도록 하였고, 필요한 자료를 DB 서버로 요청하여 받을 수 있도록 하였다. 또한 클라이언트는 애플리케이션 서버로 요청하는 역할과 요청에 대한 응답을 화면에 디스

플레이하는 역할을 하도록 설계하였다. 이들 구성원간에 처리의 흐름을 정리하면 Figure 1과 같다.

3) GIS 서버 구성

GIS 서버는 GIS 엔진, DBMS, WAS(Web Application Server)로 구성되며, 모두 오픈소스 소프트웨어를 활용하였다. 각각의 소프트웨어와 특징은 다음과 같다.

우선 오픈소스 소프트웨어 중 OGC(Open Geospatial Consortium)의 표준을 준수하고, 개발용이성과 확장성, 라이브러리의 다양성 등을 고려하여 GeoServer를 GIS 엔진으로 선정하였다. GeoServer는 2001년 TOPP(The Open Planning Project)에서 Java 언어 기반으로 개발한 오픈소스 GIS 소프트웨어로서 또 다른 오픈소스 소프트웨어인 GeoTools를 이용하여 개발되었다. 이 엔진은 개방형 표준을 이용하여 개발되었기 때문에 다양한 공간자료 소스를 서비스 할 수 있고, 데이터 포맷을 쉽게, 그리고 동적으로 변환할 수 있는 기능을 제공한다. GeoServer는 GPL 라이선스에서 무료로 이용 가능하다.

DBMS는 PostgreSQL과 PostGIS를 이용하여 구성하였다. PostgreSQL은 UC Berkeley에서 만든 객체-관계형 DBMS(Object-Relational DBMS)의 일종으로 BSD 라이선스로 공개되어 있고, 표준 SQL이나 기타 고급 기능을 지원하는 등 기능이나 성능면에서 상용소프트웨어에 뒤지지 않는 성능을 보유하고 있다. PostGIS는 공간정보를 데이터베이스에 저장하고 관리하기 위한 소프트웨어이다. 즉 속성 데이터베이스를 관리하는 DBMS에 공간 데이터베이스를 관리하기 위한 능력을 추가한 공간 데이터베이스 관리시스템(SDBMS, Spatial DBMS)이다. PostGIS는 PostgreSQL과 호환성이 높고 공간정보를 관리하기 위한 최적의 시스템 조합으로 인식되고 있다. 마지막으로, 인터넷을 통해 서비스를 가능하게 해주는 WAS는 Apache Tomcat을 사용하였다.

이상과 같이 GIS 엔진, DBMS, WAS으로 GIS 서버를 구성하였다. 본 연구에서 채택한 소프트웨어의 종류와 그에 따른 라이선스 정책은 Table 1과 같다.

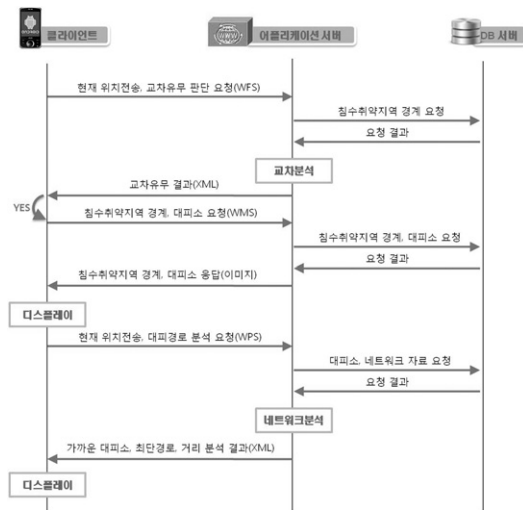


Figure 1. System Flowchart. 시스템 구성원간 처리 흐름도

Table 1. Server System Configuration and License.
서버 시스템 구성과 라이선스

System type	Software	License
DBMS	PostgreSQL 8.4	BSD
SDBMS	PostGIS 1.5	GPL
GIS 엔진	GeoServer 2.1.0	GPL
WAS	Apache Tomcat 7.0	Apache License

4) GIS 클라이언트 구성

모바일 기반의 GIS 클라이언트도 서버와 마찬가지로 오픈소스 기반의 소프트웨어를 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 본 연구에서는 오픈소스 소프트웨어 중 제공하는 기능이 많고 개발이 비교적 쉬운 OpenLayers를 선정하여 클라이언트를 구성하였다. OpenLayers는 브라우저에서 지도데이터를 표시하기 위한 순수 자바스크립트 라이브러리로써 WMS, WFS 등 OGC 표준을 준수한 웹 기반 GIS 프레임워크이다. 특히 구글맵, 네이버맵, 다음맵 등의 맵 서비스를 쉽게 활용 할 수 있는 장점이 있다.

클라이언트에서 또 하나의 중요한 구성요소는 PhoneGap이다. PhoneGap은 미국의 Nitobi 기업에서 개발한 오픈소스 프레임워크로써 모바일 하이브리드 애플리케이션을 구축할 수 있도록 지원한다. PhoneGap을 기반으로 클라이언트를 구성하면 HTML, CSS, Javascript을 통해 개발을 할 수 있고, 터치, 진동, GPS 기능 등 스마트폰의 기능도 사용할 수 있다.

모바일 운영체제는 구글에서 개발한 Android를 선정하였다. Android는 개방형 플랫폼을 지향하고 있는 대표적인 모바일 운영체제로서 쉽고 강력한 소프트웨어 개발 도구(SDK, Software Developer's kit)을 제공하며, 별도의 비용 없이 배포가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

이상과 같이 데이터 서버, 애플리케이션 서버, GIS 클라이언트로 연결되는 3-Tier 구조에 기반을 두고 시스템을 구성한 결과는 Figure 2와 같다.

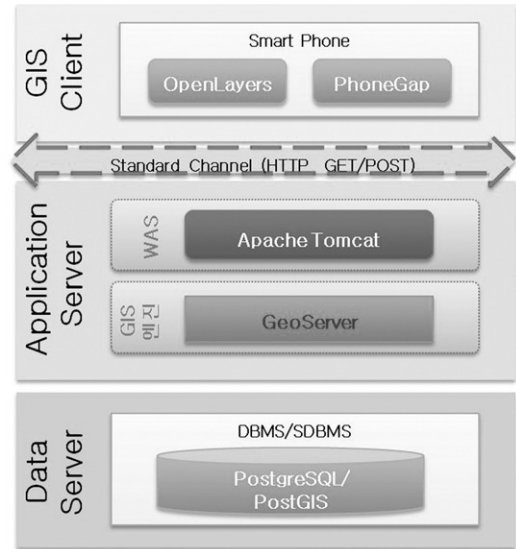


Figure 2. System Configuration. 실험 시스템 구성

4. 모바일 홍수위험 경고 시스템의 구현과 활용

1) 연구지역 개관

시스템 개발을 위해서는 홍수범람 시물레이션을 통한 침수위험지역 자료가 필요하고, 이 자료를 바탕으로 시스템을 테스트 할 수 있는 연구지역이 필요하다. 본 연구에서는 중랑천 일대 지역을 연구지역으로 선정하였는데, 그 이유는 다음과 같다.

서울에서는 해마다 돌발성 집중호우 및 내수배제 불량으로 인해 큰 홍수피해가 발생하였다. 특히, 1998년에는 국지적인 강우로 인해 집중적인 돌발홍수가 발생하여 중랑천 연변에 위치한 도봉구, 노원구, 강북구, 중랑구 등에 집중적으로 침수피해가 발생하였다. 2001년의 경우에도 짧은 시간에 많은 강우를 내려 단 기간에 큰 피해를 발생시켰다. 특히 중랑천 중하류부와 안양천 유역 일원에 대규모의 홍수피해가 발생하였다 (National Disaster Management Institute, 2001; Seoul Development Institute, 2006). Figure 3은 1998년과 2001년에 침수흔적을 나타낸 지도이다.

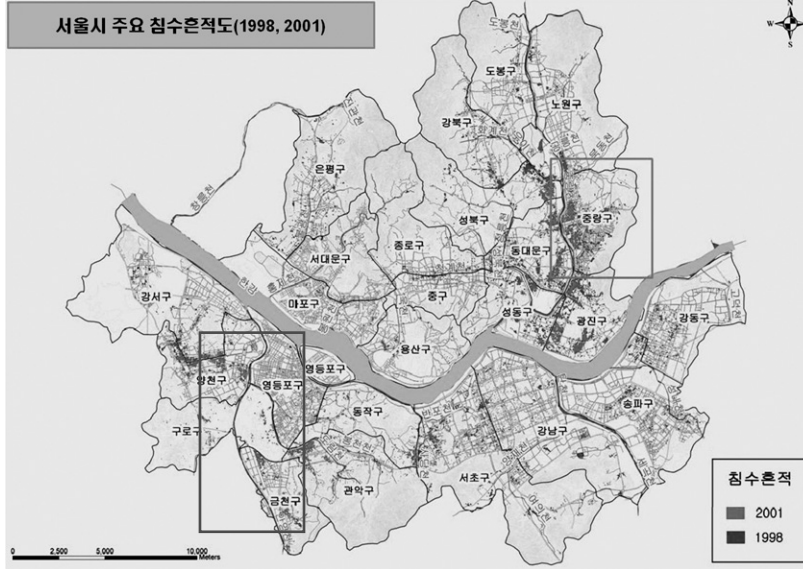


Figure 3. Flood Inundation Map of Seoul(1998, 2001). 서울시 침수흔적도(1998, 2001년)
(Source: Baek, 2005, p.11)

그림과 같이 서울시의 침수흔적은 주로 중랑천 일대와 안양천 일대에 집중된 경향을 보인다. 특히 중랑천 일대는 1998년과 2001년 큰 홍수를 모두 경험한 지역이다. 또한 중랑천 연변을 따라 인구가 밀집된 주거지역이 형성되어 있는데 그림의 중랑천 유역 침수흔적은 대부분 이 지역에 표시되어 있다. 본 연구에서는 중랑

천 일대에서 자주 홍수가 발생하고 피해규모가 큰 중랑구 일대에 초점을 두었으며, 중랑천을 경계로 하여 중랑구와 마주하고 있는 성북구와 동대문구 일대를 포함하여 연구지역으로 선정하였다. 중랑천 일대의 고도 분포와 하계망은 Figure 4와 같다.

2) 모바일 홍수위험 경보 시스템 구현

(1) 지도 서비스 구현

모바일 홍수위험 경보 시스템을 구동하면 우선 대상 지역의 지도가 나타나는데, 이는 지도 서비스로 구동된다. 본 연구에서는 OpenLayers를 이용하여 행정구역 경계, 침수취약지역 정보 등의 주제정보를 표현하였다. 또한 기본도는 다음 지도(Daum Map) API에서 제공하는 정보와 기능을 활용하여 매쉬업하였고, OpenLayers의 인터페이스를 이용해서 구현하였다.

OpenLayers는 OpenLayers.js 파일 형태의 JavaScript 라이브러리를 제공한다. 이 라이브러리에서 제공하는 인터페이스를 통해 지도를 서비스 한다. 따라서 다음 지도는 OpenLayers의 TMS(Tile Map

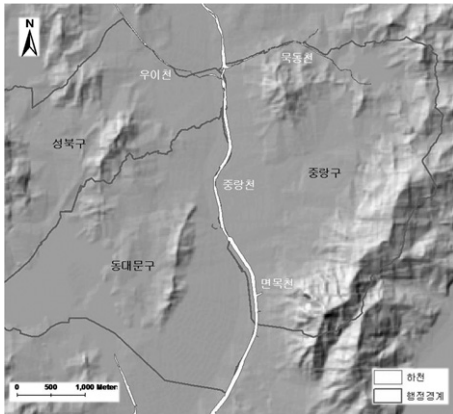


Figure 4. Study Area: Area of Joongrang-chun.
연구지역: 중랑천 일대

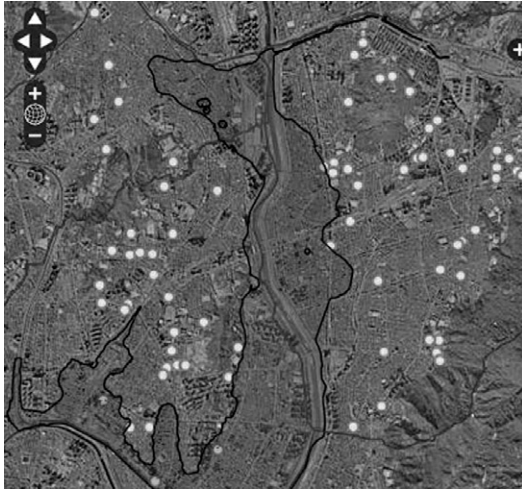


Figure 5. Screen of Map and Point Location. 지도위치 표시결과화면 예시

Service) 인터페이스를 통해 표현하였고, OpenLayers의 WMS(web map service) 인터페이스를 통해 GeoServer에서 서비스하는 주제도 정보를 지도에 표현하였다. 지도 서비스 구현을 위한 프로그램의 구성 순서는 다음과 같다.

- ① 최외곽 정보(Max Extent), 줌 레벨(Zoom Level), 최대 해상도(Max Resolution), 좌표체계(Projection) 등의 옵션설정
- ② Map 객체 생성 → TMS 인터페이스를 통한 Daum Map 요청 → Map 객체에 할당
- ③ WMS 인터페이스를 통한 GeoServer의 주제도 요청
- ④ Map 객체에 할당

지도 서비스를 구현하여 다음 지도에 침수취약지역, 행정구역 경계, 대피소 위치를 매쉬업한 결과는 Figure 5와 같다.

(2) 위치 표현 서비스 구현

스마트폰에서 현재 위치를 취득하여 지도 위에 현재 위치를 표현하는 기능이다. 또한 현재 위치를 서버로 전송하여 침수취약지역 내에 존재하는지 여부를 판단한다. 이를 위해서는 스마트폰의 GPS 기능이 필요하다. 본 연구에서는 HTML, CSS, JavaScript를 프로그래

밍 언어로 이용하였고, 특히 스마트폰의 GPS 기능을 사용할 수 있도록 PhoneGap에서 제공하는 라이브러리를 활용하여 구현하였다. PhoneGap은 PhoneGap.js 파일 형태의 JavaScript 라이브러리를 제공한다. 이 라이브러리에서 제공하는 인터페이스를 통해 스마트폰이 제공하는 기능에 접근할 수 있다.

스마트폰의 GPS 기능에 접근할 수 있도록 권한을 부여한 후 PhoneGap 라이브러리의 Geolocation 인터페이스를 활용하여, 현재 스마트폰이 위치한 경위도 좌표를 결과 값으로 가져온다. 구체적인 프로그램의 구성 내용은 다음과 같다.

- ① Geolocation 인터페이스로 스마트폰의 현재 좌표 획득
- ② (좌표 획득 성공시) OpenLayers의 Markers 객체 생성
- ③ 심볼 옵션 설정
- ④ Markers 객체에 할당
- ⑤ Markers 객체를 Map 객체에 할당

(3) 중첩 분석

중첩 분석은 GIS 클라이언트로부터 전송받은 X, Y 좌표를 이용해 침수취약지역 내에 좌표 위치가 포함되는지를 파악하는 분석기능이다. 구체적인 분석과정은


```
<wfs:GetFeature service="WFS" version="1.1.0"
  xmlns:topp="http://www.openplans.org/topp"
  xmlns:wfs="http://www.opengis.net/wfs"
  xmlns="http://www.opengis.net/ogc"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/wfs
    http://schemas.opengis.net/wfs/1.1.0/wfs.xsd">
  <wfs:Query typeName="cite:under15">
    <Filter>
      <Intersects>
        <PropertyName>the_geom</PropertyName>
        <gml:Point srsName="http://www.opengis.net/gml/srs/epsg.xml#2097">
          <gml:coordinates>127.066597,37.60756</gml:coordinates>
        </gml:Point>
      </Intersects>
    </Filter>
  </wfs:Query>
</wfs:GetFeature>
```

Figure 6. Source code of the feature intersects for WFS. WFS를 활용한 중첩 분석 소스코드 예시

다음과 같다.

GPS 기능을 이용하여 GIS 클라이언트가 현재의 좌표를 계산한다. 계산한 좌표가 침수취약지역의 경계 내에 포함하는지를 분석하기 위해 클라이언트는 WFS(web feature service)를 통해 서버로 분석을 요청한다. 서버는 요청받은 분석을 수행하여 결과 값을 돌려준다. WFS를 활용한 중첩 분석의 소스코드는 figure 6과 같다.

여기에서 WFS 서비스는 Geometry의 전송이 가능한 서비스로서 WFS 버전 1.1.0을 사용하여 구현하였다. WFS의 WFS_getFeatureIntersects 인터페이스는 침수 취약지역 폴리곤과 스마트폰의 좌표가 중첩되는지를 파악한 후 결과 값으로 중첩되는 폴리곤의 공간 정보(Geometry)와 속성값을 GML (Geography Markup Language) 형태로 리턴한다. 이때 중첩하는 폴리곤이 없으면 Null값을 리턴한다. 이러한 과정을 프로그램으로 구성하면 다음과 같다.

- ① GPS 좌표를 포함하여 중첩분석 요청(WFS_getFeatureIntersects)
- ② 분석결과가 중첩된 지점이면 침수취약지역 주제도와 경고메시지 디스플레이

(4) 대피경로 분석

대피경로 분석은 스마트폰의 현재 위치에서 가장 가까운 대피소를 찾고 대피소까지 최단경로로 이동하는 경로를 분석하는 기능이다. 대피 경로 분석은 GIS 클라이언트와 서버간의 현재 위치 전송과 분석 결과 전송으로 구성된다.

GIS 클라이언트의 현재 좌표를 이용해 서버로 WPS(web processing service)를 통해 분석을 요청한다. GIS 클라이언트는 자신의 GPS 좌표값과 대피소, 도로 네트워크 자료의 이름을 포함하여 서버에 전송하면 서버는 가까운 대피소를 찾고, 대피소까지의 최단 경로를 분석한다.

서버는 가까운 대피소 정보, 대피소까지의 거리 및 방향, 최단경로 등의 분석결과를 GML 형태의 결과 값으로 리턴한다. 그러나 GeoServer에서는 네트워크 분석 기능에 대한 서비스는 제공하지 않기 때문에 GeoServer를 네트워크 분석기능이 가능하도록 GIS 엔진을 확장하였다. GeoServer는 GeoTools를 이용하여 개발한 소프트웨어이기 때문에 GeoTools에서 제공하는 라이브러리를 활용하여 GeoServer를 확장하였다. 본 연구에서는 GeoTools에서 제공하는 최단거리 분석 알고리즘인 Dijkstra 알고리즘을 사용하여 확장기능을 구현하였다. 이상의 대피 경로 분석 기능을 구체적으

로 정리하면 다음과 같다.

- ① GPS 좌표를 포함하여 대피경로 분석(Nearest NetworkAnalysis)
- ② 리턴받은 분석결과 중첩하여 Vector 객체 생성
- ③ GML 객체 생성
- ④ GML 객체에 리턴값 할당
- ⑤ GML 객체에서 Geometry 추출
- ⑥ Vector 객체에 Geometry 할당
- ⑦ Vector 객체를 Map 객체에 할당
- ⑧ 대피소 정보, 거리, 방향 디스플레이

3) 모바일 홍수위험 경보 시스템의 구동 사례

모바일 홍수위험 경보 시스템의 사용자 인터페이스는 Figure 7과 같이 시스템 명칭, 지도영역, 실행 버튼으로 구성되었다. 처음 시스템을 구동하면 스마트폰의 GPS를 이용하여 지도영역에 자신의 위치를 보여준다. 동시에 현재 위치가 홍수위험 지역인지에 대한 판단도 이루어진다. 이때 홍수위험으로부터 안전한 곳에 있다면 시스템은 다음 동작을 취하지 않고, 10분간 대기한다.

그러나 사용자의 위치가 홍수위험에 노출되어 있다



Figure 8. Screen of Flood Warning Stage.
홍수위험 경고 화면

면 실험 시스템은 Figure 8과 같이 작동한다. 먼저 지도영역에 침수취약지역의 경계와 대피소 위치를 디스플레이 한다. 그리고 경고 메시지를 보여주어 신속히 대처할 수 있도록 해준다.

마지막으로 사용자가 가까운 대피소 찾기 버튼을 클



Figure 7. Start-up Screen of Flood Warning System.
시스템 초기 화면



Figure 9. Screen of Finding the Nearest Evacuation Shelter. 가까운 대피소 찾기 화면

리하면 실험 시스템은 사용자의 위치와 가장 가까운 대피소를 찾고, 대피소까지의 네트워크 분석을 통한 최단경로를 디스플레이한다. 이때, 대피소의 명칭과 거리, 방향 정보를 함께 디스플레이하여 사용자에게 편의를 제공한다. Figure 9은 현재 위치에서 가장 가까운 대피소 찾기를 실행한 결과이다.

4) 모바일 홍수위험 경고 시스템의 구현 결과

본 연구에서는 홍수 예측 정보를 모바일 서비스가 가능하도록 실험 시스템을 구축하였다. 따라서 실험 시스템은 기존의 홍수 예·경보시스템과 같이 홍수 예측 정보를 서비스한다는 측면의 장점과 휴대성이 편리한 모바일의 장점을 모두 취하고 있다고 할 수 있다.

이와 같이 구축한 실험 시스템의 활용 효과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 예측 시나리오를 통해 침수위험 지역에 있는 사람에게 미리 경고를 해줌으로써 홍수로 인한 인명 및 재산피해를 줄일 수 있다.

둘째, 위치기반 서비스를 통해 주변상황 및 환경을 효과적으로 파악하여 홍수의 위험으로부터 신속한 대처를 하도록 도움을 줄 수 있다. 사용자의 현재 위치에서 가까운 대피소까지의 경로, 거리, 방향 정보를 제공하여 사용자가 빠른 시간내에 종합적으로 판단하여 대피를 할 수 있도록 지원이 가능하다.

셋째, 개발한 실험 시스템은 모바일 서비스를 기반으로 하기 때문에 정보의 접근성과 공유성을 향상시킬 수 있다.

5. 결론

홍수로 인한 피해를 줄이기 위한 방안으로 제방, 댐, 저수지 등의 구조물적 대책이나 홍수위험지도, 홍수 예·경보시스템 등의 비구조물적 대책을 세워 홍수를 대비해왔다. 그러나 이와 같은 노력에도 불구하고, 도시지역의 피해는 증가하는 추세이다. 따라서 기존의 홍수피해 저감대책과 더불어 새로운 방안이 도입될 필

요가 있으며, 이러한 배경에서 이 연구는 모바일 기반으로 홍수위험 정보와 대피경로를 서비스하고, 이를 통해 홍수의 위험으로부터 신속한 대처를 유도할 수 있는 서비스 시스템 모형을 구현하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 시범적으로 개발된 모바일 홍수위험 정보 시스템은 사용자에게 홍수 위험을 효과적으로 알릴 수 있었다. 이 시스템은 위치 정보 서비스와 GIS의 중첩 기능을 이용하여 모바일 GIS의 기능을 이용하여 사용자에게 재해의 위험을 알려주는 기능을 제공하고 있다. 둘째, 본 연구의 개발 과정에 이용된 오픈 소스는 모바일 GIS의 개발 용이성과 확장성 등을 향상시킬 수 있었다. 특히 최단 경로 분석이 가능하도록 GIS 기능을 확장하였으며, 하이브리드 애플리케이션 기술을 적용하여 보다 진일보된 모바일 GIS 기술을 구현할 수 있었다. 이러한 장점은 시스템 구축비용의 절감효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 운영·관리 측면에서도 매우 효율적일 수 있어 다양한 분야에 적용 가능하다. 마지막으로 본 연구의 결과는 모바일 환경에서 위치정보 서비스와 지도 서비스에 대한 하나의 활용 사례로서의 가능성을 보여주고 있다. 스마트폰의 이용자가 폭발적으로 증가하고 있는 현 시점에서 스마트폰의 새로운 활용 분야에 대한 관심 역시 증가하고 있다. 이러한 측면에서 본 연구의 결과는 재해방재뿐만 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과가 보다 효율적이 되기 위해서는 다음과 같은 연구가 이루어져야 한다. 첫째, 정확한 홍수 범람 예측이 이루어져야 한다. 이를 위해 하천이 범람하는 외수범람에 대한 1차 해석과 배수시설 등의 불량에 기인하는 내수범람에 대한 2차 해석을 수행하고 정확한 침수지역 예측이 이루어져야 한다. 둘째, 홍수 위험지역에 있는 사람들에게 보다 현실성 있는 대피방법 안내에 대한 연구가 필요하다. 예를 들어 증강현실 기법을 이용하여 현실과 똑같은 상황에서 여러 가지 대안을 제공하고, 대피경로를 안내한다면 보다 현실적인 대피방법이 마련 될 것이다. 셋째, 향후 지속적인 자료의 보완, 사용자간의 커뮤니케이션 등을 고려하여 시민참여형 서비스에 대한 연구가 필요하다. 홍수위험 정보 시스템을 사용하는 사람들이 자신이 처한 상황에

대해 사진과 글을 등록하여 주변 사람들에게 현실감 있는 정보를 제공한다면 홍수 예측 정보의 부족한 점을 채울 수 있는 방안이 될 것이다.

참고문헌

- Bae, Deghyo, 2006, *A Development for Real Time Forecasting the Urban Rain Runoff*, Urban Flood Disaster Management Research Center, Seoul (배덕효, 2006, 도시강우유출 실태예보기법 개발, 도시홍수재해관리기술연구사업단, 서울).
- Bae, Deghyo and Kim, Jinhoon, 2007, Development of Korea Flash Flood Guidance System : (I) Theory and System Design, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(3B), 237-243 (in Korean).
- Bae, Deghyo and Kim, Jinhoon, 2007, Development of Korea Flash Flood Guidance System : (II) Component Development and System Analysis, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(3B), 245-254 (in Korean).
- Baek, Changhyun, 2005, *Producing and Using the Hazard Map: Case of Seoul*, Seoul Metropolitan Government, Seoul (백창현, 2005, 재해지도 제작 및 활용-서울시 사례를 중심으로, 서울특별시 건설기획국, 서울).
- Central Civil Defense and Disaster Management Institute, 2009, *Study of the Countermeasures on Extreme Flood*, CDI, Seoul (in Korean).
- Chang, Eunmi, 2006, GIS-based Disaster Management System for a Private Insurance Company, in Case of Typhoons(I), *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(1), 106-120 (in Korean).
- Ha, Changyong, Han, Kunyeun and Cho, Wanhee, 2010, 2D Inundation Analysis According to Post-Spacing Density of DEMs from LiDAR Using GIS, *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(1), 74-88 (in Korean).
- Jang, Yong-Gu, 2006, Development of Surface Survey System for Archaeological Site using Mobile GPS and GIS Technique, *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, 9(2), 91-101 (in Korean).
- Jeon, Jae yong and Cho, Gi Sung, 2007, A Study on Management Method of Point and Line Data Using Mobile GIS, *Journal of The Korean Society for GeoSpatial Information System Conference on Geo-Spatial Information* 15(3), 3-10 (in Korean).
- Kim, Byung Gon, 2011, *A Study on the Improvement of Usability of Public Organization's Mobile GIS Contents: Focused on the Cases of Seoul*. Master's Thesis, The University of SEOUL (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2005, *Development of Monitoring and Prediction Technology for Severe Weather (Heavy Rainfall) over the Korean Peninsula*, KMA, Seoul (in Korean).
- Lee, Bumhee, 2006, The Characteristics and Organizing Plan for the Urban Flood Forecasting and Warning, *Magazine of Korea Water Resources Association*, 39(1), 50-54 (이범희, 2006, "도시 홍수 예경보 시스템의 특징과 구성방향에 관하여," 물과 미래, 39(1), 50-54).
- Lee, GeunSang, Yu, Byeonghyeok, Park, Jinhyeog and Lee, Eulrae, 2009, The Construction of GIS-based Flood Risk Area Layer Considering River Bight, *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, 12(1), 1-11 (in Korean).
- Lee, Jongtae, 2005, *A Guide and Example for the Practical Use of Urban Runoff Analytical Model*, Urban Flood Disaster Management Research Center, Seoul (이종태, 2005, 도시유출 해석모형의 실무적용 지침(안) 및 적용 예제, 도시홍수재해관리기술연구사업단, 서울).
- Lee, Yang-Won, 2007, A Semantic Web Service for Tourism Information over the Mobile Web, *Journal of the Korean Geographical Society*, 42(5), 788-807.
- Lee, Yang-Won and Park, Key-Ho, 2004, Design and Implementation of a Mapping Middleware for

- Wireless Internet Map Service, *The Journal of Geographic Information System Association of Korea*, 12(2), 165-179 (in Korean).
- Ministry of Construction and Transportation, 2006, *Techniques for Forecasting and Warning the Urban Flood*, MOCT, Seoul (건설교통부, 2006, 도시홍수 예·경보 및 침수예측 기술, 건설교통부, 서울).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008, *A Guide for Producing the Flood Hazard Map*, MLTM, Seoul (국토해양부, 2008, 홍수위험지도 제작에 관한 지침, 국토해양부, 서울).
- Mun, Yong-Chae and Lee, Hong-Ro, 2008 Development of Mobile System for Crop Situation Investigation using GPS based on GIS, *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, 11(4), 22-31 (in Korean).
- National Disaster Management Institute, 2001, *The Field Survey Report of Damages Caused by the Floods in 2001*, NDMI, Seoul (in Korean).
- National Information Society Agency, 2006, *Development of GIS Construction Guide as Standards and Open Source Softwares Bases*, NIA, Seoul (in Korean).
- Park, Jongduk and Choi, Jinmu, 2011, Flooding Area Estimation and Evacuation Path Analysis, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 19(1), 1-11 (in Korean).
- Park, Yongjae and Lee, Kiwon, 2008, Mashup Implementation for Spatial Feature Creation Using Google Map API, *Journal of The Korean Society for GeoSpatial Information System Conference on Geo-Spatial Information* 2008, 73-75 (in Korean).
- Rosenfeld, Charles L., 1998, Recent Contributions by Geographers to Natural Hazards Mapping and Mitigation, *Journal of the Korean Geographical Society*, 33 (Special Edition), 721-728.
- Seoul Development Institute, 2006, *Development of the Regional Safety Assesment Model in Seoul : Focusing on Flood*, SDI, Seoul (in Korean).
- Youn, Geunjung, Kim, Hyeyoung and Jun, Chulmin, 2008, The Optimization of Vector Data for Mobile GIS, *The Journal of Geographic Information System Association of Korea* 16(2), 207-218 (in Korean).
- <http://economy.hankooki.com/ArticleView/ArticleView.php?url=industry/201110/e20111030173153120180.htm&ver=v002>
- 교신: 구자용, 110-743, 서울시 종로구 홍지동 상명대학교 인문사회과학대학 지리학과(이메일: koostar@smu.ac.kr, 전화: 02-2287-5043, 팩스: 02-2287-0058)
- Correspondence: Cha Yong Ku, Department of Geography, Sangmyung University, Hongji-dong, Jongro-go, Seoul, 110-743, Korea (e-mail: koostar@smu.ac.kr, phone: +82-2-2287-5043, fax: +82-2-2287-0058)

최초투고일 2011. 11. 28
수정일 2011. 12. 21
최종접수일 2011. 12. 23