

도시 침수피해 저감을 위한 내배수시설 동적운영시스템 개발



박 무 중
한서대학교 토목공학과 교수
mjpark@hanseoac.kr

1. 들어가며

최근 내배수시스템은 IT 기술을 이용한 원격 감시 및 자동제어시스템을 운영하고 있으나 실시간으로 변하는 유수의 공간적 분포특성을 반영하지 못하고 있으며, 기존의 내배수시설에 대한 모의 및 시스템 운영과 관련하여 기존의 시스템 및 연구들은 강우의 설계빈도 및 제한적 호우 시나리오에 국한된 침수 모의 및 대응에 기반하고 있다. 이러한 기존의 연구성과들은 도상적인 모의결과에 기반하고 있기 때문에 도시지역에 실시간으로 발생하는 수문 현상을 적절하게 반영하지 못하고 있으며, 이러한 이유로 내배수시스템의 효율적 운영 및 침수발생 지점의 예측에 대한 불확실성이 매우 큰 현실이다. 특히, 기후변화로 인한 국지성 집중호우의 증가로 내수 침수위험이 가중되고 있는 실정으로 기존 내배수시설물의 재해 안전성을 향상

시킬 필요가 있다.

따라서 도시유역의 침수피해 및 복구비용 절감을 위해서는 실시간 수문 관측 자료를 활용한 내배수시스템의 동적운영에 기반하여 단계별 침수대응체계에 필요한 선행시스템의 구축이 시급한 실정이며, 그간의 추진 사업들에서 구축된 기반 기술들을 활용하여 기존 내배수시설에 대한 보다 효과적인 제어 기술을 통하여 침수피해 저감효과를 극대화할 필요가 있다. 아울러, 기존의 추진 사업들이 개별 기술에 의한 침수 해석 및 방재 대책 수립에 중점을 두었으나, 기반 기술들의 보다 효과적인 활용을 위해서는 내배수시설의 운영과 침수대응 체계와 연계된 의사결정시스템의 구축이 필요한 실정이다.

이상과 같이 기후변화 및 도시화에 따른 도시환경 변화로 인하여 도시유역에서의 내수침수 위험이 가중됨에 따라 기존 내배수시설물의 방재효과를 향상시키기 위한 기

술 개발이 시급한 실정이다. 이에 따라 본 연구진은 학제간 공동연구를 통하여 의사결정지원시스템을 기반으로 실시간 관측 수문자료를 이용하여 도시지역 내수침수피해 저감을 위한 내배수시설 동적운영시스템의 개발 및 실용화를 위주로 하는 연구를 진행 중에 있으며, 본 글을 통해 이에 대해 소개하고자 한다.

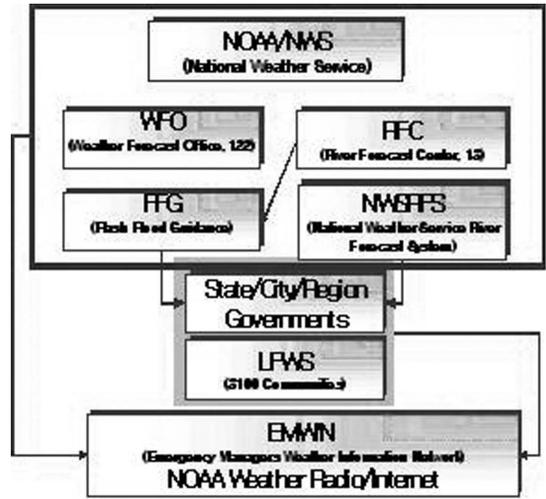
2. 국내·외 기술동향 및 문제점

도시지역에서의 내배수시스템 운영에 관한 기술동향은 첫째, 실시간 도시지역 강우유출 해석모형, 둘째, 도시지역 침수예측 모형, 셋째, 배수펌프장 운영 및 제어기술, 넷째, 의사결정지원시스템 등으로 대별될 수 있다. 이와 관련하여 국내의 기술 동향을 미국, 일본 및 유럽의 사례와 국내의 현황을 비교하고 그 문제점에 대하여 기술하면 다음과 같다.

(1) 실시간 도시지역 강우유출 해석모형

미국의 경우 ILLUDAS, SWMM 등의 모형을 1970~1980s에 개발하였으며, GIS 및 위성 자료와 연계하여 활용하고 있다. 유럽의 경우에는 EU 각국별로 자체 모형을 개발하여 사용하거나 대표적인 모형을 활용하고 있으며, 일본의 경우 미국 등의 모형을 일본 특성에 맞게 활용하는 동시에 GIS 등과 연계하여 활용하고 있다. 반면 국내의 경우 외국에서 개발된 모형을 단순 적용하여 왔으나, 다양한 적용 사례 및 연구들을 통하여 관련 기술의 개발을 위한 기반 기술이 상당히 축적되어 있으며, 최근들어 국내 실정에 맞는 강우유출 해석모형의 개발에 대한 연구들이 진행중이다.

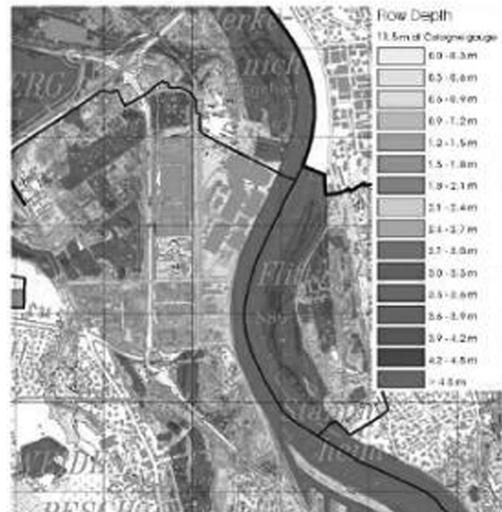
그러나 국내·외적으로 실시간 수문변동사항을 연계하여 도시지역 강우-유출 해석 모형의 개발에 관한 연구는 매우 미흡한 실정으로 이에 대한 향후 지속적인 연구가 필요한 실정이다.



〈그림 1〉 미국의 홍수관리 체계도

(2) 도시지역 침수예측 모형

미국의 경우 인공위성 및 GIS 등을 이용한 하천 범람 및 도시침수모형을 개발하여 사전 예측 및 시설 개보수 우선순위 설정 등에 활용하고 있으며, 유럽에서는 GIS 등과 연계한 범람 확산 모형 등을 개발하여 활용하고 있다. 일본에서는 지자체별로 대표적인 모형을 적용하여 지역별 침수위험도를 파악하는 한편 사전 대피 및 시민의 위험도 인지 유도를 위해 활용하고 있으며, 국내의 경우 개별적인



〈그림 2〉 재해 상황에 대한 홍수지도 예

연구를 통하여 범람 모형이 일부 개발되었으나 대응체계화의 연계를 위한 기법 제시가 필요한 실정이다.

이와 관련해서 실시간 수문 변동 사항을 연계하여 도시유역의 침수 예측과 이를 연동한 내배수시설 운영 제어에 관한 연구는 국내·외적으로 매우 미흡한 실정에 있다.

(3) 배수펌프장 운영 및 제어기술

미국의 경우 하천 연변 저지대는 토지이용도를 극히 제한하여 우리나라의 개념에서의 배수펌프장은 설치하지 않고 있으며, 유럽의 경우 마찬가지로 우리나라 형태의 배수펌프장을 설치하지 않고 있다. 반면 일본의 경우에는 배수펌프장 설치를 극도로 제한하고 있으며, 설치시에는 배수문과 펌프 제어에 대한 다양한 기술개발을 통하여 운영에 만전을 기하고 있다. 국내의 경우에는 전국 각지에 농경지 배수개선사업, 수해복구사업 등을 통하여 지속적으로 배수펌프장이 신·증설 되고 있으나 운영방식 및 설계 기준 등에 대한 효율성에 대한 문제가 제기되고 있다.

이와 같이 국내·외의 경우 도시유역에서의 강우-유출-침수 해석과 연계하여 실시간으로 입력되는 수문데이터를 활용한 내배수시설의 동적 운영에 관한 연구는 매우 미흡한 실정에 있다.



(그림 3) 일본의 매스컴을 활용한 홍수 정보

(4) 의사결정지원시스템

미국에서는 도시홍수에 따른 주민 대피, 복구 대응 등에 있어서 의사결정지원시스템을 구축하고 있으며, 유럽의 경우 GIS 등과 강우-유출 해석과 연계하여 대응체계를 위한 의사결정지원시스템을 구축하고 있으나 내배수시설 운영과 관련해서는 미흡한 실정이다. 일본의 경우에는 시설물 및 주변 상황에 대한 모니터링을 통하여 주민 대피 예경보를 의사결정지원시스템 구축하여 IT 기술을 활용하여 효율적인 전파 체계의 구축에 심혈을 기울이고 있다. 반면, 국내의 경우 일부 분야에서는 시스템을 구축하여 활용중에 있으나 내배수시설의 운영에 있어서는 전무한 실정에 있다.

이와 같이 국내의 경우 도시유역에서의 침수 대응 기반 기술로서의 의사결정지원시스템에 관한 연구가 매우 미흡하며, 국내·외적으로는 의사결정시스템의 내배수시설 운영과의 연계 구성이 미흡한 실정이다.

3. 연구 목표 및 내용

본 연구는 기후변화 및 도시화에 따른 도시환경의 변화와 이로 인한 도시유역의 내수침수 위험성 증대에 대응하기 위하여 내배수시스템의 효율적인 운영 및 제어를 통한 도시침수피해 저감을 목표로 한다.

이러한 연구목표 달성을 위하여 본 연구는 토목공학·수공학 분야에서의 수문계측, 유출모형 구성, 알고리즘 개발 등과 산업공학·경영학 분야에서의 위험도평가, 대



(그림 4) 학제간 연구개발 목표

응체계 구상, 의사결정지원 등의 학제간 연구를 통하여 연구 효과를 극대화하고자 한다.

따라서 기존 내배수시설의 효율적 운영 제어시스템의 개발과 침수대응 기반 기술로서의 의사결정지원시스템의 구축을 통하여 다음의 세부적인 연구 목표를 달성하고자 한다.

첫째, 실시간 수문자료를 활용한 내배수시스템 동적운영 기술 개발

둘째, 내배수시스템 동적운영에 기반한 의사결정지원시스템 개발

셋째, GUI(Graphical User Interface) 기반 내배수시설 동적운영시스템 구축

이상의 세부 연구목표들이 포함하는 연구내용들은 다음과 같다.

(1) 실시간 수문자료를 활용한 내배수시스템 동적운영 기술 개발

실시간 수문자료를 활용한 내배수시스템 동적운영 기술 개발을 위해서는 우선 우수지 및 배수펌프장을 포함한 내배수시설의 운영에 관한 국내·외 연구동향 및 기술 분석을 통하여 국내 운영 기준의 문제점 및 개선방향을 도출하고 내배수시설의 동적 운영 기술의 개발을 위한 방향을 수립할 계획이다. 또한 우수관만내 맨홀 지점에서의 수위 관측자료를 해석하고 실시간으로 관측되는 우수관망 내 동적 수위 자료를 이용하여 우수지/배수펌프장 내 유입량의 변동특성에 대한 해석 알고리즘의 개발하고, 기존 도시유역 강우-유출 해석 모형을 검토 및 선정하여 이와 연계한 실시간 강우-유출-침수 해석 프로그램의 개발을 추진할 예정이다.

다음으로 우수관망 내 동적 수문자료의 측정망 선정을 위한 해석기법의 조사 및 선정과, 우수지/배수펌프장의 유입량 변동특성을 고려한 엔트로피(entropy) 기법에 의한 수위측정망 결정 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한 맨홀 지점에서의 수위 관측 자료의 실시간 데이터 수집 자료

에 기반한 배수펌프장 동적운영에 따른 침수 저감 효과를 분석하고 배수효과(backwater effect)를 고려한 도시유역 내수침수 저감을 위한 배수펌프장 동적운영 알고리즘 개발을 연구 과제로 한다.

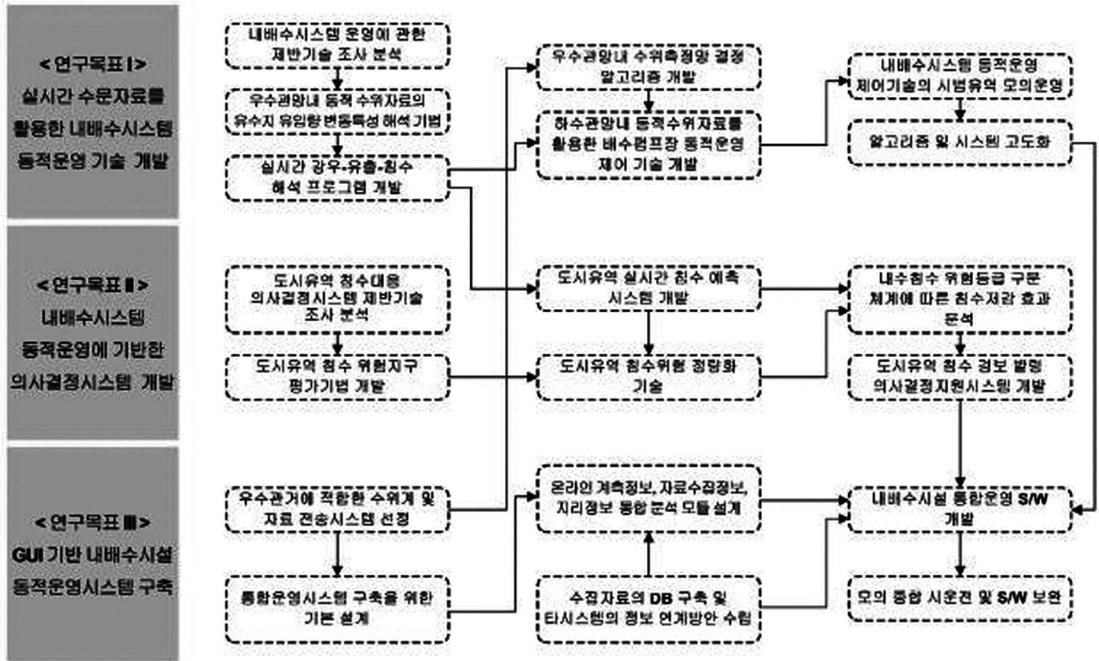
마지막으로 개발된 내배수시스템 동적운영 제어 기술의 시범유역에 대한 모의 운영을 통하여 침수 저감효과를 검증하고, 실제 운영 체계 및 운영상의 문제점을 분석하여 개선 방향 도출 및 적용성 향상을 목표로 한다.

(2) 내배수시스템 동적운영에 기반한 의사결정지원시스템 개발

내배수시스템 동적운영에 기반한 의사결정지원시스템 개발을 위해서는 침수대응 의사결정시스템의 국내·외 연구동향을 조사 분석하여 의사결정시스템의 기본 방향을 도출하고, 내수침수 위험도 평가지표를 선정하고, 침수 위험지구 평가를 위한 다기준의사결정방법(Multi-Criteria Decision Method, MCDM)에 대한 조사 및 분석을 통한 적용 기법을 선정하여 도시유역 내수침수 위험도를 정량화할 수 있는 평가기법의 개발을 우선적으로 추진할 계획이다.

또한 내배수시설의 동적운영과 연계된 실시간 침수 대응 사항을 분석하여 실시간 침수 대응 체계의 기본 구상한다. 그리고 정량화된 침수위험지구 평가기법에 기반하여 우수관망 내 맨홀 지점별 및 지구별 위험등급의 구분 체계를 수립하여 지점별 위험등급 구분에 따른 기존 침수대응체계 상에서의 문제점 파악 및 개선방안을 도출하고자 한다.

마지막으로 내수침수에 대한 위험등급 구분 체계를 활용하여 침수 대응 체계를 수립하고 수립된 침수대응 기반 기술의 제반 효과에 대한 분석 및 검증을 계획하고 있다. 또한 시범유역 모의 운영을 통한 위험등급 체계에 따른 기반 기술의 적용성을 증대시킴으로써 도시유역에서의 우수지/배수펌프장 동적 운영 시스템과 연계된 침수 경보 발령 의사결정지원시스템의 개발을 세부 연구목표로 한다.



(그림 5) 연구 추진 전략 및 방법

(3) GUI 기반 내배수시설 통합운영시스템 구축

GUI 기반 내배수시설 통합운영시스템 구축을 위하여 본 연구에서는 국내·외 내배수시설 운영과 관련한 시스템 및 기술에 대한 조사 분석과 기존 시스템의 문제점 및 개선방안을 모색함으로써 내배수시설의 동적운영에 기반한 감시제어 및 통합운영시스템 구축을 위한 기본 방안 수립을 우선 과제로 한다.

이와 함께 시스템 상의 활용될 계측정보, 수집정보, 지리정보의 조사 및 선정 과정을 거쳐 정보간 시스템 상에서의 활용 및 연계 방안을 모색하는 한편, 기존 타 시스템의 정보 수집 및 연계 방안을 수립할 계획이다.

마지막으로 동적운영시스템과 의사결정지원시스템을 연계하여 GUI를 구현하고, 수문 관측망 데이터와 연계한 모의 시운전을 통한 검토 및 적용성 향상에 대한 연구를 계획하고 있다.

다음의 그림 5는 이상의 연구목표들에 대한 추진 전략을 나타내고 있다.

4. 연구의 차별성

본 연구는 몇 가지 측면에서 기존의 연구들과의 차별성을 갖는다.

첫째, 강우-유출-침수 해석 모형에 있어서의 기존 연구들은 국외 해석 모형의 단순 적용 및 국내 적용성 검토가 대부분이었으며, 강우의 강도, 시공간적 분포를 고정된 채 다양한 강우사상에 대한 해석 결과의 분석과 이를 통한 시설물 계획에 국한되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 실시간으로 변화하는 수문상황(강우, 수위 등)에 대한 데이터 수집 및 입력을 통하여 실시간 유출 해석 및 검·보정 모형을 구성하고자하는 차별성을 가지고 있다.

둘째, 내배수시설의 운영 제어 기술 측면에서 기존의 국내·외 연구들은 내수침수 방재를 위한 내배수시설의 적정 위치 선정 및 최적 설계 등에 국한되었으며, ‘도시홍수재해관리기술연구단’에서 빗물펌프장의 최적운영에 관하여 연구된 바 있으나 우수지 내수위에 의존하는 단편적

운영 기술의 한계가 있다. 또한 실시간으로 관측되는 각종 수문 변화 사항들을 복합적으로 고려하여 내배수시설을 운영 제어하는 국내·외 연구는 매우 미흡한 실정이다. 반면 본 연구가 계획하는 바는 실시간 강우-유출-침수 해석 프로그램과 연계하여 우수지/배수펌프장의 유입량 변동특성과 하수관망내 동적 수위자료를 활용하여 내수침수 방재에 가장 효과적인 동적 운영 제어 기술을 개발하고, 이를 위하여 하수관망 내 수위측정망 결정 알고리즘을 개발하는 것에 역점을 두고 있다.

셋째, 내배수시설과 연계한 의사결정지원시스템에 있어서 기존의 국내·외 관련분야 의사결정지원시스템은 규정화된 기준 하에 대피 예·경보 발령, CCTV 등에 의한 모니터링에 의존한 의사결정, 대피 및 복구에 관한 의사결정에 국한되었으며, 내배수시스템의 운영에 있어서도 규정된 운영 규칙에 따라 제어될 뿐 수문 변화 상황에 기반한 운영 제어 기술에 관한 연구는 매우 미흡하다. 그러나 본 연구에서는 실시간으로 변화하는 수문상황에 따른 내배수시스템의 동적운영과 이를 연계하여 내수침수에·경보에 대한 의사결정을 동시에 지원할 수 있는 알고리즘을 개발하는 한편, 이를 위하여 도시유역에서의 침수 위험지구 평가 기법을 개발하고, 내수침수 위험을 정량화할 수 있는 기술을 수립하며, 내수침수 위험등급 구분 체계에 따른 침수 대응 체계 마련을 구상하고 있다.

5. 기대성과 및 활용방안

본 연구를 통하여 개발될 실시간 수문자료를 활용한 내배수시스템 동적운영 기술은 국내 도시지역에서의 수문 관측망의 구성을 통하여 실시간으로 수집되는 수문 변동자료와의 연계를 통한 내배수시설 운영 기술에 기반하고 있으므로, 도시 우수 배수 시설의 적정 운영 기술 확보를 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 도시 저지대 및 유출량이 급증하는 우수관거 용량부족 지역의 배수시설 설계에서 배수능력 증대를 위한 배수시설물 설계 기준 적용 가

능하다. 무엇보다 가장 중요한 점은 기후변화로 인한 도시 내배수시설의 국지적 용량 부족 현상에 대하여 도시 배수 계통의 침수 대응 능력의 향상을 위한 내배수시설 동적 운영이라는 새로운 방안을 제시함으로써 기타 침수 대응 시설물의 계획 및 대응체계 마련에 기반 기술로서 활용될 수 있다는 점이다.

또한 내배수시설 동적운영에 기반한 의사결정지원시스템의 개발 과정에서의 도시유역 침수 위험도의 정량화 기법 마련은 향후 도시방재대책 수립에 있어서 대응체계의 수립 기준 및 복구 체계 마련에 기초 지식으로서 활용될 수 있다. 그리고 내배수시설의 동적운영에 기반하여 침수 대응 경보 발령에 대한 의사결정지원시스템을 개발함으로써 지자체 상황통제실에서 운영자에 의한 실시간 상황 통제에 대하여 보다 명확한 판단 기준을 제시할 수 있으며, 기존 도시유역 침수대응 체계에 있어서 정량적이고 명확한 기준에 근거하여 경보발령의 구분 체계를 수립함으로써 보다 효율적인 도시홍수 예경보 시스템 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 본 연구를 통하여 내수침수 저감 효과를 극대화하기 위하여 개발될 내배수시설 동적운영시스템과 침수대응 의사결정시스템을 통합하여 내배수시설 통합운영시스템을 구축함으로써 향후 관련분야의 지속적인 연구 개발의 모티브가 될 것으로 판단되며, 개발된 내배수시설 통합운영시스템의 설계 실무 적용성 증대를 위하여 GUI가 구현된 통합운영 S/W는 내배수시설물의 설계 일반에 적용될 수 있으며, 개발된 기술을 바탕으로 상용화가 가능할 것으로 기대되고 있다.

6. 맺으며

기후변화와 도시화에 따른 도시유역에서의 내수침수의 위험성이 가중되고 있는 현 시점에서 내배수시설의 설계 및 운영과 도시침수에 대한 방재 대책 마련이 지속적으로 요구되고 있다. 그러나 현재 도시 내배수시설의 설계 및

운영에 관련한 사항은 미국 및 일본의 기준을 적용하고 있는 실정이며, 국내의 현장 및 여건에 맞게 적용하는 데에는 한계가 있으므로 국내 여건에 맞는 설계 및 운영 기법의 개발이 필요한 실정이다. 또한 도시지역의 침수피해 예방을 위해서는 기존 도시배수 시스템의 개선이 필요하며, 이를 뒷받침하는 통합 도시배수 계통의 이론적 근거가 필요하다. 아울러 도시지역에서의 침수 방재 효과를 향상시키기 위해서는 배수계통의 주 시설물에 해당하는 우수지 및 배수펌프장에서 설계빈도를 초과하는 호우에 대해서도 침수 피해를 최소화할 수 있는 새로운 운영 기법의 마련이 필요하다.

본 연구는 기존의 국내 연구에서 축적된 개별적 요소 기술들을 통합적으로 연계하여 활용할 수 있는 기법 및 시스템 개발의 내용을 포함하고 있으며, 본 연구를 통하여 도출되는 내배수시설 동적운영 기법은 해당 분야에서의 포괄적인 학문적 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 기존의 국내·외 배수시스템 운영 기술은 내수위에 따라 규정화된 운영 규칙을 적용하고 있으나, 본 연구에서는 실시간으로 변동되는 수문상황을 고려하여 내배수시설을 효과적으로 운영하는 기법에 관한 연구를 통하여 국내·외적으로 관련 분야에서의 선도적 기술 확보가 가능할 것이다. 아울러 기존 내배수시설의 설계 및 운영 기법의 개선 및 최적 운영을 통하여 내수침수 저감 효과의 극대화를 가져올 수 있으며, 이로 인한 도시구역에서의 침수 피해액 및 복구비의 저감 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 도시홍수재해관리기술연구단 (2005). 도시하천의 배수시설 설계기술 1.
2. 도시홍수재해관리기술연구단 (2005). 도시유출 해석모형의 실무적용 지침(안) 및 적용 예제
3. 심우배(2006). "대형화되는 도시홍수, 어떻게 대응할 것인가?", 한국수자원학회지, Vol.39, No.9, pp.59-64.
4. 최성열(2004). "국외의 도시홍수해결을 위한 방안-일본의 특정도시하천침수대책법을 중심으로", 방재정보, 제19호, Vol.6, No.3, pp.35-41.
5. 미국 콜로라도 도로 배수 및 홍수조절국 홈페이지, <http://www.udfcd.org>
6. 미국 연방긴급사태관리국 홈페이지, <http://www.fema.gov>
7. 일본 하수도협회 홈페이지, <http://www.jswa.jp>
8. 일본 국토교통성 홈페이지, <http://www.mlit.go.jp>