

도시홍수 피해저감 및 응급대책안 수립 -서울특별시를 중심으로-



윤 선 권 |

서울시립대학교 토목공학과 박사수로
skyoon@uos.ac.kr



문 영 일 |

서울시립대학교 토목공학과 교수
우리학회이사
ymoon@uos.ac.kr

1. 서론

도시화가 진행되면서 불투수면적이 증가하고 증가된 불투수면적으로 인하여 자연상태일 때보다 강우로 인한 유출이 더 많이 발생하며, 하수관거의 확충과 자연수로의 정비 또는 암기화로 물이 보다 빨리 이동되는 결과를 가져온다. 이로 인하여 홍수도 달시간이 짧아지고 침투유출량이 증가되며 기저유출은 감소된다(Wanielista and Yousef, 1993). 즉, 홍수 위험도가 높아지고 더욱이 도시화에 따른 하천범람지역의 인구와 재산의 집중으로 홍수피해는 급증하게 된다. 일반적으로 도시수해라 함은 시간우량으로 약 20~30mm 정도의 강우부터이며 도시수해는 최초에는 도시하천의 하류부인 낮은 평지 부에서의 수해가 대부분이었다. 그러나 도시화가 진

전됨에 따라 도시수해는 여러 가지 형태의 피해를 주는데, 단순히 저지대 주택의 침수뿐 아니라 전기, 전화, 도시가스, 수도, 교통기관 등의 주요 공공관리기능을 일시적 혹은 장기간 마비시켜 이로 인한 손실이 엄청난 현실이다. 이처럼 도시수해는 여러 시설물에 다양하게 피해를 미치고 있으며 수해를 입히는 양상에 따라 하천범람피해, 내수에 의한 침수피해 등으로 나눌 수 있다. 본고에서는 서울시 수방 및 불관리 현황을 중심으로 도시홍수 피해 저감 및 응급대책안 수립과 관련하여 주요 홍수피해 원인을 분석하고 홍수피해 저감방안을 제시하며, 관할관리청과의 연계 및 실시간 관리방안을 마련하여 궁극적으로 홍수발생시 응급대책안을 제시하고자 한다.

2. 도시 홍수피해 원인 분석

일반적으로 홍수피해의 직접적인 원인은 외수로 인한 피해와 내수로 인한 피해로 크게 구분할 수 있다. 외수피해는 주로 소하천 및 지천들의 범람, 제방의 붕괴, 역류 등으로 발생한 것이며 내수피해는 배수로, 하수도 및 펌프장의 내수배제능력 부족이 주된 원인이다. 최근 발생하는 국지성 호우로 인한 서울지역의 피해는 대부분 내수배제능력의 부족에 의한 피해발생이 대부분이다. 특별히, 서울시의 경우 홍수피해는 설계재현기간을 크게 상회하는 강우



가 주요 원인이지만 도시화로 인하여 불투수비율의 증가, 높은 인구밀도와 교통 등 사회기반시설의 집중으로 그 피해가 가중(시정개발연구원, 2006)되고 있으며, 서울시의 주요침수원인에 대한 지역 수를 나타내면 다음 표1과 같다.

표 1. 서울시 침수원인별 지역수

구분	원인	지역수
저지대 관련	고지대 노면수 저지대 유입	43
	노면수 저지대 집중	73
하수관거 관련	하수관거 통수능 부족	78
	하수관거 구배불량	35
수방(배수)시설 관련	배수관거 용량부족/펌프용량부족	50
	토사유출에 의한 배수불량	11
기타	국지성 집중호우로 인한 피해	39
	기타(빗물받이 등)	27
계		356

자료) 시정개발연구원(2006) 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구: 홍수 재해를 중심으로, PP.44.(2001년 수해백서에 2003년 침수기록을 보완하여 구분, 각 지역은 원인에 따라 중복 계산)

3. 도시 홍수피해 저감방안

자연재해는 그 발생자체를 근본적으로 막을 수는

없으나 예방대책의 수립을 통해 피해를 최소화할 수 있다는 적극적인 예방방재로의 인식전환이 필요하다. 또한 상습 재해지역일지라도 재해위험에 대한 방심이나 의태심, 안전 불감증으로 안전의식이 결여되어 인재성 자연재해 유발이 잦아지고 있다. 그러므로, 현재 관에서만 이루어지고 있는 수해예방대책을 주민들과 함께 병행하여야 할 것이다. 이러한 인식의 변화와 다음에 제시하는 수해대책 기본방향을 토대로 문제점들을 개선함으로써 집중호우로 인한 피해를 최소화할 수 있으리라 생각되며, 피해발생시 원상복구 개념이 아닌 개량복구 개념으로 접근해야 동일한 재해가 반복되지 않을 것이다. 홍수의 종합관리를 위한 치수방재대책 수단은 다음 그림1과 같으며, 본고에서는 '98 수해백서(1999), '01수해백서(2002), 서울시 상습침수지역 관리시스템 구축방안(시정개발연구원, 2002. 12), 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구(시정개발연구원, 2006)의 내용을 참조하여 다음과 같은 홍수피해 저감 및 침수피해 대책을 위한 기본방안을 제시하고자 한다.

① 도시 수공구조물(하수도, 배수문, 우수지 및

빗물펌프장 등) 설계시 적정 계획 강우 결정의 재검토

최근 계절라성 호우와 같은 조건에 대해서 현재의 설계 기준으로는 대처가 불가능하고 장시간 강우지속기간중의 집중호우에는 침수피해를 입을 수밖에 없는 실정이다. 그러므로 이와 같은 침수피해를 줄이기 위해서는 수공구조물의 설계빈도 상향조정을 검토하여야 할 것이다. 서울시 전역에 존재하는 기존의 하수관로, 우수지 및 배수펌프장의 빈도를 상향조정하여 용량을 늘리는 데는 막대한 재원과 시간이 필요로 하여 많은 어려움이 있다. 따라서 신규개발지역 및 기존의 시설물

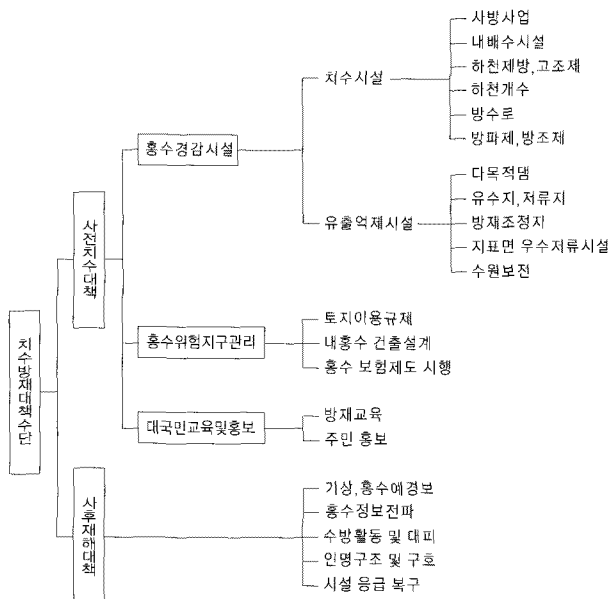


그림 1. 홍수의 종합관리를 위한 치수방재대책 수단

설치 지역으로 구분하여 장기적인 보완이 필요하다. 강우빈도해석의 결과는 강우자료 수의 증가에 따라 변할 수 있다. 빈도해석 결과는 자료의 확충에 따라 변하는 것이 일반적이나 자료기간이 길면 길수록 보다 안정적이고 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있으므로 향후에 강우자료를 체계적으로 수집·관리하여야 할 것이며, 장기적으로는 새로운 서울시 강우 강도식의 연구 수행이 필요하다.

■ 신규개발지역

- 합리적인 규모내에서 설계빈도를 상향조정

■ 기존의 시설물

- 용량 상향조정에 많은 어려움이 있는 지역에서는 우수유출저감시설 등의 설치를 검토하여 실행

② 하천정비와 계획홍수량 및 계획홍수위의 재검토

계획(설계)홍수량의 규모는 기존의 하천규모에 의하여 일괄적으로 정해질 것이 아니라 홍수재해의 위험도에 따라 신축성 있게 평가되어야 할 것이다.

- 통계적인 홍수방어기준에 따라 빈도해석을 통하여 산출하고 있는 계획(설계)홍수량 계산시 최근에 실측된 홍수 또는 강우자료의 이상극치를 포함시킨다.
- 이에 따라 빈도홍수량이 상당히 커질 것이 분명하며, 현재 100년 빈도의 홍수량이 새로 계산하여 20년 홍수량 정도로 바뀔지 모르나 현실적으로 안정하고 실제와 보다 잘 부합될 것이다.
- 배수계통의 설계에 있어서는 배수구역의 특성과 관로계통내의 흐름을 종합적으로 평가할 수 있는 ILLUDAS/RRL, SWMM모형의 사용이 바람직하며, 단순관로의 경우는 합리식이 유용하다고 볼 수 있으므로 이들 모형의 효과적인 활용이 필요하다('98 수해백서,1999)
- 유출특성은 배수구역의 조건에 따라 상이하므로 합리식에서 유출계수를 기준에 의하여 묶어

두는 것은 불합리하며, 유역자료, 실측자료수집, 타 모형과의 비교 등을 통하여 유역특성에 맞게 결정하는 과정의 연구개발이 필요하다.

③ 우수지 및 빗물펌프장의 적정설계와 운영

기존 우수지 및 배수펌프장의 적정 설계에 대한 등위험도선 이론과 펌프장의 적정운영을 위한 자동제어이론을 검토하여, 이를 바탕으로 앞으로의 장기적 개선방향을 제시하면 다음과 같다.

a. 설계규모의 결정기준의 개발

저류용량과 배수펌프용량을 확충하거나 개선하기 위해서는 반드시 해당 지역의 중요성을 고려한 설계빈도의 설정과 해당 지역의 토지 이용도 특성을 고려한 등위험도선 이론에 의한 적정 저류용량과 배수용량을 설정되어야 한다. 또한 현재의 방류수위조건에 근거한 설계규모의 결정에는 제내지의 치수면적 깊이와 이에 따른 침수피해를 정량화하여 기준에 도입하는 과정이 결여되어 있으므로 이를 고려한 치수 안전도 개념에 입각한 설계규모 결정기준이 마련되어야 할 것이며 이에 대한 집중연구가 필요하다.

b. 우수지 저류용량의 확충

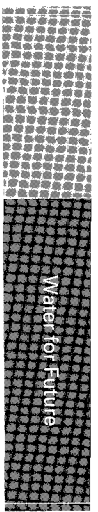
복잡한 도심지역에서는 토지확보가 곤란한 경우가 많으므로 가능한 한 우수지 바닥을 준설하여 심을 깊게 하도록 하여야 한다. 또한 우수지 지하에 대규모의 저류조를 설치하는 방안도 고려할 수 있다.

c. 배수펌프용량의 확충

수공구조물의 파괴빈도가 20년 이하인 우수지에 대해서는 배수시설 기본계획에 근거하여 펌프용량의 확충이 시급하며 펌프용량은 효율성을 감안하여 적정 크기를 결정하되 고장에 대비하여 복수하여야 할 것이다.

d. 펌프장 운영모형의 개선

각종 자동제어이론에 의한 펌프조작결과는 기존의 우수지 수위기준에 의한 펌프조작에 비하여 동일한 홍수대처능력(우수지 저류용량+배수펌프의 펌프용량)에 대해서도 우수지 수위를 낮출 수 있어





내수배제면 및 기존 시설의 활용면에서 양호한 것으로 파악된다.

e. 펌프장 운영의 효율성 평가 및 개선

강우기간의 펌프에 의한 실제적 토출능력 및 유입관로 계통의 통수능들을 정밀 평가하여 설계효율의 수준을 유지하기 위한 유체기계, 전기 및 수리적 평가 연구가 필요하다. 또한 PETRI NET 이론 및 FUZZY 이론을 도입한 자동 제어이론을 적용하는 시험 펌프장을 선정하여 운영함으로써 이에 관한 경험의 축적과 그 적용범위를 확대하는 노력이 필요하다.

④ 하수도의 정비 및 유지관리

관로시설의 개선 및 유지관리가 지속적으로 실시되어야 한다. 기존의 하수도 시설(우수배제시설)의 설치 또는 정비에 있어서는 각 배수구역의 유역특성, 외수위 조건 등을 고려하여 적정 설계빈도 및 유출량 산정방법을 결정해야 할 것이다.

주요 간선관로, 빗물펌프장 및 하천으로 연결되는 구간, 상습침수지역의 주요 관로 등에 대해서는 관망의 해석모형(ILLUDAS, SWMM, MOUSE)을 합리식 및 RRL과 병행하여 적용하며, 하천 및 우수지 수위를 고려한 배수계산을 실시하여야 할 것이다.

우수유출 저감시설을 도입하여 기존 하수도의 부하를 경감시킬 필요가 있으며, 앞으로 신설되는 일정한 규모이상의 도시개발(재개발)은 개발로 인하여 발생하는 우수유출량의 증가분을 의무적으로 처리하도록 법제화 실시가 필요하다.

⑤ 침수관리 종합정보시스템 구축을 통한 상습 침수지역의 체계적 관리

홍수 예방을 위해서는 홍수정보시스템 등을 이용한 비구조물적인 방법에 적극적 투자 및 기술개발 또한 필요하다. 침수피해 상황보고 즉시 실시간 침수 침수피해 전자지도(주택, 도로 등) 작성은 피해 지역에 대한 즉각적인 조치 및 복구계획 수립을 가

능하게 할 것이다. 따라서 침수에 의한 적정 침수피해액 산정을 위해서는 충실한 침수정보 확보 및 분석체계 구축이 선행되어야 한다. 현재 운영되고 있는 홍수정보시스템 자료들은 침수관리 종합정보시스템의 주요 입력 자료로 활용될 수 있다.

※ 침수발생 예상지역을 표시한 상습침수지역 전자지도 작성 및 활용

- 수문 및 지형 분석 등을 통하여 작성되는 상습침수지역 지도는 침수예방, 피난 활동 및 수해홍보 등에 활용될 수 있다.
- 집중호우 지표수의 노면저류 현상으로 일정 깊이(예: 약 30cm)의 침수는 불가피한 지역이 많은 실정이다. 따라서 상습침수지역 지도에 지역별 침수깊이를 사전에 확정해 둬므로서 침수피해의 효과적 관리가 요구된다.
- 이러한 지도는 홍수발생시 수방활동에 효율성을 부여할 뿐만 아니라, 지하층 수방시설 확보, 취약지에 대한 건축 개·보수, 홍수보험 등 사전 침수 피해 경감 노력에 필수적으로 활용될 수 있다.

4. 관할 관리청과의 연계 및 실시간 관리방안 마련

자연재해는 그 발생자체를 근본적으로 막을 수는 없으나 예방대책의 수립을 통해 피해를 최소화할 수 있다는 적극적인 예방방재로의 인식전환이 필요하다. 또한 상습 재해지역일지라도 재해위험에 대한 방심이나 의태심, 안전 불감증으로 안전의식이 결여되어 인재성 자연재해 유발이 잦아지고 있다. 그러므로, 현재 관에서만 이루어지고 있는 수해예방대책을 주민들과 함께 병행하여야 할 것이다.

① 실시간 수문정보 시스템의 확충

서울시의 강우관측자료 및 수위자료 등의 수문자료는 서울시청이나 각 구청 Data Base를 통해 얻



을 수 있으며, 우기시에는 서울시에서 관리하는 『서울시 홍수정보시스템(<http://119.seoul.go.kr/houngsu/index.jsp>)』에서 실시간으로 홍수정보를 얻을 수 있고, 이는 홍수시 상황판단을 위한 자료를 빠르게 활용될 수 있다. 하지만 장마철 강우가 집중하는 홍수기에는 접속량의 증가로 서버 운영에 많은 어려움이 있으며, 실시간 관측자료를 제대로 반영하지 못하는 경우가 있어 개선이 필요하다. 향후 보다 실용성 있는 홍수정보시스템의 구축을 위해서는 기상 레이더 및 강우예측기술을 도입한 실시간 강우 및 홍수정보연계시스템 구축이 필요하며, 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

② 기상 및 홍수예경보 기능의 향상

우리나라에서 홍수의 원인이 되는 호우는 다른 기상예방에 비해 월등히 발생빈도가 높으며, 기상학에서 홍수를 유발하는 현상으로 볼 수 있는 태풍과 해일을 합치면 전체 재해건수의 약 40%가 된다. 이와 같은 재해를 예방하기 위해 매년 수십회에 걸쳐 호우주의보와 이에 따른 홍수주의보, 경보가 발해지고 있으며, 이러한 사전경보(forewarning) 조치로 많은 인명을 구하고, 엄청난 재산피해를 경감하고 있으나 아직도 홍수예보 기술개발, 재해방지 기술개발과 재해방지를 위한 경보조치 기능의 개선이 크게 요청되고 있다. 홍수피해는 기상환경의 해석, 강수량의 예측, 상류지점의 수위(또는 유출량)로부터 대상지점 또는 지역의 수위와 침수 여부를 예상하여 위험을 경고하는 재해방지적 사전경고 조치로서 기상학(강수량 예보 및 적설량 예측)과 수문, 수리학(유출량 및 유로개선, 정비) 등이 상호 관련되어 있다. 이상적인 홍수예보를 위해서는 홍수 발생의 위험성이 있는 기상환경의 변화를 정확히 예측하고 신뢰성이 높은 양적 예보를 할 수 있도록 기상감시와 기상예보기술을 적극 개발해야 한다.

③ 지리정보시스템(GIS)을 연계한 침수 범위 예측

GIS를 이용한 도시지역의 홍수범람 위험구역도나 홍수재해지도를 작성함으로써 유역주민에게 수방에 대한 관심을 높이고, 긴급시의 수방, 대피활동 등에 활용할 수 있으며, 홍수범람에 의해서 침수의 가능성이 있는 지역과 정도를 알림으로서 평소에 인지하고 위험시 신속한 대피행동을 유도할 수 있겠다. 이와 같이 도시홍수 예경보 시스템의 일부로 GIS를 활용한 홍수에 의한 침수지역 및 정도에 대한 정보를 구축함으로써 호우에 따른 홍수 예측, 범람예측, 피해예측 등을 할 수가 있으며 침수예상지역 주민들의 대피요강과 각종 수리·수문 구조물의 조작에 대한 결정 등에 큰 도움이 될 수 있다.

④ 홍수 예경보 시스템의 구축

홍수발생시 응급대책으로는 홍수예경보 체제를 구축하여 주민의 신속한 대피와 피해현황 파악 및 복구라할 수 있겠다. 여기서 가장 중요한 것은 각 관할구청과 시청 재해대책본부 사이의 신속하고 정확한 보고 체계가 이루어져야 하며, 서울시 재해대책본부가 주축이 되어 행동지침을 전달하면 통반장까지 전파될 수 있는 체계의 확립 및 교육이 이루어져야 할 것이다. 홍수피해가 주로 발생하는 6~9월 사이에 기상청의 장기적인 기상예보에 관심을 기울이도록 해야 하며, 관할 구청은 서울시 인터넷자료를 통해 실시간 수위표 자료를 관측하여 위험수위 발생시 서울시로 연락을 취하도록 하며, 서울시는 방재전문가와 협의하여 각 관할구청에 행동지침을 지시하고 피해현황을 파악하고 응급복구팀의 투입 등의 조치를 취할 수 있도록 해야 한다.

⑤ 주민 홍보 및 교육의 확대

자연재해의 불가피성에 대한 인식과 피하려고만 할 일이 아니고 함께 부딪혀 자발적으로 대처할 능력을 배양해야 한다는 홍수재해에 대한 인식의 전환을 유도하고 국가나 지방자치단체에 대한 과도한 의존, 의타심에서 벗어날 수 있도록 장기간에 걸친 자주방재 교육이 지속적으로 실시되어야 한다. 또

한, 주민들이 일상생활로부터 인근의 재해 위험성을 파악할 수 있도록 유도하고, 홍보를 통하여 자연 재해에 대한 경각심을 일깨워주며, 재해발생시 대처요령의 숙지를 위해 체계적이고 효율적인 교육방안이 마련되어야 할 것이다.

5. 홍수 발생시 응급대책 방안

서울시의 과거 침수 실적의 경우 우수관거 처리 용량을 초과한 노면수에 의해 단시간 내 침수로 이어지는 경우가 많았다. 따라서 하도의 짧은 도달시간에 대한 침투홍수의 유입시간 단축을 대비한 대책수립이 필요하며, 내수침수 피해가 예상되는 저지대에서 홍수 발생시 피해를 저감하기 위해 유역 내 시민들에게 사전에 홍수시 대처방안을 숙지시키는 것이 중요하다. 또한, 미처 대비하지 못한 사람이나 차량을 위하여 숙련된 구조대 혹은 구조시설을 확보하여야 하며 대도시 게릴라성 폭우에서 홍수피해를 줄이기 위해서는 경보시스템을 재정비해야 한다. 홍수피해가 주로 발생하는 6~9월 사이에는 기상청의 장기적인 기상예보를 파악하고 각 관할구청 방재 공무원과 실무관련 방재전문가가 수시로 기상예보에 관심을 기울이도록 한다. 또한, 관할구청은 서울시 인터넷자료를 통해 실시간 수위표

자료를 관측하여 위험수위발생시 서울시로 연락을 취하도록 하며, 서울시는 방재전문가와 협의하여 각 관할구청에 행동지침을 지시하고 피해현황을 파악하고 응급복구팀의 투입 등의 조치를 취할 수 있도록 해야 한다. 다음 그림2는 도시홍수 패해저감 및 응급대책 수립을 위한 홍수예경보 관리방안이며, 방재전문가의 구성은 대학의 교수 및 부설연구소의 연구원 등 하천별로 자문 및 협의하는 것이 바람직할 것이다. 또한, 지속적인 수방시설 확충 및 보완, 하천 준설 및 통수단면 확대와 빗물받이 관리 책임제 실시, 수문정보 DB구축 및 수위관측시스템 연계활용, 원격화상관측시스템 확충, 홍수정보 시스템 확충 등 수방업무의 첨단화추진이 수반되어야 할 것이다.

6. 결론

매년 장마와 집중호우, 태풍 등으로 인한 호우는 우리생활에 필수불가결한 수자원을 공급해 주기도 하지만, 반면에 막대한 피해를 주는 홍수를 일으켜 우리에게 커다란 상처를 남기기도 한다. 옛 부터 홍수에 의한 피해는 천재라 하여 인간으로는 어쩔 수 없는 일이라 체념해 왔으며, 재해의 직접적인 피해자인 정부나 주민조차도 이에 대한 적극적인 대책

과 원인규명을 소홀히 한 것이 사실이다. 그러나 오늘날 과학기술의 발전과 경제성장에 의한 국력신장을 고려해 볼 때 도시홍수피해에 대한 사전방재대책의 투자와 응급대책안 마련에 더욱 노력을 기울인다면, 도시 유역의 홍수피해 저감에 상당부분 일조할 수 있을 것으로 사료된다.

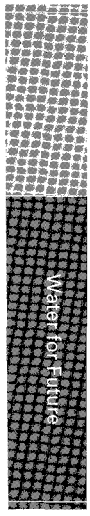
우리나라 대부분 하천의 경우 유로길이가 짧고 하상경사



그림 2. 홍수예경보 및 관리방안

가 급하여 홍수는 대하천 일지라도 강우 직후 1~3 일 이내, 중소하천의 경우 2~3시간 이내에 하구까지 도달한다. 서울시 관내 하천도 예외는 아니어서 하천범람과 역류 및 내수침수영향에 대한 면밀한 검토가 이루어지지 않는다면 저지대 주변의 주택과 농경지는 수해의 위협에 항시 노출되어 취약성을 가지고 있을 것이다. 또한 서울시 전역에 도시화가 점차 진행되면서 유역으로부터 우수의 유출량이 증대되는 동시에 저지대의 전답이나 임야 등의 택지화로 기존에 우수지나 범람원의 역할을 수행하던 지역이 없어짐으로 그 분량만큼 하천의 홍수유출량

이 증가하고 시간에 따른 증가율도 상승하였다. 여기에다 하수도 및 하천개수가 잘 정비되어 도달시간이 더욱 단축되고 홍수시 상류유역에 내린 비가 순식간에 중·하류부 하천으로 모여들어, 하도용량은 이전과 같은데 침투유량의 증대로 수해발생 가능성이 이전보다 증가되고 있다. 따라서 본 고에서 제시한 도시홍수 피해저감 및 응급대책안에 대한 내용을 참고하여 도시유역의 홍수피해 저감을 위한 노력을 꾸준히 시행한다면 도시홍수 피해를 줄이는데 도움이 될 것으로 사료된다. ☞



참고문헌

1. 서울시 (1999), '98년 수해백서, 서울시
2. 서울시 (2002), '01년 수해백서, 서울시
3. 시정개발연구원 (2002), 상습침수지역 관리시스템 구축방안, 서울시
4. 시정개발연구원 (2006), 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구: 홍수재해를 중심으로, 서울시
5. 서울시 (2009), 대학과 연계한 하천관리에 관한 연구용역 2단계 4차년 보고서, pp. 1-97.
6. Hall, M. J.(1984), Urban Hydrology, Elsevier Applied Science Publishers, pp.260-278.
7. Kibler, D. F. (1982), Urban Stormwater Hydrology, American Geophysical Union Washington, D.C., pp.219-242.
8. Wanielista, M., Yousef, Y. A. (1993), Design and Analysis of an Irrigation Pond Using Urban Stormwater Runoff, Engineering hydrology, American Society of Civil Engineers, pp.665-670