기후변화에 따른 도시홍수 저감방안으로서의 LID 기법 적용성 평가
- 굴포천 유역을 대상으로 -

A Study on the Urban Flood Damage Reduction Using the LID Under Climate Change : Case Study on Gulpo Stream Basin

송창준*, 김수전**, 김형수***
Chang Joon Song, Soo Jun Kim, Hung Soo Kim

요 지

기후변화의 영향은 전세계적으로 재해를 가중시키는 역할을 하고 있다. 특히 인구밀도와 자산가치가 높은 도시지역의 홍수피해가 급증함에 따라 이를 방지하기 위한 대책마련이 시급히 요구되고 있다. 본 연구에서는 미래의 기후변화에 대응하기 위한 방안으로 도심지역에 LID(Low Impact Development)기법을 적용하여 도시홍수의 저감방안으로서 그 적용성을 평가하고자 하였다. 이를 위해, 굴포천 유역을 대상으로 XP-SWMM을 이용하여 관망을 구축하고 현재 강우자료(1961~2000년)와 미래의 강우자료(KMA-A2 기후변화 시나리오, 2001~2090년)를 적용하여 현재와 미래의 강우조건에 따른 도심지역의 홍수범람 및 유출량을 산정하였다. 이 결과를 바탕으로 모델링된 지역 중, 기후변화 전후의 상습 홍수범람지역을 우선적으로 선정하여 LID기법을 적용하였다. 효율적인 LID기법의 적용을 위해 토지이용 변화에 따른 시나리오를 작성하고, 이에 따른 유출곡선지수(Curve Number, CN)값을 산정하여 도시홍수 범람지역 및 유출량의 변화를 검토하는데 이용하였다. 분석 결과, LID기법을 적용하였을 경우 기후변화에 따른 도심지역의 홍수 및 유출량을 현재 수준으로 낮출 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구를 통하여 개발이 완료된 도시지역에도 효율적인 LID기법의 적용에 따라 도시홍수 및 유출량을 효과적으로 저감할 수 있을 뿐만 아니라, 기후변화에 대응하기 위한 하나의 대응책으로써 충분한 역할을 할 수 있을 것이라고 판단된다.

핵심용어 : KMA-A2 기후변화 시나리오, XP-SWMM, LID(Low Impact Developement), 유출곡선지수(Curve Number, CN)

1. 서론

최근 기후변화로 인하여 각종 자연재해가 발생하고 있다. 더욱이 도시화 및 시가화가 되어감에 따라 녹지의 감소, 포장율의 증가 등으로 인하여 도달시간이 짧아지고 유출량이 증가하는 등 집중호우 시 수해 발생 가능성이 증가하고 있다. 이에 대응하기 위하여 전 세계적으로 기후변화를 고려한 도시지역 배수시스템의 취약성분석과 대안제시에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 미국 및 선진국의 경우 이에 대한 대응책이자, 국가 환경 정책으로써 LID(Low Impact Development)를 제시하고 있다. 국내에서는 박준호 등(2008)이 춘천 거두 1지구에 LID기법을 적용하여 유출특성을 검토하였고, 권준희 등(2010)은 LID기법에 의한 SCS-CN값의 변화가 강우 유출에 미치는 영향을 평가하였다. 그리고 김진영 등(2010)은 기후변화에 따른 인

* 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : genius0315@nate.com
** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : soojuny@empal.com
*** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

천지역에 대하여 배수시스템의 취약성 분석을 실시하였다. 그러나 각각의 연구가 활발하게 진행되고 있음에도 불구하고 아직까지 기후변화에 대응하기 위한 도시지역의 효과적인 대응책에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 XP-SWMM을 이용하여 굴포천 유역을 대상으로 미래의 기후변화에 따른 도시배수시스템의 취약성을 분석하였다. 그리고 최근 선진국에서 녹색방재의 개념으로 활발하게 연구가 진행되고 있는 LID(Low Impact Development)기법을 적용하여 도시배수시스템의 기후변화 대응 및 적용방안으로서 그 적용성 및 효율성을 평가하고자 하였다.

2. 기본이론

2.1 KMA-RegCM3 모형

기상청 국립기상 연구소는 대기-해양 결합모형인 전 지구 기후모형인 ECHO를 도입하여 전 지구 규모의 기후예측 자료를 산출하였다. 그리고 산출된 결과를 이용하여 동아시아 지역의 미래기후를 예측하게 되었다. 이때 사용되는 모형은 지역기후 모형 MM5로 역학적 규모축소법을 활용하여 약 27km의 해상도를 가지고 미래 기후예측 자료를 계산하였다. 본 연구에서는 이를 통하여 생성된 A2 시나리오에 따른 한반도 기후변화 시나리오를 이용하여 모의하였다.

2.2 LID기법

LID는 다양한 전략과 요소를 유출수 발생원 단계의 설계 안에 포함시킴으로써 유출수를 분산식으로 관리하는 접근 방법으로서 개발 이전 상태와 비슷하게 수문학적으로 기능할 수 있도록 자연적인 저류, 체류, 방지, 처리 기술을 적용하는 것이다. 즉, 물과 관련된 생태적 기능과 관계를 보존하면서 개발을 가능하도록 하는 기술로서 개발지역에 새로운 설계 원리와 소규모 관리 시설을 적용하고, 환경적으로 기능을 하는 경관을 창출하여 오염을 방지함으로써 기능 장애의 생태계나 생태계로부터 분리되어 있던 기존방식 대신 기능을 하는 생태계의 일부를 수용하도록 하는 기법이라고 할 수 있다.

3. 대상유역 및 모델링 구성

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역인 굴포천은 한강 하류부에 위치한 한강의 제 1지류로서 유역면적 133.8㎢, 유로연장이 20.73km 의 지방 2급 하천이며, 신곡배수펌프장을 통해 한강으로 방류된다. 이때 한강수위에 따라 잦은 범람이 발생되는 것을 막기 위해 폭 80m의 방수로를 건설하여 유역의 홍수배제역할을 하고 있다. 그림 1.은 굴포천 유역의 모식도와 관망구성을 나타낸 것이다.

그림 1. 굴포천 유역의 모식도(좌) 와 XP-SWMM을 이용한 관망도(우)

3.2 현재 및 미래의 확률강우량 Data구성

대상 유역인 굴포천 유역의 경우 100년 빈도 임계지속시간 9시간을 기준으로 하고 있다. 인천지역의 현재 강우조건(1961~2000년)과 기후변화를 고려한 미래의 확률강우량을 산정한 결과는 다음 표 1.과 같다.

표 1. 현재의 확률강우량과 기후변화에 따른 미래의 확률강우량 변화

현재 (1961~2000년)	미래 (2090년)	증감률
279.7 mm	396.2 mm	41.6 %

표 1.에서 보는 바와 같이 2090년의 굴포천 유역의 경우, 100년 빈도 임계지속시간 9시간에서는 41.6%의 증가하는 것으로 예측되었다. 결과적으로 기후변화를 고려할 경우 미래의 확률강우량이 279.7mm에서 396.2mm로 증가하는 것으로 산정되었다. 산정된 확률강우량을 인천지역의 강우특성을 고려한 Huff의 3분위로 분포시켰고, XP-SWMM에 적용하여 기후변화가 도시지역의 배스시스템에 미치는 영향을 평가하였다.

3.3 LID기법의 CASE별 시나리오 구성

도시지역에 LID기법을 적용함에 있어서 다양한 방법들이 있지만, 대상유역인 굴포천 유역의 경우 규모가 크기 때문에 소규모적으로 대안을 선정하여 적용하기에는 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 가장 대표적이고 쉽게 적용할 수 있는 옥상녹화의 정도에 따른 시나리오를 작성하였다. LID기법 적용에 따른 토지이용의 변화와 CN값을 산정하기 위하여 ArcView를 이용하였고, 도시지역을 용도에 따라 크게 3개 지역(주거지역, 상업 및 서비스 지역, 공업지역)으로 나누어 각 Case별로 순차적으로 적용하였다. 이때 현재와 미래의 토지이용 상태에 대한 고려가 필요하나, <2020년 인천도시기본계획>에서 대상유역은 이미 개발이 완료된 곳으로 미래에도 큰 변화가 없는 지역으로 분류하였기 때문에 LID기법 적용이외에 개발에 따른 현재와 미래의 토지이용 상태는 변화가 없다고 가정하였다. 본 연구에서 Case.1은 5층 이상의 주택 및 아파트 지역에, Case.2는 Case1+상가 및 서비스 밀집지역에, Case.3의 경우에는 Case2+도심지역 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 5층 이하의 주택에 순차적인 옥상녹화를 적용하였다.

표 2. LID기법(옥상녹화) 적용에 따른 CN값의 변화

구분	현재	미래(기후변화)	Case.1	Case.2	Case.3
CN	90/92/95	90/92/95	86/92/95	86/78/95	78/78/95

위의 표 2.에서는 분류된 3구역에 대해 토지이용 변화에 따른 CN값이 제시되어 있다. CN값이 95로 일정한 구역은 밀집된 공업지역으로 옥상녹화가 어렵다고 판단하여 토지이용의 변화를 적용하지 않았다.

4. 적용 및 결과

4.1 기후변화를 고려한 현재와 미래의 유출 및 배수시스템의 취약성 분석

기후변화 전후의 강우조건을 이용하여 모델링을 실시한 결과, 전반적으로 도심지역의 홍수량이 증가할 뿐만 아니라, 기존에 홍수범람이 발생하지 않았던 지역에서도 추가적으로 홍수범람이 발생하였다. 이번 절에서는 궁극적으로 본 연구의 목적인 기후변화에 따른 도시배수시스템의 취약성을 평가하기 위하여 배수시스템의 통수능 변화를 분석하였다. 분석결과를 바탕으로 기후변화에 따른 관거의 설계유량 및 현재-미래 모의유량에 대한 각각의 모의유량과 발생빈도에 대한 도수분포표를 나타내면 다음 그림 2.와 같다.

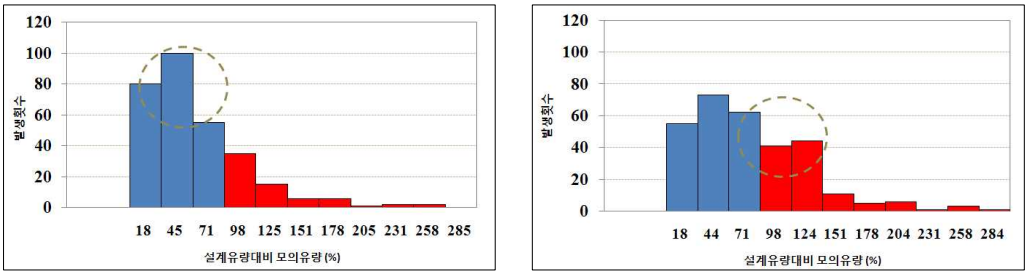

그림 2. 현재의 모의유량 대비 설계유량(좌)과 미래의 모의유량 대비 설계유량(우)

그림 2.의 결과를 비교해볼 때, 기후변화가 발생할 경우 모의유량의 비율이 80%이상인 위험수준(빨간색 부분)의 해당하는 관이 총303개의 관 중 68개에서 112개로 늘어났음을 알 수 있다. 즉, 설계유량에 대해서 모의유량의 증가량 분포가 오른쪽으로 치우치게 되어 굴포천 유역에서 도시배수시스템의 홍수취약성이 증가할 것으로 예상된다.

4.2 LID기법 적용에 따른 유출 및 취약성 분석(CASE 별)

본 연구에서 굴포천 도심지역에 각 Case별로 LID기법을 적용한 결과, 기후변화에 따른 홍수량 및 배수시스템의 취약성 문제에 있어서 상당한 적용성을 보여주었다. 그림 3.에서는 기후변화 전후와 상관없이 홍수범람이 발생한 총13곳과 기후변화 후 추가적으로 홍수범람이 발생하는 19곳의 지점 중에서 대표적으로 각 4개 지점(계양동, 작전동 지역)을 선정하여, Case별 적용에 따른 홍수량의 변화를 보여주었다. 전반적으로 기후변화 시 증가하게 되는 홍수량을 감소시켜주는 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 Case3의 적용은 기후변화에 의해 발생되는 홍수량을 현재수준에 가깝게 감소시키는 결과를 보여주고 있다.

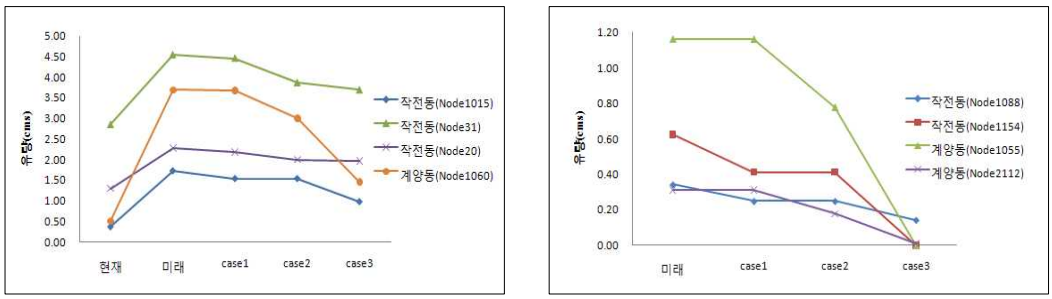

그림 3. Case별 적용에 따른 기존 홍수발생지역의 변화(좌)와 추가홍수발생지역의 변화(우)

그림 4.는 앞서 언급한 최적의 대안이라고 볼 수 있는 Case3의 적용이 현재-미래 조건 및 대응책으로서의 LID 적용에 따라 배수시스템에 어떠한 영향을 미치는지, 모의된 첨두유량과 발생빈도의 관계를 도수분포표로 나타낸 것이다. 다음의 그림 4.를 보면, 기후변화가 발생할 경우에 관거에 현재 유량에 비해 큰 첨두유량의 발생 빈도가 증가하게 되어 배수시스템의 취약성 문제가 발생할 수 있다. 그러나 Case3에서 홍수피해가 발생하는 주거지역 및 상업지역에 집중적인 옥상녹화를 실시한 결과, LID기법 적용에 따른 토지이용의 변화가 강우의 침투량의 증가와 유출시간을 지체시킴으로써 홍수량을 감소시켜주어 현재수준의 배수시스템 상태를 유지시켜주는 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

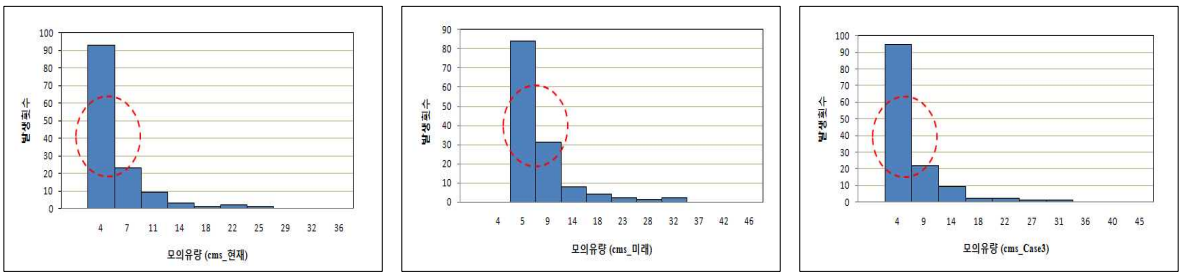

그림 4. 각 Case별 적용에 따른 첨두유량 발생빈도의 도수분포표 (현재-미래-Case3)

5. 결론

본 연구에서는 미래의 기후변화에 대응하기 위한 방안으로 먼저 도시배수시스템의 취약성을 분석하고, LID(Low Impact Development)기법을 적용하여 도시홍수의 저감방안으로서 그 적용성을 평가하고자 하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 굴포천 유역을 대상으로 XP-SWMM에 현재강우(1961~2000년)와 기후변화를 고려한 미래강우(2001~2090년)를 적용하여 대상유역의 홍수분석 및 배수시스템의 취약성을 분석하였다. 그 결과, 기존의 홍수범람 노드 중 13곳의 홍수량이 증가하였고, 추가적으로 19곳에서 홍수범람이 발생하였다. 그리고 관거의 설계유량 대비 모의유량(현재-미래)을 분석한 결과, 모의유량의 비가 80%이상의 위험지역이 증가하는 것으로 나타나면서, 미래의 기후변화가 고려됐을 경우 도시지역의 배수시스템에 취약성 문제가 발생하게 될 것으로 생각되었다.

따라서, 본 연구에서는 기후변화에 따른 도시지역의 홍수범람 및 배수시스템의 취약성 문제에 대응하기 위한 방안으로 Case별 시나리오를 작성하여 LID기법을 적용하였다. 각 Case에서 토지이용의 변화(옥상녹화의 심화정도)에 따른 CN값의 변화는 앞서 언급한 결과에서 나타난 바와 같이 LID가 기후변화에 따른 도시지역의 홍수범람과 배수시스템의 취약성 보완측면에서 효과적인 대응책이자 그 적용성이 크다는 것을 보여주었다. 그리고, LID기법을 통하여 기후변화에 따른 도시지역의 홍수범람 및 배수시스템 체계의 문제를 효과적으로 현재수준까지 낮추는 것이 최종적인 목적인만큼, 본 연구에서 사용한 옥상녹화뿐만 아니라 조금 더 다각적이고 효과적으로 적용 가능한 대안을 찾는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-09-NH-02] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박준호, 윤용구, 박영곤, 윤희택, 김종건, 박윤식, 전지홍, 임경재(2008). SWMM을 이용한 춘천 거두1지구의 LID개념 적용으로 인한 유출감소 특성 분석, 한국물환경학회지, 제24권, 제6호, pp. 806-816.
2. 권준희, 이승철, 하성룡(2010). LID 기법에 의한 SCS-CN값 변화가 강우유출특성에 미치는 영향 분석, 한국습지학회 학술발표대회 학회논문집, pp. 216-220.
3. 김진영(2010). 기후변화를 고려한 도시배수시스템의 평가, 박사학위논문, 인하대학교.
4. 인천광역시(2006). 2020년 인천도시기본계획.