

Query 및 Mathematical 기법을 이용한 홍수범람 해석

정 하 옥* / 박 상 우*** / 추 태 호*** / 박 건 철****

An analysis of Flood Inundation using Query and Mathematical Method

Ha Ok Jeong* / Sang Woo Park*** / Tai Ho Choo*** / Kun Chul Park****

요약 : 본 연구에서는 기존 연구에서 도출된 프로그램 사용의 어려움이나 많은 매개변수 산정 및 적용 문제, 복잡한 전처리과정 등의 어려움이나 문제점을 좀 더 단순화하고 정밀도가 높은 범람해석 및 홍수범람도 작성 방법을 제시하여 위험요소를 줄이고 개선시킬 수 있는 기법을 제시하고자 하였다. 대상 하천으로는 안성천 유역을 선정하였으며 월류 및 제방 붕괴만을 고려하기 위하여 계획빈도를 초과하는 이상홍수개념으로 홍수범람 시나리오를 작성하여 범람모의를 실시하였다. 범람모의를 위한 모형 적용은 1차원 수치모형인 HEC-RAS의 Storage 기능을 이용하여 월류 및 제방 붕괴에 대한 분석을 실시하였으며, 일반적으로 사용되는 Area-Time-Depth 방법보다는 좀 더 정확한 범람모의를 위해 Elevation versus Volume Curve를 적용하였다. Arcview 3.2a의 Query기법과 SURFER의 Mathematical 기법을 이용하여 작성한 침수면적의 차이가 크지 않아 전처리과정이 복잡한 Arcview 3.2a보다 비교적 작성방법이 간단하고 정밀도가 높은 홍수범람도를 작성할 수 있는 방법을 제시하였다.

핵심용어 : 월류 및 제방 붕괴, Query 및 Mathematical 기법, Arcview 3.2a, SURFER

Abstract : In this study, it has been intended to present the ways to improve some problems such as the difficulty of using the program which had got from the existing study, the computation and application of a lot of parameter and the complicated processing which need to be more simplified. Also It has been tried to bring up the ways to make a flood inundation map and a detailed inundation analysis which could reduce the risk factors. We selected an Anseong-Cheon basin, and wrote a flood inundation scenario based on extreme flood to exceed the planned frequency to consider only overflow and levee break and executed inundation simulation. Researchers conducted an analysis of overflow and levee break using function of HEC-RAS Storage with a One-Dimensional model. It applied Elevation versus Volume Curve for more correct inundation simulation than a method of Area-Time-Depth which used in popular. This study will suggest a mathematical method of SURFER with a little difference of inundation area more simplified and precise flood inundation than complicated Arcview 3.2a which used Query method of Arcview 3.2a.

Keywords : overflow and Levee Break, Query and Mathematical method, Arcview 3.2a, SURFER

1. 서 론

하도내에 발생하는 홍수류에 의해 제방이 붕괴되거나 월류에 의한 피해원인은 실질적으로 하나의 원인이 아닌 복합적인 원인들로 인해 동시

다발적으로 발생하는 것이 일반적이라고 하겠으며, 특히 우리나라의 경우 대부분이 급한 하상경사와 산악지형으로 이루어져 이러한 지형 특성과 이상기후 등의 기상학적인 요소가 범람피해를 가중시키고 있다. 또한 댐, 제방, 저류지 등의

+ Corresponding author : hydropsw@hanmail.net

* 서남대학교 토목공학과 박사과정수료

** 서남대학교 토목공학과 교수

*** 부산대학교 토목공학과 부교수

**** (주)씨제이건설 수자원부

수공구조물은 1차적으로 홍수를 제어하는 구조물로 운영의 미흡이나 설계규모의 부적절, 또는 구조물 자체가 붕괴될 경우에는 더욱 큰 피해를 야기할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 이러한 홍수재해의 경감을 위하여 최근에 와서는 각 하천에서 산정된 홍수량을 이용하여 가상으로 홍수범람모의를 실시하거나 실제 하천의 제방이 붕괴되었던 지역을 적용하여 홍수범람에 대해 연구하는 등 수자원 분야에 많은 연구가 진행되어지고 있으며, 홍수에 의해 제방이 붕괴된 대표적인 국내 사례는 2000년의 봉산제, 2002년의 가현제, 2003년의 미천제 및 월현제, 백산제 등의 붕괴 사례가 있다.

따라서 본 연구에서는 월류 및 제방 붕괴에 따른 범람이 진행되었을 경우 많은 피해를 야기할 수 있는 안성천 유역을 대상으로 범람시나리오를 작성 및 적용하여 가상적인 홍수범람모의를 실시하였다. 시간의 변화에 따라 월류량 및 침수위 등을 분석하기 위해 HEC-RAS를 이용하여 부정류 해석 및 Storage 범람해석을 실시하였으며, 기존의 홍수범람도 작성 방법보다 전처리과정이 비교적 간단하면서도 정확한 홍수범람도 작성 방법을 제시하기 위하여 Query 및 Mathematical 기법을 적용하여 침수심도 및 홍수범람도를 작성하였다. 또한 작성된 홍수범람도의 검증은 위하여 Arcview 3.2a를 이용한 홍수범람면적과 비교 분석하여 기존의 방법보다 간단하고 정밀도가 높은 홍수범람도 작성 기법을 제시하였다.

2. 대상유역의 수문 · 수리 분석

2.1 대상유역의 선정

본 연구의 대상유역인 안성천 유역은 동경 126°50'~127°00', 북위 36°50'~37°20'의 한반도 중서부 지역에 위치하고 있으며, 유역면적은 1657.58km, 유로연장은 59.51km이다. 지형은 유역경계를 제외하고는 대부분이 평야지대이고, 아산호 주변에는 대단위 농경지가 조성되어 있다.

유역의 평균고도는 EL. 68.70m, 평균 경사는 약 7.08°, 총 하천연장은 740km, 하류구간의 하상경사는 1/12,000, 중류구간의 하상경사는 1/1,500, 상류구간의 하상경사는 1/300정도이다.



그림 1. 연구 범위 및 위치도

2.2 대상유역의 수문 · 수리 분석

수리 · 수문 및 범람모의를 위해서는 먼저 지형 자료와 각각의 경계조건을 필요로 하게 된다. 확률강우량에 대해서는 안성천유역종합치수계획에서 산정된 확률 강우량을 적용하였으며, 홍수량 산정을 위해서 208개의 소유역과 109개의 하도구간으로 구축하여 미공병단의 HEC-HMS를 사용하여 각 빈도별 홍수량을 산정하였다. 기점홍수위는 안성천 하구에 아산호 배수갑문이 설치되어 있어 외수위인 서해의 조위와 홍수의 유입에 의해 형성되는 내수위의 영향을 고려하여 기점홍수위를 적용하였으며(안성천하천정비기본계획, 2002), 1차원 부정류 모의를 위하여 널리 이용되고 있는 HEC-RAS의 UNET 모형을 이용하였다.

홍수량 산정 및 부정류 해석을 위한 모의구간은 그림 2에서와 같으며 안성천 본류를 포함한 진위천 및 황구지천, 오산천, 성환천, 입장천, 둔포천 등을 고려하고 소지류들은 측방유입유량 조

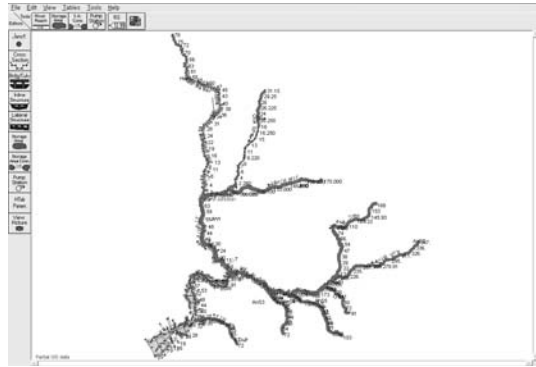
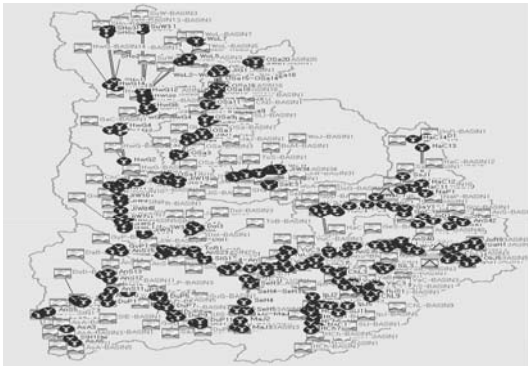


그림 2. HEC-HMS와 HEC-RAS 모형의 구축 및 HEC-DSS 파일 연결

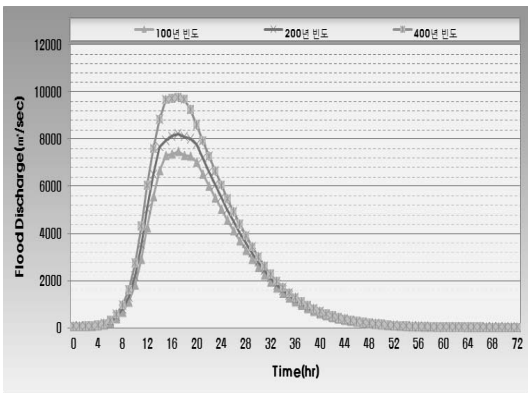


그림 3. 경계조건(유량수문곡선)

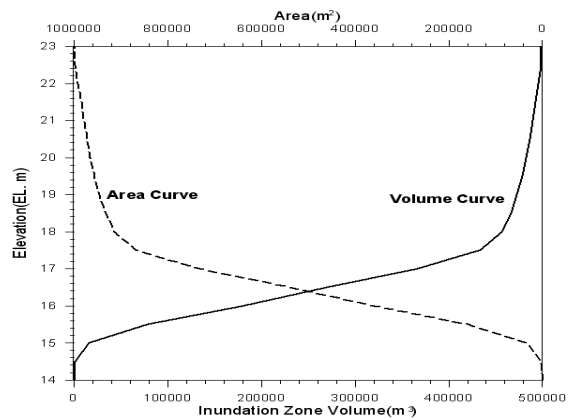


그림 4. Elevation-Area-Volume Curve

건으로 모의를 수행하였으며, 경계조건들은 HEC-DSS 파일로 HEC-HMS와 HEC-RAS 모형을 연계하여 적용하였다. 안성천 하구에서 100년 및 200년 빈도의 홍수량을 산정하여 안성천수계 유역종합치수계획(2007)에서 산정된 홍수량과 비교 검토한 후 400년 빈도에 대한 홍수량을 그림 3과 같이 나타내었으며 제내지의 경계조건은 그림 4와 같이 표고 0.5m 간격에 대한 면적 및 체적을 Arcview 3.2a를 이용하여 작성된 Elevation-Area-Volume Curve를 적용하였다.

3. 홍수범람 모의

3.1 홍수범람 시나리오 작성

실제 자연하천에서 범람이 발생하는 경우에는

제내지의 용량에 따라 하류에 영향을 미쳐 하류 경계조건들의 변화를 고려하여 적용시키는 것이 옳다고 하겠으나 현재까지는 이러한 현상을 수리학적으로 정확히 반영하기에는 아직 어려운 단계라고 하겠다. 본 연구에서도 범람으로 인한 하류 영향의 변화에 대해서는 반영하지 못하였으나 다음과 같은 시나리오를 작성하여 범람모의를 연구하였다.

홍수범람 시나리오는 홍수사상 및 데이터의 규모를 나타내는 값으로 홍수규모를 표현하기 위한 빈도규모 시나리오와 내수침수를 배제한 월류 및 제방 붕괴조건 시나리오로 구성된다. 본 연구에서는 범람모의를 위하여 설계빈도를 초과하는 200년 빈도 이상을 적용하였으며, 외수에 의한 침수이외에도 내수에 의한 침수피해가 있겠으나 본 연구에서는 외수에 의한 범람을 우선적으로 적

표 1. 제방 붕괴 길이의 산정식

합류점의 경우	합류점 이외의 경우
$B_b = 4.5(\log_{10} B)^{3.8} + 50$	$B_b = 1.9(\log_{10} B)^{4.8} + 20$

여기서, B_b : 제방붕괴폭(m), B : 하천폭(m)

용하는 것으로 시나리오를 작성하였다.

안성천 유역의 자연 월류 및 제방 붕괴에 의한 홍수범람모의를 위하여 기설된 제방고와 홍수위를 비교 분석하였으며, 제방 붕괴지점은 자연 월류에 의한 범람모의 결과와 비교하기 위하여 월류가 발생하는 지점을 기준으로 최대 피해가 발생할 수 있는 지점을 선정하여 강제 붕괴시켜 실시하였다. 또한 제방 붕괴시 붕괴 길이의 결정은 표 1과 같이 홍수지도 제작지침(건교부, 2001)에서 제시된 공식을 적용하였다.

표 2. 제방 붕괴지점 적용공식 및 붕괴 길이

붕괴지점	적용공식	하천평균폭(m)	제방붕괴길이(m)
팽성	합류점 이외의 경우	582.2	351.2
평택	합류점 이외의 경우	488.2	239.0

200년 빈도의 경우에는 팽성지역에서만 자연 월류에 의한 범람이 발생되었으며, 400년 빈도의 경우에는 팽성지역과 평택지역에서 범람이 발생되었다. 자연 월류가 발생하는 지역에서 제방이 제내지의 최저 표고까지 강제로 붕괴된다는 가정하에 범람모의를 실시하였으며 팽성지역에서의 하천 평균폭은 582.2m, 평택지역에서의 하천평균폭은 488.1m로 제방 붕괴 길이는 각각 351.2m와 239.0m로 산정되었다.



그림 5. 자연 월류 및 제방 붕괴 지점 선정

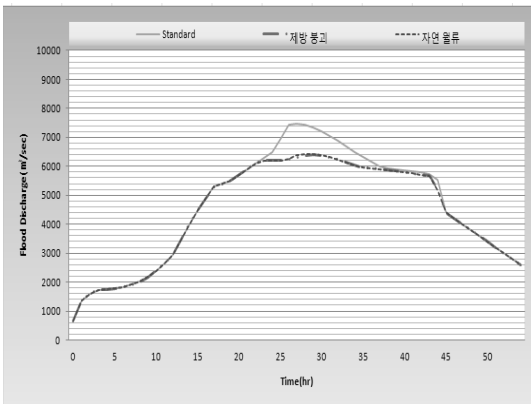
3.2 범람모의 결과

자연 월류 및 제방 붕괴에 의한 범람모의를 분석한 결과 팽성지역 200년 빈도의 경우 침수위가 6.94m와 7.20m로 침수위의 차이는 0.26m의 차이가 발생하였으며 침수면적에서는 $0.11km^2$ 의 침수면적의 차이가 발생하였다. 또한, 400년 빈도의 경우에는 0.25m의 침수위 차이가 나타나는 것으로 분석되었으며 침수면적의 차이는 0.08

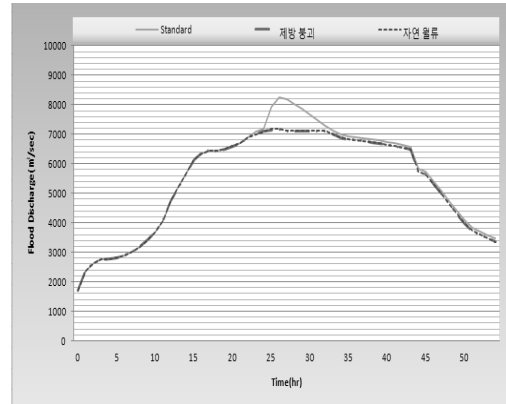
km^2 인 것으로 분석되었다. 평택지역의 경우에는 0.01m의 침수위차가 발생하는 것으로 분석되었으나 침수면적에서는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 외수범람에 의한 침수면적은 월류에 의한 범람보다 제방 붕괴로 인한 홍수범람시 더 큰 것으로 분석되었으며, 제내지의 평지에서 범람이 진행된 후 산지지형과 접하게 되면 산지영향으로 침수위에 따른 침수면적의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

표 3. 월류 및 제방 붕괴에 대한 범람모의 결과

지점명	홍수사상	범람 유형	침수위 (m)	침수면적 (km ²)	침투월류 발생시간(hr)
팽 성	200년	자연 월류	6.94	10.79	6시간 00분
팽 성	200년	제방 붕괴	7.19	10.90	7시간 30분
팽 성	400년	자연 월류	7.20	10.91	7시간 00분
팽 성	400년	제방 붕괴	7.45	10.98	8시간 30분
평 택	400년	자연 월류	8.25	1.84	3시간 30분
평 택	400년	제방 붕괴	8.26	1.84	8시간 00분



(a) 200년 빈도(팽성)



(b) 400년 빈도(팽성)

그림 6. 자연 월류 및 제방 붕괴에 의한 홍수량 저감효과

3.3 저류효과 분석

범람으로 인한 하도내의 홍수량 변동을 분석하기 위하여 HEC-RAS의 Storage의 기능을 이용하여 분석을 실시하였으며 팽성 및 평택지역의 저류용량을 검토한 결과 평택지역의 범람으로 인한 홍수량 저감효과는 미미할 것으로 판단되어 팽성지역에서의 저류효과를 분석하였다.

그림 6에서 나타낸 것과 같이 팽성지역에서 200년 빈도 홍수사상에 의한 범람이 발생하였을 경우 자연 월류로 인한 하도내의 홍수량은 1026.39m³/sec가 감소되어 약 13.8%의 홍수량

저감효과를 가져왔으며 제방 붕괴에 의한 홍수량은 1071.74m³/sec가 감소로 약 14.4%의 홍수량 저감효과를 발생시키는 것으로 분석되었다. 400년 빈도의 경우에는 자연 월류에 의한 범람이 발생할 경우 1067.00m³/sec가 감소되었으며, 제방 붕괴의 경우에는 1107.87m³/sec가 감소하여 각각 12.9% 및 13.4%의 저감효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 200년 및 400년 빈도의 결과를 비교한 결과 홍수사상이 커짐에 따라 저류량은 증가하였으나 제내지의 산지 지형 영향으로 저류용량이 크게 증가하지 못하여 저감효과 비율은 감소되는 것으로 분석되었다.

4. 홍수범람도 작성

4.1 Query 및 Mathematical 기법 검증

SURFER 모형의 Mathematical 기법을 이용하여 작성된 홍수범람도의 검증을 위하여 평성 및 평택지역의 홍수범람도를 작성하였으며, Arcview 3.2a의 Query 기법과 비교 검토하였다. 홍수범람도 작성은 400년 빈도에 대해 최대 침수위가 발생한 시간 때의 최대범람도를 작성하였으며, 표 4

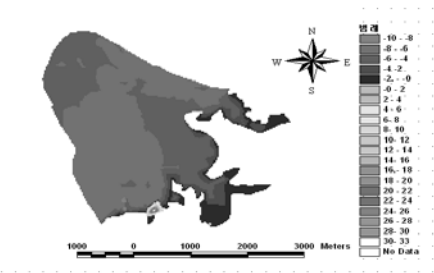
와 같이 Arcview 3.2a를 이용한 홍수범람도와 비교한 결과 평성지역에서는 자연 월류에 의한 홍수범람도에서 2.42%, 제방 붕괴에 의한 홍수범람도에서는 2.83%의 차이를 보여 약 2.63% 정도의 차이를 보였다. 평택지역의 경우에는 자연 월류 및 제방 붕괴에 의한 침수면적의 차이는 없었으며, 두 기법에 의한 침수면적의 차이는 2.50%의 차이를 보여 홍수범람도 작성시 침수면적의 차이는 그리 크지 않은 것으로 작성되었다.

표 4. 400년 빈도에 대한 침수면적 비교

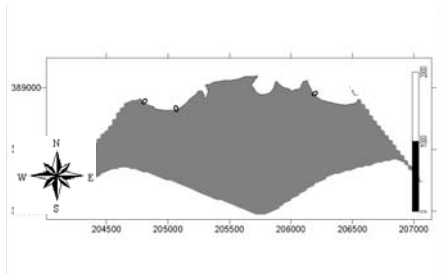
구 분		총면적 (km ²)	SURFER (km ²)	Arcview 3.2a (km ²)	SURFER 침수면적비(%)	Arcview 3.2a 침수면적비(%)	침수면적비차 (%)
평성	자연 월류	12.0	10.91	10.62	90.92	88.50	2.42
	제방 붕괴	12.0	10.98	10.64	91.50	88.67	2.83
평택	자연 월류	2.0	1.84	1.79	92.00	89.50	2.50
	제방 붕괴	2.0	1.84	1.79	92.00	89.50	2.50



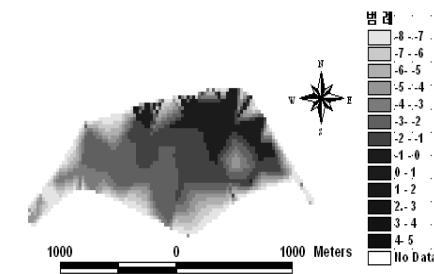
(a) 평성지역 홍수범람도(SURFER)



(b) 평성지역 홍수범람도(Arcview 3.2a)



(c) 평택지역 홍수범람도(SURFER)



(d) 평택지역 홍수범람도(Arcview 3.2a)

그림 7. SURFER와 Arcview 3.2a 모형을 이용한 최대홍수범람도 비교(400년 빈도)

그림 7과 같이 팽성 및 평택지역의 홍수범람도 작성을 위하여 제내지의 침수위 및 지형을 Grid 파일로 생성시켰으며 이때 X, Y좌표와 사이즈를 항상 같게 생성시켜야 정확한 결과값을 얻을 수 있다. 이렇게 생성된 두 Grid를 이용하여 지형 Grid에서 침수위Grid를 빼는 수학적 기법을 적용하여 홍수범람도를 작성하였으며 격자크기가 클 경우에는 범람면적이 과소산정 될 수 있고 격자크기가 작을 경우에는 범람면적이 과대 산정되거나 Grid파일 생성 시간이 오래 걸리는 단점이 있으므로 일반적으로 적용되는 30m×30m의 격자크기를 적용하였다.

4.2 최대 홍수범람도 작성

본 연구에서는 SURFER 모형에 Mathematical

기법을 적용하여 400년 빈도의 홍수사상에 대한 홍수범람도를 팽성 및 평택지역에 대하여 작성하였다. 또한 하도내의 홍수위를 침수위로 적용하는 기존의 연구와는 다르게 제내지의 지형을 고려하여 보다 정확한 침수위를 산정하기 위해 Elevation-Area-Volume Curve를 적용하여 제내지의 범람분석을 실시하였다. SURFER 모형의 Mathematical 기법은 한 번의 과정으로 특징의 침수위 및 다양한 침수위 간격에 대한 침수심도를 작성할 수 있는 장점을 가지고 있어 검증 결과에서와 같이 Arcview 3.2a 및 다른 모형을 이용하는 방법보다 전처리 과정이 비교적 간단하고 신뢰성 있는 홍수범람도를 작성할 수 있는 방법을 제시하였다.

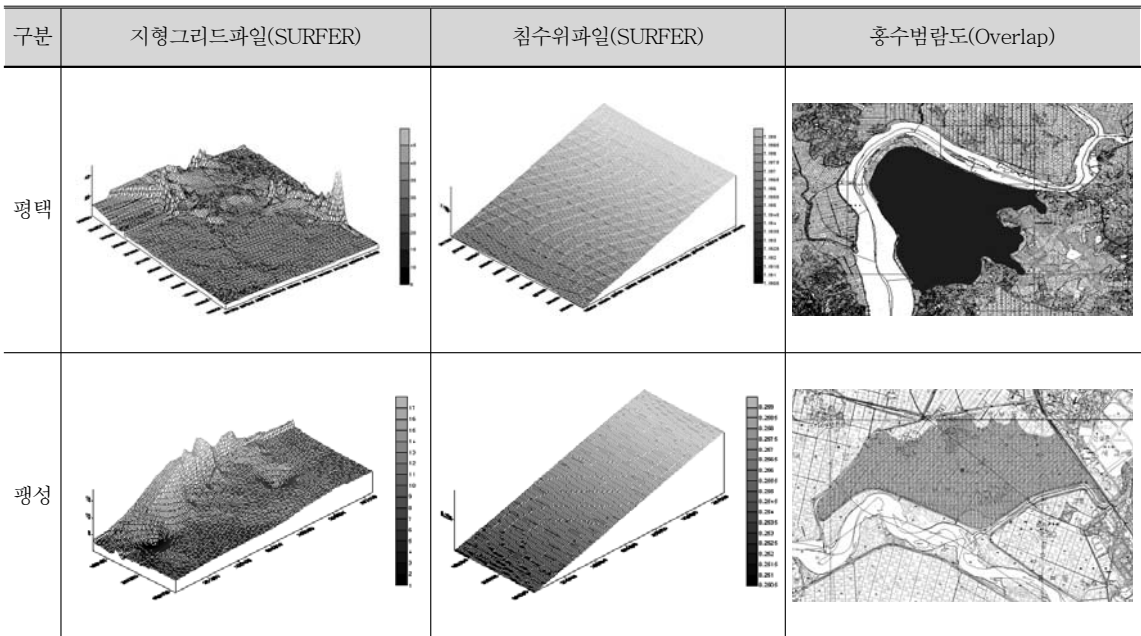


그림 8. 팽성 및 평택지역 최대 홍수범람도(400년 빈도)

5. 결 론

본 연구에서는 안성천 유역을 대상으로 HEC-RAS 모형의 Storage 기능을 이용하여 제내지의 홍수범람모의를 실시하였으며 기존의 방법보다 정

확한 범람모의를 위해 Elevation versus Volume Curve를 Arcview 3.2a 모형을 이용하여 산정하였다. 또한, Arcview 3.2a의 Query 기법 및 SURFER의 Mathematical 기법을 이용하여 팽성 지역과 평택지역의 홍수범람도를 작성하였으며 이

상의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 부정류 흐름으로 저류지 모의를 실시한 결과 시간에 따른 하도에서 제내지로의 월류량 및 침수위, 침수면적, 하도내의 홍수량 저류효과 등을 분석할 수 있었으며, 보다 정확한 범람모의를 Elevation versus Volume Curve를 적용하였다.
2. Arcview 3.2a의 Query 및 SURFER의 Mathematical 기법을 적용하여 침수면적을 비교 분석한 결과 Arcview 3.2a를 이용하여 작성한 홍수범람도의 정밀도가 약간은 높다고 판단되나, SURFER를 이용한 홍수범람도의 침수면적과 약 2.63%정도의 차이를 보여 그 차이가 크지 않았다.
3. SURFER 모형의 Mathematical 기법을 적용하여 홍수범람도를 작성한 결과 한 번의 과정으로 특정의 침수위 및 다양한 침수위 간격에 대한 침수심도를 작성할 수 있었으며 Arcview 3.2a의 전처리 과정보다 비교적 간단하고 정확하며 신뢰성이 있는 홍수범람도를 작성할 수 있는 방법을 제시하여 범람 해석에 의한 홍수범람도 작성에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

건설교통부(2007). 안성천수계 유역종합치수계획 수립보고서

건설교통부(2003). 한강유역권-2차 홍수지도제작 보고서

건설교통부(2002). 안성천수계 하천정비기본계획 보고서

김동구, 김원, 김상호(2001). 한강 하류부 흐름해석을 위한 UNET 모형의 적용, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), pp. 673~678.

김정희(2004). 제방붕괴 규모에 따른 홍수범람 특성 연구, 석사학위논문, 경기대학교

서규우(2002). 낙동강유역 침수범람에 따른 홍수터 관리 방안연구, 한국습지학회논문집, 제4권, 제2호, pp.57~66.

이종태, 허성철, 김정희, 한건연(2006). 제방붕괴조건에 따른 도시하천의 홍수범람 특성 및 홍수지도 작성, 한국수자원학회논문집, 제39권, 제5호, pp. 383~394.

정하옥(2007). 파제에 의한 홍수범람 및 하도내 수위변동 분석, 석사학위논문, 서남대학교

U.S. Army Corps of Engineers(2003). Floodplain Modeling Using HEC-RAS

U.S. Army Corps of Engineers(2002). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual

- 논문접수일 : 10년 04월 06일
- 심사의뢰일 : 10년 04월 07일
- 심사완료일 : 10년 04월 21일