

저지대 농경지의 홍수범람 분석

Analyzing the Flood Inundation in Low Agricultural Area

전 계 원* · 이 호 진**,*

Jun, Kye Won · Lee, Ho Jin

Abstract

This study analyzes the flood inundation in low agricultural area caused by rainfall during typhoon periods and how flood inundation areas should be affected. GIS techniques, HEC-HMS and HEC-GeoHMS were used for flood runoff, HEC-RAS was applied in water surface elevation analysis at each cross-section. RMA2, SED2D were applied for runoff characteristics of inundation areas and river bed change and distribution of sediment. As a result, velocity distribution was analyzed 2.6 m/s-3.4 m/s in flood inundation by water level increase. In the case of bed elevation change, most sediments were deposited to the parts that adjoin bank.

Keywords : Flood inundation, Runoff characteristics, HEC-GeoHMS, RMA2, SED2D

I. 서 론

최근 이상기후의 영향으로 계절성 호우 및 태풍 등과 같은 자연재해의 발생 요인이 증가하고 있다. 특히 여름철 태풍에 의한 집중호우는 농경지의 범람, 도심지역 저지대의 침수피해 유발, 하천주변의 저지대 및 수공구조물의 안전을 위협하고 있다. 인간 생활의 안전과 편의를 위해 하천주변에 설치되는 수공구조물은 때때로 홍수기에 홍수범람 및 제내지의 침수피해를 가중시키는 원인이 되기도 한

다. 따라서, 홍수피해를 경감시키기 위해서는 유역의 강우-유출 특성의 파악, 홍수재해의 발생시 예상될 수 있는 홍수범람구역의 정확한 추정과 홍수 예경보 및 하천주변 수공구조물의 철저한 관리 등이 필요하다.

홍수범람지역의 유출특성 분석 및 홍수피해지역 산정에 관한 연구는 GIS와 연계하여 발전해 왔다. Eric Tate와 Francisco Olivera(1999)가 공동으로 HEC-RAS와 GIS를 이용하여 홍수범람도 작성에 대해 연구하였고, Peter B. Andry Jr와 David Maidment(2000)는 HEC-HMS, HEC-RAS, ArcView를 함께 이용하여 홍수터의 3차원 분석을 시도하였다.

국내에서 홍수피해 및 홍수범람지역 해석을 위한 연구를 살펴보면 이종태 등(1989)은 하천제방의

* 강원대학교 방재기술전문대학원 조교수

** 강원대학교 시간강사

† Corresponding author. Tel.: +82-33-570-6816

Fax: +82-33-570-6819

E-mail address: lhjce@hanmail.net

붕괴에 따른 제내지의 침수예측 모형에 관해 연구하였고, 서규우 등(1997)은 ILLUDAS 모형을 이용하여 도시하천유역 저지대 택지개발로 인한 침수영향분석을 수행하였으며, 김한준 등(2000)은 준 2차원 계산 모형을 적용하여 침수해석을 수행하였다. 또한 신현석 등(2000)은 GIS를 이용하여 HEC-HMS와 HEC-RAS의 기본자료를 획득하고 이를 통해 수영강의 홍수영향 분석을 하였으며, 안상진 등(2001, 2003)은 ArcView와 HEC-GeoRAS 및 HEC-HMS를 이용하여 홍수범람 지역 분석 및 침수면적을 산정하였고, 황태하 등(2004)은 홍수범람면적 및 홍수범람 위험지역 산정을 위해 HEC-GeoRAS와 HEC-RAS를 연동하여 사용하였다.

본 연구에서는 2002년 발생한 태풍 '루사'의 영향으로 금강수계 지류인 초강이 흐르는 충북 영동군 일원에 발생한 집중호우에 따른 홍수범람시 유출특성을 분석하기 위해 강우자료 수집 및 분석, 홍수유출량 산정, 외수위 변동과 홍수범람지역의 수리특성과 하상변동, 유사분포 모의를 수행하였다. 홍수유출량 산정을 위해서는 GIS 기법을 활용하는

HEC-GeoHMS와 HEC-HMS모형을 적용하여 유역 유출해석을 수행하였고 외수위 변동을 해석하기 위해서는 HEC-RAS 모형의 부정류 해석 기법을 적용하여 실시간 수위변동 해석을 수행하였다. 또한 홍수범람 지역의 기본적인 수리특성 분석과 하상변동, 유사분포 모의를 위해서는 SMS 모형의 RMA2와 SED2D 모형을 적용하였다. 그리고 분석된 결과는 홍수범람시 피해발생지역의 유출특성해석 및 수해방지대책 수립을 위한 기본 자료로 제공하고자 한다.

II. 홍수범람지역 피해사례 및 기본자료

1. 홍수범람지역 피해사례

대상유역인 영동군의 면적은 845.01 km²로서 임야가 658.29 km²로 77.8%를 차지하고 농경지가 119.2 km²로 14.1%, 기타가 68.70 km²로 8.1%로 구성되어지며 특히 홍수범람 피해지역인 충북 영동군 용산면 산저리 일원은 금강유역 초강

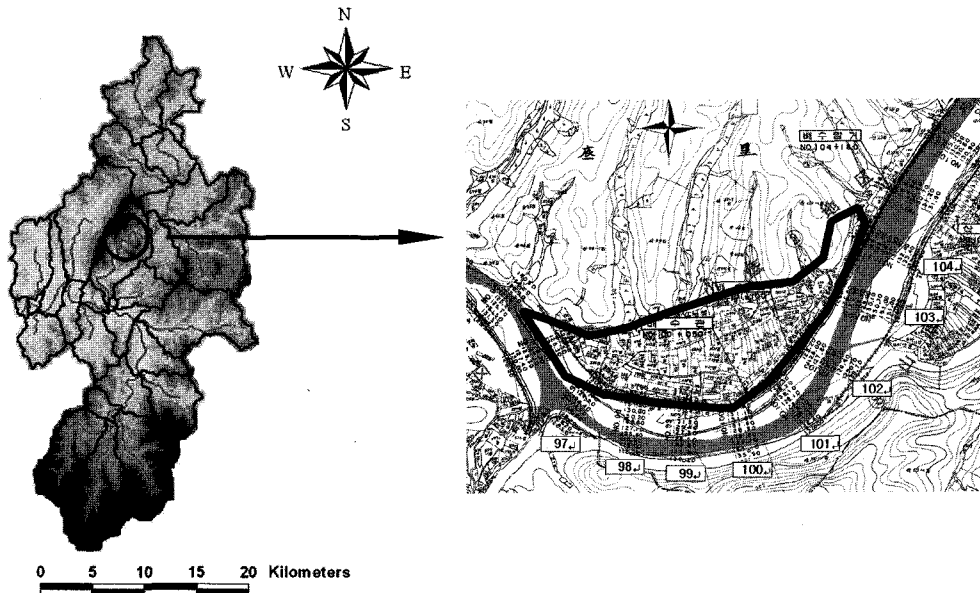


Fig. 1 Study area

의 송천수위표 지점 3.2 km 상류에 위치하며 대부분이 저지대 농경지로 이루어져 있으며 하천의 만곡이 심하고 부분적으로 하폭 변화가 큰 특징을 가지고 있다. 따라서 산저리 일원의 하천정비사업의 일환으로 산회교 가설공사를 시행중 2002년 8월 31일부터 9월 1일까지 태풍 '루사(Rusa)'의 영향으로 최대시우량 59 mm, 최대 강우량 305 mm의 기록적인 집중호우가 발생하였다. 이로 인하여 초강의 외수위가 상승하였고 제방을 월류한 하천범람으로 체내지 농경지 및 주택의 침수피해가 발생하였다. Fig. 1은 대상유역 및 산저리 일원의 홍수범람지역을 나타내고 있다.

2. 기본자료

산저리 일원의 홍수범람 지역의 정확한 분석을 위해 강우자료 및 범람지점의 단면자료를 획득하였고, 주요 지점의 지반고 및 범람지역을 명확히 파악하기 위해 지형도(1:5,000), 지적도(1:3,000), 수치지도(1:5,000), 홍수범람당시 현장사진 분석과 실제측량 성과를 통하여 기본자료를 보완하였다. 태풍 '루사'에 의해 발생한 폭우의 특징은 일부 지역에 단시간 또는 하루에 걸쳐 많은 양의 비가 내렸다는 특징이 있기 때문에 이점을 고려하여 집중호우에 따른 홍수량산정, 외수위 산정, 2차원 흐름 특성 및 하상변동특성 분석을 수행하였다.

III. 모형의 적용

1. 홍수량 산정

홍수범람지역의 홍수량 산정을 위해서 HEC-HMS 모형과 HEC-GeoHMS 모형을 연계하여 사용하였다. GIS기능을 이용하는 HEC-GeoHMS 모형은 대상유역의 지형특성인자와 수문학적 인자를 추출하고 이를 HEC-HMS 모형의 입력변수로 연계 사용하기 위해 적용되었고 HEC-GeoHMS 모형으

로 구해진 기본자료를 토대로 HEC-HMS 모형을 이용하여 대상유역의 홍수유출량을 산정하였다.

가. HEC-GeoHMS 모형의 적용

HEC-GeoHMS는 자료의 수집부터 각각의 다른 형태의 자료를 ArcView에서 이용 가능한 형태의 데이터로 조합하는 데이터 처리과정(Data Processing) 단계를 거친 후 유역망을 형성하기 위하여 유역 처리과정(Terrain Processing)을 단계적으로 진행한다. 수문학적 처리과정(Hydrologic Processing) 단계에서는 하상길이, 하상경사, 유역 중심

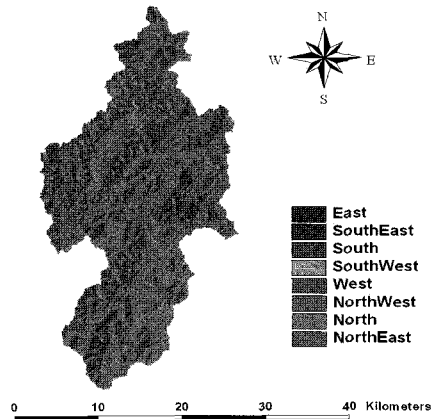


Fig. 2 Flow direction

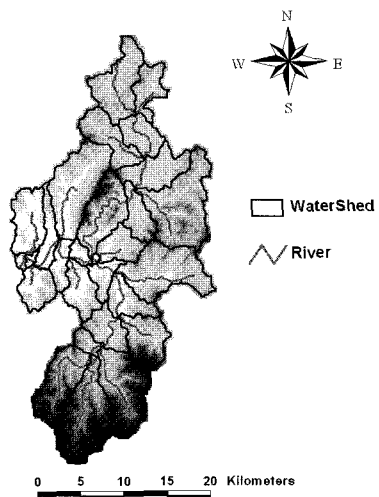


Fig. 3 Subwatershed boundary

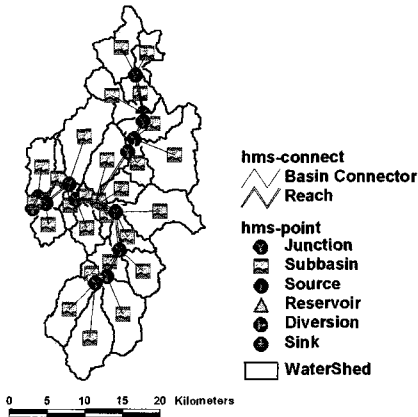


Fig. 4 HEC-HMS schematic

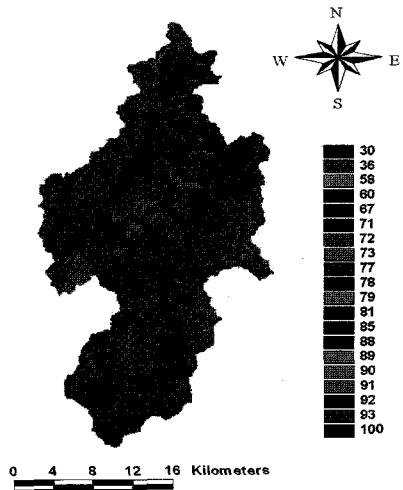


Fig. 5 SCS CN value for grid

점 등 유역의 각종 수문학적 특성들의 정보를 알 수 있다. 이상의 절차에 의해서 생성된 HEC-GeoHMS의 자료를 HEC-HMS 모델의 입력데이터로 사용하고, 추가적으로 사용자가 수문학적 요소 자료의 갱신이나 수정을 통하여 HEC-HMS 모형의 유역 모델을 구성할 수 있다. HEC-GeoHMS 모형의 구축과 지리정보 시스템을 이용하여 유역의 특성인자를 추출하였다. 유역처리 과정을 단계별로 진행하여 HEC-HMS의 유역 모델을 구성하는 중요 단계를 Fig. 2~Fig. 4에 나타내었다.

나. HEC-HMS 모형의 적용

(1) SCS Curve Number 산정 및 Thiessen network 구축

대상유역인 초강천 유역의 Curve Number(유출계수)를 산정하기 위해 정밀토양도와 토지피복도를 이용하였으며, 토지피복도와 토양도를 중첩하여 각 격자마다의 SCS CN 값을 산정하였다. 산정된 유출곡선지수를 Fig. 5에 나타내었다. 그리고 유역의 평균강우량을 산정하기 위해서 Thiessen network을 작성하였으며 Fig. 6은 초강천 유역일원의 작성된 Thiessen network을 나타내고 있다.

(2) 홍수량 산정 결과

홍수량을 산정하기 위해 HEC-GeoHMS를 이용하여 유역의 전처리 과정을 거친후 HEC-HMS 모

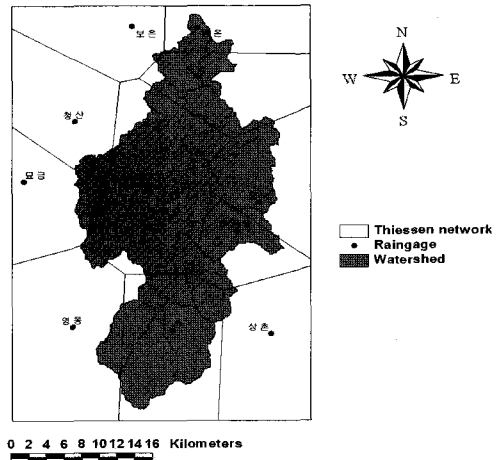


Fig. 6 Thiessen network for watershed

형을 구성하고 전체유역을 28개의 소유역으로 분할하여 적용하였고 1998년부터 2000년의 주요 호우사상을 이용하여 모형을 보정 및 검증하였다. Table 1에 송천지점 수위표지점에서 실측된 침투홍수량과 모의된 침투홍수량의 결과를 비교하여 나타내었다.

보정된 HEC-HMS 모형으로 2002년 8월 31일~9월 1일 홍수사상을 재현하였다. 재현한 2002

Table 1 Calibration results of the HEC-HMS

Event	Peak flow (m ³ /s)	
	Observed	HEC-HMS
19980816	5,396.5	5,312.4
19990803	610.5	720.4
20000723	2,764.4	2,739.2
20000916	1,439.2	1,503.9
MF (%)	-	5.01
RMSE (m ³ /s)	-	77.4

[Note] MF (percent error of maximum flow),
RMSE (root mean square error)

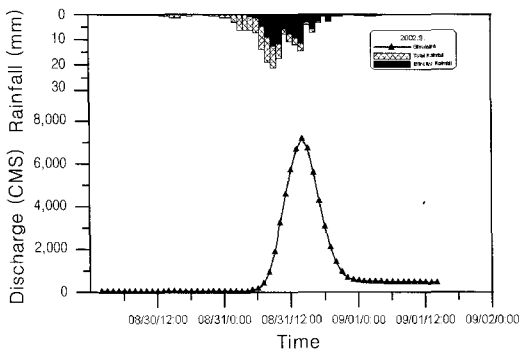


Fig. 7 Hydrograph for 2002/9/1 storm event at Songcheon

년도의 홍수사상에 대한 침두유량 발생시간은 2002년 8월 31일 24:00이며, 이때 침두유량은 7,235.2 m³/s로 모의되었으며 송천지점의 수문곡선을 Fig. 7에 나타내었다.

2. 부정류 모의에 의한 외수위 산정

HEC-RAS모형은 국외 및 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 수면곡선 계산프로그램으로 본 연구에 적용하기 적합하다고 판단되어 이를 이용하여 홍수위를 산정하였으며, 홍수위 산정시 HEC-RAS 모형의 입력자료 구성중 지형자료는 초강·추풍령천 하천정비기본계획을 기본자료로 유역의 구간별 중요단면 및 구조물은 현장실측을 통하여 자료를 획득하고 이를 입력자료로 사용하였다.

본 연구에서는 부정류 모의를 위한 경계조건으로 HEC-HMS 모형을 이용해 상류 경계조건에 유량 수문곡선을 산정하여 입력하였고, 대상유역에 대한 장기간의 수문관측을 통해 유역말단에서의 하류 경계조건을 수위곡선으로 입력하였다. 또한, 초기조건은 과거 수문관측 자료를 이용해 각 횡단면에서의 초기조건을 입력하였다.

수해 당시의 초강천의 외수위를 해석하기 위해 HEC-RAS를 이용하여 2002년 8월 30일 01:00부터 2002년 9월 1일 24:00까지의 수위 변화를 1시간 간격으로 모의하였다. 해석 결과 8월 31일 18시부터 수위가 급격하게 상승하여 8월 31일 24:00에 최대수위를 나타냈으며, 24시 이후부터 서서히 수위가 감소하기 시작했다. Fig. 8~Fig. 9는 주요지점의 HEC-RAS에 의해 모의된 홍수위를 나타내고 있다. 또한 Fig. 10~Fig. 11은 NO. 100지점 단면에서 시간변화에 따른 외수위의 변화

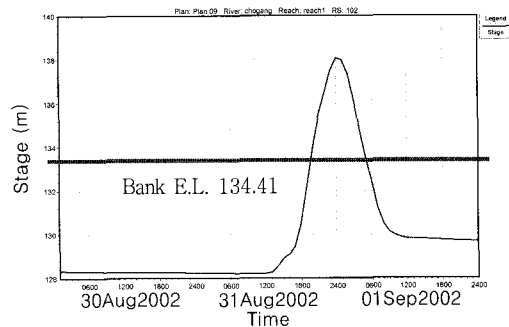


Fig. 8 Simulation result of the HEC-RAS (No. 102)

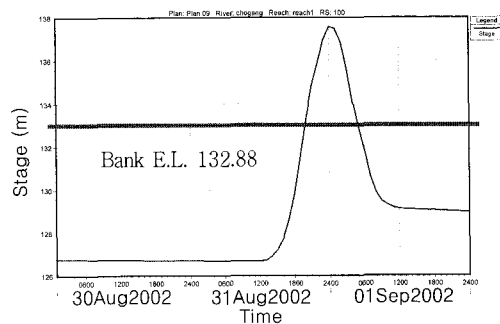


Fig. 9 Simulation result of the HEC-RAS (No. 100)

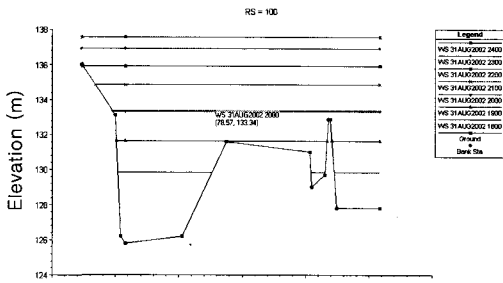


Fig. 11 Flood level changes at NO. 100 (8.31 18:00~8.31 24:00)

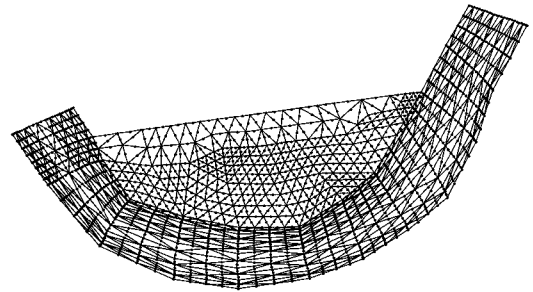


Fig. 12 Finite element mesh for flood inundation area

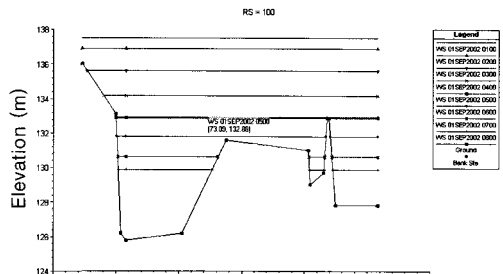


Fig. 12 Flood level changes at NO. 100 (9.1 01:00~9.1 06:00)

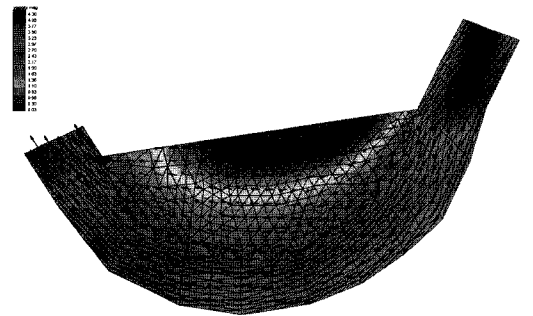


Fig. 13 Velocity vector of flood inundation area

를 나타내고 있으며 2002년 8월 31일 20시에 제방을 월류하여 24시에는 홍수위가 137.56 m로 최고 홍수위를 나타냈으며, 9월 1일 06시에 제방고 아래로 홍수위가 내려간 것으로 모의 된 것을 알 수 있다. NO. 100 지점의 우안제방고는 132.84 m이며, 최대홍수위는 137.56 m로 4.72 m수위가 월류한 것으로 모의되었다. 단면내 평균유속분포는 모의기간 동안에 0.59 m/s~3.56 m/s의 범위를 보였으며, 최대 평균유속은 3.56 m/s로 나타났다.

3. RMA2 모형에 의한 홍수범람시 유출특성 분석

HEC-HMS모형과 HEC-RAS모형의 모의결과를 이용해서 초강천의 외수위가 최대가 되는 시점의 홍수범람지역의 유속분포를 RMA2 모형을 적용하여 2차원 형태로 모델링 하였다. 그 결과 강우관측소의 강우자료 분석을 통해 얻은 최대홍수량이 하천으로 흐를 때 기존의 제방을 월류하여 제내지 쪽으로 침수가 발생하였으며 하천을 통해 흐르는 유속은 1.7 m/s~4.30 m/s로 분포되었으며 제내지에

서는 0.05 m/s~2.62 m/s로 분포하였다. Fig. 12는 RMA2에 의해 구축된 유한요소망을 나타내고 있으며, Fig. 13은 홍수범람시 최대홍수량에 의해 모의된 유속벡터를 나타내고 있다. Fig. 13에서 알 수 있듯이 계속적인 집중호우는 홍수량을 증가시키고 수위를 상승시켜 제내지에 침수피해를 발생시켰다. 유속은 점차 증가하다 만곡부에 이르러 조금 감소한 후 만곡부가 끝나는 부근에서 다시 증가하는 경향을 나타냈으며 만곡이 시작되는 부근에서는 제방을 월류하여 제내지 쪽으로 홍수가 유입되고 침수피해를 발생시킨 후 하천 만곡부가 끝나는 쪽으로 빠져나가는 것으로 모의되었다.

4. SED2D 모형을 이용한 유사분포 모의

SED2D는 RMA2 모형에서 모의된 기본 인자들을 이용하여 유사농도의 분포 및 하상변동을 모의할 수 있는 모형으로 본 연구에서는 초강천의 범람

에 따른 제내지의 유사농도 분포와 하상변동의 경향 분석시 적용하였다. SED2D 모형은 자체적으로 수리분석을 모의 할 수 있는 능력이 없으므로 RMA2 모의를 한 동력학적 출력파일을 이용하여 SED2D를 모의하게 된다.

RMA2의 2차원 수리분석 파일과 SMS에서 구축한 유한요소망의 지형데이터를 가지고 SED2D 모형에서도 24시간 동안 30분 간격으로 모형을 모의하게 된다. SED2D의 상류 경계조건인 초기 유입되는 유량의 부유사 농도는 초강천 하천정비 기본계획과 “금강 시험조사 유역에서의 유사량 실측”(건기원, 1992)에 수록된 유사량 실측 자료를 이용하여 모형의 초기 입력 자료로 사용하였다.

하상변동 모의 결과 하천에서 제방을 월류해 제내지 쪽으로 유사가 일부구간 퇴적되었으며 하천을 따라 만곡부에서 하상변동이 일어나는 것으로 분석되었다. 전체적으로 살펴보면 $-0.13\text{m}\sim 0.28\text{m}$ 의

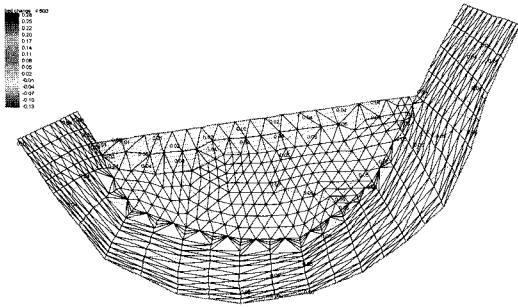


Fig. 14 Simulation result of bed elevation change

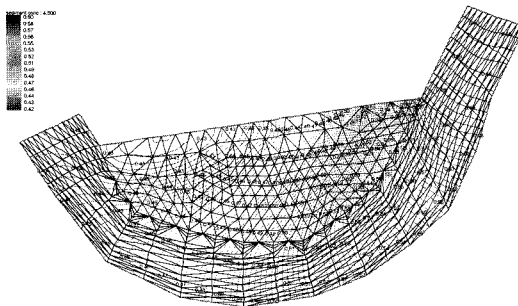


Fig. 15 Simulation result of suspended load concentration distribution

분포를 나타내었으며 제내지에서는 $-0.01\text{m}\sim 0.05\text{m}$ 의 분포를 나타내었다. 또한 하상변동은 RMA2에 의해 모의된 유속분포와 대체적으로 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. Fig. 14은 제방 절개 후 하상변동 모의 결과를 나타내며 Fig. 15는 SED2D 모형을 이용한 부유사 농도 분포도를 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 저지대 농업지역인 충북 영동군 산저리 일원에 2002년 8월 31일 제15호 태풍 ‘루사’에 의한 집중호우와 관련되어 발생한 홍수범람에 따른 침수피해에 대해 초강천 수위 상승과 하천변 제내지의 침수에 따른 영향을 검토하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 홍수량과 수위 산정을 위해 유역유출해석, 하도수리분석 및 GIS 기법을 적용하여 유출해석을 수행하였으며 이를 위해서 HEC-HMS 모형, HEC-GeoHMS 모형, HEC-RAS 모형 및 GIS Tools를 활용하였다. 그 결과 유역의 특성인자를 HEC-GeoHMS 모형을 이용하여 추출하였고, HEC-HMS 모형에 의해 산정된 송천 수위표 지점의 최대홍수량은 $7,235.2\text{ m}^3/\text{s}$ 로 분석되었다.

2. 초강천의 수위를 해석하기 위해 HEC-RAS를 이용하여 2002년 8월 30일 01:00부터 2002년 9월 1일 24:00까지의 수위 변화를 1시간 간격으로 부정류 모의하였다. 모의 결과 8월 31일 18시부터 수위가 급격하게 상승하여 8월 31일 24:00에 최대수위를 나타냈으며, 24시 이후부터 서서히 수위가 감소하는 것으로 분석되었다.

3. 정확한 유출특성 분석을 위해 산저리 일원 침수피해 발생지역에 2차원 모형인 RMA2 모형을 적용하였다. 이를 위해 수치지도와 지적도 및 초강천 하천정비 기본계획을 활용하여 RMA2 모형의 유한요소망을 구성하였다. 구성된 유한요소망을 이용하여 RMA2 모형을 모의한 결과 유속범위는 $1.7\text{ m/s}\sim 4.30\text{ m/s}$ 로 분포하였다.

4. 하천범람시 유속은 2.6 m/s~3.4 m/s 분포를 나타내었고, 범람구역의 하상변동 및 유사분포 모의를 위해 SED2D 모형을 적용하였다. SED2D 모형을 모의하기 위해 RMA2 모형의 기본 특성인자를 사용하였고 최대홍수량이 하천을 흐를때 24시간 하상변동을 모의한 결과 제방 월류에 의해 제내지에 -0.01 m~0.05 m의 분포를 보이며 하상변동이 나타났다.

References

1. Ahn, S. J., K. W. Jun, and H. G. Kwark. 2003. A case study on the determination of inundated area by flood damage(in Korean). *Journal of Korea Society of Civil Engineers* 23(3B): 183-189.
2. Ahn, S. J., C. H. Ham, J. S. Kim, and K. S. Kim. 2001. Analysis of flood inundation area using geographic information system(in Korean). *Proceeding of Korea Water Resource Association*(II), 1062-1067. Daegu. : KWRA.
3. Chungcheongbok-Do. 1986. Fundamental planning of Cho river and Chu Pung Ryong chun Improvement works(in Korean). Cheongju. Korea.
4. Hwang, T. H., D. W. Jang, H. S. Kim, and B. H. Seo, 2004. Flood inundation analysis based on HEC-Geo RAS & HEC-RAS(in Korean). *Proceeding of Korea Water Resource Association*, 737-741. Incheon. : KWRA.
5. Kim, H. J., and K. S. Jun. 2000. Two-dimensional model for floodplain flow simulation(in Korean). *Proceeding of Korea Water Resource Association*, 986-991. Yongin. : KWRA.
6. Korea Water Resource Association. 2002. Final report on 2002 flood damage(in Korean). Seoul. Korea.
7. Korea Institute of Construction Technology. 1992. *Sediment measurement of Geum river experimental watershed*(in Korean). Ilsan, Korea.
8. Lee, J. T., and K. Y. Han. 1989. A forecasting model for the flooded area resulting from breached levee(in Korean). *Journal of Korea Water Resource Association* 22(2): 223-231.
9. Peter B. Andry Jr. David Maidment 2000. *Visual Floodplain Modeling with Geographic Information Systems*, Center for Research in water Resources.
10. Seo, K. W., J. H. Heo, and W. C. Cho. 1997. The flood effect analysis due to housing and development by low land reclamation in urban watershed(in Korean). *Journal of Korea Society of Civil Engineers* 17(2-II): 137-146.
11. Shin, H. S., S. W. Jun, and B. C. Seo. 2000. Flood influence analysis on Suyoung river based on HEC-HMS/HEC-RAS(in Korean). *Proceeding of Korea Water Resource Association*, 281-287. Yongin. : KWRA.
12. Tate, E. C., Olivera F., Maidment D. R. 1999. *Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS*. Center for Research in Water Resources.

구조재료