

하천의 장기 지형변화 고찰 및 하상변동 모의

Long-term Riverbed Change Simulation and Analysis in the River

황수덕* 최선호** 이상진*** 장창래****
Soo Deok Hwang Seon Ho Choi Sang Jin Lee Chang Lae Jang

요약 하천의 흐름 특성과 더불어 하상 변동을 연계하여 분석하는 일은 하천관리에 있어 가장 기본적인 면서도 중요하다. 상류에 건설되는 신규댐 등 다양한 목적의 수공구조물이 계획될 때 하류 하천의 하상변화에 미치는 영향은 향후 하천을 지속적이고 안정적으로 보존, 관리하는데 반드시 고려해야 할 사항이다. 본 연구에서는 내성천을 적용 대상으로 항공사진 등을 활용한 하천의 장기적인 지형변화 양상을 고찰하였다. 아울러 1차원 수치모형인 GSTARS를 적용하여 주요지점의 하상변동 영향을 분석하였다. 장기적인 지형변화 양상을 바탕으로 댐이 건설된 후 내성천의 관리방안을 모색해 볼 수 있을 것이다.

키워드 : 하상변동, 항공사진, 내성천, GSTRAS

Abstract Trying to estimate variations of the riverbed is basic and important for river management. When new dam constructed in upstream and a structure were planned, impact of the riverbed changes in downstream should be considered for stably maintained and sustained rivers in the future. In this study, long-term riverbed changes analyzed using aerial photographs in Naeseongcheon. Also applying one-dimensional numerical model, GSTARS analyzed the effects of bed deformation in critical points. Based on Changing Patterns of long-term riverbed, it is possible that after the dam was built, to explore how to manage Naeseongcheon.

Keywords : Channel bed changes, Aerial photograph, Naeseongcheon, GSTRAS

1. 서론

최근 지구온난화와 기후변화로 증가하는 수재해로 인한 피해와 손실로 물관리 문제는 이미 국가 위기관리차원의 주요 이슈가 되고 있다. 유역의 효율적인 물관리를 위해 4대강 살리기 프로젝트 등 큰 정부사업이 이루어져 하천의 보존 및 관리에 대한 관심은 여느때보다 높다. 특히 하천의 흐름 특성과 더불어 하상 변동을 연계하여 분석하는 일은 기본적으로면서도 매우 중요하다. 수계 본류에 비해 지류는 상대적으로 정량적인 분석이 미흡한 것은 사실이다. 특히 유역 상류에 위치하는 다양한 목적의 수공구조물이 계획될 때 하류 하천의 하상변화에 미치는 영향은 향후 하천을 지속적이고 안정적으로 보존, 관리하는데 반드시 고려해야 할 사항이다.

하상변동에 대한 기존의 연구 동향을 살펴보면 Lee

et al.[6]은 낙동강의 지류인 내성천을 대상으로 하도 지형 환경과 퇴적물의 특성을 분석하였고, Choi et al.[2]은 황강에서 댐 건설에 의한 유황 변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화를 연구하였다. Lee et al.[9]은 낙동강 안동댐 하류 하회지구의 이동상 모래하천의 식생변화 과정과 수리모형실험을 통한 만곡부 사주의 거동특성을 연구하였다. 외국에서는 Richard et al.[10]이 미국 Wyoming주 Snake River의 Jackson Lake Dam건설에 따라 하류하천에 홍수터의 지형과 식생변화에 관하여 연구하기도 하였다.

모형을 이용한 하상변동 연구 사례를 보면 Seo et al.[6]은 준 2차원 모형인 GSTARS를 이용하여 금강에서 하상변동을 해석하였으며, Kim et al.[4]은 국제수문개발계획의 대표유역인 보청천 유역을 수치모의하여 하상변동 시공간 평가 기법 개발을 연구하였고,

† This work was researched by the project for riverbed change of Naeseongcheon

* Soo Deok Hwang, Researcher, Korea Resources Research Center. soodeok@kwater.or.kr

** Seon Ho Choi, Professor, Civil Engineering, Changshin University. csh@cs.ac.kr

*** Sang Jin Lee, Senior Researcher, Korea Resources Research Center. sjlee@kwater.or.kr

**** Chang Lae Jang, Professor, Civil Engineering, Korea National University of Transportation. cljang@ut.ac.kr

Ahn et al.[1]은 2차원 모형인 CCHE2D와 1차원 모형인 HEC-6를 이용하여 내성천 하류 구간을 수치 모의하여 하상변동 예측하였다.

본 연구에서는 내성천을 적용 대상으로 하여 항공사진 등을 활용한 하천의 지형변화 양상을 고찰하였다.

또한 GIS를 기반으로 내성천의 토지이용도, 토양도 등을 파악하여 지역적 특성을 분석하고 아울러 1차원 수치모형인 GSTRAS를 적용하여 장기적인 하상변동 영향을 모의하여 하류 하천의 관리 방안 마련에 대한 기초자료로 제공하고자 하였다.



Figure 1. Location of study area

2. 지형변화 및 하상변동 분석

2.1 대상유역

내성천은 경상북도 봉화군 물야면 오전리의 선달산 (1,236 m)에서 발원하여 영주시, 예천군을 거쳐 문경시 영순면 달지리에서 낙동강에 합류하는 하천이다. 내성천 유역의 면적은 1,815.28 km²이며, 본류 길이는 110.69 km이며, 금천, 한천, 서천 등과 같은 지류로 구성되어 있다(Table 1).

내성천 유역은 낙동강 유역 북쪽인 동경 128°10'36"~128°51'13", 북위 36°32'46"~37°02'25"에 위치하며, 유역 형상 및 위치는 Fig. 1과 같다. 내성천 상류의 평균 하폭은 약 350m, 중류와 하류는 각각 약 340 m, 700 m로, 하류에서 하폭이 가장 넓고 중류에서 좁은 특성을 나타낸다. 낙동강 본류에 합류되는 하류부에는 비교적 넓은 충적평야가 분포하며 유역 대부분이 화강암 풍화층으로 이루어져서 화강암 쇄설물로 공급된 유사량이 다른 유역과 비교하여 그 양이 매우 많은 것이 특징이다.

고평교 지점 약 4 km 하류부인 호명면 형호리 지점에서 2차 유료가 급변되어 서류를 계속하면서 호명면 담암리에서 본유역에서 3번째 큰 지류인 한천이 합류하며 한천합류점 2.5 km 하류지점에서 송평천이 합류한 후 문경시 영순면 달지리 지점에서 본 유역에서 2번째로 큰 지류인 금천이 합류한 직후 약 1.0 km 하류 지점에서 낙동강 본류와 합류한다.[3, 9]

2.2 유역 지형 특성

Fig. 2와 같이 내성천 유역 특성을 분석하기 위해 GIS를 이용하였다. 지형을 일정 크기의 격자로 나누어 표고 값을 기록한 것을 수치고도모형(DEM)이라 하는데 본 연구에서는 30 m 해상도의 격자크기를 사용하였다.

대상 유역의 CN값 및 토양특성을 정의하기 위해 토양도 및 토지이용 현황도가 사용되며, 토지이용 형태를 고려하여 토지이용 분류 체계에 따라 분류항목을 산림, 논, 주택지 등 20여 가지로 분류하여 Database를 구축하였다. 토양도는 토양의 물리화학적 성질을 결정해 주는 자료이다. 토양자료는 대상 유역의 토양을 이루는 Layer의 수, 배수그룹 및 토심, 용적 밀도, 투수계수, 알베도 등의 정보가 포함되며, 각 토양 Layer별 토성 함량 및 유기물 함량, AWC(Available water capacity) 등의 정보를 포함하도록 구성되어 있다.

토지이용도를 살펴보면 약 46 %가 산지이고 다음으로 농경지가 많은 면적을 차지한다. 하천에 해당하는 면적은 전체의 약 7 %이다. 토양은 대부분 미사식양질 내지 식질로 구성되어 있으며 하천은 사양질 내지 사질로 구성되어 있다.

DEM을 TIN으로 변환시킨 후 Fig. 3처럼 3차원 지형도를 하천선과 같이 시각적으로 표시함으로써 전체적인 유역의 형상과 하천흐름을 파악하는데 기본정보를 제공하였다. 이러한 자료를 바탕으로 내성천유역

Table 1. Sub stream of Naeseong river [8]

Name	Area (km ²)	Length (km)	Name	Area (km ²)	Length (km)
Naeseongcheon	1,814.71	108.20	Okgyecheon	84.08	17.60
Gagycheon	71.20	15.40	Seokgwancheon	67.37	18.00
Nakwaamcheon	94.88	21.90	Hancheon	256.44	33.40
Toilcheon	115.93	24.80	Songpyeongcheon	25.81	9.61
Seocheon	364.64	32.00	Geumcheon	285.97	42.85
Seoktapcheon	13.03	7.50			

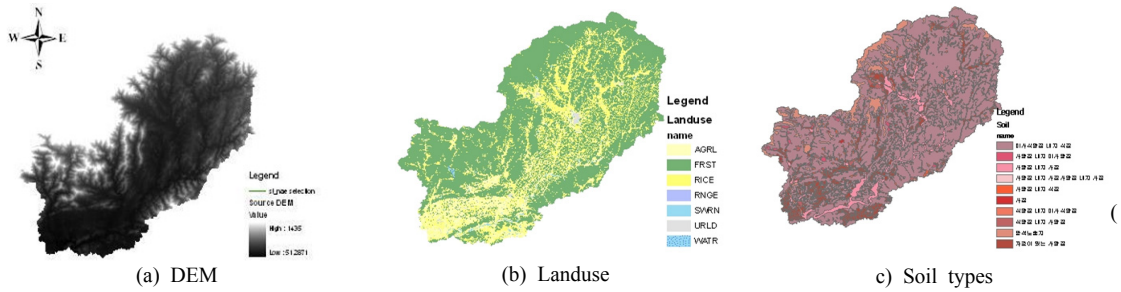


Figure 2. Watershed map for topographic characteristics in Naeseong river

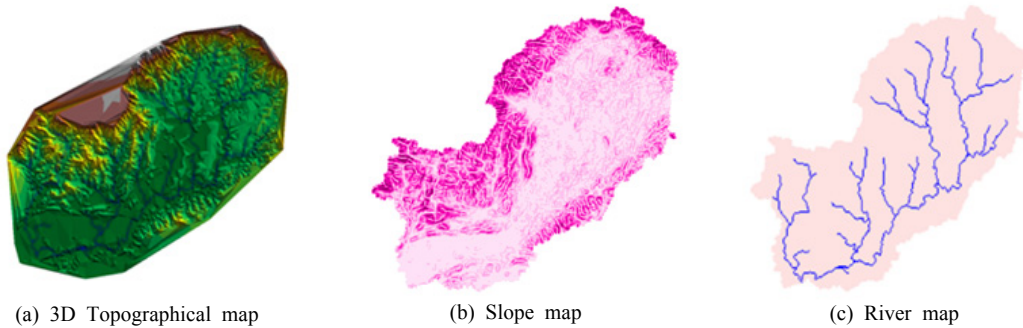


Figure 3. 3D topographical, slope and river map by Naeseong watershed

에서 하천망을 만들어 분류와 지류에 대한 정보를 얻고자 하였다. DEM을 이용하여 GIS상에서 유역의 지형을 모형화하는데 있어서 3차원 지형도를 작성하면 유역의 전체적인 형상을 보다 시각적으로 파악할 수 있다는 장점이 있다.

2.3 항공사진을 이용한 지형변화 분석

시간에 따른 하도의 변화과정을 1971년부터 2009년까지 Fig. 4에서 항공사진을 통하여 분석하였다. 항공사진을 분석하는데 촬영시 지면과 정확히 수직이 되지 못하고 약간의 각도 차이가 발생하는 기울기 문제 및 카메라 렌즈의 굴절률에 따른 문제가 발생한다. 이에 대한 오차를 보정하기 위해서는 ArcMap의 Control Point를 이용하였다. 이때 기준이 되는 자료로는 수치지도를 사용하는 것이 좋는데 이는 수치지도의 제방에 항공사진의 제방을 기준으로 보정하면, 하천 및 제방의 좌표는 오차가 적어진다. 내성천은 전체적으로 사행이 잘 발달되어 있으며, 하상은 모래로 구성되어 있고, 저수로에서 모래사주의 형상이 변하면서 그 형상을 유지해 오고 있다. 내성천 상류에서 확대한 지점은 영주댐 하류 하도의 변화과정을 보여주고 있다. 좌안에서 서천이 합류되고 있으며, 만곡부에서 저수호가 그 형상을 유지하고 있다. 또한 만곡부에서 이동이 없는 고정사주와 저수로에서 이동하고 있는

복렬사주가 잘 발달된 형상을 보여주고 있다.

내성천 하류에서 확대한 지점은 회룡포 지점에서 시간에 따른 하도의 변화과정을 보여주고 있다. 회룡포 상류의 직선하도 구간에서는 복렬사주가 잘 발달되어 있으며, 복렬사주의 생성과 이동, 그리고 저수호가 지속적으로 변하며, 망상하천을 형성하면서 그 형상을 유지하고 있다. 회룡포 구간에서는 급만곡부를 형성하고 있으며, 시간이 증가하여도 저수로의 위치가 변하지 않고 그 형상을 유지하고 있다. 이러한 원인은 급만곡부에서 흐름을 강하게 구속하고, 저수로를 강제적으로 고정시키기 때문으로 판단된다.

회룡포 상류의 직선구간에서는 시간이 증가함에 따라 저수호가 좌안과 우안으로 변갈아가 가면서 이동하거나, 분할되어 저수호가 지속적으로 변화되고 있으며, 망상하천의 특성을 보여주고 있다. 망상하천은 복렬사주의 발달로 인하여 저수호가 그물망처럼 복잡하게 연결되어 있으며, 기존에 생성된 저수로의 퇴화, 새로운 하천의 생성 및 이동, 저수로의 분할 및 합류 등 변화가 매우 심하며, 그 역학적 거동이 매우 복잡하다.

3. 장기 하상 변화 모의

3.1 하상변동 예측 모형

내성천 하류의 장기 하상변동을 모의하기 위해

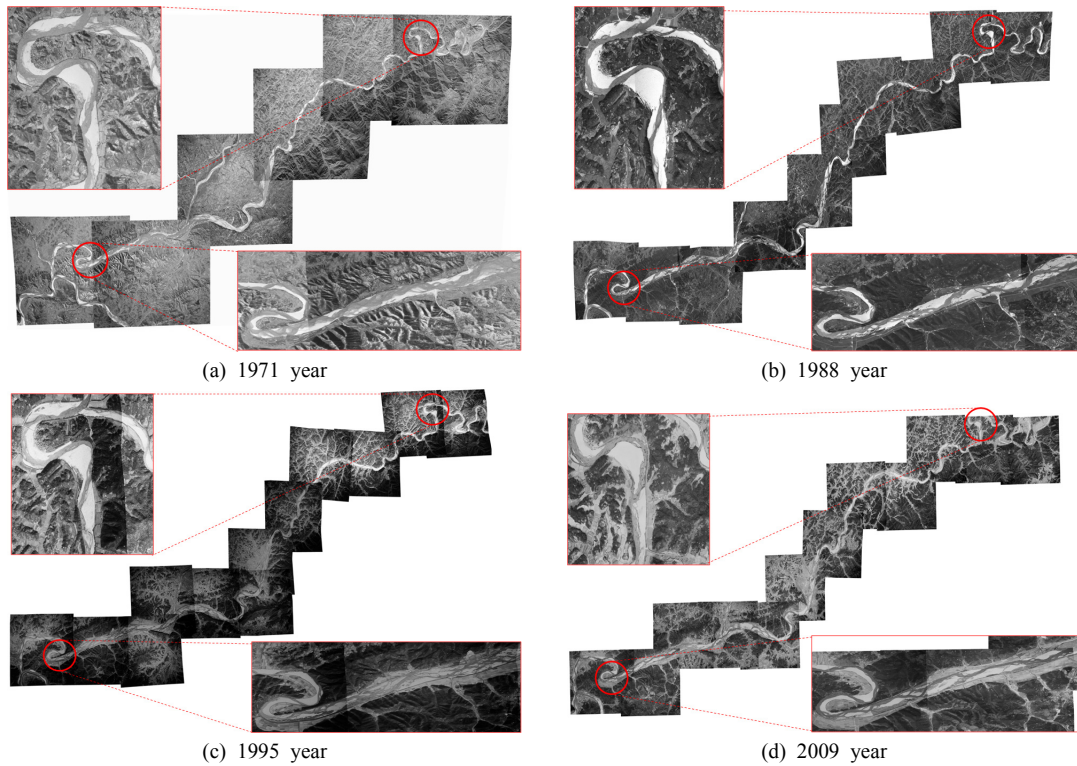


Figure 4. Analysis of channel bed changes using photograph in Naeseong river

GSTARS 모형을 적용하였다. GSTARS는 준 2차원 하상변동 예측모형으로 하천유관(Stream tube)방법을 도입함으로써 하상변동의 종방향 변화와 횡방향 변화를 모두 예측할 수 있는 모형이다. 또한 본모형은 하상의 장감화 효과를 정확하게 고려하기 때문에 하천의 장기적인 하상변동효과를 예측하기에 적합한 모형이다. GSTARS 모형에서 전수로폭은 미리 선정된 개수의 유관으로 분할된다. 각 유관내에서 하상표고는 흐름조건에 따라 연직방향으로 상하로 움직일 수 있다. 만약 하천단면이 여러 개의 유관으로 분할되었다면, 단면 평균은 변동폭을 갖는 부단면의 변화량을 평균하여 얻어진다. 유관의 개수가 많을수록 계산에 필요한 시간과 기억용량이 증가하기 때문에 최적의 유관수가 사용되어야 한다[11]. 내성천 전체를 총 130개의 단면으로 구성하였으며, 기점 수위 자료는 향석지점의 수위 자료를 활용하였고 유량은 월포지점의 2001년부터 2010년까지의 일유량자료를 활용하여 10년동안의 하상변동을 모의하였다. 하천의 조도계수는 0.028에서 0.031까지 각 단면의 특성에 맞는 값을 입력하였다. 수온은 내성천의 평균 수온인 15 °C를 입력자료로 사용하였다. 유사량 공식은 여러방법중 유량이 증가함에 따라 측정된 부유사량과 산정된 총유사량을 비교한 결과, 부유사량과 총유사량이 평형을 이

루는 공식(Yang, 1979)을 사용하였다[5].

$$Q_{TS} = 12.09 Q^{1.520} \quad (1)$$

3.2 모형의 적용 결과

최근 10년동안의 장기모의를 통하여 하상변동을 분석해 보고 하류부에서 1년, 5년, 10년의 장기변화를 비교하였다. 유사 포착율을 가정하고, 서천, 옥계천, 한천, 금천 등 본류로 유입되는 주요 지류는 반영하지 않은 경계조건으로 단순 모의 되었으므로 향후 상세한 분석이 필요하다. 유관수를 1개로 하여 세굴과 퇴적을 검토하였는데 횡단면에 대한 평균값을 이용할 경우 대부분의 구간이 퇴적구간임을 확인할 수 있다.

Fig. 5처럼 하류에서부터 약 27 km의 지점에서 횡단면 하상고의 변화를 보면 시간이 지날수록 우안에서 퇴적이 발생하고 있다.

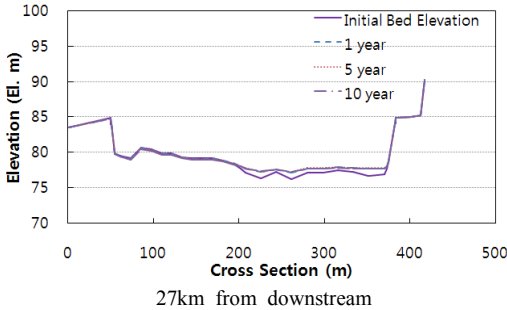
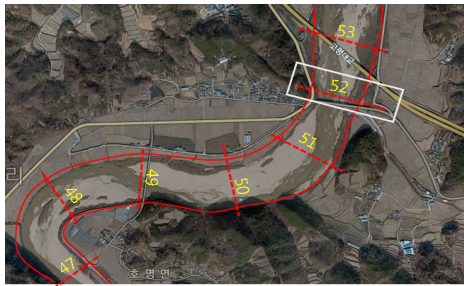


Figure 5. Result of riverbed change simulation

4. 결론

내성천을 적용 대상으로 유역의 지형 수문학적 특성 고찰과 항공사진 등을 활용한 하천의 지형변화 양상의 정성적 분석, 그리고 이를 토대로 한 장기적인 하상변동 수치모형을 적용한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

우선 유역의 지형 수문학적 특성을 분석하기 위하여 토양도 및 토지이용현황도 등을 활용하여 유역의 토양특성을 정의하고, 토지이용형태를 고려하여 토지이용분류 체계에 따라 20여 가지로 분류하였다. 또한 DEM을 TIN으로 변환시킨 후 3차원 지형도를 하천선과 같이 시각적으로 표시함으로써 전체적인 유역의 형상과 하천흐름을 파악하는데 기본정보를 제공하였다.

시간에 따른 하도의 변화과정을 1971년부터 2009년까지 항공사진을 통하여 분석하였다. 내성천은 전체적으로 사행이 발달되어 있으며, 하상은 모래로 구성되어 있고, 저수로에서 식생의 성장이 거의 없이 모래사주의 형상이 변하면서 그 형상을 유지해 오고 있는 것으로 분석되었다. 내성천 하류인 회룡포에서는 고정사주(point bar)가 잘 발달되었으며, 저수로에서 사주의 변화가 거의 없었다.

하류 하천에 대하여 장시간 동안 정성적인 하상변동을 파악할 목적으로 GSTARS 모형을 적용하였다. 장기 모의 결과 하상은 퇴적과 세굴이 서서히 반복적으로 발생하고 있으며 하류부는 대부분 퇴적되는 양

상을 나타내었다. 향후에 정밀한 자료의 수집 및 추가 분석을 수행하고, 지속적인 모니터링도 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Ahn, S. J; Yun, S. H; Baek, N. D; Kim, Y. H. 2001, Forecasting of river bed variation using numerical model, Journal of the Korean association of geographic information studies, 14(4): 77-91.
- [2] Choi, S. W; Yoon, B. M; Woo, H. S; Cho, K. H. 2004, Effect of flow-regime change due to damming on the river morphology and vegetation cover in the downstream river reach: A case of Hapchon dam on the Hwang river , Journal of Korea water resources association, 37(1): 55-66.
- [3] Gyeongsangbukdo, 1985, Naeseong river improvement rate.
- [4] Kim, C. M; Lee, J. J; Choi, S. W; Ahn, W. S. 2011, A study on development of assessment model for spatio-temporal changes in river bed using numerical models, Journal of Korea water resources association, 44(12):977-992.
- [5] K-water, 2011, An investigation for 4 major river sediment management, 119-259.
- [6] Lee, G. R; Cho Y. D; Kim, D. S; Kim, J. S; Jeong, W. H; Cho, H. J; Yun, K. H. 2010, A study on geomorphic environments and sediments of channels at Naeseongcheon river in Gyeongbuk province, Journal of the Korean association of regional geographers, 16(2):85-99.
- [7] Lee, S. H; Ock, K. Y. 2007, A study on vegetation expansion process by soil survey in the sand bar of movable channel, Proceedings of the 2007 conference of the Korea water resources association, 1050-1062.
- [8] MLTM, 2007, List of river in Korea.
- [9] MLTM, 2012, Naeseong river improvement rate.
- [10] Richard, A. M; Mills, J. D; Wrazien, D. R; Bassett, B; Splinter, D. K. 2005, Effects of Jackson Lake Dam on the Snake River and its Floodplain Grand Teton National Par, Wyoming, USA. Geomorphology, 71, 79-98.
- [11] Seo, I. W; Kim, D. G; Lee, J. H. 1995, Analysis

황수덕, 최선호, 이상진, 장창래

of river bed change by using computer model
GSTARS, Journal of Korea society of civil en-
gineers, 15(6):1679-1687.

논문접수 : 2013.02.25
수 정 일 : 1차 2013.09.27
심사완료 : 2013.10.04