

유사계의 역동성 감소가 지식천 총적하도의 지형변화에 미치는 영향

Effects of Reduced Sediment Dynamics on Fluvial Channel Geomorphology in the Jiseok River

옥 기 영* / 이 삼 희**

Ock, Giyoung / Lee, Samhee

Abstract

The present study aims to investigate the long-term channel morphological changes derived from channelization, embankment and levee construction works in unregulated fluvial channel of the Jiseock River. Analyses of aerial photographs taken past (Year 1966) and recent (Year 2002) showed the temporally remarkable changes in channel planform such as channel shape, bar migration, vegetation encroachment in bar. During the period, the natural single threading changed into braided types together with decreasing sinuosity by 9.2%, increasing vegetation occupied bar ranged 97% of total bars area. Because such channel morphological changes are closely similar to those in dam downstream channels, we assume that both/ either flow regime alteration and/or sediment transport discontinuity may be critical for the fixed channel and spread of vegetated bars even in unregulated river without dam reservoir upstream. We found more reduced frequency and magnitude of flooding water level comparing with past, but no significant alteration of inter annual water level variation. Bed material has been coarsened by 4~5 times and the riverbed has been degraded in overall channel but aggraded locally in conjunction reach of tributaries. The results indicates that reduced sediment dynamics in fluvial channel which derived by bed material coarsening, river bed degradation and unbalanced sediment transport capacity between tributary and mainstem can be a causal factor to trigger channel morphological changes even in unregulated rivers.

Keywords : sediment dynamics, vegetated bar, channel morphological changes, unregulated channel, Jiseok River

요 지

본 연구는 상류역에 댐이 존재하지 않는 총적하천에서 과거 이치수 위주의 하천정비사업이 하도지형의 장기적인 변화에 미치는 영향과 그 원인을 유사계의 관점에서 파악하는 것을 목적으로 하였다. 영산강 유역의 지식천 중하류역을 대상으로 하도선형, 사주형태와 식생활착을 등의 하도의 평면형상 변화를 분석하고, 하상재료 및 하상변동 조사를 실시하였다. 자연적인 총적하천 당시(1966년)와 제방과 저수로, 취수보 건설 등의 하천정비사업으로 변모된 최근(2002년)의 항공사진의 비교분석 결과, 유로형태의 변화(단일사행에서 다지형화), 하도선형의 만곡도 감소(9.2%), 지천사주의 확장, 그리고 사주의 식생활착(97%) 현상이 발견되었다. 이와 같은 하도의 주수로 고정화와 사주내 식생이입은 댐하류 조절하천에서 나타나는 대표적인 평면 하도특성으로, 대상구간에서도 댐하류역과 유사한 유황의 변화 또는 유사량 감소가 영향을 미치고 있음을 추정할

* 교신저자, 교토대학교 방재연구소 수자원환경연구센터 선임연구원 (e-mail: ock@ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp)

Corresponding Author, Research Associate, Water Resources Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto 611-0011, Japan

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 선임연구위원(samhee.lee@kict.re.kr)

Senior Research Fellow, Water Resources & Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

수 있다. 유황변동 조사결과, 비록 댐하류 하천에서 나타나는 연간 수위변동의 균일성은 보이지 않았지만, 과거에 비해 홍수빈도와 규모가 감소하였다. 하상재료의 입경은 4~5배정도 조립화 되었고, 하상변동 조사결과 전체적으로 하상저하가 발생하였으나 지천합류부에서 국부적인 하상상승을 보였다. 이러한 결과들은 비록 댐으로 조절되지 않는 충적하천에서도, 하도내의 하천정비사업으로 인하여 유사 공급량의 감소, 지천과 본류간의 유사이동능력의 불균형, 그리고 하도내 지형형성 과정의 저하 등과 같은 유사계의 인위적인 교란이, 장기적으로 댐하류 조절하천과 유사한 하도의 평면하도 형상의 변화를 유발하고 있음을 의미한다.

핵심용어 : 유사이동, 식생사주, 하도지형변화, 비조절하도, 지석천

1. 서론

유역내에서 이·치수 기능을 유지하면서, 동시에 생물 서식처 복원과 재생 등을 도모하는 최근의 하천관리에서는, 하도는 단순한 홍수량 소통을 위한 통로 및 물이용을 위한 저수공간의 기능뿐만 아니라, 저수로, 여울, 소, 사주, 홍수터, 완도, 웅덩이 등의 다양한 미지형의 조합으로 이루어진 물질교환 및 생물서식처의 공간으로 인식된다. 하천관리의 관점에서 하도지형의 다양성을 유지, 재생, 복원하기 위하여 최근 여러 나라에서 「유사계(流砂系)의 종합적인 토사관리」가 연구·개발되고 있고, 그 연구 성과가 현장에 적용되고 있는 단계이다(Ashida et al., 2008; Palmer et al., 2005; Petts and Gurnell, 2005). 이는 유량 조절을 통한 기존의 하천관리의 한계를 극복하기 위한 방법론으로 유사의 이동과 유사량의 밸런스를 하천지형 관리의 중요한 목표로 고려하는 것이다(Takemon, 2010). 이를 적용하기 위해서는 유사이송과 하천지형, 생태계 기능 간의 인과관계의 시나리오를 파악하는 것이 필요하다. 유역 내 산지에서 동결-융해작용(freeze-thaw weathering), 산지의 인공적 개발, 우기시 산사태 등으로 생산된 토사가, 강우유출을 통하여 하천으로 유입되어, 침식과 퇴적을 반복하면서 하구와 해안까지 이송되는 충적하천의 유사계(sediment routing system (Allen, 2008), sedimentshed (CBPO, 2007), sandshed (Revell et al., 2007))에서는 홍수와 같이 외부에서 가해지는 자연교란에 의해 소규모 하상파가 작용하여 중대규모 하상형태가 구간별 하도특성에 따라 지속적으로 반복되며 평형을 이루게 된다. 그러나 과거 이·치수위주의 하천정비로 인하여 이러한 유사계 내부의 연속성에 불균형이 발생하게 되고, 하도지형의 단순화, 생태계 기능 저하와 같은 문제점을 가져오게 된다. 따라서 유사계의 역동성을 복원하는 것은 하천관리의 중요한 이슈가 되고 있으며, 이러한 유사계를 고려한 하천관리는 지금까지 토석류와 탁수의 원인이 되는 '재해'

의 유사관리에서, 더불어 생태계 기능 복원을 위한 '자원'의 관점으로 전환을 가져왔다.

하도내에 작용하는 인위적인 유사계 교란에 반응하는 하도지형과 생태계의 응답은 교란의 정도와 개별하천의 하도특성에 따라 다르게 나타난다. 과거 산업화의 시기에 유사계에 가해졌던 대표적인 인위적 영향으로서 상류역에 설치된 대형 댐과 저수지에 의한 소류사의 이동단절, 하도내 준설에 의한 유사량 감소, 저수호안에 의한 유로의 고정화에 따른 측방 유상공급원의 차단 등을 들 수 있다. 이로 인해 하류하천에 하상저하, 세굴, 여울과 소의 소실, 사주지형의 감소, 사주의 식생화, 홍수터의 육역화, 해안선의 후퇴 등 유역전반에 걸친 광범위한 지형학적인 변화를 초래하여, 결과적으로 생물서식처 및 생물종다양성에 영향을 미치고 있다고 보고되고 있다(Graf, 2006; Kondolf, 1997; Tsujimoto, 1999).

지금까지 유사계 교란에 관한 연구는 주로 대형 댐이 하류하천에 미치는 영향을 중심으로 연구되었다. 국내연구로서, 최성욱 등(2004)은 황강댐 하류를 대상으로 사주의 형태변화와 식생사주의 발달이 댐에 의한 인위적인 유황변화가 원인이라고 지적하였으며, 이삼희 등(2008)은 낙동강 하회마을의 모래사주내 식생역의 확장의 원인을 상류의 안동댐과 임하댐 건설에 따른 무홍수 기간의 증가와 사주 토양의 물리·화학적 특성변화로 보았다. 해외의 연구사례로서, 일본의 요도가와 수계에서 댐하류의 조절하천, 사주가 발달한 충적하천, 그리고 인공운하를 비교분석한 결과, 사주지형의 충적하도가, 댐하류의 하상저하가 진행된 하도와 비교해서 유기물 포착능력이 무려 40% 이상 높다는 연구사례가 있다(Ock and Takemon, 2010). 이 결과는 하천사주의 물질교환과 에너지 공급기능의 중요성을 보여주는 것으로서, 만약 댐 하류에서 계속되는 하상저하가 진행된다면, 인공운하와 비슷한 수준으로 생태계 기능이 감소된다는 것을 의미한다. 그렇지만, 유사계의

종합적인 토사관리의 한 사례로서, 홍수기 때 주기적인 유사공급(coarse sediment replenishment)이 하천 생태계 기능을 유지, 복원하는데 기여할 수 있다는 결과를 보여 주고 있다(Ock et al., 2010). 특히 댐 하류에서 이동상 하상재료의 조립화가 저서생물의 서식처 다양성과 회귀성 어류의 산란에 부정적인 영향을 주고 있음을 조사하여, 충적하천에서 이동성 자갈하상의 복원을 하천관리의 주요한 목표로 설정하고 있다(Kondolf and Wolman, 1993)

한편, 상류역에 저수댐이 존재하지 않는 충적하도에서도 댐하류의 조절하천과 유사한 지형적 변화를 보이는 경우를 흔히 발견하게 된다. 이러한 경우 제방과 호안, 보와 같은 과거 이치수위주의 하천정비사업들이 댐하류역과 유사한 유황조절 또는 유사공급량 저감 효과의 가능성을 가정해보지만, 현재까지 비조절하천에서 유사계의 관점에서 지형변화의 인과관계를 조사한 국내연구는 상대적으로 부족하다. 본 연구는 상류역에 대형 댐이 존재하지 않는 지석천을 대상으로, 과거의 인위적인 하천정비가 충적하도의 하도지형을 어떻게 변화시켰는지를 유황변동, 유사공급, 유사이동능력 등을 고려하여 유사계의 관점에서 파악하는 것을 목적으로 한다. 하천정비사업 전후의 항공사진 분석을 통하여 지석천의 하도내 평면형상의 변화를 정성적으로 조사하였다. 그리고 유황변화, 하상재료, 하상변동 조사를 통하여 유사공급과 유사이동능력을 파악하여 지형변화의 인과관계를 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상구간

지석천은 전라남도 화순군 이양면에서 발원하여 화순군과 나주시를 거쳐 나주시 금천면에서 영산강 본류로 합류하는 약 53 km의 하천연장을 가진 영산강의 제1지류이

다. 본 연구의 조사구간은 화순군에 위치한 국가하천구간으로, 영산강 합류점으로부터 약 16 km 떨어진 대초천 합류점으로부터 화순천 합류점까지의 약 5.4 km 구간이다 (Fig. 1). 상류에서부터 화순천, 도곡천, 신곡천, 대초천 등의 지류가 합류하며, 평균하폭은 약 200 m, 하상경사는 약 1/640이다, (건설교통부, 1998). 조사구간은 하천정비기본계획에 따라 100년 빈도 계획홍수량(대초천 합류점 2,018 m³/s, 화순천 합류점 1,390 m³/s)을 기준으로 정비사업이 실시되어, 1998년 이후 100% 하천개수율을 보이고 있다 (건설교통부, 1998). 과거 영산강 수계의 하천정비역력은 일제강점기의 영산강 하천개수계획(1916~1928)을 최초 기록으로 하고 있지만, 지석천 대상구간의 본격적인 하천개수는 1960년대 이후부터라고 할 수 있다. 1982년도에 좌안의 평리제(1,400 m), 천암제(900 m), 도곡제(1,950 m) 그리고 우안의 덕곡제(2,040 m)와 죽청제(1,700 m)가 건설되었으며(전라남도, 1979; 건설부, 1988), 이후 하천정비기본계획에 따라 평리제(580 m), 도곡제(1,020 m), 덕곡제(150 m) 등의 증고가 이루어졌다(건설교통부, 1998). 이에 비해 영산강 합류부 구간인 지석천 하류부 구간은, 1937년 대홍수 이후 지석천 하류의 본류 합류점까지 양안의 제방 건설계획을 마련하여, 1950년경에 완공되었다. 그리고 지석천 상류부의 제방축조는 영벽제, 부곡제, 천덕제가 1982년 완공되었으며, 순차적으로 상류구간인 능주제(1986년), 금곡제(1997년), 가봉제(1998), 우봉제(1998년) 그리고 최상류 용두제(1998년)가 건설되었다(건설교통부, 1998). 또한 대상구간의 호안공사는 제방안정화를 목적으로 1982년 일부구간인 평리제의 710 m, 죽청제의 420 m가 건설되었다(건설부, 1988). 1970년대 영산강농업종합개발계획으로 제내지 토지이용은 충적평야지에 대부분 벼농사위주의 농경지로 이루어져 있다. 유역내 토지이용을 살펴보면, 1988년 당시 경작지 면적은 유역면적의 12.7%였으나(건설

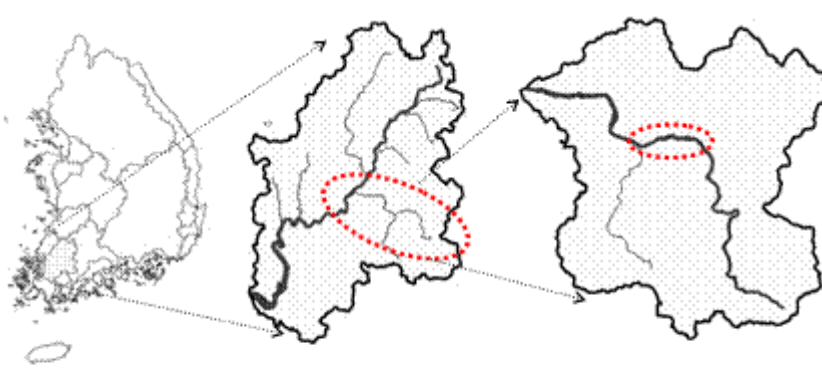


Fig. 1. Location Map of Study Basin and Reaches. Study Sites is Located at Mid of Jiseok River (right) in the Youngsan River Basin (middle)

부, 1988), 1998년에는 19.5% 로 증가한 것으로 조사되었다 (건설교통부, 1998). 그리고 농업용수 확보를 위해 조사구 간 내에 1개의 소규모 취수보인 도곡보(168m L, 1.0mH) 가 존재하며, 본류에 대형 댐은 존재하지 않는다.

2.2 조사방법

2.2.1 하도평면 조사

지석천 하천정비가 실시되기 전인 1966년과 최근 2002년의 항공사진을 이용하여 36년 동안의 유로의 변천, 사주의 변화, 지피상태의 변화를 조사하기 위하여, 동일축적으로 공간보정을 거쳐 제방선, 저수로, 사주 등을 추출하였고, 이를 이용하여 하도선형, 저수로 만곡도, 사주면적 및 식생 활착율 등의 정성적인 공간분석을 수행하였다(Fig. 2).

2.2.2 하상재료 및 하상변동 조사

대상 구간에서 이동상 하상을 구성하는 주재료가 대부분 자갈이상의 크기로 구성되어 있다. 2005년 10월 선격자법을 이용하여 하상재료의 입경분석을 실시하였다(Fig. 3). 조사는 하도내 저수로상의 사주지역을 대상으로 종적으로 5곳을 선정하였으며, 이동상 하상재료의 특성을 파악하기 위하여 직전 홍수에 재료가 반응한 곳으로서, 저수로내 이동성이 명확하고, 식생이 활착되지 않은 사주지역을 선택하였다(Yamamoto, 1994). 현장조사에서 수집한 자료는 입경가적곡선을 작성하여, 지점별 대표입경과 평균입경을 계산하였다. 하상변동조사는 하천정비기본계획

보고서의 하천측량자료(건설부, 1988; 건설교통부, 1998)에서 조사된 평균하상고 자료를 이용하여 10년 동안의 대상구간의 하상저하와 하상상승을 조사하였다. 사주 지역 내 식생의 횡단분포를 조사하기 위하여 식생군집조사를 실시하였다(한국건설기술연구원, 2006).

3. 하도의 평면현상 변화

1960년대와 2000년대의 항공사진분석을 통하여 하도의 평면형상의 변화를 조사하였다. 1966년은 하천정비 및 경지정리사업이 시행되기 이전으로, 지석천 주변의 토지이용은 산지와 나지의 형태를 보이고 있으며, 자연제방 구간의 하도는 사행을 이루고 있다. 하도내 사주형태는 만곡부에는 점사주가 직선부에서는 교호사주가 순차적으로 나타나고 있다. 식생의 흔적은 대부분의 사주에서 보이지 않는 등 지속적인 유사공급과 홍수의 자연적 교란에 반응한 충적하천의 이동상 하도의 모습을 보이고 있었다. 한



Fig. 3. Sampling Site for Bed Material Survey

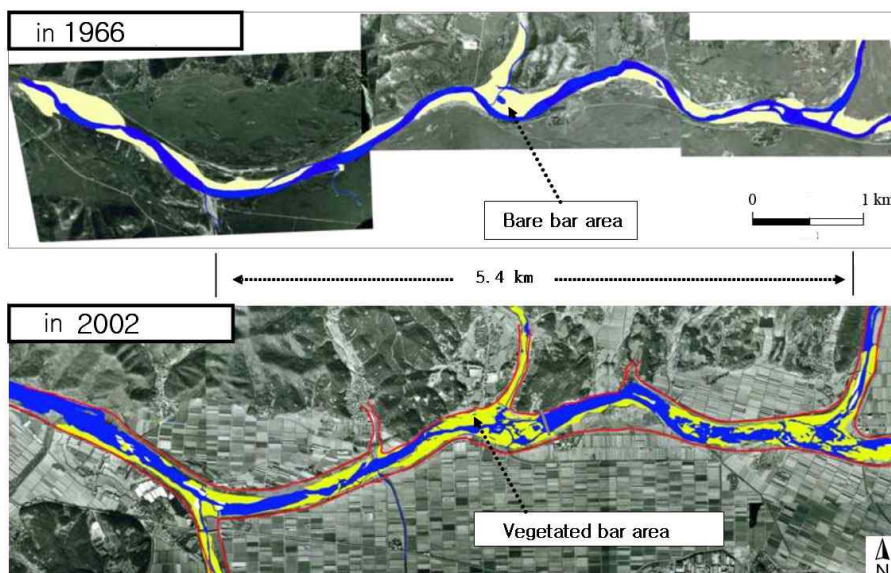


Fig. 2. Channel Morphological Changes by Comparison of Aerial Photographs Taken in 1966 (upper) and in 2002 (lower). Flow Direction is from Right to Left.

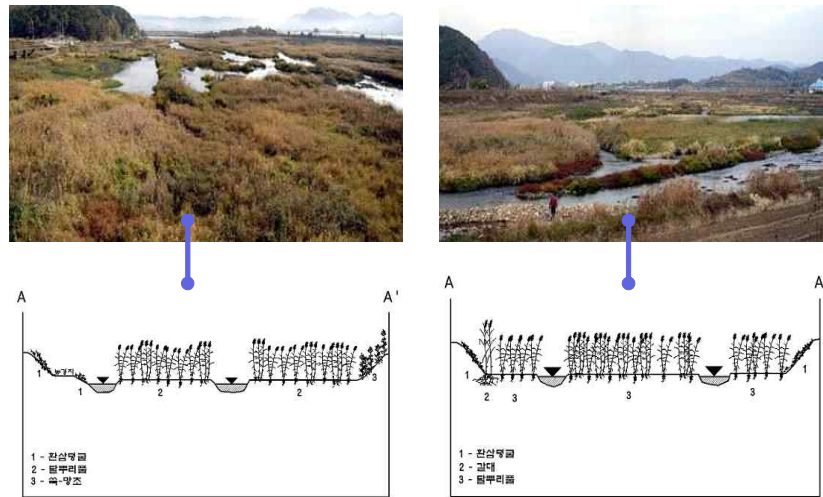


Fig. 4. Anastomosing Channels and Their Cross-sectional Vegetation Distribution at Tributary Deltas Near Conjunction Sites of the Dogok River (Left) and Hwasoon River (Right).

Table. 1 Estimation of Temporal Changes in Sinuosity and Bar Shape

		in 1966	in 2002	Comparison
sinuosity		1.21	1.10	decreased by 9.2%
Bar area (m ²)	Bare	392,426	15,832	Total bar-area increased by 25%, Fraction of vegetated bar is 97%
	Vegetated	0	474,847	

편, 2002년 항공사진에서 보이는 하도의 평면적인 모습에서는, 제방축조 사업으로 인하여 저수로는 보다 직강화된 흐름을 보이고 있으며, 지천합류부에서는 특히 사주의 면적이 과거에 비해 증가하였다. 그리고 대부분의 사주에서 식생의 활착이 나타났다. 하도전형은 국부적으로 지천합류부에서 저수로가 여러 갈래로 갈라진 망상하도(Anastomosing channel)를 보이고 있으며, 지천사주가 확장하여 저수로폭이 감소하였다. 지천합류부의 사주에서 식생조사를 실시한 결과, 저수로를 중심으로는 달뿌리풀(*Phragmites japonica*)과 갈대(*Phragmites communis*)와 같은 화본과 고정초본군락이 우점하였으며, 부수로와 제방면은 쭉(*Artemisia vulgaris*)-망초(*Erigeron canadensis*)군락과 환삼덩굴(*Humulus japonica*)군락이 분포하고 있었다(Fig. 4).

하도의 평면변화를 정량적으로 평가하기 위하여, 하도의 만곡도(하천의 최심선 길이와 직선거리의 비)와 사주 형태를 분석하였다. Fig. 5와 같이 1966년의 1.21이었던 만곡도는 2002년 1.10으로 줄어들어 약 9.2% 정도 저수로가 보다 직강화 되었다. 특히 사주의 형태적 변화는 지식천 하도특성의 두드러진 변화로서, 과거에 비해 사주면적은 약 25% 증가하였고, 전체 사주면적의 약 97%에서 갈

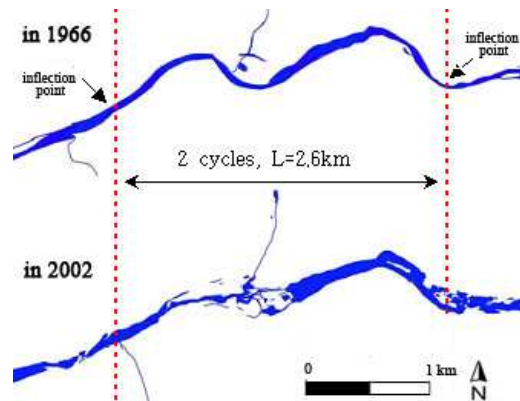


Fig. 5 Channel Sinuosity Change between 1966 and 2002

대와 달뿌리풀과 같은 다년생 고정초본류의 식생역으로 변모하였다(Table 1). 이러한 결과는 사주의 형태가 과거 이동성 사주에서 현재 망상하도의 고정사주 형태로 변화하면서 지천사주 면적의 증가와 사주내 식생활착률의 증가를 보여주고 있다.

이러한 하도의 지형학적 변화는 댐하류역에서 나타나는 하도의 고정화 현상과 높은 유사성을 보이고 있다. 지금까지의 국내외 연구에 따르면 댐하류역의 지형학적 하

도변화의 경우 홍수량 저감 및 유황 변동의 안정화, 그리고 저수지의 퇴사 작용으로 인한 소류사량의 급감을 주요 원인으로 인식하고 있다(Kondolf, 1997; Tsujimoto, 1999; Pett and Gurnell, 2005). 비록 지석천의 경우, 상류역에 댐이 존재하지 않더라도 댐하류역과 유사한 지형학적 변화를 보이고 있다면, 이와 비슷한 종류와 정도의 유황변동과 유사이동의 변화가 대상유역에 작용했을 것이라고 추정할 수 있으며, 이를 위하여 다음과 같은 분석을 실시하였다.

4. 유황변동조사

본 연구에서는 항공사진 분석기간에 해당하는 지석천의 유황변동을 파악하기 위하여 국가수자원관리종합정보

시스템(WAMIS)에서 제공되는 자동관측 자료를 이용하여 1966년부터 2002년까지의 강우에 따른 수위의 변동 패턴을 조사하였다. 강우자료는 능주관측소의 월강우량을 이용하였다. 수위자료의 경우, 능주수위표의 간헐적인 위치변경으로 인한 측정 자료의 신뢰도 문제로 인하여(국토해양부, 2009), 구간하류의 지석천 남평수위표의 일수위 자료를 이용하였다.

유황변동은 크게 제방축조가 완공된 시기(1982년)를 전후하여 수위자료를 기준으로 홍수빈도와 홍수규모의 변동을 조사하였다. 강우에 따른 수위변동을 비교해 보면, 제방축조 전(1966~1982)과 후(1983~1999)의 각 16년의 기간 동안 월강우량 300 mm 이상의 강우사상은 제방축조 전 19회, 후 18회를 기록하였으며, 월강우량 400 mm 이상의

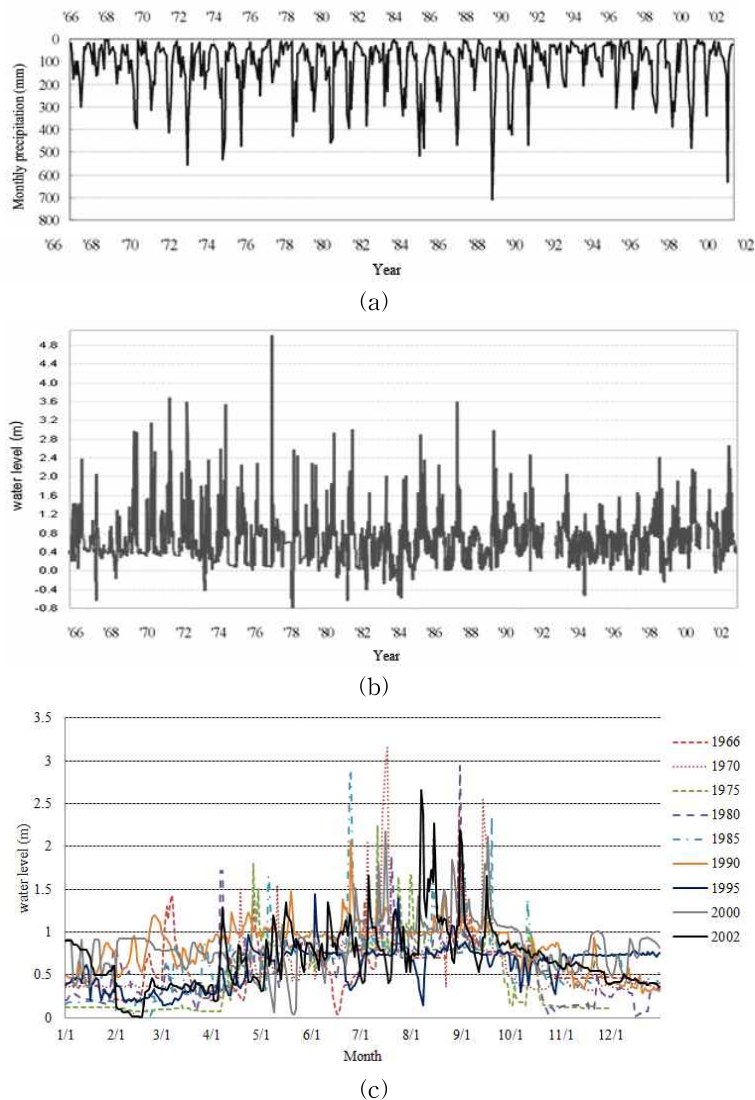


Fig. 6. Temporal Changing Patterns of Monthly Precipitation at the NeunJu Gaging Station (a) and Daily Water-level at the NamPyeong Gaging Station (b), and Annual Water-level Variation (c).

강우사상은 각 8회와 7회 기록되는 등 월강우량기준 홍수기의 강우사상은 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 6a). 이러한 유사한 홍수기의 강우사상에 대한 수위변동을 조사한 결과, 남평지점의 관리수위(2m)와 주의보수위(3m) (건설교통부, 2002)를 초과한 일수위 횡수는 1966~1982년 기간 동안 각각 48회와 7회가 발생하였으며, 1983~1999년에는 각각 17회와 2회가 기록되었다(Fig. 6b). 이러한 결과는 하천정비사업 후에 지석천의 홍수기 하천수위의 규모와 빈도가 사업전과 비교해서 감소되는 경향성을 보여주고 있다. 한편, 5년 주기로 조사된 연중수위변동을 비교해보면(Fig. 6c), 하천정비사업 후에도 사업전과 유사하게 몬순기후의 강우상황에 반응하여 하천수위가 변동하고 있음을 보여주고 있다. 결과적으로 하천정비사업에 따른 지석천의 유황변동 특성을 댐하류 조절하천과 비교해보면, 홍수위의 규모와 빈도가 조절되는 유사성을 보여주고 있지만, 댐하류 하천, 특히 발전용수 방류와 유지유량 방류에 따른 연중 수위변동의 고정화와 평균화 현상은 나타나지 않는 차이점을 가지고 있다.

5. 하상재료 및 하상변동 조사

5.1 하상재료

대상구간의 5지점에서 실시된 하상재료 조사에서, 하상의 표층을 이루고 있는 이동상 재료의 평균입경(d_{50})은 70~91 mm로서 AGU(American Geophysical Union) 기준 작은호박돌/매우굵은자갈 로 구성되어 있었다(Table 2). 지천합류부 지점들(대초천합류점 S1, 화순천합류점 S5)에서는 상대적으로 큰 입경을 보이고 있지만, 구간내에서 뚜렷한 종적인 경향성은 나타나지 않았다(Fig. 7). 과거 대상구간에서 제방사업이 실시되기 전에 조사된 문헌에 기록된 동일구간의 평균입경은 16~22 mm의 중간 자갈규모의 크기였다(전라남도, 1979). 이는 지석천의 평균하상경사(1/640)를 고려했을 때, 충적하천 자연제방대

의 세그먼트상의 기준인 모래/자갈의 혼합사(10~30 mm)에 해당한다(Yamamoto, 1994). 이러한 결과는 비록 25년 여 동안 하상재료의 평균입경이 무려 4~5배 정도로써 하상이 조립화 되었음을 보여주고 있고, 지석천의 하상재료가 충적하천의 자연하도를 구성하는 자갈 크기 이하의 이동성 재료가 사라져 가는 등 고유의 하상재료 형태에서 변형되었음을 보여준다. 이는 비록 상류역에 저수댐이 없어서 상류로부터의 유사공급이 단절되지는 않았지만, 하도의 양안을 콘크리트 제방과 호안으로 고정화시킨 결과, 하도 외부로부터의 횡적인 유사유입이 단절되고, 자연제방에서 이루어지던 침식과 퇴적과 같은 하도내부의 지형형성과정의 억제되는 등 하상재료 조립화가 유사계 내부의 인위적 교란에 기인한 것으로 추정할 수 있다. 그렇지만 하천시설기준(건설부, 1980), 하천설계기준(건설교통부, 2000) 그리고 하천정비기본계획의 수립지침(건설교통부, 2004) 상의 조사방법의 표준화가 제시되기 이전에 작성된 과거 하천정비보고서의 하상재료조사의 결과를 참조할 때에는 당시의 조사방법의 비표준화로 인하여 하상재료가 과소 측정될 가능성을 고려할 필요가 있다. 특히 모래 하천이 아닌 자갈하천의 입도 분포는 채취 시료의 한계나 채취 방법의 부재 등의 사유로 인하여 실제보다 작은 값이 수록되어 있을 가능성이 존재하며, 본 연구에

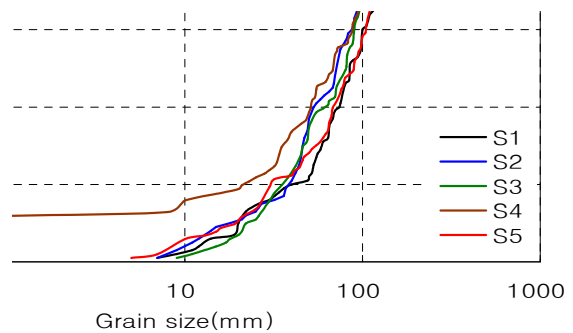


Fig. 7. Spatial Variation of Bed Material Size in 2002

Table 2. Bed Material Size Distribution by Line Transect Analyses in 2002 (unit: mm). Site Numbers (No.) Correspond to Those of Official Reports in the Jiseok River

Sites	d_{16}	d_{50}	d_{60}	d_{84}
S1; downstream (No. 57)	30	85	100	138
S2; (No. 63)	32	71	87	120
S3; (No. 69)	30	81	90	133
S4; (No. 77)	10	70	88	140
S5; upstream (No. 83)	28	91	104	153

서도 분석상의 현실적 한계가 되었다.

5.2 하상변동

제방과 호안과 같은 하천정비로 인하여 하도의 평면적인 변화를 제한하는 경우, 하도변화는 상대적으로 종단적인 하상변동으로 반응하게 된다. 지식천의 경우에서도 전체적인 하상저하 및 국부적인 하상상승이 발생하고 있는 등 종단적인 변화를 보여주고 있다(Fig. 8). 대상구간내의 하상변동량은 $-1.96 \sim +2.13$ m로서 약 4m의 변동량을 보이며, 일부 지천합류부와 취수보 지점을 제외하고는 대부분의 구간에서 평균 -0.19 m의 하상저하를 가져왔다. 특히 화순천 합류부에서 $+2.13$ m 그리고 대초천 합류부에서는 $+1.39$ m 값을 보이는 등 지천합류부에서 국부적인 하상상승이 두드러졌다. 실제로 이 지점들은 다지형의 망상하도 구간으로 저수로 폭이 좁아지고, 식생이 활착된 고정사주의 발달을 확인할 수 있었다. 이러한 지천합류부의 국부적인 하상상승은 지천에서 공급되는 유사량(sediment load)에 비해 본류의 유사이동능력(sediment transport capacity)의 불균형을 의미하는 중요한 지형학적 현상이다(Makaske, 2001). 유사 공급량 감소로 인한 축적하천의 지형학적 변화를 보이고 있는 댐하류역의 하천에서는 지천에서 공급되는 유사량은 지형학적 복원을 위한 중요한 자원으로 고려되고 있다. 그렇지만, 본 연구사례와 같이 지천의 높은 유사 이동량이 상대적으로 하상경사가 작은 본류와 만나게 되면, 지천합류부에서 퇴적현상이 발생하게 된다. 그리고 장기간에 걸쳐 본류의 에너지가 이러한 퇴적된 토사를 하류로 이동시킬 수 있는 유사이동능력이 감소되어 있는 경우에는 지천사주(tributary delta)가 생성되며, 이러한 현상이 주기적으로 반복되어 고정화되면, 중수기에는 상류역에 배수역이 형성되어 본류의 유사이

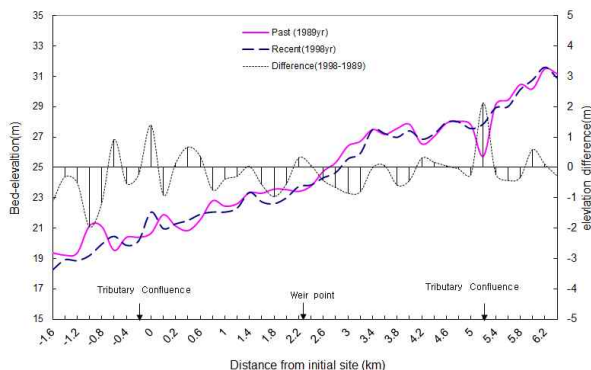


Fig. 8. Temporal Changes in Mean Bed Elevation between 1989 (solid line) and 1998 (dashed line), and their Difference (dotted line)

동능력을 감소시킬 수 있다(Kondolf and Minear, 2004).

지식천에서 나타나는 이러한 하상재료의 조립화와 하상저하는 상류로부터 공급되는 유사 공급량 감소가 원인이 될 수 있다. 이러한 원인을 유사계 내부에서 보다 정확하게 파악하기 위해서는, 산지에서 토사 발생량의 감소 및 하도내로 유입되는 토사량의 감소, 그리고 하도내 유사의 이동성의 감소 등을 종합적으로 고려해야 하지만, 지식천을 비롯한 국내 하천의 조사연구에서는 과거 유사량 측정자료 및 하천정비사업에 대한 문서작업과 모니터링이 체계적으로 이루어지지 않았다는 한계가 존재한다. 그렇지만 이러한 유사공급 감소의 잠재적 원인을 다음과 같이 제한적으로 추정해볼 수 있다. 우선 유역의 토지이용변화로 인한 토사발생량의 감소 및 사방댐의 건설로 인한 토사유입량의 감소, 그리고 콘크리트 제방의 축조는 하도내에서 발생하는 측면침식과 퇴적을 제한한다. 횡단 구조물에 의한 유사이동의 제한에 대해서는, 지식천은 상류에 저수댐이 존재하지 않기 때문에 댐과 저수지로 인한 유사 공급의 단절은 발생하지 않는다. 그렇지만 취수보인 도곡보가 소규모의 유사퇴적 효과를 나타내고 있다. 해당 지점의 하상상승과 보를 전후한 지점에서 하상저하를 보이고 있어 종적인 하도내 유사이동에 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 그렇지만 지천합류부에서 지천사주가 발달하여, 국부적인 하상상승, 망상하도로의 변화, 식생사주역의 확장 현상은 지천과 본류와의 유사이동능력의 불균형을 나타내고 있다.

6. 결론

본 연구는 상류에 댐이 없는 축적하도에서 발생하는 하도지형의 평면변화를 과거 하천정비사업에 따른 유사계 내부의 교란을 원인으로 파악하기 위하여 수행되었다. 지식천 중하류 국가하천구간을 대상으로 항공사진을 이용하여 하천정비사업 전·후의 지형학적 변화를 조사하였다. 1960년대에는 자연제방의 범람원이, 1970년대 이후 농업을 위한 경지정리 및 제방축조, 취수보 건설과 같은 하천정비사업의 영향으로, 2002년도는 대부분의 제내지는 농경지화 되었다. 또한 약 40년 동안 하천의 평면형상을 조사한 결과, 하도선형은 단일사형에서 다지형 망상으로, 만족도는 9.2%의 감소, 지천사주의 확장, 그리고 약 97% 사주에서 높은 밀도의 식생활착을 보이는 등 하도의 고정화 및 사주의 육역화 현상이 나타났다.

이와 같은 중규모하상형태의 평면적 변화는, 댐하류역 조절하천에서 유황변동 및 유사단절에 의해 발생하는 지

형학적 변화와 유사하다. 대상구간이 댐하류역이 아님에도 불구하고 하도내에서 유황의 변화 또는 유사량 감소의 영향이 발생했다는 것을 간접적으로 나타내고 있다. 유황의 변화를 파악하기 위하여, 강우에 따른 수위변동을 조사한 결과, 하천정비사업 후 홍수빈도와 규모가 조절되고 있었지만, 유황의 평균화와 균일성은 보이지 않았다. 이와 더불어 하상재료 및 종단적인 하상변동 조사를 통하여 유사공급과 이동량의 변화를 파악하였다. 하상재료조사를 통하여 과거와 비교해서 주하상재료의 평균입경이 4~5배 정도 조립화되었고, 하상변동 조사를 통하여 전체적인 하상저하 현상과 지천함류부에서 나타나는 국부적인 하상상승을 파악하였다. 이러한 하상재료의 조립화, 하상저하, 국부적인 하상상승 현상은 지식천 유사계에서 상류로부터의 종적인 유사공급, 그리고 제내지로부터의 횡적인 유사 공급량의 감소, 그리고 지천과의 유사이동능력의 불균형과 밀접한 관계를 보여주고 있으며, 결과적으로 하도의 고정화, 하도선형변화, 사주의 식생화의 유발가능성을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 전라남도 화순군의 “지식천 선사하천문화 복원을 위한 타당성 및 하천환경관리 계획”의 일환으로 수행되었습니다. 현장조사에 참여한 김철민, 박재민 연구원, 수문자료 수집에 도움을 주신 유량조사사업단 영산강 유량그룹, 그리고 논문심사과정에서 생산적인 조언을 해주신 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부 (1998). 영산강 하천정비기본계획(보완).
 건설교통부 (2000). 하천설계기준.
 건설교통부 (2002). 영산강수계 유량측정보고서.
 건설교통부 (2004). 하천정비기본계획수립 및 하천대장작성 지침.
 건설부 (1980). 하천시설기준.
 건설부 (1988). 지식천 하천정비기본계획.
 국토해양부 (2009). 영산강 하천기본계획(변경).
 국토해양부 (2003). 한국하천일람.
 이삼희, 옥기영, 최정권 (2008). “충적하천 사행하도에 발달한 사주에서의 식생형성과정에 관한 연구.” **한국환경생태학회지**, 한국환경생태학회, 제22권, 제6호, pp. 658-665.
 전라남도 (1979). 지식천 하천정비기본계획.

최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현 (2004). “댐건설에 의한 유황변화에 따른 하류하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례.” **한국수자원학회는 문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제1호, pp. 55-66.
 한국건설기술연구원 (2006). 지식천 선사하천문화 복원을 위한 타당성 및 하천환경 관리계획 연구. pp. 77-113.
 Allen, P.A. (2008). “From landscapes into geological history.” *Nature*, Vol. 451, pp. 274-276.
 Ashida, K., Egashira, S., and Nakagawa, H. (2008). *River morphodynamics for 21st Century*, Kyoto University Press, Kyoto, Japan, pp. 91-106.
 Chesapeake Bay Program Office (2007). *An Introduction to Sedimentsheds: Sediment and its relationship to Chesapeake Bay water clarity*. Report. CBP-TRS-286-0. Chesapeake bay program sediment workshop, CA, pp. 5-23.
 Graf, W.L. (2006). “Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers.” *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.
 Kondolf, G.M., and Minear, J.T. (2004). *Coarse sediment augmentation on the Trinity River below Lewiston Dam: Geomorphic perspectives and review of past projects*, Report. Trinity River Restoration Program, Weaverville, CA.
 Kondolf, G.M. (1997). “Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels.” *Environmental Management*, Vol. 21, pp. 533-552.
 Kondolf, G.M., and Wolman, M.G. (1993). “The sizes of salmonid spawning gravels.” *Water Resources Research*, Vol. 29, pp. 2275-2285.
 Makaske, B. (2001). “Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products.” *Earth-Science Reviews*, Vol. 53, pp. 149-196.
 Ock, G., Muto, Y., Sumi, T., and Takemon, Y. (2010). “Roles of riffle and pool structures in particulate organic matter dynamics in the downstream reaches of dam reservoirs.” *Disaster Prevention Research Institute annuals of Kyoto University*, Vol. 53, pp. 773-782.
 Ock, G., and Takemon, Y. (2010). “Estimation of transport distance of fine particulate organic matter in relation to channel morphology in tailwaters of the Lake Biwa and reservoir dams.” *Landscape and Ecological*

- Engineering*, Vol. 6, pp. 161-169.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Follstad, S.J., Galat, D.J., Gloss, S., Goodwin, P., Hart, D.H., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Srivastava, P., and Sudduth E. (2005). "Standards for ecologically successful river restoration." *Journal of Applied Ecology*, Vol. 42, pp. 208-217.
- Petts, G.E., and Gumell, A.M. (2005). "Dams and geomorphology: Research progress and future directions." *Geomorphology*, Vol. 71, pp. 27-47.
- Revell, D.L., Marra, J.J., and Griggs, G.B. (2007). "Sandshed Management." *Journal of Coastal Research*, Vol. 50, pp. 93-98.
- Takemon, Y. (2010). "Habitatology for linking sediment dynamism and ecology." *Proceedings International Symposium on Sediment Disasters and River Environment in Mountainous Area*, Kyoto, Japan, pp. 25-32.
- Tsujimoto, T. (1999). "Effects of dams on physical environment of rivers from the aspects of river engineering and hydraulics." *Ecology and Civil Engineering*, Vol. 2, pp. 103-112.
- Yamamoto, K. (1994). *Fluvial rivers*, Sankaido Press, Japan, pp. 12-15.

논문번호: 11-071	접수: 2011.06.29
수정일자: 2012.01.04/02.03	심사완료: 2012.02.03