

영상자료를 이용한 만경강 하도변화에 관한 연구

A Study on the Channel Planform Change Using Aerial Photographs and Topographic Map in the Mangyoung River

홍 일* / 강 준 구** / 여 홍 구***

Hong, Il / Kang, Joon Gu / Yeo, Hong Koo

Abstract

River is able to change by various environmental factors. In order to conduct river restoration design, it is necessary to evaluate the stable channel through the analysis of past and present river channels. River evaluation requires various data, such as geometry, hydraulic and hydrology, but there is a lot of difficulty to understand topographical information of river change on time and space due to a lack of past data by domestic conditions. This study was analyzed abandoned channel formation, changes in the vertical-section and cross-section length of rivers, and micro-landform changes etc using an image analysis technique. Purpose of this research is to evaluates the stable channel through a river channel morphology change from past and present river channels image. Mangyoung river was conducted artificial river maintenance through straight channel consolidation form 1920 to 1930 year. In the result river maintenance, mangyoung river length was decreased by 15 km and abandoned channels of six points were made. Since then, weir was continuously increased to control bed slope and use water. Install of weir was to be the reason of changes on channel width, thalweg, vegetated bar, sand bar, water area. Present Mangyoung river show that water area was temporary increased in upper and middle reach because of weir installation. Total sand bar was only decreased in upper channel. The change of vegetated bar and sand bar was slight recently. In this result, Mangyoung river is inferred to reach stabilized channel although there is some difference to the lower reach.

Keywords : image analysis technique, abandoned channel, aerial photograph, channel planform change

요 지

하천은 다양한 환경조건에 따라 변화될 수 있는 공간으로 하천복원을 설계하기 위해서는 현재 하도의 안정성 여부를 파악할 수 있는 하도평가가 필요하다. 하도평가는 대상하천의 지형 및 수리·수문 등 다양한 정보가 요구되지만 국내여건상 과거자료 미비로 인해 시·공간적으로 변화된 하천의 지형학적 정보를 파악하기에는 많은 어려움이 있다. 본 연구는 만경강의 과거에서 현재까지의 하도지형 변화를 평가하기 위한 방안으로 영상분석기법을 이용하여 구하도 형성, 하도 중·횡단 변화, 하도 내 미지형 변화 등을 분석하였다. 만경강의 경우 1920, 30년대 직강화 공사로 하도길이가 약 15km가 줄었으며, 하도가 절단되는 과정에서 6개소의 구하도 구간이 형성되었다. 이후 만경강은 하도경사 조정과 물이용을 위해 지속적인 보의 설치가 증가되었다. 보의 설치는 저수로 폭, 최심선 길이, 식생사주, 모래사주, 전체 사주 및 수역면적 등 변화의

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천해안연구실 전임연구원 (e-mail: hongil93@kict.re.kr)

Corresponding Author, Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 2311, Daehwa-dong, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 411-712, Korea.

** 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원

Senior Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology

*** 한국건설기술연구원 하천해안연구실 연구위원

Fellow Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology

주요원인이 되었다. 만경강 하도는 현재 하류구간에서 안정하도를 유지하는 것으로 판단되나 중류와 상류 구간 하도는 안정하도에 도달하지 못한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 영상분석기법, 구하도, 항공사진, 하도지형 변화

1. 서론

하천은 끊임없이 변화하는 공간으로써 각 하천의 물리 조건에 따라 다양한 형태와 하도가 형성된다. 인위적인 교란이 발생할 경우 하천은 새로운 환경조건에 따라 하천의 형태 및 물리적 특성은 달라질 것이다(홍일 등, 2009). 국내 하천개수사업과 경지정리사업은 1970, 80년대 이후 본격화 되었고 치수목적의 제방축조는 하도 직강화의 원인이 되었다. 이러한 하천정비는 자연적으로 형성되었던 하천의 물리적 조건을 변화시켰으며 자연하도는 새로운 물리조건에 수궁하도록 변화되었다. 최근 국내 하천사업은 시대적요구로 인해 치수적 기능에서 생태 및 친수 등 복합적인 환경적 기능을 확보할 수 있도록 방향성이 변화되고 있다. 과거 하천환경 사업은 호안재료 교체 및 조경 중심의 획일적인 사업으로 구성되었으나 최근 생태 서식처 복원, 구하도 복원, 셋강 복원 등 지형학적 복원 측면이 새로이 강조되고 있다.

지형학적 복원을 위한 하천사업은 과거 자연하천의 모습에서 현재에 이르기까지 지형학적 변화를 파악하고 이를 고려하여 하천복원 계획에 반영하는 것이 매우 중요하다. 특히 대상하천의 안정하도 상태를 파악하는 것은 매우 중요한 사항이다. 대상하천의 안정하도 평가는 하천복원 계획 시 복원형태, 규모, 경사 및 유량배분 등 기본적인 설계인자 선정을 위한 주요 사안이다. 특히 국내 여건을 고려할 때 완전한 지형 복원이 어려운 상황에서 하천환경을 개선하기 위해서는 현재 하도상태를 평가하고 분석하는 것이 매우 중요하다. 하천상태의 평가는 기본적으로 현재 하도가 안정화에 도달 여부가 매우 중요하다.

안정하도 상태를 파악하기 위한 하도평가는 수리적인 영향분석을 통한 이론적 접근 방법과 실제 자료를 통한 지형변화분석 방법으로 구분할 수 있다. 이론적인 방법은 다년간의 수문, 유사량 자료 등을 획득하고 분석함으로써 하도를 평가하는 방법으로 대상 하천구간에 대한 꾸준한 자료수집이 요구된다. 하지만 국내 여건상 다양한 하천에 대한 수문자료를 획득하는 것은 매우 어려운 상황이다. 지형변화 분석은 주로 대상하천 횡단과 종단을 중심으로 이루어 졌으나 이는 대표적인 단면을 고려하고 있어 전반

적인 하천의 변화를 판단하기는 어려운 실정이다. 또한 대상하천의 장기적 측량자료를 획득하는 것은 매우 어렵다. 이를 보완하기 위한 방법으로 위성영상, 항공사진, 과거 지형도 등 영상자료를 이용한 영상분석은 일정부분 한계를 가지고 있으나 실질적인 대안이 될 수 있을 것이다.

국내 항공사진의 경우 1960년대 후반부터 자료가 축적되었기 때문에 하천변화를 평가하는데 있어 용이하게 활용할 수 있다. 또한 현재의 GIS 분석기술은 비교적 정확하고 효과적으로 영상자료의 정보이용을 가능하게 해준다. 이와 같이 영상자료를 이용한 연구는 광범위하게 이뤄지고 있으며, 특히 국내 하천분야에서도 박근애 등(2004), 이민부 등(2005), 이근상 등(2007), 홍일 등(2009) 등은 영상분석기법을 활용하여 하천의 지형 변화를 분석함으로써 영상자료의 적용가능성을 제시하였다.

본 연구의 목적은 만경강의 과거에서 현재까지의 하도 변화를 평가하고 분석한 결과를 도출하여 향후 하천복원 사업 계획 시 하도측면에서 설계방안을 제공하는 것이다. 연구내용은 만경강의 1918년 지형도와 1967년, 1978년, 1989년, 2003년 항공사진에 대해 영상분석기법을 적용하여 시·공간적 하도지형(Planform) 변화를 분석하고 평가하였다. 평가항목은 구하도 형성, 하도 종·횡단 변화, 하도 내 미지형 변화 등으로 만경강의 하도상태와 하도지형 변화 요소를 파악하였다.

2. 대상지역 및 영상자료

본 연구의 대상인 만경강은 고산천, 소양천, 전주천 등의 지류와 합류하여 서해로 유입되는 하천으로써 유역면적은 1,527.1 km², 유로연장은 77.4 km이다. 만경강의 하상경사는 만경강 하류부 구간이 1/3,800, 중류부 구간이 1/540, 상류부 구간이 1/120로서 만경강 하류부 구간을 제외한 대부분 구간은 경사가 비교적 급하다. 하상재료의 경우 만경강 본류의 전주천 합류점 하류 구간은 Silt 및 Clay로 구성되어 있으며, 그 상류 구간은 모래 및 자갈로 구성되어 있다. 조사구간은 만경강 77.4 km 중 하도변화가 예상되는 약 40 km를 A, B, C 구간으로 나누어 설정하였다(Fig. 1).

영상분석기법을 적용하기 위한 영상자료는 하도 지형 변화를 파악할 수 있는 1918년 지형도 3장과 1967년 11장, 1978년 17장, 1989년 17장, 2003년 16장 등 총 61장의 항공 사진을 이용하였다. 국내 지형자료 중 1914~1918년에 제작된 근세한국오만분지일지형도는 국내 최초로 근대적인 지도제작방법에 의해 한반도의 모든 지역을 대상으로 동일한 축척으로 제작되었고, 근대적인 의미의 토목공사가 시작되기 이전에 제작되어 조선 후기의 한반도 모습이 반영되었다는 점에서 매우 중요하다(배선학, 2007). 1918년 지형도의 하천은 만경강의 직강화 공사가 1920, 30년대에 진행된 점을 고려할 때 자연하천에 가까운 하도 형태를 나타내고 있을 것으로 판단된다. 그리고 항공사진은 상대적으로 높은 해상도를 가지고 있기 때문에 지형지물에 대한 이해를 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 동일한 지역에 대해 주기적인 촬영이 가능하므로 그 지역의 시간에 따른 변동 상황을 파악하는데 유용하다(박근애 등, 2004). 특히 전통적으로 농업에 중요한 역할을 담당했던 만경강에서 지속적으로 보의 개량 및 추가 등 하천개수사업이 진행된 점을 고려할 때 항공사진을 통하여 하도 내 변동 상황을 효과적으로 파악할 수 있다. 반면에 홍수기, 갈수기, 평수

기 등 기후적 여건이 동일한 시점이 아닐 시에는 연차별 하도상황을 비교하는데 있어 이를 고려해야 할 것이다.

3. 분석방법

3.1 영상자료의 좌표체계 보정

항공사진에 나타나는 정보를 이용하기 위해서는 이미지의 형태의 항공사진에 좌표 값을 입력하고, 왜곡된 영상을 보정하는 과정이 필요하다. 영상보정 과정은 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 이용하여 원격탐사 영상자료에 포함된 비계통적 기하학적 왜곡을 보정하는 기하학적 보정(Geometric correction) 방식을 적용하였다. 2003년 항공사진은 GIS 기반의 디지털 환경에서 수치지도를 기준하여 Bessel 타원체의 중부원점 평면직각 좌표체계(Transverse Mercator)로 보정하고, 1967년, 1978년, 1989년 항공사진은 보정된 2003년 항공사진을 기준하여 영상대 영상(Image to image) 방법으로 보정하였다.

1918년 지형도의 좌표 보정은 경위도 좌표로 되어 있는 도곽좌표를 좌표변환프로그램을 이용하여 Bessel 타원체의 중부원점 평면직각 좌표체계로 변환한 후 GIS 기반의 디지털 환경에서 지형도의 스캔이미지에 좌표변환 값을 입력함으로써 수치화하였다. 각각의 보정된 영상은 대규모 지역에 연속적인 자료를 만들기 위해 모자이크 과정을 통하여 하나의 하천으로 완성하였다. 특히 모자이크 시에는 항공사진이 촬영진행 방향으로 약 60%, 코스간 약 30%의 중복도를 갖도록 촬영되기 때문에 사진의 중앙부분을 중심으로 작업하는 것이 효과적이다. Fig. 2는 좌표 보정 후 모자이크 된 지형도와 항공사진을 중첩하여 나타낸 것으로 좌표체계가 일치하는 것을 확인할 수 있다.

3.2 하도 추출 및 하도 변화 분석

좌표 보정된 영상에서 하도 추출을 위한 경계조건은 제방을 기준으로 한 제외지를 공간적 범위로 설정하였다.

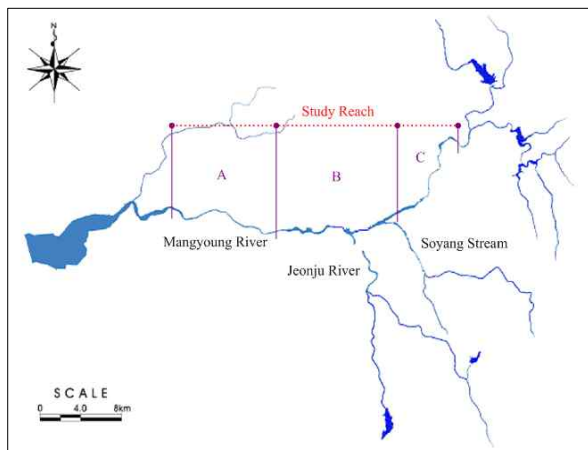


Fig. 1. Study Reach in Mangyoung River

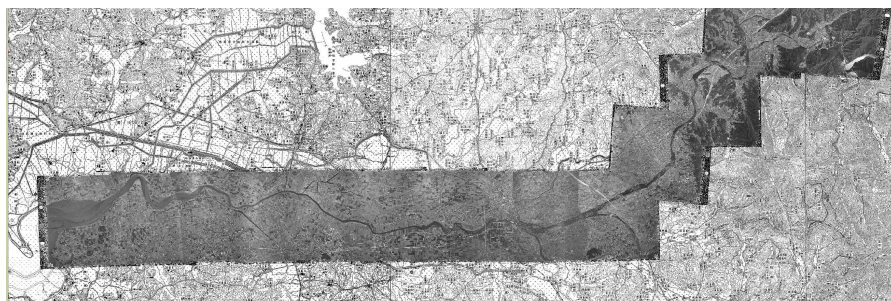


Fig. 2. Overlap of Mosaic Images Following Coordinate Correction of Topographical Map in 1918 and Aerial Photographs in 2003

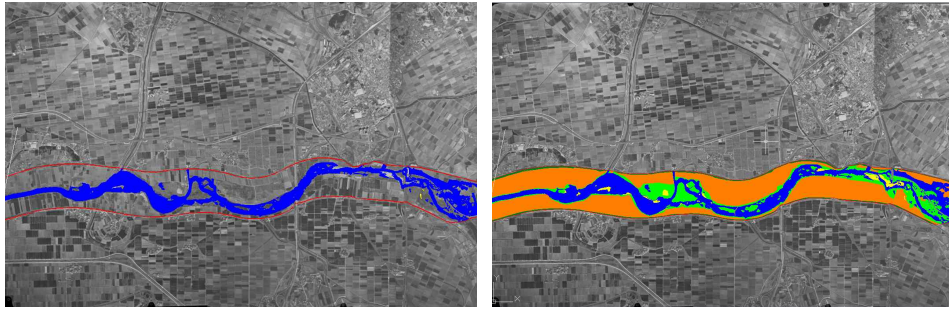


Fig. 3. Extraction of Stream Shape and Micro-Landform

하도 추출은 좌표보정과 모자이크 과정으로 완성된 영상에 대해 GIS 환경에서 제방선을 기준으로 오류수정 작업을 거치면서 선 형식으로 완성하였다(Fig. 3). 그리고 최심선 길이, 하폭, 만곡도 등 하도 중·횡단 분석은 추출된 선형식의 하도 영상에서 정량적인 수치 데이터를 산정하였다. 하도 내 미지형 분석은 항공사진만을 대상으로 추출된 하도에서 모래사주(Sand bar), 식생사주(Vegetated bar), 식생영역(Vegetated area), 농경지(Farmland), 수역(Water area), 구조물(Structure)로 구분하여 해당 면적을 산정하고, 시간에 따른 변화를 분석하였다.

4. 영상분석을 통한 하도지형 변화 결과

4.1 구하도 형성

만경강은 홍수 및 범람 방지를 위한 원활한 배수기능과 배후습지를 농업용지로 확보하기 위해 1924년부터 1940년까지 만경강 본류와 지류를 대상으로 하천개수 즉, 직강화 공사를 진행하였다. 특히 1929년, 1933년, 1938년에 만경강 본류의 많은 부분에서 직강화가 이루어졌다(Table 1).

구하도가 발생하는 원인은 크게 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 분류할 수 있다. 자연적인 요인으로 인해 나타나는 구하도는 보통 자유곡류하천에서 형성된 우각호 또는 범람원에서 만들어 진다. 반면에 인위적인 요인 즉, 하도 직강화로 인해 형성된 구하도는 절단된 하도 형

태로써 하적호(Oxbow lake)가 습지로 변형된 경우 또는 육역화된 형태로 나타난다. 본 연구에서는 직강화 이전인 1918년 하도 선형을 기준으로 2003년 제방선과 중첩함으로써 현재 제내지에 남아있는 절단된 하도 형태를 파악하였다(Fig. 4). 과거 1918년과 최근 2003년까지의 만경강 하도 형태는 Fig. 4에서 보듯이 하도의 직강화가 많은 부분 이뤄 졌음을 명확하게 보여주고 있다. 직강화로 인해 과거 사행하도 구간은 절단(Cutoff)되어 현재는 농업용 저수목적의 습지형태로 존치되어 있거나 매립되어 농경지로 이용되고 있다. 만경강에 형성된 구하도 구간은 모두 6개소(Site 1~Site 6)로 구하도 형태는 Fig. 4와 같다. 여기서 제시된 구하도 구간은 구하도 복원을 위한 잠재적 복원 대상지가 될 수 있으며, 수치화된 영상을 통해 구하도의 위치, 규모, 현재와 과거의 토지이용 현황 등의 다양한 정보를 제공할 수 있다.

4.2 하도 중·횡단 변화

하천정비로 인한 유로변경, 하폭확장, 하천구조물 설치 등에 따른 평면적 고착화는 하도의 지형학적 변화를 수반하게 된다(홍일 외, 2009). 이와 같은 인위적인 지형변화 요인은 최심선, 하폭, 만곡도 등 하도의 물리적 특성 변화를 야기한다. Fig. 5에서와 같이 1918년 최심선과 제방축조가 이뤄진 1967년 최심선의 변화는 중적지인 A 구간에서 많은 부분 직강화 되었으며, B와 C 구간에서도 사행하도가 일정부분 직강화 되었음을 확인할 수 있다. 이러한 변

Table 1. Information of Levee Construction in Mangyoung River (1924~1940)

Year	Levee length (m)	Year	Levee length (m)	Year	Levee length (m)
1924	7,574	1930	4,120	1936	-
1925	4,544	1931	6,969	1937	1,155
1926	5,360	1932	-	1938	10,207
1927	361	1933	15,449	1939	-
1928	2,259	1934	7,275	1940	4,500
1929	13,885	1935	760		

자료: 국토부, 만경강 하천정비 기본계획(1976), 조성욱(2007, 재인용)

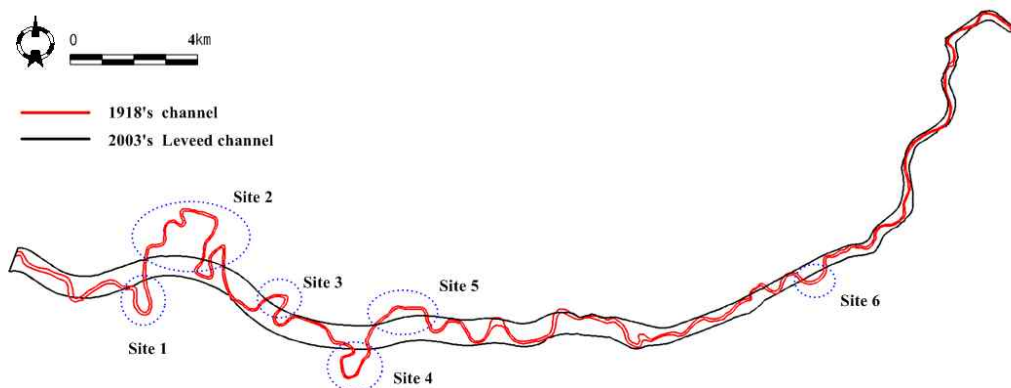


Fig. 4. Formation of Abandoned Channels on the Mangyoung River

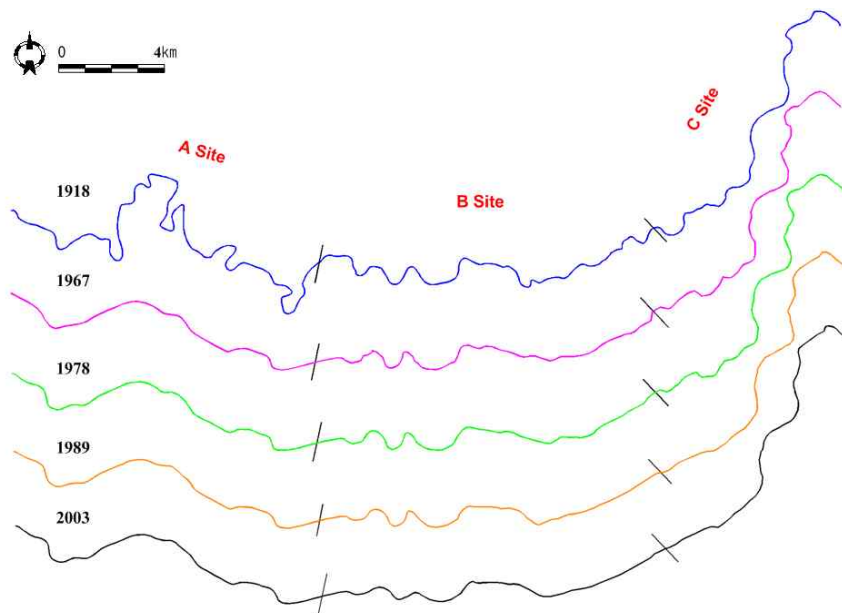


Fig. 5. Comparison of Thalweg Change between 1918 and 2003

회를 정량적으로 파악하기 위해 1918년부터 2003년까지의 만경강 중·하단 변화치를 조사구간별로 산정하여 Table 2에 제시하였다. 1918년부터 2003년까지 만경강 최심선의 길이는 51.0km에서 36.2km로 14.8km가 줄어들었으며 A, B, C 구간의 경우 각각 11.3km, 2.5km, 1.0km씩 줄어들었다. 하지만 1967년부터 2003년까지의 최심선 변화는 B와 C 구간에서만 각각 1km씩 감소하였고 A 구간은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 하도 직강화 사업 전인 1918년과 사업 후 1967년 하도의 최심선 변화는 13.0km로 큰 차이를 보이고 있으나, 1967년과 2003년 사이는 보의 설치 유무와 형태에 따라 2.0km 차이를 보이는 것으로 나타났다. 보의 시설이 없는 A 구간의 경우 1967년에서 2003년까지는 최심선의 변화가 크지 않다는 점이 이를 보여준다.

만경강 하폭의 경우 1967년부터 2003년까지의 제방 간 하폭은 큰 변화가 없으며, 500m 정도로 넓은 편이다. 이로 인해 제외지 내에서 사행 하도를 형성한다. 따라서 하폭의 변화는 저수로 폭을 기준으로 확인하였다. 1918년부터 2003년까지 저수로 폭은 각각 23.7m, -19.6m, 56.3m, 21.2m씩 증가되어왔고, 전구간에서는 81.6m 확대된 것으로 나타났다. 1967년부터 2003년까지 보의 시설이 없는 A 구간의 경우 24.3m 감소한 반면 보가 설치된 B와 C 구간은 하폭이 각각 104.0m, 94.1m 증가한 것으로 나타났다. 즉 만경강의 최심선 길이와 만곡도는 감소하고 저수로 폭은 증가하였다. 이와 같은 결과는 만경강 상류부에 보가 설치되어 기존의 만곡을 줄이고 수역을 넓혔기 때문으로 판단된다.

4.3 하도 내 미지형 변화

항공사진을 통하여 육안으로 구분할 수 있는 하도 내 미지형 형태는 모래사주(Sand bar), 식생사주(Vegetated bar), 식생영역(Vegetated area), 농경지(Farmland), 수역

(Water area), 구조물(Structure)로 구분할 수 있다. Fig. 6은 만경강 하도 형태의 변화 양상을 구간별, 연도별로 도시한 것이다. 보가 설치되지 않은 하류 A 구간의 경우 연도별로 큰 변화가 없지만 다수의 보가 설치된 B와 C 구간의 경우 연도별로 변화 차가 매우 큼을 알 수 있다.

Table 2. Summary of 1918 and 2000 River Physical Characteristics in Channel

Classification		Thalweg length(m)	Low flow channel width(m)	Leveed channel width(m)	Sinuosity
1918	A	23,306	74.4	-	2.20
	B	15,135	84.3	-	1.32
	C	12,586	44.1	-	1.35
	Total/Ave.	51,027(Total)	67.6(Ave.)	-	1.62(Ave.)
1967	A	11,871	103.9	649.3	1.12
	B	13,666	117.0	577.4	1.18
	C	12,477	53.0	276.5	1.33
	Total/Ave	38,014(Total)	91.3(Ave.)	501.1(Ave.)	1.21(Ave.)
1978	A	12,104	59.6	644.2	1.14
	B	13,548	108.6	571.5	1.17
	C	12,380	47.0	271.9	1.32
	Total/Ave	38,032(Total)	71.7(Ave.)	495.9(Ave.)	1.21(Ave.)
1989	A	11,966	86.0	645.4	1.13
	B	13,381	193.7	572.6	1.15
	C	11,585	104.2	281.4	1.23
	Total/Ave	36,932(Total)	128.0(Ave.)	499.8(Ave.)	1.17(Ave.)
2003	A	12,014	79.6	642.7	1.13
	B	12,676	221.0	568.9	1.08
	C	11,546	147.1	282.6	1.23
	Total/Ave	36,236(Total)	149.2(Ave.)	498.1(Ave.)	1.15(Ave.)

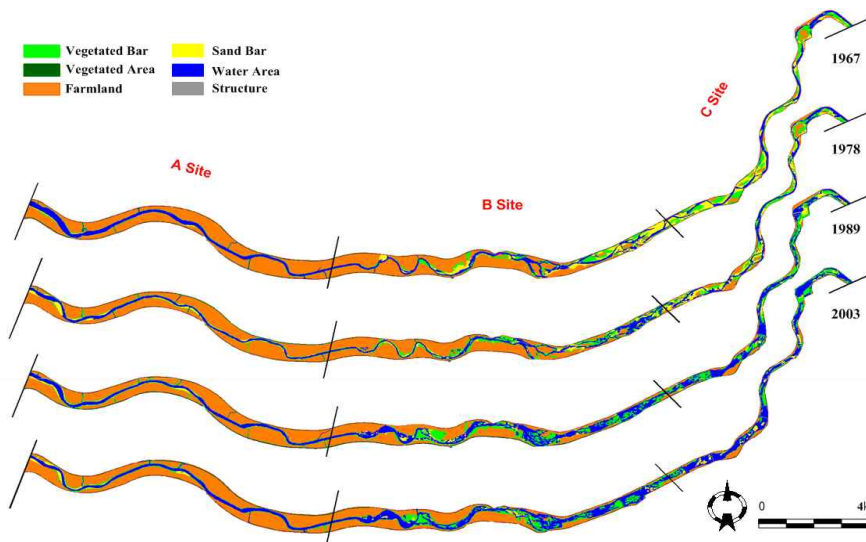


Fig. 6. Comparison of Channel Planform Change between 1967 and 2003

만경강의 하도 내 미지형 변화를 파악하기 위해 정량적인 미지형 영역 면적과 연도별 면적비율 산정 결과를 Table 3에 제시하였다. 특히 미지형의 변화는 대부분 하천구조물의 영향이 크므로 이에 대해 검토하였다. 항공사진을 통하여 확인한 결과 1967년에는 보의 개수가 10개소에서 1978년, 1989년, 2003년에는 각각 12개소, 13개소, 15개소로 증가한 것으로 나타났다. 특히 1967년에는 보의 형태가 하도의 일부에만 설치되어 있는 상태로 좌안, 우안에 순서대

로 시설됨으로써 사행흐름이 이뤄지고 있는 것으로 파악되었다. 이후 하천구조물은 하도 전체를 횡단하는 형태의 보로 보완 시설되었음을 확인하였다. 조사 구간의 총 하도영역(Total channel area)은 과거 제방 설치에 따른 하도 영역의 제한으로 인해 1967년(17,023,378 m²)부터 2003년(16,900,706 m²)까지 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 하도 영역 중 가장 많은 영역을 차지하는 것은 농경지로서 총 하도영역의 50% 이상에 해당하며, 중하류인 A, B 구간

Table 3. Summary of 1967 and 2003 Micro-Landform Characteristics in Channel

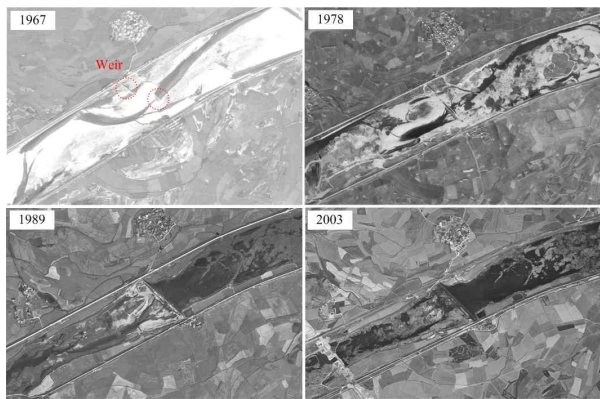
Classification		Vegetated Bar (m ²)	Vegetated Area (m ²)	Farmland (m ²)	Sand Bar (m ²)	Water Area (m ²)	Total Channel Area (m ²)	Weir (No.)
1967	A	180,394	374,730	5,307,349	118,756	1,227,899	7,209,128	-
		(2.5%)	(5.2%)	(73.6%)	(1.6%)	(17.0%)	(100%)	
	B	742,705	278,677	3,911,928	887,343	998,130	6,818,783	2
		(10.9%)	(4.1%)	(57.4%)	(13.0%)	(14.6%)	(100%)	
	C	1,021,900	92,097	362,185	845,490	673,795	2,995,467	8
(34.1%)		(3.1%)	(12.1%)	(28.2%)	(22.5%)	(100%)		
Total	1,944,999	745,504	9,581,462	1,851,589	2,899,824	17,023,378	10	
		(11.4%)	(4.4%)	(56.3%)	(10.9%)	(17.0%)	(100%)	
1978	A	230,985	345,088	5,374,511	472,153	747,228	7,169,965	-
		(3.2%)	(4.8%)	(75.0%)	(6.6%)	(10.4%)	(100%)	
	B	1,006,797	263,227	4,129,958	366,716	964,234	6,730,932	3
		(15.0%)	(3.9%)	(61.4%)	(5.4%)	(14.3%)	(100%)	
	C	922,780	88,563	531,099	797,357	620,073	2,959,872	9
(31.2%)		(3.0%)	(17.9%)	(26.9%)	(20.9%)	(100%)		
Total	2,160,562	696,878	10,035,568	1,636,226	2,331,535	16,860,769	12	
		(12.8%)	(4.1%)	(59.5%)	(9.7%)	(13.8%)	(100%)	
1989	A	346,175	349,187	5,227,257	236,564	1,029,292	7,188,475	-
		(4.8%)	(4.9%)	(72.7%)	(3.3%)	(14.3%)	(100%)	
	B	1,351,615	282,438	2,953,424	384,582	1,772,370	6,744,429	4
		(20.0%)	(4.2%)	(43.8%)	(5.7%)	(26.3%)	(100%)	
	C	1,098,136	166,206	444,136	206,561	1,158,848	3,073,887	9
(35.7%)		(5.4%)	(14.4%)	(6.7%)	(37.7%)	(100%)		
Total	2,795,926	797,831	8,624,817	827,707	3,960,510	17,006,791	13	
		(16.4%)	(4.7%)	(50.7%)	(4.9%)	(23.3%)	(100%)	
2003	A	322,665	412,277	5,206,433	198,740	1,002,576	7,142,691	-
		(4.5%)	(5.8%)	(72.9%)	(2.8%)	(14.0%)	(100%)	
	B	1,163,997	293,733	3,090,082	80,521	2,120,033	6,748,366	5
		(17.2%)	(4.4%)	(45.8%)	(1.2%)	(31.4%)	(100%)	
	C	846,121	175,988	344,348	202,840	1,440,352	3,009,649	10
(28.1%)		(5.8%)	(11.4%)	(6.7%)	(47.9%)	(100%)		
Total	2,332,783	881,998	8,640,863	482,101	4,562,961	16,900,706	15	
		(13.8%)	(5.2%)	(51.1%)	(2.9%)	(27.0%)	(100%)	

에 집중되어 있는 것으로 나타났다. 1967년에서 2003년 사이 수역은 10.0% (1,663,137 m²), 식생사주는 2.4% (387,784 m²), 식생영역은 0.8% (136,494 m²) 증가한 반면 농경지와 모래사주는 각각 5.2% (940,599 m²), 8.0% (1,369,488 m²) 감소하였다. 하지만 전체구간에 대한 이와 같은 미지형 변화 추세는 구간에 따라서는 다른 경향을 보인다. A 구간의 경우 상류 보의 증가로 인해 수역이 3.0% 감소한 반면 사주는 3.2% 증가하였다. B 구간의 경우 모래사주와 농경지가 각각 11.8%, 11.6% 감소한 반면 식생사주와 수역은 각각 6.4%, 16.8% 증가하였다. 보 시설이 가장 많은 C 구간의 경우 수역이 25.4% 증가한 반면 모래사주와 식생사주는 각각 21.5%, 6.0% 감소하였다.

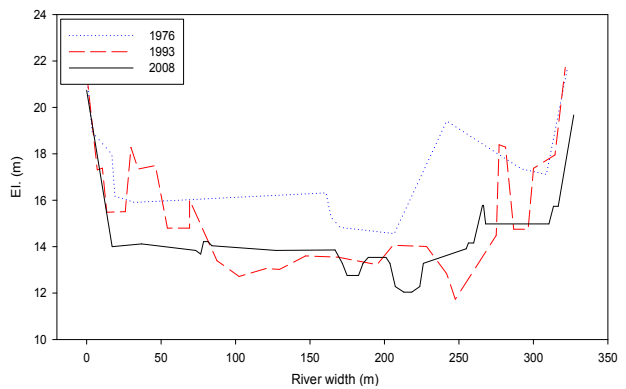
결과적으로 보의 시설이 없는 하류 구간은 상류 보의 영향으로 수역이 감소함에 따라 사주가 일정부분 증가하는 것으로 나타났다. 조사구간 중 보의 시설이 가장 많고 상류에 해당하는 C 구간에서는 수역이 증가함에 따라 사

주가 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 중류에 해당하는 B 구간에서는 모래사주가 식생사주로 변화하는 것으로 나타났다.

앞에서 언급한 만경강의 하도 내 미지형 변화정도는 보 등 하천구조물의 영향이 크기 때문에 만경강의 보 시설 과정에 따라 두 가지로 타입으로 구분하여 이에 따른 하도 지형 변화 경향을 검토하였다. Fig. 7에서 보듯이 1967년 하도의 일부 구간만 시설된 보 형태는 1978년 하도 횡단의 전체로 확장되었으며, 이후 1989년, 2003년 항공사진을 통하여 보듯이 모래사주가 사라지고 보 하류부의 일정구간에서 퇴적된 하상에 식생이 활착되어 가는 과정을 보여 준다. 이렇듯 식생사주의 증가는 퇴적된 하상이 점차적으로 안정화되는 과정이라 판단할 수 있다. Fig. 8은 1967년과 1978년 하천구조물이 없는 상황에서 1989년과 2003년 보 시설 후의 하도 변화를 보여주고 있으며, Fig. 7의 하도 변화 양상과 유사한 패턴을 나타내고 있다. 그리고 Fig 7

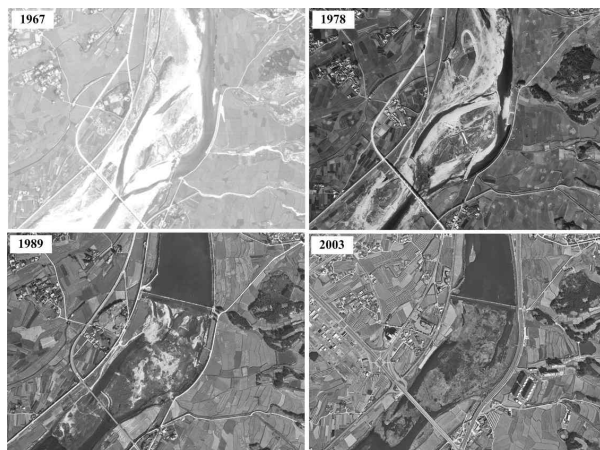


(a) Aerial Photographs

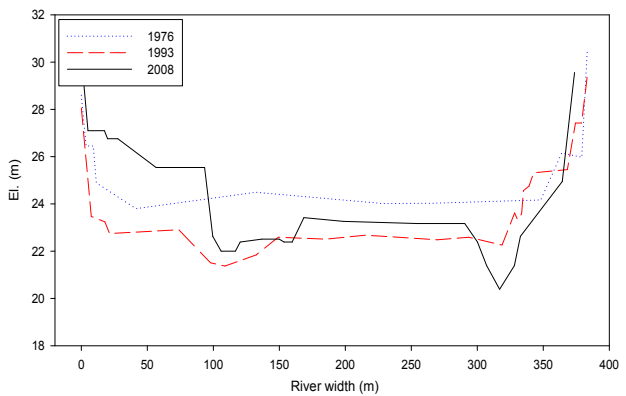


(B) Cross Section of Weir Downstream

Fig. 7. Change of Bar Because of the Weir Alteration



(a) Aerial Photographs



(B) Cross Section of Weir Downstream

Fig. 8. Change of Bar Because of the Weir Installation

and 8에서 제시된 보 직하류부 단면 변화를 살펴보면 일정부분 세굴이 발생되었음을 확인할 수 있으며, 특히 평수 시 흐름이 발생하지 않는 구간은 상대적으로 높은 하상을 유지하고 있기 때문에 식생이 발달한 것으로 판단된다. 박희두(2005)는 많은 수의 보가 설치된 만경강의 경우 하천구배가 완만하여 유수의 흐름을 저해하는 요소가 생기면 즉시 퇴적 Bar가 형성된다고 하였다. 본 연구에서도 강폭이 넓고 보의 시설이 집중된 만경강 B와 C 구간의 경우 보와 보 사이에는 하중도 형태의 퇴적 Bar가 형성되면서 식생이 발달한 형태를 보이는 것으로 나타났다.

만경강의 하도변화를 종합적으로 평가하기 위하여 세부적인 하도지형 변화 요소로써 저수로폭, 최심선(Thalweg) 길이, 식생사주, 모래사주, 전체 사주변화 및 수역면적에 대해 분석하였다. Fig. 9는 각 만경강 하도변화를 분석한 결과이다. 하도변화는 구분한 구간에 따라 차이가 있는데, A 구간의 경우 모든 분석 항목에서 연차적인 변화가 미미하게 나타나 하도가 안정화된 것으로 판단된다. 저수로폭 변화는 B와 C 구간에서 계속적으로 증가하였는데 이는 하도 내 구조물 설치로 인한 일시적인 확장으로 향후 계속적으로 확장되지는 않을 것이다. 최심선 변화는 B와 C

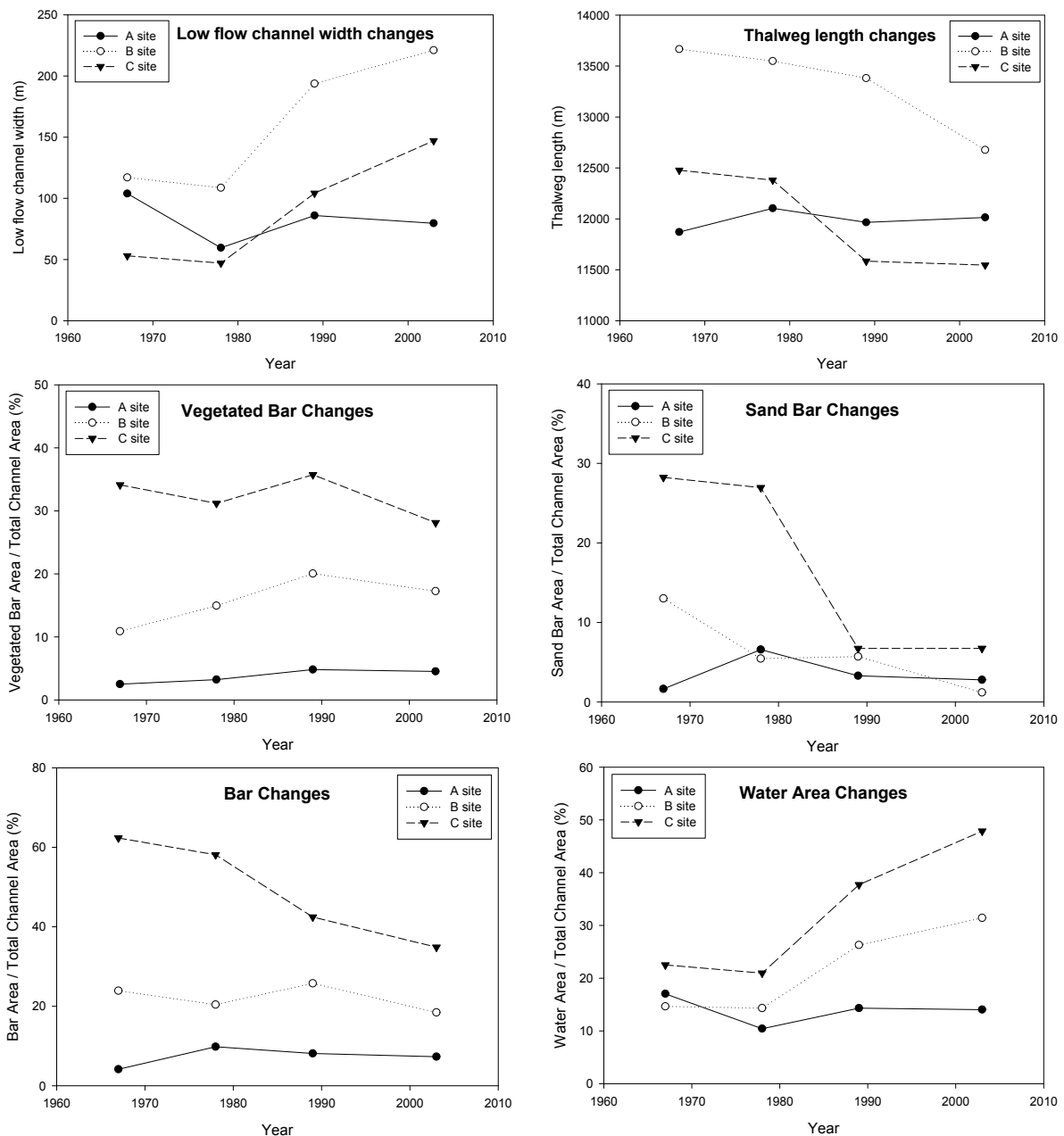


Fig. 9. Results of Channel Planform Change in Mangyoung River

구간에서 감소하는 경향이 나타났다. 이는 수역이 확장되면서 기존의 만곡을 갖던 저수위가 사라졌기 때문이다. 식생사주의 경우 B와 C 구간에서 1990년까지 증가하였으나 그 후 일정부분 감소하는 것으로 나타나고 있으나 감소율은 적은 것으로 판단된다. 모래사주의 변화는 B 구간의 경우 점차적으로 감소하는 경향으로 향후에도 일정부분 감소할 것으로 판단된다. C 구간의 모래사주 변화는 1990년까지 급속하게 감소되었으나 현재의 변화는 미미하여 향후의 사주변화는 적을 것으로 판단된다. 전체적으로 사주의 변화는 C구간에서 크게 감소하였고 B와 A 구간의 변화는 미미하였다. B 구간의 전체사주변화는 미미하나 식생사주는 증가하고 모래사주는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 수역변화는 B와 C 구간에서 계속적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 하도 내 보 설치로 상류부 수역 증가가 원인으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 만경강의 하도변화 평가를 위해 1919년 고지도와 과거 약 40년 동안의 항공사진을 이용하여 영상분석을 수행하였다. 만경강은 1920, 30년대 제방축조를 위한 직강화 공사로 인해 약 15km가 줄면서 6개소의 구하도 구간이 형성된 것으로 파악되었다. 1980년대 이후 수행된 하천정비에서는 농업용수 확보를 위해 많은 보가 설치되었으며 보는 하도내 사주변화의 주요인이 되었다. 보 설치는 대부분 상류부에 집중되어 있으며 하천정비 사업에 따라 하천구간 별 하도변화의 차이가 있는 것으로 확인되었다. 하도분석을 용이하게 수행하기 위해 하도구간은 A(하류), B(중류)와 C(상류) 구간으로 구분하였다.

영상분석을 통해 하도분석은 저수로폭, 최심선(Thalweg) 길이, 식생사주, 모래사주, 전체 사주변화 및 수역면적 변화에 대해 수행하였다. 저수로폭과 최심선길이 변화는 A 구간에서 미미하였으나 B, C 구간은 증가하는 것으로 분석되었다. B와 C 구간의 저수로폭의 증가는 보 설치로 인해 수역이 증가한 것이며 최심선의 변화는 보 하류부의 만곡이 발생되었기 때문이다. 사주의 변화는 전체 하도면적에 대한 각 항목의 비를 산정한 결과로 A, B, C 구간은 각각 3.2% 증가, 5.5%, 27.5% 감소하였다. 모래사주의 경우 A, B, C 구간은 각각 1.1% 증가, 11.8%, 21.5% 감소하였고, 식생사주의 경우 각각 2.0%, 6.4% 증가, 6.0% 감소하였다.

하도변화 분석결과, 하류구간(A)은 현재 안정하도의 도달한 것으로 판단되나 중류구간(B)과 상류구간(C)의

하도는 현재 변화하고 있음을 파악하였다. 따라서 만경강의 하천복원 사업은 하류구간의 경우 현하도의 안정성을 해치지 않는 조건을 고려하여 추진되어야 할 것이다. 구하도 복원측면에서 하류부에 존재하는 구하도 구간은 수질개선을 위해 일정기간만 흐름이 형성되는 하도 내 습지 형태의 개선이 유리할 것이다. 중류와 상류구간의 구하도는 현하도가 안정하도에 도달하지 않았으므로 하도를 유지하도록 복원하되 현하도에 대한 안정성을 고려하여 복원하는 것이 유리할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유 연구사업(11주요) 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 국토해양부(1976). 만경강 하천정비기본계획.
- 박근애, 이미선, 김현준, 김성준(2004). “항공사진을 이용한 하천형태 및 하천부지 변화추세 분석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제5D호, pp. 815-821.
- 박희두(2005). “만경강과 동진강 유역의 습지 분석.” **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제12권, 제1호, pp. 1-12.
- 배선학(2007). “1910년대 지형도를 이용한 근대화 이후의 도시 변화 분석.” **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제10권, 제3호, pp. 93-103.
- 이근상, 이현석, 채효석, 황의호(2007). “항공영상을 이용한 도시하천의 토지이용 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3D호, pp. 351-357.
- 이민부, 김남신, 이광률, 한옥(2005). “위성영상을 이용한 대동강과 재령강의 하도변화 분석.” **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제12권, 제1호, pp. 91-102.
- 조성욱(2007). “만경강의 역할과 의미 변화.” **한국지역지리학회지**, 한국지역지리학회, 제13권, 제2호, pp. 187-200.
- 홍일, 강준구, 권보애, 여홍구(2009). “영상분석기법을 이용한 구하도 복원 대상하천의 하도평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제5호, pp. 397-406.

논문번호: 11-099	접수: 2011.08.30
수정일자: 2011.11.10/11.23	심사완료: 2011.11.23