

## 해평취수장 부근에서 총적하천의 저수로 이동 특성

### Lateral Migration Features of the Alluvial Channels in Hapyeong Intake Station, Nakdong River

장 창 래\* / 이 광 만\*\* / 김 계 현\*\*\*

Jang, Chang-Lae / Lee, Gang Man / Kim, Gyehyun

#### Abstract

It is important to understand the complex, various migration features of the alluvial channels for river engineering. In this study, the morphological changes and migration features of alluvial channels were investigated by analyzing the aerial photographs of active channels between 1972 and 2004 in Hapyeong Intake Station, Nakdong river. The lower channels were migrated from left bank to right bank and showed the features of braided channel in 2004. The instability of lower channels was increased due to the increased channel slope and width. The sinuosity of lower channels was decreased with time. As time increased, the increasing rate of lower channel and lateral migration rate were decreased. As a result of meso-scale regime analysis by using bankfull discharge, multiple row bars were developed, and suspended sediment load was governed in the flow as a sand bed channel.

**keywords** : Alluvial channel, channel migration, sinuosity, Hapyeong Intake

#### 요 지

총적하천의 복잡하고 다양한 이동특성을 파악하고 이해하는 것은 하천공학적으로 매우 중요하며, 본 연구에서는 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 있는 경상북도 구미시에 위치한 해평취수장 주변에 대하여 항공사진 분석을 통하여, 시간에 따른 하천의 지형변화, 저수로의 이동 특성을 조사하고 분석하였다. 저수로는 좌안에서 우안으로 이동해 가고 있으며, 저수로는 강턱유량에 대하여 복렬사주가 발달하는 특성을 보여주고 있다. 이는 하천의 경사가 급하고 하폭이 넓고 수심이 얕은 곳에서 발생하는 현상으로서, 저수로의 불안정성이 증가하기 때문이다. 또한 저수로의 사행도가 감소하면서 저수로 폭이 증가하는 것은 제한된 범위 안에서 저수로의 분류와 합류가 활발하게 발생하는 것을 의미한다. 시간의 증가에 따라 저수로 하폭의 증가율과 측방향 이동율은 감소하고 있다. 강턱유량을 이용하여 중규모 영역구분을 수행한 결과, 복렬사주가 발달하는 하천의 특성을 보여주었으며, 모래하천으로서 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다.

**핵심용어** : 총적하천, 저수로 이동, 사행도, 해평취수장

\* 한국수자원공사 수자원연구원, 선임연구원

Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea (e-mail: cljang@kwater.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 수자원연구원, 수석연구원

Head Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea (e-mail: lkm@kwater.or.kr)

\*\*\* 인하대학교 지형정보공학과, 교수

Professor, Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: kye Hyun@inha.ac.kr)

## 1. 서론

산업의 발달과 더불어 충적하천에서 홍수터의 개발 및 이용, 하천의 골재채취, 수자원 이용 및 홍수조절을 위한 수리구조물의 설치, 유역의 도시화, 하천의 제방축조 등 하천에 지속적으로 인위적인 교란이 가해지고 있으며, 이로 인하여 강터침식, 하상저하, 저수로의 변동 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 따라서 충적하천의 이동특성을 이해하는 것은 하천공학적 목적으로 하천을 계획하고 관리하며, 수리구조물을 설계하거나, 환경 및 생태 공학적 목적으로 하천을 복원하거나 주변경관을 유지하며 보전하는데 매우 중요하다.

최근에 이러한 충적하천의 이동특성 및 원인을 파악하기 위하여 다양한 연구가 수행되어 왔다. Hickin and Nanson(1984)은 항공사진을 이용하여 사행하천에서 사행 이동율을 추정하였으며, 이것은 하상토의 크기와 강터침식에 의해 결정된다는 것을 밝혔다. 그러나 이러한 사행하천에서 하천의 측방향 이동은 상류의 유입조건 및 지형에 따라 영향을 크게 받는다(Nanson and Hickin, 1986; Xu, 1997; Richardson, 2002). 특히, Richard *et al.* (2005)은 Rio Grande 강의 Cochiti Dam 하류에서 하천의 이동특성을 항공사진과 GIS 기법을 이용하여 정량적으로 분석하였으며, 댐 건설후 하천의 측방향 이동율이 감소하고, 평형상태에 도달하는 것을 밝혔다. 하폭이 넓고 수심이 상대적으로 얕아서 형성되는 망상하천에서는 하천의 이동과 분열이 사주와 흐름의 강한 비선형성에 의해 발생하며, 이론과 실험에 의해 다른 특성이 있다는 것이 연구되었다(Parker, 1976; Kuroki and Kish, 1984). 또한 하천의 이동특성을 정량적으로 모의하기 위하여 정교한 수치모형이 제안되었다(Olsen, 2003; Jang and Shimizu, 2005).

우리나라에서는 최근에 저수로의 유로 변동에 의해 취수장의 취수장애, 강터침식 등 많은 문제가 있으나, 그동안 이에 대한 연구가 거의 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 있는 경상북도 구미시 해평읍에 위치한 해평취수장 주변에 대하여 항공사진 및 하도특성을 분석하여 시간에 따른 하천의 지형변화, 저수로의 이동 특성을 파악하였으며, 중규모 영역구분 및 지배유사의 특성을 조사하고 분석하였다.

## 2. 연구대상지역의 수문특성

연구대상 지역에 있는 해평취수장은 낙동강 하류에서 상류로 약 215 km 지점인 경상북도 구미시 해평읍

에 위치하고 있다(Fig. 1). 당초에는 구미권 광역 상수도 1단계 사업을 통해 1983년 낙동강의 우안에 구미취수장이 건설되었다. 그러나 저수로의 유로 변동이 진행되면서 저수로가 좌안으로 이동하였고, 취수에 매우 어려움을 겪게 되어, 1997년 우안에서 좌안으로 취수장의 위치변경 공사가 완료되어 해평취수장으로 취수를 개시하였다. 그러나 최근에 또다시 저수로가 좌안에서 우안으로 변경되어 취수에 다시 어려움을 겪고 있다(한국수자원공사, 2006). 따라서 본 연구에서는 저수로의 변동이 심한 이 구간을 연구대상 구간으로 선정하였다.

안동댐은 낙동강 하류에서 본류로 약 350 km 지점에 위치하고 있으며, 임하댐은 지류인 반변천에 위치하고 있다. 이들 안동댐과 임하댐의 방류량은 해평취수장의 유량 및 수위에 직접적으로 영향을 미치기 때문에, 1993년부터 2006년 8월까지의 자료를 이용하여 임하댐과 안동댐의 월평균 방류량을 분석하였다(Fig. 2).

1995년과 1996년에는 임하댐과 안동댐의 방류량이 매우 적었으나, 일반적으로 방류량이 계절별 변동을 보여주면서 대체적으로 일정하게 유지되는 것을 보여주고 있다. 특히, 갈수시(12월, 1월, 2월)에 해평취수장의 취수에 영향을 미치는 방류량은 대체적으로 1998년 이후에는 일정한 특성을 보여주고 있다. 따라서 안동댐과 임하댐의 방류량이 갈수시에 해평취수장의 취수 장애에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

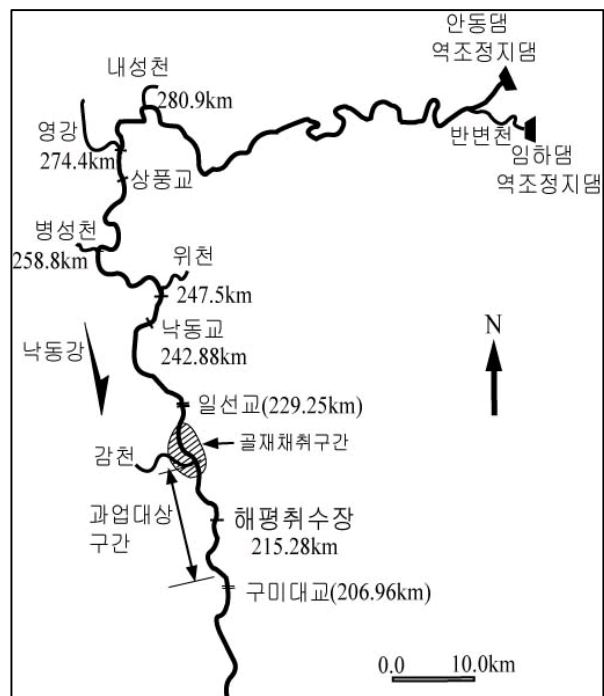


Fig. 1. Location Map of Study Reach

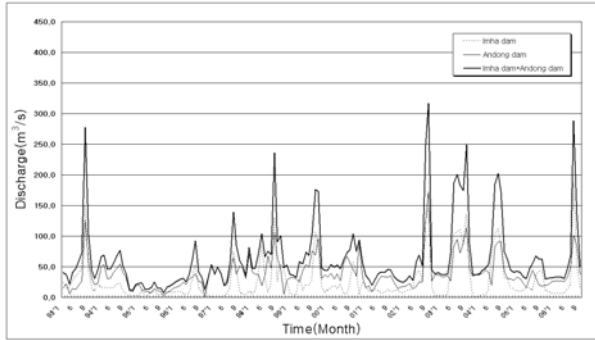


Fig. 2. Mean Monthly Discharge from Andong Dam and Imha Dam(1993-2006)

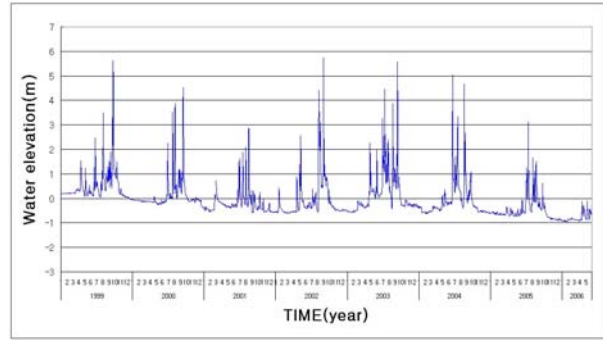


Fig. 3. Flow Characteristics for Ilsun Gauging Station Represented by Mean Daily Flow

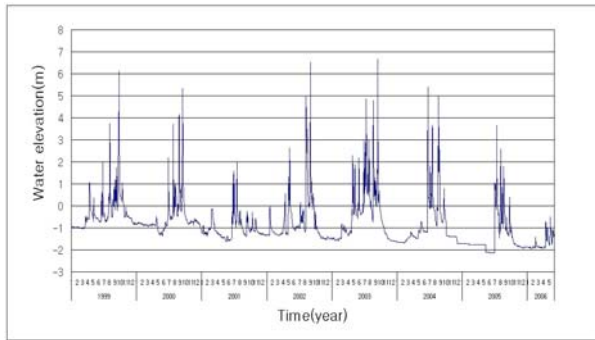


Fig. 4. Flow Characteristics for Gumi Gauging Station Represented by Mean Daily Flow

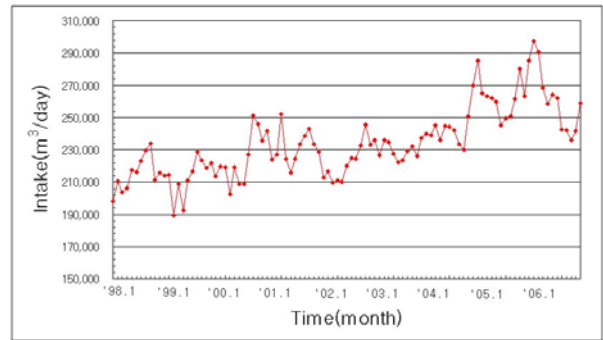


Fig. 5. Mean Monthly Intake Rate at the Hapyoeng Intake (1998-2006)

해평취수장의 상하류단 주요 수위표에서 수위 변화를 파악하였다. Fig. 3은 해평취수장의 상류에 위치한 일선교 수위표에서 수위변동을 보여주고 있다. 일선교 수위표에서 수위는 계절별 수위 변동을 나타내면서, 갈수시에 수위가 점차로 감소하는 특성을 보여주고 있다. Fig. 4는 해평취수장 하류에 위치한 구미대교 수위표에서 수위변동을 보여주고 있으며, 갈수시에 수위가 점차로 감소하는 특성을 보여주고 있다. 이것은 상류에서 위치한 안동댐과 임하댐에서 공급되는 유량이 증가하지만, 해평취수장의 수위가 감소하는 것은, 해평취수장 주변에서 하상이 감소하는 것을 간접적으로 보여주고 있는 것이다.

해평취수장에서 1998년 1월부터 2006년 6월까지 농업용수와 생활용수를 모두 포함한 월별 평균 취수량을 검토하여 보았다. Fig. 5에서 보여주는 것처럼, 취수량은 여름철에는 취수량이 증가하고 겨울철에는 취수량이 감소하는 계절별 변동을 보여주면서, 시간이 지남에 따라 점점 증가하고 있다.

### 3. 하천의 지형변화 및 저수로 이동특성 분석

#### 3.1 최심하상고의 변동

해평 취수장 부근에서 하도의 안정성을 파악하기 위

하여, 최심하상고의 변동을 분석하였다(Fig. 6). 해평 취수장은 낙동강 하류에서 상류로 약 215 km 지점에 해평취수장이 위치해 있다. 하상변동을 분석하기 위하여 1977년부터 2006년에 이르는 측량 자료를 바탕으로 분석하였다. 1977년부터 1983년 사이에는 하상 변동이 거의 없었으며, 대체적으로 하상이 안정되어 있다. 1993년에는 해평취수장 부근에서 대체적으로 하상이 안정되어 있으나, 상류단에서는 하상이 크게 저하되었다. 2003년에는 해평취수장을 중심으로 최심하상고가 크게 저하되었다. 또한 2004년과 2006년에는 대체적으로 해평취수장에서 하상이 저하되고 있으며, 최근에 이르러서 하상이 지속적으로 저하되는 것을 알 수 있다. 특히, 취수장 상류단에서 크게 저하되어 있으며, 이는 상류단에서 골재채취와 같은 인위적인 충격에 의해 형성된 것으로 판단된다. 또한 상류단에서 하상저하가 크게 발생하게 되면, 상류에서 유입되는 유사량을 포착하여, 하류로 이송되는 유사량을 저감시키고, 하상경사를 증가시킨다. 이러한 영향은 하류로 전파되어 하안침식, 하상토의 조립화, 저수로의 분열 혹은 합류와 같이 하천의 불안정을 가속시키게 된다(Kondolf, 1994).

우리나라는 1970년대 급속한 경제성장 및 산업화와 더불어 많은 양의 골재가 필요하게 되었다. 그중에서 하천 골재는 매우 매력적인 자원이었으며, 낙동강 유역

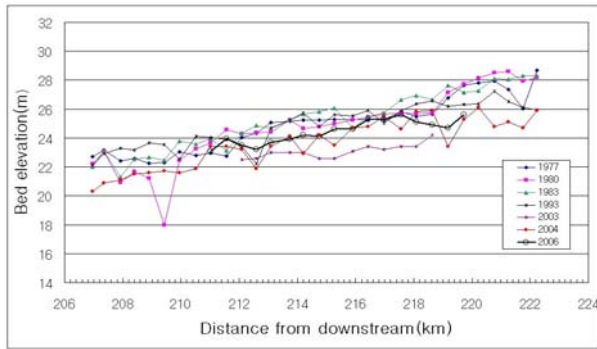


Fig. 6. Longitudinal Bed Profiles from 1977 to 2006

에서 지속적으로 골재가 공급되었다. 최근에도 해평취수장을 중심으로 상류단과 하류단에서는 활발하게 골재 채취가 수행되고 이루어지고 있다.

골재채취는 해평취수장 상류에 위치한 구미시 옥성면 옥관리, 초곡리와 구미시 해평면 낙산리, 월곡리, 그리고 선산읍 원리의 낙동강 본류에서 2001년부터 2005년까지 수행되었다(Fig. 1). 평균 골재 채취량은  $1,260,000 m^3$ 이며, 거의 대부분이 모래이다. 골재 채취량은 시간이 지나면서 감소하고 있으나, 최근 5년 동안의 골재채취량은  $6,320,000 m^3$ 으로서, 상당히 많은 양이 채취되었다(Fig. 7). 이는 해평취수장의 하상저하와 저수로의 유로변동에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 생각된다.

### 3.2 하천의 지형변동 분석

하천의 지형변동을 분석하기 위하여 저수로의 평면변동은 항공사진과 GIS를 이용하고, 단면변화는 하천정비기본계획의 측량자료를 이용하였다. 저수로의 평면변화를 분석하기 위하여, 먼저 항공사진은 해상도 및 용량을 작업에 용이하게 변환하고, 항공사진의 보정 및 좌표를 부여하며, 항공사진의 GIS 자료 변환 과정을 거쳐, 각 연도별 저수로 및 제방의 shape 파일을 추출하며, 이를 바탕으로 하천의 변동 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 ‘낙동강 하천정비기본계획(보완III)(남강합류부 ~ 반변천합류부)’(건설부, 1993)의 지형도에 나타나 있는 외곽 좌표를 이용하여 좌표를 설정하였다. 항공사진을 분석하는데 촬영시 지면과 정확히 수직이 되지 못하고 조금의 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 사용하였다. 왜냐하면, 수치지도에서 표시된 제방에 항공사진에 의해 나타난 제방을 기준으로

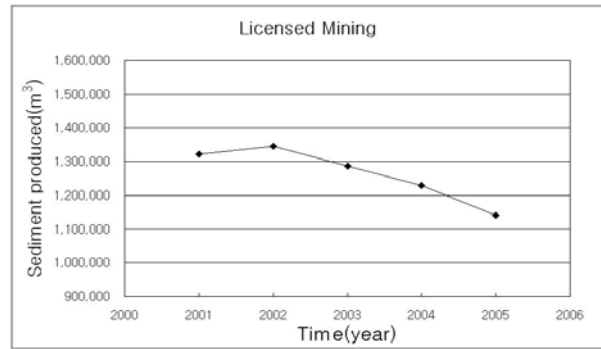


Fig. 7. Sediment Mining Rate at the Intake Upstream(Data from Gumi City)

보정하면 최소한 하천 및 제방의 좌표는 오차가 적게 되기 때문이다.

Fig. 8은 항공사진을 통하여 시간에 따른 저수로 평면 변동을 보여주고 있으며, Fig. 9는 1976년부터 2004년까지 시간에 따른 저수로의 이동을 보여주고 있다. 이것은 국립지리원에서 1976년 7월, 1982년 6월, 1988년 11월, 1992년 5월, 1996년 4월, 2004년 10월에 각각 촬영한 항공사진을 이용하여 분석한 것이다. 1976년부터 저수로는 좌안에서 우안으로 이동해 가고 있으며, 2004년도에는 저수로의 분열과 합류가 활발하게 진행되면서 망상하천의 특성을 보여주고 있다. 또한 좌안의 저수로가 우안으로 이동하는 특성을 보여주고 있다. 이와 같이 저수로의 이동 및 망상하천의 특성은 하천의 경사가 급하고 하폭이 증가하면서 발생하는 현상으로 저수로의 불안정성이 크게 증가하는 특성을 보여주고 있다. 저수로의 이동특성을 파악하기 위하여, 낙동강 하천정비기본계획(보완III) (남강합류부 ~ 반변천합류부)(건설부, 1993)에 나타난 측량지점을 기준으로 하여 분석하였으며, 연도별로 중첩된 저수로에 분석구간을 추가하여 그림으로 나타내면 Fig. 10과 같다.

Fig. 11은 해평취수장 앞에서 1977년에서 2003년까지 횡단면 변화를 보여주고 있다. 시간이 증가함에 따라, 좌안과 우안에서는 하상고가 크게 저하되고, 가운데에서는 하중도를 형성하고 있다. 좌안은 1977년부터 2003년까지 크게 하상이 저하되고 있으며, 우안에서는 하상고의 상승과 저하를 반복적으로 지속되다가 1993년 이후에는 크게 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 9에서 저수로의 이동과 일치하며, 가운데 하중도의 형성 과정을 보여주고 있다. 특히 이 지점은 하천폭이 크게 되어 흐름 및 사주의 비선형성에 의해 발달된 것이며, 전반적으로 중앙부를 제외하고는 하상이 저하되는 특성을 보여주고 있다. 최근에 하중도에서는 식생의 번성에 의해 고착화 되어 가고 있다. 하폭 혹은 저수로 폭의 변



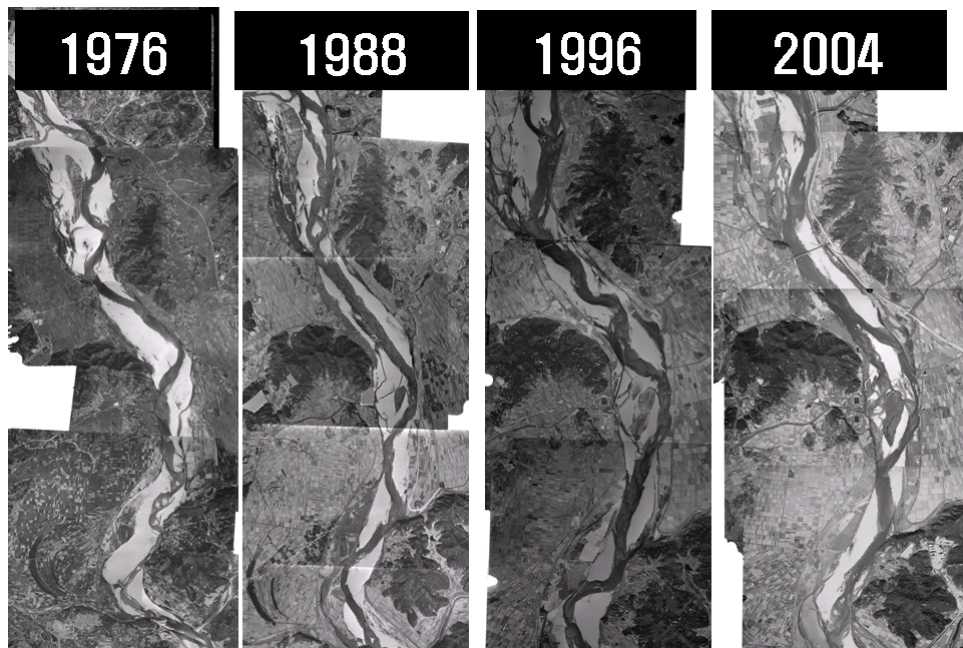


Fig. 8. Aerial Photographs from the Confluence with Gamcheon to Gumi Bridge

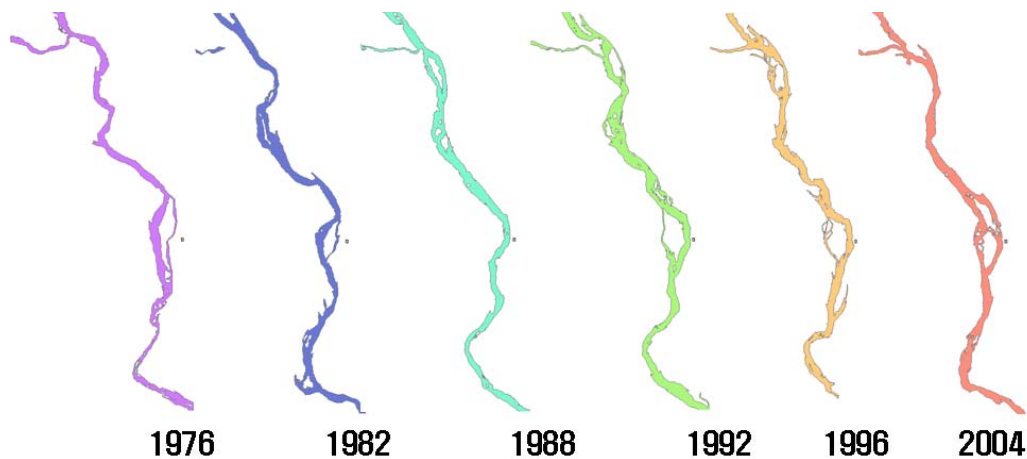


Fig. 9. Planform of Active Channel of the Study Reach from 1976 to 2004

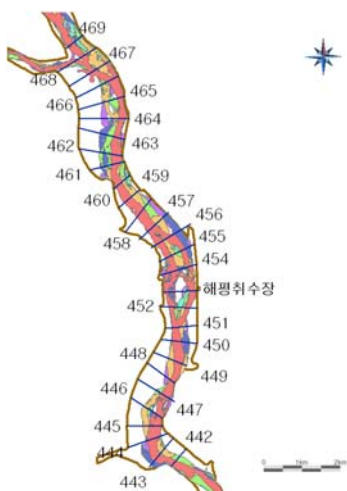


Fig. 10. Overlapped Active Channels from 1976 to 2004 with Surveying Stations

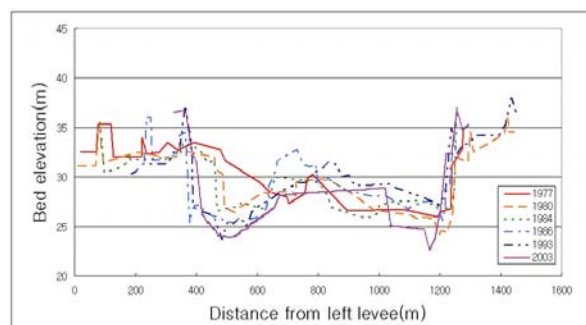


Fig. 11. Cross sectional changes at the Intake from 1977 to 2003

화를 파악하는 것은 하천의 평면적 변화 특성을 알 수 있는 중요한 요소 중의 하나이므로, 각 연도별 저수로 폭을 측정하여 하천의 평면 변화 특성을 분석하였다.

Fig. 12는 각 연도별 저수로 폭의 변화를 그래프로 도시한 것을 보여주고 있다. 저수로 폭의 변화는 사행도, 유로 및 기타 요소의 변화에 비해 불규칙적이고 변화가 매우 심한 것을 알 수 있다. 특히, 해평취수장 상류 216 km 지점, 220 km 지점, 223 km 지점에서 저수로 폭의 변화가 큰 보여주고 있다. 또한 해평취수장 하류인 210 km 지점에서 저수로 폭의 변동이 심하며, 해평취수장을 중심으로 상하류에서 저수로 폭의 변동이 심한 것을 알 수 있다.

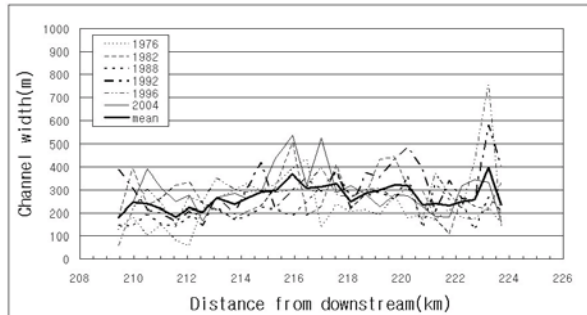


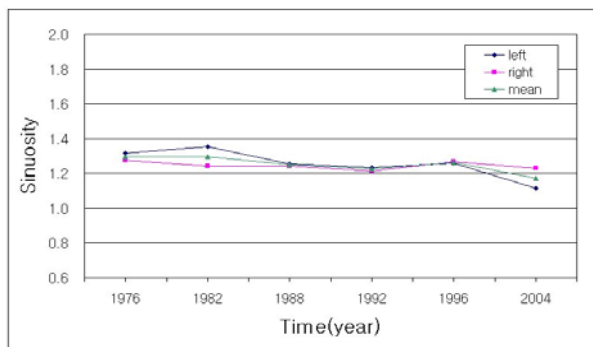
Fig. 12. Change of lower channel width from 1976 to 2004

### 3.3 저수로 이동특성 분석

저수로의 이동특성을 파악하기 위하여 우선 시간의 변화에 따른 저수로의 사행변화를 파악하였으며, 저수로 사행도는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{저수로 사행도} = \frac{\text{저수로 사행길이}}{\text{저수로 사행폭장}} \quad (1)$$

Fig. 13(a)는 시간에 변화에 따른 저수로의 사행도를 보여주고 있다. 시간이 지나면서 저수로의 사행도는 약간 감소하고 있다. 그러나 저수로의 폭은 1976년보다 약간 증가하면 1996년 이후에는 거의 평형을 이루었다.



(a)

저수로의 사행도가 감소하면서 저수로 폭이 증가하는 것은 제한된 범위 안에서 저수로의 분류와 합류가 활발하게 발생하는 것을 의미한다. 일반적으로 골재채취에 의한 하상저하는 하상토의 세립화 및 하안 침식에 의한 하폭 확대를 촉진시키며, 저수로에서 사행도를 감소시킨다. 또한 하류에서 하상 저하 및 하천의 불안정성을 증가시킨다(Kondolf, 1994).

Fig. 13(b)는 저수로폭의 변화를 보여주고 있다. 1992년까지 대체적으로 저수로 폭이 증가하고 있으나, 그 이후부터는 안정적인 상태로 유지하고 있다.

저수로의 이동특성을 정량적으로 파악하기 위하여, 저수로의 하폭 변화율 및 저수로의 횡방향 이동율을 파악하였다. 저수로의 하폭 변화율( $dW/dt$ )은 Richard *et al.* (2005)이 제안한 방법을 이용하여 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W - W_0}{t - t_0} \quad (2)$$

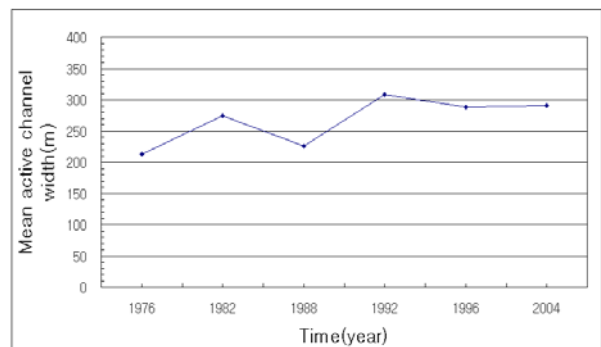
여기서,  $W$ 는 저수로 폭이며,  $W_0$ 는 초기의 저수로 폭이다.

저수로의 횡방향 이동 특성을 파악하였다. 저수로의 횡방향 이동율( $M$ )은 다음과 같다.

$$M = \frac{dr + dl}{t - t_0} - \frac{|W^{tot} - W_0^{tot}|}{t - t_0} (m/year) \quad (3)$$

여기서,  $dl$ 은 저수로의 좌안 위치이며,  $dr$ 은 저수로 우안 위치이고,  $t$ 는 시간을 의미한다.  $W^{tot}$ 는 사주 및 하중도를 포함하는 저수로의 총 하폭이며,  $W_0^{tot}$ 는 초기의 총 하폭을 의미한다.

Fig. 14는 Eq. (2)에 의해 산정된 시간에 따른 저수로



(b)

Fig. 13. Historical Changes of (a) Sinuosity and (b) the Lower Channel Width

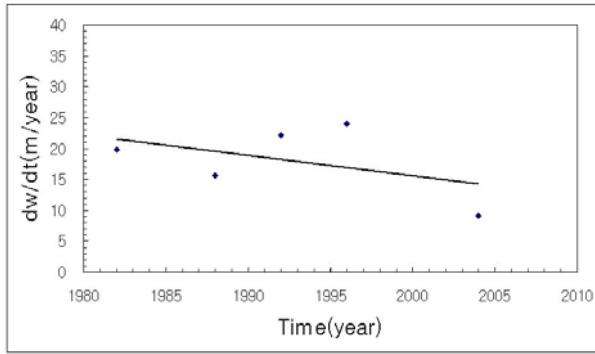


Fig. 14. The Annual Rate of Changes in Active Channel Width

하폭의 변화를 보여주고 있다. 1992년과 1996년에 저수로 폭의 증가율이 증가하나, 대체적으로 시간의 증가에 따라 저수로 하폭의 증가율이 감소하고 있다. Fig. 15는 Eq. (3)에 의해 산정된 저수로의 측방 이동율을 보여주고 있으며, 시간이 증가함에 따라 측방방향 이동율이 감소하고 있다.

#### 4. 하천의 중규모 영역구분

##### 4.1 하상토 분석

해평 취수장의 하도특성을 파악하고 유사의 이동특성을 파악하기 위하여, 해평 취수장 전면부와 하중도의 하류단에서 채취하여 분석하였다. Fig. 16에서 보여주고 있는 것처럼, 해평취수장 앞에서 하상토의 평균 입경은 0.509 mm이며, 하상토의 평균입경이 2 mm보다 작은 모래하천이다. 입도 분포의 표준편차는  $d_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.69$ 로서, 대체적으로 균일한 입경분포를 보여주고 있다. 하중도 하류단에서 하상토의 평균 입경은 0.732 mm이고, 입도분포의 표준편차는  $d_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 2.06$ 으로서, 해평 취수장 앞에서 보다는 평균입경이 약간 굵고, 입도분포는 다양하게 구성되어 있다.

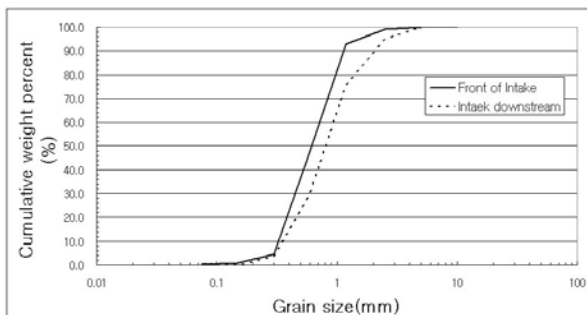


Fig. 16. Bed Material Distribution

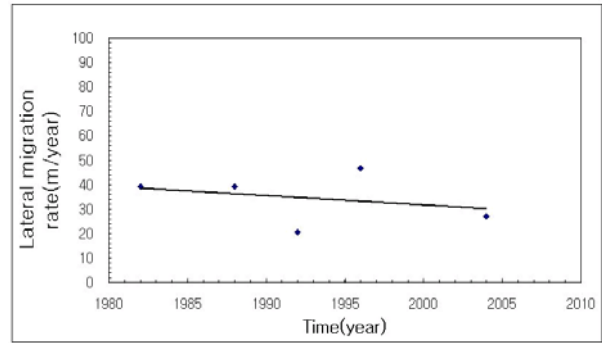


Fig. 15. Lateral Migration Rate of Active Channel

##### 4.2. 중규모 영역구분

하도의 평면적인 특성은 하상과의 형태와 그 형성과정을 통하여 파악할 수 있다. 하폭 대 수심의 비에 비하여, 규모가 상대적으로 작은 하상과를 소규모 하상과라 하며, 유사 거동형태 및 수위에 따른 조도에 영향을 미친다. 하폭 대 수심의 비가 큰 하상과를 사주 혹은 중규모 하상 형태라고 하며, 하폭의 규모에 의해 결정된다. 직선하도 구간에서 형성되는 사주는 교호사주와 복렬사주가 있으며, 이러한 사주는 하류로 이동하는 경향이 있다. 이러한 사주는 유로 변동 및 하상형태에 대하여 지배적인 영향을 주기 때문에 그 형태를 충분히 검토하는 것은 하천을 계획하거나 관리하는 데 중요하다.

중규모 하상형태의 형성조건은 하폭 대 수심의 비와 무차원 소류력과 관련이 있으며, 이들 분석하기 위해서는 대표적인 유량인 지배유량 혹은 강터유량이 필요하다.

강터유량은 자연하천에서 홍수터로 월류(overflow)하지 않으면서 하도가 소통시킬 수 있는 최대유량으로서, 하도형성과 홍수터 형성 과정 사이에 구분점을 나타내기 때문에 하도 형태상의 중요한 의미를 갖는다.

자연하천에서 강터유량은 강터 수심을 결정할 후 그 수심에 해당하는 유량으로 환산하게 된다. 강터수심을 결정하기 위해서는 많은 현장지표 결정법들이 있으며, 그 중에서 가장 일반적인 결정법은 홍수터의 높이를 강터수심으로 하는 것과(Wolman and Leopold, 1957), 수심에 대한 수면폭의 비가 최소가 되는 높이(Pickup and Warner, 1976)로 하는 것이다.

강터수심에 대한 유량은 대상지점에서 측정된 자료에 기초한 수위-유량관계 곡선으로부터 결정될 수 있으며, 관측자료가 없는 지점에서는 등류수심 계산이나 배수위 계산에 의해서 결정될 수 있다(환경부, 2002). 배수위 계산의 정확성은 선정된 조도계수나 횡단면에 관련된 불확실성에 달려 있다. 따라서 본 연구에서는

2006년도 실측 지형자료와 1차원 부등류 모형인 HEC-RAS를 이용하여 부등류 계산을 수행하였으며, 강덕유량을  $Q_b = 3,800 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 산정하였다.

중규모 영역 구분은 하천의 물리적 특성을 고려하여 직선, 사행 및 망상하천으로 구분한 것으로서, 하천을 분류하는데 매우 중요하다. 사행하천과 망상하천의 형성조건에 관한 수리학적 연구로는 흐름에 대한 하상형태(bed forms)의 선형 안정 해석(linear stability analysis)을 통하여 망상하천의 형성기구를 이론적으로 정립한 Parker(1976)와 Fredsoe(1978)의 연구와 중규모 하상형태의 형성영역 구분도에 망상하천의 형성조건을 나타내는 Kuroki and Kish(1984)의 이론적인 연구가 있다.

저수로의 유로변동 원인을 분석하기 위한 수리학적 분석으로서, 강덕유량 및 무차원 소류력을 산정하고, 하폭 대 수심의 비를 고려하여, Kuroki and Kish(1984)의 방법에 의해 하천의 영역구분을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 17과 같이 복렬사주가 발달하는 특성을 보여 주었다. 이러한 복렬사주가 발달한 곳은 하폭에 비하여 수심이 얇고, 하상경사가 상대적으로 큰 곳에 발생한다. 여기서, 하폭 대 수심의 비는 사주의 변화 등 하상의 3차원적 형태, 이동상의 흐름, 그리고 저수로의 안정성을 판단하는 지표가 된다. 무차원소류력( $\tau_*$ )은 하도의 안정에 관련한 하상구성재료의 이동성을 무차원화해서 나타낸 것이며, 흐름이 하상도에 미치는 소류력과 저항력과의 비로 나타내고 있다.

$$\tau_* = u_*^2 / sgd_r \quad (4)$$

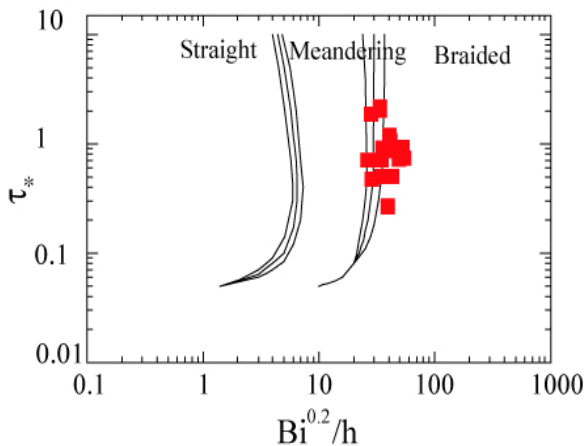


Fig. 17. Meso-Scale Regime Analysis based on the Dimensionless Shield Stress Versus Width to Depth Ratio

여기서,  $u_*$  : 마찰속도( $= \sqrt{gHL_c}$ )

$s$  : 하상구성 재료의 수중비중(=1.65)

$d_r$  : 하상구성 재료의 대표입경

$g$  : 중력가속도

$H$  : 평균 수심

$L_c$  : 에너지 경사

이러한 복렬사주는 점점 큰 사주로 변하게 되고, 흐름의 집중현상을 일으키며, 이곳에서는 깊은 세굴침이 발달하게 된다. 또한 새로운 유로(流路)의 생성과 기존에 존재하던 유로의 소멸, 유로의 횡방향 이동 등이 발생하게 된다(Fujita and Muramoto, 1988; Ashmore, 1991; Jang and Shimizu, 2005). 이러한 최대 세굴침은 수심의 5배 정도에 이르게 된다(Best and Ashworth, 1997). 따라서 망상하천의 저수로 합류점에 발생하는 세굴침은 하상에 묻혀서 횡단하여 통과하는 송유관이나 상수관로를 설계하거나 관리하는데 많은 어려움이 발생하게 된다(Ashmore and Parker, 1983). 또한 망상하천에서 합류점은 하천내에 있는 유로(流路)와 유로를 연결하는 절점으로서, 유사와 흐름의 분포를 제어하고, 사주의 생성형태 및 하천의 이동을 결정하는데 매우 중요하다.

하천의 형성에 중요한 유사의 지배적인 특성을 파악하기 위하여, 앞에서 산정한 강덕유량을 이용하여 수리학적으로 지배적인 인자인 무차원 소류력과 입경 레이놀즈수를 산정하고, Shield(1936) 곡선을 이용하여 분석하였다. 그 결과 Fig. 18에서 보여주는 것과 같이, 강덕유량에 대하여 유사의 이동 특성은 소류사 보다는 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다.

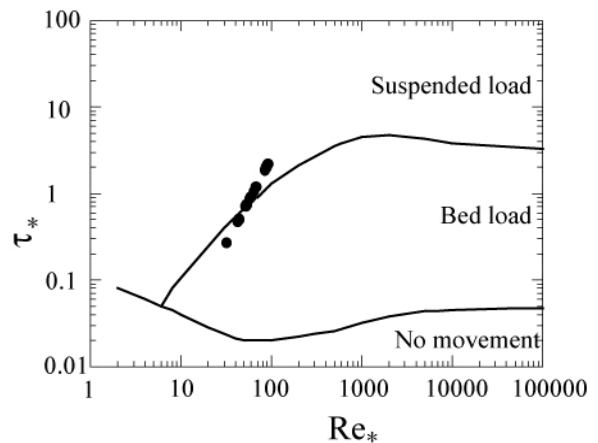


Fig. 18. Dimensionless Shield Stress based on Bankfull Flow Versus Particle Reynolds Number based on  $d_{50}$



## 5. 결 론

본 연구에서는 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 있는 경상북도 구미시에 위치한 해평 취수장 주변에 대하여 항공사진을 분석하고 하도특성을 파악하였으며, 시간에 따른 하천의 지형 변화와 저수로의 이동 특성을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 저수로는 좌안에서 우안으로 이동해 가고 있으며, 특히 2004년도에는 저수로가 망상하천의 특성을 보여주고 있다. 이는 하천의 경사가 급하고 하폭이 증가하면서 발생하는 현상으로 저수로의 불안정성이 크게 증가하는 특성을 보여주고 있다.
- 2) 저수로의 사행도가 감소하면서 저수로 폭이 증가하는 것은 제한된 범위 안에서 저수로의 분기와 합류가 활발하게 발생하는 것을 의미하며, 망상하천의 변화를 의미한다.
- 3) 시간의 증가에 따라 저수로의 하폭 증가율이 감소하고, 측방향 이동율은 감소하고 있다.
- 4) 강터유량을 이용하여 중규모 영역구분을 수행한 결과, 복렬사주가 발달하는 하천의 특성을 보여주었으며, 모래하천으로서 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다.

## 참 고 문 헌

- 건설부 (1993). **낙동강 하천정비기본계획(보완III) (남강합류부 ~ 반변천합류부)**
- 한국수자원공사 (2006). **해평취수장의 안정적인 취수방안 연구, 수자원연구원, KIWE-HEC-06-08**
- 환경부 (2002). **하천복원 가이드라인. G-7 국내여건에 맞는 자연형 하천공법 개발 연구**
- Ashmore, P. (1991). "How do gravel-bed rivers braid?" *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 28, pp. 326-341.
- Ashmore, P., and Parker, G. (1983). "Confluence scour in coarse braided streams." *Water Resources Research*, Vol. 19, No. 2, pp. 392-402.
- Best, J.L. and Ashworth (1997). "Scour in large braided rivers and the recognition of sequence stratigraphic boundaries." *Nature*, Vol. 387, pp. 275-277.
- Fredsoe, J. (1978). "Meandering and braiding rivers." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 84, pp. 609-624.
- Fujita, Y., and Muramoto, Y. (1982). "Experimental study on stream channel processes in alluvial rivers." *Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.*, Vol. 32, No. 288, pp. 49-96.
- Jang, C.-L. and Shimizu, Y. (2005). "Numerical simulation of relatively wide, shallow channels with erodible banks." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 131, No. 7, pp. 565-575.
- Hickin, E.J. and Nanson, G.C. (1986). "Lateral migration rates on river bends." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. 11, pp. 1557-1567.
- Nanson, G.C., and Hickin, E.J. (1986). "A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada." *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 97, pp. 497-504.
- Olsen, N.R.B. (2003). "Three-dimensional CFD modeling of self-forming meandering channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 129, No. 5, pp. 366-372.
- Kondolf, G.M. (1997). "Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels." *Environmental Management*, Vol. 21, No. 4, pp. 533-551.
- Kuroki, M., and Kishi, T. (1984). "Regime criteria on bars and braids in alluvial straight channels." *Proc. JSCE*, Vol. 342, pp. 87-96 (in Japanese).
- Parker, G. (1976). "On the cause and characteristic of meandering and braiding in rivers." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 76, No. 3, pp. 457-480.
- Pickup, G. and Warner, R.F. (1976). "Effects of hydrologic regime." *Journal of hydrology*, Vol. 30, pp. 365-373.
- Richard, G.A., Julien, P.Y., and Baird, D.C. (2005). "Case study: Modeling the lateral mobility of the Rio Grande below Cochiti Dam, New Mexico." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 131, No. 11, pp. 931-941.
- Richardson, W.R. (2002). "Simplified model for assessing meander bend migration rates." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 12, pp. 1094-1097.
- Shields, A. (1936). "Application of similarity principles, and turbulence research to bed-load movements." California Institute of Technology, Pasadena (translated from German).
- Wolman, M.G. and Leopold, L.B. (1957). *River flood*

*plains: some observations on their formation.*  
United States Geological Survey Professional  
Paper. 282C, pp. 87-109.

Xu, J. (1996). "Wandering braided river channel  
pattern developed under quasi-equilibrium: an

example from the Hanjiang, China." *Journal of  
Hydrology*, Vol. 181, pp. 85-103.

(논문번호:07-96/접수:2007.09.18/심사완료:2008.02.15)