

보의 설치에 따른 하상변동과 물리적 교란평가 분석

최흥식* · 이응희**

Choi, Heung Sik*, Lee, Woong Hee**

Analyses of Riverbed Changes and Physical Disturbance Evaluations by Weir Installation in a Reach

ABSTRACT

The hydraulic characteristics and the patterns of riverbed change had been analysed by HEC-RAS simulation in a reach of Cheong-mi river with and without weir. The corresponding physical disturbance had been evaluated with the method suggested by K-water (2008). The occurrences of low physical disturbance score coincide with the corresponding high bed changes by weir installation. The effects of physical disturbance coincide with the patterns of riverbed change along river reach which shows riverbed change is the important factor to physical disturbance. In case of installation of additional weirs at up and down stream sections of no disturbance effect by the existing weir, no physical disturbances occur in certain sections with confirming the appearance of the similar disturbance scores between the simulation results of with and without additional weir installations. In case of installation of additional weirs at up and down stream sections of disturbance effect margins by the existing weir, physical disturbances occur at every section. In case of installation of additional weirs at up and down stream sections within disturbance effect by the existing weir, low physical disturbance scores are given at every section because of superposition of disturbance along river reach. The physical disturbance would be minimized such that the additional weir is installed with sufficient distances of no disturbance and bed change effects along river reach.

Key words : Riverbed change, Physical disturbance evaluation, Disturbance effect, Disturbance score

초 록

청미천의 일부구간을 대상으로 HEC-RAS를 이용하여 보의 설치 유무에 따른 수리 및 하상변동 특성을 분석하였다. 한국수자원공사(2008)에서 제시한 방법을 이용하여 물리적 교란을 평가하였다. 보의 설치에 따른 하상변동이 큰 구간에서의 물리적 교란점수는 낮게 나타났다. 보의 설치에 따른 하상변동과 그에 따른 물리적 교란영향 범위는 거의 일치하여 하상변동은 하천에서 물리적 교란을 야기하는 중요한 인자임을 확인하였다. 기존 보에 의한 교란의 영향이 없는 상류와 하류 지점에 추가적인 보를 설치할 때는 일정구간에 보의 설치 이전과 유사한 교란점수로 나타나 추가적인 하천교란이 발생하지 않았다. 교란의 영향범위 상류와 하류의 끝단에 추가적인 보를 설치한 경우 전 구간에 걸쳐 교란의 영향 나타났다. 물리적 교란 영향범위가 중첩되도록 상류와 하류에 추가적인 보를 설치한 경우 물리적 교란양상의 중첩으로 전 구간의 교란점수는 매우 낮게 나타났다. 따라서 하천에서 보의 설치에 따른 하상변동과 교란의 영향범위보다 충분히 떨어진 위치에 설치할 때 하천의 물리적 교란을 최소화할 수 있다.

검색어 : 하상변동, 물리적 교란평가, 교란영향, 교란점수

* 정회원 · 교신저자 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (Corresponding Author · Sangji University · hsikchoi@sangji.ac.kr)

** 상지대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Sangji University · yuki68024@sangji.ac.kr)

Received April 16, 2013/ revised October 12, 2013/ accepted June 11, 2014

1. 서론

하천환경은 기류, 홍수, 태풍, 산사태 등과 같은 자연적 요인과 하천의 정비, 하천시설물 설치 등의 인위적인 요인에 따라 변화한다. 이와 같이 다양한 요인에 따라 하천환경의 물리적, 이화학적, 생물학적 변화를 야기하는 것을 하천교란이라 한다. 하천에서 구조물의 설치하는 하천의 수리적 특성의 변화와 더불어 장단기적인 하상변화로 하중도, 여울, 소 등의 생성과 소멸을 가져온다. 대표적인 하천횡단 구조물인 보의 설치하는 수리특성의 변화에 의해 보의 상류부에 퇴적과 하류부에 국부적 세굴이 진행되어 생태계의 변화를 가져오게 된다. 하천은 이러한 인위적인 영향에 의해 교란·재생 등의 현상이 발생되고 변화된 환경에 따라 하천 생태계 또한 다양한 조건의 하천환경에 적응한다. 따라서 자연적 하천 교란과 더불어 인위적 하천의 교란현상을 예측하고 평가하는 것은 하천의 관리와 복원사업에 중요한 요소이다. 아울러 추가적인 보의 건설에 따른 교란의 영향범위를 평가하고 교란을 최소화하기 위한 보의 설치 위치를 결정하는 것은 매우 중요한 하천환경 관리의 하나이다. 그러나 하천에서의 교란의 영향을 정확하게 분석, 평가 그리고 저감을 위한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 하천의 주요 횡단구조물인 보의 설치에 따른 수리특성과 하상변동을 분석하고 그에 따른 하천교란을 평가하고자 한다.

미국의 SVAP (Stream Visual Assessment Protocol)는 14개의 주요 항목의 하천환경 변화요인을 구성하여, 하천교란을 평가한다 (USDA, 1998). 독일연방 물관리 연구공동체(LAWA; Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser)는 수문지형학적인 물리적 구조평가를 6개의 주요 항목과 25개의 세부 항목으로 구성하였다. 6개 주요 항목별 세부항목의 평균값으로 주요 항목을 평가한다. 이 기법은 2000년 12월 EU에서 법적 효용성을 갖춘 물관리 지침(Wasserrahmenrichtlinie, WRRL)을 통해 현재 EU회원국들에서 사용하고 있다 (LAWA, 2000). 일본의 하천수변총괄자료작성 조사안내서(MLIT, 2001)는 하천환경의 보전 및 복원을 목적으로 생물상 및 하천형태 조사의 기준을 작성하였다. 생물상 조사에는 저서생물 및 식생의 발달형태 조사를 통한 식생도의 작성이 이루어지며, 하천형태 조사는 여울, 소, 하천 횡단구조물, 호안형태 등의 조사를 통하여 하천수변을 평가한다. 호주의 AUSRIVAS (Environment Australia, 2000)는 생물학적 및 지형학적 관점에서부터 생태계에 대한 하나의 기준으로 10가지 항목의 수리특성 및 하도서식처 평가를 통해 4가지 등급의 물리적 평가를 실시한다. 중국의 Technical Regulation for Assessment of River Health (CRAES, 2012)는 하천의 건강을 개선하고, 하천의 건강평가를 표준화할 목적으로 제시되었다. 물리적, 화학적, 생물학적 구조와 기능을 개선하기 위해 6개의 주요 항목에서 최대 점수로 해당 조사항목의 점수를 나누고, 총점을

계산하여 등급을 판단한다.

하천교란에 대한 연구로 Stein et al. (2002)은 하천복원사업에 따른 인위적 변화에 대하여 DEM자료를 이용하여 하천교란을 분석하였다. Scott et al. (2005)은 항공사진을 이용하여 시간변화에 따른 하천교란을 확인하였으며, 교란지역의 생물상 조사를 실시하여 교란영향에 따른 생물종의 분석을 실시하였다. Hesselink et al. (2006)은 사례를 중심으로 하천의 제방축조와 같은 인위적인 교란에 대하여 하천의 지형변화를 체계적으로 분석하고, 하천관리 기법을 정립하였다. Jo (1997)는 하천의 물리적 구조에 초점을 두고 하천생태계 변위측인 종적, 횡적, 수직적인 공간축을 중심으로 6부분 24개 평가항목에 대한 하천자연도 평가법을 제안하였다. Park et al. (2005)은 하천의 생물서식처 복원을 위한 자연도를 평가하기 위하여 하천자연도 평가를 시범하천에 적용하였다. Kim (2008; 2009)은 댐 하류에 대한 하천교란평가를 통해 하천교란평가 기법을 개발 및 제시를 하였으며, 시범하천을 대상으로 교란평가 기법의 사용성을 확인하였다. Choi et al. (2010)은 독일의 LAWA 기법을 이용하여 도시하천의 물리적 구조평가를 수행하여 도심하천의 생태성 향상을 위한 다양한 물리적 특성을 고려한 자연형 하천조성이 필요함을 확인하였다. 그러나 현재 하천 횡단구조물의 설치에 따른 수리특성과 하상 변동에 따른 하천교란평가에 대한 연구는 미미하며, 특히 하상변동과 하천교란의 상관성에 대한 연구는 매우 부족하다.

따라서 본 연구에서는 HEC-RAS를 이용하여 보의 설치에 따른 수리특성과 하상변동 양상을 청미천 대상구간에 대해 분석하였으며, 구조물 설치에 따른 하상변동과 그에 따른 물리적 교란 양상 및 교란 영향범위를 분석하였다. 아울러 일정 구간 내에서 추가적인 보의 설치 시 물리적 하천교란을 최소화할 수 있는 보의 설치 위치를 제시하였다.

2. 물리적 하천교란평가와 대상하천에의 적용

2.1 물리적 하천교란평가

하천의 물리적 교란평가는 한국수자원공사(2008)에서 제시된 하천교란평가방법을 이용하였다. 교란평가 항목은 하천의 서식환경, 수리특성, 하상재료, 유전형, 호안상태 등 총 10개이다. 각 항목당 평가는 1점에서 최대 20점까지의 점수가 주어진다. 총점은 각 항목의 점수를 합하여 계산되며, 점수별 총합계가 200~160은 우수, 160~120은 양호, 120~80은 보통, 80미만은 빈약으로 결과를 나타낸다(Table 1). 각 항목의 점수는 조사자가 평가표의 주요내용을 토대로 평가구간에 적합한 내용 및 점수를 찾아 평가하게 된다.

Table 1. Physical Disturbance Evaluation

Evaluation Index		Score	Evaluation	
Epifaunal(bottom)substrate /available cover	Channel alteration	20 points for each	200~160	Excellent
Embeddedness	Frequency of riffles (or bands)		160~120	Good
Velocity / Depth regime	Bank stability		120~80	Fair
Sediment deposition	Vegetative protection		80~0	Poor
Channel flow status	Riparian zone			

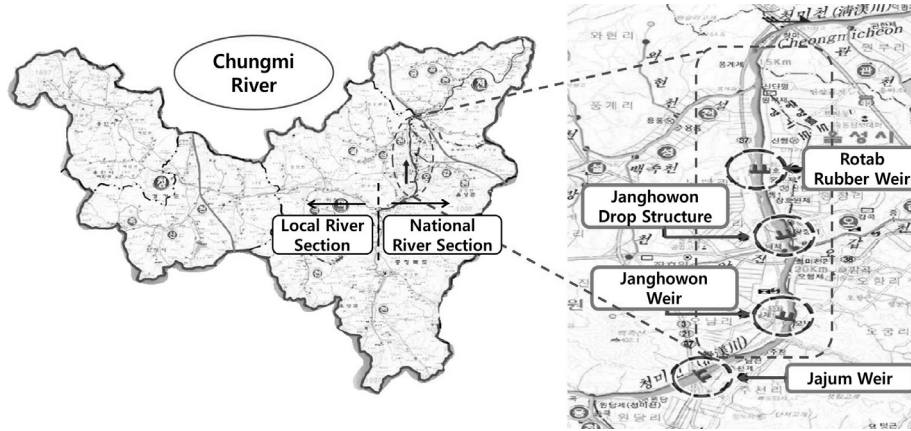


Fig. 1. Cheongmi River Basin and Reach Investigated

Table 2. Simulation Conditions for Hydraulic Characteristics and Bed Changes

Duration of Simulation	Upstream Boundary Condition	Downstream Boundary Condition	Sediment Transport	Sediment Budget Formulae used	Rem.
2005. 01. 01 ~ 2009. 12. 31	Calculated Flow by Rating Curve	Normal Depth	Exclusion of Sediment Inflow	Yang's Method	WAMIS

2.2 대상하천과 교란평가의 적용방법

대상하천은 최근 보가 설치된 청미천 중하류 노탑고무보 설치지점으로 상하류 3.5km의 총 7km구간을 대상으로 선정하였으며, 대상구간의 하상경사는 1/971이다(Fig. 1). 대상하천인 청미천은 유역면적 595.13km²이며, 유로연장은 60.96km이다. 아울러 수치해석에서 사용된 노탑고무보의 제원은 높이 2.2m, 폭 118.3m, 연장 10m이다.

수치해석은 HEC-RAS 4.01을 이용하여 2005년 1월부터 2009년 12월까지 청미천 유역의 강우사상에 따른 수리특성과 하상변동을 5년간 모의하였다. 사용된 수위·유량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 자료를 이용하였다(Table 2). 아울러 수리특성 변화, 하상변동 그리고 하상재료는 2011년의 국토해양부 청미천 하천기본계획에서 분석된 자료를 이용하였으며, 대상구간의 하상재료 구성은 주로 SP의 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래로 평균입경은 8.37mm, 균등계수(Cu)는 8.63, 곡률계수

(Cg)는 0.53으로 비교적 균등하며 입도분포가 좋은 범위로 확인되었다.

수치모의는 Table 3에서와 같이 5가지 Cases로 나누어 1년경과 후와 5년경과 후의 수리특성과 하상변동을 모의하였으며, 각 Cases에 따른 물리적 교란평가를 실시하였다. 아울러 보의 설치에 따른 하천의 물리적 교란과 더불어 추가적인 보의 설치에 따른 하천의 물리적 교란평가가 변화됨을 알아보기 위하여 각 경우를 구분하여 분석하였다. Case I은 보의 설치가 없는 초기하상의 상태이며, Case II는 하나의 보(기존 노탑고무보)가 설치된 경우, Case III은 기존 보에 의한 물리적 교란의 영향범위가 1km 떨어진 지점에 상하류로 추가적인 두 개의 보를 설치한 경우, Case IV는 기존 보에 의한 물리적 교란의 영향범위가 맞닿도록 상하류에 추가적인 두 개의 보를 설치한 경우, Case V는 기존 보에 의한 물리적 교란 영향범위가 상하류로 약 570m 정도 맞닿도록 상하류에 두 개의 보를 설치한 경우이다.

Table 3. Cases of Riverbed Change Simulation and Disturbance Evaluation

Classification	Simulation Scenarios	Weir Construction <distance(m) from downstream>
Case I	Before weir construction	-
Case II	The existing weir	3465
Case III	Additional weirs 1.0 km apart from up and down stream sections of no disturbance effect by the existing weir	625, 3465, 6295
Case IV	Additional weirs apart from up and down stream sections at the end of disturbance effect by the existing weir	1595, 3465, 5285
Case V	Additional weirs apart from up and down stream sections within the disturbance effect by the existing weir	2145, 3465, 4755

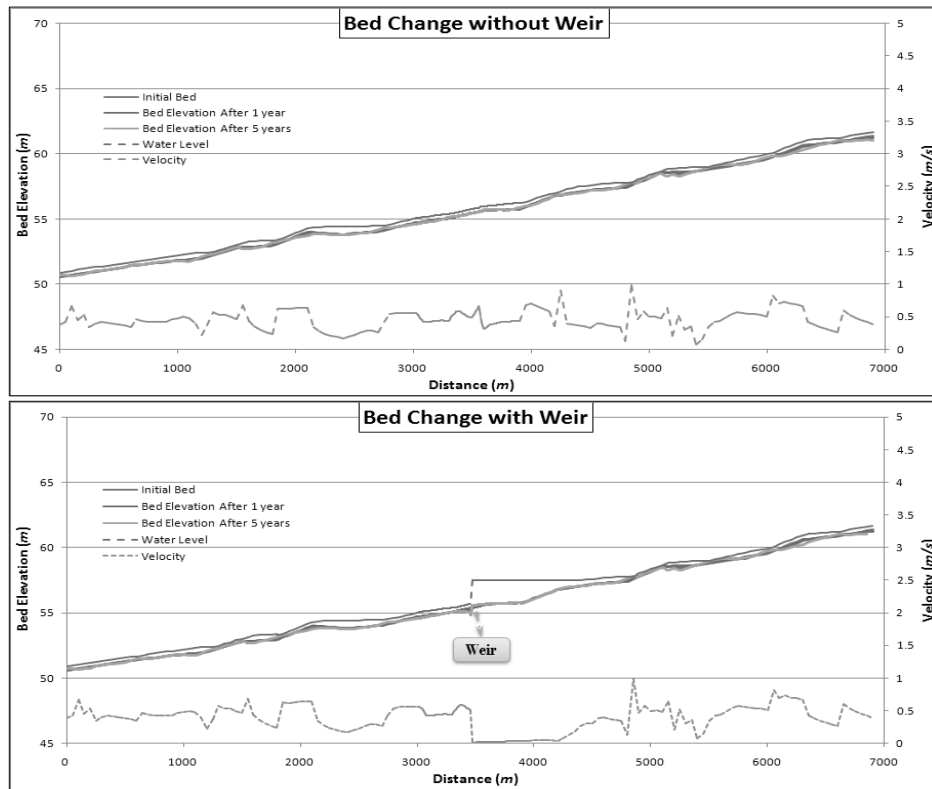


Fig. 2. Bed Changes and Hydraulic Characteristics before and after Weir Construction

3. 물리적 하천교란평가결과 및 분석

3.1 보설치 전·후

보를 설치하기 이전과 노탑고무보를 설치한 후 1년과 5년경과 시 각각의 수리특성과 하상변동을 모의한 결과는 Fig. 2와 같다. 보를 설치 전 하상은 1년과 5년경과 후 상하류 전반에 걸쳐 국부적인 침식과 퇴적이 진행되었으며, 전반적으로 굴곡이 없는 완만한 하상의 형태로 변화되었다.

아울러 보를 설치한 후 1년과 5년경과 후는 보의 직상류부의

유속저감으로 퇴적양상이 나타났으며, 직하류부의 국부적 세굴 양상이 두드러지게 나타났다. 보의 설치 후 1년경과 시에는 상류로 685m, 하류로 1,020m의 총 1,705m 구간에 하상변동의 영향이 나타났으며, 5년경과 후는 상류로 680m, 하류로 1,070m로 총 1,750m 구간에 하상변동의 영향이 나타났다. 또한 보의 설치에 따른 하상변동은 침식과 퇴적의 양에서 차이가 있을 뿐 하상변동이 발생하는 영향범위는 모의기간에 상관없이 비슷하게 나타났다 (Fig. 3).

물리적 교란평가는 대상구간 7km를 14개의 소 구간으로 분할하

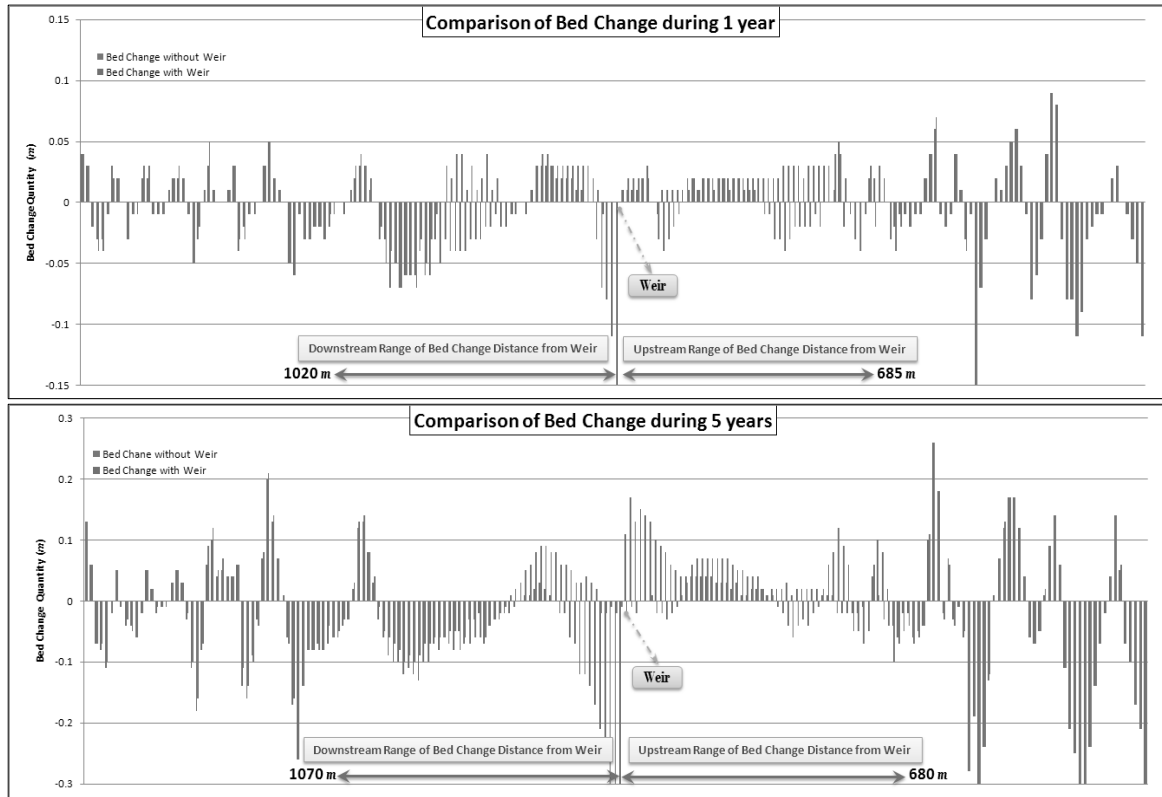


Fig. 3. Comparison of Bed Changes

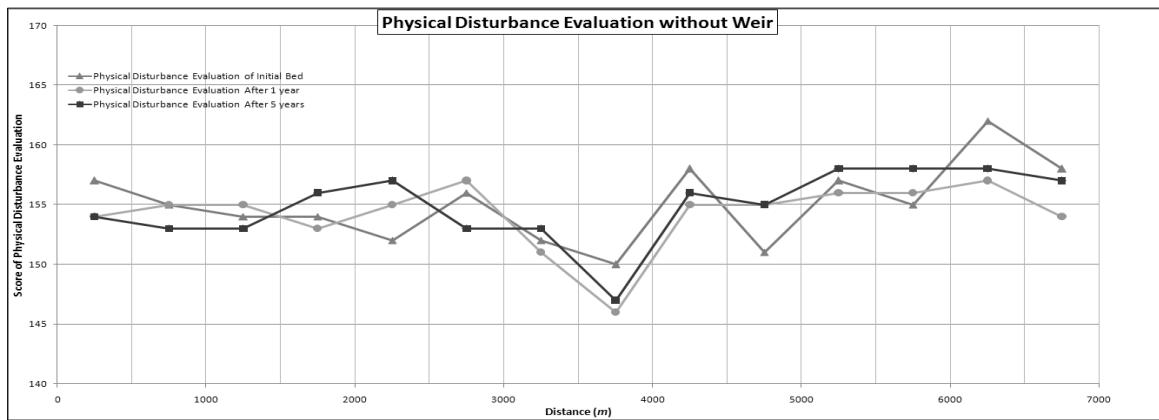


Fig. 4. Physical Disturbance Evaluations without Weir

여 구간별로 평가하였으며, 각 구간에서의 여울과 소의 발생, 서식처의 확보, 흐름의 다양성 등의 물리적 교란평가 항목을 분석하여 평가점수를 부여하였다.

보를 설치하기 이전의 시점, 그리고 1년과 5년경과 후 수리특성, 하상변동, 하천 형태의 변화 등에 따른 물리적 교란평가는 Fig. 4와 같다. 보를 설치하기 이전의 하천의 교란평가는 구간별로 최고 162점에서 최저 150점으로 나타났으며, 총 구간에 대한 구간평균

점수는 155점으로 양호(Good)한 교란의 양상을 보였다. 아울러 1년경과 후의 교란평가는 최고 157점에서 최저 146점으로 평균 154로 양호하게 나타났다. 5년경과 후의 교란평가는 최고 158점에서 최저 147점으로 구간평균 155점으로 1년과 5년경과 후 모두 14개 구간 전 구간에 양호한 교란평가로 나타났다. 즉 보를 설치하지 않을 경우 기간의 경과에 따른 하천의 교란양상은 국부적으로 나타났으나, 큰 변화가 없음을 확인하였다. 이는 하천에 인위적인

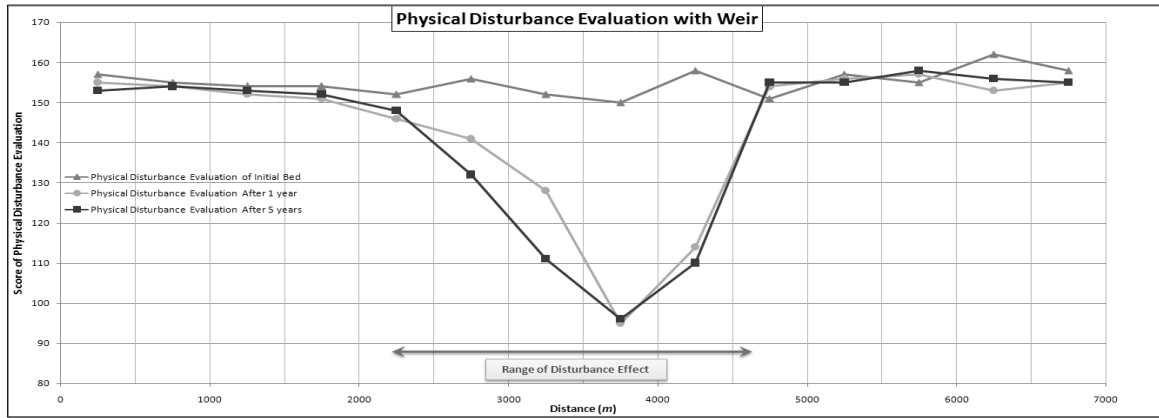


Fig. 5. Physical Disturbance Evaluation with Existing Weir

Table 4. Physical Disturbance Evaluations with and without Weir

Distance from Downstream(m)	Physical Disturbance Evaluation					
	Without Weir		With Weir			
	Initial Bed		After 1-year		After 5-year	
	Score	Condition Category	Score	Condition Category	Score	Condition Category
6750	158	Good	155	Good	155	Good
6250	162	Excellent	153	Good	156	Good
5750	155	Good	157	Good	158	Good
5250	157	Good	156	Good	155	Good
4750	151	Good	154	Good	155	Good
4250	158	Good	114	Fair	110	Fair
3750	150	Good	95	Fair	96	Fair
3465	Weir					
3250	152	Good	128	Good	111	Fair
2750	156	Good	141	Good	132	Good
2250	152	Good	146	Good	148	Good
1750	154	Good	151	Good	152	Good
1250	154	Good	152	Good	153	Good
750	155	Good	154	Good	154	Good
250	157	Good	155	Good	153	Good
Average	155	Good	144	Good	142	Good

교란이 없을 시 하천이 자체적으로 국부적인 침식과 퇴적이 진행되며, 그에 따른 하상변동과 수리적 특성의 변화가 전 구간에서 걸쳐 비슷한 양상으로 변화됨을 의미한다.

대상구간 내 하류로부터 3,465m 지점에 보를 설치한 후 하천의 물리적 교란평가를 실시한 결과는 Fig. 5와 같이 보의 상·하류로 물리적 교란이 큰 폭으로 발생하였으며, 그에 따른 1년과 5년경과 후의 하천교란평가점수가 Table 4와 같고, 교란평가의 평균은 각 144와 142로 양호하게 나타났으나, 보의 설치에 의하여 하상의 퇴적이 발생하는 직 상류구간은 95점과 96점의 보통(Fair)으로 평가되었다. 1년경과 후 교란평가는 총 14개 구간 중 2개 구간에서 보통으로 나타났으며, 5년경과 후는 총 3개의 구간에서 보통으로

나타났다. 또한 보의 설치에 따른 교란평가 영향범위는 보의 설치 지점에서 상류로 약 1km, 하류로 약 1.5km 구간에서 발생하였으며, 이는 보의 설치에 따른 하상변동의 영향범위와 일치함을 보였다.

3.2 추가적인 보설치

기존 보에 따른 영향범위가 나타나지 않는 지점에서 1km 떨어진 경우(Case III)와 영향범위가 맞닿은 경우(Case IV), 그리고 영향범위가 맞물려 포개진 경우(Case V)의 상·하류 구간에 추가적인 보를 설치한 후 수리특성 및 하상의 변화와 그에 따른 물리적 하천교란평가를 실시하였다.

Fig. 6은 Case III에 따른 하상변동으로 초기하상(보의 설치

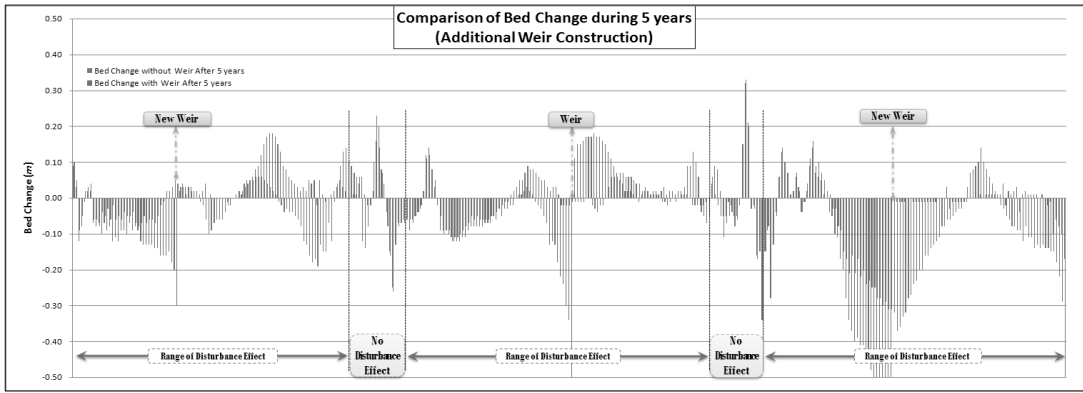


Fig. 6. Bed Changes (Case III)

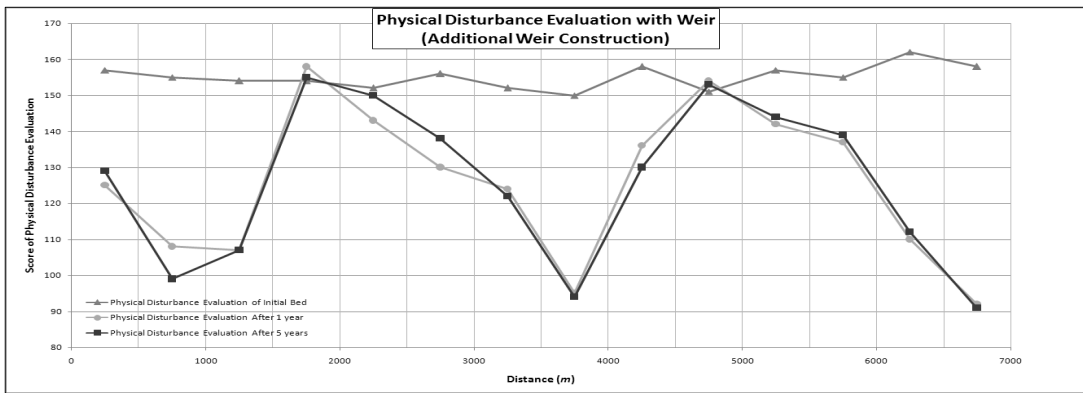


Fig. 7. Physical Disturbance Evaluations (Case III)

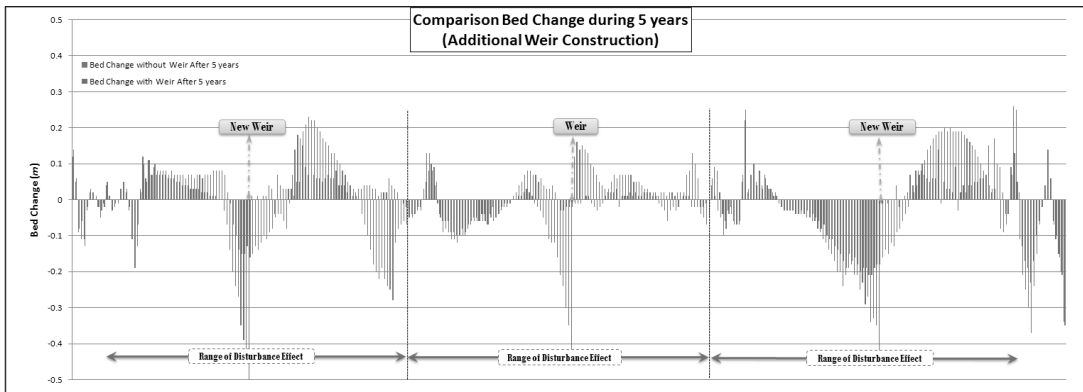


Fig. 8. Bed Changes (Case IV)

진보다 큰 폭으로 변화하였다. 1년경과 시 보의 설치에 따른 하상변동의 최대 침식깊이 0.27m, 최대 퇴적깊이 0.11m가 발생되었으며, 5년경과 후는 최대 침식깊이 0.82m, 최대 퇴적깊이 0.32m가 일어나 하상변동 규모에서 큰 차이가 나타났다. 아울러 추가적인 보의 설치에 따른 하상변동 영향을 받지 않는 상하류 1km 이격구간에서는 기존의 하상변동 양상과 규모가 동일하게 나타났다.

교란평가 결과는 대상구간 7km에서 기존 보의 영향이 미치지 않는 구간을 제외한 전 구간에서 감소되었으며, 1년과 5년경과 후의 평균 교란평가 점수는 126점으로 보통으로 나타났다. 총 14개 구간 중 5개의 평가구간에서 보통으로 나타났으며, 초기하상의 교란평가 결과와 비교 시 1년 및 5년경과 후의 교란평가 점수는 최대 66점과 67점이 감소하였다(Fig. 7).

Fig. 8은 Case IV로 보의 설치에 따른 하상변동 영향범위가 연결되어 총 5.3km 구간에서 초기하상의 하상변동과 다른 양상이 나타났으며, 수치모의에 결과로 1년경과 후 하상변동의 최대 침식깊이 0.18m, 최대 퇴적깊이 0.11m와 5년경과 후의 최대 침식깊이 0.55m, 최대 퇴적깊이 0.26m가 발생되었다.

Fig. 9는 Case IV에 대한 교란평가로 Case III과는 달리 대상구

간 7km에서 전체적으로 교란점수가 감소하였다. 1년경과 후의 하상변동에 따른 구간평균 교란평가 점수는 120점으로 나타났으며, 5년경과 후는 121점으로 양호한 점수이나 보통에 근접하는 평가결과로 나타났다. 아울러 1년과 5년경과 후의 구간별 교란평가는 총 14개 구간 중 8개 구간에서 보통으로 타났으며, 초기하상 상태의 교란평가 결과보다 최대 60점과 57점이 감소하였다.

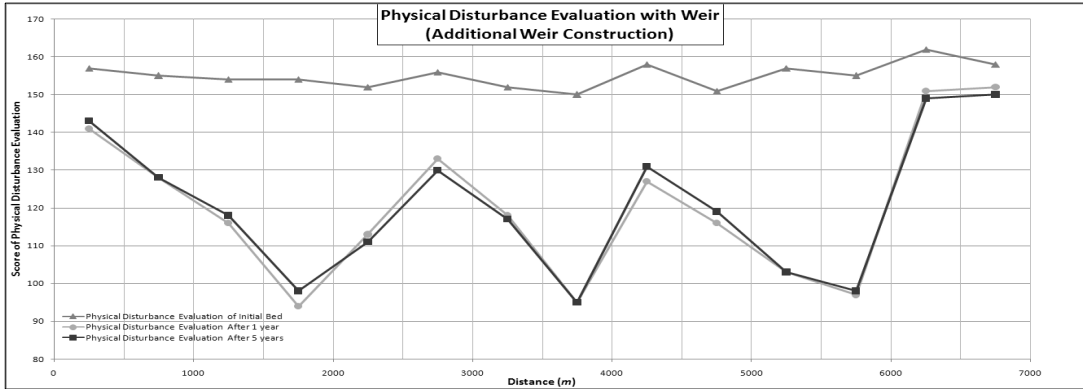


Fig. 9. Physical Disturbance Evaluations (Case IV)

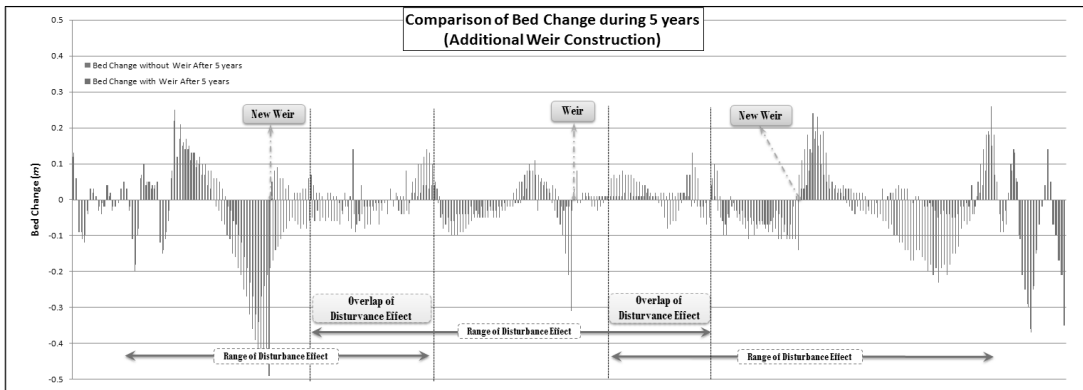


Fig. 10. Bed Changes (Case V)

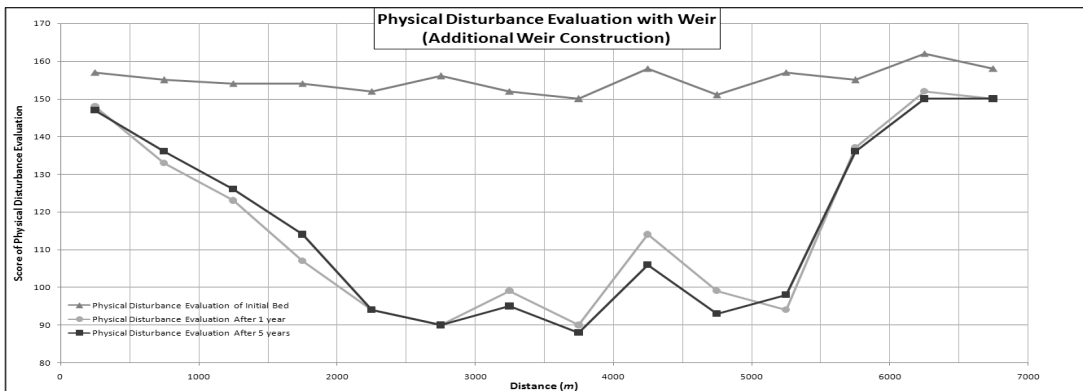


Fig. 11. Physical Disturbance Evaluations (Case V)

Fig. 10은 Case V로 보의 설치에 따른 영향범위는 총 4.1km 구간에 걸쳐 하상변동이 발생되었다. Case V에 따른 하상변동은 1년경과 후 최대 침식깊이 0.17m, 최대 퇴적깊이 0.14m를 나타냈으며, 5년경과 후 최대 침식깊이 0.49m, 최대 퇴적깊이 0.26m로 나타났다. 아울러 하상변동 영향범위가 중첩된 570m 구간에서 침식 및 퇴적의 최대깊이는 0.13m로 비교적 작게 발생하였다. 이는 중첩에 따른 하상변동 양상이 보의 상류에서의 퇴적과 하류에서의 침식양상이 맞물려 하상변동이 거의 일어나지 않았거나, 퇴적과 침식량이 서로 감쇄되는 현상이 발생된 것으로 판단된다.

Fig. 11은 Case V의 교란평가로 약 3.5km 구간에 걸쳐 100점미

만으로 유지되었으며, 교란평가 점수는 Case IV와 같이 1년과 5년경과 후 모두 총 14개 구간 중 9개 구간에서 보통의 평가 결과를 보였다. 구간평균 교란평가 결과는 Case IV의 121점보다 낮은 116점으로 대상구간 7km에서 보통의 평가결과를 나타냈다. 아울러 1년과 5년경과에 따른 교란평가 결과는 모두 최대 66점이 감소하였다.

3.3 하천교란평가결과 비교

Table 5 and Fig. 12는 초기하상과 추가적인 보설치가 있는 Case III, IV, V의 5년경과 후 하상변동에 따른 교란평가 점수이다.

Table 5. Comparisons of Physical Disturbance Evaluation with Additional Weir Construction

Distance from Downstream(m)	Physical Disturbance Evaluation							
	Without Weir		Additional Weir Construction					
	Initial Bed		Case III		Case IV		Case V	
	Score	Condition Category	Score	Condition Category	Score	Condition Category	Score	Condition Category
6750	158	Good	91	Fair	150	Good	150	Good
6250	162	Excellent	112	Fair	149	Good	150	Good
5750	155	Good	139	Good	98	Fair	136	Good
5250	157	Good	144	Good	103	Fair	98	Fair
4750	151	Good	153	Good	119	Fair	93	Fair
4250	158	Good	130	Good	131	Good	106	Fair
3750	150	Good	94	Fair	95	Fair	88	Fair
3250	152	Good	122	Good	117	Fair	95	Fair
2750	156	Good	138	Good	130	Good	90	Fair
2250	152	Good	150	Good	111	Fair	94	Fair
1750	154	Good	155	Good	98	Fair	114	Fair
1250	154	Good	107	Fair	118	Fair	126	Good
750	155	Good	99	Fair	128	Good	136	Good
250	157	Good	129	Good	149	Good	147	Good
Average	155	Good	126	Good	121	Good	116	Fair

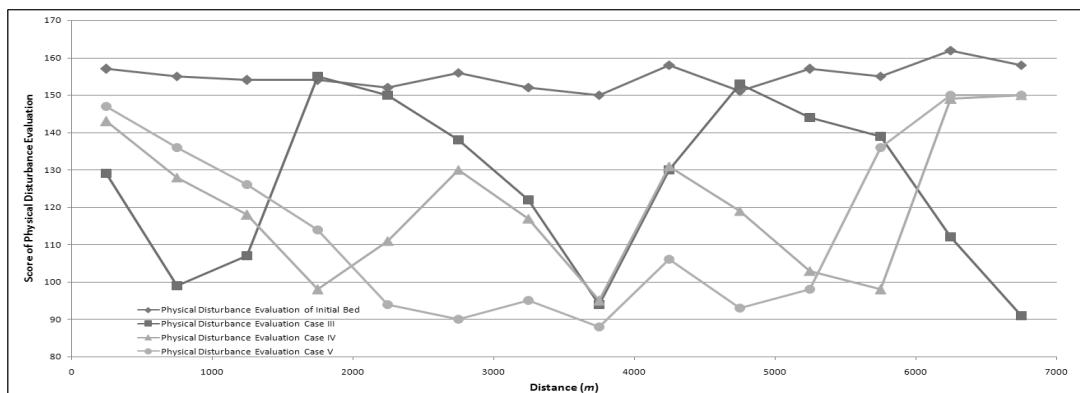


Fig. 12. Comparisons of Disturbance Evaluation

각 Cases에서는 보가 설치된 지점에서의 교란평가 점수가 100점미만으로 현저하게 떨어졌다. 구간평균 교란평가 점수는 추가적인 보의 설치에 따른 영향범위가 중첩된 Case V의 경우가 116점으로 가장 낮은 결과를 가져왔으며, 대상구간 7km에 가장 많은 물리적 하천교란을 가져왔다. 따라서 하천 내 보의 설치는 물리적 하천교란을 가져오며, 보의 설치 시 하상변동 영향범위가 충분한 이격거리를 가질 때 하천의 물리적 교란을 최소화할 수 있음을 확인하였다.

하상변동은 물리적 교란의 양상과 밀접한 관계가 있음을 확인하였고, 아울러 물리적 교란은 하상변동 뿐만이 아닌 인위적인 보의 설치에 따른 생물서식처의 변화, 하안의 안정성, 수심과 유속 등의 다양한 조건들에 의해 지배되는 것으로 판단된다. 또한 보의 설치에 따른 수리 및 하상 변화 특성의 규명과 그에 따른 하천교란평가를 실시하여 하천교란평가방법의 사용성을 확인하였다.

4. 결론

하천에서의 보의 설치 전과 후에 따른 수리특성 및 하상변동 양상과 그에 따른 물리적 하천교란평가를 실시하였으며, 아울러 추가적인 보의 설치에 따른 하상변동과 하천교란평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 보의 설치에 따른 하상변동량은 1년경과 후 상류 685m, 하류 1,020m로 약 1,705km 구간에 하상변동 양상이 나타났으며, 5년경과 후는 상류 680m, 하류 1,070m의 약 1,750m의 구간에 하상변동 양상이 나타나 하상변동 영향범위는 모의기간의 경과에 따른 변화는 발생되지 않았다.
- (2) 보의 설치 전과 후의 하천교란평가를 실시한 결과 보의 설치 후의 교란평가 점수가 보의 설치 이전 초기하상의 교란평가 점수보다 최대 95점까지 감소하였다. 아울러 보의 설치에 따른 하천의 물리적 교란발생 범위는 보의 설치에 따른 하상변동 영향범위와 거의 일치함을 확인하였다. 따라서 하천에서의 하상변동과 물리적 하천교란은 매우 상관성이 높음을 확인하였다.
- (3) 보에 의한 하상변동 및 교란의 영향범위가 1km 떨어진 간격을 두도록 상·하류 지점에 추가적인 보의 설치 후 하상변동 및 교란평가를 실시한 결과 영향범위가 접하지 않는 1km 구간에서는 보의 설치 이전의 교란평가 점수와 일치하여 물리적 교란이 발생하지 않음을 확인하였다. 아울러 보에 의한 영향범위 내에서의 교란평가 점수는 초기하상에 대한 교란 점수보다 현저하게 낮은 점수로 최대 67점이 감소하였다.
- (4) 보에 의한 하상변동 및 교란의 영향범위가 끝나는 지점에 추가적인 보를 설치하여 교란평가를 실시한 결과 영향범위가 총 5.3km로 연결되어 전 구간에 걸쳐 물리적 교란이 발생하였다.

- 아울러 구간별 교란평가 점수는 최대 60점까지 감소하였다.
- (5) 보에 의한 하상변동 및 교란의 영향범위가 570m 중첩되도록 추가적인 보를 설치한 결과 약 3.5km 구간에서 100점미만의 교란평가 점수로 크게 낮아졌으며, 총 14개 구간에서 9개 구간이 보통의 평가결과로 나타났다. 아울러 교란평가 점수는 최대 66점이 감소하였다.
 - (6) 기존 보의 상·하류에 추가적인 보의 설치에 따른 전체 7km 구간에 대한 구간평균 교란평가 점수는 영향범위가 중첩되도록 보를 설치한 경우 구간평균 116점으로 가장 낮게 나타났다. 따라서 추가적인 보의 설치는 하상변동과 교란의 영향범위가 충분히 떨어지도록 이격거리를 두고 설치할 때 하천의 물리적 교란을 최소화할 수 있음을 확인하였다.
 - (7) 하천의 물리적 교란은 하상변동에 지배적일 뿐만이 아니라 보의 설치에 따른 생물서식처의 변화, 하안의 안정성, 수심과 유속 등의 다양한 조건에 의해 지배되는 것으로 판단된다. 또한 보의 설치에 따른 수리 및 하상변화 특성의 규명과 그에 따른 하천교란평가를 실시하여 하천교란평가방법의 사용성을 확인하였다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(자연과 인간이 공존하는 생태하천 조성 기술 개발Green River; 과제번호 12건설핵심C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Chinese Research Academy of Environmental Sciences (CRAES) (2012). *Technical regulation for assessment of river health*.
- Choi, G. W., Kim, H. J., Park, J. S. and Han, M. S. (2010). "Hydromorphological structure assessment of urban streams after close-to-nature stream restoration using LAWA." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 5, pp. 421-431 (in Korean).
- Environment Australia (2000). *Australian river assessment system: Review of Physical River Assessment Methods - A Biological Perspective*.
- Hesselink A. W., Kleinhans, M. G. and Boreel, G. L. (2006). "Historical discharge measurements in three rhine branches." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 132, No. 2, pp. 140-145.
- Jo, Y. H. (1997). *Development of an evaluation method of stream naturalness for ecological restoration of stream corridors*, Ph. D. Dissertation, University of Seoul, Korea (in Korean).
- Kim, K. H. (2008). "Assessment of physical river disturbances in the namgang-dam downstream." *The Journal of the Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology*, Vol. 1,

- No. 1, pp. 45-53 (in Korean).
- Kim, K. H. (2009). "Assessment of physical stream disturbances by river improvement - Case Studies of Nam River and Youngcheon River." *The Journal of the Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 83-97 (in Korean).
- Länderarbeits-gemeinschaft Wasser (LAWA) (2000). *Empfehlungen-oberirdische gewässer: Gewässerstruktur-gütekartierung in Der Bundesrepublik Deutschland-Verfahren Fürkleine Und Mittelgroße Fließgewässer. 1. Aufl., Schwerin.*
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) (2001). *National census on river environment* (in Japanese).
- Park, B. J., Sin, J. I. and Jung, G. S. (2005). "The evaluation of river naturalness for biological habitat restoration : I. Proposal of Evaluation Method." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 1, pp. 37-48 (in Korean).
- Scott, D. T., Jhon, F. O., Molly, M. P. and Carrie, L. M. (2005). "Flood disturbance and riparian species diversity on the colorado river delta." *Biodiversity and Conservation* 14, pp. 1175-1194.
- Stein, J. L., Stein, J. A. and Nix, H. A. (2002). "Spatial analysis of anthropogenic river disturbance at regional and continental scales: Identifying the Wild Rivers of Australia." *Landscape and urban planning*, Vol. 60, No. 1, pp. 1-25.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1998). *Stream visual assessment protocol*, USDA Natural Resource Conservation Service, National Water and Climate Center Technical Note 99-1.