



# STEPL WEB 모형을 이용한 농촌지역 비점오염원저감 대책 모의

## Simulation of the Best Management Practice Impacts on Nonpoint Source Pollutant Reduction in Agricultural Area using STEPL WEB Model

박윤식\* · 김동혁\* · 정영훈\* · 조재필\*\* · 임경재\* · 김기성\*<sup>†</sup>

Park, Youn Shik · Kum, Dong Hyuk · Jung, Young Hun · Cho, Ja Pil · Lim, Kyoung Jae · Kim, Ki Sung

### Abstract

Sediment-laden water is problematic in aquatic ecosystem and for hydraulic structures in a watershed, and agriculture area in a watershed is one of source areas of nonpoint source (NPS), since soil surface typically exposures due to agricultural activities. Especially, severe sediment might flow into stream when agricultural area is located near stream like the Imha-dam watershed. Soil erosion is affected by precipitation, therefore there is a need to consider precipitation characteristics in soil erosion and best management practices (BMPs) simulation. The Web-based Spreadsheet Tool for the Estimation of Pollutant Load (STEPL WEB) allows estimating long-term sediment loads and the impact of best management practices to reduce sediment loads. STEPL WEB and predicted precipitation data by MIROC-ESM model was used to estimate sediment loads and its reduction by filter strip and conversion of agricultural area to forest in the future 30 years. The result indicates that approximately 70 % of agricultural area requires filter strip installation or that approximately 50 % of agricultural area needs to be converted to forest, for 41 % of sediment load reduction.

**Keywords:** Best management practice; Nonpoint source pollution; Sediment, STEPL WEB

### 1. 서론

임하댐 유역은 대부분이 산림지역인데 반해, 농경지의 대부분이 하천 주변에 분포되어 있다. 임하댐이 준공된 이후 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 뿐만 아니라 집중호우로 인해, 하천 주변에 위치한 농경지의 면상, 세류, 걸리 침식 등으로 많은 양의 탁수가 유입되고 있다 (Park et al., 2007). 유역에서 발생하는 탁수는 수생태계를 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 댐의 기능을 저하시킬 가능성이 높다 (Jeon, 2010). 유역에서의 유사와 같은 비점원오염은 산림 등에서 자연적으로 발생할 수도 있으나 농경지와 같이 인위적인 요소도 적지 않은 영향을 주고 있으며, 집중호우가 지속될 경우 농경활동으로 인해 지표가 노출되기 때문에 농경지에서는 많은 양의 토양 유실이 발생할 가능성이 높다 (El-Hassanin et al., 1993). 특히 임하댐과 같이 하천과 인접하여 농경지가 위치한 경우, 비점원오염이 하천으로 도달하는 시간이 짧기 때문에, 농경지에 대한 유사저감 대책의 효과가 크다.

유사저감 대책을 수립하기 위해서는 먼저 유역내 토양 유실을 모의하여 재현해야 하는데, Water Erosion Prediction Project (WEPP; Flanagan and Nearing, 1995), European Soil Erosion Model (EUROSEM, Morgan et al., 1998), Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Arnold et al., 1994) 등의 수문 모형을 이용할 수 있다 (Jang et al., 2010a; Jang et al., 2010b). 이러한 수문모형은 유역에서의 수문학적 거동 및 유사량 예측이 가능한데 비해, 모의에 필요한 입력자료 구축 등에 많은 시간과 노력을 요구한다 (Park et al., 2008).

Sediment Assessment Tool for Effective Erosion (SATEEC; Lim et al., 2005), Spreadsheet Tool for the Estimation of Pollutant Load (STEPL; Tetra tech, 2011), Web-based STEPL (STEPL WEB; Park and Engel, 2014)과 같이 범용토양유실 공식 (Universal Soil Loss Equation (USLE); Wischmeier and Smith, 1978)을 기반으로 하여 비교적 적은 양의 입력자료만으로 유사량 및 비점원오염 모의를 가능하게 하는 모형도 개발된 바 있다. 특히, STEPL WEB은 STEPL의 유출량 산정과 정에서의 한계점을 개선한 모형으로, 약 50여개의 최적관리 기법 (Best Management Practices) 데이터베이스를 통해, 유역에서의 비점원오염의 저감 모의가 가능하다.

모형을 이용하여 비점원오염을 모의하고 유사저감 대책 수립 시, 유사저감 대책이 현재 상황에는 수질농도를 만족할 수는 있으나, 기후 변화 등과 같이 달라진 강우 사상에 대해서

\* Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

\*\* APEC Climate Center

† Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6466 FAX: +82-33-251-1518

E-mail: [kskim@kangwon.ac.kr](mailto:kskim@kangwon.ac.kr)

Received: June 26, 2014

Revised: August 19, 2014

Accepted: August 20, 2014

는 유사저감 대책이 추가로 요구될 수도 있다. 따라서 유사저감 대책을 수립할 시, 강우사상의 변화를 반영하여 유사저감 대책을 수립할 필요가 있다 (Lee et al., 2014). 본 연구에서는 임하댐의 유출량과 유사발생량을 보정하고, 향후 기후 변화를 고려한 유사발생량 변화를 STEPL WEB 모형을 이용하여 모의하고 이에 대한 유사저감대책을 평가하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구지역

임하댐 유역은 경상북도 안동시에 위치하고 있으며, 북위 35°35′-36°00′, 동경 127°20′-127°45′에 위치하며, 유역면적은 1,976 km<sup>2</sup>로서 낙동강 유역면적의 약 6%를 차지한다. 산지가 1,612 km<sup>2</sup> (82%)로 유역의 대부분을 차지하나, 유역면적의 328 km<sup>2</sup> (17%)인 농경지가 대부분 하천 주변에 분포되어 있다 (Fig. 1). 임하댐이 1993년에 준공된 이후, 2002년 태풍 루사로 인해 최고탁도 882 NTU (Nephelometric Turbidity Units)와 2003년 태풍 매미로 인해 최고탁도 1,221 NTU를 기록한 바 있다 (Yi et al., 2008).

### 2. STEPL WEB 모형의 개요

STEPL (Tetra tech, 2011)은 미국의 Total Maximum Daily Load (TMDL) 계획을 수립하는 데에 있어 미국 환경보전국 (U. S. Environmental Protection Agency; U. S. EPA)에서 활용하고 있는 모형이다. STEPL은 연평균 유출량, 유사량, 질소, 인, BOD 부하량 모의 뿐만 아니라, 50여개의 최적관리기법 (Best Management Practices, BMP)에 대한 저감효율을

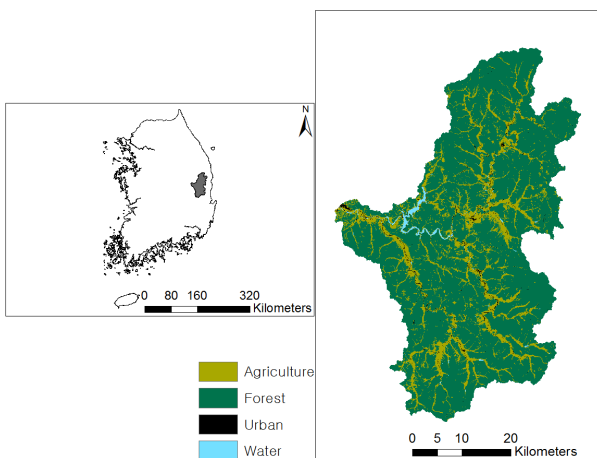


Fig. 1 Location of Imha-dam watershed

이용하여 오염부하 저감량의 모의가 가능하다. STEPL 모형은 토지이용과 수문학적 토양 분류에 의해 Curve Number (CN)를 산정한 후, 이를 이용하여 직접유출량을 모의한다. 이 과정에서 연간 강우사상당 평균유출량을 이용하기 때문에, 일단위 강우자료와 CN에 의한 유출량과는 적지 않은 차이를 보인다 (Park and Engel, 2014). 이 한계점을 보완하기 위해 CLIGEN (Nicks and Lane, 1989)에 의한 일단위 강우자료를 이용하여 일단위 직접유출량을 산정한 후 연평균 직접유출량을 산정하며, 웹 기반의 모형인 STEPL WEB이 개발된 바 있다 (Park and Engel, 2014). STEPL WEB은 CN과 일단위 강우자료를 이용하여 연평균 직접유출량을 산정하고, 토양침투비 (Soil Infiltration Fraction)에 의해 연평균 기저유출량을 산정하며, 각 연평균 직접유출량 및 기저유출량에 대한 오염원의 농도를 이용하여 연평균 오염부하량을 산정한다 (Fig. 2).

STEPL WEB은 모형의 매개변수를 조정하기 위한 두 개의 모듈을 내재하고 있는데, 첫 번째 모듈은 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm Module)을 이용하며, 두 번째 모듈은 이분법 (Bisection Method Module)을 이용한다. 유전자 알고리즘 (Holland, 1975)은 자연의 진화과정에 기반한 최적화기법으로, 선택, 교차, 변이의 과정을 가지는데, 다양한 분야에서 복잡한 문제를 해결하기 위해 사용된 바 있다 (Togan and Daloglu, 2008). 이분법은 최적값이 존재하는 폐구간을 이분한 후, 이분된 폐구간 중 최적값이 존재하는 폐구간을 선택하는 과정을 반복하면서 최적값을 찾는 방법이다. 유전자 알고리즘에 비해 간단한 최적화기법으로 최적값이 존재하는 폐구간이 연속함수이고 선형일 때 적용이 가능하다 (Ashkar and Mahdi, 2006). 두 모듈 모두, CN을 조정하기 위한 계수인  $Fr_{cn}$ ,

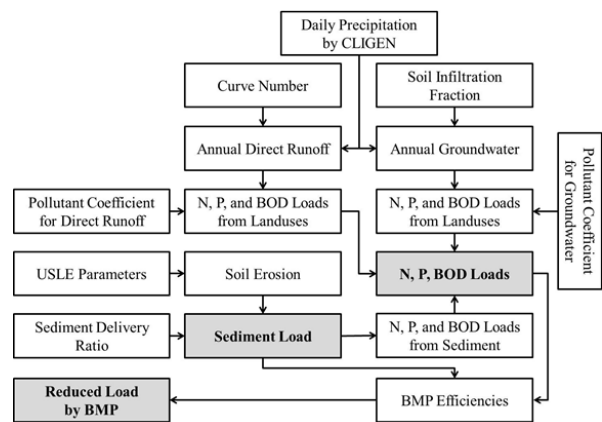


Fig. 2 Annual direct runoff, groundwater, and pollutant load computation in STEPL WEB (adapted from Park and Engel, 2014)

토양침투비를 조정하기 위한 계수인  $Fr_{si}$ , 직접유출 및 기저유출에 대한 비점오염원의 농도를 조정하기 위한 계수인  $Fr_{m,i}$ , 유달률을 조정하기 위한 계수인  $Fr_{sdr}$ 을 조정한다 (Park and Engel, 2014).

### 3. STEPL WEB 모형을 위한 입력자료 구축

STEPL WEB 모형은 토지이용도와 수문학적 토양군에 의해 CN을 산정한다. 본 연구에서는 농촌진흥청의 정밀토양도 (1:25,000)를 이용하여 수문학적 토양군 지도 (Fig. 3(a))를 구축하였으며, 국가수자원관리종합정보시스템 (www.wamis.go.kr)에서 제공하는 2000년도 대분류 토지피복도 (1:25,000)를 이용하여 토지이용현황지도 (Fig. 3(b))를 구축하였다. 그리고 수문학적 토양군 지도와 토지이용현황지도를 이용하여 수문학적 반응 단위 지도 (Fig. 3(c))를 구축하였다. 임택담 유역은 토지이용현황이 산림이고 수문학적 토양군이 A와 B인 수문학적 반응단위 (Forest-A, Forest-B)가 각각 1263 km<sup>2</sup>와 338 km<sup>2</sup>로 유역 면적의 64 %와 17 %를 차지하고 있으며, 토

지이용현황이 농경지이고 수문학적 토양군이 A와 B인 수문학적 반응단위 (Agriculture-A, Agriculture-B)가 각각 171 km<sup>2</sup>와 144 km<sup>2</sup>로 유역 면적의 9 %와 7 %를 차지하는 것으로 나타났다 (Table 1).

STEPL WEB 모형에서 필요로 하는 일단위 강우자료 구축은 경상북도 청송군 진보면 월전리에 위치한 ‘진보2’ 지점에서 측정된 1994년 1월 1일부터 2013년 12월 31일까지의 일 단위 강우자료를 이용하였다.

### 4. MIROC-ESM에 의한 강우자료 구축

본 연구에서는 STEPL WEB 모형을 보정한 후, 기후변화에 의한 유사 거동을 모의하기 위한 강우자료를 구축하기 위해 MIROC-ESM 모형 (Watanabe et al., 2011)과 온실가스 대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP) 시나리오를 이용하였다. 이는, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) 4차 보고서에서 사용된 SRES 시나리오는 정보지연성 등에 대한 한계점을 드러낸 바 있으며, 이에 2007년 온실가스 농도 시나리오 회의에서 RCP가 제안된 바 있다. RCP는 기후변화 대책의 수행 정도에 따라 온실가스 배출농도에 차이가 있을 수 있다는 것을 나타내며, 온실가스 배출농도에 대해 2.6, 4.5, 6.0, 8.5의 네 가지 경우로 구분하고 있다.

MIROC-ESM 모형은 MIROC를 기반으로 하며, 에어로졸 요소 (SPRINTARS), 해빙요소 (COCO), 지표요소 (MATSIRO)를 포함하는 MIROC 모형에, 대기화학요소 (CHASER), 해양 영양염류 플랑크톤 요소 (NPZD), 식생에 관한 지표 생태요소 (SEIB-DGVM)를 더 포함한다 (Brovkin et al., 2013; Watanabe et al., 2011).

본 연구에서는 Earth System Grid Federation (ESGF)의 일 단위 전지구 모형 결과와 기상청에서 제공하는 12.5 km의 지역규모 모형 (Regional Scale Model)에 대해 RCP 4.5 시나리오에 대해 MIROC-ESM 모형을 이용하였으며, 2016년부터 2045년까지의 강우 자료를 구축하였다.

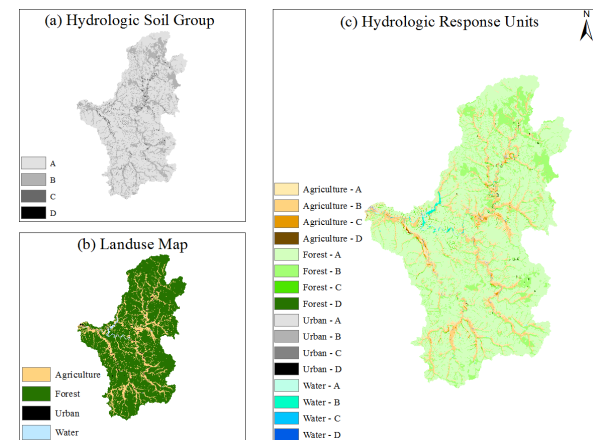


Fig. 3 Establishment of hydrologic response units from hydrologic soil groups and landuses

Table 1 Area of hydrologic response units

Hydrologic response units	Area (km <sup>2</sup> )	Hydrologic response units	Area (km <sup>2</sup> )
Agriculture - A	171.4	Urban - A	7.8
Agriculture - B	144.1	Urban - B	9.0
Agriculture - C	11.0	Urban - C	0.7
Agriculture - D	1.3	Urban - D	0.1
Forest - A	1262.7	Water - A	9.6
Forest - B	338.0	Water - B	8.0
Forest - C	9.4	Water - C	0.5
Forest - D	2.1	Water - D	0.1

### 5. 유사 발생량 시나리오

2000년의 토지이용도와 1994년부터 2013년까지의 강우 자료에 의해 보정된 모형의 예측치를 기본값으로 하여, 2000년의 토지이용도와 미래기후강우자료를 이용하여 유사 발생량 모의를 하였다. 첫 번째 시나리오에서는 미래기후강우자료에 의한 유사량 변화량을 보기 위함이었으며, 두 번째 시나리오에서는 유역내 농경지에 대해 식생여과대가 설치되었을 경우의 유사량을, 세 번째 시나리오에서는 유역내 농경지가 산림지역으로 환원되었을 경우의 유사량을 모의하기 위함

었다.

식생여과대의 효과를 위한 두 번째 시나리오에서는 농경지의 10% (약 33 km<sup>2</sup>)에 대해 식생여과대가 설치되었을 경우부터, 10% (약 33 km<sup>2</sup>)씩 100% (328 km<sup>2</sup>)까지 식생여과대가 적용되는 농경지의 면적을 증가시키면서 유수량 변화를 모의하였다.

유역내 농경지의 산림으로의 환원에 의한 유수량 저감효과를 위한 세 번째 시나리오에서는 두 번째 시나리오에서와 마찬가지로, 농경지의 10%가 산림으로 환원되었을 경우부터, 산림으로 환원되는 농경지의 면적을 10%씩 100%까지 증가시키면서 유수량 변화를 모의하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. STEPL WEB 모형의 보정

STEPL WEB 모형을 보정하기 위해서, 한국수자원공사(www.kwater.or.kr)에서 제공하는, 임하댐으로의 월평균 유입량 및 부유물질 (Suspended Solids) 농도자료를 이용하여 연평균 유출량과 부유물질량을 산정하였으며, STEPL WEB 모형의 연간 유출량 및 유수량에 대해 모형의 매개변수를 보정하였다.

1994년부터 2013년까지 유역의 실측 연평균 유출량(임하

Table 2 STEPL WEB parameters (default/calibrated)

Model parameters	Landuses	A	B	C	D
Curve number	Urban	83/94	89/98	92/98	93/98
	Cropland	67/76	78/88	85/96	89/98
	Pastureland	49/55	69/78	79/89	84/95
	Forest	39/44	60/68	73/82	79/89
Soil infiltration fraction	Urban	0.36/0.23	0.24/0.19	0.12/0.10	0.06/0.05
	Cropland	0.45/0.36	0.3/0.24	0.15/0.12	0.08/0.06
	Pastureland	0.45/0.36	0.3/0.24	0.15/0.12	0.08/0.06
	Forest	0.45/0.36	0.3/0.24	0.15/0.12	0.08/0.06
Sediment delivery ratio	$0.42 \times (0.3681 \times \text{Area}(\text{km}^2))^{-0.135} / 0.08 \times (0.3681 \times \text{Area}(\text{km}^2))^{-0.135}$				

Table 3 Comparison of measured and estimated average annual runoff and sediment yield

	Measured	Estimated	Difference (%)
Runoff	20.9 m <sup>3</sup> /s	21.5 m <sup>3</sup> /s	3.3 %
Sediment Yield	3.3 ton/year	3.2 ton/year	-3.2 %

댐 유입량)은 20.9 m<sup>3</sup>/s였으며, 부유물질량은 3.3 ton/year이었다. STEPL WEB은 모형에서 제공하는 이분법 모듈(Bisection Method Module)을 이용하였으며, 직접유출량에 관련된 매개변수인 Curve Number는 증가되었으며, 기저유출량에 관련된 Soil infiltration fraction은 낮게 산정되었다. 또한 유수량에 관련된 매개변수인 Sediment delivery ratio의 계수는 0.42에서 0.08로 낮아지도록 산정되었다. 모형의 매개변수를 보정한 결과(Table 2), 예측 연평균 유출량은 21.5 m<sup>3</sup>/s였으며, 유수량은 3.2 ton/year으로, 유출량은 3.3%의 오차를 보였고 유수량은 -3.2%의 오차를 보였다(Table 3).

#### 2. MIROC-ESM에 의한 미래강우자료 분석

MIROC-ESM 모형에 의해 예측된 강우자료를 이용하여 2016년부터 2045년까지(30년)의 일별 강우 자료를 구축하였다. 1994년부터 2013년까지 연간 실측 강우량은 최소 606 mm (1994년), 최대 1,541 mm (2003년)으로 20년 평균 947 mm의 강우량을 보인 데에 비해, MIROC-ESM 모형에 의해 예측된 강우자료의 경우 최소 728 mm (2038년), 최대 1,742 mm (2033년)으로 30년 평균 1,377 mm로 연강우량이 약 45% 증가할 것으로 예측되었다(Fig. 4).

#### 3. 유사 발생량 시나리오 분석

첫 번째 시나리오에서는 2016년부터 2045년의 30년에 대한 예측된 강우에 의한 유수량 변화를 모의한 것으로, 연평균 유수량이 5.5 ton/year (Fig. 5, 'Base')으로 1994년부터 2013년의 연평균 유수량인 3.2 ton/year에 비해 약 71% 증가할 것으로 예측하였다. 이는 MIROC-ESM 모형에 의해 예측된 강우량이 실측된 강우량에 비해 연평균 45% 증가함에 따라 유출량이 증가하고 이에 의해 유수량이 증가할 것으로 예측된

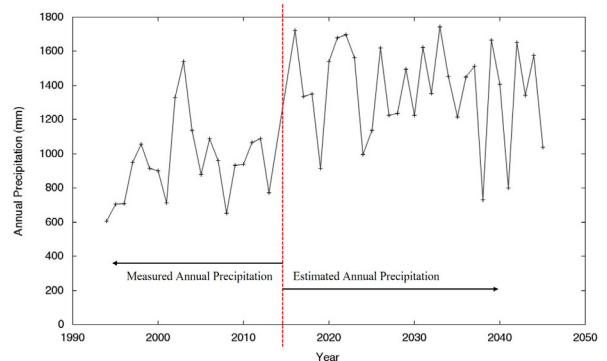


Fig. 4 Measured and estimated annual precipitation



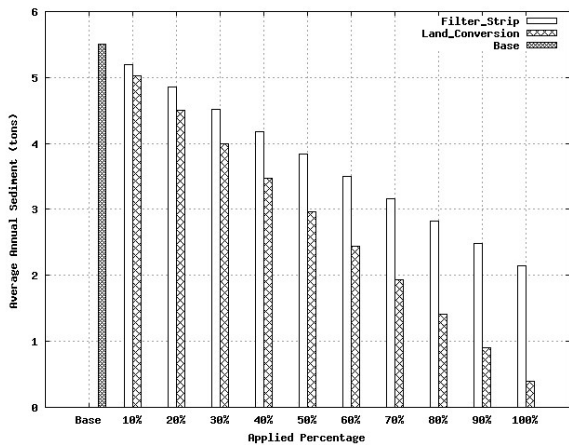


Fig. 5 Sediment load by estimated precipitation data and sediment load reduction by filter strip and land use conversion from agricultural area to forest

것이다. 따라서, 2016년부터 2045년의 30년 동안 연평균 유사량이 현재 수준인 3.2 ton/year이 되기 위해서는 약 41%을 저감시킬 수 있는 대책이 필요한 것으로 생각된다.

유사량을 저감시키기 위해, 두 번째 시나리오에서는 유역 내 농경지에 대해 식생여과대 (Fig. 5, 'Filter Strip')에 대해 모의하였으며, 유역내 약 10%에 해당하는 농경지에 식생여과대를 설치할 경우 유사량은 5.2 ton/year으로 약 6%의 유사량 저감효과가, 약 20%에 해당하는 농경지에 식생여과대를 설치할 경우 유사량은 4.8 ton/year으로 약 12%의 유사량 저감효과가 예측되었다. 따라서 식생여과대를 설치하여 유사량을 41% 저감시키기 위해서는 유역내 농경지의 약 70%에 대해 식생여과대를 설치하여야 하는 것으로 기대된다.

세 번째 시나리오에서는 유역내 농경지를 산림으로 환원할 경우를 모의하였으며 (Fig 5, 'Conversion'), 10%에 해당하는 농경지를 산림으로 환원할 경우 유사량은 약 5.0 ton/year으로 약 9%의 유사량 저감효과가, 30%에 해당하는 농경지를 산림으로 환원할 경우 유사량은 약 4 ton/year으로 약 28%의 유사량이 저감될 수 있는 것으로 예측되었다. 따라서 유사량을 41% 저감시키기 위해서는 약 50%의 농경지를 산림으로 환원해야 하는 것으로 나타났다.

농경지를 산림으로 환원할 경우 유사저감효과가 큰 것으로 나타났지만, 약 50%의 농경지 (164 km<sup>2</sup>)를 산림으로 환원하는 것은 현실적이지 못할 수 있는 것으로 생각되었으며, 이에 유역내 농경지의 약 20% (66 km<sup>2</sup>)만이 산림으로 환원 가능한 것으로 가정하고, 식생여과대에 의한 유사저감효과 모의가 이루어졌다. 이를 위해 전체 328 km<sup>2</sup>의 농경지 중 20%에 해당하는 66 km<sup>2</sup> 면적의 농경지를 산림으로 환원한 뒤, 유사량이 3.2 ton/year에 도달할 때까지 식생여과대의 적용 면

적을 증가시켰다. 그 결과 식생여과대를 적용한 농경지의 면적이 131 km<sup>2</sup>가 되었을 때, 3.1 ton/year의 유사량이 발생하는 것으로 모의되었다.

#### IV. 결론

유역 내에서 발생하는 토양유실은 유실된 토양이 하천으로 유입될 시 탁수 문제가 발생할 수 있으며, 이는 수생태계 파괴나 댐과 같은 수리구조물의 기능 저하를 유발할 수 있다. 농경지는 이러한 토양유실의 주 원인중 하나이며, 유역에서의 탁수 문제를 해결하기 위해서는 농경지에서의 토양유실 저감 대책이 필요하다. 토양유실은 산림이나 농경지와 같은 토지 이용현황에 따라 달라질 수 있으며 또한 강우특성에도 영향을 받기 때문에, 기후변화와 같이 강우특성의 변화를 함께 고려하여 토양유실 저감 대책을 수립하여야 장기적으로 효과적일 수 있다. 이에 본 연구에서는, 유역에 대한 탁수저감대책으로 식생여과대와, 농경지의 산림으로의 환원을 모의하고, 이 과정에서 기후변화 시나리오를 적용하여 장기적인 유사량 발생을 모의하였다.

향후 30년 동안의 연평균 유사량은 강우특성의 변화에 의해서만 약 71% 증가할 수 있는 것으로 나타났기 때문에, 단기적인 탁수저감대책 수립 시 그 효과를 기대할 수는 있으나 장기적인 측면에서는 그 효과를 기대하기는 힘든 것으로 생각된다. 향후 30년 동안의 연평균 유사량에 대해, 현재 발생하는 유사량이 수질기준을 만족한다는 가정을 두고, 현재의 유사량을 유지하기 위해서는 약 70%의 농경지에 대해 식생여과대를 적용할 필요가 있다. 또한 50%의 농경지를 산림으로 환원할 경우, 현재의 유사량을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 농경지의 20%을 산림으로 환원한 뒤, 남은 농경지의 50%에 대해서만 식생여과대를 조성할 경우, 현재 발생하는 연평균 유사량과 가까운 유사량이 모의되었다.

유사저감대책을 수립하는 데에 있어서, 특정 최적관리기법을 유역 내 적용하는 데에는 한계점이 있을 수 있으며, 이를 위해서는 2 가지 혹은 그 이상의 최적관리기법을 적용하여 모의하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 특히, 단기적인 측면에서의 최적관리기법을 수립할 경우, 강우 특성 변화만으로도 그 효과를 기대하기 힘들 수도 있기 때문에, 장기적인 측면에서의 최적관리기법을 수립할 필요가 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 2 가지 방법으로 유사량 저감을 모의했으나, 최적관리기법을 모의하는 데에 있어, 최적관리기법의 비용 역시 반드시 고려해야 하는 것으로 생각된다. 따라서, 유사 저감 대책 등을 수립할 시에는, 장기적인 측면에서 다수의 최적 관리기법이 비용과 함께 고려될 필요가 있는 것으로 생각된다.

## 사 사

본 2013년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였으며 (과제번호-120131177), 이에 깊은 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- Arnold, J. G. and R. Srinivasan, 1994. Integration of a BASIN-scale water quality model with GIS. *Journal of the American Water Resources Association* 30: 453-462.
- Ashkar, F. and S. Mahdi, 2006. Fitting the log-logistic distribution by generalized moments. *Journal of Hydrology* 328: 694-703.
- Brovkin, V., L. Boysen, V. K. Arora, J. P. Boisier, P. Cadule, L. Chini, M. Claussen, P. Friedlingstein, V. Gayler, B. J. J. M. Van Den Hurk, G. C. Hurtt, C. D. Jones, E. Kato, N. De Noblet-ucoudre, F. Pacifico, J. Pongratz, and M. Weiss, 2013. Effect of anthropogenic land-use and land-cover changes on climate and land carbon storages in CMIP5 projections for the twenty-first century. *American Meteorological Society* 26: 6859-6881.
- El-Hassanin, A. S., T. M. Labib, and E. I. Gaber, 1993. Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 43: 301-308.
- Flanagan, D. C. and M. A. Nearing, 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Lab, West Lafayette, IN, p. 298.
- Holland, J. H., 1975. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Summary for Policymakers, Cambridge University Press, p. 104.
- Jang, W. S., Y. S. Park, J. Kim, N. Kim, J. Choi, Y. S. Ok, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2010a. Development of the SWAT DWDM for accurate estimation of soil erosion from an agricultural field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(1): 79-88 (in Korean).
- Jang, W. S., Y. S. Park, J. Choi, J. Kim, M. Shin, J. C. Ryu, H. Kang, and K. J. Lim, 2010b. Analysis of soil erosion reduction effect of rice straw mat by the SWAT model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(3): 97-104 (in Korean).
- Jeon, J. H., 2010. Simulation of sediment yield from Imha watershed using HSPF. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(6): 39-48 (in Korean).
- Kum, D., J. Choi, I. J. Kim, D. S. Kong, J. Ryu, H. Kang, and K. J. Lim, 2011. Development of automatic extraction model of soil erosion management area using ArcGIS model builder. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 71-81 (in Korean).
- Lee, J. M., Y. Jung, Y. S. Park, H. Kang, K. J. Lim, and H. Kim, 2014. Assessment of future climate change impact on groundwater recharge, baseflow and sediment in steep sloping watershed. *Korean Wetlands Society* 16(2): 173-185 (in Korean).
- Lim, K. J., M. Sagong, B. A. Engel, Z. Tang, J. Choi, and K. S. Kim, 2005. GIS-based sediment assessment tool. *CATENA* 64: 61-80.
- Morgan, R. P. C., J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, and M. E. Styczen, 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 527-544.
- Nicks, A. D., L. and J. Lane, 1989. USDA-Water erosion prediction project: Hillslope profile model document; USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: West Lafayette, IN.
- Park, Y. S. and B. A. Engel, 2014. A web-based model to estimate the impact of best management practices. *Water* 6: 455-471.
- Park, Y. S., J. Kim, J. Park, J. H. Jeon, D. H. Choi, T. Kim, J. Choi, J. Ahn, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2007. Evaluation of SWAT applicability to simulation of sediment behaviors at the Imha-Dam watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 23(4): 467-473 (in Korean).
- Park, Y. S., J. Kim, S. Heo, N. Kim, J. Ahn, J. Park, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2008. Comparison of soil loss estimation using SWAT and SATEEC. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(1): 3-12 (in Korean).
- Tetra Tech, Inc., 2011. User's guide spreadsheet tool for the estimation of pollutant load (STEPL) version 4.1. Fairfax, VA, USA.
- Togan, V. and A. T. Daloglu, 2008. An improved genetic algorithm with initial population strategy and self-adaptive member grouping. *Computers and Structures* 86: 1204-1218.
- Watanabe, S., T. Hajima, K. Sudo, T. Nagashima, T. Takemura, H. Okajima, T. Nozawa, H. Kawase, M. Abe, T. Yokohata, T. Ise, H. Sato, E. Kato, K. Takata, S. Emori, and M. Kawamiya. 2011. MICRO-ESM: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development Discussions* 4: 1063-1128.

22. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537. US Department of Agriculture, General Publishing Office, Washington, DC. p. 85.
23. Yi, H. S., J. Kim, and S. U. Lee, 2008. Development of turbid water prediction model for the Imha dam watershed using HSPF. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 760-767 (in Korean).