

개발예정 도시의 수질교환법 적용을 위한 정책결정 시스템 제시

Suggestion of a Decision Support System for Implementing the Water Quality Trading Policy to Developing Urban Areas

신이숙*

동국대학교 생태환경연구소

Yee-sook Shin*

Institute of Ecological Environment, Dongguk University, Seoul 04620, Korea

Received 4 March 2016, revised 11 March 2016, accepted 20 March 2016, published online 31 March 2016

ABSTRACT: There are many pilot programs and projects to implement the water quality trading (WQT) policy. But actual trading is relatively rare. The main reason of the scarce applications of WQT policy is the difficulty in determining the equalities between the trading sites. The uncertainty of the impacts of the nonpoint sources pollutant discharges between up and downstream urban development areas also makes the implementation of the policy harder. The simulated results from the watershed modeling program will be used to calculate the point and nonpoint sources pollutants of the future urban development scenarios. The amount of suspended sediments resulting from the urban developments and rainfall intensities will be used to indicate the environmental impacts of the water body between upstream and downstream. The water quality impacts after development scenarios to the outlet of the watershed were transferred to the trading units between two sites. The recommended trading units can be used as a decision support system for policy makers and stakeholders to carry out better WQT practices.

KEYWORDS: Decision support system, Trading Units, Urban development impact, Water quality modeling, Water Quality Trading Policy

요약: 미국의 수질교환법의 제정 이후 이 법안의 적용을 위하여 많은 파일럿 프로그램과 프로젝트가 생성되었으나 실제로 수질교환이 이루어 지는 경우는 흔치 않은 현실이다. 수질교환법의 적용이 용이하지 않은 이유로 가장 큰 것은 교환 지역 양측 간의 공정성을 확보하기가 쉽지 않기 때문이다. 또한 도시개발로 유발되는 비점오염원의 유출량으로 인한 하천의 환경영향의 불확실성이 정책입안자의 법안 적용을 더욱 어렵게 하고 있다. 본 논문은 수질 모델링 프로그램 중 도시의 불투수면의 유출을 모의하기에 유용한 Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF)을 이용하여 미래의 도시개발 시나리오에 대응하는 점오염과 비점오염원 유출량을 도출하였다. 도시개발의 정도와 강우강도에 따른 부유탁도의 증가분을 계산 함으로써 향후 도시개발이 미치는 수질 영향을 하천 상 하류 간의 수질교환 단위로 전환하여 제시하였다. 제시된 지역 특화된 수질교환단위는 정책입안자와 이해관계자들에게 수질교환법 적용을 위한 정책결정 시스템으로 사용될 수 있다.

핵심어: 정책결정시스템, 교환단위, 도시개발영향, 수질모델링, 수질교환법

1. 서론

토지이용 변화에 따른 수량과 수질의 변화는 수문

학 연구에 있어서 꼭 필요한 정보이나 강우현상에 따른 실시간 모니터링과 토지이용 변화 예측의 어려움으로 인해 적용할 자료가 미비한 실정이다. 특히 개

*Corresponding author: yeesoosshin@gmail.com, ORCID 0000-0002-1111-6266

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

발이 예정된 도시 주변 하천의 경우 향후 하천 수질에 어떠한 영향을 주게 될 지 예측하는 것은 도시계획에 있어서 매우 중요하지만 개발이 진행 되고 나서야 파악 할 수밖에 없는 것이 현실이다. 하천의 하류지역에 도시가 개발된다면 미리 상류지역의 개발을 제한함으로써 하천의 수질영향을 최소화 한다는 개념으로 시작된 미국의 수질교환법은 자연환경적인 관점과 개발지향적인 두 가지 상충하는 관점이 조화롭게 어울리는 합리적인 정책이라고 할 수 있다 (USEPA 2003). 일반적으로 상류와 하류지역의 경제적 불평등이 존재하고 이를 해결하기 위해 개발로 이득을 보는 하류지역이 개발제한이 되는 상류지역에 적절한 경제적 보상을 하는 것이 이 정책의 핵심이다. 이 때 모법인 Clean Water Act에 따라 하천 전체에 걸쳐 수질기준을 준수하도록 운영하여야 하며 점오염원 배출자의 National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Permits 허가 기준과 Total Maximum Daily Loads (TMDLs)가 설정된 오염되지 않은 하천에서 적용이 가능하다. 수질교환법의 경제적 보상은 유역 내 각 토지이용 별 오염배출량을 산정하고 개발진행 후 증가하게 될 오염배출량에 해당하는 상류지역의 오염배출권을 구입하는 방법으로 이루어진다. 미국 환경청에서 발간한 Water Quality Trading Assessment Handbook에 따르면 수질교환법의 적용

의 예는 점오염과 점오염 혹은 점오염과 비점오염원 간의 교환 프로그램을 소개하고 있으나 비점오염원 간의 교환 프로그램은 제시하지 못하고 있다 (USEPA 2004b). 이는 유역 내의 비점오염원 생산량과 유출의 불확실성으로 인하여 적절한 교환 지점과 단위를 선정하고 운영 하는 데에 큰 어려움이 있기 때문이다. 메릴랜드 주 (Maryland)의 몽고메리 카운티 (Montgomery County)는 집 한 채 당 5에이커의 농지개발을 제한 하던 카운티 법령을 집 한 채 당 25에이커의 농지개발 제한으로 강화함으로써 수질교환법을 적용한 사례가 있다 (USEPA 2004a, MCDED 2010). 이는 아무런 과학적 근거 없이 보수적으로 제시 된 수치로서 카운티 내의 수문학적 특성과 하천의 근접성 등이 전혀 고려되지 않았다. 본 연구는 위성정보를 이용하여 유역 내 개발예정지의 향후 토지이용의 변화 시나리오를 작성하고 이에 따른 하천의 수질영향을 모의하여 수질교환법 적용을 위한 정보제공을 목표로 한다. 나아가 이를 바탕으로 정책결정 시스템을 구성하여 정책입안자에게 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 대상지역

본 연구의 대상지역은 미국의 미주리 주 (Missouri)

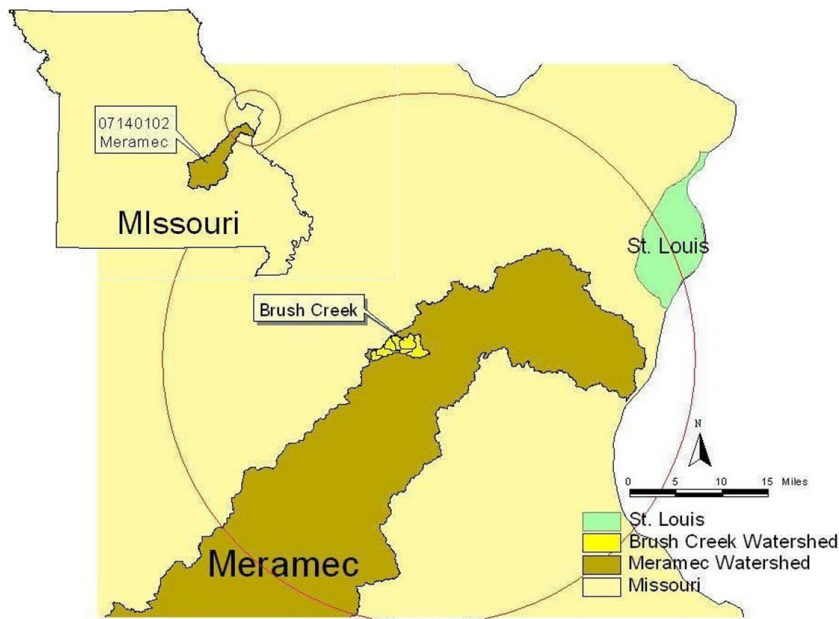


Fig. 1. Location of Brush Creek watershed within the Meramec River watershed.

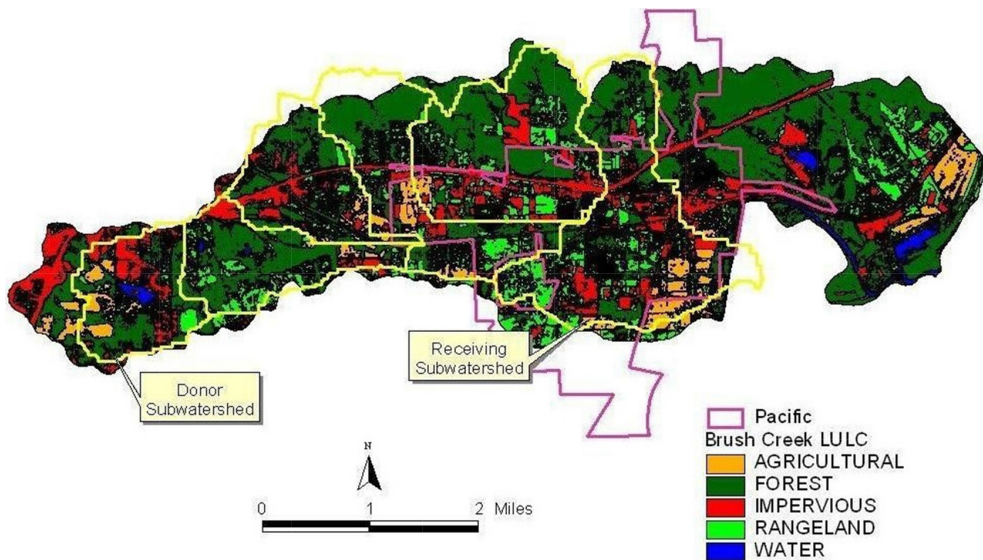


Fig. 2. The city of Pacific and the Brush Creek watershed with subbasins superimposed upon a land cover map.

퍼시픽 (City of Pacific)이 위치한 브러쉬 하천 (Brush Creek)은 미국 중서부 최대 도시인 세인트루이스 서쪽에 위치한 소규모 하천이다. 퍼시픽시는 캔자스와 일리노이주를 연결하는 고속도로 (I-70)가 통과하는 지역이고 세인트루이스와 가까운 지정학적 특징으로 급속한 도시화가 요구되고 있다. 퍼시픽시는 브러쉬 하천이 개발 이후에도 현재와 같은 수질을 유지하기 위해 상류지역의 오염원 배출권 구입을 타진하고 있다.

Fig. 1은 미주리주 미라백 강 (Meramec River)의 지류인 브러쉬 하천의 위치이며 Fig. 2는 브러쉬 하천 유역의 토지 피복 지도로써 왼쪽의 상류지역 배출권 제공지역과 오른쪽 하류지역 배출권 구입지역에 위치한 퍼시픽 시의 경계를 보여준다. 상류지역과 퍼시픽시 위쪽으로 산림이 구성되어 있으며 퍼시픽시 주변으로 불투수면이 많이 분포되어 있다. 특히 하류 지역 하천 유출부 (퍼시픽시 동남부지역) 주변으로 농지가 많이 조성되어 있는데 향후 도시화가 진행될 지역으로 볼 수 있다.

2.2 데이터 구성

브러쉬 하천은 6,200 acres의 배수유역을 가진 비교적 작은 규모의 하천으로 하천수질 관측지점과 멀고 지속적인 수량과 수질 데이터가 부족한 지역으로

상·하류간 수질교환단위를 산정하기 위해 미국 환경청에서 개발한 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) 패키지를 이용하였다. BASINS 패키지의 핵심 모델링 프로그램인 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모델을 이용하여 수량 및 수질 모의를 수행하였고 HSPF는 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 과 함께 미국 하천 수질모델링에 많이 쓰이는 유역 모델로써 특히 HSPF는 각각의 토지이용 별 퍼센트 투수량을 지정함으로써 도시지역의 유출량을 시뮬레이션 하는데 강점이 있다. 또한 BASINS 패키지는 지리정보시스템 (GIS), 토양특성 (soil characteristics), DEM (digital elevation model), 토지이용 (land use) 등 관심 유역의 모의를 위한 인풋자료를 제공한다 (USEPA 2001).

HSPF는 PERLND, IMPLND, RCHRES의 세가지 모듈로 구성되어 있으며 PERLND는 유역 내 투수면의 overland flow, interflow, groundwater flow의 모의를 수행하고, IMPLND는 불투수면의 표면 유출을 모의함으로써 도시유출에 포함된 비점 오염원을 함께 모의한다. 또한 RCHRES 모듈은 하천과 호수를 포함한 수체 내의 모의를 진행한다 (Bicknell et al. 2001).

BASINS를 사용하는 가장 큰 장점은 HSPF 모델을 수행하기 위한 인풋데이터 접근성이 용이하다는

것이다. 토지이용 및 토지피복 지도, 하천망 파일 (reach file), 토양 특성, DEM 등의 모델링 인풋자료가 유역구분 (watershed delineation)함에 따라 함께 다운로드되며 이를 이용하여 유역모의를 진행한다. USEPA의 National Hydrography Dataset에서 제공하는 1:500,000 축적의 하천망 자료 (reach file version 1 (RF1))와 USGS의 30 m resolution national elevation dataset을 이용하여 소유역 구분을 수행하였다.

본 연구에서는 작은 지역의 토지이용 변화에 따른 수질 모델링 결과가 매우 중요한데 BASINS에서 제공되는 토지이용 및 피복지도는 1980년대에 USGS (US geological Survey)에서 개발한 1:250,000 축적의 Geographic Information Retrieval and Analysis System (GIRAS) 데이터지도로서 조밀 하지 못하며 또한 도시화가 많이 진행된 현재의 토지이용을 모의하는 데에는 어려움이 있다. 따라서 위성사진을 이용하여 비교적 최근의 토지피복 지도를 작성하여 인풋 자료로 사용하였다. Digital Globe Inc.에서 제공하는 2.4 m 픽셀 해상도의 QuickBird 위성사진을 이용하였는데 지도 작성에는 2003년부터 2006년 사이의 3월, 8월, 10월 12월에 찍은 5개의 사진이 사용되어 계절적 변화가 보정 되었다 (Aslan 2009).

2.3 토지이용 변화 시나리오

개발예정 도시의 수환경 변화 예측을 위해서 토지이용의 변화만을 변수로 하는 수질모델링을 실시하였다. 토지이용의 변화는 브러쉬 하천 하류지역의 개발 가능한 토지이용인 농지 (agricultural area), 산림 (forest land) 및 초지 (range land)를 25%, 50% 및 75%의 3단계로 불투수면을 가진 시가화지역 (developed area)으로 개발하는 9개의 시나리오를 구성하였다. 같은 방법으로 상류지역을 상기와 같은 방법으로 9개의 개발 시나리오를 구성하여 총 18개의 토지이용 변

화에 따른 하천의 수질 모의를 진행하였다. Table 1은 토지의 개발에 따른 유역 내 토지이용 변화 별 시나리오 구성을 나타내고 있다.

즉 하류지역 (downstream area)의 모든 농지 (agricultural area)를 25%의 불투수층을 가진 시가화로 전환 하는 경우의 시나리오는 A25D라는 약자를 사용하였으며 불투수층의 비율에 따라 A50D, A75D의 세 가지 시나리오가 작성된다. 이는 Fig. 3의 첫 번째 그림의 회색으로 보이는 부분을 나타내며 회색의 범례는 Development로서 현재의 농지가 개발지역으로 전환된 것을 보여준다. Development는 가상의 개발 지로서 현재의 시가화 지역인 impervious (적색)와는 구분된다. 이러한 방식으로 하류지역의 산림과 초지의 25, 50, 75% 불투수 개발지로의 전환은 각각 F25D, F50D, F75D, R25D, R50D, R75D의 시나리오로 구성된다. 위 시나리오는 Fig. 3의 Forest to development와 Rangeland to development 그림으로 표현하였다. 같은 방식으로 상류지역 (upstream) 개발 시나리오는 Fig. 4와 같다. 따라서 Table 1에 표현된 대로 총 18개의 시나리오가 생성되었고 개발이 진행되지 않은 현재상태의 시뮬레이션을 포함해 총 19회의 수질모델 모의를 진행하였다.

2.4 수질모델링 적용

HSPF 수질 모델링을 수행하여 현재 상태의 부유 퇴적물 (suspended sediments)을 모의 하였으며 토지이용의 시나리오 별 모델링을 수행하여 결과를 도출 하였다. 수질모델링은 USGS에서 제공하는 미라멕강 측정소 (Meramec River near Eureka, MO station (07019000))의 강우와 유출 및 수질 인자들의 측정 결과를 이용하여 검·보정 하였으며 BASINS 모델 가이드에서 제시하는 유출과 부유퇴적물 기준의 적합에서 매우 좋음 (Fair - Very good)의 범위에 포

Table 1. Land use change scenarios used in this study.

Land use changes	Downstream development scenarios			Upstream development scenarios		
	25% Impervious	50% Impervious	75% Impervious	25% Impervious	50% Impervious	75% Impervious
Agricultural area to developed area	A25D	A50D	A75D	A25U	A50U	A75U
Forest land to developed area	F25D	F50D	F75D	F25U	F50U	F75U
Range land to developed area	R25D	R50D	R75D	R25U	R50U	R75U

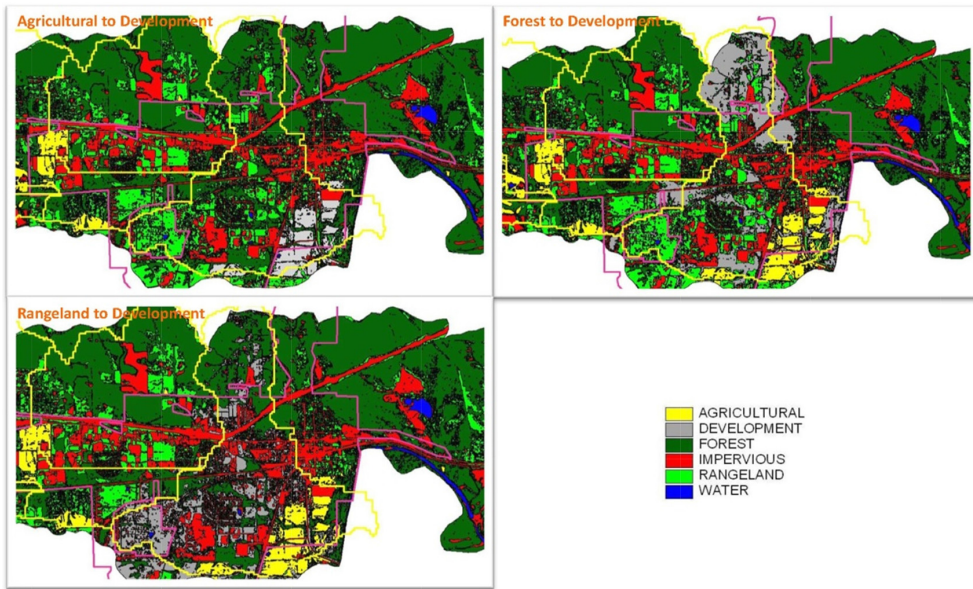


Fig. 3. BASINS land use themes modified to development area (grey area) from agricultural, forest land, and range land in the downstream subwatershed.

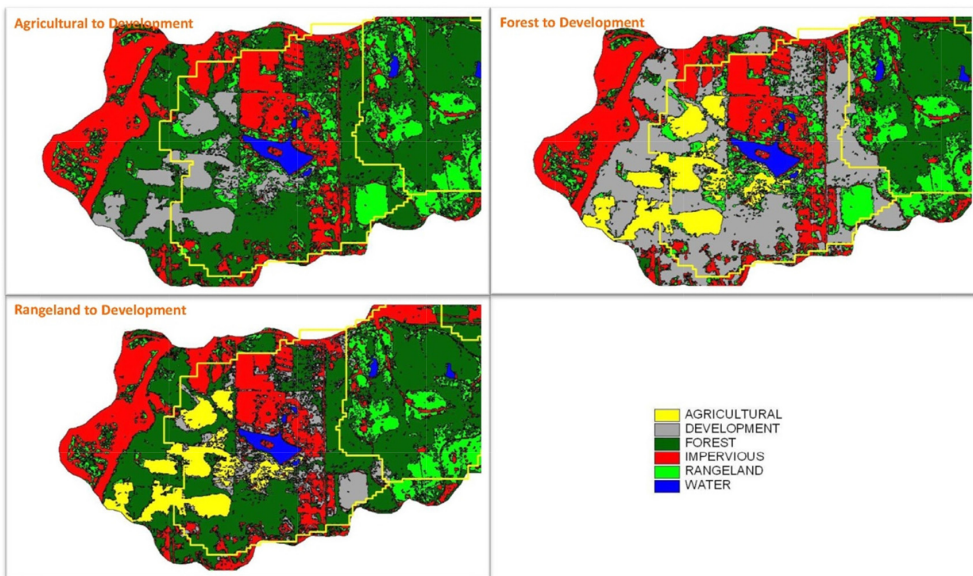


Fig. 4. BASINS land use themes modified to development area (grey area) from agricultural, forest land, and range land in the upstream subwatershed.

함되었다 (Donigian 2002, Shin 2010). 특히 퇴적물의 경우에는 강우 빈도에 따라 결과의 편차가 크게 나타나므로 1987년에서 1994년까지 연도별 평균치와 함께 강우빈도 상위 퍼센트의 결과도 분석하였다. 하천의 유출부에서의 퇴적물 생산량의 단위는

kg/acre change로서 각 토지이용 면적 1 acre의 개발에 따른 퇴적물 증가량으로서 현재 상태의 모의 결과와 각각의 시나리오 모의 결과의 차이를 일간 평균 퇴적물 농도와 일간 평균 유출량을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 토의

수질교환법의 상 하류 간의 교환 단위를 산정하기 위해서는 수질인자의 변화 특성을 잘 살펴야 한다. 특히 대부분의 퇴적물의 경우 강우 초기에 초기유출에 많이 포함되어 있고 강우강도에 따라 측정량의 차이가 극명하다. 따라서 본 연구에서는 8년간의 강우를 분석하여 강우강도 별로 내림차순으로 정리하였고 그에 따라 모의된 퇴적물 생산량을 비교하였다. 이를 각 시나리오의 토지이용 전환 면적으로 나누어 퇴적물 생산량을 비교하였다. Table 2는 시나리오 별 퇴적물 증가량을 나타낸 것으로 평균값과 함께 8년간의 강우 중 강도 최고 5% 이내 일 경우의 퇴적물 증가량을 Top 5% 행에서 보여주었고 있다. Top 10%, 20%, 30% 및 50% 이상의 강도를 가지는 강우 시 생산되는 퇴적물도 Table 2에서 확인 할 수 있다. 또한 극한 강우사상을 제외한 20%에서 80% 사이의 강

우시의 퇴적물 생산량도 함께 제시하였다. 이 표를 통하여 각 시나리오에서 하류지역의 농지, 산림, 초지의 개발로 인해 증가하는 퇴적물의 양을 확인 할 수 있다. 하류지역의 농지, 산림, 초지는 일반 (25%), 고도 (50%), 초고도 (75%)의 세가지 강도의 개발지역으로 전환되면서 강우 시 퇴적물이 급속히 증가하였으며 농지보다는 산림과 초지의 경우 같은 면적당 더 많은 퇴적물이 생산되었다. 이는 농지의 경우 작물의 유무에 따라 또는 경작 기간에 따라 산림과 초지에 비해 좀더 많은 퇴적물이 생성되기 때문으로 유출된다. 상류지역도 비슷한 현상을 보여주었으며 Table 3에서 강우강도에 따른 퇴적물 생산량을 확인할 수 있다. 특히 Table 3의 상류지역 농지, 산림, 초지의 개발에 따른 하류 유출부의 퇴적물 생산량이 Table 2의 하류지역 시나리오 퇴적물 생산량보다 더 많게 계산이 되었는데 이는 상류의 개발이 강우에 따른 유출의 증가를 가져오고 이는 개발 이전보다 더 많은 하천내

Table 2. Average sediment differences (kg/ acre of change) from the current scenario per acre of change from agricultural, forest, or range land to development at the downstream location of the watershed.

Rainfall intensities	Scenarios of land use changes ¹								
	A25D	A50D	A75D	F25D	F50D	F75D	R25D	R50D	R75D
Average	0.44	1.03	1.65	0.64	1.27	1.94	0.65	1.31	2.02
Top 5%	4.46	10.80	17.87	7.43	14.57	22.11	7.67	15.22	23.41
Top 10%	3.24	7.73	12.59	5.01	9.92	15.13	5.15	10.30	15.89
Top 20%	1.97	4.67	7.55	2.95	5.86	8.95	3.02	6.06	9.37
Top 30%	1.41	3.33	5.37	2.09	4.14	6.31	2.13	4.27	6.59
Top 50%	0.87	2.05	3.30	1.28	2.54	3.87	1.31	2.62	4.04
Between 20% and 80%	0.07	0.16	0.25	0.09	0.17	0.26	0.09	0.17	0.25

¹Abbreviation of scenario refers to Table 1.

Table 3. Average sediment differences (kg/ acre of change) from the current scenario per acre of change from agricultural, forest, or range land to development at the upstream location of the watershed.

Rainfall intensities	Scenarios of land use changes ¹								
	A25U	A50U	A75U	F25U	F50U	F75U	R25U	R50U	R75U
Average	0.68	1.51	2.36	0.96	1.80	2.68	1.31	1.82	2.65
Top 5%	5.03	11.10	17.57	8.77	15.00	22.13	15.99	15.52	21.82
Top 10%	4.27	9.46	14.88	6.53	11.78	17.46	10.10	12.04	17.33
Top 20%	2.96	6.56	10.27	4.27	7.86	11.68	6.04	8.03	11.64
Top 30%	2.18	4.82	7.55	3.10	5.75	8.56	4.28	5.85	8.51
Top 50%	1.36	3.01	4.71	1.92	3.58	5.34	2.63	3.64	5.30
Between 20% and 80%	0.15	0.33	0.52	0.19	0.38	0.59	0.18	0.37	0.56

¹Abbreviation of scenario refers to Table 1.

의 거동 (instream effects)을 통해 더 많은 하천 내 침식을 유도한 것으로 예측된다. 이는 유출부에서 더 많은 퇴적물의 생성을 의미하며 이는 같은 면적이려면 상류지역의 개발을 제한하는 것이 하류지역의 개발의 영향을 효과적으로 상쇄하는데 매우 효과적이라는 것을 의미한다. 이러한 결과를 가지고 지역 특화된 수질교환단위를 산정할 수 있다. 상 하류 지역의 지주들에게 토지개발권을 사고 팔 수 있게 수질 교환 단위를 산정하기 위해서는 몇 가지 기본 전제를 가정해야 한다. 우선 적용하게 될 하천이 오염되지 않아야 하고 유역 내 모든 지주에게는 그들의 토지의 일반적인 수준 (25% impervious)까지 개발할 권리를 인정한다는 것이다. 따라서 하류지역의 지주가 좀 더 높은 수준의 개발 (50% - 75% impervious)을 필요로 할 때 증가되는 유출부의 퇴적물에 양에 상응하는 퇴적물을 생산하는 상류지역 면적의 일반적 수준 (25% impervious) 개발권을 구입할 수 있다. Table 4에서는 하류지역의 고도 (Development case I) 및 초고도 (Development case II) 개발에 따른 상류지역의 제한 면적을 제시하였다. 예를 들어 하류지역의 개발자가 농지를 50%의 불투수면을 가진 개발지로 고도 개발 (Development case I: A25D to A50D)하고자 한다면 일반적인 (25% impervious) 개발 시나리오 (A25D)에 비해 0.59 kg/acre 많은 퇴적물 오염을 초래하게 된다. 이에 1 acre의 하류농지의 고도개발에 상응하는 상류지역의 일반 개발 (25% impervious)의 퇴적물 생산 면적은 각각 농지가 0.87 acre, 산림이 0.61 acre, 초지가 0.45 acre 가 된다. 같은 방법으로 하류

농지의 초고도개발 (Development case II: A25D to A75D)의 경우에 증가하는 퇴적물에 상응하는 상류 지역 토지이용 별 면적은 Table 4의 Development case II에 제시하였다.

수질교환법을 적용하기 위해서는 상류와 하류 사이의 경제적 환경적 불평등을 해소하는 방법으로 교환 단위를 산정해야 하며 본 연구에서 제시한 토지이용 별 평균 교환 가능한 면적 이외에도 강우강도 별 퇴적물의 양으로 계산된 면적을 사용함으로써 적용 안정성을 높일 수 있다. 본 연구를 이용한다면 지역 특화된 수질 교환법의 교환 단위를 산정할 수 있게 될 것이며 농지의 개발 이외에도 18개 시나리오 결과를 이용하여 지역 내 토지이용 별 개발 강도 별 계획에 적합한 교환단위를 도출해 낼 수 있다.

4. 결론

2003년 선포된 미국의 수질교환법은 수질기준을 경제적이고 융통성 있게 유지하는 혁신적인 접근방식이다. 이 법안은 유역 내 전 하천구간에서 수질기준을 넘지 않는 조건 하에서 상 하류 간의 점오염과 비점오염원의 배출권의 교환을 허용한다. 수질교환은 도시 개발에 따른 불투수면의 증속, 오일, 도로 쓰레기 등이 포함된 부유유출물이나 농업지역에 포함되는 토양 및 영양염류 등 다양한 수질 인자가 적용 가능하며 이 논문에서는 도시의 개발에 따른 부유탁도의 하천 영향을 대상으로 수질 모의를 진행하였다. 도시개발의 시나리오는 위성사진을 이용한 최근

Table 4. The equivalent acreage of land for the excess sediment generation resulting from two development cases with different intensities for one acre of downstream agricultural area development.

Rainfall intensities	Scenarios of land use changes ¹					
	Development case I (A25D to A50D)			Development case II (A25D to A75D)		
	A25U	F25U	R25U	A25U	F25U	R25U
Average	0.87	0.61	0.45	1.78	1.26	0.92
Top 5%	1.26	0.72	0.40	2.67	1.53	0.84
Top 10%	1.05	0.69	0.44	2.19	1.43	0.93
Top 20%	0.91	0.63	0.45	1.89	1.31	0.92
Top 30%	0.88	0.62	0.45	1.82	1.28	0.93
Top 50%	0.87	0.61	0.45	1.79	1.27	0.92
Between 20% and 80%	0.60	0.47	0.50	1.20	0.95	1.00

¹Abbreviation of scenario refers to Table 1.

의 토지이용을 기본으로 하여 각 토지이용의 개발을 일반적, 고도, 초고도 개발로 세분화 하여 제시하였으며 상류지역의 개발 9개와 하류지역의 개발 9개 등 총 18개의 시나리오를 작성하여 각각의 경우에 따른 하천의 수질변화를 제시하였다. 이를 통하여 동일 면적 당 개발 강도에 따른 하천의 퇴적물 변화량을 확인 할 수 있었으며 이를 강우강도 별로 표시하여 지역 특화된 개발 이후 하천 영향을 일목요연하게 보여주었다. 도시개발로 인한 하천 영향을 계산한 표를 통해 상 하류 간의 토지이용 별 개발 시나리오 적용 시 교환이 가능한 단위를 산정할 수 있다. 즉 하류지역의 농지를 도시로 고도개발을 할 경우 그 증가분을 상류지역의 농지의 일반적인 개발권리에 해당하는 교환단위만큼 구입하여 상류의 개발을 제한하고 하류지역의 고도개발을 허가하는 방식으로 정책을 적용할 수 있다. 향후 영양염류 등의 수질 인자를 적용하고 데이터베이스화한다면 지역 정책결정자와 이해관계자들에게 효율적인 정책 결정 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2015년 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (NRF-2015R1D1A1A01057865).

References

- Aslan, A. 2009. Development and Application of Vegetative Buffer Width Modeling Using Geographic Information Systems. University of Missouri, Columbia, Missouri, USA.
- Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle Jr., J.L., Jobes, T.H. and Donigan Jr., A.S. 2001. Hydrological Simulation Program - Fortran Version 12 User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, Georgia, USA.
- Donigan, A.S. 2002. Watershed model calibration and validation: The HSPF experience. Proceedings of the Water Environment Federation 8: 44-73.
- MCDED. 2010. Farmland Preservation in Montgomery County: Purchase of Development Rights Programs. Montgomery County Department of Economic Development, Derwood, Maryland, USA.
- Shin, Y.-S. 2010. Development of Implementation Methods of Water Quality Trading Policy: Using the Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF). Ph.D. Dissertation, University of Missouri, Columbia, Missouri, USA.
- USEPA. 2001. Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources 3.0 Users' Manual. EPA-823-B-01-001. U.S. Environmental Protection Agency Office of Water, Washington, D.C., USA.
- USEPA. 2003. Water Quality Trading. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- USEPA. 2004a. Protecting Water Resources with Smart Growth. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- USEPA. 2004b. Water Quality Trading Assessment Handbook. EPA-841-B-04-001, U.S. Environmental Protection Agency Office of Water, Washington, D.C., USA.