

기후변화가 평창강 금강모치의 생태서식 환경에 미치는 영향 평가

김수전* · 노희성** · 홍승진** · 곽재원** · 김형수**[†]

* Columbia University, Columbia Water Center

** 인하대학교 토목공학과

Impact of Climate Change on Habitat of the Rhynchocypris Kumgangensis in Pyungchang River

Kim, Soojun* · Noh, Hui Seong** · Hong, Seung Jin** · Kwak, Jae Won** · Kim, Hung Soo**[†]

* Columbia Water Center, Columbia University

** Department of Civil Engineering, Inha university

요약

본 연구에서는 기후변화가 수생태의 서식환경 변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 환경부에서 제시한 대표 기후변화 지표종 중에서 금강모치를 선정하고 금강모치에 대한 생태서식 특성과 서식 제한조건을 조사하였다. 그리고 기후변화 시나리오를 수질모의가 가능한 SWAT 모형에 적용하여 평창강 상류를 대상으로 미래 유량과 수질을 모의하였다. 대상 하천에 대한 분석 결과 미래의 유량, BOD, 수온의 증가와 DO의 감소 특성을 확인할 수 있었다. 수생태 서식 적합성 검토를 위해 대표어종인 금강모치에 대한 생태서식 환경의 제한 조건을 산란기인 4월과 5월의 수질로 설정하였다. 미래 수질 분석에 대한 평가 결과, BOD와 DO는 1급수 수준으로 양호한 것으로 나타났기 때문에 수온에 대한 제한 조건을 통하여 금강모치의 서식이 가능한 공간을 구분하였다. 그 결과, 대상하천 구간내에서 현재 약 50~60% 정도가 금강모치의 생태 서식이 가능한 구간인 것으로 분석되었지만 미래로 진행될수록 서식처가 점차 감소하는 것으로 나타났으며 장기적으로는 극히 일부구간에서만 서식 가능한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 기후변화, 생태서식지, 금강모치, SWAT 모형

Abstract

This study tried to analyze the impact of climate change on ecological habitat. In this regard, the Rhynchocypris Kumgangensis was selected among the CBIS(Climate-sensitive Biologocal Indicator Species) suggested by the Ministry of Environment. And ecological habitat and restrictive conditions for its survival was surveyed. Future runoff and water quality in the upstream of Pyungchang river were simulated by applying climate change scenarios to SWAT model which is able to simulate water quality. The estimated results explained characteristics on the increase of runoff, BOD, and water temperature and the decrease of DO in the future. The restrictive condition on ecological habitat of the Rhynchocypris Kumgangensis was used water quality during the April to May spawning season since BOD and DO were satisfactory as the first grade of water criteria in the estimated result of future water quality. As a result, it was analyzed that habitat of the Rhynchocypris Kumgangensis in the present was possible about 50~60% of the river. But the habitat would be decreased gradually in the future and would be possible in a very small part of the river in the long term.

Keywords : Climate Change, Habitat, Rhynchocypris Kumgangensis, Soil and Water Assessment Tool

1. 서 론

기후변화는 수자원의 시·공간적 분포 특성을 변화시킴으로써 가뭄과 홍수와 같은 자연재해를 발생 또는 가중시킨다. 그리고 비단 인간의 생활뿐만 아니라 생태계 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있고 생태계 서식환경의 변화로 인하여 고유종이 멸종되는 결과를 초래하기도 한

다. 따라서 우리는 인간보다 기후변화와 같은 외부적인 요인에 더욱 민감한 생태계에 대한 연구를 통하여 기후변화가 우리에게 미치는 영향을 간접적으로 평가할 수 있다.

하천 생태계에서 어류를 포함한 모든 동식물들은 생존과 번식을 위해 일정한 조건의 서식처 환경이 필요하다. 하지만 하천 생태계는 유량변화 또는 수질변화와

+ Corresponding author : Hung Soo Kim, sookim@inha.ac.kr

같은 환경조건의 변화로 인하여 크게 위협을 받고 있다. 이에 따라 이러한 환경변화를 고려하여 생태계 서식환경을 평가하고 유지하고자하는 노력이 최근 많이 진행되어 왔다. 우리나라에서는 한국수자원공사(Korea Water Resources Corporation, 1995)가 최초로 하천유지유량에 대한 하천 생태계 개념을 도입하여 담수성 어류 서식처 제공 및 이동에 필요한 유량을 산정한 바가 있다. 이후, 하천 유지유량과 관련하여 많은 연구(Woo et al., 1998; Sung et al., 2005; Lee et al., 2006; Park et al., 2008; Park et al., 2009)에서 유량변화가 어류서식처 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 그러나, 이 연구들은 과거에서 현재까지의 유량의 변화와 유량변화에 따른 하천내의 수리특성을 어류의 서식처에 적용하고 있으며 기후변화를 고려하여 어류의 생태서식환경의 변화에 대한 연구는 아직 이루어지지 않았다.

기후변화 연구는 지금까지 기후변화에 따른 수문 특성의 변화 부분(Jha et al. 2003, 2004; Andersson, 2006; Kim et al., 2007; Purkey et al., 2008; Mishra et al., 2010; Kyung et al. 2011; Park et al., 2010; Kim et al., 2010; Kang et al., 2011)에 초점이 맞추어져 있었다. 그 첫 번째 이유는 기후변화 연구의 방법론과 절차가 복잡하기 때문이고, 다른 이유는 기후변화 → 기상변화(강수, 온도, 습도 등 수문특성 변화) → 유출변화 → 수질 및 수리특성 변화 → 생태변화로 이어지는 유출분석 이후의 분석과정이 필요할 뿐만 아니라 예측 결과의 불확실성 때문이다. 하지만 기후변화가 명백한 사실(IPCC, 2007)로 받아들여지고 있는 상황에서 기후변화 예측 결과의 불확실성의 한계에 얹매여 기후변화를 수자원 계획 및 정책에 반영하지 않는 오류를 범해서는 안 된다. 따라서 수자원 분야에 있어 기후변화의 영향을 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 마련함과 동시에 기존 방법의 개선을 위한 노력이 수행되어야 한다.

이에 본 연구에서는, 기후변화가 유역의 수생태 변화에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석을 위하여 기후변화에 민감한 생물종을 지표로 생태서식 환경변화를 분석하였다. 이를 위하여 환경부 국립생물자원관에서 발표한 기후변화 생물지표종 중 수생태 변화에 민감한 지표종으로 어류를 선정하고, 대표어종에 대한 생태특성을 파악하였다. 그리고 미래 기후변화 시나리오 및 장기유출모의를 통하여 유량과 온도변화 예측함으로써 기후변화에 따른 생태환경 변화를 분석하고자 하였다.

2. 기본이론 및 방법론

2.1 기후변화 시나리오 및 기후 모형 선정

일반적으로 SRES라고 불리는 시나리오는 IPCC 3차보고서와 함께 Special Report on Emission Scenario로 발표

되었으며, 크게 A1, A2, B1, B2의 Storyline이 있다. 그리고 2007년 4차보고서에서 A1 시나리오는 다시 향후 인류가 어떤 연료를 주로 사용하느냐에 따라 A1FI(주로 화석연료사용), A1T(주로 비화석연료사용), A1B(향후 에너지 자원을 고려한 연료사용)시나리오로 나뉜다. 본 연구에서는 기후변화에 따른 한반도 강수의 변화를 예측하기 위한 사회경제적 시나리오로 SRES A1B 시나리오를 선정하였다. 이는 전 세계가 현재의 에너지 자원의 효율을 극대화하고 대체 에너지를 찾기 위해 상당한 노력을 기울이고 있는 상황이라고 판단했기 때문이다. 특히 Kwon et al.(2007)에서 A1B 시나리오를 현실에 가장 부합되는 시나리오로 분류하고 있다.

IPCC는 Data Distribution Center(DDC)를 통하여 전세계 12개국에서 개발한 24개 Global Climate Model의 모의 자료를 제공하고 있다. 이를 이용하여 Kyoung(2010)은 DDC의 GCM 모형 중 한반도를 육지로 모의하고 있는 BCM2, CNCM3, FGOLS, MIHR 모형을 우선적으로 1차 선정하여 국내 적용성을 검토하였으며 최종적으로 국내에 가장 적합한 모형을 CNCM3 모형으로 제시한 바 있다. 이에 본 연구에서도 Kyoung(2010)의 연구결과를 참고하여 CNCM3 모형을 채택하였다.

2.2 장기 강우-유출모형의 선정

기후변화로 인한 수자원의 영향을 분석하는 방법으로 대부분의 연구에서는 기후모형에서 생산되는 기후자료를 수문모형에 입력하여 수자원의 영향을 평가하는 방법을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 장기유출 모형의 특성, 국내에서의 활용 정도, 본 연구에서 요구되는 변수의 제공 여부를 종합적으로 고려하였다. 그 결과 국내에서 가장 많이 활용되고 있으며 주요 입력값의 생성이 용이 할 뿐만 아니라 안정적으로 모의가 가능한 SWAT 모형을 선정하여 적용하였다. 또한 SWAT 모형은 유출량 뿐만 아니라 수질을 함께 모의할 수 있어 본 논문에서 평가하고자 하는 생태환경 변화 부분에 대하여 수질 인자에 대한 출력을 제공하기 때문에 최종적으로 SWAT 모형을 채택하였다.

기후변화에 의하여 가장 민감하게 작용하는 수온에 대한 국내 적용을 위하여 기존 SWAT 모형에서 적용하고 있는 수온 계산식을 재검토 하였다. SWAT 모형에서 수온은 Stefan and Preud' homme(1993)에 의해 개발된 식(1)에 의해 계산되어진다. 즉, 수온은 기온의 합수라고 할 수 있다. Kim and Kim(2010)는 SWAT 모형을 우리나라에 적용하기 위한 연구의 일환으로 기온과 수온과의 관계에 대하여 한강유역에 대한 33개 소유역에 대한 회귀식을 식(2)와 같이 제시하였다. 본 연구에서는 Kim and Kim(2010)가 제시한 회귀식을 이용하여 SWAT의 Source Code를 수정 후 적용하였다.

$$T_{water} = 5.0 + 0.7 \overline{T_{av}} \quad (1)$$

$$T_{water} = 4.861 + 0.816 \overline{T_{av}} \quad (2)$$

여기에서, T_{water} : 수온(°C), $\overline{T_{av}}$: 해당 일의 평균 기온

2.3 대표어종의 선정 및 특성

환경부 국립생물자원관 (Ministry of environment and National institute of biological resources, 2010)은 ‘국가 기후변화 생물지표 100종’을 선정해 발표하였다. 기후변화 생물지표는 기후변화로 인해 계절활동, 분포지역 및 개체군 크기 변화가 뚜렷하거나 뚜렷할 것으로 예상되는 생물종을 평가한 자료이다. 이 중에서 수생태에 가장 민감하다고 판단되는 어류는 2종(금강모치, 연준모치)이 있다. 두 종 중에서 생태특성에 대한 연구성과가 비교적 풍부하다고 판단되는 금강모치(*Rhynchocypris Kumgangensis*)를 대표어종을 선정하였다.

금강모치는 한국고유종으로 서식지는 연중 수온이 낮으며 용존산소가 풍부한 산간계곡에 주로 서식하는 것으로 알려져 있으며 대동강, 압록강, 한강 최상류, 금강 상류인 무주 구천동계곡, 경상북도 봉화군 춘양면 우구치리 박달계곡 및 충청북도 단양군 영춘면 소백산계곡 등에도 제한적으로 서식하는 것으로 알려져 있다. 산란기는 4월 초부터 5월 중순 경으로, 이때의 수온은 11-14 °C, 유속은 20-80 cm/s, 수심은 5-70 cm 자갈의 입경은 5-15 cm, BOD는 0.59-0.64 mg/L, DO는 11.54-10.75 mg/L 이다.

3. 적용 및 모의 결과

3.1 대상유역

본 논문에서 대표어종으로 선정한 금강모치의 경우 우리나라에 제한적으로 분포하며 한강에는 최상류 1급 수지역에 분포하고 있다. 따라서, 한강의 최상류라고 할 수 있는 평창강 유역의 상류(수자원단위지도의 표준유역 100201, 100202) 유역을 대상으로 대표어종인 금강모치

의 생태서식 환경 변화를 분석하였다(Fig. 1 참고). 대상 유역은 면적이 약 669.67 km²로 행정구역상 강원도 평창군 용평면, 봉평면, 대화면을 포함하고 있으며 고도가 최소 380.0 m, 최대 1,540.0 m, 평균 778.8 m로 우리나라 태배산맥의 줄기에 위치하고 있어 전형적인 산지유역이라고 할 수 있다.

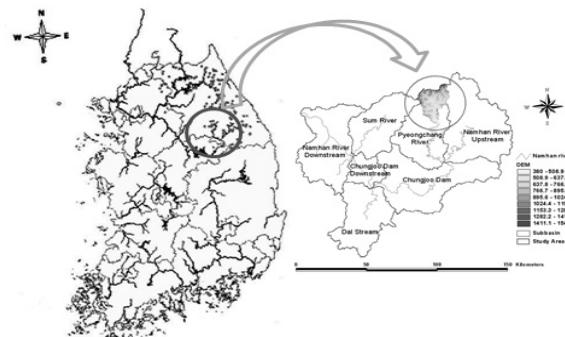


Fig. 1. The location of study area (the upstream of Pyungchang river)

3.2 신경망을 이용한 축소기법 적용

인간의 뇌를 구성하는 신경세포로서 뉴런의 신경전달 방법을 모형화 한 신경망은 입력변수와 출력변수 사이의 비선형 관계를 고려할 수 있는 경험적 패턴인식 기법이다. 신경망은 그 특유의 적용성으로 인하여 다양한 분야(Bishop, 2000; Picton, 2000)에서 활용되고 있으며, 특히 기후과학과 관련한 분야(Hsieh, 2009; Haupt et al., 2009)에서도 활용성이 인정되고 있다. 본 연구에서는 GCM 자료에 축소기법을 적용하기 위하여 Fig. 2와 같이 신경망 모형을 구성하였다. 여기에서 학습을 위한 입력 자료는 National Centers of Environmental Prediction (NCEP)의 4개 자료(평균온도, 비습도, 풍속, 기압)이며 예측을 위한 입력자료로는 NCEP와 동일한 변수인 GCM의 미래 예측 자료(평균온도, 비습도, 풍속, 기압)를 활용하였으며 Table 1과 같이 남한강 유역내에 6개의 기상관 축소 지점에 대하여 6개의 출력자료(최고온도, 최저온도, 강수량, 상대습도, 풍속, 일사량)를 생성하였다.

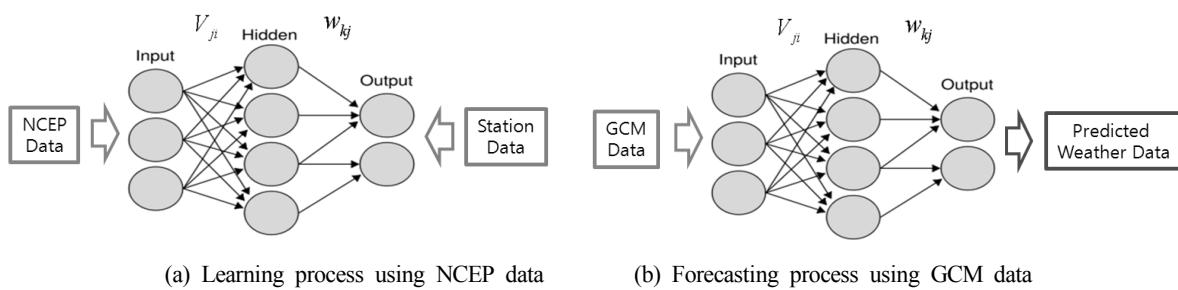


Fig. 2. Downscaling technique using ANN

Table 1. The geographical informations by each weather station

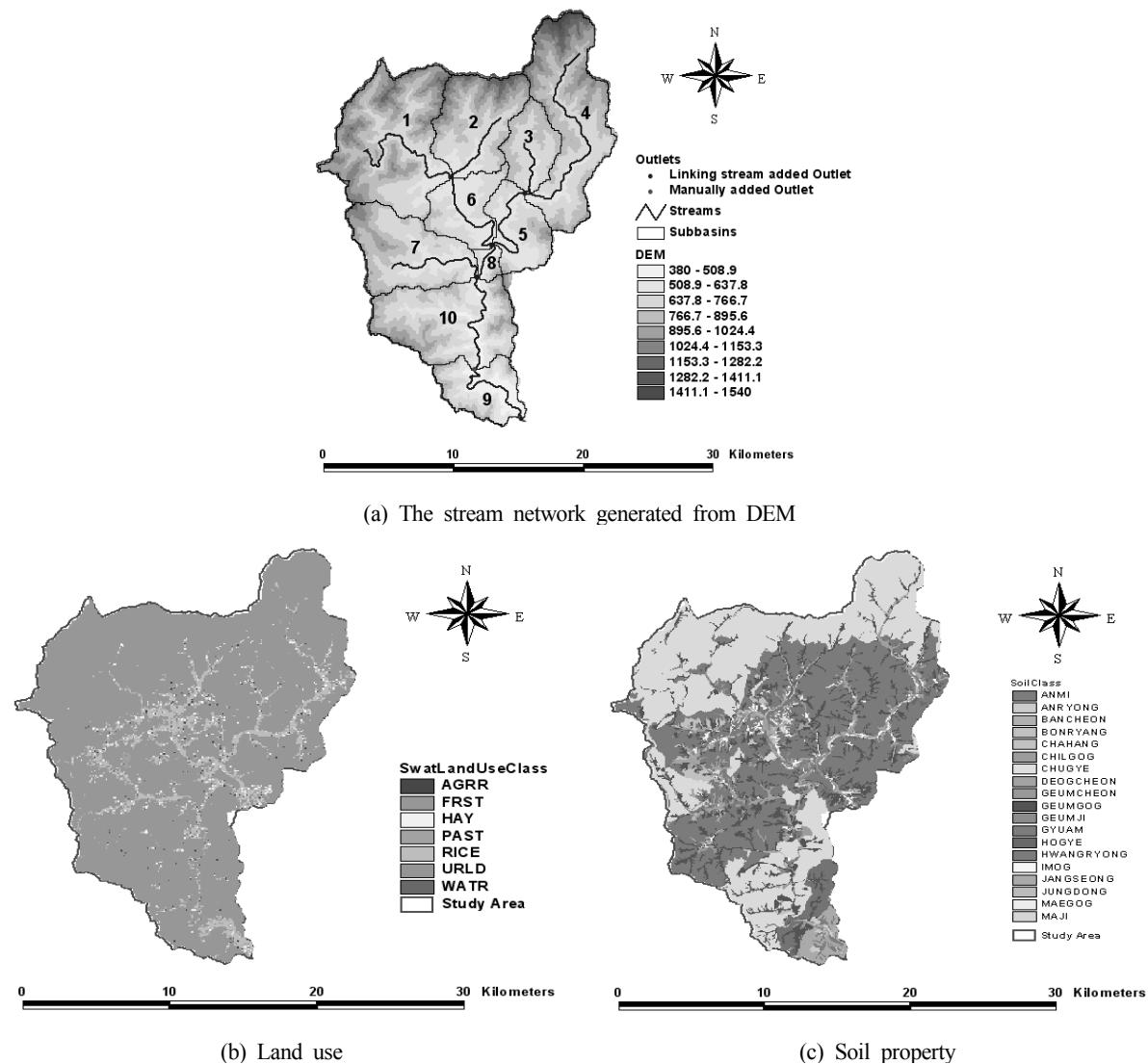
Code	Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Elevation (m)
100	Daegoanrungr	37.68	128.82	772.4
114	Wonju	37.34	127.95	150.7
127	Chungju	36.97	127.95	113.7
202	Yangpyeong	37.49	127.49	47.4
203	Icheon	37.26	127.48	90
221	Jecheon	37.16	128.19	263.1

3.3 SWAT 모형의 구축 및 적용

(1) 모형의 구축과 보정 및 검증

대상유역에 대한 유출 및 수질 모의를 위하여 Fig. 3

과 같이 SWAT 모형을 구축하였다. 유역내 실제 하천이 잘 재현 될 수 있도록 DEM의 해상도를 30m × 30m로 설정하여 적용하였다.



대상유역 내에는 상안미 수위관측소 및 평창1 수질관측소가 위치하고 있다. 따라서 대표어종의 생태서식 환경에 영향을 미친다고 판단되는 유량과 수질지표인 BOD, DO, 수온을 SWAT 모형의 결과와 비교하였다. 모형의 보정을 위한 모의 기간은 2001~2005년(5개년)이며, 2006~2007년(2개년) 동안의 일유출량 자료를 이용하여 모형의 검증을 수행하였다. 일 유출량을 이용하여 상안

미 관측소 지점을 대상으로 유량을 보정하고 검증한 결과는 Fig. 4와 같다. Table 2와 같이 유량 및 수질지표에 대하여 상관계수(CC), 결정계수(R2), 모형효율성계수(ME), 평균제곱근오차(RMSE), PEV(Percent Explained Variance)를 이용하여 통계량을 분석한 결과 모형이 유의한 결과를 보여주는 것으로 판단되었다.

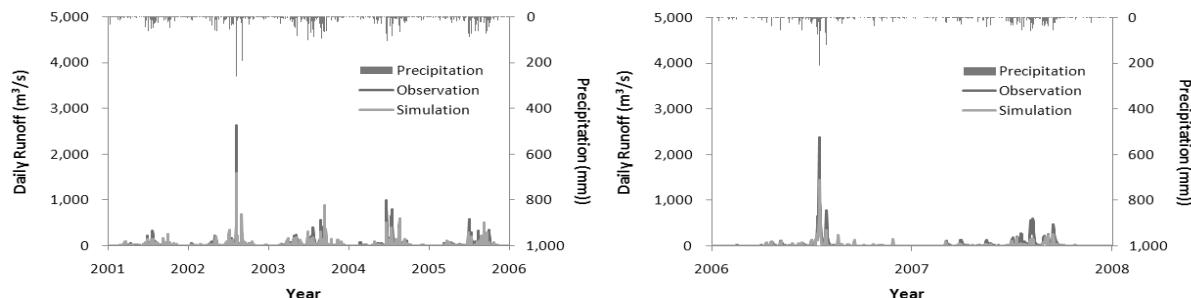


Fig. 4. Calibration(Left) and validation(Right) for runoff

Table 2. The statistic of calibration and validation result

	Runoff		BOD		DO		Water Temp.	
	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.
CC	0.76	0.75	0.66	0.61	0.67	0.61	0.95	0.93
R ²	0.58	0.56	0.44	0.38	0.45	0.38	0.90	0.87
ME	0.57	0.49	0.43	0.35	0.42	0.29	0.87	0.84
RMSE	63.38	94.24	0.23	0.15	1.75	1.56	3.01	1.94
PEV	0.50	0.71	0.58	0.41	0.34	0.22	0.25	0.20

(2) 유량 및 수질 모의 결과

미래기간에 대한 모의 결과, 전반적으로 Fig. 5과 같이 대상유역 내 유출량은 증가, BOD 증가, DO, 감소, 수온 증가하는 추세에 있는 것으로 나타났다. Table 3과 같이 목표기간별(현재 1983-2008, 단기 2011-2040, 중기 2041-2070, 장기 2071-2100)로 검토한 결과 미래에 BOD

가 증가하고 DO가 감소하는 추세에 있는 것은 강수량의 증가에 의한 토양유실량의 증가와 기온상승에 의한 수온의 증가가 영향을 주는 것으로 판단되었다. 하지만 BOD의 경우 평균적으로 1 mg/L 이하, DO의 경우 평균적으로 7.5 mg/L 이상으로 우리나라 수질기준인 1급수 기준을 만족하여 양호한 수질을 유지하는 것으로 나타났다.

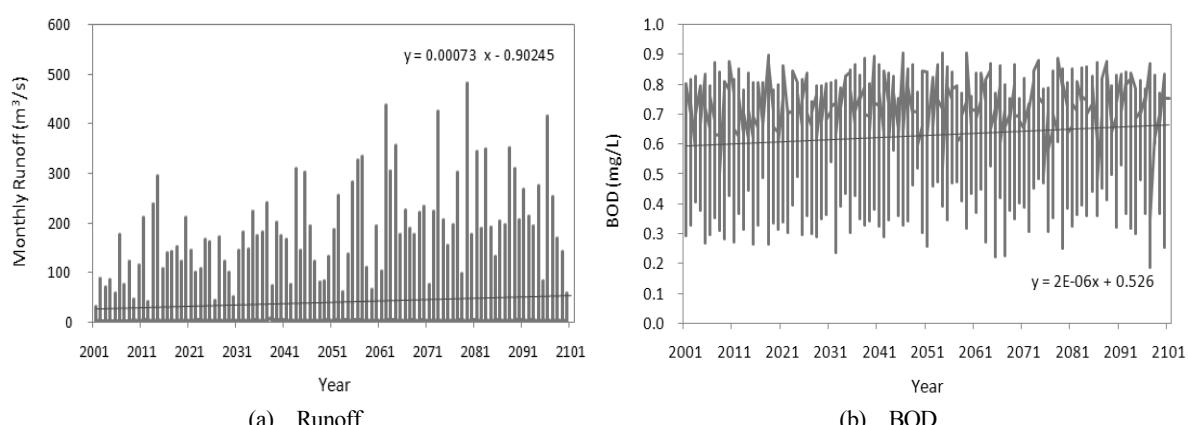


Fig. 5. The simulated runoff and water quality for the future

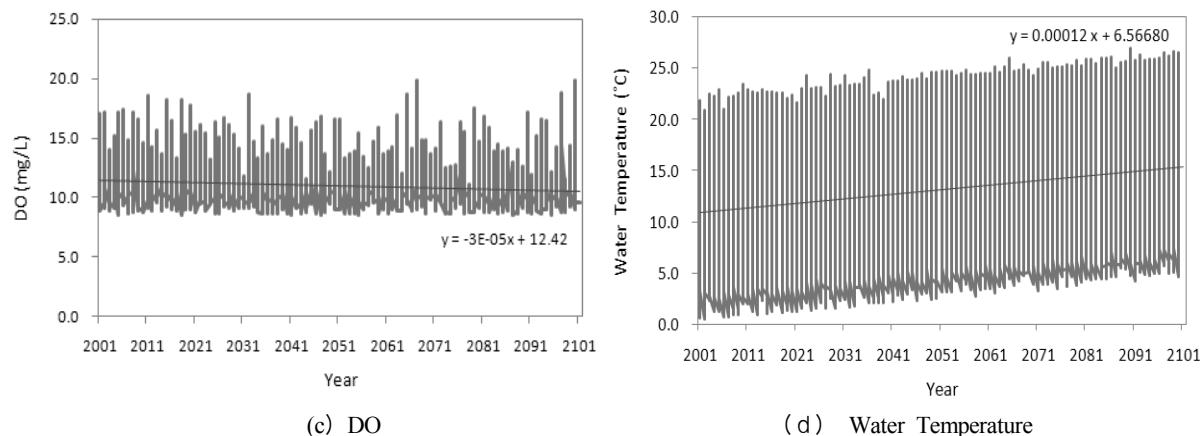


Fig. 5. The simulated runoff and water quality for the future (continued)

Table 3. The simulated runoff and water quality by target period

	1983-2008yr	2011-2040yr	2041-2070yr	2071-2100yr
Monthly Runoff (m ³ /s)	19.0	35.1	43.0	44.9
BOD (mg/L)	0.59	0.61	0.64	0.64
DO (mg/L)	11.54	11.28	10.92	10.75
Water Temperature (°C)	11.14	12.04	13.38	14.02

3.4 생태서식 환경 변화 분석

앞서 분석한 유량 및 수질 모의 결과를 바탕으로 미래 금강모치의 생태서식 환경의 변화를 검토하고자 하였다. Table 4에서 확인할 수 있듯이 금강모치는 BOD가 낮고 용존 산소가 풍부하며 수온이 낮은 맑은 물에 서식하는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 금강모치의 생태서식 조건을 이용하여 미래 대상유역에서 금강모치의 생태서식처의 변화 정도를 분석할 수 있다.

금강모치의 경우 20°C 이상, 최대 28°C에서도 서식할 수 있는 것으로 조사되었지만, 산란기(4월~5월)의 수온은 약 11°C~14°C로 상당히 낮은 온도에서 산란을 한다 (Baek, 2002). 따라서 금강모치의 서식 제한 요건을 산란기의 온도로 설정하여 분석하였다. 기타 수질 요건인

BOD와 DO의 경우 미래 모의 결과(Table 3)에서 상당히 양호(BOD 0.59~0.64, DO 11.54~10.75)한 것으로 분석되었기 때문에 금강모치의 서식 제한 요건에서 제외하여 분석하였다.

SWAT 모형을 이용하여 미래 수질 모의를 실시한 결과 중 수질관측소 지점인 평창강1 지점에 대한 4월과 5월의 수온을 Fig. 6과 같이 추출하였다. 그리고 이 지점을 기준으로 Kim and Kim(2010)의 수온 회귀식에 적용하여 100m 당 수온이 약 0.53°C 감소하도록 설정하여 30m 그리드로 구분한 하천구간에 대한 수온을 Fig. 7과 같이 재작성 하였다. Fig. 7은 현재기간(1983-2008년 평균)에 대한 하천구간의 고도별 수온을 나타내고 있으며 고도가 높을수록 수온이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

Table 4. The range of habitat conditions of the *Rhynchocypris Kumgangensis* (NIER, 2006)

	Average	Deviation	Minimum	Maximum
BOD(mg/L)	0.64	0.19	0.3	1.4
DO(mg/L)	10.44	2.1	7.2	16.9
Water Temp.(°C)	12.8	8.4	0	28

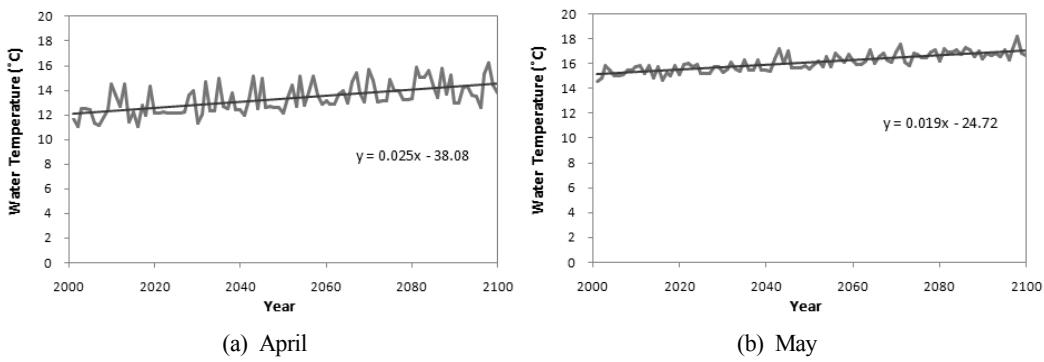


Fig. 6. The simulated water temperature at Pyungchang1 station on Pyungchang river from April to May

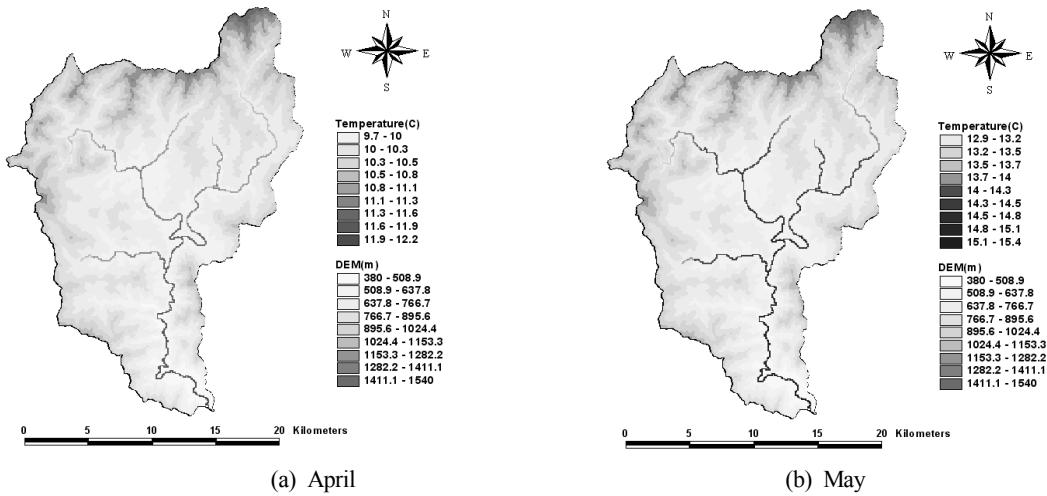


Fig. 7. The variation of annual averaged water temperature for reference period (1983-2008)

대상 하천구간 내에 금강모치의 서식환경 만족여부를 구분하기 위하여 4월과 5월의 온도가 약 11~14°C 이내가 되면 금강모치의 산란요건, 즉 서식요건을 만족하는 것으로 분석하였다. 따라서 평창강 상류하천에 대하여 목표기간별로 분석을 수행하여 생태 서식 환경의 만족과 불만족을 Fig. 8과 같이 구분하여 표시하였다. 이의 결과를 종합하여 금강모치의 생태 서식처를 목표기간별

로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 현재의 경우 약 58.7% 정도가 금강모치의 생태 서식 가능 구간인 것으로 분석되었지만 미래로 진행될수록 서식처가 점차 감소하는 것으로 나타났으며 목표기간 2071-2100년에는 금강모치가 극히 일부구간(0.2%)에서만 서식 가능한 것으로 분석되었다.

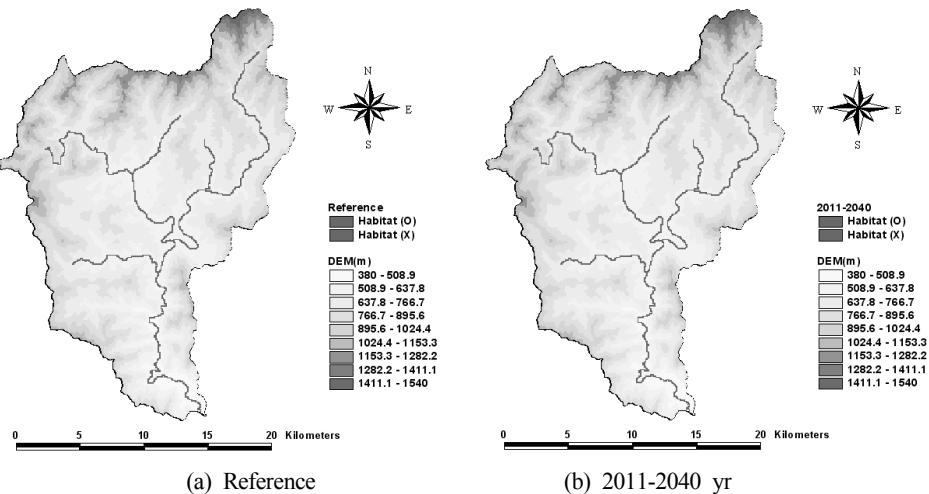


Fig. 8. The location of habitat change for the Rhynchocypris Kumgangensis by each target period

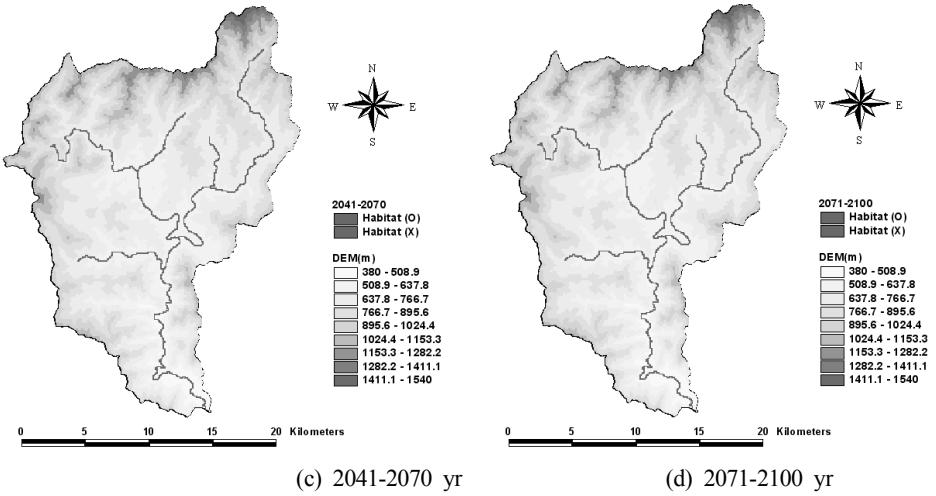


Fig. 8. The location of habitat change for the *Rhynchoscypris Kumgangensis* by each target period (continued)

Table 5. The length and portion of habitat change for the *Rhynchocypris Kumgangensis*

	Stream Length	Target Periods			
		1983-2008yr	2011-2040yr	2041-2070yr	2071-2100yr
Length (m)	115,000	67,500	43,600	8,100	200
Portion (%)	100	58.7	37.9	7.0	0.2

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 기후변화가 수생태의 서식환경 변화에 미치는 영향을 분석하고자 기후변화 시나리오를 SWAT 모형에 적용하여 미래 유량과 수질을 모의하고 유량 변화와 수질 변화에 따른 생태 서식공간의 변화를 분석하였다. 이를 위하여 환경부에서 제시한 기후변화 생물지표종 중 어류(금강모치)를 선정하고, 금강모치에 대한 생태특성과 서식 제한요인을 조사하였다. 미래 기후변화 모의(SWAT)를 통하여 유량과 수질변화를 예측함으로써 기후변화에 따른 생태환경 변화를 분석하였다. 분석 결과 미래에 유량의 증가, BOD의 증가, DO의 감소, 수온의 증가 특성을 확인할 수 있었다. 금강모치의 경우 산란기인 4월과 5월의 수질에 가장 큰 영향을 받는다고 판단하여 생태서식 환경에 대한 제한 조건으로 산란기의 수질을 설정하였다. 미래 수질 분석에 대한 평가 결과 BOD와 DO는 1급수 수준으로 양호한 것으로 나타났기 때문에 수온을 제한 조건으로 생태 서식 공간을 구분하였다. 분석결과 대상하천 구간 내에서 현재의 경우 약 50~60% 정도가 금강모치의 생태 서식 가능 구간인 것으로 분석되었지만 미래로 진행될수록 서식처가 점차 감소하는 것으로 나타났으며 장기적으로는 극히 일부구간(0.2%)에서만 서식 가능한 것으로 분석되었다.

위와 같이 본 연구에서는 기후변화가 생태계에 미치

는 영향을 검토하고자 기후변화의 영향에 의한 수문특성 및 수질특성의 변화를 통하여 생태계 서식환경의 변화를 검토하였다. 향후 본 연구에 추가적으로, 수리특성의 변화와 관련한 연구가 수행된다면 보다 정량적인 분석이 가능할 것으로 판단된다. 이와 같은 방법론이 정립된다면 생태분야의 기후변화 연구에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No.2011-0028564)

참고문헌

- Andersson L., Wilk J., Todd M.C., Hughes D.A., Earle A., Kniveton D., Layberry R., and Savenije H.G. (2006). Impact of climate change and development scenarios on flow patterns in the Okavango River. Journal of Hydrology. 331, pp. 43-57.

Baek H.M. (2002). Prey selectivity and habitat segregation of *R. kumgangensis* and *P. phoxinus* at the Dongdae stream. Kangwon national university, Master's thesis.

- Bishop, C. (2000). Neural Networks for Pattern Recognition, Clarendon Press, UK.
- Haupt S., Pasini A., and Marzban C. (2009). Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences, Springer.
- Hsieh W., (2009). Machine learning methods in the environmental sciences, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007). Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jha M., Arnold J.G., Gassman P.W., and Gu R. (2004). Climate change sensitivity assessment on upper Mississippi river basin streamflows using SWAT. Working Paper 04-WP 353, Center for Agricultural and Rural Development Iowa State University.
- Jha M., Pan Z., Takle E.S., and Gu R. (2003). The impacts of climate change on stream flow in the upper Mississippi river basin: A regional climate model perspective. *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Kang N.R., Kim S.J., Lee K.H., Kim D.G., Kwak J.W., Noh H.S., and Kim H.S., (2011). Impact of Climate Change on An Urban Drainage System, *Journal of Korean Wetlands Society*, 13(2), pp. 623-631.
- Kim B.S., Kim H.S., Seoh B.H., and Kim N.W. (2007). Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(4), pp. 355-373.
- Kim N.W. and Kim J.T. (2010). Modification of stream water temperature calculation equation of SWAT for the Han rive Korea using regression analysis, 2010 International SWAT Congerence.
- Kim, S.J., Kim, B.S., Jun, H.D., and Kim, H.S. (2010). The evaluation of climate change impacts on the water scarcity of the Han river basin in south Korea using high resolution RCM data, *Journal of Korea Water Resources Association*, 43(3), pp. 295-308.
- Korea Water Resources Corporation (1995). Development of a Method for Determining the Instream Flow and Its Application, IPD-95-2.
- Kwon Y.A., Kwon W.T., Boo K.O., and Choi Y.E. (2007). Future Projections on Subtropical Climate Regions over South Korea Using SRES A1B Data, *The Korean Geographical Society*, 42(3), pp. 355~367.
- Kyoung M.S. (2010). Assessment of Climate Change Effect on Standardized Precipitation Index and Frequency-Based Precipitation, Doctoral Dissertation, Inha University.
- Kyoung M.S. , Kim H.S., Sivakumar B., Singh, V.P., and Ahn T.J. (2011). Dynamic characteristics of monthly rainfall in the Korean Peninsular under climate change, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), pp. 613-625.
- Lee J.H., Jeong S.M. Lee M.H. and Lee Y.S. (2006). Estimation of Instream Flow for Fish Habitat using Instream Flow Incremental Methodology(IFIM) for Major Tributaries in Han River Basin, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 26(2B), pp. 153-160.
- Ministry of environment and National institute of biological resources (2010). Climate-sensitive Biological Indicator Species.
- Mishra V., Keith A. Cherkauer, Dev Niyogi, Ming Lei, Bryan C. Pijanowski, Deepak K. Ray, Laura C. Bowling, and Guoxiang Yang (2010). A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Midwest United States, *International Journal of Climatology*, 30(13), pp. 2025–2044.
- Park B.J., Kang K.H. and Jung K.S. (2008). Hydrologic Regime Alteration Analysis of the Multi-Purpose Dam by Indicators of Hydrologic Alterations, *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(7), pp. 711-723.
- Park G.A., Ahn S.R., Park M.J. and Kim S.J. (2010). Assessment of the Contribution of Weather, Vegetation and Land Use Change for Agricultural Reservoir and Stream Watershed using the SLURP model (II)? Calibration, Validation and Application of the Model, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 30(2B), pp. 121-135.
- Park S., Kim J. and Ko I.H. (2009). Evaluation of Eco-Hydrological Changes in the Geum River Considering Dam Operations : II. Hydraulic Fish Habitat Condition Analysis, *Journal of Korea Water Resources Association*, 42(5), pp. 407-414.
- Pictor P. (2000). Neural Networks, 2nd Edn., Palgrave, Basingstoke, UK.
- Purkey D.R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates, D., and Dracup, J.A. (2008). Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change* 87 (Suppl 1) : S109–S122.
- Stefan H.G. and E.B. Preud'homme (1993). Stream Temperature Estimation from Air Temperature. *Water Resources Bulletin* 29(1): 27-45.

- Sung Y.D., Park B.J., Joo K.J. and Jung K.S. (2005). The Estimation of Ecological Flow Recommendations for Fish Habitat, Journal of Korea Water Resources Association, 38(7), pp. 545-554.
- Woo H., Lee J.W. and Kim K.H. (1998). Development of a Method for Determination of Instream Flow Needs Required for Fish Habitat Conservation - Application to the Keum River -, Journal of Korean Society of Civil Engineers, 18(II-4), pp. 339-350.

논문접수일 : 2013년 02월 04일

심사의뢰일 : 2013년 02월 04일

심사완료일 : 2013년 05월 18일