

APCC 계절예측 및 기후변화 시나리오 통계적 상세화 플랫폼 개발 II

Platform Development for Statistical Downscaling of APCC Seasonal
Forecasting and Climate Change Scenarios II

조재필, 정임국 서비스개발팀

송봉근, 정유란 융합기술팀

한정민 예측운영팀

이은정 기후분석팀

강대인 대외협력실

발간사

국제사회는 심각해지고 있는 기후변화 관련 자연재해들에 대한 적응(Adaptation)의 중요성을 강조하고 있습니다. 국가의 기후변화 적응 대책 수립은 과학적이어야 하며 이를 위해서 센터에서는 다양한 기후 전문 기관에서 생산하여 제공하고 있는 기후정보를 수집하였습니다. 그리고 다양한 응용분야에서의 활용을 위해 필수적인 시·공간적인 상세화 기법을 포함한 사용자 맞춤형 기후서비스를 제공하기 위해 노력해 왔습니다.

이 보고서는 다양한 분야의 사용자가 목적에 가장 적합한 상세 기후자료를 생산·활용할 수 있게하는 상세화 기법 개발 연구, 비전문가 입장에서 쉽게 상세화 자료를 생산할 수 있게 개발된 서비스, 이를 이용한 사용자 교육등을 선순환 관점에서 하나로 통합하여 기획·수행한 내용들을 포함하고 있습니다. 플랫폼 관점의 기후서비스는 기후분야 전문가 및 정보 생산자와 다양한 분야의 상세 기후자료 수요자들을 사용자 중심의 관점에서 양방향으로 연결하기 위해 2017년도에 시작되었습니다. 첫 해에는 개발된 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS) 플랫폼 위에 상이한 상세화 기법을 비교·평가한 후 가장 적합한 정보를 활용할 수 있도록 사용자 맞춤형 기후서비스의 첫발을 내딛었습니다. 이 보고서에는 1차년도 연구성과에 강수의 공간적인 상관성을 잘 재현할 수 있는 BCSA라는 새로운 상세화 기법을 추가함으로써 사용자 수요 맞춤형 서비스에 한 발 더 다가갔습니다. 이는 상세화 결과 공유를 위해 개발된 웹기반 서비스 또한 향후 기후변화 적응 정책 수립에 활용될 수 있는 정보 공유를 위한 플랫폼 관점에서 의미 있는 성과라고 생각합니다. 마지막으로 AIMS를 통해 생산한 기후변화 상세화 자료를 국가 기후변화

표준시나리오로서 인증받고, 국내외 응용분야 전문가들을 대상으로 상세화 교육 프로그램을 실시한 점은 서비스 관점에서 의미 있는 일이라 생각합니다.

이 연구보고서가 발간되기까지는 많은 분들의 도움이 있었습니다. 무엇보다도 BCSEA 상세화 기법이 AIMS 플랫폼에 포함될 수 있도록 연구의 기획 단계부터 아낌없는 조언과 격려를 해 주신 황세운 교수에게 깊은 감사를 드립니다. 또한 보고서의 수준을 제고하도록 좋은 논평을 해주신 외부 자문위원들과 연구가 순조롭게 진행될 수 있도록 다방면으로 도와준 정임국 연구원 그리고 본 연구를 총괄한 조재필 박사를 포함하여 참여 연구진에게도 감사의 뜻을 전합니다. 이 연구가 밑거름이 되어 향후 정책 결정을 포함한 사용자 중심의 기후서비스의 제공을 위해 관련 연구들이 지속되기를 기대합니다.

2019년 3월
APEC 기후센터
원장 권 원 태

목 차

1. 서론	1
2. 연구 방법	3
2.1 시나리오 자료 확장 및 전처리 기술 고도화	4
2.1.1 CORDEX DB 구축	4
2.1.2 CLIPs 기능 개선	6
2.1.3 관측자료 Quality Control	7
2.2 기후변화 시나리오 상세화 모듈 개선 및 추가	8
2.2.1 rSQM 모듈 개선	8
2.2.2 rSDQDM 모듈 개선	9
2.2.3 BSCA 모듈 추가 및 평가	9
2.3 상세 기후자료 분석 모듈 및 응용분야 모델링 연계 모듈 개발	14
2.3.1 rAnalysis4CC 패키지 개선	14
2.3.2 rDrought 패키지 개선	14
2.3.3 rSWAT 패키지 개선	15
2.3.4 rDSSAT 패키지 개발	15
2.4. AIMS 고도화 및 웹기반 서비스 개발	16

2.4.1 AIMS 고도화-----	16
2.4.2 웹기반 서비스 (AIMS-Web) 개발-----	17
2.5 상세화 사용자 교육 및 표준 시나리오 인증-----	18
2.5.1 상세화 사용자 교육(국내)-----	18
2.5.2 상세화 사용자 교육(국외)-----	18
2.5.3 국가기후변화 표준 시나리오 인증 신청-----	19
 3. 결과 및 고찰-----	 21
3.1 CORDEX 자료 추가 및 CLIPs 기능 개선-----	21
3.1.1 CORDEX DB 구축-----	21
3.1.2 CLIPs 기능 개선-----	27
3.1.3 관측자료 Quality Control-----	28
3.2 기후변화 시나리오 상세화 모듈 개선 및 추가-----	34
3.2.1 rSQM 모듈 개선-----	34
3.2.2 rSDQDM 모듈 개선-----	36
3.2.3 BSCA 모듈 추가 및 평가-----	36
3.3 상세 기후정보 기반 응용분야 모델링 연계 모듈 개발-----	55
3.3.1 rAnalysis4CC 패키지 개선-----	55
3.3.2 rDrought 패키지 개선-----	56
3.3.3 rSWAT 패키지 개선-----	56
3.3.4 rDSSAT 패키지 개발-----	57
3.4 AIMS 고도화 및 웹기반 서비스 개발-----	61
3.4.1 AIMS 고도화-----	61
3.4.2 AIMS 연동이 가능한 웹기반 서비스 개발-----	68
3.5 상세화 사용자 교육 및 표준 시나리오 인증-----	71
3.5.1 상세화 사용자 교육(국내)-----	71
3.5.2 상세화 사용자 교육(국외)-----	74

3.5.3 국가기후변화 표준 시나리오 인증-----	76
Ⅱ REFERENCES -----	89
Ⅱ 부록-----	91

1. 서론

APEC Climate Center(APCC)에서는 CMIP5 일단위 기후변화 시나리오 자료를 Data Service System(ADSS)를 통해 전지구자료로부터 사용자의 대상 국가별 자료로 변환하여 제공하고 있다. 비록 전지구 자료가 아닌 국가별 자료를 제공하지만 농업 및 수자원 등 다양한 응용분야의 사용자들이 기후변화 시나리오 자료를 사용하기 위해서는 여전히 대상 지역에 맞게 편의보정 및 공간적 상세화(Downscaling) 절차가 필요하다.

특히 APEC 내 개발도상국은 기후정보 및 사회적 인프라 부족으로 인해 기후변화에 매우 취약하여 이에 대한 영향평가 및 취약성평가가 절실히 요구된다. 그러나 서로 다른 지역 및 분야의 다수의 사용자가 영향평가를 위해 지구규모의 다중모형 자료에 접근하여 지역특성을 고려한 상세화를 개별적으로 수행하는데 어려움이 많다.

이에 APCC에서는 사용자가 개별적으로 설치하여 기후변화 및 계절예측 상세화 자료를 생산한 후 추가적인 모델링을 수행할 수 있도록 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS)을 개발하였다. AIMS는 사용자 중심의 기후서비스 관점에서 중요하게 고려되어야 할 기후 데이터를 기반으로 사용자의 목적에 맞는 데이터 및 상세화 기법을 선정할 수 있도록 다양한 분석기능을 제공한다(조재필 등, 2018).

AIMS는 과학자 레벨의 사용자가 기후정보 중심의 다양한 분석을 수행할 수 있도록 확장성을 고려하여 개발되었으며 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 상세화를 수행하는 rSQM 및 rSDQDM 패키지, 관측소별 상세화된 자료를 이용하여 다양한 분석을 수행하는 rAnalysis4CC 패키지 및 상세화된 자료를 이용하여 Effective Drought Index(EDI)를 이용한 가뭄분석을 수행할 수 있는 rDrought 패키지가 포함되어 있다.

즉 사용자는 AIMS를 통해 ADSS와 연동되며 기후 데이터로부터 다양한 상세화 및 분석 기법을 적용하여 생산된 자료들로부터 사용자의 목적에 적합한 자료를 최종적으로 선택하여 활용할 수 있는 사용자 중심의 기후정보 활용 절차를 제공한다. 또한 AIMS는 현재 APCC에서 매년 수행하는 국내 및 국외 사용자 대상 상세화 교육에 활용되어 왔다.

APCC가 향후 기후서비스를 중심으로 국제사회에서 허브역할을 수행하기 위해서는 과학자 레벨 사용자에게 추가하여 관리자 레벨 및 의사결정자 레벨의 사용자들이 참여가

절실하다. 1차년도에 개발된 AIMS는 과학자 레벨에서 사용자가 기후정보 중심의 다양한 분석을 수행할 수 있도록 개발되었기 때문에 관리자 및 의사결정자 레벨의 사용자들을 위한 서비스로의 확장이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 AIMS 교육을 통해서 사용자들로부터 수집한 의견을 반영하여 AIMS를 개선하고 이와 연동이 되는 웹 기반 서비스(AIMS-Web)의 Prototype을 개발하여 과학자, 프로젝트 관리자, 의사결정자 레벨의 사용자들이 통계적 상세화 정보를 중심으로 연결될 수 있는 생태계 구축을 위한 틀을 만드는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해서 기후자료의 추가, AIMS 플랫폼 내부에서 구동되는 기존 패키지들의 기능 추가 및 새로운 상세화 기법을 위한 패키지 추가, 사용자 편리성 증대를 위한 기존 서비스와의 연계, AIMS를 이용한 국내외 상세화 교육, 생산된 자료의 국가 기후변화 표준 시나리오 인증 신청, AIMS 사용자 인터페이스 개선, 및 AIMS와 연동되는 웹기반 서비스 신규 개발 등 기후변화 적응 관련된 다양한 내용을 포함한다.

2. 연구 방법

프로젝트는 Fig. 1에서와 같이 1) CORDEX 기후변화 자료 추가 및 CLIPs 기능 개선, 2) 기후변화 상세화 모듈 개선 및 추가, 3) 상세 기후정보 기반 응용분야 모델링 연계 모듈 개발 및 AIMS 추가, 4) 웹 기반 서비스 메커니즘 설계 및 시스템 개발 등 4개의 세부 항목으로 구성되어 있다. 마지막으로 APCC의 기후서비스가 연구, 서비스 개발, 교육의 선순환적인 접근 방식을 통해서 향상되어 가는 것을 고려할 때 2차년도 연구 및 서비스 개발을 이용하여 수행된 국내외 상세화 사용자 교육과 생산된 상세화 자료의 국가 기후변화 표준 시나리오 인증 신청 및 결과를 추가하였다.

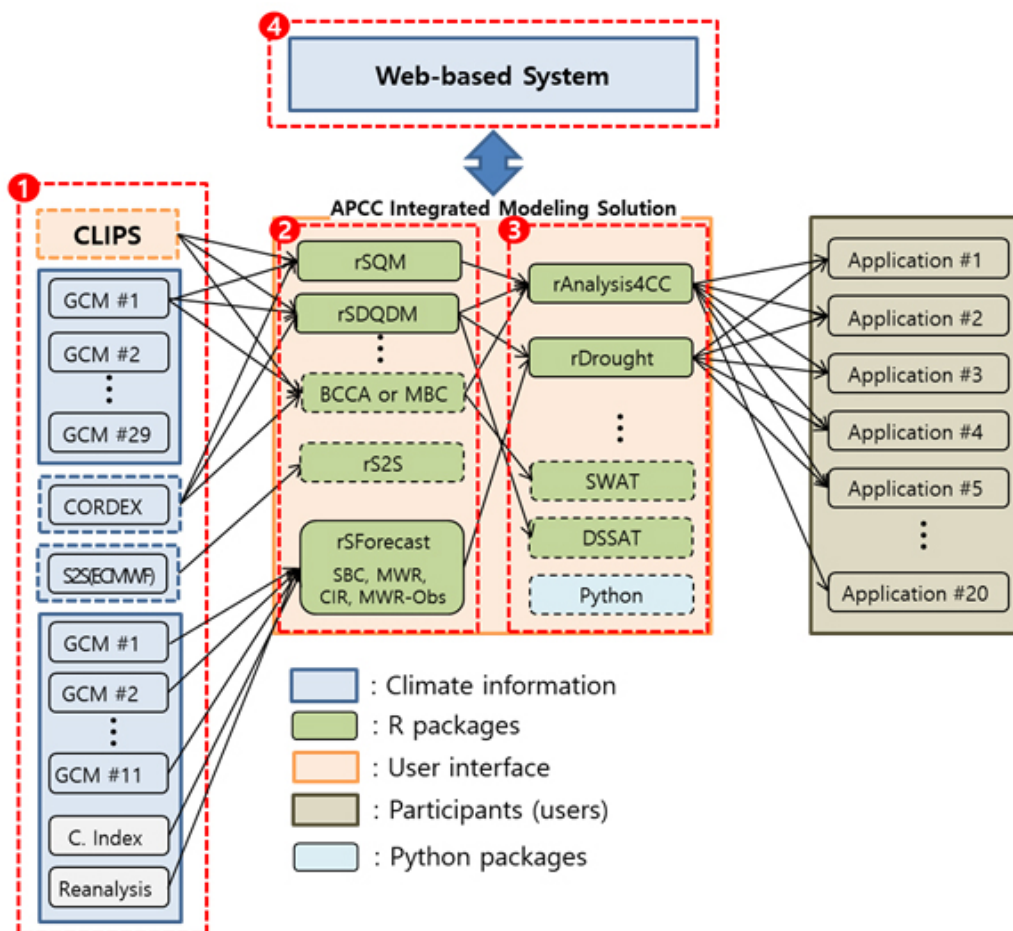


Figure 1. 프로젝트 세부항목 구성 및 연계도

2.1 시나리오 자료 확장 및 전처리 기술 고도화

2.1.1 CORDEX DB 구축

CORDEX(COordinated Regional climate Downscaling EXperiment)는 세계 기후 연구 프로그램(World Climate Research Programme, WCRP)에서 추진하는 기후 변화 영향평가 및 적응에 활용 가능한 고해상도 지역기후변화 전망자료를 산출하기 위한 국제사업이며 동일한 영역에 대하여 여러 참여기관들이 고유한 지역기후모델을 이용하여 결과를 생산하고 궁극적으로 이들을 이용한 앙상블을 구하여 미래 지역 기후에 타당한 상세 예측을 생산하는 것이 목적이다(<http://www.cordex.org>). CORDEX에서는 14개 지역 영역으로 나누어 해당 영역에 대해 지역기후모델을 사용하여 지역기후변화 전망자료를 산출하여 배포 중이다. 이에 우리나라에서는 국립기상과학원을 주축으로 동아시아 영역인 CORDEX-EA 지역을 대상으로(Fig. 2) 공주대, 서울대, 연세대 등의 여러 국내 대학들이 참여하여 동아시아 영역을 연구하였으며, CORDEX-EA 지역기후변화 전망자료를 산출하기 위해 사용된 지역기후모델은 HadGEM3-RA, RegCM, SNU-MM5, SNU-WRF, YSU-RSM의 5개 모델이다(<https://cordex-ea.climate.go.kr>). CORDEX 자료를 AIMS 플랫폼에 탑재된 SQM 및 SDQDM 상세화 모듈에서 활용하기 위해서는 CORDEX 자료 생산에 사용된 지역기후모델 별로 상이한 좌표체계를 GCM에서와 같이 직선격자(Rectilinear) 자료로 변환이 필요하다. 본 연구에서는 국립기상과학원에서 배포 중인 CORDEX-EA 일별 Historical, rcp45, rcp85 자료를 사용하였다(Table 1).

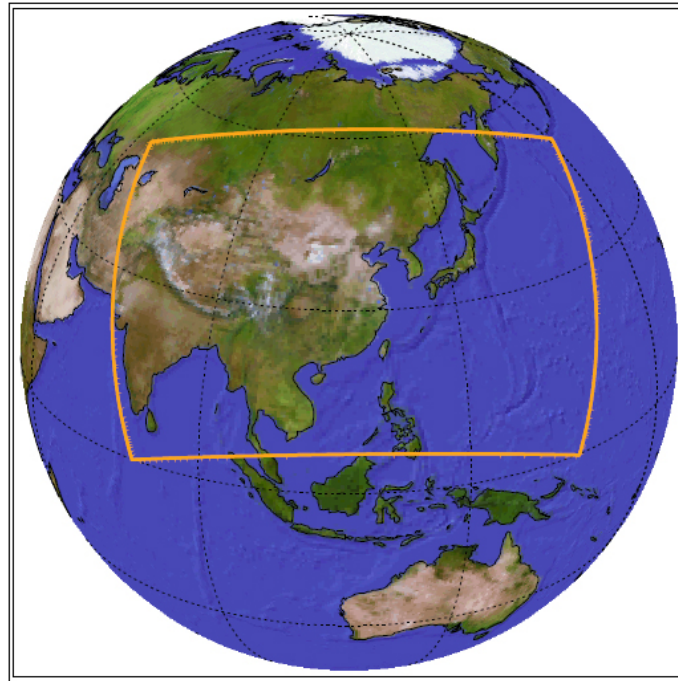


Figure 2. CORDEX-EA 도메인

Table 1. CORDEX-EA 지역기후모형(Regional Climate Model, RCM) 정보

Model	Data	Spatial Resolution (lat × lon)	Period	Time Scale
HadGEM3-RA	Historical	Horizontal 50km (167 × 204)	1950-2005	Daily
	RCP45		2006-2100	
	RCP85		2006-2100	
RegCM	historical	Horizontal 50km (195 × 241)	1979-2005	Daily
	RCP45		2006-2050	
	PCP85		2006-2050	
SNU-MM5	historical	Horizontal 50km (196 × 232)	1979-2005	Daily
	RCP45		2006-2049	
	RCP85		2006-2035	
SNU-WRF	historical	Horizontal 50km (196 × 232)	1979-2005	Daily
	RCP45		2006-2049	
	RCP85		2006-2049	
YSU-RSM	historical	Horizontal 50km (198 × 241)	1980-2005	Daily
	RCP45		2006-2050	
	RCP85		2006-2050	

2.1.2 CLIPs 기능 개선

현재의 AIMS를 이용한 상세화 자료 생산은 APCC Data Service System(ADSS: <ftp://adss.apcc21.org/CMIP5DB/>)로부터 국가별 자료를 로컬 컴퓨터로 다운로드 받아 수행하게 된다. 2018년도에는 일본, 브루나이, 싱가포르, 호주, 뉴질랜드, 타이완, 홍콩, 페루, 멕시코, 캐나다, 중국, 러시아 등 12개 APEC 회원국에 대한 CMIP5 기후변화 시나리오 자료를 국가별로 추출하여 ADSS에 추가하였다. 현재 제공하고 있는 총 43개 국가 중 면적인 넓은 미국, 캐나다, 중국, 러시아 등 4개 국가에 대해서는 도(State or Province) 단위로 자료를 서비스하고 있다. 이 경우 사용자의 대상 지역이 여러 도에 걸쳐 위치하는 경우 AIMS를 이용한 상세화의 경우 도별로 개별적인 상세화를 수행한 후 결과를 취합해야 하는 어려움이 존재한다. 도별 상세화 이후 취합하는 경우에도 지점별로 상세화가 독립적으로 수행되는 SQM 및 SDQDM의 경우에는 문제가 없지만 공간상관성을 고려하기 위해 대상 지역의 모든 지점을 한 번에 고려해야 하는 BCSA 기법의 경우에는 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 사용자가 원하는 지역에 대해 기후자료를 추출(Clipping)할 수 있는 기능을 제공하는 CLIPs를 AIMS와 연동함으로써 사용자가 원하는 대상지역에 대해 기후변화 시나리오 자료를 추출한 후 한 번에 대상지역에 대한 상세화를 수행할 수 있도록 자료의 전처리 서비스를 개선하였다.

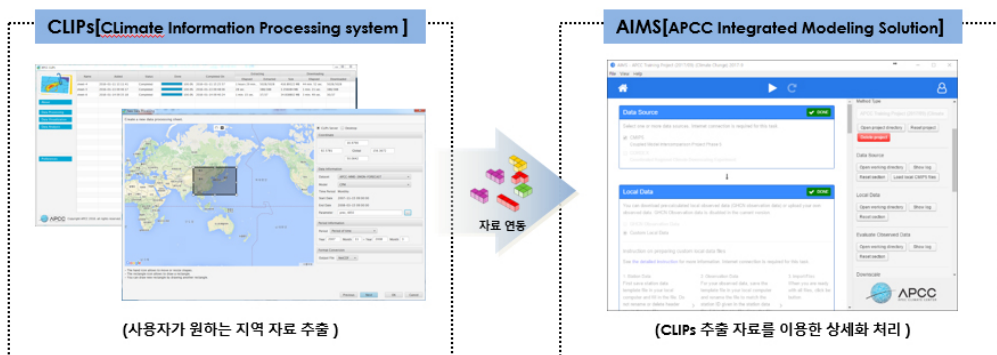


Figure 3. CLIPs와 AIMS의 자료연동 개념도

2.1.3 관측자료 Quality Control

다양한 지역의 AIMS 사용자들이 대상 지역에 대한 기후변화 상세화 자료 생산을 위해서는 장기간의 과거관측 자료를 입력으로 필요로 한다. 매년 APCC에서 수행하고 있는 개발도상국대상 상세화 교육에서는 참가자가 기후변화 시나리오 상세화 자료를 생산하고자 하는 대상 지역의 과거 관측 자료를 이용하여 교육을 수행하고 있다. 이 경우 국가별로 결측률을 포함한 관측 자료의 질(quality)에 있어서 많은 차이를 보여준다. 변수에 따라서 차이가 있지만 편이보정(bias-correction)에 사용되는 관측 자료에 결측이 많이 포함되어 있는 경우 기후변화에서 가장 기본적으로 고려되어야 하는 평균기후 특성의 왜곡을 초래할 수 있다. 기존 상세화 교육을 통해서 파악된 자료의 문제점들은 Table 2와 같다. AIMS를 이용한 상세화 수행 이전에 관련 내용들이 해결되어야 한다.

Table 2. AIMS 입력 관측 기상자료의 발생 가능 문제점

유형	내용
관측소 위치가 잘못 입력된 경우	관측소의 위도 및 경도 좌표가 대상 지역의 범위 밖에 위치하는 경우
자료의 포맷이 상이한 경우	- 년, 월, 일 항목에 정수가 아닌 소수가 포함되어 있는 경우 - 관측값이 숫자가 아닌 문자가 포함되어 있는 경우 - 동일한 관측일자가 중복되어 존재하는 경우(관측값은 상이한 경우와 관측값도 동일한 경우) - 특정 날짜의 자료가 누락되어 있는 경우
관측값이 물리적 가능 범위를 벗어난 경우	관측 자료의 값이 물리적으로 가능한 범위를 벗어나는 경우 (예: 섭씨온도의 경우 200도 이상의 값이 존재하는 경우, 또는 상대습도의 범위가 0~100 범위 밖에 있는 경우)
내적 자료의 일관성에 문제가 있는 경우	- 최고기온이 또는 평균기온이 최저기온 보다 작은 경우 - 관측기계의 오작동등으로 인하여 동일한 값이 오랜 기간 동안 지속적으로 기록되어 있는 경우
결측이 많은 경우	관측 자료에 결측치를 많이 포함하고 있는 경우

위와 같이 관측 자료의 품질을 검사하여 이상치의 경우 결측으로 처리한 후 결측을 채워가는 절차가 필요하다. 본 연구에서는 결측치 보정을 위해서 주위에 위치하고 있는 관측소 자료를 우선으로 이용하고 최종적으로 존재하는 결측에 대해서는 위성 또는 재분석자료 등과 같이 격자기반의 관측 자료를 이용하는 방법을 고려하였다. 이를 위해서는 아래와 같이 1) 대상지역에 대한 격자기반 관측 자료를 추출한 후 관측 자료와의 비교 평가를 통한 격자형 관측자료 선정, 2) 이상치에 대한 결측 처리 및 결측값에 대한 인근 관측소 및 격자형 관측 자료를 이용한 결측치 처리와 같이 두 단계를 거쳐 수행하였다.

관측치 품질관리(QC)를 위해서 격자형 관측 자료의 추출 및 평가를 위한 R기반 패키지인 rGridData와 이상치 및 결측치 처리를 위한 rQC 패키지를 개발하였다. 개발된 패키지의 적용성을 평가하기 위해서는 결측치가 존재하지 않는 기상청의 종관기상관측소(ASOS) 자료를 이용하였다. 즉 결측이 없는 관측소에 대하여 임의로 결측치를 발생시킨 후 개발된 QC 관련 패키지를 적용하여 결측치를 채운 후 원본자료와의 비교를 통해서 재현성을 평가하였다. 결측치를 임의로 발생하는데 있어서 실제 발생 가능한 상황을 고려하기 위해 지난 상세화 교육을 통해 수집된 개도국 기상관측소의 실제 결측치의 시간적 패턴을 한반도 기상 관측소에 적용하여 결측치를 임의로 생산하였다. Fig. 4는 60개 ASOS 기상 관측소에 대한 결측률 별 결측의 시간적 패턴과 공간적 패턴을 보여 준다.

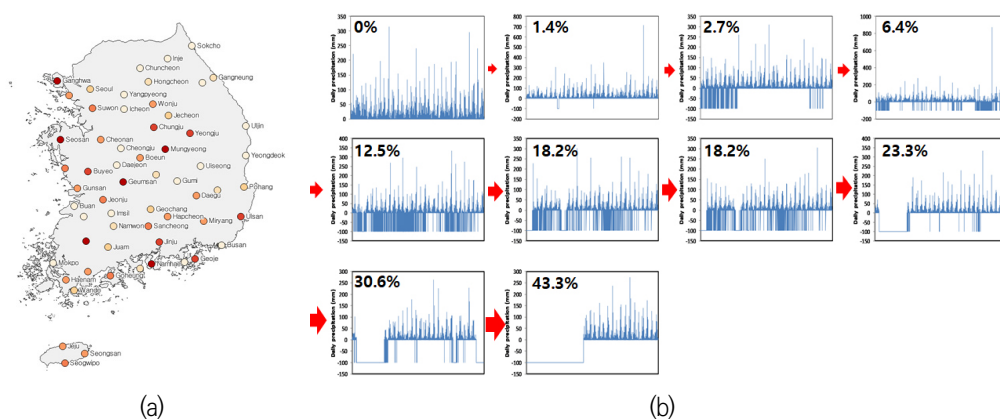


Figure 4. (a) 결측률의 공간적 분포 (b) 결측률에 따른 결측 자료의 시간적 패턴 (-99: 결측)

2.2 기후변화 시나리오 상세화 모듈 개선 및 추가

2.2.1 rSQM 모듈 개선

기존에 AIMS에 탑재되어 있는 rSQM 패키지의 경우 두 가지 관점에서 기능을 확장하였다. 우선 앞서 설명된 지역기후모형(RCM, Regional Climate Model)을 이용하여 역학적 상세화 기법을 이용하여 생산된 CORDEX 자료를 이용하여 추가적인 통계적 상세화를 수행할 수 있도록 기능을 추가하였다. CORDEX 상세화 함수는 앞서 설명된 CLIPs 및

CORDEX DB 구축을 통해 0.5도 직교자표로 변환된 자료를 기반으로 개발되었다. 또한 현재 AIMS에 탑재되어 있는 R기반 상세화 패키지인 rSQM(<https://cran.r-project.org/web/packages/rSQM/index.html>) 및 rSDQDM은 격자형 자료를 고려하지 않고 있으며 기상관측지점의 관측 자료를 기반으로 개발되었다. 따라서 현재 사용되는 rSQM 상세화 모듈에 재분석자료 또는 위성자료와 같이 격자형 관측 자료가 존재하는 경우에 상세화를 수행할 수 있도록 기능을 함수로서 추가하였다. 추가된 격자자료 기반 상세화 기능은 MERRA2 자료를 관측 자료로 이용하여 48개 아시아개발은행(ADB) 회원국을 대상으로 개발된 패키지의 활용성을 평가하였다.

2.2.2 rSDQDM 모듈 개선

향후 AIMS 플랫폼에 CORDEX 자료를 연동시킬 계획을 고려하여 rSQM 패키지와 마찬가지로 rSDQDM 패키지에도 앞서 설명한 CORDEX DB 자료를 이용하여 기후변화 시나리오 상세화 자료를 생산할 수 있도록 기능을 추가하였다. 또한 기존의 패키지 함수에서는 없었던 유동적인 GCM을 읽고 처리하는 방법을 추가하여 원활한 상세화가 가능하게 수정하였다.

2.2.3 BSCA 모듈 추가 및 평가

AIMS는 사용자 중심의 기후변화 적응 대책 수립을 위해 중요하게 고려되어야 할 미래 전망의 불확실성을 평가하기 위하여 다중 GCM을 고려함과 동시에 다양한 상세화 기법을 제공함으로써 사용자의 목적에 가장 적합한 상세화 자료를 활용할 수 있도록 개발되었다. 이를 위해서 AIMS에서는 극한기후지수(Climate Extreme Indices)를 이용한 과거 재현성 평가 및 미래 기간에 대한 시그널 왜곡도 평가와 variogram을 이용한 공간 상관성 평가를 상세화 기법 사이에 비교할 수 기능을 제공하고 있다.

사용 가능한 다양한 통계 기법은 공간 상세화의 목적에 따라 적절하게 선정되어야 하며 그에 따른 추가적인 가정과 결과도 다소 상이하다. 비교적 간단한 통계적 상세화 기법으로, 편이 보정과 통계적 내삽 기법을 연계한, BCSD(Bias-Correction and Spatial

Disaggregation) 방법, 내삽된 고해상도 정보를 동해상도 관측치를 이용하여 추가 편이 보정한 방법(SDBC: Spatial Downscaling and Bias-Correction), 그리고 정규 분포 변환을 이용하여 추계학적으로 공간 분포를 생산하여 편이 보정된 GCM 일강우량 패턴에 맞게 선정하는 방법(Stochastic Analog method using normal score transformation) 등이 있으며 이들은 기상 인자의 시공간 다양성(Spatio-temporal Variability)에 대한 성능에서 확연한 차이를 보인다.

AIMS에는 Simple Quantile Mapping(SQM)(Cho et al., 2018) 및 Spatial Disaggregation with Quantile Delta Mapping(SDQDM)(Eum and Cannon, 2016) 기법이 사용 가능한 상세화 기법으로 포함되어 있다. SQM 방법은 공간적으로는 특정 관측지점에 해당되는 GCM격자의 값을 바로 사용하며 시간적으로는 관측 자료와 원시 GCM의 값을 경험적 분위사상법(Empirical Quantile Mapping)을 이용하여 일단위 GCM 자료에 포함되어 있는 GCM 별 시스템 오차(bias, 편이)를 월별로 보정하는 방법이다. 반면 SDQDM 방법은 편이 보정을 수행하기 전에 주위 GCM 격자들의 값을 이용하여 역거리가중법(Inverse Distance Weighted, IDW)을 이용하여 내삽을 한 후, 자료의 Quantile별로 원시 GCM에서 전망된 미래기간에 대한 변화율을 유지시키며 편이보정을 하는 통계적 방법이다(조재필 등, 2018). 두 방법 모두 대상 기후변수별로 그리고 관측소별로 독립적으로 편이보정을 수행함에 따라서 공간변동성이 큰 기상요소에 대한 일단위 공간분포와 공간변동성에 대한 재현성이 낮을 수 있다. 즉 공간 다양성이 큰 기상요소인 강우량의 경우 강우량의 공간분포 패턴의 영향을 크게 받는 수자원 관련 분야에 대해서는 일반적인 보간법을 적용한 공간상세화 기법 적용은 제한적으로 이루어져야 하며 실제적인 공간분포 및 특성을 재현하는 공간상세화 기법의 개발·적용이 필요하다(Hwang and Graham. 2014).

BCSA(Bias-Correction and Stochastic Analog)는 공분산 베리오그램을 기반으로 강우의 과거 공간 변동성을 재현하는 일단위 강우 공간분포를 추계적으로 생산하여 replicates library를 구축하고 편이보정된 일단위 GCM 산출물에 부합하는 replicate을 추출하여 목적으로 하는 공간해상도의 자료를 생산하는 방법이다. 현실적인 강우의 공간변동성을 재현하고 편이보정된 GCM 산출물의 평균적 공간 강우량의 미래 변화를 포함한 시간적 패턴을 동시에 구현할 수 있다는 장점을 가진다. 상세화된 고해상도 자료

의 일단위 천이확률에 대한 고려가 미흡하고 높은 해상도의 관측자료 적용시 계산시간이 다소 소요되며 기후요소 간 상관을 고려하지 못하는 단점 등은 보완해야 할 점으로 지적되고 있어 지속적인 보완이 필요하다. 그럼에도 불구하고 강우의 공간분포와 변동성은 유역단위 수문순환에 있어 침투유량이나 증발산에 영향을 미치는 중요한 인자이므로 그 적용이 제한적일 수밖에 없는 단순 보간법에 비해 합리적인 강우량 공간상세화를 위한 기법으로 그 적용성이 높을 것으로 판단된다.

개발된 BCSA 상세화 기법의 평가는 기존의 상세화 비교 연구(조재필 등, 2018)에서 원시 GCM의 공간 및 시간적 재현성 평가를 통해 선정된 다중 GCM에 대하여 AIMS에서 제공하고 SQM 및 SDQDM 기법에 본 연구를 통해 추가된 BCSA 기법을 이용하여 동일한 조건에서 상세화 자료를 생산하였다. 대상 관측소는 CMIP5에서 과거기간의 마지막 연도로 정한 2005년을 기준으로 과거 30년 기간(1976~2005)에 대한 자료가 존재하는 기상청의 60개 종관기상관측소 자료를 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)로부터 다운로드 받아 사용하였다. 상세화 기법의 선정은 Table 4에서와 같이 27개의 Expert Team on Climate Change Detection and Indices(ETCCDI) 극한기후지수(Climatic Extremes Indices) (http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)를 사용하였다. 상세화 자료 생산 이후 상세화된 자료를 기반으로 27개 극한기후지수(Climatic Extreme Indices)를 산정한 후 과거기간에 대한 재현성 평가, 미래기간에 대한 원시 GCM의 미래 전망 시그널의 왜곡도 평가, 및 관측지점 간의 공간상관성에 대한 재현성 평가를 수행하였다.

Table 3. ADSS(APCC Data Service System)를 통해 제공되고 있는 29개 전지구기후모형(Global Climate Models, GCMs) 리스트

No	GCMs	Resolution (degree)	Institution	Variables of Historical & RCP4.5 & RCP8.5					
				PR	TX	TN	WD	SR	RH
1	BCC-CSM1-1	2.813 × 2.791	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	○	○	○	○	○	○
2	BCC-CSM1-1-m	1.125 × 1.122		○	○	○			
3	CanESM2	2.813 × 2.791	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	○	○	○	○	○	○
4	CCSM4	1.250 × 0.942		○	○	○			
5	CESM1-BGC	1.250 × 0.942	National Center for Atmospheric Research	○	○	○			
6	CESM1-CAM5	1.250 × 0.942		○	○	○			
7	CMCC-CM	0.750 × 0.748	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	○	○	○			
8	CMCC-CMS	1.875 × 1.865		○	○	○			
9	CNRM-CM5	1.406 × 1.401	Centre National de Recherches Météorologiques	○	○	○			
10	CSIRO-Mk3-6-0	1.875 × 1.875	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in collaboration with the Queensland Climate Change Centre of Excellence	○	○	○			
11	FGOALS-g2	2.8125 × 3	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; and CESS, Tsinghua University	○	○	○			
12	FGOALS-s2	2.813 × 1.659	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	○	○	○			
13	GFDL-CM3	2.5 × 2	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	○	○	○			
14	GFDL-ESM2G	2.500 × 2.023		○	○	○	○	○	○
15	GFDL-ESM2M	2.500 × 2.023		○	○	○	○	○	○
16	HadGEM2-AO	1.875 × 1.250	Met Office Hadley Centre	○	○	○			
17	HadGEM2-CC	1.875 × 1.250		○	○	○	○	○	○
18	HadGEM2-ES	1.875 × 1.250		○	○	○	○	○	○
19	INM-CM4	2.000 × 1.500	Institute for Numerical Mathematics	○	○	○	○	○	○
20	IPSL-CM5A-LR	3.750 × 1.895		○	○	○	○	○	○
21	IPSL-CM5A-MR	2.500 × 1.268	Institut Pierre-Simon Laplace	○	○	○			
22	IPSL-CM5B-LR	3.750 × 1.895		○	○	○			
23	MIROC-ESM-CHEM	2.813 × 2.791	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute and National Institute for Environmental Studies	○	○	○	○	○	○
24	MIROC-ESM	2.813 × 2.791		○	○	○	○	○	○
25	MIROC5	1.406 × 1.401		○	○	○			
26	MPI-ESM-LR	1.875 × 1.865	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	○	○	○			
27	MPI-ESM-MR	1.875 × 1.865		○	○	○			
28	MRI-CGCM3	1.125 × 1.122	Meteorological Research Institute	○	○	○			
29	NorESM1-M	2.500 × 1.895	Norwegian Climate Centre	○	○	○			

Table 4. ETCCDI 극한기후지수(Climate Extreme Indices) 목록

ID	Variable	Description	Unit
SU	TMAX	Annual count of days when TMAX > 25°C	Days
ID		Annual count of days when TMAX < 0°C	Days
TXn		Annual minimum value of TMAX	°C
TXx		Annual maximum value of TMAX	°C
TX10p		Percentage of days when TMAX < 10th percentile	%
TX90p		Percentage of days when TMAX > 90th percentile	%
WSDI		Annual count of days with at least 6 consecutive days when TMAX > 90th percentile	Days
FD	TMIN	Annual count of days when TMIN < 0°C	Days
TR		Annual count of days when TMIN > 20°C	Days
TNn		Annual minimum value of TMIN	°C
TNx		Annual maximum value of TMIN	°C
TN10p		Percentage of days when TMIN < 10th percentile	%
TN90p		Percentage of days when TMIN > 90th percentile	%
CSDI		Annual count of days with at least 6 consecutive days when TMIN < 10th percentile	Days
DTR	TMAX & TMIN	Annual mean difference between daily maximum temperature TMAX and TMIN	°C
GSL	TAVG	Annual (1st Jan to 31st Dec in Northern Hemisphere (NH), 1st July to 30th June in Southern Hemisphere (SH)) count between first span of at least 6 days with daily mean temperature TG>5oC and first span after July 1st (Jan 1st in SH) of 6 days with TG <5oC.	Days
CDD	PRCP	Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm	Days
CWD		Maximum number of consecutive days with daily PRCP ≥ 1mm	Days
PRCPTOT		Annual total PRCP in wet days (daily PRCP ≥ 1mm)	mm
Rx1day		Annual maximum 1-day precipitation	mm
Rx5day		Annual maximum 5-day precipitation (PRCP)	mm
R95pTOT		Annual total PRCP when daily PRCP > 95 percentile	mm
R99pTOT		Annual total PRCP when daily PRCP > 99 percentile	mm
SDII		Annual precipitation divided by the number of wet days	mm/day
R10mm		Annual count of days when PRCP ≥ 10mm	Days
R20mm		Annual count of days when PRCP ≥ 20mm	Days
Rnnmm		Annual count of days when PRCP ≥ nnmm, nn is a user defined threshold (default threshold is 1)	Das

2.3 상세 기후자료 분석 모듈 및 응용분야 모델링 연계 모듈 개발

2.3.1 rAnalysis4CC 패키지 개선

1차년도에 개발된 rAnalysis4CC 패키지는 상세화된 자료를 이용하여 상세화 기법의 비교 평가에 필요한 극한기후지수 계산, 극한기후지수를 기반으로 한 과거 재현성 평가, 미래 기간에 대한 시그널 왜곡도 평가, GCM별 가중치 선정 및 불확실성 결과 생산을 위한 기능들을 포함하고 있다. 2차년도에는 개별 관측소에 대하여 상세화된 자료를 이용하여 개별모형 및 다중모형앙상블 기반의 미래 변화량을 연단위, 월단위, 계절단위로 쉽게 파악할 수 있는 요약파일과 이를 이용한 그래프를 생산하는 함수를 추가함으로써 대상 지역에서의 기후변화의 시간적인 변화 특성을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

2.3.2 rDrought 패키지 개선

기후변화 및 계절예측 정보를 이용한 Effective Drought Index(EDI) 기반 가뭄분석 패키지인 rDrought는 『다중범위기후정보를 활용한 태국의 농업-수자원 리스크 평가 (I)』 연구(정유란 등, 2017)를 통해 분석 자료 추출을 목적으로 개발되었다. 이후 『다중범위기후정보를 활용한 태국의 농업-수자원 리스크 평가 (II)』 연구(정유란 등, 2018)를 통해 계절예측정보를 이용한 EDI를 바탕으로 지역의 평균 가뭄을 예측하는 모듈, 관측소별 일단위 EDI 산정을 통한 가뭄의 공간분포를 예측하는 모듈, 기후변화에 따른 가뭄의 최대강도, 지속기간, 발생횟수의 공간분포를 표출하는 모듈이 추가 개선되었다. 본 연구에서는 rDrought를 AIMS에 최종적으로 연동하기 위해 개발된 함수들을 하나의 패키지로 통합한 후 사용자의 적용 대상지역에 따라 입력을 컨트롤하는 YAML 파일의 입력변수 정리, YAML 파일을 입력으로 해상 목적별 프로세스를 구동하는 Running script의 정리 및 테스트를 통해 rDrought 공개 패키지를 개발하였으며 2018년도 상세화 교육을 통해 활용성을 검증하였다.

2.3.3 rSWAT 패키지 개선

기후변화 시나리오 상세화 자료와 계절예측 상세화 자료를 이용하여 담유입량 예측을 위한 SWAT 모형 구동을 위해서는 많은 수의 모형구동이 필요하다. 따라서 『다중범위기후정보를 활용한 태국의 농업-수자원 리스크 평가 (I)』 연구(정유란 등, 2017)를 통해 상세화된 기후변화 및 계절예측 자료를 입력으로 하여 SWAT 모형을 구동한 후 출력 결과를 분석하기 위해 rSWAT 패키지를 개발하였다. 본 연구에서는 AIMS에 최종적으로 연동하기 위해서 기존에 개발된 함수들을 하나의 패키지로 통합한 후 사용자의 적용 대상 지역에 따라 입력을 컨트롤하는 YAML 파일의 입력변수 정리, 컨트롤 파일인 YAML 파일을 입력으로 해상 목적별 프로세스를 구동하는 Running script의 정리를 수행하였다.

2.3.4 rDSSAT 패키지 개발

Fig. 5는 본 연구에서 플랫폼과 연계될 농업모형의 전체적인 컴포넌트를 간략하게 설명한 것이다. 우선 AIMS 플랫폼에 탑재될 rDSSAT 모듈을 통해 작물모형 구동에 필요한 기상/기후 입력 자료를 AIMS를 통해 생산된 상세화 자료로부터 생산하는 것이 필요하다. 이후 DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer) 작물모형의 실행이 필요하다. DSSAT을 AIMS 플랫폼과 연계하기 위해서는 작물모형의 컴파일러가 필요하며 gFortran 컴파일러를 사용하였다. 기후 자료에서부터 토양 특성 파라미터, 재배 환경에 대한 배치 파일 등 작물모형 시뮬레이션에 입력될 모든 정보가 준비되어 있다면 stand alone에서 DSSAT을 구동하지 않고 컴파일된 DSSAT을 이용하여 모의함으로써 반복되는 혹은 새로 갱신되는 방법과 기존 방법에 대한 빠른 평가 및 결과 등을 생산하고 갱신하는 과정을 지원할 수 있다. 이후 상세화된 기후자료를 이용하여 출력된 DSSAT 결과들 중에서 핵심적으로 필요한 정보들을 연구의 목적에 따라 용이하게 비교하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 R 3.5.1을 이용하여 상세화된 기후 자료를 작물모형용 입력 기후 자료 포맷에 맞게 변환하고 작물모형 구동 후 출력된 결과를 시각화 하는 도구를 작성하였다.

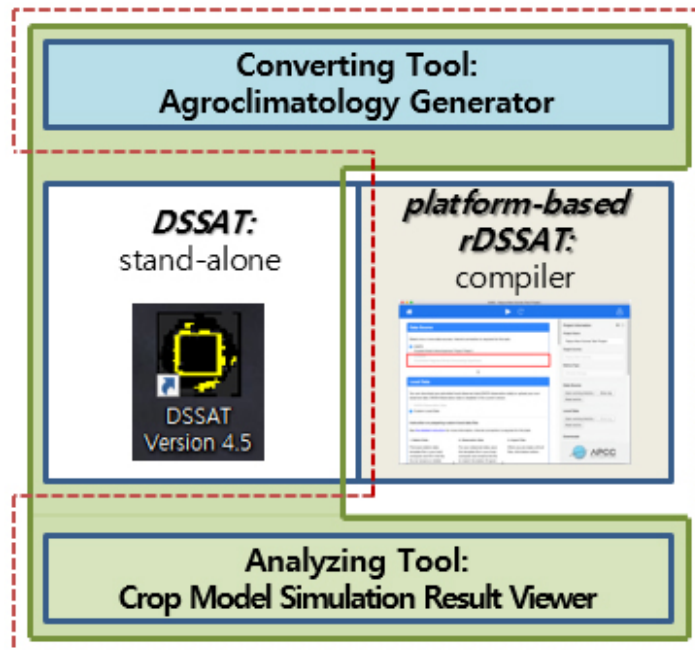


Figure 5. 농업모형의 AIMS와의 연동을 위한 컴포넌트 연계도.

2.4. AIMS 고도화 및 웹기반 서비스 개발

2.4.1 AIMS 고도화

1차년도 연구를 통해 개발된 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS)은 APCC 에서 개발 중인 다중모형 기반 계절예측 및 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 통계적 상세화를 위해 사용자의 로컬 컴퓨터에 설치하여 사용하는 AIMS Client 프로그램을 의미한다. AIMS는 2017년 상세화 사용자 교육에 활용하였고 사용자들의 피드백과 본 연구를 통해 AIMS와 동시에 개발되고 있는 AIMS-Web과의 연동을 위해서 필요한 기능들을 AIMS 고도화에 고려하였으며 세부 항목은 Table 5와 같다.

Table 5. 2017년 상세화 사용자 교육을 통한 피드백 내용

세부 항목	설명
AIMS 시스템 개선	• AIMS 생성 프로젝트 관리의 편리성 개선 • Python으로 제공되는 모듈이 동작할 수 있도록 AIMS 시스템 기능 개선 • 사용자 지정 극한기후지수(Climatic Extreme Indices)를 고려할 수 있도록 시스템 개선
AIMS 사용자 인터페이스 개선	• 사용자의 기후변화 상세화 활용 분야 선택을 위한 카드 추가 • 추가기능(BCSA 및 CLIPs 연동)을 위한 인터페이스 개선 • ADSS에 추가된 국가별 CMIP5 자료와의 연계성 반영
AIMS 매뉴얼 개선	• 공개 버전에 대한 설치 및 사용자 매뉴얼에 작성 또는 개선

2.4.2 웹기반 서비스 (AIMS-Web) 개발

AIMS-Web은 다양한 지역 및 분야의 사용자들이 AIMS를 이용하는 과정에서 선택 및 생산하는 자료를 공유하는 것을 목적으로 하는 웹기반 서비스로서 AIMS와의 연동을 목적으로 개발되었다. 본 연구를 통한 웹기반 서비스 개발을 위해서 1차년도에 클라우드 기반으로 개발된 서비스를 APCC에서 제공하는 AIMS-Web 서버로(<https://aims.apcc21.org/>) 이전 하였다. AIMS-Web 개발과 관련된 세부 항목은 Table 6과 같다.

Table 6. AIMS-Web서버 개발 세부 항목

세부 항목	설명
AIMS와의 연동 기능	• AIMS 사용자의 관측소 위치 및 사용자 정보 표출을 위한 GIS 기능 • 사용자 생산 데이터에 대한 공유 여부 • AIMS를 통해 전송된 메타 데이터 표출 기능 • 상세화 자료를 이용하여 생산된 논문 등 레퍼런스 정보 공유 기능 • AIMS 사용 정보의 공간적 검색 기능
AIMS 사용자 이력 관리	• AIMS를 통해 상세화 과정 중에 선택 및 생산되는 정보의 사용자간 공유를 위한 메타데이터 개발 • 수집된 사용자 응용분야 및 선택 패턴의 빅데이터 분석을 위한 DB 설계
사용자 매뉴얼 제작	• 문성이 부족한 사용자도 사용할 수 있도록 사용자 매뉴얼 작성

2.5 상세화 사용자 교육 및 표준 시나리오 인증

2.5.1 상세화 사용자 교육(국내)

- 주 제 : 사용자 중심의 기후정보 상세화 자료 생산 및 활용
- 기 간 : 2018. 9. 13.(목) ~ 9. 14.(금) <2일간>
- 장 소 : APEC 기후센터 국제회의장
- 참 가 자 : 국내 14개 기관 총 26명
- 강의내용

구분	9.28(목)	9.29(금)
오전	APCC 소개 (강대인)	[강의] 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화 및 적용 사례 (조재필)
	[강의] 기후변화 적응을 위한 상세화 및 기후서비스 (조재필)	
	[강의] 응용분야 미계측 지역에 대한 기상기후정보 활용 (조재필)	[실습] 기후변화 시나리오 상세화 자료 생산 (조재필, 정임국)
	[강의] AIMS 소개 및 설치 (이준혁, 노트스퀘어)	
오후	[실습] 미계측 지역에서의 기상 기후 자료 추출 실습 (조재필, 정임국)	[실습] 기후변화 시나리오 상세화 자료 생산 (조재필, 정임국)
		[실습] 상세화 자료의 기후특성 분석 (조재필, 정임국)
		토론 및 설문조사

2.5.2 상세화 사용자 교육(국외)

- 주 제 : User-oriented Statistical Downscaling of Climate Change Scenario for Agriculture and Water Resources
- 기 간 : 2018. 10. 15(월) ~ 20(토) <6일간>
- 장 소 : APEC 기후센터 국제회의장
- 참 가 자 : APEC 10개국 18명 및 Nepal 1명 (총 19명)
- 강의내용

일자	오전	오후 I	오후 II
10.15 (월)	[등록 및 개회] • 오리엔테이션 및 APCC소개 (강대인) • 신기후체제 (Post-2020)을 위한 Seamless 기후정보 활용 및 사용자 중심의 상세화 (조재필)	[개론] • 기후자료의 이해 (오지현) • 기후변화 시나리오 자료의 농업 분야 활용 (김광형) • 기후변화 시나리오 자료의 수자원 분야 활용 (조재필) • AIMS 플랫폼 설치 및 설명 (이준혁) • 기후자료처리 (CLIPs) 실습 (한정민)	환영만찬

일자	오전	오후 I	오후 II
10.16 (화)	[기후자료 처리 실습] • 미래 예측 유역에 대한 각자형 자료 활용 (박지훈) • 관측 자료의 Quality Control (김광형)	[상세화 이론] • 사용자 중심의 기후변화 시나리오 활용 절차 (황세운) • 통계적 상세화 기법 이론 소개 (황세운)	
10.17 (수)	[상세화 실습 I] • 기후변화 상세화 자료 생산> (조재필)	[상세화 실습 II] • 사용자 중심의 극한기후자수 및 결과 분석 (조재필)	
10.18 (목)	[상세화 실습 III] • 기후변화 상세화 결과 분석 (조재필)	[상세 자료 활용 실습 I] • 기후변화에 따른 기온 전망 분석 (조재필)	한국문화의 이해
10.19 (금)	[계절예측 및 상세화 개론] • APCC 계절예측MME 소개 (민영미) • CLIK 및 PICAPS 소개 (이윤영) • Weather Generator 기반 계절예측 상세화 (김무섭)	[계절예측 상세화 활용사례] • SForecast를 이용한 계절예측 상세화 (조재필) • EDI 기온예측 소개 (조재필) • 웹기반 서비스 소개 (이준혁) • 통가 기후스마트 지하수 관리 시스템 (윤선권)	
10.20 (토)	참가자 프로젝트 발표, 설문조사 및 수료증 배포, 문화 탐방		

2.5.3 국가기후변화 표준 시나리오 인증 신청

국가기후변화 적응대책 수립을 위해 과학적인 근거로 사용되는 기후변화 시나리오 상세화 자료는 미래 전망 자료의 불확실성을 고려하여 다중모형 기반의 접근이 필요하다. 기상청에서는 IPCC 6차 평가보고서(AR6)에 대비하고 그간 운영상 미비점을 보완하기 위하여 Table 9와 같이 상세화 인증 제도를 정비하였다. 이는 기존의 심사기준이 Table 10에서와 같이 역학적 상세화 자료만을 대상으로 규정되어 있어, 통계적 상세화 기법에 의해 생산된 자료에 대한 심사에 적합하지 않기 때문에 Table 12와 같이 통계적 상세화 기법에 대한 심사기준을 추가하였다. 따라서 AIMS를 통해 SQM 및 SDQDM 통계적 기법을 이용하여 1차년도에 생산된 상세화 자료를 표준 시나리오 인증을 신청하였다.

Table 9. 국가 기후변화 표준 시나리오 인증제 개요

항목	설명
목적	• 기후변화 시나리오 인증을 통해 기후변화 적응부문별 영향 및 취약성 평가의 일관성을 유지할 수 있도록 지원
표준 시나리오의 정의	• 객관적인 인증절차에 따라 제시된 기준을 만족하는 하나 또는 그 이상의 기후변화 시나리오
인증대상	• 개별적 연구목적이 아닌 국가 정책 등에 활용하고자 기후변화 시나리오를 생산하는 국가기관, 대학교, 연구기관, 민간기업 등
인증기준	• IPCC 기준에 근거하여 우리나라 미래 기후변화 정보에 대한 생산방법과 객관성에 대한 최소한의 기준 제시(전지구 및 지역 기후변화 시나리오의 온실가스 배출 시나리오, 공간·시간분해능, 산출 변수 및 기간 등에 대한 기준제시)

Table 10. 전 지구 기후변화 시나리오

항 목	내 용	비 고
배출 시나리오	• IPCC ¹⁾ 가 발표한 온실가스 배출 시나리오. 단, 위의 시나리오를 기반으로 지역특성(예: 한반도, 동아시아)을 반영한 시나리오 포함	IPCC 평가보고서를 위한 온실가스 시나리오
공간영역	• 전지구	
사용모델	• 전지구 모델	
공간분해능 (수평격자간격)	• 400 km 이하	
시간분해능	• 일 별	
규준실험 기간	• 200년 이상	Spin-up 기간 제외
재현·전망기간	• 재현: 30년 이상 • 전망: 현재~2100년	
산출변수	• 대기(기온, 강수량, 바람, 습도), 해양(표층수온, 해면고도) 필수변수 포함	CMIP ²⁾ 에서 산출하는 변수

1) IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change(기후변화에 관한 정부 간 협의체)

2) CMIP: Coupled Model Intercomparison Project(결합 모델 상호비교 프로젝트)

자료: 기상청 (2018), 2018년 국가 기후변화 표준 시나리오 인증심사 추진 계획

Table 11. 지역 기후변화 시나리오 (역학적 상세화 기준)

항 목	내 용	비 고
초기조건	• 국가 기후변화 표준 시나리오로 인증된 전지구 기후변화 시나리오 • IPCC에서 채택한 전지구 기후변화 시나리오	
공간영역	• 한반도 또는 동아시아(한반도를 포함한 영역)	
사용모델	• 역학 모델	
공간분해능 (수평격자간격)	• 한반도: 30 km 이하 • 동아시아: 60 km 이하	
시간분해능	• 일별	
재현·전망기간	• 재현: 최근 20년 이상 • 전망: 미래 20년 이상	
산출변수	• 대기(기온, 강수량, 바람, 습도) 또는 해양(표층수온, 해면고도) 필수변수 포함	CMIP ²⁾ 에서 산출하는 변수

자료: 기상청 (2018), 2018년 국가 기후변화 표준 시나리오 인증심사 추진 계획

Table 12. 지역 기후변화 시나리오 (통계적 상세화 기준)

항 목	내 용	비 고
초기조건	• 국가 기후변화 표준 시나리오로 인증된 전지구 또는 지역 기후변화 시나리오 • IPCC에서 채택한 전지구 또는 지역 기후변화 시나리오	통계적 상세화에 사용되는 기초자료
공간영역	• 한반도 또는 동아시아(한반도를 포함한 영역)	
재현·전망기간	• 재현: 최근 10년 이상 • 전망: 미래 20년 이상	
산출변수	• 대기(기온, 강수량) 또는 해양(표층수온, 해면고도) 필수변수 포함	CMIP ²⁾ 에서 산출하는 변수

자료: 기상청 (2018), 2018년 국가 기후변화 표준 시나리오 인증심사 추진 계획

3. 결과 및 고찰

3.1 CORDEX 자료 추가 및 CLIPs 기능 개선

3.1.1 CORDEX DB 구축

지역기후변화 시나리오는 해당 국가 또는 지역의 기후변화 전망과 상세화 과정에 이용될 수 있는 자료로 그 활용성은 높으나 방대한 자료량 및 자료처리 등의 이유로 사용자의 접근성이 떨어지며 또한 자료에 오류가 있을 시 사용 자체가 어렵다. 따라서 개도국 및 사용자 및 사용자들의 기후정보 활용성 확대를 목적으로 CORDEX-EA 4개 지역기후모델의 지역기후변화 시나리오를 동일한 영역에 대해 0.5도 격자로 변환하여 DB를 구축하였다.

CORDEX-EA 지역기후변화 시나리오 자료를 동일한 지역에 대해 0.5도 직선격자(rectilinear grid)로 변환하기 이전에 5개 지역기후모델의 자료에 대한 변수, 값, 기간 등을 확인하여 사용 가능한 자료를 확인하였다. 5개 지역기후모델의 자료는 모두 NetCDF(Network Common Data Form) 형식으로 되어 있으며 기본적으로 NetCDF CF(Climate and Forecast) Convention을 따르게 되나 국립기상과학원에서 산출한 지역기후변화 시나리오 자료를 제외한 국내 대학에서 산출된 자료는 NetCDF 파일(nc 파일)의 메타데이터가 서로 다르거나 변수명과 실제 값이 잘 못 매칭이 되어 있는 등의 문제점이 나타났다. 아래 글상자의 내용은 그 문제점 및 수정사항을 나열하였다.

〈 5개 지역기후변화 모델의 자료 확인 내용 〉

- (1) HadGEM3-RA
 - 기간 : 2006-2100년, time : '360-day' calendar ⇨ 문제없음
- (2) RegCM4
 - 기간 : 2006-2050년, time : CF Convention에 맞게 수정
※ '360-day' calendar 삽입, 1부터 순차적으로 되어 있는 time 값을 기준일 이후 값으로 수정
- (3) SNU-MM5
 - 기간 : rcp45(2006-2049년), rcp85(2006-2035년), time : CF Convention에 맞게 수정
※ 'Gregorian' calendar 삽입, 1부터 순차적으로 되어 있는 time 값을 기준일 이후 값으로 수정
 - sea level pressure 값과 surface air pressure 값이 뒤바뀌어 저장되어 있음(변수명 수정)

(4) SNU-WRF

- 기간 : 2006-2049년, time : CF Convention에 맞게 수정
 ※ 'Gregorian' calendar 삽입, 1부터 순차적으로 되어 있는 time 값을 기준일 이후 값으로 수정
- sea level pressure 값과 surface air pressure 값이 뒤바뀌어 저장되어 있음(변수명 수정)
- historical 자료 중 tasmax, tasmin 값 오류(편이보정 시 사용불가)

(5) YSU-RSM

- 기간 : 2006-2050년, time 정보 오류로 사용 불가(기준일과 time 값 불일치)

최종적으로 사용한 가능한 자료는 HadGEM3-RA, RegCM4, SNU-MM5, SNU-WRF의 4개 모델 자료 이고 변수는 응용분야에서 주로 사용하는 변수로 강수(pr), 지상기온(tas), 최고기온(tasmax), 최저기온(tasmin), 일사량(rsds), 지상풍속(sfcWind), 비습(huss), ps(지상기압)를 선택하였다. YSU-RSM 모델 자료의 경우 NetCDF 파일(nc 파일)의 메타데이터의 time 정보 중 기준일과 time 정보가 서로 달라 사용이 불가능 하였다. 또한 SNU-WRF 모델의 historical 자료 중 최고기온과 최저기온 변수값에 오류가 있어 향후 관측값을 이용한 rcp45, rcp85 자료의 편이보정을 수행 시에는 사용이 불가능하다. 아래 글상자는 HadGEM3-RA 지역기후모델의 0.5도 격자 rcp45 강수자료에 대한 NetCDF 파일의 메타데이터 예시를 나타낸다.

< HadGEM3-RA rcp45 강수(pr) 자료의 NetCDF 메타데이터 정보 >

```

dimensions:
    time = UNLIMITED ; // (1800 currently)
    bnds = 2 ;
    lat = 139 ;
    lon = 163 ;
variables:
    double time(time) ;
        time:axis = "T" ;
        time:bounds = "time_bnds" ;
        time:calendar = "360_day" ;
        time:units = "days since 2006-01-01" ;
        time:long_name = "time" ;
        time:standard_name = "time" ;
    double time_bnds(time, bnds) ;
    float lat(lat) ;
        lat:axis = "Y" ;
        lat:units = "degrees_north" ;
        lat:long_name = "latitude_coordinate" ;
        lat:standard_name = "latitude" ;
  
```



```

float lon(lon) ;
    lon:axis = "X" ;
    lon:units = "degrees_east" ;
    lon:long_name = "longitude_coordinate" ;
    lon:standard_name = "longitude" ;
float pr(time, lat, lon) ;
    pr:original_name = "PR" ;
    pr:units = "mm day-1" ;
    pr:comment = "at surface; includes both liquid and solid phases from all types
of clouds (both large-scale and convective)" ;
    pr:long_name = "Precipitation" ;
    pr:standard_name = "precipitation_flux" ;
    pr:_FillValue = 1.e+20f ;

// global attributes:
    :title = "139x163 rectilinear 0.5 degree regrid from CORDEX-EA
HadGEM3-RA_v1 model output" ;
    :institution = "APEC Climate Center" ;

```

CORDEX-EA 영역에 대한 향후 자료처리를 위해 4개 지역기후모델 HadGEM-RA, RegCM4, SNU-MM5의 기존 historical, rcp45, rcp85의 곡선격자(Curvilinear) 자료를 4개 모델이 동일한 영역을 가지도록 0.5도 직선격자(Rectilinear) 자료로 변환하였다(Fig. 6). 격자수는 139×163(위도 : -14~78, 경도는 : 55~159)이고, 구축된 0.5도 자료 중 지상기온, 비습, 지상기압을 이용하여 상대습도(rh)를 산출하였다, 상대습도 산출방법은 국립기상과학원에서 사용하는 아래와 같은 수식을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{포화수증기압} &= 6.11 \times \exp \left(\frac{17.67 \times (\text{지상기온} - 273.15)}{(\text{지상기온} - 29.65)} \right) \\
 \text{혼합비} &= (0.622 \times \text{포화수증기압}) / (\text{지상기온} - \text{포화수증기압}) \\
 \text{상대습도} &= (\text{비습} / \text{혼합비}) \times 100
 \end{aligned}$$

Table 13은 최종적으로 구축된 CORDEX-EA 지역기후변화 시나리오 자료에 대한 정보를 나타낸다.

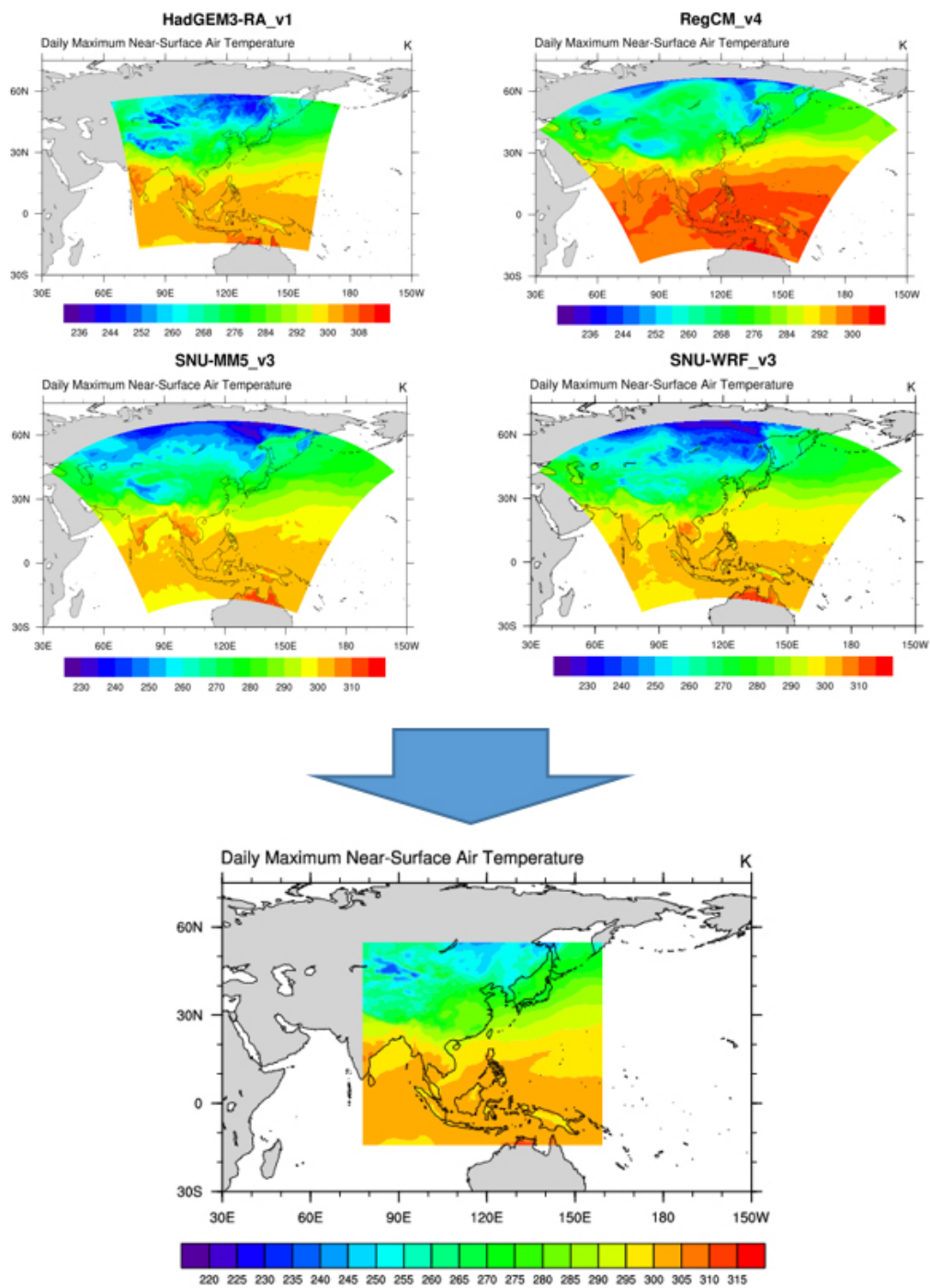


Figure 6. CORDEX-EA 자료의 리그리드(regrid) 및 curvilinear 좌표의 0.5도의 rectilinear 좌표체계로의 변환 모식도. 리그리드 자료는 139×163 격자로 구성(latitude × longitude).

Table 13. CORDEX-EA 0.5도 자료 설명

Model	Data	Spatial Resolution (lat × lon)	Period	Variables
HadGEM3-RA	Historical	0.5 degree (139 × 163)	1950-2005	pr, tas, tasmax, tasmin, huss, ps, rh
	RCP45		2006-2100	
	RCP85		2006-2100	
RegCM	historical	0.5 degree (139 × 163)	1979-2005	pr, tas, tasmax, tasmin, huss, ps, rh
	RCP45		2006-2050	
	PCP85		2006-2050	
SNU-MM5	historical	0.5 degree (139 × 163)	1979-2005	pr, tas, tasmax, tasmin, huss, ps, rh
	RCP45		2006-2049	
	RCP85		2006-2035	
SNU-WRF	historical	0.5 degree (139 × 163)	1979-2005	pr, tas, huss, ps, rh
	RCP45		2006-2049	pr, tas, tasmax, tasmin, huss, ps, rh
	RCP85		2006-2049	

CORDEX South Asia에 대한 지역기후변화 전망자료는 인도의 IITM(Indian Institute of Tropical Meteorology)의 CCSR(Centre for Climate Change Research)에서 배포 중이며, 참여국은 인도, 독일, 스웨덴, 호주이다. Table 14는 CORDEX South Asia의 지역기후모델을 나타내며, 향후 CORDEX-EA 0.5도 자료 구축과 같은 방법으로 DB를 구축하여 CORDEX 자료의 활용성 확대를 추진할 필요가 있다.

또한 국립기상과학원에서는 향후 AR6 전지구 기후변화 시나리오를 이용하여 2020년까지 동아시아 영역에 대해 CORDEX-EA 지역기후변화 전망자료를 산출할 계획으로 (<http://cordex-ea.climate.go.kr/cordex>), 자료 산출이 완료되면 CORDEX-EA AR6 DB 구축 및 정보 제공을 위해 국립기상과학원과 협업이 필요할 것으로 생각된다.

Table 14. CORDEX-SA 지역기후모형(Regional Climate Model, RCM) 설명

Experiment Name	RCM Description	Driving GCM	Contributing Institute
CCLM4(MPI)	Consortium for Small-scale MOdelling (COSMO) model in CLimate Mode version 4.8 (CCLM; Dobler and Ahrens, 2008)	Max Planck Institute for Meteorology, Germany, Earth System Model (MPI-ESM-LR; Giorgetta et al 2013)	Institute for Atmospheric and Environmental Sciences (IAES), Goethe University, Frankfurt am Main (GUF), Germany
RCA4(ICHEC)	Rosby Centre regional atmospheric model version 4 (RCA4; Samuelsson et al., 2011)	Irish Centre for High-End Computing (ICHEC), European Consortium ESM (EC-EARTH; Hazeleger et al. 2012)	Rosby Centre, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Sweden
CCAM(ACCESS)	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Conformal-Cubic Atmospheric Model (CCAM; McGregor and Dix, 2001)	ACCESS1.0	CSIRO Marine and Atmospheric Research, Melbourne, Australia
CCAM(CNRM)		CNRM-CM5	
CCAM(CCSM)		CCSM4	
CCAM(GFDL)		GFDL-CM3	
CCAM(MPI)		MPI-ESM-LR	
CCAM(BCCR)		NorESM-M	
LMDZ4(IPSL)	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) Laboratoire de Me'te'orologie Dynamique Zoomed version 4 (LMDZ4) atmospheric general circulation model (Sabin et al., 2013)	IPSL Coupled Model version 5 (IPSL-CM5-LR; Dufresne et al. 2013)	Centre for Climate Change Research (CCCR), Indian Institute of Tropical Meteorology (IITM), India
RegCM4(LMDZ)	The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) Regional Climatic Model version 4 (RegCM4; Giorgi et al., 2012)	IPSL LMDZ4	CCCR, IITM
RegCM4(GFDL)	ICTP RegCM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA, Earth System Model (GFDL-ESM2M-LR; Dunne et al. 2012)	CCCR, IITM
REMO2009(MPI)	MPI Regional model 2009 (REMO2009; Weblink: http://cccr.tropmet.res.in/cordex/docs/REMO-CORDEX-DATA-WAS-IITM_4.pdf)	MPI-ESM-LR (Giorgetta et al 2013)	Climate Service Center, Hamburg, Germany

3.1.2 CLIPs 기능 개선

CLIPs를 이용하여 기후변화 시나리오 데이터를 AIMS에 제공하기 위해서 곡선형 격자자료인 CORDEX-EA 자료를 직교격자로 데이터 변환작업을 진행하였다. AIMS를 활용하기 위해서는 ADSS를 통해 국가별로 제공하는 동일한 개수의 파일들을 한 번에 클립핑하여 AIMS를 구동하는 로컬 컴퓨터에 저장할 수 있어야 한다. 그리하여 아래의 그림과 같이 AIMS에서 필요로 하는 기후자료를 CLIPs에 연동하여 제공하도록 시스템을 개선하였다. 자료제공은 중분류를 통해서 AIMS를 위한 전체자료와 일반 사용자를 위한 모델별로 나누어 제공하도록 하였다. CLIPs를 이용하여 제공되는 AIMS용 자료는 CMIP5 Daily 자료뿐만 아니라 CORDEX-EA 자료도 표준화 작업을 거쳐 서비스하도록 시스템을 개선하였다.

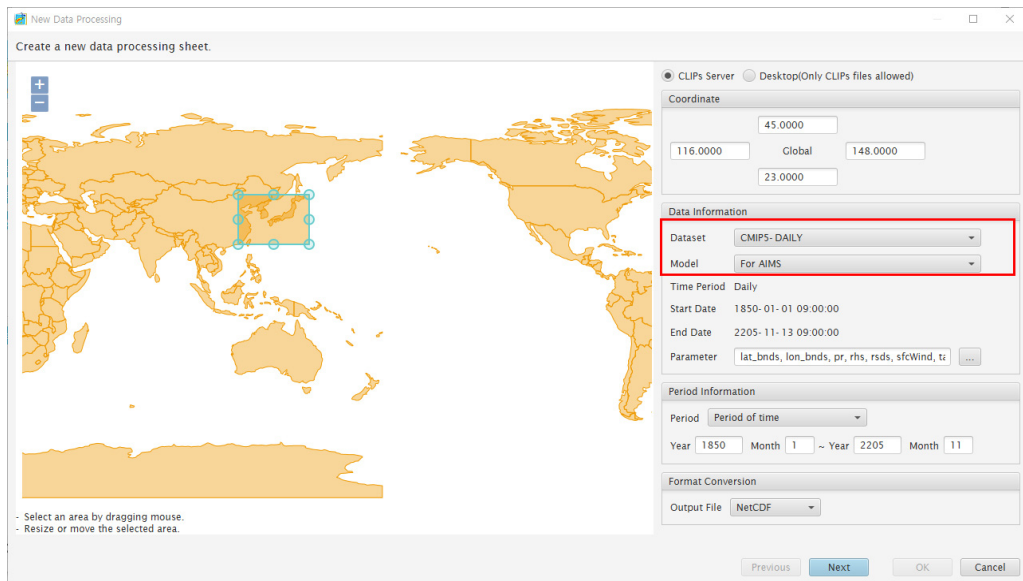


Figure 7. AIMS에 사용될 모델을 CLIPs에서 선택하는 화면

기후자료의 대상은 CORDEX 데이터의 Historical, RCP45, RCP85 모델을 활용하여 AIMS를 위한 NetCDF 표준화 작업을 진행하도록 설계하였다. 아래의 화면은 전구데이터인 CMIP5 자료에서 한반도 지역만 추출한 파일과 시각화한 이미지 자료로 사용자들은 AIMS를 이용하여 상세화하고자 하는 지역을 자유롭게 추출하여 사용할 수 있다.

CLIPs는 사용자들에게 자신이 원하는 지역의 데이터를 유기적으로 추출할 수 있는 기능을 제공하기 때문에 기존의 ADSS에서 제공하던 미리 정해진 국가, 지역에 따라 지역 데이터를 활용하는 것보다 편리하다. 각 나라별로 면적이 큰 지역과 작은 지역이 같이 존재하므로 면적이 큰 국가를 대상으로 다운스케일링을 진행하기에는 전구 데이터를 그대로 쓰는 것과 큰 차이를 보이지 않는다. 예를 들어 아래와 같이 방글라데시 주변의 데이터를 활용하고 싶다면, ADSS에서는 방글라데시 국가 좌표로 미리 정의되어 있는 기후변화 자료를 사용할 수밖에 없어 주변의 지역에 대해서는 상세화 작업을 진행하기 어렵다. 하지만, CLIPs를 사용하게 되면 방글라데시 주변의 지역까지 포괄하는 자료를 추출하여 이용할 수 있는 장점을 갖는다.

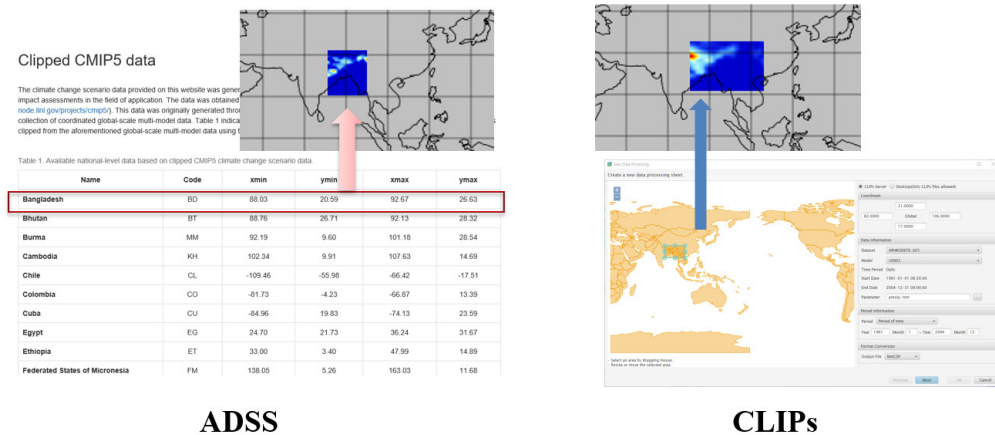
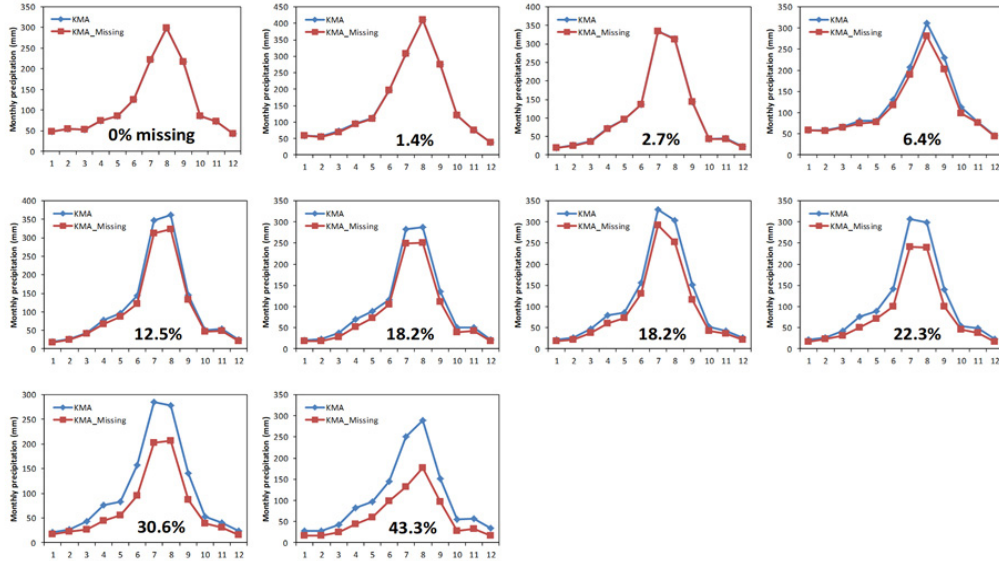


Figure 8. ADSS와 CLIPs의 자료제공 차이

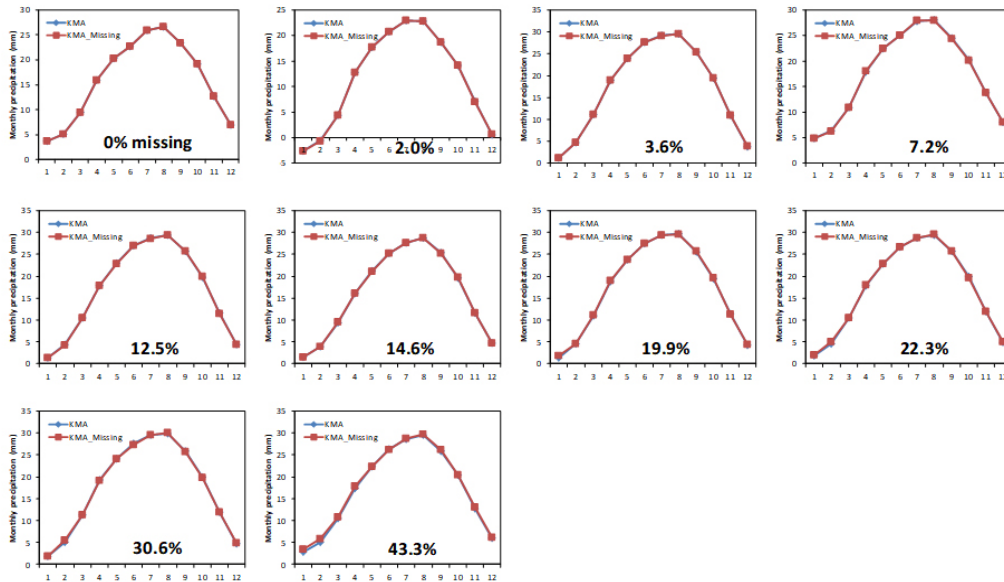
3.1.3 관측자료 Quality Control

결측이 없는 기상청 ASOS 자료를 이용하여 계산된 30년 평균 월별 강수량 및 기온과 비교하여 임의로 결측률을 증가시켜 감에 따라 계산된 평균값을 비교한 결과는 Fig. 9a 및 Fig. 9b와 같다. 30년 평균 월강수량의 경우 결측률이 증가함에 따라서 평균 강수량이 감소하는 결과를 보였다. 평균 강수량은 결측률이 3~6% 구간에서 변화하는 결과를 보였다. 반면 기온의 경우에는 결측률이 43.3%까지 증가하더라도 평균 기온은 크게 변화하지 않는 결과를 보였다. 즉, 이는 기후변화 시나리오 자료를 이용한 통계적 상세화 기법을

적용하는데 있어서 강수량의 경우 결측률에 따라서 크게 영향을 받을 수 있는 반면 기온의 경우에는 강수량과 비교하여 적게 영향을 받을 수 있음을 의미한다.



(a) precipitation



(b) max. temperature

Figure 9. 결측률에 따른 30년 월평균 (a) 강수량 및 (b) 최고기온의 변화

자료의 QC 및 결측처리를 위한 rQC 패키지는 Table 15와 같이 6개의 함수를 이용하여 Fig. 9와 같이 순차적으로 QC와 결측치 처리를 수행하게 된다.

Table 15. 자료의 QC를 위한 패키지 구조와 내용

Function name: Description
• Check.Station.Location: 사용자 입력 자료 중에서 관측지점 정보 파일(Station-Info.csv)의 관측소별 위경도 좌표와 격자형 관측 자료의 NC파일과의 비교를 통해 위경도 좌표값이 대상지역의 범위 안에 있는지 확인
• Check.Observed.Data: 사용자 관측 자료의 AIMS 입력 포맷과의 일치성, 칼럼별 자료 형태(문자, 숫자) 확인, 누락된 날짜 확인, 중복된 날짜 또는 자료 확인 등
• Check.Data.Range: 기온의 경우 발생 가능한 최소 및 최대 범위 ($-89.4 < \text{기온} < 57.8$), 풍속 > 0 , $0 < \text{상대습도} < 1$, 일사량 > 0)
• Check.Internal.Consistency: 평균기온 및 최고기온 $>$ 최저기온과 같이 내적 일치성 확인, 관측기기의 오작동으로 동일한 값이 사용자가 정의한 기간 이상으로 반복되는 경우
• Gap.Filling.Neighbor.Stations: 해당 관측소의 결측이 발생한 경우 사용자가 지정한 반경 내의 이웃 관측소로부터 일단위 자료와의 상관계수가 사용자 정의 임계값보다 큰 경우 두 지점 사이의 회귀식을 이용하여 결측값 보정
• Gap.Filling.Grid.Data: 해당 관측소의 결측이 발생한 경우 해당 관측소 및 이웃 관측소에 대하여 격자형 자료로부터 추출한 값을 이용하여 결측값 보정. 사용하는 격자형 자료는 해당 관측소로부터의 사용자 정의 반경 내에 존재하고 임계상관 계수보다 큰 경우 두 관측자료 사이의 회귀식을 이용하여 결측값 보정

우선 AIMS의 입력으로 사용되는 관측소 위치를 확인하고, AIMS의 관측 자료의 포맷과 격자형 자료를 이용한 결측치 처리를 위해서는 활용 가능한 위성 또는 재분석(meteorological reanalysis) 자료 중에서 대상 지역의 기후패턴을 가장 재현하는 자료를 선택하는 것이 필요하다. 이를 위해서 관측지점에 대한 격자형 자료의 추출 및 관측 자료와의 비교를 통한 평가 수행을 위해 rGridData 패키지를 개발하였다. APCC에서는 Table 16와 같이 전지구 규모의 위성자료와 재분석자료를 매월 업데이트하고 있다. 위성 자료의 경우 수자원분야에서 많이 사용되고 있는 APHRODITE 및 TRMM 자료들의 경우 최근 자료가 갱신되지 않아 제외하였다. 따라서 위성자료는 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station(CHIRPS) 자료와 PERSIANN Precipitation Climate Data Record(PERSIANN-CDR) 자료를 선택하였고, 재분석 자료로는 유럽중기예보센터(ECMWF)에서 생산된 ERA-Interim 재분석 자료와 미국의 NASA에서 제공하고 있는 Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2(MERRA2) 자료를 사용하였다. ERA-Interim 자료는 12시간 간격의 강수자료와 4시간 간격의 기온 자료를 제공하고 있으며 MERRA2 자료는 시간단위 강수자료를 각각 75km 및 50km의 공간해상도로 전지구 규모의 자료를 제공하고 있다.

Table 16. 격자형 자료 평가에 사용된 위성 및 재분석 자료 목록

Data type		Description				
		Spatial scale	Temporal scale of raw data	Variables provided	Data period	Update
Satellite	CHIRPS	25 km	Daily	Prec only	1981~2018	Monthly update with 1-month delay
	PERSIANN	25 km	Daily	Prec only	1983~2017	Annual update
Reanalysis	MERRA2	50 km	Hourly	Precipitation, Max./Min. Temperature	1980~2018	Monthly update with 1-month delay
	ERA	75 km	Prec: 12-hourly Temp: 4-hourly	Precipitation, Max./Min. Temperature	1979~2018	Monthly update with 1-month delay

한반도 60개 기상관측소에 대한 분석을 하는데 있어서 전 지구 규모의 자료를 사용하는 것은 MERRA2 강수량자료와 같이 시간단위 자료인 경우 용량이 큰 바이너리(NetCDF) 파일을 읽어 특정 관측소의 자료를 추출하는 과정에서 입출력에 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 Table 17와 같이 APCC의 기후자료 DB로부터 특정지역의 위성 및 재분석자료를 잘라내는 함수와, 클리핑된 기후자료와 관측소 위치를 포함한 GIS 자료를 중첩하여 관측소별 일단위 격자값을 추출하는 함수들 및 추출된 격자값들을 관측 자료와 비교를 통한 평가를 목적으로 하는 함수로 구성되어 있다.

Table 17. 격자형 자료 추출 및 평가를 위한 rGridData 패키지 함수 리스트 및 기능

Function name: Description
• Clipping.Chirps: APCC DB로부터 대상지역의 CHIRPS 데이터 추출 • Clipping.Persiann: APCC DB로부터 대상지역의 PERSIAN-CDR 데이터 추출 • Clipping.EraInterim: APCC DB로부터 대상지역의 ERA-Interim 데이터 추출 • Clipping.Merra2Daily: APCC DB로부터 대상지역의 MERRA2 일단위 데이터 추출 (기온) • Clipping.Merra2Hourly: APCC DB로부터 대상지역의 MERRA2 시간 단위 데이터 추출 (강수량) • Extract.Chirps: 클리핑된 대상지역의 NetCDF 파일로부터 기상관측지소 GIS 자료를 이용하여 CHIRPS의 격자값 추출 • Extract.Persiann: 클리핑된 대상지역의 NetCDF 파일로부터 기상관측지소 GIS 자료를 이용하여 PERSIAN-CDR의 격자값 추출 • Extract.EraInterim: 클리핑된 대상지역의 NetCDF 파일로부터 기상관측지소 GIS 자료를 이용하여 ERA-Interim의 격자값 추출 • Extract.Merra2: 클리핑된 대상지역의 NetCDF 파일로부터 기상관측지소 GIS 자료를 이용하여 MERRA2의 격자값 추출 • Comparison.Summary: 동일한 관측지점에 대해 추출된 일단위 자료로부터 결측값을 포함한 날짜를 제거하고, 월단위, 연단위, 월평균을 계산한 후 TCC 및 NRMSE 등 통계값 계산 • Comparison.Summary.Graph: 격자형 관측값의 재현성 평가 및 비교를 위한 그래프 생성

격자형 자료의 평가는 관측소 별로 추출한 일단위(daily) 강수량으로부터 월단위(monthly) 및 연단위(annual) 강수량, 30년 기간의 월평균 강수량을 계산한 후 시간규모별로 비교하였다. 일단위 자료로부터 월단위, 연단위, 월평균 강수량을 산정하는 경우 사용된 관측 또는 격자형 자료 중에 결측이 하나라도 존재하는 날짜는 모두 분석에서 제외하였다. 비교는 일단위, 월단위, 연단위 및 월평균 강수량에 대하여 관측 자료와의 전체적인 편차를 살펴보기 위해 RMSE를 관측의 표준편차로 나누어 표준화한 Normalized root mean square error(NRMSE)와 관측 자료의 경향을 잘 반영하는지를 살펴보기 위한 Temporal Correlation Coefficient(TCC)를 사용하였다.

Fig. 10는 네 가지 격자형 자료에 대하여 60개 한반도 기상관측소 강수량 자료와의 비교를 통한 시간 규모별 TCC 값을 각각 보여 준다. 박스그래프는 60개 관측소별 TCC 값의 범위를 보여 주며 MERRA2가 일단위 시간 규모에서 가장 높은 TCC 결과를 보였다.

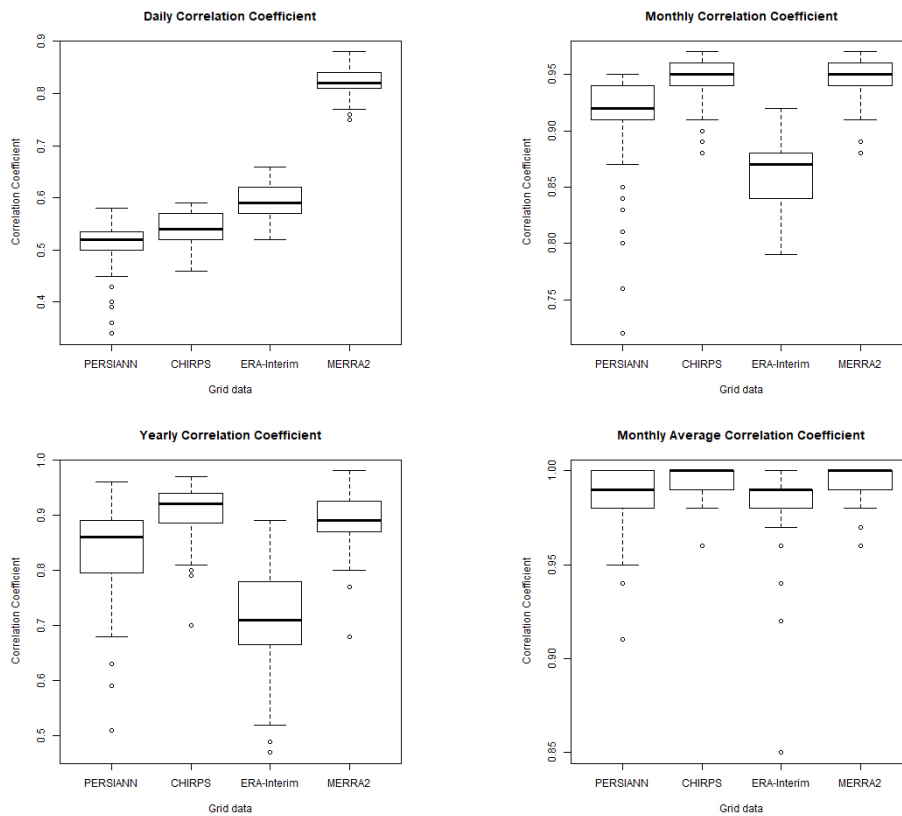


Figure 10. 한반도 60개 기상관측소에서의 격자형 관측 자료별 재현성 평가 결과 (강수량)

따라서 한반도 60개 관측소에 대한 결측치 처리를 위해서 사용할 수 있는 격자형 자료로 MERRA2 자료를 선택하였다. 60개 기상관측소 자료의 경우에는 임의로 만든 결측치를 제외하고 자료의 포맷, 이상치, 내적 일치성의 문제는 발견되지 않았다. 따라서 결측치 보정을 주변 관측소를 이용하여 결측치를 처리한 후 여전히 처리가 안 된 결측치에 대해서는 마지막으로 격자형 자료를 이용하여 결측치를 처리하였다. 인근 관측소의 자료를 이용한 결측치 처리는 결측 지점과 인근 관측소 사이의 거리가 사용자가 정한 임계거리 이내에 포함되는 경우와 그리고 이와 동시에 두 지점의 데이터로부터 계산된 상관계수가 사용자가 지정한 임계값 이상인 경우에 두 자료 사이의 회귀식을 이용하여 결측치를 처리하게 된다. MERRA2를 이용한 결측치 처리도 동일한 기법을 사용하였으나 관측자료 기반 결측치 보정에는 결측 관측소를 사용할 수 없지만, 격자형 자료의 경우에는 결측 관측소와 동일한 위치의 MERRA2의 자료를 활용할 수 있다는 장점이 있다.

Fig. 11은 임의로 만든 결측치 중에서 결측률이 가장 높은 ID129(서산)에서의 실제 관측값, 결측치 보정 전, 그리고 MERRA2로부터 추출된 값을 이용하여 계산된 월평균 강수량의 분포를 보여 준다. 30년 평균 연강수량은 결측이 없는 원자료의 경우 1258 mm를 보였으며 결측을 보정한 이후 연강수량은 1220 mm를 보여 -3.1% 작은 경향을 보였다.

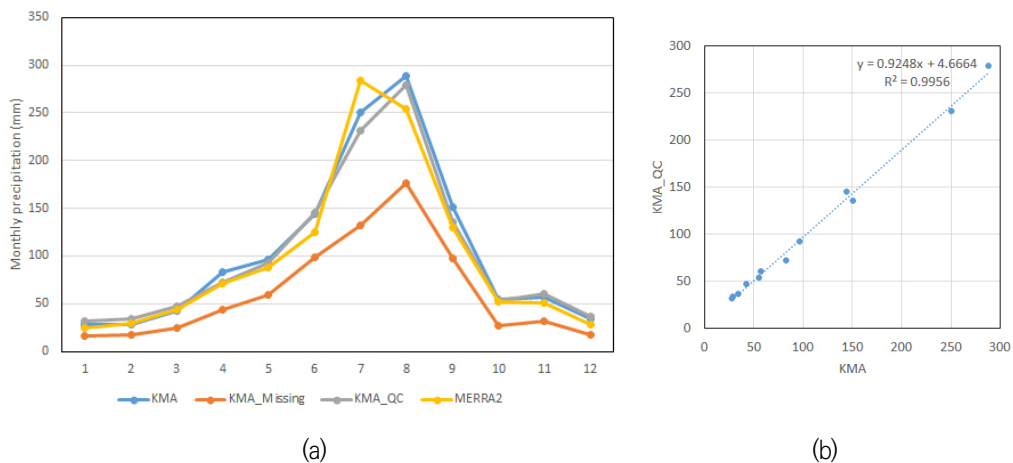


Figure 11. ID129(서산) 관측소에서의 결측치 보정 전 및 보정 후의 강수량 비교

3.2 기후변화 시나리오 상세화 모듈 개선 및 추가

3.2.1 rSQM 모듈 개선

새롭게 추가된 격자형 자료의 상세화 함수는 Table 18에서와 같으며 격자형 상세화 기법은 Fig. 12에서와 같이 ADB 전체 회원국에 대해 적용하여 활용성을 평가하였다. 상세화의 절차는 아래 글상자의 내용과 같이 수행되었다. 상세화된 자료를 이용하여 27개 극한기후지수 중에서 Table 20에서와 같이 21개 극한지수를 계산하였다.

Table 18. 격자형 기반 상세화 주요 함수 리스트 및 기능

Function name: Description
• DailyExtractGrid: 관측(MERRA2) 및 기후변화 자료(CMIP5)의 NetCDF 파일에 관측자료 지점에서의 Point 형식의 GIS 자료를 중첩하여 격자점에 대한 값을 추출 • DailyQMapGrid: 격자형 관측지점에 대하여 추출된 관측 자료와 CMIP5 자료를 이용하여 월별로 Quantile Mapping을 수행 • CalClimateIndexGrid: 관측 격자점에 대하여 상세화된 자료를 이용하여 21개 극한기후지수 산출 • DrawInterpolatedMap: 관측 격자점에 대하여 산출된 극한기후지수를 이용하여 역거리가중법을 이용하여 공간해상도가 높은 래스터 형식의 GIS 파일로 변환
1. Selection of observation: MERRA2 reanalysis data with 50 km by 50 km resolution was selected as observation data. 2. Extracting daily time series for precipitation, maximum temperature, and minimum temperature from MERRA2 over MERRA2 grid points on ADB boundary 3. Extracting original daily time series for precipitation, maximum temperature, and minimum temperature from individual 29 GCMs over the same MERRA2 grid points 4. Applying Simple Quantile Mapping (SQM) method against the MERRA2 grid points by using extracted daily time-series from MERRA2 and individual GCM as input 5. Calculating climate extreme indices over the MERRA2 grid points using downscaled daily time-series from individual GCM 6. Calculating average(MME) of climate extreme indices based on 29 GCMs over the MERRA2 grid points 7. Calculating percent changes and deviation(future - historical) based on MME average values for each climate extreme index 8. Interpolating calculated MME, percent changes, and deviation values over MERRA2 grid points against 900 by 900 meter grid data as base map

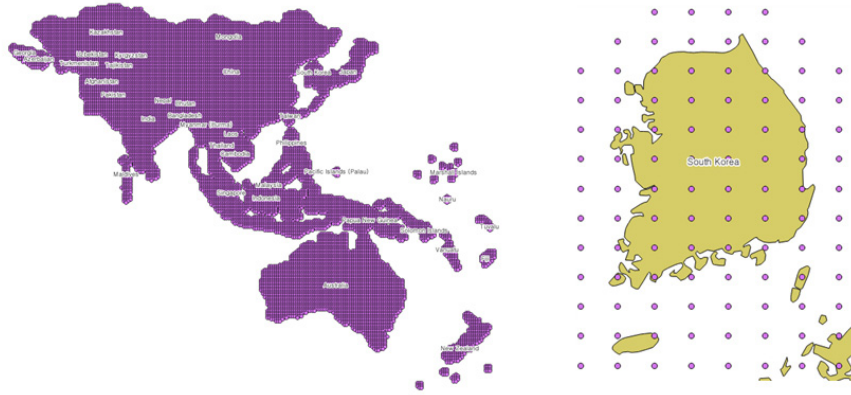


Figure 12. ADB 회원국에 대한 MERRA2 격자망(좌) 및 한반도 지역 격자망(우)

Table 20. 격자형 상세화 결과 기반 극한기후지수 리스트

ID	Variable	Description	Unit
SU	TMAX	Annual count of days when TMAX > 25°C	Days
ID		Annual count of days when TMAX < 0°C	Days
TXn		Annual minimum value of TMAX	°C
TXx		Annual maximum value of TMAX	°C
WSDI		Annual count of days with at least 6 consecutive days when TMAX > 90th percentile	Days
FD	TMIN	Annual count of days when TMIN < 0°C	Days
TR		Annual count of days when TMIN > 20°C	Days
TNn		Annual minimum value of TMIN	°C
TNx		Annual maximum value of TMIN	°C
CSDI		Annual count of days with at least 6 consecutive days when TMIN < 10th percentile	Days
DTR	TMAX & TMIN	Annual mean difference between daily maximum temperature TMAX and TMIN	°C
GSL	TAVG	Annual count between first span of at least 6 days with daily mean temperature TG>5°C and first span of 6 days with TG<5°C.	Days
CDD	PRCP	Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm	Days
CWD		Maximum number of consecutive days with daily PRCP ≥ 1mm	Days
PRCPTOT		Annual total PRCP in wet days (daily PRCP ≥ 1mm)	mm
Rx1day		Annual maximum 1-day precipitation	mm
Rx5day		Annual maximum 5-day precipitation (PRCP)	mm
SDII		Annual precipitation divided by the number of wet days	mm/day
R10mm		Annual count of days when PRCP ≥ 10mm	Days
R20mm		Annual count of days when PRCP ≥ 20mm	Days
Rnnmm		Annual count of days when PRCP ≥ nnmm, nn is a user defined threshold (default threshold is 1)	Das

3.2.2 rSDQDM 모듈 개선

GCM의 형태 및 특성에 따라서 원활한 상세화가 되지 않는 오류를 발견하였고, 이를 수정하여 CMIP5 데이터가 결측인 경우 결측으로 반환하는 옵션을 추가하여 평가하였다.

3.2.3 BSCA 모듈 추가 및 평가

원시 GCM평가는 통계적 상세화 과정 전의 원시 GCM이 갖는 시·공간적인 패턴이 실제 관측 자료에 의한 패턴과 비교하여 얼마나 잘 재현되는지를 평가하고 기후의 시·공간적인 특성을 현저하게 반영하지 못하는 GCM들을 이후 과정에서 제외하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 1차년도 연구를 통해서 선정된 22개 GCM을 이후 상세화 및 과거 재현성 평가와 미래 시그널 왜곡도 평가에 사용하였다.

3.2.3.1 BCSA 모듈 개발 및 공간상관 분석

추계적 공간분포 발생기법인 BCSA(Bias-Correction and Stochastic Analog)는 Hwang and Graham(2013)이 개발한 통계적 상세화 방법이다. BCSA는 공분산 베리오그램을 기반으로 강우의 과거 공간 변동성을 재현하는 일단위 강우 공간분포를 추계적으로 생산하여 Replicates library를 구축하고 편이보정된 일단위 GCM 산출물에 부합하는 replicate를 추출하여 목적으로 하는 공간해상도의 자료를 생산하는 방법이다. BCSA 상세화를 위해서는 관측 자료의 공간상관성을 잘 유지하는, Randomly Generated 된 값이 필요한데, 이를 위해 아래의 과정을 이용하여 산출한다. 기온의 경우 변수별로 상세화가 되는 BCSA에 특징으로 인하여 최대기온이 최저기온보다 적게 추정되는 경우가 생기기 때문에, 평균기온을 이용하여 최대기온과 최저기온을 상세화 한다. 다음의 BCSA의 과정은 시간적 공간통계는 강수와 기온의 변수를 나누어 적용하며, 매월 따로 계산이 되며 아래의 순서를 따른다. 아래의 5가지 과정은 Hwang and Graham(2013)이 제시한 방법을 정리하여 서술하였다.

1. BCSEA의 첫 번째 단계는 Normal score transformation 방법(Goovaerts, 1997; Deutsch and Journel, 1998)을 이용한 관측데이터의 정규화이다.

$$x_{t,i}^* = G^{-1}(F_{obs,i}(x_{t,i}))$$

여기서, $x_{t,i}^*$ 는 $x_{t,i}$ 의 Normal score transform 결과이며, $x_{t,i}$ 는 t 개의 일수와 i 개의 관측지점을 가지는 일단위 자료이다. $G^{-1}(\cdot)$ 는 표준 가우시안의 역함수이다. $F_{obs,i}(x)$ 는 i 개 관측점의 일단위 관측 자료의 경험적 누적분포함수(CDF)이다.

2. 모든 관측점의 관측치 쌍에 대한 Normal Transform score에 대한 Pearson 상관계수 ρ 는 다음의 방정식을 사용하여 매월 계산되었다.

$$\rho_{i,j} = \frac{1}{N} \frac{(x_{t,i}^* - \overline{x_i^*})(x_{t,j}^* - \overline{x_j^*})}{\sigma_i^* \sigma_j^*}$$

여기서, N 은 각 관측지점에 사용가능한 데이터의 수(일)이며, $\overline{x_i^*}$ and σ_i^* 는 각각 Normal score의 i 번째 관측 자료의 시간적 평균과 표준편차를 의미한다. 계산된 모든 pair-wise correlation 으로 샘플은 아래와 같다.

$$\rho = \begin{bmatrix} \rho_{1,1} & \cdots & \rho_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n,1} & \cdots & \rho_{n,n} \end{bmatrix}$$

여기서 n 은 관측지점의 수를 의미한다.

3. Symmetric positive-definite correlation matrix인 ρ 를 Cholesky decomposition 방법(Tausky and Todd, 2006)을 이용하여 분해한다. 식은 아래와 같다.

$$\rho = LL^*$$

여기서, L 은 하삼각행렬이고, L^* 은 L 의 대칭행렬이다.

4. 일단위로 Gaussian 분포에서 무작위로 생성된 $t(r_t)$ 계산된 factorization matrix인 L^* 을 곱하여 r_t^φ 을 계산한다.

$$r_t^\varphi = r_t L^*$$

이 과정에서 생성된 r_t^φ 는 관측된 공간 상관관계를 따르지만, 평균과 단위분산이 0이다.

5. 공간적 상관관계가 있는 normal score 변수 r_t^φ 는 back-transform을 통하여 관측 자료의 경험적 CDF 분포로 바꾸는 과정이 필요하다. 식은 아래와 같다.

$$\hat{x}_{t,i} = F_{obs,i}^{-1}(F_{norm,i}(x_{t,i}^\varphi))$$

여기서, $x_{t,i}^\varphi$ 는 r_t^φ 의 요소로 i 번째 관측지점의 일 자료 벡터를 의미한다.

$F_{norm,i}(\cdot)$ 은 i 번째 관측지점에서 생성된 normal score의 Normal에 가까운 경험적 CDF를 의미한다. $\hat{x}_{t,i}$ 는 i 번째 관측지점에 t 일에 예측된 값이다. 이 과정은 관측된 변수 값의 필드와 공간적 상관구조와 각 관측지점에 대한 경험적 일일 자료의 CDF를 보존하는 필드를 얻기 위해 관측지점의 수만큼 반복한다.

GCM은 Quantile Mapping(QM)을 통해 상세화를 시행하고, QM 결과와 가장 유사한 결과 값을 앞서 생산된 데이터베이스로부터 찾아서 대체함으로써 공간분포가 잘 재현된 상세화 결과를 생성한다. QM 결과와 유사한 결과를 찾는 방법을 강수와 기온을 나누어 적용한다. 본 과정을 Flow Chart로 정리하면 아래와 같다.

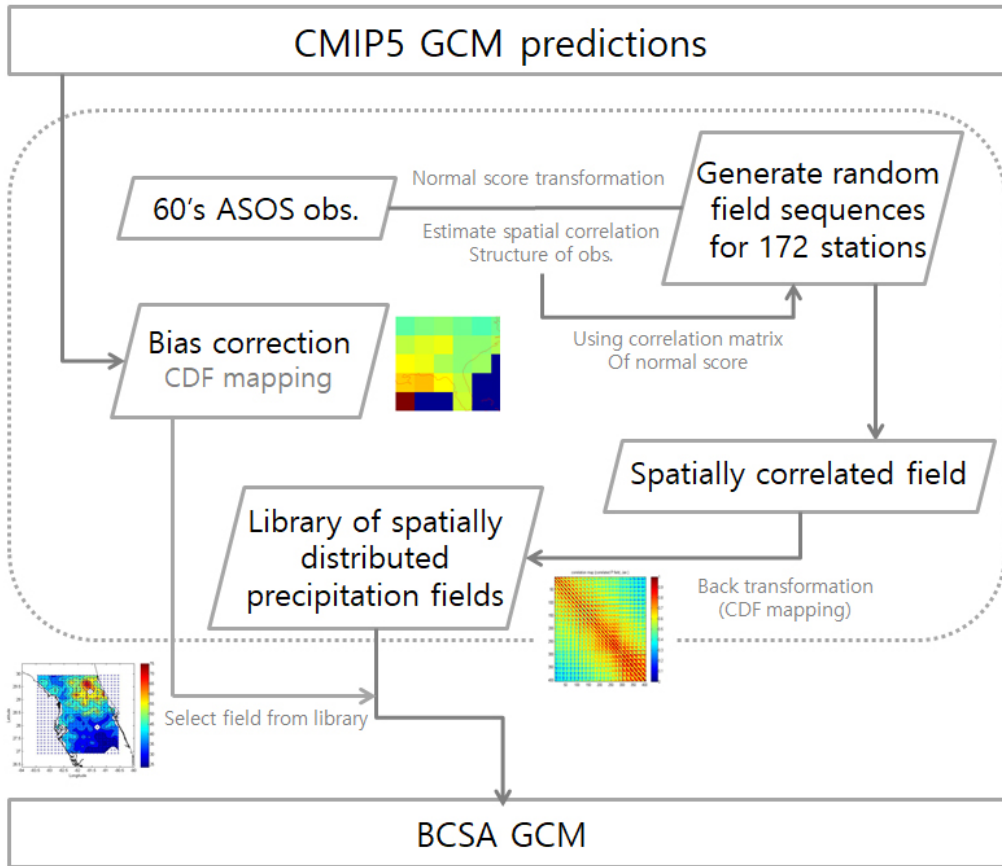
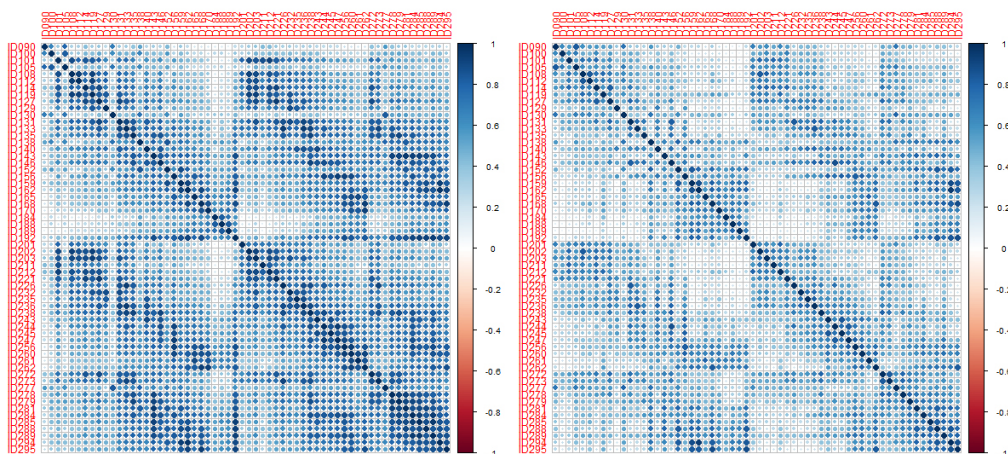
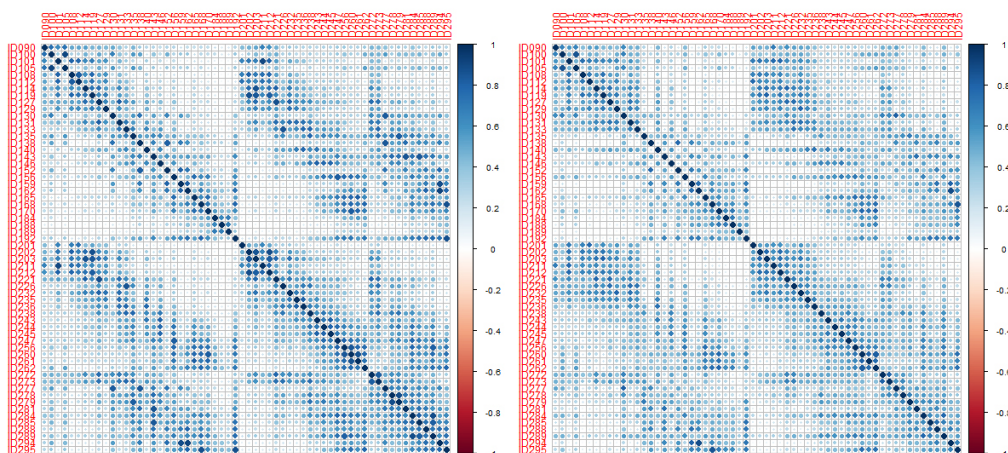


Figure 13. BCSA 상세화 흐름도

60개 관측지점의 공간상관성을 확인하기 위해 상관행렬도를 이용하였다. 공간상관성을 적용한 행렬은 가우시안 분포에서 2만 번 Generate하였고 한반도의 공간패턴을 입력하였다. 강수량의 공간상관성 결과 비교를 위해 관측 자료와 한반도의 공간상관성이 적용된 행렬의 차이를 Fig. 14에서와 같이 비교하였다. 그림에서와 같이 강수량의 지역별 차이가 크게 두드러지지 않는 건기에는 관측 자료와 생성된 자료간의 공간상관성이 100%에 가깝게 추정되지는 않았지만, 지역별 강수패턴이 상이한 우기에는 지역별 공간상관성의 패턴이 정확하게 재현되는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 BCSA에 사용된 추계학적 기법을 통해 생성된 강수 자료가 관측 자료의 공간상관성을 유사하게 재현하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 1월



(b) 8월

Figure 14. 강수량 공간패턴 재현을 통해 생산된 자료(좌)와 관측자료(우)의 상관행렬도: (a) 1월, (b) 8월.

또한 BCSA 기법을 이용하여 상세화된 자료를 이용하여 산정된 강우의 천이확률을 관측 자료로부터 산정된 천이확률과 Fig. 15에서와 같이 비교하였다. Dry to Dry 확률은 원시 GCM에서 관측과 비교하여 낮은 경향을 보인 반면, Wet to Wet 확률은 반대로 관측과 비교하여 높은 경향을 보였다. 이는 원시 GCM의 강수량은 지역 평균 강수량으로서 작은 강수사상이 자주 발생하는 특성을 갖고 있기 때문이다. BCSA 기법을 이용하여 상세화된 자료의 경우는 그림에서와 같이 천이확률을 두 경우 모두 관측 자료와 비슷하게 재현하고 있음을 볼 수 있다.

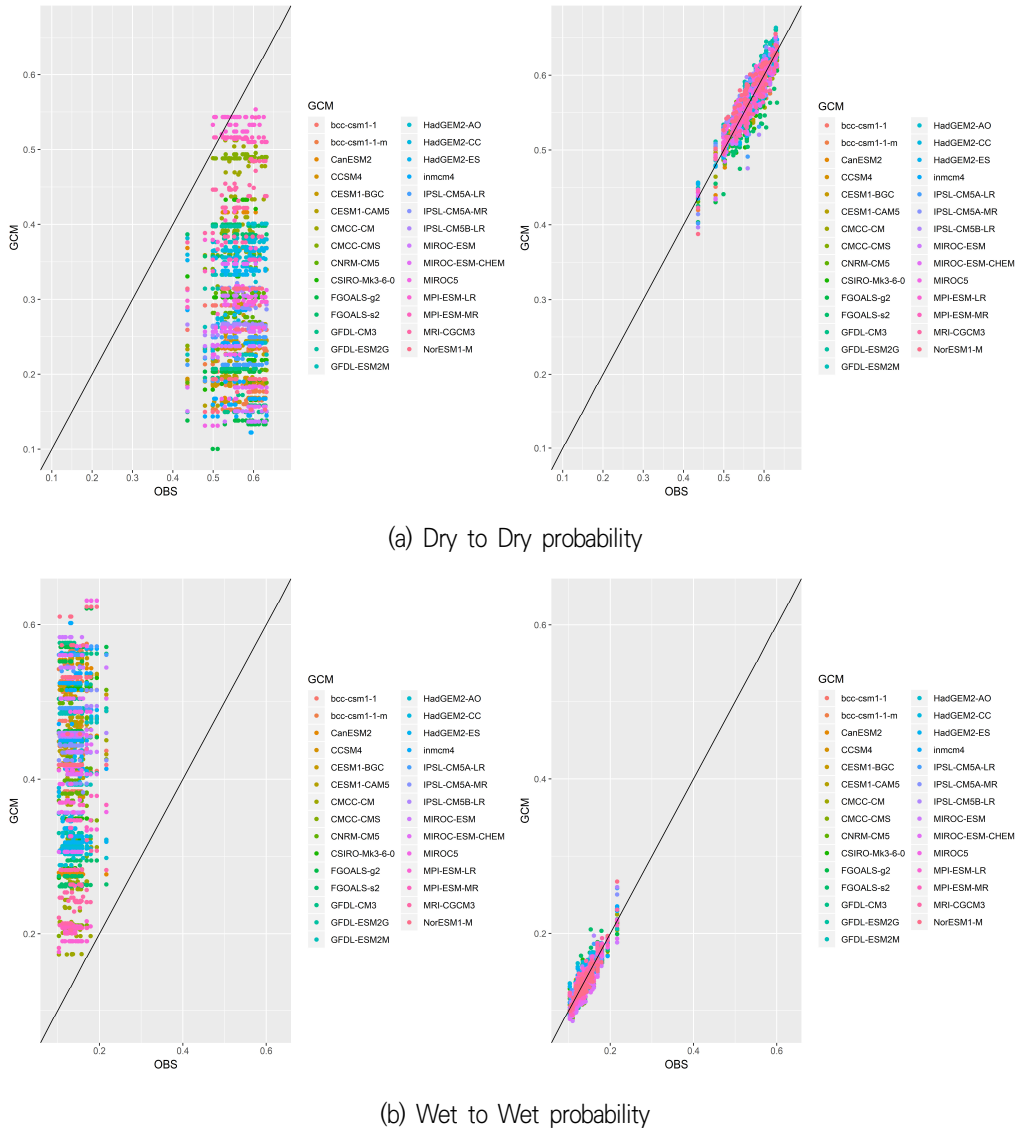
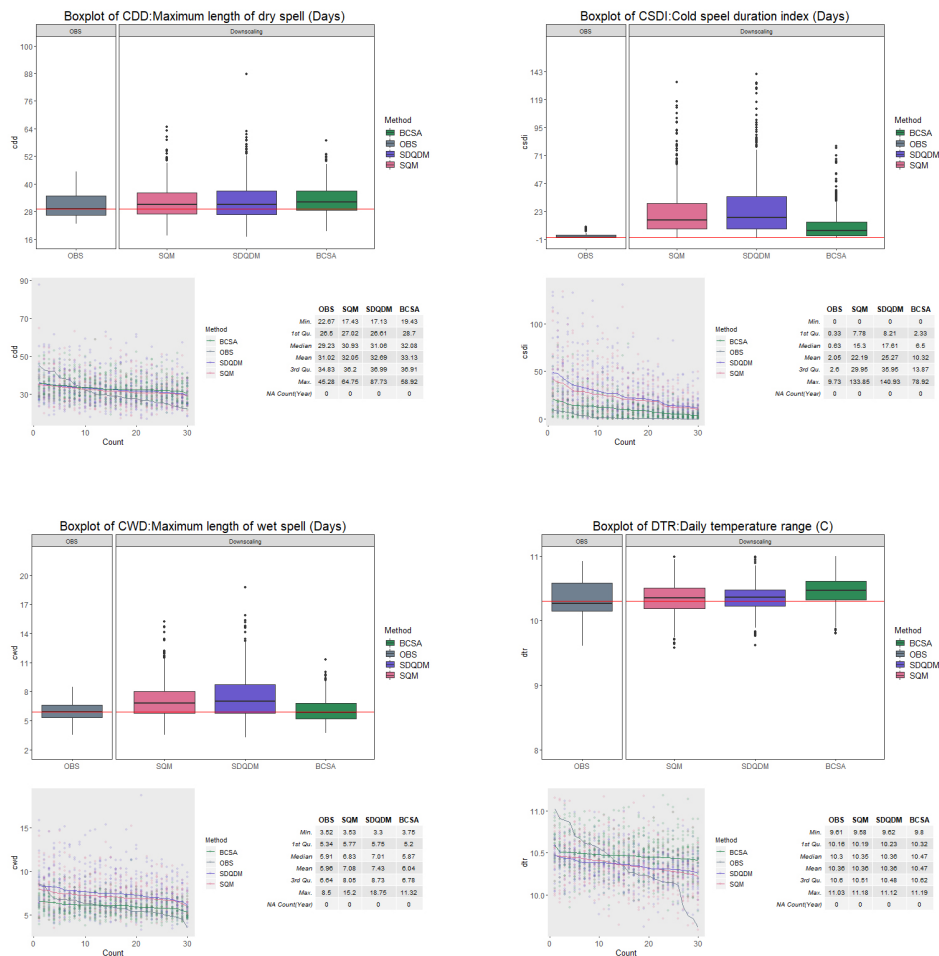


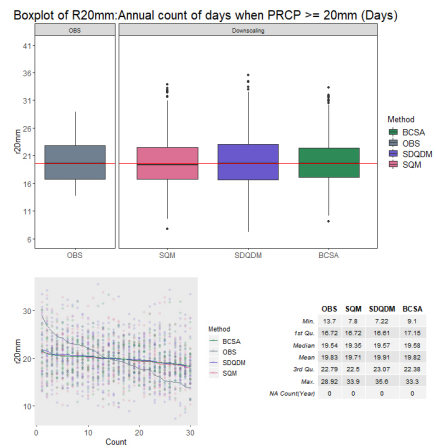
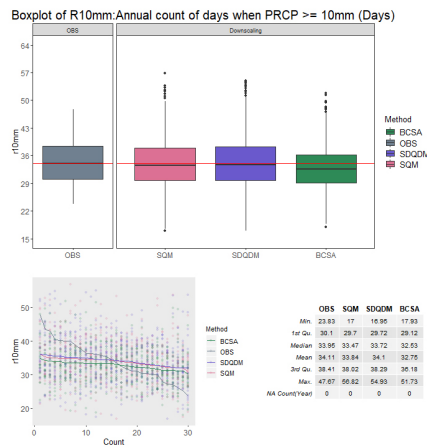
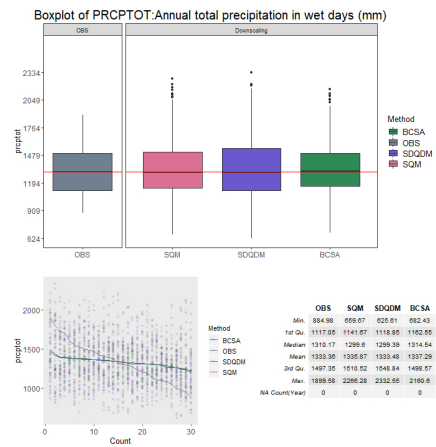
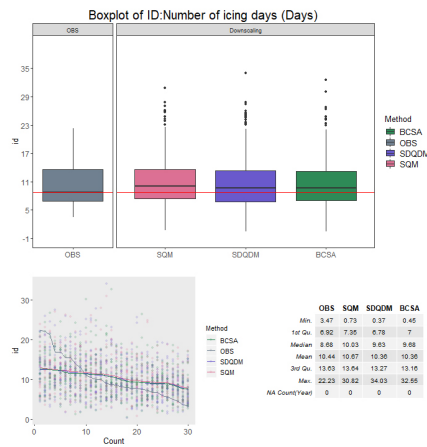
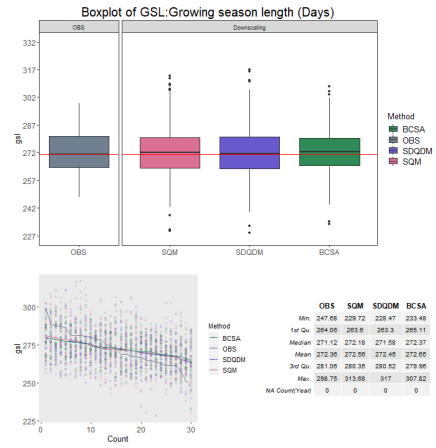
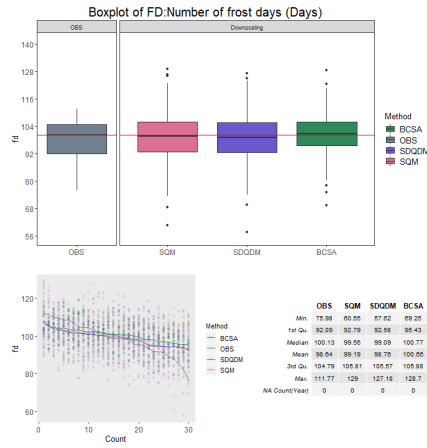
Figure 15. Comparison of transition probability of daily precipitation data by raw GCMs (left) and BCSA (right).

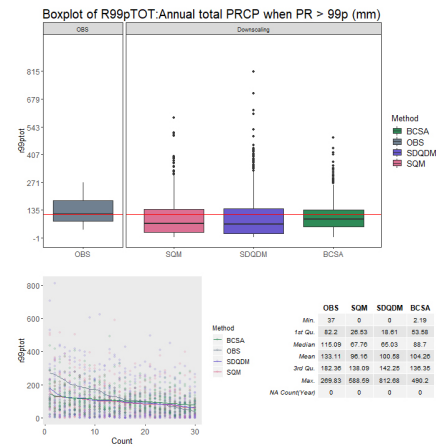
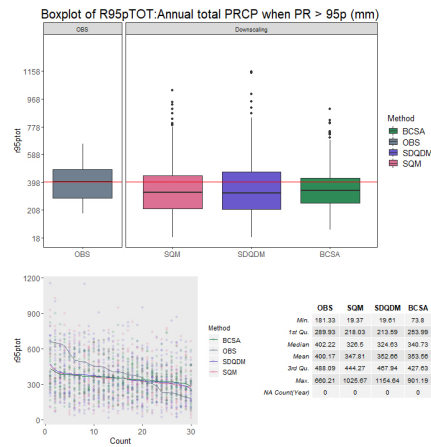
3.2.3.2 극한 기후지수의 과거 재현성 평가

극한기후지수의 과거 재현성 평가는 상세화된 기후변화 시나리오 자료가 동일한 과거 기간의 관측 자료와 비교하여 얼마나 유사한지를 평가하는 것을 목적으로 한다. Fig. 16는 AIMS에 포함되어 있는 SQM, SDQDM, BCSA를 이용하여 60개 기상관측소에 대해

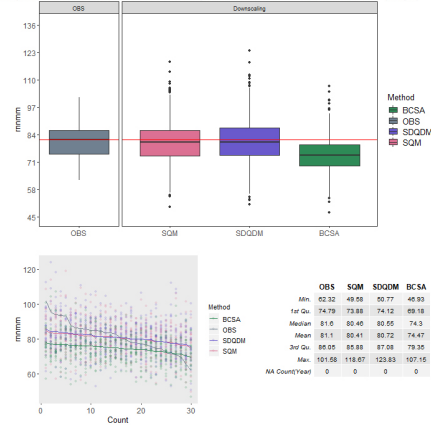
상세화한 자료를 이용하여 27개 극한기후지수에 대한 과거 재현성을 평가한 결과를 보여 준다. 전체 27개 극한기후지수 중에서 중앙값을 기준으로 할 때 BCSA 기법의 경우 CSDI 및 CWD의 경우에는 다른 두 기법과 비교하여 우수한 재현성을 보인 반면에 SDII 및 TNN은 낮은 재현성 결과를 보였다. Table 21은 중앙값 기준 상세화 기법 별 평가결과를 보여 준다.



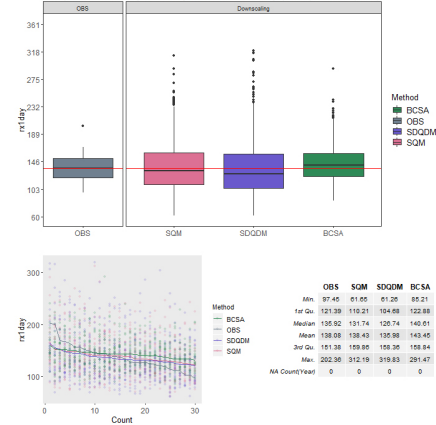




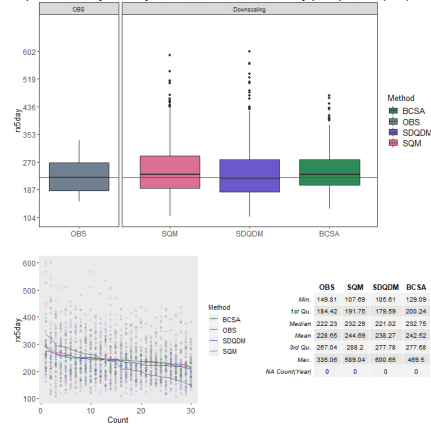
Boxplot of Rnnmm:Annual count of days when PRCP >= nnmm, nn is 1 (Days)



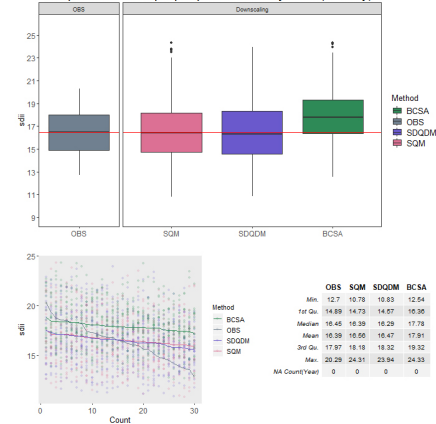
Boxplot of Rx1day:Monthly maximum 1-day precipitation (mm)

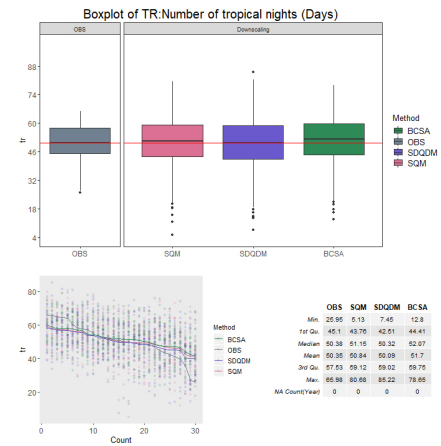
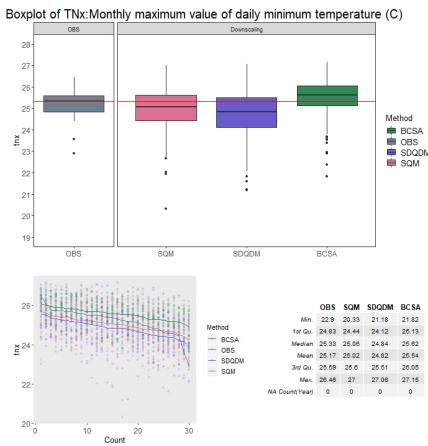
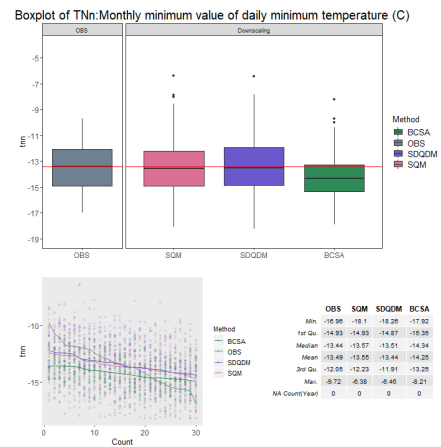
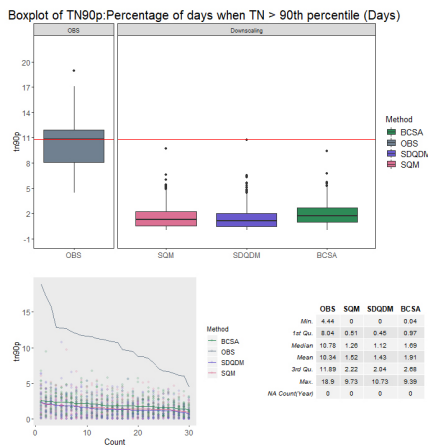
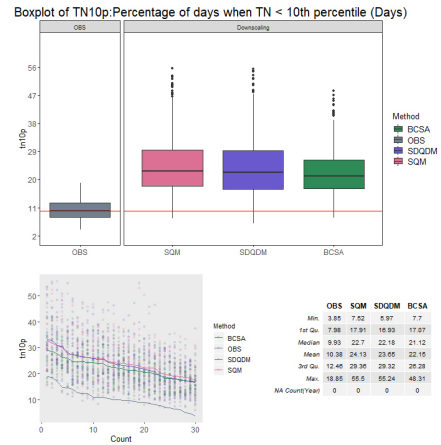
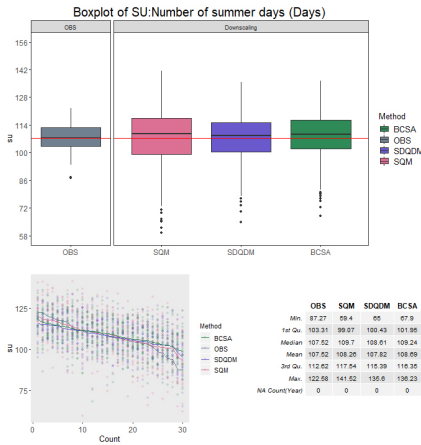


Boxplot of Rx5day:Monthly maximum consecutive 5-day precipitation (mm)



Boxplot of SDII:Simple precipitation intensity index (mm/day)





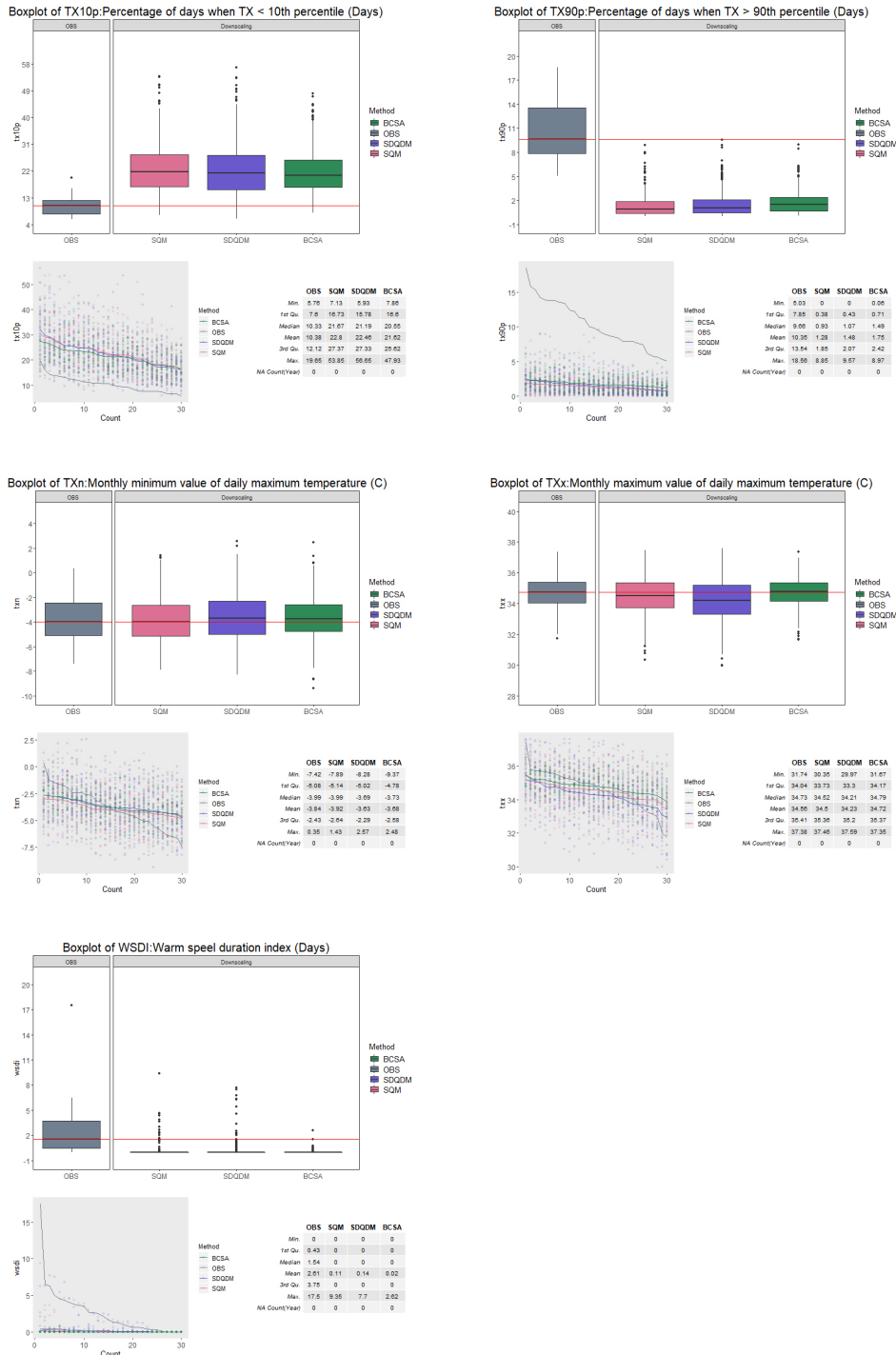


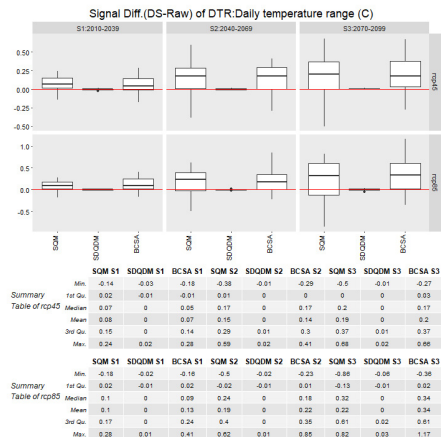
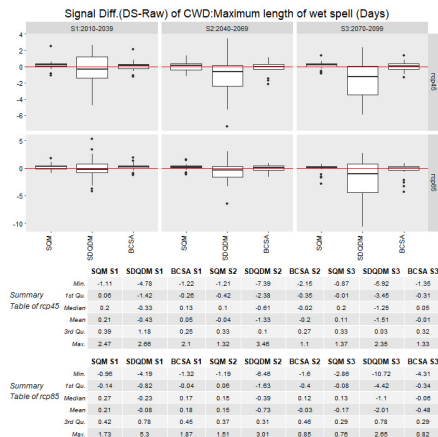
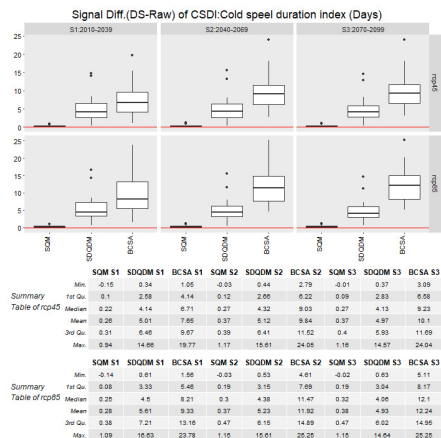
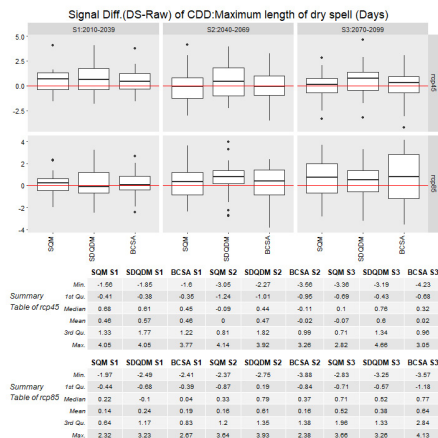
Figure 16. 극한기후지수의 과거재현성 평가

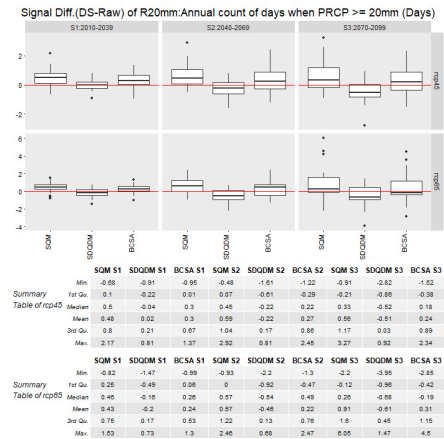
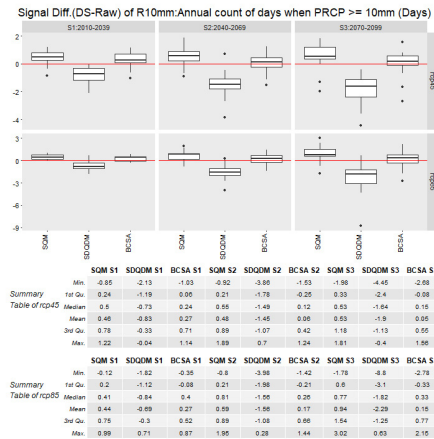
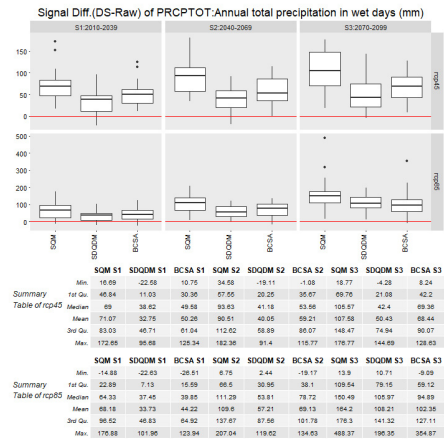
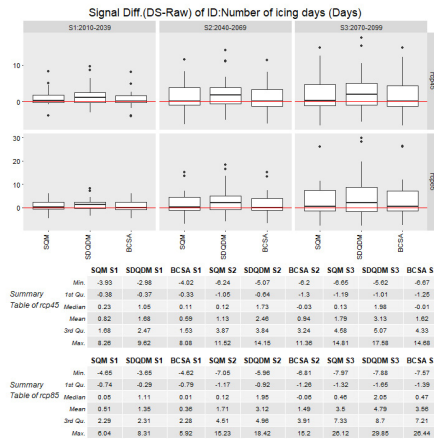
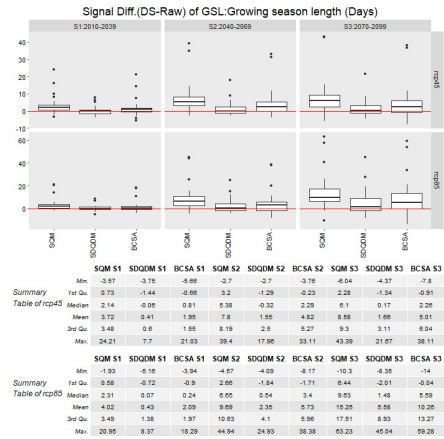
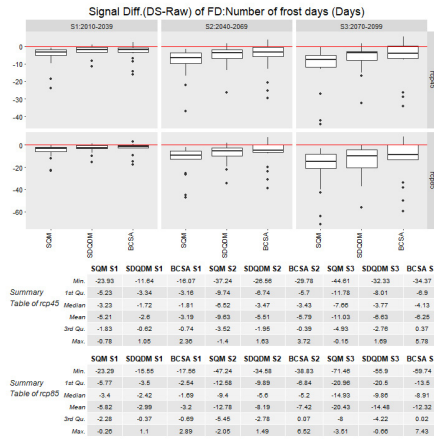
Table 21. 상세화 기법에 따른 ETCCDI 극한기후지수(climate extreme indices)의 평균값 중심의 과거 재현성 비교

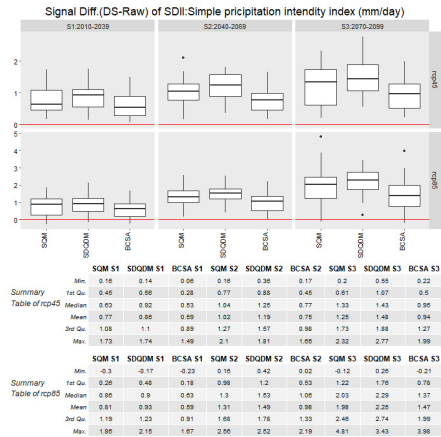
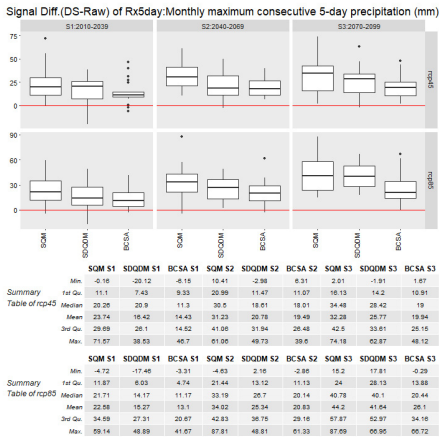
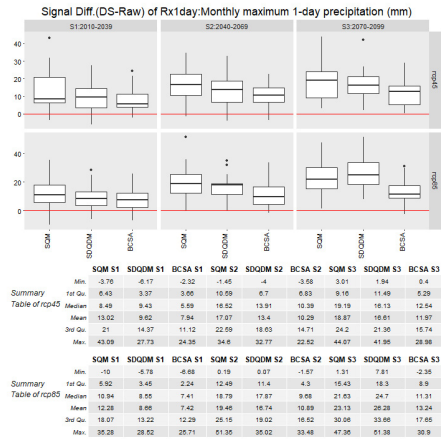
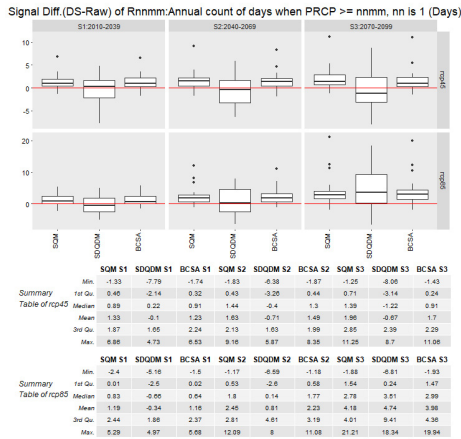
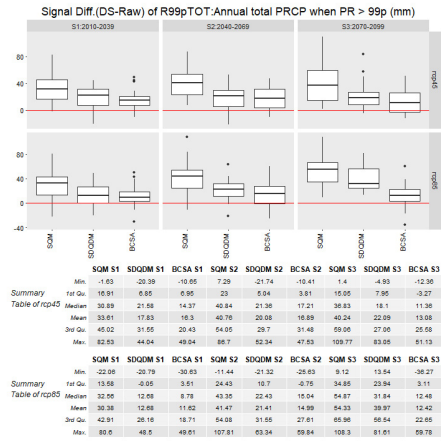
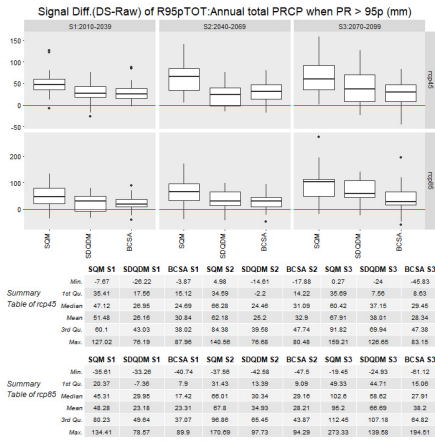
Indices	OBS	SQM	SDQDM	BCSA
prcptot	1310.17	1299.60(-0.81%)	1299.39(-0.82%)	1314.54(0.33%)
cdd	29.23	30.93(5.82%)	31.06(6.27%)	32.08(9.78%)
cwd	5.91	6.83(15.66%)	7.01(18.62%)	5.87(-0.71%)
r95ptot	402.22	326.50(-18.82%)	324.63(-19.29%)	340.73(-15.29%)
r99ptot	115.09	67.76(-41.12%)	65.03(-43.5%)	88.70(-22.93%)
rx1day	135.92	131.74(-3.08%)	126.74(-6.75%)	140.61(3.45%)
rx5day	222.23	232.29(4.52%)	221.02(-0.55%)	232.75(4.74%)
sdi	16.45	16.39(-0.38%)	16.29(-1.01%)	17.78(8.06%)
mnmm	81.60	80.46(-1.4%)	80.55(-1.29%)	74.30(-8.95%)
r10mm	33.95	33.47(-1.42%)	33.72(-0.69%)	32.53(-4.17%)
r20mm	19.54	19.35(-0.98%)	19.57(0.17%)	19.58(0.21%)
su	107.52	109.70(2.03%)	108.61(1.02%)	109.24(1.6%)
id	8.68	10.03(15.66%)	9.63(11.05%)	9.68(11.62%)
txn	-3.99	-3.99(0.01%)	-3.69(7.44%)	-3.73(6.54%)
txx	34.73	34.52(-0.61%)	34.21(-1.52%)	34.79(0.15%)
tx10p	10.33	21.67(109.78%)	21.19(105.15%)	20.55(99%)
tx90p	9.66	0.93(-90.41%)	1.07(-88.96%)	1.49(-84.53%)
wmdi	1.54	0.00(0%)	0.00(0%)	0.00(0%)
fd	100.13	99.56(-0.57%)	99.09(-1.04%)	100.77(0.63%)
tr	50.38	51.15(1.52%)	50.32(-0.13%)	52.07(3.34%)
tnn	-13.44	-13.57(-0.99%)	-13.51(-0.58%)	-14.34(-6.73%)
tnx	25.33	25.06(-1.08%)	24.84(-1.94%)	25.62(1.15%)
tn10p	9.93	22.70(128.58%)	22.18(123.34%)	21.12(112.68%)
tn90p	10.78	1.26(-88.27%)	1.12(-89.58%)	1.69(-84.35%)
csdi	0.63	15.30(2315.79%)	17.61(2680.26%)	6.50(926.32%)
dtr	10.30	10.35(0.52%)	10.36(0.56%)	10.47(1.68%)
gsl	271.12	272.18(0.39%)	271.58(0.17%)	272.37(0.46%)

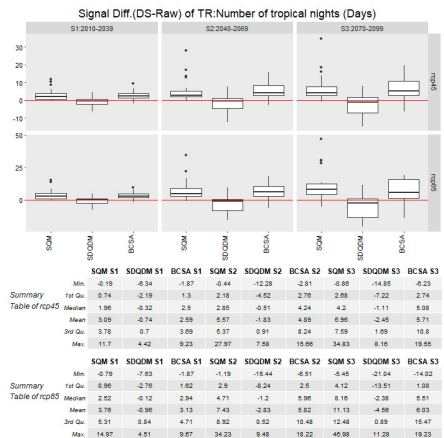
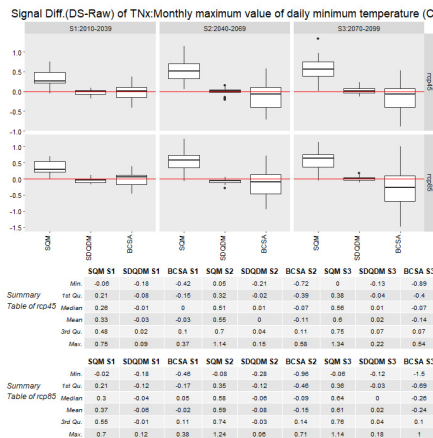
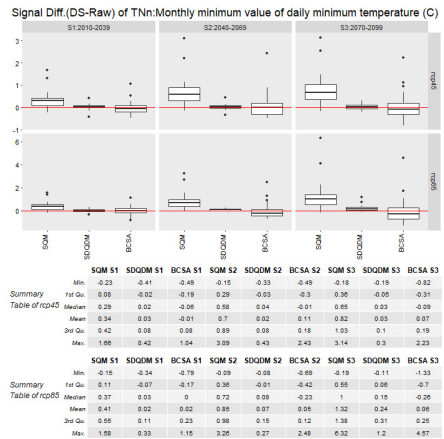
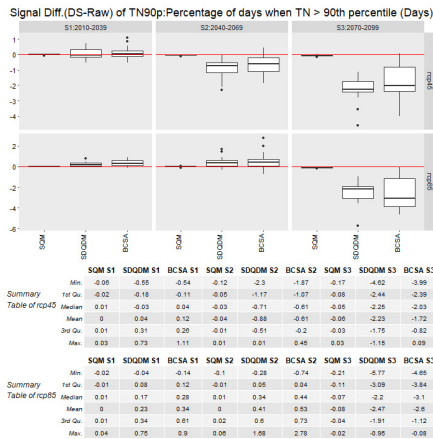
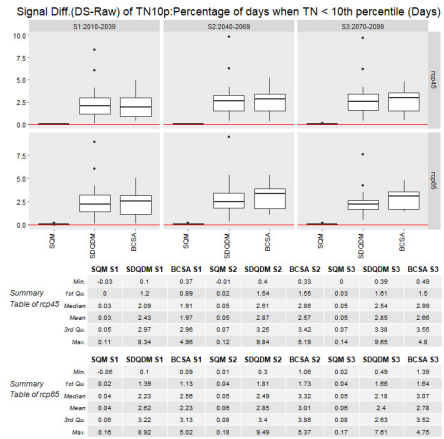
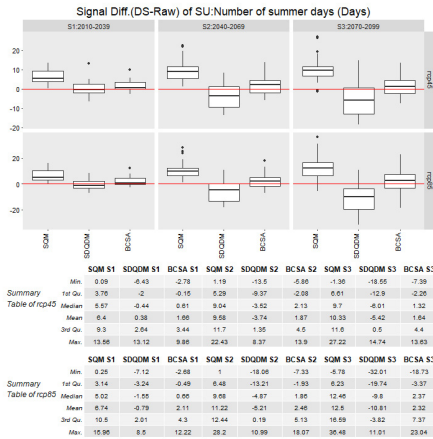
3.2.3.3 극한기후지수의 미래 시그널 왜곡도 평가

극한기후지수의 미래 시그널 왜곡도 평가는 기후변화 시나리오 자체 정보만을 가지고 평가하는 방법이다. 여기서 시그널(Signal)은 특정 극한기후지수의 미래기간과 과거기간의 차이로 정의하였으며, 편의보정 전의 원시 GCM에서 보여 주는 시그널과 상세화된 GCM의 시그널이 얼마나 많은 차이를 보이는지를 평가하는 방법이다. 차이가 적을수록 원시GCM이 보여주는 미래 전망을 왜곡 없이 유지하는 것을 의미하며 전체 불확실성 전파(propagation) 과정에 기여하는 바가 적다고 판단할 수 있다. Fig. 17은 세 가지 상세화 방법에 따른 시그널의 왜곡도 평가 결과를 보여 준다. Table 22은 중앙값 기준 상세화 기법 별 평가결과를 보여 준다.









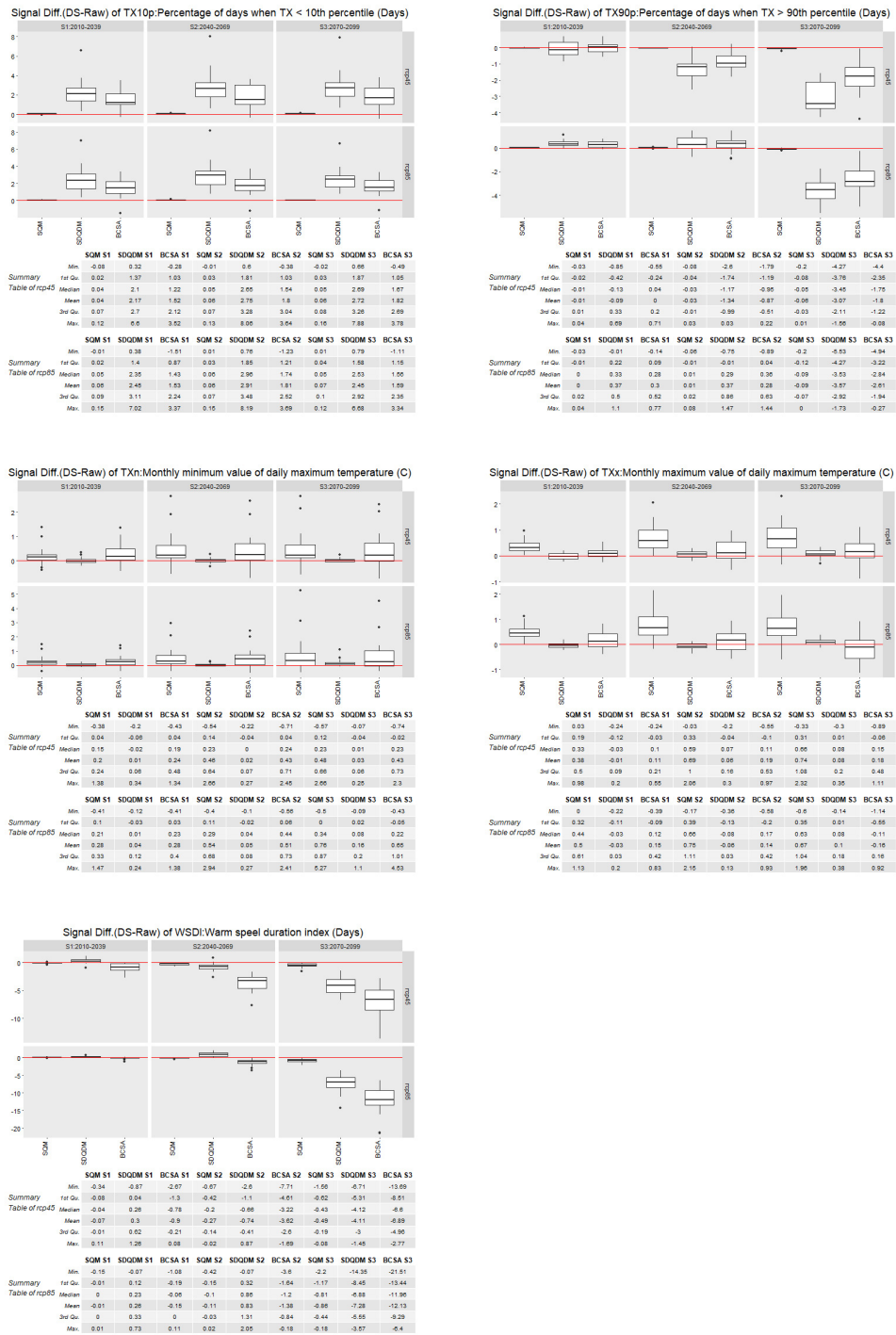


Figure 17. 극한기후지수의 미래 시그널 왜곡도 평가

Table 22. 극한기후지수의 미래 기간에 대한 시그널 왜곡도 평가 결과(RCP 4.5, 2010~2039)

Indices	Raw GCM Signal	SQM Signal	SDQDM Signal	BCSA Signal
prcptot	33.3	112.93(239.16%)	65.21(95.86%)	87.40(162.5%)
cdd	0.19	0.40(107.75%)	1.02(430.58%)	0.13(-30.29%)
cwd	0.08	0.42(402.63%)	0.13(49.67%)	0.24(183.55%)
r95ptot	30.63	76.40(149.39%)	53.94(76.08%)	64.23(109.67%)
r99ptot	18.53	54.07(191.74%)	40.61(119.15%)	34.25(84.82%)
rx1day	4.74	15.10(218.44%)	11.68(146.26%)	12.32(159.79%)
rx5day	9.52	33.92(256.31%)	24.95(162.12%)	21.27(123.44%)
sdii	0.32	1.27(297.5%)	1.20(275.42%)	0.99(210.75%)
mnm	-0.83	0.13(115.72%)	-1.17(-41.27%)	0.02(102.93%)
r10mm	0.47	1.03(119.26%)	0.28(-40.07%)	0.84(77.25%)
r20mm	0.45	0.87(93.24%)	0.63(40.45%)	0.70(56.32%)
su	15.92	22.68(42.42%)	16.15(1.44%)	17.75(11.46%)
id	-3.34	-3.38(-0.97%)	-2.99(10.51%)	-3.88(16.11%)
txn	0.9	1.08(19.94%)	0.88(-1.95%)	1.23(36.51%)
txx	0.92	1.32(44.73%)	0.86(-6.5%)	1.01(10.31%)
tx10p	-9.04	-8.99(0.51%)	-8.54(5.54%)	-8.04(11.03%)
tx90p	3.12	3.12(0.06%)	3.14(0.56%)	3.18(2.06%)
wsdi	1.21	1.11(-9.03%)	1.80(48.06%)	0.56(53.68%)
fd	-7.78	-11.54(-48.24%)	-11.64(49.56%)	-10.26(31.84%)
tr	13.56	15.23(12.3%)	13.80(1.75%)	16.17(19.23%)
tnn	1.01	1.39(36.99%)	1.02(1.11%)	1.04(2.71%)
tnx	0.85	1.24(47.03%)	0.80(-5.36%)	0.89(4.78%)
tn10p	-10.5	-10.48(0.11%)	-9.64(8.16%)	-8.14(22.43%)
tn90p	3.22	3.23(0.24%)	3.35(4.13%)	3.35(4.09%)
csdi	-12.38	-12.22(1.27%)	-14.32(-15.7%)	-4.78(61.43%)
dtr	-0.01	0.07(1055.71%)	-0.03(-250.68%)	0.07(1116.53%)
gsl	10.84	14.07(29.79%)	12.98(19.73%)	11.91(9.88%)

3.2.3.4 공간 상관성 평가 기반 상세화 기법 평가

공간 상관성 평가는 관측지점 사이의 거리에 따른 유사성을 나타내는 variogram을 이용하였다. Variogram은 관측지점 사이의 거리와 gamma 값을 사용하여 자료를 정리하고 시각화한 그래프로써, 관측지점 사이의 거리가 증가함에 따라서 증가하는 gamma 값은 기후변수의 유사성이 감소함을 의미한다. 강수량, 최고기온, 최저기온 모두 BCSA 기법이 다른 두 가지 상세화 기법과 비교하여 관측 자료와 가장 비슷한 공간 패턴의 결과를 보였다(Fig. 18).

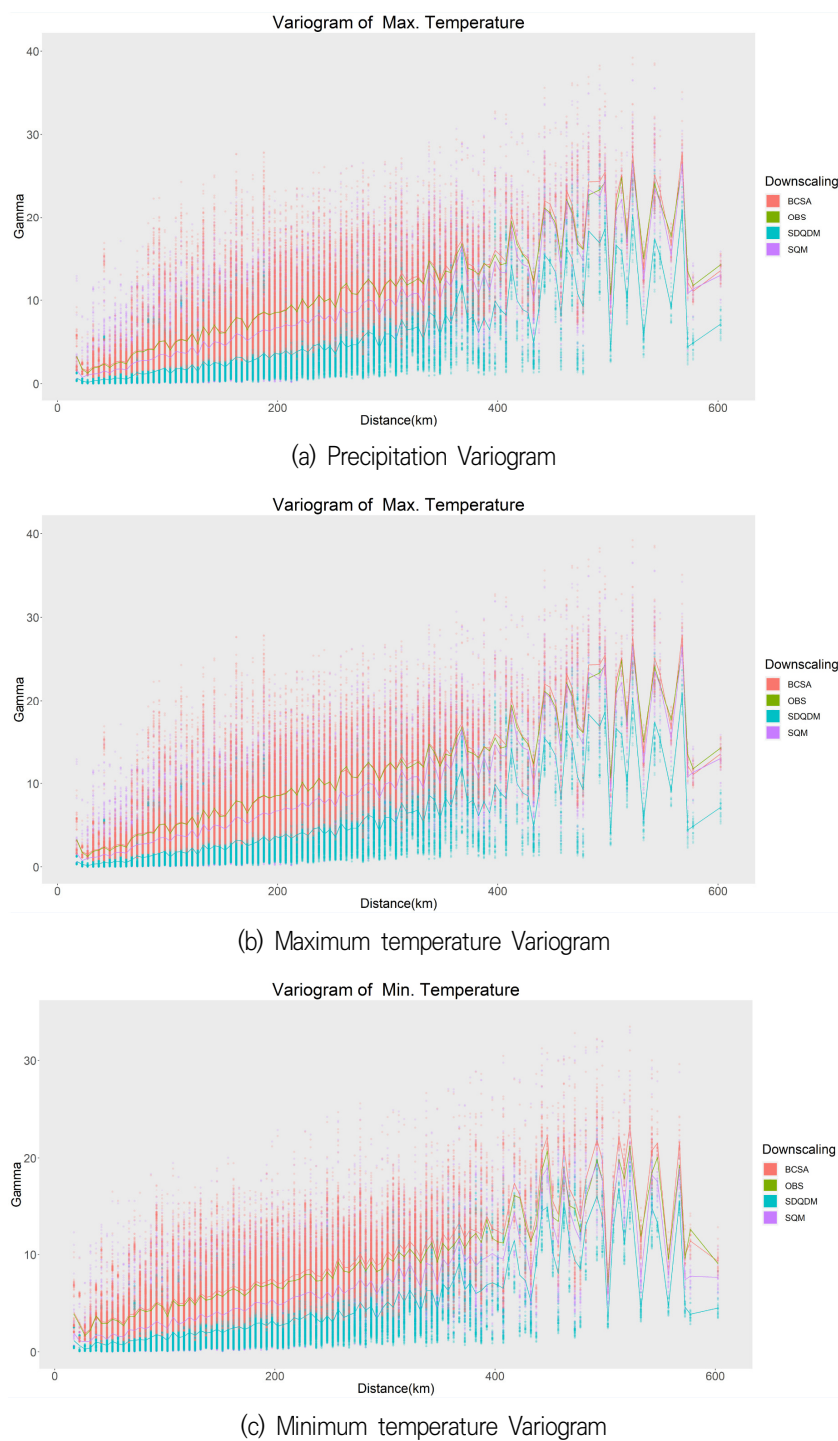


Figure 18. 60개 기상관측소 사이의 상세화 기법에 따른 공간상관성의 재현성 평가

3.3 상세 기후정보 기반 응용분야 모델링 연계 모듈 개발

3.3.1 rAnalysis4CC 패키지 개선

Table 23. rAnalysis4CC 패키지 주요 함수 및 기능의 개선 및 추가 사항

Function name	Description
Evaluate_Raw_GCMs	원시 GCM 평가를 통해 사용자 입력 지역의 기후와 유사한 GCM을 선정하기 위한 평가방법 그래픽의 개선을 통한 가독성을 증대
Calculate_Cindex_Signal	기후극한지수 계산 - 기후극한지수 계산에 사용자 정의함수를 추가할 수 있도록 수정하였고, 사용자 정의함수는 R코드를 이용하여 정의할 수 있다.
Draw_Hist_Fut_Cindex_Graph	계산된 극한기후지수를 이용하여 과거 재현성과 미래 시그널 왜곡도를 시각화 하는 그래프를 생산 - 과거 재현성 평가와 미래 시그널 왜곡도 평가를 위한 그래프 생성에 오류를 수정하였다. 또한 상세화 방법이 추가됨에 따라 이를 사용자가 선택하는 상세화 방법을 명확하게 가시화 하는 그래프를 생산
Spatial_Reproducibility	Variogram을 통한 공간재현성 평가 - 상세화 방법이 추가됨에 따라 사용자가 선택하는 상세화 방법을 읽어 공간재현성을 보여주는 Variogram을 생성, Variogram을 그리기 위한 Distance와 Gamma의 계산시간이 많이 필요하므로 기존에 존재하는 파일을 검색하여 없는 경우 계산을 하여 Variogram을 그리도록 구성
WriteClimateChangeData	상세화 자료를 읽어 월별, 연도별 다중모형에 대한 요약 파일 생성
ClimateChangeSummaryGraph	WriteClimateChangeData 함수를 통해 생산된 요약파일을 읽어 연단위, 30년 월평균, 30년 계절평균 그래프 생성

추가된 함수는 국가 기후변화 표준 시나리오 신청을 위한 자료설명을 위한 그래프 생성에 사용되었으며 결과의 예시는 Fig. 19에서와 같으며 자세한 내용은 Fig. 42~ Fig. 47에서 확인할 수 있다.

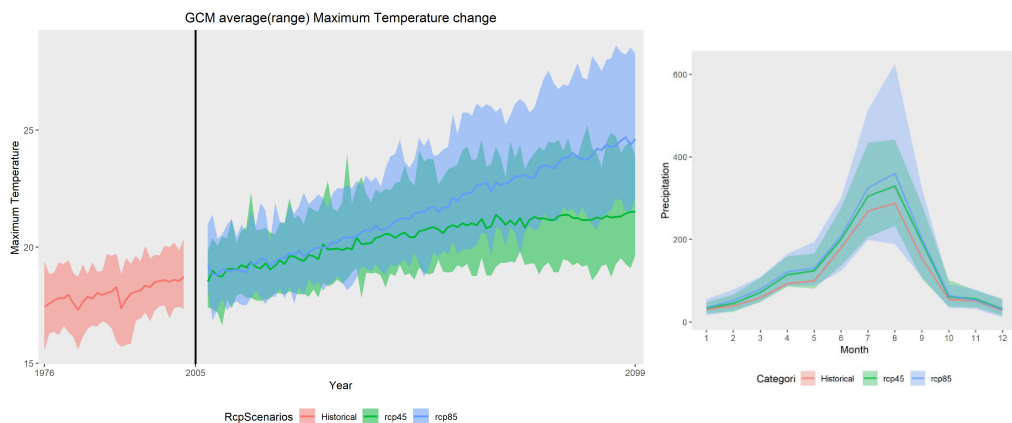


Figure 19. 기후변화 전망 요약 그래프

3.3.2 rDrought 패키지 개선

Table 25. rDrought 패키지 주요 함수 및 기능

Function name: Description
입출력, 유틸리티 • Update.NAMelist: EDI 계산에 필요한 NAMelist 파일 수정 • Extract.EDI_IDF: 일단위 EDI 시계열에서 기음 시작시점, 종료시점, 최대 기음심도 등의 정보 추출 • Create.EDI.Map.Data: 관측점 기반 내삽된 EDI 맵을 그리기 위해 대상 관측소별 EDI 값을 취합 • Download.GIS.Data: EDI 맵 작성을 위해 필요한 국가별 mask 맵 및 boundary 맵 다운로드 • Create.Interpolated.EDI.Map: 특정 날짜에서 관측소별 EDI 값을 내삽하여 EDI 맵 생산
관측기반 • Create.Daily.EDI.Input.Observed: 관측 자료로부터 일단위 EDI 계산을 위한 기상입력 자료 생산 • Run.Daily.EDI.Observed: 관측자료 기반의 일단위 EDI 계산 • Create.Monthly.EDI.Input.Observed: 관측 자료로부터 월단위 EDI 계산을 위한 기상입력 자료 생산 • Run.Monthly.EDI.Observed: 관측자료 기반의 월단위 EDI 계산
기후변화 • Create.Daily.EDI.Input.CChange: 다중모형(GCM) 기반의 상세 기후변화 시나리오 자료로부터 일단위 EDI 계산을 위한 기상 입력자료 생산 • Run.Daily.EDI.cchange: 상세 기후변화 시나리오 자료를 이용한 일단위 EDI 계산 • Extract.EDI.Duration.Intensity.CChange: 기후변화 시나리오에 따른 일단위 EDI 시계열로부터 지속기간(duration) 및 최대 기음심도(intensity) 계산 • EDI.Duration.Intensity.Graph: 계산된 지속기간 및 기음심도 자료를 이용하여 그래프 생산
계절예측 • Create.Monthly.EDI.Input.SForecast: 지역평균 월단위 계절예측 자료를 이용하여 EDI 계산을 위한 기상 입력자료 생산 • Run.Monthly.EDI.sforecast: 계절예측자료 기반의 월단위 EDI 계산 • Summary.Monthly.EDI.SForecast: 계산된 관측 및 예측 기반 월단위 EDI 값으로부터 월 및 선행예측기간 별 예측성 평가 결과 생산

3.3.3 rSWAT 패키지 개선

rSWAT 패키지에 포함된 함수명과 기능은 Table 26에서와 같다.

Table 26. rSWAT 패키지 주요 함수 및 기능

Function name: Description
• Swat.Write.Weather.Input.MultiStations: 관측, 기후변화, 계절예측 상세화 자료를 SWAT의 입력포맷으로 변경 • Write.Cio.Input: CIO 입력 파일 수정 (모의기간 설정 등) • Swat.Write.Rsv.Input: 저수지 입력파일 수정 • Swat.Write.Mgt.Input: Management(영농방식) 입력파일 수정 • Swat.Write.Resdayo.Input: 일단위 저수지 운영 입력자료 수정 • Swat.Rch.Summary: 하천(Reach) 출력파일로부터 원하는 소유역, 변수(유량) 등 사용자 지정 결과 추출 • Swat.Sub.Summary: 소유역(Subwatershed) 출력 파일로부터 사용자 지정 결과 추출

Table 26. rSWAT 패키지 주요 함수 및 기능(계속)

Function name: Description
• Swat.Hru.Summary: 수문반응단위(HRU) 출력 파일로부터 사용자 지정 결과 추출 • Swat.Rsv.Summary: 저수지(Reservoir) 출력 파일로부터 사용자 지정 결과 추출 • Swat.Calc.Error: 관측 유량자료 제공시 모의값과 비교를 통한 모의성능 결과 계산 • Swat.Percent.Change.Parameter: 패키지를 이용한 모형의 보정 시 특정 입력파일의 변수의 값을 동일한 퍼센트로 변경 • Swat.Fixed.Change.Parameter: 패키지를 이용한 모형의 보정 시 특정 입력파일의 변수의 값을 제공된 값으로 변경 • Swat.Percent.Change.Soil.Parameter: 패키지를 이용한 모형의 보정 시 토양 입력파일의 변수의 값을 변경 • Swat.Time.Series.Graph: 모의결과 템플릿에서 시계열 그래프 작성 • Swat.Scatter.Plot.Graph: 모의결과 템플릿에서 분산형 그래프 작성 • Swat.Summary.Graph.Table: 모의결과 템플릿에서 계산된 에러표, 시계열, 분산형 그래프를 통합하여 최종 PDF 생성 • Swat.Observation.Run: 관측 자료를 이용하여 SWAT 모형 구동 • Swat.Observation.Rch.Analysis: 관측자료 기반의 SWAT 모형 출력으로부터 사용자 지정 결과 추출 • Swat.CChange.Run: 다중모형(GCM) 기반의 기후변화 시나리오 자료를 입력으로 하여 SWAT 모형 구동 • Swat.CChange.Rch.Analysis: 기후변화 시나리오 자료 기반의 SWAT 모형의 출력으로부터 사용자 지정 결과 추출

3.3.4 rDSSAT 패키지 개발

3.3.4.1 작물모형용 입력 기상 자료 생산/변환 도구 작성

대표적인 식량작물, 예를 들면 벼, 밀, 사탕수수, 옥수수, 콩 등에 대해서 많은 작물모형들(DSSAT package, APSIM, Oryza 2000, AquarCrop, Infocrop 등)이 이미 개발되어 있다. 센터에서 생산되는 상세 미래 기후변화 시나리오 자료에서부터 계절 및 계절 내 예측기후 자료들을 이들 작물모형 가운데 전 세계적으로 많은 사용자와 개발자를 가진 DSSAT과 APSIM(Agricultural Production Systems sIMulator)에 입력할 수 있는 기후 자료 형태로 변환하는 과정을 R로 작성하였다.

두 작물모형에서 필요로 하는 기후 요소의 시간 범위는 일별로 동일하고, 최소 필수 기후 요소도 일 최고 및 일 최저기온, 강수, 일사량으로 동일하다. 또한 자료 형태도 text로 동일하다. 그러나 기후 요소의 순서와 헤드(머리말 정보), 파일 확장자(file extension) 등이 다르다. DSSAT은 WTH라는 파일 확장자를 가지며 APSIM은 MET이라는 파일 확장자를 가진다. 또한 헤드에 입력되는 정보 등이 각각 다른데, 해당 지점의 연 평균기온 및 변이에 대한 정보가 필요하다. 이 정보는 APSIM에서 제공하는 TavAmp.exe를 이용해서 계산할 수 있도록 작성하였다. Table 27과 Table 28는 APSIM과 DSSAT의 입력 기후 자료의 필수 기후 변수들과 헤드 정보이다.

Table 27. APSIM 모형을 위해 필요한 기후변수 목록 및 단위 정보

Climate variable	Time		Solar radiation	Temperature		Precipitation
Parameter name in APSIM	year	day	radn	maxt	mint	rain
Unit			MJ/M ²	°C	°C	mm

Table 28. DSSAT 모형을 위해 필요한 기후변수 목록, 단위, 헤더 정보

Line1	Variable	Name	Spatial Information			Annual climate information			
	Parameter name in DSSAT	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT
	Unit	4 bites	decimal degree		m	°C	°C	-99.0	-99.0
Line2	Climate variable		Solar radiation	Temperature		Precipitation			
	Parameter name in DSSAT	Date	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN			
	Unit	YYDOY	MJ/M ²	°C	°C	mm			

Fig. 20는 작물모형용 입력 기후자료 변환 과정에서 관련 자료들의 구조 및 디렉토리 등을 설명한 것이다. 기존 방법에서는 연구자가 전체 코드를 보고 기후 자료의 디렉토리 및 연도 등에 대한 line들을 직접 찾아서 수정해야 하는 어려움이 있었다. 그러나 갱신된 방법에서는 yaml이라는 요약된 작업 과정을 통해서 연구 대상 국가에 대한 상세화 자료의 디렉토리 정보부터 입력 기후자료의 변환 및 저장 등에 대한 과정을 연구자가 쉽게 수정할 수 있도록 작성되었다. Fig. 21는 yaml 정보이다. 그러나 새로 추가된 과정의 작은 문제점은 상세화 과정을 AIMS에서 하지 않고, 바로 yaml에서 진행하게 하는 과정에서 문제가 발생하여, 이 과정은 분리(혹은 삭제)로 수정될 것이다.

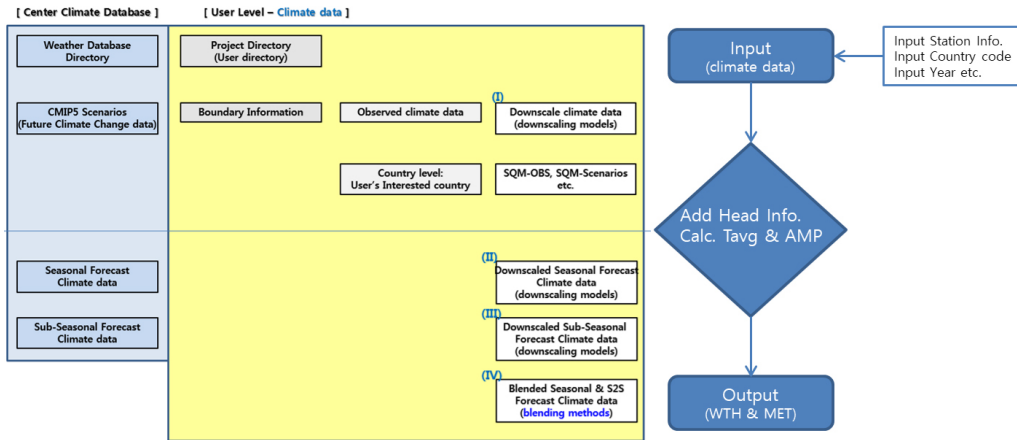


Figure 20. 자료변환 관련 프로세스 흐름도 및 입력 기상자료의 위치

```

prjdir: rSQM_test
dbdir: Database
stndir: $(prjdir)/Observed/SampleProject
bnddir: $(prjdir)/gis-boundary
qmapdir: $(prjdir)/Downscale/SQM
syear_obs: 1976      # Starting year of observed data
eyear_obs: 2005      # Ending year of observed data
syear_his: 1976      # Starting year of historical period (GCM)
eyear_his: 2005      # Ending year of historical period (GCM)
syear_scn:
- 2010
- 2040
- 2070
eyear_scn:
- 2039
- 2069
- 2099
SimAll: FALSE        # Option for simulation all (GCM model, Variable, RCPs) combinations
ModelNames:
- bcc-csm1-1          # Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (128x64)
- CanESM2             # Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (128x64)
- HadGEM2-CC          # National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration (192x145)
- Inmcm4              # Institute for Numerical Mathematics (180x120)
- IPSL-CM5A-LR        # Institut Pierre-Simon Laplace (96x96)
- MIROC-ESM           # Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute, and National
RcpNames:
- rcp85               # Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 Scenarios
VarNames:
- pr                  # Precipitation (mm)
- tasmax              # Max. temperature (C)
NtlCode: MY           # National code # for KR, We've got already
stnfile: stnInfo_malay.csv # If you use GHCN data, use "Station-Info.csv"
bndfile: Sample.shp
OWrite: TRUE
SRadiation: FALSE

```

Figure 21. 패키지 구동을 위한 YAML 컨트롤 파일 예시

작물모형의 구동에서 필수 기후 변수 중 일사량이 없는 미래 기후변화 시나리오 전망 자료들이 있다. 이런 경우, 이미 상세화된 미래 기후변화 시나리오 자료의 일 최고 및 일 최저기온과 같은 기후 정보를 이용해서 일사량을 추정할 수 있는 방법을 추가하였다. 이 과정은 미래 기후변화 시나리오 자료의 일사량의 유무 혹은 연구자의 결정에 따라 수행될 수 있도록 분리되어 있다(Fig. 22).

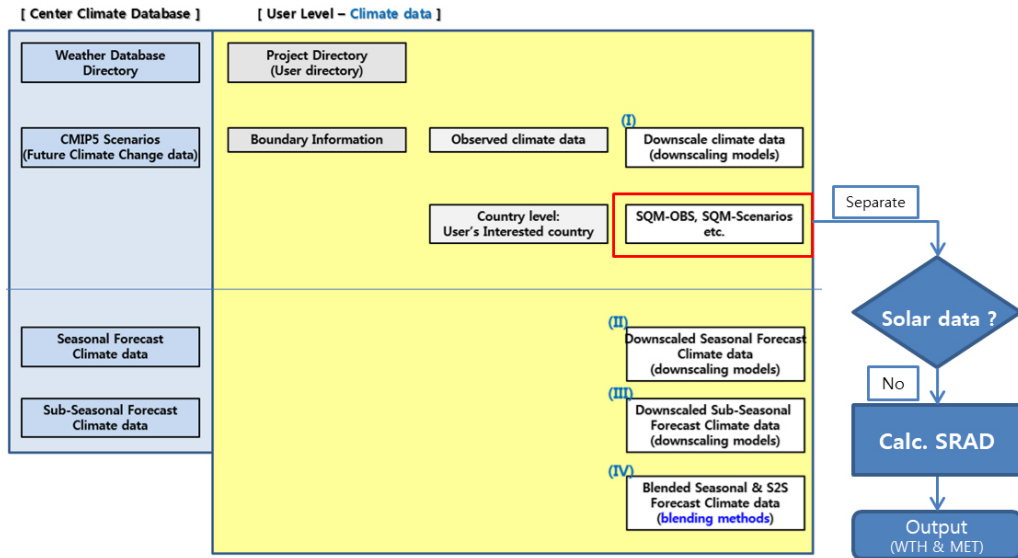


Figure 22. 미래 기후변화 시나리오 자료에 일사량 자료가 포함되어 있지 않은 경우에 대한 추가적인 프로세스 설명

3.3.4.2 다양한 출력 결과의 시각화 도구

DSSAT 구동 후에는 모형에 포함된 개별 모듈별로 수많은 결과들이 출력된다. 예를 들면, 콩 생육모형 구동 후 토양에 남아 있는 수분 혹은 콩 작물이 이용한 수량(물의 양), 혹은 건물 중에서도 지상부와 지하부로 나눠서도 출력할 수 있다. 이와 같이 작물모형에 내장되어 있는 모듈별로 목적에 따라 최소한의 필수 정보만을 출력할 수 있다. 그런데, 이러한 출력 정보는 대부분 text 형태와 초기 입력된 재배 환경에 따라 출력되기 때문에 연구자가 분석하고자 하는 방향으로 새롭게 정리하고 시각화하는 과정들이 필요하다. 본 연구에서는 작물과 상관없이 잠재적 수량(potential yield)과 개화기 및 생리적 성숙기에 대해서 연구자가 원하는 방향, 예를 들면, 입력된 기후 모형별 혹은 시뮬레이션 처리별 (예, 연도) 등에 대한 정보를 주면 작물모형 시뮬레이션 결과에서 설정된 옵션대로 정리되어 출력되었다.

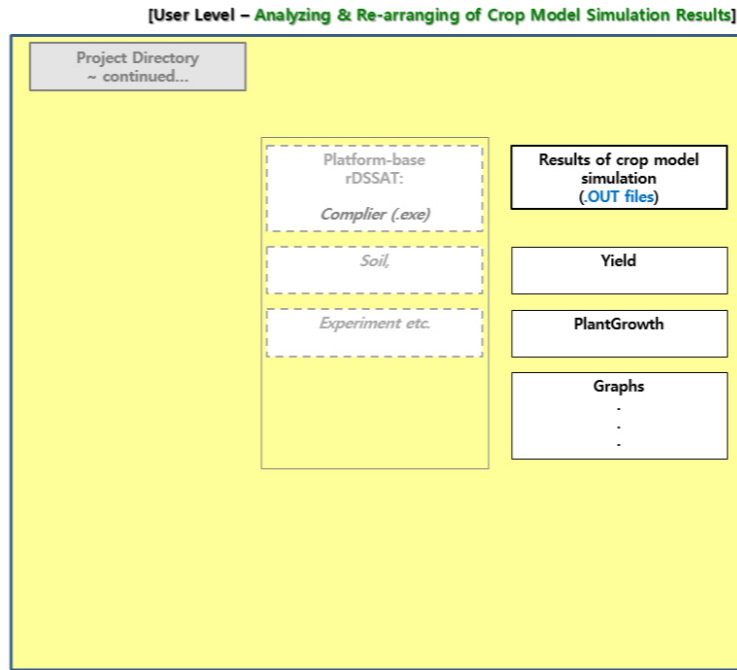


Figure 23. 사용자 중심의 작물모형 결과 표출을 위한 개념도

3.4 AIMS 고도화 및 웹기반 서비스 개발

3.4.1 AIMS 고도화

본 연구에서는 1차년도에 개발된 AIMS와 비교하여 새로운 사용자 인터페이스로 새롭게 설계함으로써 안정화되고 향상된 성능의 인터페이스를 개발하였다. 내부적으로는 기존의 복잡한 형태로 구동되는 내부 Redux를 단순화하였고, 기존 60여개의 Reducer를 40 여개로 통폐합하여 성능을 향상 시켰으며, 복잡한 형태의 Reducer를 기능별로 묶어서 관리하기 쉽게 정리하였고, 기존에 사용하고 있던 Thunk 미들웨어를 배제하고 Redux-Saga 미들웨어로 전환함으로써 최신 소프트웨어 업계 표준에 가까운 소프트웨어 구조를 완성하였다. 사용자 입장에서의 개선은 다음과 같다.

AIMS 생성 프로젝트 관리의 편리성 개선: 기존 AIMS에서는 실질적으로 생성되는 프로젝트명이 GUI에서 보여 지는 프로젝트명과 상이하여 여러 프로젝트를 생성하는 경우 관리에 어려움이 있었으며, 프로젝트 폴더를 이동 또는 변경 시 AIMS에 문제가 발생하였다.

따라서 AIMS를 통해 생성되는 프로젝트 폴더를 사용자가 바로 인식하고 이동 및 폴더이름 변경 시에도 AIMS에서 관리가 가능하도록 기능을 개선하였다. 개선된 AIMS에서는 Fig. 24에서와 같이 프로젝트 파일을 쉽게 Export 하고 다시 Import 할 수 있도록 개선함으로써 불러온 프로젝트에 대해 프로젝트 파일이 생성된 당시와 같은 환경을 만들어 코드를 재현할 수 있도록 구성하였다. 이는 프로젝트 Export 기능을 통해 AIMS-Web으로도 프로젝트를 복사할 수 있음을 의미한다.

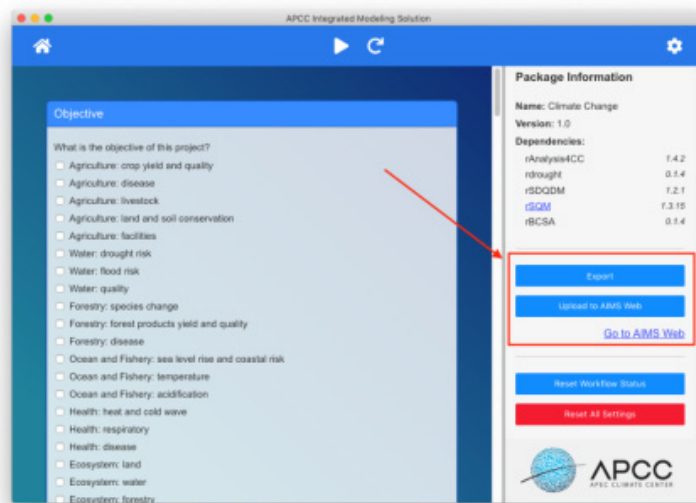


Figure 24. 프로젝트 파일 Export 기능

Python으로 제공되는 모듈이 동작할 수 있도록 AIMS 시스템 기능 개선: 기존 AIMS에서는 R 언어 기반 패키지를 연동할 수 있도록 관련 규약 및 연계모듈을 개발하였는데, 향후 개별 기능 관련 모듈이 Python 언어로 개발되어진 경우 AIMS에서 최소한의 수정을 통해 사용하기 위해서 Python 연계성을 고려하였다. 격자형 상세화 모듈을 Python으로 개발하여 연계하려던 계획에서 격자형 상세화 기능이 기존의 R 기반 rSQM에 추가됨에 따라서 본 연구에서는 기존에 ADSS로부터 CMIP5 자료를 다운로드 받던 JAVA 기반의 모듈을 Python 패키지로 개발한 후 AIMS와의 연동을 통해서 기초 모듈을 개발하였다.

사용자 지정 극한기후지수(Climate Extreme Indices)를 고려: 2017년도 교육을 통해 제안된 내용 중 상세화된 자료를 기반으로 사용자 정의 극한기후지수를 계산하는 것에

대한 요구를 Fig. 25 및 Fig. 26에서와 같이 반영하였다. 사용자는 연단위 자료로부터 원하는 기후지수를 계산하기 위한 최소한의 코드를 AIMS 인터페이스에 입력함으로써 기존에 계산되던 27개 극한기후지수에 추가적으로 결과를 도출할 수 있도록 기능을 추가하였다.

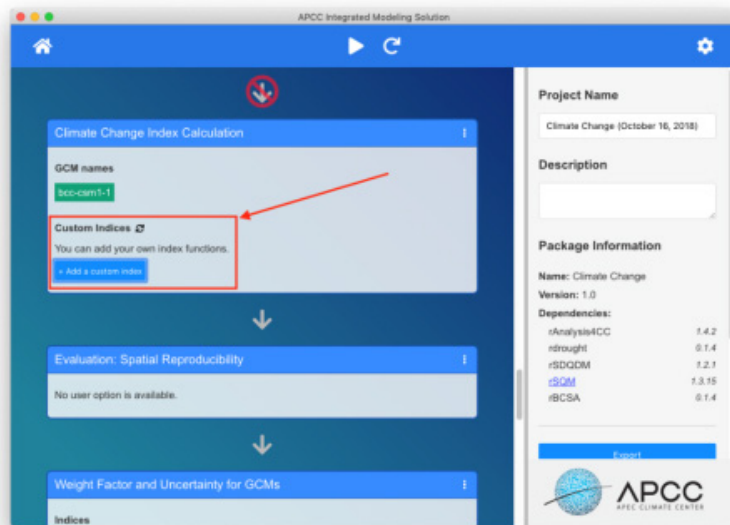


Figure 25. 사용자 인덱스 추가 기능



Figure 26. 사용자 인덱스 템플릿 파일 예시

사용자의 기후변화 상세화 활용 분야 선택을 위한 카드 추가: 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화의 개념은 사용자가 상세화된 자료를 이용하여 적용하고자 하는 목적으로부터 시작하는데 기존 AIMS는 관련된 카드를 포함하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 사용자가 새로운 프로젝트를 생성하는 경우 첫 카드로서 Fig. 27에서와 같이 적용 목적(분야)을 선택할 수 있도록 인터페이스를 개선하였다. 적용분야는 국내 기후변화 적응대책 수립을 위해 구분된 기후변화감시및예측 분야를 제외한 7개 분야로 결정하였고, 분야별로 수요가 높다고 판단되는 세부항목들을 추가적으로 구성하였다. AIMS를 통해 상세화 과정 중에 사용자들이 선택하는 적응분야 정보와 적응 목적에 가장 중용하다고 판단하여 선택하는 극한기후지수 정보는 AIMS-Web에 저장이 되고 향후 연결성 및 통계 분석을 통해 취약성 분석을 위해 필요한 기후노출(Climate Exposure) 인자의 가중치 선정 등에 활용될 수 있다.

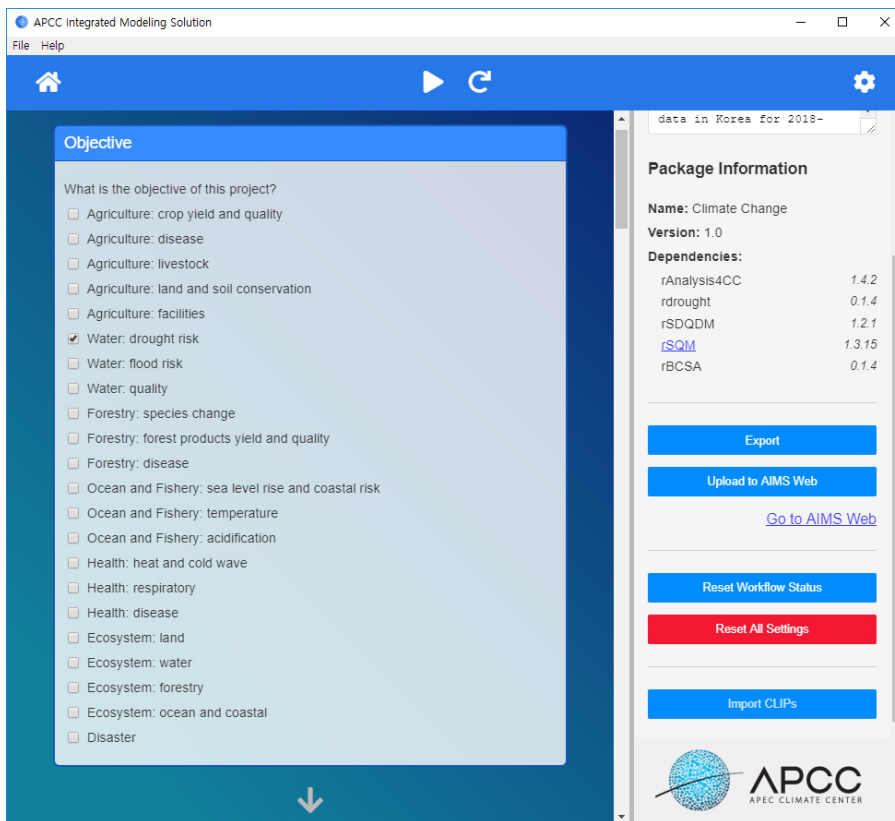


Figure 27. Objective 카드를 통한 사용자 적응분야 선택

BCSA 추가기능을 위한 인터페이스 개선: BCSA 상세화 모듈이 AIMS에 추가됨에 따라서 AIMS의 상세화 카드를 Fig. 28에서와 같이 개선하였다. 상세화 카드 하단에는 상세화 기법별 참고문헌으로 사용할 수 있는 논문을 추가하였고 해당 링크를 클릭 시 Fig. 29와 같이 Reference 카드로 이동하게 된다. Reference 카드에서는 카드 윈도 오른쪽 상단의 메뉴버튼을 클릭하여 관련 서지정보를 EndNote 및 Zotero 등 관련 프로그램에서 쉽게 사용할 수 있도록 BibTeX 파일로 저장할 수 있는 기능을 추가하였다.

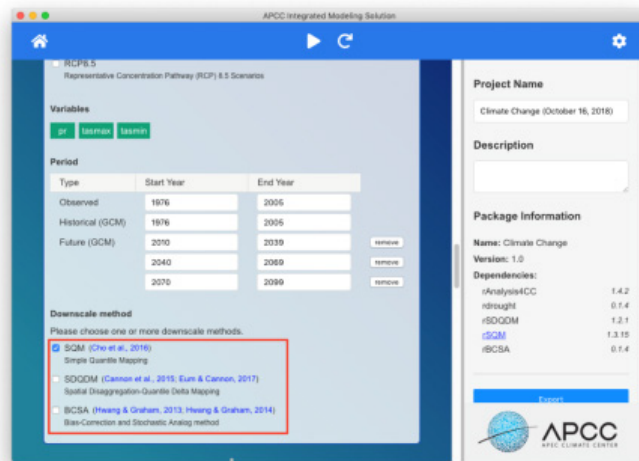


Figure 28. BCSA 상세화 기법 추가

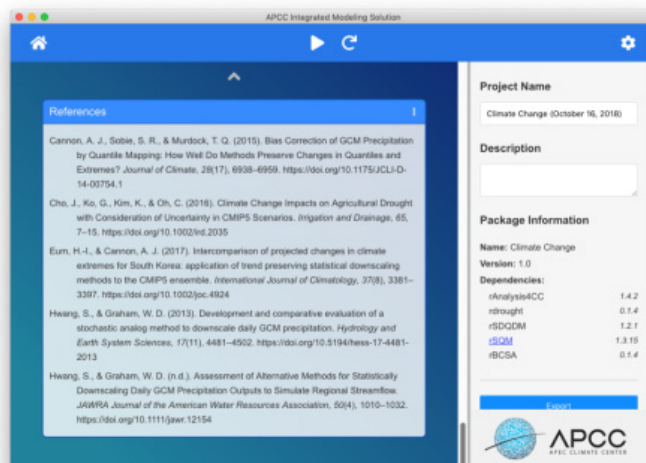


Figure 29. 프로젝트에서 사용된 논문 목록 보기 기능(References 카드)

CLIPS 추가기능을 위한 인터페이스 개선: CLIPS와 AIMS의 연결은 두 프로그램의 연계(link)를 통한 느슨한 연결과 하나의 프로그램에 나머지 하나의 프로그램을 통합(integrated)시키는 방법이 가능하다. 본 연구에서는 두 프로그램 사이에 연계를 고려하였다. 이는 APCC의 향후 기후서비스 개발(안)과 관련하여 AIMS에 CLIPS 기능이 포함되기 보다는 향후 ADSS를 대신하여 개발되어질 기후데이터 서비스에 포함되어지는 것이 바람직하기 때문이다. 따라서 CLIPS를 통해 클리핑된 CMIP5 자료의 폴더 내 NC 파일 자료를 AIMS 폴더에 저장하여 사용할 수 있도록 하였다.

ADSS에 추가된 국가별 CMIP5 자료와의 연계성 반영: 기존 ADSS를 통해 제공하는 국가별 CMIP5 자료에 12개 APEC 회원국 자료가 추가 되었으며 AIMS의 Data Source 카드에 Region 선택에 새로 추가된 국가를 추가하였다. 면적이 넓은 미국, 중국, 캐나다, 러시아의 경우에는 Fig. 30와 같이 국가를 선택한 후 주(State/Province)를 선택하도록 고려하였다.

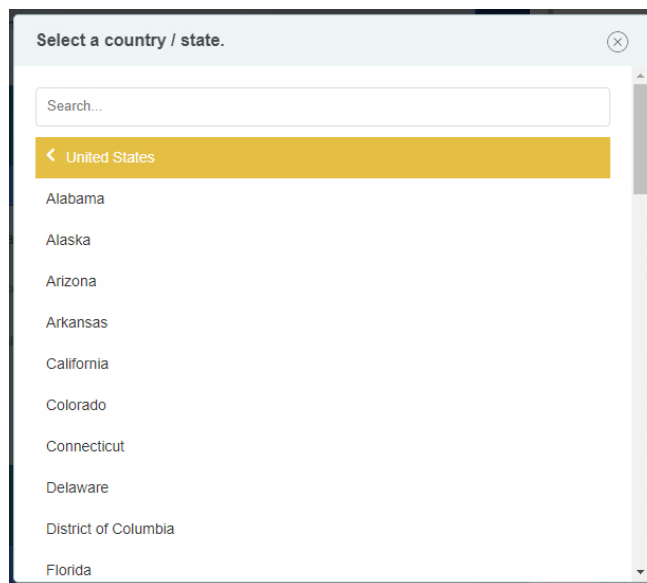


Figure 30. Data Source 카드의 Region 선택 예시

사용자 매뉴얼 작성 또는 개선: 기존 AIMS 사용자 매뉴얼은 워드 기반의 매뉴얼로서 사용자의 접근성이 떨어지는 문제점을 개선하여 개선된 AIMS에서는 Fig. 31에서와 같이 웹

기반 매뉴얼로 작성하여 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록 하였다

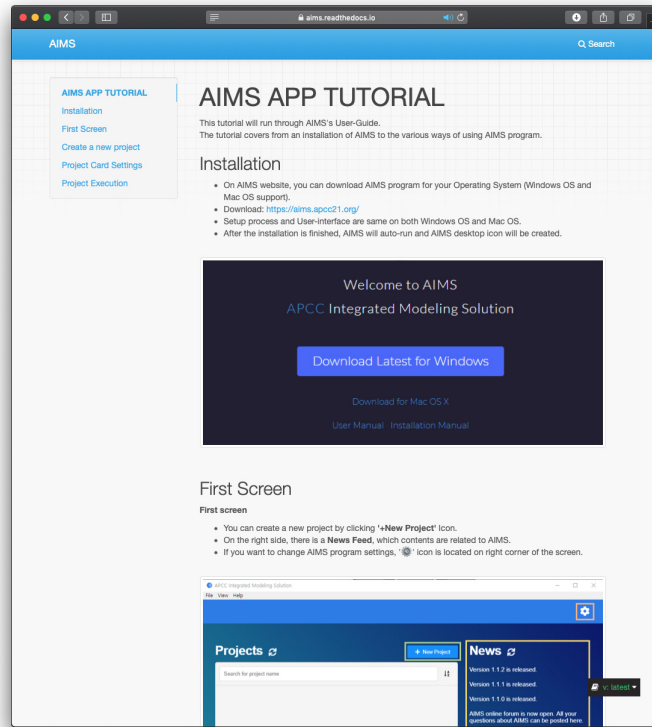


Figure 31. AIMS 온라인 사용자 메뉴얼

패키지 버전 정보 제공 및 자동 업데이트 기능 구현: 프로젝트 내에서 AIMS 소프트웨어 및 사용 중인 패키지 버전 정보를 확인할 수 있는 기능을 추가하였고 AIMS 소프트웨어 구동 시 자동으로 최신 버전의 소프트웨어를 확인하여 업데이트를 진행하도록 기능을 개선했다.

이 외에도 연구용 코드에 대한 디버깅을 쉽게 할 수 있도록 하는 기능, 동시에 여러 프로젝트를 실행하여 병렬화 할 수 있도록 하는 기능, 카드 사이의 의존성을 Computational Graph에 저장하고, 각 카드의 파라미터 값들의 스냅샷을 기록하고 사용자 선택에 따른 변화를 추적하여 변화된 카드에 영향을 미치는 의존 카드들을 동적으로 계산하여 화면에 표출하는 기능, 추가 개발된 R 패키지와 AIMS 사이의 에러 메시지를 연동할 수 있는 기능 등을 포함한다.

3.4.2 AIMS 연동이 가능한 웹기반 서비스 개발

AIMS-Web 서비스는 사용자의 로컬 컴퓨터에 설치하여 사용하는 AIMS와 연동할 수 있도록 개발되었다. 1차년도에서 개발된 클라우드 기반 서비스를 APCC 내부 서버로 이전하였으며 1차년도에서 사용된 모든 클라우드 의존 기능 등을 모두 자체 서버에서 구현 가능하도록 새로운 서비스를 개발하였다. React 기반의 확장성이 뛰어난 GIS 웹 시스템 개발을 위해 오픈 소스 기반의 Leaflet.js 모듈을 활용하여 다양한 GIS 기능을 구현하였다. 즉, 기본적으로 관측소 위치를 지도에 표시하며, 지도에서 Region/Country/Subdivision으로 구역을 나누어서 프로젝트를 검색할 수 있는 기능을 추가하였고, 지역 기반 프로젝트 검색, 사용자 기반 프로젝트 검색 기능을 제공한다.

사용자가 원하는 지역을 지도창에서 범위를 조절하면 외쪽 창에 그 대상 지역에 포함 되어 있는 AIMS 구동 프로젝트에 해당되는 카드들이 보이게 된다. 해당 프로젝트 카드를 클릭하는 경우에는 Fig. 33에서와 같이 해당 프로젝트의 내용을 보여주게 된다.

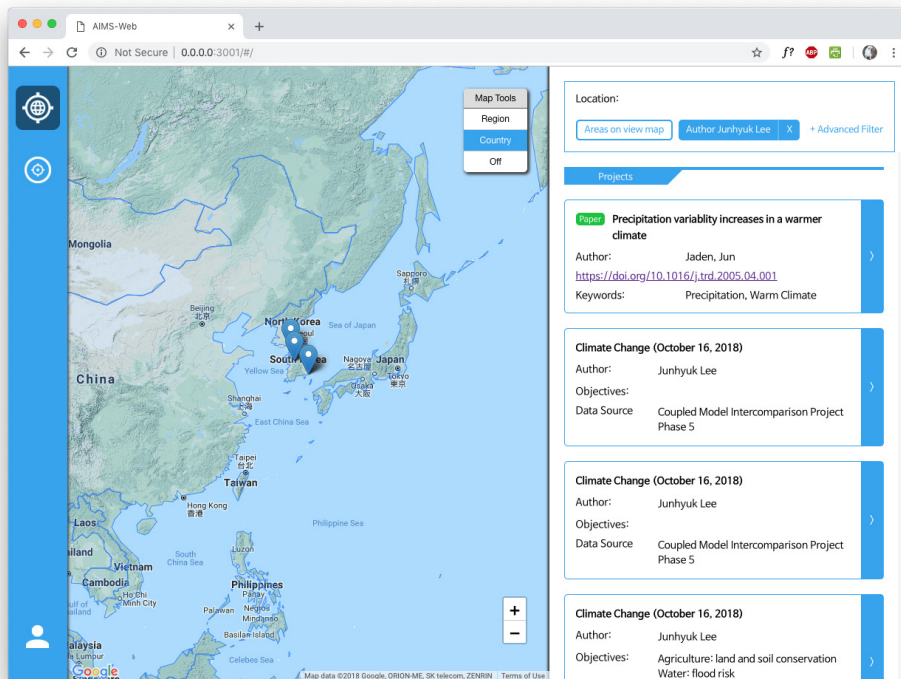


Figure 32. AIMS Web 첫 페이지

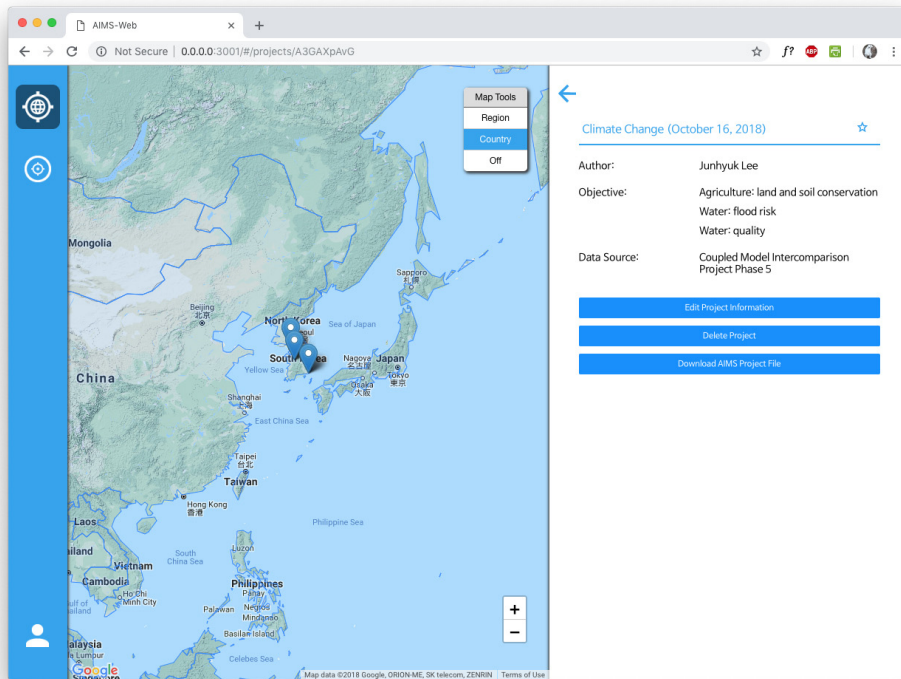


Figure 33. AIMS Web 프로젝트 페이지

AIMS 사용자가 상세화 과정 중에서 선택하는 데이터 및 프로젝트 데이터는 새롭게 구축된 데이터베이스에 저장된다. 데이터 베이스에 입력되는 정보는 프로젝트 생성자 (Author), 프로젝트 이름, 프로젝트 설명, 사용된 패키지 이름 및 버전, 로컬 데이터의 위치 정보(위경도), 프로젝트에서 사용된 파라미터 값 등이 저장되며 DB 저장 예시는 Fig. 34에서와 같다. 데이터베이스는 상업적인 사용에 전혀 문제가 없는 오픈소스 프로젝트이며 NoSQL 방식의 데이터베이스에서 가장 보편적으로 사용되는 MongoDB 애플리케이션을 사용하였다. AIMS 프로그램에서 AIMS-Web으로 자료를 공유를 할 때 Fig. 35에서와 같이 지역 데이터의 공유 여부에 대한 질문을 함으로써 사용자가 자료 공개 여부를 선정할 수 있도록 하였다.

Key	Value	Type
▼ (1) {_id : 5bc81df05926dd0045c2bc13}	{ 8 fields }	Document
_id	5bc81df05926dd0045c2bc13	ObjectId
id	wQUv9-dG2	String
_uid	5bc5704a256449001c9388b1	ObjectId
name	Climate Change (October 16, 2018)	String
description	null	Null
▼ param	{ 21 fields }	Object
sources	[1 elements]	Array
sourceRegionCode	KR	String
sourceRegionPathName	cmip5_daily_KR	String
evalVariables	[3 elements]	Array
evalPeriod	[1 elements]	Array
downscaleGCMs	[1 elements]	Array
downscaleScenarios	[1 elements]	Array
downscaleVariables	[3 elements]	Array
downscalePeriodObserved	[1 elements]	Array
downscalePeriodHistorical	[1 elements]	Array
downscalePeriodFutures	[3 elements]	Array
downscaleMethods	[1 elements]	Array
rawGCMAnalysisVariables	[2 elements]	Array
ccIndexCalcGCMs	[1 elements]	Array
ccCustomIndices	[0 elements]	Array
weightFactorAndUncertaintyIndices	[1 elements]	Array
weightFactorAndUncertaintyDownsc...	sqm	String
droughtIndexGCMs	[0 elements]	Array
droughtIndexPeriod	[1 elements]	Array
droughtIndexDownscaleMethod	[1 elements]	Array
objectives	[0 elements]	Array
locations	[3 elements]	Array
locationCode	{ 1 fields }	Object
▶ (2) {_id : 5bc832a276f03800d4689af0}	{ 9 fields }	Document
▶ (3) {_id : 5bc878939879e302a5948ebf}	{ 10 fields }	Document

Figure 34. 데이터베이스 저장 예시

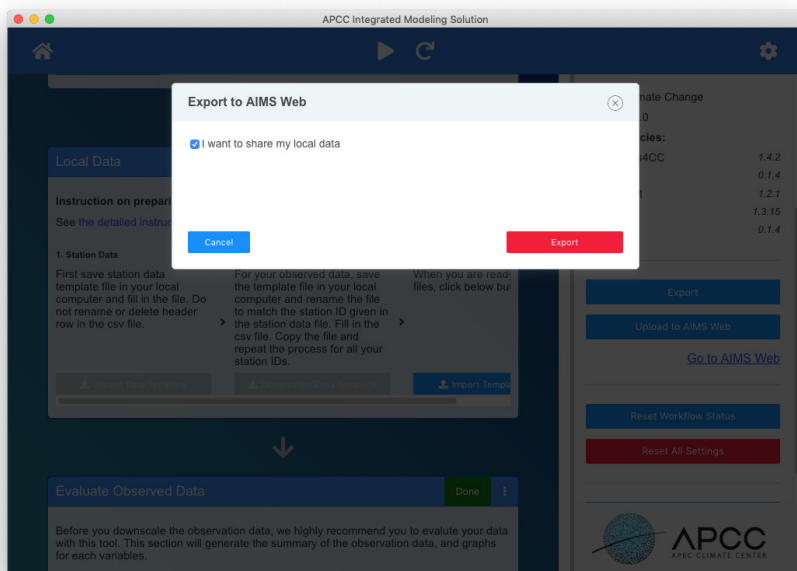


Figure 35. 지역 데이터 공유 여부 선택 화면

3.5 상세화 사용자 교육 및 표준 시나리오 인증

3.5.1 상세화 사용자 교육(국내)

- 과거 APCC에서 참여하고 있는 해외사업의 많은 경우 대상 국가의 관측 자료를 수집하거나 수집된 관측 자료의 결측을 어떻게 처리하는지가 어려움으로 분석되었음. 따라서 농어촌공사의 해외사업처의 관련 전문가들을 대상으로 미계측 유역에서 가용한 기상·기후 자료와 관측 자료에 결측이 존재하는 경우 Quality Control (QC) 기법을 소개하는 목적으로 한국기후변화학회 및 한국농어촌공사와 공동 주관으로 상세화 교육을 수행하였음.
 - 당초 한국농어촌공사 및 관련 엔지니어링 업체의 해외사업 관련참가자 모집을 도와주기로 한 국제교육교류센터(IEEC)에서 기후변화대응부로 주관 부서가 바뀜에 따라 행사 홍보가 부족하였고, 교육에 앞서 한국농어촌공사의 해외사업처에 참여를 요청하였으나 대부분의 관련 전문가의 경우 해외 사업지역에 파견되어 있는 상황으로 인하여 해외사업 관련 전문가 참여가 저조하였음.
 - 반면, 2017년도에 기관 중심으로 참가자를 모집하는 관계로 대학교 연구실 중심의 개인 참가를 제한하였는데 본 상세화 교육에 다수의 대학교 대학원생들이 교육에 참여하였음.
- 참가자들은 R 패키지 기반의 관측자료 QC 절차와 APCC 자체개발 상세화 플랫폼인 AIMS를 통한 기후변화 시나리오 상세화 자료 생산 과정의 실습 중심의 교육이 진행되었음.
 - 해외사업 관계자의 참여 저조로 미계측 지역에 대한 QC 관련 내용 보다는 AIMS를 활용한 사용자 중심의 기후변화 상세 시나리오 생산에 높은 관심을 보였음
 - 본 교육을 위해 격자형 자료의 추출 및 비교·평가를 위한 rGridData 패키지와 결측자료 보정을 위한 QC 관련 rQC 패키지를 개발하여 교육에 상용하였으나 R 통계언어를 처음 사용하는 참가자들의 경우 사용자 편의성이 고려된 AIMS의 GUI 환경과 비교하여 패키지의 구동 환경 설정과 관련하여 어려워하는 경향을 보임
 - 매번 상세화 교육에서 반복되는 상황으로써 자료 처리를 위해 장시간이 요구되며, 과정의 순차적인 연계성이 중요한 점을 고려할 때 제한된 시간에서 자료의

자체 생산 실습이 가능할 수 있도록 강의 시나리오 구성 및 예행연습이 필요할 것으로 판단됨

- QC 관련 내용은 R 패키지를 사용하는 관계로 시간이 많이 소요되었고 실습 시간이 부족하다는 의견이 있었음. 따라서 향후 rGridData 및 rQC 기능도 AIMS의 GUI 환경에 포함하여 사용자의 편의성을 높임으로써 패키지 구동을 위해 필요한 환경설정 관련 설명을 위해 필요한 시간을 최소화하고 내용 자체에 더 집중하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

○ 향후 서비스 개발 관점에서 고려되어야 할 의견은 아래와 같음

- Climate indices 생성 단계에서 사용자 맞춤형 인덱스 추출이 가능하도록 AIMS 개선 필요
- 사용자들을 위한 프로그램 사용자 매뉴얼(책자) 제작 및 보급 필요
- AIMS에 포함되어 있지 않은 국가에 대한 추가 서비스 필요
- 사용자 편의성의 고려한 재분석 자료에 대한 수요가 많아(94.4%) 향후 관련 서비스를 고려할 필요가 있음

○ 참가비를 수령에 여러 어려움이 있었던 2017년 교육과 비교하여 본 교육에서는 참가비 수령 관련하여 1명을 제외한 참가자를 제외하고 모든 참가자들의 경우 순조롭게 진행되었음

○ 향후 follow-up 관련하여 아래 사항들이 고려되어야 할 필요가 있음

- AIMS의 지속적인 업그레이드 및 관련 내용 공유 (100%)
- 국내 상세화 교육의 정례화 (100%)
- 소속 기관의 고유 모델링 시스템과의 AIMS 연동 (76.5%)
- 공동 교육 프로그램 운영 의사 (68.8%)

○ 2017년도 교육 워크숍 설문조사 결과와 비교 시 개인 역량 강화(4.37) 및 교육 전/후 이해도(2.47→3.79)는 수치와 상승폭이 유사하나 교육 숙달(3.26)은 다소 떨어져 반복 학습 및 어려운 내용에 대한 추가 시간 배분 등 업무에 직접 활용하기 위한 교육 숙달도를 높이는 방법을 고려할 필요가 있음

○ 상세화 기법 활용은 연구 활용(4.11), 업무 활용(4.16), 기관 활용(4.26)으로 전반적으로 높게 조사되었으며 참가자가 제시한 구체적인 활용 방안 중 일부는 다음과 같음

- 저수지 용량 산출 및 유입유출량 산정
- 미계측 지역 및 자료 없는 구간에 대한 기상자료 보정
- 해외진출기업 대상 기후예측 정보 제공 및 국제환경협력 연구
- 기상 자료에 대한 신뢰성 분석 및 자료 가공
- 해양기후변화 예측 및 기후변화에 따른 연안역 수온변화 예측

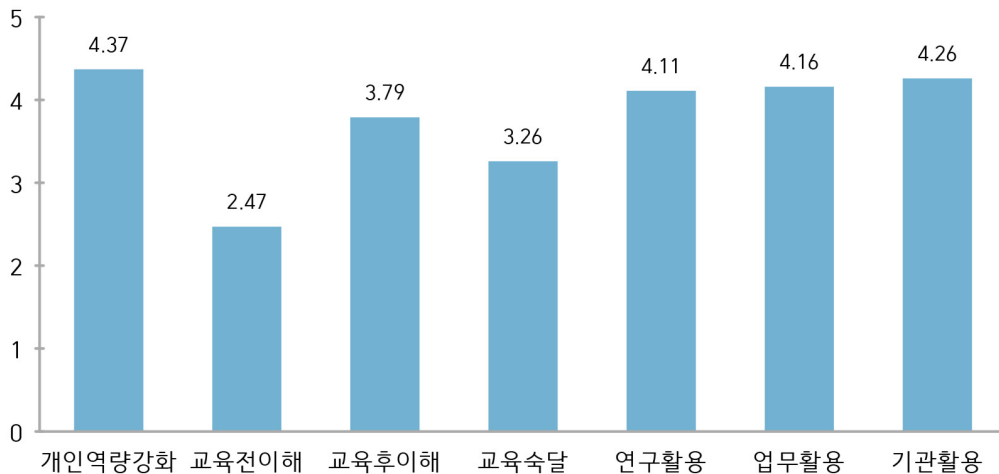


Figure 36. 워크숍 효과 및 활용도 (4.31/5.00)

○ 2017년도와 비교 시 계절예측이 제외되었으나 미계측 지역에 대한 자료 추출 내용이 추가되어 워크숍 분량(3.89) 및 범위(4)는 2017년도와 설문조사 값이 유사함

○ 상세화라는 주제에 대해서 강의 내용은 연관성(4.63)과 강의에 대한 전반적인 만족도(4.37)는 작년과 비교 시 소폭 상승하였고 작년과 유사하게 계절예측(21.1%) 보다 기후변화 시나리오(78.9%)가 업무와 연관성이 높다는 답변으로 미루어 볼 때 금번 교육에서 계절예측을 제외한 것이 효과적이었던 것으로 판단됨

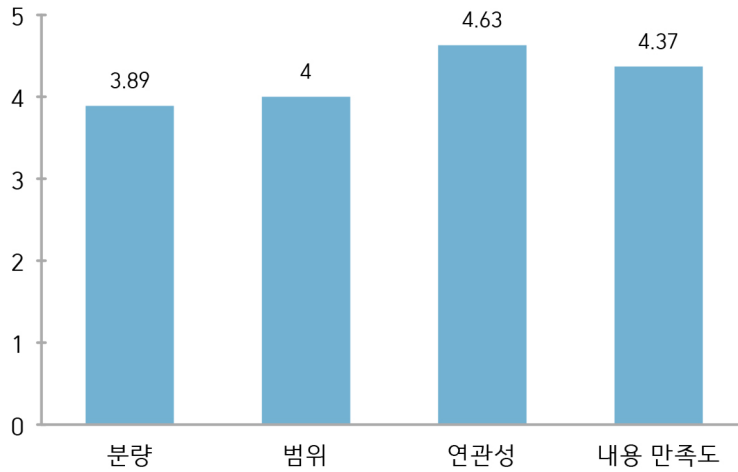


Figure 37. 워크숍 내용 (4.19/5.00)

3.5.2 상세화 사용자 교육(국외)

- 개인 역량 강화 평가는 4.9로 매우 높았으며 교육 전 및 교육 이후 상세화에 대한 이해도도 2.79에서 4.53으로 크게 상승함
- 업무, 국가 관련성 및 연구 활용 부문도 4.5점 이상으로 만족한 것으로 나타났으며 교육 내용 활용 방안에 관해서 다음과 같은 제시됨
 - AIMS로 생산한 자료를 활용한 홍수 및 가뭄 위험 평가, 홍수 모델링, 농업 분야와 관련된 예측 정보 및 기후 지수 생산
 - CLIPs를 활용하여 기후변화 시나리오 자료 및 다양한 모델 데이터 추출하여 업무에 활용
 - 다국가 유역의 미계측 지역 자료 보완, 수문학 및 해양학 관련 프로젝트에 활용, 곡물 수확량, 가뭄 리스크 및 수질 분석에 활용 등 다양한 형태의 연구와 사업에 활용
 - 기후변화에 따른 베트남 중앙 고원지대의 가뭄 위험 관리, 베트남 중앙 남부 지역 물부족 대응 및 가뭄 지도 제작, 인도네시아 가뭄 영향 평가, 기후변화가 국가의 농업 생산에 끼치는 영향 분석 등 APEC 국가와 연관성이 높은 것을 확인
- 이처럼 교육 종료 후 각국 기관에서 AIMS 상세화 플랫폼을 업무에 활용할 계획이 다양하게 도출 됨

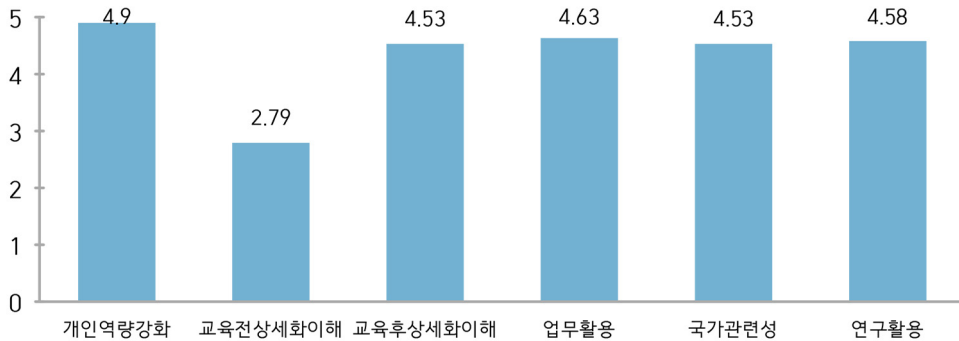


Figure 38. 교육 효과 및 활용도 : 4.66/5.00

- 강의 구성에서 이론, 질의응답, 실습 중 실습이 가장 유용한 것으로 평가되었으며 강의 난이도는 매우 어렵다고 답변한 참가자가 5명으로 다소 어려웠던 것으로 분석됨
- 교육 주제에 대한 강의 연관성은 4.79으로 높게 평가되었으며, 통계적 상세화 방법 및 AIMS 실습이 가장 도움이 되었다고 조사됨
- APCC에서 참가자 데이터를 사전에 제출 받아 데이터 검증을 대신 수행한 과거와 달리 교육 기간 중 데이터 검증 과정(QC)을 포함하여 도움이 되었다는 의견이 많음
 - 중복 데이터 및 수치 오류 수정과 격자형 자료 추출을 활용한 누락 데이터 보완 등 QC는 참가자 기존 업무에도 활용성이 높다는 의견이 많음
- 교육에 포함되었으면 하는 내용은 AIMS 사용 설명서, 계절 예측 상세화 및 상세화 결과 분석이 제시됨

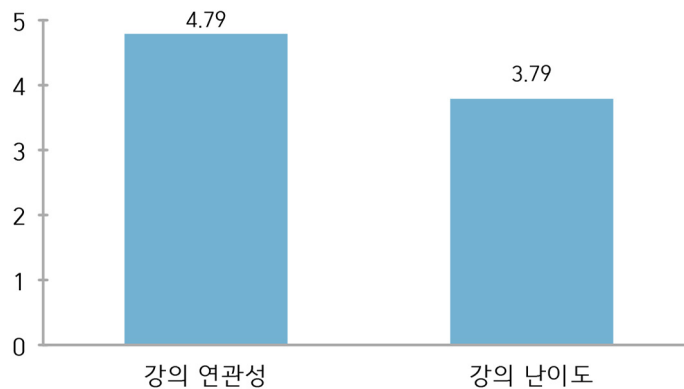


Figure 39. 교육 내용 : 4.79/5.00 (강의 난이도: 1 = 매우 쉽다, 5 = 매우 어렵다)

- 프로그램 전반 만족도는 4.97으로 상당히 높은 결과가 나왔으며 특히 동료 추천은 모든 참가자가 적극 추천하겠다고 답변함
- AIMS 통계적 상세화 플랫폼의 활용성에 대한 평가도 높았으며 모든 참가자가 AIMS의 지속적인 업데이트를 받을 의향이 있다고 답변했으며 기능 추가를 요청하는 의견도 다수 있었음
- 이전 교육 프로그램과 같이 실습 시간 부족으로 교육 기간 연장을 요청하는 의견이 다수 있었으며, 특히 실습 시 사용한 R 통계 언어는 독학이 가능하므로 이에 대한 사전 안내가 있었다면 예습을 통해 더욱 효과적으로 교육 내용을 습득할 수 있었을 것이라는 의견이 있음
- 통계적 상세화 과정 외 향후 교육 주제로 제시된 의견은 계절예측 상세화, 역학적 상세화, 응용 분야 활용 등이 있음

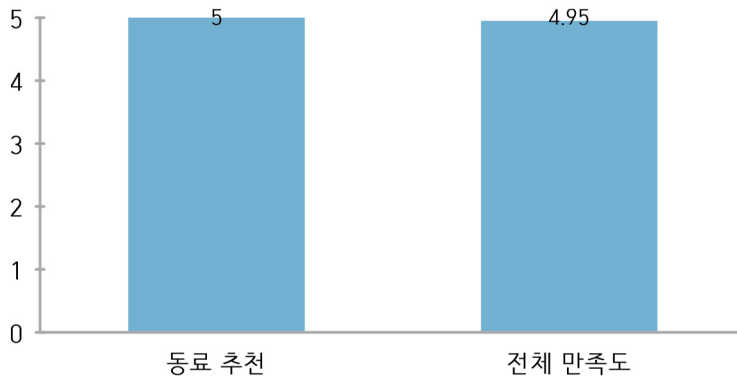


Figure 40. 프로그램 전반 만족도 및 의견 : 4.97/5.00

3.5.3 국가기후변화 표준 시나리오 인증

국가 기후변화 표준 시나리오 인증을 신청한 SQM 및 SDQDM 한반도 상세화 자료 중에서 SQM 기법을 이용한 상세화 자료에 대하여 Fig. 34과 같이 인증이 완료 되었다. 신청은 농업 분야의 증발산량 계산에 수요가 높은 풍속, 상대습도, 일사량을 포함한 6개 기상 변수 중에서 강수량, 최고기온, 최저기온에 대해서만 인증이 되었으며 자료에 대한 설명은 아래와 같다.

제 2018-7호

국가 기후변화 표준 시나리오 인증서

상호명(기관명): APEC 기후센터
 성명(대표자): 유진호
 생년월일(사업자등록번호): 607-82-10488
 소재지: 부산광역시 해운대구 센텀7로 12
 인증 시나리오 현황

① 시나리오명: 한반도(SQM 통계적 상세화)	② 사용모델: IPCC 채택 29개 GCM
③ 배출시나리오: RCP 2종(4.5/8.5)	④ 시간분해능: 일
⑤ 공간분해능: 기상청 종관기상관측소(ASOS) 60개 지점(1976~2005년 관측자료)	⑥ 재현·전망기간: 재현 30년(1976~2005년) 전망 95년(2006~2100년)
⑦ 산출변수: 최고/최저기온, 강수량(타 산출변수 불인정)	

위 신청인이 제출한 기후변화 시나리오를 「기상법 시행령」 제14조 제3항제1호 및 같은 법 시행규칙 제5조의2제3항에 따라 국가 기후변화 표준 시나리오로 인증합니다.

2018년 10월 16일

기 상 청 장



Figure 41. 국가기후변화 표준 시나리오 인증서

SQM 표준 시나리오 설명자료

☐ 개요

- 생산기관: APEC 기후센터(APCC)
- 공간영역: 한반도 60개 종관기상관측소(ASOS)
- 사용모델: IPCC 채택 29 전지구기후모형(GCM)

☐ 생산 목적

- 농업 및 수자원 등 부문별 기후변화 적응 정책 수립에 활용하기 위한 공인된 일단 위 기후변화 시나리오 상세화 자료 생산

☐ 세부 내용

- IPCC 채택 29개 GCM에 대한 3개 변수(강수량, 최고기온, 최저기온) 및 29개 GCM 중 10개 GCM에 대한 추가변수(풍속, 상대습도, 일사량) 자료 수집

Table 29. 사용 Global Climate Models (GCMs) 설명

No	GCMs	Resolution (degree)	Institution	Variables of Historical & RCP4.5 & RCP8.5					
				PR	TX	TN	WD	SR	RH
1	BCC-CSM1-1	2.813 × 2.791	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	○	○	○	○	○	○
2	BCC-CSM1-1-m	1.125 × 1.122		○	○	○			
3	CanESM2	2.813 × 2.791	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	○	○	○	○	○	○
4	CCSM4	1.250 × 0.942	National Center for Atmospheric Research	○	○	○			
5	CESM1-BGC	1.250 × 0.942		○	○	○			
6	CESM1-CAM5	1.250 × 0.942		○	○	○			
7	CMCC-CM	0.750 × 0.748	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	○	○	○			
8	CMCC-CMS	1.875 × 1.865		○	○	○			
9	CNRM-CM5	1.406 × 1.401	Centre National de Recherches Météorologiques	○	○	○			
10	CSIRO-Mk3-6-0	1.875 × 1.875	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in collaboration with the Queensland Climate Change Centre of Excellence	○	○	○			
11	FGOALS-g2	2.8125 × 3	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; and CESS, Tsinghua University	○	○	○			
12	FGOALS-s2	2.813 × 1.659	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	○	○	○			
13	GFDL-CM3	2.5 × 2	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	○	○	○			
14	GFDL-ESM2G	2.500 × 2.023		○	○	○	○	○	○
15	GFDL-ESM2M	2.500 × 2.023		○	○	○	○	○	○
16	HadGEM2-AO	1.875 × 1.250	Met Office Hadley Centre	○	○	○			
17	HadGEM2-CC	1.875 × 1.250		○	○	○	○	○	○
18	HadGEM2-ES	1.875 × 1.250		○	○	○	○	○	○
19	INM-CM4	2.000 × 1.500	Institute for Numerical Mathematics	○	○	○	○	○	○
20	IPSL-CM5A-LR	3.750 × 1.895	Institut Pierre-Simon Laplace	○	○	○	○	○	○
21	IPSL-CM5A-MR	2.500 × 1.268		○	○	○			
22	IPSL-CM5B-LR	3.750 × 1.895		○	○	○			
23	MIROC-ESM-CHEM	2.813 × 2.791	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute and National Institute for Environmental Studies	○	○	○	○	○	○
24	MIROC-ESM	2.813 × 2.791		○	○	○	○	○	○
25	MIROC5	1.406 × 1.401		○	○	○			
26	MPI-ESM-LR	1.875 × 1.865	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	○	○	○			
27	MPI-ESM-MR	1.875 × 1.865		○	○	○			
28	MRI-CGCM3	1.125 × 1.122	Meteorological Research Institute	○	○	○			
29	NorESM1-M	2.500 × 1.895	Norwegian Climate Centre	○	○	○			

○ 한반도 Historical 30년(1976~2005) 관측 자료가 존재하는 60개 ASOS 지점 선정

Table 30. 상세화 적용 기상청 종관기상관측소(ASOS) 리스트

번호	관측소 ID	관측점명	북위	동경	번호	관측소 ID	관측점명	북위	동경
1	90	속초	38° 15'	128° 33'	31	202	양평	37° 29'	127° 29'
2	100	대관령	37° 40'	128° 43'	32	203	이청	37° 15'	127° 29'
3	101	춘천	37° 54'	127° 44'	33	211	인제	38° 03'	128° 10'
4	105	강릉	37° 45'	128° 53'	34	212	홍천	37° 41'	127° 52'
5	108	서울	37° 34'	126° 57'	35	221	제천	37° 09'	128° 11'
6	112	인천	37° 28'	126° 37'	36	226	보은	36° 29'	127° 44'
7	114	원주	37° 20'	127° 56'	37	232	천안	36° 46'	127° 07'
8	119	수원	37° 16'	126° 59'	38	235	보령	36° 19'	126° 33'
9	127	충주	36° 58'	127° 57'	39	236	부여	36° 16'	126° 55'
10	129	서산	36° 46'	126° 29'	40	238	금산	36° 06'	127° 28'
11	130	울진	36° 59'	129° 24'	41	243	부안	35° 43'	126° 42'
12	131	청주	36° 38'	127° 26'	42	244	임실	35° 36'	127° 17'
13	133	대전	36° 22'	127° 22'	43	245	정읍	35° 33'	126° 51'
14	135	추풍령	36° 13'	127° 59'	44	247	남원	35° 24'	127° 19'
15	138	포항	36° 01'	129° 22'	45	256	주암	35° 04'	127° 14'
16	140	군산	36° 00'	126° 45'	46	260	장흥	34° 41'	126° 55'
17	143	대구	35° 53'	128° 37'	47	261	해남	34° 33'	126° 34'
18	146	전주	35° 49'	127° 09'	48	262	고흥	34° 37'	127° 16'
19	152	울산	35° 33'	129° 19'	49	272	영주	36° 52'	128° 31'
20	156	광주	35° 10'	126° 53'	50	273	문경	36° 37'	128° 08'
21	159	부산	35° 06'	129° 01'	51	277	영덕	36° 31'	129° 24'
22	162	통영	34° 50'	128° 26'	52	278	익성	36° 21'	128° 41'
23	165	목포	34° 49'	126° 22'	53	279	구미	36° 07'	128° 19'
24	168	여수	34° 44'	127° 44'	54	281	영천	35° 58'	128° 57'
25	170	완도	34° 23'	126° 42'	55	284	거창	35° 40'	127° 54'
26	184	제주	33° 30'	126° 31'	56	285	합천	35° 33'	128° 10'
27	188	성산	33° 23'	126° 52'	57	288	밀양	35° 29'	128° 44'
28	189	서귀포	33° 14'	126° 33'	58	289	산청	35° 24'	127° 52'
29	192	진주	35° 09'	128° 02'	59	294	거제	34° 53'	128° 36'
30	201	강화	37° 42'	126° 26'	60	295	남해	34° 48'	127° 55'

- 관측소별 월별 관측과 GCM 사이의 편이를 Empirical Quantile Mapping 기법을 사용하여 30년 기후 평균과 분포(distribution)를 동시에 보정하는 Simple Quantile Mapping(SQM) 상세화 기법 적용
- 오픈소스 기반 통계 언어인 R 을 이용한 상세화 패키지(rSQM) 개발 및 The Comprehensive R Archive Network(CRAN)에 등록(rSQM 링크: <https://cran.r-project.org/web/packages/rSQM/index.html>)
- 사용자 참여형 상세화 플랫폼인 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS)에 rSQM 탑재를 통한 29개 GCM에 대한 상세화 자료 생산(AIMS 링크: <https://aims.apcc21.org/>)

□ 미래 기후변화 전망정보

- 강수량

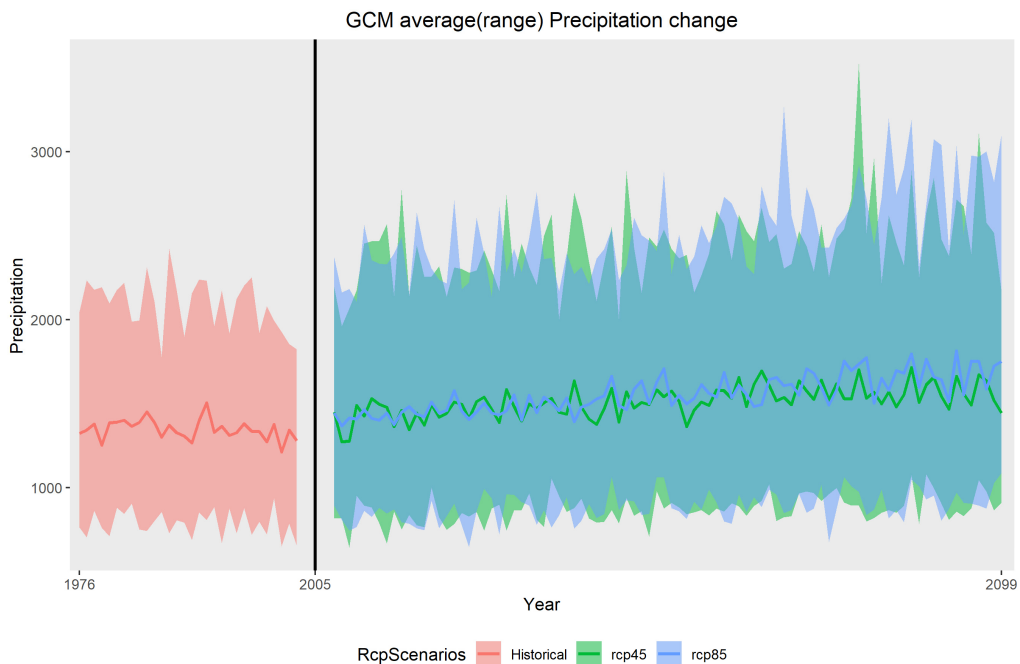
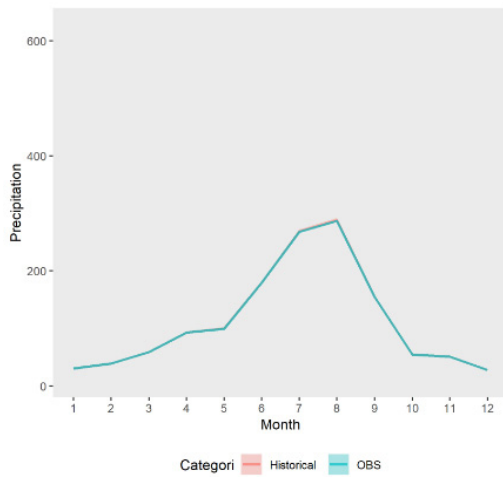
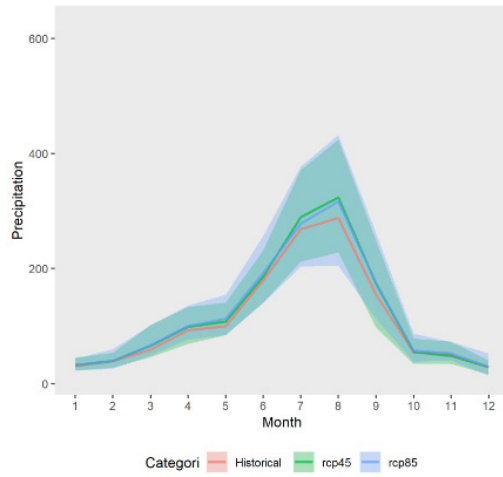


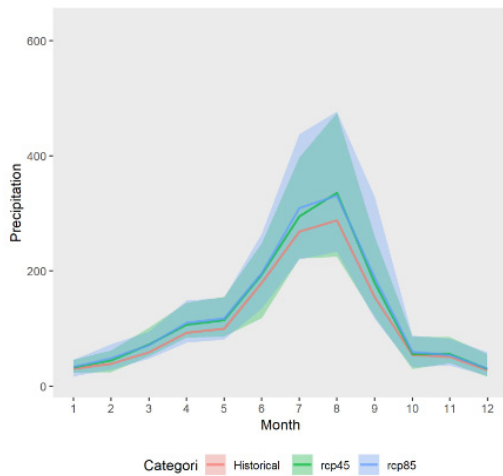
Figure 42. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 연강수량 전망



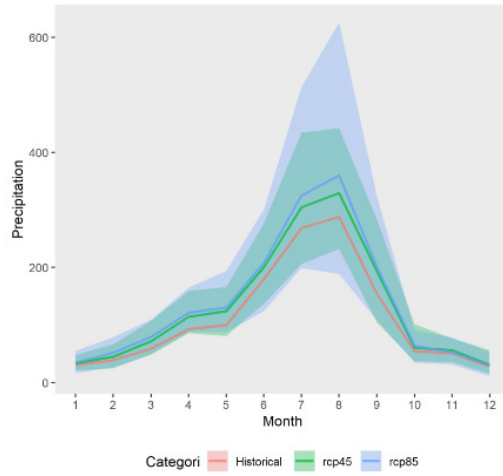
(a) 과거 재현성 평가



(b) 근미래: 2010~2039



(c) 중간미래: 2040~2069



(d) 먼미래: 2070~2099

Figure 43. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 월별 강수량 전망

○ 최고온도

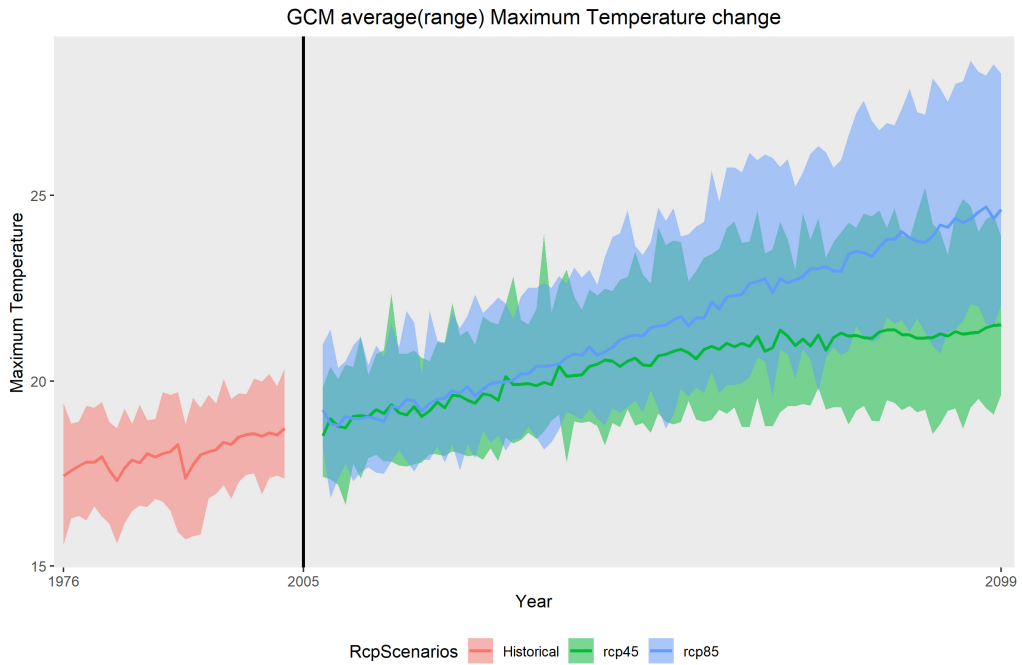
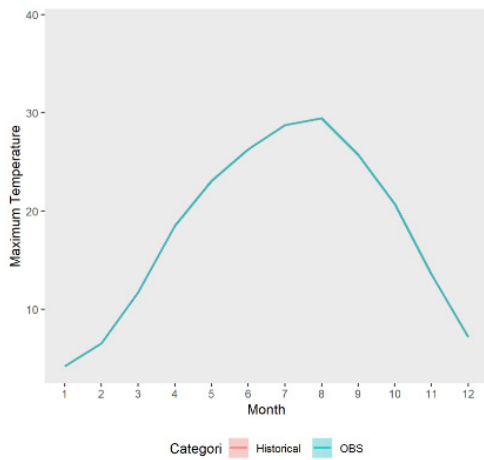
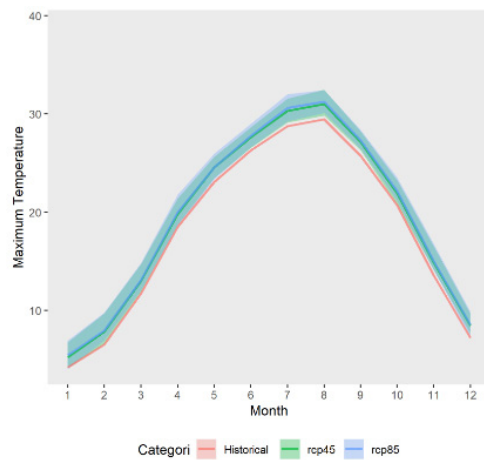


Figure 44. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 최고기온 전망



(a) 과거 재현성 평가



(b) 근미래: 2010~2039

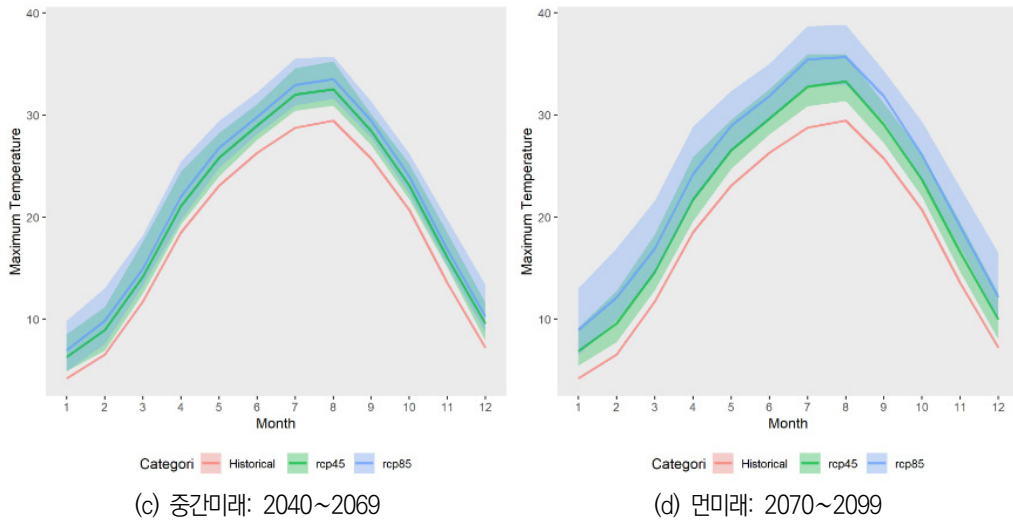


Figure 45. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 월별 최고기온 전망

○ 최저온도

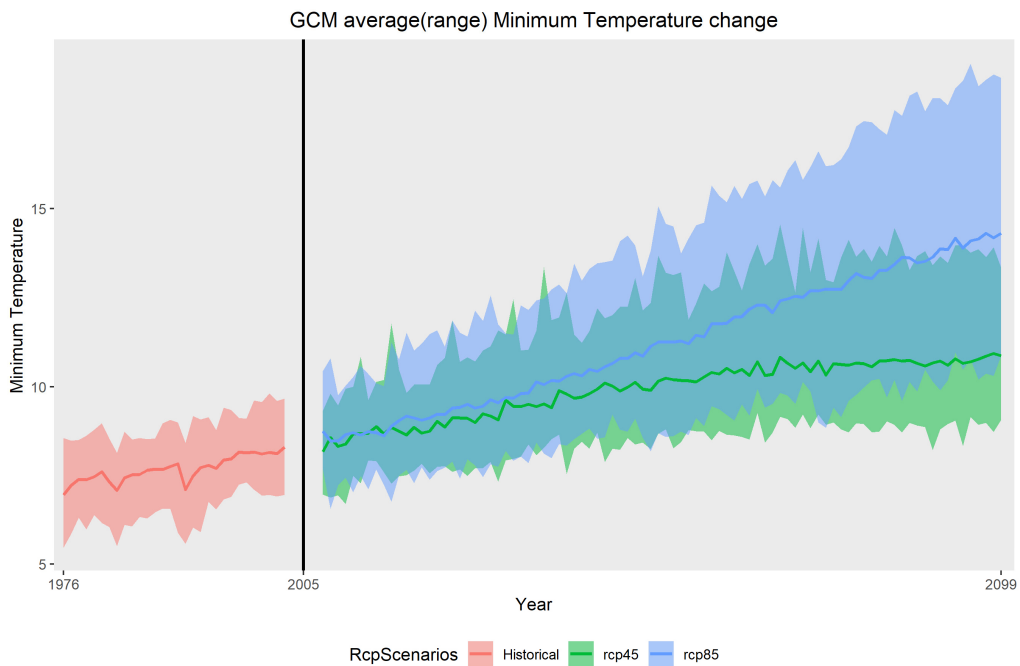


Figure 46. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 최저기온 전망

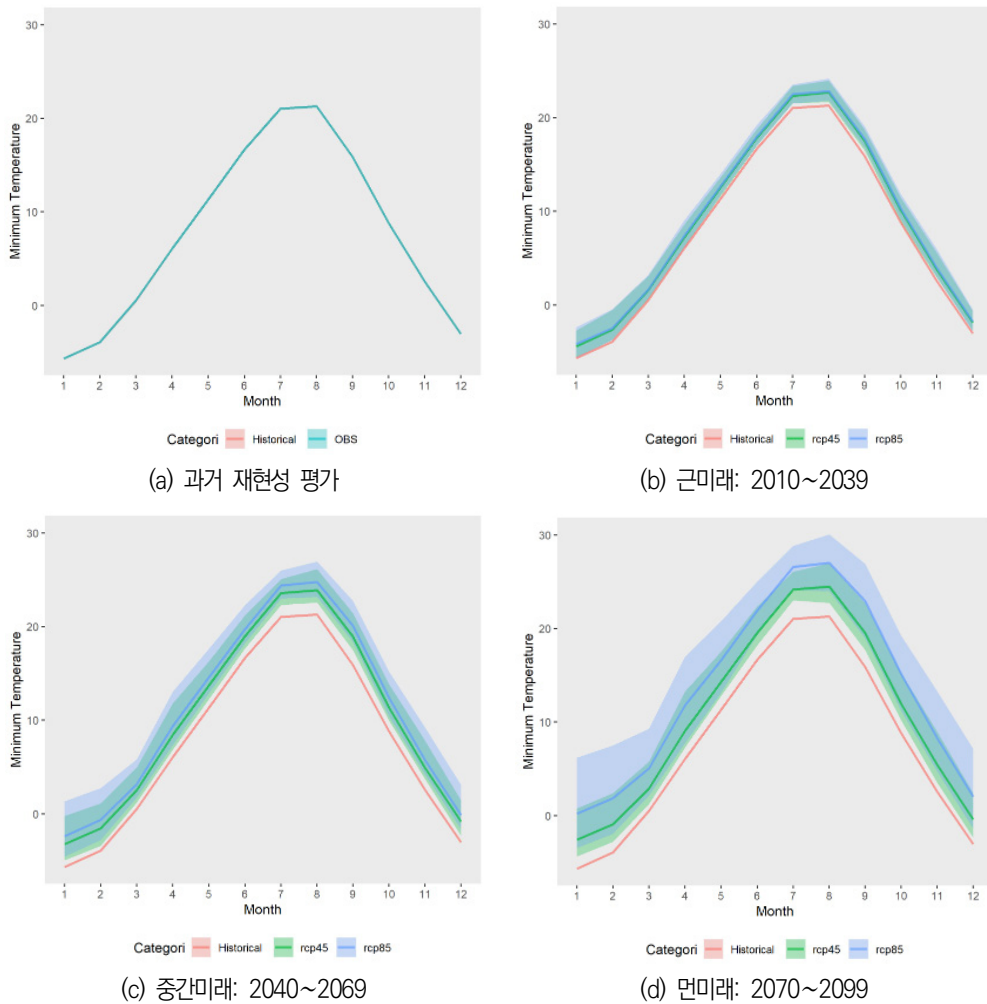


Figure 47. 기후변화 시나리오에 따른 한반도 60개 관측소 평균 월별 최저기온 전망

□ 관련 사업

○ 자료 생산

- 아태 기후정보서비스 및 연구개발 (APEC 기후센터)

□ 국가 기후변화 표준 시나리오 활용 현황

○ 기상청 국가 기후변화 표준 시나리오 활용 현황

- 기상청 생산 GCM 자료인 HadGEM-AO 전망 자료를 SQM 상세화 입력 자료로 사용

○ 신청 시나리오 활용 현황

- 한국농어촌공사 관리 대상 전체 농업용 저수지에 대한 기후변화 영향평가에 활용(2014~2016년)
- 새만금유역의 기후변화에 따른 미래 농업비점오염원 특성 변화 분석에 활용(한국농어촌공사, 2013년)
- 기후변화에 따른 농경지 양분유출 실태조사 및 영향평가 연구에 활용 중(농촌진흥청, 2017년)

□ 관련 보고서 및 논문

○ 상세화 자료 생산 기법 관련 보고서 및 논문

- 생산 기법 설명 보고서

No.	보고서 제목	발주처	연구기간	내용 설명
1	조재필, 2013. 불확실성을 고려한 농업용 저수지의 기후 변화 영향 평가. APEC기후센터	APEC 기후센터	2013	상세화 기법 프로토타입 개발 및 적용
2	조재필, 정임국, 조원일, 강대인, 이준혁, 2017. APCC 계절예측 및 기후변화 시나리오 통계적 상세화 플랫폼 개발. APEC 기후센터	APEC 기후센터	2017	rSQM 모듈의 AIMS 플랫폼 탑재

- 상세화 기법 설명 논문

No.	논문 정보	구분 국내/SCI	내용 설명
1	Cho, J., G. Ko, K. Kim, and C. Oh. 2016. Climate change impacts on agricultural drought with consideration of uncertainty in CMIP5 scenarios. Irrigation and Drainage. DOI: 10.1002/ird.2035	SCIE	상세화 기법 간략한 소개 및 적용
2	조재필, 정임국, 조원일, 이은정, 강대인, 이준혁, 2018a. 기후변화 적응을 위한 사용자 중심의 기후서비스체계 제안 및 사용자인터페이스 플랫폼 개발. 한국기후변화학회지 9, 1-12.	비SCI	상세화 플랫폼 (rSQM 포함)
3	R 공식 패키지 Quantile Mapping: https://cran.r-project.org/web/packages/qmap/index.html rSQM: https://cran.r-project.org/web/packages/rSQM/index.html	기타	Quantile Mapping 알고리즘 및 CMIP5 기후 변화 시나리오에의 적용 프로세스

○ 상세화 자료 활용 관련 보고서 및 논문

- 활용 보고서

No.	보고서 제목	발주처	연구 기간	전망 기간	사용 변수
1	불확실성을 고려한 농업용 저수지의 기후변화 영향 평가	APEC 기후센터	2013	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 상대습도, 일사량
2	새만금 장래수질 특성 분석 및 농업비점오염원 기작을 고려한 새만금 유역 모델링 연구	한국농어촌공사	2013	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 상대습도, 일사량
3	기후변화에 따른 농업용수 통합 영향평가 시스템 개발(I)	한국농어촌공사	2014	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 상대습도, 일사량
4	기후변화에 따른 농경지 양분유출 실태조사 및 영향 평가 연구	농촌진흥청	2017	2011~2100	강수량, 최고기온, 최저기온

- 활용 논문

No.	논문 정보	사용 RCP	전망 기간	사용변수
1	Cho, J., G. Ko, K. Kim, and C. Oh. 2016. Climate change impacts on agricultural drought with consideration of uncertainty in CMIP5 scenarios. Irrigation and Drainage. DOI: 10.1002/ird.2035	RCP4.5	2013~2099	강수량, 최고기온, 최저기온
2	Cho, J., C. Oh, J. Choi, and Y. Cho. 2016. Climate change impacts on agricultural non-point source pollution with consideration of uncertainty in CMIP5. Irrigation and Drainage. DOI: 10.1002/ird.2036	RCP4.5 RCP8.5	2011~2099	강수량, 최고기온, 최저기온
3	Rhee, J., J. Cho. 2015. Future changes in drought characteristics: Regional analysis for South Korea under CMIP5 projections. Journal of Hydrometeorology. doi: 10.1175/JHM-D-15-0027.1	RCP8.5	2016~2099	강수량
4	Kim, K.H., J. Cho. 2015. Predicting potential epidemics of rice diseases in Korea using multi-model ensembles for assessment of climate change impacts with uncertainty information. Climate Change, DOI 10.1007/s10584-015-1503-2	RCP4.5, RCP 8.5	2011~2099	강수량
5	Kim, K. H., J. Cho, Y.H. Lee, and W.S. Lee., 2015.04. Predicting potential epidemics of rice leaf blast and sheath blight in South Korea under the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios using a rice disease epidemiology model, EPIRICE. Agricultural and Forest Meteorology 203: 191~207	RCP4.5	2016~2045	최고기온, 최저기온, 강수량
6	Kim, C.G., Cho, J., Kim, N.W., 2018. Assessing hydrologic impact of climate change in Jeju Island using multiple GCMs and watershed modeling. 한국수자원학회 논문집 51, 11-18.	RCP8.5	2010~2099	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도

No.	논문 정보	사용 RCP	전망 기간	사용변수
7	곽용석, 조재필, 정임국, 김도우, 장상민, 2018. 유효기온지수(EDI)를 이용한 한반도 미래 기온 특성 전망. 한국기후변화학회지 9, 31-45	RCP4.5 RCP8.5	2010~2100	강수량
8	김광형, 정여민, 조윤섭, 정유란, 2016. 기후변화에 따른 국내 키워 품종 “해금”의 개화시기 변동과 전망에 대한 불확실성: 전남 키워 주산지역을 중심으로. Korean J. Agric. For. Meteorol. 18, 42-54	RCP4.5 RCP8.5	2021~2040	최고기온, 최저기온
9	김철검, 박지훈, 조재필, 2018. GCM 및 상세화 기법 선정을 고려한 충주댐 유입량 기후변화 영향 평가. 한국기후변화학회지 9, 47-58	RCP4.5 RCP8.5	2010~2099	강수량, 최고기온, 최저기온
10	남원호, 홍은미, 최진용, 조재필, 2015. 기후학적 물수지를 적용한 기후변화에 따른 농업기상지표 변동예측의 불확실성. 한국농공학회 논문집 57, 1-13	RCP4.5 RCP8.5	2011~2100	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도
11	박지훈, 조재필, 이은정, 정임국, 2017. CMIP5 GCMs 과 추정 방법에 따른 우리나라 기준증발산량 평가. 농촌계획 23, 153-168.	RCP4.5 RCP8.5	2010~2099	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도
12	윤선권, 장상민, 이진영, 조재필, 2017. 도심지 토사재해 위험지역 기후변화에 따른 미래 극치강우 분석. 1 한국방재학회 논문집 17, 355-367.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2100	강수량
13	윤선권, 조재필, 2015. CMIP5 GCMs 의 근 미래 한반도 극치강우 불확실성 전망 및 빈도분석. 한국수자원학회 논문집 48, 817-830.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2040	강수량
14	윤선권, 조재필, 문영일, 2014. RCPs 시나리오 자료를 이용한 비매개변수적 갈수빈도 해석. 대한토목학회논문집 34, 1125-1138.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2100	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도
15	정유란, 조재필, 이은정, 2015. 상세화된 CMIP5 기후변화전망의 다중모델앙상블 접근에의한 농업기후지수 평가. Korean J. Agric. For. Meteorol. 17, 108-125.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도
16	조재필, 정임국, 조원일, 황세운, 2018b. 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화 기법 개발 및 한반도 적용. 한국기후변화학회지 9, 13-29.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온
17	조재필, 황세운, 고광돈, 김광용, 김정대, 2015. SWAT 모형과 CMIP5 자료를 이용한 기후변화에 따른 농업용 저수지 기후변화 영향 평가. 한국농공학회논문집 57, 1.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2040	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도
18	최순곤, 정재학, 조재필, 허승오, 최동호, 김민경, 2018. 불확실성을 고려한 논벼 증발산량 기후변화 영향 평가. 한국기후변화학회지 9, 143-156.	RCP4.5 RCP8.5	2011~2100	강수량, 최고기온, 최저기온, 풍속, 일사량, 상대습도

□ 기타사항

○ 관련 행사

- 국내 유관기관 관계자 대상 사용자 중심의 기후정보의 통계적 상세화 교육, 2017.09.28. ~ 29., APEC 기후센터
(<http://www.ecomedia.co.kr/news/newsview.php?ncode=1065587527125620>)

REFERENCES

- CORDEX: <http://www.cordex.org>
- CORDEX East Asia: <https://cordex-ea.climate.go.kr>
- CORDEX South Asia: http://cccr.tropmet.res.in/home/cordexsa_about.jsp
- Deutsch, C. V. and Journel, A. G.: GSLIB, geostatistical software library and user's guide, second edition, Oxford Univ. Press, New York, 139-148, 1998.
- Dobler, A., and B. Ahrens (2008) Precipitation by a regional climate model and bias correction in Europe and South Asia, *Meteorol. Z.*, 17, 499-509.
- Dufresne, J. L. and Coauthors (2013) Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Clim Dyn* (2013) 40:2123-2165. DOI 10.1007/s00382-012-1636-1
- Dunne, J.P. and Coauthors (2012) GFDL's ESM2 Global Coupled Climate-Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. *J. Clim*, 25, 6646-6665.
- Giorgi, F. and Coauthors (2012) RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim Res* 52:7-29.
- Giorgetta, M.A. and Coauthors (2013) Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the coupled model intercomparison project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 572-597. doi:10.1002/jame.20038
- Goovaerts, P.: *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford Univ. Press, New York, pages 3-7, 27-36, 127-139, and 152-157, 1997.
- Hazeleger, W. and Coauthors (2012) EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Clim Dyn*, 39:2611-2629. DOI 10.1007/s00382-011-1228-5
- McGregor, J. L., and M. R. Dix (2001) The CSIRO Conformal-Cubic Atmospheric GCM. IUTAM Symposium on Advances in Mathematical Modelling of Atmosphere and Ocean Dynamics, P. F. Hodnett, Ed., Kluwer: Dordrecht, 197-202.
- Sabin, T. P. and Coauthors (2013) High resolution simulation of the South Asian monsoon using a variable resolution global climate model. *Clim Dyn* 41:173-194. DOI 10.1007/s00382-012-1658-8.
- Samuelsson, P. and Coauthors (2011) The Rossby Centre regional climate model RCA3:

Model description and performance. Tellus, 63A, 4-23.

Taussky, O. and Todd, J.: Cholesky, Toeplitz and the triangular factorization of symmetric matrices, Numer. Algorithms, 41, 197-202, 2006.

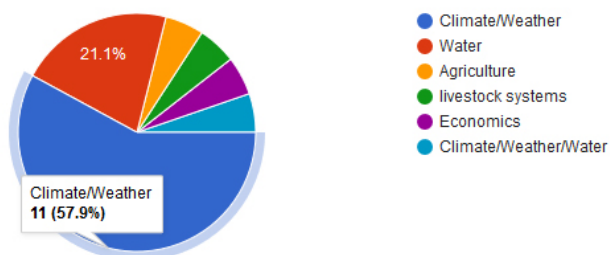
부록

1.1 상세화 사용자 교육(국외) 설문조사 결과

A. Personal Information

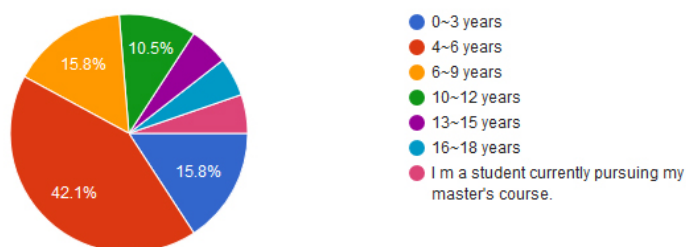
1. What is your field of expertise or research?

19 responses



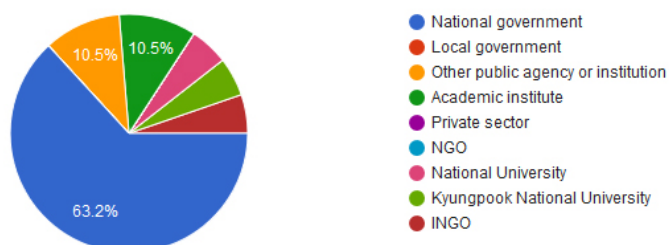
2. How long have you worked in this field? (Years)

19 responses



3. What is your organization?

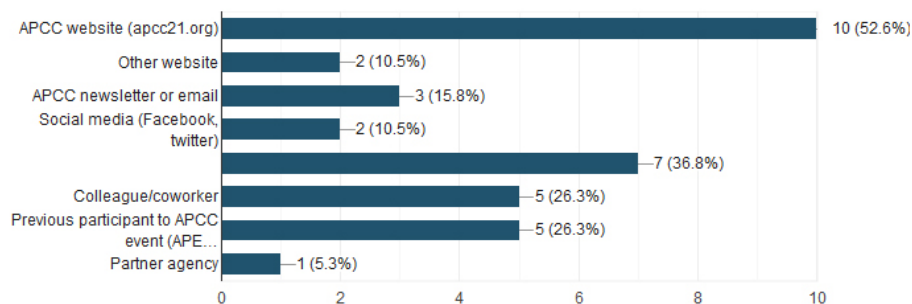
19 responses



B. Performance Results

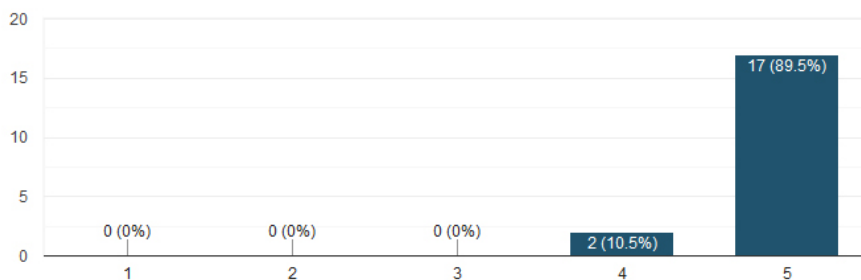
4. How did you find out about the training program?

19 responses



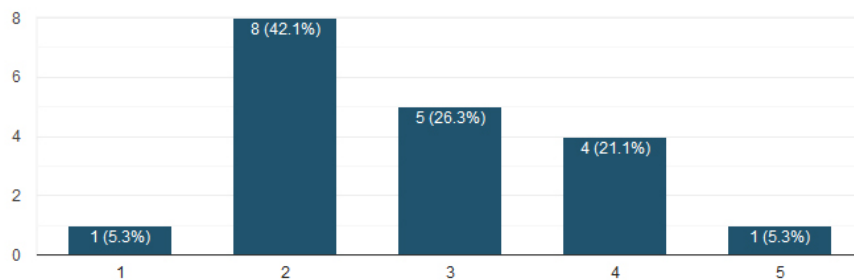
1. (Individual) Has the training helped enhance your own skills and knowledge?

19 responses



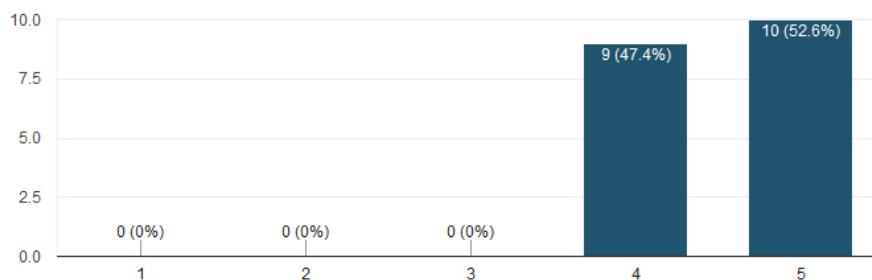
2. (Individual) Before the start of the training program, how much did you understand about the concept of statistical downscaling?

19 responses



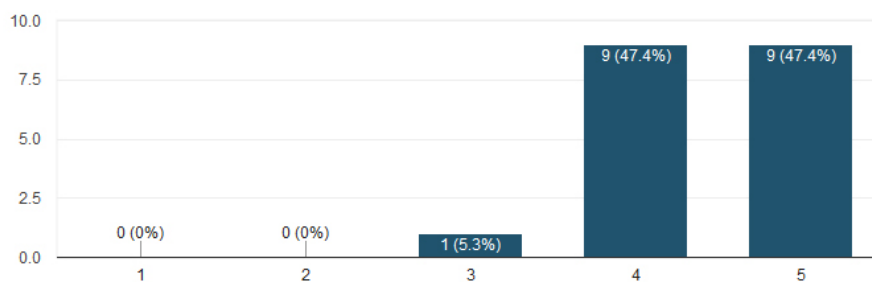
3. (Individual) After the end of the training program, how much do you understand about the concept of statistical downscaling?

19 responses



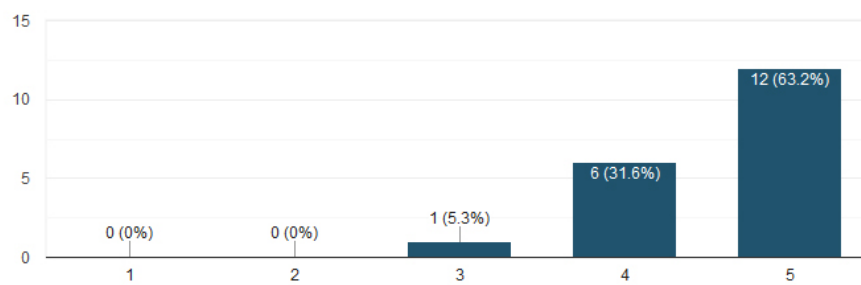
4. (Individual) Are you confident in using the skills learned during the training program independently?

19 responses



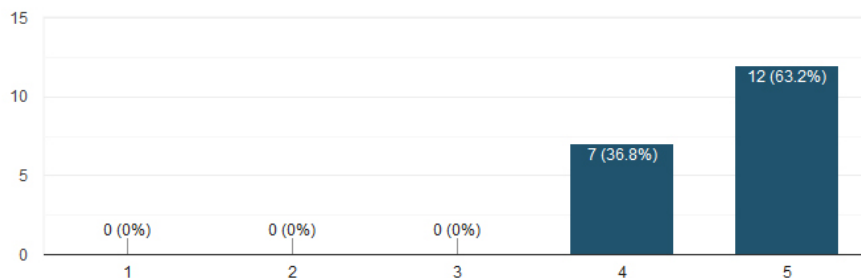
5. (Individual) How much has this program contributed to building your future research plans?

19 responses



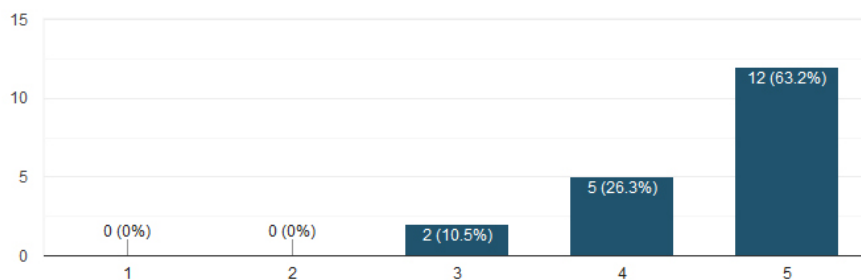
6. (Work) How likely are you to use what you have learned through this program when you return to your country?

19 responses



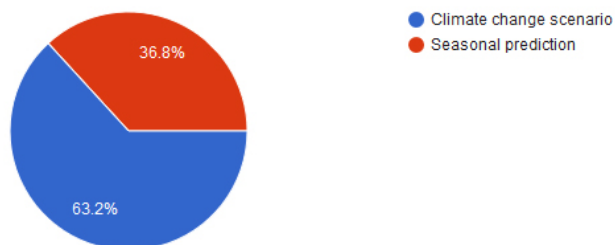
7. (National policy) How relevant were the contents of the program to your country's social, economic, or technical needs?

19 responses



8. Which category was more relevant to your work?

19 responses



9. How will you use the statistical downscaling skills learned this week in your home country?

19 responses

I will to apply on agricultural and drought risks for crops yield
Apply all stations to the obsn data and analyze result after processing using AIMS
i will use to my postgraduate research
The concept of statistical downscaling
use climate variables to explain economic, famers' adaptation behavior, help the provincial and national governments with interdisciplinary research and dicision making
Building project in Hydrology and Oceangraphy
Sharing the learn to others to develop projects
Firstly, I will work to sharpen my skills in R and then re run the AIMS. I will share the knowledge I learned here with my colleagues.
Rerun all the steps and check details when input my home country's data. Using and explain the result as a reference of our forecast work. Try to give the public the better announce and forecast.
using statistical downscaling to fulfill the unmeasured part (foreign part) of trans-boundary river basins and Downscaling climate change scenarios for calculate future precipitation for flood modeling.
I WILL WORKS WITH MY TEAM DEVELOPMENT IN MEXICO, AND FIX THE DATA BASE MEXICO FOR REALIZE THE PROCESS OF DOWNSCALING.
Comparison with produced statistically downscaled projections in the Philippines
Applying the data from the statistical downscaling method for the assessment of water quality
Warning drought under climate change for Central Highland of Vietnam
Building a warning map for water shortages and drought on South Central of Vietnam replying seasonal forecast
I will try to redo all the skill that been delivered during the training using my country observation data and do the projections relate to agricultural sector with relevant climate indices
The first thing I will do, is keep working on generating basic climate change information using MME under both scenarios RCP4.5 and RCP8.5, then produce climate change index exposure, and utilize EDI for drought assessment in Indonesia.
I will try to use the statistical downscaling with our data on specific sector
I think will do some studies on the impacts of the climate change in the agriculture in my country
Main to improve the quality of our long range forecast and use the knowledge to develop in Agrometeorology field.

10. Other comments on performance

12 responses

Thank you very much for these opportunity joining this program on SD for CC projections

Thank you

Its a enjoyable training/workshop programme

Very helpful and meticulous instructors

No

IT WAS A GREAT PROGRAM TRAINNING BECAUSE HELP ME TO UNDERSTAND OF BETTER FORM THE DEFINITIONS, CONCEPTS AND MAKE IT THE PROCESS TO OBTAIN RESULTS ABOUT THE CLIMATE CHANGE.

The lecturers made the complex topic easy to understand.

Thank you for having us to enjoy this training. The hospitality, caring and knowledge sharing are precious. We hope the development of AIMS will go smoothly and APCC can continuously doing the training in many aspect of climate and weather to build the capacity of giving information to many people. Thank you for the hard work for teaching us, we surely will applied it to our work.

The performance of the result training is really great. I will keep working on the program such as AIMS and Drought.

it is a very helpful and much knowledge I gathered during the training. The training also organized very well. I really appreciate it.

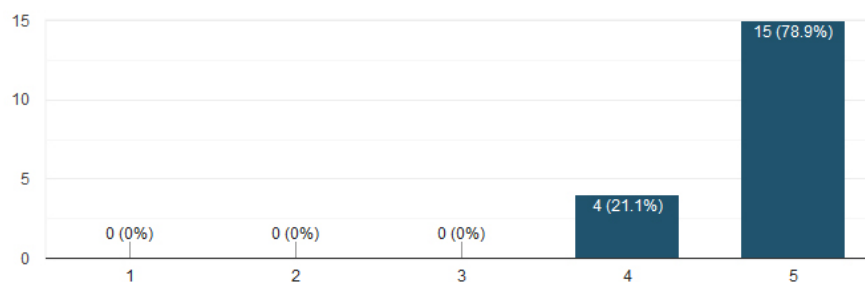
I would like that APCC can be able to support for this studies

It is a best thing that the the lecturer came to take care us one by one but according to the time of the course I suggest it should have some assistance to help participants in the class especially programming class like this.

C. Program Contents

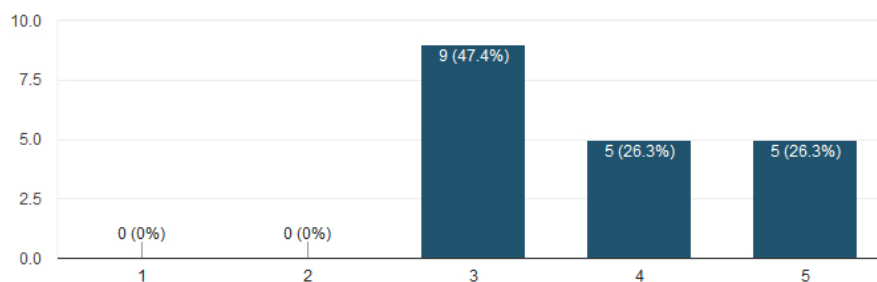
1. Collectively, how relevant were the topics to the theme of this training program?

19 responses



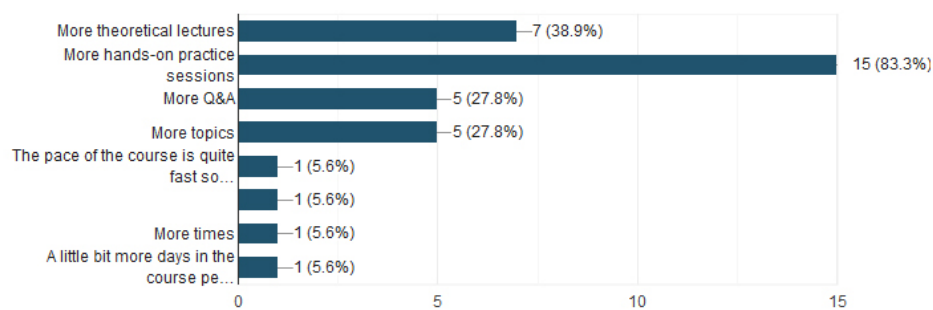
2. What was the level of the lectures?

19 responses



3. For future training programs, what is more important?

18 responses



4. Which lecture topics were most helpful for you?

19 responses

The downscaling process and the use of AIMS
Statistical Downscaling of GCM
Hans on R script
Bias correction
the downscaling using AIMS
using rQC
hands on AIMS
Quality control of observed data
Application of climate climate scenario data on water resources
Application of gridded data for unmeasured basins
theoretical lectures
Statistical Downscaling and hands-on exercises
DOWSCALING, SEASONAL FORECAST AND USE OF AMS
EDI, Quality control of data, AIMS
statistical downscaling, seasonal forecast, non-point source pollution
Using AIMS
The downscaling of GCM, the CC scenarios and application to sectors
statistical downscaling using MME within AIMS and the quality control data within R package
the quality control of data, how to downscale the GCMs using climate change scenarios, the application of drought analyses

5. Which topics would have been more helpful for the downscaling training program? Do you have any suggestions for future topics to be covered during the training program?

18 responses

The guidelines of AIMS
To include the SC Prediction hands on
seasonal forecast and climate projection
Bias correction
downscaling that link with economic and social research

More lecture about rQC

The AIMS and I would like hands on for seasonal forecast

Seasonal forecast downscaling will be more helpful.

More meaning of the result of each figs.

HOW TO ORDER THE DATA BASE A LITTLE METODOLOGY.

Downscaling of seasonal forecasts using weather generator or rSForecast

the AIMS model

Using AIMS

Bias correction practice / hands on of the GCM

Utilization of statistical downscaling in flood risk

the use of AIMS to downscale the GCMs data. it is a very user-oriented program that user can be used on each country. The improvement of AIMS with many application to impacts of climate change for sectors will be very valuable for users.

Maybe, the quality control of the database.

Calculation part

6. Comments on program contents

13 responses

Thank you very much

very good

Nice

No

he pace of the course is quite fast so please give us more time.

IT WAS REALLY MAGNIFICENT.

Nicely paced. It is not too rushed nor too slow. I got to learn at a nice speed which allowed for understanding of the concepts behind what was being done, and at the same time apply the learnings during hands-on exercises.

Need more time for hands – on practice sessions

The contents of the programs have been fulfill my expectation.

every contents were really helpful and encourage me to know more and deeply.

It is a very relevant topics with my objection to follow this training

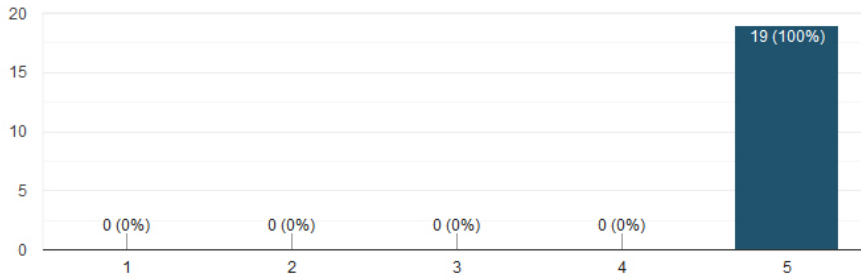
The program was ok, but for the importance of the topics i believe that the time was very short. The topics on the seasonal forecast were very general

All the contents are useful and really helpful to my work.

D. Program Environment

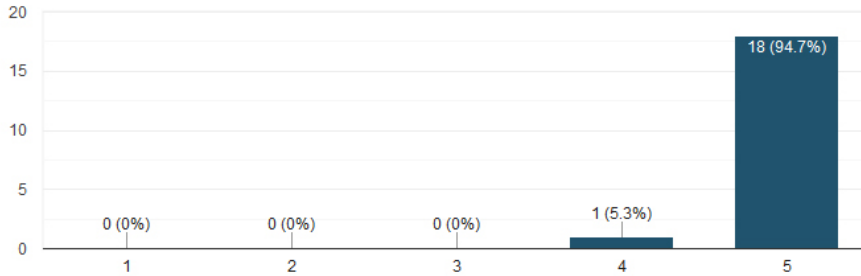
1. How satisfied were you with the classrooms and training equipment provided for the program?

19 responses



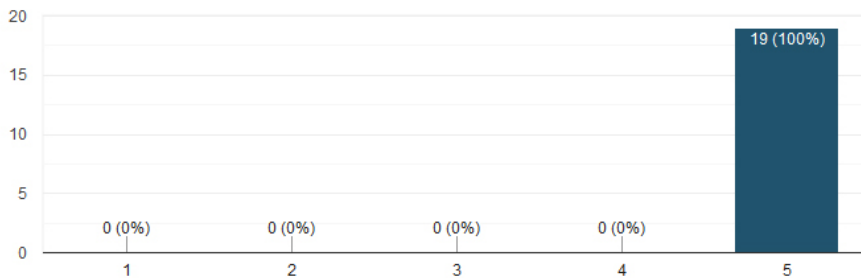
2. How satisfied were you with the accommodation facilities?

19 responses



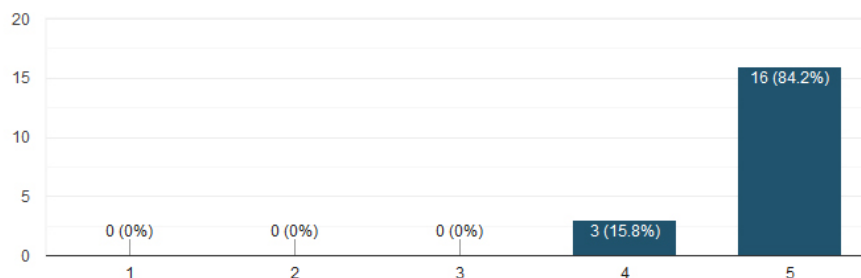
3. How supportive was the staff during the program?

19 responses



4. How satisfied were you with the food during the program?

19 responses



5. Comments on program environment (accommodation, food, laptops etc.)

14 responses

The training venue is conducive for learning

I very satisfied

excellent logistics, especially tedious visa application. Mr. Kang is very helpful and in time.

No.

Every thing is so good and kindness. Thanks for preparing so many for us.

Please save the paper by just sending us electronic version off evaluation form of each lesson.
Please save our earth by reducing one-used plastics of lunch boxes or water bottles.

ALL IT WAS GREAT, THANL YOU VERY MUCH TO APCC.

Mr. Daein Kang and Mr. Jioh Jung were very responsive, professional and accommodating. The laptops run fast. The D drive was very helpful. The lecture hall projects sound well. The food was tasty and diverse. It allowed us to taste different Korean foods even during lunch time. It was very nice that they tried their best to accommodate the different food preferences of the participants.

The accommodation is very good. The food is sometimes spicy.

The internet on my laptop is not bad, but some of my running session during working with AIMS took too long while others had been finished

Program environment was really great and excellent, I have a really pleasant hospitality from APCC.

I think I am very satisfied to the committee who organized this training very well. Accommodation and other things are very good. I also appreciate your attention about halal food as I requested. Thank you very much

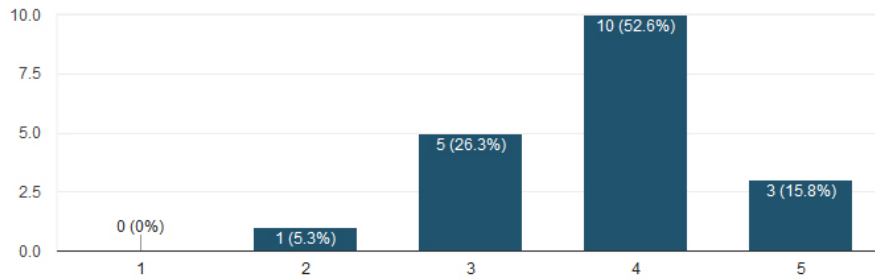
The food was very hot spicy in some moments

There is no air conditioner in hotel, even in winter but I still need it sometime.

E. Program Administrative Process

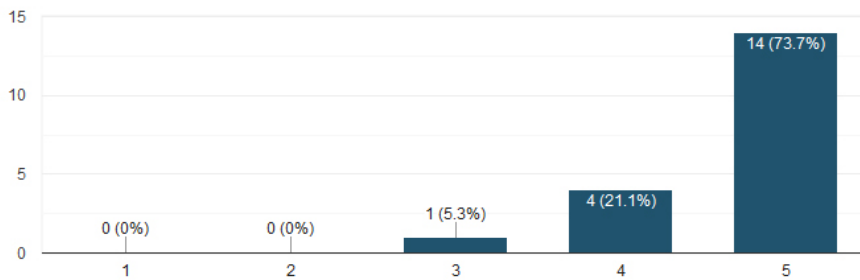
1. How easy was it to apply for the program?

19 responses



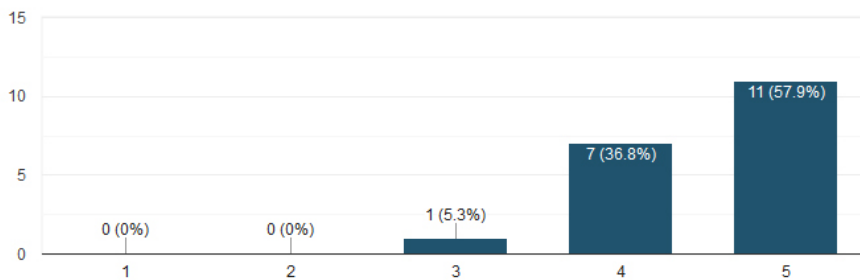
2. How helpful was the travel information provided before the training program?

19 responses



3. Did you find the lecture schedule conducive for learning? If you have alternate suggestions, please elaborate below

19 responses



4. Do you have any comments or suggestions regarding accommodation, food, travel preparations, and logistics? Was there any missing information that you would have liked to have prior to arriving?

11 responses

None

it's very good

No

Please send us the guidelines for preparing data and how to correct popular mistakes and we can save the time for fix errors when running AIMS and Rstudio.

EVERYTHING IT WAS INCREDIBLE, THANK YOU VERY MUCH APCC.

It might be nice to include the bus schedules in the information. Other than that, everything was well included and well prepared. There was little time allowed to process the visa. As I took this training on a personal basis, I could not leave the office to process my requirements, nor can I use any annual leave. I can only work on the requirements after office hours. It is good thing that Mr. Kang was very accommodating and made it easier by calling the embassy in the Philippines.

It have been managed very well. Thank you for your consideration to support us with halal food in our flight schedule and during the training despite it is not easy to find the halal food in Busan.

Lecture schedule were conducive, and there was not any missing information that I would like to have prior to arriving. everything was clear. Thank you Mr. Daein Kang, for helping me during the preparations.

All so nice, thanks.

Everything was fine

All of these parts are perfect.

5. Comments on program administrative process

13 responses

Thank you very much to the local organizing committee of APCC for this activity

very good

All the staff do it their work with passion

excellent

No

Thank you Dr.Cho, Mr.Kang, Jiho and for very welcoming supports.

EVERY THING ABOUT ADMINISTRATION ITS OKAY.

Well organized.

It's a little bit a rush for me since I've been confirmed to join in a small period of time before the training.

administrative process was good.

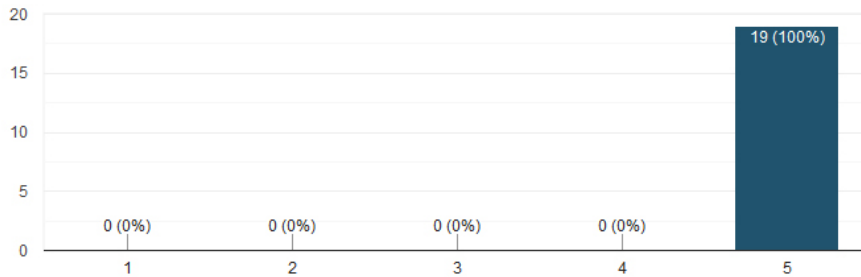
No comment. It is a good process. No problem with the administrative process

The program was ok

F. Overall Satisfaction

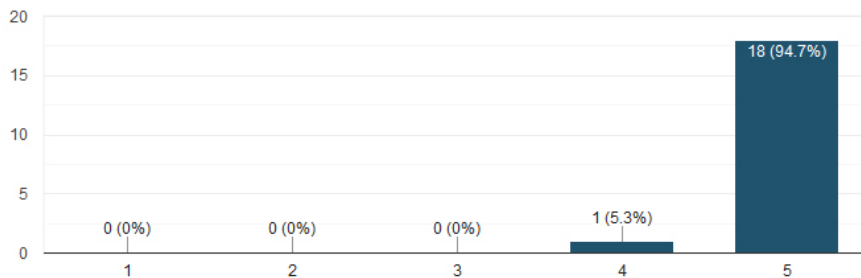
1. How likely are you to recommend the training program to your colleagues

19 responses



2. How satisfied were you with the program overall?

19 responses



3. What other themes or subjects would you like for APCC training programs other than statistical downscaling?

19 responses

dynamical downscaling

Seasonal forecast

Dynamical DS

application of downscaling to economic and social research

Need add information of GCM for Participant

Dynamical downscaling

No.

Seasonal Forecast.

How to apply climate change scenarios in separated selective issues (flood, drought or prediction, etc)

OSCILLATION MADEN-JULIAN, SEASONAL FORECASTING AND PREDICTIBILITY ABOUT TROPICAL CYCLONES OR TYPHON.

Application of Climate information to Agriculture

climate model

I like statistical downscaling training program than other

The El Nino/La Nina impacts in CC Projections

dynamical downscaling

its application for specific purpose or sector

Seasonal forecast, downscaling dynamic

Modeling

4. Are there comments or suggestions for improvement or requests regarding the program? Are there other comments on overall satisfaction?

14 responses

None

so far, I feel very satisfaction

Some theoretical parts might be difficult to understand. So more time should be dedicated to these sections.

One week is very short. Maybe a couple of additional days would be better.

After final selection of participant, if they are informed to learn/make sure of some prior skills like R programming would be great and enhance workability during hands-on-sessions. For me, I was not familiar with R programming at 1st so everything was so messed up. But after 2 days, I gain confidence. So i guess prior information will help to other participants too.

Very satisfied. ^^

MAYBE A LITTLE MORE TIME (1-2 DAYS FOR FIX THE DATABA BASE OF EVERY COUNTRY, FOR PASS THE NEXT LEVEL).

None.

About Seasonal Forecast, I hope you have more practice in the future.

We hope AIMS can be developed very well, so that we can fully use it to produce our information.

overall I was satisfied.

I am very satisfied to improve my knowledge about downscaling of climate change and its scenarios with APCC

I would like the support the APCC for some studies that i want to do.

NO

G. Future Collaboration with APCC

1. Would you be interested in receiving updates to the software used during the training program?

19 responses



2. What other areas from APCC's expertise can help your organization? What other areas can APCC cooperate with your organization?

16 responses

Climate Services

To support PAGASA in Prediction and Projection both statistical and dynamical

APCC provided more information about real time climate seasonal forecast with high resolution seasonal dynamical downscaling

Application of climate data in economic and social research. Trans boundary research cooperation would be great. Higher level of training toward research paper for PhD candidates would be interesting.

Oceanography

I am quite not sure about it for now.

SEASONAL FORECAST

Application of climate information to agriculture and water resources.

the homogenization of climate data

Training programs

We can collaborate on assessing vulnerability of CC in Indonesia maritime continent. And doing some future projections for agricultural sector relate to food security in Indonesia.

climate modeling

I think we have several need information of climate change scenario on future for impact-based

information for sectors like agriculture, health, evapotranspiration, soil moisture, etc. it also need to know more about the vulnerability assessment of climate change.

Hidrology, models for air pollution

Knowledge for software development for improve our climate forecasting.

3. Comments on future collaboration with APCC

15 responses

Looking forward for future collaboration with APCC and PAGASA relating to Climate Information.

I will write and publish paper with some researcher from APCC using AIMS Model

seasonal dynamical downscaling

It is a great opportunity to visit APCC, fantastic City of Busan, great and very helpful people in APCC, especially Dr. Cho, Mr. Kang. Thank you so much !!!

I hope APCC will develop

I hope hope to accomplish this work 1st and publish a research article. So I hope I will be looking forward to collaborate with APCC expertise.

It's a good opportunity for Taiwan to join the program. We hope for more chance on it.

I INTERESTED IN COLABORATE WITH APCC THROUGHT MEXICO'S GOVERMENT, I NEDD A MEETING WITH THE GENERAL DIRECTOR FOR ESTABLISH A DIRECTLY CONEXION (NATIONAL WEATHER SERVICE-APCC).

Dr. Cho and the lecturers gave their contact info so it is easier to contact them for any ideas or questions that I might have. I hope to have more collaboration with APCC in the future through my work in FAO, or through my own researches.

More training programs relative to weather, climate.

The collaboration can be make under the Deputy of Climatology of BMKG (Jakarta, Indonesia).

we can have collaboration in paper research, or for capacity building we can invite Dr. Cho and the other lecturer as trainer in my country Indonesia.

It need to know more about the vulnerability assessment of climate change in Indonesia. We need to share the climate change impact to people (farmers, community, students, fisherman, etc) and give them some knowledge to improve their awareness about the climate change. On future, the collaboration with APCC will be very useful for us to improving our climate services in Indonesia. Thank you.

I think use the learned and make studies with APCC for my country

I want to come to APCC again.

1.2 AIMS 사용자 매뉴얼

AIMS 프로그램은 여러 가지 모듈을 프로그램 내에서 한 번에 설정한 뒤 한 번 클릭만으로 돌릴 수도 있고, 각 섹션별로 나누어서 더욱 세세하게 수정해 가며 돌릴 수 있는 특징이 있다. AIMS 프로그램은 매뉴얼과 같이 순서대로 진행하면 계산이 가능하며, 본 매뉴얼에서는 각 섹션별 설명과 함께 마지막에는 간단하게 한 번의 클릭으로 전체 런이 가능하도록 설명하였다.

- AIMS 설치

AIMS 웹페이지(<https://aims.apcc21.org/>)로부터 최신 버전을 다운로드 받아 더블 클릭을 통해 프로그램을 설치할 수 있다. 특별한 설정의 변경 없이 설치를 진행하도록 한다.

- New Project

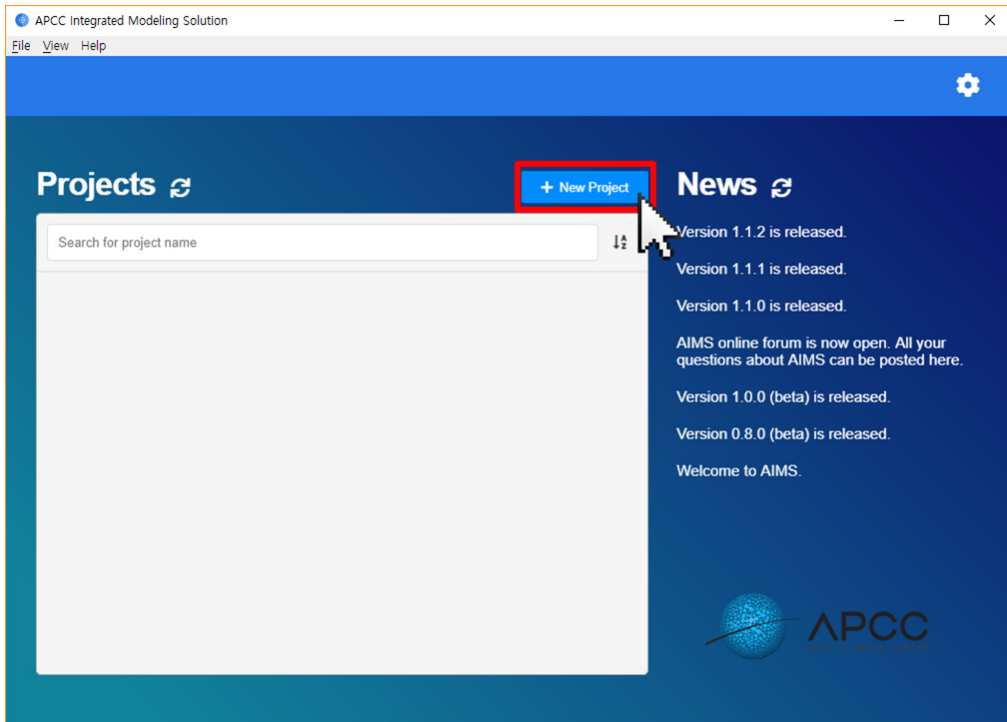


Figure 48. AIMS 첫 실행화면

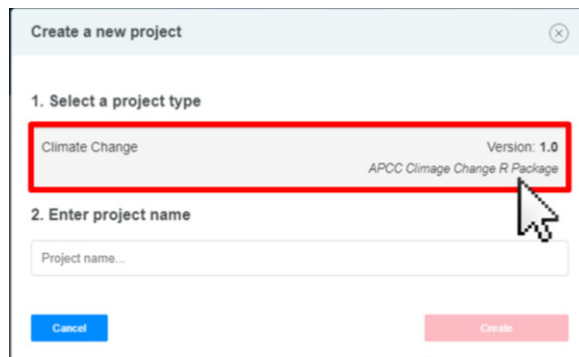


Figure 49. AIMS new project 생성 화면

AIMS의 첫 화면은 Fig. 48과 같이 나타난다. 새 프로젝트를 만들기 위해서 [+New Project]를 선택하면, Fig. 49 처럼 팝업창이 뜬다. “1. Select a project type”에서 현재 선택할 수 있는 옵션인 [Climate Change Version 1.0]을 선택하면, Fig. 50과 같이 project name이 날짜와 함께 자동으로 생성된다. 그리고 오른쪽 아래에 활성화 된 빨간색 [Create] 버튼을 눌러서 새 project를 생성한다.

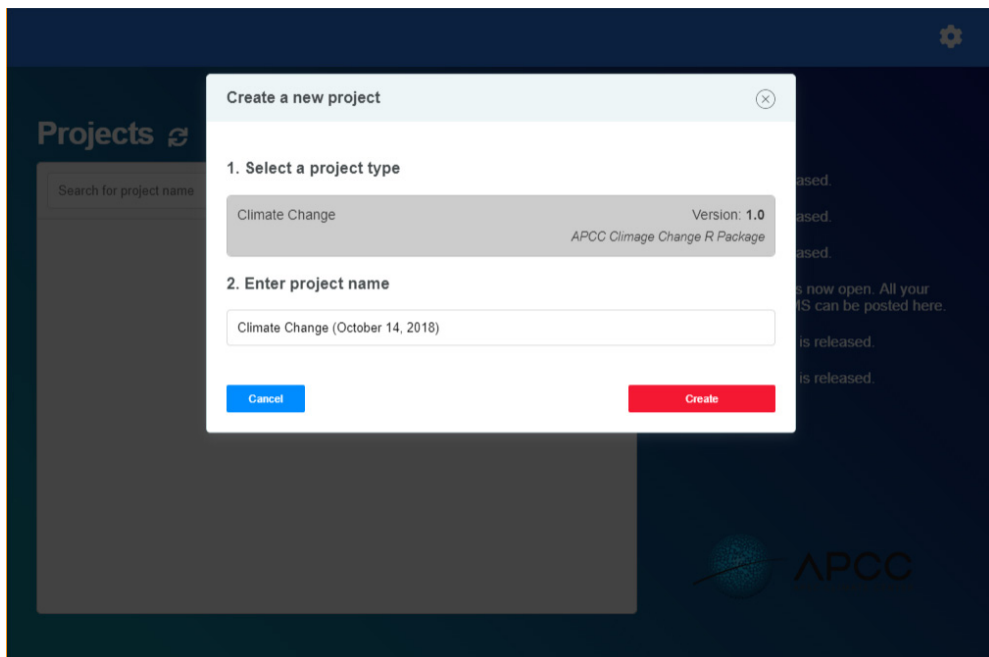


Figure 50. AIMS new project 이름 만들기

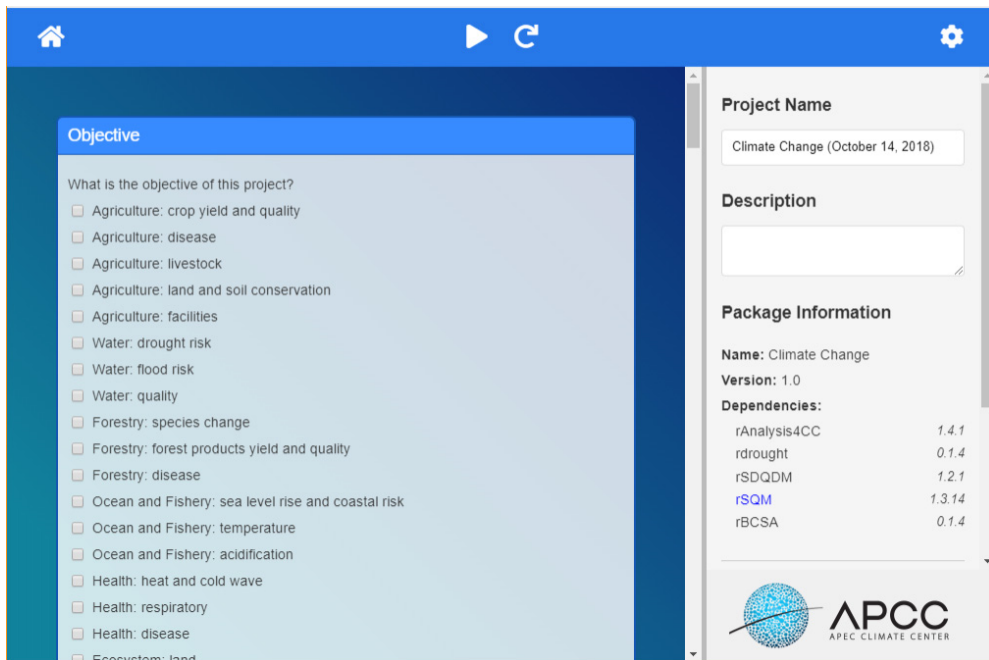


Figure 51. AIMS 구동 화면

다음 화면은 본격적인 AIMS의 project 구동 화면이다(Fig. 51). 오른쪽에는 프로젝트의 이름과 계산에 필요한 각 패키지의 버전을 간략하게 나타내고 있고, 주된 작업은 왼쪽 창에서 이루어진다. 가장 먼저 AIMS를 사용하게 된 목적을 “Objective”에서 선택 후 스크롤을 아래로 내려 다음 단계로 넘어간다. 위 단계를 간단하게 요약하면 아래와 같다.

- **간단 실행** : 첫 화면에서 [+New Project] 버튼 클릭 - project type으로 [Climate Change] 클릭 - [Create] 클릭

- Data Source

다음 섹션은 원하는 소스 지역의 모형 자료들을 불러오는 “Data Source” 섹션으로, 현재는 CMIP5 자료만 제공 중이며, 곧 CORDEX 자료도 추가로 제공 될 예정이다.

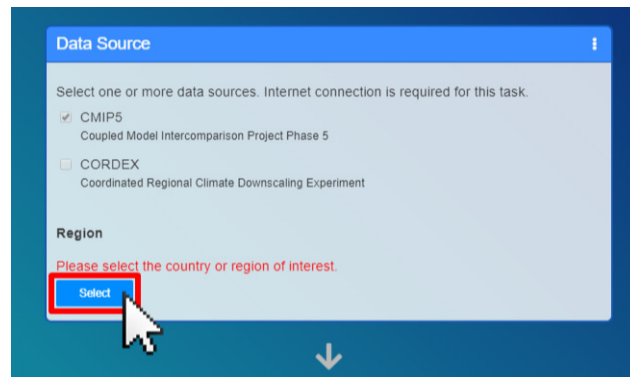


Figure 52. “Data source” 섹션의 지역 선정

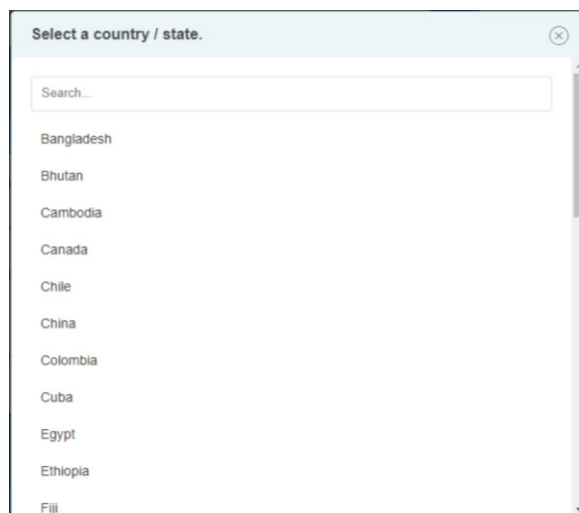


Figure 53. 선택 가능한 국가 리스트

Fig. 52에서 “Data source region” 선택을 위해 [Select] 버튼을 누르면 Fig. 53과 같이 원하는 국가 또는 주(USA, China에 대해 제공)를 선택하여 자료를 다운로드 받을 수 있다. Fig. 54에서는 Korea(Republic of) 지역을 소스 지역으로 선정하였다. 국가 이름을 선택하게 되면, Fig. 55과 같이 “Region” 아래에 선택한 지역 이름이 뜨는 것을 볼 수 있다.

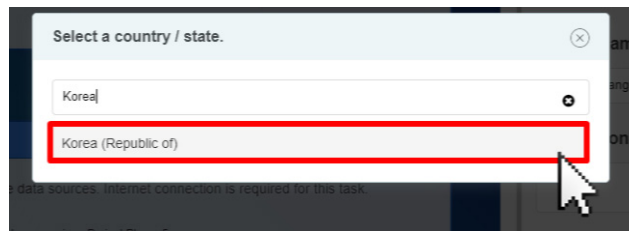


Figure 54. “Data source” 섹션의 지역 선정

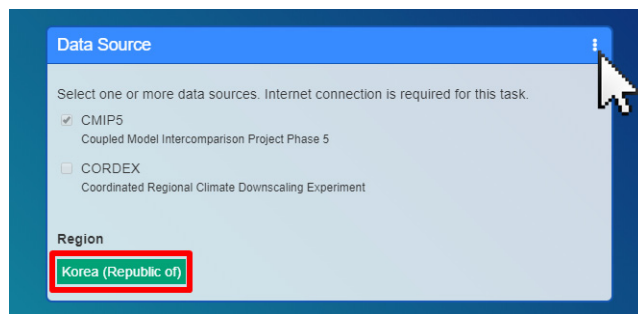


Figure 55. “Data source” 섹션의 지역

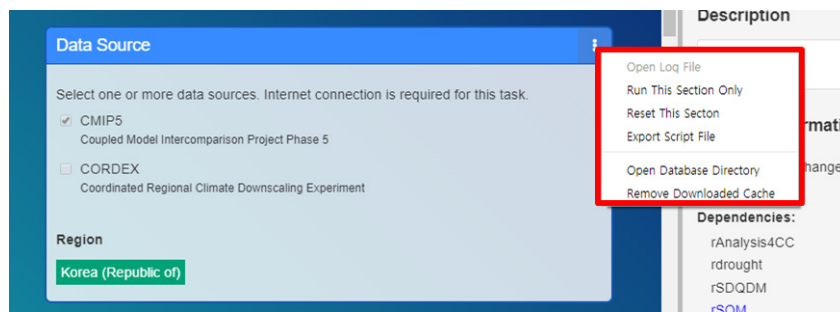


Figure 56. “Data source” 섹션의 지역 선정

섹션 창에서 오른쪽 위의 “:” 버튼을 누르면, Fig. 56에서와 같이 팝업메뉴가 나타나는데, “Run This Section Only”를 선택하면 이 섹션만 따로 돌릴 수 있다. 이 섹션이 완료되면 Fig. 56의 팝업 메뉴 중 “Open Database Directory”를 선택하여, 원하는 지역에 대해 다운로드 된 자료들을 확인해 볼 수 있다(Fig. 57).

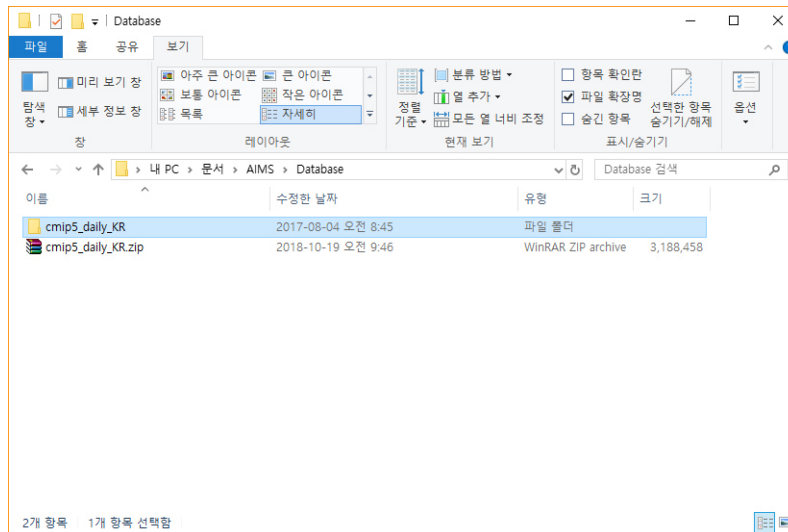


Figure 57. Database directory

● 간단 실행 : “Data Source” 섹션에서 [Select] 클릭 - 원하는 국가 클릭

- Local Data

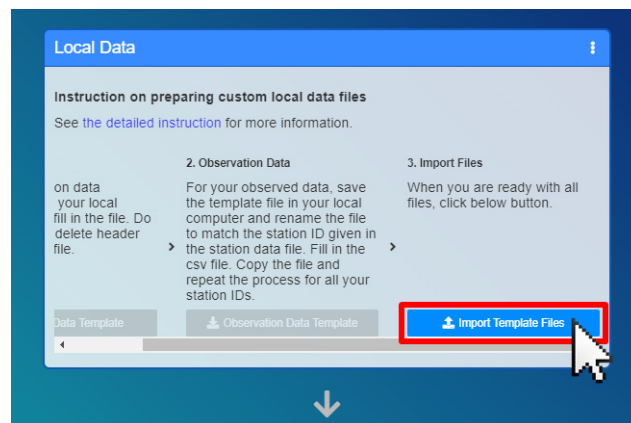


Figure 58. “Local data” 섹션에서 관측자료 upload

그 다음 섹션은 “Local Data” 섹션이다. Fig. 58에서 [1.Station Data]와 [2.Observation Data]에서 주는 sample 자료를 이용하여, 본인이 상세화하고자 하는 지점의 관측 자료

를 sample의 형식에 맞춘 후 자료를 upload 해야 한다. 여기서는 관측 자료의 sample로 제공되는 3개 지점(한국의 108, 133, 159지점)에 대해 상세화를 진행하고자 한다.

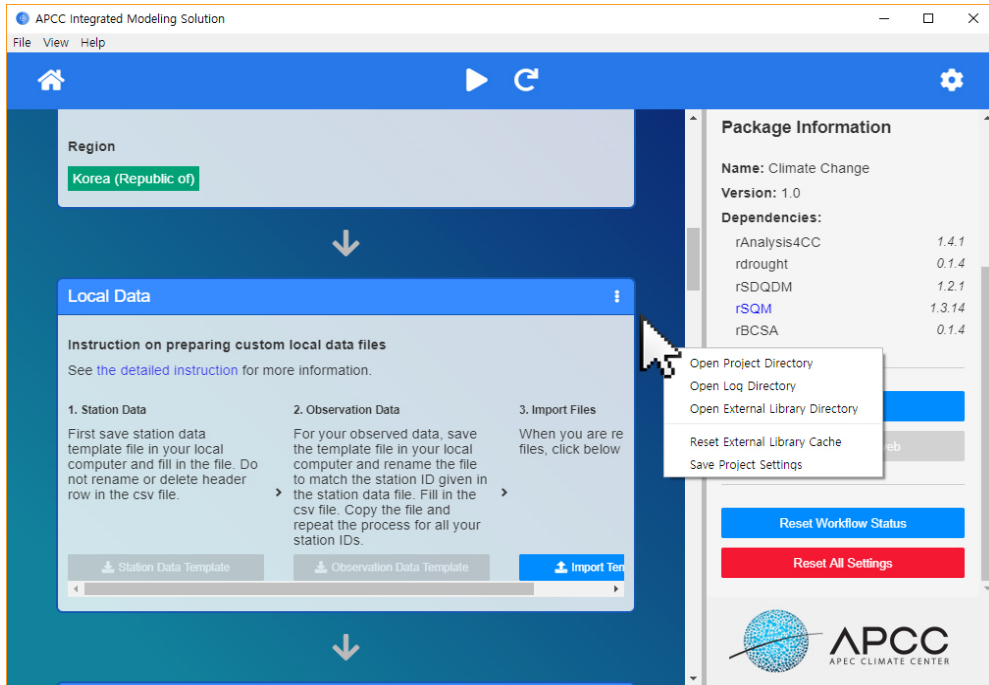


Figure 59. “Local data” 섹션에서 관측자료 upload

Fig. 59에서처럼 섹션 내부가 아닌 배경에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면, 팝업 메뉴창이 뜨는데, 여기서 “Open External Library Directory”로 들어갈 수 있다. 위의 sample 자료들은 배경에서 마우스 우클릭으로 진입한 External Library Directory 안의 R/rSQM/extdata에 저장되어있다.

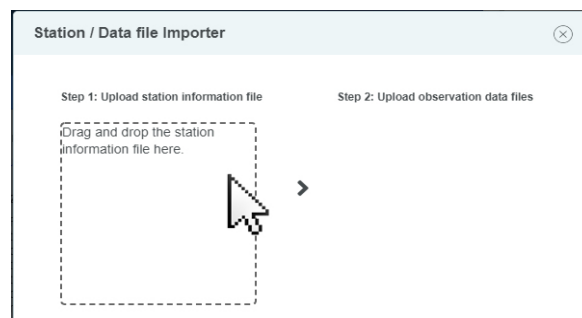


Figure 60. “Local data” 섹션에서 관측자료 upload

sample 자료를 토대로 포맷을 맞춘 관측 자료가 완성되었다면, Fig. 58와 같이 [Import Template Files] 버튼을 누른다. Fig. 60과 같은 팝업창이 뜨게 되는데, “Step 1: Upload station information file” 아래를 클릭하면, Fig. 61과 같이 팝업이 하나 더 뜨게 된다. 이 때, 이용한 sample 자료의 경로는 위에서 언급한 extdata 폴더이다. 먼저 station 정보가 있는, “Sample_3-Stations.csv” 파일을 Step1에서 선택한다.

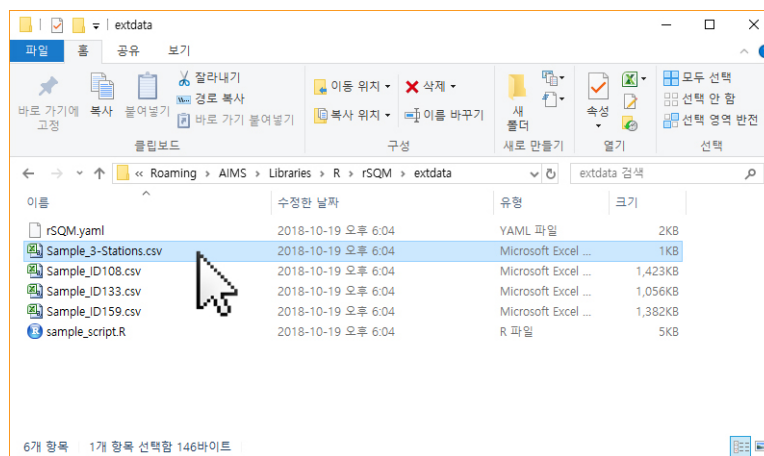


Figure 61. “Local data” 섹션에서 관측자료 upload

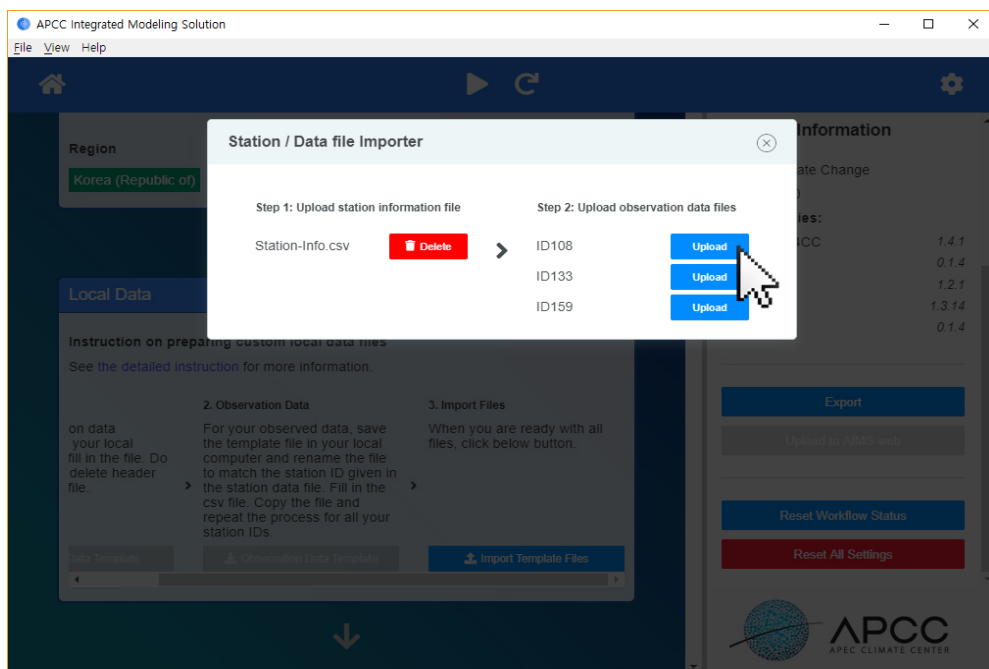


Figure 62. “Local data” 섹션에서 관측자료 upload

앞서 선택된 station 자료의 정보를 통해, “Step 2: upload observation data file”에 여러개의 지점 이름과 [Upload] 버튼이 활성화되었다(Fig. 62). [Upload] 버튼을 누르면, Fig. 63의 팝업창이 뜨게 되고, 각 지점별 샘플자료를 선택하여 upload하면 된다.

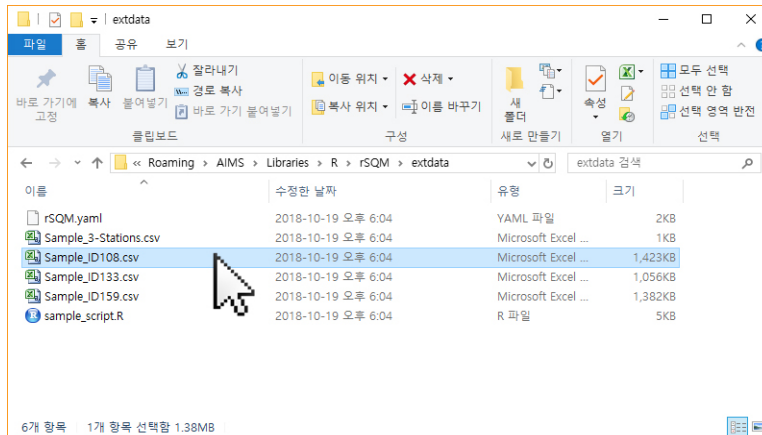


Figure 63. Import template files

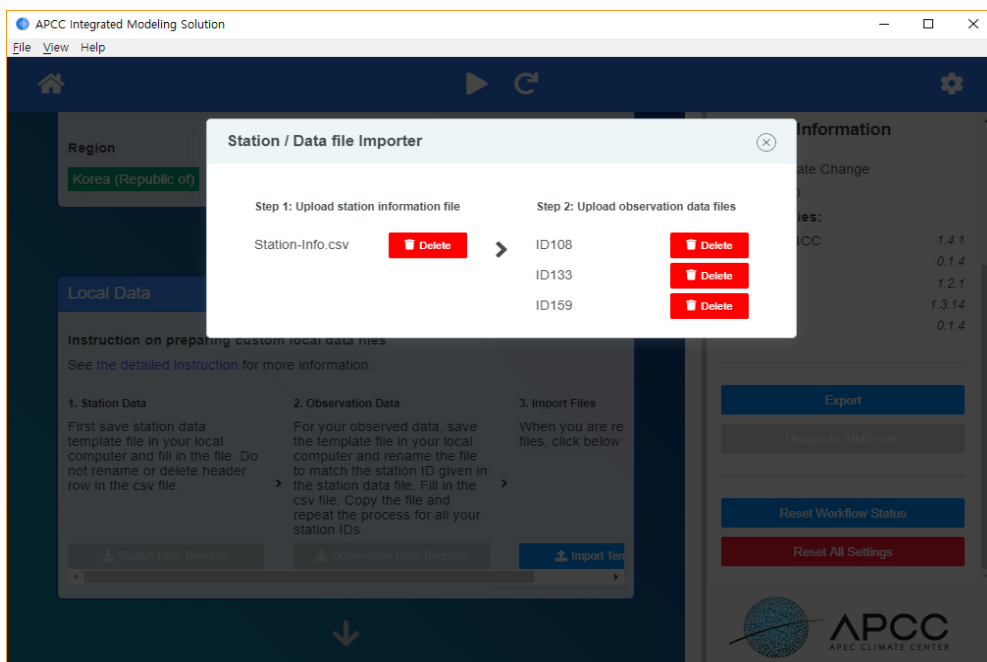


Figure 64. Import template files

관측 지점의 자료를 모두 업로드하면, Fig. 64과 같이 [Upload]가 아닌 [Delete] 버튼으로 바뀌어 활성화된다.

- 간단 실행 : “Local data” 섹션에서 [Import Template Files] 클릭 - station information 자료 업로드 - 각 station별 자료 업로드

- Evaluate Observed Data

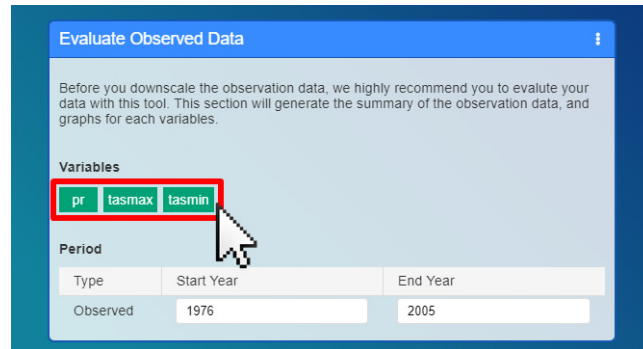


Figure 65. “Evaluate Observed Data” 섹션의 변수 옵션

관측 자료를 상세화하기 전에, 관측 자료에 대한 평가를 간단하게 할 수 있다. Fig. 65에서처럼 기본 변수는 “pr(강수량)”, “tasmax(최고기온)”, “tasmin(최저기온)” 총 3개의 변수로 설정이 되어있지만, 변수명을 클릭하면, Fig. 66과 같이 팝업창이 뜨고 총 6개의 변수(pr, tasmax, tasmin, sfcWind(지표 풍속), rhs(상대습도), rsds(일사량)) 중 원하는 변수를 선택 할 수 있다. 설정이 끝난 후 run을 하게 되면, Fig. 67처럼 안내메시지가 위에 뜨고, 에러 없이 정상적으로 run이 끝나면 Fig. 68에서처럼 “Done” 표시가 섹션의 오른쪽 상단에 뜬다.

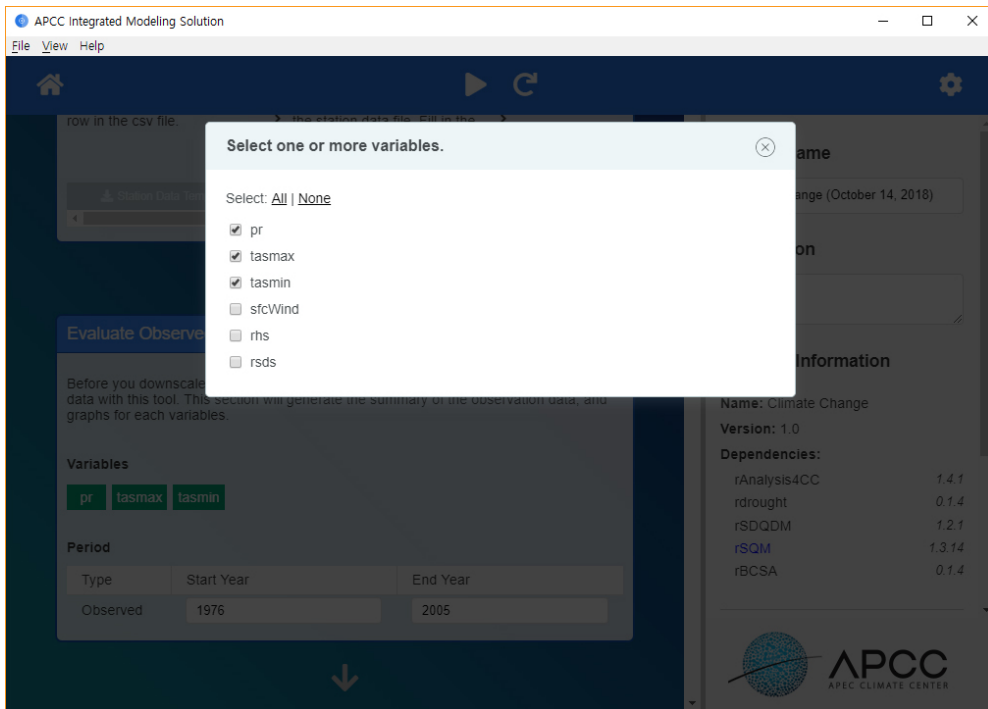


Figure 66. “Evaluate Observed Data” 섹션의 변수 옵션

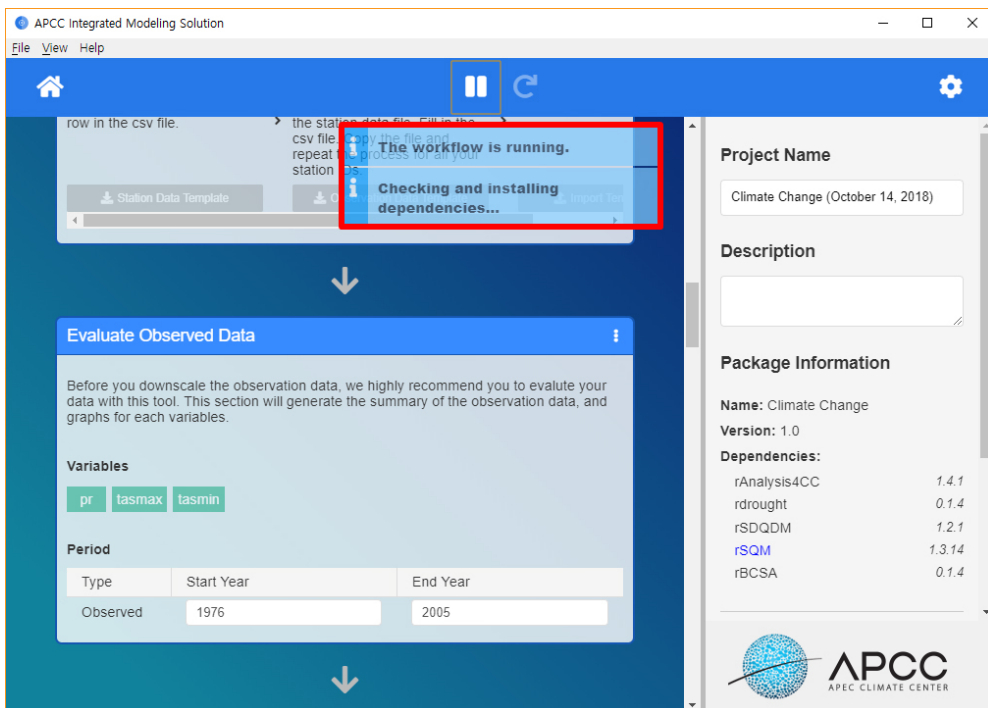


Figure 67. “Evaluate Observed Data”의 run

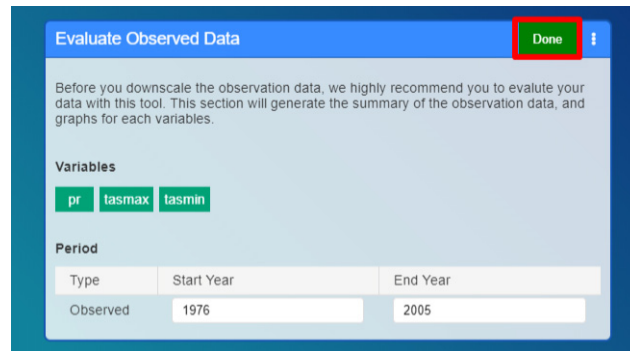


Figure 68. “Evaluate Observed Data”의 run

이 평가를 통하여 각 변수에 대해 월별 summary 값 및 그래프를 간략하게 살펴보고, 관측 자료의 월별 특징을 한 눈에 살펴볼 수 있다.

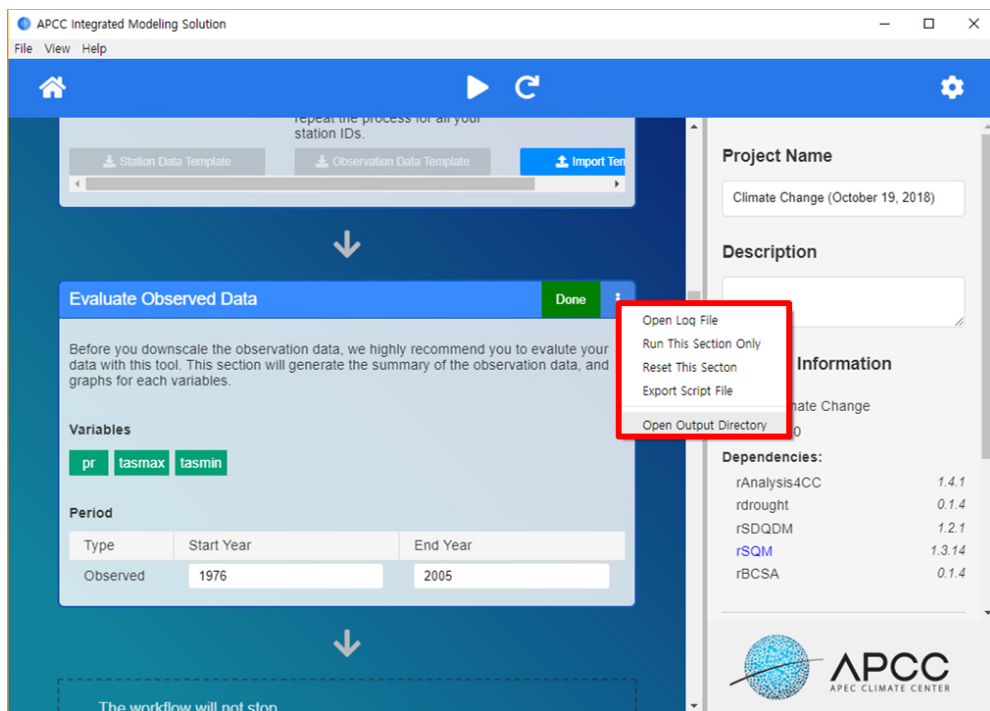


Figure 69. “Evaluate Observed Data” 섹션의 보조 팝업 메뉴

이렇게 이루어진 관측 자료의 평가 결과는 Fig. 69에서처럼 오른쪽 상단의 “:” 버튼을 눌러서 나타나는 팝업메뉴창의 “Open Output Directory”에 저장된다(Fig. 70).

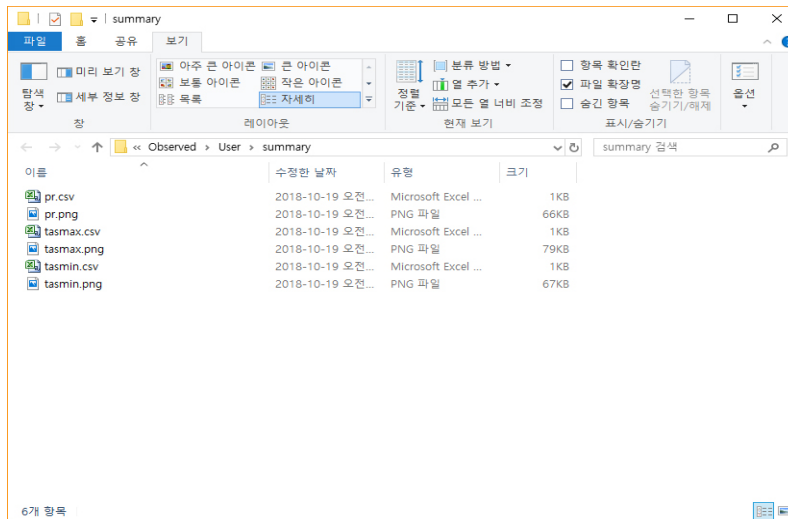


Figure 70. “Evaluate Observed Data” 섹션 run 후 결과 파일

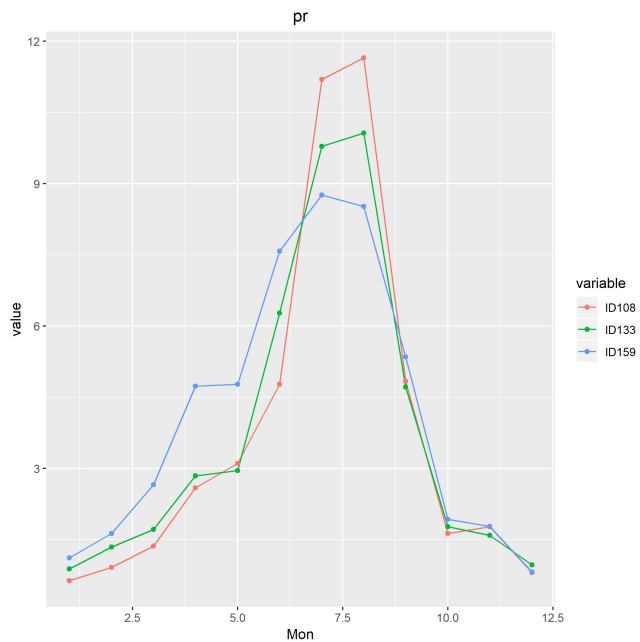


Figure 71. Evaluate Observed Data

이 결과로 얻게 된 그림은 각 지점별로 변수의 값이 어떻게 다르게 나타나는 지 보여준다. Fig. 71는 강수량에 대한 결과이다.

● **간단 실행** : “Evaluate Observed Data” 섹션에서 원하는 변수와 기간 선택

- Downscale

다음 섹션은 “Downscale” 섹션으로, 원하는 모형, 시나리오, 변수, 기간에 대해 다양한 기법을 사용하여 상세화 할 수 있는 섹션이다.

Figure 72. “Downscale” 섹션의 선택 옵션

Type	Start Year	End Year
Observed	1976	2005
Historical (GCM)	1976	2005
Future (GCM)	2010	2039
	2040	2069
	2070	2099

Downscale method
Please choose one or more downscale methods.

- ☒ SQM (Cho et al., 2016)
Simple Quantile Mapping
- ☐ SDQDM (Cannon et al., 2015; Eum & Cannon, 2017)
Spatial Disaggregation-Quantile Delta Mapping
- ☐ BCSA (Hwang & Graham, 2013; Hwang & Graham, 2014)
Bias-Correction and Stochastic Analog method

Figure 73. “Downscale” 섹션의 선택 옵션

Fig. 72와 73을 보면, 상세화를 실시할 때 다양한 옵션을 이용할 수 있다. 먼저, 첫 번째는 GCM names로, CMIP5에서 제공하는 많은 모형들 중 원하는 모형을 선택할 수 있다. 모형 이름을 클릭하면, Fig. 74과 같이 다양한 모형 이름 및 모형 생산 기관과 공간 해상도까지 알 수 있다.

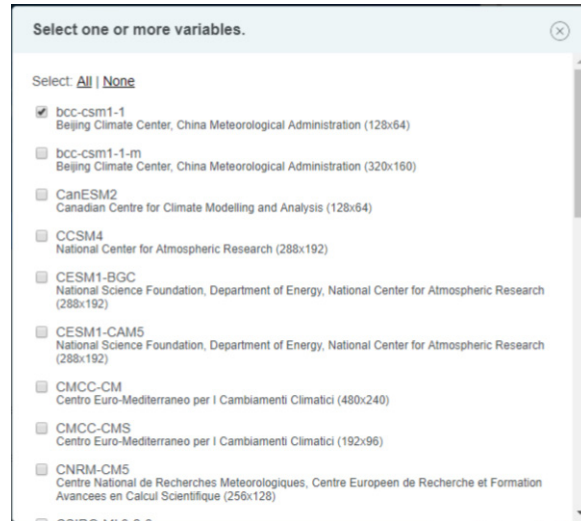


Figure 74. “Downscale” 섹션에서 모형 선택

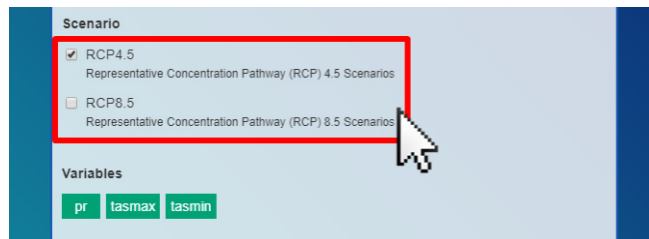


Figure 75. “Downscale” 섹션에서 시나리오 선택

모형을 선택했다면, 그 다음은 RCP 시나리오 중 4.5와 8.5를 선택할 수 있다(Fig. 75). 변수도 앞서 다른 섹션에서와 같이 총 6개의 변수 중 원하는 변수를 선택할 수 있다. Fig. 73에서와 같이 또한 관측, Historical 및 RCP 시나리오에 대해서 상세화 기간도 조절할 수 있고, 상세화 기법 중 SQM, SDQDM, BCSA 총 3가지 기법에 대해서도 원하는 기법을 선택하여 상세화를 실시할 수 있다.

- 간단 실행 : “Downscale” 섹션에서 원하는 모형 선택 - 시나리오 선택 - 변수 선택 - 기간 선택 - 상세화 기법 선택

- Raw GCM Analysis

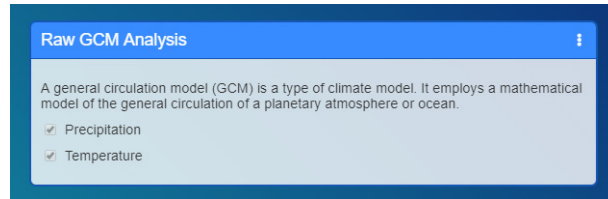


Figure 76. “Raw GCM Analysis” 섹션

이 섹션에서는 기본 변수로 기온과 강수가 이용되며, 특별한 선택 옵션이 없다.

- Climate Change Index Calculation

Fig. 77에서는 간단한 3가지 섹션을 한 눈에 볼 수 있다. 먼저 “Climate Change Index Calculation” 섹션에서는 원하는 모형만 선택해주면 된다. 섹션 창에서 오른쪽 위의 “:” 버튼을 누르면 뜨는 보조 팝업 메뉴의 “Open Output Directory”를 클릭하면, 프로젝트 폴더 안의 “ClimateIndex” 폴더가 있다. Fig. 78에서 이 아웃풋 폴더를 볼 수 있는데, 이 폴더에는 Raw, Historical, Future 총 3개의 폴더가 생성된다. Historical, Future 폴더에는 Fig. 79, Fig. 80과 같은 historical과 future 기간에 대한 각 지수별로 간단하게 그림으로 나타낸 요약이 각각 저장되어있다.

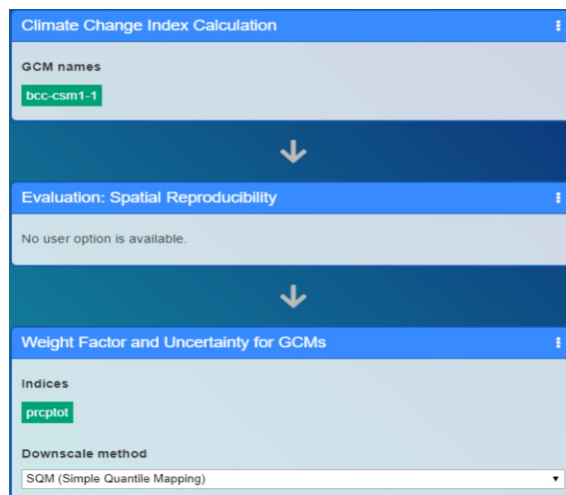


Figure 77. “Climate Change Index Calculation”, “Spatial Reproducibility”, “Weight Factor and Uncertainty for GCMs” 섹션

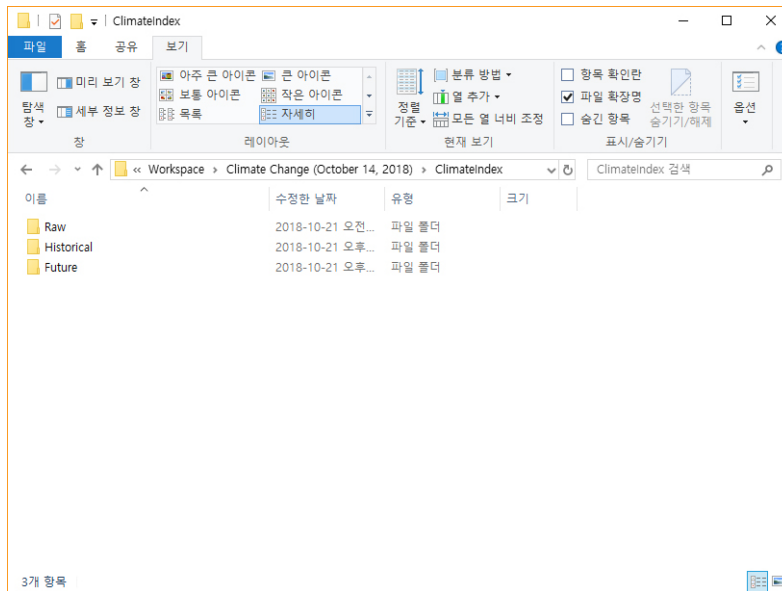


Figure 78. “Climate Change Index Calculation” 섹션의 아웃풋 폴더

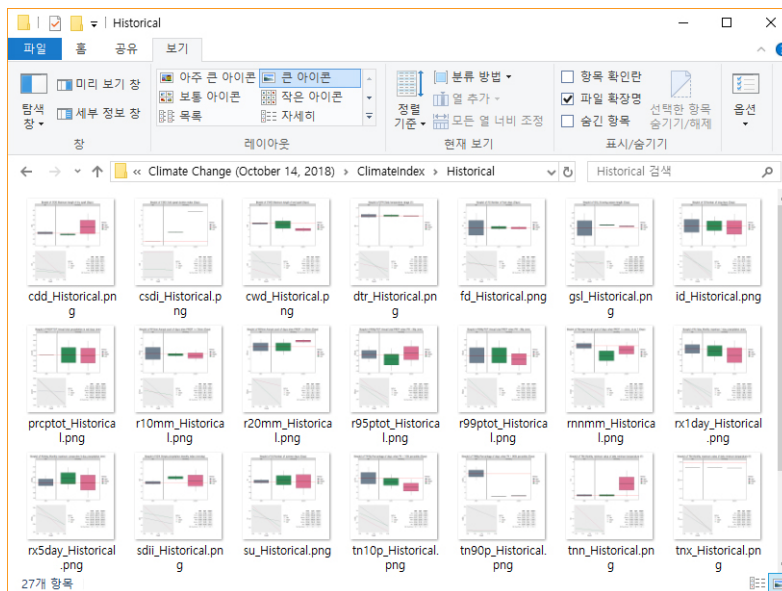


Figure 79. “Climate Change Index Calculation” 섹션의 Historical에 대한 지수별 요약

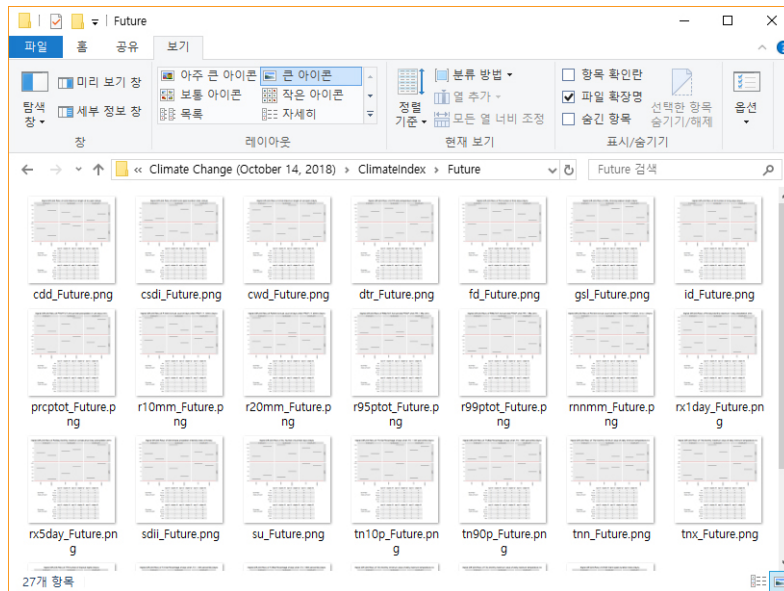


Figure 80. “Climate Change Index Calculation” 섹션의 Future에 대한 지수별 요약

● 간단 실행 : “Climate Change Index Calculation” 섹션에서 원하는 모형 선택

- Evaluation: Spatial Reproducibility

이 섹션에서는 Fig. 77에서 볼 수 있듯이 특별한 옵션이 필요하지 않고, 섹션 창에서 오른쪽 위의 “:” 버튼을 누르면 뜨는 보조 팝업 메뉴의 “Open Output Directory”를 클릭하면, 프로젝트 폴더 안의 “SpatialReproducibility” 폴더가 있다. 이 폴더 아래에는 Fig. 81에서와 같이 data, graph 총 2개의 폴더가 있는데, data 폴더 안에는 “Spatial Reproducibility”의 평가를 위해 계산된 distance와 gamma 값이 저장되어있고, 이를 이용하여 그린 그래프는 graph 폴더 안에 있다(Fig. 82).

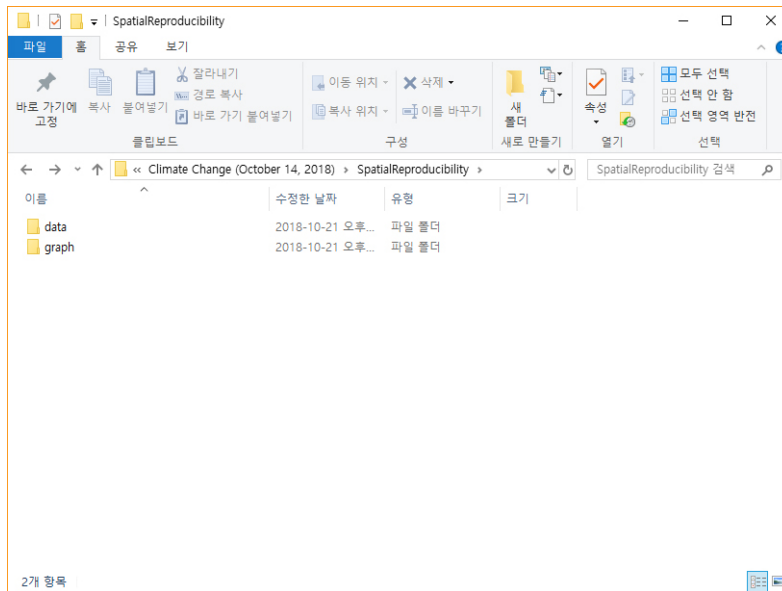


Figure 81. “Evaluation: Spatial Reproducibility” 섹션의 아웃풋 폴더

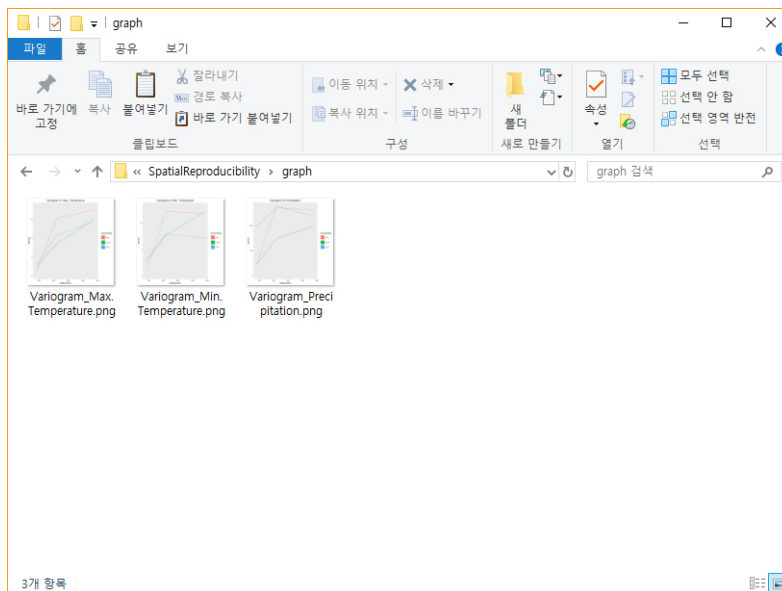


Figure 82. “Evaluation: Spatial Reproducibility” 섹션의 아웃풋 중 graph 폴더

- Weight Factor and Uncertainty for GCMs

이 섹션에서는 Fig. 77에서 볼 수 있듯이, 보고자하는 변수와 상세화 기법을 선택하여 결과를 볼 수 있다.

- 간단 실행 : “Weight Factor and Uncertainty for GCMs” 섹션에서 원하는 지수 선택 - 상세화 기법 선택

- Modeling: Drought Index

이 섹션에서는 Fig. 83에서 볼 수 있듯이, 모형 이름과 기간, 상세화 기법을 선택하여 가뭄 지수 모델링을 실시할 수 있다.

Type	Start Year	End Year
Calibration	1976	2005

Downscale method: SQM (Simple Quantile Mapping)

Figure 83. “Modeling: Drought Index” 섹션

- 간단 실행 : “Modeling: Drought Index” 섹션에서 원하는 모형 선택 - 기간 선택
 - 상세화 기법 선택

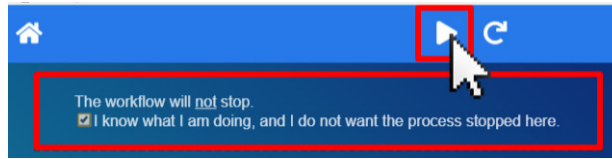


Figure 84. 간단 실행을 위한 옵션

각 섹션별로 상세히 살펴보았으나, 각 섹션별 마지막에 적혀있는 “간단 실행”을 따라 선택을 하고, 섹션 중간에 나오는 check box를 선택 후 AIMS 창 상단의 [▶] 버튼을 선택하면, 각 섹션별로 run할 필요없이 전체적인 run이 돌아가게 된다.

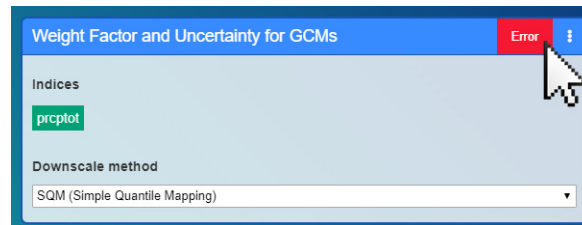


Figure 85. 섹션에 발생한 Error 클릭

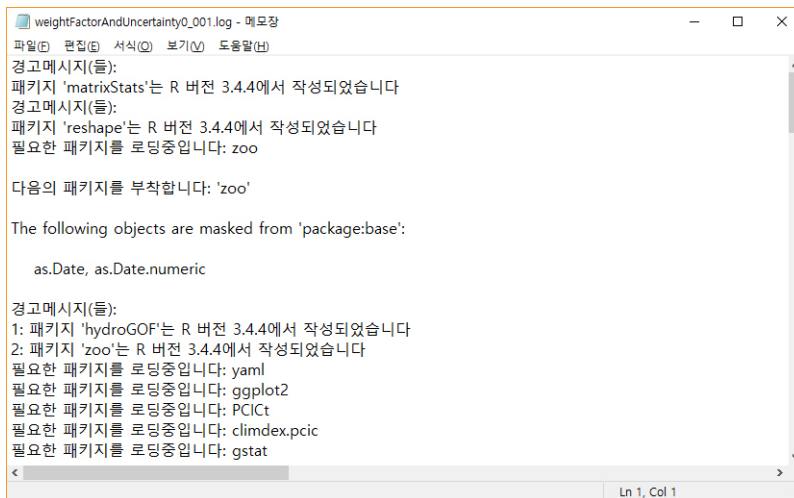


Figure 86. Error가 발생한 섹션의 log 파일

하지만 섹션에서 Fig. 85과 같이 Error가 발생한다면, [Error] 버튼을 클릭하여, 이 섹션과 관련한 log파일을 볼 수 있다.

【연구자】

조재필 선임연구원

송봉근 선임연구원

한정민 선임연구원

정유란 선임연구원

정임국 연구원

이은정 연구원

강대인 연구원

연구보고서 2018-13

APCC 계절예측 및 기후변화 시나리오 통계적 상세화 플랫폼 개발 II

I S B N 979-11-5698-245-6

발 행 2019년 3월

발 행 인 권 원 태

발 행 처 APEC기후센터
부산시 해운대구 센텀7로 12

제작·인쇄 경성문화사

이 보고서는 APEC기후센터 홈페이지(<http://www.apcc21.org/>)에서 이용하실 수 있습니다.
또한 보고서에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다. 단, 무단 전재 및
복제를 금합니다.