

APCC 계절예측 및 기후변화 시나리오 통계적 상세화 플랫폼 개발

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

조재필, 정임국, 조원일 응용사업팀

강대인 대외협력실, 이준혁 (주)노트스퀘어

발간사

국제사회는 갈수록 심해지고 있는 기후의 변동성과 관련하여 실제 발생하고 있는 기후변화 관련 자연재해들에 대한 적응(Adaptation)의 중요성을 강조하고 있습니다. 국가별 기후변화 적응 대책 수립은 과학적이어야 하며, 이를 위해서는 다양한 기후 전문 기관에서 생산 및 제공하고 있는 기후변화 시나리오 자료를 사용하는 것이 일반적입니다. 하지만 저해상도의 기후변화 시나리오 자료를 지역 규모의 응용분야에 활용하기 위해서는 시공간적인 상세화 과정이 필요하며, 비전문가 입장에서 기후정보를 올바르게 활용하기 위한 가이드라인 등도 필요합니다.

APEC 기후센터(APCC)에서는 2012년 이후 다양한 시간 규모의 기후정보를 농업 및 수자원 분야를 중심으로, 다양한 응용분야의 의사결정에 활용하기 위해서 기후-응용 융합연구를 수행하고 있습니다. 하지만 사용자 맞춤형 기후서비스 제공을 위해서는 연구결과를 기반으로 하는 서비스 개발과 개발된 서비스를 활용한 사용자 교육 등이 연계되어야 합니다.

따라서 본 과제를 통해 과학적 기후변화 적응 정책 수립에 필요한 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화 절차 및 관련 기법을 개발하고, 이를 바탕으로 전세계의 사용자들이 쉽게 활용할 수 있는 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS)를 개발하였으며, 이를 기반으로 국내 및 해외의 응용분야 전문가들을 대상으로 기후정보 생산 교육 프로그램을 실시한 점은 사용자 중심의 기후서비스 관점에서 의미 있는 일이라 생각합니다.

본 과제를 통해 제시된 결과는 기후 및 응용분야 연구자간의 연계성 차원에서

중요한 의미를 갖는다고 할 수 있습니다. 하지만 사용자 중심 기후 서비스의 최종 목적이 다양한 의사결정에 활용되는 것임을 고려할 때, 플랫폼을 통해 생산된 과학적인 결과를 실제 프로젝트에 적용하는 것과 이를 위한 정책 및 제도적인 지원 또한 중요합니다. 따라서 APCC는 본 연구 결과를 기반으로 향후 연구자-관리자-정책결정자 사이의 원활한 연계성을 고려하여 실제 사회에 도움이 될 수 있는 기후서비스의 개발 및 제공을 목표로 더욱 노력할 것입니다.

마지막으로 본 과제를 수행하기 위해서 크고 작은 수고를 아끼지 않은 조재필 박사를 포함한 정임국, 조원일, 이은정, 강대인 연구원과 AIMS 개발을 위해 수고해 주신 (주)노트 스퀘어 이준혁 대표에게도 감사의 말씀을 전합니다.

2018년 3월
APEC 기후센터
원장 정 홍 상

목 차

1. 서론	1
2. 상세화 플랫폼 개발	6
2.1. APCC Integrated Modeling Solution (AIMS)	6
2.2 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화	10
2.2.1 자료 다운로드	12
2.2.2 관측자료 평가	13
2.2.3 다중 방법 기반 기후변화 시나리오 상세화	13
2.2.4 원시 GCM 평가	15
2.2.5 극한 기후지수의 계산	16
2.2.6 극한 기후지수의 과거 재현성 평가	17
2.2.7 극한 기후지수의 미래 시그널 왜곡도 평가	18
2.2.8 공간 상관성 평가	18
2.2.9 GCM별 가중치 및 불확실성 범위 제공	19
3. 한반도 기후변화 시나리오 생산 분석 결과 예시	21
4. AIMS 활용 상세화 교육	25

4.1 APCC 1차 교육(아시아 태평양 개도국 대상)-----	25
4.2 APCC 2차 교육 프로그램 설문조사 결과 (국내 유관 기관 대상)-----	30
▮ 부록 1. AIMS Desktop Application User Manual ----	34
▮ 부록 2. AIMS Desktop Application Technical Design Document -----	56

LIST OF TABLES

Table 1. AIMS 개별 모듈의 독립성 및 확장성 고려를 위한 R기반 패키지-----	10
Table 2. ETCCDI Climate Indices <u>리스트</u> -----	16

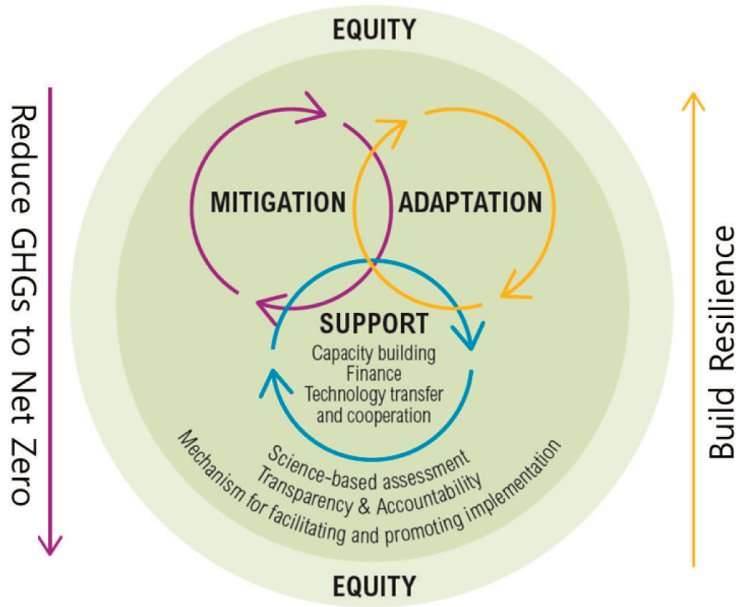
LIST OF FIGURES

Figure 1. (a) 기후변화 대응을 위한 접근방법 및 (b) 적응대책의 실효성 확보를 위한 분야별 융합의 필요성 -----	2
Figure 2. 기후정보 응용분야 활용을 위한 연구-서비스-교육 선순환 환류체계 -----	3
Figure 3. APCC 교육 프로그램 구성도 -----	5
Figure 4. 기후변화 시나리오 기반 분석 절차 모식도, 좌측은 ADSS를 통한 국가별 -----	6
Figure 5. 이음새 없는 기후정보 서비스 -----	7
Figure 6. AIMS의 모듈 별 독립성과 확장성 고려를 위한 개념도 -----	9
Figure 7. rSQM 패키지의 CRAN 등록 정보 -----	9
Figure 8. (a) 공급자 중심의 기후서비스와 (b) 사용자 중심의 기후서비스 비교 -----	11
Figure 9. 응용분야 기후변화 시나리오 적용을 위한 사용자 가이드라인 -----	12
Figure 10. QM 및 QDM 개념도 -----	14
Figure 11. 원시 GCM 평가를 위한 시간적 및 공간적 평가 예시 -----	15
Figure 12. 연강수량에 대한 과거 재현성 평가 예시 -----	17
Figure 13. 상세화 방법에 따른 시그널 왜곡도 비교 예시 -----	18
Figure 14. 상세화 방법에 따른 variogram 예시 결과 -----	19
Figure 15. GCM별 가중치 결정을 위한 주요 인자 및 개념도 -----	20
Figure 16. 한반도 29개 원시 GCM의 평가 결과 -----	22
Figure 17. 한반도 연강수량(PRCPTOT)의 상세화 방법별 과거 재현성 정도 -----	22
Figure 18. 한반도 상세화 방법별 미래 시그널 왜곡도 평가 결과 -----	23
Figure 19. 한반도 상세화 방법별 강수에 대한 공간상관성 평가 결과 -----	23

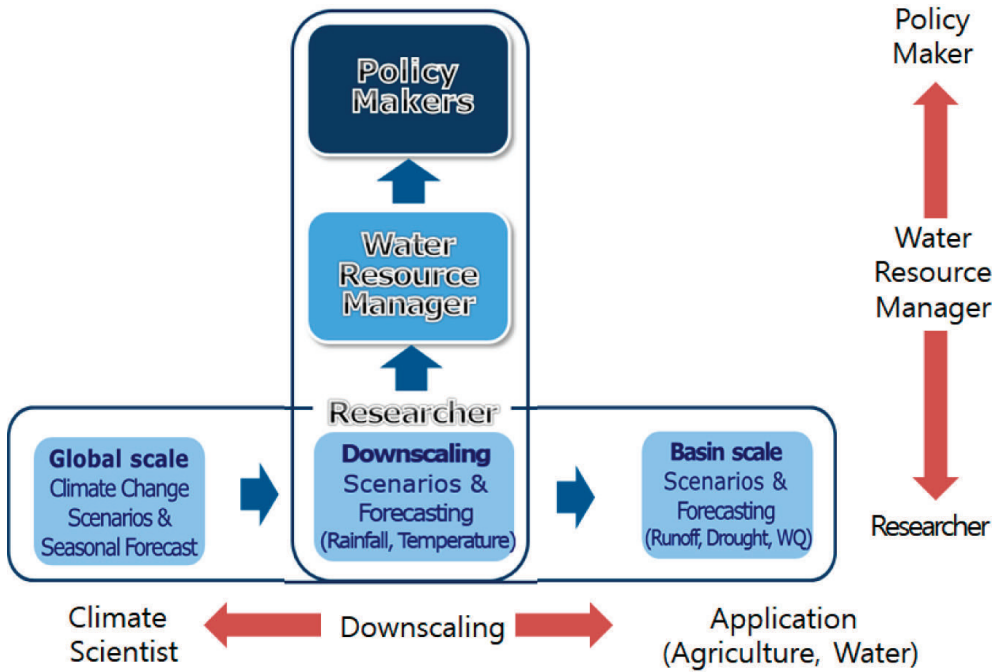
Figure 20. SQM 상세화 방법에 의한 GCM 개수의 증가에 따른 불확실성 설명력 평가 결과(Overall) -----	24
Figure 21. SQM 상세화 방법에 의한 연강수량(prcptot)의 RCP4.5 시나리오에 대한 GCM별 가중치를 고려한 미래 변동 전망 결과-----	24
Figure 22. 참가자 분야-----	25
Figure 23. 참가자 경력-----	25
Figure 24. 개인 역량 강화(4.5/5.0) -----	26
Figure 25. 교육 전 통계적 상세화 이해도(2.3/5.0)-----	26
Figure 26. 교육 후 통계적 상세화 이해도(4.1/5.0)-----	26
Figure 27. 교육 숙달(4.0/5.0)-----	27
Figure 28. 향후 연구 유용성(4.6/5.0)-----	27
Figure 29. 업무 활용도(4.6/5.0)-----	27
Figure 30. 기관 활용도(4.4/5.0)-----	28
Figure 31. 정책 활용도(4.4/5.0)-----	28
Figure 32. 기후변화 상세화 시나리오 및 계절예측의 업무 연관성-----	28
Figure 33. 참가분야-----	30
Figure 34. 참가자 경력-----	30
Figure 35. 개인 역량 강화(4.3/5.0) -----	30
Figure 36. 교육 전 이해(2.9/5.0)-----	31
Figure 37. 교육 후 이해(4.0/5.0)-----	31
Figure 38. 교육 숙달(3.5/5.0)-----	31
Figure 39. 향후 연구 유용성(4.2/5.0)-----	32
Figure 40. 업무 활용도(4.2/5.0)-----	32
Figure 41. 기관 활용도(4.0/5.0)-----	32
Figure 42. 기후변화 상세화 시나리오 및 계절예측의 업무 연관성-----	33

1. 서론

기후변화와 관련하여 국제사회는 파리 협정을 통해 Figure 1a에서와 같이 지구온난화의 주범인 온실가스 완화(Mitigation)을 위한 접근 방식에 더하여 실제 발생하고 있는 기후변화 관련 자연재해들에 대해 적응(Adaptation)의 중요성이 강조되고 있다. 완화와 적응을 위한 접근방법은 과학적인 평가를 통해서 수행이 되어야 하고 지역역량강화 또한 지원측면에서 고려되어야 한다. APEC 기후센터에서 주로 수행해 오던 기후변화에 대한 적응정책 수립의 과학적인 평가를 통한 지원을 위해서는 Figure 1b에서와 같이 기후분야에서 생산되는 기후변화 시나리오 자료를 사용하게 된다. 하지만 저해상도의 기후변화 시나리오 자료를 응용분야에 사용하기 위해서는 시공간적인 상세화 과정이 필요하며 기후정보를 응용분야에 올바르게 활용하기 위한 융합연구가 필요하다. 이와 같은 연구자 레벨에서의 융합을 통해 도출된 과학적인 정보가 실제 프로젝트 매니저나 의사결정자들에 활용되기 위해서는 정보의 수요자의 레벨에 맞는 교육과 의사결정 지원을 위한 프레임워크가 필요하다. 이와 같이 연구자 레벨에서의 수평적인 연계와 연구자, 매니저, 정책결정자 사이의 수직적인 연계가 원활히 이뤄질 때 실제 의미 있는 기후변화 적응 대책들이 적용이 될 수 있다.



(a)



(b)

Figure 1. (a) 기후변화 대응을 위한 접근방법 및 (b) 적응대책의 실효성 확보를 위한 분야별 융합의 필요성

Figure 2는 APCC에서 기후정보의 활용을 위해 집중하고 있는 연구, 서비스, 교육의 3개 중점 분야와 선순환적인 환류를 통한 발전의지를 보여주고 있으며, 기후서비스의 내용으로 기후자료, 분석 툴, 사용자 가이드라인의 예를 보여주고 있다.

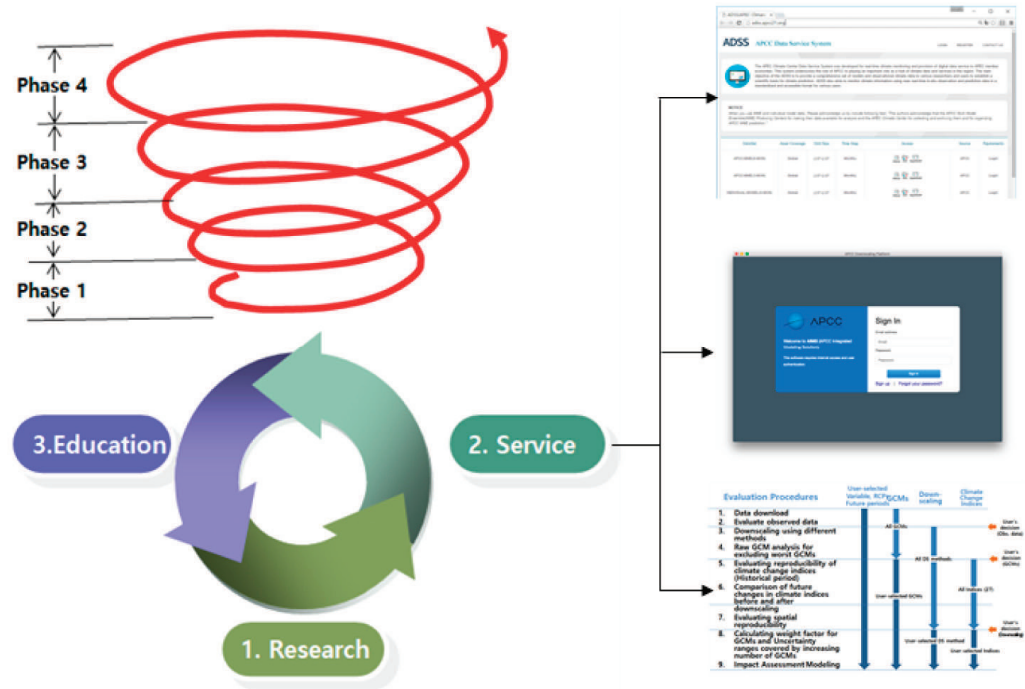


Figure 2. 기후정보 응용분야 활용을 위한 연구-서비스-교육 선순환 환류체계

연구자 레벨에서 언급된 기후-응용분야 융합 관점에서 중요한 상세화(downscaling)을 살펴보면, 기후자료의 경우 매월 제공 받는 개별 모형의 계절예측 자료 및 APCC MME 자료를 ADSS를 통해 제공하고 있으며 CMIP5 기후변화 시나리오 자료의 경우 통계적 상세화 트레이닝 프로그램 참가국을 중심으로 현재 22개국에 대한 국가별 자료를 ADSS를 통해 제공하고 있다. 이러한 APCC 계절예측 정보와 기후변화 시나리오는 수자원 및 농업분야에 수요가 높으나 시공간적 규모 차이, 다양한 자료 포맷 등으로 인해 활용성이 기대에 미치지 못한 것이 사실이다. 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.

APCC에서는 전지구 규모로 제공되는 계절예측 및 기후변화 시나리오 자료를 응용분야에서의 활용성을 높이기 위해 통계적 상세화 모형을 개별적으로 개발하여 수자원 및 농업분야에 산발적으로 적용해 왔다. 그러나 개발된 상세화 모형은 각기 다른 컴퓨터언어로 개발되어 다양한 사용자가 활용하기에 불편할 뿐만 아니라 컴퓨터언어에 대한 전문지식이 부족할 경우 새로운 데이터에 적용하는 것이 매우 까다롭다. 또한 APCC에서 매일 수집하고 있는 계절예측 모형이 변경될 경우 기존에 사용하던 상세화 모델링 환경을 사용자 스스로 수정해야 하지만 개발자이거나 전문가가 아니라면 사실상 불가능하다. 기후변화 시나리오의 경우에도 전지구모형 개선 및 개발에 따라 증가된 시나리오 개수와 개선된 해상도로 갱신되어 주기적으로 제공된다. 따라서 이러한 기후모형 자료가 개선되고 갱신될 때 이를 반영할 수 있는 지속 가능한 통계적 상세화 플랫폼이 필요하다. 국토부에서 수행하고 있는 “기후변화 대비 수자원 적응기술 개발” 사업단에서도 국가수자원관리종합정보시스템을 통해 기후변화 시나리오에 대한 정보를 제공할 계획을 가지고 있으나 사용자와 정보를 상호 교환할 수 있는 형태가 아닌 정보를 제공만 하는 일방향 정보 서비스를 하고 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 AIMS 플랫폼은 다양한 응용분야에 이용하고자 하는 사용자 요구가 반영된 시·공간적 상세화 자료를 보다 간편하게 생성할 수 있으며 APCC에서 제공하는 기후자료의 활용성을 극대화할 것으로 기대된다. 또한 개발된 플랫폼을 통해 다양한 분야의 국제적 선도그룹과 협력관계를 구축하여 공식적인 기후정보서비스가 가능토록 하여 응용사업본부 해외사업에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 사업을 통한 성과는 APCC에서 역량강화 지원 관점에서 중요하게 고려하는 Figure 3의 다양한 레벨의 교육 프로그램 중에서 연구자 레벨의 교육 중에서 단기(1주) 프로그램에 속하는 Downscaling Training Program에 활용함으로써 활용 가능성을 평가하였다.

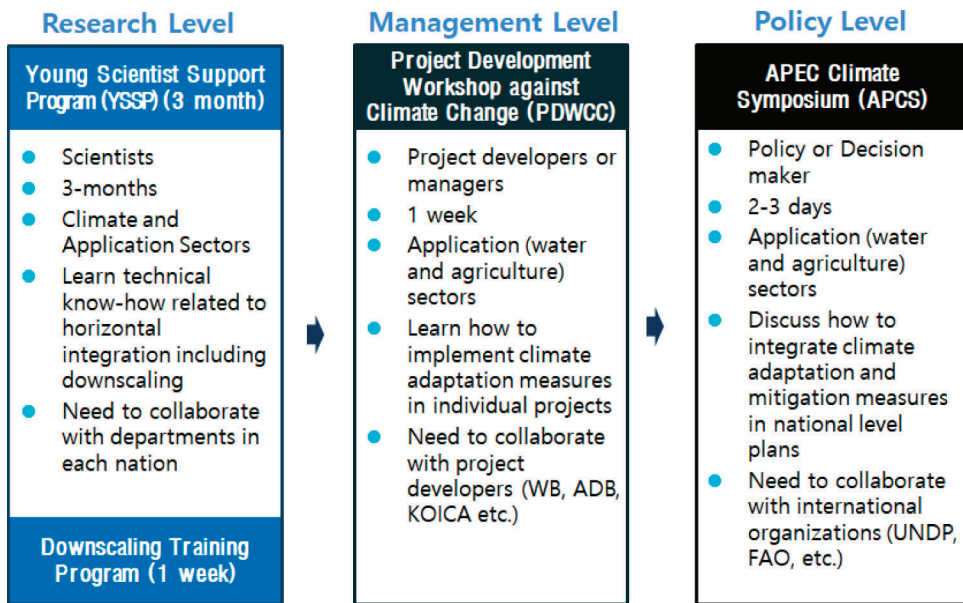


Figure 3. APCC 교육 프로그램 구성도

따라서 본 사업은 APCC에서 제공하는 기후자료의 응용분야 활용을 극대화하고 사용자 중심의 기후서비스를 제공하기 위한 플랫폼의 일부(1단계)로서 사용자의 컴퓨터에 설치하여 활용할 수 있는 기후정보 기반의 응용분야 활용을 위한 모델링 플랫폼 개발을 목적으로 한다.

2. 상세화 플랫폼 개발

2.1. APCC Integrated Modeling Solution (AIMS)

기후변화 시나리오 자료를 기반으로 하는 영향 및 취약성 평가, 적응대책 수립은 Figure 4에서와 같이 기후변화 시나리오 자료의 상세화(좌측), 상세 시나리오 자료를 이용한 분야별 분석 및 영향평가(중앙), 다양한 기후, 민감도, 대응능력 등을 고려한 취약성 평가(우측)를 포함한다. 기후정보를 상세화하는 목적이 분야별 추가 분석을 통해 최종적인 의사결정에 활용할 수 있는 정보를 생산하는 것임을 고려할 때, 상세화 플랫폼이 아닌 분야별 대표적인 모델링과의 연계성이 고려된 플랫폼 개발이 필요하다.

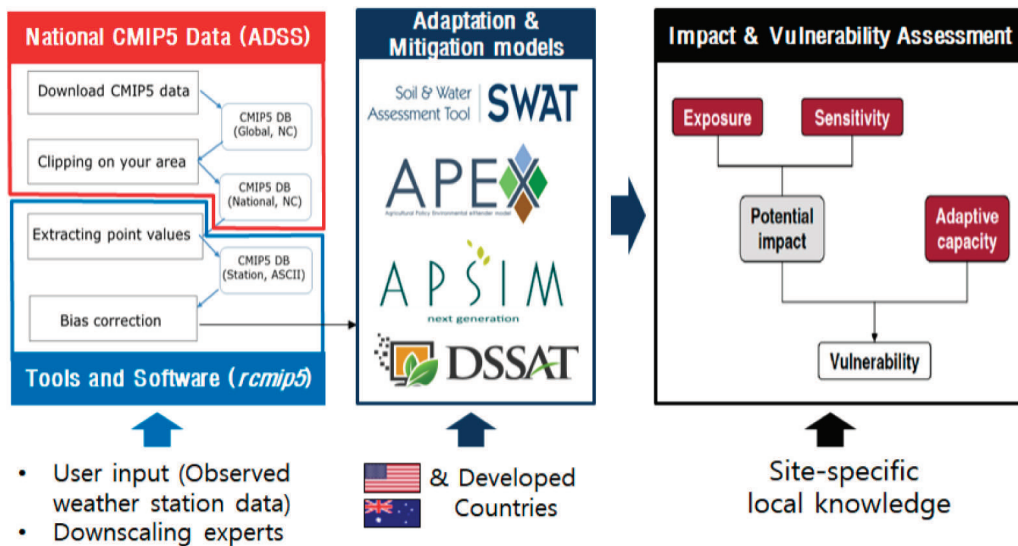


Figure 4. 기후변화 시나리오 기반 분석 절차 모식도

Figure 4의 좌측은 앞서 언급한 기후자료, 분석툴, 사용자 가이드라인 등을 포함하는 기후서비스 관점에서 기후변화에 국한된 모식도를 보여주고 있다. 하지만 가용한 기후정보에는 기후변화 시나리오 자료 외에도 Figure 5와 같이 현재 시점에서 향후 1주에서 1개월에 해당하는 기간을 예측하는 계절내 예측자료(Subseasonal to Seasonal, S2S forecast)와, APEC 기후센터(APCC)에서 2005년 설립 이후 지속적으로 제공하고 있는

향후 6개월에 대한 계절예측(Seasonal forecast)가 사용자 입장에서는 재난/재해 관점의 위험관리를 위해 존재한다.

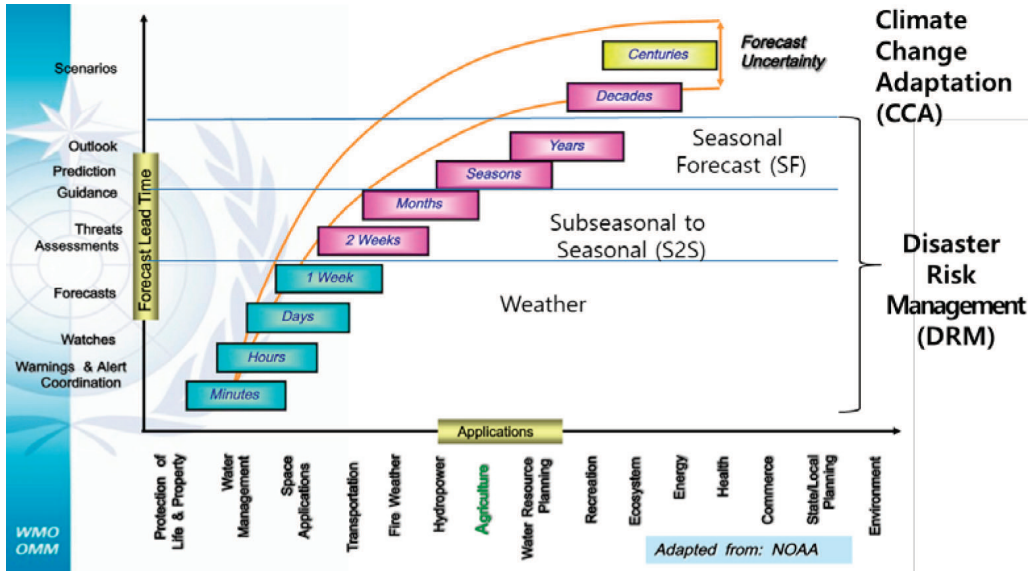


Figure 5. 이음새 없는 기후정보 서비스

따라서, 본 사업을 통해 개발된 APCC Integrated Modeling Solution(AIMS) 플랫폼은 다양한 기후정보를 기반으로 하여 사용자 관점에서 상세화를 수행할 수 있고, 상세화된 자료를 다양한 분야의 모델링에 쉽게 적용함으로써 최종적인 의사결정에 활용될 수 있는 정보 생산을 목적으로 설계되었다.

또한 AIMS는 플랫폼 관점에서 설계되었다. 기후서비스 관점의 플랫폼은 다양한 기후정보의 공급자와 사용자가 쌍방향으로 정보를 공유할 수 있는 장을 의미한다. 이는 대부분 생산되는 기후정보는 전지구기후모형(Global Climate Model, GCM) 또는 지역기후모형(Regional Climate Model, RCM)에 의해 생산되기 때문에 응용분야 사용자들이 관심을 갖게 되는 공간규모(국가 규모, 국가 내 유역규모, 또는 필지구모)와 많은 차이를 보인다. 또한 기후자료는 최첨단 모델링 기술을 기반으로 슈퍼컴퓨터의 이용 등을 요구하기 때문에 선진국 중심의 소수 생산자에 의해 제공되고 있는 반면에, 기후변화에 취약한 국가들은 개발도상국들로 농업 및 수자원과 같은 적용분야, 수자원 분야의 가뭄 및 홍수와 같은 세부 분야, 앞서 언급한 적용 대상지역의 다양한 공간적 규모를 고려하면

무수히 많은 사용자들이 존재함을 의미한다. 따라서 플랫폼 개념의 서비스는 글로벌 스케일의 기후정보 생산자들과 무수히 많은 응용분야 사용자들이 플랫폼을 통한 자발적인 참여를 전제로 기후서비스 관점 의 새로운 가치를 만들어 가는 것을 목적으로 한다. 따라서 AIMS의 플랫폼 관점의 접근은 APCC 내부에서 생산되는 자료, 개발된 툴, 가이드라인만을 담은 것이 아니라 전 세계에 존재하는 기후정보 생산자들, 상세화 기법 및 분야별 모델 개발자들에 의해 만들어 지는 결과를 포함하는 것을 목적으로 한다. 따라서 AIMS 설계에서부터 개별 모듈들의 독립성과 확장성을 고려하여 개발하였다.

Figure 6은 AIMS의 개념도를 보여준다. 우선 좌측에는 다양한 생산자에 의해 생산되는 다중 스케일의 기후자료를 의미한다. 현재 포함되어 있는 자료는 APCC의 ADSS를 통해 제공하고 있는 국가별 CMIP5 기후변화 시나리오 자료, APCC 계절예측 다중모형 앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)에 사용된 개별 예측모형 자료 외에도 외부 기관의 공개된 자료 등도 포함한다. 우측은 다양한 분야, 지역의 사용자들을 의미한다. AIMS 모듈의 독립성 및 확장성은 중앙의 부분에서 고려되었다. rSQM, rSDQDM은 기후변화 시나리오 자료를 기반으로 하는 통계적 상세화 모듈이며, rSForecast는 계절예측 기반 상세화 모듈이다. rAnalysis4CC는 상세화된 기후변화 시나리오 자료를 사용자가 최종 사용하기 전에 결정을 위해 필요한 기초적인 분석을 수행하는 모듈이다. rDrought는 상세화된 자료를 이용하여 모델링과의 연계를 보여주기 위한 하나의 사례로 Effective Drought Index(EDI)를 이용한 가뭄 모델링을 위한 모듈이다. 다양한 개발자들의 자발적인 참여를 통한 독립성 및 확장성을 고려하기 위해서 언급된 모듈들은 통계언어인 R 기반 패키지로 개발되었다. 즉 AIMS라는 플랫폼 없이도 R이라는 범용적인 플랫폼을 통해서도 동일한 작업이 독립적으로 수행이 가능하다. 예를 들어 Figure 7은 rSQM 모듈의 R 사용자들의 공식 패키지 저장소인 Comprehensive R Archive Network(CRAN)에 등록된 정보를 보여준다. 이는 기존에 사용자 커뮤니티 층이 가장 두터운 R 개발자들을 AIMS 플랫폼으로 초대하여 개별 개발자들의 크레딧을 존중해 줌과 동시에 자발적인 참여를 통한 플랫폼의 확장성을 유도하고 최종적으로는 사용자들에게 다양한 선택의 폭을 넓혀 줌으로서 기후서비스의 질을 높이고자 함이다.

개발되고 있는 모듈 별 설명은 Table 1에 제시되어 있다. 또한 AIMS에 대한 기술노트 및 사용자 설명서는 부록에 제시하였다.

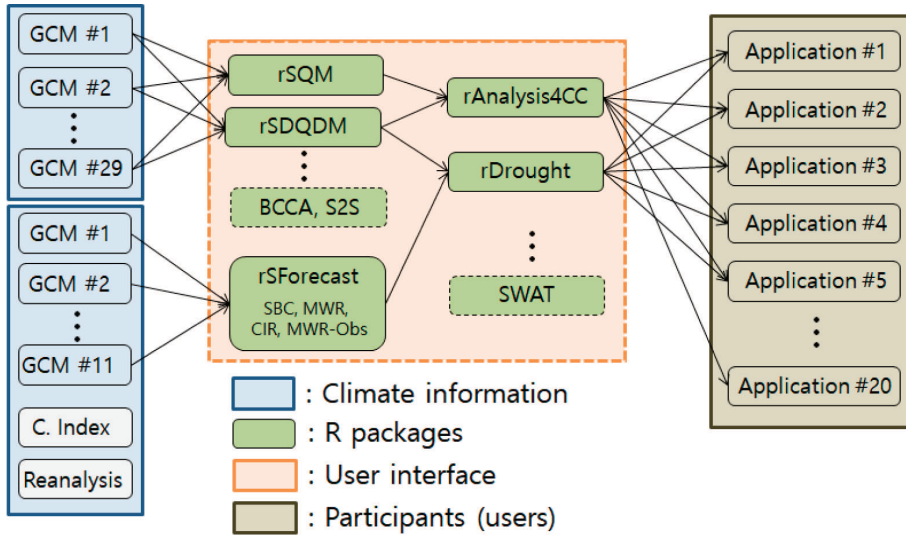


Figure 6. AIMS의 모듈 별 독립성과 확장성 고려를 위한 개념도

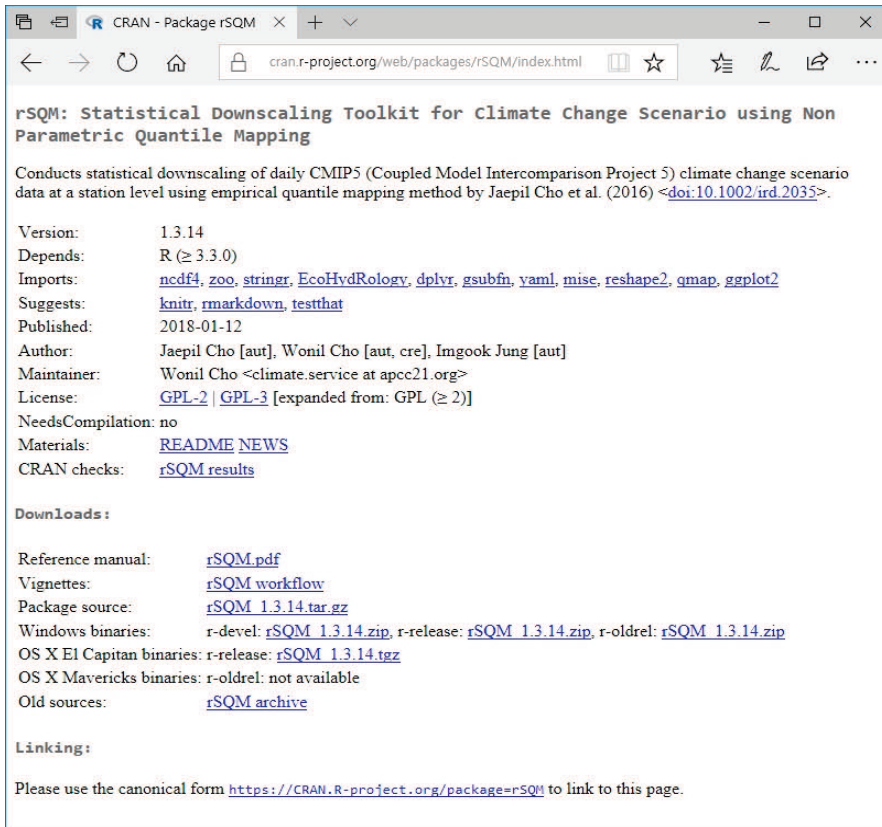


Figure 7. rSQM 패키지의 CRAN 등록 정보

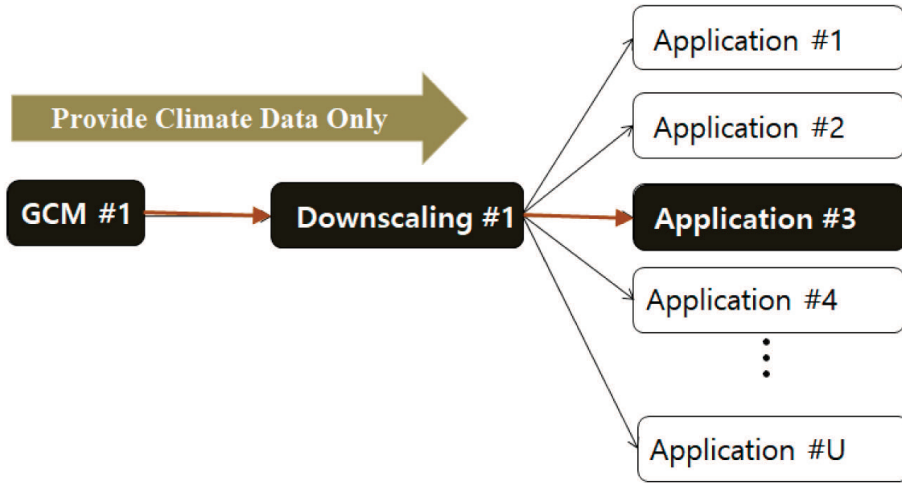
Table 1. AIMS 개별 모듈의 독립성 및 확장성 고려를 위한 R기반 패키지

패키지명	설명
rSQM	<ul style="list-style-type: none"> Simple Quantile Mapping: 일단위 CMIP5 기후변화 시나리오 데이터를 empirical quantile mapping 방법을 통하여 관측소 수준의 자료로 상세화하는 통계적 상세화 방법 URL: https://cran.r-project.org/web/packages/rSQM/index.html
rSDQDM	<ul style="list-style-type: none"> Spatial Disaggregation Quantile Delta Mapping: Spatial Interpolation 방법인 Inverse Distance Weighted(IDW)방법을 이용하여 공간적으로 Disaggregation을 하고, 통계적 방법인 Quantile Delta Mapping을 이용하여 평균뿐만 아니라 극값에 대한 장기추세를 고려할 수 있도록 상세화
rSForecast	<ul style="list-style-type: none"> Simple Bias Correction(SBC), Moving Window Regression(MWR), Climate Index Regression(CIR), Observation-based Moving Window Regression(MWR-Obs) 방법을 이용하여 지역단위 월강수량 및 기온의 예측자료를 생성한 후 과거관측 DB 중에서 Mahalanobis Distance(MD) 기법을 이용하여 관측소별 일단위 기후자료를 생산하는 기법
rAnalysis4CC	<ul style="list-style-type: none"> 사용자 중심의 기후변화 시나리오 자료 생산 및 활용을 위하여 Raw GCM 분석을 통해 지역특성에 맞는 GCM을 선정하고, 상세화한 자료를 이용하여 극한 기후지수의 과거 재현성, 극한 기후지수의 미래 시그널 왜곡도, 공간 상관성을 평가하고 GCM별 가중치 및 불확실성 범위를 제공한다.
rDrought	<ul style="list-style-type: none"> 관측자료를 이용하여 계산된 EDI를 이용하여 가뭄감시를 위한 정보제공, 상세화된 계절예측 정보를 이용하여 EDI 기반 6개월 가뭄예측, 및 상세 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 미래 기간에 대한 가뭄의 지속기간 및 최대가뭄심도의 변화 전망

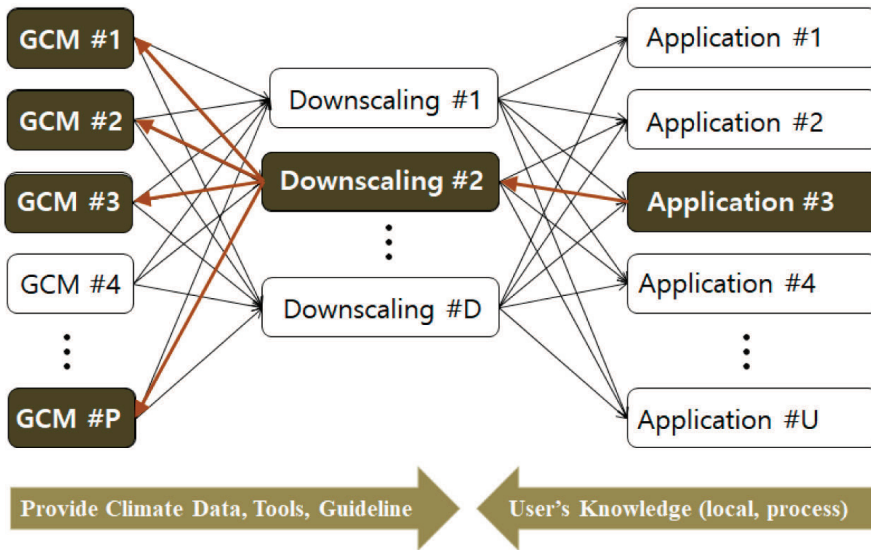
2.2 사용자 중심의 기후변화 시나리오 상세화

AIMS 개발을 통해 공급자 중심의 기후서비스로부터 사용자 중심의 기후서비스로의 변화를 시도하였다. Figure 7에서는 공급자 중심의 기후서비스와 사용자 중심의 기후서비스의 개념을 보여준다. 공급자 중심의 기후서비스는 Figure 7a에서와 같이 공급자 입장에서 결정된 기후자료 및 상세화 방법을 사용자 입장에서 선택의 여지 없이 사용하는 경우로서 기후자료의 제공에 국한되는 경우가 많다. 이 경우에 사용자의 기후정보의 활용 목적에 따른 기후자료의 주요 특성에 대한 분석 및 평가가 없이 적용이 수행되게 된다. 반면 사용자 중심의 기후서비스는 사용자의 구체적인 기후정보의 활용 목적으로부터 시작된다. 이는 Figure 7b에서와 같이 다수의 기후자료(GCM) 및 상세화(Downscaling) 방법이 존재하는 것을 전제로 한다. 즉, 기후정보 활용 목적을 가장 먼저 고려하여 기후정보 중에서 고려되어야 할 주요 특성이 무엇인지를 전문가 입장에서 먼저 결정이 되면, 이후에 기후특성을 가장 반영할 수 있는 상세화 방법과 기후자료(GCM)를 역으로 선정해 가는 접근 방법이다. 이 경우 기후서비스는 다중모형 또는 다중 스케일의 기후자료뿐

만 아니라, 다양한 상세화 방법에 대한 분석 툴, 그리고 사용자 입장에서 가장 적합한 기후정보를 선택하여 활용할 수 있도록 가이드라인 등을 포괄한 개념이다. 이는 공급자 입장에서의 일방향 자료제공이 아니라 지역의 특성을 가장 잘 이해하고 있는 전문가로서 사용자의 전문지식의 참여를 기반으로 하는 쌍방향 접근 방식이다.



(a) 공급자 중심의 기후서비스



(b) 사용자 중심의 기후서비스

Figure 8. (a) 공급자 중심의 기후서비스와 (b) 사용자 중심의 기후서비스 비교

따라서, 사용자 중심의 기후서비스의 내용으로 고려될 수 있는 기후자료, 분석 툴, 사용자 가이드라인 중에서 APCC Data Service System(ADSS)와 연동이 되는 AIMS를 통해 기후자료 및 분석 툴이 기후서비스의 일부로 제시될 수 있기 때문에 사용자 가이드라인의 예시로서 기후변화 상세화 자료 활용을 위한 절차를 Figure 9에서와 같이 제시하였고, 모든 절차는 앞서 제시된 rAnalysis4CC 패키지에 포함되어 AIMS에서 쉽게 적용해 볼 수 있다. 기후변화 시나리오 자료 활용과 관련하여 제시된 9개 절차 별 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

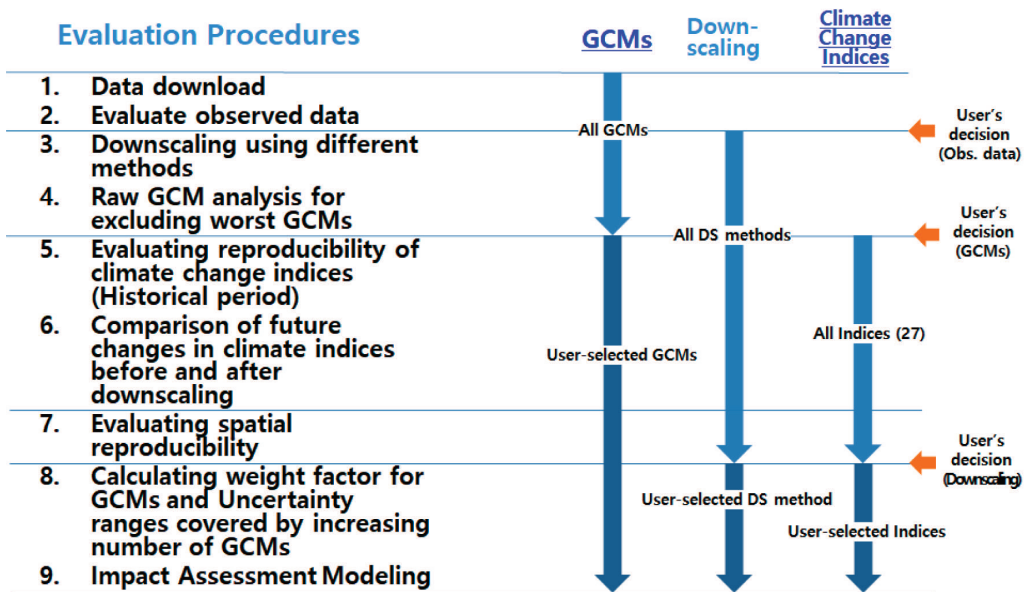


Figure 9. 응용분야 기후변화 시나리오 적용을 위한 사용자 가이드라인

2.2.1 자료 다운로드

상세화를 위해 필수적인 기후변화 시나리오 자료는 국가별로 Clipping하여 ADSS를 통해 제공되고 있다. 기후변화 시나리오 자료는 IPCC 5차 보고서에 활용되었던 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5(CMIP5) 자료를 제공하고 있다. 일반적으로 일반 응용분야 사용자가 국가의 기후변화 적응 정책을 수립하는데 있어서 시나리오 자료를 필요로 하는데, 제공되는 Global 자료의 경우는 용량이 크고 일반 사용자들이 다운로드 받기에는 어려움이 많이 존재한다. 따라서, APCC에서는 Global 자료로부터

국가별 자료를 추출하여 제공함으로써 사용자들의 접근성을 높이고, 자료와 연동되는 상세화 툴을 함께 제공함으로써 활용성을 높이고자 하였다. 현재 제공되고 있는 국가는 2017년 현재 30개 국가와 미국의 51개 주에 대해 과거기간(Historical) 및 RCP4.5와 8.5 2개 시나리오를 포함하는 29개 GCM 자료를 제공하고 있다. 제공되고 있는 국가별 국가코드, 제공되는 Global Climate Models(GCMs), RCP 시나리오 등 자세한 정보는 ADSS의 웹페이지 링크(<http://adss.apcc21.org/DataSet/CMIP5/cmip5.jsp>)를 참조한다.

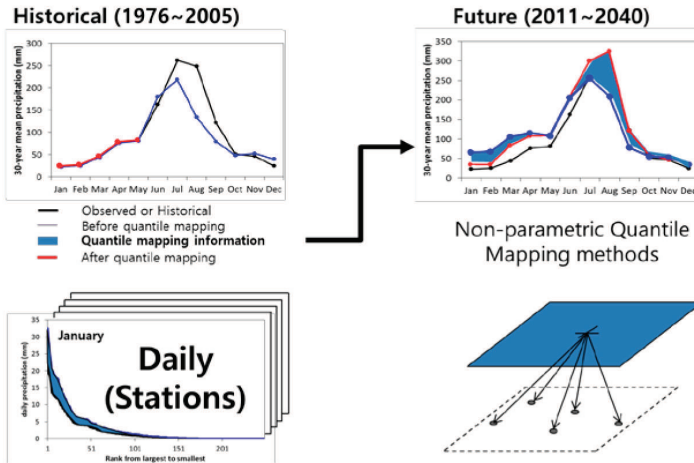
2.2.2 관측자료 평가

통계적 상세화를 위해서는 기후변화 시나리오 자료에 지역의 기후특성을 반영하는 일단위 관측자료가 필요하다. 일반적으로 개발도상국의 경우 관측자료에 많은 결측기간을 포함하고 있는 경우가 많다. 따라서 관측자료의 평가는 이후의 상세화 과정을 진행하기 전에 사용자 입력의 관측자료로부터 월평균 강수 및 기온의 패턴의 그래프로 살펴보는 동시에 월별로 얼마나 많은 결측이 포함되어 있는지를 사용자에게 알려 줌으로써 문제가 있는 지점 자료를 상세화 과정에 포함시킬지 말지를 결정하도록 하기 위해 필요하다. 필요한 자료는 위치, 고도, 이름 등의 관측지점에 대한 정보를 포함하고 있는 파일과 관측지점별로 실제 기상정보를 포함하고 있는 데이터 파일들로 구성되어 있다.

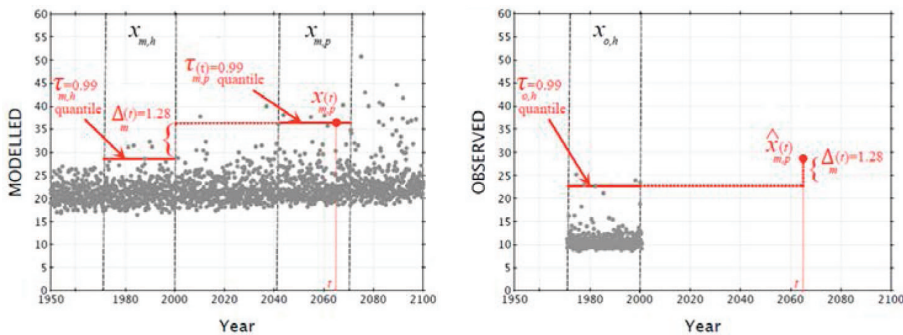
2.2.3 다중 방법 기반 기후변화 시나리오 상세화

현재는 rSQM, rSDQDM을 이용한 기후변화 시나리오 상세화를 제공하고 있다. 두 가지 방법 모두 ADSS에서 제공하는 동일한 기후변화 시나리오 자료를 활용하고 출력 또한 동일한 포맷을 사용한다. 통계적 상세화 방법의 특성상 두 방법 모두 최종적으로 생산되는 상세화 자료의 해상도는 상세화의 입력으로 사용되는 관측자료의 공간해상도를 따른다. 다만 현재의 rSQM 및 rSDQDM은 격자형 관측자료를 고려하지 않고 있으며 기상관측지점의 관측자료를 기반으로 개발되었다. rSQM(R-based Simple Quantile Mapping) 방법은 관측지점 및 기상변수 별로 독립적으로 상세화를 수행하게 된다. 공간적으로는 특정 관측지점에 해당되는 GCM 격자의 값을 바로 사용하며 시간적으로는 월별로 관측자료와 원시 GCM의 값을 비모수적(경험적) 분위사상법(Empirical Quantile Mapping)을 이용하

여 일단위 GCM 자료에 포함되어 있는 GCM 별 시스템 오차(Bias, 편이)를 보정하는 방법이다. 반면 rSDQDM(R-based Spatial Disaggregation Quantile Delta Mapping) 방법은 편이 보정을 수행하기 전에 주위 GCM 격자들의 값을 이용하여 역거리가중법(Inverse Distance Weighted, IDW)을 이용하여 내삽을 한 후, 자료의 Quantile별로 원시 GCM에서 과거기간을 기준으로 전망된 미래기간에 대한 변화를 유지시키며 편이보정을 하는 통계적 방법이다. 따라서 rSQM은 계산이 빠르다는 장점이 있는 반면에 rSDQDM의 경우에는 Quantile Delta Mapping을 이용하여 평균뿐만 아니라 극값에 해당되는 범위 대해서도 원시 GCM에서 갖고 있는 장기추세를 왜곡을 최소화하여 고려할 수 있는 장점을 갖고 있다. Figure 10은 편이보정을 위한 SQM 및 QDM의 개념도를 보여준다.



(a) Simple Quantile Mapping(SQM) 개념도



(b) Quantile Delta Mapping(QDM) 개념도(source: Cannon et al.(2015))

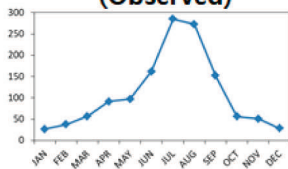
Figure 10. SQM 및 QDM 개념도

2.2.4 원시 GCM 평가

원시 GCM 평가는 Figure 11에서와 같이 통계적 상세화 과정 전의 원시 GCM이 갖는 시공간적인 패턴이 실제 관측자료에 의한 패턴과 비교하여 얼마나 잘 재현하는지를 평가하고 기후의 특성을 현저하게 반영하지 못하는 GCM들을 이후 과정에서 제외하는 것을 목적으로 한다. 실제 한반도 강수량의 월평균 패턴을 보면 8-9월에 높은 값을 보이고 겨울철에 낮은 값을 보이는데, 일부 GCM들은 반대의 경향을 보이는 경우도 존재한다. 현재 강수 및 평균기온에 대해 관측지점에 해당되는 원시 GCM 값을 이용하여 순단위(초순, 중순, 하순)로 정리한 후 관측자료와 GCM들 간에 시간적 공간적 상관관계(Pearson Correlation)를 계산하여 관측자료와 유사한 GCM을 순서대로 정렬하여 보여줌으로써 사용자가 지역의 특색을 반영하지 못하는 GCM들을 제외하고 사용할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

❖ Temporal evaluation

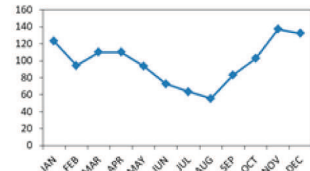
30 year monthly average (Observed)



GCM1

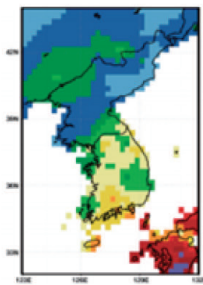


GCM2

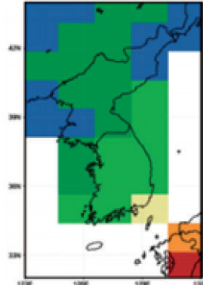


❖ Spatial evaluation

Observed



GCM1



GCM2

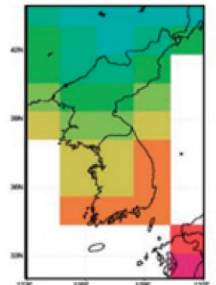


Figure 11. 원시 GCM 평가를 위한 시간적 및 공간적 평가 예시

2.2.5 극한 기후지수의 계산

상세화된 기후자료는 동일한 과거 관측기간에 대하여 관측자료와의 비교를 통하여 적합성을 평가할 수 있다. 이와 같은 과거기간에 대한 재현성 평가를 위해서는 기후자료의 특성을 여러 가지 관점에서 살펴 볼 수 있다. 이수 측면에서는 연강수량이 중요할 수도 있지만 치수 등의 측면에서는 일최대강수량과 같은 통계치가 중요할 수 있다. 따라서 이후 상세화 방법의 비교를 위해 필요한 과거 재현성 평가 및 미래 기간에 대한 시그널(Signal)의 왜곡도를 평가하기 위해서는 보편적으로 사용되고 있는 극한기후지수의 값을 상세화된 자료를 이용하여 계산하는 것이 필요하다. Table 2은 ETCCDI의 Climate index(http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)를 보여준다.

Table 2. ETCCDI Climate Indices 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
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
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

Table 2. ETCCDI Climate Indices 리스트(계속)

ID	Variable	Description	Unit
SDII		Annual precipitation divided by the number of wet days	mm/day
R10mm		Annual count of days when PRCP \geq 10mm	Days
R20mm		Annual count of days when PRCP \geq 20mm	Days
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

2.2.6 극한 기후지수의 과거 재현성 평가

극한기후지수의 과거 재현성 평가는 상세화된 기후변화 시나리오가 과거기간 관측자료와 얼마나 유사한지를 평가하기 위한 방법으로 과거기간에 대하여 연별로 계산되는 극한지수 값의 중앙값과 분포를 Boxplot으로 시각화하여 제시함으로써 상세화 방법들을 비교하여 선정하는 것을 목적으로 한다. 즉, Figure 12은 연강수량의 재현성을 비교한 그래프로서 좌측 칼럼은 실제 관측자료로부터 추출된 중앙값과 연별 계산된 값들의 범위를 보여 주고 좌측 칼럼은 SQM 및 SDQDM 방법에 의한 중앙값과 전체적인 범위를 보여준다. 이는 하나의 상세화 방법이 모든 기후특성을 재현하는데 있어서 완벽하지 않다는 전제하에서 사용자의 목적에 가장 관계가 깊다고 판단되는 극한기후지수의 특성을 보다 잘 재현하는 상세화 방법을 선택할 수 있는 정보 제공을 목적으로 한다.

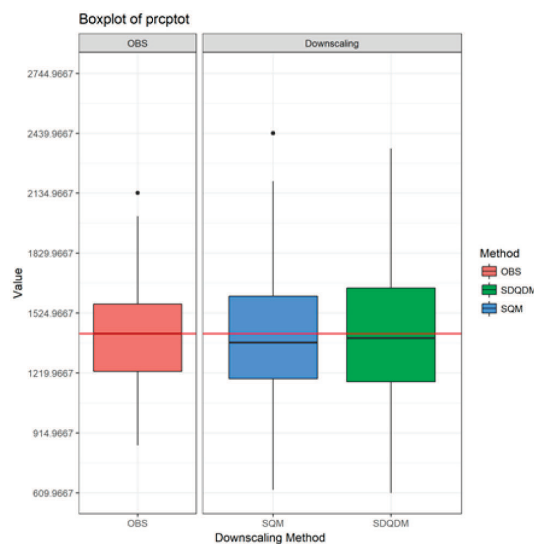


Figure 12. 연강수량에 대한 과거 재현성 평가 예시

2.2.7 극한 기후지수의 미래 시그널 왜곡도 평가

앞서 살펴본 과거기간에 대한 재현성 평가는 관측자료를 기준으로 하는 반면 극한기후 지수의 미래 시그널 왜곡도 평가는 기후변화 시나리오 자체 정보만을 가지고 평가하는 방법이다. 여기서 시그널(Signal)은 특정 극한기후지수의 과거기간과 미래기간과 과거기간의 차이로 정의하였으며, Figure 13에서와 같이 편이보정 전의 원시 GCM에서 보여주는 시그널과 상세화된 GCM의 시그널이 얼마나 많은 차이를 보이는지를 평가하는 방법이다. 차이가 적을수록 원시 GCM이 보여주는 미래 전망을 왜곡 없이 유지하는 것을 의미하며 전체 불확실성 전파(propagation) 과정에 기여하는 바가 적다고 판단할 수 있다. 시그널의 왜곡도 평가는 시그널의 차이를 이용하여 RCP 시나리오별, 미래기간별 각 상세화 방법의 GCM에 따른 분포를 Boxplot을 통해 시각화하여 평가한다.

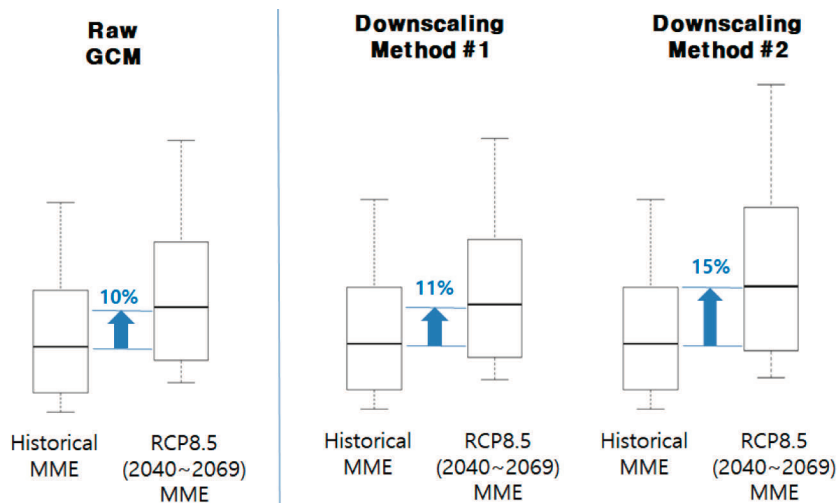


Figure 13. 상세화 방법에 따른 시그널 왜곡도 비교 예시

2.2.8 공간 상관성 평가

공간 상관성 평가는 관측지점 사이에 존재하는 관측지점 사이의 거리에 따른 유사성을 나타내는 variogram(관측지점 사이의 거리와 gamma 값을 사용하여 자료를 정리하고 시각화 그래프)을 이용한 평가 방법으로 대상지역의 공간규모와 적응하는 분야에 따라서 중요도가 달라질 수 있다. 관측지점 사이의 거리가 증가함에 따라서 기후변수의 유사성

이 감소하게 되는데(Gamma 값의 증가), Figure 14에서와 같이 동일한 과거기간과 관측지점에 대해 상세화 방법 별 상세화 자료와 관측자료를 이용하여 도출된 variogram 결과를 비교함으로써 공간상관성을 얼마나 잘 재현하는지를 평가할 수 있다. 유역모델링 등 수문분석에 있어서 관측지점 사이의 상관성이 중요할 수 있으며 이는 작은 규모의 유역보다는 대규모의 유역을 대상으로 분석할 때 중요할 수 있다.

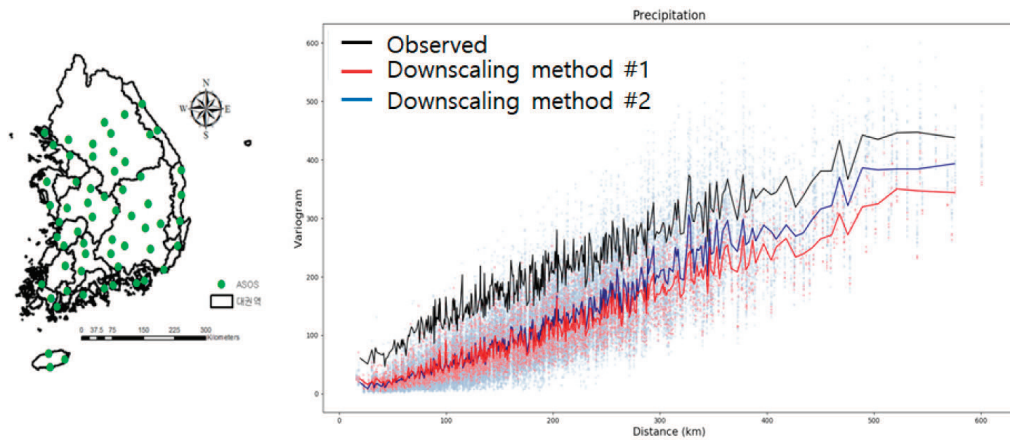


Figure 14. 상세화 방법에 따른 variogram 예시 결과

2.2.9 GCM별 가중치 및 불확실성 범위 제공

앞서 제시된 절차를 통해 GCM 및 상세화 방법을 사용자 중심의 목적을 고려하여 결정할 수 있다. 그 이후에는 선정된 GCM과 선정된 상세화 방법을 이용하여 생산된 자료를 이용하여 Figure 15에서와 같이 기후자료의 주요 인자에 대하여 GCM별 과거기간에 대한 재현성 평가 결과를 기반으로 가중치를 부여하고 최종 다중모형기반 전망을 계산할 때 활용할 수 있다.

우선 Figure 15의 1번(mean)에서와 같이 과거기간(예: 30년)에 대한 강수량의 순단위 평균을 상세화된 GCM을 이용하여 계산한 후 관측자료 기반의 순별 평균과 비교하고 RMSE 오차를 계산하여 GCM들이 평균을 얼마나 잘 재현하는지를 비교할 수 있다. 다른 하나는 Figure 15의 2번(variation)에서와 같이 순별로 30년의 개별 강수량에 의해 계산되는 변동성을 Coefficient of Variation(CV) 값으로 나타내고 상세화된 GCM에 의

한 순별 CV값들과 관측에서 보여준 순별 CV값들 사이에서 발생하는 RMSE 오차를 계산하여 GCM들별로 변동성을 얼마나 잘 재현하는지를 비교할 수 있다. 앞서 언급된 평균 관점의 오차와 변동성 관점의 오차는 가중치 결정 과정에 항상 고려하고, 사용자가 관심이 있는 Climate Index를 이용하여 유사도를 계산하여 Figure 15의 3번(user-selected climate index)에서와 같이 표준화를 거쳐 원점까지의 거리를 구하여 짧은 거리(작은 오차)를 보이는 GCM에 더 높은 가중치를 부여하는 방법이다. 이를 위해서는 계산된 평균 및 CV에 대한 RMSE와 사용자가 관심 있는 Climate Index에 대한 유사도를 0~1사이의 값으로 표준화한다(RMSE는 error이므로 값이 클수록 다름을 의미하고 유사도의 P-value 또한 1에서 P-value를 빼서 계산하여 값이 클수록 서로 다름을 의미한다). 즉 평균, 변동성, 사용자 지정 기후지수의 유사도에 대한 재현성 평가 결과의 표준화된 값들과 원점까지의 거리를 계산하여 정리된 하나의 값을 제곱의 역수(y)로 정리하여 Weight를 구할 수 있다. 이렇게 계산된 가중치는 향후 미래에 대하여 다중모형 기반의 미래 전망을 계산하는데 활용될 수 있다.

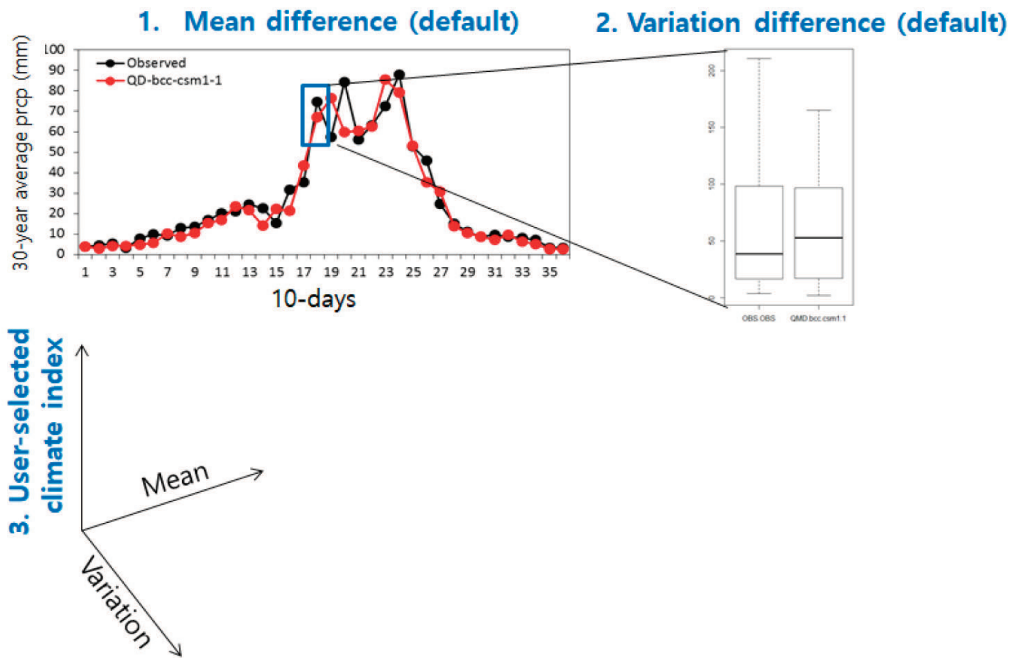


Figure 15. GCM별 가중치 결정을 위한 주요 인자 및 개념도

3. 한반도 기후변화 시나리오 생산 분석 결과 예시

우선 Figure 16부터 Figure 21은 앞에서 제시된 방법을 1976년 이후 기상자료가 존재하는 한반도의 60개 기상관측지점에 대하여 적용한 결과를 보여 준다. Figure 16은 원시 GCM의 평가 결과를 보여 주며 이후 과정을 위해 평가 결과가 좋지 않은 10개 GCM(20~29 Rank)을 제외하였다. Figure 17은 사용된 19개 GCM에 대하여 SQM 및 SDQDM을 이용하여 60개의 관측지점에 대하여 상세화된 자료를 이용하여 연강수량의 재현성을 평가한 결과로 SQM이 SDQDM과 비교하여 중앙값을 잘 재현하는 결과를 보였다. Figure 18의 경우는 SDQDM의 시그널의 왜곡을 최소화하는 것을 목적으로 개발된 SDQDM이 SQM 방법과 비교하여 우수한 결과를 보여주었다. Figure 19의 공간 상관성의 재현성은 SQM이 SDQDM과 비교하여 우수한 결과를 보여 주고 있다. 즉 SDQDM의 경우 관측소 간의 거리가 멀어짐에 따라서 관측과 비교하여 유사성이 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 개별 관측소 별 편의보정 이전의 값을 추출하는 과정에서 SDQDM의 경우 주위 GCM 격자들의 값을 이용하여 IDW기반의 내삽 과정을 거치게 되는데, 대부분의 관측소들에 대하여 한반도 주변의 격자 값들이 동일하게 사용됨에 따라서 우리나라 대부분의 지역에서 공간적으로 높은 상관성을 보이는 것으로 판단된다. Figure 20은 SQM 상세화 방법을 선정한 경우 GCM 개수의 증가에 따른 전체 불확실성에 대한 설명력 평가 결과를 보여 주고 있다. 즉 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오에 대하여 모든 기간(근미래: S1, 중간미래: S2, 먼미래: S3)에 대하여 19개 GCM 중에서 11개 GCM만을 고려할 때 전체 변동성의 80% 이상을 설명함을 의미한다. Figure 21은 SQM 상세화 방법에 의한 연강수량(prcptot)의 RCP4.5 시나리오에 대한 GCM별 가중치를 고려한 관측지점별 미래 변동 전망 결과를 보여 준다.

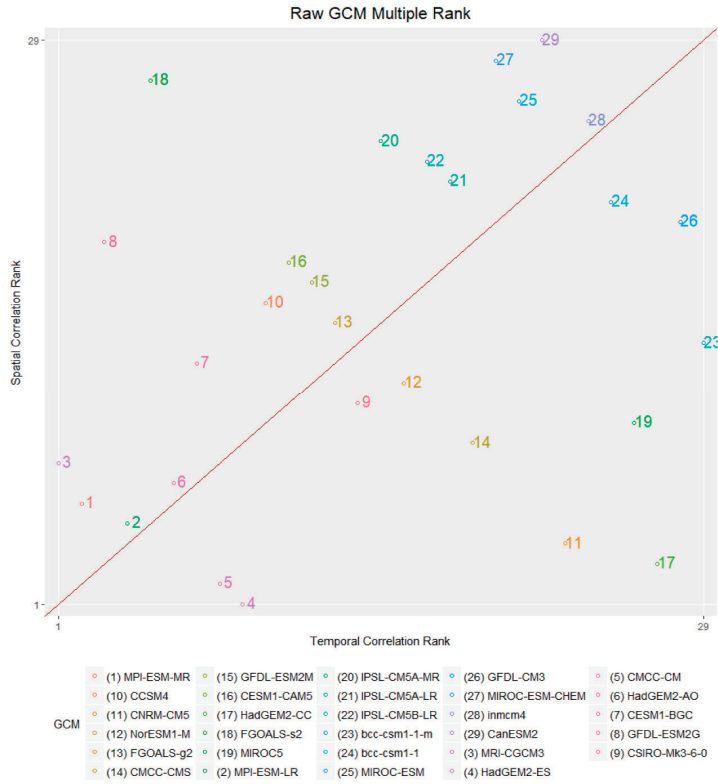


Figure 16. 한반도 29개 원시 GCM의 평가 결과

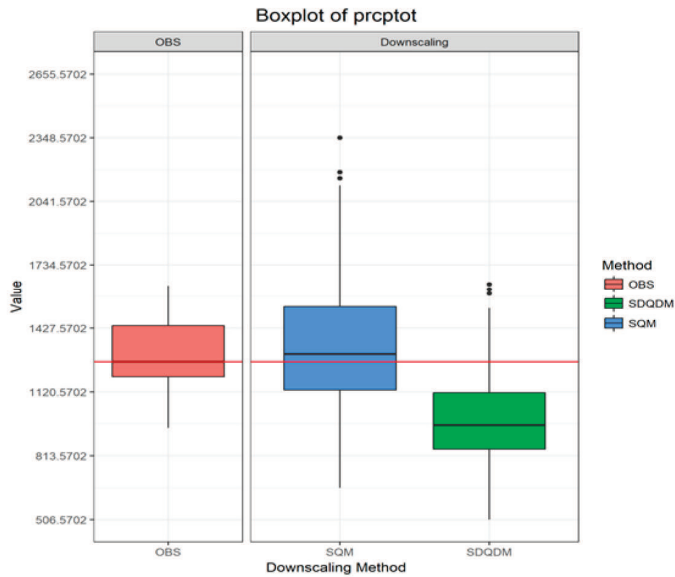


Figure 17. 한반도 연강수량(PRCPTOT)의 상세화 방법별 과거 재현성 정도

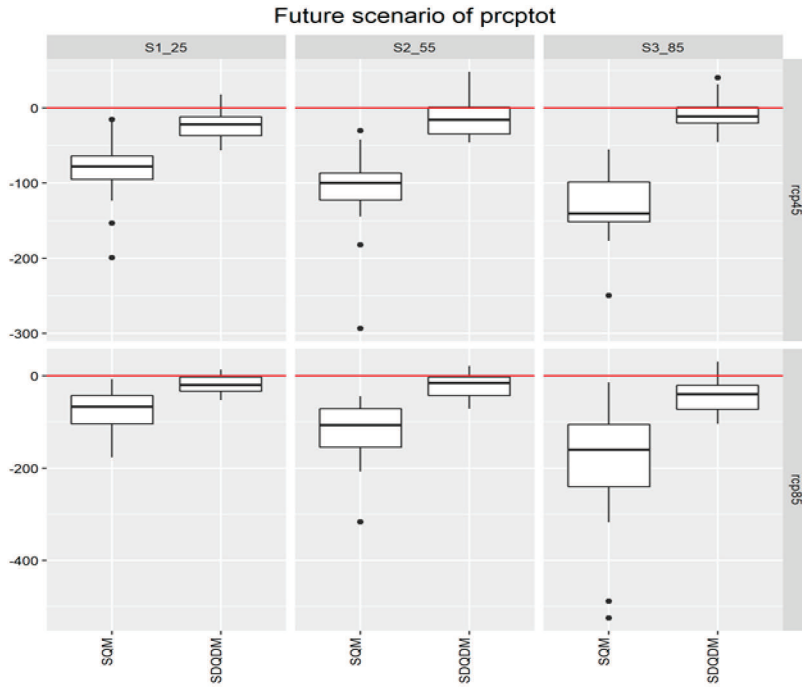


Figure 18. 한반도 상세화 방법별 미래 시그널 왜곡도 평가 결과

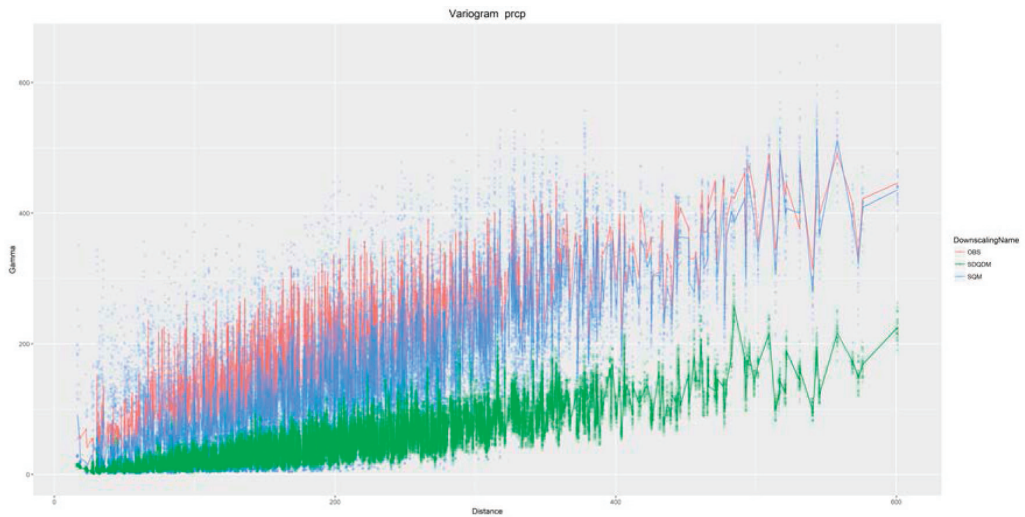


Figure 19. 한반도 상세화 방법별 강수에 대한 공간상관성 평가 결과

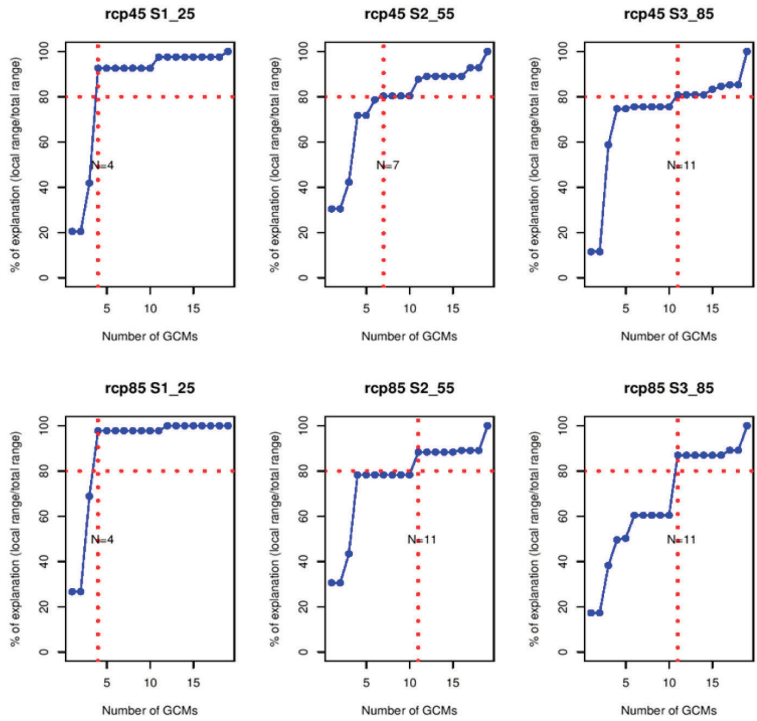


Figure 20. SQM 상세화 방법에 의한 GCM 개수의 증가에 따른 불확실성 설명력 평가 결과(Overall)

	historical	S1_25	S2_55	S3_85	S1_25(%)	S2_55(%)	S3_85(%)
ID090	1374.997	1472.23	1571.052	1616.297	7.1	14.3	17.5
ID100	1819.943	1917.511	2021.133	2085.87	5.4	11.1	14.6
ID101	1284.089	1359.697	1447.262	1489.817	5.9	12.7	16
ID105	1470.934	1568.479	1655.723	1712.467	6.6	12.6	16.4
ID108	1378.597	1470.082	1559.209	1608.171	6.6	13.1	16.7
ID112	1174.101	1262.715	1339.412	1387.349	7.5	14.1	18.2
ID114	1315.139	1384.237	1462.338	1504.177	5.3	11.2	14.4
ID119	1259.867	1352.687	1445.264	1504.338	7.4	14.7	19.4
ID127	1219.491	1291.278	1376.121	1418.995	5.9	12.8	16.4
ID129	1243.432	1334.083	1411.306	1440.943	7.3	13.5	15.9
ID277	1082.433	1139.37	1215.147	1254.763	5.3	12.3	15.9
ID278	1002.32	1074.654	1130.307	1184.946	7.2	12.8	18.2
ID279	1036.228	1110.642	1175.93	1222.937	7.2	13.5	18
ID281	1031.157	1096.37	1157.148	1212.262	6.3	12.2	17.6
ID284	1292.052	1384.024	1459.12	1518.163	7.1	12.9	17.5
ID285	1267.624	1364.191	1452.431	1509.29	7.6	14.6	19.1
ID288	1243.501	1330.611	1403.567	1485.735	7	12.9	19.5
ID289	1515.594	1671.092	1746.367	1832.515	10.3	15.2	20.9
ID294	1839.388	1992.151	2079.751	2200.245	8.3	13.1	19.6
ID295	1813.472	1979.063	2082.388	2173.245	9.1	14.8	19.8
Stn_Avg	1336.493	1437.761	1514.594	1576.497	7.6	13.3	18

Figure 21. SQM 상세화 방법에 의한 연강수량(prcptot)의 RCP4.5 시나리오에 대한 GCM별 기중치를 고려한 미래 변동 전망 결과

4. AIMS 활용 상세화 교육

4.1 APCC 1차 교육(아시아 태평양 개도국 대상)

- 주제: 사용자 중심의 기후정보의 통계적 상세화(User-oriented Statistical Downscaling of Climate Information in Agriculture and Water Resources)
- 기간: 2017. 8. 21.(월) - 8. 26.(토) <6일간>
- 참가자: 아시아 태평양 16개국 20명
- 목적: 응용분야의 기후정보 자료 활용 장려를 위해 아시아 태평양 지역 개발도상국 농업, 수자원 분야 정부기관 실무진을 대상으로 APCC에서 개발한 통계적 다운스케일링 플랫폼(AIMS)을 활용하여 상세화 교육을 수행
- 설문조사 결과

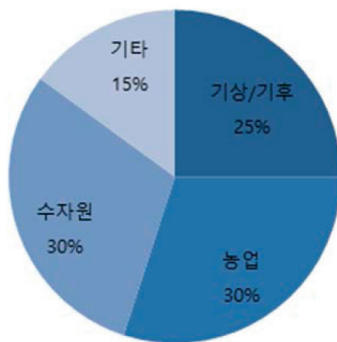


Figure 22. 참가자 분야

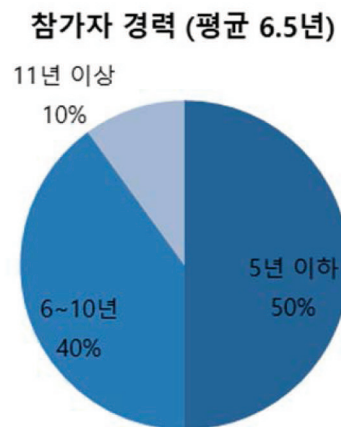


Figure 23. 참가자 경력

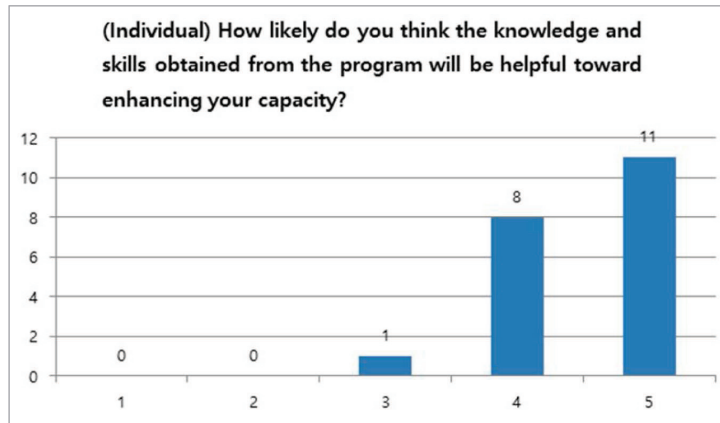


Figure 24. 개인 역량 강화(4.5/5.0)

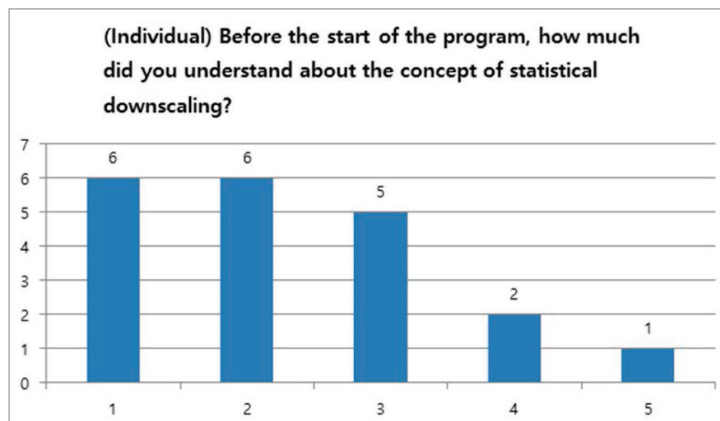


Figure 25. 교육 전 통계적 상세화 이해도(2.3/5.0)

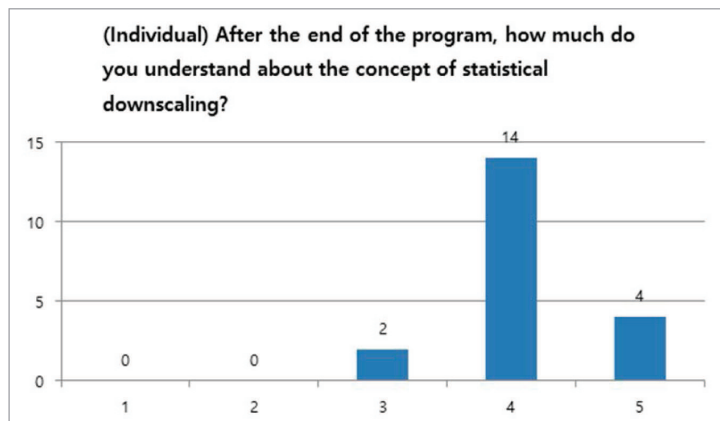


Figure 26. 교육 후 통계적 상세화 이해도(4.1/5.0)

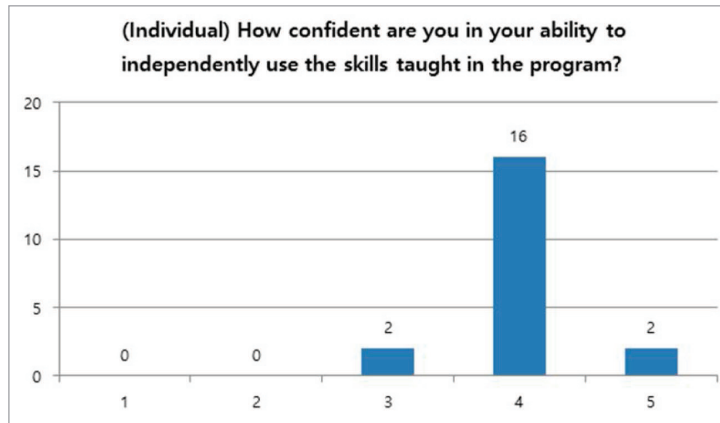


Figure 27. 교육 숙달(4.0/5.0)

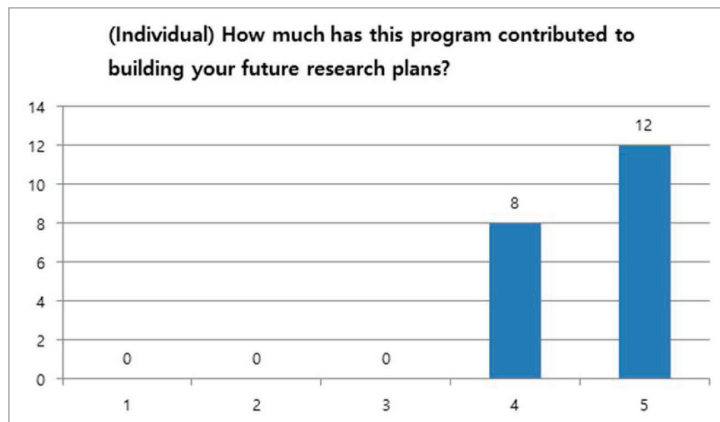


Figure 28. 향후 연구 유용성(4.6/5.0)

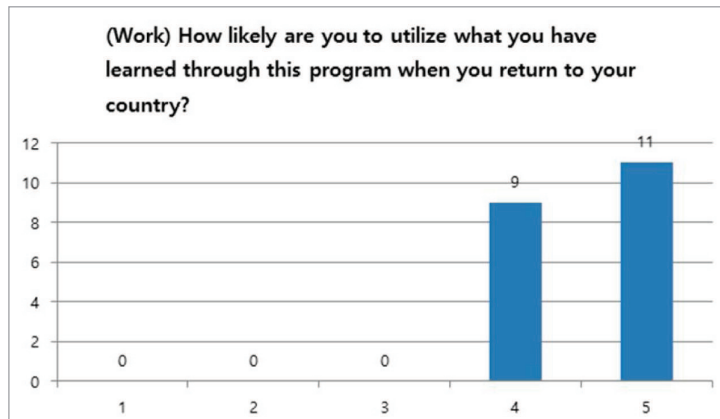


Figure 29. 업무 활용도(4.6/5.0)

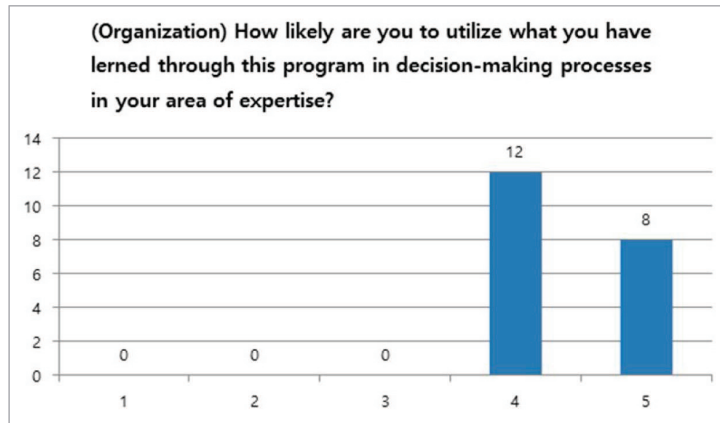


Figure 30. 기관 활용도(4.4/5.0)

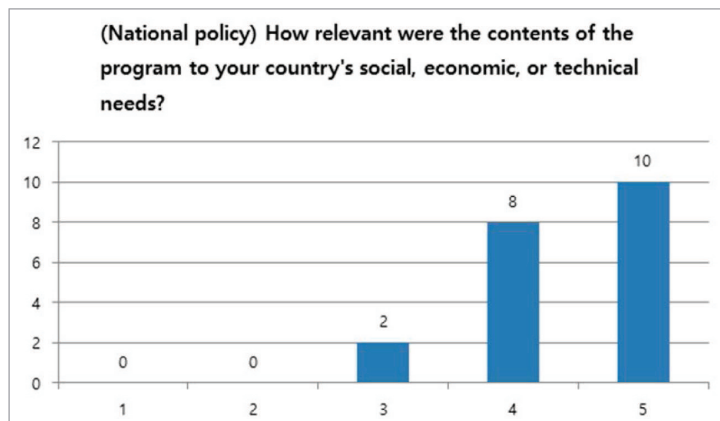


Figure 31. 정책 활용도(4.4/5.0)

Which category was more relevant to your work?

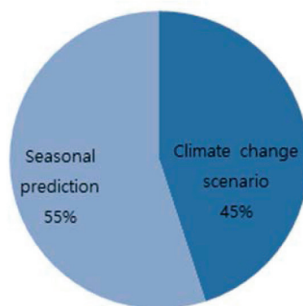


Figure 32. 기후변화 상세화 시나리오 및 계절예측의 업무 연관성

■ 기타 의견

- 계절예측 정보 및 기후변화시나리오 상세화와의 업무 연관성은 각각 55%와 45%로 유사한 수준으로 판단됨
- 홍수 예측, 농업에 끼치는 영향, 저수지 관리, 농업 기후 등 본인 연구 및 업무에 활용성이 높다고 평가함
- AIMS를 기후변화 시나리오, 계절예측 정보의 통계적 상세화에 활용할 것이며 이는 스마트 농업과 관련 국가 정책의 의사 결정 도움이 될 것이라고 평가하는 등 AIMS를 업무에 활용한다는 의견이 다수 있음
- 필리핀 국가재난평가연구소 참가자는 필리핀을 위협하는 기후 변화 영향 분석 업무를 맡고 있으나 대부분 연구는 전지구 영역이어서 지역 예측에 대한 정보가 부족한 상태이므로 교육 중에 학습한 상세화 기법은 업무에 매우 유용하며 기후변화 시나리오가 계산되는 과정을 학습한 것도 업무에 큰 도움이 될 것이라고 평가함
- AIMS 플랫폼이 개발 초기 단계여서 오류가 있음에도 불구하고 개발 과정에 참여할 수 있는 기회를 가져서 의미있었다는 의견이 있었음. 향후 매뉴얼이 출판되고 프로그램에 모든 기능이 작동하여 활용할 수 있기를 기대한다는 의견이 다수 있음
- AIMS의 유저 인터페이스 기능이 편리했으나 프로그램 안에서 자체적으로 수행되는 계산 과정에 대한 설명도 있었으면 좋겠다고 표함
- 실습 시간이 부족했다는 의견이 많았으며 이론보다 실제 적용 사례에 대한 소개를 희망하는 의견이 있었음
- 모델 시뮬레이션을 통한 농업 및 수문학 영향 평가를 추가하면 더욱 좋겠다는 의견이 있었음
- 실습 시뮬레이션을 실행하는데 시간이 많이 소요되므로 교육 일정 중에 실습수업을 앞에 배치하여 시간을 효율적으로 사용할 것을 제안함

4.2 APCC 2차 교육 프로그램 설문조사 결과(국내 유관 기관 대상)

- 주제: 사용자 중심의 기후정보의 통계적 상세화
- 기간: 2017. 9. 28.(목) - 9. 29.(금) <2일간>
- 참가자: 국내 15개 기관 38명
- 목적: 국내 유관기관의 기후정보 활용성 제고를 위하여 APCC가 자체 개발한 통계적 상세화 플랫폼을 활용한 기후 정보 생산 교육 수행

참가자 경력 (평균 6.3년)

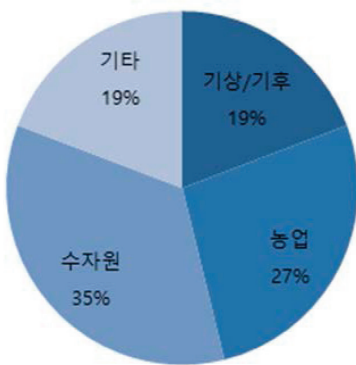


Figure 33. 참가분야

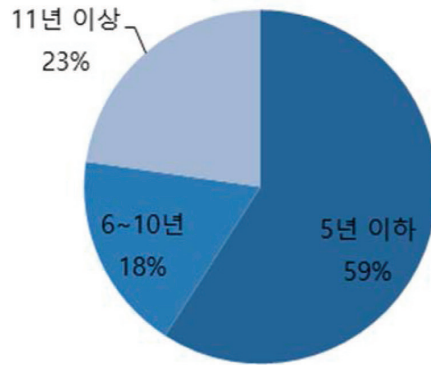


Figure 34. 참가자 경력

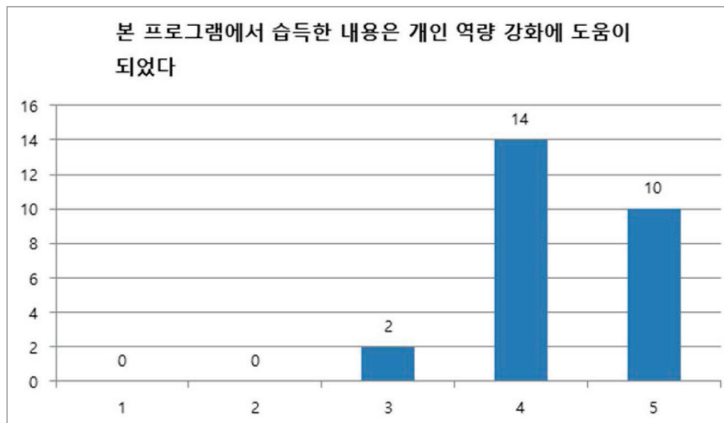


Figure 35. 개인 역량 강화(4.3/5.0)

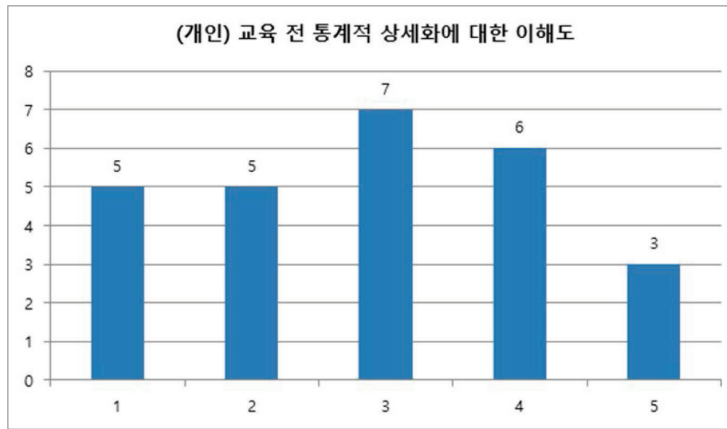


Figure 36. 교육 전 이해(2.9/5.0)

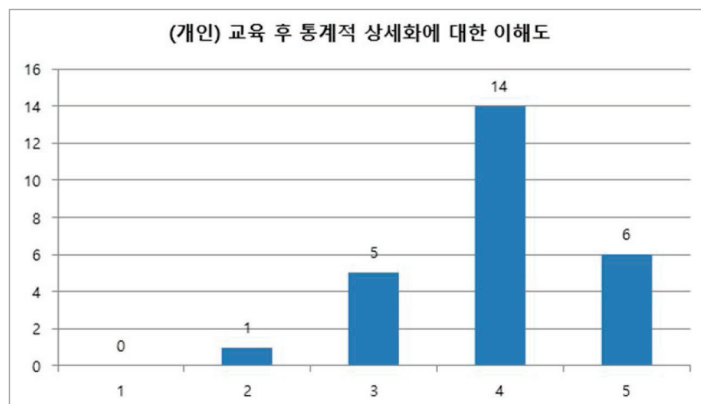


Figure 37. 교육 후 이해(4.0/5.0)

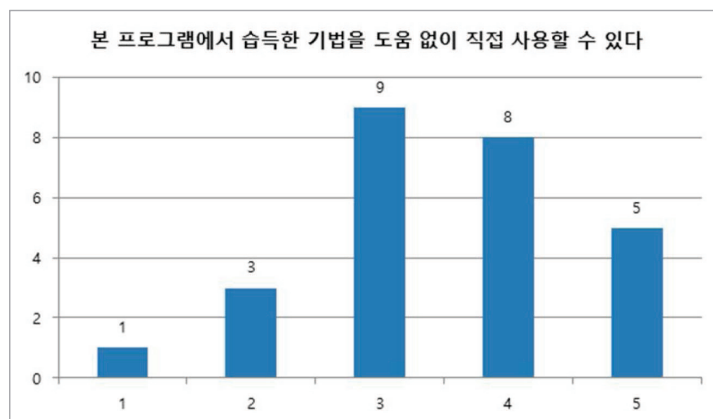


Figure 38. 교육 숙달(3.5/5.0)

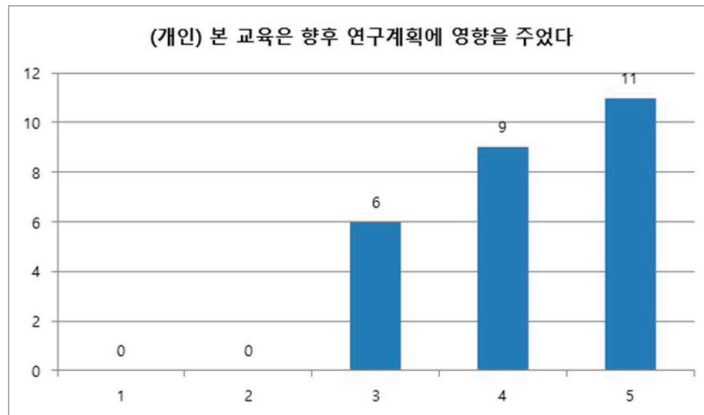


Figure 39. 향후 연구 유용성(4.2/5.0)

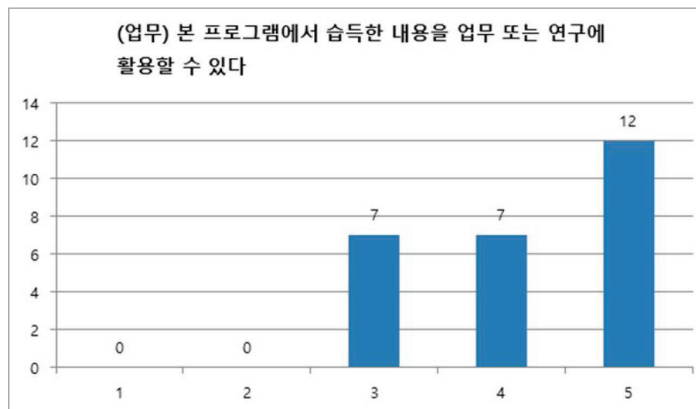


Figure 40. 업무 활용도(4.2/5.0)

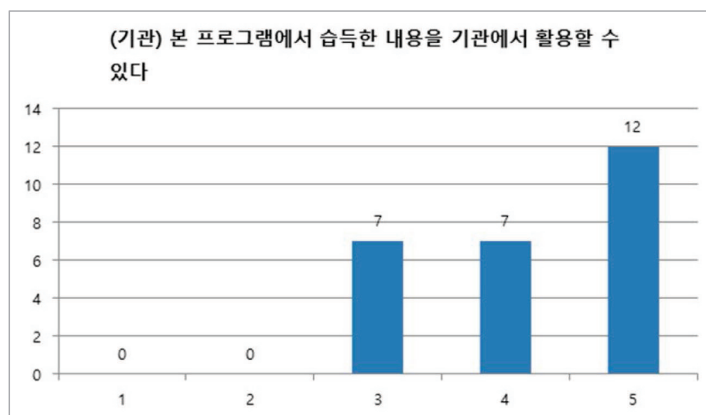


Figure 41. 기관 활용도(4.0/5.0)

다음 중 귀하의 업무와 연관이 더 높은 것은
무엇입니까?

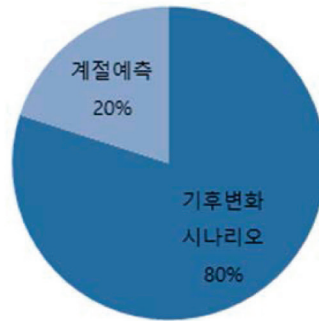


Figure 42. 기후변화 상세화 시나리오 및 계절예측의 업무 연관성

■ 기타 의견

- 상세화 기법 활용은 연구 활용(4.19), 업무 활용(4.19), 기관 활용(4)으로 전반적으로 높게 조사되었으며 참가자가 제시한 구체적인 활용 방안 중 일부는 다음과 같음
 - ✓ 미래 작물생육 예측
 - ✓ 병해충 예측 모델을 활용하여 병해충 위험 지수 계산
 - ✓ 가뭄 지수, 가뭄 분석 등 가뭄 대응 능력 향상
 - ✓ 농업 모델과 결합하여 정책 지원 자료로 활용
 - ✓ 취약성 평가 도구 개선

부록 1 : AIMS User Manual

AIMS Desktop Application User Manual

2017. 11



Table of Contents

AIMS Overview	36
System Requirement	36
User Management	37
Sign In Page	37
Sign Up Page	38
Create a New Project	39
• Step 1: Click on + New Project Button to Create a New Project	39
• Step 2: Select Climate Data Type	40
• Step 3: Select a Country	40
• Step 4: Choose a Project Name	41
Project Page	42
Notification	43
Section Control Features	44
Climate Change Project Sections	45
Section 1: Data Source	45
Section 2: Local Data	45
Section 3: Evaluate Observed Data	47
Section 4: Workflow Stop/GO	47
Section 5: Downscale	48
Section 6: Raw GCM Analysis	50
Section 7: Workflow Stop/GO	50
Section 8: Climate Change Index Calculation	51
Section 9: Spatial Reproducibility Evaluation	52
Section 10: Weight Factor and Uncertainty for GCMs	52
Section 11: Modeling	53
Seasonal Forecast Project Sections	54
Section 1: Settings	54
Section 2: Tasks	55

All screenshots are captured in a Mac OS X environment. However, the software will look and feel almost exactly the same in a Microsoft Windows environment.

AIMS Overview

AIMS = APCC Integrated Modeling Solution

AIMS is a project initiated by the APEC Climate Center, and NoteSquare Inc. has been developing it since. AIMS targets climate change experts and non-experts, and its main purpose is to provide users with easy-to-use tools with many features packed in one program. AIMS is still in the early stage of development, and many more advanced features will be implemented in future.

System Requirement

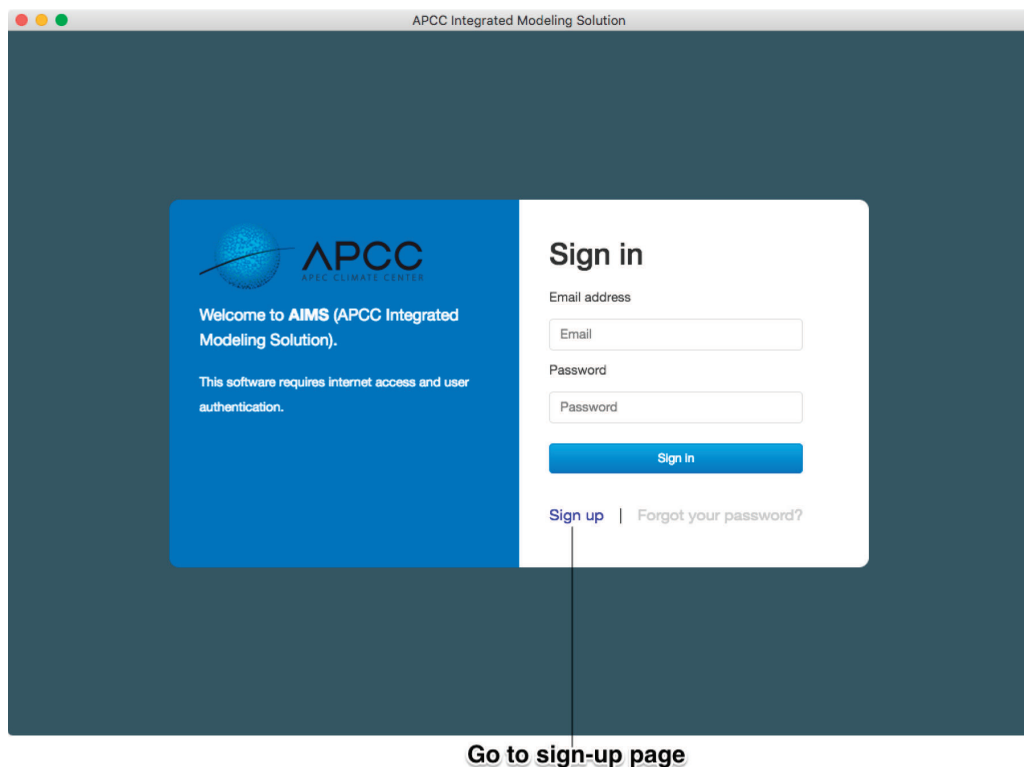
- Windows 7 or higher, 64-bit system (a 32-bit system can be used, but the 64-bit system is highly recommended)
- 8 GB RAM or more
- 200 GB or more hard drive space
- Fast internet connection (AIMS requires downloading of a large amount of data from the Internet, and a slow network speed will significantly affect the overall computation time)

User Management

AIMS requires an internet connection. This is because some of the features in the software download data from external sources directly to the client PC. In addition, for future expandability, AIMS requires user authentication using AIMS' own authentication server. All user credentials are stored securely in the AIMS server. User authentication information is only used for AIMS.

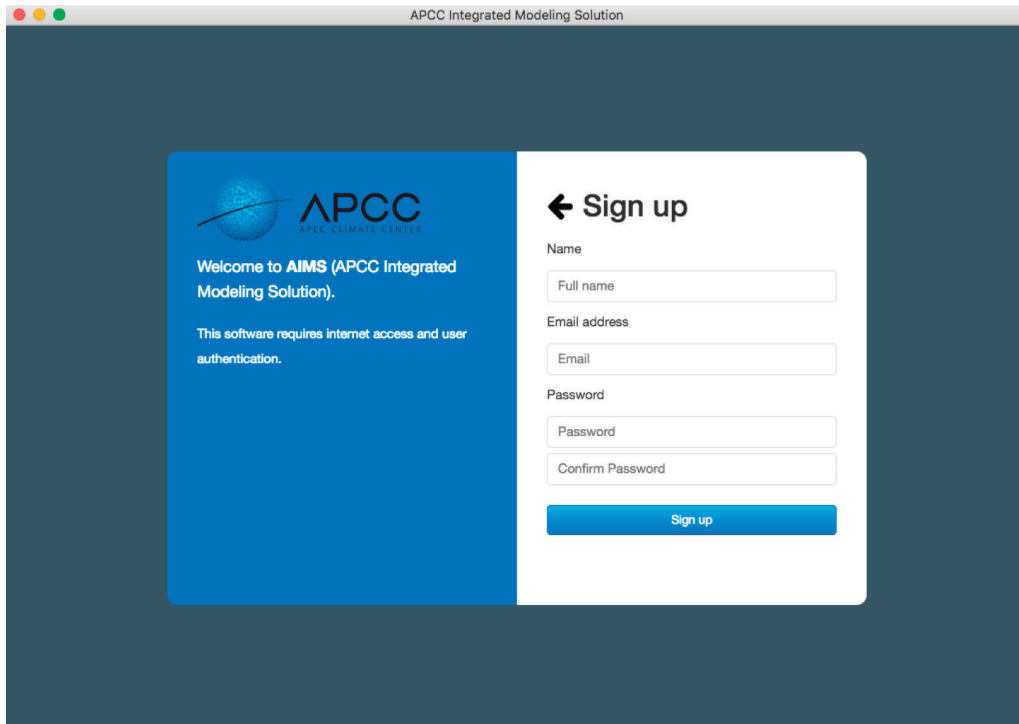
Sign In Page

A sign in page will be displayed when a user uses the software for the first time after installation.



Sign Up Page

A new user can sign up via a simple process in AIMS. The user credentials are stored securely in the AIMS server. User information is not used for any purpose other than logging into the AIMS system.

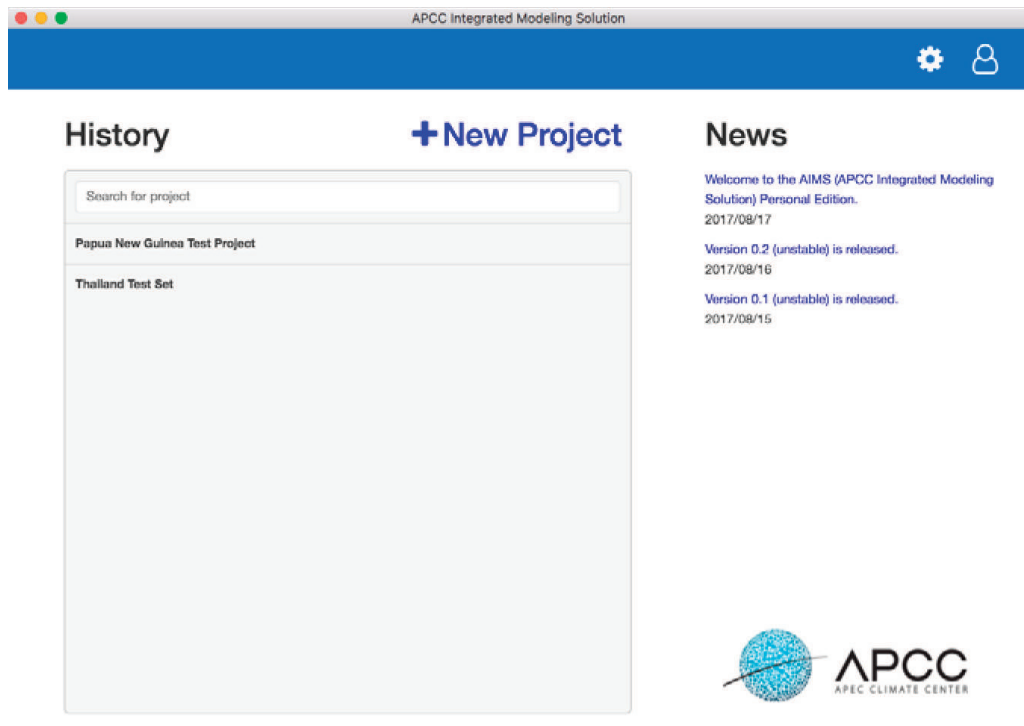


The screenshot shows a web browser window titled "APCC Integrated Modeling Solution". The page has a dark blue background. On the left, there is a blue box containing the APCC logo (APEC CLIMATE CENTER) and the text: "Welcome to AIMS (APCC Integrated Modeling Solution). This software requires internet access and user authentication." On the right, there is a white sign-up form with a blue arrow icon and the text "Sign up". The form contains four input fields: "Name" (with sub-label "Full name"), "Email address" (with sub-label "Email"), "Password", and "Confirm Password". Below the fields is a blue button labeled "Sign up".

Create a New Project

A user can create a new project or select an old project in the first window shown. All projects listed here are user-specific projects, meaning that another user with different login credentials will not be able to see other users' projects.

Creating a New Project

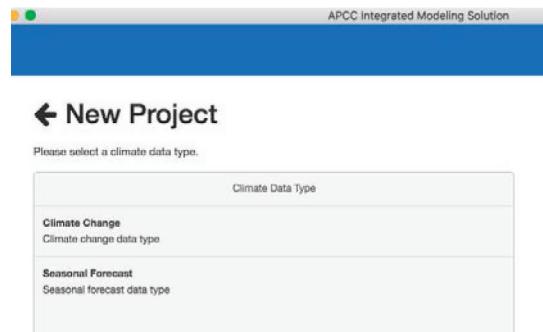


- Step 1: Click on + New Project Button to Create a New Project

- Step 2: Select Climate Data Type

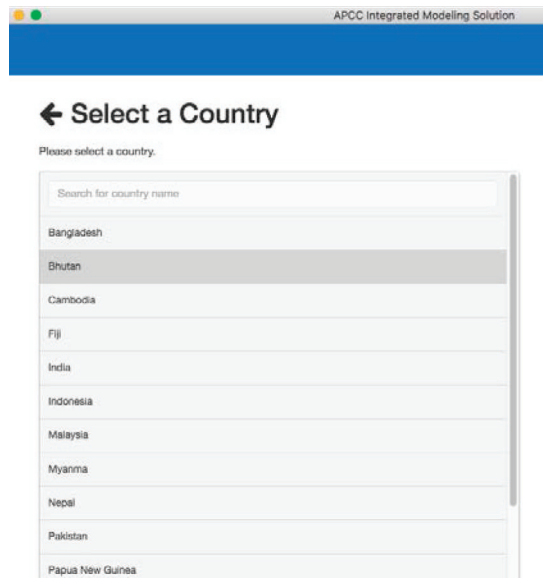
Currently, a user can choose one of the following:

- Climate Change
- Seasonal Forecast



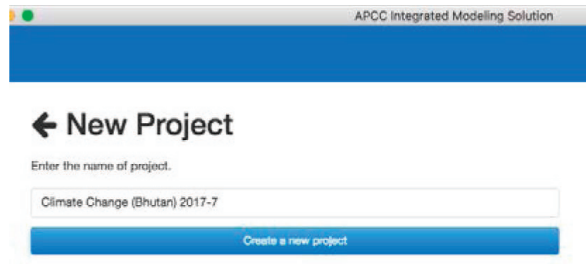
- Step 3: Select a Country

A “Select a Country” window will pop up only for a Climate Change project. Other project types will not have such a pop-up (skip to step 4).



- Step 4: Choose a Project Name

A user can choose any name without restrictions. A unique name should be provided for each project.

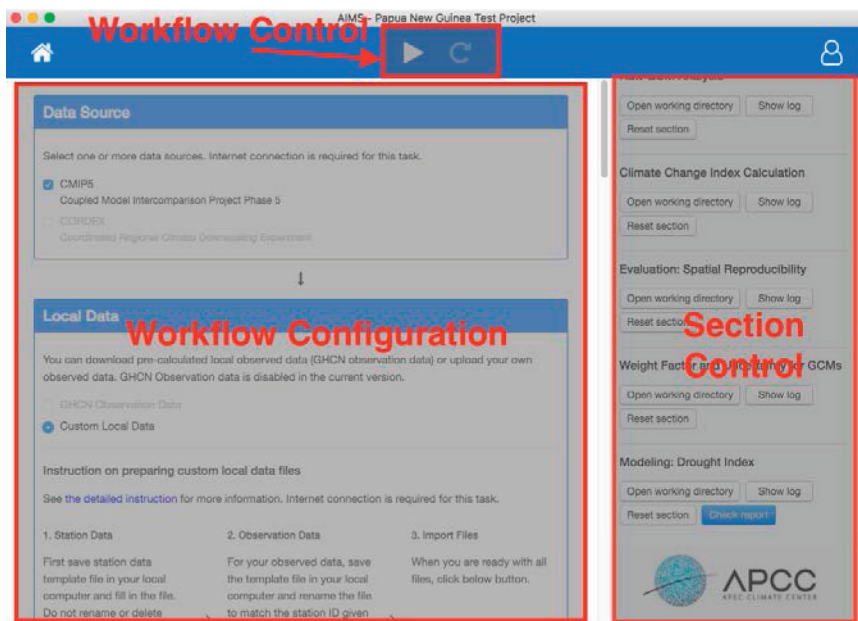


The screenshot shows a window titled "APCC Integrated Modeling Solution". Inside the window, there is a blue header bar. Below the header, the text "← New Project" is displayed. Underneath, the instruction "Enter the name of project." is shown. A text input field contains the text "Climate Change (Bhutan) 2017-7". At the bottom of the dialog, there is a blue button labeled "Create a new project".

Project Page

When a user selects a project or creates a new project, the Project Page is displayed. There are three parts of the Project Page:

1. Workflow Control
2. Workflow Configuration
3. Section Control



In the Workflow Control part, the user can press the play button at the top of the page to start the workflow. The user can stop and restart the workflow as well.

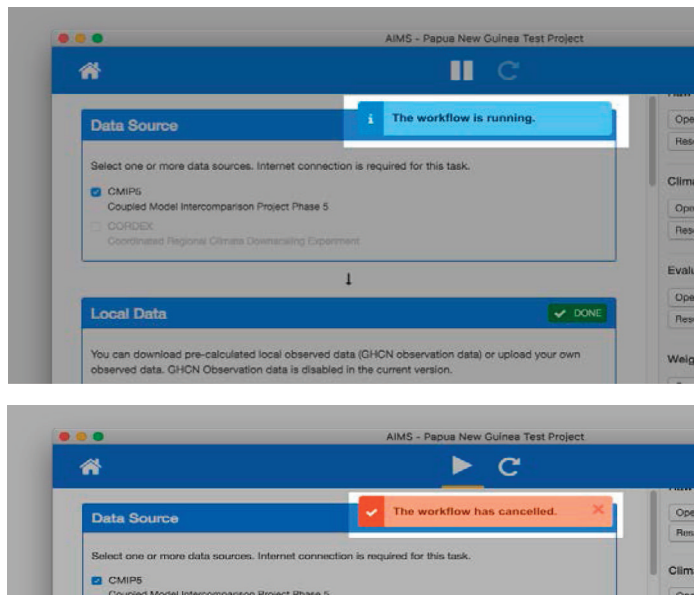
The Workflow Configuration consists of several Sections (or Cards). Each section represents one or more functions (usually closely tied to R script file (s)).

In the Section Control part, the user can perform section-specific tasks such as opening a working directory and exporting data files.

Notification

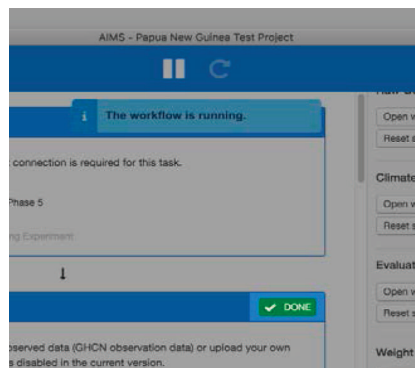
There are three workflow statuses, which show up as notification pop-ups.

- Running
- Cancelled
- Finished (not shown here)

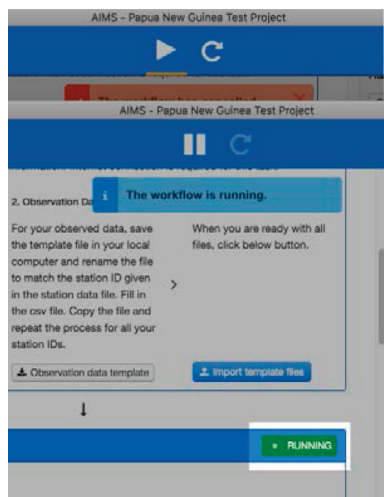
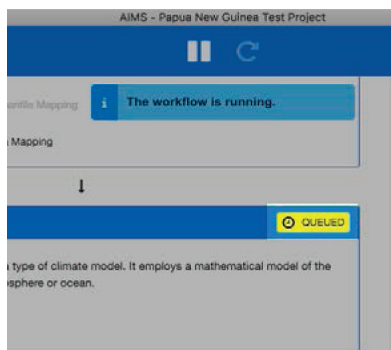


Each section can have five different statuses, and the status is shown as a tag in the section header. The statuses are as follows:

- Done: The workflow has finished running a specific section. The workflow will not run this section again as long as the status is Done.



- Queued: The workflow will run this section after the previous section is Done.
- Stopped: The user has stopped the workflow, and this section will not run.



- Running: This section is currently running.
- Will Re-Run: The user has changed the configuration in this section or in another section dependent on this section. The workflow will re-run this section next time.

Section Control Features

Here, the user can find extra functionalities for section configuration associated with it. The common features for control are:

- Show Log
- Reset Section
- Open Working Directory
- Check Report

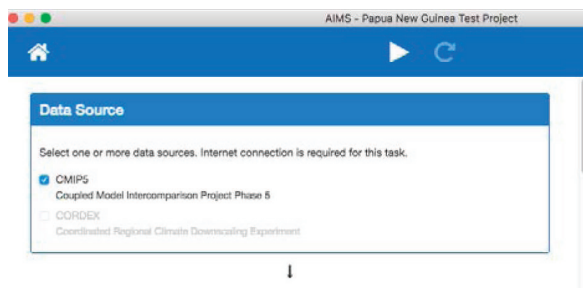
Please refer to the specific workflow configuration for the specific usage of these features.

Climate Change Project Sections

In this section, a project created with the “Climate Change” configuration is discussed in detail.

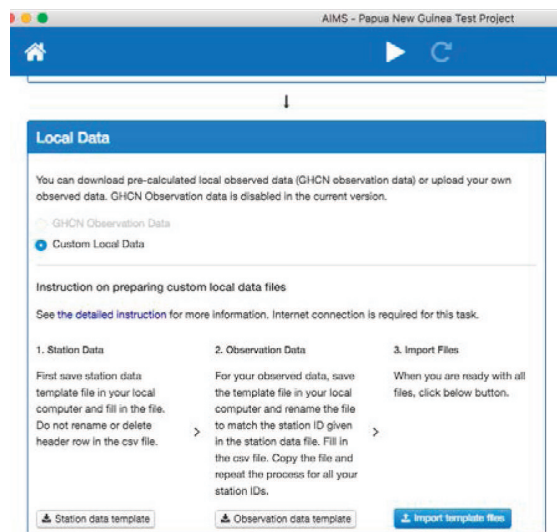
Section 1: Data Source

Currently, CMIP5 is the only external data source that AIMS software uses. The user must select CMIP5 to continue running the project.



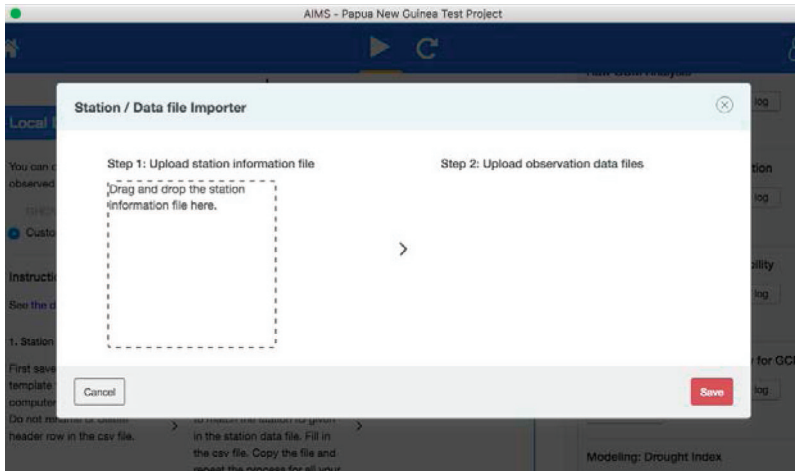
Section 2: Local Data

The user uploads local observation data and station information data files via this section. In this section, the uploaded files are simply copied to the specific directory.

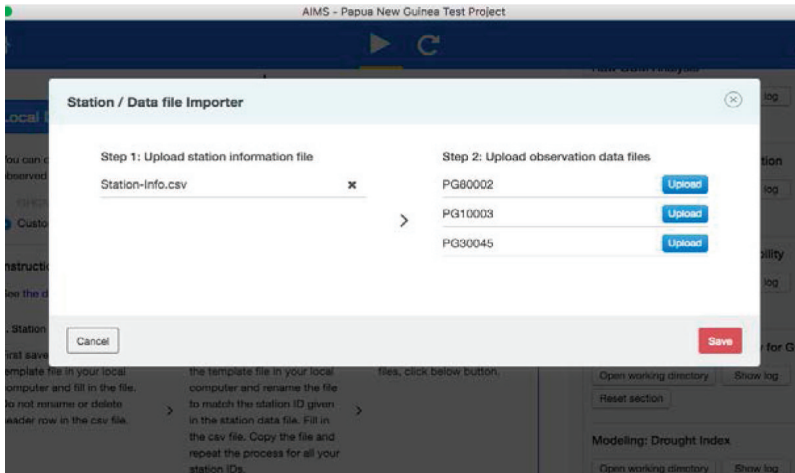


The workflow in this section does not run any R code.

Pop-up of Upload Station Data (station-info.csv) and Observation Data files:

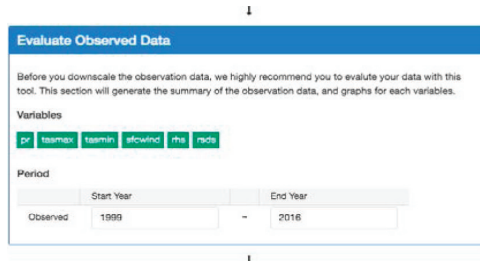


Display after a user has dragged and dropped the station file in Step 1:

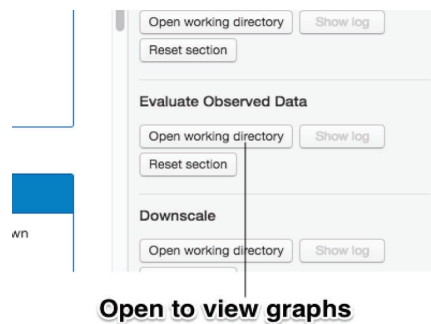


Section 3: Evaluate Observed Data

The user can evaluate uploaded observation data using a pre-defined statistics tool.



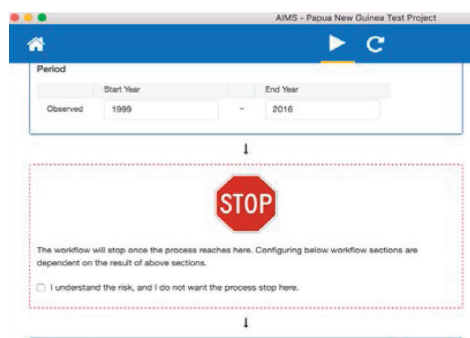
After running this section, the user can click on “Open working direction” on the control section on the right and view the graphs generated by statistical tools.



Section 4: Workflow Stop/GO

The workflow will stop here since it is recommended for a user to evaluate the given observation data.

A stop sign will be shown when the workflow stops. The workflow does not run any R code.



Section 5: Downscale

The user can choose from the following options in this section:

- GCM Names
- Scenario
- Variables
- Period
 - The user can add many years in the future (scenarios) using + and - buttons (shown below)
- Downscale Method

The workflow runs R codes when SQM is selected:

1. rSQM::Observed_Data_Summary
2. rSQM::DailyExtractAll
3. rSQM::DailyQMapAll

The workflow also runs an R code when SDQDM is selected:

1. rSDQDM::DailySDQDM

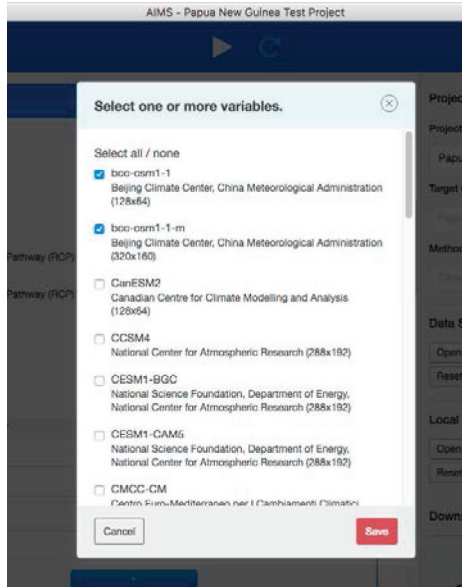
The screenshot shows a web application window titled "AIMS - Papua New Guinea Test Project". The main content area is titled "Downscale" and contains the following configuration options:

- GCM names:** Two buttons labeled "bcc-cam1-1" and "bcc-cam1-1-m".
- Scenario:** Two radio button options:
 - RCP4.5
Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 Scenarios
 - RCP8.5
Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 Scenarios
- Variables:** A single button labeled "pr".
- Period:** A table with columns for "Start Year" and "End Year".

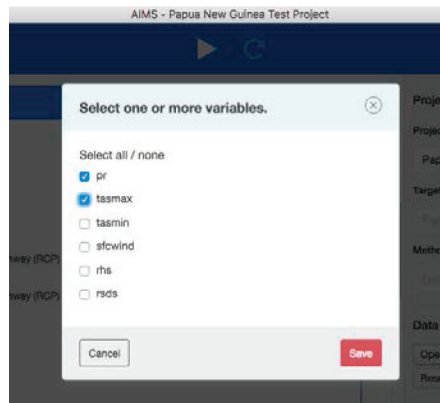
	Start Year		End Year
Observed	1979	-	2008
Historical (GCM)	1976	-	2005
Future (GCM)	2010	-	2039
	2040	-	2069

At the bottom of the form, there is a blue button with a "+" sign and a red button with a "-" sign.

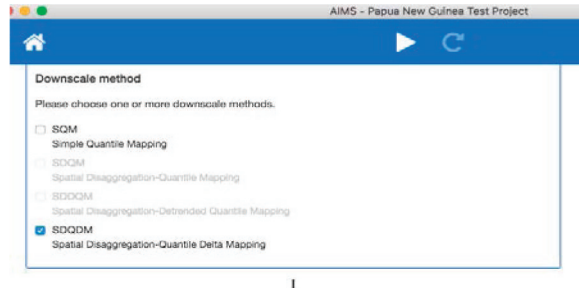
GCM name selection pop-up in downscale section:



Variable selection pop-up in downscale Section:



Downscale method selection in downscale section:

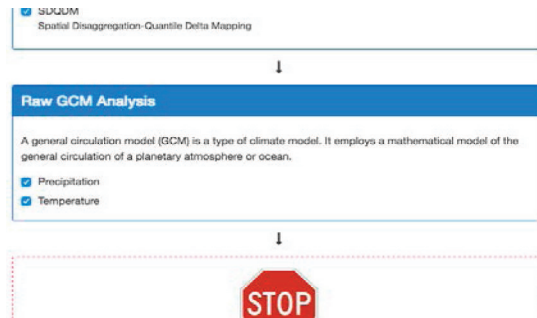


The SDQM and SDDQM selections are disabled for now.

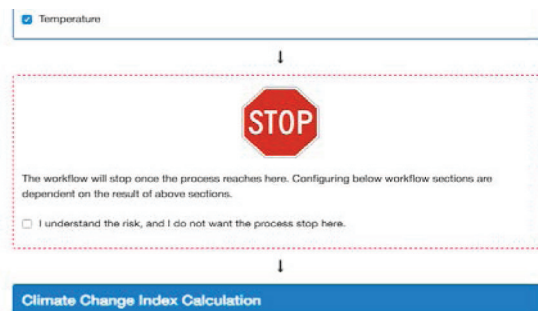
Section 6: Raw GCM Analysis

The user can analyze raw GCM data on Precipitation and/or Temperature. The workflow then runs the following R code:

1. `rAnalysis4CC::Evaluate_Raw_Gcms`



Section 7: Workflow Stop/GO

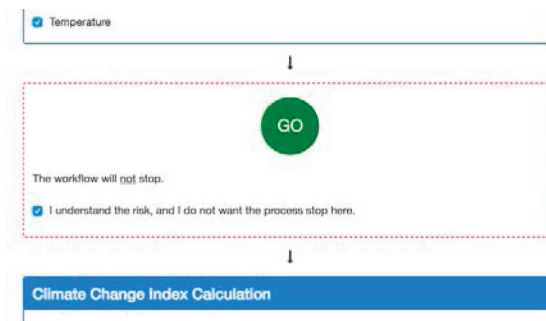


The workflow will stop here since the user has to decide which GCM names and other parameters to choose after the Raw GCM analysis.

A Stop sign will appear when the workflow stops.

The workflow does not run any R code.

A Go sign will appear when the workflow does not stop (either the workflow has finished all previous sections or the user indicates he does not want to stop by checking the disclaimer option below)

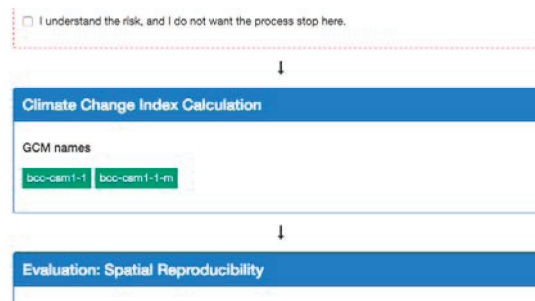


Section 8: Climate Change Index Calculation

The user can filter GCM names.

The workflow runs the following R codes:

1. rAnalysis4CC::Calculate_Cindex_Signal
2. rAnalysis4CC::Draw_Hist_Fut_Cindex_Graph

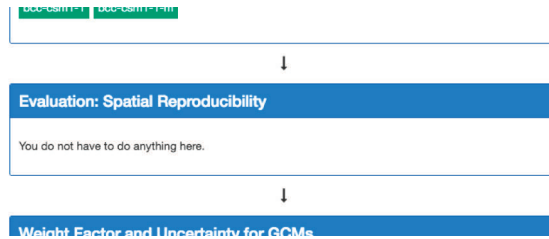


Section 9: Spatial Reproducibility Evaluation

No options available.

The workflow runs the following R code:

1. `rAnalysis4CC::Spatial_Reproducibility`

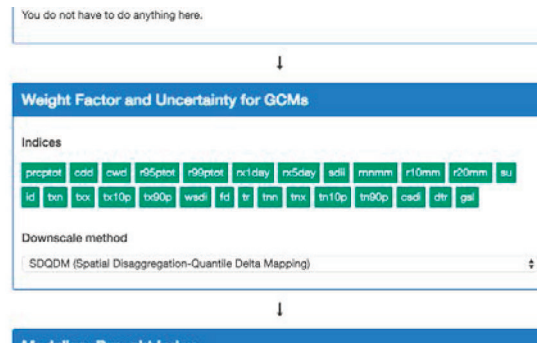


Section 10: Weight Factor and Uncertainty for GCMs

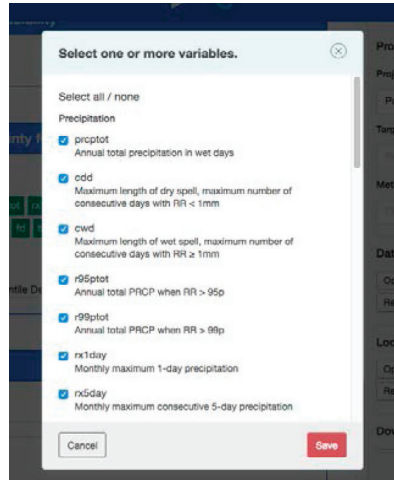
The user chooses one or more indices and a downscale method.

The workflow runs the following R codes:

1. `rAnalysis4CC::Calculate_Weight_Factor`
2. `rAnalysis4CC::Draw_Uncertainty_Range`



Pop-up of indices for Weight Factor and Uncertainty for GCMs



Section 11: Modeling

The user can choose one of the following:

- Modeling method
- GCM names
- Period
- Downscale method

Currently, Drought Index is the only option in the Modeling method.

The workflow runs the following R code when Drought Index is selected:

1. rdrought::EDI.CChange.Analysis

	Start Year		End Year
Calibration	1981	-	2010

Seasonal Forecast Project Sections

Section 1: Settings

Several parameters can be configured to run seasonal forecast analyses. Specific parameters are shown below:

AIMS - Seasonal Forecast 2017-11

Settings

Forecast issuing year
2017

Forecast issuing month
11

Forecast months
3

Temporal scale
hourly

Consider monthly combination?
 Include issuing year-month?

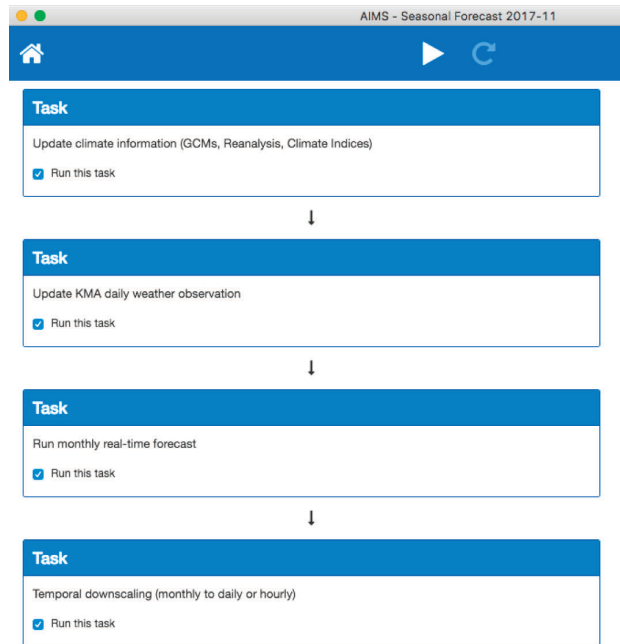
Methods

- Simple Bias Correction (SBC)
- Climate Index Regression (CIR)
- Moving Window Regression (MWR)
- Observation-based Moving Window Regression (MWR-Obs)



Section 2: Tasks

There are four runnable tasks the user can choose.



1. Update climate information (GCMs, Reanalysis, Climate Indices)
2. Update KMA daily weather observation
3. Run monthly real-time forecast
4. Temporal downscaling (monthly to daily or hourly)

The user can check or uncheck the “Run this task” checkbox to run or skip a specific task. By default, “Update KMA daily weather observation” is skipped (disabled), and the rest of the tasks are enabled to run.

부록 2: AIMS Technical Design Document

AIMS Desktop Application Technical Design Document

2017. 11



Table of Contents

Introduction	58
Design Considerations	58
Software Design	59
User Interface	59
• Node.js	59
• Electron	60
• React	60
• Redux	61
• Redux-Saga	61
Computation module	62
Installation Package	62
Code Structure	63
System Requirements	64

Introduction

AIMS = APCC Integrated Modeling Solution

NoteSquare Inc. is a software development company that specializes in algorithm optimization. The AIMS project was initiated by the APEC Climate Center (APCC) in early 2017. NoteSquare Inc. has obtained the software development contract. NoteSquare Inc. has been leading the development of AIMS since that time.

This document contains the technical specifications of the AIMS software application and describes how some of the technical features are implemented. For further inquiries regarding the technology used in the project, please contact NoteSquare Inc. directly via email: help@notesquare.co.kr.

Design Considerations

The primary purpose of the AIMS project is to create easy-to-use software for climate change researchers and other non-expert users.

First, the software must have a user-friendly interface. Current numerical analysis tools often contain complex source code that users must learn how to compile and execute in a terminal environment. In order to improve accessibility, AIMS provides tools that do not require users to have coding skills or advanced computer knowledge.

Second, the software should be expandable. The latest numerical analysis tools are typically limited to experts, and many researchers and non-researchers may struggle to use them. To shrink the gap between different user groups, AIMS must provide features to incorporate additional algorithms (or software) as modules. This will increase usage of the software and may encourage researchers to contribute additional modeling solutions to AIMS.

Finally, the software must provide a way to collect local user observation data. User data uploaded via the AIMS application should be collected in an online storage. Collecting data in standalone applications is difficult because the computer running the software may not have an internet connection. To prevent this issue, AIMS requires an internet connection whenever the application is running. Further explanation regarding this issue is provided in the following sections.

Software Design

User Interface

AIMS is designed to provide a user-friendly environment. In this age of web and mobile computing, users are accustomed to interacting with web pages, rather than standalone applications. Many complex software applications, such as word processors and video editing tools, are becoming increasingly web and mobile friendly.

To provide a familiar look and easy-to-use interface, many of the design elements in AIMS were adopted from popular websites. AIMS utilizes “card concepts” and “moving panels,” which are used in many websites and mobile applications. (Please refer to the Design Document for further design-related decisions made in this project). This project utilizes many web technologies to implement a web-like environment. Additional technologies utilized in this project are described below.

- Node.js

The primary computer programming language used in AIMS is Javascript. Javascript has proved its versatility for a wide range of computing applications. Although Javascript began as a simple scripting language for web browsers, it is now a full-fledged dynamic programming language that can do everything a traditional programming language can.

Additionally, with the addition of modern Javascript execution engines, such as Node.js, Javascript's performance has been improving steadily. The user interfaces in AIMS were largely built in Node.js. However, creating complex user interface software using a basic programming engine is not sufficient. In order to reduce development time and cost, NoteSquare Inc. utilizes the following open-source libraries. All of the open-source libraries used in AIMS are proven to work and do not prohibit the commercial use of AIMS or on any other purpose.

- Electron

AIMS bases its primary software framework on Electron. Electron is an open-source software framework developed and maintained by GitHub. It allows for the development of desktop applications using web components and technologies that are typically used for web applications. The advantages of using Electron include:

1. Software development time can be reduced in comparison to traditional GUI software.
2. It is easy to create software for multiple operating systems without separating projects for each environment.
3. Many advanced web technologies can be used in conjunction with Electron, thereby increasing the efficiency of the software.

The versatility of Electron enables AIMS to be a modular software. However, creating future-proof software is difficult. To create truly modular software, future updates and feature improvements should be easily incorporated. The following libraries are used in AIMS to lessen the burden of complex modularity problems.

- React

In addition to Electron, AIMS utilizes other state-of-the-art technologies, including React and Redux. React is a Javascript library maintained by Facebook. React allows developers to create large and complex applications using simple

and scalable patterns. Although React is typically utilized for Web applications, using React with the Electron framework is seamless because Electron acts as a web server running on a desktop computer.

React has a steep learning curve for traditional web and desktop application developers, but NoteSquare Inc. has many developers experienced in developing complex web and mobile software using React and React Native technology. We strongly recommend using combinations of React and the Electron framework for other desktop applications as well.

- **Redux**

Another notable Javascript library used in AIMS is Redux. Redux is also an open-source library designed to manage application states. Redux is based on Facebook's Flux library, which optimizes application states in React. With more diverse optimization techniques, Redux has integrated Flux and other tools to streamline software development using React. Using Redux for React software development has been standardized because Redux solves many problems inherent to React. NoteSquare Inc. has been using the Redux library for all of its React projects.

- **Redux-Saga**

Redux-Saga is yet another open-source Javascript library that makes the React application more useful and easier to understand. Redux-Saga makes asynchronous calls easier to manage, meaning applications become more efficient overall. Many user interface actions and executions are handled via Redux-Saga in AIMS. For detailed explanations of each libraries' inner-workings, please refer to the relevant individual Github project pages.

Computation Module

Although building complex user interface applications with these tools is easier than ever, Javascript's substandard efficiency for performing complex numerical analysis requires careful consideration. Because AIMS' models use state-of-the-art algorithms that may take several hours, or even several days to execute, Javascript is not an adequate programming language for the serious computations. To resolve this issue, AIMS utilizes a computation module that is separate from the user interface.

The algorithms and code used in AIMS are all provided by APCC. Most of the source code is written in the R programming language. There was a proposal to port some of the code in R to Python for future compatibility. However, APCC and NoteSquare Inc. decided to postpone porting until later because the scope of AIMS is largely focused on the user interface.

Running R code within a Javascript environment is performed by creating operating system-level processes for executing R code. Several techniques are utilized to achieve optimal performance. One is forking two or more R processes for execution in multiple threads. This enables the software to run in parallel, thereby improving overall performance.

Another technique used in AIMS is the reuse of R processes that have finished running. Instead of creating a new process every time R is required to run, reusing processes can increase overall system efficiency by avoiding expensive process creation. Many of these optimization techniques are experimental and may be disabled in software production releases for stability reasons.

Installation Package

Installing software is as important as using software. Creating an easy-to-use installation package was an important requirement for AIMS. AIMS builds its installation package using Electron's native build mechanism. The installation process has been tested on numerous systems ranging from Microsoft Windows 7 to Windows 10 in both 32-bit and 64-bit environments.

Code Structure

User interface code is stored in the following directory structure. Only meaningful directories are shown here.

<i>./app</i>	All Electron, React, and Redux code resides here
<i>./app/containers</i>	React's smart components
<i>./app/components</i>	React's dumb components
<i>./app/configs</i>	All configuration files for both development and production
<i>./app/images</i>	Image files used in the AIMS software
<i>./app/methods</i>	APCC's numerical analysis algorithms are stored here
<i>./app/methods/climatechange@1</i>	APCC's climate change model
<i>./app/methods/sforecast@1</i>	APCC's seasonal forecasting model
<i>./lib</i>	Third-party library files used when building installation packages
<i>./lib/winia32</i>	Library files for the Microsoft Windows 32-bit environment
<i>./lib/winx64</i>	Library files for the Microsoft Windows 64-bit environment

For more detailed explanations of these directories, please refer to the comments in each source code file.

System Requirements

- Windows 7 or higher 64-bit (a 32-bit system can be used, but a 64-bit system is highly recommended)
- 8 GB RAM
- 200 GB disk space
- A fast internet connection (AIMS downloads large amounts of data from the internet and slow network speed impacts overall computation time significantly)

【연구자】

조재필 선임연구원

정임국 연구원

조원일 연구원

강대인 연구원

이준혁 (주)노트스퀘어 대표

연구보고서 2017-16

APCC 계절예측 및 기후변화 시나리오 통계적 상세화 플랫폼 개발

I S B N 979-11-5698-206-7

발 행 2018년 3월

발 행 인 정 홍 상

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.