

APEC기후센터

계절예측 정보를 활용한 통합 수문·수질 장기 예측 기술 개발

조재필 기후변화연구팀

APEC기후센터
연구보고서

계절예측 정보를 활용한 통합 수문·수질 장기 예측 기술 개발

Development of Integrated Methods for Long-term Water Quantity and
Quality Prediction Using Seasonal Climate Prediction

조재필 기후변화연구팀

연구보고서 2015-13

발간사

최근 지구 온난화에 따른 홍수 및 가뭄과 같은 극한 기상 현상의 반복은 수자원에도 직·간접적으로 영향을 미치고 있습니다. 이에 수자원 관리는 이미 발생한 문제를 수습하는 것이 아니라 발생 가능한 문제를 사전에 예방하려는 방향으로 전환되고 있으며, 이로 인하여 장기 기후예측 자료의 필요성이 증가하고 있는 상황입니다. 하지만, 사전 예방적 수질 관리를 위한 장기 예측 정보의 높은 활용 가능성에도 불구하고 장기 기후예측 정보가 실제 의사결정에 사용하는 경우는 국내외에서 사례를 찾기 어려운 실정입니다. 장기 기후예측정보의 낮은 활용도는 예측 정보의 높은 불확실성으로 인한 낮은 신뢰도뿐만 아니라 요구되는 자료와 실제 제공되는 자료 사이에 존재하는 시·공간적 규모의 차이에 기인합니다.

이에 본 연구에서는 APEC기후센터의 기후예측 자료와 관측기반 기후정보를 사용하여 통수문·수질의 장기 예측을 위해 필요한 시·공간적 상세화 등 기반 기술을 개발하였고 개발된 기술의 예측성을 평가하였습니다. 또한 수자원 분야 전문가 설문조사를 통해 향후 수질관리를 위한 장기 기후예측 정보의 활용 가능성을 제시하고 관련된 정책을 제안하였습니다. 특히 농업용 저수지 및 다목적댐의 상류 유입량 등 수문 예측에 더하여 중권역 및 낙동강 본류에서의 수질 예측을 통하여 통합 수문·수질의 장기 예측을 위한 상세화 기법의 예측성을 평가하였습니다. 최종적으로 의사결정을 위한 수질 확률예보를 위해서 다양한 기후 정보, 상세화 방법, 수질 예측 방법을 고려한 통합 기법을 제시하였습니다. 또한 전문가 설문조사는 장기 기후예측 정보의 높은 활용 가능성과 이와 비교하여 낮은 실제 활용도의 결과를 보여 주었는데, 이는 향후 장기 기후예측 정보의 예측성 향상을 위한 지속적인 연구의 필요성을 보여 주었습니다. 이와 같은 장기기후예측을 활용한 서비스는 수질관리부문에 있어서 장기적인 사전예방대책 마련에 기여할 것으로 판단되며 비점오염 부하량 사전 관리, 수환경 관리시설 의사결정, 수량·수질 통합관리 등에 활용될 수 있을 것입니다.

본 연구는 조재필 박사에게 의해 수행되었으며, 연구 과정에서 귀중한 조언을 아끼지 않으신 한국건설기술연구원 김승 박사님, 서울대학교 최지용 교수님, 한국농어촌공사 이태호 차장님, K-water 김태국 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 본 연구가 사전적 예방 차원의 장기 기후예측 정보의 활용을 위한 향후 연구 및 이와 관련된 실질적인 정책 마련을 위한 시금석이 되기를 기대합니다.

2015. 3월
APEC 기후센터 소장
정진승

ABSTRACT

As various economic activity is complicated and the industrial sectors affected by the climate is increased, the use of long-term climate prediction data for designing proactive planning in the sectors of society has increased. Direction within the water resource management was already converted to prevent the potential problems in advance rather than to correct the problems caused by extreme climate. Despite the high usability of the long-term prediction information for proactive water quality management, it is difficult to find examples of utilization of a long-term water quality prediction material to the actual decision-making both in Korea and abroad. Low utilization in the field of such aggressive water quality control is due to the low reliability caused by the high uncertainty of long-term prediction. Further, the difference in the spatio-temporal scale between the long-term climatic prediction data that is actually provided and the prediction information required for water quality management can be an indirect cause of low utilization of the long-term climate prediction data. In this study, we developed the basic technologies for spatial and temporal downscaling technology necessary for long-term prediction of integrated streamflow and water quality and evaluated the predictability of technology that has been developed. In addition, we suggested the policy as well as possible approach for utilization of long-term climate prediction information for water quality management.

Three different downscaling methods in accordance with the degree of utilizing long-term climate prediction information were developed in order to improve the predictability and refine the spatial scale. They include: 1) Simple Bias Correction (SBC) method which directly uses long-term climate prediction data, 2) Moving Window Regression (MWR) method which indirectly utilizes long-term prediction data, 3) Climate Index Regression (CIR) method which mainly uses the observation-based climate information and additionally take advantage of the long-term prediction data. Temporal downscaling can be conducted based on the monthly downscaled prediction data (e.g. monthly precipitation and average temperature) generated using

SBC, MWR, and CIR methods. The temporal downscaling method was developed based on the Mahalanobis distance which determines the closest year and month from past observations data by comparing to the monthly prediction data. Among three spatial downscaling methods developed, CIR method based on the observed climate information was most reliable in predicting the monthly average temperature and precipitation during all the period.

In the evaluation of the long-term predictability of climate prediction information through the application to the water quantity and quality management, predictability for inflow of agricultural reservoir, inflow of multipurpose dam, water quality at the medium-size watershed, and water quality in the mainstream of Nakdong River was assessed. Compared to the simulated inflow using the observation climate data, simulated inflow using predicted climate data by SBC, MWR, and CIR method within the three agricultural reservoirs with the capacity of more than 1 million tons in Nakdong River basin was analyzed. It showed results similar to those of the evaluation of the predictability of three downscaling methods. That is, the CIR method showed higher and the most reliable predictability, compared to the SBC and MWR methods. In the case of inflow prediction that targets Andong multi-purpose dam, approaches including 1) observation-based method which predicts the inflow amount based on the observation data without long-term climate prediction information, 2) modeling-based method which uses the long-term climate prediction information as model input, and 3) teleconnection-based statistical method were compared. Statistical prediction method based on the teleconnection showed the highest predictability among the three methods for all periods with the exception of December, in which predicted results were similar to each other. Long-term predictability of water quality within the Wecheon medium-size watershed within the Nakdong River basin was evaluated by comparing the modeling-based approach and teleconnection-based statistical approach. In the case

of statistical method, results of long-term water quality prediction for the six constituents at three stations showed appropriate predictability: 89%, 72%, 83%, 89%, 72%, 61% of all cases (12 months × 6 constituents × 3 stations) respectively for water temperature, BOD, TN, TP, SS, and chlorophyll-a showed significant correlation coefficient which is higher than the critical value at 0.05 of significant level. According to the provisions of water quality prediction and response measures, long-term water quality predictability in the Nakdong River mainstream was evaluated by using 3-month lead-time climate prediction data generated in February, May, August, and November as model input of the HSPF-EFDC modeling system. The results revealed that water temperature showed the highest predictability and followed by TN, chlorophyll-a, and TP in the order. When compared to the results predicted using the observed climate data as model input, water quality results based on climate prediction data for all constituents showed the significant correlation coefficients higher than the critical values at 0.05 of significant level. Finally, we presented an integrated approach that takes into account various climate information, downscaling methods, and water quality prediction methods for the probabilistic prediction of water quality which can be used for the decision-making.

Survey through various water-related agencies showed that percentage of actual utilization of long-term climate prediction data was lower than that of the potential utilization by showing 50% and 70%, respectively. It was revealed that low usability was due to the low reliability of the prediction data. There was no positive response to the question on reliability of the prediction data by showing equal percent of neutral and negative responses. Also, it was found that improvement of user's convenience related to the spatio-temporal scale and file format of the long-term prediction data are necessary. Services that utilize long-term climate prediction can be used for the long-term preventive measures in water quality management including 1) prevention of non-point source pollution load, 2) decision-making for the

management of the water environment and quality related facilities, and 3) integrated management of water quantity and quality. Amendment of the provisions of water quality prediction and response measures regarding to the definition of water quality prediction, predicting water quality constituents, target area, announcement, and configuration of the water quality council was suggested as a legal and institutional approach for long-term water quality prediction. In addition, legal and institutional improvement in the higher level law was recommended in order to take advantage of the long-term prediction information for the preservation of ecology and water quality. It was also proposed that content on the application of various water quality management techniques which utilize the long-term climate prediction information for the prevention purpose should be added to the guidelines and plan for the water and environment management. About the construction of the long-term water quality prediction system, GIS-based prediction system was suggested for the improved utilization of spatial information such as spatial distribution of pollutant sources and past water quality trend related to water quality management as proactive response and preventive measures.

Keywords: Seasonal Forecast, Long-term Prediction, Water Quality, Downscaling, Climate Index, Multi-Model Ensemble (MME), Teleconnection

핵심용어: 계절예측, 수질, 상세화, 기후인자, 다중모형앙상블, 원격상관

목차

한반도 여름철 기온 예측을 위한 경험적 모델 연구

발간사	i
ABSTRACT	iii
1. 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구의 목적	3
1.3 연구의 방법 및 범위	4
2. 장기 기후예측 자료 활용 국내외 사례 조사	7
2.1 해외 사례	7
2.1.1 미국	7
2.1.2 호주	15
2.2 국내 사례	18
2.2.1 장기 기후예측	18
2.2.2 장기 수량/가뭄 예보	21
2.2.3 장기 수질 예보	23
3. 연구 재료 및 방법	25
3.1 대상 지역	25
3.2 사용 모형	27
3.2.1 SWAT	27
3.2.2 EFDC	28
3.3 연구 방법	29
3.3.1 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발	29
3.3.2 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 예측성 평가	31
3.3.3 장기 수문/수질예측성 평가	33
3.3.4 통합 수질예측 기법 개발	43
3.3.5 기후정보의 사용자 수요 조사	43

4. 연구결과	45
4.1 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발	45
4.1.1 Simple Bias Correction(SBC) Method	46
4.1.2 Moving Window Regression(MWR) Method	49
4.1.3 Climate Index Regression(CIR) Method	53
4.1.4 일 자료 생성을 위한 시간적 상세화	57
4.2 장기 기후예측 상세화 자료의 예측성 평가	59
4.2.1 Simple Bias Correction Method	59
4.2.2 Moving Window Regression Method	64
4.2.3 Climate Index Regression Method	68
4.2.4 상세화 방법에 따른 월별 예측성능 비교	72
4.2.5 선행예측기간에 따른 예측성 평가	76
4.2.6 월별 예측 정보의 누적 기간에 따른 예측성 평가	79
4.2.7 공간 규모에 따른 예측성 평가	80
4.3 장기 수문/수질예측성 평가	82
4.3.1 장기 예측 자료의 농업용 저수지 상류 유입량 예측성 평가	82
4.3.2 장기 예측 자료의 다목적 댐 유입량 예측성 평가	88
4.3.3 장기 예측 자료의 중권역 유역 수질예측성 평가	97
4.3.4 장기 예측 자료의 낙동강 본류 수질예측성 평가	111
4.4 통합 수질예측 기법 개발	117
4.5 기후 정보의 사용자 수요조사	121
5. 정책제언	129
5.1 장기 수질예보의 효용성 확산	129
5.2 장기 수질예보를 위한 법·제도 개선	131
5.3 장기 수질예보 시스템 구축	137
6. 결론	139
REFERENCES	147
부록 1. 기후예측 정보를 고려한 수질관리 정책제언을 위한 전문가 설문조사	151

1. 설문조사서	151
2. 기후정보의 사용자 수요 조사 결과	160
2.1 단기/중기 예측 정보 수요조사	162
2.2 장기에측 정보 수요조사	173
2.3 기후변화시나리오자료수요조사	185
부록 2. 장기 기후예측 상세화 틀	194
1. R기반 프로그램 사용 방법	194
2. 상세화 틀 Function 리스트 및 설명	197

1. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 지구 온난화에 따른 전 지구적 기후변화에 따라 극심한 가뭄 및 홍수 등 극한 기상 현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 발생 강도 또한 증가하고 있다. 이러한 홍수 및 가뭄과 같은 극한 기상 현상이 반복되는 경우 사회의 다양한 분야에 걸쳐 영향을 미치게 된다. 이러한 기상의 변화는 수자원에도 직·간접적으로 영향을 미치며 공공수역의 수질상황 또한 이상 고온 또는 저온, 강수량의 상대적인 증가 혹은 감소에 의해 크게 영향을 받는다.

각종 경제활동이 복잡해지고 기후 영향을 받는 산업부문이 증가함에 따라 월 및 계절단위의 기상·기후예측 정보에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 각종 재해 및 사회활동에 있어 사전적 대응이 중요하게 부각되고 있기 때문이며, 이로 인하여 사회 각 부문에서 장기 기후예측 자료의 활용성이 증가하고 있다. 특히 기후에 직접적 영향을 받는 수자원의 관리에 있어서도 극한 기후에 의하여 이미 발생한 문제를 수습하는 것이 아니라 발생 가능한 문제에 대해 사전에 예방하는 방향으로 전환되고 있다(최지용 등, 2006). 사회적으로 관심을 받고 있는 녹조 발생의 경우에도 녹조 발생 이후에 응집제, 산화제, 황토 등의 사후 처리를 위한 기술에는 많은 비용을 필요로 하며 잔류 화학물질에 의한 생태적 피해 등 문제점이 발생할 수 있으므로 앞으로는 수질관련 의사결정 단계에서 예측 정보를 효과적으로 활용하는 사전예방 위주의 대책으로 전환이 필요하다.

기상청에서는 일기예보를 예측 시간에 따라서 초단기, 단기, 중기, 장기로 구분 한다(한국기상학회 및 기상청, 2014). 단기예보는 갑작스런 집중호우로 인한 홍수 등 치수 측

1) 초단기는 예보시간을 12시간까지, 단기예보는 12시간(0.5일)에서 60시간(2.5일)까지, 중기예보는 72시간(3일)에서 240시간(10일)까지, 장기예보는 10일 이후의 일기예보와 계절예보를 목표로 하고 있다. 국제적으로 예보속련도가 향상됨에 따라 단기예보는 72시간까지 연장하는 경향이며, 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)도 단기예보를 12시간에서 72시간까지로 정하였다. 하지만, 정의에 포함된 기간은 절대적이지 않다. 기상청이 발표하는 장기예보로는 1개월 및 3개월 기상전망이 있다.

면에서 활용도가 높은 반면에, 월 및 계절 단위의 장기예보의 경우는 가뭄에 대비하고 안정적인 용수 공급을 위한 물관리의 이수 측면에서 활용도가 매우 높다. 이와 같은 기상예측 정보는 국내의 수량 및 수질 분야의 예보를 위해 사용될 수 있다. 우리나라의 수질예보는 환경부의 「수질예보 및 대응조치에 관한 규정」에서 7일 시간간격의 단기예보와 3개월의 장기예보로 구분하고 있다. 단기 수질예보는 일상생활이나 위락 및 당장 닦쳐올 수질 실태에 대한 대응 방안 마련 등 방재에 목적을 두고 있는 반면, 장기 수질예보는 유역관리 측면에서 볼 때 다양한 수질관리기법의 적용을 통한 사전 예방적 측면에서 가치가 더욱 크다(국립환경과학원, 2013). 강우 시 유역의 오염원이 하천으로 유입되어 최종적인 수질 문제로 발현되는 비점원오염과 같이 원인제공에서 수질로 발현되기까지 장기간이 소요되는 경우, 장기예보를 통한 사전예방의 중요성에 대한 인식이 커지고 있다(최지용 등, 2006). 또한, 4대강 사업이후 확보된 수자원을 효율적으로 관리하기 위한 사전 예방적인 수질관리를 위해서도 유용한 수단으로 활용될 수 있다. 따라서 장기적인 측면에서 수질에 미치는 현상의 시·공간적 분포와 오염도를 예측하여 사전에 관리한다면 수질변화에 대한 이해와 재해 예방은 물론 막대한 규모의 사회·경제적 손실을 줄이는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

하지만, 사전 예방적 수질 관리를 위한 장기 예측 정보의 높은 활용성에도 불구하고 실제 의사결정에 장기 수질예보 자료를 사용하는 경우는 국내외에서 사례를 찾기 어려운 실정이다. 국내의 경우 수질통합관리센터에서는 7일 단위의 단기 수질예보를 4대강 보 중심의 분류 지점에서 수온 및 클로로필-a 농도를 예보하고 있다. 국외에서도 체사픽 만에서의 Chesapeake Bay Forecasting System 연구를 통하여 기상-유역-하구를 연계한 장기 수질예보 시스템 개발을 목적으로 하는 시도가 있으나(Meng et al., 2010; Xu et al., 2012) 실제 수질관리를 위한 의사결정에는 사용되고 있지 않은 실정이다²⁾. 이와 같은 사전 예방적 수질관리 분야에서의 낮은 활용도는 장기예보의 높은 불확실성으로 인한 낮은 신뢰도에 기인한다. 즉 전 세계적으로 진행되고 있는 기후변화의 영향으로 과거와는 다른 형태의 이상기후 현상이 지구촌 곳곳에서 나타나고 있기 때문에 장기예

2) <http://www.cbfs.umd.edu/>

보를 통한 이상기후 현상의 예측 불확실성은 점차 커지고 있고, 이를 바탕으로 한 수질 예보 역시 큰 어려움이 있는 것이 사실이다. 또한 지구 온난화에 따른 기후변화로 극단적인 이상기후의 발생빈도가 앞으로 더욱 증가할 것으로 전망되고 있다. 이는 앞으로 안정적인 수질관리에도 커다란 위협 요인으로 작용할 가능성이 높고, 수질예보 및 관리에 있어서 새로운 도전으로 여겨지고 있다. 예측 정보의 높은 불확실성에 더하여 수질관리를 위해 요구되는 자료와 실제 제공되는 장기 기후예측 자료 사이에 존재하는 시·공간적 규모의 차이 또한 장기 수질예측 자료의 낮은 활용도의 간접적인 원인이 될 수 있다. 따라서 장기 기후예측 정보를 유역 규모의 수질관리를 위해 활용하기 위해서는 시·공간적 상세화(downscaling)를 위한 기법의 개발이 필요하다.

APEC기후센터(APEC Climate Center, APCC)에서는 2014년 현재 16개 기관으로부터 생성되는 예측 정보를 매달 제공 받아 자체 개발된 Multi-Model Ensemble(MME)기법을 이용하여 가공 생산된 6개월 선행예측기간(lead time)을 가지는 예측 정보를 2.5° 격자로 전 지구에 대하여 제공하고 있다(Min et al., 2009; 김형진, 2014). MME는 개별 기후모형이 갖고 있는 계통오차(Systematic error)를 앙상블 기법을 통하여 상쇄하는 것을 목적으로 하며, 일반적으로 개별 기후모형 기반의 장기 예측과 비교하여 MME 기반의 예측 자료의 예측성이 높은 것으로 알려져 있다(Krishnamurti et al., 1999; Peng et al., 2002; Palmer et al., 2004). APCC MME 계절예측 자료를 사용한 국내 연구로는 통계학적 상세화 방법을 이용하여 국내 가뭄에 대한 연구가 있으나(Sohn et al., 2013a; Sohn et al., 2013b; 강부식과 문수진, 2011) 수질관리 분야에의 적용성은 평가된 사례가 없다.

1.2 연구의 목적

따라서 본 연구는 통합 수문·수질의 장기 예측을 위해 필요한 시·공간적 상세화 기술을 포함한 기반 기술을 개발하여 개발된 기술의 예측성을 평가하고 향후 수질관리를 위한 장기 기후예측 정보의 활용 가능성을 제시하고 관련된 정책 제언을 하는 것을 목적으로 하고 있다.

통합 수문·수질의 장기 예측 기법의 활용은 국토교통부, 환경부, 농림축산식품부가

공동으로 발표한 『수질·녹조 대비 댐-보-저수지 연계 운영기준』과 관련하여 의사결정에 활용하는 것을 최종 목적으로 한다. 연계 운영기준과 관련하여 유역 내에서 고려되어야 하는 개별 항목들로는 수량의 측면에서 다목적 댐과 농업용 저수지가 있으며 수질의 측면에서는 상류 유역으로부터 지류를 통해 4대강 본류로 유입되는 오염부하량과 본류 구간에서의 수질예측이 포함되어야 한다. 현재 각 항목별 주요 관리 주체인 수자원공사, 농어촌공사, 국립환경과학원의 경우 장기 기후예측 자료가 없는 조건에서 수량/수질을 관리하고 있다. 따라서 본 연구에서는 향후 통합 수문·수질의 장기 예측을 위해 필요한 장기 기후예측 자료의 시·공간적 상세화 기술을 개발하고 이를 통해 생산되는 예측 자료를 연계 운영의 개별 항목들인 농업용 저수지의 유입량, 다목적 댐의 유입량, 지류에서의 수질, 본류에서의 수질 등에 적용하여 예측성을 평가하고자 하였다.

1.3 연구의 방법 및 범위

본 연구는 <Fig. 1>과 같이 통합 수질관리를 위한 정책제언을 최종 목표로 6개의 소주제로 구성되어 있다: 1) 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발, 2) 개발된 상세화 기법의 예측성 평가, 3) 상세화 된 자료를 유역 수문·수질 모델링에 적용함으로써 장기 수문·수질예측성 평가, 4) 통합 수질예측 기법 개발, 5) 기후정보 사용자 설문조사, 6) 장기 수질예측을 위한 정책제언

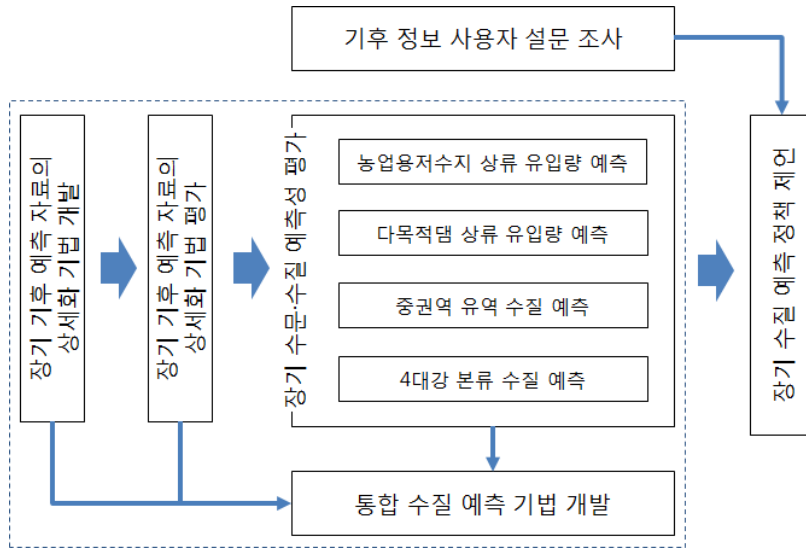


Figure 1. 세부 연구 항목 구성도

사용자 설문조사 및 정책제언을 제외한 4개 세부 항목(〈Fig. 1〉의 점선 영역)을 기후 정보를 중심으로 보다 자세히 살펴보면 〈Fig. 2〉와 같다.

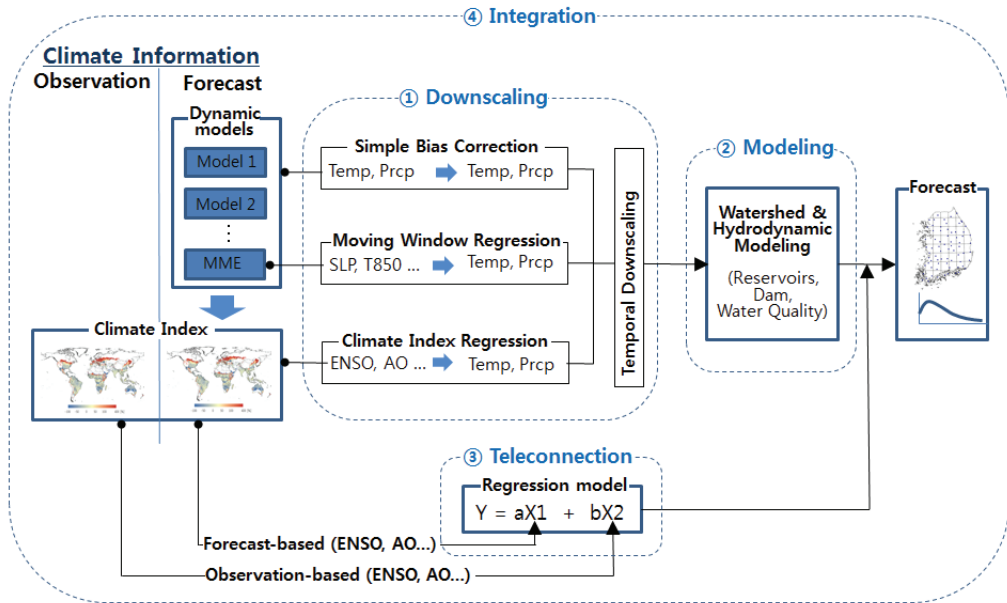


Figure 2. 계절예측 정보 중심의 장기 예측 기법 개발 및 평가를 위한 연구 흐름도

통합 수질예측 기법 개발은 4개의 세부 내용으로 나누어 접근하였다.

“① Downscaling” 항목에서는 역학적 예측모형 기반의 장기 기후예측 정보에 대한 의존도에 따라서 서로 다른 3개의 상세화 방법을 개발하고 각각의 상세화 방법에 대한 예측성 평가와 종합적인 비교를 수행한다. “② Modeling” 항목에서는 앞에서 생산된 상세화 된 예측 자료를 모형의 입력 자료로 활용하여 농업용 저수지 유입량 예측, 다목적댐 유입량 예측, 지류 하천에서의 수질예측, 4대강 본류 구간에서의 수질예측 등 다양한 조건에서의 예측성을 평가한다. “③ Teleconnection” 항목에서는 복잡한 모델링 없이 원격상관 기반의 통계학적 접근 방법만을 사용하여 유량과 수질을 예측하여 예측성을 평가한다. 최종적으로 “④ Integration” 항목에서는 모델링 기반 접근 방법 및 원격상관 기반 통계적 접근 방법들의 장점을 고려할 수 있는 연계 방법을 제안함으로써 수질 계절예측에 있어서 모델링 방법만을 활용할 때 발생할 수 있는 제한 사항을 극복하는 것을 목적으로 한다.

수요자 설문조사는 유량 및 수질 관련 국내 수자원 전문가들을 대상으로 계절예측 정보를 포함한 기후정보에 대한 수요 및 활용 방안을 조사하여 최종적으로 수요자 기반의 정책제언을 도출하는데 활용하는 것을 목적으로 한다.

보고서의 구성은 수량·수질의 장기 예측과 관련하여 국내외 연구 동향과 사례조사를 2장에서 별도로 다루었고, 3장에서는 연구 대상지역, 사용 모형, 연구 방법에 대해서 설명하였다. Fig. 1에서 언급한 6개 항목 중 「장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발」은 4장 1절에, 「장기 기후예측 자료의 상세화 기법의 예측성 평가」는 4장 2절에, 「장기 수문·수질예측성 평가」는 4장 3절에, 「통합 수질예측 기법 개발」은 4장 4절, 「기후정보의 사용자 수요조사」는 4장 5절에, 「장기 수질예측 활용을 위한 정책제언」은 5장에 포함되어 있다. 부록 1에는 설문조사의 모든 항목에 대한 분석 결과를, 부록 2에는 장기 기후예측 자료의 상세화 기법의 실용화를 위해 개발된 Tool에 대한 설명을 추가하였다.

2. 장기 기후예측 자료 활용 국내외 사례 조사

2.1 해외 사례

2.1.1 미국

미국의 Climate Prediction Center(CPC)에서는 북미 다중모형 앙상블(North American Multi-Model Ensemble, NMME) 계절예측 시스템을 통하여 월별 및 3개월 평균 장기 예측 자료를 향후 7개월에 대하여 제공하고 있다. NMME는 미국의 National Centers for Environmental Prediction(NCEP), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Laboratory(GFDL), International Research Institute(IRI), National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Aeronautics and Space Administration(NASA) 및 캐나다의 CMC를 포함한 모델링 센터의 결합

모형들로 구성되어 있는 계절예측 시스템이다. 2011년 1단계 프로젝트가 수행되었고 현재 진행 중인 2단계 프로젝트를 통해 월별 실시간 자료는 CPC ftp 사이트³⁾를 통해 제공하고 있고, 과거 기간에 대한 자료는 IRI 웹사이트⁴⁾를 통해 제공하고 있다. 실시간 장기 기후예측 자료의 경우 해수면온도(SST), 지상 2m기온(t2m), 강수량(precipitation), 200mb geopotential height, 최고온도(tmax), 최저온도(tmin), 토양수분(soil moisture), 유출량(runoff) 등의 변수들이 제공된다. <Fig. 3>은 CPC에서 제공하는 NMME 참여모형에 의한 향후 6개월 기온 전망을 보여 주고 있다.

Lead 6 tmp2m forecast

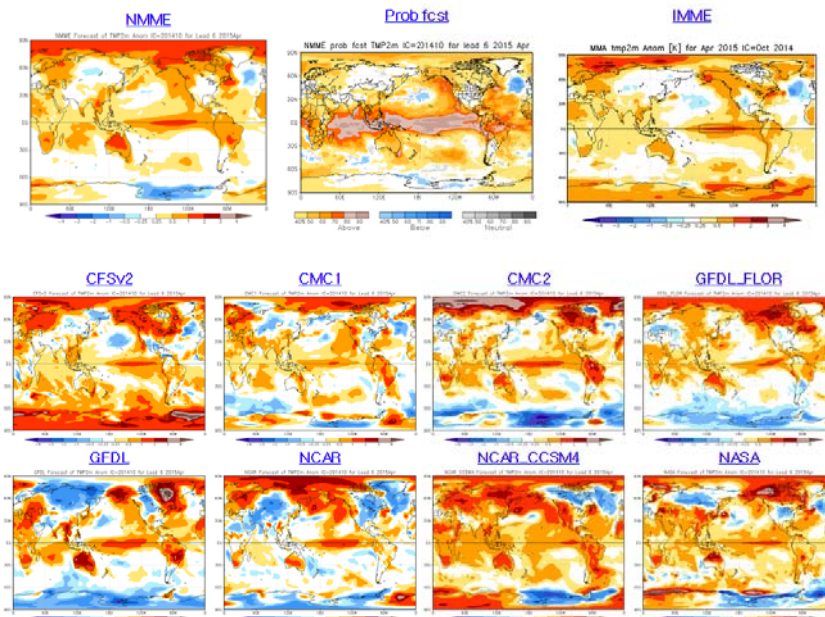


Figure 3. NMME 참여 모형에 의한 향후 6개월 기온 전망 예

3) ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/NMME/realtime_anom/

4) <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Models/.NMME/>

또한 CPC에서는 <Fig. 4>와 같이 북미 지역의 강수와 온도에 대하여 다양한 자료를 취합하여 정량적으로 도출된 1개월 및 3개월 확률 예측 정보를 동일한 확률(EC), 평균보다 높음(A), 평균과 비슷함(N), 평균보다 낮음(B)의 4개 구간으로 제공하고 있다.

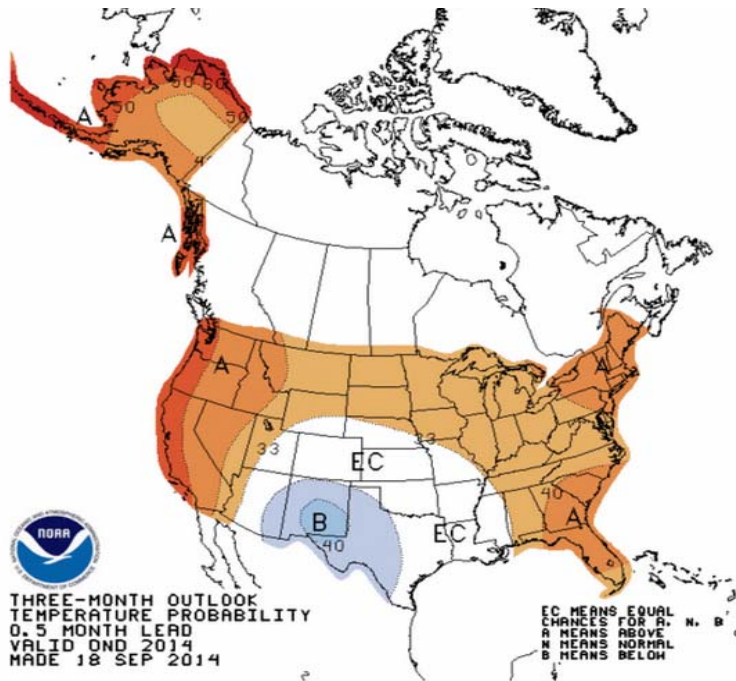


Figure 4. 미국 CPC의 3개월 기온 예측 예(예측 시점: 2014년 9월 18일)

장기 유량 예측의 경우를 살펴보면, 미국 농무부 산하 NRCS(Natural Resources Conservation Service)에서는 미국 서부 지역의 영농 기간에 대한 하천 유출량의 장기 예측 자료를 제공하고 있다. 하지만 서부 지역의 농업을 위한 봄철 유출량의 경우 대부분 겨울철에 쌓인 눈이 녹으면서 발생하는 특성으로 인하여 강수량의 장기 예측을 활용

하는 대신에 겨울철 산악 지역의 적설량의 관측 자료를 기반으로 하고 있다⁵⁾.

반면, 미국 기상청(NWS)는 Advanced Hydrologic Prediction Service(AHPS)을 통해서 <Fig. 5>와 같이 장기(3개월)의 하천 홍수 위험(Long-range river flood risk) 예측 정보를 제공하고 있다. 홍수 위험 정보는 하천 수위의 앙상블을 생성하는 결정론적 수문 모형과 시나리오 기반의 접근 방식을 사용하는 NWS의 Ensemble Streamflow Prediction(ESP)을 기반으로 하고 있다⁶⁾.

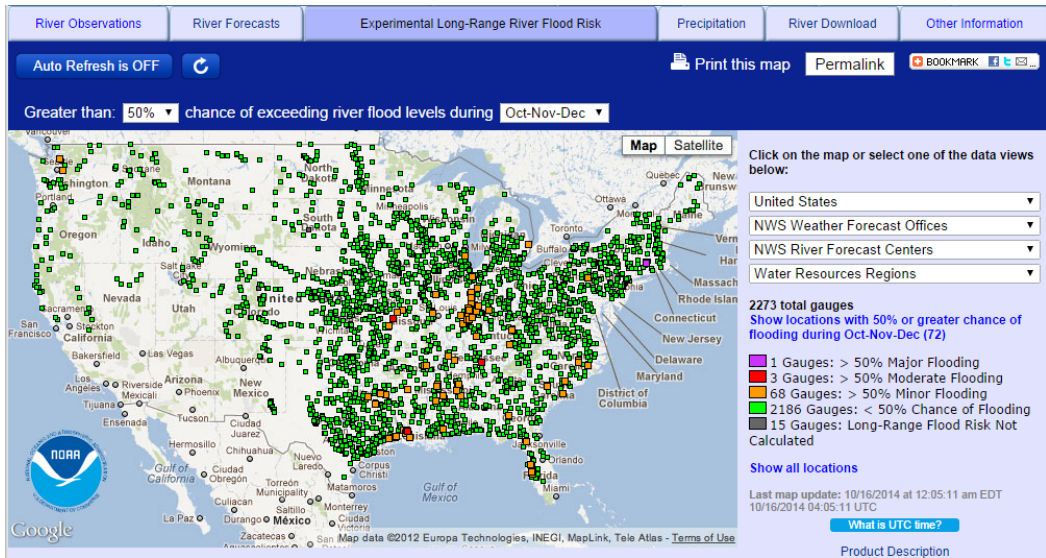


Figure 5. NWS의 장기 하천 홍수 위험 서비스(예측 시점: 2014년 10월)

장기 기후예측 자료를 활용한 장기 서비스의 경우 <Fig. 6>과 같이 기후예측센터(CPC)에서 제공하는 월간 및 계절 기온 전망이 있다⁷⁾. 기온 전망은 현재 기온 발생 지역에 대하여 향후 1개월 또는 3개월 동안에 기온이 어떻게 진행될 지에 대한 정보를 제공한다. 기온 전망은 앞에서 언급된 CPC의 강수 및 기온 전망 자료를 포함하여 토양 수

5) <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/wsf/westwide.html>

6) http://water.weather.gov/ahps/long_range.php

7) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Drought/>

분 자료(Constructed Analog on Soil Moisture, CAS), 기상예측센터(Weather Prediction Center, WPC)의 단기 및 중기 기상 예측모형 결과, 역학적 예측모형 결과(NCEP version 2 coupled forecast system model, NMME, IRI, International MME), Global Forecast System(GFS)의 강수 예측, 팔머 가뭏지수, ENSO 진단 등의 다양한 정보가 활용된다. 가뭏 관련 모니터링 및 전망 정보는 강수 및 기온, 토양수분, 유량, 산불, 엘니뇨 등의 추가적인 예측 정보와 함께 NOAA에서 주도적으로 이끌고 있는 가뭏 포털인 국가 통합 가뭏 정보 시스템(National Integrated Drought Information System, NIDIS)을⁸⁾ 통해서 제공되고 있다.

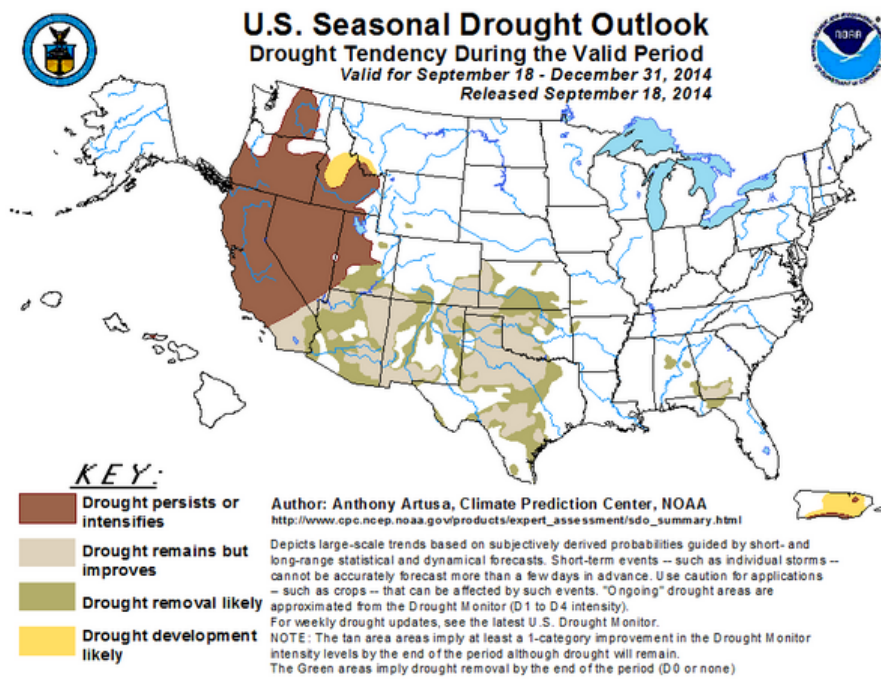


Figure 6. CPC의 계절 가뭏 전망(예측 시점: 2014년 9월 18일)

장기 수질 예보의 경우 현업으로 예보를 실시하는 경우는 찾지 못하였고 연구 차원의

8) <http://www.drought.gov/drought/>

Chesapeake Bay Forecasting System(CBFS)⁹⁾ 프로젝트가 있어 소개하고자 한다. CBFS 프로젝트는 7개 주에 달하는 유역을 가지고 있으며 미국 최대 하구인 체사피크만 (Chesapeake Bay)에서의 다양한 수질관련 중요 특성을 단기 및 장기의 시간 규모에서 예측하는 것을 목적으로 시작되었다. 체사피크만 유역에 대하여 높은 공간 해상도의 예측 정보를 생산하기 위하여 NOAA, USES, NASA, USDA 데이터는 물론 위성관측과 센서 모니터링 등을 자료로 사용하였다.

14일의 단기 및 3개월의 장기 수질예측을 위해서는 기상 예측 자료가 필요한데, 이를 위하여 현 시점으로부터 향후 7개월에 대하여 총 15개 예측 앙상블 멤버를 제공하는 ECHAM4.5 전 지구 예측모형의 결과를 IRI로부터 제공받아 사용하였다. CBFS프로젝트는 <Fig. 7>과 같이 기상예측모형인 Weather Research and Forecasting(WRF), 유역수질 모형인 Soil and Water Assessment Tool(SWAT), 해양모형인 Regional Ocean Modeling System(ROMS)을 연계한 모델링 시스템을 기반으로 하여 기후, 대기의 질, 수 질, 지역적 성질, 생태계 등의 복합적인 면을 사용자의 측면에서 제공한다.

9) <http://www.cbfs.umd.edu/>

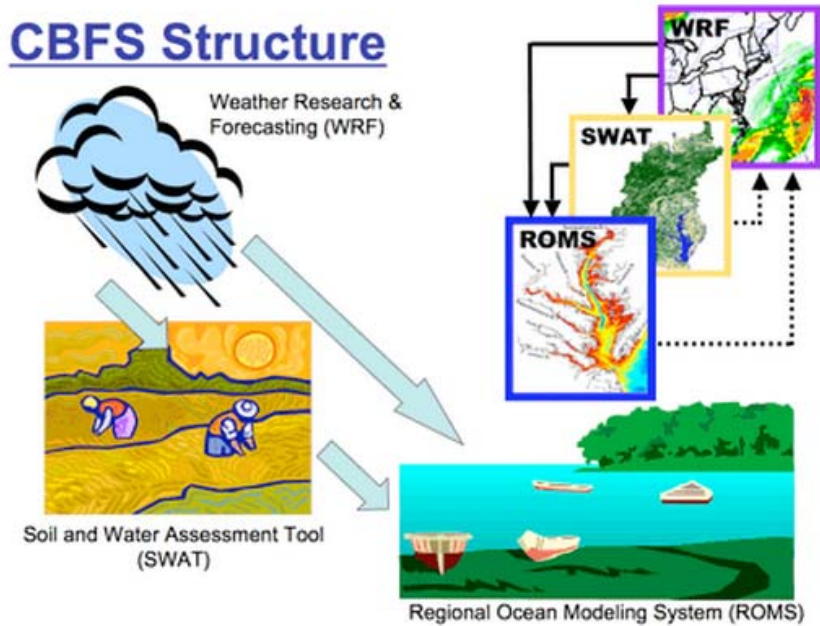


Figure 7. Chesapeake Bay Forecasting System 모형 구성

〈Fig. 8〉은 CBFS에서 제공하는 예측 인자들 및 예측시점인 2011년 12월 1일로부터 3개월 후인 2012년 3월 1일 시점의 DO 농도의 공간적 분포를 보여주고 있다. 체사픽만으로 유입되는 하천에서의 유량과 수질예측은 SWAT 모형을 통해 가능한데, CBFS에서는 Rappahannock River 유역에 대하여 유량, 유사량(sediment), 질산염(Nitrate), 인산염(Phosphate)의 체사픽만으로의 유입량을 향후 14일 및 3개월 기간에 대해 예측을 수행하였다. 〈Fig. 9〉는 2010년 10월로부터 향후 3개월에 대하여 SWAT 모형의 장기 예측을 통해 제공되는 유출량 예측 결과를 보여 준다.

Chesapeake Bay Forecasting System Project

Select Variable	Select Parameters
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Mean Sea-level Pressure <input type="radio"/> Skin Temperature <input type="radio"/> 2-m Air Temperature <input type="radio"/> 2-m Specific Humidity <input type="radio"/> Precipitable Water <input type="radio"/> CAPE <input type="radio"/> Latent Heat Flux <input type="radio"/> Sensible Heat Flux <input type="radio"/> Downward Shortwave Radiation <input type="radio"/> Downward Longwave Radiation <input type="radio"/> Surface Wind Gust <input type="radio"/> 3hr Accumulated Convective Precipitation <input type="radio"/> 3hr Accumulated Large Scale Precipitation <input type="radio"/> 3hr Accumulated Total Precipitation <input type="radio"/> Maximum Radar Reflectivity <input type="radio"/> Visibility <input type="radio"/> 10-m Wind Speed <input type="radio"/> Geopotential Heights <input type="radio"/> Temperature <input type="radio"/> Relative Humidity <input type="radio"/> Wind Speed <input type="radio"/> Bay Temperature <input type="radio"/> Bay Salinity <input type="radio"/> Sea Nettle Likelihood <input type="radio"/> Vibrio Cholera Likelihood <input type="radio"/> HAB Likelihood <input type="radio"/> Water Current <input type="radio"/> Dissolved Oxygen <input type="radio"/> Striped Bass Suitability Index <input type="radio"/> [Seasonal] Bay Temperature <input type="radio"/> [Seasonal] Bay Salinity <input type="radio"/> [Seasonal] Sea Nettle Likelihood <input type="radio"/> [Seasonal] Vibrio Cholera Likelihood <input type="radio"/> [Seasonal] HAB Likelihood <input checked="" type="radio"/> [Seasonal] Dissolved Oxygen <input type="radio"/> [Seasonal] Striped Bass Suitability Index 	<div style="text-align: right;">Date: 2011-12-01 12:00:00 ▾</div>

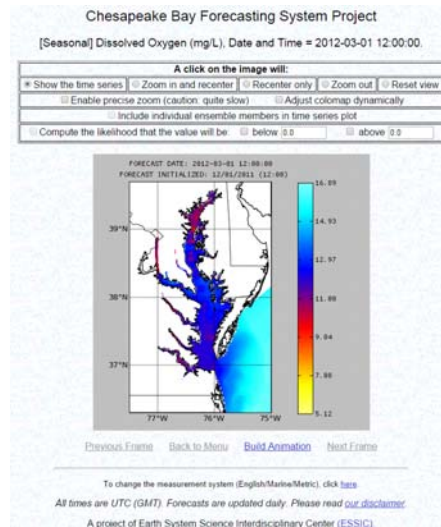


Figure 8. CBFS 제공 예측 인자(왼쪽) 및 3개월 선행 DO 예측 농도의 공간적 분포(오른쪽)

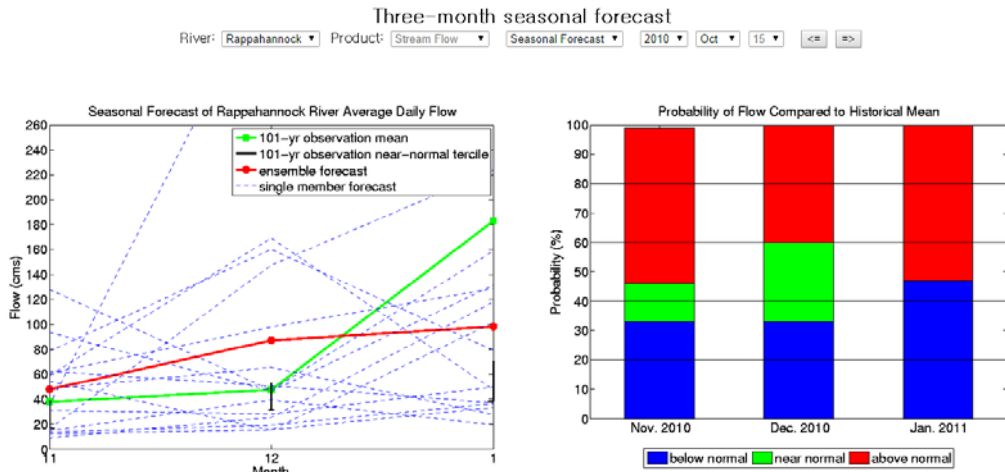


Figure 9. CBFS의 유역모델(SWAT)을 이용한 3개월 유출량 예측 결과

2.1.2 호주

호주에서는 1995년에서 2012년 기간의 장기 가뭄을 겪으면서 Water Act 2007이 제정되었고 7장에 호주의 물 관련 정보를 수집, 저장, 관리, 해석, 보급에 대한 호주 기상청 (Bureau of Meteorology)의 의무를 규정하였다. 또한 물이용 가능량에 대한 정기적인 예측 정보를 제공하는 것이 호주 기상청의 책임 중 하나로서 법에 포함되었다. 따라서 호주 기상청에서는 <Fig. 10>과 같이 강수량 및 온도에 대하여 예측 시점으로부터 향후 3개월에 대한 전망을 홈페이지를¹⁰⁾ 통해 제공하고 있다. 호주에는 현재 장기 수질예보를 위한 시스템은 없으며 수량에 대한 3개월 예측 자료를 2010년 12월 이후 웹사이트를¹¹⁾ 통하여 7개의 주요 지역에 대하여 제공하고 있다. <Fig. 11:위>는 Victoria 지역의 지점별 향후 3개월 기간에 대한 예측 유량을 보여주고 있으며, 고수위, 저수위, 평수위 등 3개 구간에 대한 발생 가능 확률을 제공하고 있다. 개별 관측점에 대해서는 <Fig. 11:아래>에서와 같이

10) <http://www.bom.gov.au/climate/outlooks/#!/overview/summary/>

11) <http://www.bom.gov.au/water/ssf/>

과거의 장기 관측 자료와의 비교를 통해 사용자 중심의 예측 정보를 제공하고 있다.

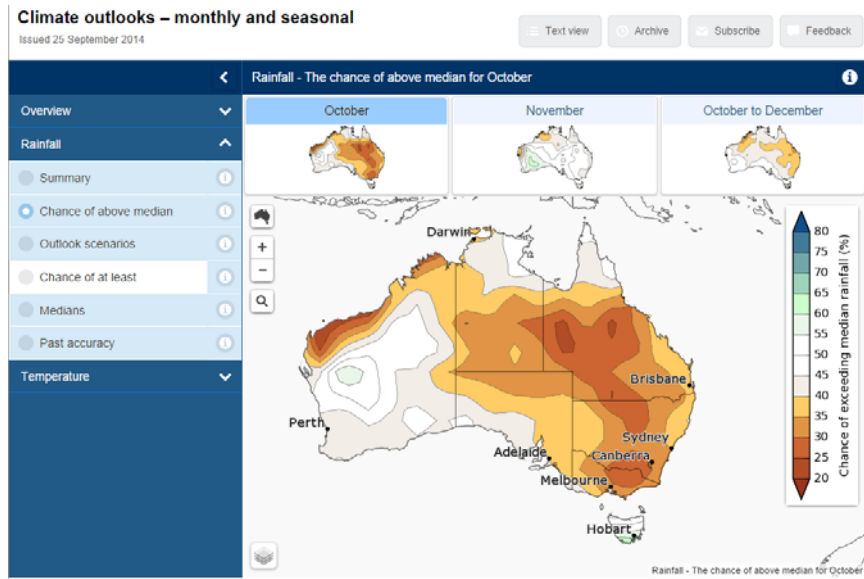


Figure 10. 호주 장기 기후예측 정보(예측 시점: 2014년 9월 25일, 강수량)

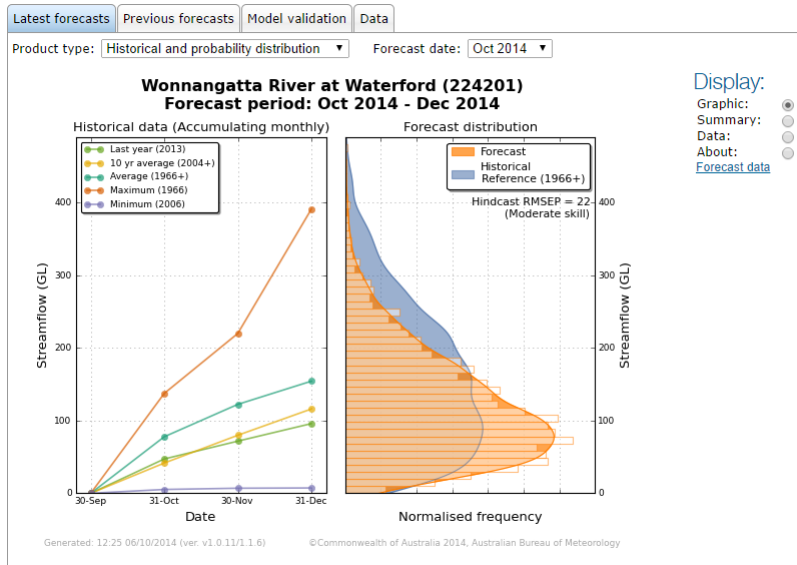
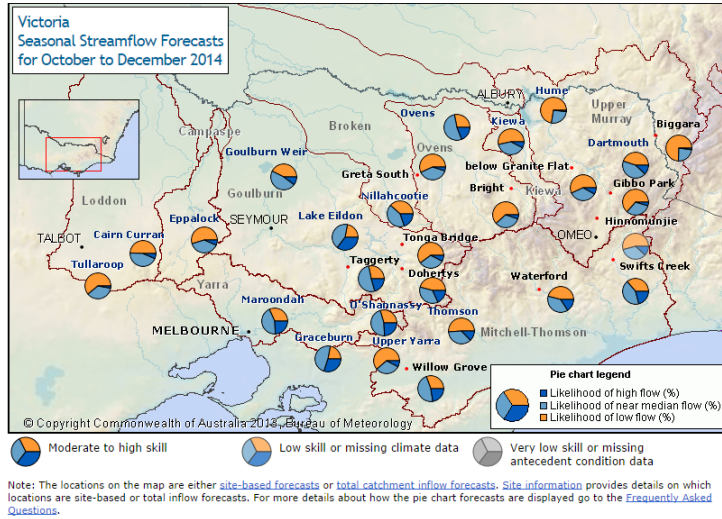


Figure 11. 호주 Victoria 지역의 장기 유량 예측 시스템(위) 및 개별 지점별 예측 정보(아래)

장기 유량 예측 현업 시스템은 Bayesian Joint Probability(BJP)라는 통계학적 방법에 의해 유출량을 예측하고 WAFARi(Water Availability Forecasts of Australian Rivers) 모델링 시스템에 의하여 웹 페이지를 통한 정보 전달에 이르기까지 모든 과정에서 필요한 처리들이 수행된다. BJP는 1) 최적의 예측 변수 선정, 2) 과거 관측 자료에 대한 Cross-Validation을 통한 예측성 평가, 3) 매개변수 샘플링, 4) 샘플링 된 매개변수를 이용한 유량 확률 예보 수행의 4단계를 거치게 된다. 예측변수로는 선행 관측 유량, 강수량 및 다양한 기후인자(Climate Index) 등이 사용된다.

2.2 국내 사례

2.2.1 장기 기후예측

기상청에서는 향후 1개월 및 3개월 기간에 대하여 전국 및 10개 시도 단위의 권역별 기온과 강수량에 대한 장기 예보를 매달 제공하고 있다. 1개월 및 3개월 장기 예측 자료는 각각 주 및 월 단위로 '평년과 비슷', '평년보다 낮음', '평년보다 높음'의 3가지 수준에 따른 경향성을 발표하고 있다. 장기예보 서비스는 홈페이지를¹²⁾ 통해서 대중에게 제공되고 있으며 2014년도부터는 각 예측 구간에 대한 확률 정보를 제공해 주는 확률예보를 시행하고 있다. 홈페이지를 통해 제공되는 전자문서에는 <Fig. 12>와 같이 날씨전망, 월별 평균기온 및 강수량 확률전망, 평년(1981-2010)값, '평년과 비슷' 구간의 범위(기온: 편차, 강수량: 평년 비), 최근 날씨 동향 정보를 제공하는 참고자료 등이 포함되어 있다.

12) <http://www.kma.go.kr>

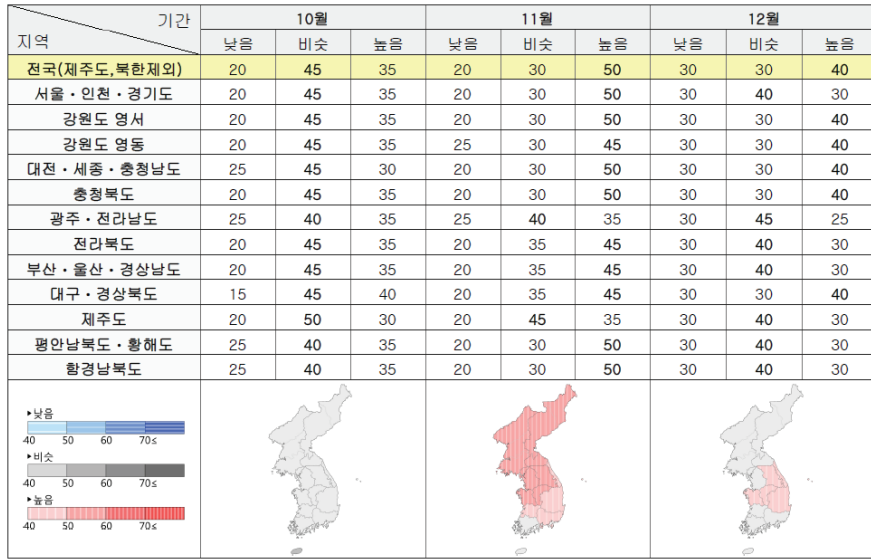


Figure 12. 기상청 3개월 장기 예보(월별 평균기온 확률전망, 2014년 9월 23일 발표)

기상청에서 제공하는 장기예보는 기상청의 전 지구 예측모형(Global Climate Model, GCM)의 결과를 그대로 사용하지 않고 APCC를 포함한 국내 연구기관 및 학계 전문가들로 구성된 장기 기후 전문가 그룹에서 통계적, 역학적 기법 등 다양한 분석 기법을 적용해 생산하는 장기 계절 예측 결과를 기반으로 매월 전문가별 기상전망의 예측 결과를 토의하고 있으며, 이를 기상청에서 최종적으로 조율하여 발표하고 있다.

국내 기후 연구 전문기관인 APEC 기후센터에서는 2005년 설립 초기 APEC 9개 회원국, 18개 기관으로부터 기후모형 기반의 예측 자료를 제공받았으나, 참여 기관의 인적·물적 자원의 제약으로 최근에는 10개국, 16개 기관의 계절예측 정보를 매월 제공 받아 결정론적(deterministic) 방법 및 센터의 독자적인 확률론적(probabilistic) 다중모형 앙상블(Multi-Model Ensemble, MME) 기법을 적용하여 강수량 및 평균기온에 대한 MME 예측 자료를 생성하여 자체 웹사이트를¹³⁾ 통해 제공하고 있다. MME는 개별기후모형이 가

13) <http://www.apcc21.org/>

지는 계통오차(systematic error)를 앙상블기법을 통하여 상쇄하는 것을 목적으로 한다. 또한 2007년 하반기부터 매달 제공하던 3개월 계절예측 자료의 선행시간을 2013년 9월부터 6개월로 확대 운영함으로써 자연재해 저감 대책 수립, 농산물 생산량 조절, 수자원 확보 및 관리 등 각 분야의 중·장기계획 수립을 위한 활용성을 제고하였고, 이를 통해 APEC 회원국의 기후예측 자료의 활용도를 높이고, 아·태 지역에서 APCC의 선도적·차별적 역할을 강화하였다. <Fig. 13>은 APCC에서 제공하는 기온에 대한 예측 정보의 예를 보여 준다.

2015년 1월 - 3월

인도-태평양, 북서태평양 인접 도서국, 남태평양, 카리브 제도, 남아메리카의 태평양 연안을 포함하는 대부분의 열대/아열대 대륙과 해양에서 평년보다 기온이 높을 것으로 전망됨. 아프리카, 인도, 호주, 그리고 남/북 아메리카 대부분의 지역은 평년보다 기온이 조금 높을 것으로 예상되며, 중앙 아메리카, 카리브 제도, 적도 대서양, 남아메리카 북부 지역은 평년보다 건조할 것으로 예상됨. 엘니뇨 발달과 동반된 해면온도 상승으로 적도 중앙/동 태평양은 평년보다 기온이 높고 중앙 태평양은 평년보다 많은 강수가 예상됨. 아열대 서태평양과 남중국해는 평년보다 건조할 것으로 전망됨.

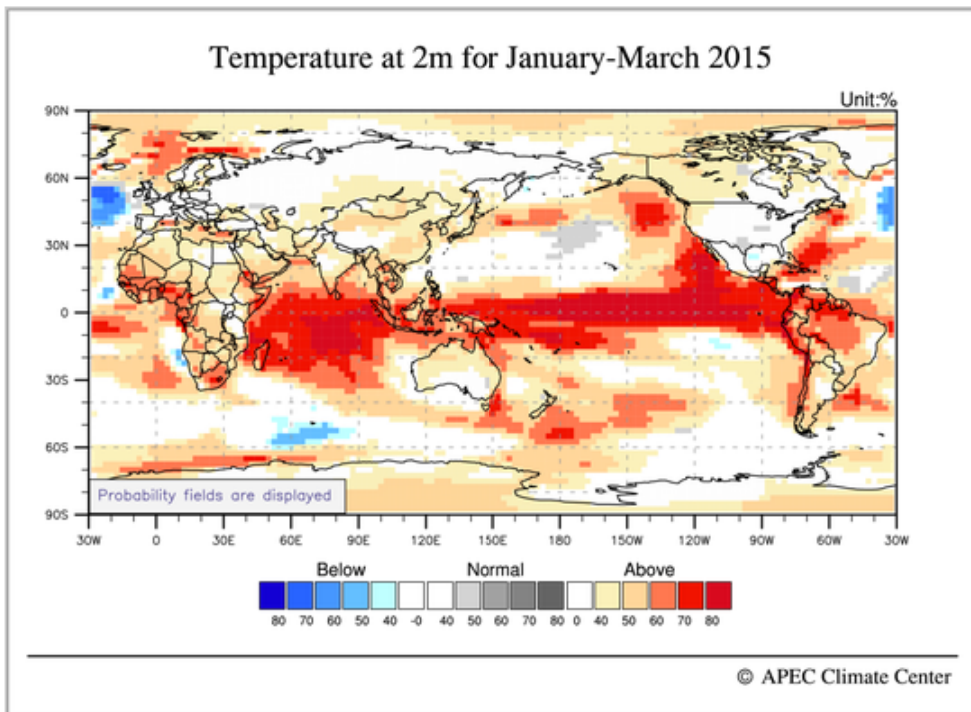


Figure 13. APCC 장기 기후예측(평균기온, 2014년 10월)

2.2.2 장기 수량/가뭄 예보

국내의 수량 관련 예측으로는 수자원 현황 및 전망¹⁴⁾이 있다. 이는 지난달의 수문기상 현황을 파악하여 수자원 관련 정보를 일반인이 이해하기 쉽도록 간략히 정리하고, 다음 달의 예상 강수량에 따른 수계별 유출량을 예측하여 5대강 각 수계 대표지점에서의 물 공급 상황을 개략적으로 전망하는 내용으로 되어 있다. 현황 부분은 기상청, 홍수통제소, 한국수자원공사, 한국수력원자력주식회사, 한국농어촌공사 등으로부터 수집된 자료를 이용하여 분석된 지난달의 기상 및 수문개황, 강수현황, 수계별 유출현황, 주요 댐의 저수량과 저수율에 대한 내용으로 이루어진다. 관련 기관들로부터 수집된 자료들은 지난 달까지의 수계별 현황을 작성하는데 이용되고 이번 달의 유출량 예측에도 활용된다. 예측 부분은 다음 달의 수계별 유출량과 수요량을 비교하여 물 공급에 대한 개략적인 전망을 제시하는 내용으로 구성된다.

수자원공사에서는 홍수기 홍수 조절 및 가뭄기의 안정적인 용수 공급을 위해서 다목적 댐 운영을 위한 의사결정을 수행하고 있다. 안정적인 용수공급을 위해서는 댐 수위를 비교적 높게 유지하여 저수량을 많이 확보하여야 하나, 홍수조절을 위해서는 가능한 댐 수위를 낮추어야 하므로 이 두 가지의 배타적인 운영 목적을 동시에 충족할 수 있는 댐 운영을 필요로 한다. 이에 수자원공사에서는 다목적댐의 안정적 물 공급 및 홍수조절이라는 기능을 모두 충족시킬 수 있는 가이드라인으로 매월 말에 유지해야 할 저수량 범위를 나타내는 댐운영 기준수위를 설정하여 사용하고 있다. 이를 기준으로 현재의 유입량(공급 가능량), 용수 수요량, 저수량(댐 수위) 등을 고려한 수문 상황과 미래의 전망을 기반으로 하여 매년 홍수기말(10월 초)에 연간 댐 운영계획을, 매월 말에 월간 댐운영계획을 수립하여 운영하고 있다. 일반적으로 미래 전망을 위해서는 단기 기상예측 정보의 경우 집중호우와 관련하여 홍수 조절 등에 활용도가 높은 반면에 장기 기후예측 정보는 장기적인 가뭄에 대비한 중장기 댐운영 등의 의사결정에 활용도가 높다. 따라서 가뭄을 고려한 중장기 댐운영 의사결정을 위해서는 장기 강우 전망 자료의 활용이 매우 중요하지만, 현재 수자원공사 물관리센터에서는 자체적으로 장기에보를 수행하고 있지

14) 수자원 현황 및 전망은 1995년 3월호부터 한국건설기술연구원에서 국토교통부 하천계획과의 협조로 시작되었으며, 2001년 12월호부터 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구에 의해 수행되었으며, 2006년 5월호부터는 한강홍수통제소(하천정보센터)에서 관장, 발간하고 있다.

않고 있다. 따라서 기상청에서 매월 1개월, 3개월 단위로 발표되는 장기 예측 자료에 전적으로 의존해야 하는 상황이며, 실제 댐운영 의사결정을 위해서는 예측 정보를 사용하고 있지 않고 있다.

국내의 경우 가뭄관련 국가 차원의 통일된 정보시스템은 없고 농림축산식품부, 기상청, 소방방재청, 국토교통부 등 부처의 필요에 따라 개별 시스템을 운영하고 있다. 농어촌공사에서는 농업가뭄의 실시간 분석 및 평가, 가뭄전망에 따른 물관리의 의사결정 지원을 목적으로 농촌용수종합정보시스템(Rural Agricultural Water Resource Information System, RAWRIS)¹⁵⁾ 연계하여 토양수분지수(SMI), 저수지 가뭄지수(RDI), 통합농업 가뭄지수(IADI) 정보를 제공하고 있다. 기상청은 관측 강우량자료를 기반으로 하여 자체적으로 개발한 가뭄판단지수를 산출하여 웹페이지를¹⁶⁾ 통하여 제공하고 있다. 가뭄판단지수는 일강수량 5.0mm 이하의 일수가 15일 이상 지속되고 1개월 강수량이 50mm 이하인 조건에서 파머가뭄지수, 표준강수지수, 평균치비율 등의 가뭄지수 등을 활용하여 우리나라의 가뭄을 적절히 판단할 수 있도록 개발되었다. 한국수자원공사는 가뭄의 대비 및 대응체계 보완을 위한 가뭄 진행 상황을 모니터링하고 평가하여 향후 가뭄의 진행 양상을 전망하는 것을 목적으로 가뭄정보시스템¹⁷⁾을 운영하고 있다. 가뭄 모니터링은 공사에서 자체 개발하였으며 용수공급을 고려한 가뭄지수(Water supply Drought Index, WADI)를 사용하여 5단계로 가뭄의 정도를 표현하고 있다. 가뭄정보시스템에서는 기상 및 강수 자료를 이용한 기상학적인 가뭄지수(파머지수 등)는 물론 하천수량과 지하수 등을 감안한 수정 지표수공급지수(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI) 및 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI) 자료를 제공하고 있다.

앞서 제시된 시스템들은 모니터링 기반의 현재의 가뭄 관련 정보를 제공하는 시스템 들로서 장기 기후예측 자료를 활용하여 가뭄의 미래 전망을 제공하고 있는 시스템은 없는 상황이다. 다만 수자원공사에서는 APEC기후센터와 협력연구를 통해 가뭄 전망 연구를 수행하여 기후예측 자료의 통계학적 상세화(downscaling)를 통한 가뭄 전망 기법을

15) <https://rawris.ekr.or.kr/>

16) <http://www.kma.go.kr/weather/lifenindustry/drought.jsp>

17) <http://203.237.1.38>

가뭄정보시스템에 소개하고 있으나 국내에서 현업을 통해 매월 제공되고 있는 가뭄 전망 정보는 없는 실정이다.

2.2.3 장기 수질 예보

환경부 수질예보 및 대응조치에 관한 규정(환경부 훈령 제 1053호, 2013년 6월 28일 개정)에서는 수질예보의 종류를 7일 단위의 단기 수질예보와 3개월 단위의 장기 수질예보로 구분하고 있다. 수질예보 항목으로는 수온, 클로로필-a 농도가 명시적으로 포함되어 있으며 예보 구간은 4대강 본류를 대상으로 한다. 수질예보의 발표는 장기 수질예보의 경우 2월, 5월, 8월, 11월 마지막 주 금요일에 발령하도록 규정되어 있다.

2012년에 국립환경과학원 수질통합관리센터에서는 갈수기 등 취약시기에 오염원의 선제적 관리 및 수질을 고려한 댐 및 보 운영 유도를 목적으로 장기 수질예보 시범운영을 수행한 바 있다. 2012년 8월과 11월에 기상청의 장기 예측을 위한 기후 수치모형 자료 및 주요 오염원 자료를 바탕으로 HSPF-EFDC의 유역 및 3차원 수리·수질 연계 모델링 분석을 통하여 다음 달 향후 3개월에 대한 수질예보를 수행하였다. 시범 운영을 통해 도출된 문제점은 <Table 1>과 같다.

Table 1. 장기 수질예보 시범운영을 통해 도출된 문제점

문제점	설명
평년 수질과의 비교 곤란	기상청의 장기기후예보는 불확실성이 높은 장기예보의 특성상 기온과 강수량 예보를 평년값에 대한 증가 또는 감소로 예보하고 있으나, 장기 수질예보의 경우, 4대강 사업으로 인한 수환경 변화로 수질의 평년값 산정이 곤란
통계모형 적용 곤란	기상청의 장기기후예보는 수치모형과 통계모형 결과와 같은 정량적인 자료뿐만 아니라 예보관의 판단과 같은 정성적인 자료 등의 다양한 정보를 기반으로 운영되고 있다. 이에 비해 장기 수질예보는 4대강 사업으로 인한 수환경 변화로 통계모형을 사용할 수 없어 기후 수치모형 결과에만 의존한다. 따라서 이로 인해 기상청에서 정성적으로 발표되는 장기 기후예보 정보와 과학원의 장기 수질예보 결과가 상이한 양상을 보이기도 한다.
낮은 기후모형의 해상도	장기 수질모형의 입력 자료로 사용되는 기상청의 장기 기후 수치모형자료는 해상도(현재 2.5°)가 매우 낮다. 현재 해상도는 한반도 전체가 겨우 2개의 격자로 표현되기 때문에 장기 수질예보 시 이용되는 기후자료가 수계별로 차이가 없는 한계를 내포하고 있다.

출처: 장기 수질예보 시범운영 결과(국립환경과학원, 2012)

3. 연구 재료 및 방법

3.1 대상 지역

관측 지점들 간의 공간 상관성은 기후정보의 수자원 분야 활용을 목적으로 하는 상세화 기법 개발에 있어서 중요하게 고려되어야 한다. 즉 모델링을 통해 유역의 수문순환을 고려한 유출량을 잘 묘사하기 위해서는 기상 관측 지점들 간의 공간적인 상관성이 확보되어야 한다. 즉 특정일에 특정 관측점에서 강우가 발생할 경우 주변 인근 관측점에서 실제 강우가 발생할 가능성이 높는데, 만약 상세화를 통해 생성된 기상자료가 기상관측점별로 강우 발생 및 강수량을 독립적으로 모의하게 되는 경우에는 모델링을 통해 계산된 유출량이 실제보다 적게 모의될 가능성이 높다.

본 연구에서 사용하고자 하는 장기 기후예측 자료는 APCC에서 월 단위로 제공되는 강수량 및 평균 기온 자료이다. 일반적으로 월별 기상 자료로부터 일별 자료를 생성하는 데는 기상발생기(Weather Generator)를 많이 사용하고 있다. 보편적으로 사용되고 있는 기상발생기 들로는 GEM(Hanson and Johnson, 1998), CLIGEM(Stöckle et al., 1999), WGEN(Richardson, 1984, 1985), LARS-WG(Racsko et al., 1991; Semenov and Barrow, 1997), SIMMETEO(Geng et al., 1986, 1988) 등이 있으나 공간 상관성을 고려하지 못한다. 이로 인하여 수자원 모델링에 필요한 일 단위의 기상자료를 생성하는 과정에서 공간 상관성을 확보해야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 공간 상관성이 확보된 유역 규모의 일 자료 생성을 위해서 과거 관측 자료로부터 샘플링 하는 방법을 선정하였다. 즉 예측된 월별 강수량 및 기온과 비교하여 가장 근접한 특성을 보이는 특정 년/월의 관측 자료로부터 공간 상관성이 고려되어야 하는 대상 지역의 일별 기상 자료를 동시에 추출하여 사용함으로써, 관측 자료에서 가지고 있는 공간 상관성을 그대로 확보하는 방법이다. 이와 같은 방법을 사용하는 경우에는 예측 자료와 관측 자료를 비교하기 위해서는 대상 지역이 우선 결정되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 선정된 대상 지역의 규모에 따라서 상세화 기법의 예측성 변화를 살펴보기 위하여 한반도 전체와 대권역 규모의 경우에는 낙동강 유역을 선정하였다. 통계적 상세화를 위해서는 기상청의 중관기상관측시스템(Automatic Synoptic Observation System, ASOS)의 관측소 중에서 1976년 이후의 장기간 자료가 있는 관측점을 사용하였다. 최종적으로 <Fig. 14>에서와 같이 한반도의 경우 57개를 낙동강 유역의 경우 인근 18개의 관측소를 사용하였다. 본 연구에서는 대상 지역에 대하여 공간적으로 상세화 된 월별 장기 기후예측 자료의 예측성을 평가하는 것에 더하여 시간적으로 상세화 된 일별 기후예측 자료를 활용하여 유역의 댐-보-저수지 연계운영과 같이 수량·수질을 고려한 통합수질관리에 필요한 개별 시설물에 있어서 예측성을 평가하기 위하여 낙동강 유역내의 2개 중권역, 3개 저수지 상류 유역, 본류 구간을 <Fig. 14>와 같이 선정하였다: 1) 지평, 죽전, 옥중 저수지의 경우는 100만 톤 이상 농업용 저수지의 유입량 예측성 평가를 위해, 2) 안동댐 중권역 유역은 다목적 댐의 상류 유입량 예측성 평가를 위해, 3) 위천 중권역 유역은 지류에서의 수질예측성 평가를 위해, 4) 낙동강 하류의 경우에는 본류 구간에서의 예측성 평가를 위해 선정하였다. 선정된 대상 지역에 대한 자세한 내용은 각각의 예측성 평가 부분에서 설명하도록 한다.

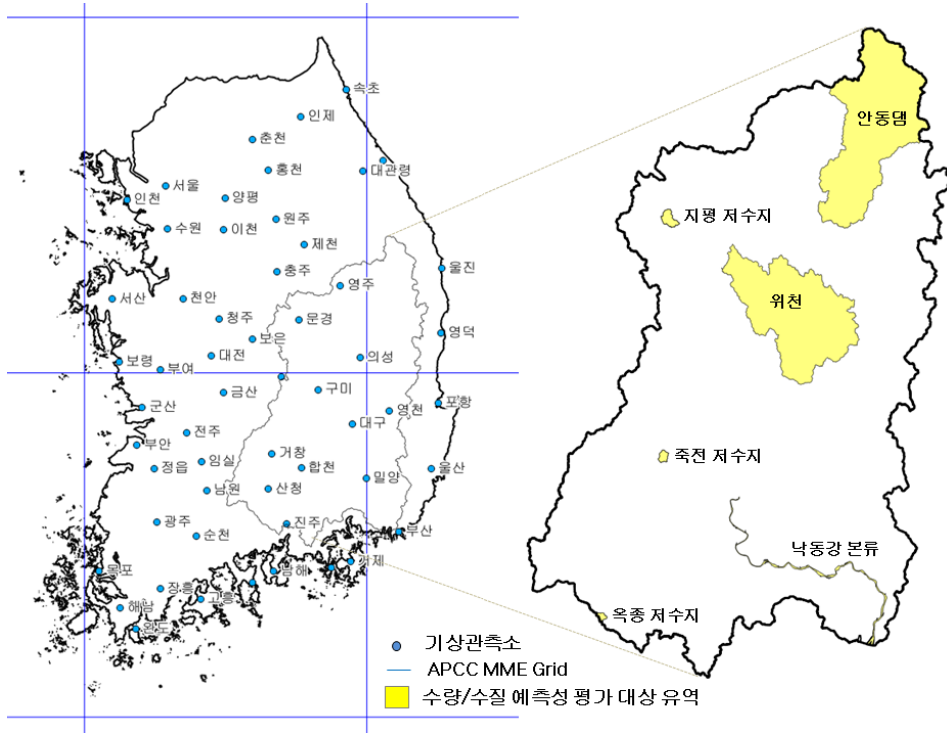


Figure 14. 한반도 및 낙동강 유역 상세화를 위한 종관기상관측소 위치(좌측) 및 수량·수질예측성 평가를 위한 대상 유역(우측)

3.2 사용 모형

3.2.1 SWAT

본 연구에서 적용된 Soil and Water Assessment Tool(SWAT) 모형은 미국 농무성에 서 개발된 유역모형으로 대규모 유역을 대상으로 오염물질 거동을 예측하기 위하여 개발되었으며, 복합 토지이용 상태 및 토양 특성을 가지는 유역의 장기간에 걸친 오염부하량을 추정하는 연속적 모형이다(Neitsch et al., 2002).

SWAT 모형은 유역 내의 서로 다른 공간적 특성을 반영할 수 있도록 대상 유역을 여러 개의 소유역으로 구분하여 구성하며, 소유역은 다시 토지이용, 토양, 경사도 등에 따른 유사한 특성을 그룹화 하여 최소 공간적 수문반응 단위인 HRU(Hydrologic Response Unit)로 세분화 된다. 모의는 유역 내 토양 부분과 수체 부분으로 구분되어 수행된다. 소유역 내 HRU의 물수지 분석을 강우량, 지하수 침투량, 증발산량, 그리고 표면 유출량으로 나누어 산정한다. 그리고 토양침식 산정을 MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation)을 이용하여 모의하며 질소, 인, 그리고 살충제와 같은 유기성 화합물질들의 운송 기작을 모의할 수 있다. 수체는 하천과 저수지로서 표현하게 되어있으며 유량, 퇴적물, 영양염류, 유기성 화학 물질 등의 반응기작들로 구성되어 모의된다(Neitsch et al., 2002).

SWAT 모형의 입력 자료들은 GIS(Geographic Information System)를 활용하여 입력되며, 면적, 하천 길이 및 경사도 등은 입력된 고도 자료를 이용하여 내부적으로 계산한다. 토양도의 경우는 국립농업과학원에서 제공하는 정밀토양도를, 토지이용도의 경우는 환경부에서 제공하는 2007년 중분류 토지이용도를, Digital Elevation Model(DEM)의 경우는 30m 격자 크기의 ASTER Global Digital Elevation Map을¹⁸⁾ 사용하였다.

3.2.2 EFDC

EFDC 모델은 하천, 하구에 적용 가능한 3차원 범용 수리 모델로서 Virginia Institute of Marine Science에서 개발되었다. EFDC 모델은 3차원 수리해석, 유사 수송 해석, 온냉수 배출 해석, TMDL 수질 해석 등에 광범위하게 사용되고 있다. EFDC 모델의 버전은 Hydro 버전과 USEPA 1.01 Full Version이 있는데 Hydro 버전은 Box 형태의 수질 모델인 WASP의 수리 모델로 많이 활용 되고 Full version은 Hydrodynamics, Water quality, Sediment transport, Toxic등의 모의가 가능하며 이 중 Sediment 모의가 광범위하게 사용되어진다.

18) <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>

EFDC 모델은 임의 개수의 용존상 및 부유 입자상 물질에 대한 Eulerian 이송 및 수질반응 방정식에 대해서도 동시에 해를 구한다. 또한 부가적인 Lagrangian 입자 이송 및 수질반응도 모형에서 구현가능하다. 모형은 또한 얇은 지점의 건조한 cell과 물이 있는 cell을 구분하여 계산할 수 있다. 일반적인 흐름 통제에 쓰이는 구조물들 예를 들어 위어나, 여수로 그리고 암거 등의 효과에 대한 해석도 가능하다. 식생이 많은 지역의 흐름을 해석하기 위해 EFDC 모델은 2개의 3차원 마찰 방정식을 사용한다. 또한 WASP이나 CE-QUAL-ICM과 같은 수질 모형에 사용될 수 있도록 흐름장 출력화일을 제공한다. 이러한 EFDC 모델의 구조는 Hydrodynamic, Water Quality, Sediment Transport, Toxics의 4개의 기본모듈로 구분할 수 있으며, 이중 Hydrodynamic 모의 결과는 나머지 3개 기본모듈 모의에 연동(coupling)되어 사용된다. Water Quality 모듈은 용존산소(Dissolved Oxygen), 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand), 조류(Algae), 탄소(Carbon), 인(Phosphorus), 규소(Silica) 및 활성금속(Active Metal)을 포함하는 총 22개의 수질상태 변수들로 구성된다.

한편 EFDC 모델은 수평 방향으로는 직각좌표계(cartesian)와 직교곡선좌표계(curvilinear)를, 수직방향으로는 GVC(Generalized Vertical Coordinate)와 sigma stretching 좌표계를 선택적으로 사용할 수 있다.

3.3 연구 방법

3.3.1 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발

상세화 기법은 크게 공간적 상세화 및 시간적 상세화의 두 단계로 진행된다. 우선 공간적 상세화의 경우 전 지구 규모의 역학모형으로부터 생산되어 제공되는 월별(monthly) 예측 자료를 이용하여 대상유역에서의 월평균 강수와 온도에 대한 예측 정보를 생산하게 된다. 공간적 상세화를 위해서 예측 자료를 사용하는 정도에 따라서 예측 자료의 단순 편이보정(Simple Bias Correction, SBC) 방법, 예측 자료 기반의 Moving Window Regression(MWR) 방법, 관측 및 예측 자료 기반의 Climate Index Regression(CIR) 방법 등 3개의 서로 다른 상세화 기법을 개발하였다.

SBC 방법은 전 지구 기후모형(Global Climate Model, GCM)을 이용하여 생성된 특정 지역 및 기간의 예측 정보를 단순한 보정만을 통하여 그대로 활용하는 예측 자료 기반의 직접적인 상세화 방법이다. 예를 들면, 한반도 수문·수질 장기 예측을 위해서 강수량 및 기온 등의 기후 자료가 필요한 경우, GCM으로부터 생산된 한반도 상공의 강수량 및 기온 예측 자료를 단순한 편이보정을 거쳐 사용하는 방법이다. SBC 방법의 경우에는 원 GCM의 예측 특성이 100% 반영되어 GCM의 예측성이 낮은 경우 공간적으로 상세화 된 자료 또한 낮은 예측성을 보이게 된다.

일반적으로 GCM은 지역 규모의 상세한 기후 분포보다는 광역 규모의 대기 변동을 보다 잘 재현하는 것으로 알려져 있다. 따라서 GCM의 지역적인 예측 정보를 그대로 사용하는 대신에 GCM으로부터 예측된 광역규모의 기후예측 정보 중에서 지역 기후에 직·간접적으로 영향을 미치는 인자를 찾아 지역의 장기 기후를 간접적으로 예측하는 경우 예측성 향상을 기대할 수 있다. MWR 방법은 APCC의 장기 예측 자료로부터 추출된 광역규모 대기 패턴과 지역 기후 사이에 존재하는 관계를 통계적 모형으로 구축하여 예측에 활용하는 예측 자료 기반의 간접적인 상세화 방법이다. 즉, MWR 방법은 GCM이 대상 지역의 국지적인 강수 및 온도를 예측하는데 한계가 있다고 가정하고 태평양 해수면 온도와 같이 예측성이 좋은 광역의 해양 및 대기 순환 변수들을 이용하여 국지적인 대상 지역에서의 온도 및 강수 등의 예측성을 향상시키고자 하는 접근 방법이다.

CIR 방법은 광역규모의 해양 및 대기 순환과 지역 기후간의 상관성을 이용하여 지역 기후를 추정하는 통계적 상세화 방법이라는 점에서 MWR 방법과 비슷하다. 즉 예측 정보의 낮은 예측 성능을 상세화 과정에서 높이기 위한 목적에서 MWR 및 CIR 방법은 SBC 방법과 비교하여 차별성을 갖는다. 하지만 MWR 방법은 수개월 후의 대상 지역의 강수 및 온도를 예측하는데 있어서 GCM으로부터 생산된 동일한 시점의 기후예측 정보를 활용하는 반면에, CIR 방법은 광역 규모의 기후 패턴과 대상 지역의 강수 또는 온도 사이에 있을 수 있는 지체시간(lag-time)을 고려하여 수개월 후의 대상 지역에서의 강수 및 온도를 예측하는데 있어서 수개월 전 또는 현재 관측되어진 관측 기반의 기후인자(Climat Index)를 활용하는 관측 자료 기반의 간접적인 상세화 방법이다. 관측 자료만을

사용하는 경우 APCC의 장기 기후예측 자료를 사용하지 않기 때문에 예측 자료의 상세화 방법으로 간주하기 힘들 수 있으나 상관성이 높은 광역규모 기후인자와 대상 지역의 강수 또는 온도 사이에 지체시간이 없는(zero) 경우에는 MWR 방법과 같이 예측 자료로부터 기후인자(Climate Index)를 추출하여 관측 자료 기반의 기후인자와 병행하여 사용할 수 있다는 점에서 세 방법 중에서 예측 자료에 대한 의존도가 가장 낮은 상세화 방법이다.

앞에서 언급한 SBC, MWR, CIR 등의 공간적 상세화 방법을 이용하여 대상 지역에 대하여 예측된 월평균 강수 및 온도를 지역모형에 활용하기 위해서는 강수 및 온도 이외의 기상변수 자료가 필요할 뿐만 아니라 일 단위로의 시간적 상세화 과정이 필요하다. 장기 기후예측에 있어서 특정일에 발생하는 강수 또는 기온의 정보가 큰 의미를 갖지 않지만 지역모형의 구동을 위해서 시간적 상세화 방법이 필요하다. 수자원 분야에서 시간적 상세화 방법을 이용하여 생산된 자료를 활용하기 위해서는 관측점 간의 공간상관성 확보가 중요하게 고려되어야 한다. 따라서 시간적 상세화 기법 개발에 있어서 기상관측소 사이에 공간적 상관성 확보 및 강수량 및 온도 이외의 기상 변수들을 추가로 활용할 수 있는 방법이 필요하다.

3.3.2 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 예측성 평가

개발된 SBC, MWR, CIR 상세화 방법에 의하여 생성된 장기 기후예측 자료를 관측값과의 비교를 통하여 개별 방법들의 월별 예측성을 평가하였다. 이에 더하여 방법에 따른 예측성을 비교하였고, 가장 예측성이 높게 나타난 상세화 방법에 대해서는 선행예측기간의 변화에 따른 예측성 평가, 월별 예측 정보의 누적 기간에 따른 예측성 평가, 공간상관성 확보를 위해 선정된 공간 규모에 따른 예측성 평가를 수행하였다.

예측성 평가는 월별로 수행되었다. 개발된 상세화 기법을 통해 생산된 장기 기후예측 자료의 예측성 평가를 위해서는 예측 및 관측값을 그래프로 비교하는 것뿐만 아니라 다양한 통계 기법을 이용하여 그 결과를 평가할 수 있다. 예측값과 관측값의 선형 상관성을 평가하기 위해서 Temporal Correlation Coefficient(TCC)를 사용하였다. 상관관계가 동일하

더라도 예측값과 관측값의 오차 정도에 따른 예측의 정확도가 다를 수 있으며, 이를 평가하기 위해서는 Normalized Root Mean Square Error(NRMSE)를 사용하였다. TCC는 Pearson's correlation coefficient를 이용하여 <Equation 1~4>와 같이 계산하였으며, 강수 또는 온도 등과 같이 동일한 변량에 대하여 관측값과 예측값을 비교하는 경우 1에 가까울수록 높은 예측성을 나타낸다. NRMSE의 경우는 <Equation 5>와 같이 RMSE를 관측의 표준편차로 나누어 계산하였으며, NRMSE 값이 0에 가까울수록 관측값과 예측값 사이의 오차가 적게 되어 높은 예측성을 의미한다.

$$TCC = \frac{cov(P, O)}{S_P S_O} \quad (1)$$

$$cov = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \quad (2)$$

$$S_P = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

$$S_O = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}}{S_O} \quad (5)$$

여기서, O_i = 관측값, P_i = 모의값, \bar{O} = 관측값의 평균, \bar{P} = 모의값의 평균, n = 총 모의 및 실측 횟수이다.

3.3.3 장기 수문/수질예측성 평가

장기 기후예측 자료의 수문·수질예측성 평가의 경우 다음과 같은 4개의 서로 다른 대상으로 구성되어 있다: 1) 농업용 저수지 상류 유입량 예측성 평가, 2) 다목적 댐 유입량 예측성 평가, 3) 중권역 유역 수질예측성 평가, 4) 4대강 본류 수질예측성 평가. 수문·수질예측성 평가는 <Fig. 2>에서와 같이 장기 기후예측 자료를 모델링의 입력으로 활용하여 예측하는 모델링 기반의 방법과 원격상관을 이용한 통계적 기반 방법이 가능하다. 예측성 평가를 위해서는 장기 기후예측 정보의 예측성 평가에서 사용한 Temporal Correlation Coefficient(TCC)와 Normalized Root Mean Square Error(NRMSE)를 동일하게 사용하였다. 다만, 모델링 기반 예측성 평가를 위해서는 유역모형 또는 수질 모형의 보정 및 검정이 필요한데, 이 과정에서 모형의 성능 평가를 위해서는 수자원 분야에서 보편적으로 사용하고 있는 총오차(Total Error), 효율지수(Nash-Sutcliffe Efficiency index, NSE), 결정계수(R^2) 등을 <Table 2>와 같이 모형의 성능 평가에 사용하였다.

Table 2. 모형의 성능 평가 지표

Name	Equation	Optimal Value
총오차(Err, %)	$Err = \frac{\left \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right }{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$	0
효율지수(NSE)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	1
결정계수(R^2)	$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$	1

여기서, O_i = 관측값, P_i = 모의값, \bar{O} = 관측값의 평균, \bar{P} = 모의값의 평균, n = 총 모의 및 실측 횟수이다.

4개 대상별 예측성 평가 목적, 대상 지역, 사용된 모형, 예측 시나리오 등에 대하여 <Table 3>에 제시하였으며 세부적인 내용은 다음과 같다.

Table 3. 장기 수문·수질예측성 평가 대상별 연구 방법

대상	평가 목적 및 예측 시나리오	대상 유역	사용모형
농업용 저수지	<ul style="list-style-type: none"> SBC, MWR, CIR 상세화 기법의 예측성 비교 4월 및 10월에 예측한 6개월 선행예측기간 자료 	100만톤 이상 3개 저수지	SWAT
다목적 댐	<ul style="list-style-type: none"> 예측성이 가장 좋은 상세화 방법을 이용하여 생성된 장기 기후예측 자료를 입력으로 하는 모델링 기반 방법과 원격상관 기반의 통계적 방법의 예측성 비교 장기 예측 자료를 사용한 유입량 예측 방법과 관측 자료 기반의 유입량 예측 방법의 예측성 비교 매월 예측한 1개월 선행예측기간 자료 	안동댐	SWAT
중권역 수질	<ul style="list-style-type: none"> 예측성이 가장 좋은 상세화 방법을 이용하여 생성된 장기 기후예측 자료를 입력으로 하는 모델링 기반 방법과 원격상관 기반의 통계적 방법의 예측성 비교 2월, 5월, 8월, 11월에 예측한 3개월 선행예측기간 자료 	위천 중권역	SWAT
분류 수질	<ul style="list-style-type: none"> 예측성이 가장 좋은 상세화 방법을 이용한 모델링 기반 방법의 분류 구간에서의 수질예측성 평가 2월, 5월, 8월, 11월에 예측한 3개월 선행예측기간 자료 	낙동강 하류	HSPF-EFDC

1) 장기 예측 자료의 농업용 저수지 상류 유입량 예측성 평가: 6개월 선행예측기간의 장기 예측 정보의 예측성을 평가하기 위해서 단순 편이보정(Simple Bias Correction, SBC), 예측기반 상세화 방법(Moving Window Regression, MWR), 관측기반 상세화 방법(Climate Index Regression, CIR) 등 3개의 서로 다른 상세화 기법에 의하여 시·공간적으로 생성된 예측 자료를 사용하였다. 저수지 유입량의 예측성 평가를 위해서 미계측 유역을 대상으로 개발된 유역모형인 Soil and Water Assessment Tool(SWAT)을 사용하였다.

사용자 중심의 예측성 평가를 위해서는 현재 농어촌공사에서 장기 기후예측 정보 없이 농업용수 관리를 위해 사용하고 있는 방법¹⁹⁾을 기준으로 하여 예측 정보의 활용에 따른 예측성 향상 정도를 객관적으로 제시하는 것이 필요하다. 하지만 본

19) 농어촌공사에서 관리하고 있는 농업용 저수지 3372개 중에서 대다수가 100만톤 미만의 소규모 저수지로서 수문이 없이 사수위 이상의 용수를 취입구를 통해 농업용수로 활용하며 홍수조절 기능이 없다. 즉 호우 사상에 의한 만수위 이상의 유입량은 여수토를 통해 자유 방류된다. 즉 장기 예측 정보는 이수측면에서 중요할 수 있으며, 이수 측면에서 중요한 시기는 모내기 용수를 공급하는 4월에서 모내기 종료 시점인 6/20일 기간이 가장 중요하지만 홍수기 이후의 8월에서 9월 사이에 용수의 부족 또한 관심 대상 기간이다. 전년도 수확이후로부터 당해 연도 3월까지의 계속 물을 채우는 기간으로 특정 물관리 대책 없이 갈수기 강수량에 의존하게 된다. 따라서 저수지 물관리의 경우 당해 연도 1월 시점의 저수율을 바탕으로 6월 20일까지 물관리 계획을 매월 수립하게 된다. 농어촌공사에서 사용하고 있는 관행적인 방법은 예측 정보가 없다는 가정 하에서 월별 평년 강수량의 70%가 지속된다는 가정 하에서 당해 연도의 1월에서 6월까지 매달 저수지 유입량 기반의 가용수량(유출률 55% 가정)과 필요수량을 계산하여 저수율을 계산한다. 다만 1월에서 3월 기간에는 계획만을 수립하고 있다가 계산된 용수량이 부족해지는 시점으로부터 한 달 전부터 계획을 시행하게 된다. 예를 들어, 2012년의 경우에는 저수율의 경우 평년보다 3.5% 상회하는 상황에서 모내기 급수를 시작하였으나 5월의 고온 현상의 집중 및 5월 강수량이 평년의 39% 정도로 낮게 발생하여 6월의 저수율의 급격한 저하가 발생하였다. 가뭄 발생 시 대책은 농업용수 가뭄지표를 아래 표와 같이 관심, 주의, 경계, 심각의 4단계로 정의하여 활용하고 있다.

구분	가뭄지표 정의
관심(Blue)	농업적 가뭄발생 시기(4월~9월)
주의(Yellow)	최근 2개월 누적강수량이 평년 대비 70% 미만이고, 농업용 저수지 저수율이 평년 대비 70% 미만인 때
경계(Orange)	최근 2개월 누적강수량이 평년 대비 60% 미만이고, 농업용 저수지 저수율이 평년 대비 60% 미만인 때
심각(Red)	최근 2개월 누적강수량이 평년 대비 50% 미만이고, 농업용 저수지 저수율이 평년 대비 50% 미만인 때

연구에서는 다양한 상세화 방법에 의해 생산된 장기 기후예측 자료를 활용한 저수지 상류 유입량에 대한 예측성을 평가하는 것을 목적으로 하기 때문에 현행 물관리 방법을 비교 대상으로 삼지 않았다. 대신 유입량 예측모형이 완벽하다는 가정 하에서 관측 기상 자료를 사용하여 모의된 유입량을 기준으로 하여 장기 기후예측 자료를 사용하여 모의된 유입량을 비교함으로써 상세화 방법에 따른 유입량 예측성을 비교하였다. 관측 및 예측 기상 자료를 이용하여 모의된 유입량을 서로 비교한 또 다른 이유는 대부분의 농업용 저수지의 경우 유입량에 대한 관측값이 없기 때문이다. 대상 저수지는 낙동강 유역 내 100만 톤 이상 저수지 중에서 상류, 중류, 하류부에 위치한 지평 저수지, 죽전 저수지, 옥중 저수지 등 3개 저수지를 선정하였다. <Fig. 15>는 3개 저수지 상류유역의 토지이용도를 보여 준다.

실제 저수지 운영을 위해서 사용되는 예측 정보는 예측시점(어느 시점에 예측 정보가 필요한가?) 및 선행예측기간(얼마나 미리 예측이 가능한가?)의 다양한 조합에 따라서 결정되어 지며, 이는 다시 장기 예측 정보를 활용하고자 하는 목적에 따라서 예측 시나리오가 결정되어야 한다. 일반적으로 기후예측모형을 사용하는 경우 선행예측기간이 짧을수록 예측성이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 저수율이 가장 낮게 발생할 수 있는 시점인 5-6월에 가장 정확한 예측 자료를 활용하기 위하여 4월을 예측시점으로 하여 향후 6개월(5월~10월)을 예측한 자료를 사용하였다. 즉 APCC에서 제공하는 3개월 및 6개월 선행예측기간의 자료 중에서 6개월 선행예측기간 자료를 사용하였다. 나머지 기간에(11월4월) 대해서는 10월을 예측시점으로 한 6개월 선행예측기간 자료를 활용하였다.

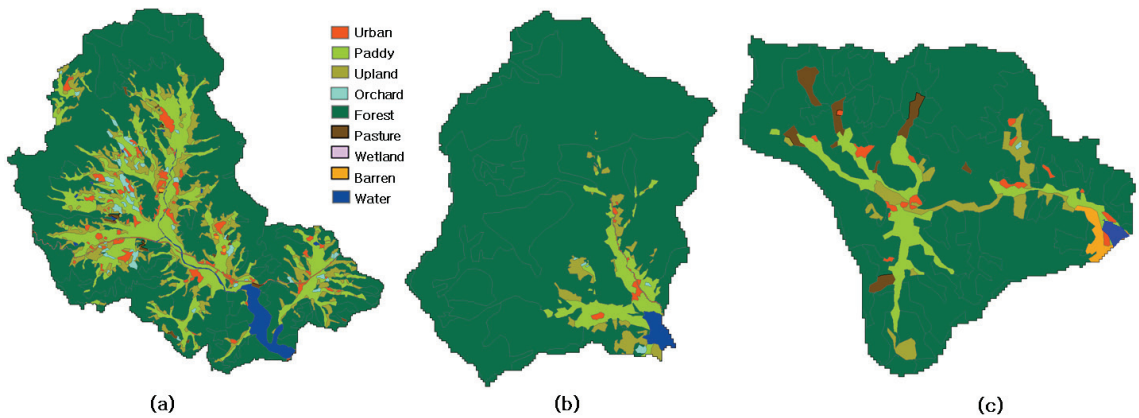


Figure 15. 대상 저수지별 토지이용도: (a) 지평, (b) 죽전, (c) 옥종

2) 장기 예측 자료의 다목적 댐 유입량 예측성 평가: 다목적 댐의 경우 상류 유입량에 대한 관측 자료가 존재하는 점을 고려하여 예측성이 가장 안정적으로 나타난 상세화 방법을 선택하여 1) 장기 기후예측 자료를 유역모형의 입력으로 사용하는 모델링 기반 접근 방식과 원격상관 기반의 통계적 접근 방식의 예측성 비교뿐만 아니라 2) 장기 예측 정보를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 유입량 산정 결과를 비교하였다.

우선 원격상관을 이용한 통계적 접근 방식의 경우 댐 유입량 관측 자료를 종속변수로 사용하고 Climate Prediction Center(CPC)에서 제공하는 40여개의 기후인자(Climate Index)를 지체시간을 변경해 가면서 독립변수로 사용하여 예측성이 가장 높게 나타나는 다중회귀모형을 월별로 구축하였다. 댐 유입량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(Water Management Information System: WAMIS)에서 제공하는 유입량 자료를 사용하였다. 즉 기후인자와 댐 유입량 사이에 존재하는 원격상관을 이용하여 유역모형의 구동 없이 직접 월별 댐 유입량을 예측하였다. 유역모형을 활용한 모델링 기반 댐 유입량 장기 예측성 평가를 위해서 Soil and Water Assessment Tool(SWAT) 모형을 사용하였다. SWAT 모형의 구동을 위해서는 일

단위로 상세화 된 자료가 사용되었다. 댐 유입량 장기 예측성 평가를 위해서 낙동강 상류에 위치한 안동댐 유역을 선정하였으며 <Fig. 16>은 안동댐 유역에 위치한 기상, 수위, 수질 관측점의 위치, 토지이용도, DEM을 보여 준다.

사용자 중심의 예측성 평가를 위해서는 현재 수자원공사에서 장기 기후예측 정보 없이 용수 관리를 위해 사용하고 있는 방법²⁰⁾을 기준으로 하여 예측 정보의 활용에 따른 예측성 향상 정도를 객관적으로 제시하여야 하는 것이 필요하다. 하지만 본 연구에서는 수자원공사에서 사용하고 있는 물관리 방안을 정확하게 고려하는 대신에 예측 정보를 사용하지 않고 현재의 관측 유입량을 기준으로 다음 달의 유입량을 산정하는 방법을 가정하여 결과를 비교하였다. 즉 현재 달의 관측 유입량에 대하여 동일 월의 과거 장기 유입량 자료를 기준으로 순위를 정한 후에 다음 달 유입량 또한 동일한 순위의 유입량이 발생하는 것으로 가정하여 다음 달의 유입량을 예측하는 방법이다. 안동댐의 경우 월별 유입량 자료는 댐운영 실무편람(수자원공사, 2013)에 제시되어 있는 안동댐의 1977~2012년의 36년에 대한 월별 유입량 자료를 사용하였다. 따라서 장기 기후예측 자료 또한 매 달 다음 달의 유입량을 예측한다는 조건을 일치시키기 위하여 매 달 생성된 선행예측기간이 1개월인 자료를 사용하였다.

20) 수자원공사의 이수 목적의 댐운영은 댐 상류 유입량의 경우에는 20년 빈도 유입량으로 고려하되, 극심한 상황에 따라서 50년, 100년 빈도의 유입량이 지속된다고 가정한다. 하지만 댐 상류를 제외한 나머지 유역의 경우에는 평년 유입량을 가정한다. 방류량의 경우에는 생공용수 등을 포함하여 흘려보내야 하는 최소값을 고려한다. 이를 이용하여 월별 물 수지 분석을 통하여 댐 저수량을 해당 시점(월)에서 다음 6월 말까지 결정하게 된다. 다목적 댐의 경우 2년 지속 가뭄에 대응할 수 있도록 되어 있어서 3~6개월 선행기간의 장기 예측 자료의 활용도가 낮을 수 있다. 반면에 남강댐과 같이 유역 면적과 비교하여 댐 저수 용량이 작은 경우에는 홍수 조절을 위해서 장기 예측 자료보다는 단기 예측 자료를 기반으로 예비 방류를 결정하여 홍수조절 기능을 수행한다. 또한 향후 유입량이 적을 것으로 예측하여 제한 방류를 하였으나 유입량이 많은 경우와, 유입량이 많은 것으로 예측이 되어 방류량을 늘렸으나 실제로 유입량이 적은 경우 제한 급수 및 낮은 저수량에 대한 책임의 소지가 있어 예측 정보가 아닌 현재 확보된 저수량을 기준으로 운영하고 있는 실정이다.

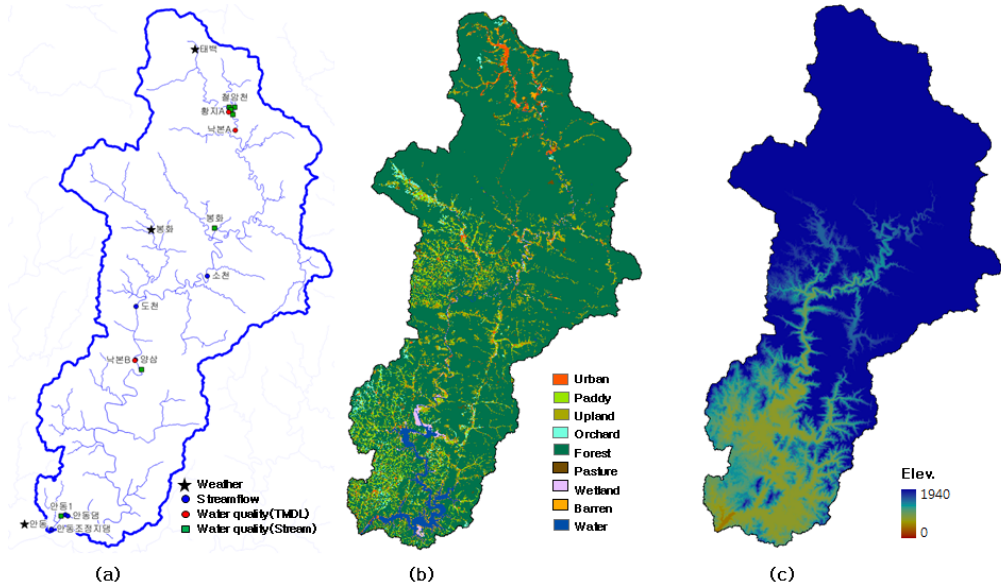


Figure 16. 안동댐 (a) 기상, 유량, 수질 관측망, (b) 토지이용, (c) DEM

3) 장기 예측 자료의 중권역 유역 수질예측성 평가: 중권역 수질예측성 평가의 경우에도 예측성이 가장 좋은 상세화 방법을 이용한 모델링 기반 방법과 원격상관을 이용한 통계적 기반 방법을 비교하였다. 원격상관을 이용한 기후인자 기반의 통계적 장기 수질예측에의 활용성을 평가하기 위해 관측 자료 기반의 CIR 방법(CIR-Observed)을 사용하여 월별 예측모형을 구축하였다. 즉 독립변수(predictor)의 경우 CPC에서 제공하고 있는 월별 기후인자를 지체시간을 고려하여 사용하였고, 종속변수(predictand)의 경우 <Fig. 17>에서 1990년 이후 장기 수질 자료가 존재하는 위천1, 위천2, 쌍계천의 3개 지점에서 6개 수질 항목(Temp, BOD, SS, TN, TP, 클로로필-a)의 1990~2013년 기간의 24년 자료를 대상변수로 사용하여 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 총 216개(12개월×3관측점×6개 수질항목)의 예측모형이 구축되었다. 모델링 기반 수질예측성 평가를 위해서는 기후예측성 평가에서 가장 안정적인 예측성을 보이는 상세화 기법의 장기 기후예측 결과를 시간적 상세화를 거쳐 사용하였으며, 유역모형으로 SWAT을 선택하였다. 월별 수질예측모

형을 검증하기 위해서는 장기간의 수질 자료가 필요하다. 수질 모형을 검·보정하기 위해서는 점원오염부하량의 장기간 동안의 변화를 고려하는 것이 필요하지만 장기의 점원오염 자료를 획득하는데 어려움이 있다. 따라서 장기 예측 자료의 수질예측성 평가를 위해서 낙동강 중권역 중에서 오염원이 가장 적으며 장기간 토지이용 변화가 적은 것으로 판단되는 위천 유역을 선정하였다²¹⁾. <Fig. 17>은 위천 중권역의 기상, 유량, 수질 측정망의 위치를 보여 준다. 예측 시나리오는 환경부의 “수질예보 및 대응조치에 관한 규정”²²⁾의 3개월 장기 수질예보의 발표 월(2월, 5월, 8월, 11월 마지막 주 금요일)을 고려하여 3개월 선행예측기간의 자료를 사용하였다. 즉 장기 기후예측 시나리오는 예측성능이 가장 좋게 나타난 상세화 방법을 이용하여 2, 5, 8, 11월에 향후 3개월씩을 예측한 자료를 사용하였다.

21) 위천 중권역 토지피복별 면적(단위: km²)

년도	수역	시가화	나지	습지	산림	초지	농업	
							논	밭
1980	3.51	3.67	6.53	0.00	1015.28	0.01	0.00	376.99
1985	5.67	3.34	6.00	0.00	1024.38	0.00	159.94	206.66
1990	9.61	3.96	1.85	0.00	1016.19	0.00	178.46	195.92
1995	8.42	4.42	5.94	0.00	1024.11	0.00	274.50	88.60
2000	12.96	6.72	3.05	0.00	1017.50	0.00	233.47	132.29
2006	23.00	38.00	8.00	10.00	959.00	9.00	185.00	173.00

자료) 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)

22) 수질예보 및 대응조치에 관한 규정에는 수질예보의 종류를 7일 단위의 단기 수질예보와 3개월 단위의 장기 수질예보로 구분하며, 수질예보 항목으로는 수온, 클로로필-a 농도, 기타 필요한 사항으로 제시되어 있고, 수질예보구간의 경우 낙동강은 안동댐 방류지점부터 낙동강 하구언까지로 규정되어 있다.

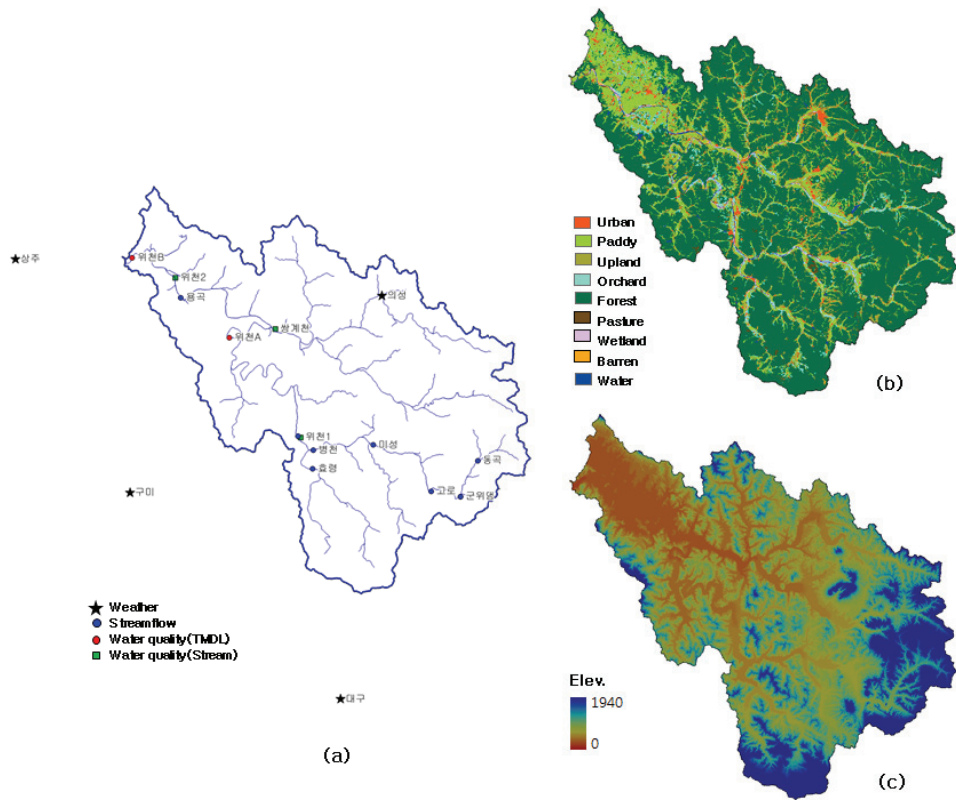


Figure 17. 위천 중권역 (a) 기상, 유량, 수질 관측망, (b) 토지이용, (c) DEM

4) 장기 예측 자료의 낙동강 본류 수질예측성 평가: 낙동강 본류 구간에서는 4대강 사업 이후 보 운영을 고려하여 수질이 예측되어야 한다. 하지만, 유역모형인 SWAT만을 이용하여 보 주변의 본류 구간에서 수질을 예측하는 것은 불가능하기 때문에 유역모형과 수리·수질 모형의 연계 구축이 필요하다. 본 연구에서는 낙동강 하류의 수질예측을 목적으로 유역모형과 수리·수질 모형을 연계한 모델링 기법이 시도되었다. 유역모형으로는 SWAT모형이 선정되었고, 수리·수질 모형으로는 최근에 수질을 모의할 수 있도록 기능이 추가된 HEC-RAS모형을 선정하였다.

모형의 구축은 <Fig. 18>과 같이 대상 구간인 낙동강 하류부로 유입되는 지천의 경우에는 SWAT 모형을 이용하여 낙동강 본류로 유입되는 유량과 오염부하량을 계산하여 HEC-RAS의 경계조건으로 사용한다. 낙동강 상류부로부터 유입되는 유량과 오염부하량의 경우는 모델링 없이 유량의 경우 대암 측점의 값을, 수질의 경우는 낙본G의 관측 수질을 이용하여 HEC-RAS의 경계 조건으로 사용한다. 구축된 SWAT 및 HEC-RAS 연계모형을 검·보정한 후에 본류에서의 수질의 시·공간적인 변화를 모의하게 된다.

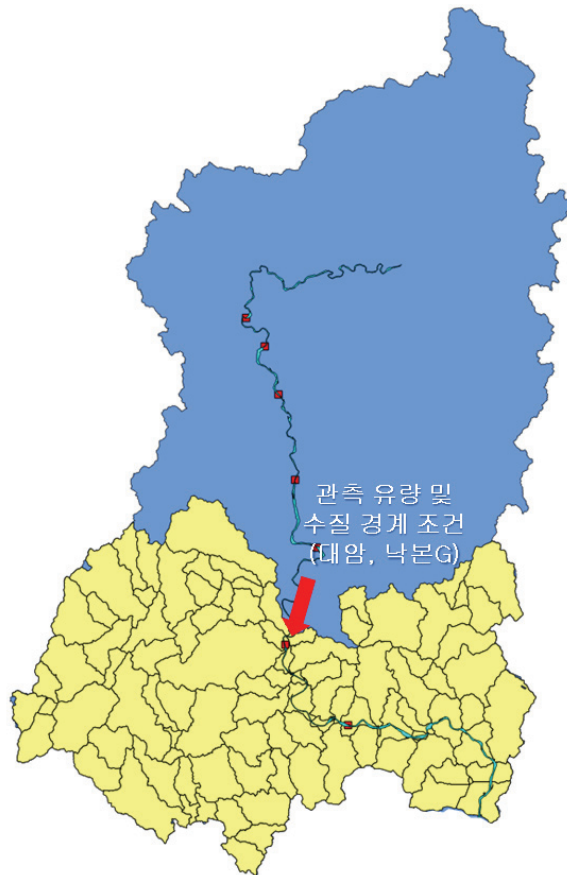


Figure 18. SWAT 및 HEC-RAS 연계 방안

하지만 본 연구에서는 SWAT/HEC-RAS 연계 모형의 경우 시스템의 구축 및 모형의 검보정을 통한 모델링 시스템에 대한 검증 또한 많은 시간과 노력이 필요하다. 적합한 절차를 통해 사용된 연계 모델링 시스템에 대한 검증이 중요한 점을 고려할 때, 본 연구에서는 모형의 검보정이 이미 완료되어 현업에 활용되고 있는 국립환경과학원의 HSPF-EFDC 모델링 시스템을 협조를 통해 활용하였다. 모형의 적용은 가장 높은 예측성을 보이는 상세화 방법을 이용하여 생성된 2009~2011년 동안의 기후예측 자료를 모형의 입력으로 사용하여 모의된 수질을 실제 관측 수질 자료뿐만 아니라 동일 기간 동안에 관측 기상 자료를 입력으로 사용하여 모의된 수질 결과와 비교하였다. 이는 EFDC 모델링에 의해 발생하는 불확실성을 제거하고 장기 기후예측에 의한 영향만을 비교하기 위한 목적이다.

3.3.4 통합 수질예측 기법 개발

역학적 기후예측모형으로부터 제공되는 예측 자료를 활용하는 경우(SBC와 MWR)에는 다양한 개별 모형으로부터 제공되는 예측 자료를 이용한 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)을 통하여 예측의 불확실성을 줄이는 것이 가능하다. MME를 위해서는 단순히 모형들의 평균을 이용하는 기법과 개별모형의 예측성을 반영하여 서로 다른 가중치로 평균하는 기법이 있을 수 있다. 또한 통합 수질예측 시스템을 위해서는 상세화된 장기 기후예측 자료 기반의 모델링 방법(Fig. 2의 ① 및 ②) 및 원격상관을 이용한 기후인자 기반의 통계적 방법(Fig. 2의 ③)을 통합 활용하는 hybrid 방법이 예측성 향상에 도움이 될 수 있다. 따라서 다양한 기후예측모형, 상세화 방법, 모델링 기반 및 통계적 기반 수질예측 방법 등의 조합에 의하여 생성될 수 있는 예측 자료들을 이용하여 예측성을 극대화 할 수 있는 통합 기법 및 절차를 제시하도록 한다.

3.3.5 기후정보의 사용자 수요 조사

국내 다양한 물 관련 기관을 대상으로 전문가 설문조사를 실시하였다. 설문조사의 목적은 1) 기후예측 정보의 수자원분야 활용도 및 수요를 파악하고, 2) 기후예측 정보를 고려한 수질관리 정책제언의 근거자료로 활용하기 위함이다. 설문조사 내용은 우선 기후정

보를 단기 및 중기 예측 정보, 장기 예측 정보, 기후변화 시나리오 정보로 구분하였고, 기후정보별 정보 접근성, 예측 신뢰성, 사용자 편의성, 의사결정 활용성 등에 대한 전문가 의견을 조사하였다. 설문조사는 <Table 4>의 72개 전문기관의 부서별 전문가에게 전화로 설문조사에 대해 설명을 한 후에 e-mail로 수행하였다.

Table 4. 수자원 전문가 설문조사 대상 기관

기관	부서	개수
수자원공사	댐유역관리처, 중부통합물관리센터, 남부통합물관리센터, 남부통합물관리센터, 낙동강중부물관리센터, 한강통합물관리센터, 금강통합물관리센터, 영산강통합물관리센터, 낙동강통합물관리센터	9
농어촌공사	수자원운영처, 경기지역본부, 충북지역본부, 전북지역본부, 경북지역본부, 강원지역본부, 충남지역본부, 전남지역본부, 경남지역본부, 농어촌연구원	10
한국수력원자력	수력양수운영팀	1
국립환경과학원	유역총량연구과, 물환경평가연구과, 영산강물환경연구소, 낙동강물환경연구소, 금강물환경연구소, 한강물환경연구소	6
건설기술연구원	수자원연구실, 수자원연구실, 환경연구실, 건축연구실	4
상수도사업본부	서울(수질과, 급수계획과, 강북정수센터), 부산(시설부 수질팀)	4
홍수통제소	한강(예보통제과, 하천정보센터), 금강, 낙동강, 영산강 예보통제과	5
유역환경청	한강, 낙동강, 금강, 영산강(수질총량관리과, 유역계획과, 상수원관리과, 수생태관리과) 대구지방환경청(수질관리과, 수질총량관리과), 원주지방환경청(수질총량관리과), 새만금지방환경청(새만금유역관리단)	20
환경부	수질관리과, 수생태보전과, 유역총량과, 상하수도정책과, 물환경정책과, 기후대기정책과, 기후변화협력과	7
국토교통부	수자원정책과, 하천운영과, 수자원개발과, 하천계획과, 친수공간과	5
부산시청	기후변화대응	1

4. 연구결과

4.1 장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발

APCC에서 제공하고 있는 3개월/6개월의 선행예측기간(lead time)을 가지는 장기 예측(계절예측) 자료를 농업·수자원 등 다양한 응용분야에 활용하기 위해서는 예측 정보의 신뢰성이 확보되어야 한다. 또한 신뢰성이 확보 되더라도, 전 지구 규모(global-scale)의 모형에 의해 생산된 공간적 해상도가 낮은 월 단위(monthly time-step)의 자료를 유역/필지 규모에서 활용하기 위해서는 공간적/시간적 상세화의 과정이 필요하다. <Fig. 19>는 본 연구에서 개발된 상세화 과정의 흐름도를 보여 준다.

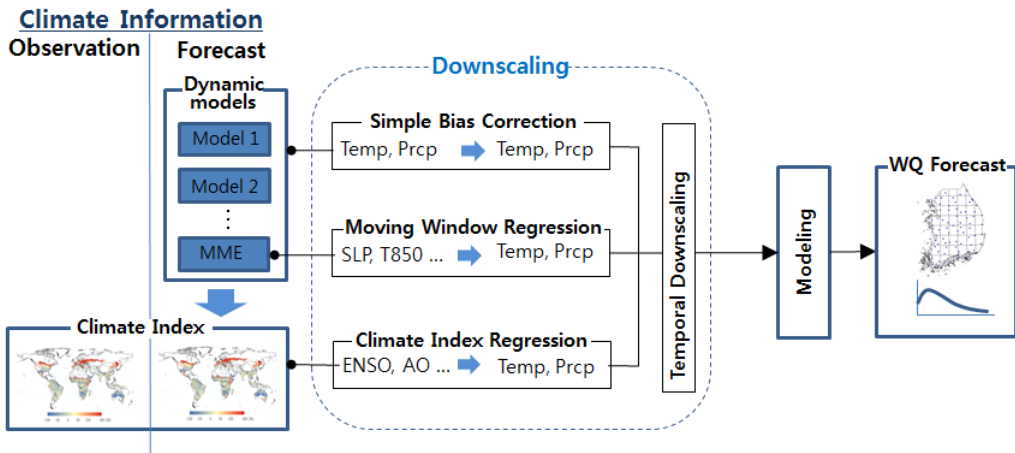


Figure 19. 상세화 흐름도

본 연구에서 개발된 상세화 기법들은 예측 자료의 상세화를 위해서 일반 사용자도 쉽게 사용할 수 있도록 오픈소스 기반의 R을 이용하여 자료처리 프로그램으로 개발되었으며 사용법 및 자세한 내용은 부록 2에 제시하였다.

4.1.1 Simple Bias Correction(SBC) Method

단순편이보정(Simple Bias Correction, SBC) 방법은 기후예측모형의 Anomaly(대상 지역에서의 장기간 평균과 비교하여 해당 월에 발생하는 변량의 차이)를 관측 자료의 평균에 더하거나 비율을 이용함으로써 동일한 기간 동안의 기후예측모형의 평균과 관측 평균을 갖게 보정하는 방법이다. APCC는 현재 16개의 기관으로부터 생산되는 장기 예측 정보를 매월 제공 받아 예측 정보의 불확실성을 줄이기 위해 APCC에서 개발된 다중 모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)기법으로 예측 정보를 고도화하여 제공하고 있다. 본 연구에서는 APCC에서 보유하고 있는 3개월 및 6개월 선행예측기간의 자료를 사용하였고 <Table 5>에서 제시된 자료들 중에서 동일한 과거기간(Hindcast period)에 대하여 예측 정보가 존재하는 6개월 선행예측기간을 가지는 6개 모형을 사용하였으며, 각 모형별로 서로 다른 개수의 앙상블(Ensemble) 자료를 활용하였다. 분석에 사용한 기간은 역학 모형의 자료가 공통으로 존재하는 1983~2005년의 23년의 자료를 사용하였다.

Table 5. 개별 모형별 앙상블 개수 및 선행예측기간

Model	Institution	Ensemble number	Lead time
CWB	Central Weather Bureau (Taipei)		3
GDAPS_F	Korea Meteorological Administration (Korea)	20	3
HMC	Hydrometeorological Centre of Russia (Russia)	10	3
JMA	Japan Meteorological Agency (Japan)	5	3
MSC_CANCM3	Meteorological Service of Canada (Canada)	10	3, 6
MSC_CANCM4	Meteorological Service of Canada (Canada)	10	3, 6
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)	11	3, 6
NCEP	Climate Prediction Center / NCEP/NWS/NOAA (USA)	20	3, 6
PNU	Pusan National University (Korea)	15	3, 6
POAMA	Centre for Australian Weather and Climate Research/ Bureau of Meteorology (Australia)	30	3, 6

Simple Bias Correction(SBC) 상세화는 예측 자료의 예측성 향상 없이 역학모형에 의해 생산된 예측 자료를 단순편이보정 과정을 통하여 공간적으로 상세화 하는 방법으로서 자료처리 절차는 <Fig. 20>에 제시되어 있다. 절차는 크게 두 부분으로 나누어져 있다. 우선 관측점을 포함하는 2.5° (대략 250km) 격자의 예측 자료(NetCDF 포맷)로부터 아무런 처리를 하지 않은 예측값을 관측점별로 추출한다(텍스트 포맷). 수자원 분야에서 필요로 하는 기상 변수로는 강수량(prec) 및 지상 2m에서의 평균온도(t2m)가 있으며, 평균온도의 경우 추출하는 과정에서 켈빈(K)에서 섭씨(°C)로 단위를 변경하였다. 이후에 추출된 관측점별 예측 자료와 과거 관측 자료를 이용하여 월별로 편이보정을 <Equation 6~7>을 이용하여 수행한다. 즉 예측 자료의 월별 anomaly를 관측점별 관측

자료의 평균에 더하거나(온도) 비율로 보정(강수)을 하는 단순 상세화 방법을 사용하여 2.5°격자의 예측 자료를 관측점별 자료로 변환하는 공간적 상세화 및 월별 강수 및 온도 변수의 편이보정을 동시에 수행하였다. 온도의 경우에는 <Equation 6>을 이용하여 동일 과거기간 동안의 월평균 관측값에 해당 연/월의 예측값과 월평균 예측값과의 차인 Anomaly를 더하여 편이보정을 수행하였다. 강수의 경우에는 음(-) 값이 발생하는 것을 방지하기 위하여, 예측 연월의 값이 과거기간 예측 평균값보다 큰 경우는 온도와 마찬가지로 anomaly를 과거 관측평균값에 더하여 보정하였고, 차이가 음의 값인 경우에는 <Equation 7>과 같이 비율로 보정하였다.

$$T'_{y,m} = (T_{y,m} - T_{hist,m}) + T_{obs,m} \quad (6)$$

$$P'_{y,m} = \begin{cases} (P_{y,m} - P_{hist,m}) + P_{obs,m} & \text{for } P_{y,m} \geq P_{obs,m} \\ (P_{y,m} \div P_{hist,m}) \times P_{obs,m} & \text{for } P_{y,m} < P_{obs,m} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, T는 온도, P는 강수, y는 연도, m은 월, hist는 예측 자료의 과거기간에 대한 평균, obs는 hist와 동일한 과거기간에 대한 관측 평균을 의미한다.

SBC 방법에 의한 상세화는 <Fig. 15>의 57개 기상청의 관측점을 대상으로 동일한 과거기간(1983년~2005년)에 대하여 적용하였다. 관측점의 선정은 제주도 및 울릉도의 해당되는 관측점을 제외하였고, 76년 이후의 장기 자료를 가지고 있는 관측점 중에서 결측값을 포함하고 있는 안동관측소(ID136)을 제외한 57개 관측소를 선정하였다. 각 관측점별로 관측 자료와 예측 자료의 월별 평균을 이용하여 앞서 제시된 식을 이용하여 편이보정을 수행한 후에 57개 관측소의 산술 평균을 이용하여 한반도 규모에서 예측 자료의 평균을 구하였다. 편이보정된 한반도 평균 예측 정보는 관측의 평균과 비교를 통하여 시간적 상세화에 이용되었다. SBC 방법의 경우에는 개별 예측모형의 앙상블멤버들을 모두 이용하였다. 즉 개별 모형별 앙상블 멤버들을 단순 평균하여 Single Model Ensemble(SME)를 계산하고, 6개 기후예측모형들의 SME를 단순평균 하여 Multi-model Ensemble(MME)를 계산하였다.

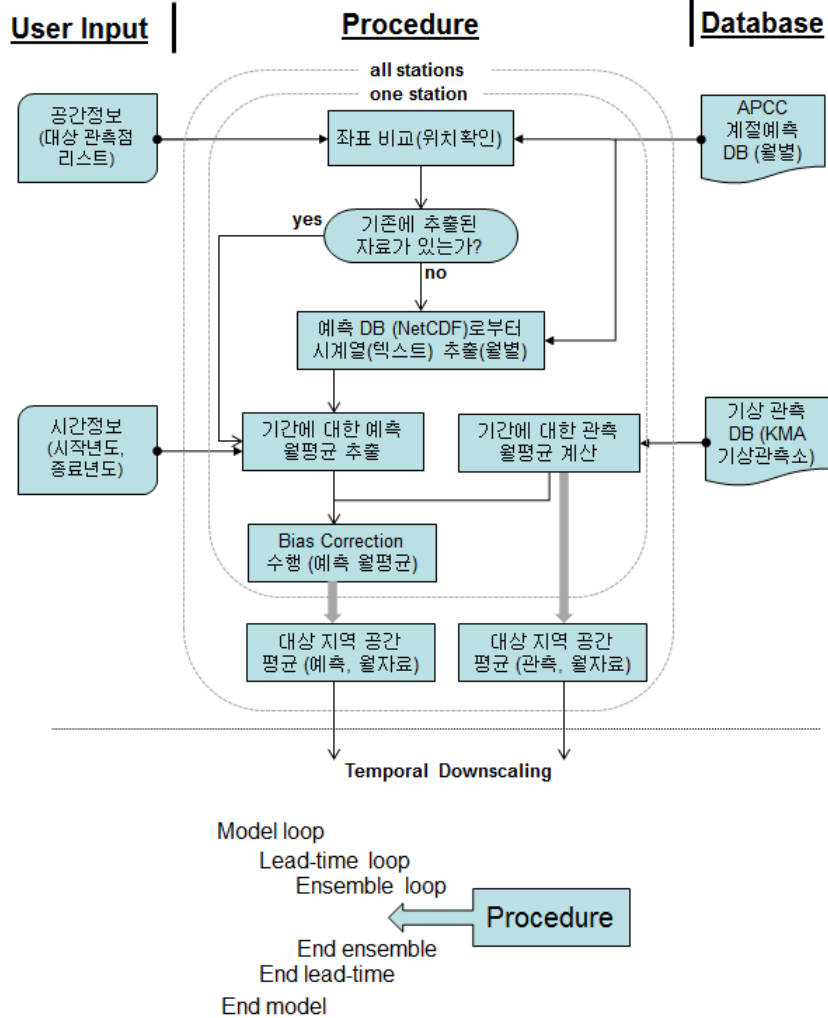


Figure 20. Simple Bias Correction(SBC) 상세화 절차

4.1.2 Moving Window Regression(MWR) Method

예측기반 상세화 방법으로는 Kang 등(2009)에 의하여 제시된 이후 APCC MME 자료를 이용한 한반도 강수 및 온도의 상세화를 위해 여러 연구자에 의해 사용되고 개선된 바 있는 Moving Window Regression(MWR) 방법을 선택하였다(Kang et al., 2009;

Kang et al., 2014, Min et al., 2011). MWR 방법은 <Table 6>에 제시되어 있는 APCC에서 보유하고 있는 예측 자료의 10개 변수를 회귀분석의 독립변수(predictor)로 이용한다. 즉 25° × 20° (대략 2,500km × 2,000km)의 사용자 정의 창을 2.5° 크기로 표준화된 모든 격자를 이동하면서 모든 독립변수들에 대하여 종속변수(predictand)인 지역의 관측 월평균 강수와 온도와의 상관관계를 계산한다. 이후에 가장 높은 상관관계를 보이는 독립변수 및 위치를 이용하여 회귀모형을 개발하여 사용하는 방법이다. MWR 상세화 방법의 절차는 <Fig. 21>에 제시되어 있다.

Table 6. APCC MME 참여 개별 모형 제공 변수

Variable	Description
PREC	Precipitation
T2M	Temperature at 2m
T850	Temperature at 850 hPa
U200	Zonal wind at 200 hPa
V200	Meridional wind at 200 hPa
U850	Zonal wind at 850 hPa
V850	Meridional wind at 850 hPa
Z500	Geopotential height at 500 hPa
SLP	Sea level pressure
SST	Sea surface temperature

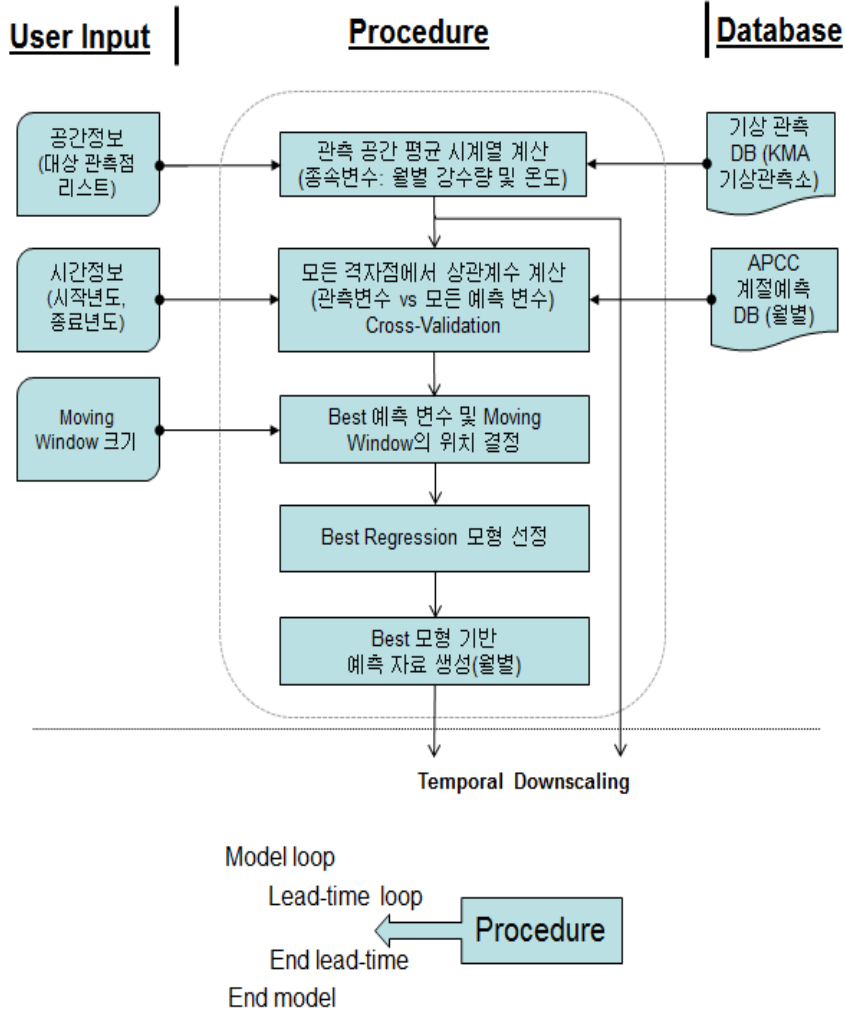


Figure 21. Moving Window Regression(MWR) 상세화 절차

- 1) **월별 관측 공간평균 계산:** 상세화의 최종 목적이 공간 상관성을 가지는 일 자료를 생성하는 것이기 때문에 각각의 기상관측점에 대하여 상세화 방법을 적용하는 대신에 57개 기상관측점을 이용한 한반도 월별 평균값을 대상으로 MWR 상세화 방법을 통한 예측성 향상을 시도하였다.

- 2) **모든 격자점에서 상관계수 계산:** <Table 6>에 제시된 예측모형으로부터 생산된 2.5° 격자의 개별 기후변수들을 독립변수(predictor)로 하여 25° × 20° 크기의 윈도우를 개별 독립변수의 모든 격자점을 이동하면서 독립변수와 종속변수와의 상관계수(correlation coefficient)를 구한다. 종속변수(predictand)로는 앞에서 계산된 한반도 공간평균 월별 강수 및 온도자료를 사용하였다.
- 3) **Best 독립변수 및 Moving Window의 위치 결정:** 가장 높은 상관계수를 보인 변수와 윈도우의 위치를 best predictor로 선정하여 회귀모형을 구성하였다. Best predictor를 결정하기 위해 1983년부터 2005년의 Hindcast기간에 대하여 leave-one-out cross validation을 월별로 수행하였다. 예를 들어 1월에 대한 회귀모형을 구성하는데 있어서 1983년 1월을 제외한 1984년~2005년 자료를 이용하여 회귀모형을 구성하여 1983년의 1월을 예측하고, 1984년에서 2005년까지 한 해씩 반복하여 제거하면서 제거된 해의 자료를 회귀모형으로 예측하였다. 따라서 각 연도별로 선정된 best 독립변수(predictor)의 변수 및 윈도우의 위치는 상이할 수 있다.
- 4) **Best Regression 모형 선정:** 예측을 위한 회귀모형을 구성하기 위해서는 각각의 월별 종속변수(강수 및 평균기온)에 대해서 1개의 동일한 독립변수가 선정되어야 한다. 따라서 앞에서 cross-validation을 적용하여 도출된 1983~2005년의 월별 best predictors(독립변수들) 중에서 가장 빈도수가 높은 독립변수를 최종적으로 선정하였다.
- 5) **Best 모형 기반 예측 자료 생성:** 앞에서 월별 종속변수(강수 및 평균기온)에 대해서 선정된 best 독립변수(predictor)를 이용하여 1983~2005년의 과거기간에 대하여 cross-validation을 적용하여 연도별 예측 정보를 재생산하였다. 앞의 3)번 절차의 경우는 연도별로 선정된 독립변수가 상이할 수 있는 반면에 본 과정에서는 동일한 1개의 독립변수가 모든 연도에 사용되었다.

4.1.3 Climate Index Regression(CIR) Method

CIR은 기후분야의 기존 연구를 통해 정의되고 개발되어 온 기후인자(Climate Index)와 종속변수(predictand)인 유역의 월평균 강수 및 온도 사이에 존재할 수 있는 지체시간(lag-time)을 고려하여 높은 상관관계를 가지고 있으면서 동시에 지체시간이 선행예측기간(lead time) 보다 큰 경우에 한하여 과거 관측 자료를 기반으로 계산된 기후인자를 예측변수로 사용하는 기법이다. 국내에서는 여러 연구자들이 한반도의 강수 및 온도에 영향을 미치는 기후인자와 지체시간에 대한 연구를 수행한 바 있다(김연희 등, 2008; 김지영과 박혜진, 2010; Kim et al., 2007). 또한 한반도를 포함한 동아시아 지역 및 다양한 지역의 강수와 관련해서 기후인자를 이용한 다양한 연구가 수행되었다(Choi and Moon, 2013; Hong et al., 2011; Kim and Kim, 2007; Schepen et al., 2012; Wang et al., 2008). 본 연구에서는 Climate Prediction Center(CPC)에서 월별로 제공하고 있는 40여개의 기후인자 중 <Table 7>에 제시된 기후인자들을 독립변수로 사용하였다. 즉, 한반도의 강수 및 기온에 영향을 미치는 기후인자에 대한 사전 정보가 없다는 가정 하에, CPC에서 제공되는 모든 기후인자에 대하여 지체시간을 0~12개월까지 변경하면서 한반도 강수 및 기온과 가장 상관관계가 높은 기후인자를 선택하여 예측에 활용하였다. CIR 상세화 절차는 <Fig. 22>에 제시되어 있다.

Table 7. Climate Index Regression 방법에 사용된 기후인자

Index	Description(reference)
AAO	Antarctic Oscillation
AMM	Atlantic Meridional Mode
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
AMOSM	Atlantic Multidecadal Oscillation, smoothed
AO	Antarctic Oscillation
ATLTRI	Atlantic Tripole SST EOF(1st EOF of SST 10N-70N, 0-80W)
CAR	Caribbean SST Index
CENSO	Bivariate ENSO Timeseries
CIP	Central Indian Precipitation

Index	Description(reference)
EA	Eastern Asia/Western Russia
EOFAC	Tropical Pacific SST EOF(1st EOF of SST 20N-20S, 120E-60W)
EPO	East Pacific/North Pacific Oscillation
ESL	Equatorial Eastern Pacific SLP
ESPI	ENSO precipitation index
GIAM	Globally Integrated Angular Momentum
GML	Global Mean Lan/Ocean Temperature
MEI	Multivariate ENSO Index
NAO	North Atlantic Oscillation
NBRA	Northeast Brazil Rainfall Anomaly
NINA1	Extreme Eastern Tropical Pacific SST
NINA3	Eastern Tropical Pacific SST
NINA34	East Central Tropical Pacific SST
NINA4	Central Tropical Pacific SST
NOI	Northern Oscillation Index
NP	North Pacific pattern
NTA	North Tropical Atlantic SST Index
ONI	Oceanic Nino Index
PACWARM	Pacific Warmpool (1st EOF of SST(60e-170E, 15S-15N) SST EOF)
PDO	Pacific Decadal Oscillation
PNA	Pacific North American Index
QBO	Quasi-Biennial Oscillation
SahelRain	Sahel Standardized Rainfall(20-8N, 20W-10E)
SOI	Southern Oscillation Index
Solar	Solar Flux(10.7cm)
SWM	Sahel Area averaged precipitation for Arizona and New Mexico
TNA	Tropical Northern Atlantic Index
TNI	Indices of El Nino evolution
TSA	Tropical Southern Atlantic Index
WHW	Western Hemisphere warm pool
WPO	West Pacific Oscillation

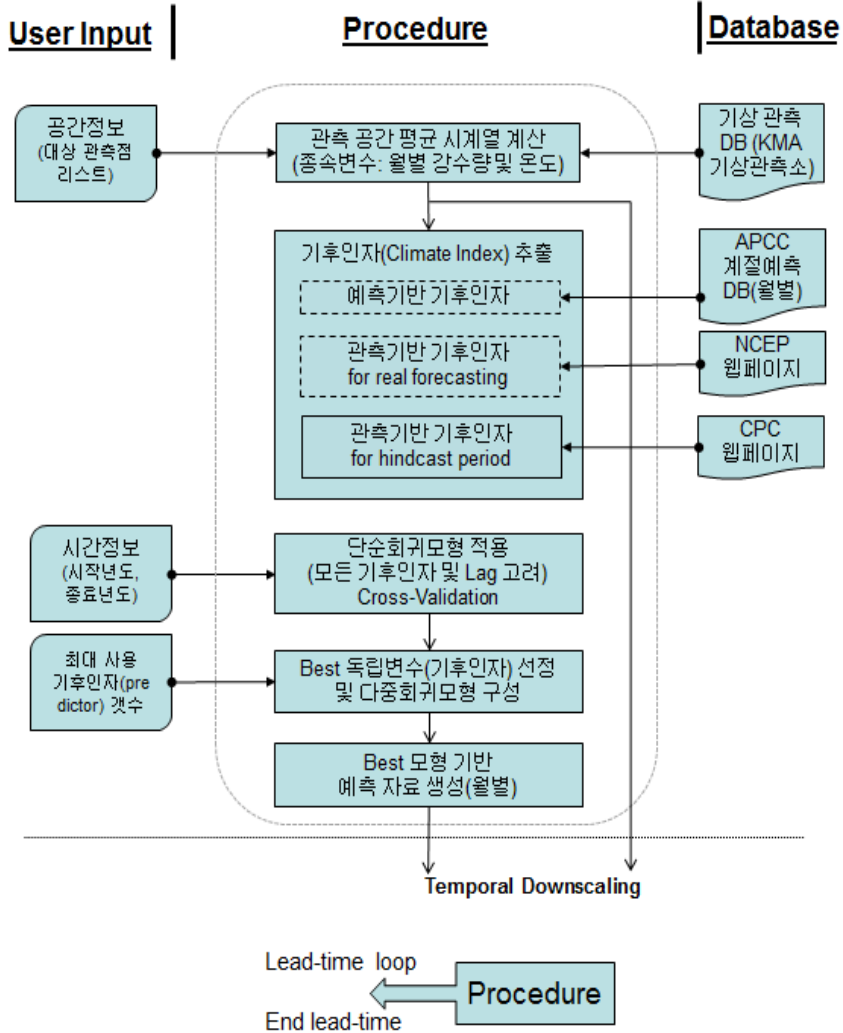


Figure 22. Climate Index Regression(CIR) 상세화 절차

- 1) 월별 관측 공간평균 계산: MWR 방법과 마찬가지로 상세화의 최종 목적이 공간 상관성을 가지는 일 자료를 생성하는 것이기 때문에 각각의 기상관측점에 대하여 CIR 상세화 방법을 적용하는 대신에 57개 기상관측점을 이용한 한반도 월별 평균 값을 대상으로 상세화 방법을 적용함으로써 우선 예측성 향상을 시도하였다.

- 2) **기후인자 추출:** 본 연구에서는 Climate Prediction Center(CPC)에서 제공되는 과거기간 동안의 관측 자료 기반의 기후인자들을 이용하여 관심 대상지역인 한반도의 종속변수(강수량 및 평균기온)와의 상관분석을 통해서 가장 높은 상관성을 보이는 관측기반 기후인자 및 지체시간(lag-time)을 찾아내어 회귀모형을 구축하였다. 하지만, 도출된 기후인자 중에서 지체시간이 zero인 경우에는 관측 자료가 아닌 APCC MME와 같은 예측 자료로부터 기후인자를 추출하여 선정된 모형을 검증해야 한다. 즉 과거기간에 대하여 관측 자료만을 사용하였을 경우와 비교하여 APCC 예측 자료를 사용한 경우(Fig. 22의 예측기반 기후인자) 예측성능이 현저하게 줄어들지 않는 경우에 선택된 모형을 사용하지만, 예측성능이 현저히 떨어지는 경우에는 예측 자료가 기후인자를 정확히 예측하지 못하는 것으로 판단하여 관측 자료만을 사용한 모형을 사용한다. 또한 실제 예측(Real forecast)을 목적으로 하는 경우에는 도출된 기후인자가 매 월 실시간으로 갱신되어야 하는데 CPC에서 매 월 제공되지 않는 인자들의 경우는 실시간으로 제공되는 Reanalysis 1과 같은 재분석 자료를 이용하여 기후인자를 추출하는 것이 필요하다.
- 3) **단순회귀 모형 적용:** 앞에서 계산된 57개 관측점으로부터 계산된 한반도의 월평균 강수량 및 온도를 종속변수(predictand)로 하고 CPC에서 제공하는 개별 기후인자를 독립변수(predictor)로 하여 지체시간(lag-time)을 0에서 12개월까지 변경하면서 단순회귀식을 적용하였다. 회귀식의 적용은 leave-one-out cross validation 기법을 적용하였다.
- 4) **Best 독립변수(기후인자) 선정 및 다중회귀모형 구성:** 강수량 및 온도에 대하여 월별로 계산된 모든 경우(40개 기후인자×13개 lag-time) 중에서 결정계수가 높은 상위 n개의 회귀모형을 선정하였다. 동일한 기후인자에 lag-time만 다른 모형이 선택되는 경우는 제외함으로서 선택된 모든 기후인자가 서로 상이하도록 선정하였다. Best 기후인자의 선택은 두 가지의 경우가 가능하다. 우선 예측을 위한 모형의 구성에 있어서 독립변수(predictor)를 모두 관측 자료에서 획득하는 경우이다. 예를 들면, 4월에 7월의 강수량을 예측하는 경우(3 month lead-time)에 관측 자

료 기반의 기후인자만을 사용하기 위해서는 lag-time이 3개월보다 큰 기후인자들만을 선택해야 한다. 또 다른 하나의 경우는 예측을 위한 모형의 구성에 있어서 관측 자료 및 예측 자료를 동시에 활용하는 방법이다. 즉 4월에 7월의 강수량을 예측하는 경우(3 month lead-time) lag-time이 0이거나 3개월보다 큰 경우로서, lag-time이 0인 경우는 7월의 강수를 예측하는데 있어서 7월의 예측 정보로부터 기후인자를 추출하여 사용하는 것을 의미하며, lag-time이 3개월보다 큰 경우는 Reanalysis 1과 같이 매월 자료갱신이 일어나는 재분석 자료로부터 기후인자를 추출하여 사용할 수 있음을 의미한다. 다음으로는 관측기반의 CIR 상세화(CIR-Observed) 또는 관측 및 예측 기반의 CIR 상세화(CIR-Forecast)에 따라서 결정된 n개의 상위 단순회귀모형의 기후인자 및 lag-time을 가지고 다중회귀모형을 구축하였다. 본 연구에서는 3개의 기후인자를 선택하였으며 다중회귀모형의 선택은 R의 leaps패키지를 이용하여 전 모형 탐색법을 이용하여 최적의 모형을 구축하였다.

- 5) **Best 다중회귀모형 기반 예측 자료 생성:** 앞에서 사용자에게 의해 정의된 월별 예측 시나리오에 따라 결정된 best 다중회귀모형을 이용하여 한반도 월별 강수량 및 평균기온 자료를 생산한다. 이후에 최종적으로 시간적 상세화 과정을 거쳐 일 자료의 생성이 이뤄진다.

4.1.4 일 자료 생성을 위한 시간적 상세화

앞서 설명한 공간적 상세화에 더하여 장기 기후예측 자료를 유역모형의 입력 자료로 활용하기 위해서는 월 자료를 일 자료로 변환하는 시간적 상세화 과정이 필요하다. 시간적 상세화 절차는 <Fig. 23>에 제시되어 있으며, 예측된 월 자료를 기반으로 과거 자료로부터 일 자료를 샘플링 하는 방법을 사용하였다. 즉 대상지역(한반도)에 대하여 예측된 월별 강수량 및 평균기온을 동일한 지역을 대상으로 과거 관측 자료로부터 계산된 공간평균 강수량 및 평균기온과 비교하여 가장 비슷한 특성을 가지는 연/월을 선정 한 후 선정된 과거자료의 연/월로부터 대상 지역에 포함되어 있는 모든 관측점의 자료를

동시에 추출하여 일 자료를 생성한다. 따라서 한반도 또는 낙동강 유역 등 대상 지역이 달라지는 경우에는 월별 공간평균 값이 달라질 수 있으므로 상이한 결과가 도출될 수 있는 가능성이 있다.

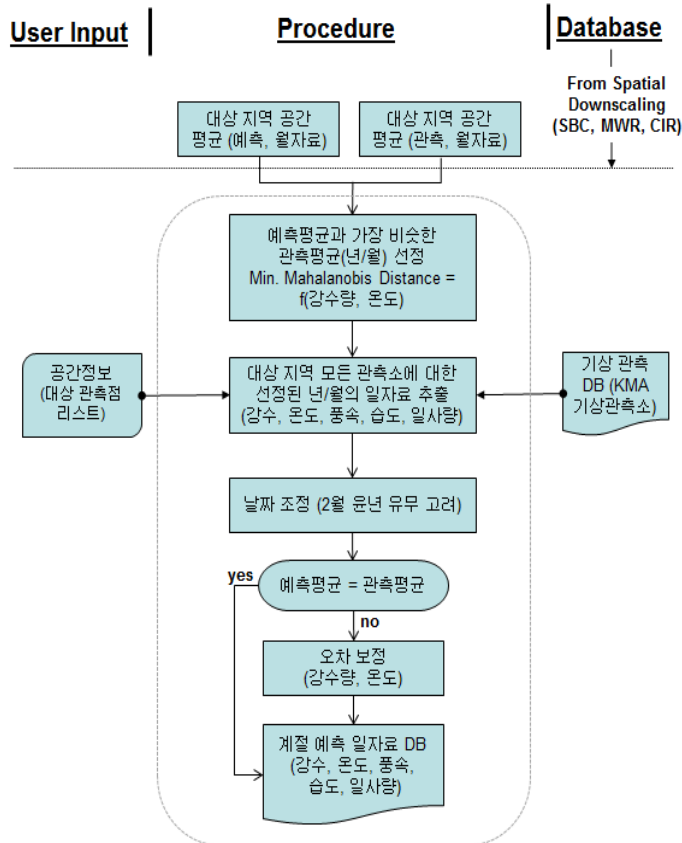


Figure 23. 시간적 상세화 절차

- 1) **예측평균과 가장 비슷한 관측평균(년/월) 선정:** 본 연구에서는 예측 자료의 한반도 평균과 과거 관측 자료의 한반도 평균사이에 2개 변수(강수와 평균온도)를 이용하여 Mahalanobis distance(Mahalanobis, 1936)를 계산한 후, 거리가 가장 작은 값을 가지는 연/월을 과거 관측 자료로부터 선정하였다. 가장 비슷한 기후 특성을

보이는 연/월을 선정하기 위해 사용된 Mahalanobis distance는 두 지점의 단순한 거리뿐만 아니라 변수의 특성을 나타내는 표준편차와 상관계수를 함께 고려하는 특징을 가지고 있어 군집분석에서 가장 많이 사용되는 거리 개념으로 (Equation 8)과 같이 계산된다.

$$D_M(x,y) = \sqrt{(x-y)S^{-1}(x-y)^T} \quad (8)$$

여기서, $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$, $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_N)$ 는 N개의 변수를 가지는 예측과 관측을 의미하며, S^{-1} 은 공분산행렬의 역행렬이고, T는 변환행렬을 의미한다.

2) 일 자료 추출: 예측 자료와 가장 비슷한 특정 연/월(best fit month)이 결정되면 57개 관측소의 일 자료로부터 선정된 연/월의 자료를 동시에 가져온다. 이 과정에서 월별 날수가 다른 경우(2월) 보정을 하고, 예측 평균값과 선정된 과거 평균사이에서 발생하는 미소한 차이는 SBC 방법에서 사용한 (Equation 6~7)을 이용하여 온도의 경우 차이만큼을 가감하여, 강수량의 경우는 차이만큼을 비율로 보정하여 최종적으로 일 자료를 생산한다.

수자원 분야에서 상세화 자료를 활용하기 위해서는 관측점 간의 공간상관성이 확보되어야 하는데, 본 장에서 사용하는 방법은 과거 관측 자료로부터 특정 연/월의 자료가 선정되면 유역 내에 존재하는 모든 관측소에 대하여 동일한 월의 일 자료를 가져오기 때문에 수문 모델링에 필요한 관측지점간의 공간상관성이 확보된다. 이에 더하여 기상발생기를 사용하는 경우 일 자료를 생산하는 과정에서 발생하는 불확실성 또한 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

4.2 장기 기후예측 상세화 자료의 예측성 평가

4.2.1 Simple Bias Correction Method

SBC에 방법을 이용하여 역확모형으로부터 제공되는 6개월 선행기간의 월평균 강수량 예측 자료를 한반도의 57개 기상관측소를 대상으로 공간적 상세화 및 편이보정을 수

행한 후 한반도 관측 평균과 비교한 결과는 <Fig. 24>에 제시되어 있다. 월별 예측성 평가를 위한 그래프에서 예측결과가 관측과 정확하게 일치하는 경우 점들이 TCC가 1.0이고 NRMSE가 0.0가 되는 우측하단에 위치하게 되며, 반대의 경우에는 우측하단으로부터 대각선의 방향으로 멀어지게 된다.

모든 기간(월)에 대하여 TCC의 경우에는 -0.5와 0.5사이에서 넓게 분포하는 경향을 보였고, NRMSE의 경우에는 1과 3 사이에서 분포하는 경향을 보였다. <Fig. 24>는 개별 모형별 앙상블 멤버들을 포함한 월별 결과를 보여 주고 있는데 모형별 앙상블 멤버들의 단순 평균(Single Model Ensemble, SME)의 TCC 값 또한 -0.5와 0.5 사이에서 넓게 분포하는 경향을 보였다. <Fig. 24>의 세로 점선은 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값(0.413)을 의미한다. 개별 모형들의 SME를 평균한 다중모형앙상블(MME)의 경우 4월, 11월, 12월 기간 동안에만 유의한 상관계수의 최솟값보다 큰 값을 보여 대부분의 기간 동안에 월별 강수량의 경년 변동을 예측하는데 한계를 보여 주었다.

<Fig. 25>는 SBC 방법에 따른 월별 평균기온의 예측성을 TCC와 NRMSE를 이용하여 비교한 결과를 보여준다. 평균 기온의 경우도 MME의 TCC 값이 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값보다 높게 나타난 3월, 9월을 제외하고는 모든 기간 동안에 TCC 값이 0의 주위에 위치하고 있다. NRMSE의 경우도 강수와 마찬가지로 1과 3사이에서 분포하는 경향을 보였다.

<Fig. 26-a>는 강수량에 대하여 가장 예측성이 좋았던 4월의 time-series를 보여 준다. 개별 모형의 SME 뿐만 아니라 MME 모두 4월 관측 강수량의 경년 변동을 모의하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이는 MME에 사용된 개별 모형의 앙상블 멤버 및 개별 모형의 SME 모두 예측성이 없어 이들을 단순 평균하는 경우 평균값에 가까이 수렴하는 현상을 보이는 것으로 판단된다. 즉 1986년, 1989년, 1993년, 2000년, 2001년의 낮은 강수량 및 1998년 2003년의 높은 강수량을 예측하지 못하고 평균을 중심으로 연간 변동성이 줄어들어 평균에 수렴하였다. <Fig. 26-b>는 가장 예측성이 좋았던 9월의 평균 기온의 time-series를 보여 준다. 1987년, 1993년, 2002년의 낮은 기온의 큰 경향을 모의

하고 있지만, 1995년의 낮은 기온 및 1999년의 높은 기온을 예측하는데 있어서 한계를 보여 주고 있다.

위의 결과를 종합해 볼 때, SBC 방법에 의해 역학모형에 의해 제공된 예측 자료에 대하여 공간적 상세화 및 편이보정을 거치더라도 강수량 및 평균기온 모두 실제 연간 변동성을 예측하는데 있어서 많은 어려움이 있는 것으로 나타났다. 또한 개별 모형의 앙상블 멤버들을 이용한 SME 계산, 개별 모형별 SME를 이용한 MME 계산 과정에서 변동성이 줄어드는 경향을 보였는데, 이 경우 Inflation 기법을 이용한 변동성의 보정이 필요하리라 판단된다.

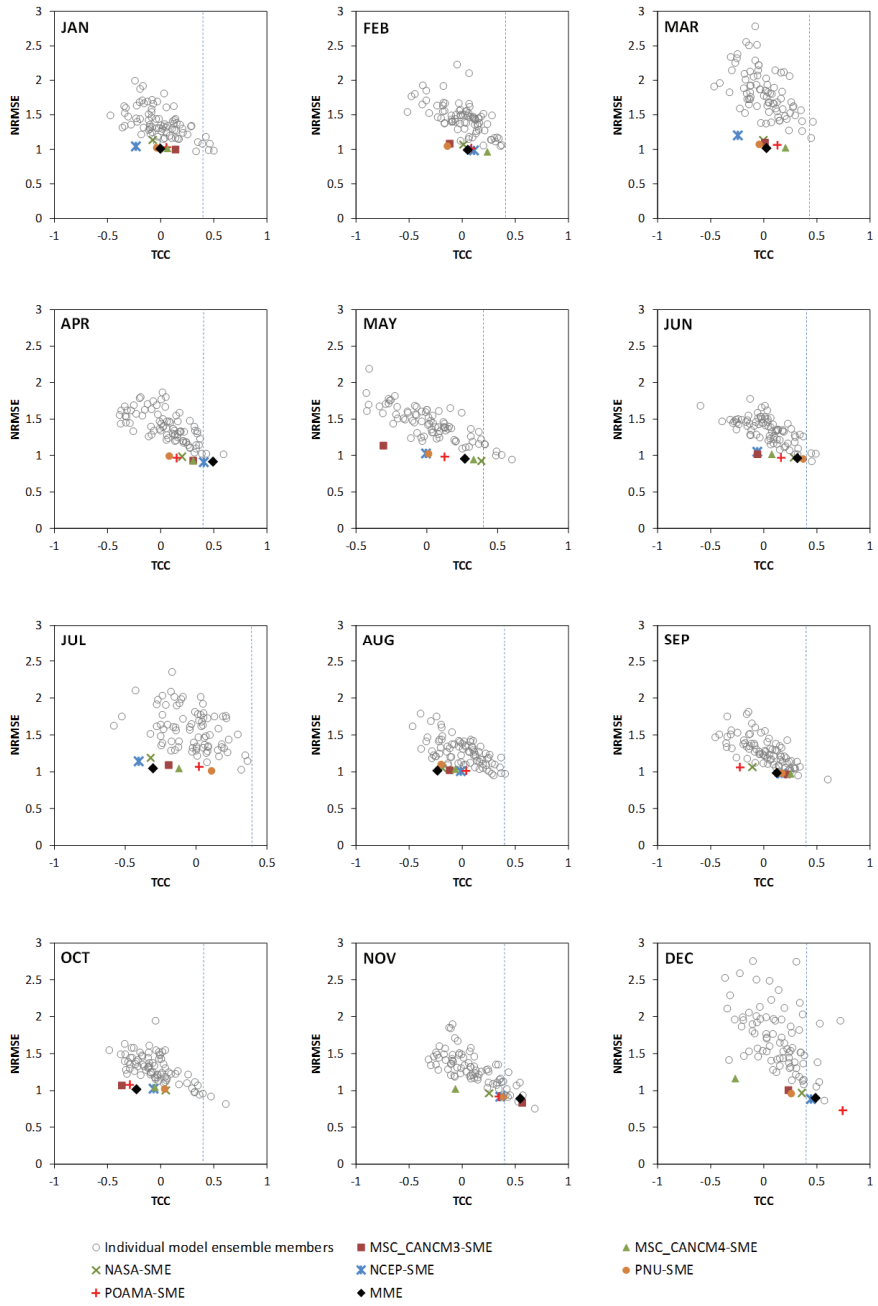


Figure 24. SBC 방법에 따른 월별 강수량 예측성 평가

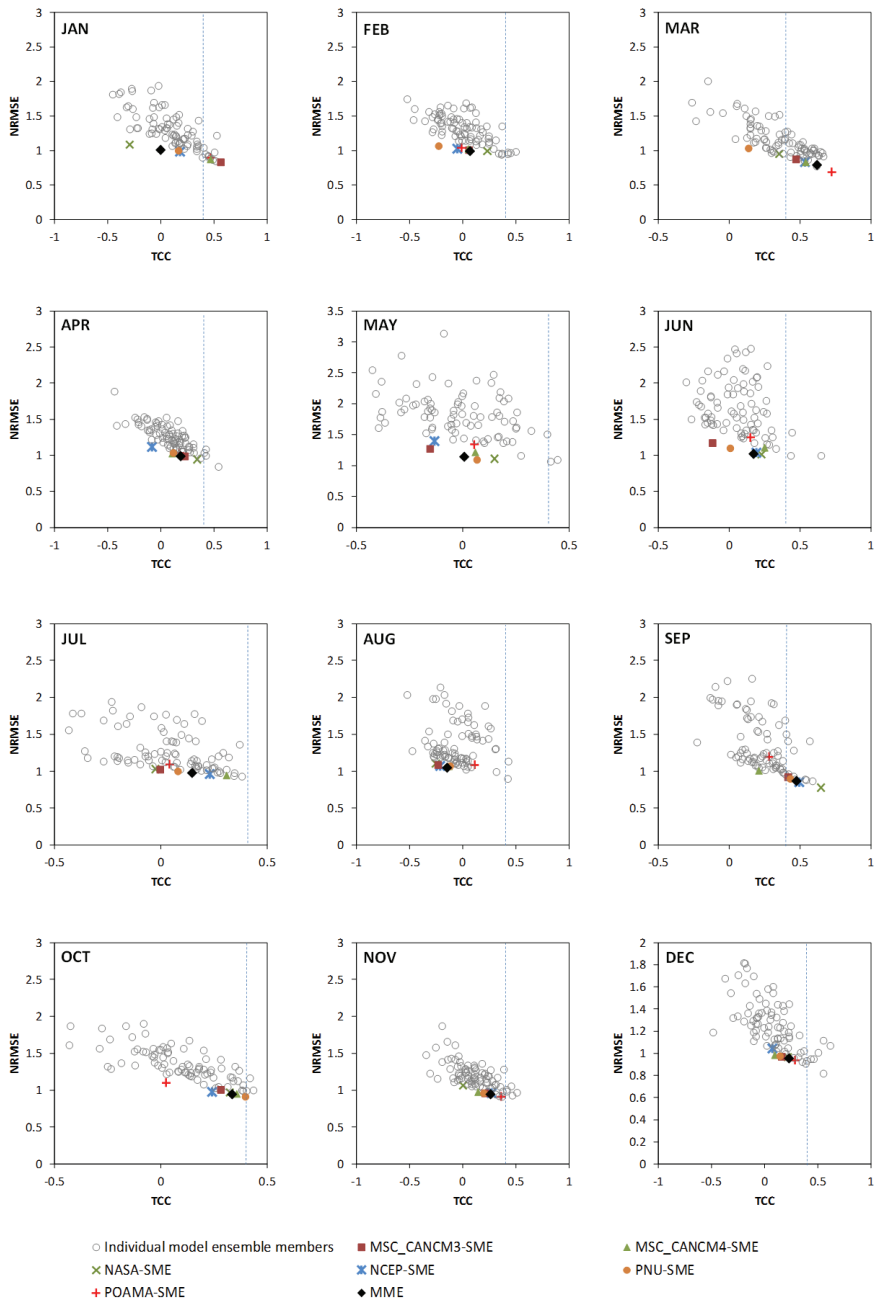


Figure 25. SBC 방법에 따른 월별 기온 예측성 평가

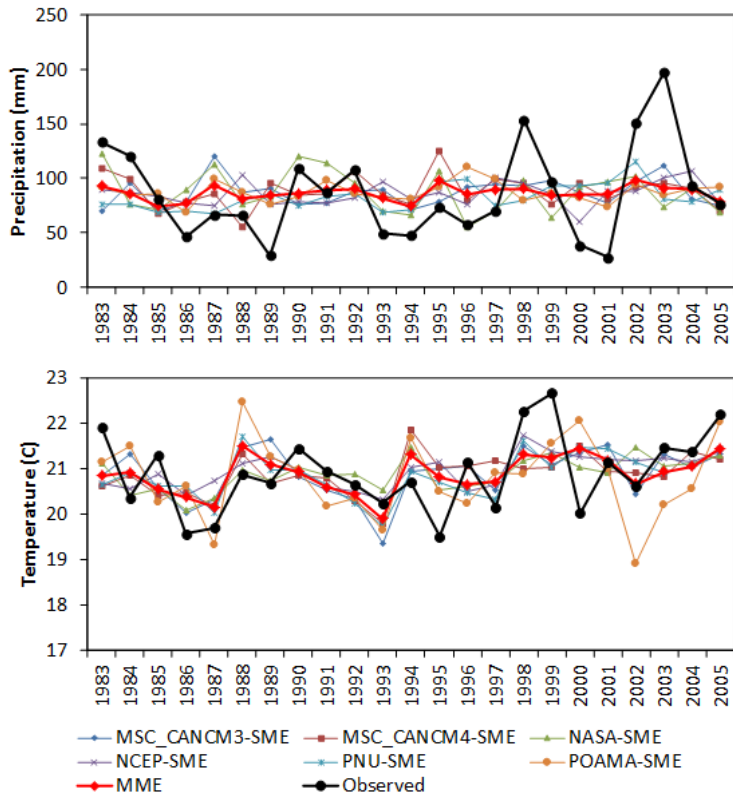


Figure 26. SBC 방법에 의한 (a) 4월 강수량 및 (b) 9월 평균기온 시계열 비교

4.2.2 Moving Window Regression Method

(Fig. 27)은 MWR 방법을 이용한 월별 강수량 예측 결과를 보여준다. MWR 방법은 SBC 방법과 마찬가지로 개별 모형의 앙상블 멤버를 활용할 수 있으나 본 연구에서는 개별 모형의 예측변수(predictor)에 대하여 Simple Composite Method(SCM)을 이용하여 앙상블 멤버에 대한 가중치를 고려하지 않고 단순 평균을 구한 Single Model Ensemble(SME)를 예측변수로 사용하였다. 월별 TCC의 경우는 1월, 4월, 12월을 제외한 기간(월)에 대하여 모형에 따라서 넓은 범위에서 분포하는 경향을 보였다. 2월 및 10월

의 경우에만 개별 모형의 결과를 양상불한 MME의 결과가 개별 모형들과 비교하여 향상된 결과를 보였다. 3월, 4월, 5월, 6월, 9월, 12월의 경우에는 MME의 경우 개별 모형의 TCC와 비교하여 전체적으로 향상되었으나 가장 예측성이 좋은 개별 모형의 TCC보다는 낮은 결과를 보였다. 나머지 기간에 대해서는 개별 모형들의 평균적인 결과를 보였다. 세로 점선은 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값(0.413)을 의미한다. 2월, 7월, 9월, 10월, 12월의 경우에만 MME의 TCC 값이 0.413 이상으로 비교적 예측성이 높게 나타났다. NRMSE의 경우에는 0.6과 1.4 사이에서 분포하는 경향을 보여 SBC 방법과 비교하여 적은 오차 범위를 보였다.

〈Fig. 28〉은 MWR 방법을 이용한 월별 평균기온의 예측 결과를 보여준다. TCC의 경우는 모든 기간에 대하여 모형에 따라서 넓은 범위에서 분포하는 경향을 보였다. 2월, 6월, 9월, 11월, 12월의 경우에는 개별 모형의 결과를 양상불한 MME의 결과가 개별 모형들과 비교하여 향상된 결과를 보였다. 반면 3월, 4월, 5월, 7월, 10월의 경우에는 MME의 경우 개별 모형의 TCC와 비교하여 전체적으로 향상되었으나 가장 예측성이 좋은 개별 모형의 TCC보다는 낮은 결과를 보였다. 나머지 기간에 대해서는 MME가 개별 모형들의 평균과 비슷한 결과를 보였다. 2월, 3월, 5월, 6월, 7월, 9월, 10월, 11월, 12월의 경우에 MME의 TCC 값이 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.413 이상으로 비교적 예측성이 높게 나타났다. NRMSE의 경우에는 특정 모형이 높은 값을 보인 1월 및 8월을 제외하고 0.6과 1.4사이의 분포를 보였다.

〈Fig. 29-a〉는 MME의 TCC 값이 높게 나타난 9월 강수량의 time-series를 보여준다. 개별 모형들의 경우 특정 구간에 대하여 예측성이 좋은 경우가 있으나 전체적으로 강수량의 경년 변화의 경향은 MME가 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다. 〈Fig. 29-b〉는 MME의 TCC 값이 높게 나타난 5월 기온의 time-series를 보여준다. 개별 모형들의 경우 특정 구간에 대하여 예측성이 좋은 경우가 있으나 전체적으로 개별 모형 및 MME의 경우 모두 기온의 경년 변화의 경향을 잘 모의하지 못하는 것으로 나타났다.

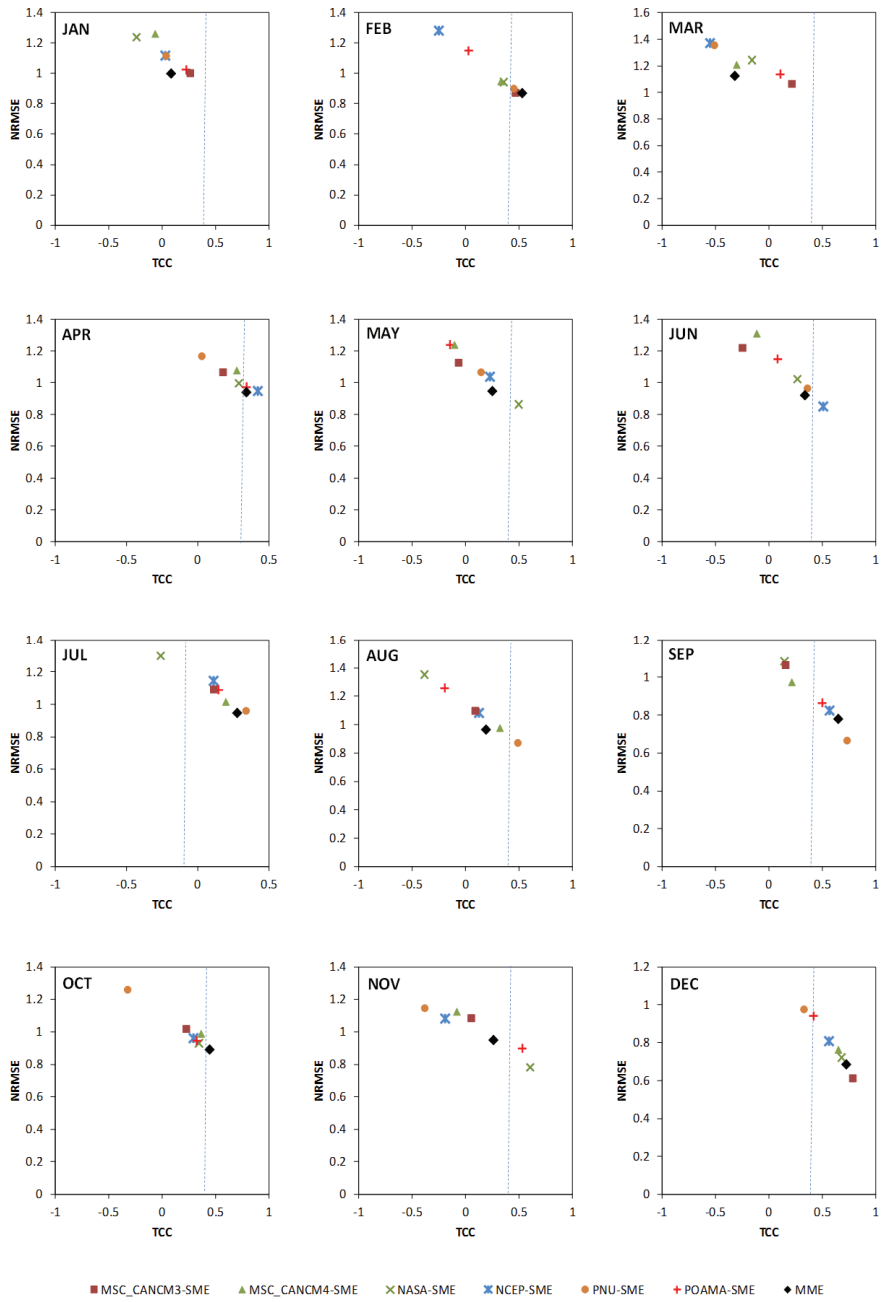


Figure 27. MWR 방법에 따른 월별 강수량 예측성 평가

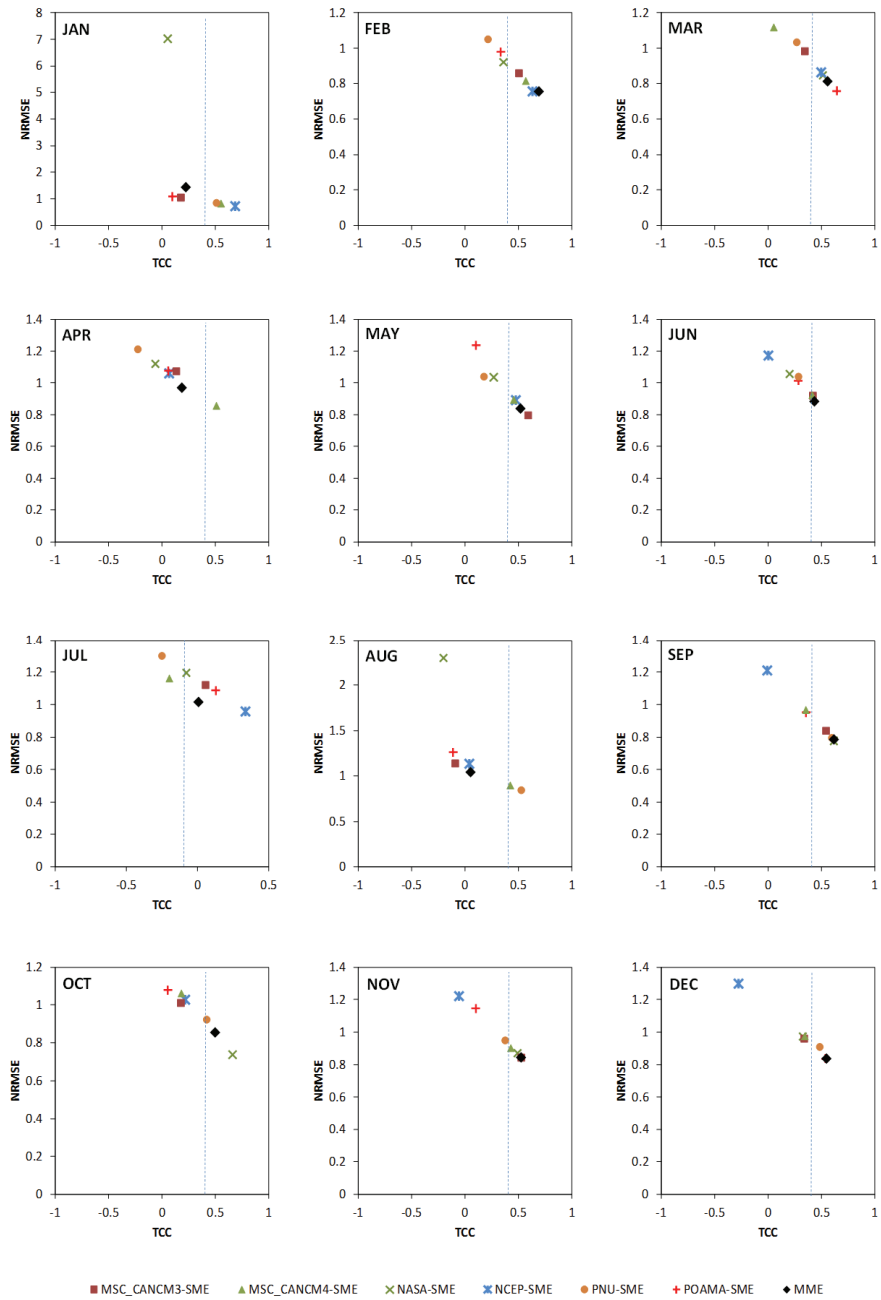


Figure 28. 방법에 따른 월별 기온 예측성 평가

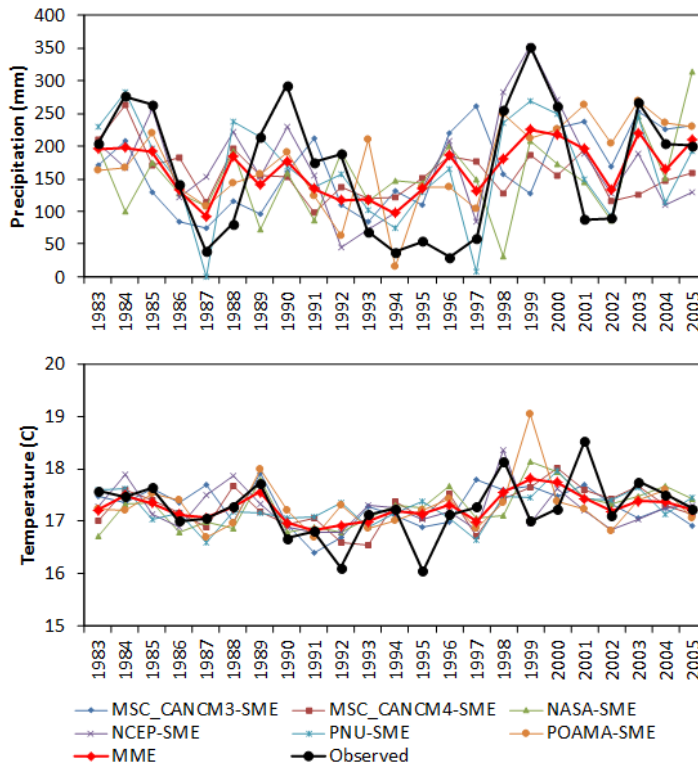


Figure 29. MWR 방법에 의한 (a) 9월 강수량 및 (b) 5월 평균기온 시계열 비교

4.2.3 Climate Index Regression Method

CIR 방법을 이용한 한반도 월별 강수량 예측 결과는 <Fig. 30>에 제시되어 있다. 관측기반의 기후인자만을 사용하는 경우(CIR-Observed)와 예측/관측 기반의 기후인자를 동시에 사용하는 경우(CIR-Forecast)를 비교할 때, 3월, 5월, 8월, 9월, 10월의 경우에는 두 경우 동일한 예측성을 보여 불확실성이 낮은 관측 자료 기반의 기후인자만을 사용하여도 무방하나, 1월 및 6월과 같이 두 점 사이가 멀리 떨어져 있는 경우에는 역학모형으로부터 제공되는 예측 정보로부터 계산 되는 지체시간(lag-time)이 없는(zero)인 기후인

자를 사용하는 경우에 예측성의 향상을 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만, 본 결과는 과거기간의 관측 자료로부터 추출된 기후인자를 사용한 결과로서, 실제 예측성의 향상을 위해서는 역학 모형이 해당 기후인자를 잘 모의하는 것이 전제되어야 한다. <Fig. 30>의 세로 점선은 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값(0.413)을 의미한다. 3월 및 11월 기간에만 TCC가 0.413보다 작은 값을 보였다. NRMSE의 경우에는 모든 기간 동안에 0.6과 1.0 사이에서 분포하는 경향을 보였고, SBC 및 MWR 방법들과 비교하여 가장 낮은 값을 보였다.

CIR 방법을 이용한 한반도 월별 평균기온의 예측 결과는 <Fig. 31>에 제시되어 있다. 관측기반(CIR-Observed) 및 예측기반(CIR-Forecast)의 방법을 비교할 때 5월, 6월, 7월, 8월, 9월, 10월의 경우에는 두 경우 비슷한 예측성을 보여 불확실성이 낮은 관측 자료 기반의 기후인자만을 사용하여도 예측성이 안정적으로 유지되는 것으로 나타났다. 하지만 1월, 2월, 3월, 4월, 11월, 12월의 경우에는 두 점 사이가 멀리 떨어져 있어 예측 정보 기반의 지체시간(lag-time)이 0인 기후인자를 사용하는 경우에 예측성의 향상을 기대할 수 있는 것으로 나타났다. TCC의 경우에는 모든 기간 동안에 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.413보다 큰 값을 보여 강수량과 비교할 때 월 평균기온의 경년 변화를 잘 모의하는 것으로 나타났다. NRMSE의 경우에는 강수량과 마찬가지로 0.6과 1.0 사이에서 분포하는 경향을 보였다.

<Fig. 32-a>는 방법별로 TCC 값에 있어서 차이를 보이면서 비교적 예측성이 높게 나타난 6월 강수량의 time-series를 보여 주고 있다. 두 방법 모두 경우 1985년 및 2003년의 증가 및 1989년의 감소 경향을 모의하지 못하였다. <Fig. 32-b>은 두 방법 모두 0.6 이상의 TCC 값을 보이면서 비교적 예측성이 높게 나타난 11월 평균기온의 time-series를 보여 주고 있다. 두 방법 모두 기온의 증가하거나 감소하는 경년 변동의 경향을 잘 모의하고 있으며 1990년, 1994년, 1997년, 2003년의 증가 및 2002년의 낮은 기온을 잘 모의하였다.

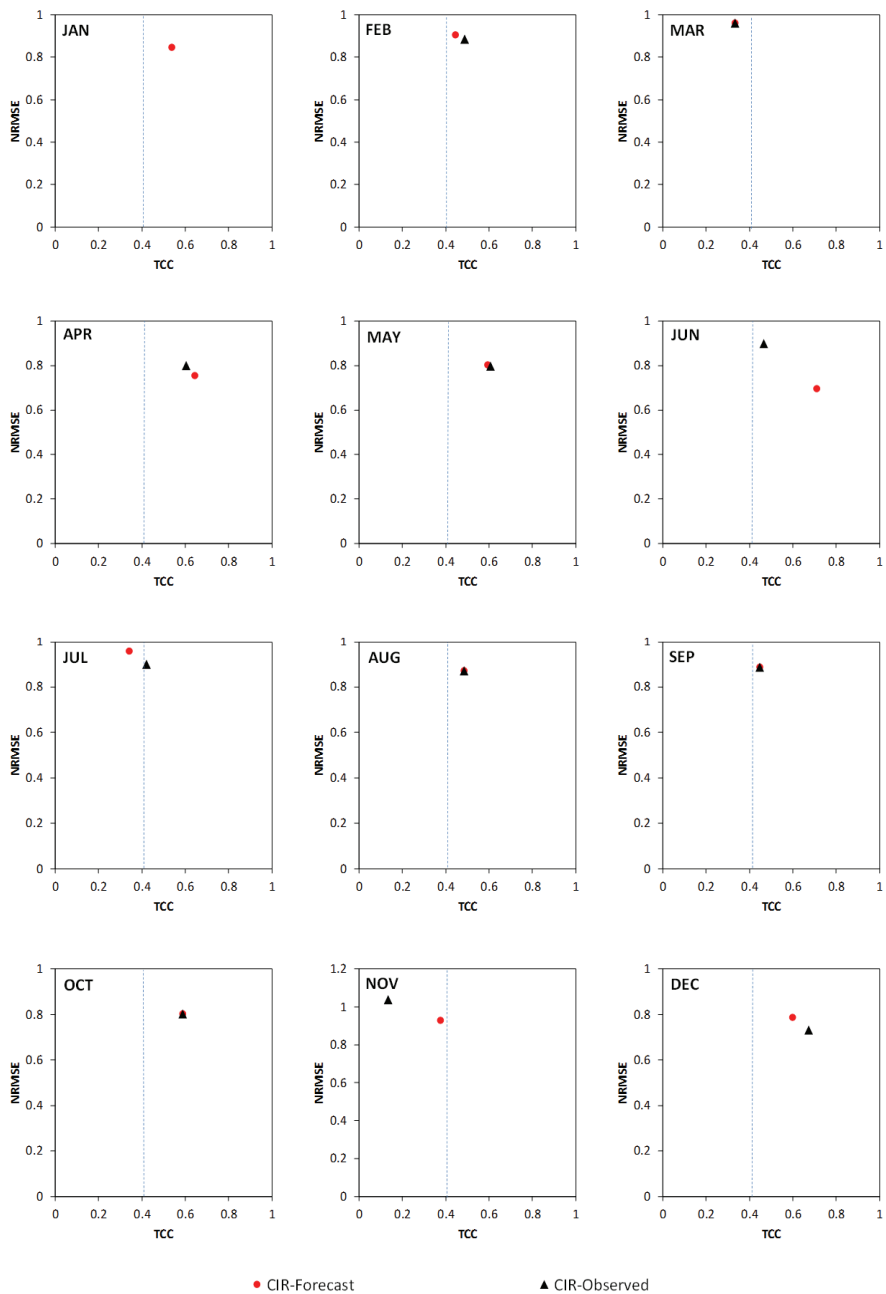


Figure 30. CIR 방법에 따른 월별 강수량 예측성 평가

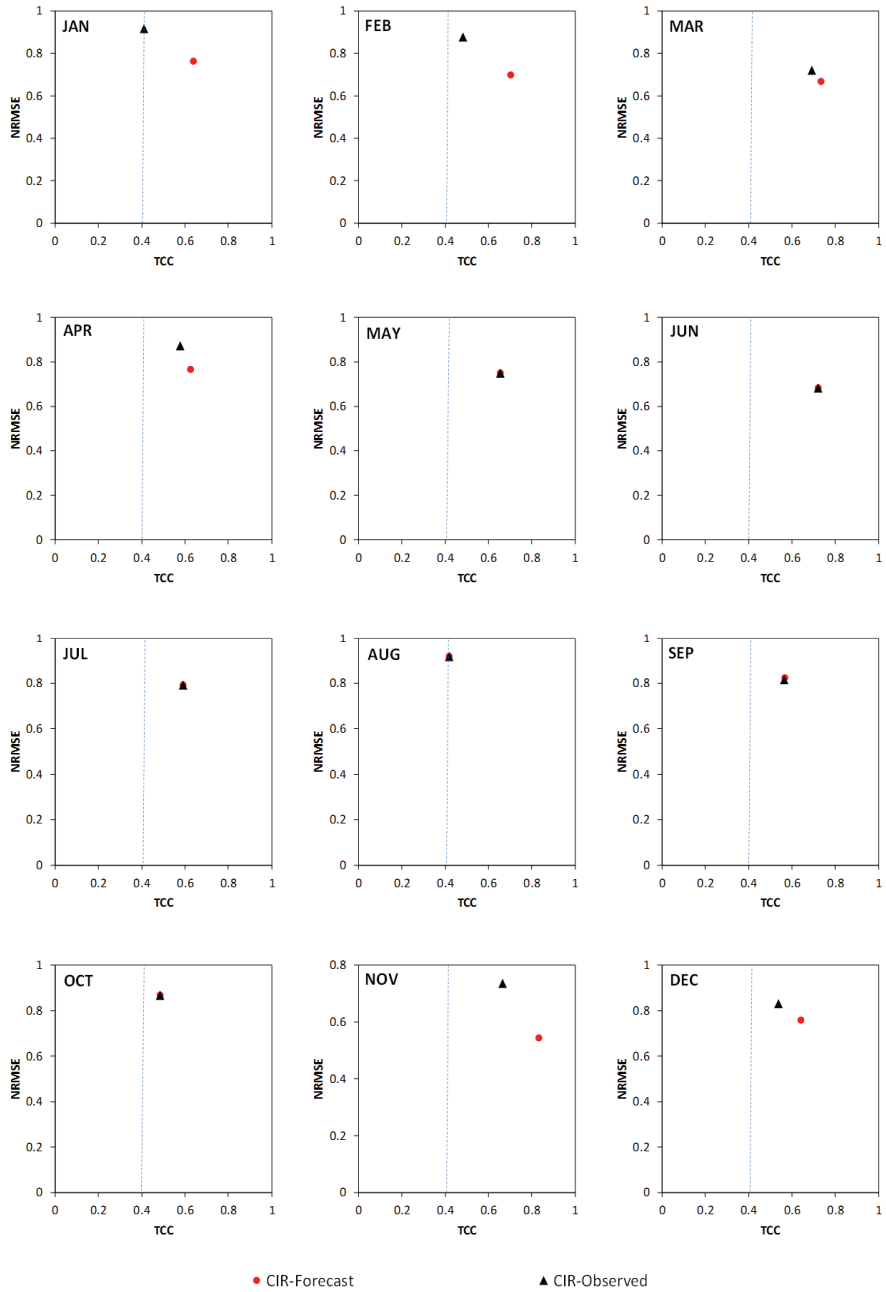


Figure 31. CIR 방법에 따른 월별 평균기온 예측성 평가

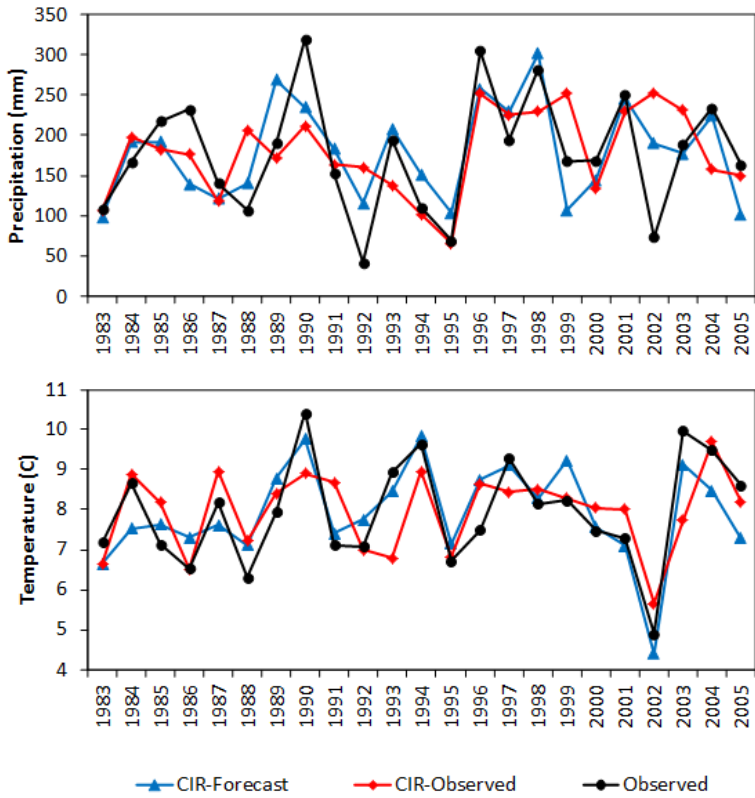


Figure 32. CIR 방법에 의한 (a) 6월 강수량 및 (b) 11월 평균기온 시계열 비교

4.2.4 상세화 방법에 따른 월별 예측성능 비교

〈Fig. 33〉은 세 가지 상세화 방법에 따른 월별 강수량 예측성을 보여 주며 음영 부분은 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.413 이상을 의미한다. SBC방법의 경우에는 4월, 11월, 12월을 제외한 기간에 대해서 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.413보다 낮은 TCC 값을 보였으며, 비슷하게 MWR의 경우에도 2월, 9월, 10월, 12월을 제외한 기간에서 0.413보다 낮은 TCC 값을 보였다. 반면 CIR 방법은 1, 7, 11월을 제외한 기간에 대하여 0.413보다 높은 TCC 값을 보

였다. 7월의 경우에는 CIR 방법이 낮은 TCC 값을 보였지만, 3가지 방법 중에서는 가장 높은 TCC 값을 보여 주었다. 11월의 경우에도 SBC가 가장 높은 TCC 값을 보였지만 CIR-Forecast 방법에 의한 TCC 값과 비교하여 큰 차이를 보이지 않아 CIR 방법이 모든 기간에 대해서 전체적으로 가장 안정적인 예측성능을 보여 주었다. CIR 방법의 경우에는 관측기반의 기후인자만을 사용하는 경우(CIR-Observed)와 예측/관측 기반의 기후인자를 동시에 사용하는 경우(CIR-Forecast)를 비교할 때, 1월, 6월, 11월에 TCC 값에서 큰 차이를 보였다. 이는 해당 월에 예측하고자 하는 동일 시점의 예측 정보로부터 계산되는 지체시간(lag-time)이 0인 기후인자를 사용하는 경우에 예측성의 향상을 기대할 수 있음을 의미한다. 하지만 본 결과는 과거기간의 관측 자료로부터 추출된 기후인자를 사용한 결과이다. NRMSE의 경우는 TCC와 반대로 CIR이 전체적으로 가장 낮은 값을 보였다.

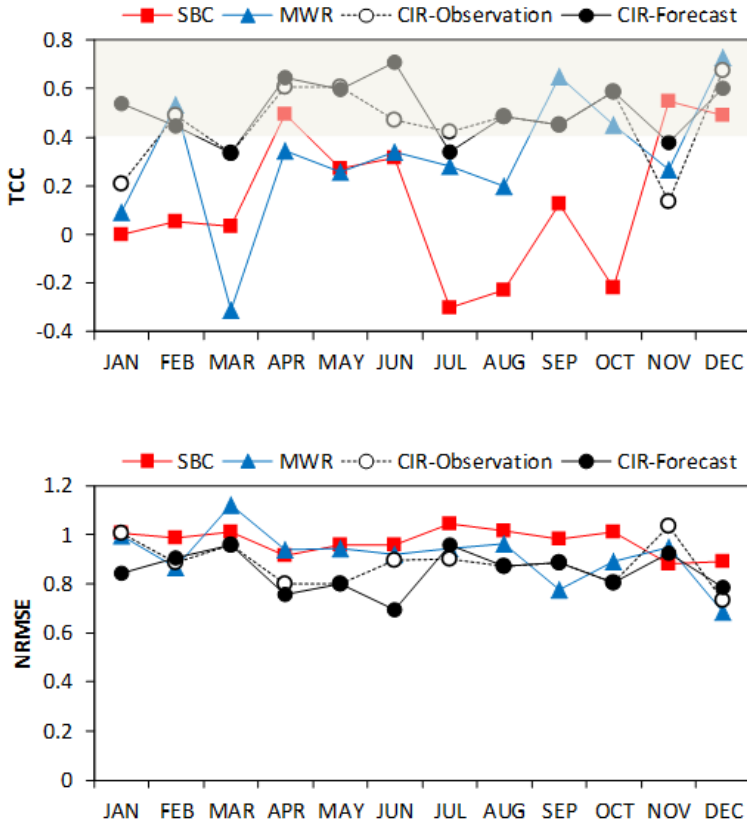


Figure 33. 상세화 방법에 따른 월별 강수량 예측성 비교

세 가지 상세화 방법에 따른 월별 평균기온 예측성을 살펴보면 <Fig. 34>와 같다. 평균기온의 경우에는 CIR 방법이 9월을 제외한 모든 기간 동안에 가장 높은 TCC 값을 보였다. CIR의 경우에 5월~9월의 경우에는 관측기반의 기후인자만을 사용하는 경우 (CIR-Observed)와 예측/관측 기반의 기후인자를 동시에 사용하는 경우(CIR-Forecast) 동일한 값을 보인 반면에, 1월, 2월, 11월, 12월의 겨울철에 두 방법에서 큰 차이를 보여, 겨울철에 지체시간이 0인 역학 모형으로부터 제공되는 예측 정보를 사용하는 경우 예측

성능을 향상시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다. 계절별로 비교할 때, SBC, MWR, CIR 방법들 모두 일반적으로 여름철보다 겨울철에 높은 TCC 값을 보였다. NRMSE의 경우에는 강수량과 마찬가지로 CIR 방법이 가장 작은 값을 보인 반면에 SBC 방법이 가장 높은 값을 보였다.

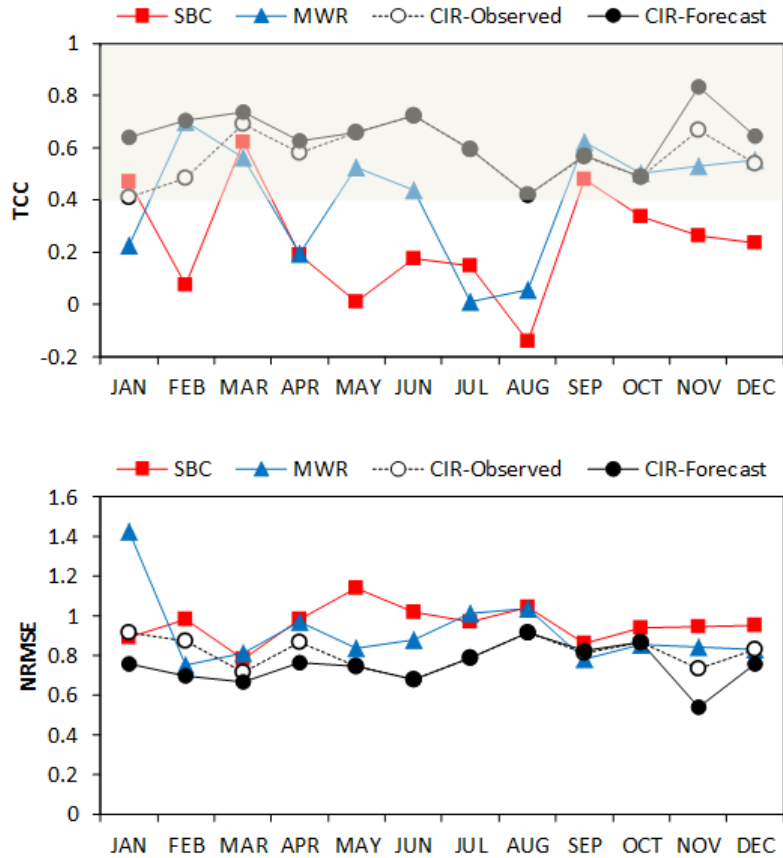


Figure 34. 상세화 방법에 따른 월별 평균기온 예측성 비교

4.2.5 선행예측기간에 따른 예측성 평가

일반적으로 기후예측 모형을 이용하여 장기 기후예측을 수행하는 경우에 선행예측기간의 증가에 따라서 예측성이 감소하는 경향이 기대된다. 하지만 본 연구에서는 예측성이 낮게 나타난 기후예측 모형의 단순편이보정 결과를 사용하지 않고 가장 예측성이 높고 안정적으로 나타난 CIR-Observed 방법에 의해 도출된 결과를 이용하여 선행예측기간별 예측성의 변화를 분석하였다.

〈Fig. 35〉는 월별 강수량에 대하여 선행예측기간의 변화에 따른 예측성의 변화를 보여 주고 있다. 선행예측기간에 따라서 Temporal Correlation Coefficient(TCC) 및 Normalized Root Mean Square Error(NRMSE)를 비교하였다. 모든 경우에 대하여 TCC와 NRMSE는 반비례하는 경향을 보였다. 즉 〈Fig. 35〉의 5월의 예와 같이 선행예측기간이 증가함에 따라서 TCC가 감소하는 경우 NRMSE는 증가하는 경향을 보였다. 우선 2월, 6월, 8월, 10월의 경우에는 선행예측기간의 증가에 따라서 예측성의 변동이 없는 것으로 나타났다. 이는 선택된 기후인자별 지체시간(lag-time)이 선행예측기간보다 큰 경우에 발생할 수 있다. 예를 들면 8월의 경우 선행예측기간의 변화(1~6개월)에 상관없이 GML, WPO, AMO 인자와 각각에 대하여 6, 9, 6개월의 지체시간이 동일하게 선정되었다. 7월, 9월의 경우와 같이 선행예측기간이 증가함에 따라서 예측성이 증가하는 경우는 선정된 기후인자들의 조합이 바뀌는 경우 최종적으로 선택된 다중회귀모형의 성능이 더 높게 나타날 수 있는 가능성에 기인한다. 7월의 경우 선행예측기간이 1개월인 경우 기후인자 및 지체시간이 AO(1), NAO(1), NP(9)와 같이 선정되었으나 선행예측기간이 1개월~5개월로 증가함에 따라서 AO(1) 및 NAO(1)이 빠지고 NAO(12), AAO(9) 기후인자가 추가되었다²³⁾. 이이 따라서 최종적으로 선정된 다중회귀모형이 보다 높은 예측성을 보이는 것으로 판단된다. 강수의 경우 5월 및 11월의 경우와 같이 선행예측기간이 증가함에 따라서 예측성의 급격한 감소를 보인 경우를 제외하고는 대부분의 경우에 예측성의 변동이 작거나 증가하는 결과를 보였다. 평균 기온의 경우 선행예측기간에 따른 예측성의 월별 변동은 〈Fig. 36〉에 제시되어 있다. 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12월의 9개월의 경우에

23) 괄호 안의 숫자는 선행예측기간을 의미함.

는 선행예측기간의 증가에 따라서 예측성의 변동이 동일하거나 미소하게 감소 또는 증가하는 경향을 보였다. 2, 4, 8월의 경우에만 선행예측기간의 증가에 따라서 예측성이 뚜렷하게 감소하는 결과를 보였다.

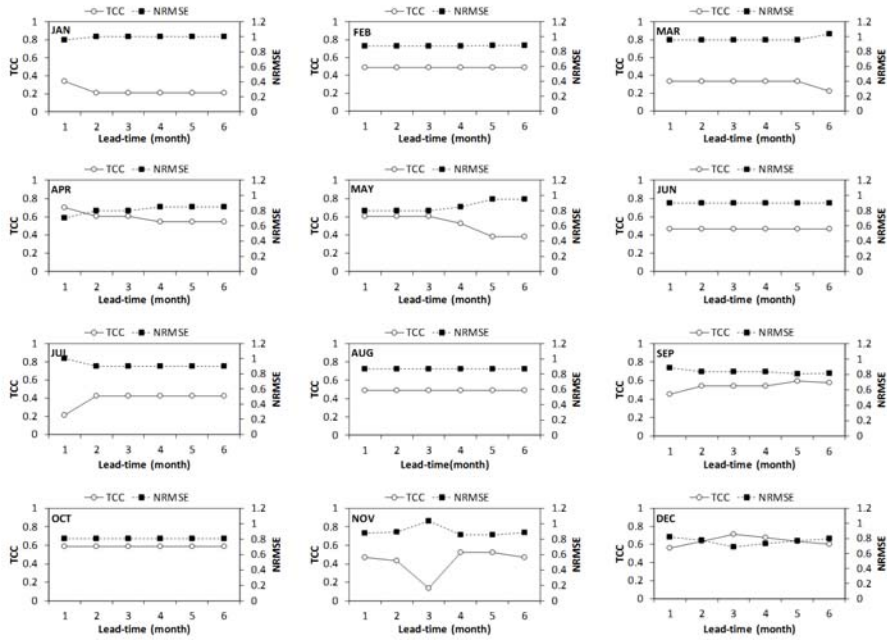


Figure 35. CIR방법을 이용한 선행예측기간에 따른 월별 강수량 예측성 평가

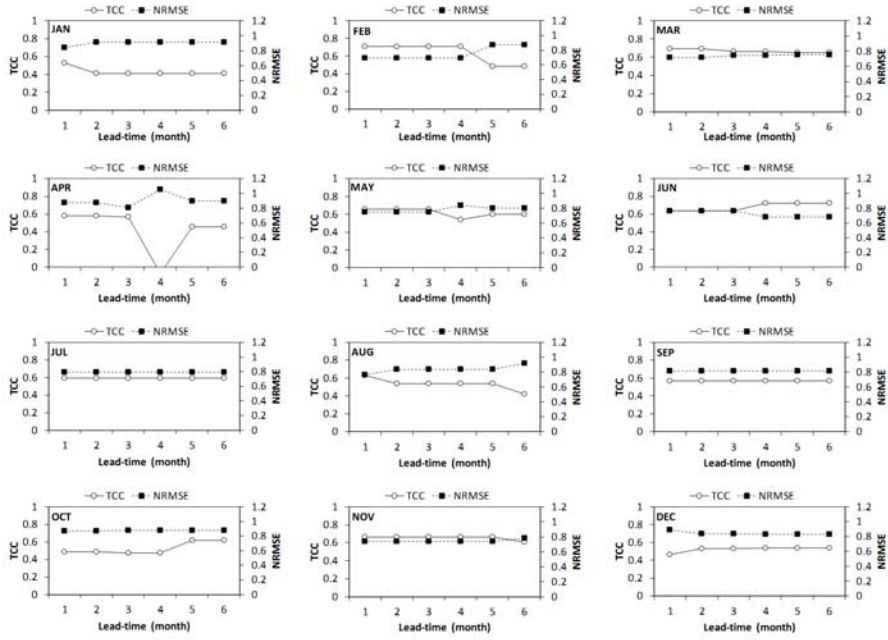


Figure 36. CIR방법을 이용한 선행예측기간에 따른 월별 평균 기온 예측성 평가

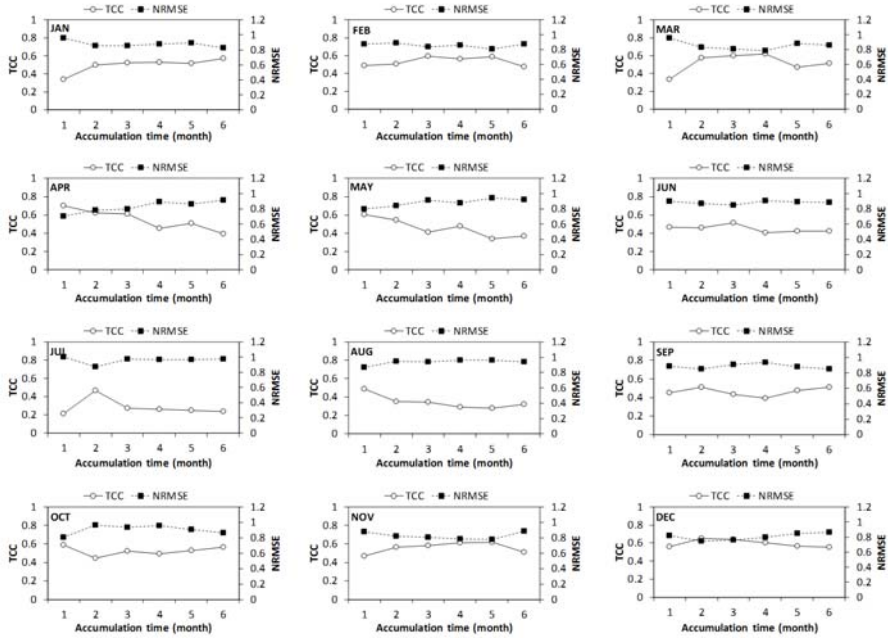


Figure 37. CIR 방법을 이용한 누적기간에 따른 월별 강수량 예측성 평가

4.2.6 월별 예측 정보의 누적 기간에 따른 예측성 평가

〈Fig. 37〉은 월별 강수량 예측 자료의 시간적 누적기간(accumulation)에 따른 예측성 변화를 보여 준다. 누적기간이 증가함에 따라서 예측성이 뚜렷하게 향상되는 경우에는 월별로 예측된 결과를 활용하는 대신에 누적된 결과를 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 하지만 이는 예측결과를 사용하는데 있어서 누적기간의 결과를 사용하는데 제한이 없는 경우에만 가능하다. 본 연구에서는 1, 2, 3, 11월의 경우에만 누적기간이 늘어남에 따라서 예측성이 다소 향상되는 경향을 보였으며 이외의 모든 월에서는 예측성이 비슷하게 유지되거나 다소 감소하는 경향을 보였다. 따라서 1월~3월 및 11월 월을 제외하고는 누적된 예측 자료를 사용함으로써 얻을 수 있는 예측성 향상이 적은 것으로 나타났다. 〈Fig. 38〉은 월별 평균 기온에 대한 예측 자료의 시간적 누적기간(accumulation)에 따른 예측성 변화를 보여 준다. 강수량과는 다르게 1, 2, 7, 9, 11, 12월에 누적기간이 늘어남에 따라서 예측성의 향상을 보였다.

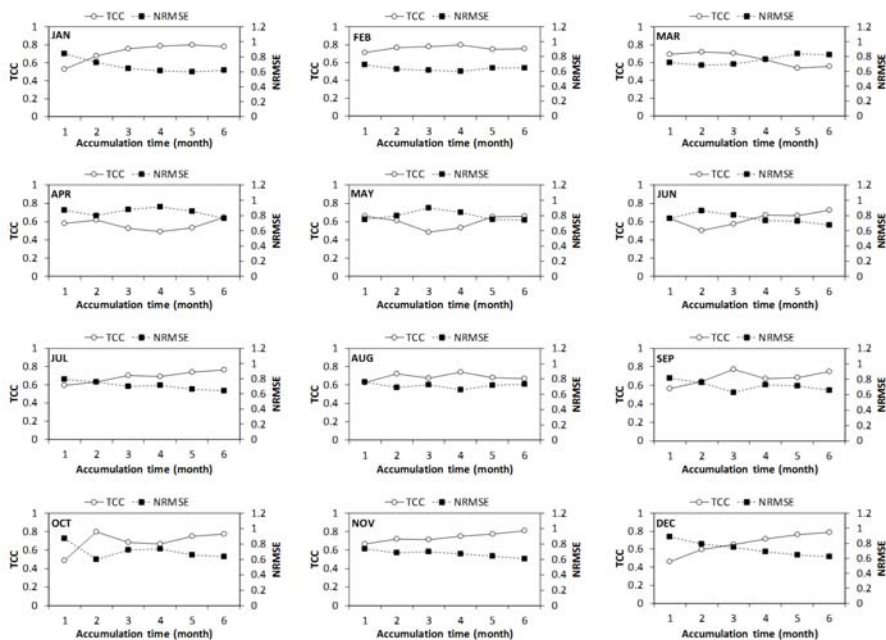


Figure 38. CIR 방법을 이용한 누적기간에 따른 월별 평균 기온 예측성 평가

4.2.7 공간 규모에 따른 예측성 평가

앞서 언급하였듯이 기후자료의 시·공간적 상세화 과정에서 가장 중요하게 고려되어야 하는 점은 기상관측소 사이에 공간적 상관성을 고려하는 것이다. 특히 낙동강 유역과 같이 공간적으로 넓은 지역을 대상 지역으로 하는 경우 공간 상관성의 확보는 중요하다. 따라서 본 연구에서는 전체 대상 지역에 대한 평균값(강수량, 평균 기온)을 통계적 방법으로 예측한 후에 관측소별 일 자료는 과거 관측 자료로부터 샘플링하여 사용하는 방법을 사용하였다. 따라서 월별 강수량 및 평균 기온에 대한 예측성은 선택된 SBC, MWR, CIR 등과 같은 상세화 기법에 따라라도 달라질 수 있지만, 동일한 상세화 방법이 사용되더라도 관심 대상 지역을 어떻게 선정하느냐에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가장 안정적이며 높은 예측성을 보인 CIR-Observed 방법에 대하여 대상 지역의 규모에 따른 월 강수량 및 평균 기온의 예측성 변화를 살펴보았다.

대상지역의 규모에 따른 월 강수량에 대한 예측성의 변동은 <Fig. 39>에 제시되어 있다. CIR-Observed의 경우에는 3, 7, 9월에 TCC 값에서 뚜렷한 차이를 보이고 있으나 나머지 월에 대해서는 미소한 차이를 보이고 있다. CIR-Forecast 방법도 3, 9월을 제외한 모든 기간에 대해서 TCC 값에서 비슷한 경향을 보이고 있다. <Fig. 40>은 대상지역의 규모에 따른 월별 평균 기온에 대한 예측성의 변동을 보여 준다. CIR-Observed 및 CIR-Forecast 방법 모두 5, 6, 7월의 경우에는 한반도 규모에서 8, 9, 10월의 경우에는 낙동강 유역 규모에서 높은 TCC 값을 보였다. 두 경우 모두 겨울철에 규모에 상관없이 비슷한 TCC 값의 경향을 보였다. 향후 보다 작은 규모에 대해서도 적용해 보는 것이 필요하겠지만, 낙동강 유역 및 한반도 규모에서 모두 예측성의 큰 차이를 보이지 않아 대상 지역의 선정이 향후 CIR 기반의 상세화 과정에 민감하지 않을 것으로 판단된다.

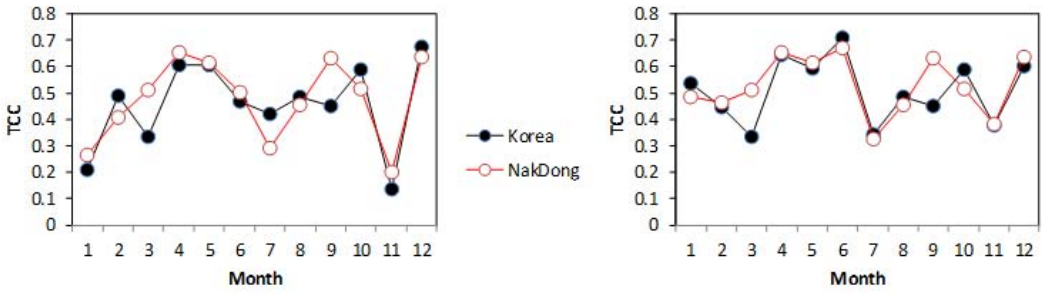


Figure 39. 공간규모에 따른 월별 강수량 예측성 평가(CIR-Observed: Left, CIR-Forecasted: Right)

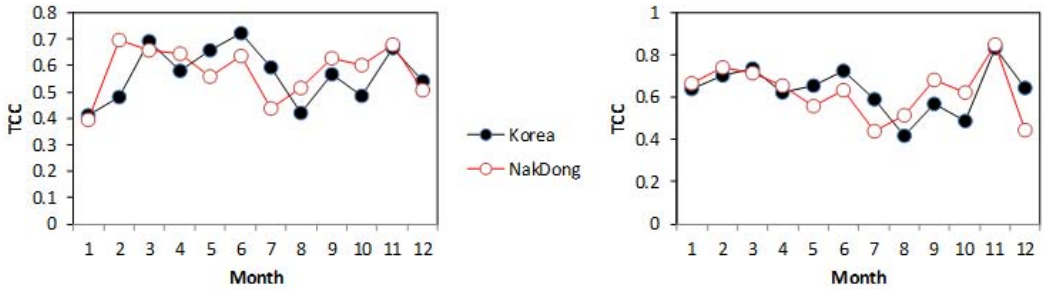


Figure 40. 공간규모에 따른 월별 평균기온 예측성 평가(CIR-Observed: Left, CIR-Forecasted: Right)

4.3 장기 수문/수질예측성 평가

4.3.1 장기 예측 자료의 농업용 저수지 상류 유입량 예측성 평가

낙동강 유역에 위치한 100만톤 이상의 농업용 저수지 중에서 지평, 죽전, 옥중 저수지에 대하여 기상 관측 자료를 SWAT의 입력 자료로 사용하여 모의된 월별 유입량에 대하여 SBC, MWR, CIR 방법에 의한 예측 자료를 활용하여 모의된 월별 유입량을 비교한 결과는 <Fig. 41>에 제시되어 있다. 제시된 그래프는 상세화 방법에 따른 월별 유입량의 관측과 예측 사이의 상관성을 보기 위한 TCC와 에러를 보기 위한 NRMSE의 결과를 보여 준다. 모의에 사용된 기간은 1984~2005년의 22년의 자료를 사용하였는데, 이는 장기 기후예측 자료의 경우 1983~2005년의 23년 기간 동안에 제공되지만 선행예측기간에 따라서 1983년 자료를 사용할 수 없는 경우가 발생하기 때문이다.

단순편이보정(SBC) 방법의 경우에는 사용된 6개 기후예측모형에 대하여 서로 다른 개수의 앙상블 멤버들을 포함하고 있다(Fig. 41의 회색 원). 개별 예측모형의 앙상블 멤버들을 활용한 모형별 평균 유입량(Single Model Ensemble, SME)은 서로 다른 두 가지 방법에 의해 생성될 수 있다. 첫 번째 방법은 개별 예측모형의 앙상블 멤버들을 기상 입력으로 사용하여 모의된 유입량을 평균하는 방법이고, 다른 하나는 개별 예측모형의 앙상블 멤버들을 평균하여 기상 입력 자료를 생성한 후 유량 모의를 통하여 유입량을 계산하는 방법이다. 본 연구에서는 두 번째의 방법을 이용하여 개별 예측모형의 평균 유입량(SME)을 산정하였다(Fig. 41의 빨강색). MWR 방법의 경우에는 상세화를 위한 계산 시간이 오래 걸리는 점을 고려하여 개별 예측모형의 앙상블 멤버를 사용하지 않고 개별 모형의 SME 자료를 이용하여 상세화 된 결과를 보여 준다(Fig. 41의 파랑색). CIR 방법은 앞서 상세화 방법에서 언급된 바와 같이 관측 기반 및 예측 기반의 두 가지 방법을 이용하여 상세화 되었다(Fig. 41의 검정색).

우선 SBC방법의 개별 예측모형의 앙상블 멤버들에 의한 유입량 예측의 경우에는 장기 기후예측 자료의 평가에서와 마찬가지로 TCC 및 NRMSE 값에서 모두 넓은 범위에서 분포하는 경향을 보였다. 오직 4, 5, 11월의 경우에만 일부 예측모형만이 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.423보다 큰 값(<Fig. 41>의 점선)을 보여 주었다. 개별 예측모형의 앙상블 멤버들의 평균인 SME의 경우 모든 앙상블 멤버들과 비

교하여 항상 예측성이 좋은 결과는 보이지 않고 있지만 전체적으로 SME의 경우가 개별 앙상블 멤버들과 비교하여 NRMSE가 줄어들고 TCC 값이 늘어나서 예측성의 향상이 있는 것으로 나타났다. SBC 방법에 의한 개별 예측모형의 SME의 결과를 살펴보면, TCC 값의 넓은 분포를 고려할 때 모형에 따라서 예측성에서 큰 차이를 보이고 있다. 또한 월 별로 예측성이 가장 좋은 모형들이 바뀌고 있는 점과 TCC 값이 모든 월에 대하여 0값을 주위로 분포하는 점을 고려할 때, SBC 방법을 이용한 유입량 예측에는 한계가 많은 것으로 판단된다. 즉 SBC 방법은 한반도에 대한 강수 및 온도에 대한 예측 정보를 예측 모형의 한반도에 해당하는 격자로부터 단순한 편이보정을 통해 활용하는 방법인데, 이는 역학적 기후모형이 격자 규모의 국지적인 위치에서의 특정 시기의 강수와 온도를 예측하는데 한계가 있기 때문인 것으로 사료된다.

MWR 방법을 이용한 저수지 유입량 예측의 경우에도 SBC 방법과 비교하여 비슷한 경향을 보였다. 즉 개별 예측모형의 SME에 기반을 둔 TCC의 분포가 넓게 분포하고, 월 별 예측성이 높은 모형이 바뀌며, 대부분의 기간(월)에서 TCC 값이 0 값을 중심으로 분포하고 있어 MWR 방법만을 활용한 저수지 유입량 예측에는 한계가 있을 것으로 사료된다. 오직 1, 5, 6, 9, 12월의 경우에는 일부 예측모형의 경우 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.423보다 큰 값(Fig. 41)의 점선)을 보여 주었다. 하지만, 1월에 NASA 모형에 의한 예측성이 기타 모든 방법들과 비교하여 월등하게 높게 나타나고 있는 점과 5월, 7월, 9월의 경우 SBC 방법과 비교하여 MWR 방법의 예측성이 전체적으로 높게 나타나고 있어 예측성이 높게 나타나는 경우에 선택적으로 활용하는 방안이 고려될 필요가 있을 것으로 판단된다.

CIR 방법의 경우에는 SBC 및 MWR 방법과 비교하여 1, 3, 7, 8, 11월에 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.423보다 작은 값을 보여 주었고 나머지 기간 동안에 높은 TCC 값을 보여서 전체적으로 예측성에 있어서 안정적인 경향을 보였다. 또한 장기 기후예측성 평가에서 언급하였듯이 관측 자료만을 사용하는 CIR 방식(CIR-Observed) 및 예측 및 관측 자료를 동시에 사용하는 CIR 방식(CIR-Forecast) 사이에 TCC 값에서 큰 차이를 보이는 12월의 경우에는 향후 CPC에서 제공하는 관측 기반의 기후인자를 사용하는 대신에 실제 APCC의 예측 자료 기반의 기후인자를 사용함으로써 예측성이 유지되는지에 대한 확인이 과정이 필요하다.

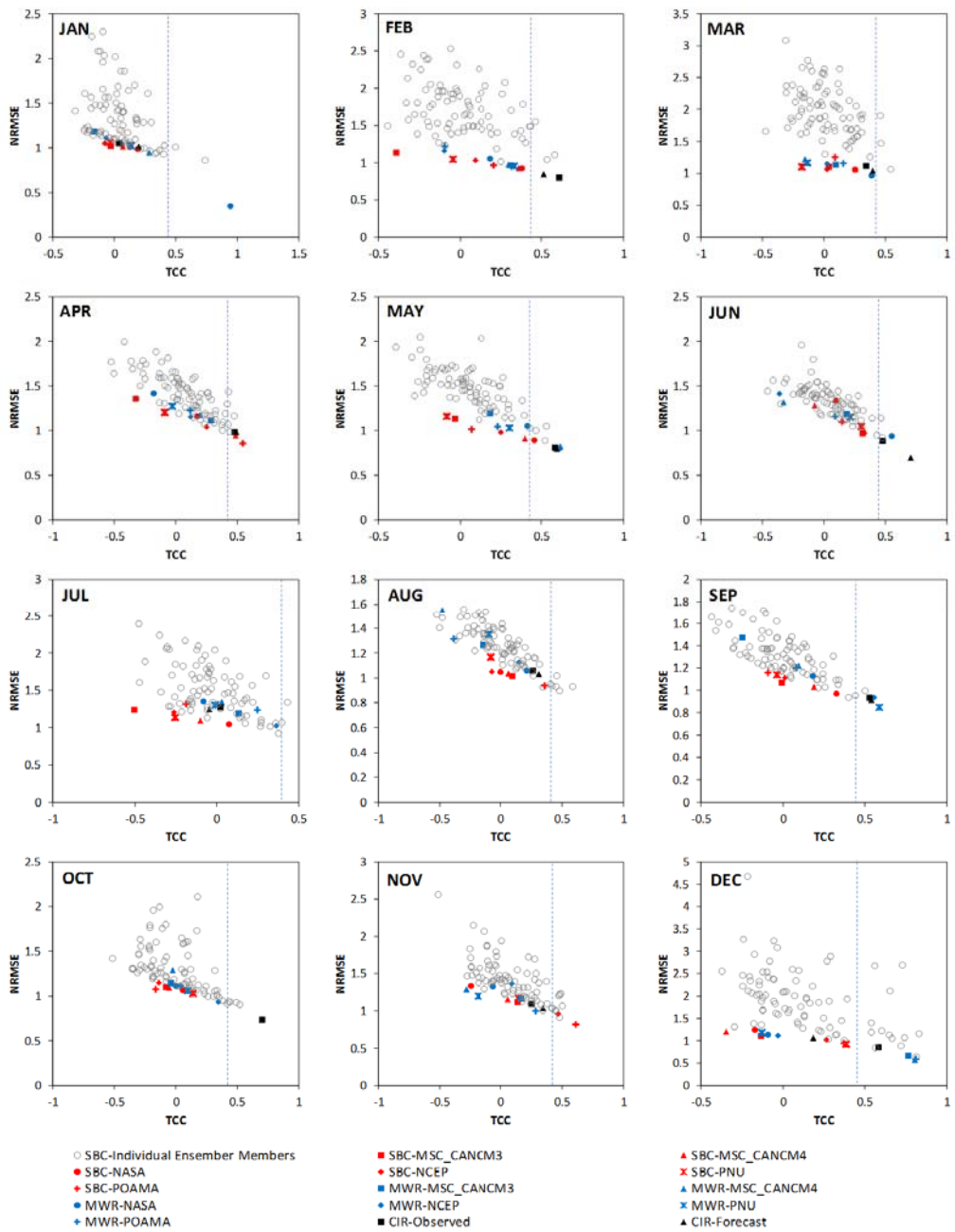


Figure 41. 상세화 방법에 따른 월별 저수지 유입량 예측성 비교 (옥중 저수지)

전체적으로 가장 안정적인 예측성을 보인 관측 기반 CIR 상세화 방법(CIR-Observe)을 통해 모의된 월별 유입량을 전체 기간인 1984~2005년에 대하여 비교한 결과는 <Fig. 42>와 같다. 장기 예측의 경우 월별 유입량을 정확하게 예측하는 것이 중요한데, 월별 유입량의 비교를 통해 계산된 결정계수는 <Table 8>에 제시되어 있다. 표의 결정계수 중 굵은 폰트의 값들은 22개 샘플에 대하여 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.423을 이용하여 대략적으로 환산된 결정계수인 0.2보다 큰 값들을 보여준다. CIR-Observed 방법은 5월, 9월, 12월에 결정계수가 모든 저수지에서 0.2 이상으로 보편적으로 높은 예측성을 보였다. <Fig. 42>에서 전체 기간에 대한 산포도가 가장 넓게 분포하고 결정계수가 가장 낮은 값을 보인 옥중저수지에 대한 월별 상류 유입량의 time-series는 <Fig. 43>에 제시되어 있다. 농업용 저수지의 저수율이 가장 낮게 발생할 수 있는 시점인 5-6월에 대해서는 CIR 방법의 경우 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.423보다 큰 값을 보여(Fig. 41) 나머지 기간들과 비교하여 비교적 높은 예측성을 보였다.

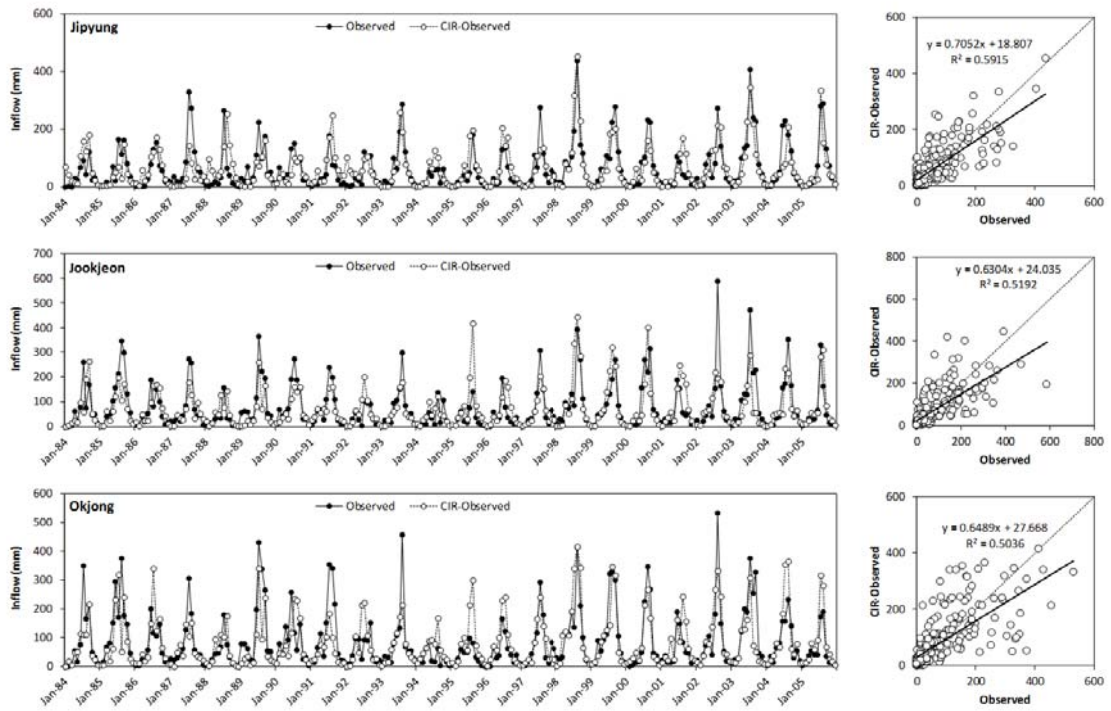


Figure 42. 저수지 상류 유입량 예측성 비교(1984~2005)

Table 8. 저수지 월별 상류 유입량 예측성 비교

저수지	결정계수(R ²)												
	전체	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
지평	0.59	0.03	0.00	0.02	0.32	0.34	0.08	0.19	0.28	0.22	0.09	0.00	0.30
죽전	0.52	0.02	0.09	0.20	0.14	0.24	0.07	0.07	0.02	0.36	0.22	0.04	0.38
옥중	0.50	0.00	0.38	0.12	0.24	0.35	0.24	0.00	0.07	0.28	0.50	0.07	0.34

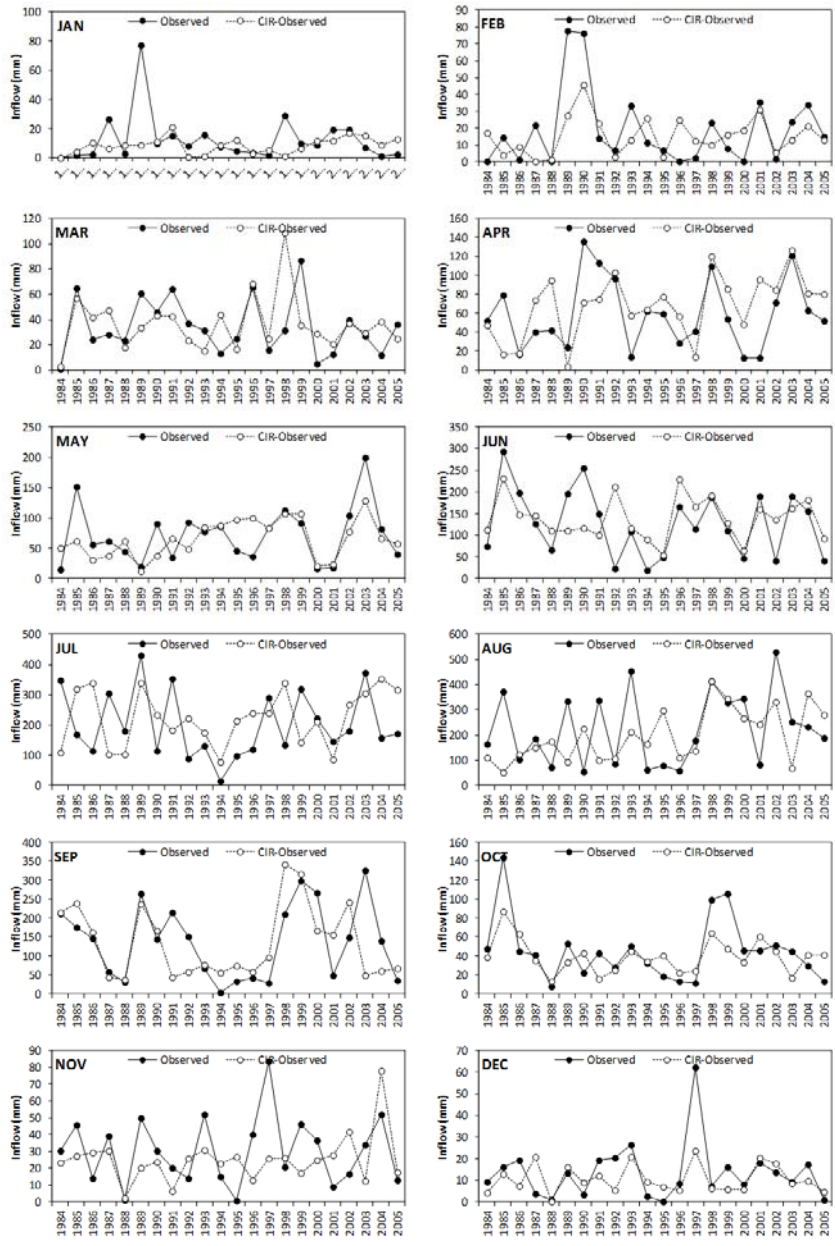


Figure 43. 저수지 월별 유입량 예측성 비교

4.3.2 장기 예측 자료의 다목적 댐 유입량 예측성 평가

다목적 댐 유입량의 경우에는 우선 예측성이 가장 안정적으로 나타난 CIR 방법을 중심으로 장기 기후예측 자료를 유역모형의 입력으로 사용하는 모델링 기반 접근 방식과 원격상관 기반의 통계적 접근 방식의 예측성 비교뿐만 아니라 장기 예측 정보를 사용하지 않는 경우와 사용하는 경우의 유입량 산정 결과를 비교하였다.

우선 통계적 방법으로서 원격상관 기반의 최대 3개 기후인자를 사용하여 구성된 다중회귀모형을 이용한 안동댐 유입량 예측 결과는 <Fig. 44>에 제시되어 있으며, <Table 9>는 안동댐 월별 유입량 예측에 선정된 기후인자와 지체시간을 보여 준다. 이는 CIR 접근 방식 중에서 지체시간이 1개월보다 크거나 같은 기후인자만을 사용한 관측기반의 CIR (CIR-Observed) 방법을 사용한 결과이다. <Fig. 44>에서 1월, 2월, 3월, 4월, 5월, 9월 등 6개월 기간 동안에는 샘플 수에 따라서 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관관계수의 최솟값의 범위인 0.367~0.396을 이용하여 대략적으로 환산된 결정계수 0.2보다 큰 R^2 값을 보였다. 이중 2월과 5월에 결정계수가 각각 0.41 및 0.38로 예측성이 비교적 높게 나타났다.

Table 9. 안동댐 월별 유입량 산정에 선정된 기후인자 및 지체시간

Month	1st predictor		2nd predictor		3rd predictor	
	Index	Lag	Index	Lag	Index	Lag
Jan	Solar	-1	ESL	-10		
Feb	NOI	-7	TNA	-10	CAR	-11
Mar	AAO	-5	PNA	-1	AO	-1
Apr	CAR	-1	NOI	-7		
May	WPO	-12	AO	-8		
Jun	NOI	-11	SOI	-11		
Jul	AO	-11	PDO	-8	ESL	-10
Aug	GML	-6	AAO	-5	CAR	-6
Sep	Solar	-4	AO	-4	SOI	-5
Oct	NP	-6	TSA	-12	EPO	-6
Nov	NAO	-2	NINA4	-10	AO	-9
Dec	NINA1	-1	ESL	-3		

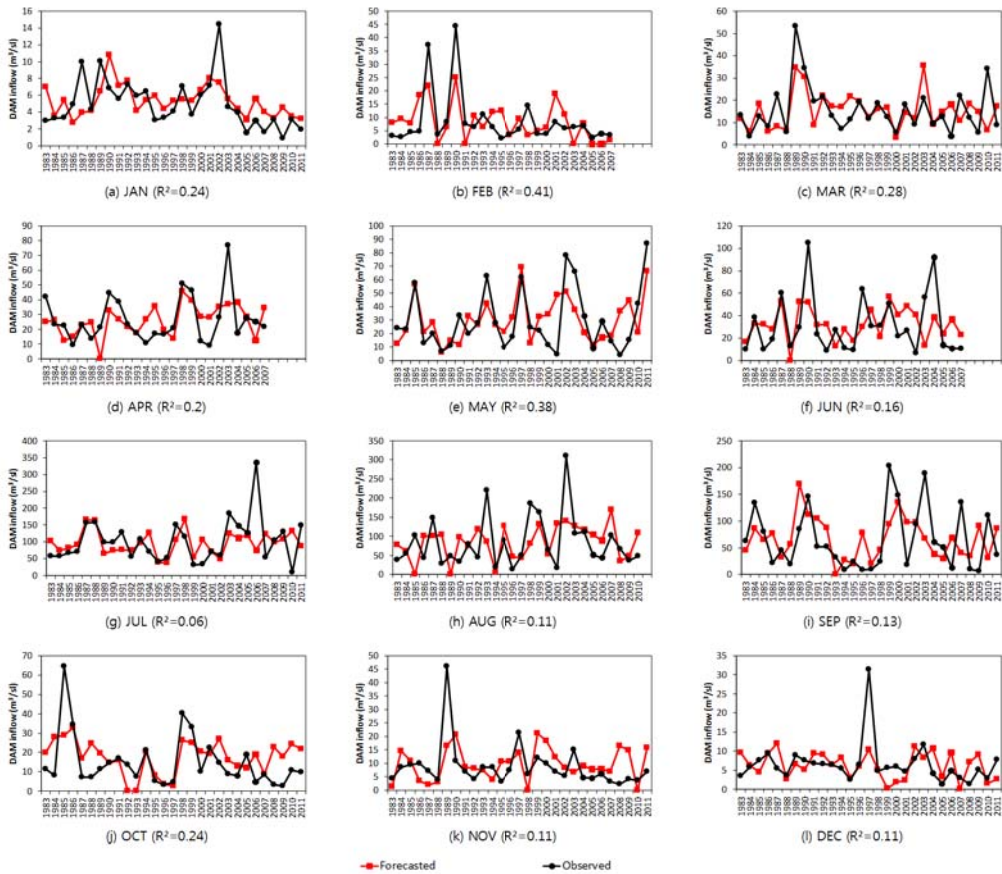


Figure 44. 원격상관 기반 CIR-Observed 방법을 이용한 안동댐 월별 유입량 예측 결과

SWAT 모형을 활용한 모델링 기반 예측성 평가를 위해서는 모형의 보정 및 검정이 선행되어야 한다. 안동댐 유역에 대하여 수치표고도(DEM), 토양도, 토지피복도를 이용하여 38개 소유역, 3,730개의 수문반응단위(Hydrologic Response Unit: HRU)로 구분하였다. 모형의 보정 및 검정 기간은 2년의 예비 모의기간을 거쳐 2004~2007년, 2008~2011년의 4년 기간을 각각 사용하였다. 장기 댐 유입량 예측에 있어서 불확실성은 사용된 장기 기후예측 자료의 불확실성에 의하여 발생할 수도 있지만, 보정된 유역모형이더

라도 매개변수가 가지는 불확실성에 의하여 기인할 수도 있다. 이를 위해서 검·보정된 SWAT모형에 1983~2011년에 대한 관측 기상 자료를 입력으로 사용하여 생성된 안동댐 월별 유입량 자료와 매 달 1개월 전에 예측된 (선행예측기간이 1개월인) 기상 예측 자료를 입력으로 생성된 댐 유입량을 비교하였다. 모형의 검·보정에는 태백(ID216), 봉화(ID271), 안동(ID136) 등 3개 기상관측소를 사용한 반면에, 예측성 비교를 위해서는 태백 및 봉화 관측소는 각각 1985년 및 1988년 이후에만 관측 자료가 제공되기 때문에 안동 관측소의 자료만을 사용하였다. <Table 10>, <Fig. 45>, <Fig. 46>은 보정 및 검정 결과를 보여 준다. 월별 유입량에 대한 모형의 성능은 보정 및 검정 기간 동안에 NSE 값이 동일하게 0.93을 보여 만족스러운 결과를 보였다. 다만 총오차의 경우 검정 기간에 16.5%로 다소 증가하는 경향을 보였다.

Table 10. 안동댐 유입량 SWAT 보정 및 검정 결과

Performance measures		Calibration	Validation
% Error		1.8	16.5
NSE	Daily	0.63	0.58
	Monthly	0.93	0.93
RMSE	Daily	66.2	62.6
	Monthly	15.1	11.1

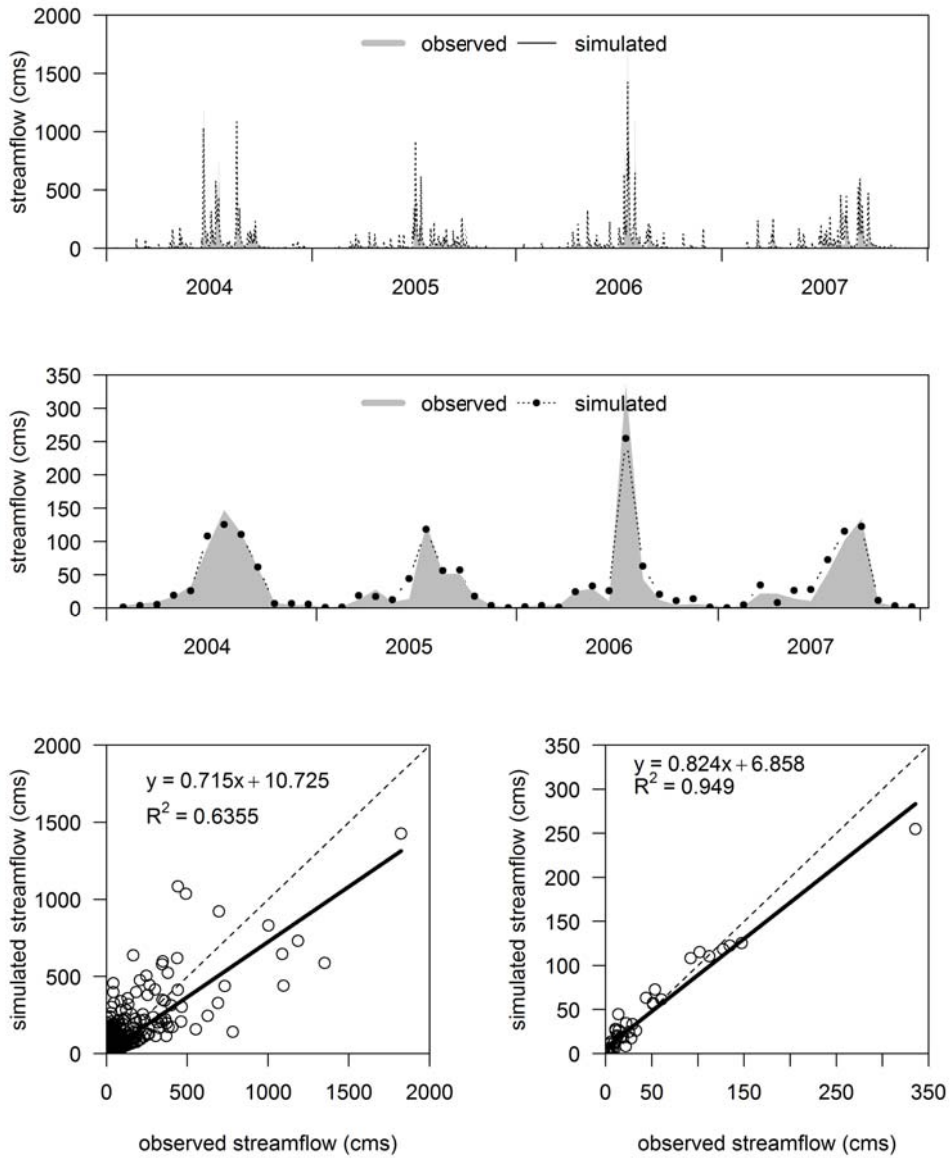


Figure 45. 보정 기간 모의 결과(안동댐 유입량, 2004~2007)

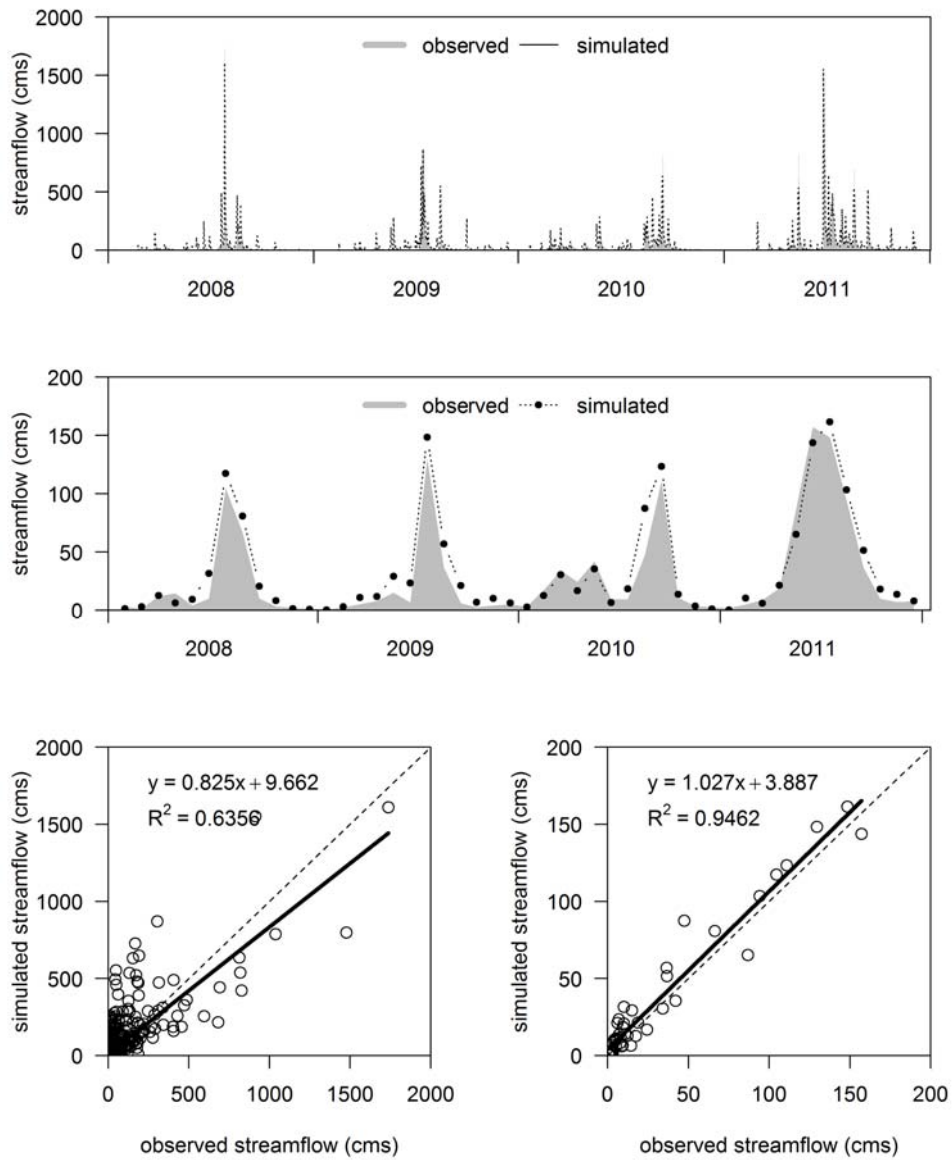


Figure 46. 검정 기간 모의 결과(안동댐 유입량, 2008~2011)

전체 기간(1983~2011년)에 대해서 관측 기상 자료를 SWAT 모형의 입력으로 계산된 댐 유입량 자료(SWAT-Observed), 장기 기후예측 자료를 SWAT 모형의 입력으로 계산

된 댐 유입량 자료(SWAT-Forecasted), 원격상관을 이용하여 예측된 댐 유입량 자료(CIR-Observed), 당월 유입량의 순위를 기준으로 예측된 다음 달의 유입량 자료(Rank-Observed)를 실제 관측 댐 유입량 자료(Observed Inflow)와 비교한 산포도 그래프는 <Fig. 47>에 제시되어 있다. 관측 기상 자료를 활용한 경우가 R^2 값이 0.87로 관측 유입량에 가장 근접하게 모의하였다. 보정 및 검정 기간의 R^2 값과 비교하여 다소 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 검·보정 기간에는 3개 기상 관측소가 사용된 반면 예측성 평가에는 장기간 자료가 존재하는 안동 관측소 1개 지점만이 사용되어 강우의 지역적 분포가 고려되지 않았기 때문이라 사료된다. 예측 정보를 사용하지 않고 당월 유입량의 순위를 가지고 다음 달의 유입량을 예측한 경우가 0.28의 R^2 값을 보여 예측성이 가장 낮게 나타났다. 원격상관 기반의 통계적 방법(CIR-Observed) 및 SWAT모형을 이용한 모델링 방법(SWAT-Forecasted)을 비교할 때 통계적 방법이 R^2 값이 0.51로 모델링 방법의 R^2 값인 0.38과 비교하여 높은 예측성을 보였다. 이는 관측 유입량과의 비교를 통하여 얻어진 결과이며, 만약에 SWAT모형이 실제 유입량을 완벽하게 모의한다는 가정 하에서 관측 기상 자료를 입력으로 사용한 경우를 관측 유량이라고 가정하여 예측 기상 자료를 입력으로 사용하여 모의된 유입량을 비교할 경우 R^2 값이 0.52 로서 나타나 통계적 방법(CIR-Observed)의 0.51과 비교하여 근사한 예측성을 보였다.

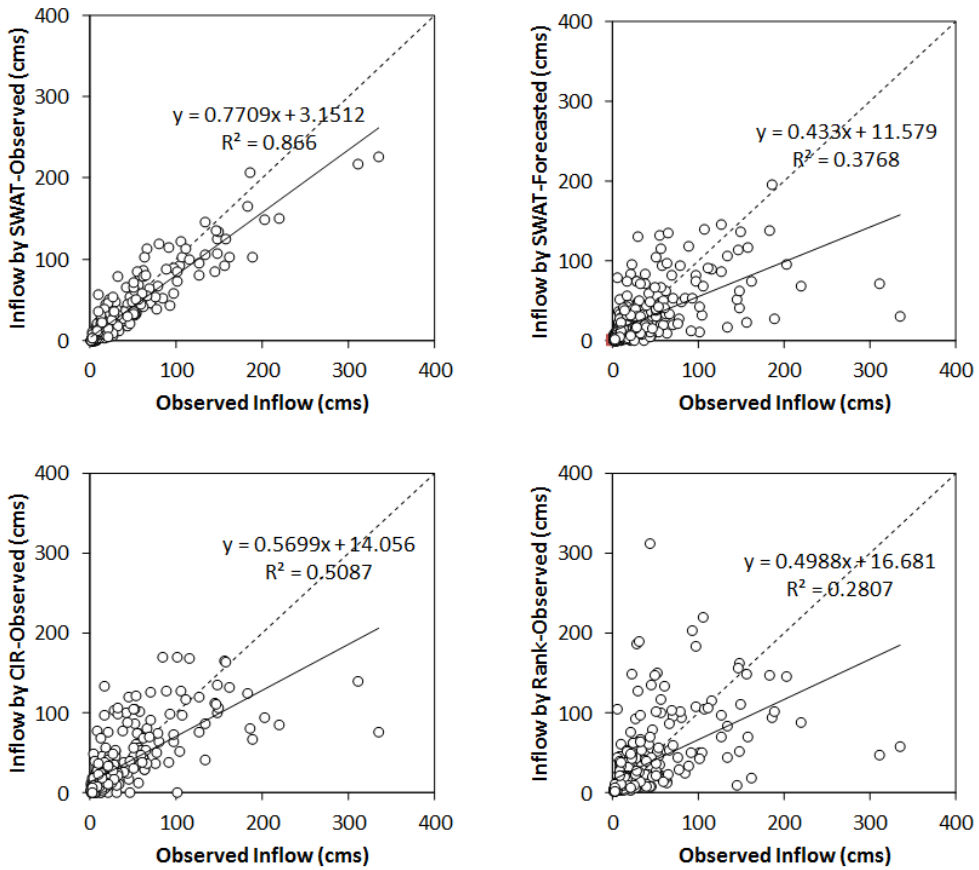


Figure 47. 예측 방법에 따른 안동댐 월 유입량 산포도 (1983~2007)

댐 용수 관리를 위해서는 월별 유입량 예측성 평가가 중요한데 <Fig. 48>은 방법에 따른 월별 TCC 및 NRMSE 값을 기준으로 분석한 예측성 평가 결과를 보여 준다. 일반적으로, 관측 기상 자료를 SWAT 모형의 입력으로 사용한 경우(SWAT-Observed)가 서로 다른 예측 방법들(SWAT-Forecasted, CIR-Observed, Rank-Observed)의 경우와 비교하여 높은 TCC 값과 낮은 NRMSE 값을 보이는 것이 기대된다. TCC 값의 경우에는 모든 월에 대하여 관측 기상 자료를 사용한 경우가 항상 높은 TCC 값을 보였다. 하지만

NRMSE의 경우에는 1월 및 3월의 경우에 관측 기상 자료를 사용한 경우가 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 SWAT모형의 보정이 저수위 및 고수위 상황을 모두 고려하여 수행된 반면에 예측성 평가는 저수위 기간만을 비교함으로써 SWAT모형이 저수기 유입량의 경향은 잘 반영하더라도 유입량의 절대 값은 잘 모의하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 장기 기후예측 자료를 SWAT모형과 같은 유역모형의 입력으로 사용하는 경우, 모의값을 그대로 사용하는 대신에 모의값을 과거 관측 자료를 이용하여 편이보정과 같은 후처리 과정이 필요할 수 있음을 시사한다.

세 가지 예측 방법 중에서 12월을 제외한 모든 기간 동안에 원격상관을 이용한 CIR-Observed 방법이 높은 TCC 및 낮은 NRMSE 값을 보여 높은 예측성을 나타냈다. 특히 7, 8, 12월을 제외한 모든 기간 동안에 0.05 유의수준에서 통계적으로 유의한 상관계수의 최솟값인 0.396보다 큰 값(Fig. 48)의 점선을 보여 주었고, 2월, 3월, 5월의 경우에는 0.6 이상의 높은 TCC 값을 보여 주었다. 장기 기후예측 자료를 입력으로 사용한 모델링 방법(SWAT-Forecasted)과 예측 자료를 사용하지 않고 현재 시점의 유입량의 순위를 기준으로 산정한 방법(Rank-Observed)을 비교한 경우에는, 갈수기인 1월, 2월, 3월에 SWAT 모형에 의한 방법이 Rank 기반 방법과 비교하여 낮은 TCC 값을 보여 주고 있다. 이는 SWAT 모형이 저수위를 모의 하는데 있어서 매개변수가 최적화되어 있지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 실제로 1월~3월 기간만을 고려할 때 SWAT모형의 관측기상 자료를 이용하여 모의된 월 유출량과 관측 유출량의 비교를 통해 계산된 결정계수는 0.63으로 전체기간의 결정계수인 0.87보다 낮은 값을 보였다. 8월 및 11월에는 반대로 SWAT 모형에 의한 방법이 Rank 기반 방법과 비교하여 높은 TCC 값을 보여 주었고, 나머지 달에서는 두 방법에서의 차이가 미미한 결과를 나타냈다. 이는 앞에서 전체 기간의 자료를 가지고 분석한 결과와 상이한 결과로서 전체 기간 중에는 유출량이 많은 8월의 높은 예측성에 많은 영향을 받은 결과라 판단된다.

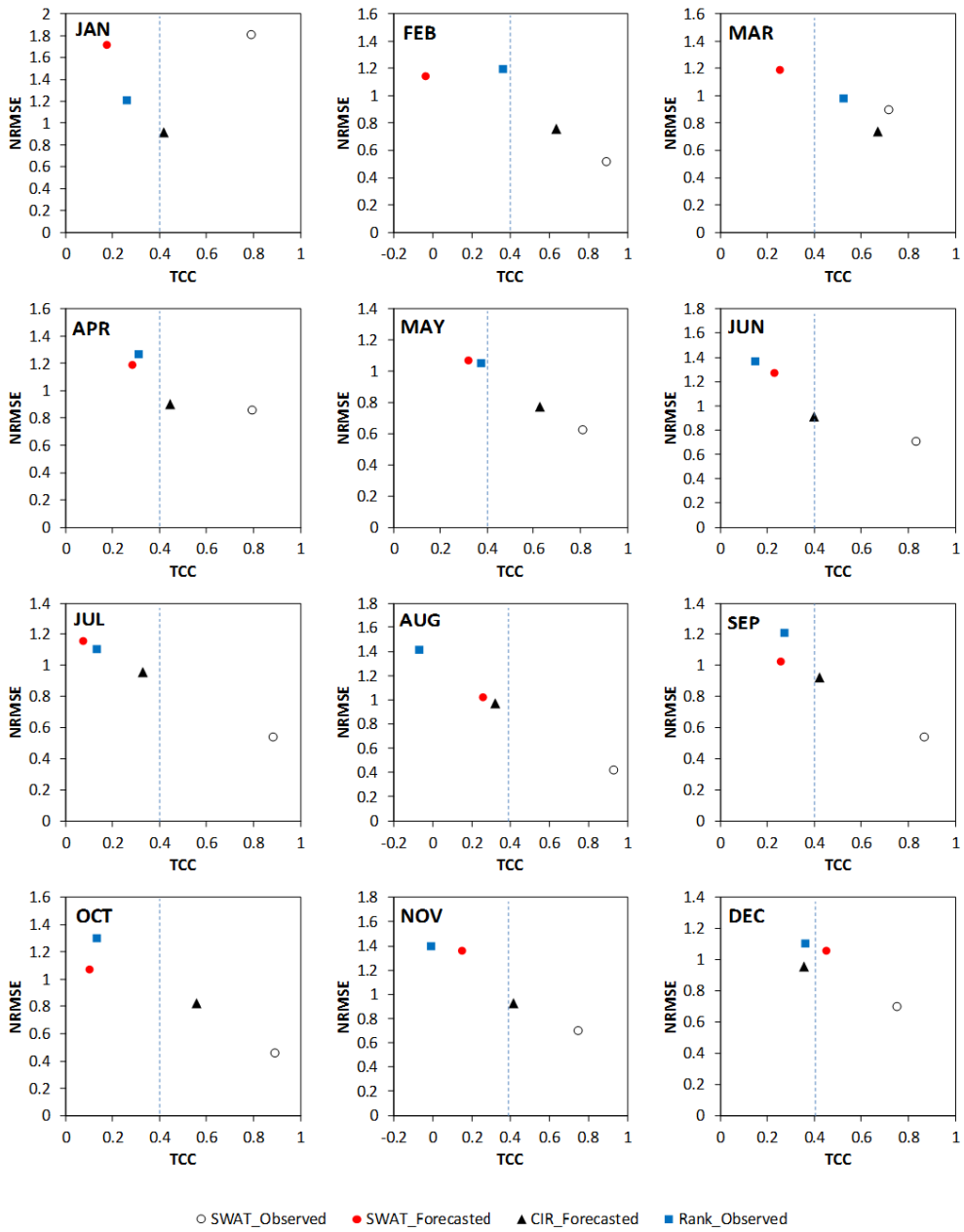


Figure 48. 모델링 및 통계적 방법에 따른 월별 댐 유입량 예측성 평가 결과(안동댐, 1983~2007)

4.3.3 장기 예측 자료의 중권역 유역 수질예측성 평가

우선 중권역 규모에서의 수질예측성 평가를 위해서 관측 기반의 기후인자를 이용한 통계적 방법(CIR-Observed)에 의해 위천 유역의 3개 수질 측점에 대하여 예측된 수질 결과를 분석하였다. CIR 방법을 이용한 장기 수질예측의 경우에는 두 관측점이 공간적으로 가까이 위치해 있더라도 상류의 유입되는 지천들의 오염부하량 등 유역 특성에 따라서 전혀 다른 수질의 특성을 보일 수 있기 때문에, 강수 및 기온의 경우에서와 같이 한반도 평균값을 이용하여 상관성이 가장 높은 기후인자를 찾는 것보다는 개별 관측점의 각각의 수질항목에 대하여 월별로 가장 상관성이 높은 기후인자들을 선정하였다. <Table 11>은 위천 중권역 내에서 장기 수질 자료를 가지고 있는 3개 하천수질 관측점을 대상으로 관측 자료 기반의 CIR 방법을 적용하여 도출된 수질항목별 TCC 값을 보여주고 있다. 유의수준 0.05에서 유의미한 상관계수의 하한치는 Temp, BOD, TN, TP, SS의 경우 0.4(n=24) 클로로필-a(Chl-a)의 경우에는 0.62(n=10)이며, 음영 처리된 셀들은 유의미한 상관계수의 하한치보다 큰 경우를 의미한다. 수질항목별 총 36가지 경우(3개 관측소 × 12개월)에 대하여 Temp는 32(89%), BOD는 26(72%), TN은 30(83%), TP는 32(89%), SS는 26(72%), Chl-a는 22(61%) 경우에 유의미한 상관관계를 보였다.

쌍계천 지점에서 수질 항목별 월별 time-series는 <Fig. 49> ~ <Fig. 52>에 제시되어 있다. 수온의 경우 가장 높은 결정계수(R^2)는 12월에(0.59) 나타난 반면 낮은 결정계수는 10월(0.13)에 나타났다. BOD의 경우에는 6월(0.74) 및 11월(0.03)에 가장 높고 낮은 결정계수를 각각 보여주었다. TN의 경우는 4월에 0.5로 가장 높은 값을, 6월에 0.05로 가장 낮은 값을 보여 주었다. TP의 경우는 가장 높은 결정계수는 5월(0.53)에 낮은 값은 2월(0.19)에 나타났다. SS의 경우에는 9월(0.67)과 12월(0.01)에 가장 높거나 낮은 값을 보였다. Chl-a의 경우에는 8월(0.9)에 가장 높은 값을 12월(0.02)에 가장 낮은 값을 보였다.

Table 11. 통계적 방법에 의한 위천 중권역 내 3개 수질 관측점에서의 수질 항목별 temporal correlation coefficient (TCC) 결과

Constituent	Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
BOD	상계천	0.71	0.41	0.62	0.33	0.61	0.84	0.41	0.26	0.51	0.60	0.17	0.72
	위천1	0.71	0.41	0.62	0.33	0.61	0.84	0.41	0.26	0.51	0.60	0.17	0.72
	위천2	0.63	0.58	0.45	0.70	0.53	0.55	0.39	0.42	0.14	0.39	0.69	0.37
Chl-a	상계천	0.43	0.69	0.40	0.28	0.93	0.76	0.69	0.95	0.52	0.85	0.67	0.14
	위천1	0.43	0.69	0.40	0.28	0.93	0.76	0.69	0.95	0.52	0.85	0.67	0.14
	위천2	0.57	0.52	0.41	0.04	0.86	0.83	0.91	0.70	0.67	0.72	0.70	0.71
SS	상계천	0.55	0.49	0.42	0.48	0.57	0.63	0.36	0.47	0.82	0.57	0.29	0.12
	위천1	0.55	0.49	0.42	0.48	0.57	0.63	0.36	0.47	0.82	0.57	0.29	0.12
	위천2	0.40	0.67	0.71	0.30	0.47	0.50	0.53	0.53	0.45	0.57	0.20	0.36
Temp	상계천	0.55	0.49	0.55	0.42	0.61	0.52	0.49	0.53	0.64	0.37	0.60	0.77
	위천1	0.55	0.49	0.55	0.42	0.61	0.52	0.49	0.53	0.64	0.37	0.60	0.77
	위천2	0.57	0.59	0.51	0.44	0.59	0.51	0.61	0.33	0.58	0.40	0.56	0.76
TN	상계천	0.56	0.43	0.66	0.70	0.52	0.23	0.54	0.44	0.45	0.42	0.52	0.35
	위천1	0.56	0.43	0.66	0.70	0.52	0.23	0.54	0.44	0.45	0.42	0.52	0.35
	위천2	0.60	0.50	0.55	0.42	0.23	0.61	0.48	0.50	0.57	0.46	0.36	0.46
TP	상계천	0.60	0.44	0.58	0.51	0.73	0.68	0.45	0.54	0.70	0.62	0.66	0.45
	위천1	0.60	0.44	0.58	0.51	0.73	0.68	0.45	0.54	0.70	0.62	0.66	0.45
	위천2	-0.19	-0.50	0.48	0.31	0.70	0.55	0.48	0.42	0.78	0.68	0.52	0.17

0.4~0.6 : 0.6~0.8 : 0.8~1.0

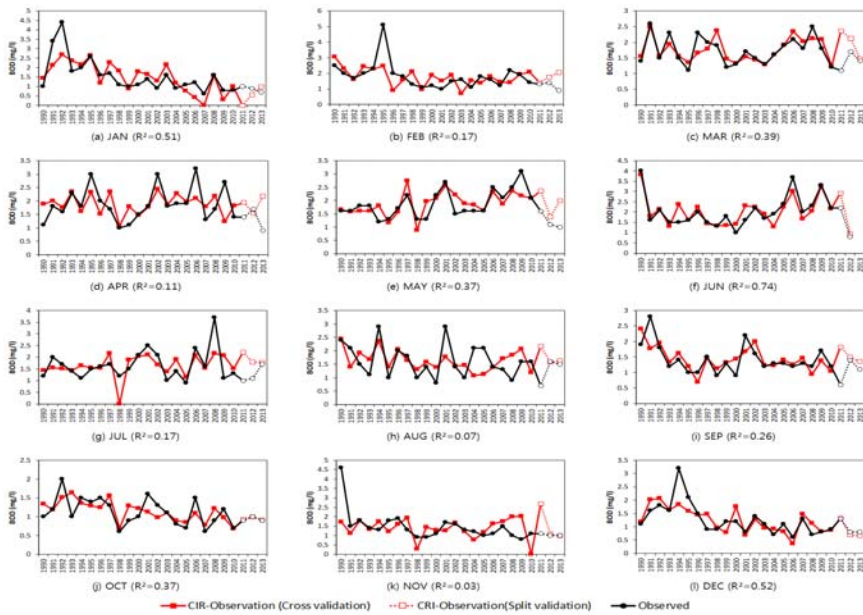


Figure 49. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 BOD 예측 결과(상계천)

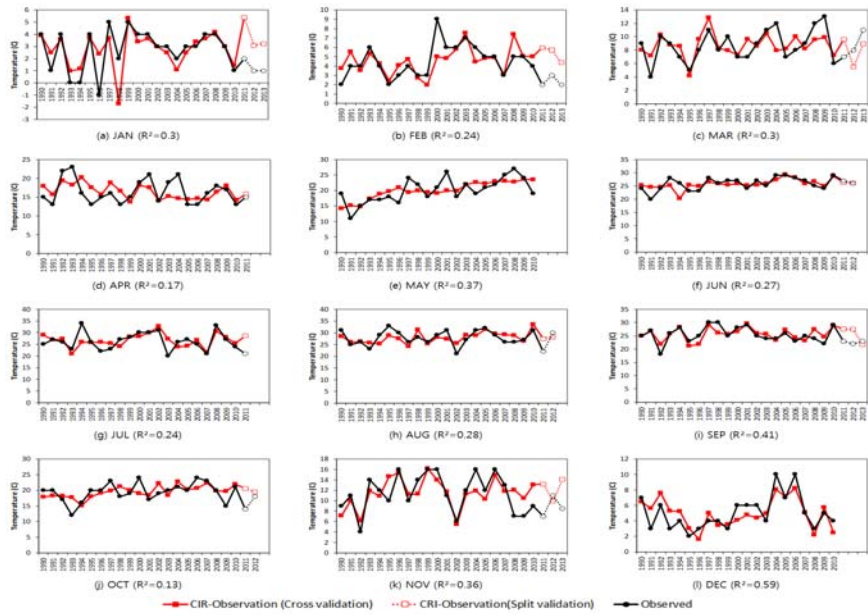


Figure 50. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 수온 예측 결과(상계천)

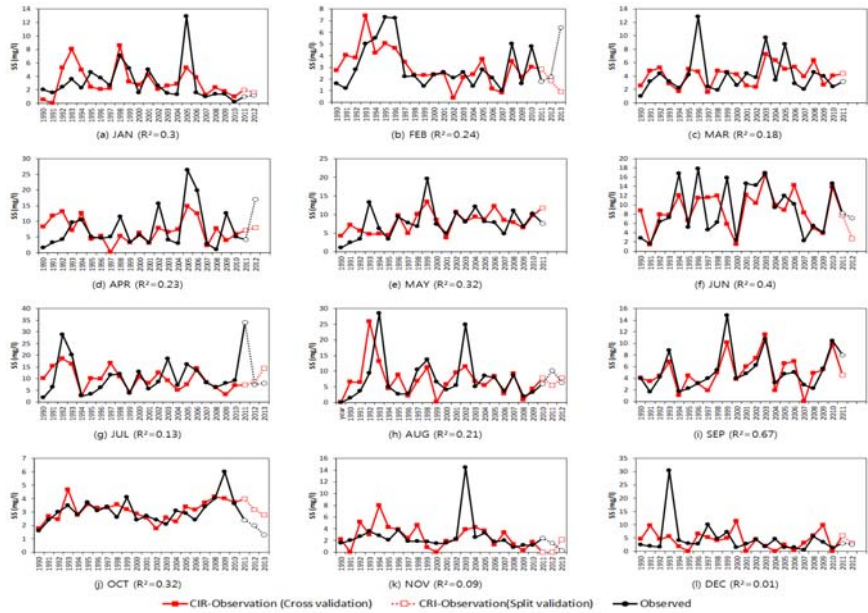


Figure 51. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 SS 예측 결과(상계천)

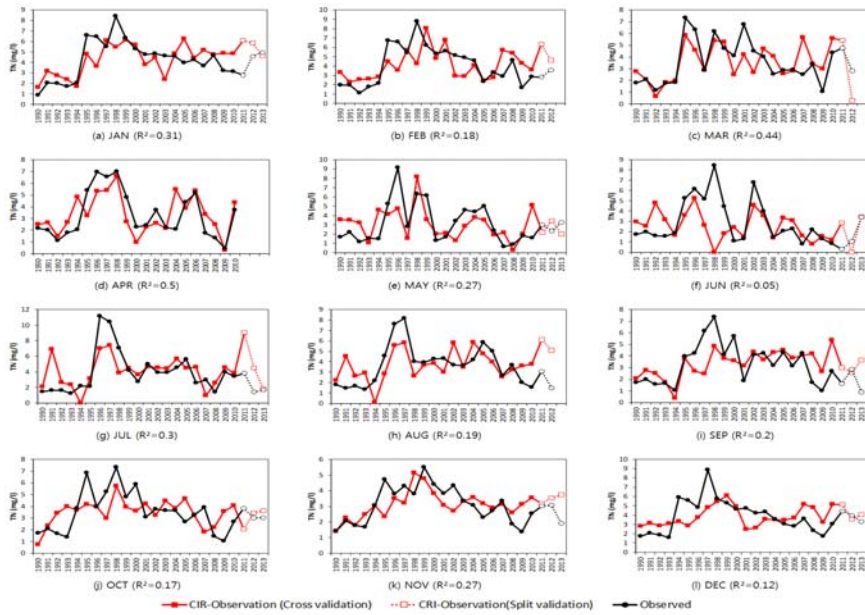


Figure 52. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 TN 예측 결과(상계천)

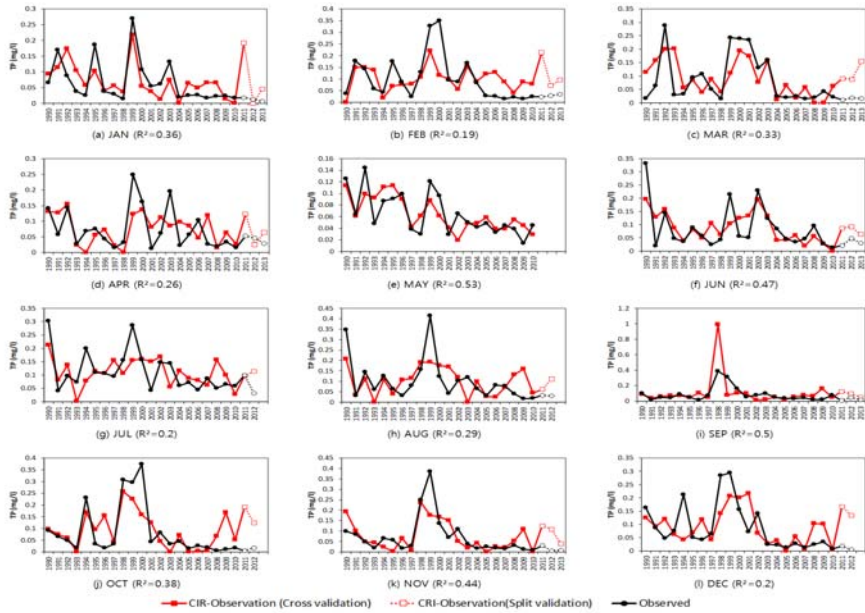


Figure 53. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 TP 예측 결과(상계천)

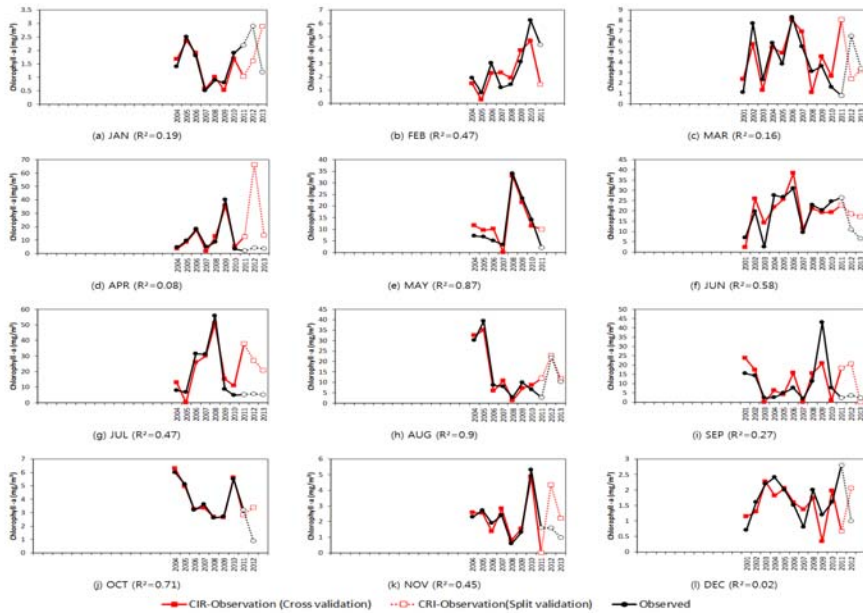


Figure 54. CIR-Observed 방법을 이용한 월평균 클로로필-a 예측 결과(쌍계천)

모델링 기반의 수질예측성 평가를 위해서는 기후예측성 평가에서 가장 안정적인 예측성을 보인 관측 자료 기반의 Climate Index Regression(CIR)의 장기 기후예측 결과를 사용하였으며, 유역모형으로 SWAT을 선택하였다. 모델링 기반 수질예측성 평가를 위해서는 모형의 보정 및 검정 과정이 필요하다. 우선 토지이용, 토양, DEM을 이용하여 29개 소유역으로 구분하였고 1,866개 HRU로 모형을 구축하였다. 대상 유역으로 선정된 위천 중권역은 시가 지역보다 비시가 지역의 비율이 높게 나타나고 있어서 하수처리율이 낮은 편이며, 위천 중권역내 2011년 전체 오염부하량 중에서 BOD 비점오염원이 차지하는 비중이 79.4%로 높게 나타났다(대구지방환경청, 2013). 이는 비점오염원의 경우 강우 특성에 민감한 점을 고려할 때, 위천 중권역의 경우 다른 중권역과 비교하여 기후정보에 더욱 민감하리라 생각할 수 있다. 따라서 모형의 점오염부하량 입력을 고려할 때 하수처리시설의 방류량만을 고려하는 경우 미처리 구역에 의한 점오염부하량이 누락될 수 있

다. 미처리 점오염원은 유역 내에서 점오염원의 형태로 배출되지만 환경기초시설을 통해 정화되지 않고 하천으로 직접 유입되는 오염물질을 의미한다. 본 연구의 모형 검·보정에 사용된 총량 수질측정지점의 관측 수질 값은 비점오염원과 점오염원에 의한 수질변화를 모두 반영하고 있기 때문에, SWAT모형을 통해 유역 내 비점오염부하량을 정확히 고려하기 위해서는 점오염원에서 발생하는 부하량을 정확하게 입력해 주어야 한다. 총량 측정지점에서 모형 검·보정 시에 점오염이 실제보다 많이 반영된 경우에는 상대적으로 비점오염부하량이 적게 모의되고 관련 변수들 또한 실제 유역에서 일어나는 기작을 대표하지 못하게 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 오염원 자료로부터 『수계오염총량관리 기술지침』(국립환경과학원, 2012)에 따라서 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계에 대하여 동·리 단위로 산정된 2010년의 최종 배출부하량 자료를 사용하였다. SWAT모형의 경우 점원오염을 소유역 단위로 입력하게 되어 있기 때문에, 동·리 단위로 계산된 생활계, 산업계, 축산계, 매립계의 배출부하량의 합을 소유역내 점유율을 고려하여 소유역별로 총 배출부하량을 계산한 후에 유달율을 곱하여 소유역별 점원오염으로 고려하였다. 유달율은 오염원으로부터의 배출부하량과 어느 특정지점에 도달한 오염부하량인 유달부하량의 비를 의미한다. 유달율과 관련하여서는 낙동강 중권역별로 제시된 BOD5, TN, TP 유달율 중에서 위천 중권역에 해당되는 0.033, 0.283, 0.02 값을 각각 사용하였다(낙동강유역환경청, 2010).

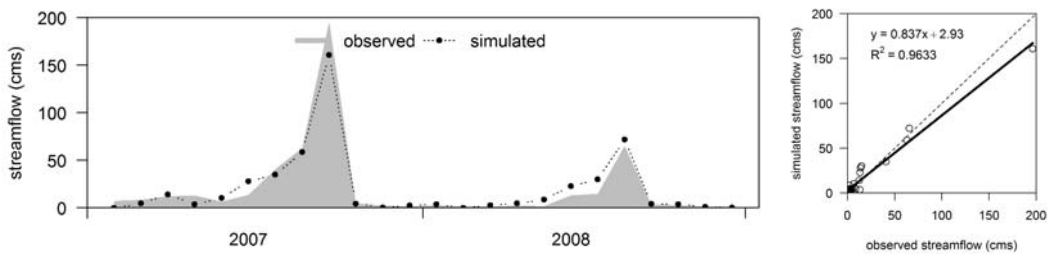
모형 검·보정 지점은 유량과 수질 측정지점이 일치하는 경우 가장 이상적이지만, 본 연구에서는 각각 다른 지점을 사용하였다. 즉 유량의 경우 용곡 지점 유량 자료의 2007-2008년 및 2010-2011년의 기간을 각각 모형의 보정 및 검정 기간으로 사용하였다. 반면에 수질의 경우에는 동일한 기간에 대하여 위천B 총량관측점의 관측 자료를 사용하였다. 모형 매개변수 검·보정 방법은 시행착오법과 자동보정방법이 있다. 모형 내에는 유량과 수질 관련한 다수의 매개변수가 포함되어 있으며, 다수의 관측점을 동시에 고려해야 하고, 수량수질 관련 매개변수의 모든 조합을 고려할 때 모형의 계산 시간 또한 길게 소요될 것으로 예측되기 때문에 자동보정방법 대신 시행착오법을 선택하여 적용하였다. 시행착오법을 사용하는 경우 전문가의 경험에 따라서 소요 시간을 단축시킬 수

있을 뿐만 아니라 자동 매개변수 추정 과정에서 발생할 수 있는 매개변수의 overfitting의 문제도 방지할 수 있는 장점이 있다. 모의 대상 항목인 질소, 인은 물에 용해되어 이동하는 것 이외에 유사에 흡착되어 이동하며, 유사 이동은 다시 강우-유출 특성에 따라 좌우될 수 있다. 따라서 유량-유사-영양물질 순서로 순차적인 매개변수 검·보정을 수행하였다. 즉, 유량 관련 매개변수를 시행착오법으로 결정하여 고정한 다음 유사와 관련된 매개변수를 검·보정하였으며, 그 다음으로 유량과 유사 관련 매개변수를 고정한 후 영양물질과 관련된 매개변수를 검·보정하였다. 보정 및 검정을 통하여 SWAT모형의 매개변수를 고정시킨 후에는 관측 기상 자료를 입력으로 한 결과와 장기 기후예측 자료를 입력으로 한 결과를 위천B 총량관측지점에서의 실제 수질 관측 결과와 비교하였다. 수질 항목으로는 SWAT에서 모의 가능한 SS, TN, TP 항목을 비교하였다. 모형의 보정 및 검정은 상주, 의성, 구미, 대구의 4개 기상관측소의 자료를 활용한 반면에, 수질예측성 평가는 상주(ID137) 관측소의 경우 2002년 이후에만 자료가 존재하므로, 장기간의 자료가 존재하는 구미, 대구, 의성의 3개 관측점에 대하여 CIR 방법에 의해 상세화 된 기상 자료와 관측 자료를 활용하였다.

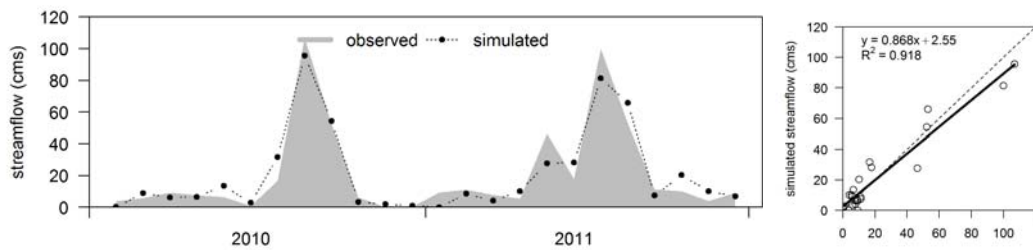
〈Table 12〉 및 〈Fig. 55〉는 용곡 지점에서의 SWAT모형의 유출량 보정 및 검정 결과를 보여준다. 월별 NSE 값이 보정 및 검정 기간에 대하여 각각 0.95 및 0.92를 보여 주었으며, 총오차 또한 동일한 기간 동안에 -1.6% 및 -1.1%로서 만족스러운 결과를 나타내었다. 위천B 지점에서의 SS, TN, TP 항목에 대한 보정 및 검정 결과는 〈Fig. 58〉 ~ 〈Fig. 58〉에 제시되어 있다. 모든 수질 항목에서 보정 및 검정 기간에 동안에 계절 변동성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단되어 매개변수를 고정시킨 후에 장기 기후예측 자료를 입력으로 하여 장기 수질예측성을 평가하였다.

Table 12. SWAT 유량 보정 및 검정 결과(용곡)

Performance measures		Calibration	Validation
% Error		-1.6	-1.1
NSE	Daily	0.35	0.41
	Monthly	0.95	0.92
RMSE	Daily	66.9	55.7
	Monthly	9.4	8.4



(a) Calibration (2007~2008)



(b) Validation (2010~2011)

Figure 55. SWAT 유량 보정(위) 및 검정(아래) 결과(용곡)

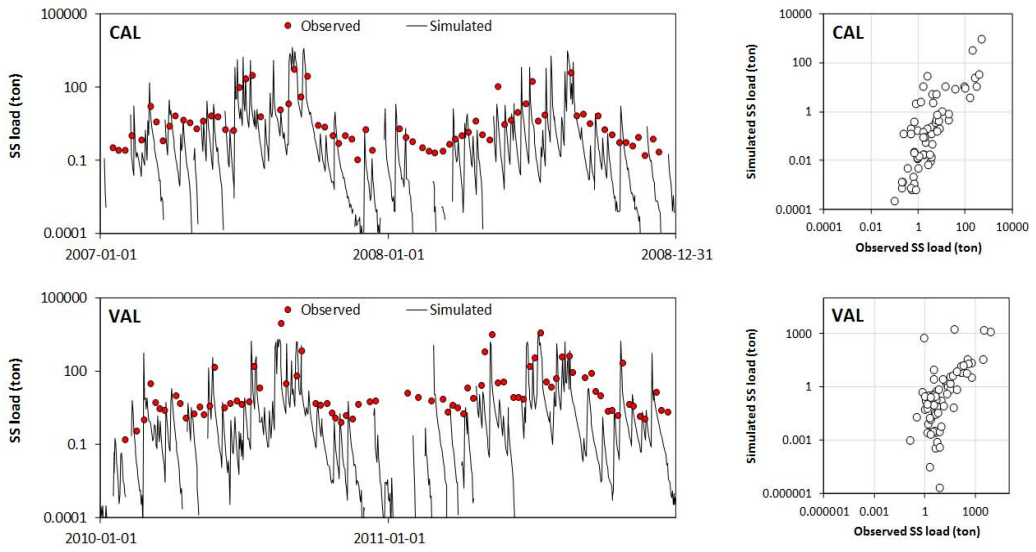


Figure 56. SWAT SS 보정(위) 및 검정(아래) 결과(위천B)

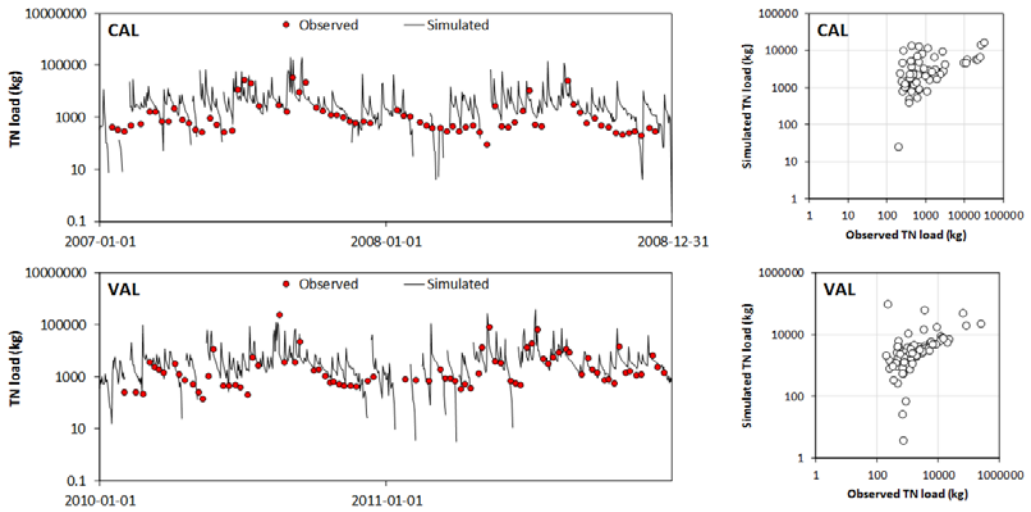


Figure 57. SWAT TN 보정(위) 및 검정(아래) 결과(위천B)

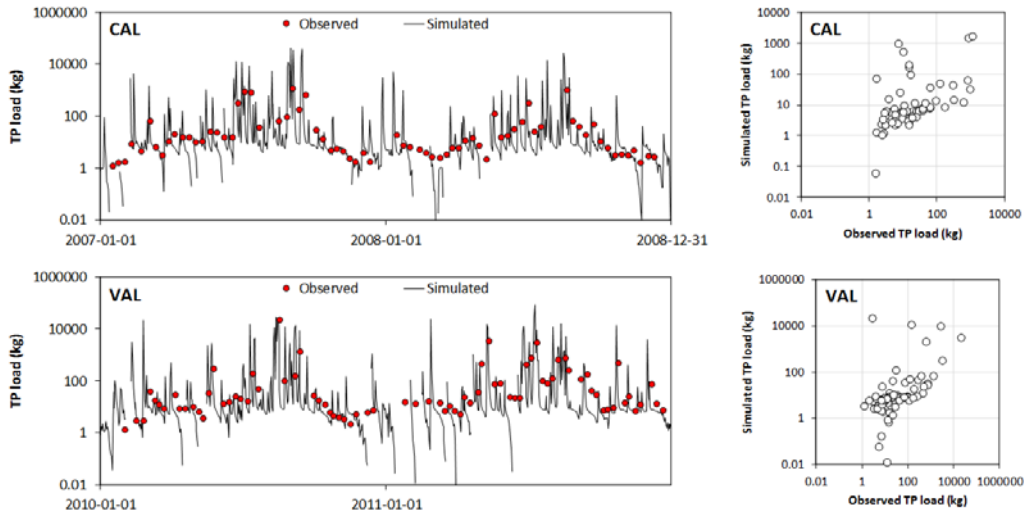


Figure 58. SWAT TP 보정(위) 및 검정(아래) 결과(위천B)

장기 수질예측성을 평가하기 위해서는 수질 항목의 월평균 농도를 정확히 산정하는 것이 중요하다. 총량관측지점의 경우 대략 8일 간격으로 수질을 측정하고 있는 반면에 SWAT모형의 출력은 일 단위의 모의 결과가 제공된다. 본 연구에서는 관측 자료 및 SWAT에 의해 모의된 수질 결과 모두 유량 가중 평균 농도(flow weighted average concentration)를 계산하여 비교하였다. 즉 수질 농도에 동일 시점의 유량을 곱하여 모두 합산한 후에 대상 기간의 총 유량으로 나누어 월평균 농도를 계산하였다. 따라서 SWAT 모델링 결과의 경우는 특정 월의 모든 일별 유량 및 수질 농도를 이용하였기 때문에 기간 내 모든 유량 조건을 반영한 월평균 농도인 반면에, 관측 자료의 경우에는 유량 및 수질 농도가 동시에 존재하는 4개 이하의 자료를 이용하였기 때문에 시료채취 시점의 유량 및 수질 특성에 따라서 월평균 농도가 많은 차이를 보일 수 있다.

<Fig. 59>~<Fig. 61>은 2003~2011년 기간 동안에 위천B 총량지점에서 1) 관측된 수질/유량 값을 이용하여 계산된 월평균, 최소, 최대값(검정), 2) 보정된 SWAT 모형에 관

측 기상 자료를 입력으로 하여 모의된 일 단위 수질 자료를 이용하여 계산된 월평균, 최소, 최대값(빨강), 3) 보정된 SWAT 모형에 CIR-Observed 방법을 이용하여 예측된 기상 자료를 입력으로 하여 모의된 일 단위 수질 자료로부터 계산된 월평균, 최소, 최대값(파랑)을 보여 준다.

SS 항목을 살펴보면 관측 월평균 값이 SWAT 모형에 의해 모의된 일 최소 및 최대 값의 범위 안에 포함되어 있다. 3월, 4월, 11월, 12월의 경우에는 관측 월평균 농도가 모형 기반의 월평균 농도보다 높게 나타나고 있다. 5월의 경우에는 SS, TN, TP 모두 관측 기반 SWAT 결과와 예측기반 SWAT 결과가 2004~2008년 사이에서 엇갈리는 결과를 보이고 있다. 또한 12월의 경우 예측기반 SWAT 결과가 관측기반 SWAT 결과에서 나타나고 있는 2005년의 SS, TN, TP의 급격한 변화를 모의하지 못하고 있다.

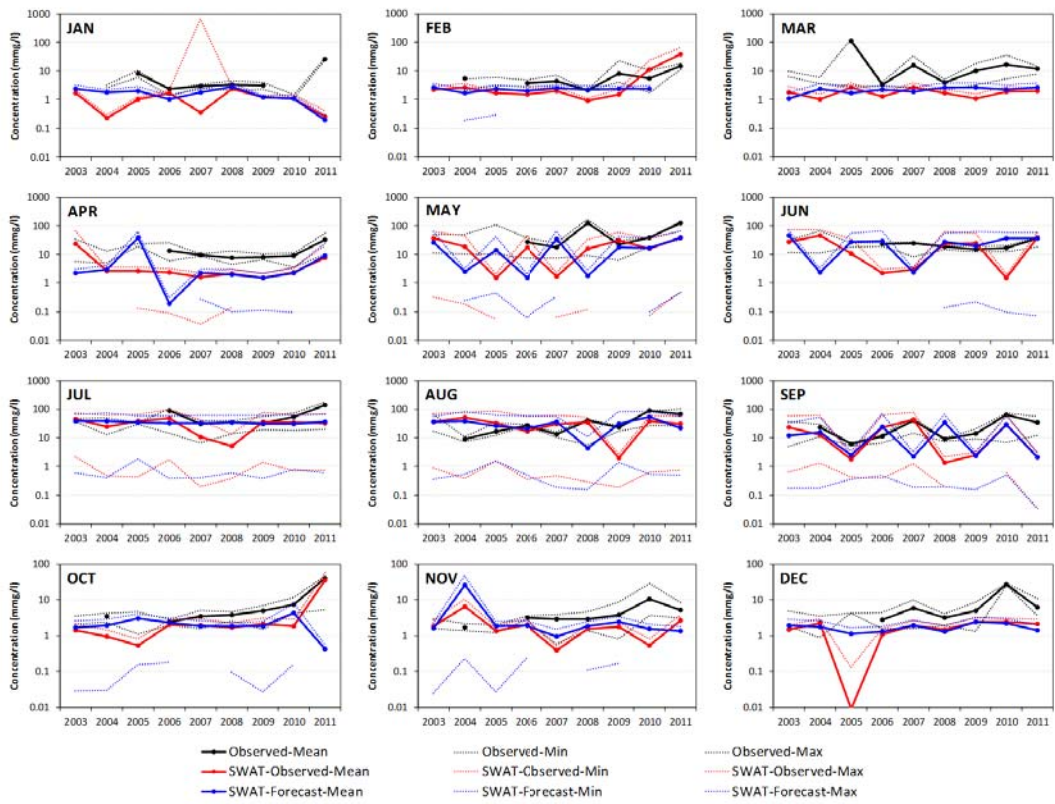


Figure 59. 장기 기후예측 자료를 이용한 모델링 기반 월별 SS 예측성 평가 결과(위천B)

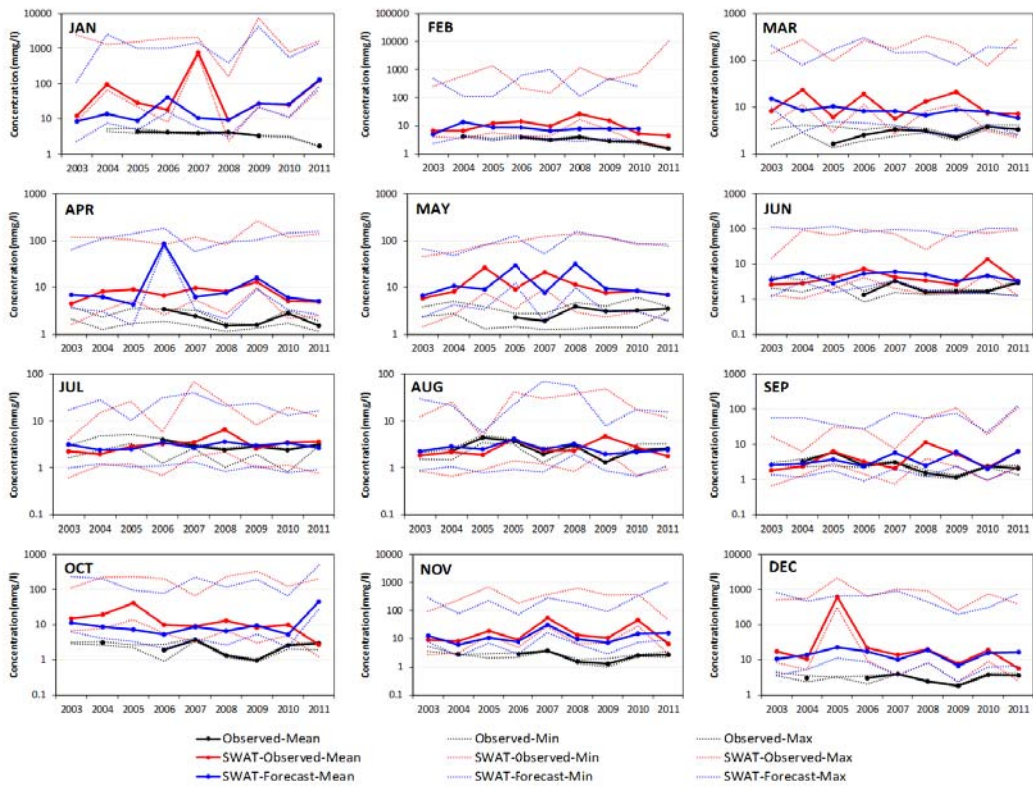


Figure 60. 장기 기후예측 자료를 이용한 모델링 기반 월별 TN 예측성 평가 결과(위천B)

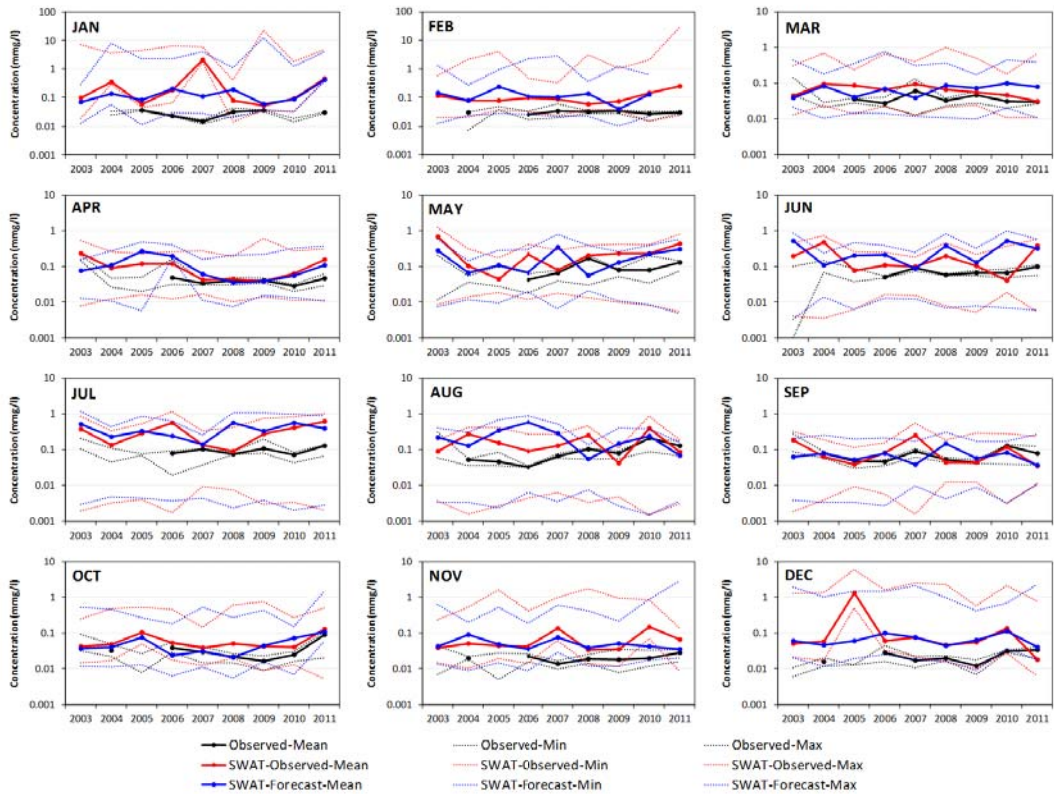


Figure 61. 장기 기후예측 자료를 이용한 모델링 기반 월별 TP 예측성 평가 결과(위천B)

중권역 규모에서의 SWAT 모형을 이용한 장기 수질예측성 평가의 경우 실제 관측 수질과 예측 및 관측 기후 자료를 입력으로 한 SWAT 모의 수질 결과 사이에, 수질의 로그(log) 스케일을 고려할 때, 상당한 차이가 있는 경우를 볼 수 있다. 수질예측의 불확실성은 기후예측 정보의 상세화 과정, 유역 수질 모델링 과정, 관측 자료의 수집 과정 등 다양한 경로에서 발생할 수 있다. 본 결과에서는 모델링 기반 결과(SWAT-Observed 및 SWAT-Forecast)가 서로 비슷한 스케일에서 변동하는 것을 고려할 때, 유역 모델링 과정 또는 관측 자료 수집 과정에서 기인할 수 있을 것으로 사료된다. 이 경우 모델링의

초기화, 과거 기간에 대한 점원오염 및 유역환경 변화의 실질적인 반영, 제한된 수질 샘플을 이용한 월평균 수질 계산 등과 관련된 추가적인 보완이 필요할 수 있다²⁴⁾. 특히 TN, TP의 경우 모델링 기반 결과에서 실제 관측 수질과 비교하여 높게 나타나고 있는 점을 고려할 때 과거기간에 대한 점오염부하량의 검토가 필요할 것이라 판단된다. 또한 동일한 유역에서 국립환경과학원에서 수질예보에 활용하고 있는 HSPF모형의 결과와의 비교를 통한 모델링 과정에서 발생하는 불확실성을 평가하는 것도 필요하리라 판단된다.

4.3.4 장기 예측 자료의 낙동강 본류 수질예측성 평가

낙동강 본류에서의 수질예측성 평가를 위해서는 SWAT 및 HEC-RAS의 연계 모델링 시스템의 보정 및 검정이 필요하다. 하지만 유역 특성을 고려한 연계시스템의 검·보정을 위해서 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 및 HEC-RAS 연계 시스템 대신에 국립환경과학원의 수질통합관리센터에서 단기 수질예보를 위해 구축된 HSPF-EFDC 모델링 시스템을 이용하여 예측성을 평가하였다.

EFDC 모델링을 통한 낙동강 유역의 10개 수질 관측지점(대암-1, 창녕, 합천, 용산, 남지(함안보), 임해진, 하남, 삼랑진, 물금, 금곡, 구포)에서의 수온, chlorophyll-a, TN, TP 항목에 대한 장기 수질예측성 평가 결과는 <Fig. 62>에 제시되어 있다. 장기 수질예보의 경우 현재 시점으로부터 향후 3개월의 수질을 예보하는 점을 고려할 때, 예측성 평가 또한 월별로 수행되어야 한다. 하지만 모델링 기간이 3년(2009년 1월~2011년 12월)으로 짧기 때문에 전체 36개월에 대한 결과를 비교하였다. 유의수준 0.05에서 유의미한 TCC 값의 하한치는 0.33(<Fig. 62>의 세로 점선)으로서 수온(Temperature)의 경우 CIR을 이용한 기후예측 자료를 입력으로 사용하여 모의된 값을 실제 관측 수질과 비교한 경우(Observed vs EFDC-Forecasted 칼럼)와 실제 관측 기후자료를 입력으로 하여 모의된 값과 비교한 경우(EFDC-Observed vs EFDC-Forecasted 칼럼) 모두 10개 모든

24) 본 연구에서는 예측시점인 2, 5, 8, 11월에 모형의 초기화를 수행하지 않고 연속된 예측 자료를 입력으로 수질을 모의하였고, 점원오염의 경우도 도시화가 크지 않다는 가정 하에서 2010년도의 값을 동일하게 적용하였으며, 월평균 관측 수질의 경우도 8일 간격의 수질 자료를 이용하여 유량가중평균을 산정하였음.

관측 지점에서 TCC 값이 0.9이상으로 0.05 유의수준에서 유의미한 TCC의 하한치인 0.33과 비교하여 0.9이상의 월등히 높은 값을 보였다. 반면 chlorophyll-a의 경우 실제 관측값과 비교할 경우 3개 관측지점(대암-1, 창녕, 합천)에서 0.33보다 낮은 TCC 값을 보인 반면 관측 기후 자료를 입력으로 사용한 모의 결과와 비교한 경우에는 모든 관측 지점에서 0.33이상의 TCC 값을 보여 주었다. TN의 경우에는 관측 수질과 비교할 경우 뿐만 아니라 관측기후 자료를 이용한 EFDC 모의값과 비교한 경우 모든 관측지점에서 유의미한 TCC의 하한치인 0.33보다 높은 값을 보였다. TP의 경우에는 관측 수질과 비교하는 경우 오직 2개 관측지점(대암-1, 하남)을 제외한 모든 지점에서 0.33보다 낮은 TCC 값을 보였으나, 관측기반 EFDC 모의값과 비교하는 경우 모든 관측지점에서 0.8 이상으로 유의미한 TCC 하한치(0.33)과 비교하여 월등히 높은 값을 보여 주었다. 즉 TP의 경우는 EFDC 모델링 시스템의 예측성 향상을 통해서 CIR 기반의 장기 기후예측 정보를 활용한 전체적인 장기 수질의 예측성을 향상 시킬 수 있으리라 판단된다.

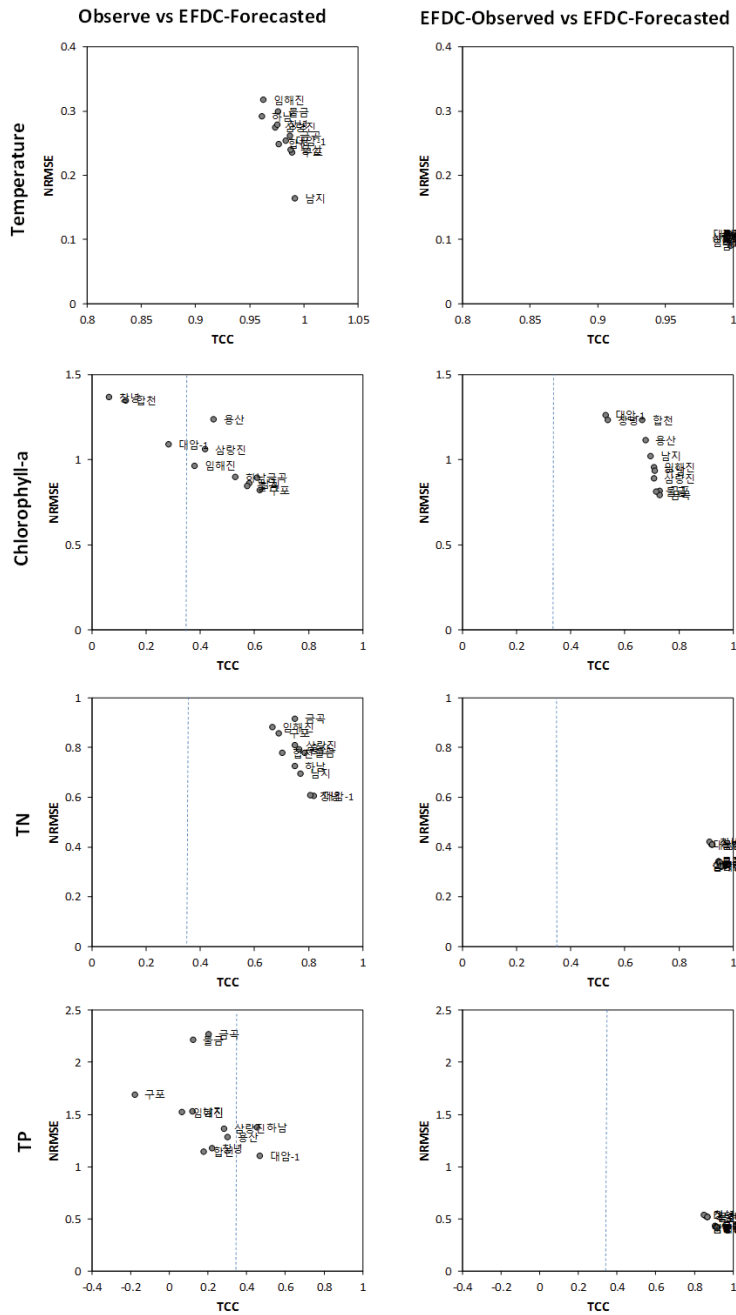


Figure 62. 낙동강 유역 10개 관측지점에 대한 EFDC 장기 수질예측성 평가 결과(2009-2011)

〈Fig. 63〉은 〈Fig. 62〉에서 수온, chlorophyll-a, TN, TP의 4개 수질 항목에 대하여 관측 수질과 비교하여 유의수준 0.05에서 유의미한 TCC 값의 하한치인 0.33보다 높은 값을 보인 하남지점에서의 수질 항목별 시계열(왼쪽) 및 산포도(오른쪽) 결과를 보여 준다. 수온의 경우 시간적 변화를 잘 모의하고 있으며 결정계수(R^2) 또한 0.92로 높은 값을 보이고 있다. 하지만, 수온의 경우 계절적 주기성이 강하기 때문에 향후 보다 긴 기간을 대상으로 하여 월평균 수온을 중심으로 수온의 경년 변동성을 월별로 어떻게 모의하는지 평가하는 것이 필요하다. TN의 경우에도 기후예측 자료를 이용한 EFDC 모의 결과(EFDC-Forecasted) 및 관측 기상 자료를 이용한 EFDC 모의 결과(EFDC-Observed) 모두 실제 관측(Observed)의 시간적 변동성을 잘 모의하고 있는데 이는 TN의 경우 기후 이외의 요소들에 의해서 더 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. chlorophyll-a 및 TP의 경우는 수온 및 TN과 비교하여 시간적 변동성을 모의하는데 보다 많은 어려움이 있음을 보여 주고 있다. chlorophyll-a 및 TP의 경우 관측 수질(Observed)과 비교하여 각각 0.28 및 0.20의 R^2 를 보여 수온 및 TN과 비교하여 낮은 예측성을 보였다.

창녕, 합천 관측지점의 경우 chlorophyll-a 및 TP의 수질 항목에서 관측수질과 비교할 경우 0.05 유의수준에서 유의미한 TCC의 하한치인 0.33보다 작은 값을 보여 낮은 예측성을 보여 주었다. 〈Fig. 64〉는 이 중에서 예측성이 가장 낮게 나타난 합천 관측지점에서 관측 기후 자료를 입력으로 활용한 EFDC 모의 결과(EFDC-Observed)와 예측 자료를 입력으로 활용한 결과(EFDC-Forecasted)를 비교한 시계열 및 산포도 결과를 보여 준다. Chlorophyll-a의 경우 2011년 3~5월의 경우 높게 나타난 관측 농도를 예측하지 못한 것을 제외하고 0.44의 R^2 값을 보여 주었고, TP의 경우에도 0.75의 높은 R^2 값을 보여 주었다. TN과 마찬가지로 TP의 경우에도 기상 이외의 자료에 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

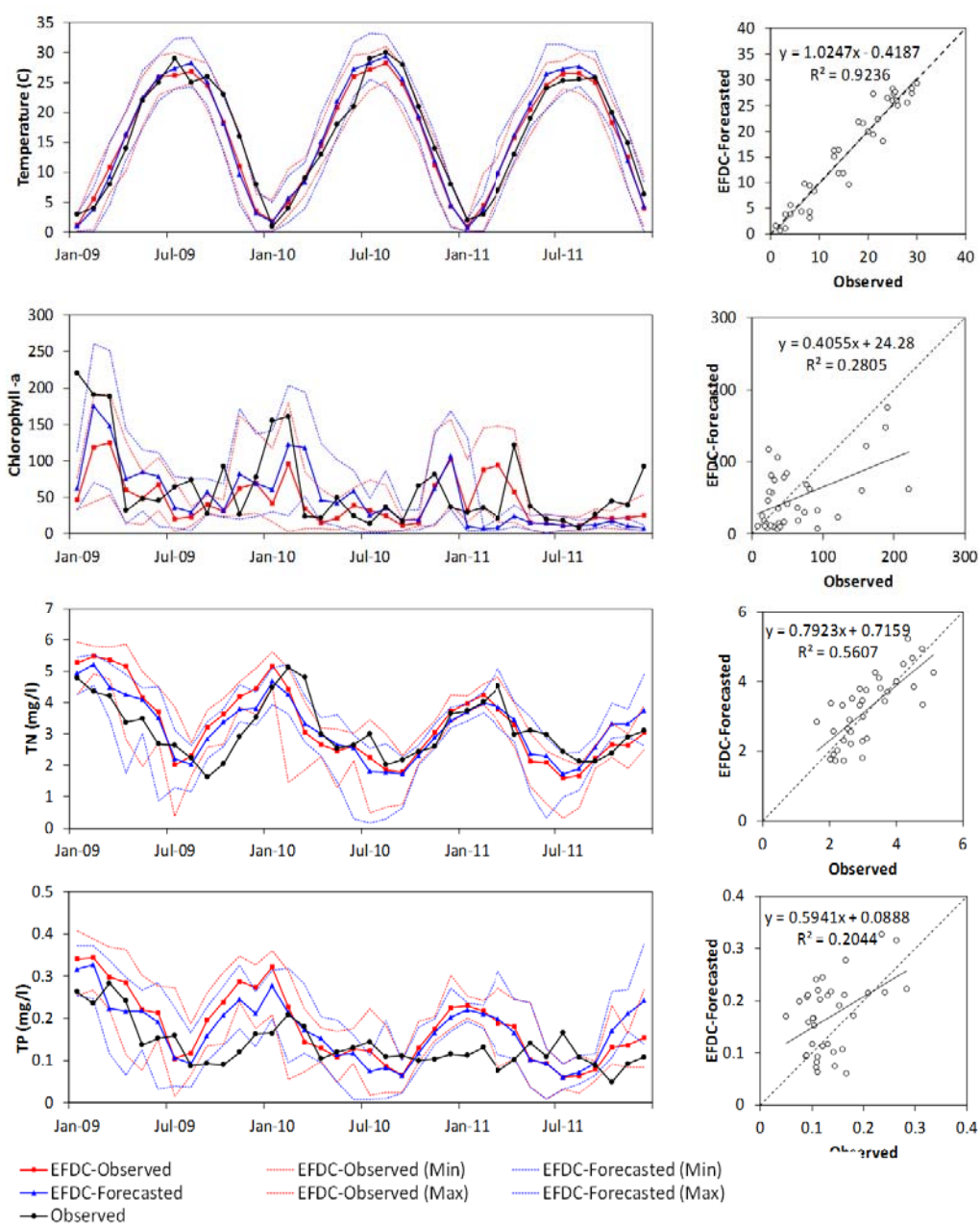


Figure 63. 장기 예측 기후자료를 이용한 EFDC 수질 모델링 예측성 평가 결과 (2009 ~ 2011, 하남)

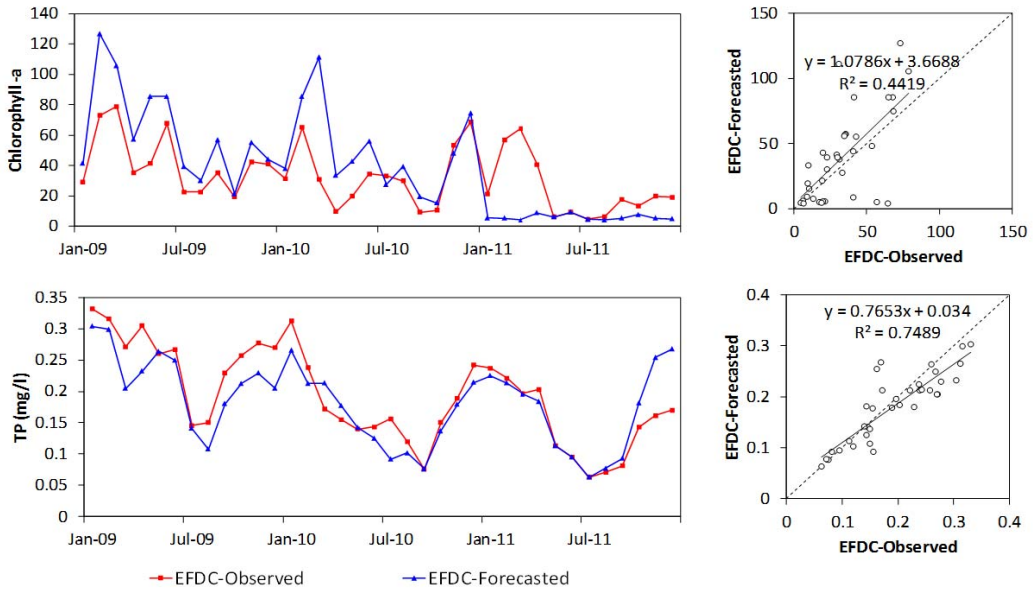


Figure 64. 관측 및 예측 기후 자료를 이용한 EFDC 수질 모의 결과 비교(2009 ~ 2011, 합천, Chlorophyll-a, TP)

국립환경과학원의 장기 수질예보 시범운영의 결과와 본 연구의 결과를 비교하기 위해서는 동일한 조건 및 기준을 이용하여 비교하는 것이 마땅하나 본 연구에서는 과학원의 수질예보에 사용하는 HSPF-EFDC 모형을 동일하게 사용한 것을 제외하고는 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 2장의 국내의 장기 수질 예보 사례조사에서 언급되었던 시범예보의 도출 문제점을 중심으로 향상된 점을 살펴보았다. 우선 4대강 사업 이후 <Table 1>에 제시된 “수질의 평년값 산정의 어려움” 및 “통계모형 적용 곤란”과 관련해서는 본 연구에서도 변함이 없다. 즉 4대강 본류 구간을 대상으로 하는 경우에는 통계적 방법을 사용하는데 제한적이므로 4대강 사업에 의하여 직접적인 영향을 받지 않는 기후 예측 정보를 4대강 이후의 유역 및 본류 구간의 수문수리적인 변화를 고려할 수 있는 모델링의 입력으로 이용하여 예측된 수질 결과를 사용하는 점에서는 동일하다. 따라서

모델링 기반의 수질예측에만 국한하여 살펴보면 장기 기후예보의 “낮은 공간적 해상도” 문제는 본 연구에서 개발된 사공간적 상세화 기법의 적용을 통하여 해결될 수 있으리라 판단된다. 본 연구에서 예측 자료 기반의간접적인 상세화 방법(MWR) 및 관측 자료 기반의 상세화 방법(CIR)을 이용하여 시도된 장기 기후 예측성 향상을 평가하기 위해서는 현재 사용하고 있는 방법과 동일한 조건에서의 비교를 통한 사용자 중심의 예측성 평가가 필요하다.

4.4 통합 수질예측 기법 개발

본 연구에서는 장기 수질예측을 위해 다양한 기후예측모형(GCM)의 예측 자료를 포함한 기후 정보를 활용하여, 3가지의 상세화 방법을 고려하였으며 수질예측에 있어서도 모델링 기반 및 통계적 기반의 방법을 적용하였다. 따라서 다양한 기후정보, 상세화 방법, 수질예측 방법을 고려하여 최종적으로 의사결정을 위한 수질 확률예보를 위해서 <Fig. 65>와 같이 통합 기법을 제시하였다. 각 절차별 설명은 다음과 같으며 본문의 원문자(①~⑨)는 <Fig. 65>의 붉은색의 단계별 원문자(①~⑨)를 의미한다.

- ① **SBC 방법의 개별 모형 앙상블 생성:** 본 연구에서 사용된 상세화 방법들 중에서 SBC 방법만이 개별 예측모형별 앙상블 멤버들(Ensembles, ESMs)을 사용하였다. 우선 개별 모형별 앙상블 멤버들은 과거 관측 자료를 이용하여 월별로 편이보정(Bias Correction, BC)을 통해 1차 보정이 된다. 개별 모형의 앙상블 멤버들을 이용한 개별 모형별 앙상블(Single Model Ensemble, SME)의 계산은 앙상블 멤버들의 단순평균(Simple Composite, SC) 방법을 사용한다. 일반적으로 개별 모형별 앙상블 멤버들로부터 단순평균 방법을 이용하여 모형별 SME를 계산하는 경우 해당 변량의 변동성(variation)이 줄어들 수 있다. 이 경우 줄어든 변동성을 관측 자료의 변동성과 같게 보정해 주기 위해서 Inflation (IF) 방법이 사용될 수 있다.
- ② **예측성이 낮은 SME 제거:** 개별 예측모형별 SME를 이용하여 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)을 계산하기 전에 예측성이 낮은 모형의 경우 MME 계산에서 필터링(filtering)을 통해 제외시킨다. 예측성을 평가하는 기준으로는

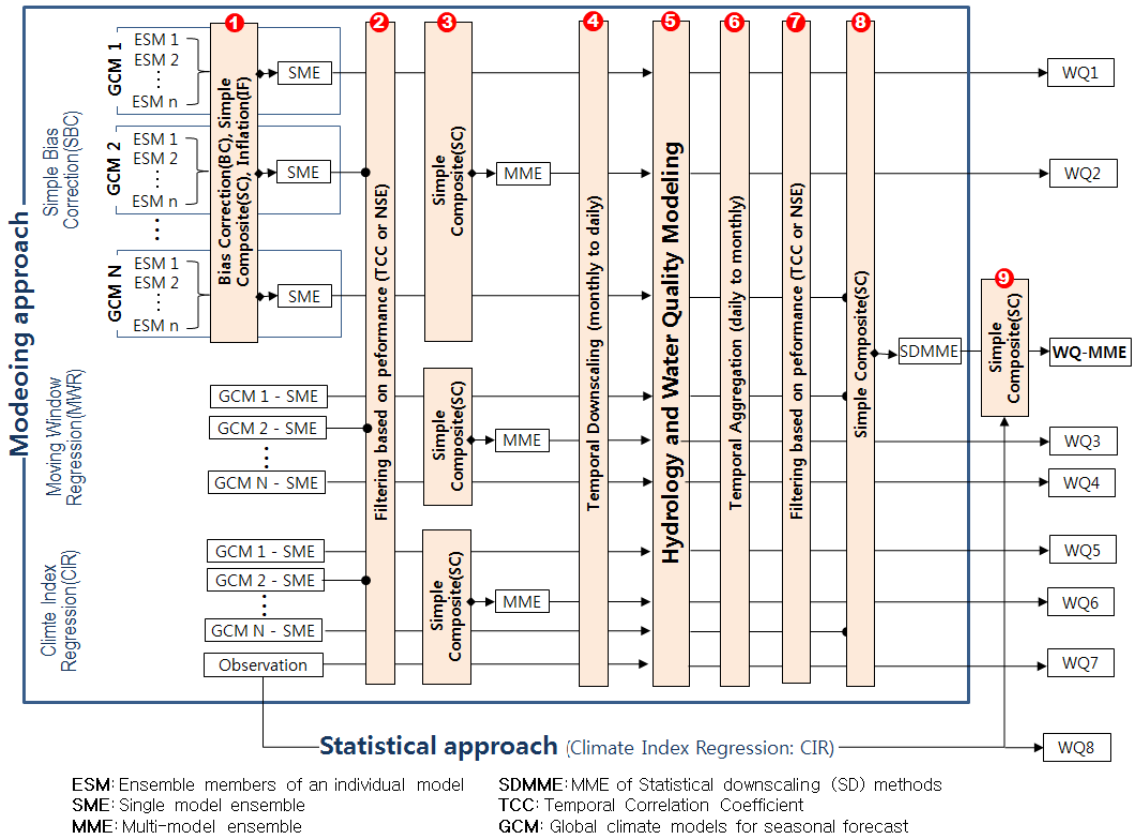


Figure 65. 장기 수질 확률예보를 위한 통합 기법 모식도

Temporal Correlation Coefficient (TCC) 또는 Nash-Sutcliffe Efficiency index (NSE)를 사용할 수 있다. Inflation 과정을 거치지 않아 개별 예측모형의 SME와 관측 자료와의 변동성(validation)에 차이가 있는 경우에는 예측 자료와 관측 자료와의 상관성을 보여 주는 TCC 값을 사용하여 TCC 값이 0보다 작은 개별 모형의 경우에는 MME 계산에서 제외시킨다. 반면 Inflation을 거친 경우에는 예측 값과 관측값 사이의 상관성에 더하여 오차(Error)를 고려할 수 있는 NSE를 사용하여 NSE 값이 0보다 작은 경우에는 MME 계산에서 제외시킬 수 있다.

- ③ **상세화 방법별 Multi-Model Ensemble (MME) 계산:** SBC, MWR, CIR 상세화 방법별 MME 계산을 수행한다. MME 계산을 위해서는 앞에서 ②번 필터링 과정에서 사용되었던 TCC나 NSE의 값을 이용하여 모형별 가중치를 고려하는 방법과 가중치를 고려하지 않는 단순평균(Simple Composite) 방법 중 선택하여 사용할 수 있다.
- ④ **시간적 상세화:** 앞의 단계들은 월별 자료를 기반으로 수행된다. 하지만 다음 단계의 수문/수질 모형이 일 단위 기상자료를 입력으로 요구하는 경우에는 월 단위 예측 자료를 기반으로 일 단위 자료를 생성하는 과정이 필요하다. 따라서 4.1.4의 일 자료 생성을 위한 시간적 상세화 부분에서 설명한 방법을 이용하여 필터링을 통과한 예측성이 높은 개별 모형별 앙상블(SME) 뿐만 아니라 상세화 방법별 다중 모형앙상블(MME)에 대하여 일 자료를 생성한다.
- ⑤ **수문/수질 모델링:** 수문/수질 모델링의 경우 현재 시점으로부터 예측된 다음 달의 수량 및 수질의 결과가 현재 시점의 상황에 의해서 영향을 받을 수 있다. 따라서 모형별 특성 및 초기화를 위해 필요한 자료의 가용 여부를 고려하여 초기조건을 세팅한 후 모델링하는 것이 중요하다. 가능한 방법 중 하나는 예측시점 이전 기간에 대해서는 관측 자료를 사용하여 일정 기간을 모의하여 모델링 시작 시점에 실제 상황을 잘 반영할 수 있도록 한 후에 예측시점으로부터 예측 대상 기간 동안에는 예측 자료를 사용하여 모델링하는 방법이 있을 수 있다.
- ⑥ **수질예측 자료의 시간적 통합(aggagation):** 일 단위 기상예측 자료를 입력으로 사용하는 수문/수질 모델링 결과는 일 단위로 제공이 된다. 과거 기간에 대하여 관측 자료를 사용하는 경우와, 7일 이내의 단기 일기예보를 사용하여 수질을 예측하는 경우에는 일별 수질 결과가 의미를 갖는다. 하지만 월 단위 예측 자료를 기반으로 상세화 된 일 단위 예측 자료는 모형 구동을 위한 목적으로 관측 자료로부터 추출하여 만들어졌기 때문에, 일별 강우 사상의 유무 및 강수량 자체는 의미를 갖지 않으며 다만 월 단위 예측값만이 의미를 갖는다. 결과적으로 예측된 수질

의 경우에도 일별 관측값과 비교를 하는 것은 의미가 없으며 월평균 예측 수질을 월평균 관측 수질과 비교하는 것이 타당하다. 일별 수질로부터 월평균 수질을 계산하기 위해서는 일별 수질 농도를 단순 평균하는 방법이 가장 간단한 방법이다. 하지만, 모델링 결과로서 생성되는 유량에 농도를 곱하여 총오염부하량을 계산한 후 이를 총 유량으로 나누어 월평균 농도를 계산하는 유량가중평균 방법이 더욱 합당하리라 판단된다. 다만, 관측의 경우에는 일반 수질측점의 경우 대략 1개월 간격의 수질 자료가, 총량측점의 경우는 8일간격의 수질 자료가 존재하므로 유량가중평균 방법으로 유량을 고려하여 월평균 수질을 계산하더라도 시료를 채취한 시점의 유량 현황에 영향을 많이 받을 수 있다. 따라서 유량가중 월평균 수질에 더하여, 일별 수질예측 결과로부터 해당 월의 최소 및 최대 수질 값의 범위를 함께 활용하는 것이 필요하다.

- ⑦ **예측성이 낮은 수질예측 결과 제거:** ②번에서 예측성이 낮은 장기 기후예측 결과는 제거하였지만, 예측성이 좋은 기후자료를 사용하였다고 항상 수질의 예측성이 좋게 나타나는 것은 아니다. 따라서 수질예측성을 평가하여 예측성이 낮은 결과는 다음 단계의 모든 상세화 방법을 고려한 앙상블(Statistical Downscaling Multi-Model Ensemble, SDMME) 계산에서 필터링(filtering)을 통해 제외시키는 것이 필요하다. 예측성을 평가하는 기준으로는 ②번에서와 마찬가지로 TCC 또는 NSE를 사용할 수 있다.
- ⑧ **모델링 기반 수질예측 다중모형 앙상블(SDMME) 계산:** ①~⑧은 장기 기후예측 자료를 수문/수질 모델링의 입력으로 활용하여 생성된 수질 결과를 최종적으로 활용하는 모델링 기반의 접근 방식이다. ⑧번 항목에서는 SBC, MWR, CIR 등 서로 다른 상세화 방법을 통하여 생성된 모든 수질예측 결과 중에서 ②번의 기후예측성 및 ⑦번의 수질예측성 평가를 거쳐 예측성이 확보되는 결과를 이용하여 앙상블(Statistical Downscaling Multi-Model Ensemble, SDMME)을 계산한다. 앙상블 생성 방법으로는 ⑦번에서 필터링을 위해 계산된 TCC나 NSE의 값을 이용하여 모형별 가중치를 고려하는 방법과 가중치를 고려하지 않는 단순평균(Simple

Composite) 방법 중 선택하여 사용할 수 있다.

- ⑨ **최종 수질 앙상블 계산**: 장기 수질예측의 경우 앞에서 언급한 모델링 기반의 예측에 더하여 원격상관을 이용한 기후인자 기반의 수질예측이 가능하다. 따라서 ⑨번 항목에서는 앞에서 계산된 모델링 기반의 SDMME에 원격상관 기반의 통계적 방법의 수질예측을 함께 고려하여 최종적인 수질예측평균(Water Quality Multi-Model Ensemble, WQMME)을 계산한다. 최종적으로 대표 수질예측값인 WQMME에 더하여 최종적으로 예측성 평가를 거쳐 인정을 받은 수질예측 결과들(WQ1~ WQ8)을 이용하여 장기 수질의 확률예보를 수행하도록 한다.

4.5 기후 정보의 사용자 수요조사

전체 설문에 응한 29명 중에서 장기 예측 정보의 업무와의 연관성(향후 활용 가능성 포함)의 경우 70%가 매우 높음(35%) 또는 높음(35%)을 선택하여 장기 예측 정보의 활용 가능성이 높은 것으로 조사되었다. 단기/중기 예측 정보의 경우에는 유경험 응답자의 80%가 긍정적(매우 높음 또는 높음)으로 응답한 반면, 기후변화시나리오 자료의 경우는 62%가 긍정적으로 응답하였다. 따라서 기후정보의 향후 활용 가능성과 관련하여서는 현재 시점으로부터 예측 대상 시점이 멀어질수록 활용 가능성이 감소하는 경향을 보여 주었다.

장기 예측 정보의 실제 업무에 있어서의 전체적인 활용성에 대한 질문에 활용 경험이 있는 응답자의 경우 50%가 매우 높다(7%) 또는 높다(43%)라고 긍정적으로 응답하였다. 또한 활용 경험이 없는 응답자의 경우에도 55%가 매우 높다(18%) 또는 높다(37%)로 활용성을 높게 평가하여 전반적으로 높게 조사되었다. 하지만, 이는 단기/중기 예측 자료 및 기후변화 시나리오 자료의 유경험 응답자 중 각각 긍정적으로 응답한 82% 및 80%와 비교하여 현저히 낮은 수치이다.

〈Fig. 66〉은 앞에서 언급된 예측 자료의 향후 활용 가능성과 현재 시점에서의 실제 활용성에 대한 설문조사 결과를 보여 준다. 단기/중기 예측 자료의 경우는 향후 활용 가

능성(80%)과 현재 활용도(82%)가 서로 비슷한 범위를 보인 반면에, 장기 예측 자료의 경우는 현재의 활용되고 있는 정도(50%)가 활용 가능성(70%)과 비교하여 현저하게 낮게 나타났으며, 기후변화 시나리오 자료의 경우에는 반대로 활용 가능성(62%)이 현재 활용되고 있는 정도(80%)와 비교하여 현저하게 낮게 나타났다. 이는 장기 예측 자료의 경우 수요는 많으나 예측 자료의 다양한 제한 요인으로 실제 업무에 활용되는 정도는 낮은 것으로 사료되며, 기후변화 시나리오의 경우에는 사회적인 관심에 의하여 필요 이상으로 활용되고 있는 것으로 생각할 수 있다.

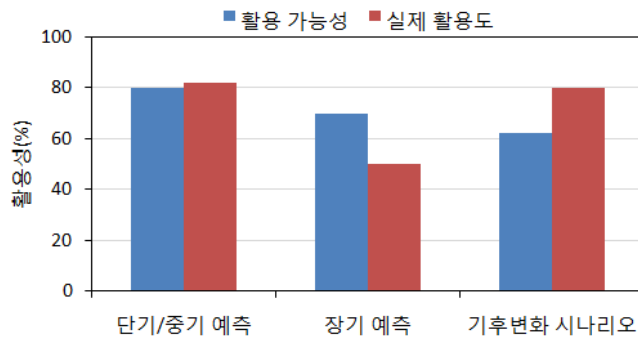


Figure 66. 예측 정보의 종류별 활용 가능성 및 현재 활용도 조사 결과

장기 예측 정보의 시간간격(time-scale)에 대해서는 사용해 본 경험이 있는 응답자의 81%가 월 간격(50%) 또는 계절자료(31%)를 선택하였고, 사용경험이 없는 응답자의 경우에는 54%가 월 간격 자료(36%) 및 계절자료(18%)를 선택한 반면 1일 간격 자료에 대한 수요 또한 37%로 높은 비중을 보였다. 이는 시간간격 만족도에서 불만족(28%)을 선택한 유경험 응답자의 90%가 1개월 간격보다 짧은 시간간격의 자료(7일 간격: 25%, 10일 간격: 75%)를 원하는 결과와 일관된 것이다. 또한 단기/중기 예측 자료의 경우 유경험 응답자의 60%가 1일 간격 이하 자료를 사용해 본 경험이 있으며, 기후변화 시나리오 자료의 경우에도 50%가 1일간격의 자료를 사용해 본 경험이 있는 것으로 조사 되었다. 따라

서 향후 장기 예측 자료를 제공하는데 있어서 월 단위 간격보다 작은 시간간격으로 제공하기 위한 시간적 상세화가 필요할 것으로 판단된다.

예측 정보의 선행예측기간(lead-time)과 관련하여서는 사용 경험이 있는 응답자의 89%가 6개월 이내(3개월 이하: 72%, 4-6개월: 17%)를 선택하였고, 사용 경험이 없는 응답자의 경우에도 가장 적합한 선행예측기간으로 91%가 6개월 미만 선행예측기간을 선택하였다. 선행예측기간에 대한 만족도에 대해서는 79%가 매우 만족(7%) 또는 만족(72%)을 선택하여 전체적으로 만족하고 있는 것으로 조사되었다.

장기 예측 정보의 기상변수에 대한 질문에는 사용 경험이 있는 응답자의 44%와 41%가 강수 및 온도 관련 변수들을 각각 선택하였고, 사용 경험이 없는 응답자의 경우에도 필요한 변수로서 강수(27%) 및 온도 관련 변수(36%)를 선택하여 전체적으로 강수와 온도 변수에 대한 수요가 가장 높게 나타났다. 이는 단기/중기 예측 정보의 경우 유경험 응답자의 69%가 강수(31%) 및 온도 관련 변수(38%)를 주로 사용하고 있고, 기후변화 시나리오 자료의 경우에도 64%가 강수(19%) 및 온도 관련 변수(45%)를 주로 사용하고 있는 것으로 조사되어 이와 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 추가적인 변수로는 일사량, 풍속, 상대습도에 대한 수요 또한 존재하는 것으로 조사되었다. 변수에 대한 만족도에 대해서는 장기 예측 자료 유경험 응답자의 43%가 긍정적인 반응을 보였는데, 단기/중기 예측 자료 및 기후변화 시나리오 자료의 경우에는 유경험 응답자의 68% 및 60%가 각각 긍정적인 반응을 보인 것과 비교하여 다소 낮은 것으로 조사되었다.

장기 예측 정보의 전달 방법과 관련하여서는 사용 경험이 있는 응답자 및 경험이 없는 응답자의 58% 및 59%가 웹페이지를 선택하여 가장 높은 선호도를 보였다. 무경험자의 33%는 가장 적합한 방법으로 모바일APP을 선택해 모바일을 통한 서비스의 필요성이 있을 것으로 조사 되었다. 이는 단기/중기 예측 정보의 유경험 응답자의 59%가 e-mail(13%) 또는 웹페이지(46%)를 통하여 자료를 제공받고 있는 것과 비슷한 수치이다. 정보 접근성과 관련해서는 장기 예측 자료의 유경험 사용자의 79%가 긍정적(매우 만족: 7%, 만족: 72%)을 선택해 일반적으로 만족하고 있는 것으로 조사되었으며, 단기/중기 예

측 자료의 유경험 응답자 72%가 긍정적(매우 만족/만족)을 선택한 결과와 비슷한 만족도를 보였다.

(Fig. 67)은 예측 자료의 종류에 따른 예측 신뢰도에 대한 조사 결과를 보여 준다. 장기 예측 정보의 신뢰도와 관련하여서는 사용 경험이 있는 응답자의 경우 매우 높다/높다 등 긍정적인 응답은 없었으며, 모두 중립적(보통: 50%)이거나 부정적(낮다: 36%, 매우 낮다: 14%)인 반응을 보였다. 이는 기후변화 시나리오 자료의 유경험 응답자의 중립적(80%) 및 부정적(20%) 반응과 비슷한 경향을 보이고 있는 반면에, 단기/중기 예측 정보의 신뢰도에 대하여 유경험 응답자의 45% 및 41%가 각각 중립적 및 긍정적으로 응답한 것과 비교하여 상이한 결과를 보여 주었다. 이는 낮은 신뢰도가 장기 예측 자료의 수자원 분야 활용에 있어서 중요한 제한 요인으로 작용하고 있는 것으로서 향후 신뢰도 향상을 위한 노력이 절실함을 말해 준다. 장기 예측 자료의 신뢰도에 부정적으로 응답한 응답자의 경우 요구되는 결정계수의 경우 최솟값으로 86%가 0.36 이상(0.36 이상: 14%, 0.49 이상: 29%, 0.64 이상: 29%, 0.81 이상: 14%)을 선택하였다. 또한 신뢰도 향상을 위한 다중모형앙상블의 필요성에 대해서는 유경험 및 무경험 응답자의 66% 및 82%가 각각 긍정적(매우필요/필요)인 반응을 보여 다중모형앙상블에 대한 수요가 많은 것으로 조사되었다. 이는 단기/중기 예측 자료의 유경험 응답자의 67%가 긍정적으로 반응한 것과 비슷한 결과이다.

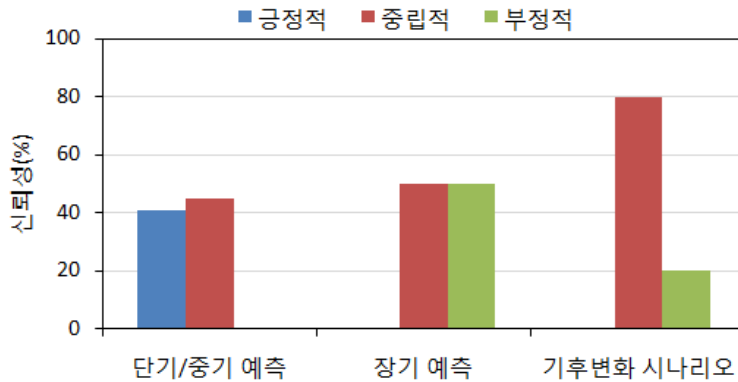


Figure 67. 예측 정보의 종류별 예측 자료의 신뢰도 조사 결과

장기 예측 자료의 유경험 응답자를 대상으로 한 사용자 편의성과 관련된 질문에는 15%가 긍정적(높다)으로 응답한 반면에 46%가 부정적(낮다: 31%, 매우 낮다: 15%)라고 응답하였다. 이는 단기/중기 예측 정보의 유경험 사용자의 14%만이 긍정적으로 응답한 반면 32%가 부정적인 반응을 보인 것과 비슷한 결과이다. 기후변화 시나리오 자료의 경우에는 유경험 응답자의 20%가 동일하게 긍정적 또는 부정적으로 응답하였다. 즉, 아직까지는 단기/중기 및 장기 예측 자료를 수자원분야에 바로 사용하기에는 어려운 점이 있는 것으로 조사되었다. 장기 예측 자료의 사용자 편의성에 대해 부정적으로 응답한 응답자의 경우 구체적인 이유로 “예측 자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서”라고 응답한 경우가 50%로 가장 많았고, “예측 자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서”와 “예측 자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워”라고 응답한 경우가 동일하게 20%로 조사되었다. 이는 단기/중기 예측 자료에 대하여 56%가 예측 자료의 공간규모를 33%의 경우는 예측 자료의 포맷을 편의성이 낮은 이유로 선정한 조사 결과와 유사한 결과다(Fig. 68). 따라서 향후 예측 자료의 공간적/시간적 상세화가 필요한 것으로 조사되었다.

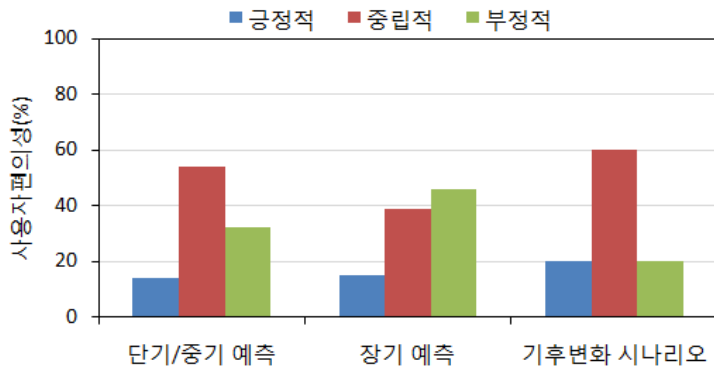


Figure 68. 예측 정보의 종류별 예측 자료의 사용자 편의성 조사 결과

장기 예측 정보의 의사결정지원성과 관련해서는 유경험 응답자의 57%가 보통을 선택해 가장 많은 부분을 차지했는데, 이는 단기/중기 예측 자료의 유경험 응답자의 54%가 보통을 선택한 것과 비슷한 결과이다. 의사결정을 위한 확률예측 정보의 필요성에 대해서는 장기 예측 자료의 유경험 및 무경험 응답자의 50% 및 73%가 각각 긍정적(매우 그렇다/그렇다)라고 응답하여 예측 정보의 제공 시 확률적으로 제공하는 것이 필요한 것으로 조사 되었으며, 이는 단기/중기 예측 자료의 경우 60%가 긍정적으로 응답한 것과 비슷한 결과이다. 의사결정지원성과 관련해서 사용자의 긍정적인 반응을 유도하기 위한 확률예측 정보 제공 등을 위한 노력이 필요하리라 판단된다.

APCC의 예측 자료를 포함하여 장기 예측 정보를 활용해 본 경험이 있는 경우는 58%로 과반수 이상 이지만 단기 예측 정보의 81%와 비교해서는 낮은 수치를 보여 주었다. 현재 장기 예측 정보를 사용하지 않고 있는 이유에 대해서는 “예측 정보가 존재하는지 몰라서” 라고 응답한 경우가 36%로 가장 많았고, “바로 사용이 불가능하거나 추가적인 가공 절차가 어려워서: 사용자편의성” 라고 대답한 경우가 29%, “의사결정 또는 정책 결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서: 의사결정지원성” 이라고 대답한 경우가 21%를 차지했다. 반면 “예측 정보에 접근할 수 없어서: 접근성” 및 “예측 정보의 신뢰도가 낮아서: 신뢰성” 은 각각 7%씩으로 비교적 낮게 조사되었다. 이는 장기 예측 정보의 활용도

를 높이기 위해서는 자료에 대한 홍보와 사용자들이 쉽게 사용할 수 있도록 자료의 가공(상세화)이 필요하며, 의사결정에 활용할 수 있도록 자료를 제공해 주는 것이 중요함을 의미한다.

〈Table 13〉은 장기 예측 정보의 수자원 관련 분야에서의 활용 가능 분야를 보여주고 있다.

Table 13. 장기 예측 정보의 수자원 관련 활용 가능 분야

분야	활용가능 분야
수량 분야	<p>수자원공사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측 정보는 저수지 운영(이수분야)에 필요한 정보임, 장래 기상전망과 단기기상전망을 참고하여 저수지의 운영수위를 결정 · 일반적으로 예년과 비교하는 기상추이 정도에 활용가능(내부 보고용),실무에서는 장기 예측 정보 활용은 저조함 · 다목적댐 운영을 위해서는 장기간의 기상정보를 통해 강수량 변화를 사전에 분석하여 가뭄 등에 대비한 댐 방류량 조정에 활용 · 장기 저수지 운영 계획 수립을 위한 입력 자료 활용(이수 관리)
	<p>농어촌공사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측 정보를 활용 물수지(수문)분석 자료로 활용 · 한국농어촌 공사에서 관리중인 저수지의 용수공급량을 장기 예측과 분석하여 최대공급가능 일수 산정 및 공급 가능량을 산정하여 그 해 수자원관리계획 수립에 활용함 · 저수지 유입량 예측에 활용 · 농업용 저수지 저수관리
	<p>한국수력원자력</p> <ul style="list-style-type: none"> · 연간 댐운영에 사용가능
	<p>홍수통제소</p> <ul style="list-style-type: none"> · 월분가연간 용수공급 가능성, 유출상황 등 수자원 현황 및 전망의 기초자료로 활용 · 댐-보 연계운영 및 하천수 일시적 사용허가 등에 활용 · 하천유량 연계 운영계획 수립(년, 분기, 월 단위)
	<p>국토교통부</p> <ul style="list-style-type: none"> · 수자원 정책 수립업무 · 여름철 호우나 장마 등의 예측 자료로 홍수 등에 사전 대비 가능 · 하천공사 시행 시기 검토 · 기온, 강수량, 하천수위, 하천유량, 수온 등 기상, 수문조사 자료, 유역 내 강우량, 댐 유입 홍수량, 유출량 등 설계홍수량 결정, 배수로 설계

분야	활용가능 분야
수질 분야	<p>상수도사업본부</p> <ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측이 비교적 정확하다면 공공기관의 특성상 소요 · 약품비의 예산편성 등에 정확성을 기할 수 있고 상수원수의 수질 및 수량을 전망할 수 있어 정수처리에 사전 대응할 수 있음
	<p>광역지자체(부산시청)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 부산지역 소재 기업의 생산성 향상을 위한 맞춤형 기상정보제공 시스템 구축 시 활용 가능성 있음 · 앞으로 유역의 수질관리에 있어 장기기후예보가 있으면 사전 예방을 통한 수질 관리 효율성 향상 가능
	<p>국립환경과학원</p> <ul style="list-style-type: none"> · 3개월 lead time 의 장기 수질예측 업무에 활용 · 수자원 분야에서 이수 목적으로 정수 시설물 관리 방안 마련 등 · 높은 수온으로 인한 조류(algae) 생장이 우려되는 여름철 조류발생을 년 초에 미리 예측하는데 이용가능 함. 그러나 조류생장에 영향을 미치는 다른 요인들이 너무 많고 이들이 포함하는 불확실성 또한 크기 때문에 단기 예측 정보에 비해 활용도가 떨어짐
	<p>유역·지방 환경청</p> <ul style="list-style-type: none"> · 조류발생에 대비한 수질개선 대책 마련, 중권역 목표수질 달성 방안 참고 · 녹조변화 상황에 대한 예측 자료로 활용하여 상황별 대응
	<p>환경부</p> <ul style="list-style-type: none"> · 강수, 일사량, 기온 등을 장기 예측하여, 녹조 등 수질관리, 수생태 변화양상 등 사전 예측 · 대기오염도 예측 등

5 정책제언

5.1 장기 수질예보의 효용성 확산

장기 수질예보를 적용하여 효율적인 활용방안을 수립하기 위해서는 예보의 수요기관 선정 및 대상기관의 활용 가능한 분야를 고려한 구체적 수요를 파악하는 것이 중요하다. 하지만 장기 수질예보는 2012년 말에 시범운영 후 현재는 시행하고 있지 않으므로 수질 장기예보에 대한 일반적인 인지도는 일반인이나 수질 관리자를 포함하여 아직까지는 낮은 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서 국내 수질관리 관련 중앙정부, 공공기관, 지자체를 대상으로 시행한 장기 기후예측 정보에 대한 수요자 설문조사를 통해 도출된 활용가능 분야를 중심으로 살펴보고자 한다. 장기 기후예측 정보의 수질관리를 위한 활용 가능한 분야로는 1) 3개월 선행예측기간의 수질예측 업무(국립환경과학원), 2) 소요 약품비 예산편성 및 상수원수의 수질·수량 전망 등 정수처리 시설물 관리(국립환경과학원, 상수도사업본부), 3) 조류 발생에 대비한 수질개선 대책 마련(국립환경과학원, 유역·지방 환경청, 환경부) 등과 같이 대부분 사전 예방을 통한 수질관리 관련 내용이 활용 가능 방안으로 제시되었다. 이와 같이 장기 기후예측을 활용한 서비스는 수질관리 부문에 있어서 장기적인 사전예방 대책 마련에 기여할 것으로 판단되며, 이런 측면에서 장기 수질예보 활용방안을 제안하고자 한다. 즉, 장기예보 정보는 수질관리기관에서 사전에 적절한 대응방안 마련과 상호 협조방안 마련을 통해 합리적이고 효율적인 의사결정에 매우 중요하게 적용될 수 있다.

비점오염부하량 사전 관리: 2012년 5월에 발표된 제2차 비점오염원관리 종합대책 [‘12~’20]의 경우 대책 수립의 필요성으로 1) 4대강 사업이후 수질관리의 중요성 증대, 2) 기후변화에 따른 강우특성 변화로 비점오염물질 유출 증대, 3) 비점오염원 부하율 증가, 4) 점오염원 위주의 수질개선사업의 한계, 5) 난분해성 물질의 강우 유출수에 의한 공공수역으로의 유입 등을 언급하고 있다. 우리나라는 단위 국토면적당 오염부하율이 높아 장기 기후예측 정보를 활용한 비점오염원 유출을 최소화 할 수 있는 사전 대책 추진이 수질관리 차원에서 중요할 수 있다. 예를 들면, 1개월 후 본격적인 장마가 시작되는

경우, 사전에 하수관거 청소를 집중적으로 실시토록 할 것, 또는 1개월 후 강원도 지역에 집중 호우가 예상되며, 고랭지 지역은 여름 채소 수확 후 노지 상태로 있으니 지표 식물을 조속히 식재토록 할 것, 가을 추수 후 많은 비가 예상되니 비료살포를 조속히 마치거나 강우 이후로 하도록 하고, 축분 야적장에는 조속히 덮개를 씌워 강우에 직접 접촉되지 않도록 할 것, 또는 방목이 이루어지는 지역은 1개월 후 표면유출이 발생할 수 있는 강우가 예상되니 순환 방목 등 방목지 관리를 철저히 하여 토사 유출이 되지 않도록 할 것 등과 같이 주요 사항에 대해 수질관리와 연계한 예보를 시행한다. 또한 태풍이 예상되면 사전에 비가림시설, 우회수로 정비, 산지관리 등을 통해 비점오염원의 수체로의 유입을 최소화 할 수 있는 사전 예방적 대책의 추진이 가능하다.

수환경 관리시설 의사결정: 예상하기 어려운 이상 수질의 발생은 정수처리 뿐만 아니라 수생태에 피해를 가져와 사회전반에 미치는 영향이 매우 크게 나타나고 있다. 장기적인 강우량과 기온 변화는 공공수역의 수질과 밀접하게 관련된다. 즉, 강우량 감소와 기온 상승에 따라 하천 수량이 감소하고, 수온이 증가하면 각종 미생물의 반응이 달라지고 이는 하천 수질의 변화로 나타나게 된다. 하천 수질의 변화는 취수장과 하수처리장의 가동조건에 영향을 미치기 때문에 수질예보가 유용하게 활용이 될 수 있다. 특히 정수장의 경우 수 처리 공정에 상당한 영향을 미치면서 최근 리스크 관리에 대한 지자체들의 인식이 높아지고 있다. 날씨로 인한 불확실성을 해결하기 위한 여러 방안을 강구하는 지자체가 늘고 있는 것이다. 효율적인 수 환경관리를 위해 수질정보는 중요한 변수로 작용하고, 이를 어떻게 활용하느냐에 따라 수환경 관리시설의 이윤 극대화를 도모할 수도 있다. 단순히 과거의 경험을 바탕으로 의사결정을 내리는 것이 아니라, 물관리 활동에 미치는 수질의 영향을 정확히 파악하고 보다 효율적으로 물 관리활동을 수행할 수 있다. 예를 들어 수 처리시설이 위치한 지점의 실시간 수질정보는 물론, 단기예보, 장기예보정보 등을 물 관리시설의 경영 및 운영에 체계적으로 반영할 경우 효율적인 물관리가 가능할 것이다. 이처럼 물 관리시설의 경영자와 정책 입안자에게 장기 수질 정보의 효과적 이용은 수 처리시설의 효율적 관리 성패를 좌우하는 중요 변수가 될 수 있다.

수량-수질 통합관리: 최근 극한 홍수와 가뭄 등 기후 변화와 관련하여 수량관리에

대한 중요성이 부각되고 있는데, 이는 수량과 수질을 연계하여 대책을 수립함으로써 수질관리의 효율성을 제고할 수 있기 때문이다. 수요자 설문조사에서 장기 기후예측 정보는 댐-보의 연계운영에 활용될 수 있는 것으로 나타났다(홍수통제소). 실제로 2014년에는 『댐과 보 등의 연계운영규정』에 근거하여 “수질·녹조 대비 댐-보-저수지 운영기준(안)”이 발표되었다. 이는 수질악화 및 녹조 발생 등에 대비하여 댐·보 등의 연계운영 협의회를 통해 저수량을 활용한 비상방류 등을 실시할 수 있는 운영기준을 마련하여 4대강살리기사업으로 확보된 수자원을 효과적으로 활용하는 것을 목적으로 한다. 홍수통제소장은 저수량, 용수공급능력, 장기 기후예측 등을 포함한 비상방류 계획을 작성하여 실시토록 하고 있다. 또한 시설별 운영 원칙으로는 불확실한 강우상황에 따른 회복기간을 고려하여 저수량 활용 시 가뭄·갈수 및 홍수로 인한 피해가 없도록 유의하도록 되어 있어 장기 기후예측 정보의 적절한 활용이 중요하다. 그러므로 갈수기 댐-보 연계 운영 시 용수공급 가능량을 최대한 높이면서 댐 및 보의 저수량을 배분하여 수질을 동시에 관리하는 것이 비용적인 면에서 효과적인 전략이 될 것이다(김승권, 2012). 낙동강 수계를 예로 들면, 11월부터 다음해 6월 까지 갈수기에 수질을 담보할 유량이 실제로 흐를 수 있는지를 유역통합관리 관점에서 분석하여 방류계획을 세울 필요가 있다. 이와 같이 점차 증가하고 있는 수자원관리에 대한 사전관리 중요성을 고려할 때 향후 장기 수질예보에 대한 활용성이 보다 확대될 것으로 예상된다.

5.2 장기 수질예보를 위한 법·제도 개선

현재 국내에서 장기 수질예보를 위한 법적 근거는 국내 사례에서 언급했던 2011년에 제정되고 2차례의 개정을 거친 「수질예보 및 대응조치에 관한 규정」이 유일하다(이하 “수질예보규정”이라한다). 따라서 본 연구를 통해 도출된 결과들을 바탕으로 수질예보 규정에 대한 분석 및 평가가 우선적으로 필요하다고 판단된다.

수질예보규정은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」²⁵⁾(이하 “수생태법”이라한다)중에서 사전예방에 관한 제3조, 기후변화 취약성에 관한 제19조의2, 수질오염 경보제에 관한 제21조를 근거로 하여 공공수역의 수질예보와 사전 예방적 수질관리에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 하고 있다.

장기 수질예보와 관련해서는 수질예보규정의 제4조(수질예보 종류), 제8조(수질예보 발표), 별표2(장기 수질예보에 따른 대응 절차)에 명시되어 있다. 그러나 제2조(수질예보의 정의), 제5조(수질예보 항목), 제7조(수질예보구간), 제8조(수질예보 발표), 별표1(수질관리 단계 및 발령 절차)의 경우 장기 수질예보를 위해서는 적합하지 않으며 구체적인 내용은 아래와 같다.

수질예보의 정의: 수질예보규정 제2조에는 “수질예보”를 수치모델링을 이용하여 기상 및 오염원의 변화에 따른 장래의 수질변화를 예측하고 발표하는 것을 말하며, “수치모델링”을 물리적 법칙에 기초를 두어 시간변화에 따른 유역환경 및 수질 등의 변화를 계산예측하는 것으로 정의하고 있다. 하지만, 장기 수질예보를 위해서는 통계적 기법을 활용할 수 있는 가능성을 법적으로 열어 두는 것이 필요하리라 판단된다. 전 지구 규모의 물리적 기반의 기후 모델링 결과로 생성되어 단기 수질예보의 입력으로 사용되는 7일 이내의 단기 기상예측 정보는 정확도 측면에서 신뢰할 수 있고, 예측되는 특정일의 사상(강우 발생 및 강수량 등) 정보가 의미를 가지고 있다. 반면에 3개월 단위의 장기 기후예측 정보는 물리적 모델링을 통하여 한반도 지역에 대해 예측된 강수량 및 기온 자료를 활용하는 경우 본 연구의 예측성 평가에서 제시한 바와 같이 예측성이 현저히 떨어져 활용에 많은 제약이 있다. 따라서 장기 기후예측 정보의 경우 모델링 기반의 예측 자

25) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」

제3조(책무) ① 국가와 지방자치단체는 수질 및 수생태계의 오염이나 훼손을 사전에 억제하고 오염되거나 훼손된 수질 및 수생태계를 적정하게 보전할 수 있는 시책을 마련하여 하천·호소 등 공공수역의 수질 및 수생태계를 적정하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 하여야 한다.

제19조의4(배출시설 등에 대한 기후변화 취약성 조사 및 권고) ① 환경부장관은 폐수배출시설, 비점오염 저감시설, 폐수종말처리시설을 대상으로 기후변화에 대한 시설의 취약성 등을 조사하고, 조사 결과 기후변화에 취약한 시설에 대해서는 시설 개선 등을 권고할 수 있다. ② 제1항에 따른 조사에 필요한 구체적인 조사 항목·방법 및 절차 등은 환경부령으로 정한다.

제21조(수질오염 경보제) ① 환경부장관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소의 물의 이용에 중대한 피해를 가져올 우려가 있거나 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정될 때에는 해당 하천·호소에 대하여 수질오염 경보를 발령할 수 있다. ⑤ 수질오염 경보의 종류와 경보종류별 발령대상, 발령주체, 대상 수질오염물질, 발령기준, 경보단계, 경보단계별 조치사항 및 해제기준 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

료를 그대로 사용하기 보다는 통계적인 방법을 통하여 예측성능을 최대한 높여 사용하는 것이 바람직할 것이다. 장기 수질예측에 있어서도 장기의 수질 관측 자료가 있는 경우 통계적 방법이 모델링 기반의 방법과 비교하여 높은 예측성을 보일 수 있기 때문에 수치모델링을 이용한 수질예보로 범위를 제한하는 경우 활용성에 있어서 많은 제한이 있을 수 있다.

수질예보 구간 및 항목: 수질예보규정에는 4대강 분류 구간에 대하여 수온 및 클로로필-a 농도를 예보 항목으로 정하고 있다. 하지만, 수질오염 취약시기에 오염원의 입체적 관리를 통한 사전예방 대책을 수립하는데 있어서의 장기 수질예보의 높은 활용도를 고려할 때 수질예보의 항목 및 구간이 조정되어야 할 필요성이 있다. 기후변화 및 4대강 보에 의한 분류 구간에서의 조류발생 우려로 인하여 지류로부터 유입되는 영양염류 물질 등 비점원오염에 대한 관리의 필요성이 증대되고 있다. 이와 같이 영양염류의 다량 유입 등 원인제공에서 대 조류 발생과 같은 수질 현상으로 발현되기까지 장기간이 소요되는 경우, 장기에보를 통한 사전예방의 중요성은 더욱 증가하게 된다. 따라서 단기 수질예보와 같이 최종 수질 현상을 예보하기 보다는 물 관리기관이 사전에 조치를 취하는데 필요한 사항을 장기 수질예보의 대상 항목으로 포함시키는 것이 필요하다. 장기적 측면에서 대응이 가능한 항목들로는 SS 및 TP 등이 추가될 수 있다. 동일하게 사전예방이라는 관점에서 볼 때, 예보 구간 또한 4대강 분류로 유입되는 중권역의 대표 수질 관측 점을 추가하는 것이 바람직할 것이다. 또한, 단기 및 장기 수질예보에 모두 해당되는 수질관리협의회 (이하 “협의회”라 한다) 위원 구성과 관련하여 조정이 필요하리라 판단된다. 수질예보의 경우 예보의 성격에 따라서 단기 또는 장기 기후예측 정보가 수질예보의 결과에 많은 영향을 끼치는 점을 고려할 때, 수질예보의 예측기간(단기 또는 장기)별 기상예측 전문기관을 포함한 위원 구성이 필요하리라 판단된다.

수생태법 중에서 사전 예방적 수질관리를 위한 기후정보의 사용과 관련하여서 제12조의 기후변화 취약성에 관련된 조항이 있다. 하지만 전문가 설문을 통하여 도출된 바와 같이 장기 예측 자료의 경우 실제 수자원 관리를 위한 활용 가능성은 높은 반면 실제 업무에의 실제 활용도가 현저히 낮게 나타나고 있는 점을 고려할 때, 수질 및 수생태 보전을 목적으로 장기 예측 자료를 보다 적극적으로 활용할 수 있도록 법적 제도적 개선이 필요할 것이다. 즉 장기 예측 자료의 경우 단기 예측 및 기후변화 시나리오 자료와 비교하여 갈수기, 조류 발생 시기, 집중 호우기 등 수질오염 취약시기에 물관리 기관이 사전예방 대책을 통한 오염원의 입체적 관리를 위한 활용도가 가장 높은 점을 고려할 때, 여러 물관리 기관이 의사결정에 사용할 수 있는 장기 수질예보시스템의 개발 및 활용을 최종 목적으로 하는 집중적인 재정적, 법적, 제도적 지원이 필요하다.

수생태법 등의 개정을 통하여 수질 및 수생태계 보전을 위한 기후정보의 적극적 활용에 대한 근거를 마련하는 것에 더하여, 실제 유역단위에서 수질관리 방안을 적용하는데 필요한 세부 시행과 관련된 계획 또한 기후정보를 가장 효율적으로 활용할 수 있도록 개선되는 것이 필요하다. 이와 관련하여서는 수생태법 제2절 “수계영향권별 수질 및 수생태계 보전”에서 대권역 수질 및 수생태계 보전계획(이하 “대권역계획”이라 한다)의 수립(24조), 중권역 수질 및 수생태계 보전계획(이하 “중권역계획”이라 한다)의 수립(25조), 소권역 수질 및 수생태계 보전계획(이하 “소권역계획”이라 한다)의 수립(26조)에 대해서 규정하고 있다. 환경부장관은 대권역계획을 10년마다 수립하여야 하며, 유역환경청장 또는 지방환경청장은 대권역계획에 따라 중권역계획을 수립하고, 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장은 대권역계획 및 중권역계획에 따라 소권역계획을 수립하여 승인을 받은 후 시행하게 되어 있다. 따라서 물환경 관리 및 수생태계 보전을 위한 정부 최상위 계획으로서 유역별, 지자체별로 수립하는 중소권역 수질보전계획의 지침이 되는 물환경관리기본계획(2006-2015)을 기후정보 활용 관점에서 살펴보는 것이 필요하리라 판단된다.

물환경관리기본계획 이전의 4대강물관리종합대책(1998~2005)은 수질예측을 통한 목

표설정, 수질총량관리제 등 사전예방정책의 강화, 중앙정부, 상·하류 지자체, 지역주민의 참여를 통한 정책수립 등 과학적이고 선진적인 유역관리 종합대책이라는 점에서 의의가 있다. 구체적인 정책들로는 사전오염예방대책으로서의 수질오염총량제 도입, 토지 매수 및 상수원 상류 보안림 지정 등 수변구역 제도의 시행, 비점오염원 관리대책 수립(1차), 통합유역관리체계 도입 등이 포함되어 있다. 물환경관리기본계획(2006-2015)에서는 종전의 상수원 중심의 먹는 물 확보를 위한 대책에서 하천호소연안을 포함한 전국토를 대상으로 하는 생태적으로 건강한 물환경 조성을 위한 정책으로 전환되었다. 또한 이전에 도입된 수질오염총량관리제도의 본격 시행 및 정착, 비점오염원 및 가축분뇨의 본격적인 관리, 유역통합관리체계 구축 등 도입된 선진적 제도의 내실화 및 발전을 포함하고 있다. 이와 같이 4대강물관리종합대책 및 물환경관리기본계획 모두 사전예방 차원의 정책을 시행 또한 정착을 목적으로 하고 있지만 물환경관리기본계획에는 사전 대응을 위한 장기 수질예측 정보 활용과 관련된 내용이 포함되어 있지 않다. 다만, 최근에 기후변화에 대한 관심이 고조됨에 따라서 기후변화에 대한 적응대책이 대권역계획에 포함되도록 수생태법 제24조에 규정되어 있으나 2006년 9월에 발표된 물환경관리기본계획에는 기후변화 적응관련 내용이 포함되어 있지 않다. 따라서 중권역 및 소권역 규모에서 수질 및 수생태계 보전 및 관리를 목적으로 장기 수질예측 정보를 활용하기 위해서는 최상위 계획인 물환경관리기본계획에 기후변화 및 장기 예측 정보의 활용을 통한 사전예방 차원에서의 다양한 수질관리 기법의 적용 관련 내용이 추가되어야 할 것이다.

이를 위해서는 물환경관리기본계획에 중권역계획 또는 소권역계획을 수립하는데 있어서 권역별 사공간적으로 상이한 특성을 고려하여 계획을 수립할 수 있도록 관련 내용이 추가되어야 할 것이다. 즉 유역의 사공간적 특성을 반영하여 기후에 민감한 유역을 선정하고, 해당 권역들에 대해서는 적합한 기후정보의 시간적 스케일(단기, 장기, 기후변화 시나리오 등) 안에서 활용 가능한 사전예방 차원의 관리방안들의 적용을 통해서 수질 및 수생태계 보전 및 관리의 효과를 최대화 할 수 있도록 하여야 한다.

예를 들어, 낙동강 하류지역 수질특성 연구를 통한 상수원 수질개선 방안 연구에서는 ‘물질대사 인자’, ‘오염부하 인자’ 및 ‘수문학적 인자’의 3개 요인이 낙동강 본류구간의 수질 변동에 대해 71.7%까지 설명할 수 있는 것으로 제시하였다. 또한 공간적 관점에서 상류, 중류, 하류 지역에서 ‘수문학적 인자’, ‘오염부하 인자’, ‘물질대사 인자’가 각각 하천

수질에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났으며, 시간적 관점에서는 물금 지점의 경우 동계에는 '물질대사 인자'와 '오염부하 인자'가 그리고 하계에는 '수문학적 인자'가 수질 결정에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다(백경훈, 2003). 낙동강 유역환경청에서는 낙동강 중하류 '좋은 물' 달성을 위한 수계별·시기별·오염원별 종합관리 대책을 통해 관리 대상 중권역을 3그룹으로 구분하여 차별 관리를 시도하고 있다. 하지만, 선정 기준이 수질 기준 초과 빈도, 오염도 및 시급성 등을 고려하고 있을 뿐 기후에 대한 민감도와 같은 권역별 특성은 고려되지 않고 있다. 낙동강 권역의 33개 중권역 중에서 최근(2013년 12월)에 재수립된²⁶⁾ 위천 중권역 물환경관리계획에서도 소권역별 관리 우선순위를 ① 수질과 관련된 영향인자(수질농도), ② 배출부하량 관련 인자(단위면적당 배출오염 부하량), ③ 하수도 보급률, ④ 생태조사결과(수생태계 건강성 통합등급) 등 4가지 항목을 평가하여 우선 순위를 설정하였다. 위천 중권역의 경우 2011년 비점오염원 배출부하량의 경우 BOD, TN, TP 기준으로 각각 전체 오염부하 중 77.7%, 88.4%, 86.2%를 차지하고 있어 권역 내 수질이 기후에 민감할 수 있는 높은 가능성을 갖고 있으나 소권역별 기후에 대한 민감도는 고려되지 않았다. 위천 중권역과 같이 비점원오염이 차지하는 비중이 높아 기후에 민감한 중권역의 경우는 기후와 관련된 사항을 관리계획 수립에 포함시키는 것이 바람직할 것이다.

따라서 이상 수질의 감시와 원인 분석을 포함한 장기예보 정보를 정기적으로 생산하여 제공함으로써 장기예보 정보가 국가경제 및 산업 발전에 효과적으로 활용될 수 있도록 하여야 한다. 환경부에서 정기적으로 발표하는 장기예보는 3개월 간격으로 년 4회 발표하고 있다. 수질예보의 정확도를 높이기 위해 단기예보 분야는 불과 1년 사이에 인력과 예산을 투자하여 세계 최고 수준의 기반을 구축하였다. 장기예보 분야는 최근 들어 그 중요성이 부각되어 아직 충분한 인력과 예산의 투자가 이루어지지 못했다. 장기 수질예보는 세계적으로 시행하는 국가는 없으나 기후변화에 따른 이상기후 현상의 발생빈도가 점차 증가하고 있고, 그에 따른 장기예보정보의 사회경제적 수요와 잠재적 활용 가치

26) 위천 중권역의 경우는 물환경관리계획이 2008년 수립되어 2013년까지 5개년 계획이 추진되었으며, 2014~2015년까지 남은 2개년에 대하여 기후변화 및 4대강 사업에 의해 변화된 물환경 현황을 반영하여 물환경 관리계획을 재수립 하였다.

가 큰 만큼 이 분야에 대한 인력과 예산 투자를 획기적으로 확대할 필요가 있다. 단기예보에 투자하는 수준의 기술개발 노력이 지속적으로 이루어진다면 틀림없이 수질관리에 유용한 정보를 생산하여 활용성을 높일 수 있을 것이다.

5.3 장기 수질예보 시스템 구축

장기 수질예보의 기초가 되는 장기 기후예측 정보는 기본적으로 수치예보 모형에 의해 수행된다. 더구나 장기에보는 엘니뇨, 라니냐 현상 등의 예측, 대기와 해양의 상호작용의 규명 등의 문제뿐만 아니라, 예보기간이 길어짐에 따라 나타나는 초기장의 오차에 의한 불확실성이 증가하는 등 여러 가지 한계점을 포함하고 있다. 특히 강수량의 경우 기온과 같이 물환경에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 정확한 장기 정보를 산출하기가 쉽지 않다. 장기 수질예보의 경우 기상예보의 이러한 한계를 바탕으로 예보가 시행된다. 하지만 장기 수질예보의 경우 단순히 예보의 정확도가 목적이 아니고 사전 예방적인 대응이 목적이므로 수질관리와 관련된 오염원의 공간적 분포 및 과거 수질의 동향 등과 같은 시·공간적인 데이터를 바탕으로 사전예방대책 수립을 위한 활용도를 높일 수 있도록 예보 시스템이 구축되어야 한다. 따라서 장기 수질예보 시스템은 이러한 GIS 플랫폼을 기반으로 오염원 공간자료와 기상 및 기후자료가 연계될 때 사전예방 대책을 위한 장기예보시스템으로 활용될 수 있다. 이와 같이 GIS는 도구나 방법 측면에서 기상 및 기후 분석을 위한 플랫폼으로서 다양한 공간적 개념과 분석 도구를 통해 기상 및 기후 데이터의 공간 패턴을 탐색하거나 모델링 할 수 있는 환경을 제공함으로써 의사결정에 활용될 수 있다. 장기 수질예보 시스템의 예보 대상, 예보 항목, 선행예측기간, 대상 지역에 대한 방향은 다음과 같다.

예보 대상: 우선 장기예보 수요 대상과 범위가 우선적으로 선정될 필요가 있다. 최우선 활용 대상은 수질관리기관이며, 세부적으로는 지자체, 유역환경청, 한국환경공단, 수자원공사 등이 해당된다. 공공 분야는 사전 예방적인 수질관리 필요성이 증가하고 있어 장기예보 정보의 필요성을 공감하고 있으리라 본다. 따라서 활용측면에서는 먼저 중앙정부를 비롯한 대부분의 물 관련 공공기관을 대상으로 장기 수질예보 정보를 활용하여 합

리적인 물 관리를 수행하도록 한다. 반면에 지자체 종사자는 당장의 활용도는 대체적으로 낮으나 예방적 시스템이 구축되거나 중요성이 인식되면 각 오염시설의 관리와 사전 예방대책을 위한 활용성이 점차 증가하리라 본다. 그리고 국민의 협조가 필요한 부문이 있을 경우 국민을 대상으로 확대하도록 한다.

수질예보항목: 예보항목은 수질관련기준(수질환경기준, 방류수기준, 배출허용기준, 먹는 물 기준 등)을 대상으로 환경부에서 필요하다고 판단되는 항목에 대해 시행한다. 그리고 필요시는 수질관련기준 외라도 물환경에 영향을 미치는 주요 오염원의 변화 등도 항목으로 포함할 수 있다. 주로 장기적 측면에서 수질관리기관에서 사전 조치를 취하는데 필요한 사항을 대상으로 한다.

예보 발표 및 선행예측기간: 장기에보는 1~3개월 또는 그 이상을 기간으로 예전의 수질실태, 수량실태, 장기 수량관리 방향, 장기 기후예측 등을 바탕으로 정성적 및 정량적 분석을 통해 관련기관에 장기적인 측면에서 수질관리 중요 요인을 제시하여 사전에 대응토록 함에 목적이 있다. 따라서 예보 발령 예도 다양하리라 본다. 장기에보는 년 간, 반기, 분기 또는 월별로 장기적 수질관리 문제가 발생 시 예보하고, 기상예보 및 물환경 여건 등을 고려하여 수시로 시행한다. 기존의 분기 및 월별 장기에보가 어느 정도 정착 되면 반기, 년 간 예보로 확대하는 방안을 강구한다.

예보 대상 지역: 중권역을 대상으로 하되 환경부장관이 수질관리상 필요한 지역을 대상으로 한다. 예를 들어 장마예보와 연계할 경우는 전국을 대상으로 예보를 할 수도 있으며, 국지성 호우가 예상되는 경우 해당 유역을 중심으로 예보를 할 수도 있다. 그리고 갈수기 대응 예보는 댐이나 보 및 하천을 대상으로 예보할 수도 있다. 따라서 단기예보와 같이 지점을 정하는 것보다 환경부 장관이 필요하다고 판단되는 유역에 대해 예보를 하고 수질관리 방안을 마련토록 운영함이 바람직하다.

6. 결론

본 연구에서는 통합 수문·수질의 장기 예측을 위해 필요한 시·공간적 상세화 기술을 포함한 기반 기술을 개발하여 개발된 기술의 예측성을 평가하고 향후 수질관리를 위한 장기 기후예측 정보의 활용 가능성을 제시하고 관련된 정책을 제언하였다. 본 연구를 통하여 도출된 세부 항목별 결론은 다음과 같다.

장기 기후예측 자료의 상세화 기법 개발 및 평가

- 공간적인 상세화 및 예측성 향상을 위하여 계절예측 정보의 활용 정도에 따라서 1) 직접적으로 계절예측 자료를 활용하는 Simple Bias Correction(SBC), 2) 간접적으로 계절예측 자료를 활용하는 예측 자료 기반의 Moving Window Regression (MWR), 3) 과거 관측기반의 자료를 주로 사용하고 계절예측 자료를 추가적으로 활용하는 관측기반의 Climate Index Regression(CIR) 방법을 개발하였다.
- 기상 관측소 사이의 공간 상관성을 유지하면서 모델링에서 필요한 일 단위 예측 자료 생성을 위한 시간적 상세화 방법을 개발하였다. 시간적 상세화는 앞서 제시된 SBC, MWR, CIR 방법에 의해 예측되는 자료(월별 강수량 및 평균 기온)와 가장 유사한 연/월을 Mahalanobis distance를 기반으로 과거 관측 자료로부터 결정하여 샘플링하는 방법을 사용하였다.
- 개발된 3가지 상세화 방법 중에서 관측 자료 기반의 상세화 방법인 CIR 방법이 모든 기간 동안에 월별 강수량 및 평균 기온 예측에 가장 안정적인 예측성을 보였다.
- CIR 방법은 선행예측기간을 6개월까지 증가시키며 수행한 강수량 및 평균 기온에 대한 예측성 평가에서 있어서 선행예측기간의 증가에 따라서 예측성의 변동이 동일하거나 미소하게 감소 또는 증가하는 경향을 보여 장기 예측 활용에 적합한 것으로 나타났다.

- 공간 상관성을 확보하기 위해 우선 적으로 결정되어야 하는 대상 지역의 규모에 따른 예측성을 비교해 본 결과 한반도 및 낙동강 유역의 크기에 대해서 예측성에 있어서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 따라서 향후 CIR 기반의 상세화 과정에서 대상 유역의 규모 선정이 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

장기 수문수질예측성 평가

- 농업용 저수지 유입량 예측: 낙동강 유역 내 100만 톤 이상의 저수지 3개소에 대하여 관측 자료를 사용하여 모의된 유입량을 기준으로 SBC, MWR, CIR 방법에 의한 예측 자료를 활용하여 모의된 월별 유입량의 예측성을 분석하였으며, 장기 기후예측성 평가의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 즉 CIR 방법의 경우에는 SBC 및 MWR 방법과 비교하여 전체적으로 가장 안정적인 예측성을 보였다.
- 다목적 댐 유입량 예측: 안동댐을 대상으로 한 유입량 예측의 경우에는 장기 기후예측 정보를 사용하지 않고 관측 자료만을 기반으로 유입량을 예측하는 방법, 장기 기후예측 정보를 유역모형의 입력으로 사용하는 모델링을 기반 예측 방법, 원격상관 기반의 통계적인 예측 방법을 비교하였다. 관측 기반 유입량 예측 방법과 모델링 기반 예측 방법의 비교의 경우 모델링 기반 예측 방법이 뚜렷하게 높은 예측성을 보인 달은 8월이었으며, 관측 기반 방법은 2월, 3월에 높은 예측성을 보였다. 원격상관 기반의 통계적 유입량 예측이 예측성에서 서로 비슷한 결과를 보인 12월을 제외하고 모든 기간에 대해서 가장 높은 예측성을 보였다.
- 중권역 수질예측: 낙동강의 위천 중권역을 대상으로 모델링 기반 방법과 원격상관 기반의 통계적 방법을 비교하여 지류에서의 장기 수질예측성을 평가하였다. 통계적 방법의 경우 3개 지점의 6개 수질 항목에 대한 월별(12개월) 수질 장기 예측을 수행한 결과 유의수준 0.05에서 유의미한 상관계수(Temporal Correlation Coefficient) 이상의 값을 보인 경우는 수온, BOD, TN, TP, SS, 클로로필-a의 경우 각각 전체의 89%, 72%, 83%, 89%, 72%, 61%으로 적절한 예측성을 보였다. 모델링 방법의 경우에는 유역의 관측 자료를 이용하여 보정 및 검정이 된 Soil

and Water Assessment Tool (SWAT)에 CIR 방법에 의해 생산된 장기 기후예측 자료를 입력으로 적용한 결과 수질 자료의 특성을 고려할 때 수질의 절대값(농도) 비교를 통한 예측성 평가에는 어려움이 있을 것으로 판단되며 별도의 예측성 평가 기법이 필요하리라 판단된다.

- **4대강 본류 수질예측:** 수질예보 및 대응조치에 관한 규정에 따라서 2월, 5월, 8월, 11월에 예측된 3개월 선행예측기간의 자료를 HSPF-EFDC 모델링 시스템에 적용을 통한 낙동강 하류에서의 장기 수질예측성을 2009년~2011년 기간에 대하여 분석하였다. 낙동강 하류 10개 수질 관측지점에서 장기 기후예측 자료를 이용한 수질예측 결과를 관측 수질과 비교한 경우 수온, TN의 경우는 모든 지점에서 유의수준 0.05에서 유의미한 상관계수(TCC)의 하한치(0.33)보다 큰 값을 보인 반면, chlorophyll-a와 TP의 경우에는 각각 3개 관측지점(대암-1, 창녕, 합천)과 8개 관측 지점(대암-1, 하남을 제외한 8개 지점)에서 유의미한 TCC의 하한치인 0.33보다 낮은 값을 보여 수온, TN, chlorophyll-a, TP 순으로 예측성이 좋게 나타났다. 하지만 예측 기후 자료를 이용한 수질예측 결과를 관측 기후 자료를 이용한 수질예측 결과와 비교한 경우 4개의 수질 항목 모두 유의미한 상관계수의 하한치보다 높은 결과를 보여 주었다.

통합 수질예측 기법 개발

- 최종적으로 의사결정을 위한 수질 확률예보를 위해서 다양한 기후 정보, 상세화 방법, 수질예측 방법을 고려한 통합 절차를 제시하였다.
- 개별 예측모형별 또는 다중 모형 앙상블을 계산을 위해서는 평가를 통해 예측성이 낮은 모형을 제외하는 필터링 과정과 예측성에 따라서 가중치를 다르게 고려하는 방법이 사용될 수 있으며, 수문-수질 모델링 과정에서는 예측 시점의 실제 상황을 반영할 수 있는 초기화를 위한 방법의 개발 및 적용이 필요하다.
- 최종적인 수질예측 앙상블(WQMME)에 더하여 예측성 평가를 거쳐 인정을 받은

개별 수질예측 결과들을 이용한 확률예보를 제시하는 것이 필요하다.

기후정보의 사용자 수요조사

- 국내 다양한 물관련 기관을 대상으로 기후정보에 대한 수요자 설문조사를 실시하였다.
- 단기/중기 예측 자료의 경우는 활용 가능성(80%)과 실제 활용도(82%)가 서로 비슷한 수치를 보인 반면에, 장기 예측 자료의 경우는 실제 활용도(50%)가 활용 가능성(70%)과 비교하여 낮게 나타났으며, 기후변화 시나리오 자료의 경우에는 반대로 활용 가능성(62%)이 실제 활용도(80%)와 비교하여 현저하게 낮게 나타났다. 이는 장기 예측 자료의 경우 수요는 많으나 예측 자료의 다양한 제한 요인으로 실제 활용되는 정도는 낮은 것으로서 판단된다.
- 장기 예측 정보의 신뢰성과 관련하여 모두가 중립적(50%) 또는 부정적(50%)으로 응답하여 긍정적인 반응은 없었다. 이와 같은 낮은 신뢰도가 장기 예측 자료의 수자원 분야 활용에 있어서 중요한 제한 요인으로 작용하고 있는 것으로서 나타났다.
- 또한 장기 예측 자료의 사용자 편의성과 관련하여 부정적으로 응답한 응답자의 경우 구체적인 이유로 “예측 자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서 (50%)”, “예측 자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서 (20%)” 와 “예측 자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워서 (20%)” 라고 응답하였다. 따라서 향후 장기 예측 자료의 정보 제공에 있어서 공간적/시간적 상세화가 필요한 것으로 조사되었다.

정책 제언

- 장기 기후예측을 활용한 서비스는 수질관리부문에 있어서 장기적인 사전예방대책 마련에 기여할 것으로 판단되며 1) 2012년 5월에 발표된 제2차 비점오염원관리

종합대책[‘12~’20]과 관련된 비점오염부하량 사전 관리, 2) 수환경 관리시설 의사 결정, 3) 2014년에 발표된 “수질·녹조 대비 댐-보-저수지 운영기준(안)”과 관련하여 수량-수질 통합관리에 활용 가능성을 제시하였다.

- 장기 수질예보를 위한 법·제도 개선과 관련해서는 2011년에 제정되고 2차례의 개정을 거친 「수질예보 및 대응조치에 관한 규정」의 수질예보의 정의, 수질예보 항목, 수질예보 구간, 수질예보 발표, 수질협의회 구성과 관련된 개선 사항으로서 1) 본 연구의 결과에서 보는 바와 같이 모델링 기반의 기술 및 수질예측에 한계가 있음을 고려하여 통계적인 방법에 의한 예보를 수질예보에 포함시키는 방안, 2) 장기 예보의 사전 예방 차원의 높은 활용성을 고려할 때 녹조와 같은 최종 수질 현상을 예보하는 것에 더하여 물 관리기관이 사전에 조치를 취하는데 필요한 유사 및 총인 등을 장기 수질예보의 대상 항목으로 포함시키는 방안, 3) 예보 구간 또한 사전예방 측면에서 4대강 본류에 더하여 4대강 본류로 유입되는 중권역의 대표 수질 관측점을 추가하는 방안, 4) 수질관리협의회의 구성과 관련하여 기상예측 전문기관을 포함한 위원 구성을 제안하였다.
- 또한, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」중에서 사전 예방적 수질관리를 위한 기후정보의 사용과 관련하여서 제3조의 기후변화 취약성에 관련된 조항이 있다. 하지만, 장기 기후예측 정보의 높은 활용 가능성을 고려할 때, 수질 및 수생태 보전을 목적으로 장기 예측 자료를 보다 적극적으로 활용할 수 있도록 법적 제도적 개선이 필요하며, 여러 물관리 기관이 의사결정에 사용할 수 있는 장기 수질예보 시스템의 개발 및 활용을 최종 목적으로 하는 집중적인 법적, 제도적 지원이 필요하다.
- 또한 상위법 개정에 더하여 실제 유역단위에서 수질관리 방안을 적용하는데 필요한 세부 시행과 관련된 계획 또한 기후 정보를 가장 효율적으로 활용할 수 있도록 개선되는 것이 필요하다. 물환경 관리 및 수생태계 보전을 위한 정부 최상위 계획으로서 유역별, 지자체별로 수립하는 중소권역 수질보전계획의 지침이 되는

물환경관리기본계획(2006-2015)의 경우 사전 대응을 위한 장기 수질예측 정보 활용과 관련된 내용이 포함되어 있지 않다. 따라서 기후변화 및 장기 예측 정보의 활용을 통한 사전예방 차원에서의 다양한 수질관리 기법의 적용 관련 내용이 추가되어야 할 것을 제안하였다. 구체적으로 유역의 사공간적 특성을 반영하여 기후에 민감한 유역을 선정하고, 해당 권역들에 대해서는 적합한 기후정보의 시간적 스케일(단기, 장기, 기후변화 시나리오 등) 안에서 활용 가능한 사전예방 차원의 관리방안들의 적용을 통해서 수질 및 수생태계 보전 및 관리의 효과를 최대화 할 수 있도록 관련 내용의 추가를 제안하였다.

- **장기 수질예보 시스템의 구축**과 관련하여 1) 장기 수질예보 시스템은 사전 예방적인 대응이 목적이므로 수질관리와 관련된 오염원의 공간적 분포 및 과거 수질의 동향 등과 같은 시·공간적인 데이터를 바탕으로 사전예방대책 수립을 위한 활용도를 높일 수 있도록 GIS 기반의 예보 시스템이 구축되어야 하며, 2) 예보 대상, 항목, 발표 및 선행예측기간, 대상 지역에 대한 방향을 제시하였다.
- 마지막으로 재정적으로는 장기에보정보의 사회경제적 수요와 잠재적 활용 가치가 큰 만큼 이 분야에 대한 인력과 예산 투자를 획기적으로 확대할 필요가 있다.

장기 수질예보가 아직 시행되는 국가는 없지만 물 관리에 있어 적절한 시스템만 구축된다면 그 효율성은 클 것으로 판단된다. 그리고 제공하는 장기 수질예보 서비스가 사용자의 요구를 충족할 정도로 효율적이고 신속·정확하기에는 아직 역량이 충분치 못한 것이 사실이다. 그러나 정부는 수질예보가 성숙될 때까지 인내하고 이에 대한 투자를 지속적으로 추진해야 한다. 그리고 앞서 누차 제기된 '정확도' 향상을 위한 연구와 기술개발에 더욱 매진하여 질 높은 장기 수질예보서비스가 제공 될 수 있도록 해야 할 것이다.

이와 같이 장기 수질예보는 여러 가지 어려운 점이 있으나 장기에보를 위해 가장 중요한 것이 장기간 자료의 구축이므로 지금 부터라도 꾸준히 장기에보에 관한 자료를 축적할 필요가 있다. 그리고 실제로 사전 예방적 수질관리는 장기 수질예보를 통해 효율적으로 활용할 부문을 적극 개발하여 사전 예방적 수질관리에 활용할 필요가 있다.

장기 수질예보 분야에 대한 수요 분석을 요약하면, 일단 수질예보에 대해 매우 낮은 인지도를 가지고 있다. 이에 반해 장기 예보 정보의 필요성은 앞으로 더욱 증가할 것이다. 중앙 및 지방, 공공기관 등 분야별로 조금은 상이하지만 업무와 관련하여 사전 예방적 관리를 통해 효율적 수질관리에 유용할 것으로 판단된다. 하지만 아직까지 구체적인 정보를 제공하지 않아 실제적인 활용방안에 대한 인식은 매우 미비한 것으로 파악되었다. 수질관리 전문가 면담 시 장기예보정보에 대한 정보가 주어진다면 업무에 효율적으로 활용할 의사가 높은 것으로 나타났으며, 특히 공공기관은 높은 활용의지를 보여주고 있다. 이를 위해 필요한 요구사항으로는 정확한 예보정보, 다양한 수질예보 정보 서비스, 홍보 등이 필요한 것으로 나타났다.

장기 수질예보에 대한 수요분석 결과에 따르면 향후 장기예보 정보의 유용성과 활용성을 높이기 위해서는 장단기적인 마스터플랜을 수립하고, 인지도 향상에서 활용성 극대화의 단계별 추진 전략을 수립하여 체계적으로 수행할 필요가 있다. 이러한 맥락에서 장기예보 수요분석 결과를 통해 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 장기예보정보에 대한 인지도를 제고하기 위해 장기예보에 대한 정보와 중요성에 대한 홍보를 확대할 필요가 있다. 둘째, 수질예보 웹사이트 개선과 동시에 수질예보 정보에 대한 접근성을 높여야 한다. 셋째, 중앙, 지자체, 및 공공기관 등 부문별로 장기예보 정보에 대한 필요성이 다양하기 때문에 맞춤형 홍보를 강화하여야 한다. 넷째, 장기예보정보의 질 및 정확성 향상, 관련 시스템 및 제도의 정비를 통해 현재의 여건을 개선함으로써, 장기예보 정보의 필요성과 향후 활용가능성을 확대시켜야 한다. 다섯째, 장기예보를 위해 전담 인력을 배치함으로써 예보를 위한 시스템이 구축되어야 한다. 마지막으로 지속적인 장기예보 정보의 개선과 연구개발을 통해 장기예보에 필요한 데이터베이스를 구축하고 운영해야 할 것이다.

수질예보는 여러 종류의 기상, 수리, 수문, 수질자료를 비롯해 수질모델링, GIS 최첨단 기술의 집합체라 할 수 있다. 국가에서는 확률 높은 예보를 위해 기술개발, 전문 인력 양성, 재정 지원을 지속적으로 해야 정확도 높은 예측 정보를 도출할 수 있다. 이와

같은 정보는 수질오염이 발생했을 때 국가와 국민이 입는 직접적인 피해는 물론 정신적 피해와 복구비용까지 고려하면, 피해를 막기 위한 사전 투자효과가 훨씬 크다. 또한 수질오염 등 재해는 상수도시설 등의 사회간접자본에 영향을 초래하고 산업시설 등에 직접적인 피해를 초래하는 것 외에도, 사회·경제적 활동에 유·무형적으로 장애를 일으키는 등 간접적인 피해도 유발하기 때문에 수질예보의 중요성은 클 수밖에 없다. 따라서 이와 같은 장기예보의 중요성을 관련자에게 홍보하여 장기예보에 대한 인식을 개선하도록 하여야 한다.

이와 같이 유역의 기후와 유역의 경제활동 등을 바탕으로 한 장기 수질예보는 유역 관리에 있어 매우 중요한 기능을 하며 범정부적 차원의 새로운 접근이 필요하다.

장기 수질예보가 사전 예방적 차원에서 농업, 수자원, 상수원 관리, 생태계 건전성, 국민보건 등 다양한 분야의 의사결정 과정에 중요하게 활용가능 함을 고려하여, 장기 수질예보 정보가 효율적 물 관리에 큰 도움이 될 수 있음을 인식해야 한다.

REFERENCES

- 강부식, 문수진, 2011: 가뭄전망과 실시간물관리를 위한 APCC 계절예측정보의 활용, 한국방재학회지, 11(1), 31-36.
- 국립환경과학원, 2012: 수질오염총량관리기술지침.
- 국립환경과학원, 2013: 수질예보 2단계('14~' 18) 운영방안 수립연구
- 김승권, 2012. 4대강 사업 이후 낙동강 수계 댐-보 연계 운영, 물과미래, 45(6): 11-17.
- 김연희, 김맹기, 이우섭. (2008). 한반도 기온 및 강수량 변동에 영향을 미치는 광역규모 기후지수들에 대한 고찰. Atmosphere, 18(2), 85-97.
- 김지영, 박혜진, 2010: 북반구 원격상관 패턴이 우리나라 강수량에 미치는 영향, 물과미래 43, 7, 57-61.
- 김형진, 2014: APEC 기후센터 다중모델 앙상블 계절예측 시스템의 현황과 전망, 한국기상학회 가을학술대회 초록집.
- 낙동강유역환경청, 2010. 낙동강남해 중권역 물환경 관리계획
- 대구지방환경청, 2013. 위천 중권역 물환경관리계획
- 백경훈, 2003: 낙동강 하류지역 수질특성 연구를 통한 상수원 수질개선 방안, 부산발전연구원
- 최지용, 민준식, 고은주, 2006: 다목적 댐 저수지의 비점오염실태 및 친환경적 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원
- 한국기상학회, 기상청, 2014: 대기과학용어사전
- Choi, K.-S., and I.-J. Moon, 2013: Two climate factors in May that affect Korean

- rainfall in September. *Acta Oceanologica Sinica*, 32, 32–47.
- Geng, S., Penning de Vries, F.W.T., Supit, I., 1986: A simple method for generating daily rainfall data. *Agric. For. Meteorol.* 36, 363–376.
- Geng S., Auburn, J., Brandstetter, E., Li, B., 1988: A Program to Simulate Meteorological Variables. Documentation for SIMMETEO. (Agronomy Report No. 204). University of California, Davis Crop ExtSMEion, Davis, California.
- Hanson, C. L., and G. L. Johnson, 1998: GEM (generation of weather elements for multiple applications): its application in areas of complex terrain. *Hydrol. Water Resour. Ecol. Headwaters IAHS*, 248, 27–32.
- Hong, X., C. H. Bishop, T. Holt, and L. O’Neill, 2011: Impacts of sea surface temperature uncertainty on the western north Pacific subtropical high (WNPSH) and rainfall. *Weather and Forecasting*, 26, 371–387.
- Kang, H., C.-K. Park, S. N. Hameed, and K. Ashok, 2009: Statistical downscaling of precipitation in Korea using multimodel output variables as predictors. *Monthly weather review*, 137, 1928–1938.
- Kang, S., J. Hur, and J.-B. Ahn, 2014: Statistical downscaling methods based on APCC multi-model ensemble for seasonal prediction over South Korea. *International Journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.3952.
- Kim, M.-K., Y.-H. Kim, and W.-S. Lee, 2007: Seasonal prediction of Korean regional climate from preceding large-scale climate indices. *International journal of climatology*, 27, 925–934.
- Kim, M.-K., and Y.-H. Kim, 2010: Seasonal prediction of monthly precipitation in China using large-scale climate indices. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27, 47–59.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, T. E. LaRow, D. R. Bachiochi, Z. Zhang, C.

- E. Williford, S. Gadgil, and S. Surendran, 1999: Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science*, 285, 1548–1550.
- Mahalanobis, P. C., 1936: On the generalised distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India* 2 (1): 49–55
- Meng, H., A. M. Sexton, M. C. Maddox, A. Sood, C. W. Brown, R. R. Ferrara, and R. Murtugudde, 2010: Modeling Rappahannock river Basin using SWAT—Pilot for Chesapeake Bay Watershed. *Applied engineering in agriculture*, 26, 795.
- Min, Y.-M., V. N. Kryjov, and C.-K. Park, 2009: A probabilistic multimodel ensemble approach to seasonal prediction. *Weather and Forecasting*, 24, 812–828.
- Min, Y.-M., V. N. Kryjov, and J.-H. Oh, 2011: Probabilistic interpretation of regression-based downscaled seasonal ensemble predictions with the estimation of uncertainty. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 116.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R.(2001) Soil and water assessment tool – Theoretical documentation, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service.
- Peng, P., A. Kumar, H. van den Dool, and A. G. Barnston, 2002: An analysis of multimodel ensemble predictions for seasonal climate anomalies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 107, ACL 18–1 – ACL 18–12.
- Racsko P, Szeidl L & Semenov MA (1991) A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, 57 :27-41
- Richardson, C.W., 1985. Weather simulation for crop management models. *Transactions of the ASAE* 28(5), 1602–1606.
- Richardson, C.W., Wright, D.A., 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83 pp.

- Schepen, A., Q. J. Wang, and D. Robertson, 2012: Evidence for using lagged climate indices to forecast Australian seasonal rainfall. *Journal of Climate*, 25, 1230–1246.
- Semenov MA, Barrow EM (1997) Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 35: 397-414.
- Sohn, S.-J., J.-B. Ahn, and C.-Y. Tam, 2013a: Six month-lead downscaling prediction of winter to spring drought in South Korea based on a multimodel ensemble. *Geophysical Research Letters*, 40, 579–583.
- Sohn, S.-J., C.-Y. Tam, and J.-B. Ahn, 2013b: Development of a multimodel-based seasonal prediction system for extreme droughts and floods: a case study for South Korea. *Int. J. Climatol.*, 33, 793–805, doi:10.1002/joc.3464.
- Stöckle, C.O., G.S. Campbell, and R. Nelson, 1999: *ClimGen manual*. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA.
- Wang, B., Z. Wu, J. Li, J. Liu, C.-P. Chang, Y. Ding, and G. Wu, 2008: How to measure the strength of the East Asian summer monsoon. *Journal of Climate*, 21, 4449–4463.
- Xu, J., W. Long, J. D. Wiggert, L. W. Lanerolle, C. W. Brown, R. Murtugudde, and R. R. Hood, 2012: Climate forcing and salinity variability in Chesapeake Bay, USA. *Estuaries and coasts*, 35, 237–261.
- Yun, W. T., L. Stefanova, and T. N. Krishnamurti, 2003: Improvement of the multimodel superensemble technique for seasonal forecasts. *Journal of Climate*, 16, 3834–3840.

부록 1. 기후예측 정보를 고려한 수질관리 정책제언을 위한 전문가 설문조사

1. 설문조사서

기후예측정보를 고려한 수질관리 정책제언을 위한 전문가 설문조사

안녕하십니까?

APEC기후센터에서는 매달 3~6개월 미래의 강수 및 온도에 대한 예측자료(장기예측자료, 계절예측자료)를 제공하고 있습니다. 이와 관련하여 3~6개월의 선행예측기간을 갖는 장기예측자료의 수자원/수질 관리 분야 활용성을 평가하기 위한 「계절예측 자료를 활용한 통합 수문/수질 계절예측 기법 개발」 과제를 수행하고 있습니다. 수자원/수질 관리는 단기/중기(일기예보/동태예보)-장기(계절예측)-기후변화 시나리오의 시간적 연속선상에서 시간적인 통합을 고려한 유역관리 방안이 고려되어야 합니다.

이와 관련하여, 단기/중기, 장기, 기후변화 시나리오 예측정보의 정보집근성, 예측 신뢰성, 사용자 편의성, 의사결정 활용성 등에 대한 전문가 분들의 의견을 반영하고자 다음과 같이 설문조사를 실시하고자 합니다.

설문에 소요되는 시간은 약 10~20분으로 예상되며, 설문조사에 응해주신 분에게 소정의 사례비를 지급할 예정입니다. 바쁘시더라도 잠시 시간을 내시어 질문에 응해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

답변하여 주신 자료는 본 연구에 소중하게 사용될 것이며, 작성하신 설문내용은 우편, 팩스, 이메일 등 편한 방법으로 회신하여 주시기 바랍니다. 본 조사에 문의사항이 있으신 분은 아래 연락처로 연락주시면 성실히 답변드리겠습니다.

본 조사는 통계법 제8조에 따라 기밀로 관리되며, 설문지를 통해서 수집된 자료는 통계법 제13조 및 제14조에 의거하여 순수한 학문적 연구 목적으로만 사용됩니다.

감사합니다.

제출일 마감: 2014.7.18(금)

- 우편 접수: 조재필, APEC 기후센터, 부산광역시 해운대구 센텀7로 12, 612-020
- Fax 접수: 051-745-3909
- 이메일 접수: 조재필 선임연구원 (jpcbo89@apcc21.org)
- 문의: 조재필 선임연구원 (051-745-3994)

다음은 사례금 지급에 필요한 개인정보에 관한 문항입니다.

개인정보 수집·이용 안내

- (수집 및 이용목적) 각종 수당 지급 증빙(경도, 자문, 회의, 강의, 평가, 발표, 강수, 심의, 워크숍 등)
- (수집 항목) 성명, 연락처, 거래 은행명, 계좌번호 등
- (보유 및 이용기간) 지출 증빙문서 보존기간 완료시까지 (근거 : 국고금관리법, 공공기록물관리예관법 등)
- 본 개인정보 수집은 본 센터의 행정업무 처리를 위한 것이며, 다른 목적으로 사용되지 않음을 알려드립니다.

위 사항에 대한 개인정보 수집·이용에 동의합니다. 동의

사례금을 지급받으실 은행명, 계좌번호와 예금주를 입력해주세요.

은행명: _____ 예금주: _____

계좌번호: _____

전화번호: _____

• 계좌번호는 설문조사 후 사례금 지급에 필요한 것이오니 반드시 응답자 본인이 예금주로 되어 있는 통장의 계좌번호를 입력해야 합니다.

<0 응답자 일반사항 조사>

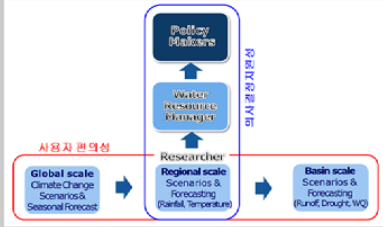
다음은 내용은 응답자의 일반적 사항에 관한 내용입니다.

1. 귀하의 연령을 선택해주세요
 ① 만 29세 이하 ② 만 30세-39세 ③ 만 40세-49세 ④ 만 50세-59세 ⑤ 만 60세 이상
2. 귀하가 근무하고 있는 기관의 성격을 선택하여 주십시오.
 ① 중앙정부 ② 지방자치단체 ③ 공공기관 ④ 연구기관 ⑤ 민간기업 ⑥ 기타 (.....)
3. 담당업무 분야
 ① 물관리(이수) ② 홍수(치수) ③ 수질 및 생태 ④ 기타(.....)
4. 수자원/수질분야에서의 경력기간을 선택해주세요.
 ① 1년 미만 ② 1년-2년 ③ 3년-5년 ④ 6년-10년 ⑤ 11년 이상

<설문조사를 위한 용어 설명>

설문조사를 위해 꼭 필요한 내용이나 꼭 숙지하신 후 질문에 응하여 주십시오

- 단기/중기 예측정보는 1개월 이내의 예측기간을 의미합니다.
- 장기예측정보는 1개월~1년 이내의 예측기간을 의미합니다.
- 시간간격(time-step)은 제공되는 기후 정보의 특정시점으로부터 다음 시점 사이의 간격을 의미합니다(ex. 7월4일, 7월5일, 7월6일 ... : 1일간격 자료).
- 선행예측기간(lead-time)은 미래의 예측 목표시점을 기준으로 얼마나 일찍 예측정보가 제공되느냐를 의미합니다(ex. 현재 6월에 9월의 기후를 예측하는 경우 3개월 선행예측기간 자료입니다).
- 다중모형앙상블(Multi-Model Ensembl, MME)는 장기예보의 예측결과를 개선하기 위하여 다수의 전지구 예측 모델 결과를 통계적인 방법(평균 등)으로 처리하는 선진 기술입니다.
- 확률예보는 「맑음」, 「흐리고 가끔 비」 등 일기를 몇가지 형태로 나뉘어 놓고 그중 어느 하나라고 단정하는 카테고리예보와 비교하여, "몇 %의 확률로 내일 비가 온다"라고 확률로 나타내는 것을 의미합니다. 보다 자세한 정의는 기상청 기상백과 참조 (<http://webma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp?schText=%C3%A9B7%8FC2&08y=0>)
- 정보접근성은 수요자가 기후정보가 필요한 경우에 얼마나 쉽게 자료 또는 정보에 접근할 수 있는지를 의미합니다.
- 예측신뢰성은 미래에 대하여 예측된 기후정보가 예측시점의 관측기후정보와 얼마나 잘 일치하는지를 의미합니다.
- 사용자편의성은 기후정보(기온, 강수량 등)를 수자원/수질모델링 분석등의 입력자료로 활용하기에 얼마나 편리하게 제공되느냐를 의미합니다. 연구/분석 단계에서의 기후자료의 활용에 중점을 둔 내용입니다(ex. 그림1. 수평적 연계).
- 반면에, 의사결정지원성은 추가적인 수자원/수질 분석없이 제공되는 정보를 바로 의사결정 또는 정책결정에 활용할 수 있는 정도를 의미합니다 (ex. 그림1. 수직적 연계).



<그림 1>

<설문조사 질의 구성 및 조사 안내>

본 설문조사는 크게 아래와 같이 3개의 내용으로 구분되어 있으며, 공통 문항에 대해서는 모두 응답해 주시고, **세부문항의 경우에는 예측정보의 사용경험 유무에 따라서 선택적으로 질문에 응해 주십시오.**

공통 문항	세부문항(선택)
1 단기/중기 예측정보 공통	1-1 예측정보 사용 경험이 있는 경우 1-2 예측정보 사용 경험이 없는 경우
2 장기예측정보 공통	2-1 APCC 계절예측정보 사용 경험이 있는 경우 2-2 APCC 계절예측정보 이외의 자료에 대한 사용 경험이 있는 경우 2-3 장기의 계절 예측정보에 대한 사용 경험이 없는 경우
3 기후변화정보 공통	3-1 기후변화정보 사용 경험이 있는 경우 3-1 기후변화정보 사용 경험이 없는 경우

<설문조사 문항의 유형>

응답의 종류는 3가지로 되어 있으며 다중문항의 경우에는 Check box(□)로, 단일문항은 번호(①)로, 서술형 문항은 공백(.....)으로 되어 있습니다.

- 다중 문항의 예
 1. 사용해 보신 예측정보의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요.
 - 강수 □ 최고온도 □ 최저온도 ■ 평균온도 ■ 일사량

- 단일형 문항의 예
 1. 사용해 보신 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러우나요?
 - ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

- 서술형 문항의 예
 1. 사용해 보았거나 사용하고 계신 단기/중기 예측정보를 말씀해 주시기 바랍니다. (기상청 동네 예보.....)

<1 단기/중기 예측정보 수요조사>

- 국내에서 제공되는 단기/중기 예측정보는 아래와 같은 기상청 예보가 있습니다.
 - 3일 동태예보: <http://www.kma.go.kr/weather/forecast/timeseries.jsp>
 - 10일예보: http://www.kma.go.kr/weather/forecast/mid-term_01.jsp
 - 주말예보: <http://www.kma.go.kr/weather/forecast/weekend.jsp>

5. 단기/중기 예측정보가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마 같은 연관성을 가지고 있나요?

- (현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오)
- ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
 ⑥ 없다 ("없다"를 선택하신 경우, <2 장기예측정보 수요조사>로 이동. 37번 문항)

6. 단기/중기 예측정보가 제공되는 경우 현재 수행하고 있는 업무에 어떻게 활용될 수 있는지 말씀해 주시기 바랍니다. (현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오)

7. 단기/중기 예측정보를 사용한 경험이 있거나 또는 사용하고 있으신지요?
 ① 예 (1-1로 이동, 8번 문항) ② 아니요 (1-2로 이동, 29번 문항)

1-1 | 예측정보를 사용하고 있거나 사용한 경험이 있는 경우에 한함.

8. 사용해 보았거나 사용하고 계신 단기/중기 예측정보를 말씀해 주시기 바랍니다.
 (-----)

9. 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우 예측정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? (가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오)

① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다

10. 사용해 보신 예측정보의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요?
 1분간격 자료 1시간간격 자료 1일간격 자료 7일간격 자료
 10일간격 자료 월간격 자료

11. 사용해 보신 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

12. 11번 문항에서 예측정보의 시간간격에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택하여 주십시오.
 ① 1분간격 자료 ② 1시간간격 자료 ③ 1일간격 자료 ④ 7일간격 자료
 ⑤ 10일간격 자료 ⑥ 월간격 자료 ⑦ 기타(-----)

13. 사용해 보신 예측정보의 선행예측기간(lead-time)을 모두 선택해 주세요?
 1주일 이내 2주일 3주일 4주일(1달)

14. 사용해 보신 예측정보의 선행예측기간(lead-time)은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

15. 14번 문항에서 예측정보의 선행예측기간에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택하여 주십시오.
 ① 1주일 이내 ② 2주일 ③ 3주일 ④ 4주일(1달) ⑤ 기타(-----)

16. 사용해 보신 예측정보의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요.
 강수 최고온도 최저온도 평균온도 일사량
 풍속 상대습도 기타(-----)

17. 사용해 보신 예측정보의 제공되고 있는 변수는 충분한가요?
 ① 매우 충분 ② 충분 ③ 보통 ④ 부족 ⑤ 매우 부족

18. 17번 문항에서 예측정보의 제공되는 변수에 대해 "부족" 또는 "매우 부족"을 선택하신 경우, 원하시는 기상변수를 말씀해 주십시오.

19. 사용해 보신 예측정보는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요.
 이메일 웹페이지(회원전용) 웹페이지(일반공개) FTP
 모바일 App 기타(-----)

20. 사용해 보신 예측정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

21. 20번 문항에서 정보접근성에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우 이유를 말씀해 주시기 바랍니다.

22. 사용해 보신 예측정보의 예측신뢰도는 어떻다고 생각하나요?
 ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다

<p>23. 22번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보를 신뢰하기 위해 최소한 요구되는 관측자료와 예측자료 간의 결정계수(R^2)의 범위를 선택해 주세요. ㉠ $0.10 < R^2 \leq 0.16$ ㉡ $0.16 < R^2 \leq 0.25$ ㉢ $0.25 < R^2 \leq 0.36$ ㉣ $0.36 < R^2 \leq 0.49$ ㉤ $0.49 < R^2 \leq 0.64$ ㉥ $0.64 < R^2 \leq 0.81$ ㉦ $R^2 > 0.81$</p> <p>24. 22번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까? ㉠ 매우 필요 ㉡ 필요 ㉢ 보통 ㉣ 불필요 ㉤ 매우 불필요</p> <p>25. 사용해 보신 기상/기후 예측정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요? ㉠ 매우 높다 ㉡ 높다 ㉢ 보통이다 ㉣ 낮다 ㉤ 매우 낮다</p> <p>26. 25번 문항에서 사용자편의성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요. □ 예측자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서 □ 예측자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서 □ 예측자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워져서 □ 기타(.....)</p> <p>27. 사용해 보신 예측정보를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요? ㉠ 매우 높다 ㉡ 높다 ㉢ 보통이다 ㉣ 낮다 ㉤ 매우 낮다</p> <p>28. 27번 문항에서 의사결정지원성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 확률예측정보의 제공이 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요? ㉠ 매우 그렇다 ㉡ 그렇다 ㉢ 보통이다 ㉣ 아니다 ㉤ 매우 아니다</p>	<p>1-2 예측정보를 사용해 본 경험이 없는 경우에 한함.</p> <p>29. 단기/중기 예측정보를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오. □ 직·간접적으로 필요하나 예측정보가 존재하지 않아서 □ 직·간접적으로 필요하나 필요한 변수가 제공되지 않아서 □ 직·간접적으로 필요하나 예측정보에 접근할 수 없어서(접근성) □ 직·간접적으로 필요하나 예측정보의 신뢰도가 낮아서(신뢰성) □ 직·간접적으로 필요하나 수문/수질 분석에 바로 사용이 불가능하거나 추가적인 가공 절차가 어려워져(공간적, 시간적 규모의 차이, 자료 포맷 등 사용자편의성) □ 직·간접적으로 필요하나 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서(의사결정지원성)</p>
--	---

<p>30. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 예측정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? (가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오) ㉠ 매우 높다 ㉡ 높다 ㉢ 보통이다 ㉣ 낮다 ㉤ 매우 낮다</p> <p>31. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오. ㉠ 1분간격 자료 ㉡ 1시간간격 자료 ㉢ 1일간격 자료 ㉣ 7일간격 자료 ㉤ 10일간격 자료 ㉥ 월간격 자료</p> <p>32. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택해 주십시오. ㉠ 1주일 이내 ㉡ 2주일 ㉢ 3주일 ㉣ 4주일(1달)</p> <p>33. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오. □ 강수 □ 최고온도 □ 최저온도 □ 평균온도 □ 일사량 □ 풍속 □ 상대습도 □ 기타(.....)</p> <p>34. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오. ㉠ 이메일 ㉡ 웹페이지(회원 전용) ㉢ 웹페이지(일반 공개) ㉣ FTP ㉤ 모바일 App ㉥ 기타(.....)</p> <p>35. 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까? ㉠ 매우 필요 ㉡ 필요 ㉢ 보통 ㉣ 불필요 ㉤ 매우 불필요</p> <p>36. 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률예측정보의 제공이 도움이 될거라 생각하십니까? ㉠ 매우 그렇다 ㉡ 그렇다 ㉢ 보통이다 ㉣ 아니다 ㉤ 매우 아니다</p>
--

<2 장기예측정보 수요조사>

- 국내에서 제공되는 장기예측정보는 기상청에서 제공하는 1개월, 3개월, 기후예보가 있으며, APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 6개월 전망, Climate Prediction Center(CPC)에서 제공하는 계절예측정보가 있습니다.
- 기상청 1개월 전망: <http://www.kma.go.kr/weather/forecast/long-range1.jsp>
- 기상청 3개월 전망: <http://www.kma.go.kr/weather/forecast/long-range3.jsp>
- 기상청 기후 전망: <http://www.kma.go.kr/weather/forecast/season.jsp>
- APCC 6개월 전망: <http://www.apcc21.org/eng/service/6mon/ps/apcc030703.jsp>
- CPC계절예측전망: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CFSv2/CFSv2/seasonal.shtml>

37. 장기예측정보가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마 많은 연관성을 가지고 있나요?
(현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오)
 ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
 ⑥ 없다 ("없다"를 선택하신 경우, <3 기후변화 시나리오 자료 수요조사>로 이동, 88번 문항)

38. 장기예측정보가 제공되는 경우 현재 수행하고 있는 업무에 어떻게 활용될 수 있는지 말씀해 주시기 바랍니다. **(현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오)**

39. 장기예측정보를 사용한 경험이 있거나 사용하고 있는지요?
 ① APEC기후센터에서 제공하고 있는 예측 자료를 사용한 경험이 있다 (2-1로 이동, 40번 문항)
 ② APEC기후센터 이외의 기관에서 제공하고 있는 예측 자료를 사용한 경험이 있다 (2-2로 이동, 59번 문항)
 ③ 사용해 본 경험이 없다 (2-3로 이동, 80번 문항)

2-1 APCC MME 자료를 사용하고 있거나 사용한 경험이 있는 경우에 한함.

40. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 예측정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?
(가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오)
 ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다

41. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 장기 예측정보에 대하여 알게 된 계기를 선택해 주십시오.
 ① 인터넷 ② 주위 동료의 소개 ③ APCC 뉴스레터 ④ 기타(.....)

42. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 월(monthly)별로 제공되고 있는 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

43. 42번 문항에서 예측정보의 시간간격에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택하여 주십시오.
 ①1시간간격 자료 ③1일간격 자료 ③7일간격 자료
 ⑤10일간격 자료 ⑤월간격 자료 ⑥기타(.....)

44. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 3-6개월의 선행예측기간(lead-time)은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

45. 44번 문항에서 예측정보의 선행예측기간에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택하여 주십시오.
 ① 6-9개월 ② 9-12개월 ③기타(.....)

46. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 사용하고 있는 변수를 모두 선택하여 주십시오.
 강수 온도 기타(.....)

47. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 장기 예측정보의 기상변수는 충분한가요?
 ① 매우 충분 ② 충분 ③ 보통 ④ 부족 ⑤ 매우 부족

48. 47번 문항에서 예측정보의 제공되는 변수에 대해 "부족" 또는 "매우 부족"을 선택하신 경우, 원하시는 기상변수를 말씀해 주십시오.

49. 예측정보를 어떤 방법으로 받아 보고 있나요?
 ① 이메일 ② 웹페이지(회원전용) ③ 기타(.....)

50. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 예측정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러운가요?
 ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

51. 50번 문항에서 정보접근성에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우 이유를 말씀해 주시기 바랍니다.

	<p>52. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우, 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 예측정보의 신뢰성 향상에 도움이 된다고 생각하십니까? ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다</p> <p>53. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 장기예측정보의 예측 결과에 대한 예측신뢰도는 어떻다고 생각하나요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다</p> <p>54. 53번 문항에서 예측신뢰도에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 예측정보를 신뢰하기 위해 최소한 요구되는 관측자료와 예측자료 간의 결정계수(R²)의 범위를 선택해 주세요. ① 0.10 < R² ≤ 0.16 ② 0.16 < R² ≤ 0.25 ③ 0.25 < R² ≤ 0.36 ④ 0.36 < R² ≤ 0.49 ⑤ 0.49 < R² ≤ 0.64 ⑥ 0.64 < R² ≤ 0.81 ⑦ R² > 0.81</p> <p>55. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 장기예측정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다</p> <p>56. 55번 문항에서 사용자편의성에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 예측자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서 <input type="checkbox"/> 예측자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서 <input type="checkbox"/> 예측자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워서 <input type="checkbox"/> 기타(.....)</p> <p>57. APEC기후센터(APCC)에서 제공하는 장기 예측정보를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다</p> <p>58. 57번 문항에서 의사결정지원성에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 만약 활용예측정보가 제공된다면 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요? ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다</p>
2-2	<p>APCC MME 이외의 장기예측 자료를 사용한 경험이 있는 경우에 한함.</p>
	<p>59. 사용해 보았거나 사용하고 계신 장기 예측정보를 말씀해 주시기 바랍니다. (.....)</p>

	<p>60. 장기 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우 예측정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? (가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오) ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다</p> <p>61. 사용해 보신 장기 예측정보의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 1시간간격 자료 <input type="checkbox"/> 1일간격 자료 <input type="checkbox"/> 7일간격 자료 <input type="checkbox"/> 10일간격 자료 <input type="checkbox"/> 월간격 자료 <input type="checkbox"/> 계절(seasonal) 자료 <input type="checkbox"/> 기타(.....)</p> <p>62. 사용해 보신 장기 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요? ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족</p> <p>63. 62번 문항에서 예측정보의 시간간격에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택하여 주십시오. ① 1시간간격 자료 ② 1일간격 자료 ③ 7일간격 자료 ④ 10일간격 자료 ⑤ 월간격 자료 ⑥ 계절(seasonal) 자료 ⑦ 기타(.....)</p> <p>64. 사용해 보신 장기 예측정보의 선행예측기간(lead-time)을 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 1-3개월 <input type="checkbox"/> 4-6개월 <input type="checkbox"/> 7-9개월 <input type="checkbox"/> 10-12개월</p> <p>65. 사용해 보신 장기 예측정보의 선행예측기간(lead-time)은 만족스러운가요? ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족</p> <p>66. 65번 문항에서 예측정보의 선행예측기간에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택하여 주십시오. ① 1-3개월 ② 4-6개월 ③ 7-9개월 ④ 10-12개월 ⑤ 기타(.....)</p> <p>67. 사용해 보신 장기 예측정보의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 강수 <input type="checkbox"/> 최고온도 <input type="checkbox"/> 최저온도 <input type="checkbox"/> 평균온도 <input type="checkbox"/> 일사양 <input type="checkbox"/> 풍속 <input type="checkbox"/> 상대습도 <input type="checkbox"/> 기타(.....)</p> <p>68. 사용해 보신 장기 예측정보의 제공되고 있는 변수는 충분한가요? ① 매우 충분 ② 충분 ③ 보통 ④ 부족 ⑤ 매우 부족</p> <p>69. 68번 문항에서 예측정보의 제공되는 변수에 대해 "부족" 또는 "매우 부족"을 선택하신 경우, 원하시는 기상변수를 말씀해 주십시오. -----</p> <p>70. 사용해 보신 장기 예측정보는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 이메일 <input type="checkbox"/> 웹페이지(회원 전용) <input type="checkbox"/> 웹페이지(일반 공개) <input type="checkbox"/> FTP <input type="checkbox"/> 모바일 App <input type="checkbox"/> 기타(.....)</p>
--	---

71. 사용해 보신 예측정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러우신가요? ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족
72. 71번 문항에서 정보접근성에 대해 "불만족" 또는 "매우 불만족"을 선택하신 경우 이유를 말씀해 주시기 바랍니다. -----
73. 사용해 보신 장기 예측정보의 예측신뢰도는 어떻다고 생각하나요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
74. 73번 문항에서 예측신뢰도에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 예측정보를 신뢰하기 위해 최소한 요구되는 관측자료와 예측자료 간의 결정계수(R^2)의 범위를 선택해 주세요. ① $0.10 < R^2 \leq 0.16$ ② $0.16 < R^2 \leq 0.25$ ③ $0.25 < R^2 \leq 0.36$ ④ $0.36 < R^2 \leq 0.49$ ⑤ $0.49 < R^2 \leq 0.64$ ⑥ $0.64 < R^2 \leq 0.81$ ⑦ $R^2 > 0.81$
75. 73번 문항에서 예측신뢰도에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까? ① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요 ⑤ 매우 불필요
76. 사용해 보신 기상/기후 예측정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
77. 76번 문항에서 사용자편의성에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요. <input type="checkbox"/> 예측자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서 <input type="checkbox"/> 예측자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서 <input type="checkbox"/> 예측자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워져서 <input type="checkbox"/> 기타(-----)
78. 사용해 보신 장기 예측정보를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
79. 78번 문항에서 의사결정지원성에 대해 "낮다" 또는 "매우 낮다"를 선택하신 경우, 만약 확률예측정보가 제공된다면 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요? ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다

2-3	장기예측정보를 사용해 본 경험이 없는 경우에 한함.
80.	<p>장기예측정보를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오.</p> <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 예측정보가 존재하지 않아서 <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 필요한 변수가 제공되지 않아서 <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 예측정보에 접근할 수 없어서(접근성) <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 예측정보의 신뢰도가 낮아서(신뢰성) <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 수문/수질 분석에 바로 사용이 불가능하거나 추가적인 가공 절차가 어려워서(공간적, 시간적 규모의 차이, 자료 포맷 등 사용자편의성) <input type="checkbox"/> 직·간접적으로 필요하나 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서(의사결정지원성)
81.	<p>장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 예측정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? (가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오) ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다</p>
82.	<p>장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오. ① 1시간간격 자료 ② 1일간격 자료 ③ 7일간격 자료 ④ 10일간격 자료 ⑤ 월간격 자료 ⑥ 계절(seasonal) 자료</p>
83.	<p>장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택해 주십시오. ① 1-3개월 ② 4-6개월 ③ 7-9개월 ④ 10-12개월</p>
84.	<p>장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오. <input type="checkbox"/> 강수 <input type="checkbox"/> 최고온도 <input type="checkbox"/> 최저온도 <input type="checkbox"/> 평균온도 <input type="checkbox"/> 일사량 <input type="checkbox"/> 풍속 <input type="checkbox"/> 상대습도 <input type="checkbox"/> 기타(-----)</p>
85.	<p>장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오. ① 이메일 ② 웹페이지(회원 전용) ③ 웹페이지(일반공개) ④ FTP ⑤ 모바일 App ⑥ 기타(-----)</p>
86.	장기 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble)

MME]이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요 ⑤ 매우 불필요

87. 장기 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률예측정보의 제공이 도움이 될거라 생각하십니까?

- ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다

<3 기후변화 시나리오 자료 수요조사>

- 현재 제공되는 기후변화 시나리오 정보는 기상청에서 제공하는 한반도 중심의 시나리오 자료와 전 지구 기후변화 시나리오 산출을 위한 국제사업인 CMIP5 (the phase five of the Coupled Model Intercomparison Project)에서 취합되어 Earth System Grid Federation(ESGF)을 통해 제공되고 있는 전 지구 자료가 있습니다.
- 기상청 한반도 자료: <http://www.cimete.go.kr/home/bbs/bst.php?bname=scenario>
- CMIP5전지구 자료: <http://pcmdi9.llnl.gov/esgf-web-fe/>

88. 기후변화 시나리오 자료가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마나 많은 연관성을 가지고 있나요? (**현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오**)

- ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
- ⑥ 없다 ("없다"를 선택하신 경우, 설문조사가 끝났습니다. 설문에 의하여 주셔서 감사합니다)

89. 기후변화 시나리오 자료가 제공되는 경우 현재 수행하고 있는 업무에 어떻게 활용될 수 있는지 말씀해 주시기 바랍니다. (**현재 상황이 아닌 가능성을 말씀해 주십시오**)

90. 기후변화 시나리오 자료를 사용한 경험이 있거나 또는 현재 사용하고 있는지요?

- ① 예 (3-1로 이동, 91번 문항) ② 아니오 (3-2로 이동, 111번 문항)

3-1 기후변화정보를 사용하고 있거나 사용한 경험이 있는 경우에 한함.

91. 사용해 보았거나 사용하고 계신 기후변화 시나리오 자료를 말씀해 주시기 바랍니다. (-----)

92. 기후변화 시나리오 자료를 현재 활용하고 계신 경우 자료의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? (**가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오**)

- ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다

93. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요?

- 3시간간격 자료 1일간격 자료 7일간격 자료 10일간격 자료
- 월간격 자료 기타(-----)

94. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?

- ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

95. 94년 문항에서 시나리오 자료의 시간간격에 대해 “불만족” 또는 “매우 불만족”을 선택하신 경우, 원하시는 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택하여 주십시오. ①1시간간격 자료 ②1일간격 자료 ③7일간격 자료 ④10일간격 자료 ⑤월간격 자료 ⑥기타(.....)
96. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 가장 먼 미래예측기간은? ① 30년 이내 ② 31-60년 ③ 61-90년 ④ 91년 이상
97. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 미래예측기간은 만족스러운가요? ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족
98. 97년 문항에서 예측정보의 선행예측기간에 대해 “불만족” 또는 “매우 불만족”을 선택하신 경우, 원하시는 가장 필요한 미래예측기간을 선택하여 주십시오. ① 30년 이내 ② 31-60년 ③ 61-90년 ④ 91년 이상
99. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요. □ 강수 □ 최고온도 □ 최저온도 □ 평균온도 □ 일사량 □ 풍속 □ 상대습도 □ 기타(.....)
100. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 제공되고 있는 변수는 충분한가요? ① 매우 충분 ② 충분 ③ 보통 ④ 부족 ⑤ 매우 부족
101. 100년 문항에서 기후변화 시나리오 자료의 제공되는 변수에 대해 “부족” 또는 “매우 부족”을 선택하신 경우, 원하시는 기상변수를 말씀해 주십시오.
102. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요. □ 이메일 □ 웹페이지(회원전용) □ 웹페이지(일반공개) □ FTP □ 모바일 App □ 기타(.....)
103. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러운가요? ① 매우 만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족
104. 103년 문항에서 정보접근성에 대해 “불만족” 또는 “매우 불만족”을 선택하신 경우 이유를 말씀해 주시기 바랍니다.

105. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 신뢰도는 어떻다고 생각하나요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
106. 105년 문항에서 신뢰도에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 기후변화 시나리오 자료의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까? ① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요 ⑤ 매우 불필요
107. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
108. 107년 문항에서 사용자편의성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요. □ 시나리오 자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서 □ 시나리오 자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서 □ 시나리오 자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워서 □ 기타(.....)
109. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요? ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
110. 109년 문항에서 의사결정지원성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 만약 기후변화 시나리오 자료의 확률기반 정보가 제공된다면 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요? ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다
3-2 기후변화정보를 사용해 본 경험이 없는 경우에 한함.
111. 기후변화 시나리오 자료를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오. □ 직간접적으로 필요하나 시나리오 자료가 존재하지 않아서 □ 직간접적으로 필요하나 필요한 변수가 제공되지 않아서 □ 직간접적으로 필요하나 시나리오 자료에 접근할 수 없어서(접근성) □ 직간접적으로 필요하나 시나리오 자료의 신뢰도가 낮아서(신뢰성) □ 직간접적으로 필요하나 수문/수질 분석에 바로 사용이 불가능하거나 추가적인 가공 절차가 어려워(공간적, 시간적 규모의 차이, 자료 포맷 등 사용자편의성) □ 직간접적으로 필요하나 시나리오 자료를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서(의사결정지원성)

112. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 시나리오 자료의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요? **(가능성이 아닌 현재 상황을 말씀해 주십시오)**
 ① 매우 높다 ② 높다 ③ 보통이다 ④ 낮다 ⑤ 매우 낮다
113. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오.
 ① 1시간간격 자료 ② 1일간격 자료 ③ 7일간격 자료 ④ 10일간격 자료
 ⑤ 월(monthly) 자료 ⑥ 기타(-----)
114. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 시나리오 자료의 가장 필요한 미래예측기간을 선택해 주십시오.
 ① 30년 이내 ② 31-60년 ③ 61-90년 ④ 91년 이상
115. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오.
 강수 최고온도 최저온도 평균온도 일사량
 풍속 상대습도 기타(-----)
116. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오.
 ① 이메일 ② 웹페이지(회원전용) ③ 웹페이지(일반공개) ④ FTP
 ⑤ 모바일 App ⑥ 기타(-----)
117. 기후변화 시나리오 자료의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까?
 ① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요 ⑤ 매우 불필요
118. 기후변화 시나리오 자료를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률기반 정보 제공이 도움이 될거라 생각하십니까?
 ① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 아니다 ⑤ 매우 아니다

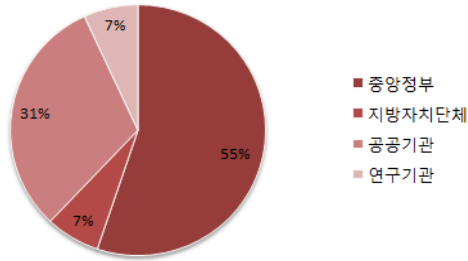
설문에 응해 주셔서 대단히 감사합니다.

2. 기후정보의 사용자 수요 조사 결과

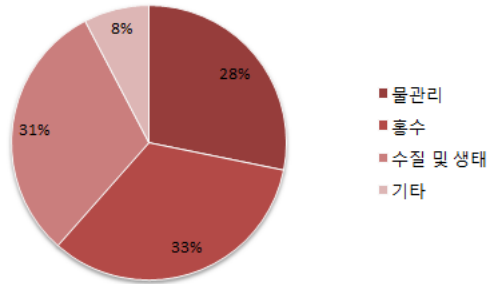
국내 물관련 72개 기관/부서의 전문가를 대상으로 설문을 실시한 결과 아래와 같이 29명이 응답하여 40.3%의 회수율의 보였다.

응답기관: 수자원공사(중부통합물관리센터, 낙동강중부물관리센터, 한강통합물관리센터, 금강통합물관리센터), 한국농어촌공사(수자원운영처, 전북지역본부, 전남지역본부, 농어촌연구원), 한국수력원자력(수력양수운영팀), 국립환경과학원(유역총량연구과, 물환경평가연구과, 낙동강물환경연구소, 한강물환경연구소), 서울상수도사업본부(수질과), 한강홍수통제소(예보통제과, 하천정보센터), 금강홍수통제소(예보통제과), 낙동강유역환경청(유역계획과), 대구지방환경청(수질관리과), 원주지방환경청(수질총량관리과), 환경부(수생태보전과, 기후대기정책과), 국토교통부(수자원정책과, 하천운영과, 수자원개발과, 하천계획과, 친수공간과), 부산시청(기후변화대응), 기타(서울대학교)

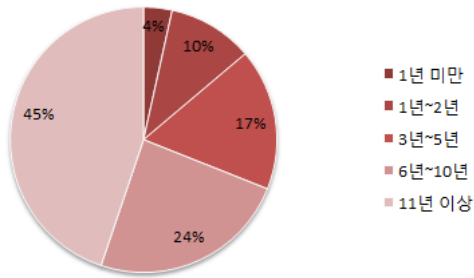
2. 귀하가 근무하고 있는 기관의 성격을 선택하여 주십시오.



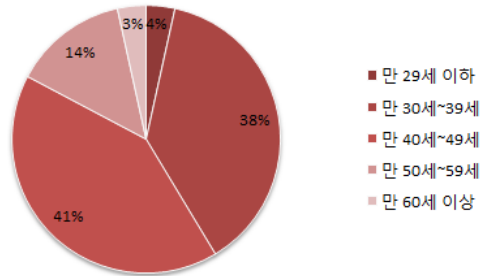
3. 담당업무 분야



4. 수자원/수질분야에서의 경력기간을 선택해 주십시오.



1. 귀하의 연령을 선택해 주십시오.

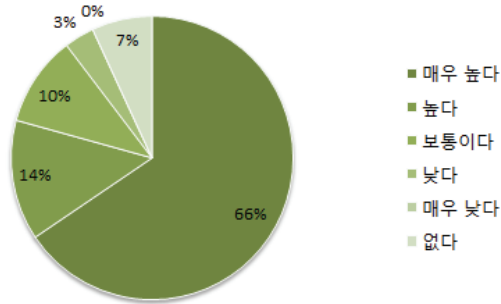


29명의 전체 응답자 중에서 55%가 중앙정부에, 공공기관이 31%, 지방자치단체 및 연구기관이 각각 7%의 비중을 보였다. 담당업무 분야의 경우 물관리, 홍수, 수질 및 생태가 각각 28%, 33%, 31%로 고른 분포를 보였고, 기타(8%)는 기후변화 및 친수사업(토지 개발)을 포함하고 있다.

경력기간은 11년 이상이 45%로 가장 많았고, 6-10년(24%), 3-5년(17%), 1-2년(10%), 1년 미만(4%)로 3년 이상의 경력자가 80%이상을 차지하는 것으로 나타났다. 연령은 79%가 대부분 30-49세 사이에 분포하는 것으로 조사되었다.

2.1 단기/중기 예측 정보 수요조사

5. 단기/중기 예측정보가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마 많은 연관성을 가지고 있나요?



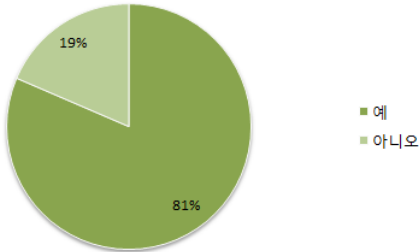
전체 설문에 응한 29명 중에서 업무에 단기 예측 정보의 업무와의 연관성(향후 가능성 포함)의 경우 2명이 전혀 없음으로 선택하였고 80%가 매우 높음(66%) 또는 높음(14%)을 선택하였다. 단기/중기 예측 정보의 활용 가능 분야는 아래 표와 같다.

기관	활용가능 분야
수자원 공사	<ul style="list-style-type: none"> · 단기/중기 예측 자료는 댐 저수지 운영 시 이수와 치수에 모두 활용 중 · 낙동강수계 다기능보 운영실무자로서, 강우예측 정보를 활용 관리수위 조정, 수질(조류, 녹조 등) 대응 등의 업무에 유용하게 활용 · 업무상 하천 내 댐 및 보의 운영 업무를 수행하고 있어 단기/중기 예측 정보를 통해 하천유량 변화를 사전 분석하여 댐 및 보 수위 및 방류량 조절계획 수립에 활용 · 탄력적 저수지 운영을 위한 입력 자료 활용(치수(홍수) 관리)
농어촌 공사	<ul style="list-style-type: none"> · 단기/중기정보는 이수 측면에서는 예측 정보에 따라 급수량 및 유입수량에 대한 예측이 가능하며 예측된 정보로 지역별 공급량 조절에 활용 · 한국농촌공사에서 관리중인 저수지의 관리와 관련하여 가뭄 시에는 예보를 활용하여 확보 가능한 용수량이 얼마인지를 산정하고 홍수 시에는 예보를 활용하여 적정수위만큼 저수지 수위를 조절하는데 기상정보 활용 · 농업용수의 확보와 공급이 강수와 밀접한 연관성이 있음 · 농업용수 공급량 수준결정에 참고
한국수력 원자력	<ul style="list-style-type: none"> · 단기 1 중기 조수 댐운영에 적용가능, 단기는 6 개월 이내의 저수지예측에 중기는 발전운영계획 수립에 활용가능
국립환경 과학원	<ul style="list-style-type: none"> · 수질오염총량제 관련 하천 모니터링 시 예보 사항을 고려하여 측정 · 4 대강수계 주요구간 수질예보 시 사용, 단기 기상예측 기반 수질개선 모의 시나리오 수행 시 입력조건으로 사용 · 기상정보의 예측 값을 수문모형에 적용하여 유역에서 발생하는 유출량 등 다양한 수문정보를 취득가능 · 온도, 강수는 조류(algae)의 발생 및 성장과 연관이 많은 기상변수로 이들과 조류발생간의 상관관계를 이용하여 조류발생을 선제적으로 예측할 수 있다면 조류모니터링 강화, 대응책 마련 등의 조치를 신속하게 취할 수 있음
상수도 사업본부	<ul style="list-style-type: none"> · 정수처리에 있어서는 상수원수의 탁도, 암모니아성질소, 조류발생 등이 매우 중요하므로 수질예측이 가능할 경우 사전에 필요한 약품확보 및 처리공정을 준비할 수 있으므로 매우 유용하게 활용할 수 있음
홍수 통제소	<ul style="list-style-type: none"> · 자연재해대책기간동안 풍수해 대비를 위한 기초자료로 활용 · 홍수예보 및 댐-보방류 승인, 강수예보 등에 활용 · 홍수예보, 강수예보, 수문조사시설 관리, 댐-보 방류 승인

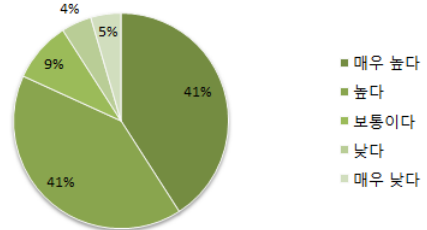
기관	활용가능 분야
유역/지방 환경청	<ul style="list-style-type: none"> · 하절기 녹조발생에 대비한 사전 수질관리대책 마련 및 대책 추진에 반영(녹조발생예측) · 녹조상황에 대한 향후 진행상황을 예측하여 대응 가능 · 업무(비점오염원) 특성 상 강우 후의 시설 운영·관리 상태 점검 시 활용 가능할 것으로 판단됨(비점오염원은 불특정 장소에서 불특정하게 배출되는 오염원으로서 수질 비점오염원은 강우에 의해 발생함)
환경부	<ul style="list-style-type: none"> · 수질 및 수생태 관리는 기상현상과 매우 밀접하여 원인분석 등에 자주 활용 · 미세먼지 농도 및 이동경로
국토 교통부	<ul style="list-style-type: none"> · 홍수대비 재난방지 업무 · 단기/중기예보는 집중호우나 지열적 강우, 단시간 내 호우 예보 등으로 하천의 수위에 영향을 미칠 수 있음 · 하천공사 시행 시 강우에 따른 영향 검토 · 댐의 저수량 및 유입량 추정
부산시청, 기타	<ul style="list-style-type: none"> · 시민대상 홍보, 교육프로그램 운영, 캠페인 등 행사 진행 결정을 위해 단기 및 중기 예측 정보사용 · 환경과학원 단기 및 장기 수질예보 및 각종 수질관리 모델링에 활용

2.1.1 사용경험이 있는 경우

7. 단기/중기 예측정보를 사용한 경험이 있거나 또는 사용하고 있으신지요?

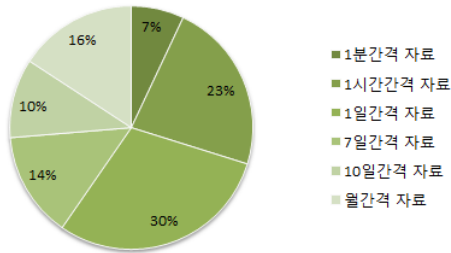


9. 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우 예측정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?

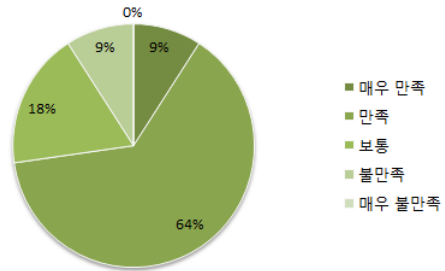


활용가능성이 전혀 없다고 응답한 2명을 제외한 27명 중에서 단기/중기 예측 정보를 사용해 본 경험이 있는 경우가 81%로 나머지 19%는 사용 경험이 없는 것으로 조사되었다. 사용경험이 있는 22명에 대한 조사에서 반면 현재 실질적으로 활용하고 있는 정도를 묻는 질문에 82%가 매우 높음(41%) 또는 높음(41%)을 선택하였다.

10. 사용해 보신 예측정보의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요?



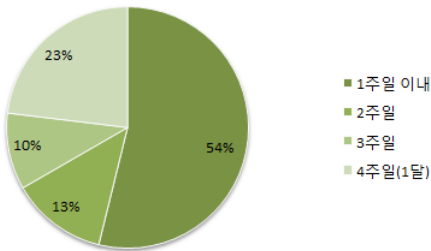
11. 사용해 보신 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?



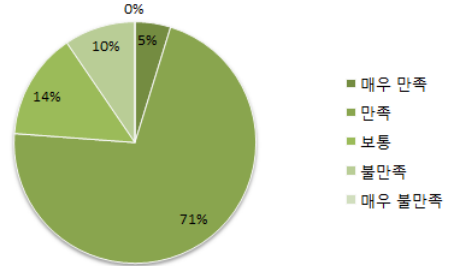
시간간격의 경우 사용경험이 있는 22명 중 1분 간격 자료 7%, 1시간 간격 자료 23%, 1일 간격 자료 30%로서 60%가 1일 간격 이하의 자료를 사용해 본 경험이 있는 것으로 나타났고, 시간간격에 대한 만족도 조사에서 73%가 매우 만족(9%) 또는 만족(64%) 의견

을 보인 반면 9%가 불만족 의견을 보였다. 불만족 의견을 보인 경우 원하는 시간간격으로는 1시간 또는 1일간격의 자료를 원하는 것으로 나타났다.

13. 사용해 보신 예측정보의 선행예측기간(lead-time)을 모두 선택해 주세요.

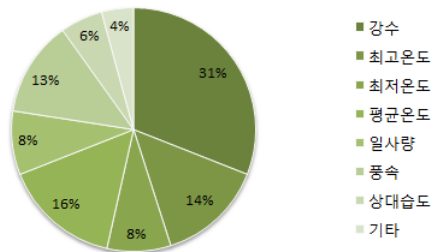


14. 사용해 보신 예측정보의 선행예측기간(lead-time)은 만족스러운가요?

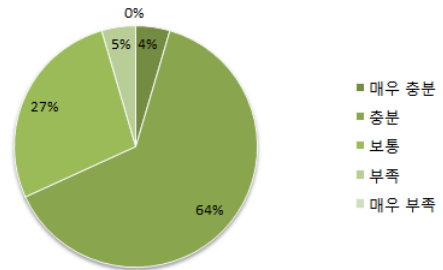


선행기간의 경우 사용경험이 있는 22명 중 54%가 1주일 이하의 선행기간을 가지는 자료를 사용해 본 경험이 있는 것으로 나타났고, 사용해 본 자료의 선행예측기간에 대해서는 76%가 매우 만족(5%) 또는 만족(71%) 의견을 보인 반면 10%가 불만족(10%) 또는 매우불만족(0%)의 의견을 보였다. 불만족 의견을 보인 경우 원하는 선행시간으로는 1주일 이내(50%) 와 한 달 이내(50%)의 선행시간을 가지는 자료를 원하는 것으로 나타났다.

16. 사용해 보신 예측정보의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요.



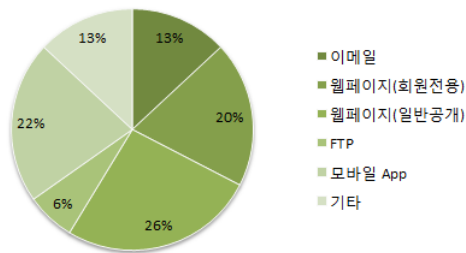
17. 사용해 보신 예측정보의 제공되고 있는 변수는 충분한가요?



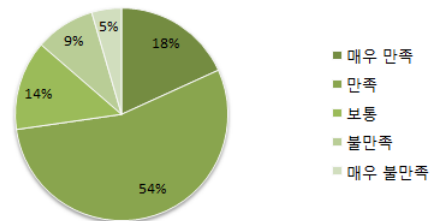
중복선택이 허용된 사용변수 항목의 경우에는 사용경험이 있는 22명 중 69%가 강수

(31%), 최고온도(14%), 최저온도(8%), 평균온도(16%)로서 강수와 온도 관련 정보를 주로 사용하고 있는 것으로 나타났으며, 사용 변수에 대해서 68%가 매우충분(4%) 또는 충분(64%) 의견을 보인 반면 5%만이 불만족(5%) 또는 매우불만족(0%)의 의견을 보였다. 불만족 의견을 보인 경우 태풍, 운량, 이슬점온도 등의 변수들을 원하는 것으로 나타났다.

19. 사용해 보신 예측정보는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요.

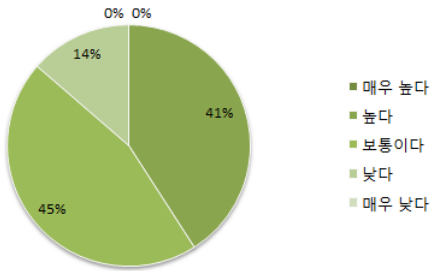


20. 사용해 보신 예측정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러운가요?

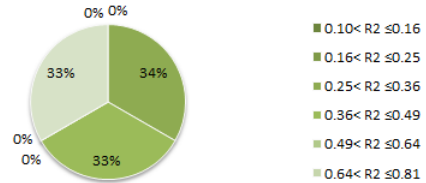


정보접근성과 관련된 질문에는 사용경험이 있는 22명 중 59%가 e-mail(13%) 또는 웹페이지(46%)를 통하여 자료를 제공받고 있는 것으로 나타났으며, 정보접근성과 관련하여 사용자의 72%가 매우 만족(18%) 또는 만족(54%) 의견을 보인 반면 14%의 사용자가 불만족(9%) 또는 매우불만족(5%)의 의견을 보였다. 불만족 의견을 보인 경우 이유로서 “기상청과 자료제공협조 시, 기상산업자와의 관계 때문에 공공기관에 가도 자료제공(FTP등)이 거의 불가능함” 이라 설명하였다.

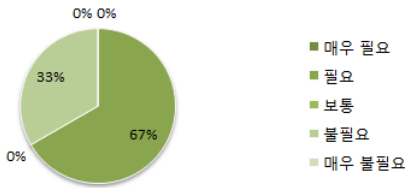
22. 사용해 보신 예측정보의 예측신뢰도는
어떻게 생각하나요?



23. 22번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다”
또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보를
신뢰하기 위해 최소한 요구되는 관측자료와
예측자료 간의 결정계수(R²)의 범위를 선택해
주세요.

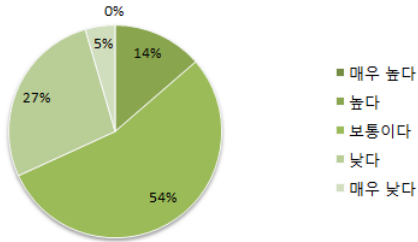


24. 22번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다”
또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보의
신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-
Model Ensemble, MME)이 필요하다고
생각하십니까?

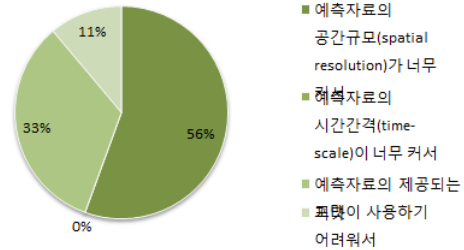


예측 정보의 신뢰도에 대해서는 사용경험이 있는 22명 중 높다(41%) 또는 보통이다(45%)라고 응답하였다. “낮다”라고 응답한 3명(14%)에 대하여 예측 정보를 신뢰하기 위해 최소로 요구되는 결정계수에 대한 질문에 대해서는 34%가 $0.25 < R^2 < 0.36$, 33%가 $0.36 < R^2 < 0.49$ 의 범위를 나머지 33%의 경우는 $R^2 > 0.81$ 의 요구를 보여주었다. 신뢰도에 대해 낮게 평가한 3명의 경우 신뢰도 향상을 위한 다중모형앙상블의 필요성에 대해서는 67%가 필요하다고 답한 반면에 33%는 불필요하다고 응답하였다.

25. 사용해 보신 기상/기후 예측정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요?

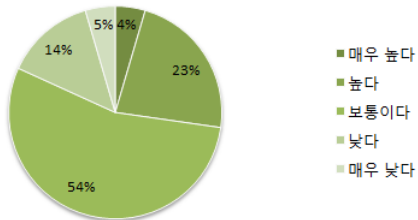


26. 25번 문항에서 사용자편의성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요.

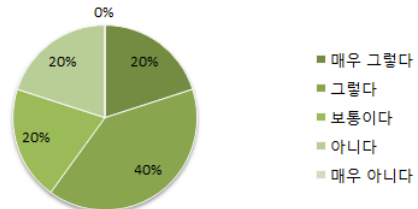


예측 정보를 추가적인 가공 없이 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자 편의성에 대한 질문에는 14%만이 높다고 긍정적인 반응을 보인 반면에 보통이다(54%), 낮다(27%), 매우낮다(5%)로 전체적으로 예측 정보의 활용에 있어서 어려움이 존재하는 것으로 나타났다. 편의성이 낮다 또는 매우낮다라고 응답한 7명의 경우 이유로서 56%가 예측 자료의 공간규모를 33%의 경우는 예측 자료의 포맷을 이유로 설명하였다.

27. 사용해 보신 예측정보를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요?



28. 27번 문항에서 의사결정지원성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 확률예측정보의 제공이 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요?

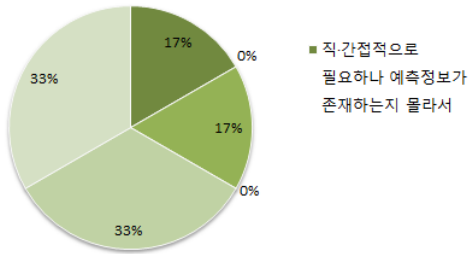


예측 정보를 추가적인 분석 없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성에 대한 질문에는 54%가 보통이다 라고 응답하였고, 27%가 긍정적으로 매우 높다(4%) 또는 높다(23%)라고 응답하였고, 나머지 19%가 낮다(14%) 또는 매우 낮다(5%) 라고 부정적으로 응답하였다. 부정적으로 응답한 4명의 경우 확률예측 정보 제공이 의사결정에 도움이 되는냐는 질문에 60%가 매우 만족(20%) 또는 만족

(40%) 의견을 보인 반면, 20%가 아니다(20%) 또는 매우 아니다(0%)라고 부정적으로 응답하여 확률예보의 활용에 대한 긍정적인 반응을 보였다.

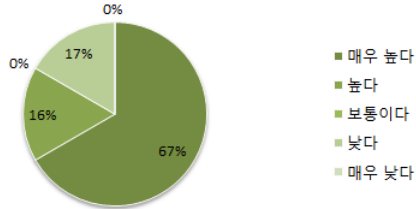
2.1.2 사용경험이 없는 경우

29. 단기/중기 예측정보를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오.



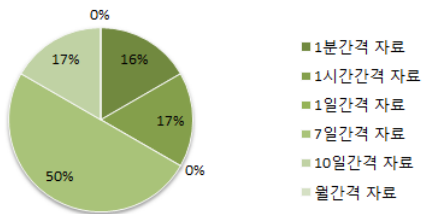
단기/중기 예측 자료를 사용경험이 없는 5명의 경우 예측 자료를 사용하지 않는 이유에 대하여 “예측 정보가 존재하는지 몰라서” (17%), “예측 정보에 접근할 수 없어서: 접근성” (17%), “공간의적, 시간적 규모의 차이, 자료 포맷 등 사용자편의성” (33%), “의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서: 의사결정지원성” (33%)의 문제를 이유로 제시하였다.

30. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 예측정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?



예측 정보의 제한 요인들이 해결될 경우 예측 정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성을 묻는 질문에 83%가 매우 높다(67%) 또는 높다(16%)라고 응답하였으며, 17%가 낮다(17%) 또는 매우 낮다(0%)를 선택하였다. 이는 사용해 본 경험이 있는 대상자들의 82%와 비슷한 경향을 보여 주고 있다.

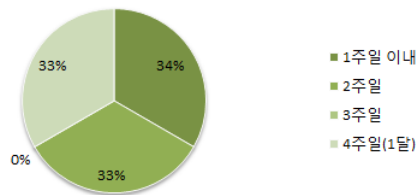
31. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오.



예측 정보의 제한 요인들이 해결될 경우 예측 정보의 가장 적합한 시간간격으로는 83%가 1분 간격(16%), 1시간간격(17%), 1일 간격(50%)를 선택해 대부분의 경우 1일간격 이하의 자료를 원하는 것으로 나타났다.

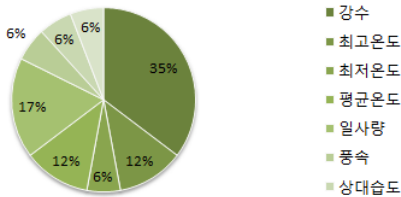
예측 정보의 제한 요인들이 해결될 경우 예측 정보의 가장 적합한 선행예측기간으로

32. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택해 주십시오.

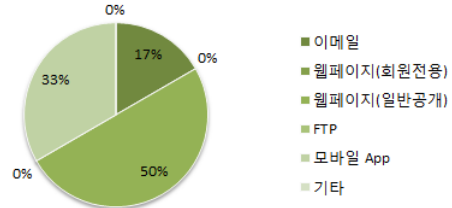


는 1주일이내(33%), 2주일이내(33%), 4주일이내(33%)의 분포를 보였다.

33. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오.



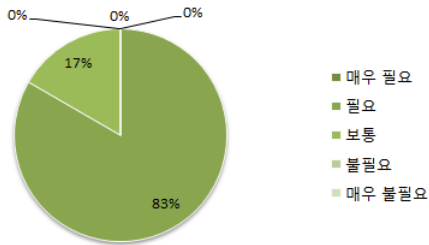
34. 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오.



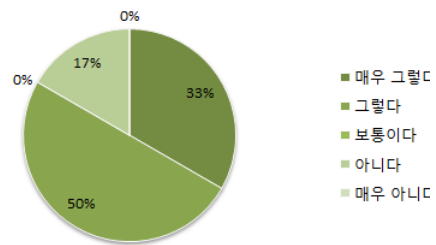
예측 정보의 제한 요인들이 해결될 경우 필요한 예측 정보의 변수들에 대한 질문에는 강수(35%), 온도 관련(30%)로 강수와 온도에 대한 수요가 전체의 65%를 차지하여 주요 변수로 제시되었다. 이외에 일사량(17%), 풍속(6%), 상대습도(6%), 기타(6%)를 보였으며, 기타 변수들로는 “태풍정보 : 태풍에 따른 강수량 예측” 정보가 포함되어 있다.

예측 정보의 제한 요인들이 해결될 경우 가장 적합하다고 판단되는 정보전달 방법에 대해서는 50%가 일반에 공개된 웹페이지를 선택하였고, FTP(33%), e-mail(17%) 순으로 나타났다.

35. 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까?



36. 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률예측정보의 제공이 도움이 될까라 생각하십니까?

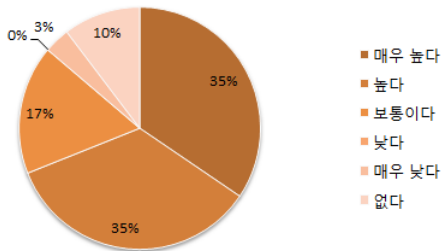


예측 정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블이 필요한지를 묻는 질문에 83%가 필요하다고 응답하였고 나머지도 보통(17%)라고 응답하였다.

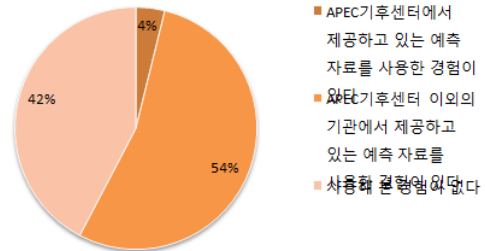
예측 정보의 의사결정 및 정책결정을 위해서 확률예측 정보의 필요성을 묻는 질문에 83%가 매우그렇다(33%) 또는 그렇다(50%)라고 응답하였다.

2.2 장기 예측 정보수요조사

37. 장기예측정보가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마 많은 연관성을 가지고 있나요?



39. 장기예측정보를 사용한 경험이 있거나 사용하고 있는지요?



전체 설문에 응한 29명 중에서 장기 예측 정보의 업무와의 연관성(향후 가능성 포함)의 경우 3명(10%)이 전혀 없음으로 선택하였고 70%가 매우높음(35%) 또는 높음(35%)를 선택하였다. 보통이다(17%), 낮다(0%), 매우낮다(3%)를 포함하여 부정적인 응답은 20%를 차지하였다. 기관별 장기 예측 정보의 활용 가능 분야는 아래 표와 같이 조사되었다.

기관	활용가능 분야
수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측 정보는 저수지 운영(이수분야)에 필요한 정보임, 장래 기상 전망과 단기기상전망을 참고하여 저수지의 운영수위를 결정 · 일반적으로 예년과 비교하는 기상추이 정도에 활용가능(내부 보고용), 실무에서는 장기 예측 정보 활용은 저조함 · 다목적댐 운영을 위해서는 장기간의 기상정보를 통해 강수량 변화를 사전에 분석하여 가뭄 등에 대비한 댐 방류량 조정에 활용 · 장기 저수지 운영 계획 수립을 위한 입력 자료 활용(이수 관리)
농어촌공사	<ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측 정보를 활용 물수지(수문)분석 자료로 활용 · 한국농어촌 공사에서 관리중인 저수지의 용수공급량을 장기 예측과 분석하여 최대공급가능 일수 산정 및 공급 가능량을 산정하여 그 해 수자원관리계획 수립에 활용함 · 저수지 유입량 예측에 활용 · 농업용 저수지 저수관리
한국수력원자력	<ul style="list-style-type: none"> · 연간 댐 운영에 사용가능
국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> · 3 개월 lead time 의 장기 수질예측 업무에 활용 · 수자원 분야에서 이수 목적으로 정수 시설물 관리 방안 마련 등 · 높은 수온으로 인한 조류(algae) 생장이 우려되는 여름철 조류발생을 연초에 미리 예측하는데 이용가능 함. 그러나 조류생장에 영향을 미치는 다른 요인들이 너무 많고 이들이 포함하는 불확실성 또한 크기 때문에 단기 예측 정보에 비해 활용도가 떨어짐
상수도사업본부	<ul style="list-style-type: none"> · 장기 예측이 비교적 정확하다면 공공기관의 특성상 소요 약품비의 예산 편성 등에 정확성을 기할 수 있고 상수원수의 수질 및 수량을 전망할 수 있어 정수처리에 사전 대응할 수 있음
홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> · 월·분기·연간 용수공급 가능성, 유출상황 등 수자원 현황 및 전망의 기초 자료로 활용 · 댐-보 연계운영 및 하천수 일시적 사용허가 등에 활용 · 하천유량 연계 운영계획 수립(년, 분기, 월 단위)
유역/지방환경청	<ul style="list-style-type: none"> · 조류발생에 대비한 수질개선 대책 마련, 중권역 목표수질 달성방안 참고 · 녹조변화 상황에 대한 예측 자료로 활용하여 상황별 대응

기관	활용가능 분야
환경부	<ul style="list-style-type: none"> 강수, 일사량, 기온 등을 장기 예측하여, 녹조 등 수질관리, 수생태 변화 양상 등 사전 예측 대기오염도 예측 등
국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> 수자원 정책 수립무 여름철 호우나 장마 등의 예측 자료로 홍수 등에 사전 대비 가능 하천공사 시행시기 검토 기온, 강수량, 하천수위, 하천유량, 수온 등 기상, 수문조사 자료, 유역 내 강우량, 댐유입 홍수량, 유출량 등 설계홍수량 결정, 배수로 설계
부산시청, 기타	<ul style="list-style-type: none"> 부산지역 소재 기업의 생산성 향상을 위한 맞춤형 기상정보제공 시스템 구축 시 활용 가능성 있음 앞으로 유역의 수질관리에 있어 장기기후예보가 있으면 사전 예방을 통한 수질관리 효율성 향상 가능

장기 예측 정보의 이후 질문에 응답한 26명의 대상자들 중에서 APCC의 예측 자료를 활용해 본 경험이 있는 경우는 1명(4%)으로 나타났고, 기타 예측 자료를 활용해 본 경험이 있는 경우는 14명(54%), 사용해 본 경험이 없는 경우는 11명(42%)로 조사되었다. 이는 장기 예측 정보를 활용해 본 경험이 있는 경우 58%로 과반수이상이지만 단기 예측 정보의 81%와 비교해서는 낮은 수치를 보여 주고 있다.

2.2.1 APCC자료 사용경험

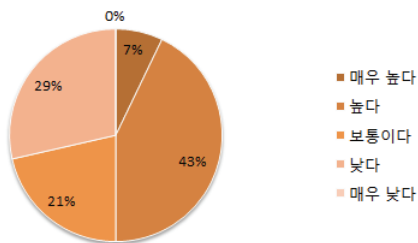
APCC에서 제공하는 장기 예측 자료를 사용하고 있는 곳은 기타(서울대)이었으며 설문조사 항목에 대한 응답은 아래와 같았다.

- 예측 정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성: 매우 높다
- 장기 예측 정보에 대하여 알게 된 계기: 기타(보고서)
- 월(monthly)별로 제공되고 있는 예측 정보의 시간간격(time-scale)에 대한 만족도: 보통이다

- 장기 예측 정보의 사용하고 있는 변수들로는 강수 및 온도 자료를 사용하고 있으며, 제공되고 있는 기상변수의 경우 부족하다고 응답하였고, 추가적으로 필요한 변수들로는 상대습도, 일사량, 풍속, 풍향을 제시하였다.
- 예측 정보를 어떤 방법으로 받아 보고 있는지에 대한 질문에는 기타(보고서)라고 응답하였으며, 예측 정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성에 대해서는 보통이라고 응답하였다.
- 장기 예측 정보의 예측 결과에 대한 예측신뢰도에 대한 질문에는 보통이다 라고 응답하였고, 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 예측 정보의 신뢰성 향상에 도움이 된다고 생각하십니까 라는 질문에는 매우 그렇다 라고 응답하였으며,
- 장기 예측 정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성에 대해서는 높다 라고 선택하였고,
- 장기 예측 정보를 추가적인 분석 없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성에 대해서도 높다 라고 선택하였다.

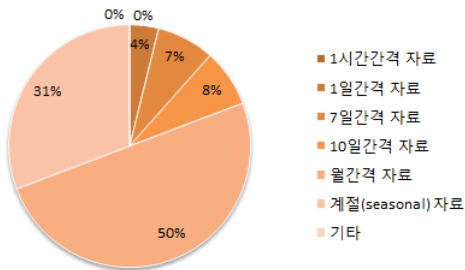
2.2.2 APCC이외의 자료 사용경험

60. 장기 예측정보를 현재 활용하고 계신 경우
예측정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은
어떠한가요?

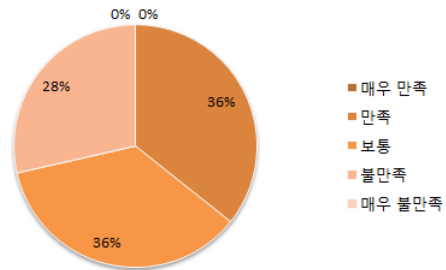


APCC에서 제공하고 있는 자료 이외의 장기 예측 자료를 활용해 본 경험이 있는 경우는 14명의 경우에 주로 기상청의 1개월 또는 3개월 자료를 사용하고 있었으며 이외에도 “K-water에서 시범적으로 운영 중에 있는 장기 예측 정보” 및 “방재기상정보시스템, 기상관측공동활용시스템” 의 자료를 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 예측 정보의 업무에 있어서의 전체적인 활용성에 대한 질문에 50%가 매우 높다(7%) 또는 높다(43%)라고 응답하였고, 29%가 낮다(29%) 또는 매우 낮다(0%)를 선택하였다.

61. 사용해 보신 장기 예측정보의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요.

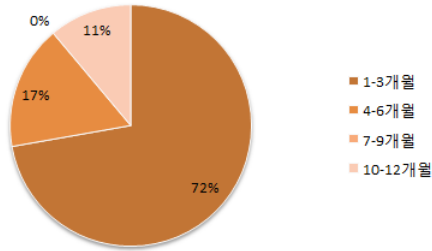


62. 사용해 보신 장기 예측정보의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?

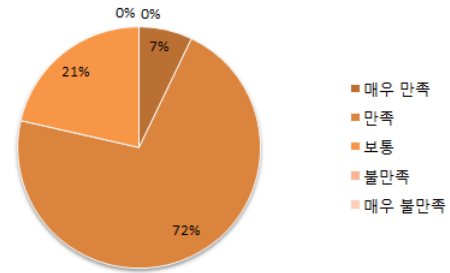


사용해 본 장기 예측 정보의 시간간격(time-scale)에 대해서는 81%가 월 간격(50%) 또는 계절자료 31(%)를 선택하였으며 1일 간격 자료를 사용해 본 경험이 있는 사용자는 4%로서 단기/중기 예측 자료의 경우 1일 간격 이하자료를 사용해 본 경험이 있는 60%와 큰 차이를 보였다. 시간간격에 대한 만족도와 관련해서는 보통이다(36%), 만족(36%), 불만족(28%)를 선택해 중립적, 긍정적, 부정적인 의견의 고르게 분포하는 경향을 보였다. 시간간격에 대해 불만족이라고 응답한 4명의 경우 요구되는 시간간격에 대한 질문에 7일 간격(25%), 10일 간격(75%)로서 1개월 간격보다 좁은 시간간격의 자료를 원하는 것으로 조사되었다.

64. 사용해 보신 장기 예측정보의
선행예측기간(lead-time)을 모두 선택해 주세요.

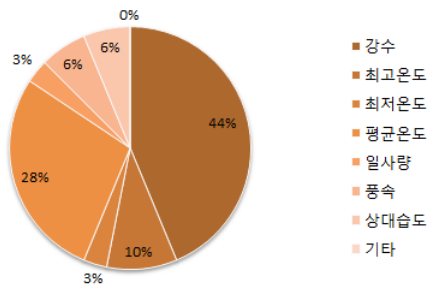


65. 사용해 보신 장기 예측정보의
선행예측기간(lead-time)은 만족스러운가요?

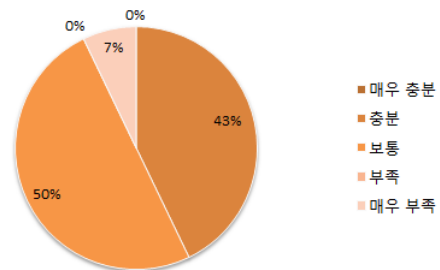


사용해 본 예측 정보의 선행예측기간(lead-time)과 관련된 질문에는 3개월 이하가 72%로 가장 많았고, 4-6개월이 17%를 차지하였으며, 10-12개월의 경우에도 11%가 사용해 본 경험이 있는 것으로 조사되었다. 선행예측기간에 대한 만족도에 대해서는 79%가 매우 만족(7%) 또는 만족(72%)를 선택하였고, 불만족 또는 매우불만족을 선택한 응답자는 없었다. 따라서 6개월이하의 선행예측기간에 대하여 전반적으로 만족하고 있는 것으로 조사되었다.

67. 사용해 보신 장기 예측정보의 기상/기후
변수를 모두 선택해 주세요.



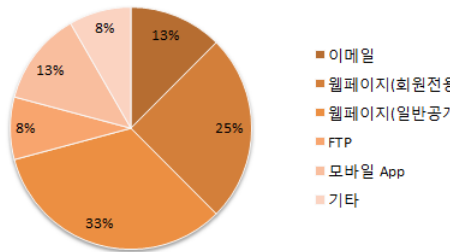
68. 사용해 보신 장기 예측정보의 제공되고 있는
변수는 충분한가요?



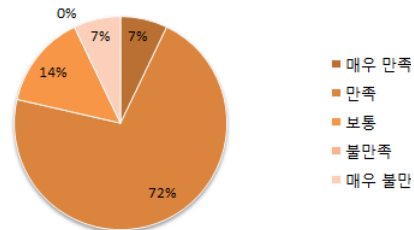
다중선택이 가능한 사용해 본 예측 정보의 기상변수에 대한 질문에는 강수가 44%로 가장 많았고, 온도 관련 변수들이 41%(최고온도: 10%, 최저온도: 3%, 평균온도: 28%)

를 차지하였다. 15%의 경우에만 일사량(3%), 풍속(6%), 상대습도(6%)의 자료를 활용해 본 경험이 있는 것으로 나타났다. 제공되는 변수에 대한 만족도에 대해서는 50%가 보통이라고 대답한 반면, 충분(43%)이라고 긍정적으로 응답한 경우가 매우부족(7%)이라고 부정적으로 응답한 경우와 비교하여 현저히 많은 것으로 나타났다. 매우부족이라고 응답한 1명의 경우에는 일사량, 풍속, 풍량, 상대습도, 증발상량, 운량 등 다양한 정보를 필요로 하는 것으로 나타났다.

70. 사용해 보신 장기 예측정보는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요.

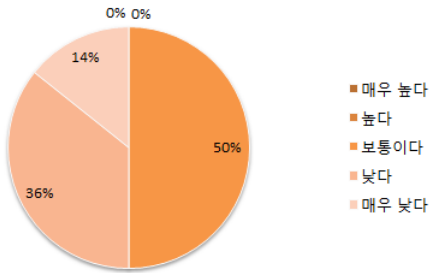


71. 사용해 보신 예측정보가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성은 만족스러운가요?

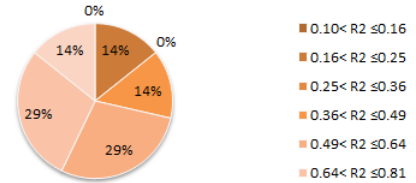


예측 정보를 받아 보는 방법으로는 웹페이지가 58%(회원전용: 25%, 일반 공개: 33%)로 가장 많은 것으로 나타났다. 기타의 경우에는 정부기관 간 자료전송시스템을 활용하는 것으로 조사되었다. 정보 접근성과 관련해서는 79%가 매우 만족(7%) 또는 만족(72%)을 선택한 반면에 매우불만족이라고 응답한 경우는 7%에 해당되어 전체적으로 정보의 접근성과 관련해서는 만족하고 있는 것으로 조사되었다. 매우불만족을 선택한 경우 “웹페이지들의 자료는 구할 수 있으나, system의 입력 자료로 사용하기 위한 ftp등의 자료 제공은 없기 때문”이라고 응답하였다.

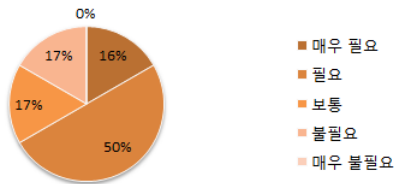
**73. 사용해 보신 장치 예측정보의 예측신뢰도는
어떻게 생각하나요?**



**74. 73번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다”
또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보를
신뢰하기 위해 최소한 요구되는 관측자료와
예측자료 간의 결정계수(R2)의 범위를 선택해
주세요.**

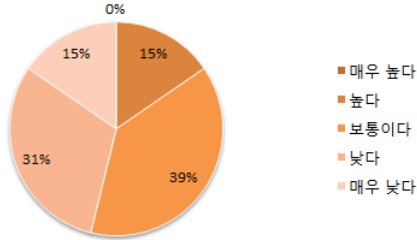


**75. 73번 문항에서 예측신뢰도에 대해 “낮다”
또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 예측정보의
신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-
Model Ensemble, MME)이 필요하다고
생각하십니까?**

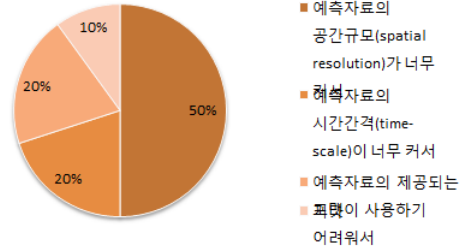


예측 정보의 신뢰도에 대한 질문에는 긍정적인 매우 높다/높다 등 긍정적인 응답은 없었으며, 보통이다가 50%로 가장 많았고, 낮다(36%) 및 매우 낮다(14%)의 부정적인 응답이 50%를 차지했다. 부정적으로 응답한 7명에 대하여 요구되는 결정계수의 경우 최소 0.16($R^2 < 0.25$ 가 14%(1명)이 있었으나 대부분의 경우 0.36이상(14%), 0.49이상(29%), 0.64 이상(29%), 0.81이상(14%)등으로 0.36이상을 필요로 하는 것으로 조사되었다. 동일하게 다중모형앙상블이 신뢰도 향상을 위해서 필요하냐는 질문에 66%가 매우필요(16%) 또는 필요(50%)한 것으로 응답하였고, 오직 17%만이 불필요하다고 응답하여 다중모형앙상블에 대한 수요가 많은 것으로 조사되었다.

76. 사용해 보신 기상/기후 예측정보를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요?

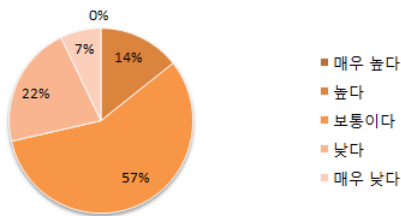


77. 76번 문항에서 사용자편의성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 해당되는 이유를 모두 선택해 주세요.

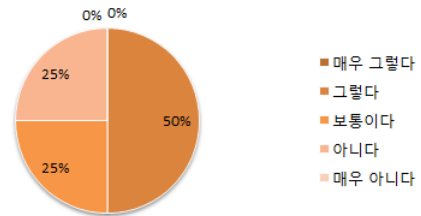


사용자 편의성과 관련된 질문에는 15%가 “높다” 라고 긍정적으로 응답한 반면에 46%가 낮다(31%) 또는 매우 낮다(15%)라고 부정적으로 응답해 아직까지는 장기 예측 자료를 수자원분야에 바로 사용하기에는 어려운 점이 있는 것으로 조사되었다. 부정적으로 응답한 6명에 대해 구체적인 이유를 질문한 결과 “예측 자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서” 라고 응답한 경우가 50%로 가장 많았고, “예측 자료의 시간간격(time-scale)이 너무 커서” 와 “예측 자료의 제공되는 포맷이 사용하기 어려워” 라고 응답한 경우가 동일하게 20%, 기타 (“수질모형으로 제시되는 기상예측 항목이 제한적이며 값의 변동이 큼”)이 10%로서 나타났다. 이는 예측 자료의 공간적/시간적 상세화가 필요하며 강수 및 온도 이외의 변수 또한 제공되어야 할 필요성이 있음을 의미한다.

78. 사용해 보신 장기 예측정보를 추가적인 분석 없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요?



79. 78번 문항에서 의사결정지원성에 대해 “낮다” 또는 “매우 낮다”를 선택하신 경우, 만약 확률예측정보가 제공된다면 의사결정 또는 정책결정에 도움이 될 수 있는지요?



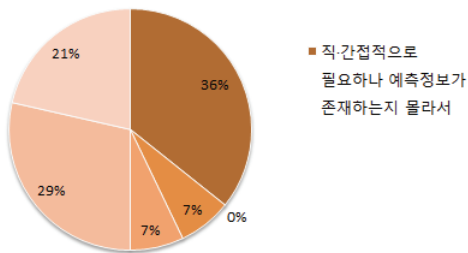
예측 정보를 추가적인 분석 없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정

도를 의미하는 의사결정지원성과 관련해서는 보통이다가 57%로 가장 많은 부분을 차지했으며, “높다”라고 긍정적으로 응답한 경우는 14%인 반면에 낮다(22%) 또는 매우 낮다(7%)라고 부정적으로 응답한 경우는 29%로서 긍정적인 응답과 비교하여 다소 높게 나타났다. 부정적으로 응답한 4명을 대상으로 확률예측 정보가 의사결정에 도움이 되는냐는 질문에 “그렇다”라고 대답한 경우가 50%, “보통이다”와 “아니다”가 25%씩으로 나타났다.

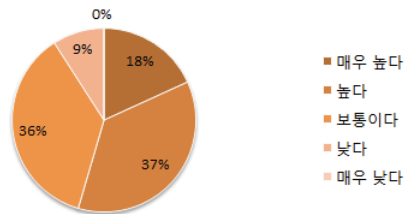
2.2.3 사용 경험이 없는 경우

장기 예측 자료를 사용해 본 경험이 없는 11명을 대상으로 조사한 설문내용은 다음과 같다.

80. 장기예측정보를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오.



81. 장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 예측정보의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?

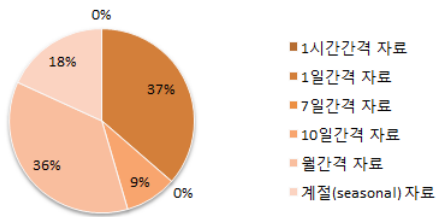


현재 장기 예측 정보를 사용하지 않고 있는 이유에 대해서는 “예측 정보가 존재하는지 몰라서”라고 응답한 경우가 36%로 가장 많았고, “바로 사용이 불가능하거나 추가적인 가공 절차가 어려워서: 사용자편의성”라고 대답한 경우가 29%, “의사결정 또는 정책 결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서: 의사결정지원성”이라고 대답한 경우가 21%를 차지했다. 반면 “예측 정보에 접근할 수 없어서: 접근성” 및 “예측 정보의 신뢰도가 낮아서: 신뢰성”은 각각 7%씩으로 비교적 낮게 조사되었다. 이는 장기 예측 정보의 활용도를 높이기 위해서는 자료에 대한 홍보와 사용자들이 쉽게 사용할 수 있도록 자료의 가공(상세화)이 필요하며, 의사결정에 활용할 수 있도록 자료를 제공해 주는 것이 중요함

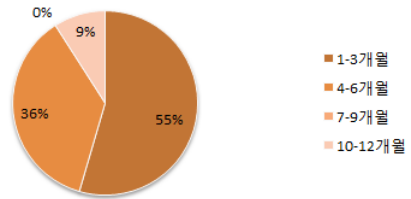
을 의미한다.

위와 같은 제반 여건들이 해결될 경우 장기 예측 정보의 현재 업무에 있어서의 활용성을 묻는 질문에는 55%가 매우 높다(18%) 또는 높다(37%)로 활용성을 높게 평가한 반면에 활용성이 낮다는 9%로서 장기 예측 자료의 활용성은 전반적으로 높게 조사되었다.

82. 장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오.



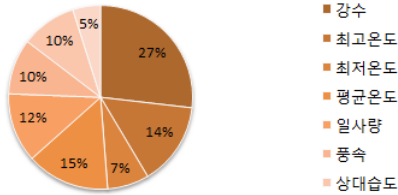
83. 장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 선행예측기간(lead-time)을 선택해 주십시오.



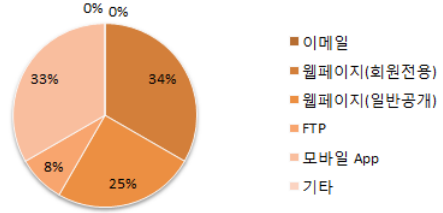
예측 정보의 가장 적합한 시간간격에 대해서는 1일 간격 자료 및 월 간격 자료가 37%, 36%로서 가장 많았고, 계절자료(18%) 및 10일 간격 자료(9%)가 그 뒤를 따랐다.

예측 정보의 가장 적합한 선행예측기간에 대해서는 1-3개월이 55%로 가장 많았고, 4-6개월이 36%로 조사되어 전체적으로 6개월 미만 선행예측기간이 전체의 91%를 차지하는 것으로 조사되었다.

84. 장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오.



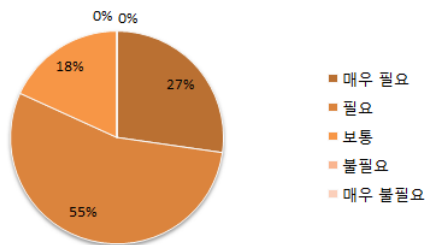
85. 장기 예측정보에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오.



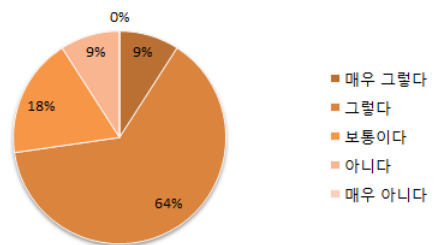
다중선택이 허용된 예측 정보의 기상변수에 대한 설문에는 필요한 변수로서 온도관련 변수가 전체적으로 36%(최고온도: 14%, 최저온도: 7%, 평균온도: 15%)로 가장 높게 나타났으나, 단일 항목으로는 강수가 27%로 가장 높게 나타났다. 하지만 일사량, 풍속, 상대습도 또한 12%, 10%, 10%로서 조사되었으며, 기타 항목으로는 증발량, 하천수위, 유량에 대한 수요가 있는 것으로 조사되었다.

예측 정보의 가장 적합한 전달방법으로는 웹페이지가 59%(회원전용: 34%, 일반 공개:25%)로 가장 높게 나타났고, 모바일APP 또한 33%로 비교적 높게 조사되었다.

86. 장기 예측정보의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까?



87. 장기 예측정보를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률예측정보의 제공이 도움이 될거라 생각하십니까?



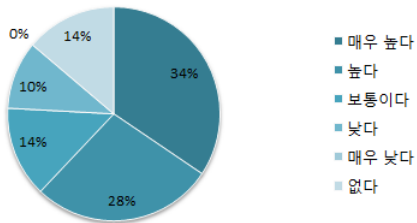
신뢰도 향상을 위한 다중모형앙상블의 필성에 대해서는 82%가 매우필요(27%) 또는 필요(55%)로 긍정적으로 응답한 반면에 불필요/매우불필요 하다고 응답한 경우는 0%로

조사되었다.

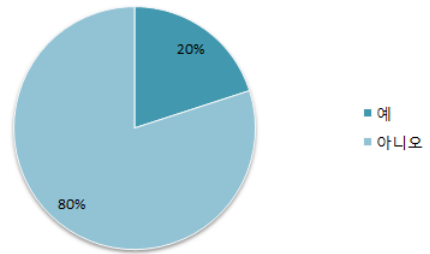
의사결정에 있어서 확률예측 정보의 활용성에 대한 질문에는 73%가 매우 그렇다(9%) 또는 그렇다(64%)라고 응답하여 활용성에 대한 긍정적인 반응을 보인 반면에 아니다 또는 매우 아니다 라고 부정적으로 응답한 경우는 9%로 조사되었다.

2.3 기후변화시나리오자료수요조사

88. 기후변화 시나리오 자료가 현재 수행하고 있는 업무와 얼마나 많은 연관성을 가지고 있나요?



90. 기후변화 시나리오 자료를 사용한 경험이 있거나 또는 현재 사용하고 있는지요?



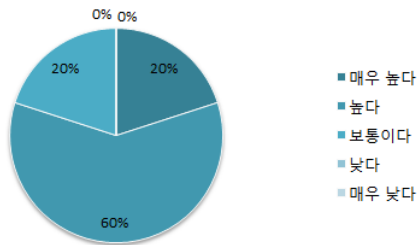
전체 설문에 응한 29명 중에서 기후변화시나리오 자료의 업무와의 연관성(향후 가능성 포함)의 경우 4명(14%)이 전혀 없음으로 선택하였고 62%가 매우 높음(34%) 또는 높음(28%)를 선택하였다. 보통이다는 14%의 반응을 보인 반면에, 낮다(10%), 매우 낮다(0%)를 포함하여 부정적인 응답은 10%로 조사되었다.

기관	활용가능 분야
수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> • 한번도 사용해 보지 않아 평가하기 곤란 • 댐 및 보 운영 관리에 있어 장기적인 기후변화는 업무활용도가 현재로서는 높지 않으며, 장기적인 수자원의 개발계획 수립에 활용가능할 것으로 판단됨 • 수자원장기종합계획 등 저수지 건설 및 운영계획에 대한 근거 자료 활용
농어촌공사	<ul style="list-style-type: none"> • 매년 수자원관리계획 수립시 과거-현재-향후 기후변화 자료를 사용하여 당해년의 기상전망을 예측하고 수자원 관리업무에 적용함(활용도가 높지 않음) • 저수량 유입량예측 • 농업수리시설 및 기반시설 설계기준 재정립
한국수력원자력	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 댐 건설사업 추진시 고려보도가 될 수 있습니다.
국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 수질오염총량제는 하천 수질관리를 위해 육상기인 오염물질의 양을 관리하여 제도로 현재로 부터 미래(1년~10년)의 오염물질과 수질변화를 예측하고 있음, 제도 특성상 하천의 수질 및 오염물질 유출특성에 주요 요인인 미래의 기후조건(특히 강수)은 주요한 요소이나 현재는 미래 기후조건을 알 수 없어 현재 기후조건이 미래까지 동일하게 지속된다는 가정하에서 계획(예측)되고 있어 예측과 현실(이행평가) 차이 발생, 이에 대한 보완이 절실히 필요한 실정으로 공신력 있는 기관에서 장래 기후조건을 예측 제공하는 경우 총량제에서 활용도는 높을 것으로 예상 • 유역내 수문, 수질예측 연구 사업에 활용 • 기후변화시나리오에 따른 미래 하천환경에 대한 평가 • 기후변화 시나리오에 따른 조류대발생(algae bloom) 시기의 이동(예: 여름→늦봄) 등을 예측하고 이를 제어하기 위한 다양한 시나리오(유입 오염원 관리 등)의 적용을 통해 선제적 대응이 가능함
상수도사업본부	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화에 따른 원수 수질 및 수량 변화예측이 가능하여 정수약품 및 처리공정에 대한 사전대응이 가능하고 수돗물 수요량 예측이 가능하므로 계획생산이 가능하게 될 수 있음
홍수통제소	<ul style="list-style-type: none"> • 수자원 장기종합계획 상 물이용종합계획 수립 시 기후변화 시나리오가 반영되고, 이에 따른 연간 갈수량 계열로부터 하천수사용관리를 위한 물수지 분석을 위한 기준갈수량이 산정되므로 이수계획에 중요하게 활용 • 수자원장기종합계획의 기초자료로 활용(유역종합치수계획, 하천정비기본계획 등) • 수자원 장기계획 수립시 활용 가능
유역/지방환경청	<ul style="list-style-type: none"> • 대권역 물환경관리계획 수립에 반영, 장기 수질 개선방안 참고
환경부	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화현상을 사전 예측·분석하여 수질 및 수생태계 관리 여건 및 기술 변화 유도 • 배출권 거래제 시행, 각종 규제 장치마련 등에 활용
국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> • 수자원 장기 종합계획 수립업무 • 이상기후 등의 예측 자료로 활용가능 • 하천기본계획 수립등에서 검토하는 홍수량 산정에 연관 • 설계기준홍수량(PMF) 산정 및 적정성 검증(비교평가)
부산시청, 기타	<ul style="list-style-type: none"> • 기수립된 부산시 기후변화 적응대책의 보완을 위한 취약성 평가에 활용될 수 있음 • 유역관리를 위한 장기예보를 통한 사전 수질관리 가능

이후 문항에 응답한 25명 중에서 기후변화 시나리오를 사용해 본 경험이 있는 경우가 20%(5명)인 반면에 사용해 본 경험이 없는 경우가 80%(20명)로서 기후변화 시나리오 자료의 업무와의 연관성이 높게 나타난 것과 비교하여 실제 자료 활용은 낮게 조사되었다.

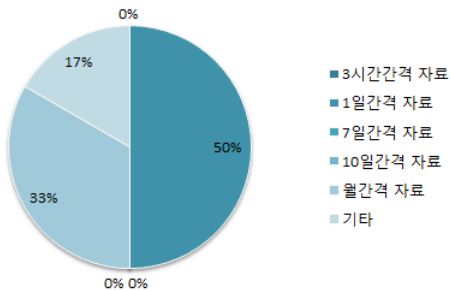
2.3.1 사용 경험이 있는 경우

92. 기후변화 시나리오 자료를 현재 활용하고 계신 경우 자료의 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?

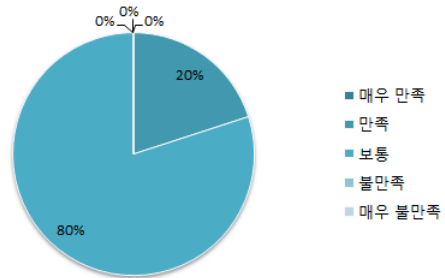


기후변화 시나리오 자료를 활용해 본 경험이 있는 5명을 대상으로 현재 업무에의 활용성에 대한 질문에 80%가 매우 높다(20%) 또는 높다(80%)라고 응답하여 활용성이 높게 조사되었으며, 나머지 20%가 보통이다라고 응답해 낮다 또는 매우 낮다고 응답한 경우는 없는 것으로 나타났다. 사용해 본 기후변화 시나리오 자료로는 기상청 제공 시나리오자료 및 SRES, RCP 시나리오 등으로 나타났다.

93. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 시간간격(time-scale)을 모두 선택해 주세요?

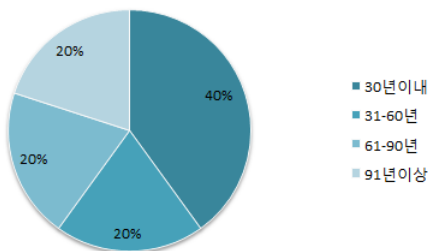


94. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 시간간격(time-scale)은 만족스러운가요?

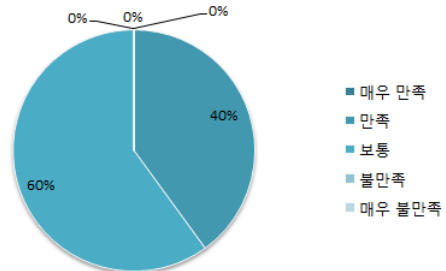


기후변화 시나리오 자료를 사용해 본 경험이 있는 5명을 대상으로 자료의 시간간격에 대한 질문에 50%가 1일간격의 자료를 사용하였고, 33%의 경우는 월 간격 자료를, 나머지 17%는 연 간격(yearly) 자료를 사용한 것으로 나타났다. 시간간격에 대한 만족도 조사에서는 80%가 보통이라고 중립적으로 대답한 반면에 나머지 20%만이 만족하는 것으로 응답했다. 보통이라고 응답한 2명의 경우 향후 원하는 자료의 시간간격으로 1일 간격 자료를 선택했다.

96. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 가장 먼 미래예측기간은?

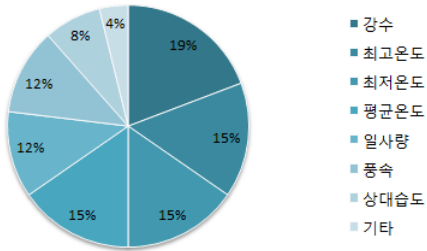


97. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 미래예측기간은 만족스러운가요?

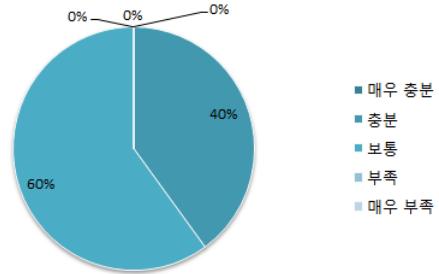


기후변화 시나리오 자료의 예측기간에 대해서는 30년 이내의 근 미래가 40%로 가장 많았고, 31-60년, 61-90년, 91년 이상이 각각 20%씩으로 조사되었다. 예측기간에 대한 만족도와 관련해서는 60%가 보통이라고 응답한 반면 나머지 40%가 만족하는 것으로 조사되었다. 만족도에서 보통이라고 응답한 2명의 경우 향후 필요한 예측기간으로서 31-60년의 기간을 선택하였다.

99. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 기상/기후 변수를 모두 선택해 주세요.

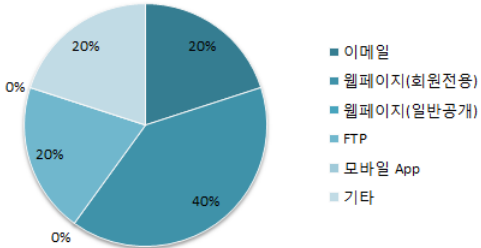


100. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 제공되고 있는 변수는 충분한가요?

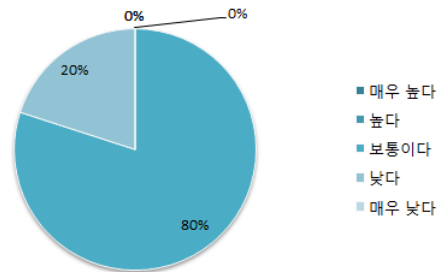


사용해 본 기후변화 시나리오의 기후/기상변수 들로는 온도 관련 변수들이 45%(최고 온도: 15%, 최저온도: 15%, 평균온도: 15%)를 차지하였고, 강수의 경우 19%로 단독 변수 들 중에서는 가장 많은 사용 빈도를 보였다. 제공된 변수에 대한 만족도와 관련해서는 60%가 보통이라고 대답한 반면에 60%가 부족하다고 응답하였다.

102. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료는 어떤 방법으로 받아 보셨는지 모두 선택해 주세요.



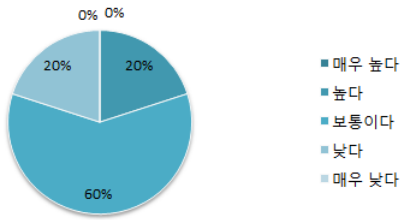
105. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료의 신뢰도는 어떻다고 생각하나요?



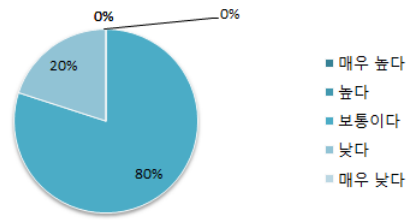
사용한 기후변화 시나리오 자료의 경우 회원전용 웹페이지를 통한 방법이 40%로 가장 많았으며, 다음으로 e-mail, FTP, 기타(이동식 매체)를 통한 방법이 각각 20%로 조사 되었다. 기후변화 시나리오 자료가 필요한 경우 정보에 쉽게 접근할 수 있는 정보접근성 관련 질문에 사용경험이 있는 사용자 모두 보통이라고 응답하였다.

기후변화 시나리오 자료의 신뢰도 관련 질문에 80%가 보통이라고 응답하였고, 나머지 20%는 낮다 라고 응답하였다. 신뢰도에 대해 부정적으로 응답한 1명의 경우 다중모형이상블이 신뢰도 향상에 필요한 지에 대한 질문에 필요하다고 응답하였다.

107. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료를 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성은 어떠한가요?



109. 사용해 보신 기후변화 시나리오 자료를 추가적인 분석없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성은 어떠한가요?



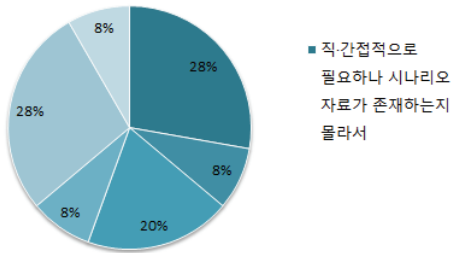
자료의 추가적인 가공 없이 수문/수질 분석에 바로 사용할 수 있는 정도를 의미하는 사용자편의성에 대한 질문에 60%가 보통이라고 응답하였고, 20%씩 동일하게 낮다 및 높다는 선택하였다. 부정적으로 응답한 1명의 경우 “시나리오 자료의 공간규모(spatial resolution)가 너무 커서” 라고 응답하였다.

자료의 추가적인 분석 없이 의사결정 또는 정책결정에 바로 활용할 수 있는 정도를 의미하는 의사결정지원성에 대해서는 80%가 보통이다를 선택하였고, 나머지 20%는 낮다라고 응답하였다. 낮다라고 선택한 경우 확률기반 정보가 제공된다면 의사결정지원성에 도움이 되겠느냐는 질문에 그렇다 라고 응답하였다.

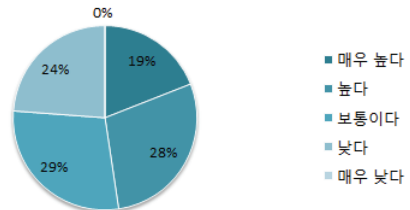
2.3.2 사용 경험이 없는 경우

기후변화 시나리오를 사용해 본 경험이 없는 21명에 대한 설문조사 결과는 아래와 같다.

111. 기후변화 시나리오 자료를 현재 사용하지 않고 있는 이유를 모두 선택해 주십시오.



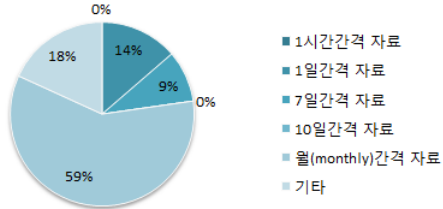
112. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 시나리오 자료의 현재 업무에 있어서의 전체적인 활용성은 어떠한가요?



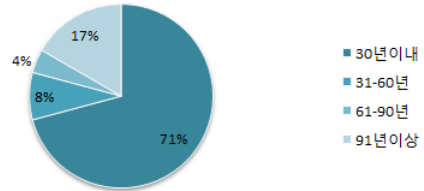
시나리오 자료를 사용하지 않고 있는 이유에 대해서는 “시나리오 자료가 존재하는지 몰라서” 및 “공간적, 시간적 규모의 차이, 자료 포맷 등 사용자편의성”을 선택한 경우가 각각 28%로서 가장 많았고, “시나리오 자료에 접근할 수 없어서: 접근성”이 20%로 나타났으며, “변수가 제공되지 않아서”, “자료의 신뢰도가 낮아서: 신뢰성”, “의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 도움이 되지 않아서: 의사결정지원성”이 각각 동일하게 8%씩으로 나타났다.

제한 요인들이 해결될 경우 시나리오 자료의 현재 업무에 있어서의 활용성에 대한 질문에 47%가 매우 높다(19%) 또는 높다(28%)를 선택해 긍정적으로 응답한 반면에, 24%가 낮다를 선택하여 부정적으로 응답하였다. 나머지 29%는 보통이다를 선택하였다.

113. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)을 선택해 주십시오.



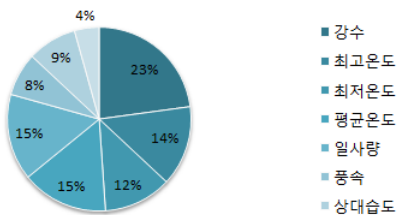
114. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 시나리오 자료의 가장 필요한 미래예측기간을 선택해 주십시오.



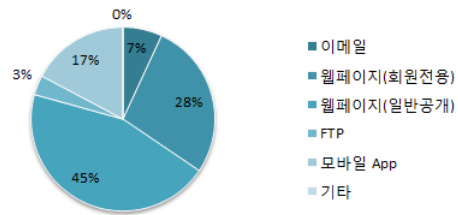
예측 정보의 가장 적합한 시간간격(time-scale)에 대한 질문에는 59%가 월 간격 자료를 선택하였고, 1일 간격 자료의 경우는 14%를 7일 간격 자료는 9%로 조사되었다. 반면 18%를 차지한 기타의 경우에는 연 단위 자료, 6개월 자료, 모두 필요함 등이 제시되었다.

제한 요인이 해결되는 경우 자료의 가장 필요한 미래예측기간에 대한 설문에는 71%가 30년 이내의 근미래를 선택하였고, 31-60년, 61-90년, 91년 이 각각 8%, 4%, 17%로 조사되었다.

115. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 기상 변수를 모두 선택해 주십시오.



116. 기후변화 시나리오 자료에 대한 접근성, 신뢰성, 사용자편의성, 의사결정지원성 관련 제한 요인이 해결될 경우, 필요한 예측정보의 가장 적합한 전달 방법을 선택해 주십시오.

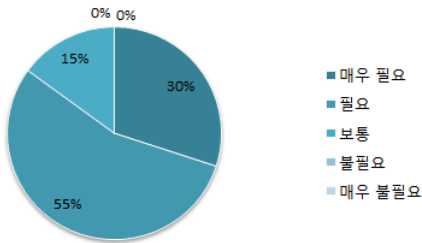


기후변화 시나리오 자료의 필요 기상변수에 대한 질문에 온도 관련 변수가 41%(최고

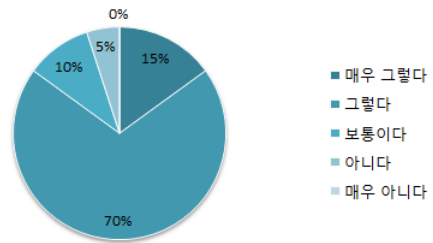
온도: 14%, 최저온도: 12%, 평균온도:15%)로 가장 높은 수요를 보여 주었으나 강수량이 단일 변수에서는 가장 높은 23%의 값을 보였다. 일사량, 풍속, 상대습도에 대해서도 각각 8%, 9%, 4%가 응답하였다. 4%의 응답율을 보인 기타의 경우에는 풍향, 운량, 증발량 등의 변수를 요구하였다.

가장 적합한 시나리오 자료의 전달 방법으로는 웹페이지가 73%(회원전용: 28%, 일반공개:45%)로 가장 높았고, 모바일APP이 17%로 그 뒤를 이었으며, e-mail 및 FTP가 각각 7% 및 3%로 조사되었다.

117. 기후변화 시나리오 자료의 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블(Multi-Model Ensemble, MME)이 필요하다고 생각하십니까?



118. 기후변화 시나리오 자료를 의사결정 또는 정책결정에 활용하는데 있어서 확률기반정보 제공이 도움이 될거라 생각하십니까?



신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블의 필요성을 묻는 질문에 85%가 매우필요(30%) 또는 필요(55%)라고 응답했으며, 나머지 15%는 보통이라고 응답해 신뢰도 향상을 위해서 다중모형앙상블 기법의 활용이 필요한 것으로 조사되었다. 또한 의사결정 지원성향상을 위한 확률기반정보 제공의 필요성을 묻는 질문에 85%가 매우 그렇다(15%) 또는 그렇다(70%)를 선택한 반면 5%만이 아니더라고 부정적으로 응답하였고, 나머지 10%는 보통이다 라고 응답하였다.

부록 2. 장기 기후예측 상세화 틀

1. R기반 프로그램 사용 방법

R은 3.1.0이상의 버전을 사용하도록 하며, R prompt에서 `install.packages` 명령어를 이용하여 `stringr`, `ncdf`, `reshape`, `doBy`, `ggplot2`, `raster`, `maptools`, `leaps`, `EcoHydRology`, `zoo` 등의 패키지를 설치해야 한다.

패키지 설치 후에는 앞에서 설치된 패키지들을 load한다. R prompt에서 `ncdf` 패키지를 사용하고자 할 경우 `Library(ncdf)`와 같이 `Library function`을 사용한다.

계절예측 정보의 상세화를 위해 개발된 `function`들을 load한다. 제공된 R script 파일 (`F-SForecast-V1.1.R`)을 원하는 폴더에 복사해 놓고, R prompt에서 `source` ("`F:/F-SForecast-V1.1.R`")와 같이 `souce function`을 사용해 `function`들을 load한다.

아래 그림의 예에서와 같이 사용자가 원하는 내용들로 4~31번 라인을 변경한다. 각 내용들에 대한 설명은 <Table 14>와 같다.

```

1 library(ncdf); library(stringr); library(reshape); library(doby); library(ggplot2); library(raster); library(mapproj); library(leaps);
2 library(ecohydrology); library(zoo); library(hydroGOF)
3 source("F:/F-SForecast-V1.1.R")
4 Owrite = F; NBest = 3; smonth = 1; emonth = 12; esmmode = F
5 syear_obs = 1976; eyear_obs = 2011; syear_mme = 1983; eyear_mme = 2005
6 mmetype = "3MON" # MME type: 3MON or 6MON
7 ##### Scenarios for HSPF modeling
8 scnm = "2F-3F-3F-3F-1F"
9 LTimes = c(2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1)
10 # Climate index which is updated through CPC webpage
11 cpcidxs = c("PNA", "EPO", "WPO", "NAO", "SOI", "NINA3", "CENSO", "TNA", "TSA",
12            "WMI", "MEI", "NINA1", "NINA4", "NINA34", "TNI", "AMO", "QBO",
13            "Solar", "ESL")
14 #####
15 prjdir = paste("F:/SForecast/Korea")
16 dbdir = "F:/SForecast/O_DBase"
17 idxfile = "CIndex-Hindcast-Combined.csv"
18 stnfile = "kma_asos_57stns.csv" # Station file name
19 varfile = "kma_asos_57stns_1976-2011.csv"
20 bndfile = "korea"
21 #####
22 obsdir = paste(dbdir, "/kma-asos", sep="") # Daily observation folder
23 stndir = paste(dbdir, "/station-info", sep="") # Station information folder
24 mmedir = paste(dbdir, "/apcc-mme", sep="") # APCCME folder including SCH and Individuals
25 bnddir = paste(dbdir, "/gis-boundary", sep="") # Boundary file folder with shape format
26 gpcpdir = paste(dbdir, "/noaa-gpcp", sep="") # GPCP data folder
27 aphrodite = paste(dbdir, "/aphrodite", sep="") # APHRODITE data folder
28 vardir = paste(dbdir, "/var-predictand", sep="") # Variable folder for regression analysis
29 idxdir = paste(dbdir, "/climate-index", sep="") # Climate Index folder
30 rnlidir = paste(dbdir, "/reanalysis", sep="") # Reanalysis folder
31 wgendir = paste(dbdir, "/wgen-gen/kma-asos", sep="") # WGEN weather input folder
32 #####
33 # Create monthly observed values
34 cal.Monthly.Station.Mean(stndir, stnfile, vardir, varfile, syear_obs, eyear_obs)
35 #####
36 # Simple Bias Correction
37 BCPnt.Extract.MME.Stations(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, owrite)
38 BCPnt.BiasCorrection(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype)
39 BCPnt.Daily.Sampling.All(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, syear_obs, eyear_obs, syear_mme, eyear_mme)
40 BCPnt.Daily.Sampling.Scenario(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, syear_obs, eyear_obs, syear_mme, eyear_mme, LTimes)
41 BCPnt.Calculate.Error.Statistics(prjdir, vardir, varfile, mmetype, LTimes, scnm, 1)
42 #####
43 # Moving Window Regression
44 MWRReg.Cal.All.Registration(prjdir, mmedir, mmetype, vardir, varfile, syear_mme, eyear_mme, smonth, emonth, esmmode)
45 MWRReg.Extract.BestFit.Registration(prjdir, mmedir, mmetype)
46 MWRReg.Run.Registration(prjdir, mmedir, mmetype, vardir, varfile, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs, smonth, emonth)
47 MWRReg.Daily.Sampling.Scenario(prjdir, stndir, stnfile, obsdir, LTimes, syear_obs, eyear_obs)
48 MWRReg.Calculate.Error.Statistics(prjdir, vardir, varfile, mmetype, LTimes, scnm, 1)
49 #####
50 # Climate Index Regression
51 CIRReg.All.Registration.CrossValidation(prjdir, vardir, varfile, idxdir, idxfile, syear_mme, eyear_mme)
52 CIRReg.Extract.BestFit.Registration(prjdir, mmedir, mmetype, vardir, varfile, NBest, syear_mme, eyear_mme)
53 CIRReg.Select.BestModel.Run.Registration.Observed(prjdir, vardir, varfile, idxdir, idxfile, NBest, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs)
54 CIRReg.Run.Registration.Scenario(prjdir, mmetype, vardir, varfile, idxdir, cpcidxs, scnm, LTimes, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs)
55 CIRReg.Daily.Sampling.Scenario(prjdir, stndir, stnfile, obsdir, LTimes, syear_obs, eyear_obs)
56 CIRReg.Calculate.Error.Statistics(prjdir, vardir, varfile, mmetype, LTimes, scnm, 1)

```

Table 14. F-SForecast-V1.1.R 구동을 위한 사용자 입력

변수명	설명
prjdir	상세화 과정에 의해 생성되는 결과의 최상위 폴더의 이름. 선택하는 상세화 방법에 따라서 prjdir 아래에 BCPnt, CIR, MWR, MME, WGEN 폴더가 자동으로 생성된다.
dbdir	상세화 프로그램을 수행하기 위해 필요한 자료가 저장되어 있는 최상위 폴더의 이름. 입력 자료에 따라서 고정되어 있는 이름의 폴더들이 존재함.
stnfile	분석에 사용되는 관측점들의 정보를 제공하는 파일의 이름. stndir에 저장되어 있어야 하며, ID, X, Y, SYear 칼럼을 반드시 포함하고 있어야 함.

변수명	설명
varfile	Moving Window Regression(MWR) 및 Climate Index Regression(CIR) 방법에 의한 상세화 과정에서 회귀모형 선정에 필요한 predictand 정보를 포함하고 있는 파일의 이름. vardir에 저장되어 있어야 하며, yearmon 칼럼은 반드시 동일한 포맷(ex. 1976-01)으로 포함되어 있어야 하며 나머지 칼럼들은 사용자에게 의해 정의될 수 있음.
idxfile	CIR 방법에 사용되는 predictors을 포함하고 있는 파일의 이름. idxdir에 저장되어 있어야 하며, yearmon 칼럼은 반드시 포함되어 있어야 하고 나머지 칼럼들은 사용자에게 의해 추가될 수 있음.
bndfile	GIS 폴리곤 shape파일로서 폴리곤 내에 걸쳐있는 그리드들의 값을 이용한 경계 내 평균값을 계산하는데 사용되는 파일명의 확장자를 제외한 파일이름. bnddir에 저장되어 있어야 하며, GIS의 폴리곤을 구분하는 "ID" 칼럼을 반드시 포함하고 있어야 함.
mmetype	3개월 또는 6개월 계절예측 자료를 선택하기 위해 "3MON" 또는 "6MON" 중에서 하나 선택되어야 함.
OWrite	자료처리에 시간이 오래 걸리므로, 기존에 처리된 파일이 존재하는 경우 파일을 덮어쓰지 않고 처리절차를 skip하기 위해 제공되는 option. True: 모든 파일을 재생산, False: 파일이 이미 존재하는 경우 절차를 skip함.
NBest	CIR 방법에 의해 다중회귀식을 사용하고자 하는 경우 사용가능한 최대 predictor의 개수.
syear_obs	상세화 된 예측 자료에 가장 근접한 연/월을 선정하는데 필요한 관측 자료기간의 시작 연도
eyear_obs	상세화 된 예측 자료에 가장 근접한 연/월을 선정하는데 필요한 관측 자료기간의 마지막 연도. 또한 예측성 평가 시 split validation 기간의 마지막 연도로 동일하게 사용
syear_mme	계절예측 자료의 cross-validation 기간의 시작 연도
eyear_mme	계절예측 자료의 cross-validation 기간의 마지막 연도
smonth	MWR 방법 사용 시 특정 기간(월)에 대한 분석을 수행할 경우 기간의 시작 월
emonth	MWR 방법 사용 시 특정 기간(월)에 대한 분석을 수행할 경우 기간의 마지막 월

변수명	설명
esmmode	MWR 방법은 모든 개별모형들의 앙상블 멤버들을 모두 고려하는 경우 장시간이 필요하기 때문에, esmmode option을 False로 지정하는 경우 개별모형들의 MME만을 사용하고, True로 지정하는 경우 모든 모형의 모든 앙상블을 포함하여 MWR를 수행함.
scnnm	월별 사용자 지정 시나리오 이름. 일 자료 추출 시 사용자 지정 이름의 폴더가 생성되고 일 자료가 저장됨. 일반적으로 3가지 경우를 고려하여 일관되게 작성하는 것을 추천함. 관측 자료를 사용하고자 하는 경우 O를 사용, 연속된 lead-time의 forecast자료를 사용하고자 하는 경우 F를 사용, 고정된 lead-time의 forecast자료를 사용하고자 하는 경우 L을 사용. (예로서 2F-6F-4F의 경우에는 모든 기간(1월~12월)에 대해 연속된 lead-time의 예측 자료를 사용하지만, 3월부터 8월까지 6개월간은 2월에 예측된 6개월 lead-time을 가지는 예측 자료 활용, 8월에 다시 6개월 lead-time을 가지는 예측 자료를 활용하는 경우 임).
LTimes	scnnm에 추가하여 월별 lead-time을 명시적으로 지정함.
cpcidxs	Climate Prediction Center(CPC)의 웹페이지를 통해 제공되는 인덱스 중에서 매월 업데이트가 되는 인덱스들의 리스트

2. 상세화 틀 Function 리스트 및 설명

<ul style="list-style-type: none"> • SetWorkingDir ← function(wdir) 작업 폴더(wdir)로 이동함, 작업 폴더가 없는 경우 생성함.
<ul style="list-style-type: none"> • NumberOfDays ← function(date) 주어진 날짜(date)에 해당 되는 달의 일수를 계산.
<ul style="list-style-type: none"> • Filldate ← function(x, sdate=NULL, edate=NULL) 데이터 프레임(x)에 년도(year), 월(month), 년-월(yearmon) 칼럼을 추가함. 시작일(sdate) 및 종료일(edate)가 주어진 경우에는 해당 기간의 자료만을 되돌려 줌.
<ul style="list-style-type: none"> • ExtractPointValue ← function(xin, yin, ncfile, wdir) 작업 폴더(wdir)에 위치한 NetCDF 포맷의 기후정보로부터 입력으로 주어진 위경도 좌표(xin, yin)에 해당되는 격자의 시계열 자료를 추출함

<ul style="list-style-type: none"> • ReadNetCDF ← function(wdir, nfile) 작업 폴더(wdir)에 위치한 NetCDF 포맷의 기후자료를 읽어 격자별 위도(lat), 경도(lon), 변수의 값(var), 파일정보(fin) 등의 관련 정보를 돌려 줌
<ul style="list-style-type: none"> • GIS.ncVar2raster ← function(x, y, var, ext=NULL) NetCDF를 ReadNetCDF 함수로 읽어서 추출된 경도(x), 위도(y), 변수의 값(var)을 입력으로 하여 WGS84 좌표체계의 raster 이미지로 변환함. GIS 폴리곤을 입력으로 하여 면적 평균을 계산하는데 사용됨.
<ul style="list-style-type: none"> • Aphrodite.Area.Averae ← function(prjdir, aphrodir, bnmdir, bninfile, pointopt, weightopt) 미계측 유역에 강우 관측 자료가 없는 경우 프로젝트 폴더(prjdir) 아래 APHRODITE DB 폴더(aphrodir)에 위치한 0.25° 격자 크기의 APHRODITE²⁷⁾ 일(daily) 강수량 자료로부터 bnmdir에 위치한 경계 폴리곤 파일(bninfile)의 폴리곤별 면적평균 강수량을 계산하여 varialbe 폴더(vardir)에 일별 시계열 파일(aphro_bninfile_day.csv) 및 월별 시계열 파일(aphro_bninfilex_month.csv)을 저장함. APHRODITE 일 강수량 자료는 1979년부터 2007년까지 자료가 존재함. pointopt: 경계 파일(bninfile)로 포인트 shape파일이 주어지는 경우(pointopt=T), 면적평균 강수량 대신에 해당 점에 해당되는 강수량 값을 추출하여 저장함. weightopt: 경계 파일(bsnfile)이 폴리곤 shape파일인 경우 weightopt=True인 경우 정밀하게 면적 평균을 계산하고, False인 경우 대략적인 값을 계산함.
<ul style="list-style-type: none"> • Aphrodite.Area.Averae.Monthly ← function(prjdir, aphrodir, bnmdir, bninfile, vardir, pointopt, weightopt) Aphrodite.Area.Average 함수와 동일함. 다만 월별(monthly) APHRODITE 자료로부터 직접 월별 강수량 값을 추출함.
<ul style="list-style-type: none"> • GPCP.Area.Averae.Monthly ← function(prjdir, gpcpdir, bnmdir, bninfile, pointopt, weightopt) Aphrodite.Area.Average.Monthly 함수와 동일함. 다만 월별(monthly) 강수량 자료로서 NOAA의 Global Precipitation Climatology Project(GPCP)²⁸⁾ 자료를 사용함.
<ul style="list-style-type: none"> • GetStationData ← function(stnid, obsdir) KMA 일별 기상관측 자료 DB 폴더(obsdir)에 위치한 관측점별 파일들로부터 입력으로 주어진 관측소 ID(stnid)에 해당되는 기상 자료를 읽어서 반환함. 일별 기상 자료는 SWAT 모형에 필요한 6개 변수(강수량(Pcp, mm), 최고온도(Tmax, C), 최저온도(Tmin, C), 풍속

(WSpeed, m/s), 상대습도(Humidity, fr), 일사량 (SRad, MJ/m2) 자료를 포함함.

• **GetStationData.10var ← function(stnid, wdir)**

GetStationData 함수와 동일함. 다만 일 기상 자료가 HSPF에 필요한 일조시간 (SShine, hr), 운량 및 평균기온(Tavg, C)를 포함하고 있음.

• **Cal.Monthly.Station.Mean ← function(stndir, stnfile, vardir, varfile, syear_obs, eyear_obs)**

기상관측소 사이의 공간상관성 확보를 위하여 대상 지역의 평균 강수량 및 기온을 대상으로 장기 예측 자료를 생산하게 되는데, Moving Window Regression(MWR) 및 Climate Index Regression(CIR) 상세화 방법에 필요한 종속변수(predictand)인 지역 평균값을 계산하는 함수.

대상 지역에 해당되는 기상 관측소 정보는 station 폴더(stndir) 아래 위치한 관측소 리스트 파일(stnfile)에 지정되어 있어야 함.

계산된 지역 평균 기후 값(강수량, 평균 기온)은 Variable 폴더(vardir)에 사용자가 지정한 파일이름(varfile)로 저장됨.

기간은 사용자에게 의해 주어지는 시작년도(syear_obs) 및 마지막년도(eyear_obs) 사이의 값만 추출됨.

• **Calculate.Error.Statistics ← function(indir, infile, outdir)**

입력 폴더(indir)에 위치한 입력파일(infile)을 읽어 Temporal Correlation Coefficient(TCC), Normalized Root Mean Square Error(NRMSE), Index of Agreement(D), Normalized Objective Function(NOF), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)를 계산하여 사용자가 지정한 출력 폴더(outdir)에 결과 값을 저장함.

입력파일은 관측 및 예측값의 시계열 자료이며, 출력 파일의 이름은 입력 파일의 이름(infile)에 “-Err” 을 추가하여 저장함.

• **APCCMME.Get.ModelNames.LeadTime ← function(cmmedir)**

현재 MME 폴더(cmmedir)에 위치한 예측모형별 폴더 이름으로부터 사용 가능한 예측모형들의 이름 및 선행예측기간(3개월 또는 6개월) 정보를 반환함.

• **APCCMME.Get.Ensamble.Count ← function(prjdir, mmetype, mdlnm)**

APCC MME 참여 예측모형들의 경우 초기조건의 변화에 따른 앙상블 크기가 다름. 따라서 프로젝트 폴더(prjdir) 아래 /BCPoint/mmetype/01_extraced 폴더에 위치한 텍스트 포맷으로 추출된 자료로부터 예측모형의 이름(mdlnm)에 해당되는 앙상블 크기를 리턴함.

NetCDF에서 앙상블 크기를 구하지 않는 이유는 특정 모형(PNU)의 경우 월별로 앙상블

크기가 변하기 때문이며, 따라서 NA값이 제거된 텍스트 파일로부터 앙상블 크기를 구하는 것임.

• **APCCMME.Get.MMEfile.Info ← function(mmedir, syear)**

MME 폴더(mmedir)에 위치한 연도별 폴더들에서 주어진 시작년도(syear)의 강수량자료(prec.nc)를 읽어 관련 정보(Leadtime, 앙상블 크기(esmcnt), 격자의 위·경도 개수(latcnt, loncnt), dimension(d))를 반환함.

• **APCCMME.Area.Averae ← function(prjdir, mmedir, mmetype, bnndir, bnndfile, varnms, pointopt, weightopt)**

프로젝트 폴더(prjdir) 아래 MME 폴더(mmedir)에 위치한 APCC MME NetCDF 파일들로부터 bnndir에 위치한 경계 폴리곤 파일(bnndfile)의 폴리곤별 면적평균 값을 계산하여 prjdir/MME/mmetype/01_Area-Average 폴더에 텍스트 포맷으로 저장함.

pointopt: 경계 파일(bnndfile)로 포인트 shape파일이 주어지는 경우(pointopt=T), 면적평균 강수량 대신에 해당 점에 해당되는 변량의 값을 추출하여 저장함.

weightopt: 경계 파일(bnndfile)이 폴리곤 shape파일인 경우 weightopt=True인 경우 정밀하게 면적 평균을 계산하고, False인 경우 대략적인 값을 계산함.

추출하고자 하는 변수들은 varnms에 지정함.

• **BCArea.Bias.Correction ← function(prjdir, vardir, varfile, mmetype)**

프로젝트 폴더 (prjdir) 아래 /MME/mmetype/01_Area-Average 폴더에 텍스트 포맷으로 저장된 면적평균 MME 예측값과 vardir 아래 위치한 관측변수 파일(varfile)과 비교를 통하여 편이보정(Bias Correction)을 수행한 후 prjdir/MME/mmetype/02_BiasCorrected 폴더에 결과 파일을 저장함.

varfile은 APHRODITE 또는 GPCP 자료로부터 동일한 경계 파일에 대하여 계산된 면적 평균 값임.

• **BCPoint.GetDataPeriods ← function(mlddir)**

예측모형별로 시작 연도와 마지막 연도가 다르기 때문에 예측모형별 시작 및 마지막 연도를 추출하여 반환함.

• **BCPoint.Extract.MME.Stations ← function(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, OWrite)**

프로젝트 폴더(prjdir) 폴더 아래 station 폴더(stndir)에 위치한 관측소 리스트 파일(stnfile)의 관측점들에 해당되는 APCC MME 격자의 값을 NetCDF 파일 포맷에서 추출하여 시계열 자료를 텍스트 포맷으로 prjdir/BCPoint/mmetype/01_extracted에 저장함.

<p>OWrite 옵션이 True인 경우에 모든 결과 파일을 덮어 쓰고, False인 경우에는 출력 파일이 존재하는 경우 건너 뛴.</p>
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.Bias.Correction ← function(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype) BCPoint.Extract.MME.Stations 함수에서 추출된 시계열 자료와 관측 자료와 비교를 통해 편이보정(Bias Correction)을 수행 한 후 prjdir/BCPoint/mmetype/ 02_BiasCorrected 폴더에 결과 파일을 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.Get.Common.DataPeriods ← function(mdldir) 예측모형별로 데이터 기간이 상이하기 때문에 모든 모형들의 공통된 데이터 기간을 추출하여 반환함.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.CalCovarianceMatrix ← function(obsdir, outdir, stnms, syear_obs, eyear_obs) Mahalanobis distance 계산을 위해 필요한 variance-covariance Matrix를 계산함.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.SelBestFitMonth ← function(outdir, mdlnm, LTime, esmnm) 모형(mdlnm), 선행예측기간(LTime), 앙상블 멤버(esmnm)별 편이보정 된 월별 예측 자료에 대하여 Mahalanobis distance가 가장 작은 관측 자료의 특정 연/월을 결정하여 칼럼을 추가한 후 결과 파일 저장.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.CreateDailyData.10var ← function(outdir, stnms, mdlnm, LTime, esmnm) 예측 정보와 가장 비슷한 특정 연/월의 관측 자료를 기반으로 일 단위 예측 자료를 생성함. 모형(mdlnm), 선행예측기간(LTime), 앙상블 멤버(esmnm)별로 수행함.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.CalMonthly_Mean_MME ← function(mmedir, outdir, stnms, mdlnm, LTime, syear_mme, eyear_mme) 편이보정 된 관측지점별 예측 자료로부터 대상 지역에 해당되는 관측지점 리스트(stnms)의 평균을 계산함.
<ul style="list-style-type: none"> BCPoint.Daily.Sampling.All ← function(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, syear_obs, eyear_obs, syear_mme, eyear_mme) 모든 가능한 예측 시나리오에 대하여 BCPoint.CreateDailyData 함수들을 이용하여 유역 모형의 입력으로 필요한 일(daily) 단위 예측 자료를 생성함. 앞에서 언급한 BCPoint.CalCovarianceMatrix, BCPoint.CalMonthly_Mean_MME, BCPoint.SelBestFitMonth 함수들이 시간적 상세화 과정을 위하여 사용됨. 예측 시나리오는 최종 의사결정을 목적으로 사용자에게 의해서 월별로 주어지는 예측 시점

(언제 예측을 하느냐) 및 선행예측기간(얼마나 미리 예측을 하느냐)에 따라서 다양한 경우가 발생할 수 있음.

• **BCPoint.Daily.Sampling.Scenario** ← **function(prjdir, stndir, stnfile, mmedir, mmetype, syear_obs, eyear_obs, syear_mme, eyear_mme, LTimes)**

사용자에 의하여 주어진 예측 자료 시나리오 정보(LTimes)에 따라서 유역모형의 입력으로 필요한 일(daily) 자료를 BCPoint.CreateDailyData.10var 함수를 사용하여 생성함.

앞에서 언급한 BCPoint.CalCovarianceMatrix, BCPoint.CalMonthly_Mean_MME, BCPoint.SelBestFitMonth 함수들이 시간적 상세화 과정을 위하여 사용됨.

예측 시나리오는 최종 의사결정을 목적으로 사용자에게 의해서 월별로 주어지는 예측 시점(언제 예측을 하느냐) 및 선행예측기간(얼마나 미리 예측을 하느냐)에 따라서 다양한 경우가 발생할 수 있음.

• **BCPoint.Calculate.Error.Statistics** ← **function(prjdir, vardir, varfile, mmetype, LTimes, scnmm, AcuMonths)**

Simple Bias Correction(SBC) 방법에 의하여 계절예측모형별 앙상블 멤버에 의하여 생성된 대상 지역에 대한 예측 평균값들과 관측 자료에 의한 지역 평균값을 Calculate.Error.Statistics 함수를 이용하여 Coefficient(TCC), Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), Index of Agreement(D), Normalized Objective Function(NOF), Nash Sutcliffe Efficiency(NSE)를 계산하여 결과를 저장함.

• **MWR.Extract.Predictor.Grid** ← **function(mlddir, curmon, LTime, syear, eyear, esmnum, ptrnms)**

Moving Window Regression(MWR) 방법에 필요한 MME 데이터를 읽어 사용자에게 의해 주어진 대상 모형(m이약), 월(curmon)에 대한 자료를 읽어 배열에 저장함.

배열은 4차원으로 [경도, 위도, 기간(연도), 독립변수]

• **MWR.Decide.Best.Window** ← **function(curmme, mmedata, cormme, wwidth, wheight, threshold)**

아래와 같이 입력으로 주어지는 정보를 바탕으로 사용자에게 의해 주어진 윈도우 크기(wwidth, wheight) 및 TCC에 대한 threshold 값을 기준으로 가장 높은 상관관계를 갖고 있는 독립변수(predictor)의 윈도우 위치를 결정하고 윈도우 내의 독립변수의 시계열 자료를 생성함.

curmme: MWR.Extract.Predictor.Grid함수로부터 추출된 특정 월에 대한 전체 MME자료 중에서 현재 연도에 해당되는 자료

<p>mmedata: 특정 월에 대하여 추출한 전체 MME자료 중에서 Cross validation을 목적으로 현재 연도의 자료만을 제외한 MME 자료</p> <p>cormme: correlation coefficient 배열 [경도, 위도, 독립변수]</p>
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Get.Common.Predictors.IndividualModel ← function(mldir, syear_mme, eyear_mme) 주어진 시작 연도(syear_mme) 및 마지막 연도(eyear_mme) 사이의 기간 동안 모형별로 빠진 독립변수(predictor)가 존재할 수 있기 때문에, 모형별로 모든 기간 동안에 누락된 기간이 없는 독립변수들만의 이름을 추출함.
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Cal.All.Reggression ← function(prjdir, mmedir, mmtype, vardir, varfile, syear_mme, eyear_mme, smonth, emonth, esmmode) MWR.Decide.Best.Window 함수에 의해 계산된 최적 윈도우 정보 및 독립변수(predictor) 시계열 자료와 종속변수(predictand)자료를 이용하여 발생할 수 있는 모든 경우(변수(강수 및 온도), 월(1~12월), 예측모형, 선행예측기간(3 또는 6개월))에 대한 단순회귀모형을 적용하여 결과를 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Extract.BestFit.Reggression ← function(prjdir, mmedir, mmtype) MWR.Cal.All.Reggression 함수에 의하여 계산된 모든 경우의 회귀모형 결과로부터 가장 빈도가 높은 독립변수(predictor)를 결정함. MWR.Cal.All.Reggression의 경우에는 Cross validation을 기반으로 진행되기 때문에 연도별 선정된 독립변수 및 윈도우 위치가 상이함.
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Run.Reggression ← function(prjdir, mmedir, mmtype, vardir, varfile, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs, smonth, emonth) 앞에서 MWR.Extract.BestFit.Reggression 함수를 이용해 선정된 Best 독립변수(predictor)를 이용하여 다시 회귀모형을 적용하여 최종 결과를 저장함. 모형 구축에 사용된 MME 마지막 연도(eyear_mme) 이후 마지막 과측 자료가 존재하는 기간(eyear_obs) 사이에는 Split Validation 모드로 계산함.
<ul style="list-style-type: none"> MWR.SelBestFitMonth ← function(wdir, meanfile) MWR 방법을 이용하여 각 예측모형에 의하여 예측된 월별 강수 및 평균 기온에 대하여 Mahalanobis 거를 이용하여 관측 자료로부터 가장 비슷한 특정 연/월을 결정하여 결과를 BestMon-All-Simulations.csv 파일에 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Daily.Sampling.Scenario ← function(prjdir, stndir, stnfile, obsdir, LTimes, syear_obs, eyear_obs) MWR.SelBestFitMonth 함수에 의해 선정된 Best Fit Month 자료를 이용하여 사용자에게 의

<p>해 주어진 예측 시나리오(LTimes) 정보에 따라 일(daily) 자료를 관측 자료로부터 추출하여 생성함.</p>
<ul style="list-style-type: none"> MWR.Calculate.Error.Statistics ← function(prjdir, vardir, varfile, mmetype, LTimes, scnm, AcuMonths) MWR 방법에 의하여 대상 지역에 대한 예측 평균 값들과 관측 자료에 의한 지역 평균값을 Calculate.Error.Statistics 함수를 이용하여 Coefficient(TCC), Normalized Root Mean Square Error(NRMSE), Index of Agreement(D), Normalized Objective Function (NOF), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)를 계산하여 결과를 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Get.ESRL.Climate.Index ← function(idkdir) Climate Prediction Center(CPC)의 기후인자 제공 웹페이지로²⁹⁾ 부터 40개의 기후인자를 추출하여 테이블 파일로 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Update.Reanalysis1 ← function(rnldir) NOAA의 재분석자료 웹페이지로³⁰⁾ 부터 Reanalysis 1 자료를 다운로드하여 재분석 자료 DB를 최신의 자료로 업데이트 함. 향후 관측 자료 기반의 기후인자를 추출하는데 사용함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Combine.Climate.Index ← function(idkdir, idxfile) 향후 APCC MME로부터 추출되는 예측기반 기후인자와 관측기반 기후인자를 병합하기 위한 함수. 본 연구에서는 사용하지 않음.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.combine.Obs_Cindex ← function(VarDFile, IdxDFile, month, varnm, idxnm, lagmon) 주어진 월(month), 기상변수(varnm), 기후인자(idxnm), 지체시간(lagmon)에 따라서 관측 자료(VarDFile)와 기후인자 자료(IdxDFile)로부터 해당 조합에 맞는 자료를 추출하여 반환함. 한 개의 기후인자를 사용하는 경우 사용함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Combine.Obs_Cindex.Multiple ← function(VarDFile, IdxDFile, curmon, varnms, lagnms, lagmons) 주어진 월(month), 기상변수 리스트(varnms), 기후인자 이름 리스트(lagnms), 지체시간 리스트(lagmons)에 따라서 관측 자료(VarDFile)와 기후인자 자료(IdxDFile)로부터 해당 조합에 맞는 자료를 추출하여 반환함. 여러 개의 기후인자를 사용하는 경우 사용함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Scenario.Combine.CIndex.CPC_Rnl_MME ← function(SimMode, idkdir, cpcidxs, cindexfile) Real forecasting을 위한 기능.

<ul style="list-style-type: none"> • CIR.Extract.Best.Model.Parameters ← function(BestModels, curmon) Best Model Table로부터 다중회귀모형에 선택된 인덱스 이름, 지체시간, 선정 여부를 반환함.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.Monthly.Cross.Split.Validation ← function(VMode, curmon, BestModels, regtbl, varnm, blagnms, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs) 현재 달(curmon)의 선정된 Best모형(BestModels)의 선정된 기후인자들을 가지고 Validation 모드(Cross, Split)에 따라서 회귀모형을 적용하여 결과를 반환함.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.All.Reggression.CrossValidation ← function(prjdir, vardir, varfile, idxdir, idxfile, syear_mme, eyear_mme) 종속변수(predictand)와 독립변수인 기후인자들 사이에 지체시간을 변경하여 가면서 발생할 수 있는 모든 경우에 대하여 cross validation 방법으로 단순회귀 모형을 적용한 후 결과를 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.Extract.BestFit.Reggression ← function(prjdir, mmedir, mmeffile, vardir, varfile, NBest, syear_mme, eyear_mme) 모든 경우에 대해 단순회귀모형을 적용한 결과로부터 사용자가 정의한 N개의(NBest) 가장 높은 상관성을 보인 결과를 추출하여 결과 파일을 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.Select.BestModel.Run.Reggression_Observed ← function(prjdir, vardir, varfile, idxdir, idxfile, NBest, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs) 단순회귀 모형으로부터 선정된 N개의 Predictor 및 지체시간으로부터 가능한 다중회귀모형을 구성하여 LEAPS 패키지를 이용하여 다중회귀모형을 최종적으로 선정한다. 이후 선정된 회귀모형을 이용하여 모든 기간에 대하여 적용한 후 결과를 결과를 저장함. CIR.Combine.Obs_Cindex.Multiple, CIR.Extract.Best.Model.Parameters, CIR.Combine.Obs_Cindex.Multiple, CIR.Monthly.Cross.Split.Validation 함수들을 사용함.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.Run.Reggression.Scenario ← function(prjdir, mmetype, vardir, varfile, idxdir, cpcidxs, scnm, LTimes, syear_mme, eyear_mme, eyear_obs) 사용자에 의하여 주어진 예측 시나리오(LTimes)에 따라서 재분석자료 및 APCC MME를 이용하는 Real Forecast를 가정하여 만들어진 함수로 본 연구에서는 사용하지 않음.
<ul style="list-style-type: none"> • CIR.SelBestFitMonth ← function(scndir, MeanDFile) CIR 방법을 이용하여 예측된 월별 강수 및 평균 기온에 대하여 Mahalanobis 거리를 이용하여 관측 자료로부터 가장 비슷한 특정 연/월을 결정하여 결과를 저장함.

<ul style="list-style-type: none"> CIR.Daily.Sampling.Scenario ← function(prjdir, stndir, stnfile, obsdir, LTimes, syear_obs, eyear_obs) CIR.SelBestFitMonth에 의해 예측 자료와 가장 비슷한 특정 연/월을 관측 자료로부터 추출하여 일 자료를 생성함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.Calculate.Error.Statistics ← function(prjdir, vardir, varfile, mmtype, LTimes, scnnm, AcuMonths) CIR 방법에 의하여 대상 지역에 대한 예측 평균 값들과 관측 자료에 의한 지역 평균값을 Calculate.Error.Statistics 함수를 이용하여 Coefficient(TCC), Normalized Root Mean Square Error(NRMSE), Index of Agreement(D), Normalized Objective Function (NOF), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)를 계산하여 결과를 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> CIR.WQuality.Calculate.Error.Statistics ← function(prjdir, stnm, vardir, varfile, mmtype, LTimes, scnnm) CIR 방법에 의하여 수질을 통계적인 방법으로 예측하는 경우, 대상 수질 관측 지점에 대한 예측 수질 값과 관측 수질 값으로부터 Calculate.Error.Statistics 함수를 이용하여 Coefficient(TCC), Normalized Root Mean Square Error(NRMSE), Index of Agreement(D), Normalized Objective Function (NOF), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)를 계산하여 결과를 저장함.
<ul style="list-style-type: none"> WGEN.CalSradiation ← function(obs, stnid, stndir, stnfile) EcoHydRology 패키지의 Solar 함수를 사용하여 최소 및 최대 온도, 위도, Julian day를 입력으로 일사량을 계산함. 농업분야와 같이 공간상관성이 필요 없는 경우, 관측 자료 대신에 일기상 자료 생성하여 사용하기 위해 만들어진 함수로 본 연구에 사용되지 않음.
<ul style="list-style-type: none"> WGEN.GEM.Creat.GEM6.Input ← function(wdir, stnid, simyears) 사용자에 의하여 주어진 관측지점(stnid) 및 일 자료 모의 기간(simyears) 정보를 기반으로 GEM 일기상생성기(weather generator)의 입력파일(*.input)을 생성함. 농업분야와 같이 공간상관성이 필요 없는 경우, 관측 자료 대신에 일 기상 자료 생성하여 사용하기 위해 만들어진 함수로 본 연구에 사용되지 않음.
<ul style="list-style-type: none"> WGEN.GEM.Create.Agua_Gem6.Input ← function(wgendir, stndir, stnfile, syear_obs, eyear_obs) GEM의 입력 자료를 생성하는 Agua_GEM6 코드의 입력 파일을 관측 자료로부터 자동 생성함. 농업분야와 같이 공간상관성이 필요 없는 경우, 관측 자료 대신에 일기상 자료 생성하여 사용하기 위해 만들어진 함수로 본 연구에 사용되지 않음.

- **GEN.GEM.Create.Daily.Weather** ← **function(wgendir, stndir, stnfile, simyears)**

GEM 모형의 exe를 순차적으로 실행하여 일 기상자료를 생성함 (agua_gem6a.exe → GenPar6a.exe → GEM6.exe). 농업분야와 같이 공간상관성이 필요 없는 경우, 관측 자료 대신에 일기상 자료 생성하여 사용하기 위해 만들어진 함수로 본 연에 사용되지 않음.

-
- 27) Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources: <http://www.chikyu.ac.jp/precip/index.html>
 - 28) Global Precipitation Climatology Project (GPCP): <http://precip.gsfc.nasa.gov/>
 - 29) <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
 - 30) <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surfaceflux.html>

연구보고서 2015-13

계절예측 정보를 활용한 통합 수문·수질 장기 예측 기술 개발

**Development of Integrated Methods for Long-term Water Quantity and
Quality Prediction Using Seasonal Climate Prediction**

조재필 기후변화연구팀



APEC Climate Center

612-020 부산광역시 해운대구 센텀7로 12

Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949

www.apcc21.org

 www.facebook.com/apcc21

 www.youtube.com/APECClimateCenter21

 www.twitter.com/apcc21

 www.plus.google.com/+APECClimateCenter21

 www.flickr.com/apcc21