

계절내 앙상블 예측의 효과적인 운영에 대한 가이드라인

Guidelines for effective use of ensemble prediction in subseasonal forecast

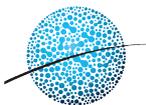


기상청



국립기상과학원

책임운영기관



APCC
APEC 기후센터

2020

Contents

 제 1장 개요	1
 제 2장 현업 앙상블 기본 특성	4
 제 3장 앙상블 생산 방안 별 예측 특성	8
 제 4장 요약 및 정리	14

제1장 개요

1.1. 작성 배경

- 앙상블 예측 시스템은 수치 예보 분야에서 가장 선진화 된 기술로 효율적인 앙상블 예측 시스템 구축을 통해 예보 정확도 및 활용도를 개선할 수 있음
- 기상·기후 분야에서 가장 선진 예보 기술인 앙상블 예측 시스템은 가장 가능성이 높은 예측 결과를 추정할 수 있어 수치 예보 분야에서 패러다임의 전환을 가져왔음.
- 앙상블 예보의 시작으로 정확도 높은 예보와 더불어 활용도 높은 예보 생산에 대한 요구가 지속적으로 증가되고 있으나 자원과 비용에 대한 문제 또한 수반되고 있음.
- 앙상블 예측 시스템은 모델 해상도, 앙상블 생성 기법, 예보 생산 일자, 앙상블 크기 등에 따라 예측성능이 좌우될 수 있어 효율적인 앙상블 예측 시스템을 구축하는 것은 예측 시스템 운영에서 필수적인 사항임.
- 이음새 없는 기상 정보 생산에 대한 기상청 현업 장기예측시스템(GloSea5)의 활용과 예측성 개선을 위해 계절내 예보에 대한 GloSea5의 효율적인 앙상블 예측 시스템 구축과 개선 방향에 대한 제언이 필요함.
- GloSea5는 고해상도 전지구 결합 앙상블 예측시스템으로 확률예보 생산을 통해 단기 및 중기, 장기예보를 지원하고 있음.
- 2010 도입 이래 GloSea5는 지속적으로 개선을 거듭해왔고, 이음새 없는 기상 정보 생산에 대한 GloSea5의 활용을 위해 계절내 예보에 대한 최적의 앙상블 예측 시스템 구축 및 개선 방향에 대한 제언이 필요함.
- 본 가이드라인에서는 GloSea5의 계절내 확률예보를 개선할 수 있는 앙상블 생산방안에 대해 제언하고자 함
- 2018년 국립기상과학원은 “현업 장기예측시스템 운영체계 개선을 위한 최적앙상블 생성법 개발 및 모니터링 개선” 사업을 통해 다양한 민감도 실험을 하였고 결정론적 검증을 수행한 바 있음.

- 그러나 확률예보 생산을 통해 현업 장기예보를 지원하고 있는 GloSea5의 실질적인 개선을 위해선 확률론적 검증이 필요함. 따라서 본 가이드라인에서는 GloSea5의 계절내 확률예보를 개선할 수 있는 앙상블 생산방안에 대해 제안하고자 함.

1.2. 정의 및 범위

- ▣ GloSea5의 동아시아 기온에 대한 계절내 예보를 대상으로 현업 앙상블 분포의 특성을 살펴보고 다양한 앙상블 생산방안을 비교/평가 함.

<표 1> 앙상블 생산방안 비교 평가를 위한 분석 대상

변수	지역	예보 기간
기온	동아시아 [30° N-55° N, 105° E-145° E]	1~8주/3,4주

- ▣ 동아시아 계절내 기온 예측에 있어서 앙상블 개수, 생산 일자, 생성 기법의 변화 중 현업 실험 대비 가장 효율적인 앙상블 예측 방안 제시
 - 현업 실험
 - 시간지연 앙상블 기법(Time lagged ensemble)과 추계적 운동에너지 후방산란 (Stochastic Kinetic Energy Backscattering version2; SKEB2)기법을 이용하여 앙상블 멤버 구성, 매일 4개 멤버 생산으로 주별 28개 보유
 - 앙상블 생산 일자에 대한 민감도 실험
 - 주중(목) 1일 28개, 주말(월) 1일 28개, 매일 4개(주별 28개, 현업)의 앙상블 생산 일자에 대한 실험
 - 앙상블 크기에 대한 민감도 실험
 - 주중 1일 42개, 주말 1일 42개, 매일 6개(현업 4개 포함, 주별 42개)의 앙상블 생산 수에 대한 실험



[그림 1] 앙상블 민감도 실험에 대한 개요

● 민감도 실험 예측성 비교를 위한 예측장 수행기간 설정

<표 2> 민감도 실험 예측성 비교를 위한 예측장 수행기간 설정

구분	예측장 수행기간		
	주중 1일	주말 1일	매일
봄철	2018.02.15	2018.02.19	2018.02.19
여름철	2018.05.17	2018.05.21	2018.05.21
가을철	2017.08.17	2017.08.21	2017.08.21
겨울철	2017.11.16	2017.11.20	2017.11.20

■ 현업 앙상블 분포의 기본 특성을 살펴보고 정확도, 유용성, 활용도 측면에서 현업 대비 가장 효과 있는 계절내 예측의 개선 방안을 찾고자 함.

<표 3> 현업 앙상블 기본 특성 진단 방법 및 민감도 실험 간 예측성 비교 방법

구분	내용		
진단	앙상블 분포 특성	앙상블 유형	
		앙상블 신뢰도	
		에러-스프레드 관계	
		Flow-dependent spread	
	확률 예보 검증 지수	정확도	Brier Score
			Ranked Probability Score
			Continuous Ranked Probability Score
		유용성	Relative operating characteristics
			Area under ROC curve
		활용도	Economic Value
	Return of Ratio		
	Extreme Forecast Index		
관측	ERA5		

제2장 현업 앙상블 기본 특성

2.1. 앙상블 유형

- 앙상블GloSea5 현업 후보실험의 앙상블은 리드 초반에는 스프레드가 관측을 모의할 만큼 충분히 크지 않으나 2주 이후부터는 예보 불확실성을 표현하기에 충분히 consistent 함.
- 앙상블의 일관성(consistency)과 신뢰도(reliability)를 측정하는 앙상블 유형은 크게 네 가지(flat, u-shape, dome-shape, asymmetric)로 구분됨.

<표 3> 앙상블 유형

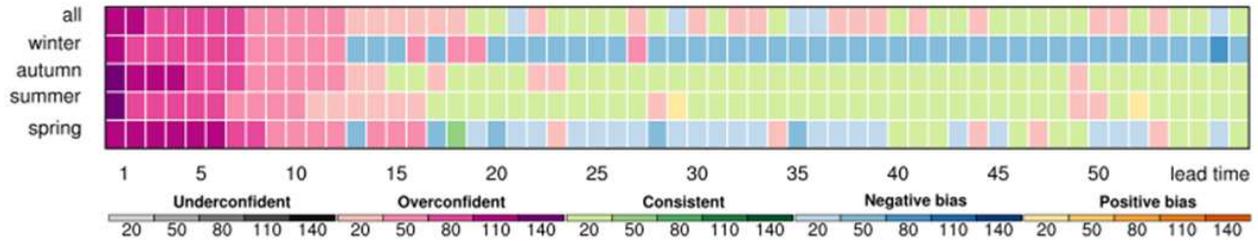
유형	의미	일관성
Flat	앙상블 스프레드가 예보 불확실성을 잘 표현	consistent
U-Shape	앙상블 스프레드가 너무 작음	underdispersion (overconfident)
Dome-Shape	앙상블 스프레드가 너무 큼	overdispersion (underconfident)
Asymmetric	앙상블이 바이어스를 가지고 있음	negative/positive bias

- GloSea5의 현업 후보실험은 리드 초반에는 overconfident (underdispersion)하여 앙상블 스프레드가 관측을 모의할 만큼 충분히 크지 않음. 그러나 2주 후부터는 앙상블 스프레드가 예보 불확실성을 표현하기에 충분한 Consistent 유형. 단, 겨울철 앙상블은 예보 시작 약 2주 후부터는 Negative bias를 가지는 경향이 있음. [그림2]

2.2. 앙상블 신뢰도

- 신뢰도 지수 평가 결과 GloSea5 후보 실험은 대체로 신뢰할만한 앙상블을 보유하고 있음.
- 분석하고자 하는 앙상블의 shape이 가장 이상적인 앙상블 유형인 flat shape로부터 가까운 정도를 신뢰도 지수로써 나타냄. 지수값이 낮을수록 신뢰도가 높음.

- 리드타임 2주 이후에는 약 20에 해당하는 낮은 신뢰도 지수 값을 나타내고 있어 GloSea5 앙상블은 계절내 규모에서 대체로 신뢰할만한 앙상블 보유하고 있다고 보여짐. [그림2]

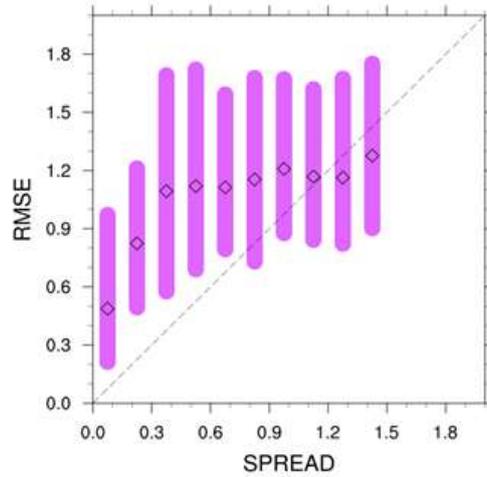


[그림 2] GloSea5 현업 후보실험의 앙상블 유형과 신뢰도 지수

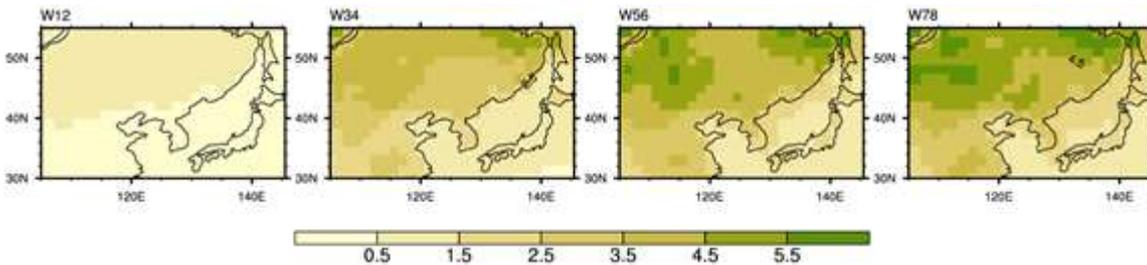
- GloSea5 앙상블에 대한 일관성과 신뢰도 진단 결과 예보 2주 이후 앙상블 자료들은 믿을 만한 수준으로 평가되므로 활용하기 좋음.

2.3. 에러-스프레드 관계

- GloSea5는 후보실험의 계절내 기온 앙상블은 스프레드가 커짐에 따라 에러가 증가하는 좋은 선형관계를 가지고 있어 스프레드를 통해 불확실성을 추정할 수 있는 좋은 조건을 갖춤.
- 에러와 스프레드의 관계가 좋은 선형관계를 가지고 있으면 통계적으로 신뢰도가 높은 앙상블이라고 평가함.
- GloSea5는 후보실험의 계절내 기온 앙상블은 스프레드가 커짐에 따라 에러가 증가하는 좋은 선형관계를 가지고 있음. 일부 스프레드가 에러보다 작아 underdispersion 하는 구간이 있으나 이는 2주 이내의 짧은 리드타임 영향이 반영되었기 때문. 전체적으로 평균값이 대각선에서 크게 멀지 않고 에러와 스프레드가 함께 증가하여 좋은 에러-스프레드 관계를 보유하고 있음. [그림3]
- 이러한 이상적인 에러-스프레드 관련성은 스프레드가 에러를 추정할 수 있는 좋은 지표가 됨을 의미.
- 스프레드의 공간적인 특징을 살펴보면 리드가 길어질수록 고위도 대륙에서부터 점차 남쪽으로 스프레드가 증가하여 에러 역시 유사한 전파 경향을 가지고 있을 거라 추정할 수 있고 고위도 대륙에서 에러의 근원을 찾을 수 있을 것이라 예상 가능. [그림4]



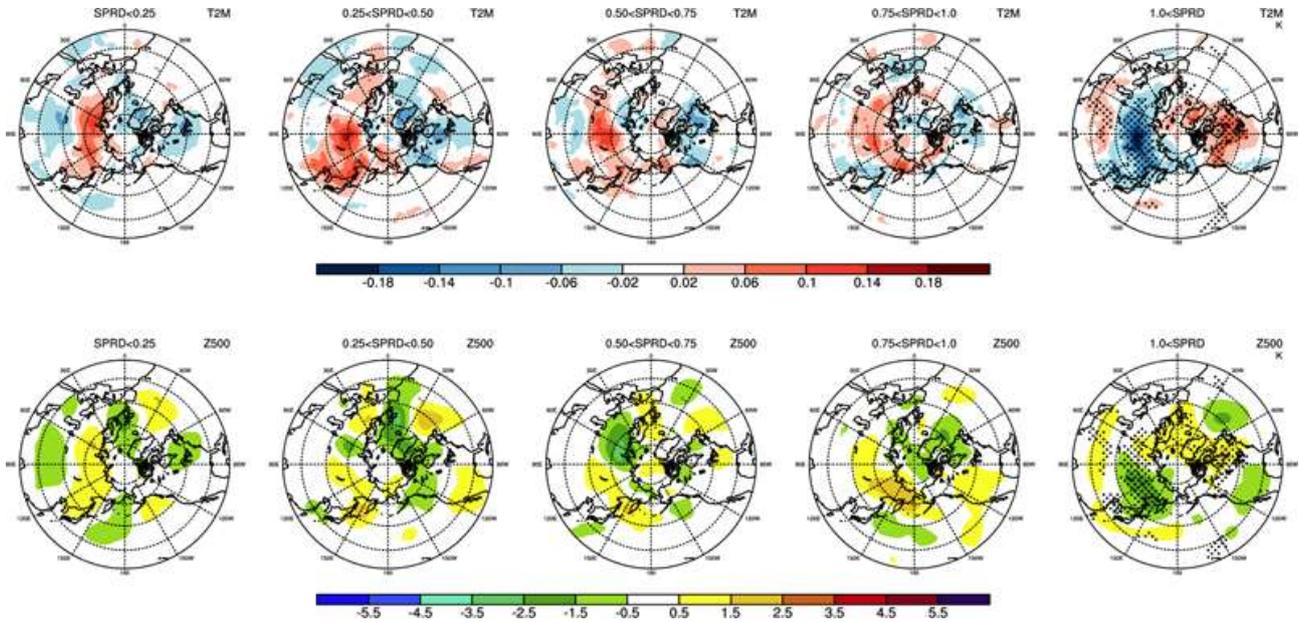
[그림 3] GloSea5 현업 후보실험의 앙상블 에러-스프레드 관계 (1~8주 기온 예보)



[그림 4] GloSea5 현업 후보실험의 기온 앙상블 스프레드, 리드타임 1주~8주

- 유라시아 대륙 고위도에서의 저온 아노말리는 8주 이내 동아시아 기온 예보의 불확실성이 커지게 하는 요인으로 작용할 수 있어 GloSea5의 기온 예측 개선을 위해서 고위도 지면/해빙 처방에서의 개선이 필요함.
- 앙상블 에러와 스프레드의 관계를 통해 좀 더 예측 가능한(불가능한) 상태를 만드는 대기 흐름(불확실성)을 표현할 수 있음.
- 동아시아 기온 예측의 큰 불확실성을 대신할 수 있는 GloSea5 동아시아 기온 앙상블의 큰 스프레드는 동아시아를 포함한 유라시아 대륙의 저온 아노말리와 관련되어 있고 이 저온 아노말리는 우랄산맥 인근 상층 고기압성과 북동아시아 저기압성 아노말리와 연관됨 [그림5 제일 우측 그림].
- 몇몇 연구들에서 계절내 기온 예측에 있어서 모델에서의 눈-기온 커플링 과정의 개선(Diro and Lin, 2020)과 현실적인 초기 토양 수분 및 눈 상태 처방(Koster et al., 2010; Jeong et al., 2013; Hirsch et al., 2014;; Orsolini et al. 2013; Thomas et al. 2016)이 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한 바 있어 GloSea5의 동아시아 기온 예

보에 대한 불확실성을 줄이기 위해서 GloSea5의 고위도 지면/해빙 처방에서 개선을 하나의 방안으로 제안 함.



[그림 5] GloSea5 기온 예보의 불확실성, 위 (기온), 아래 (500hPa 지위고도), 좌측으로 갈수록 스프레드가 작은 구간이고 우측으로 갈수록 스프레드가 큰 구간

제3장 앙상블 생산 방안 별 예측 특성

동아시아 계절내 기온 예측에 있어서 앙상블 개수, 생산 일자, 생성 기법에 변화를 준 민감도 실험들의 정확도, 유용성, 활용도를 기존 현업 예보와 비교하였음.

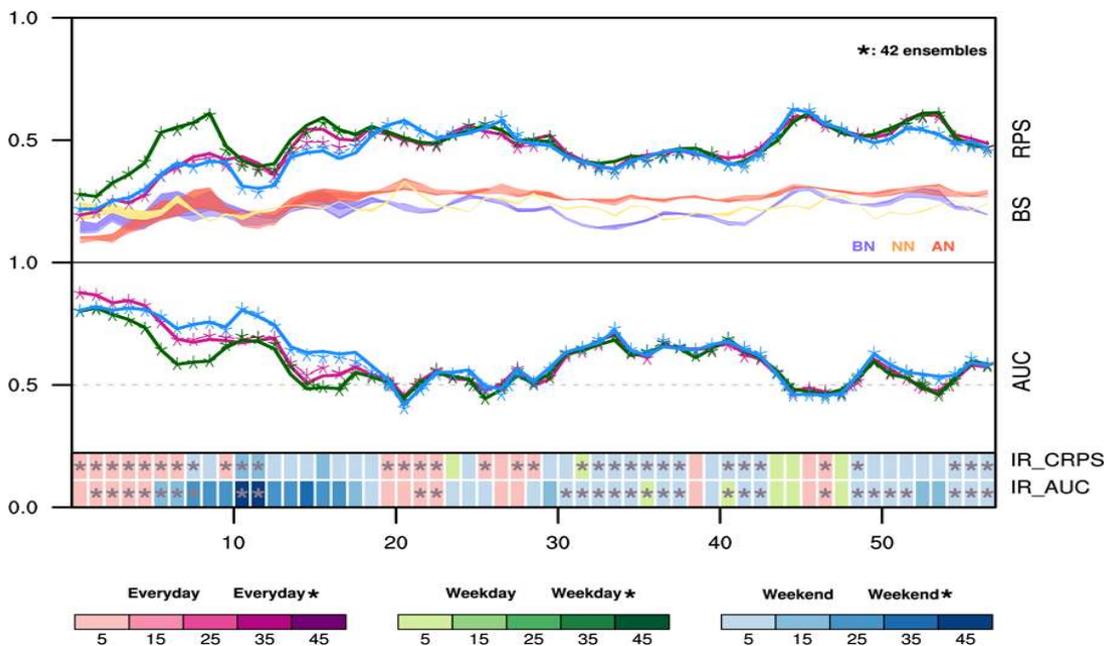
3.1. 예보의 정확도

- BS (Brier Score), RPS (Ranked Probability Score), CRPSS (Continuous Ranked Probability Score)로부터 동아시아 기온 예보의 정확도를 평가함.
- 현업 예보의 경우 적분 후 5일경 스킨이 급감하고 13일경 또 한 번 급감해서 리드 3,4주는 계절내 예보에서 가장 개선이 필요한 기간. 그러다 30일~43일 예보에서 스킨이 조금 회복되는 특징이 있음. 스킨의 감소와 회복에 있어서는 다른 민감도 실험도 현업과 비슷한 경향을 보임. [그림 6]
- 민감도 실험간 비교를 해보면 리드 28일 이전에는 실험간 정확도의 차이가 존재하나 4주 이후의 예보에 대해서는 민감도 실험의 효과가 크지 않음. 현업 예보에서 앙상블 수가 증가되면 예측 정확도가 다소 증가(별표가 있는 붉은색 선). 초기 일자를 주중 1회로 실험하면 현업 예보보다 정확도가 감소하고(녹색 선) 주말 1회로 적분하면 다소 증가(파란색 선). 주중런과 주말런에서의 앙상블 증가 효과는 거의 없음 (별표가 있는 녹색선과 파란색 선). [그림 6]
- 현업 예보 대비 민감도 실험의 개선정도를 살펴보면(타일맵의 음영색으로 실험 구분, 음영의 농도로 개선 정도 구분) 대체로 5%~15%의 예보 정확도 개선을 주말런을 통해 도모할 수 있음. (1주와 4주는 앙상블 크기 증가로 5%의 예보 정확도 개선 가능) [그림 6]
- 현업 예보 대비 주중런과 주말런의 개선 정도가 상이하여 앙상블 생산 기법 (LAF v.s. Burst) 간 더 효과적인 방안이 무엇인지를 판단하기는 어려움.

3.2. 예보의 유용성

- AUC (Area under ROC curve)로부터 동아시아 기온 예보의 유용성을 평가함. 기본적으로 현업 실험의 경우 (0.5이상의 AUC 값을 보이므로) 대체로 8주까지 유용한 예보를 생산해내고 있음. [그림 6]
- 유용성 평가에서도 정확도와 마찬가지로 4주(28일) 이후의 예보에 대해서는 민감도 실험간 유용성의 차이가 크지 않음. 초기 2,3주에서의 현업 예보의 스킬 저하를 주말런을 통해 향상시킬 수 있음. [그림 6]
- 현업 예보 대비 민감도 실험의 개선정도를 살펴보면 주말런을 통해 적게는 5%에서 많게는 45%(예보 2주차)의 유용성 개선을 도모할 수 있음. [그림 6]

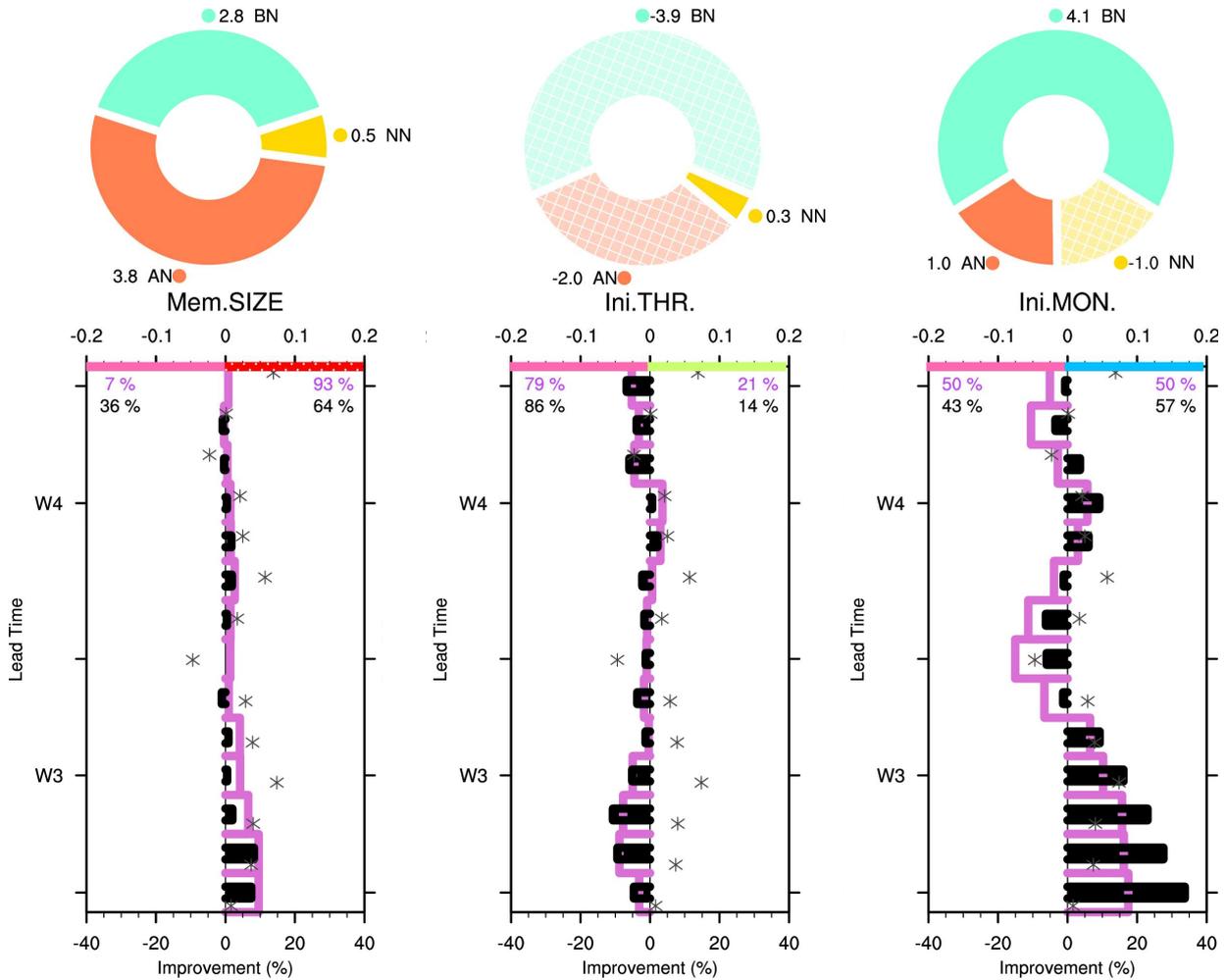
기본적으로 현업 실험의 경우 대체로 8주까지 유용한 예보를 생산해내고 있고 그 중 3,4주 예보는 가장 개선이 필요한 기간임. 현업 예보의 계절내 예측 스킬을 주말런(정확도 ~15%, 유용성 ~45%)을 통해 향상시킬 수 있음. 기존 앙상블 생산 방법을 유지할 경우 앙상블 수를 증가시킴으로써 예측성 개선에 일부 효과(정확도와 유용성 5% 개선)를 볼 수 있음. 그러나 주 1회 적분에서는 앙상블 크기 증가 효과가 미미함. 주중런은 권장하지 않음.



[그림 6] GloSea5 기온 예보에 대한 민감도 실험 간 정확도, 유용성 비교, 각 실험에서의 BS, RPS, AUC는 실선으로, 현업 예보 대비 CRPS와 AUC의 개선정도(%)는 타일맵으로 표시하였고 각 리드타임마다 개선율이 가장 큰 실험만 표시.

3.3. 3,4주 예보의 정확도와 유용성

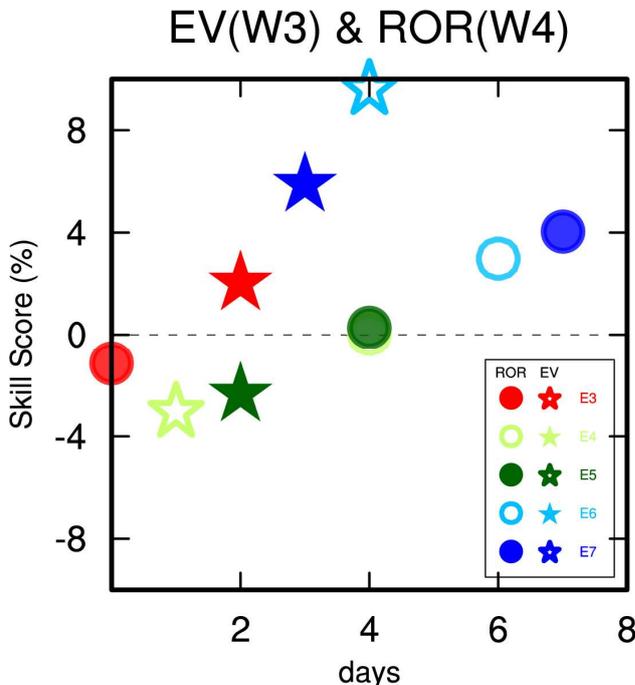
- 예측 성능의 개선이 요구되는 예보 3,4주차의 동아시아 현업 기온 예보는 기본적으로 유용함. 이 현업 시스템에서 앙상블 멤버수가 증가하면 리드 타임 전반에 걸쳐 스킬을 증가시킬 수 있음. 기존 현업 예보 대비 민감도 실험 간 개선 정도를 상호 비교하자면 개선율의 크기에 있어서는 앙상블 멤버수 증가와 주말런이 주중런 보다는 효과를 가져다 줄 수 있고, 개선된 리드타임의 수 측면에서도 앙상블 크기 증가가 가장 개선 효과가 크고 그 다음은 주말런 순서임. 대체로 below normal과 above normal에서 개선 효과가 있음.
- 계절내 기간 중 예측 성능의 개선이 요구되는 예보 3,4주차에 대하여 좀 더 면밀히 살펴 보기위해 동아시아 3,4주 기온 예측에 대한 민감도 실험 예보 개선 정도를 [그림 7]에서 비교.
- 앙상블 멤버수가 증가하면 리드 타임 전반(정확도 기준 93%, 유용성 기준 64%)에 걸쳐 스킬이 증가함 [그림7의 좌]. 개선율은 정확도 기준 3.2% 증가, 유용성 기준 1.5% 증가함.
- 주중 1회 런 중 주말에 런을 하면 전체 14일의 리드타임 중 절반 정도(정확도 기준 50%, 유용성 기준 57%)의 리드타임에서 스킬이 증가함 [그림7의 우]. 앙상블 수 증가 실험에 비해 개선율의 폭이 넓음. 개선율은 정확도 기준 1.4% 증가, 유용성 기준 5.8% 증가함.
- 주중에 런을 하는 것보다 현재의 현업 실험을 통해 전체 리드타임 중 약 80%의 리드타임에서 스킬 개선을 도모할 수 있음 [그림7의 중간]. 개선율 역시 현업 대비 약 3%(정확도 -2.5%, 유용성 -3.8%) 감소 됨.
- 예보 카테고리 별로 살펴보자면 대체로 below normal과 above normal에서 개선 효과가 있음.
- 단, 좀 더 안정적인 결과 도출을 위해 추후 다수의 예측장을 생산하고 검증하여 통계적 유의성을 확보할 필요가 있음. 본 연구에서는 분석 영역의 모든 공간 격자 점을 사용하는 방식을 취함으로써 예측장의 수가 작은 문제를 극복하고자 하였고 이는 선행 연구들에서 샘플의 크기가 작을 때 종종 사용되는 접근법임 (e.g. MacLeod et al. 2018, Christensen et al. 2015, Haiden et al., 2016).



[그림 7] 동아시아 3,4주 기온 예측에 대한 민감도 실험 예보 개선 정도 비교. 앙상블 크기 증가 실험과 주 1회 예보 실험 (주중(목), 주말(월))의 현업 예보 대비 개선율을 막대그래프(보라색 막대 : RPS, 검은색 막대 : AUC)로 나타냄. 가로축의 0% 개선율을 기준으로 오른쪽으로 막대가 치우치면 민감도 실험을 통해 예측이 개선, 왼쪽으로 치우치면 현업 예보를 유지하는 것이 효과적임을 뜻함. 회색 별표는 현업 예보의 AUC에서 0.5를 뺀 값으로 0 이상이면 현업 예보가 유용한 상태임을 의미. 각 실험마다 평년이하, 평년, 평년이상 기온 예보에 대한 Brier Score의 개선율도 파이차트로 함께 제시함. 파이차트에서 옅은 색 빗금 친 영역은 현업 대비 개선이 되지 않았음을 뜻함.

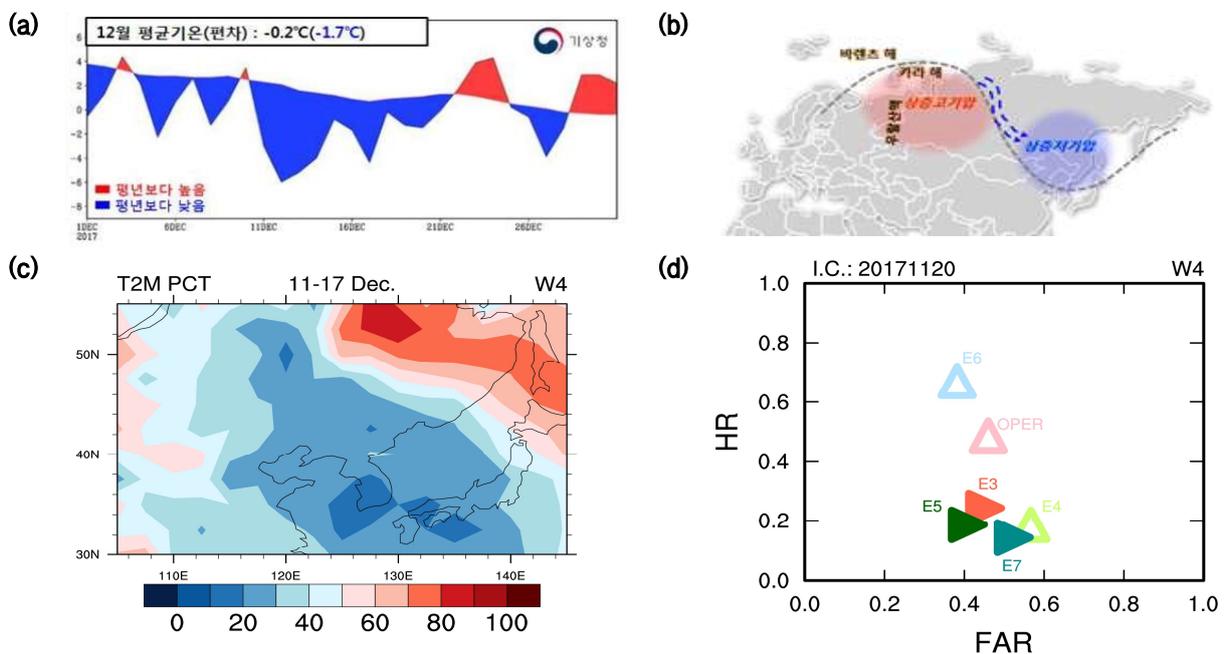
3.3. 예보 활용도

- 동아시아 기온의 3,4주 예보에 있어서, 예보를 활용하는 예보관과 사용자 중심에서 얻을 수 있는 이득은 현업 예보 대비 주말런이 가장 큼.
- [그림 8]에서는 Economic Value(EV)와 Return of Rate(ROR)를 통해 예보 3,4주차의 동아시아 기온 예측에 대한 활용도를 살펴보았음. EV는 비용과 손실에 근간하여 예보의 가치를 진단하는 방법이고, ROR은 주어진 확률로 예측에 투자할 경우 가질 수 있는 수익률을 나타낸 지표로서 두 진단 방법을 통해 예보를 활용하는 사용자 중심에서의 이득을 가늠할 수 있음.
- 예보 4주차 동아시아 기온에 대해 우리가 현재 현업 시스템을 가지고 예측을 한다면 기후학적 분포로 판단하는 것보다는 10~20% 더 많은 예측 가능성을 가지고 있음(not shown). 주말런을 활용한다면 현업 시스템 보다 약 4% 더 많은 수익률을 가질 수 있고 리드타임 7일 중 거의 대부분에서 더 나은 예측이 가능함 [그림 8].
- 예보 3주차에서 현업 시스템의 동아시아 기온은 0.3의 비용과 손실의 비(C/L)를 가진 사용자에게 가장 가치가 가장 높음. 이 사용자들에게 있어서 현업시스템은 완벽한 예보의 약 20%의 가치에 달하는 예보를 생산함 (not shown). 이 3주차 현업 예보는 주말에 런을 한다면 5~9% 더 많은 가치를 얻을 수 있고 3주에 해당하는 7일 중 절반의 리드타임에서 더 나은 이득을 가져올 수 있음 [그림 8].



[그림 8] 동아시아 3,4주 기온 예측에 대한 Economic Value(EV)와 Return of Rate(ROR)의 개선 정도 비교. 앙상블 크기 증가 실험(빨간색)과 주 1회 예보 실험(주중(녹색 계열), 주말(파란색 계열))의 현업 예보 대비 개선율을 세로축에 나타냄. 가로축은 개선된 리드타임의 수를 의미.

- [그림 9]에서는 극한 기상에 대해서도 현재 예보를 개선시킬 수 있는 앙상블 방안이 존재하는지 살펴보고자 2017년 12월 중순 한파에 대한 사례분석을 하였고 Extreme Forecast Index(EFI)를 통해 진단하였음. EFI는 모델의 기후 분포와 확률 예보 사이의 차이를 통해 예보관에게 잠재적인 극한 기상 사건에 대해 초기 가이드를 제공하는 도구로서 ECMWF에서 개발되었고 현업에 활용되고 있음. EFI는 주로 Hit Rate(HR)와 False Alarm Rate(FAR)로 검증.
- 2017년 12월은 11월 중반에 시작된 음의 북극진동이 12월 중반까지 지속되면서 북극의 찬 공기가 중위도로 남하하기 좋은 조건이었으며, 우랄산맥-카라 해 부근에 형성된 상층 고기압이 정체하여 상층의 찬 공기가 우리나라 부근으로 지속적으로 유입[그림 9b]되어 기온이 평년보다 낮은 날이 많았고 특히 11일~14일에는 찬 대륙고기압이 일시적으로 강하게 발달하여 기온이 큰 폭으로 떨어졌음[그림 9a]. 이 시기는 2017년 11월 20일을 초기장으로 사용한 예보의 리드 4주차에 해당함[그림 9c].
- 이 한파는 기후학적으로 하위 10%~20%에 해당하는 추위[그림 9c]였으나 현업시스템에서는 -10%의 비정상성만 나타내었음. 그러나 주말론은 -30%까지의 비정상성을 보였음(not shown). 주말론을 통해 한파에 대한 4주 예보는 현업 대비 HR은 0.48에서 0.67로 증가, FAR은 0.46에서 0.38로 감소하여 예보관 입장에서 주 1회 주말론은 극한 기상 발생에 활용하기 좋은 앙상블 방안으로 보임 [그림 9d].



[그림 9] 2017년 12월 중순 한파 사례. (a) 전국 12월 평균기온 편차의 일변화 시계열, (b) 한파 발생과 관련된 기압계 모식도, c) 2017년 11월 20일을 초기장으로 사용한 예보의 4주차에 해당하는 12월 중순 동아시아 기온 퍼센타일 분포도, (d) 예보 4주차 Extreme Forecast Index의 Hit Rate와 False Alarm Rate.

제4장 요약 및 정리

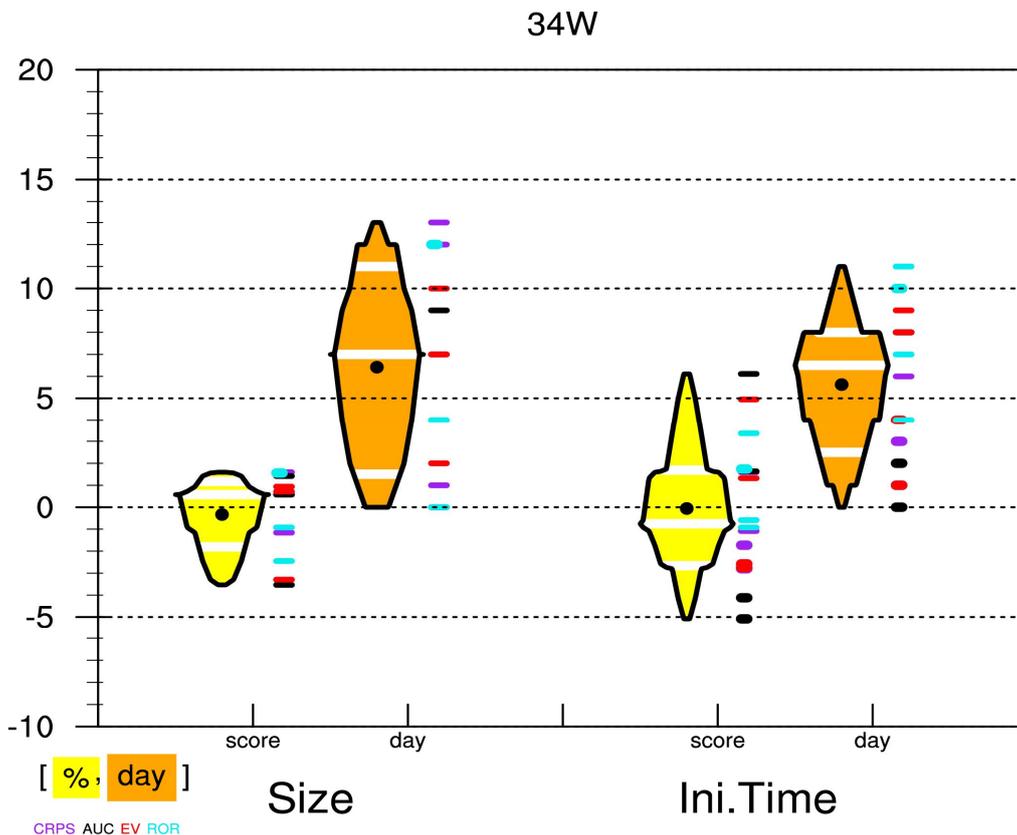
4.1. 요약

- 이음새 없는 기상 정보 생산에 대한 기상청 현업 장기에측시스템(GloSea5)의 활용과 예측성 개선을 위해 본 가이드라인에서는 계절내 예보에 대한 GloSea5의 효율적인 앙상블 예측 시스템 구축과 개선 방향에 대한 제언하고자 함.
- GloSea5 현업 hindcast의 1주~8주에 해당하는 동아시아 기온 예측에 대한 앙상블의 기본 특성을 진단한 결과 예보 2주 이후 일관되고 신뢰도가 높은 앙상블을 생산하고 있다고 평가 되어 활용해도 좋음.
- 또한 GloSea5 앙상블에 대한 불확실성 진단을 통해 살펴 본 결과 유라시아 대륙 고위도에서의 저온 아노말리와 그에 수반되는 상층 고/저기압의 동서 배치가 8주 이내 동아시아 기온 예보의 에러가 커지게 하는 요인으로 작용할 수 있어 고위도 지면/해빙 처방에서의 개선을 제안 함.
- 동아시아 계절내 기온 예측에 있어서 앙상블 개수, 생산 일자, 생성 기법에 변화를 준 민감도 실험들의 정확도, 유용성, 활용도를 기존 현업 예보와 비교하였음.
- 기본적으로 현업 실험의 경우 대체로 8주까지 유용한 예보를 생산해내고 있고 그 중 3,4주 예보는 가장 개선이 필요한 기간으로 판단됨. 계절내 예측에 대한 현업 예보의 정확도와 유용성을 월요일 적분으로 생산 일자 변경을 통해 각각 최대 15%, 45% 향상시킬 수 있음. 기존 앙상블 생산 방법을 유지할 경우 앙상블 수를 42개로 증가시키는 방안도 정확도와 유용성 개선에 일부(5% 정도) 효과를 볼 수 있음. 그러나 burst 방법에서는 앙상블 크기 증가 효과가 미미함. 주중런은 권장하지 않음.
- 예측 성능의 개선이 요구되는 예보 3,4주차의 동아시아 현업 기온 예보는 기본적으로 유용함. 이 기존 현업 시스템에서 앙상블 멤버수가 증가하면 리드 타임 전반에 걸쳐 스킬을 증가시킬 수 있음. 기존 현업 예보 대비 민감도 실험 간 개선 정도를 상호 비교하자면 개선율의 크기에 있어서는 앙상블 멤버수 증가와 주말런이 주중런보다는 효과를 가져다 줄 수 있고, 개선된 리드타임의 수 측면에서도 앙상블 크기 증가가 가장 개선 효과가 크고 그 다음은 주말런 순서임. 대체로 below normal과 above normal에서 개선 효과가 있음.

동아시아 기온의 3,4주 예보에 있어서, 예보를 활용하는 사용자 중심에서 얻을 수 있는 이득은 현업 예보 대비 4% 이상의 수익률과 예보 가치를 5~9% 더 얻어낼 수 있는 주말런에서 가장 큼. 또한 예보관 입장에서 주말런으로 생산 일자를 변경하는 것이 극한 기상 발생에 가장 활용하기 좋은 예보를 생산하는 것으로 보임.

4.2. 정리

종합 분석[그림 10] 결과 예측성 개선이 필요한 3,4주 기온 예보에 대해서 앙상블 크기를 증가시킬 경우 현업 예보 대비 최대 약 3%의 스킬 개선과 최대 13일, 평균 6일의 예보일 개선을 기대할 수 있음. 매일이 아닌 일주일에 한 번 예보를 생산하고 그것이 월요일이라면 최대 6%의 스킬 개선과 4~11일의 리드타임 개선을 가져올 수 있음.



[그림 10] 동아시아 3,4주 기온 예측에 대한 민감도 실험 예보 개선 정도 비교. 앙상블 크기 증가와 생산 일자 변화에 대한 예보 스킬의 개선율과 개선된 예보일 수를 다양한 평가 기법에 대해 종합적으로 나타냄. 각 box 오른쪽의 막대에는 사용된 예보 스킬들이 나타나있고 그 중 짧은 막대들은 주중런의 스킬.

| 참고문헌 |

- Christensen, H.M., I. M. Moroz, and T. N. Palmer, 2015: Evaluation of ensemble forecast uncertainty using a new proper score: application to medium-range and seasonal forecasts. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 141, 538-549. <https://doi.org/10.1002/qj.2375>.
- Diro, G. T., and H. Lin, 2020: Subseasonal Forecast Skill of Snow Water Equivalent and Its Link with Temperature in Selected SubX Models. *Wea. Forecasting*, 35, 273-284, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0074.1>.
- Haiden, T., M. Janousek, J. Bidlot, L. Ferranti, F. Prates, F. Vitart, P. Bauer and D. S. Richardson, 2016: Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2016 resolution upgrade (ECMWF Tech. Memo 792). Retrieved from <http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2015/15275-evaluation-ecmwfforecasts-including-2014-2015-upgrades.pdf>
- Hirsch, A. L., J. Kala, A. J. Pitman, C. Carouge, J. P. Evans, V. Haverd, and D. Mocko, 2014: Impact of land surface initialization approach on subseasonal forecast skill: A regional analysis in the southern hemisphere. *J. Hydrometeor.*, 15, 300-319, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-05.1>.
- Jeong, J.-H., H. W. Linderholm, S.-H. Woo, C. Folland, B.-M. Kim, S.-J. Kim and D. Chen, 2013: Impacts of snow initialization on subseasonal forecasts of surface air temperature for the cold season. *J. Climate*, 26, 1956-1972, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00159.1>.
- Koster, R. D., and Coauthors, 2004: Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, 305, 1138-1140, <https://doi.org/10.1126/science.1100217>.
- MacLeod D, C. O' Reilly, T. Palmer, A. Weisheimer, 2018: Flow dependent ensemble spread in seasonal forecasts of the boreal winter extratropics. *Atmos Sci Lett.* 2018;19:e815. <https://doi.org/10.1002/asl.815>
- Orsolini, Y., R. Senan, G. Balsamo, F. Doblas-Reyes, F. Vitart, A. Weisheimer, A. Carrasco and R. Benestad, 2013: Impact of snow initialization on sub-seasonal forecasts. *Climate Dyn.*, 41, 1969-1982, <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1782-0>.
- Thomas, J. A., A. A. Berg and W. J. Merryfield, 2016: Influence of snow and soil moisture initialization on sub-seasonal predictability and forecast skill in boreal spring. *Climate Dyn.*, 47, 49-65, <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2821-9>.

|| 저자소개 ||

김해정

APEC기후센터 기후사업본부 예측기술과 선임연구원

Tel: 051-745-3961 E-mail: shout@apcc21.org

※ 본 가이드라인의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.