

국외 출장 결과보고서

결	담당자	실장	사업단장
	10월 12일	10월 12일	10월 12일
재	심태현	김정한	이우진

1. 출장개요

출장목적	EMS 2022 학회 (European Meteorological Society Annual Meeting 2022) 참석		
출장일정	2022. 9. 3.~2022. 9. 11. (7박 9일)		
성명	소속	직급(직위)	
심태현	모델체계팀	선임급연구원(팀장)	
김신우	모델체계팀	선임급연구원	
김상욱	모델체계팀	원급연구원	
오테진	자료응용팀	책임급연구원(팀장)	
안소정	자료응용팀	원급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	독일 본 대학교(University of Bonn, Germany)		
출발지	인천(Incheon)	도착지	본(Bonn)

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 개요 : EMS는 유럽을 대표하는 기상학회로 AISAM, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Royal Meteorological Society 등의 39개의 Member Society와 ECMWF, EUMETSAT, Meteo-France, MeteoSwiss 등의 29개의 Associate Member로 이루어진 비영리단체이다. 2022년 9월 4일부터 9일까지 6일간 독일 본 대학에서 개최되는 유럽 기상학회 연례회의(EMS Annual Meeting 2022)는 전 세계, 특히 유럽 대기과학의 미래와 이와 관련된 전략적 문제를 중점으로 두고 매년 한자리에 모여, 기상학 및 기후학 전문가들 그리고 관련 커뮤니티간의 아이디어 공유 및 상호교류를 촉진하는 것을 목표로 한다. 특히 올해 EMS Annual Meeting 2022에서는 매일의 날씨에서 경년변동의 기후까지 이르는 이음새 없는 전 기간 기상·기후 과학을 중점 주제로 다룰 예정이다. 운영체계실에서 참석하는 올해 학회 EMS 출장인원은 각각 모델체계팀 3명, 자료응용팀 2명이다.

- 목적: EMS 연례대회 참석을 통해 다양한 분야에서의 연구자들에게 사업단의 연구 개발 현황을 알리고, 관련 전문가들과의 교류를 통해 국제적인 네트워크를 형성하며, 사업단 연구원들이 연구 개

발 중인 사항들에 대해 다양한 피드백을 받아 이를 참고하여 향후 연구에 반영하고자 한다.

- 김상욱 : 학회 발표를 통해 KIM의 전·후처리 과정 알고리즘과 병렬화 및 최적화를 통한 성능향상 성과를 소개하고, 전문가들과 의견을 공유하고자 한다. 아울러 인공지능 및 고속연산을 이용하는 격자변환 방법론에 관한 최신 연구 동향을 파악하고, KIM에서의 적용 방안에 대해 토의할 계획이다.
- 김신우 : 이음새 없는 수치모델 예측기술의 개발에 있어 빙권 지역의 경계조건이 미치는 영향을 이해하고 이를 반영하는 것은 필수적인 과정이다. 본 학회의 참석과 발표를 통해 대기와 빙권의 상호 작용 및 프로세스에 대한 연구 결과를 공유하고 해외 전문가들과 모델링과 관측을 아우르는 극지역 경계조건 개선 및 결합모델 개발 등에 대해 토의하고자 한다.
- 심태현 : 사업단에서 진행 중인 KIM의 연장중기예측 체계와 성능을 소개하고, 이와 관련하여 이음새 없는 수치모델 예측기술 측면에서 필수 요소인 연장중기, 그리고 계절내-계절규모(sub-seasonal to seasonal, S2S) 예측기술의 발전 동향을 파악하고자 한다. 학회 발표를 통해 연장중기의 성능을 과거재현실험에 의해 확인하고, 주어진 전문가와의 토의를 통해 각 기관 모델과 KIM의 연장중기 및 S2S 예측성능을 비교·분석한다. 이를 통해 앞으로 KIM의 연장중기 및 S2S 예측성 향상 연구의 근거로 활용할 계획이다.
- 안소정 : 사업단에서 개발 중인 인공지능 기술에 대한 소개와 강한 강수 예측을 위한 접근계획을 제시하고 전문가들과 토의하고자 한다. 나아가 인공지능 기술을 바탕으로 날씨 및 기후 관련 필요한 정보를 습득하고 인공지능 기술 개발 계획에 반영하고자 한다. 또한 세계적인 국제학회 참가를 통한 사업단 연구를 홍보하고자 한다.
- 오태진 : 올해 APJAS에 출판한 천수방정식계에서의 대칭 쌍와도 병합에 대한 연구 (Sun & Oh, 2022) 결과를 발표하고 해외 전문가들로부터 피드백을 받고자 한다. 발표 주요 내용으로는 대칭 쌍와도 병합 여부를 예측하는데 있어서 로스비 변형 반경 (Rossby radius of deformation), 로스비수 (Rossby number), 그리고 잠재와도 경향성이 갖는 의미에 대한 고찰, 그리고 기존에 알려진 잠재와도 필라멘트 분출이 와도 핵으로부터 발산되는 것이 아니라는 것에 대한 수치 실험 결과다. 이를 쌍와도 병합을 실제 태풍 병합 예측에 적용 될 수 있는지에 대한 피드백을 받고자 한다. 또한 유럽에서 진행 중인 기계학습/인공지능 기반 기상모델 응용 연구 최신 동향을 파악하고 개별 전문가들과의 토의를 통해 모델 컴포넌트 에뮬레이터 구성 및 강한 강수 예측 관련된 정보를 습득하고 향후 개발 계획에 반영하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

※ 학술회의에서의 연구개발성과 발표 내용, 최신 연구개발 기술동향 습득 내용, 외부 전문가와의 토의 내용

등 기술, 기관 방문 시 회의내용에 대한 기술

○ 김상욱 : 독일 기상청(Deutscher Wetterdienst; DWD) 연구원들과 KIM의 alternative-bilinear 격자변환 알고리즘을 독일의 독자 기상모델인 ICON에 적용할 수 있는 방안에 대해 논의하였다. 삼각형 기반 격자체계를 이용하는 ICON에서 alternative-bilinear 격자변환은 효과적인 대안이 될 수 있으며, 격자변환 행렬을 이용하는 변환방식이 속도향상에 크게 이바지할 것으로 기대된다. 호주 기상청(Bureau of Meteorology; BOM) 연구원들과 KIM3.6 버전까지 활용하던 파이선 기반 도구의 문제점에 대해 논의하였으며, 이를 통해 파이선 netCDF4 라이브러리에 주의해야할 몇 가지 결함 사항이 있으며, 이를 해결하는 방법의 실마리를 제안받았다.

○ 김신우 : KIM 모델을 이용한 여름철 북극 저기압 사례 연구를 통해 크게 두 가지 소득이 있었다. 첫 번째는 KIM 모델이 북극 지역의 저기압 사례를 성공적으로 잘 모의하였으며 해빙 민감도 실험을 통해 해빙 분포가 저기압 발달에 직접적인 영향을 줄 수 있음을 확인하였다는 것이다. 두 번째는 KIM 해빙 결합 실험에서 현재 버전의 KIM 결합 모델이 해당 사례에 대해 해빙의 감소를 잘 모의하지 못한 부분으로 이에 대한 분석과 토의를 거친 결과 해빙 과정의 단파 복사와 알베도 설정과 관련되었을 가능성을 확인하였다. 이러한 연구와 토의 내용을 추후 KIM 모델을 이용한 역학 연구 및 성능 개선에 활용하고자 한다.

○ 심태현 : 겨울철 hindcast 수행을 통해 연장중기에서의 KIM 모델의 가능성을 알리고자 하였다. 11월의 사례를 활용하여 지상기온과 Z500에 대한 예측 시작일로부터 3~5주의 예측성을 결과를 소개하였다. 저해상도 실험, 앙상블의 개수에 대한 한계가 있지만 hindcast 결과를 활용함으로써 bias를 줄이고, 이를 통해 KIM의 연장중기 예측에 있어 anomaly 예측에의 가능성을 확인하였다. 결과발표를 통해 예측의 시간규모에서 연장중기는 초기자료와 경계자료, 그리고 앙상블이 복합적으로 연관되어 있음을 인지하고, 대기뿐만 아니라 지면 앙상블 멤버의 적용 방안에 대한 조언을 제안받았다. 또한 앙상블 멤버의 개수에 대한 민감도 분석과 시간지연방안 이외의 앙상블 생성 방안 적용 등에 대한 조언을 분석하여, 추후 KIM의 연장중기 예측에 적용할 방안을 연구하고자 한다.

○ 안소정

- Evaluating the performance of Long Short-Term Memory (LSTM) Networks for rainfall-runoff modelling in large catchments (Edgar Espitia) : Long Short-Term Memory

(LSTM)을 이용하여 독일의 종관관측자료의 일 누적 강수를 예측하는 연구로 Hydrological modelling을 접목한 모델의 성능과 LSTM의 성능을 비교해본 결과 LSTM이 더 좋은 결과를 보였다.

- Cloud Nowcasting over Germany using Deep Learning : 데이터 입력 개수를 최적화하고 이를 다양한 아키텍처에 적용함으로써 구름 탐지를 예측 연구로, DNN (Deep Neural Network)의 ConvLSTM 모델을 이용하였고, 다양한 입력 개수를 토대로 4개의 입력 개수를 이용하여 계산했을 때 구름탐지를 가장 잘 예측할 수 있다고 소개하였다. 구름 탐지를 위해 U-Net, U-Net CBAM, ConvLSTM, Metnet를 적용한 결과 ConvLSTM가 가장 우수한 성능을 보였다.
- 토의내용 1: 고해상도 강수 예측을 위해 fractions skill score (FSS)을 사용해 보는 것이 어떤지, FSS는 고해상도 강수 예측에서 주로 사용되는 검증 지수로, 고해상도 예측에 용이한 인공지능 모델 GAN을 검증할 때 이점이 있다는 의견이 있었다. 그리하여 현재로 Brier score, CSI, PSNR의 검증평가 방법을 사용하고 있는데 제안대로 FSS를 추가 검증하는데 동의하였다.
- 토의내용 2: 현재 모델의 경우 stochastic한데, 이를 ensemble을 이용하여 deterministic한 모델로 구성하는 방안을 제안해주었고, 관측자료의 오차로 인해 모델이 불안정해지는 점이 있는데 그 점을 이용하면 성능을 개선할 수 있을 것이라고 답변하였다.

o 오태진

- ML Driven Imputation of Precipitation Data Collected at High Sampling Rates (Peter Lünenschloß, David Schäfer, Florian Gransee, Antje Claußnitzer, Thomas Schartner, and Jan Bumberger) : 강수 관측시 결측 자료를 기계학습을 이용해서 채워넣는 기법을 다룬 연구로 분류화 회귀 2가지 단계를 거쳤다. 연구 결과 강수 여부는 안정적으로 예측해낼 수 있었으며 강수량 정확도는 인근의 관측 네트워크 밀도에 의해서 달라짐을 나타냈다. 항상 더 많은 자료를 활용하면 모델 예측 성능을 올릴 수 있는것은 아니었으며 최근 5년 관측 자료를 활용했을때까지가 성능 개선 효과를 보여주었다.
- Cloud Mask Nowcasting over Germany Using Deep Learning (Mads Emil Marker Jungersen, Thomas Lykke Rasmussen, Andreas Holm Nielsen, and Henrik Karstoft) : 심층신경망을 이용해서 구름 마스크 초단기 예측을 하는 연구로 예측하는 방식을 모델이 생성한 결과를 되먹이는 방식으로 (auto-regressive) 예측하는 방식과 한번에 여러 예측 시간대의 구름 마스크를 한꺼번에 예측하는 방식이 비교가 되었는데 후자가 더 좋은 결과를 보여주었다. 또한 U-Net, U-Net + self attention, MetNet, ConvLSTM 등의 아키텍처를 비교하였는데 본 연구에서는 ConvLSTM이 가장 좋은 결과를 보여주었다. MetNet이 더 좋은 결과를 보여줄 것이라 예상했는

데 의외의 결과가 나와 연구진에게 왜 결과가 이렇게 나왔는지에 대해 질문했다. 구글 MetNet 의 경우 지상관측, 레이다, 위성, 수치모델 예측장등의 방대한 종류의 자료가 모두 투입되어 좋은 결과를 보여주는데 반해 본 연구에서의 MetNet 결과는 위성 이미지만을 사용해서 예측성 능이 ConvLSTM에 비해 떨어진 것으로 보인다는 답변을 받았다. 연구진중 한 사람인 Thomas Lykke Rasmussen (thomas@skipconnect.dk) 으로부터 논문 및 코드를 받았으며 보내준 코드를 검토해본 결과 다양한 아키텍처가 구현되어 있어 사업단에서 참고자료로 활용이 가능할 것으로 보인다.

3. 출장성과 · 시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과 · 시사점

- 김상욱 : BOM 측에서 제안한 파이썬 도구의 라이브러리 의존성이 실제로도 나타나는지 확인하였다. 학회에서 제안받은 방법은 파이썬의 Xarray 라이브러리를 이용하는 방법이었으나, 사업단의 가온2 및 기상청 슈퍼컴 환경에서는 해당 라이브러리를 사용할 수 없어 scipy.io에서 제공하는 netCDF 관련 모듈을 대체 사용하였다. 적용결과 netCDF 파일에 변수를 생성(쓰기)하는 과정에서 기존에 이용하던 라이브러리와 큰 속도 차이(약 50배)가 발생하였으며, 이는 병렬화를 적용한 포트란 기반의 도구와 비슷한 속도로 분석되었다(그림 1). 포트란 기반의 격자변환 도구가 병렬화 측면에서 많은 이점이 있기 때문에 위의 방안은 현업에서의 적용이 적합하지 않을 것으로 판단되지만, 파이썬 환경에서 수행되는 개별 연구·분석 과정에서는 활용 가능한 것으로 보인다.

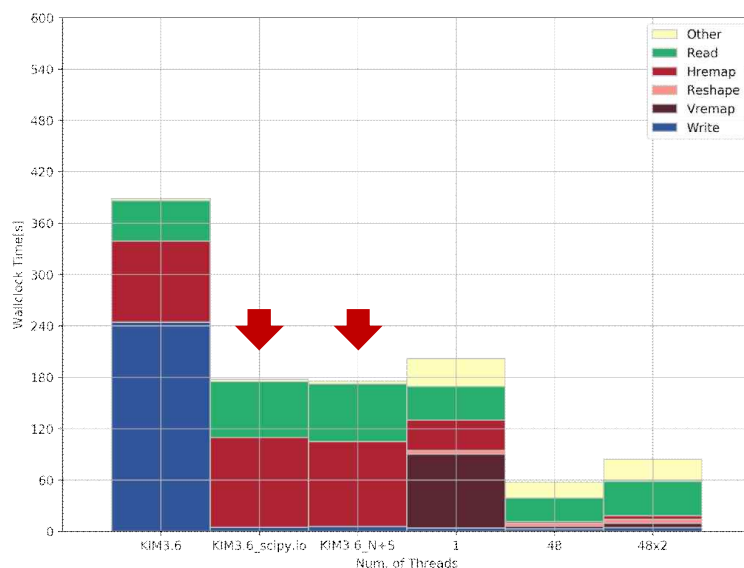


그림 1 ne360np3 해상도의 후처리 프로세스 과정별 소요시간. 좌측부터 KIM3.6, scipy.io 적용 시, netCDF4와 scipy.io 복합 적용, KIM3.7 싱글 스레드, KIM3.7 48개 스레드, KIM3.7 하이퍼스레딩 적용 시.

- 김신우 : KIM 모델에 대해 관심을 가지고 있는 해외 과학자들에게 KIM의 개발 현황에 대해 소개할 수 있는 좋은 기회가 되었다. KIM 모델이 극지역에서 발생한 강한 여름 저기압 사례에 대해 성공적으로 모의함을 확인하였고 해빙과의 상호작용 연구를 위해 활용될 수 있음을 보여주었다. 해외의 많은 연구자들도 경계 결합 모델을 이용하여 대기에 대한 예측과 분석 능력을 향상시키려 노력하고 있었고 KIM의 개발 방향이 최신 연구 경향에 잘 부합되고 있음을 확인하였다. 더불어 현재 개발 진행중인 KIM 결합 모델의 해빙 과정에서의 문제점도 발견하여 추후 KIM 결합 모델의 성능 개선으로 이어질 수 있으리라 기대된다.

- 심태현 : 연장중기 및 S2S의 시간규모에서의 예측에 다양한 전구모델과 지역모델의 예측 성능을 살펴보는 좋은 기회가 되었다. 특히 앙상블 생성을 대기 초기장에만 적용하던 KIM의 hindcast 결과에 대해 지면 초기장에서도 앙상블 생성 및 적용함으로써 좀더 예측성 향상에 기여할 수 있다는 조언을 받았다. 그리고, 실제 연장중기 예측을 위해 결합모델 없이 경계자료를 어떻게 처리할지에 대한 다양한 방법에 대한 발표 결과를 접하고 KIM에 적용 방안을 강구할 수 있게 되었다. 또한, 연장중기와 유사한 계절 내 규모의 예측에 있어 multi-year trend error를 분석함으로써 예측성 향상에 기여할 수 있다는 연구결과를 접하고, 앞으로 KIM의 multi-year trend의 연구에 적용하여 더 나은 연장중기 예측을 위한 hindcast 세트를 구축하고자 한다.

- 안소정 : 출장성과 또는 시사점: 세계적인 기상학회 EMS2022를 통해 유럽, 미국, 등 현재 개발 중인 강수 예측 모델의 특성과 개선에 필요한 아이디어를 얻을 수 있었다. 특히, 사업단 내에서 개발 중인 인공지능 기술 기반 강수 예측 모델의 경우 고해상도로 강수를 예측할 수 있다는 면에서 강점을 가지고 있는데, 기존의 사용하는 평가지표로 해당 강점을 평가하는데 한계점을 가지고 있었다. 이번 학회 참석을 통해 검증 방법을 논의함으로써 모델을 다양한 측면에서 객관적으로 평가할 수 있게 되었다.

- 오탈진 : 인공지능을 활용한 기상 연구중 에뮬레이터 개발과 강수 예측을 중점적으로 살펴보았다. 기계학습을 활용한 강수 예측 연구에 있어서 다양한 자료들을 활용하고 융합하고 있는것에 눈에 띄었다. 특히 위성, 레이더, 그리고 낙뢰 자료들을 합성하여 하나의 새로운 입력장으로 강수 예측하는데 활용하는 것이 인상적이었으며 강수 선행시간을 늘리기 위해 위성자료나 모델자료 활용이 필요한 만큼, 이를 레이더 자료와 융합해서 사용하는 방안을 적극 검토해야 할 것으로 보인다. 또한 낙뢰 자료는 강한 강수와 상관이 있으므로 추가 활용이 가능할 것으로 보인다.

에뮬레이터 개발 관련해서 외국 기관들은 기존 물리과정 모수화를 에뮬레이터로 구성하는 것 뿐만 아니라 신경망을 활용하여 LES 모델링을 하는 등 다양한 응용 분야에 신경망을 적용하고 있는 점이 인상적이었다. 하지만 인공 신경망 에뮬레이터를 온라인으로 (즉 예단변수 예측)에 활용하는 사례가 보이지 않았고 대부분 모델 후처리 보정등으로 활용하는 사례가 대부분이었다. 모델 예단 변수로의 적용은 현 단계에서 불안정성을 보이는 사례가 보여 에뮬레이터의 수치예보모델 접합시 장기 적분 안정성 확보에 많은 연구가 사업단에서도 필요할 것으로 보인다.

마지막으로 파이썬 netCDF4 모듈 성능 문제점 원인을 김상욱 연구원과 외국 연구원과의 대화를 통해 알게 되었다. 수치모델 자료를 파이썬을 이용하여 netCDF로 처리해 인공지능 데이터로 활용을 많이 하는 만큼 이번에 알게된 노하우를 계기로 파이썬의 netCDF4 백엔드 뿐만 아니라 scipy 및 xarray 백엔드의 적극적인 활용을 통해 쓰기 성능을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

나. 향후 업무 활용 계획

- 김상욱 : KIM 격자변환 체계의 이론적·기술적인 부분에 대한 피드백을 받고, 해외 기관의 격자변환 기술을 향후 KIM 개선에 반영할 수 있을지 논의할 계획이다. 특히 동일 격자체계에서 역학적 균형을 유지하며 고·저해상도를 오가는 변환 기술을 KIM의 cube-to-cube 변환과정 개선에 참고하고자 한다. 아울러 다른 기관에서 활용 중인 격자변환 결과의 품질을 확인하기 위한 이상화된 실험 방법론을 살펴보고 KIM에서도 도입/활용이 가능할지 논의하려 한다.
- 김신우: 빙권과 기후 시스템 사이의 상호작용에 대한 이해를 기반으로 KIM의 경계 결합모델 개발을 수행하는 것은 이음새 없는 수치모델 예측기술의 개발에 있어 필수적인 요소이다. KIM의 경계 결합모델 개발 상황과 사례 연구 내용에 대한 해외 전문가들의 의견을 수렴하고 관련된 최신 연구 동향을 반영하여 KIM의 경계 결합모델 개발과 그 검증에 활용하고자 한다. 그리고, KIM 결합모델을 이용한 대기과 해빙의 상호작용 연구 결과와 관련된 토의를 통해 추후 결합모델의 개발 및 개선에 기여하고자 한다. 해빙 분포의 민감도 실험을 통해 해빙 조건이 대기의 저기압 발달에 영향을 주는 것이 확인되었고 해당 과정에 대한 추가 분석을 통해 KIM의 성능 검증 및 연구 활용에 도움이 될 것이다. 현재 해빙 결합 모델의 경우 지표 온도가 상대적으로 낮게 모의되는 현상이 확인되었고 이는 해빙 알베도 설정과 연관되었을 가능성이 존재하였다. 추가 실험을 통해 토의된 내용을 확인하고 결합모델의 성능 개선에 기여하고자 한다.
- 심태현 : 연장중기 예측에 필요한 KIM의 과거재현실험(hindcast)의 결과 및 성능을 공유하고, 학

회에서 습득한 타 선진기관의 연장중기 및 계절규모 예측성 향상의 기술을 토대로 사업단의 hindcast 실험체계에 적용하는 방안을 모색하고자 하였다. 특히 연장중기 예측성 개선의 이슈에 초점을 두어 의견을 나누었던 최적의 hindcast 실험체계를 구성하기 위한 초기화 방안과 앙상블 구성 방안, 결합모델의 활용 기술, long-term trend error 분석 등을 도입/활용할 예정이다. 연장중기의 예측 영역은 예측성 향상을 위해 앙상블 멤버에 대한 민감도와 초기자료에 의한 민감도가 공존하는 구간으로 seamless forecast를 지향하는 최근 모델링 연구 동향의 핵심 영역으로, 앞으로 사업단에서도 지속적인 개발이 필요하다.

- o 안소정 : 학회를 통해 새로운 인공지능 기술을 습득하고 이를 통해 최고 수준의 AI 기반 기상연구 성과 및 기술력을 보유하고자 하였다. 강수 예측 모델 개발을 위해 세부적으로 실시간 관측자료 처리, 인공지능 모델을 위한 자료 전처리, 등의 기술을 고도화시키고자 하며, 최근 대두되고 있는 수치모델 자료의 적용 방법을 모색하고자 함이다. 실제로, 이번 학회를 통해 습득한 지식과 방법론을 토대로 초단기 강수 예측 모델의 성능을 개선하고, 또한 인공지능 모델의 입력 데이터 특성을 토대로 최적화된 입력 시퀀스를 구성하고자 한다.
- o 오택진 : 쌍와도 병합 조건 실험 결과 및 피드백에 대해 공유하고 학회에서 습득한 최신 기계학습/인공지능 기반 기상 응용 연구 사례들을 분석하여 자료응용팀 연구에 적용하고자 한다.
 - 인공지능 모델 예측 성능 개선을 위해 계산 부하가 큰 exp 계산을 지양 (softmax), ReLU 와 같은 활성화 함수 적극 활용
 - 강수 예측 정확도와 실행시간을 늘리기 위해 레이다, 위성, 모델 자료 모두 합성하여 하나의 입력장으로 활용하는 방안 강구
 - 강수 예측에서 모델 자료로 연직 가강수량 및 관측자료로 낙뢰 추가 활용 필요
 - 파이썬 기반 인공지능 프레임워크 - 포트란 연계 도구 개발 상황 모니터링 및 연구 필요
 - 사업단에서 가장 많이 쓰고 있는 자료 저장 형태인 netCDF4의 효율적인 분석을 위해 파이썬 netCDF4 모듈 뿐만 아니라 scipy, xarray 백엔드 적극 활용할 예정