

「2024 고해상도 수치모델링 워크숍」 세션 내용

구 분	세션2. 고해상도 물리과정
일시장소	2024년 5월 22일(수) 15:00~17:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 이현호 교수(공주대) / (리포터) 강정운 연구원(KIAPS), 백성혜 연구원(KIAPS)
세션 주요내용	

□ (발표2.1.) Modeling Across Spatial Scales: Scale Awareness, Complexity and Compatibility and Way Forward(홍성유, NOAA)

- 컴퓨터 성능이 좋아짐에 따라 수치모델의 해상도가 높아지며, 물리과정을 격자 크기의 강제력으로 올바르게 표현하는 복잡성 문제에 직면함. 10km 이하의 격자 크기에서는 일반적인 적운대류 모수화 방안(CPS)으로 주변 환경을 안정화시키는 구름강제력을 정확히 표현하기 힘들며, 얇은대류 모수화(SCV) 및 경계층 모수화(PBL) 방안 또한 동일한 문제 존재. 격자 크기(dx)의 함수를 도입하여 모수화하는 몇 가지 방안이 있으나, 여러가지 다양한 크기의 난류를 표현하는데 한계가 있음. 따라서 비일률적이며 보다 적극적인 격자적응 모수화가 필요하며, 격자 인식(scale awareness)에서 격자적응(scale adaptive) 방향으로 진행해 나가야 함. 자연현상은 불연속성이 없으므로, 보다 근원적으로 격자적응을 다룰 모수화 개발이 필요함

<발표 2.1. 주요 질의응답>

	격자적응에서 상대습도(RH)가 어떻게 영향을 미치는가?
Q1.	'RH가 커짐→격자규모가 작음→MPS 활성화'이므로 CPS는 꺼져야 함(기본적으로 CPS는 RH가 작을 때 작동). 이 외는 life cycle에 따라서 해줘야 함

□ (발표2.2.) KIM 격자적응 적운대류 모수화 성능 평가 및 개선(한지영, KIAPS)

- 다양한 해상도별 WRF 지역모델 실험을 통해 KIM 적운대류 모수화 과정(KSAS)의 격자적응 모수화 강수 성능을 다른 모델과 비교·진단하고, 물리적으로 타당한 방식으로 적운대류 비율 계산 방법을 개선함. 그 결과 적운대류 비율이 크게 증가한 9km 해상도에서 강수 모의성능이 개선됨. 개선방법을 사용한 KIM의 NE360(약 12km)과 NE576(약 8km)의 고해상도 실험에서 또한 중기 예측 성능이 개선되어 중·고위도의 온도, 지위고도 오차가 감소하였고, 한반도 및 아시아 지역의 강수 예측 성능이 향상됨. 한반도 집중호우 사례에서는 강수 코어의 강화 뿐만 아니라 강수의 공간 분포도 개선효과를 확인함

구 분	세션2. 고해상도 물리과정
일시장소	2024년 5월 22일(수) 15:00~17:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 이현호 교수(공주대) / (리포터) 강정윤 연구원(KIAPS), 백성혜 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

<발표 2.2. 주요 질의응답>

Q1.	적운대류 비율 계산 방법을 수정하였을 때, 중위도는 개선되었으나 적도는 유사한 이유는 무엇인가? 발표에서 제시한 수정방법은 전구에 일률적으로 적용한 게 아니며, 육지에서 적운대류 기여도가 더욱 감소하는 경향으로 작용함. 따라서 육지의 비율이 큰 중위도에서 더 큰 효과를 미침
Q2.	WRF 실험 중 27km 실험의 경우 개선이 없고, 9km만 개선되는 점은 어떻게 이해해야 하나? KIM의 NE360 실험에서 개선이 크게 나타나지 않는 이유는? 9km에 해당하는 그레이존(grey zone)만 적운대류 비율(convective updraft fraction) 영향이 크기 때문임. Kwon and Hong(2017) 방법의 경우 1~10km 해상도에서만 효과적으로 적응되도록 모수화되어 있고, NE360는 12km 해상도에 해당하여 그 효과가 크지 않음. 저해상도에서의 성능 개선을 위해서는 격자적응이 아닌 적운 모수화 내의 적운종료(closure) 수정 등이 필요함

□ (발표2.3.) KIM의 격자적응 비산악중력과 물리과정 진단 및 개선(김소영, KIAPS)

- 비산악중력과 물리과정을 다양한 해상도에 적합하도록 개선하기 위해 해상도별 KIM의 중간대기 모의성능 및 비산악중력과 물리과정 특성 진단. 여름(겨울)반구 고위도에서 상부성층권 및 중간권의 한랭(온난)오차는 수평해상도에 관계없이 나타났으며, 극야제트 및 동풍의 강도가 재분석자료에 비해 약하게 모의. 이를 통해 KIM의 중력과 항력이 과도모의됨을 추정할 수 있고, 비산악중력과 중에서 전선 중력과 발생지역이 수평해상도가 증가할수록 과도하게 나타남을 확인. 이에, 전선중력과 발생을 진단하는 전선발달함수 임계값을 수평해상도에 대한 의존성을 갖도록 수정한 결과, 전선중력과 발생지역이 전반적으로 감소하면서 제트 강도가 증가하고, 여름(겨울)반구 고위도에 승온(냉각)을 유도하여 중간대기 온도 오차가 감소함. 연장중기 시간규모에서는 그 영향이 대류권으로도 전파되어 대류권 온도 오차 역시 감소함

<발표 2.3. 주요 질의응답>

Q1.	대류권에서는 산악중력파의 영향이 클 텐데 살펴본 적이 있는가(분해되는(resolve) 여부에 따라)? 산악중력파에 대해서도 모수화되는 성분과 분해되는 성분의 기여도를 사업단에서 분석 중. 산악중력파 영향도 같이 고려하여 비산악중력파 과정을 개선할 계획임
Q2.	파동이 실제로 어느 층에서 breaking 되는지? 상층으로 올라갈수록 공기의 밀도가 줄어 들면서 중간권에서 비산악중력파항력이 매우 커지는데, 물리적으로 맞는 분포인지? 고주파의 경우, 중간권까지 전파하므로 중간권에서 breaking되어 큰 항력을 보이는 것이 맞는 분포임

구 분	세션2. 고해상도 물리과정
일시장소	2024년 5월 22일(수) 15:00~17:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 이현호 교수(공주대) / (리포터) 강정윤 연구원(KIAPS), 백성혜 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

<발표 2.3. 주요 질의응답(계속)>

Q3.	발표에서 보인 년도가 성층권 돌연승온(SSW)이 있는 시기인가? SSW 유무 여부에 따라 사례를 나눠하는 것이 좋을 듯함
	SSW는 발표에서 보인 분석시기 이후에 발생. 계절규모에서는 SSW 예측이 어렵기에 온도와 바람장이 제대로 모의되지 않았고, 개선된 비산악중력과 영향을 보기 어려웠음. 앞으로 SSW 사례에 대한 분석을 진행할 계획임

□ (발표2.4.) 구름 챔버 모의 프레임워크에서 다양한 구름 미세물리 모수화 비교(이현호, 공주대)

- 날씨나 기후 모형의 대기 예측성능을 관측과 비교·평가할 때, 수치 모형의 초기 및 경계 조건을 관측과 정확히 일치시키는 것이 불가능하므로 매우 큰 불확실성 존재. 이를 극복하기 위해 제어가 원활한 구름 챔버를 제작하고, 이 챔버를 수치적으로 모의할 수 있는 수치모델 프레임워크를 구축하여 챔버 실험 결과와 챔버에 대한 수치모델 결과를 비교하여 수치모델의 성능을 평가하는 방식이 활용됨. 한국과학기술연구원(KIST)의 구름 챔버(제작 중)를 수치적으로 모의 가능한 큰 에디 모사(large-eddy simulation) 프레임워크를 구축하여, 같은 역학체계 내에서 다른 구름 미세물리 모수화(Lagrangian cloud microphysics scheme(LCM)와 Morrison bulk scheme)를 비교함. 모델에서 예측하는 온도, 구름 입자의 수 농도 및 질량 농도 등 물리량의 평균값과 시·공간적 변동성을 함께 비교하여 난류 환경에서의 구름 미세물리 과정의 반응성을 평가함

<발표 2.4. 주요 질의응답>

Q1.	LCM에서 계산시간 단축을 위해 여러 개 실제 물방울을 대표하는 super-drop을 이용하였는데, 이 super-drop의 모집군 개수의 민감도에 대해 알아보았는지?
	발표 결과에서 super-drop의 모집군 개수는 1,500개 정도인데, 15개로 줄였을 때 결과가 매우 다르며 이에 대한 연구가 더 필요한 상황임
Q2.	보통 사각형 형태 챔버의 경우, 경계쪽에 난류 같은 것이 인위적으로 발생 가능한데, 실제로 원형 챔버와 비교하면 경계쪽의 난류 영향은 없는지?
	실제로 보면 난류에 의한 차이는 거의 나타나지 않음. 한 격자에서 나타날 수 있는 난류에 대해 실제로 난류 에너지를 계산해보면 너무 작아서 무시 가능
Q3.	챔버 내 물방울 농도(liquid water mixing ratio)를 시간에 따라 보여주는 그림에서, LCM의 경우는 super-drop을 이용했기 때문에 빈 공간이 보이는데, super-drop 모집군 개수를 늘리면, 빈 공간도 없어지는지?
	더 많이 늘린다면 빈 공간은 줄어들 것으로 생각함

구 분	세션2. 고해상도 물리과정
일시장소	2024년 5월 22일(수) 15:00~17:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 이현호 교수(공주대) / (리포터) 강정윤 연구원(KIAPS), 백성혜 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

□ (발표2.5.) 한국형수치예보모델 물리과정 개선 현황 및 해상도 관련 물리과정 모의 특성 진단(최현주, 기상청)

- 기상청은 KIM3.5 버전을 현업화한 후 5차례 버전 업데이트를 수행했고, 병행 운영 중인 영국 통합모델(UM)과 비교하여 그 성능이 2020년 92.8%에서 2023년 97.9%로 향상됨. 구름양 예단방안 수정을 통해 KIM의 주요한 계통오차인 하층 수증기량 과소모의를 완화시키고 사례 실험에서 강수 분포 개선을 확인함. 모델 고해상도화에 따른 지형 상세화가 한반도 강수에 미치는 영향을 분석하기 위해 지형성 강수 사례에 대한 KIM의 해상도 민감도 실험을 수행하였으며, 현업 해상도 (12km) 대비 8km 해상도에서 산악에 의한 지형성 강수를 더 현실적으로 모의함. 아격자산악 및 난류 물리과정에 의한 지표 응력 모의 특성 진단을 통해 KIM이 IFS 대비 아격자산악(난류) 응력을 크게(작게) 모의하였고, 일 변동성을 모두 크게 모의함을 확인함. 이러한 지표 응력의 큰 일 변동성은 모델 성능 저하의 원인이 될 수 있으며, 물리과정 개선이 필요함

<발표 2.5. 주요 질의응답>

Q1.	난류 응력(turbulent stress)이 IFS 대비 약하다 하였는데, 산악 지형이 아닌 평지는 ERA5보다 큰걸로 확인됨. 산악 지형과 아닌 지형으로 구별해서 보면 좋을 것 아시아 지역에 초점을 맞춰서 한 것이므로 다른 지역에서도 볼 필요가 있음
Q2.	00, 12UTC 성능 차이가 큰데, 안정도 측면에서 dry physics뿐만 아니라 moist physics에서도 변화를 살펴보면 좋을 것 강수 관련 일변화를 보고 있지만 아직 구체적으로 진행된 바 없음
Q3.	blocking이 적은 게 아닌지? 난류가 약한 것으로 보임
Q4.	구름양 예단방안에서 구름미세물리(MPS)의 온도변화량을 어떻게 사용해서 수정 했다는 것인가? 응결 과정에 의한 구름양을 계산할 때, 비단열 포화수증기량 변화율 계산 부분에 사용되는 온도변화량을 전체물리과정에 의한 온도변화량이 아닌, MPS에 의한 온도 변화만으로 계산함
Q5.	공급원(source)의 차이가 없는데, 지표 응력 모의 특성이 낮과 밤의 차이가 나타나는 이유는? 환경적 요소도 있을 수 있는데, 모수화 방식의 불확실성에 기인하는 것으로 판단됨. KIM은 low-level wave drag term을 고려하지 않는데, 다른 모델은 이 항목이 과하게 들어가 있는 것으로 보임. 추가적으로 flow drag도 고려하고 있음

구 분	세션2. 고해상도 물리과정
일시장소	2024년 5월 22일(수) 15:00~17:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 이현호 교수(공주대) / (리포터) 강정윤 연구원(KIAPS), 백성혜 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

□ (발표2.6.) Examining the Sensitivity of the Unified Convection Scheme (UNICON) to Vertical Resolution(송찬우, 서울대)

- KIM에 통합적운모수화(Unified Convection Scheme, UNICON)를 이식하였을 때 (KIM-UNICON), 기존 대규모 순환모델에 이식된 UNICON(SAM0-UNICON) 보다 적운의 강도가 더 약하게 모의되는 현상이 발생하는데, 그 주된 원인을 적운모수화 방안의 연직해상도에 따른 민감도로 추측함. UNICON의 연직해상도 민감도를 확인하기 위해 연직 30층(L30)과 60층(L60) 실험을 수행하여, L60의 경우, 대규모(large-scale) 강수가 늘어나고 깊은 대류 발생지역에서 적운구름 꼭대기가 감소하고, 대류 활동이 약해짐을 확인함. UNICON에서 지표플럭스(surface flux)를 처방하고 강우가 증발하는 시간 규모를 고정함으로써 연직해상도에 의한 민감도가 감소함을 확인함. 지표에서 대류상승(convective updraft)의 초기 특성과 대류하강(convective downdraft)의 생성 및 변화를 수정하면 연직해상도에 대한 민감도를 줄일 수 있을 것으로 보임

<발표 2.6. 주요 질의응답>

Q1.	KIM-UNICON일 때 대류강수가 훨씬 감소했던 것으로 기억하는데, 이는 연직 해상도에만 의한 것인가? 본 발표에서 시도한 연직해상도 민감도 줄이는 방법을 KIM에 적용하면, 동일하게 작용할 것으로 예상하는지? 수평해상도의 민감도도 존재함. 지표에서의 updraft 특성을 비슷하게 하기 위해 surface flux를 처방하였는데 이 방법은 전지구 모형에 적용하기는 힘들. downdraft의 증발 냉각률을 비슷하게 하기 위해 강우의 증발 시간 규모를 고정한 방법을 실제로 KIM에 적용하였을 때, 강수가 개선되는 효과가 있었고, 일변동도 좋아지는 측면이 있었음
Q2.	연직해상도와 관련해서 사업단에서도 비슷한 연구를 했는데, 최하층 높이에 따라 경계층 높이(PBL height) 영향이 달라지니 사업단의 선행연구 참조 권장 surface flux를 처방한 부분이 최하층을 고려해서 한 것임. downdraft가 내려왔을 때 그 tendency를 어디에 할당할까 고민이 있었는데, 이는 UNICON만의 특징으로, PBL height를 처방하면 연직해상도에 따라 달라짐을 확인함
Q3.	사업단에서 모델연직층을 50층에서 91층으로 한꺼번에 늘려 유사 선행연구를 하였는데, 저해상도에서 최하층만 낮춰도 PBL에 의해 차이가 나타남. 유사실험을 구상하여 살펴보는 것이 좋을 것 같음 surface flux를 처방하는 부분에 있어서, 현열, 잠열이 해상도에 따라 다른 것이 문제라서 단일기동모델에서만 적용할 수 있었음. 경계층에서 들어오는 flux는 같아야 하는데, 연직격자의 높이가 달라지더라도 같은 방식으로 계산할 수 있는 공식이 있다면, 연직해상도에 따른 민감도가 없어지는지 확인 가능할 듯