



2024. 6.



예보국
재해기상대응팀

ISBN 979-11-6988-321-4(95450)

CONTENTS

2023년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2023년 6월 29일~30일 사례)
기압계 정체로 지속적인 하층제트 유입 및 부저기압 발달
지속되는 수렴으로 경북북부 300mm 이상 호우 1
2. (2023년 9월 20일~21일 사례)
저기압 통과 시 우리나라 북동쪽에 고기압이 버틴다면,
수렴, 동풍, 부저기압 발달로 200mm 이상 강수 가능 7

2022년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2022년 6월 29~30일 사례)
mT 가장자리 집중호우 활 에코(Bow Echo)로 인한 서산 시간당 100mm 이상 호우 17
2. (2022년 8월 8일 사례)
시간당 140mm의 수도권 집중호우?
아열대 고기압+건조역에 극한의 이슬점온도까지 더해진다면 22
3. (2022년 8월 17일 사례)
여름철 강원 동해안 대류성 호우 유형
단순 동풍 강수인줄 알았는데,, 시간당 86mm의 국지 호우! 30

2021년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2021년 7월 19일 사례)
정체전선이 한반도 북쪽으로 올라가야만 장마가 끝나는 것일까?
기울어진 북태평양 고기압과 장마의 종료 39
2. (2021년 8월 10일 사례)
제주 동부지역 국지호우 유형
해풍수렴과 상층지원 통과 시기를 잘 보자 42

2020년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2020년 7월 27~28일 사례)
부산 집중호우 유형 수증기 고속도로를 통과해야 부산에 많은 비 49
2. (2020년 8월 2일~3일 사례)
남고북저형에서 북쪽골 통과하는 동안 강수 집중구역은?
강수대가 남하 시 정체할 때 mT가장자리의 위치가 중요 54
3. (2020년 8월 5일 사례)
태풍 전면에서 북한으로 밀려올라간 정체전선 mT의 일변화보다 외부요인은 더 큰 변수 58
4. (2020년 8월 7일~8일 사례)
기압능 속에서 단파 기압골이 여러 번 통과하는 정체전선 패턴
시간당 80mm의 강한비가 같은 곳에 반복하여 내린다면? 62
5. (2020년 8월 14일~15일 사례)
전형적인 호우 패턴은 맞으나, 대기 압축이 충분했는가? 66

2019년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2019년 6월 4일 사례)
시어역 강수 절리저기압이 약화될 때 후면 건조역은 분류되어 남하하지 못함 73
2. (2019년 6월 9일~10일 사례)
상층 절리저기압의 느린 이동 상층과 하층 저기압 중심이 분리? 76
3. (2019년 6월 18일~19일 사례)
대류성 구름이 발생할 트리거가 없다고? 여름철 서해안 온난이류를 주목하라! 79
4. (2019년 7월 10일 사례)
제주도 동쪽? 서쪽? 저기압 경로에 따른 강수 집중구역 찾기 81
5. (2019년 7월 25일~28일 사례)
정체전선 강수 mT 일변화에 따른 정체전선의 남북진동과 강수 집중구역 오차 87
6. (2019년 8월 18일 사례)
제주 동부 국지호우 mT 연변에서 상층골 통과시 해풍 수렴되는 제주 동부 호우 91
7. (2019년 8월 27일 사례)
남쪽저기압에 집중하는 사이에... 700hPa 기압골 중부지방 강수를 놓치다 94
8. (2019년 9월 10일~11일 사례)
야간 하층제트에 의한 집중호우 예측 실패
하층제트 후면형 호우 패턴시 cold or dry air를 고려했어야 97

2018년 여름철 강수 사후분석 사례 목록

1. (2018년 7월 1일 사례)
남부 → 중부 북상하는 정체전선 정체전선 기울어지며 서해안 강수 집중 105
2. (2018년 7월 4일 사례)
동풍과 서풍 기류 수렴 강원영서북부 100mm 이상 강한 소나기 112
3. (2018년 7월 10일 사례)
북상하는 정체전선 강한 강수대가 내륙으로 유입되지 못하면... 117
4. (2018년 8월 6일 사례)
단순한 동풍 강수인줄 알았는데 강원동해안 1시간 최다 강수량 70mm 기록 123
5. (2018년 8월 29일 사례)
좁은 띠 형태의 전선대 강수 경기북부, 강원영서 최북단 적은 강수량 기록 128
6. (2018년 9월 7일 사례)
제주도에 접근하면서 악화되는 강수 제주도 산지 120mm 예상했는데 50mm 134
7. (2018년 9월 10일 사례)
극과 극, 강원영동 동풍에 의한 강수 강원산지에는 100mm, 해안에는 5mm 139
8. (2018년 9월 13일 사례)
제주도, 이번에는 너무 많다 제주도 동쪽 400mm 강수 145

더불어민 사례분석

2023년 여름철 강수 사후분석 사례

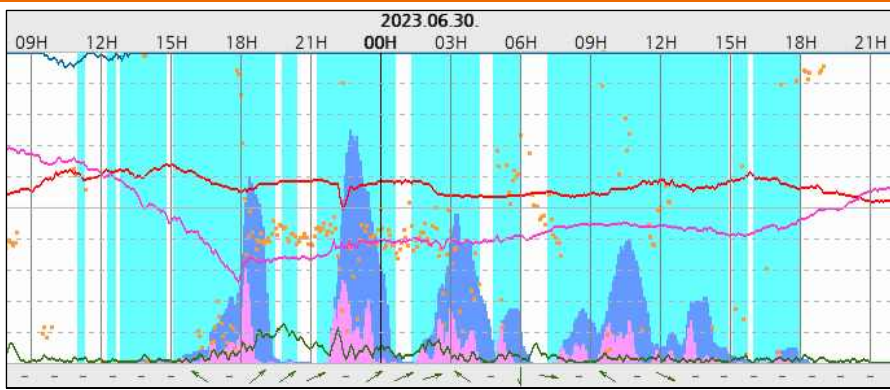


1. 2023년 6월 29일~30일 사례

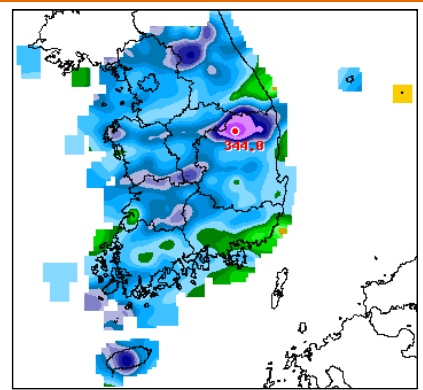
기압계 정체로 지속적인 하층제트 유입 및 부저기압 발달 지속되는 수렴으로 경북북부 300mm 이상 호우

1. 예보와 실황은?

예보(6월 28일 17시 발표)	실황(6월 29~30일)
- (29~30일) 경상권 50~120mm 많은 곳 전라권, 제주도 250mm 이상	- 이산(영주) 344.0mm, 영주 216.8 - 봉화읍(봉화) 201.5, 동로(문경) 169.0



6월 29~30일 이산(영주) AWS 시계열



6월 29~30일 누적강수량

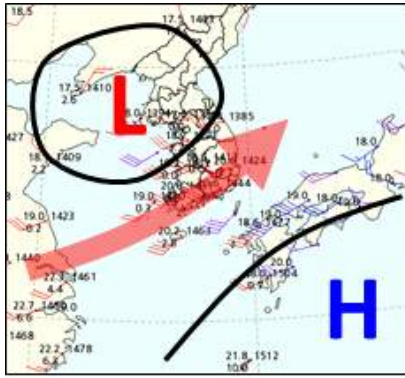
- 6월 29~30일 사례는 짧은 시간 매우 강하게 내리는 집중호우의 형태보다는 30시간 이상 긴 지속시간에 의해 강수량이 크게 늘어난 사례이며, 예보와는 다르게 전라권이 아닌 경북북부지역으로 강수가 집중되는 특징이 나타났음

2. 쟁점사항은?

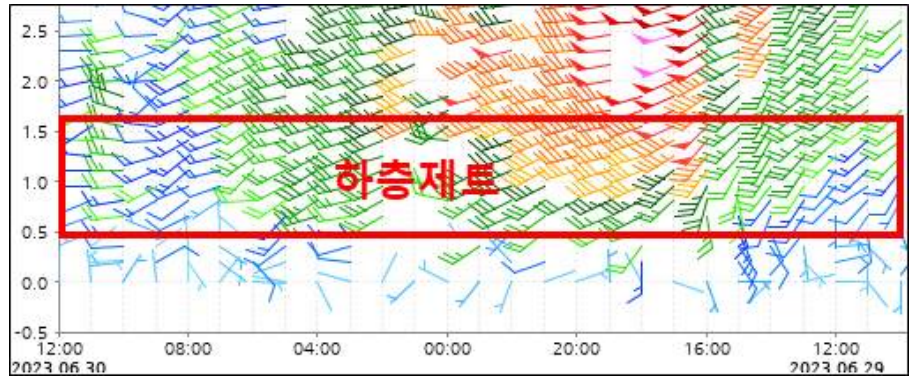
- 쟁점1) 기압계 정체 및 하층제트가 지속적으로 유입된 원인은 무엇인가?
- 쟁점2) 왜 경북북부지역으로 수렴대가 지속적으로 영향을 주었는가?

3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 기압계 정체 및 하층제트가 지속적으로 유입된 원인은 무엇인가?
 - 아래 그림의 850hPa GTS 실황을 보면 일본 남동쪽 해상에 고기압, 백령도 부근으로 저기압이 위치하면서 우리나라 남부지방으로 30kts 이상의 강한 하층제트가 유입되는 것을 알 수 있음, 특히 경북지역으로 기류가 유입되는 길목인 추풍령 지점의 연직바람 관측 자료를 보면 1.5km 이하 고도로 24시간 동안 지속적으로 하층제트가 강하게 유입되는 것을 확인할 수 있음

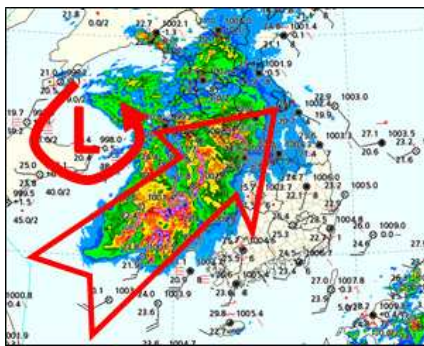


6월 29일 21시
850hPa GTS 실황

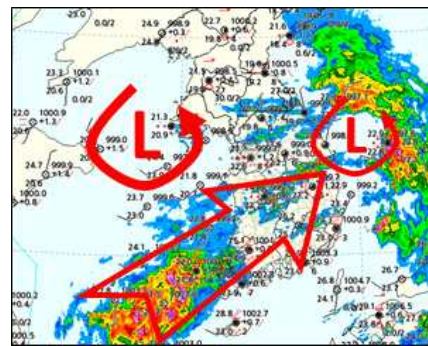


6월 29~30일 추풍령 연직바람관측

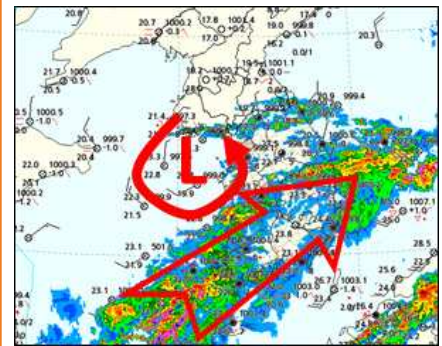
- 하층제트의 영향을 지속적으로 받게 된 원인은 기압계의 정체에 있었음, 아래 그림의 GTS 일기도 실황과 레이더 영상을 보면 저기압 본체와는 별개로 저기압 전면으로 부저기압이 발달하면서 진행되는 형태를 보였으며, 백령도 부근의 저기압 본체는 거의 정체하면서 남부지방으로 기압경도를 지속적으로 강화시켜 하층제트를 유지시키게 됨
- 이러한 실황은 모델의 예상과 다르게 나타났는데, 아래 그림의 모델별 오산 850hPa 바람 예상 시계열과 실황 비교를 보면 6월 30일 03시 관측된 오산의 바람은 남서풍이 유지되고 있어 아직 저기압이 경기만 부근에서 빠져나가지 못한 것을 알 수 있으나 대부분 모델의 예상은 이미 저기압이 통과하여 빠져나간 풍계로 바뀐 것을 알 수 있음



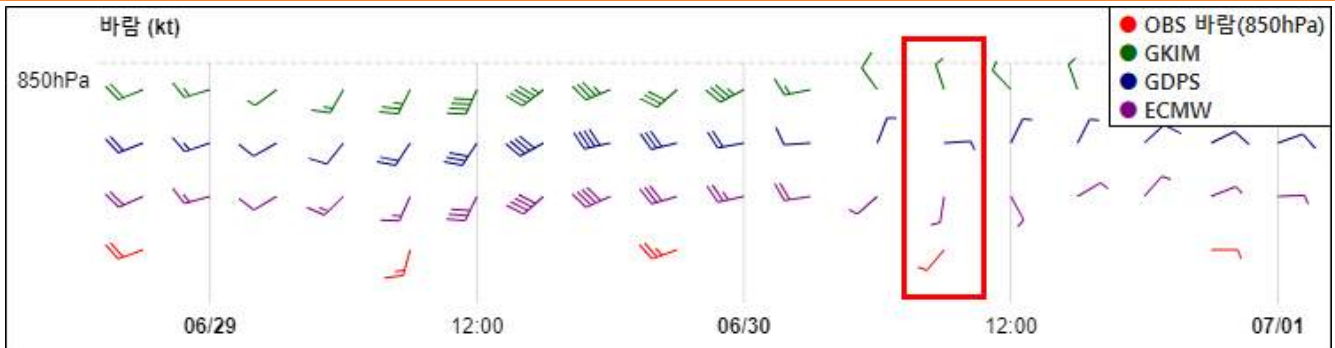
6월 29일 09시
지상 GTS 실황+레이더



6월 29일 21시
지상 GTS 실황+레이더



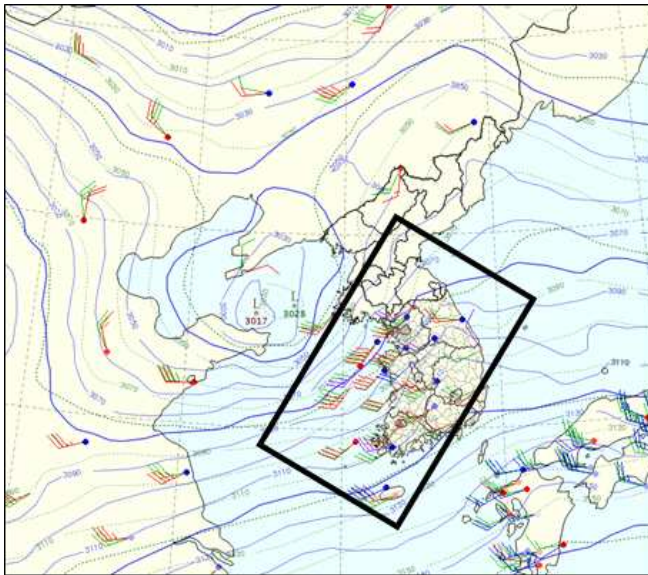
6월 30일 03시
지상 GTS 실황+레이더



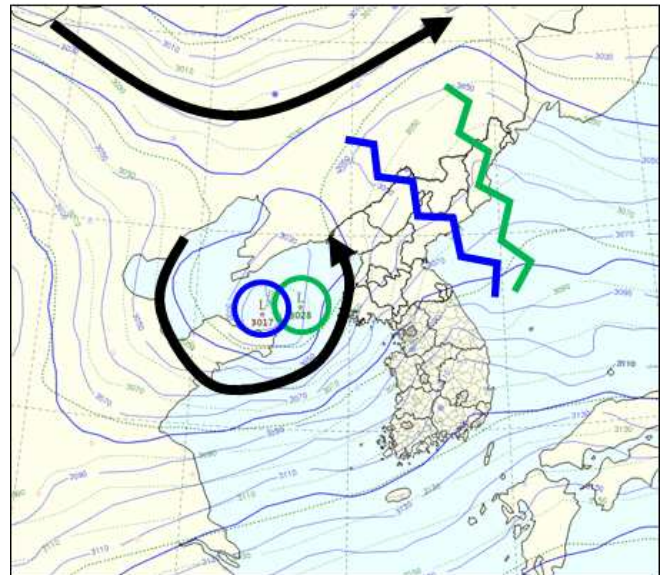
6월 29~30일 모델별 오산 850hPa 바람 예상 시계열과 실황 비교

- 저기압의 이동속도가 모델의 예상보다 느려진 이유는 저기압의 이동을 견인하는 중층의 기압골이 예상보다 깊어지면서 느리게 이동했기 때문임, 아래 그림은 6월 29일 09시

UM의 700hPa 고도의 풍속 및 지위고도의 예상과 실황을 비교하여 분석한 것으로 먼저 왼쪽 그림을 보면 지상의 저기압을 견인하고 있는 산둥반도 부근의 기압골 전면의 남서풍 (검정색 박스 영역)이 **모델의 예상보다 풍속이 광범위하게 강하게 나타나 차이가 큰 것**을 알 수 있음



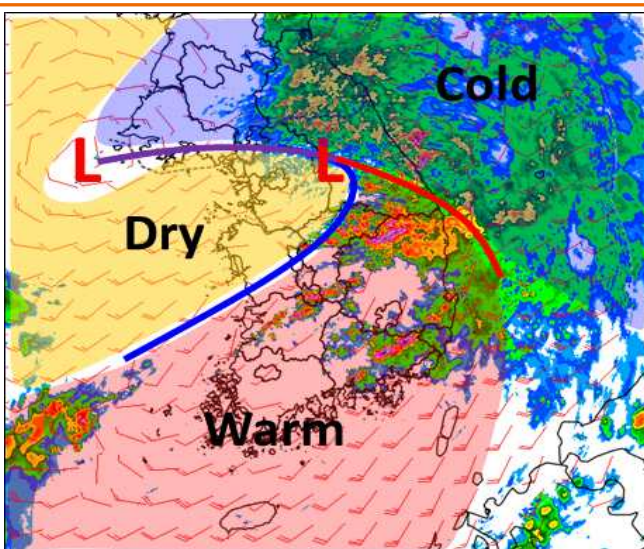
6월 29일 09시
UM 700hPa GTS 풍속 편차(+12H)



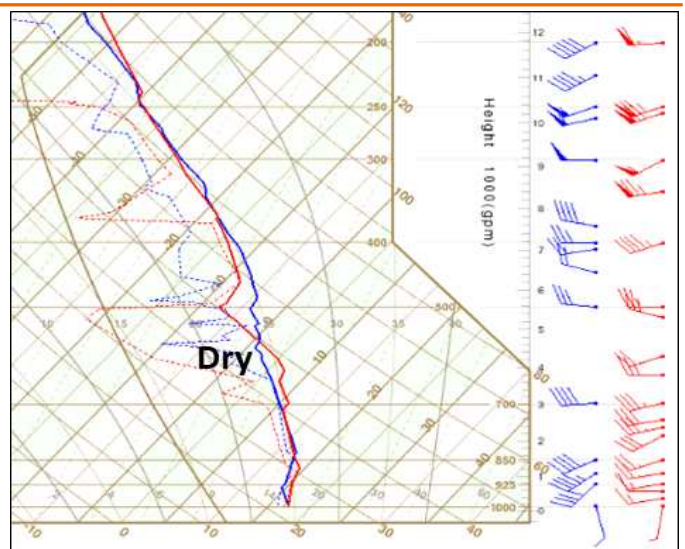
6월 29일 09시
UM 700hPa GTS 지위고도 편차(+12H)

- 저기압 전면의 남서풍이 강해지면 기압골은 더욱 깊어지게 되는데, 오른쪽 그림에서 화살표로 표시한 것과 같이 기압골이 깊어지면서 중국북부지역의 기압골과는 별개로 산둥반도 부근의 기압골이 분리되면서 저기압으로 절리 된 것을 알 수 있음, 기압골이 절리가 되면서 이동속도는 예상보다 느려지고 **모델이 예상했던 저기압과 전면의 기압능의 위치(초록색)와는 다르게 실황에서는 더욱 서쪽에 위치하면서 느리게 진행(파란색)**하는 것을 확인 할 수 있음

● **쟁점2) 왜 경북북부지역으로 수렴대가 지속적으로 영향을 주었는가?**

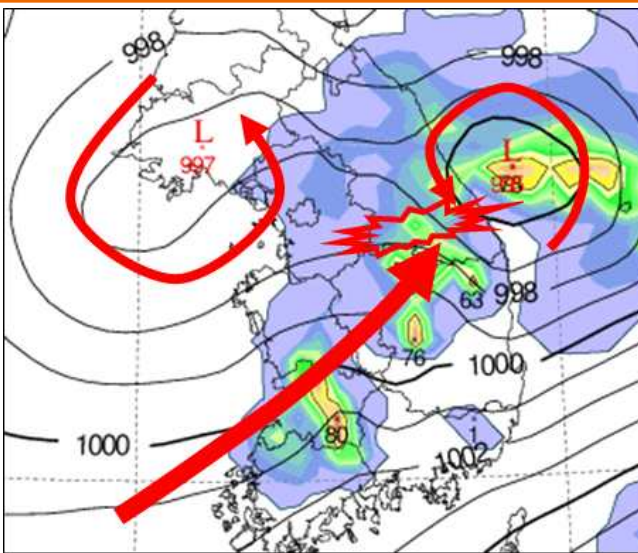


6월 29일 18시 레이더+WISSDOM(200m)

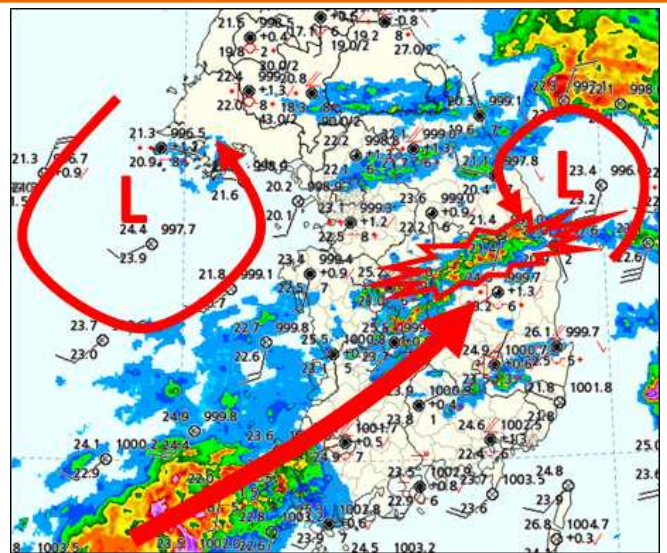


6월 29일 15시/21시 안면도 단열선도

- 이번 사례에서 경북북부지역으로 강수가 집중된 가장 큰 원인은 저기압의 본체와는 별개로 전면에 **부저기압이 발달하여 영향을 주었기 때문**으로 위 그림의 레이더 실황과 기압계 모식도를 보면 서쪽에 위치한 저기압의 본체가 정체하면서 저기압 중심으로 건조공기가 말려 들어가게 되는 발달한 저기압의 폐색 단계와 유사한 형태가 나타남
- 부저기압의 발달 메커니즘은 위 그림과 같이 전면의 하층제트를 동반한 강한 난기가 불어드는 구역으로 남북의 기온차가 커지고 서쪽에서는 건조공기가 파고들면서 **경압성이 증가하여 그림과 같이 부저기압이 발달하게 됨**, 같은 날 관측된 안면도 단열선도 자료에서도 15시에서 21시 사이 700hPa 부근 대기 중층으로 건조 공기가 서풍을 타고 유입된 것을 확인할 수 있었음



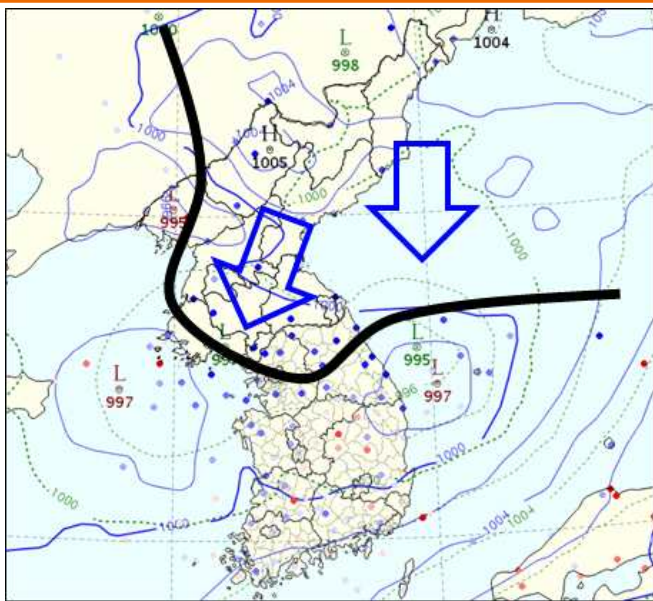
6월 29일 21시 UM 지상 강수 예상(+24H)



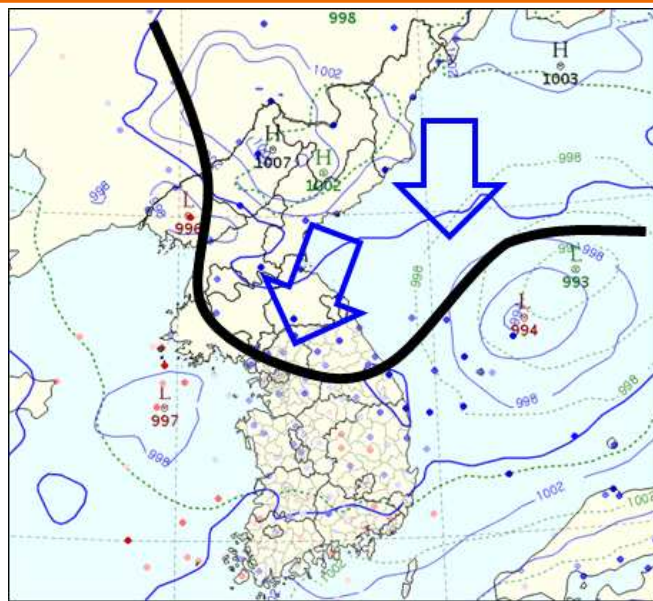
6월 29일 21시 GTS 실황+레이더

- 부저기압이 발달하게 되면 부저기압의 통과하면서 직접적인 영향으로 강수량이 증가하는 것뿐만 아니라 위 그림의 기류 모식도와 같이 서쪽의 저기압 본체의 **남쪽에서는 계속해서 고온다습한 남서풍이 불어드는 가운데, 부저기압이 통과 후 후면으로 찬 북풍 계열의 바람이 불어 내려오면서 국지적인 수렴 지역이 나타나게 되면서 수렴에 의한 강한 강수의 영향을 지속적으로 받게 됨**
- 이번 사례에서 대부분 모델들이 부저기압의 발달은 예상하였으나 부저기압의 예상 위치에는 차이가 있었음, 위 그림의 왼쪽은 부저기압 통과 후 경북북부지역으로 강한 수렴이 발생했던 6월 29일 21시의 UM 모델의 강수 예상도인데, 실황과는 다르게 수렴 지역을 경북북부지역이 아닌 강원영서지역으로 예상한 것을 알 수 있음, 오른쪽은 지상 GTS와 레이더 실황 자료로 두 저기압의 위상이 **모델의 예상보다는 남쪽에 위치하면서 수렴 지역도 예상보다 남쪽인 경북북부지역으로 형성된 것을 확인할 수 있음**
- 저기압의 위상이 예상보다 남쪽으로 형성된 원인은 우리나라 북동쪽에 자리잡고 있는 고기압의 강도가 예상보다 강했기 때문인데, 아래 그림의 지상 GTS 해면기압 편차를 보면 개마고원~동해북부해상으로 지상의 고기압이 자리잡고 있는데 광범위한 음의 편차를 나타내면서 **예상보다 고기압의 강도가 강하고 범위가 남쪽까지 확장해 있는 것을 알**

수 있음, 따라서 저기압은 북쪽의 고기압에 막혀 예상보다 남쪽으로 이동하면서 예상과 다르게 강수의 수렴지역이 경북북부지역으로 남하하게 됨

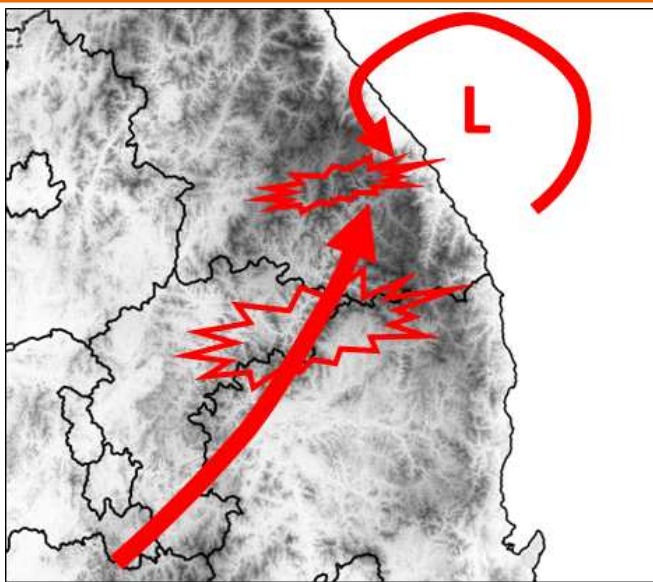


6월 29일 21시 지상 GTS 해면기압 편차(+24H)

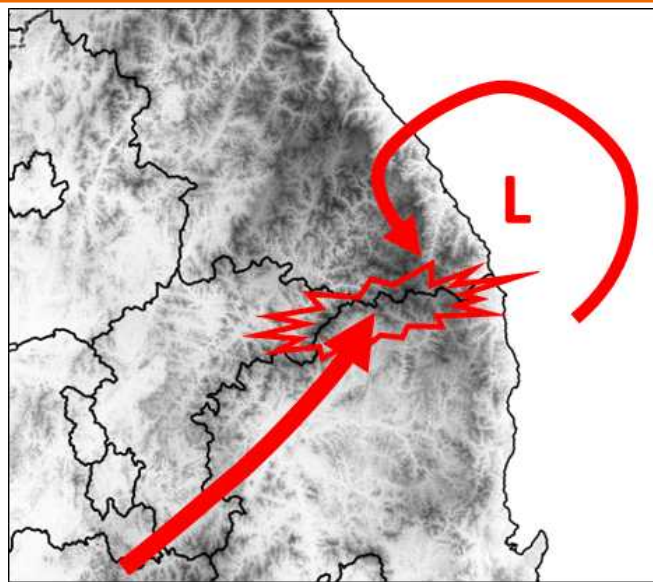


6월 30일 03시 지상 GTS 해면기압 편차(+30H)

- 아래 그림은 부저기압의 남북 위상 변화에 따른 수렴역의 변화를 나타낸 모식도임, 왼쪽 그림은 모델의 예상과 같이 부저기압이 북쪽으로 위치했을 때 기류의 수렴 구역을 표시한 것인데, 남서풍의 하층제트가 유입되면서 소백산맥에 막혀 1차적으로 지형에 의한 수렴이 나타나고 이후에 저기압 후면의 기류와 2차적인 수렴이 나타나면서 강수의 집중구역이 분산되었음



부저기압이 북쪽에 위치했을 때 수렴 모식도



부저기압이 남쪽에 위치했을 때 수렴 모식도

- 하지만 오른쪽 그림과 같이 부저기압이 남쪽에 위치하게 되면 지형에 의한 수렴과 저기압 후면 기류의 수렴이 한 곳에 겹쳐서 나타나기 때문에 강수가 더욱 집중되는 효과가 있음, 결국 이러한 영향으로 경북북부지역으로 강수량이 크게 늘어났음을 분석할 수 있음

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 기압계의 정체 가능성을 분석했어야 했다.
 - 지속적으로 하층제트가 유입되는 기압계일 경우 지속시간이 길어지면 수증기 유입의 증가로 강수량이 늘어날 가능성이 높기 때문에 기압계 정체 가능성을 고려하여 분석하는 것이 중요함, 이번 사례의 경우 700hPa 대기 중층에서 기압골이 절리되는 형태로 기압계가 늦어질 가능성이 있었으며, 실제 실황 분석에서 확인해보면 기압골이 더 깊은 형태로 나타나 기압계 속도가 더욱 늦어지면서 지상~하층의 저기압 이동속도도 느려져 하층제트의 유입 시간이 더욱 늘어나게 됨
 - 기압계 분석을 통해 기압계의 특징을 먼저 파악하고, 기압골과 저기압의 발달 강도 및 위치, 속도 등의 실황을 분석하여 모델 예상과 차이가 발생할 수 있는 시나리오를 생각하여 예보에 반영하는 것이 필요함
- 부저기압 발달에 따른 수렴대 강화의 가능성을 고려했어야 했다.
 - 이번 사례는 전반적으로 봤을 때는 남부지방을 중심으로 하층제트가 긴시간 유입되었으나 경북북부지역으로 강수가 집중된 이유는 부저기압의 발달에 따른 수렴대의 강화 및 정체에 있었음, 저기압 본체에서 유도되는 난기가 지속적으로 불어드는 가운데 기압계가 정체하게 되면 저기압은 폐색되는 단계로 접어들면서 전면으로 부저기압을 발생시키는 특징이 있는데, 이러한 상황은 대부분 모델에서 모의가 되고 있었음
 - 하지만, 이러한 기압계에서 부저기압 후면으로 국지적인 수렴대가 발달하여 강수량이 늘어나는 형태는 모델에서 과소 모의하는 경향이 있는데, 이러한 특징을 유사사례의 분석을 통해 사전에 파악하는 것이 필요함, 특히 부저기압의 위치가 경북북부지역으로 수렴대가 걸릴 수 있는 상황이 예상될 경우 더욱 강수가 집중될 수 있기 때문에 저기압의 이동경로에 영향을 미칠 수 있는 북동쪽 고기압 세력의 실황 분석도 반드시 필요함

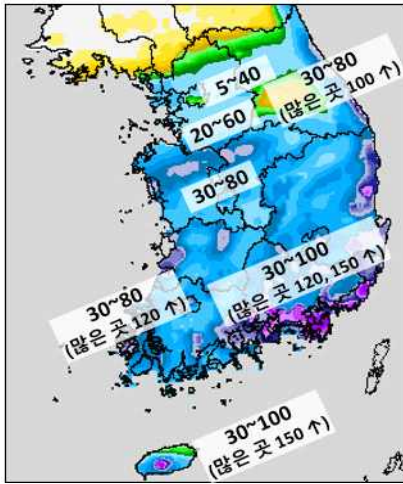
2. 2023년 9월 20일~21일 사례

**저기압 통과 시 우리나라 북동쪽에 고기압이 버틴다면,
수렴, 동풍, 부저기압 발달로 200mm 이상 강수 가능**

1. 예보와 실황은?

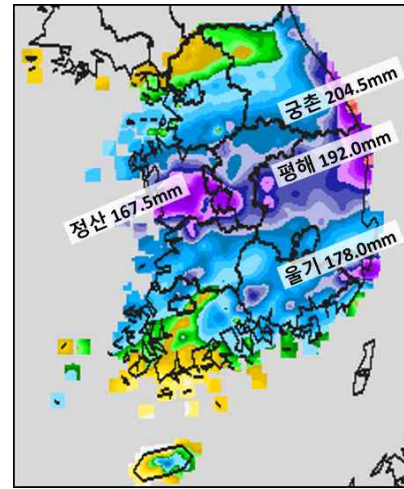
예보(9월 19일 11시 발표)

▶ 20~21일 예상 강수량(mm)



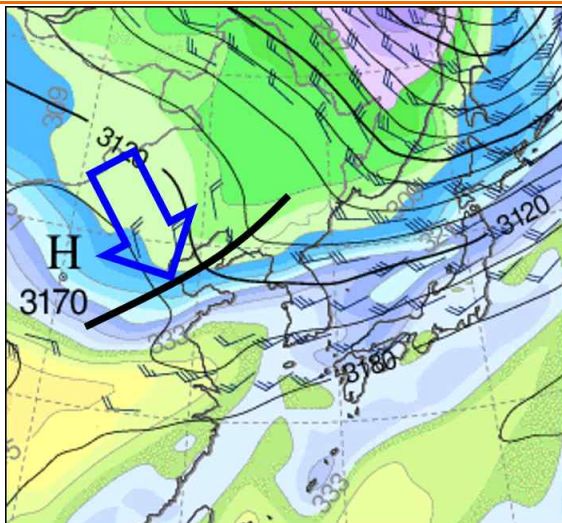
실황(9월 20~21일)

▶ 20~21일 총누적강수량(mm)

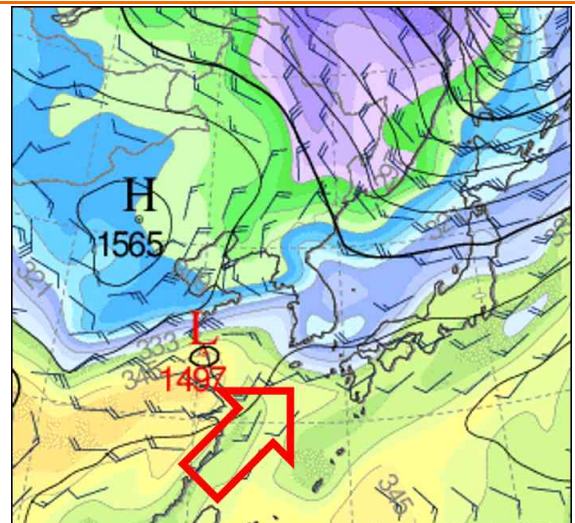


● 이번 사례는

- 200hPa 동서 순환이 원활하고 500hPa 기압골이 뚜렷하지 않은 상황에서 700hPa 기압골에 의해 중국 상하이 부근에 발달한 저기압이 우리나라 남부지방을 통과하면서
- 앞으로 영향을 줄 기압골 발달과 저기압의 북상 정도에 초점을 맞추어 분석하고 강수량은 대부분 지역에 30~80mm, 하층제트의 영향을 받는 남해안은 100mm 이상을 예보하였으나
- 실황에서는 저기압 발달과 함께 우리나라 북동쪽에 고기압이 버티면서 일부 지역에 200mm 내외의 많은 강수량이 기록되었음



강수 발생 기작(20일 09시 700hPa)



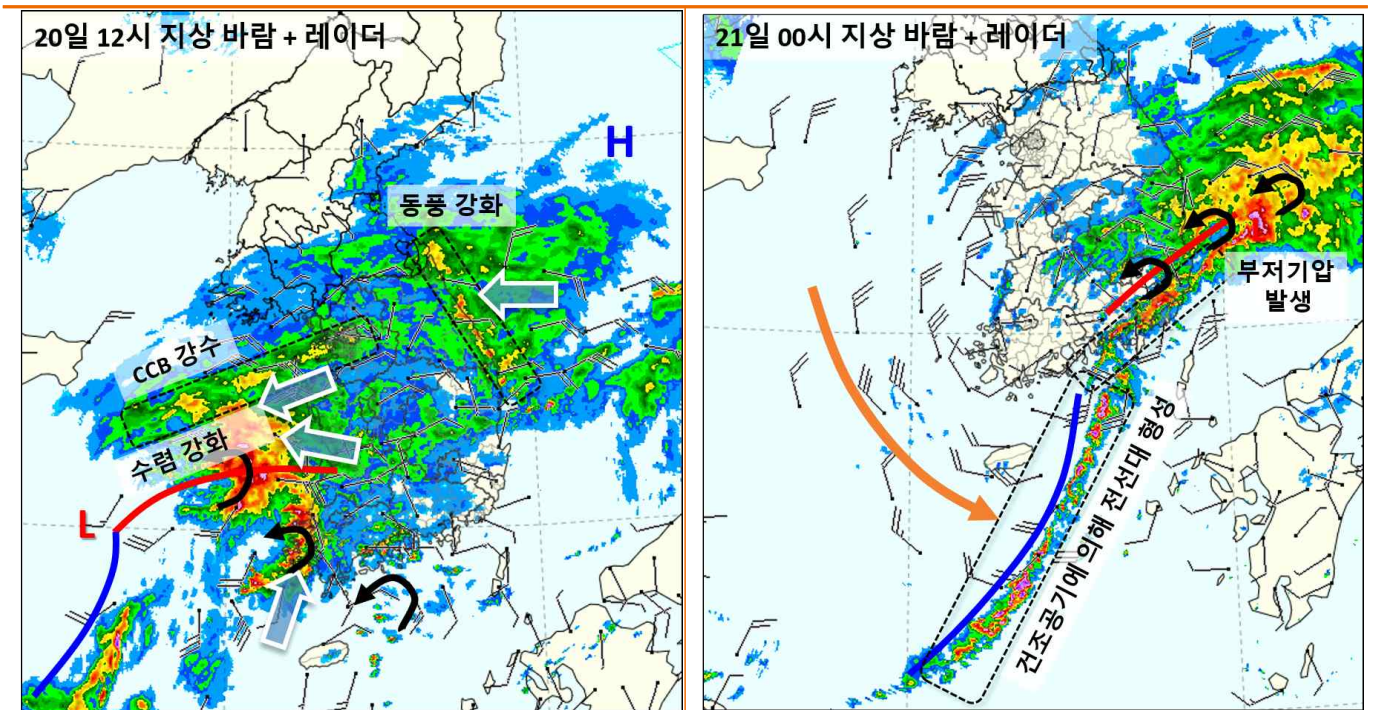
강수 발생 기작(20일 09시 850hPa)

2. 쟁점사항은?

- 저기압 통과 시 주변 북동쪽 고기압에 의해 강수량이 증가할 수 있었던 요인은?

3. 주요 분석내용

- 저기압 통과 시 주변 북동쪽 고기압에 의해 강수량이 증가할 수 있던 요인은?
 - 중국 상하이 부근에서 발달한 저기압이 남부지방을 통과 시 우리나라 북동쪽(개마고원 부근) 고기압에서 북동-동풍이 강화되어 충남, 동해안, 울산을 중심으로 강수가 집중된 요인을 살펴보면,

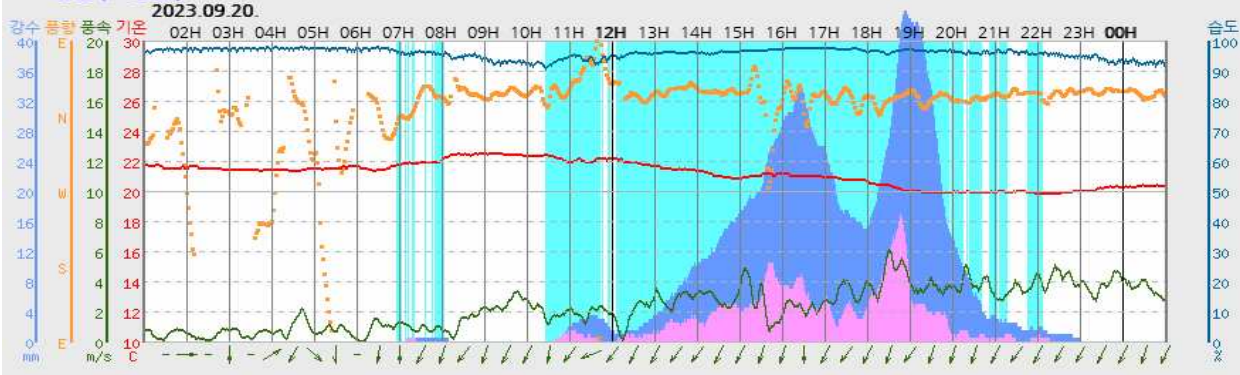


저기압 통과로 나타난 강수 메커니즘

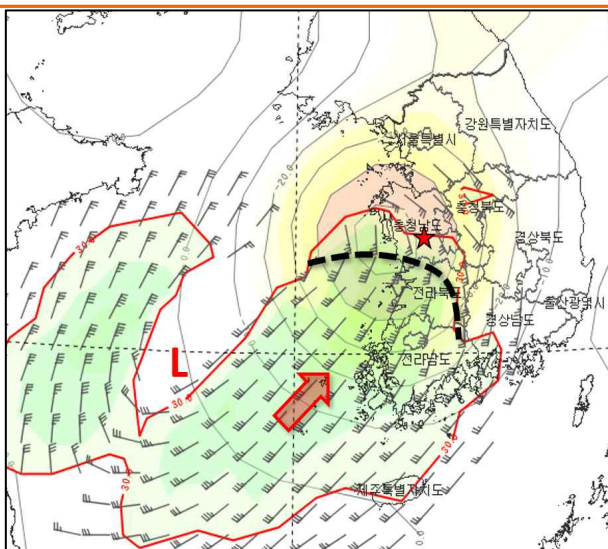
① 수렴 강화에 의한 충남 강수 증가

- 저기압이 접근하면서 남서풍이 부딪히는 해안가를 중심으로 작은 저기압성 순환들이 형성되었고, 북동쪽 고기압으로부터 유입되는 북동풍과 남서풍의 수렴이 강화되어 충남에는 시간당 30~50mm 이상의 매우 강한 비가 내렸음
- 저기압이 남부지방을 느리게 통과하며 서해상에는 850hPa 남서풍이 30kts 이상(초록색 채색)으로 매우 강하게 유입되었는데, 하층제트가 유입되는 축의 북쪽으로는 상승이 활발하여 정산(청양)은 12시간 이상 비가 지속되며 누적 강수량 167.5mm를 기록하였음

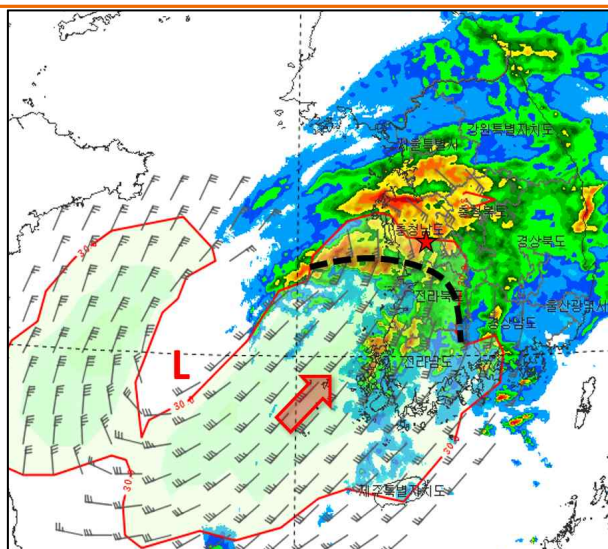
691 정산 (기상청)



정산(청양) AWS 시계열(20일)



20일 15시 850hPa 바람+700hPa 상승속도

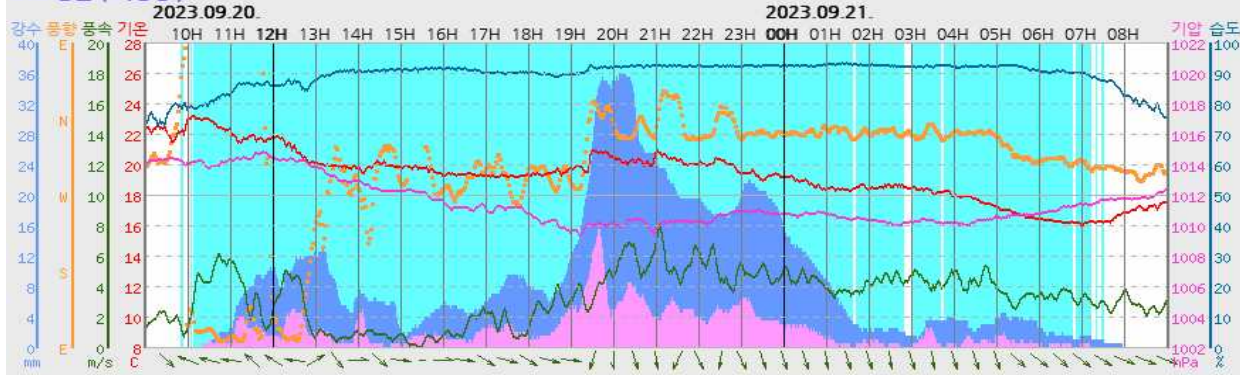


20일 15시 850hPa 바람 + 레이더 영상

② 동풍에 의한 동해안 강수 증가

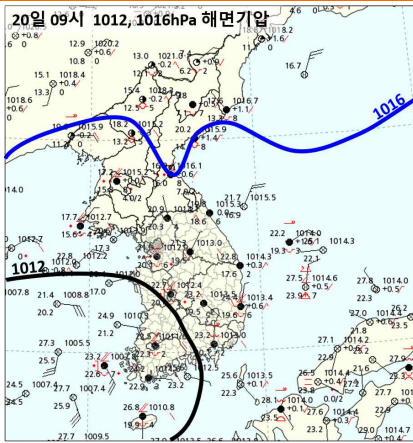
- 동해안에서 가장 많은 강수량을 기록한 지점인 궁촌(삼척, 누적 강수량 204.5mm) AWS 시계열을 보면 19시 이후 풍계가 서풍에서 북풍으로 바뀌며 강수량이 증가하였고 동해 부이 자료에도 북동풍이 14m/s 이상으로 매우 강해졌음

310 궁촌 (기상청)

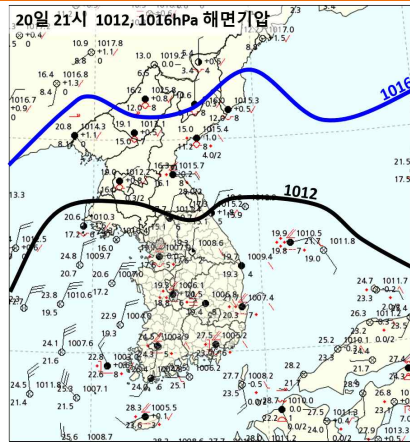


궁촌(삼척) AWS 시계열(20~21일)

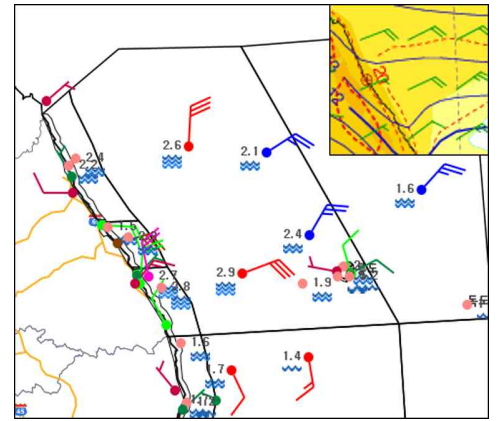
- 모델은 20일 18시에 지상 풍속을 UM 10~15kts, ECMWF 5kts 정도로 예상하였으나 실황에서는 풍속이 20~25kts로 더 강하게 관측되었음, 이는 우리나라 북동쪽에 고기압이 버티는 가운데 남쪽에서 저기압이 접근하여 동해상의 기압경도력이 강해졌기 때문이며 아래 그림에서 12시간 간격의 지상 해면기압(1012, 1016hPa) 위치를 비교하여 확인할 수 있음



20일 09시
1012, 1016hPa 해면기압



20일 21시
1012, 1016hPa 해면기압

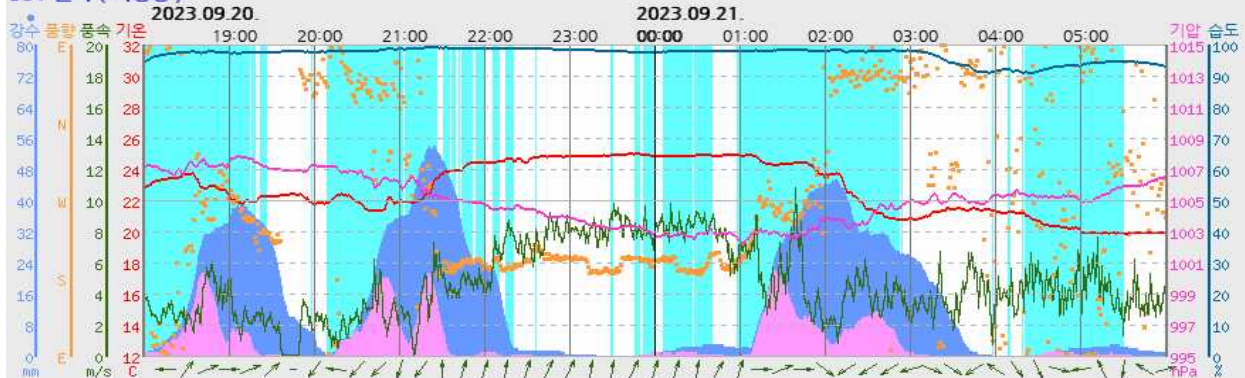


20일 18시 동해상 부이 바람,
UM 지상 바람 예측장(우상단)

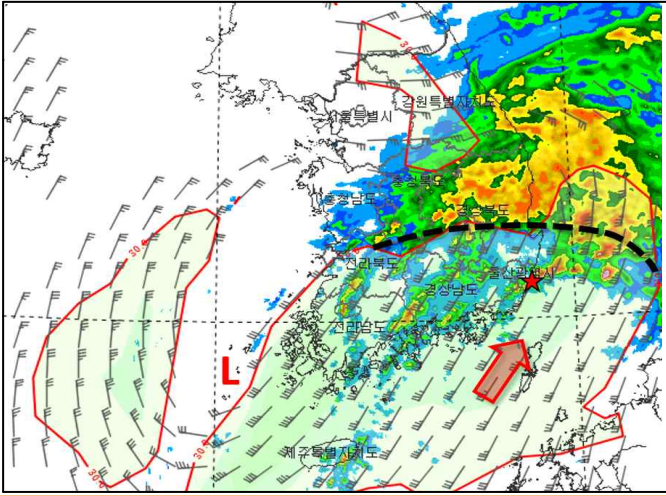
③ 부저기압 발생에 의한 울산 강수 증가

- 부저기압(Secondary Low)은 주저기압 주변에 생기는 작은 저기압으로 정의되며, 우리나라에서는 저기압이 내륙을 통과할 때 동해안이나 동해상에 생기는 경우가 많음
- 이번 사례에서 울기(울산) AWS에는 178.0mm의 많은 강수량이 기록되었는데 강수 피크가 나타난 시점을 기준으로 살펴보면, 20일에는 저기압이 접근하며 남해안에 30kts 이상으로 유입되는 하층제트에 의해 일강수량 105.5mm를 기록하였고, 21일 새벽에는 부저기압이 발달하면서 다시 시간당 40mm 이상의 매우 강한 비가 내렸음

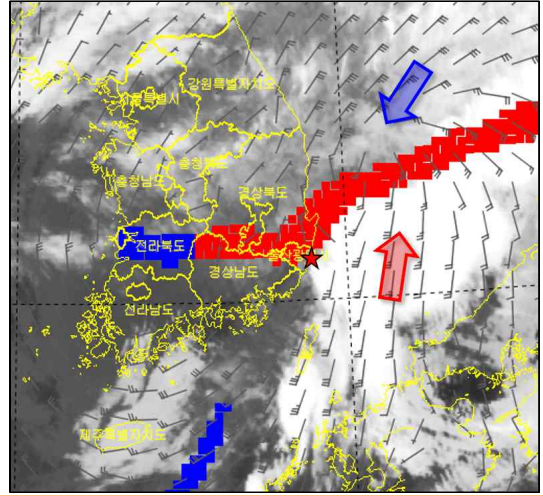
901 울기 (기상청)



저기압 통과로 나타난 강수 매커니즘

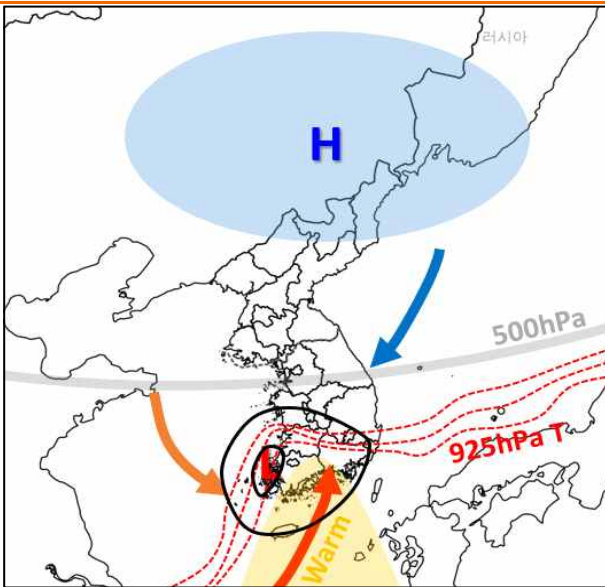


20일 21시 850hPa 바람 + 레이더 영상

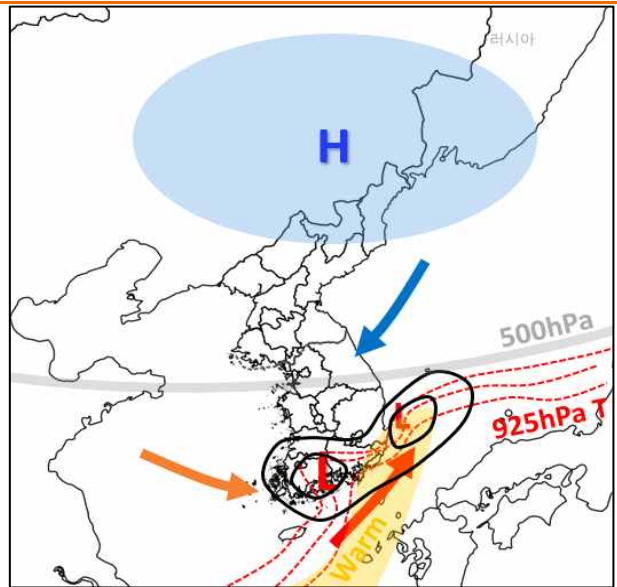


20일 21시 지상 바람 + 전선

- 부저기압의 발생 원인을 살펴보면 저기압이 남쪽으로 통과하며 유입되는 남서풍(난기)과 우리나라 북동쪽에 버티는 고기압에서 유입되는 북동풍(한기)에 의해 온도조밀역이 유지되면서 상대적으로 내륙보다 마찰이 적은 해상에서 다시 저기압이 발달하였음

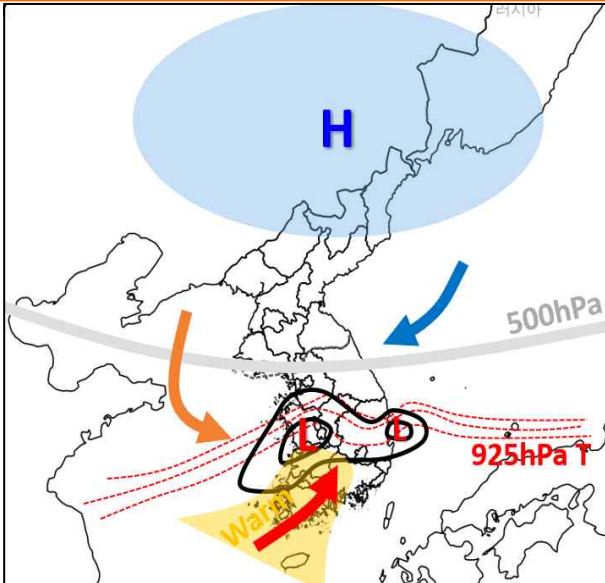


2023년 9월 20일 21시 기압계 모식도

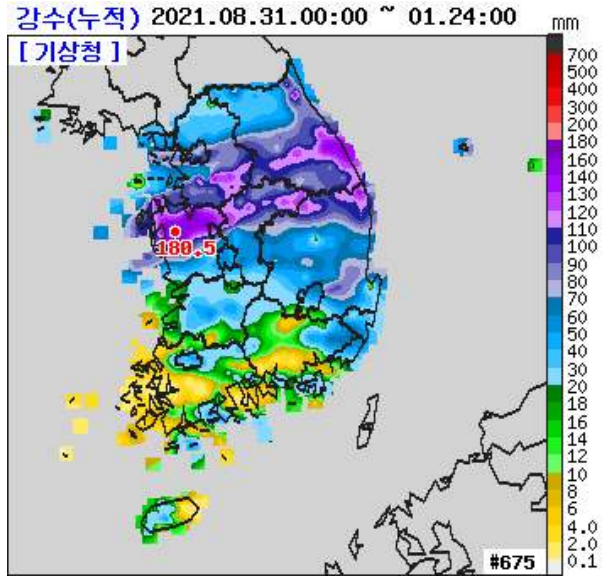


2023년 9월 21일 03시 기압계 모식도

- 이번 사례처럼 북쪽에 고압부가 위치하는 경우 부저기압이 잘 발달하는 사례는 과거에도 있었음, 2021년 9월 1~2일 저기압(해면기압 1009hPa)이 남부지방을 통과한 사례에서도 상층 지원이 약하고 저기압 강도가 약하였으나 북쪽 고압부에 의한 찬 북동풍과 남쪽에서 유입되는 따뜻한 남서풍에 의해 전선면이 강화되어 해상에 또 다른 저기압을 형성하였음
- 당시 흥북(충남 흥성) 166.0mm, 옥계(강원 강릉) 111.5mm, 영주(경북 영주) 111.0mm로 이번과 유사한 강수 집중 구역을 보였음

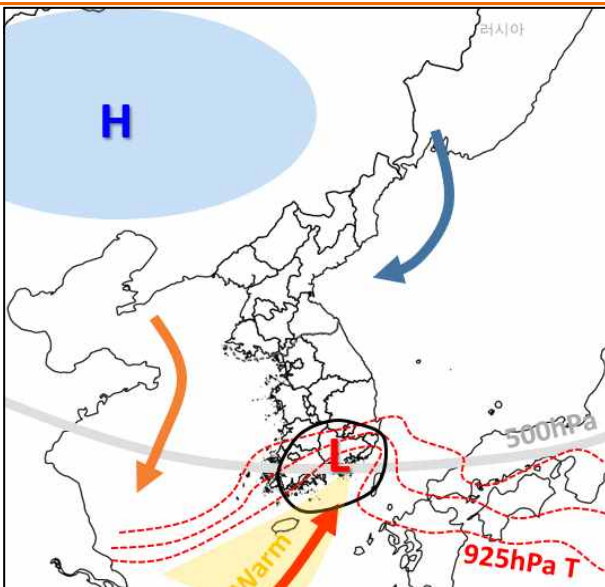


2021년 9월 1일 09시 기압계 모식도

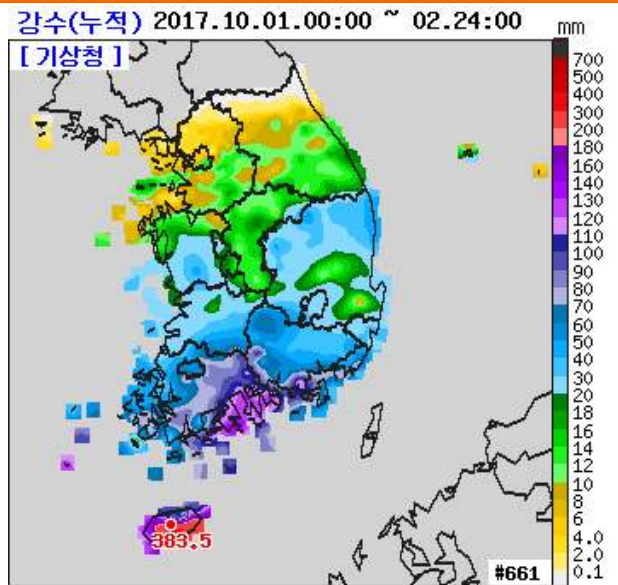


누적 강수량 8월 31~9월 1일

- 반면 2017년 10월 1~2일은 이번과 비슷한 기압계에서 부저기압이 발생하지 않은 사례로 고기압의 중심이 몽골 북부에 위치하며 우리나라 북동쪽은 뚜렷한 기압계가 지배하지 않는 안장부에 놓이며 동해상에 전선을 발달시킬만한 강제력이 약했음
- 그러나 2017년 사례에서 제주도에는 300mm 이상 매우 많은 강수량이 기록되었는데, 이때에는 저기압 후면에서 남하하는 건조역과 일본 남서쪽으로 확장한 고기압 사이에서 여러 저기압성 순환이 발달하여 제주도에 영향을 주었음



2017년 10월 2일 09시 기압계 모식도

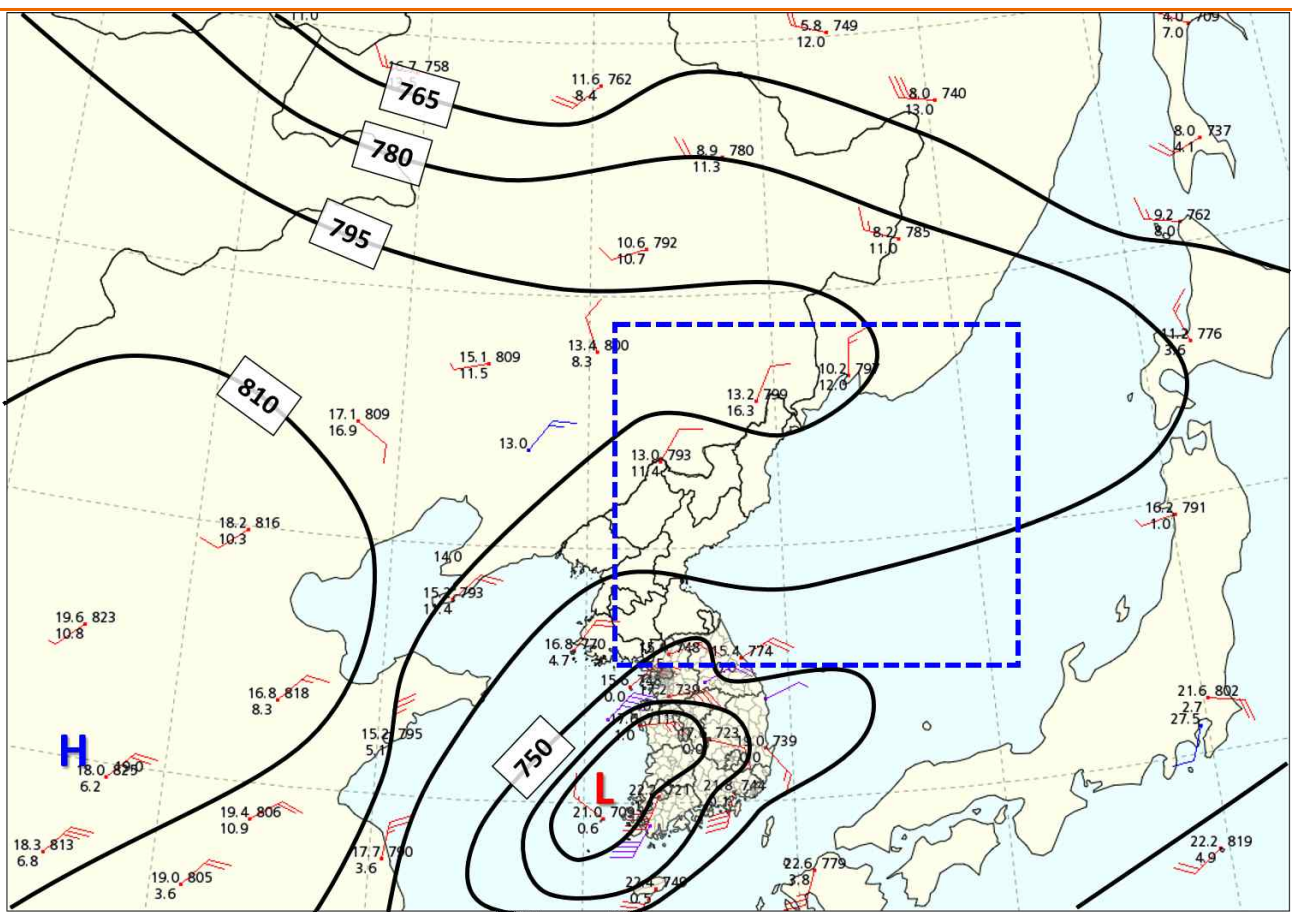


누적 강수량 10월 1~2일

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

● 우리나라 북동쪽 고기압 강도

- 예보 당시 저기압 강도에 따른 강수량 증가 여부와 북상 정도에 따른 강수 구역에 초점을 두었으나, 우리나라 북동쪽에 고기압이 버티면서 수렴과 동풍이 강화되고 부저기압이 발달하여 강수량이 증가하였음
- 따라서 저기압 통과 시 기압골과 저기압 강도 외에도 우리나라 주변 고기압의 위치와 강도에 따라 부저기압의 발달 여부를 함께 고려하여야 하며,
- 아래 그림에서 파란 점선으로 표시한 구역은 상대적으로 관측 자료가 적은 곳이기는 하나 실황 분석 시 지위고도의 간격을 좁히는 등 세밀한 분석이 필요함

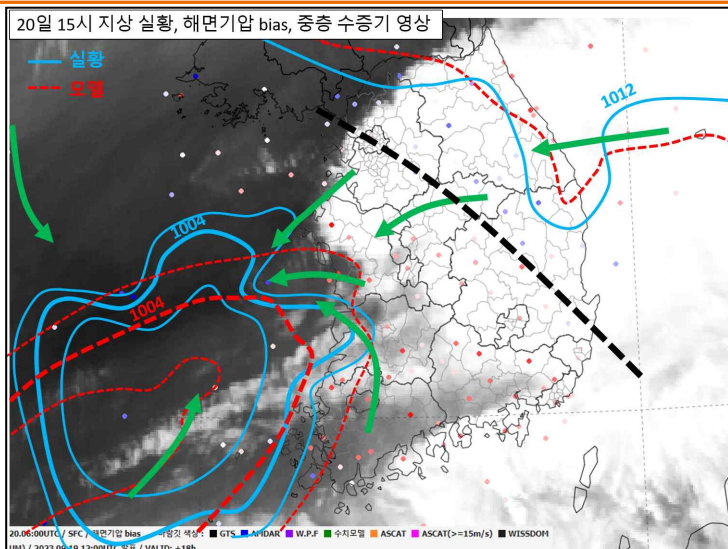


20일 21시 925hPa

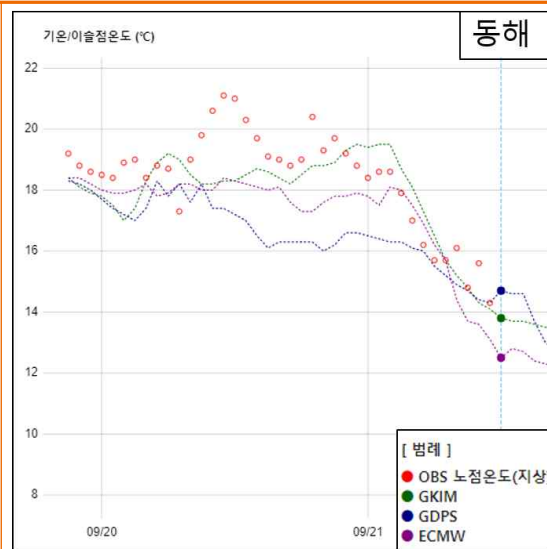
● 실황 분석은 끝까지

- 이번 사례는 예보 시점으로 다가올수록 중층 기압골이 깊어지며 저기압이 더욱 발달하는 것으로 분석되어 19일 11시 단기예보에서 강수량을 상향하였으며, 당일인 20일 09시와 12시 실황에서는 저기압의 이동 속도가 예상보다 빠르고, 우리나라 북동쪽 고기압의 세력이 예상보다 크지 않아 저기압의 이동이 원활할 것으로 판단하였음

- 그러나 20일 15시 실황에서 저기압은 모델 예상보다 동쪽에 위치하고 우리나라 북동쪽에 고기압이 버티면서 내륙에서의 기압경도력이 강해졌는데 이는 아래 그림의 검은 점선을 기준으로 서쪽 지역은 해면기압이 과대 모의 되었고, 동쪽 지역은 과소 모의된 것으로 확인할 수 있음
- 또한, 동해와 해남 등 해안에 위치한 지점의 이슬점 온도가 실황에서 모델보다 높게 나타나고 있었는데 이는 해상에서 수증기 공급이 활발하여 강수가 증가할 수 있는 요인 이므로 실황 분석은 강수가 진행되는 중에도 필요하다는 것을 보여준 사례임



20일 15시 해면기압 모델과 실황 비교



동해 이슬점온도 모델과 실황 비교

여름예년 사례분석

2022년 여름철 강수 사후분석 사례



1. 2022년 6월 29일~30일 사례

mT 가장자리 집중호우

할 에코(Bow Echo)로 인한 서산 시간당 100mm 이상 호우

1. 예보와 실황은?

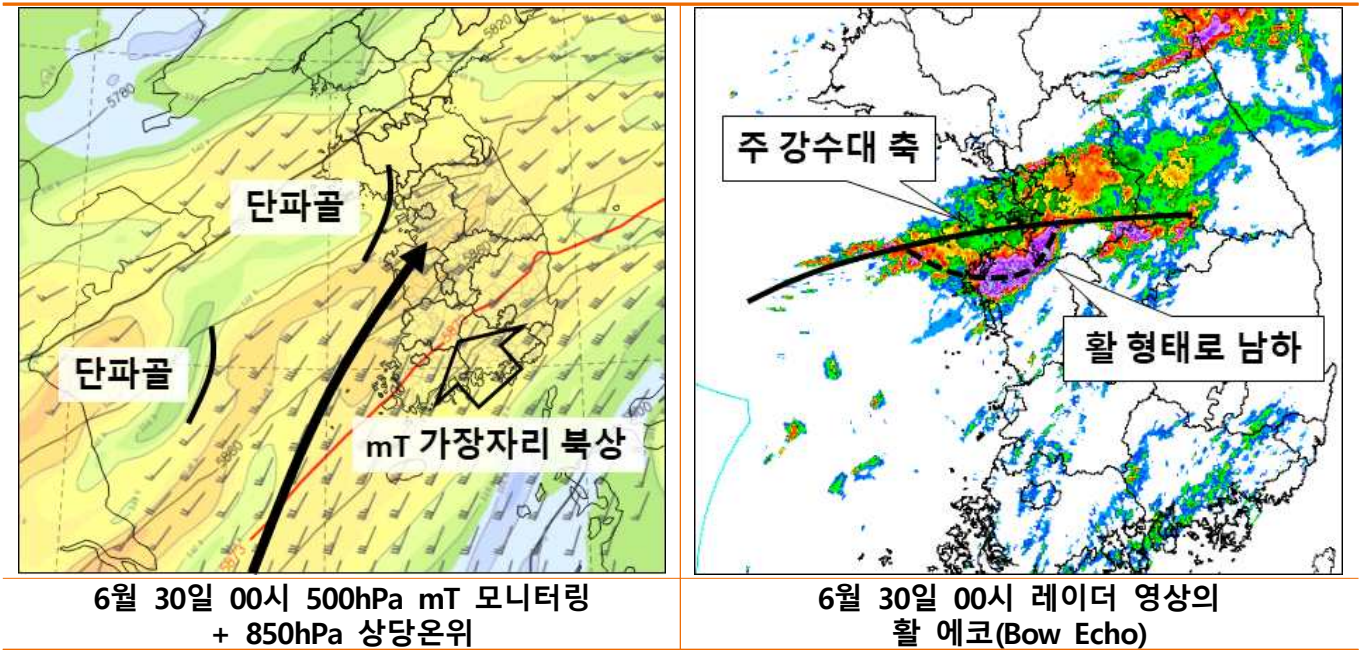
예보(6월 29일 17시 발표)	실황(6월 29~30일)
- 많은 곳 수도권, 강원내륙.산지 : 250mm 이상	- 수도권, 강원영서 : ~339mm
- 충청북부 : 5~150mm	- 충청북부 : ~268mm
- 시간당 30~50mm 내외	- 시간당 최대 105.4mm(서산)

2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 충청북부에 영향을 준 강수대의 강수 메커니즘은 무엇인가?
- 쟁점2) 할 에코(Bow Echo) 발생 시 예상보다 남쪽으로 강수 집중구역이 형성된다.

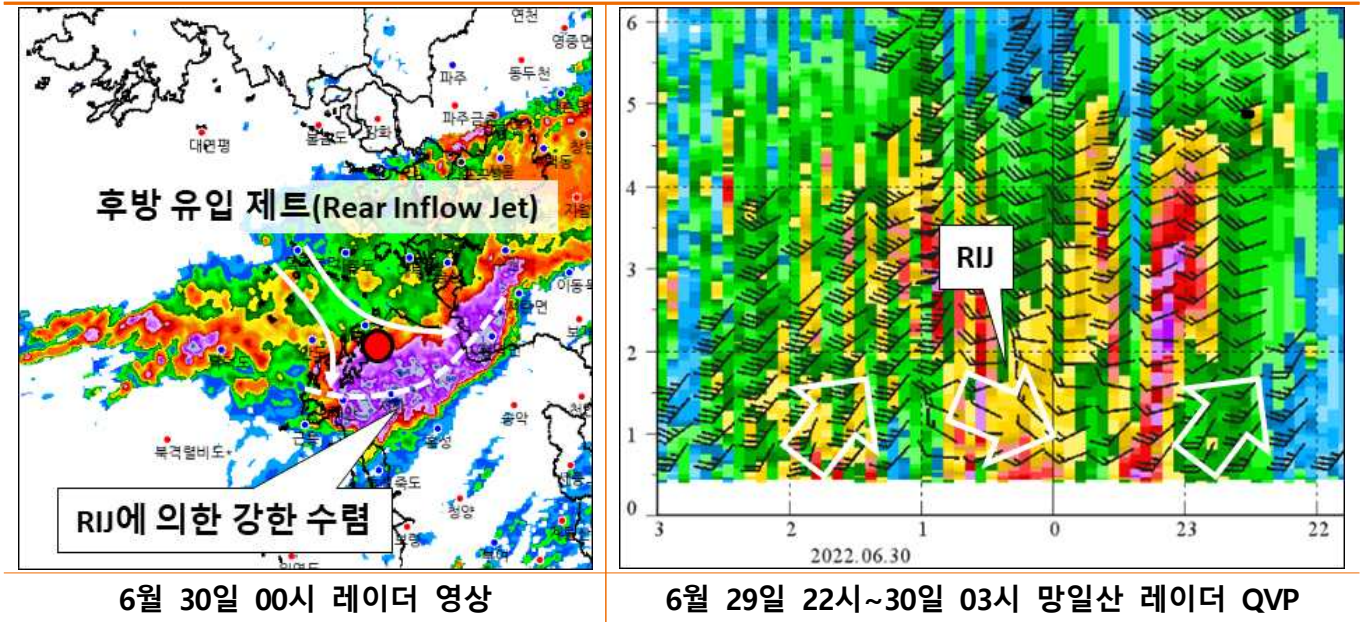
3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 충청북부에 영향을 준 강수대의 강수 메커니즘은 무엇인가?



- 북태평양고기압은 우리나라로 확장하는 추세였으며, 충청북부에 강수가 있었던 30일 00시 경에는 mT 가장자리가 충청도 남쪽까지 북상하여 충청도 전역은 mT 가장자리에 놓여 있으며, 하층제트가 유입되면서 호우가 발생할 수 있는 조건이었음
- mT 가장자리는 계속해서 북상 추세였으며, 북쪽에서 뚜렷하게 건조역이 남하하는 기압계 패턴이 아니었기 때문에 북상하는 강수대가 다시 남하할 가능성이 매우 낮아 충청도는 강수 지속시간이 짧을 것으로 예상하였음

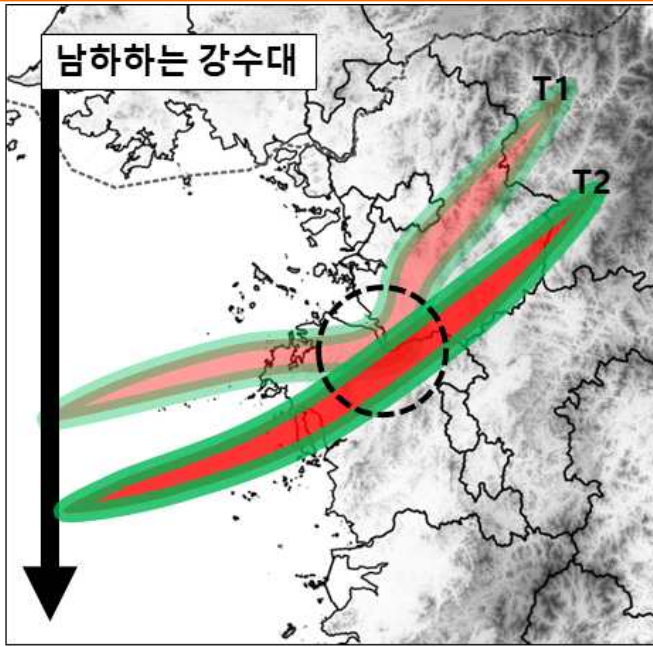
- 하지만, 중국 산둥반도 남쪽에서 유입되는 약한 단파골의 영향으로 충청북부로 유입되는 하층제트 강수대의 발달을 지원하였으며, 스콜 선(Squall line) 형태로 발달한 강수대는 느리게 북상하는 과정에서 활 에코(Bow Echo)로 발달하여 일시적으로 강한 강수대가 충청북부로 다시 남하하면서 강수량이 크게 증가했음



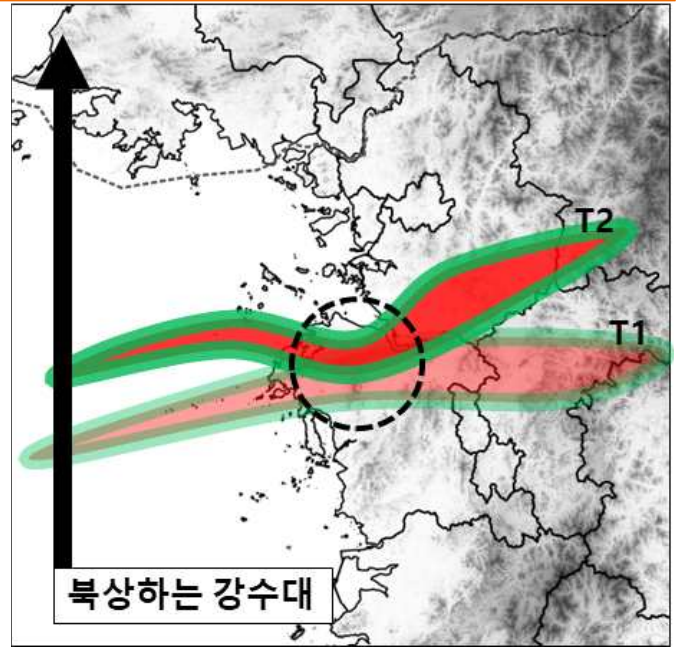
- 30일 00시 레이더 영상에서 뚜렷한 활 에코의 형태를 확인할 수 있었으며, 당시 활 에코의 후방에 위치했던 망일산 소형 레이더의 준연직분포(QVP) 자료에서 2km 이하 고도로 북서풍의 후방 유입 제트(Rear Inflow Jet)*의 유입도 확인이 되었음
 - * 활 에코(Bow Echo)의 후방에서 중하층으로 유입되는 제트기류로 활 에코의 발달을 명확하게 보여줌
- 망일산 레이더 QVP 자료를 보면 RIJ가 500m 부근의 낮은 고도까지 유입되었기 때문에 수렴 고도가 낮아 대류의 강도가 매우 강했으며, 실제 에코 탑은 당시 대류권계면 높이인 13km 이상으로 발달했음
- 결국, 활 에코 전단의 강한 수렴대가 충청북부로 남하하여 영향을 주면서 서산 지역에는 시간당 105.4mm의 매우 강한 비가 기록되었음

● **쟁점2) 활 에코(Bow Echo) 발생 시 예상보다 남쪽으로 강수 집중구역이 형성된다.**

- mT 가장자리에서 발생하는 하층제트에 의한 중부지방 호우 사례들은 대부분 북쪽 건조 공기의 영향으로 강수대가 남하하다가 mT 가장자리에서 정체하여 집중호우로 이어지는 경우가 많은 데 반해, 이번 사례와 같이 북상하는 강수대 패턴에서는 북쪽 건조공기의 영향을 받지 않기 때문에 강수대가 발달하더라도 정체하는 경우는 잘 나타나지 않음
- 이번 사례와 같이 북상하는 강수대이지만 강수대가 강하게 발달하여 활 에코 형태로 나타나는 경우에는 강수대 축은 북상하더라도 후방 유입 제트에 의한 일시적으로 남하하는 강수대 영역의 영향으로 강수대가 정체하는 효과가 나타날 수 있음

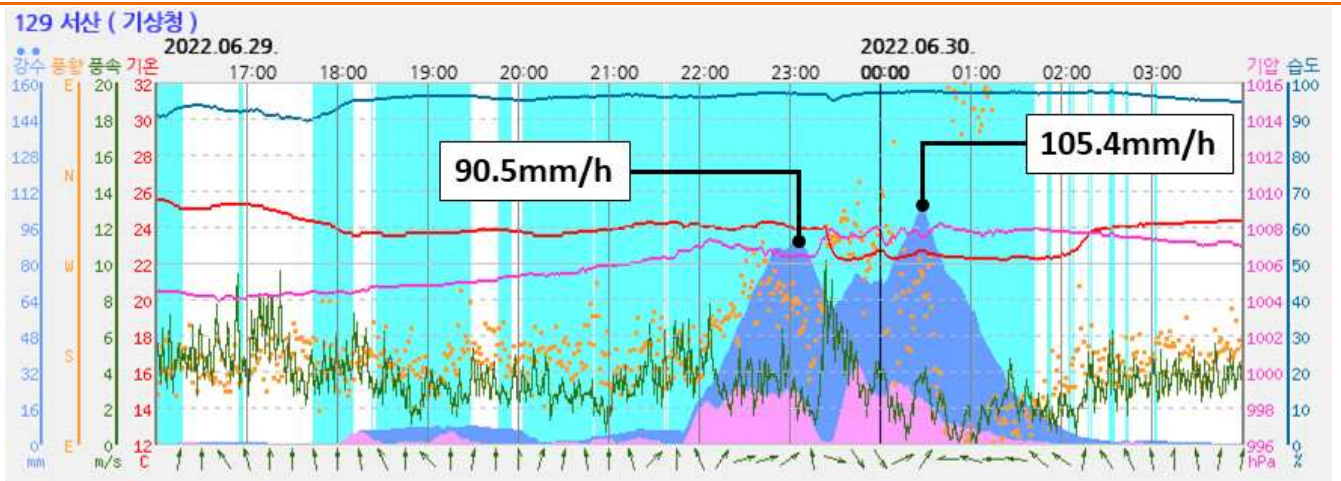


남하하는 강수대의 활 에코 발생 모식도



북상하는 강수대의 활 에코 발생 모식도

- 그림의 활 에코 발생 모식도를 보게 되면 남하하는 강수대에서는 활 에코 발생 후 주 강수대가 남하하는 과정에서 검정색 동그라미로 표시한 지역으로 두 번의 강수 피크가 나타날 수 있으며, 이번 사례와 같이 북상하는 강수대에서도 활 에코로 인하여 일시적으로 강수대가 다시 남하하게 되는 검정색 동그라미 지역에서 두 번의 강수 피크가 나타날 수 있음

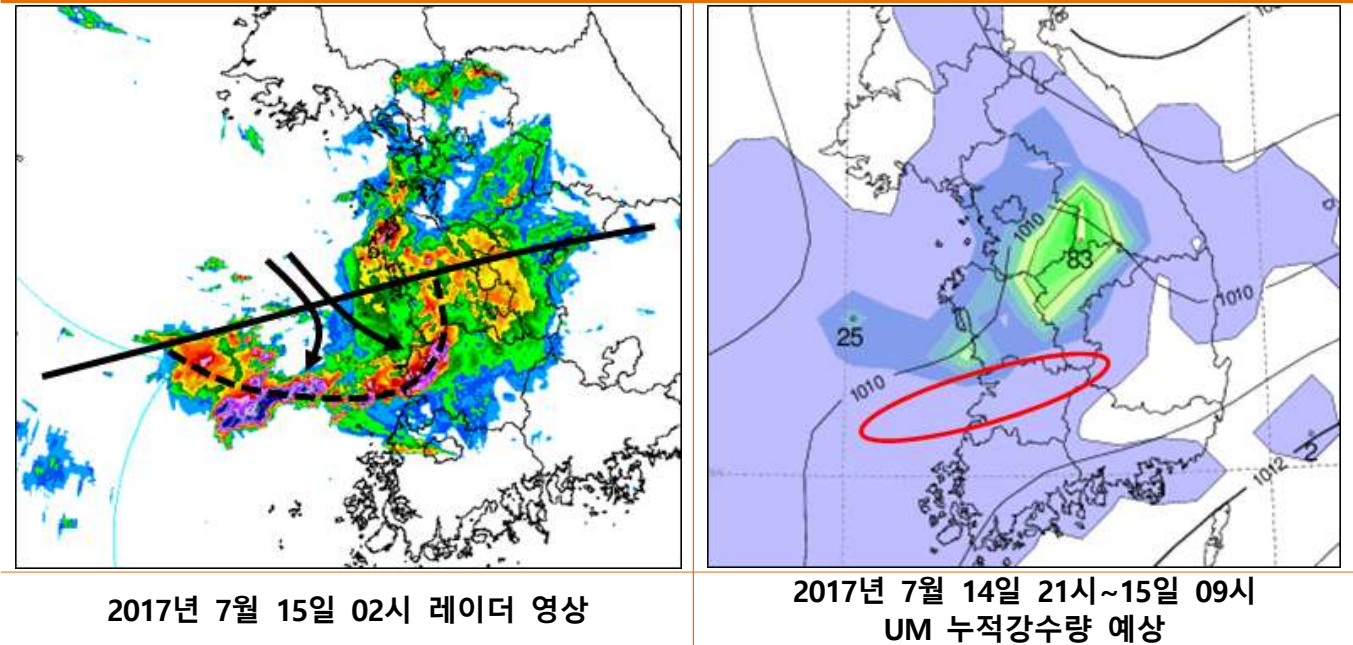


6월 29일 16시~30일 04시 서산 ASOS 시계열

- 6월 29~30일 서산 ASOS 시계열 자료를 보면 강한 강수는 29일 22시부터 30일 01시 사이 약 3시간 정도 지속이 됐으나, 자세하게 강수의 피크를 확인해보면 29일 23시경 시간당 90.5mm, 30일 00시 30분경에는 시간당 105.4mm의 두 번의 강수 피크가 각각 나타나면서, 활 에코에 의한 2차 피크의 영향을 추가로 받은 것을 알 수 있음
- 특히, 활 에코에 의한 2차 피크의 경우 남쪽에서 불어드는 하층제트에 의한 난기와 북쪽에서 유입되는 후방 유입 제트에 한기가 매우 낮은 고도에서 수렴이 되기 때문에 대류의 강도도 매우 강해 총 강수뿐만 아니라 강도적인 측면에서도 매우 위험할 수 있음

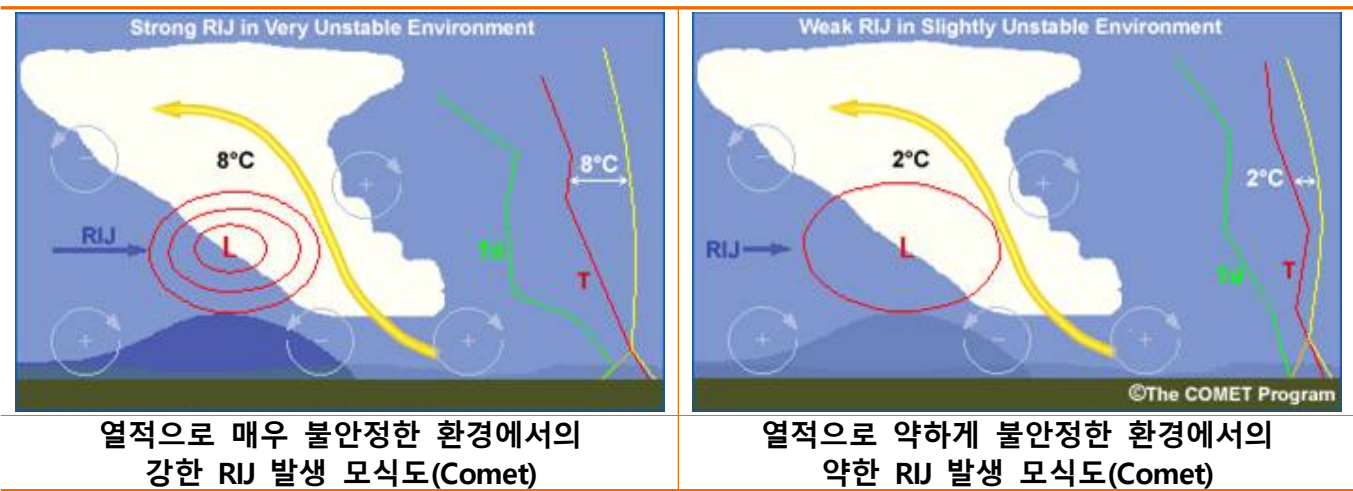
4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 과거에도 유사한 예보 실패 사례들이 종종 있었다.



- 2017년 7월 15일 사례의 레이더 영상에서도 활 에코가 발달하면서 주 강수대 축보다 남쪽으로 강한 강수대가 발달하여 영향을 준 것을 알 수 있는데, 당시 수치모델의 강수 집중 구역의 예상은 주 강수대의 축이 영향을 주는 충청도 지역으로 예상했으나 실제로는 활 에코에 의해 더 남쪽인 전북지역으로 400mm 이상의 집중호우가 발생하였음

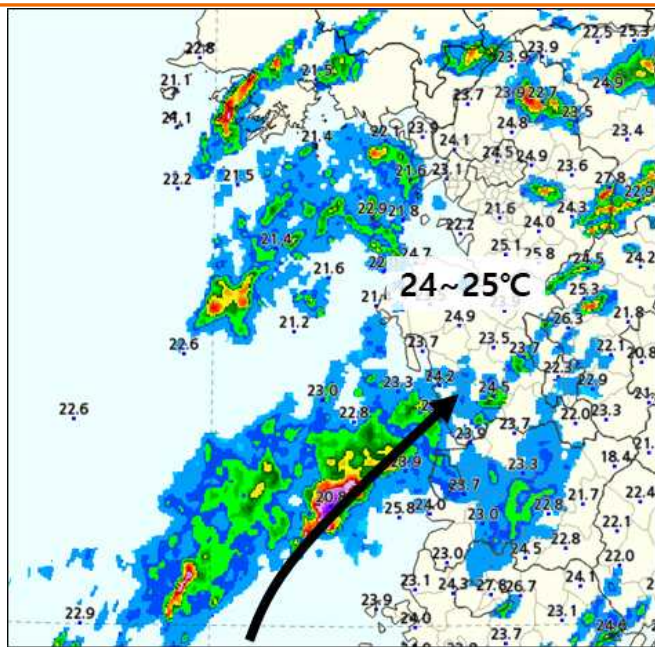
- 활 에코(Bow Echo)가 발생 가능한 조건임을 인지했어야 한다.



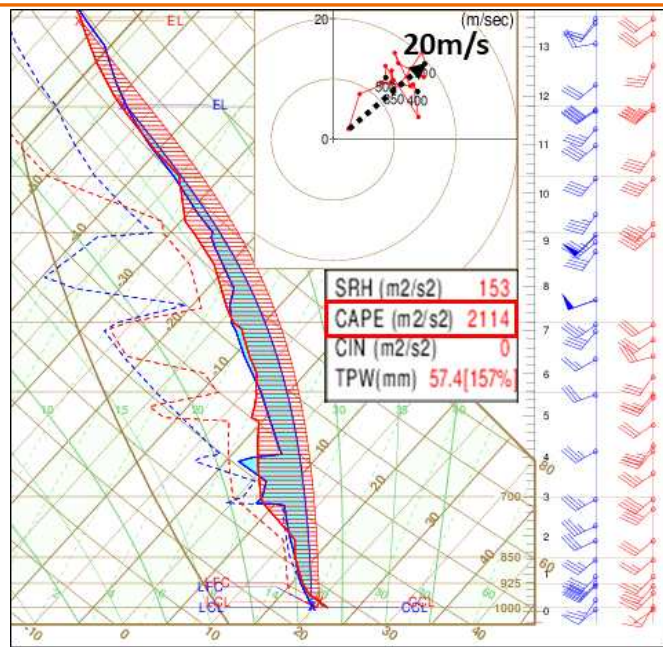
- 일반적으로 활 에코는 중규모 대류계(MCSs)의 스콜 선에서 한 차례 더 강하게 발달할 때 나타나는 형태이기 때문에, 중하층의 연직 시어와 매우 강한 대류 불안정의 조건이 선행되어야 함(아직 우리나라에서 발생하는 활 에코의 발생 조건에 대한 연구는 없으며, 외국의 선행 연구에 의하면 강한 활 에코의 발생은 $2000\text{m}^2/\text{s}^2$ 이상의 CAPE와 20m/s 이상의 하층 연직 시어 환경이 필요함*)

* Weisman, M. L., 1992: The Genesis of Severe, Long-Lived Bow Echoes. *J. Atmos. Sci.*, 50, 645-670.

- 활 에코의 발달과 연관이 깊은 RIJ의 발생 모식도를 보면 RIJ의 발달 정도는 중층의 열적인 저기압의 발달 정도에 따라 그 강도가 달라지게 되는데, 왼쪽 모식도와 같이 CAPE이 큰 경우에는 중층 고도에서의 주변 공기보다 상승하는 공기의 온도가 높기 때문에 열적인 저기압 발달에 유리한 환경이 되므로 높은 활 에코 발생 여부를 판단하는데 있어서 CAPE에 의한 중층의 불안정이 있는지를 확인하는 것이 중요함



6월 29일 15시 GTS 지상 이슬점온도 분포 + 레이더 영상



6월 29일 15시 오산 단열선도

- 이번 사례에서 충남북부 지역에 강수대가 본격적으로 유입되기 전인 29일 15시의 GTS 지상 이슬점온도 분포를 보면 24~25°C의 분포를 나타내고 있었으며, 같은 시각 오산 지역의 단열선도를 보면 지상 부근의 높은 이슬점온도로 인하여 지상 기반의 CAPE는 2114m²/s²로 매우 높게 나타났으며, 앞서 언급했던 것과 같이 700hPa 중층 고도 부근으로 온도차가 크게 나타나면서 RIJ가 발달하기에 좋은 조건을 보여주었음
- 지상에서 700hPa까지 하층의 연직시어도 약 20m/s로 나타나 활 에코의 발생 조건을 모두 만족하고 있었으므로, 사전에 활 에코 발생을 어느정도 인지가 가능하였음, 하지만 워낙 중규모 현상이기 때문에 단기 예보 차원에서 예보에 그대로 반영하기는 아직 무리가 있는 부분이며, 향후에도 이러한 조건이 만족되는 상황이라면 실황에서 스콜라인의 발달 상황을 추적해가면서 초단기 예보에 반영하는 형태로 예보 운영이 필요하겠음

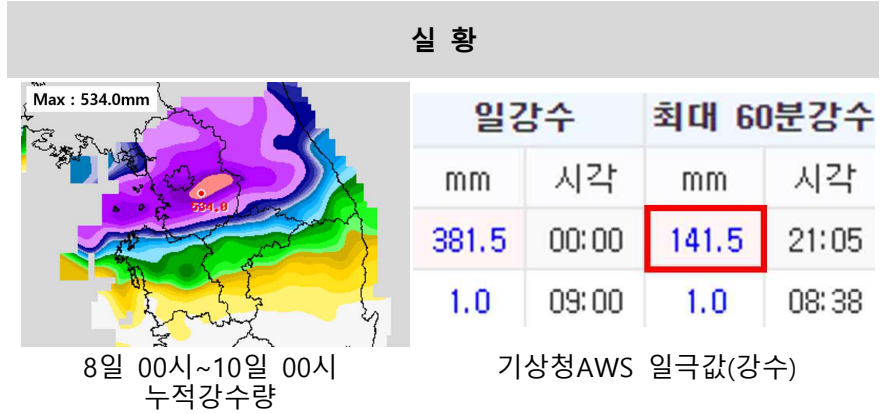
시간당 140mm의 수도권 집중호우?

아열대 고기압 + 건조역에 극한의 이슬점온도까지 더해진다면

1. 예보와 실황은?

예보(8월 7일 17시 발표)
8월 8일~9일 예상 강수량

- 수도권, 강원내륙 : 100~200mm (많은 곳 300mm 이상)
- 충청권, 경북북부 : 30~80mm (많은 곳 충청북부 150mm 이상)
- 전북북부 : 5~30mm

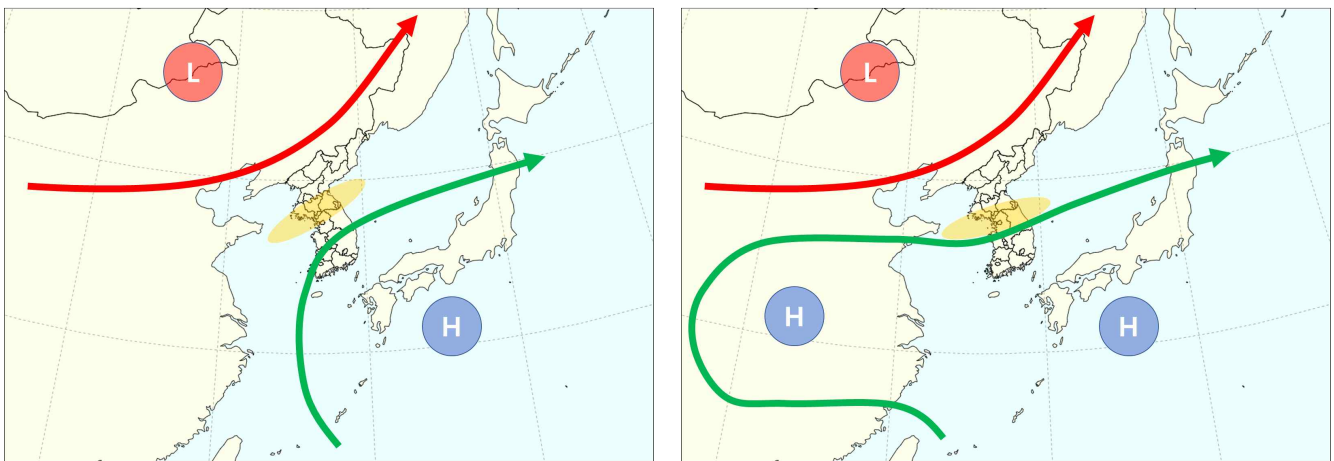


2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 전형적인 mT가장자리에서의 호우 패턴인가?
- 쟁점2) 이슬점온도와 강수량과의 관계는?

3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 전형적인 mT가장자리에서의 호우 패턴인가?



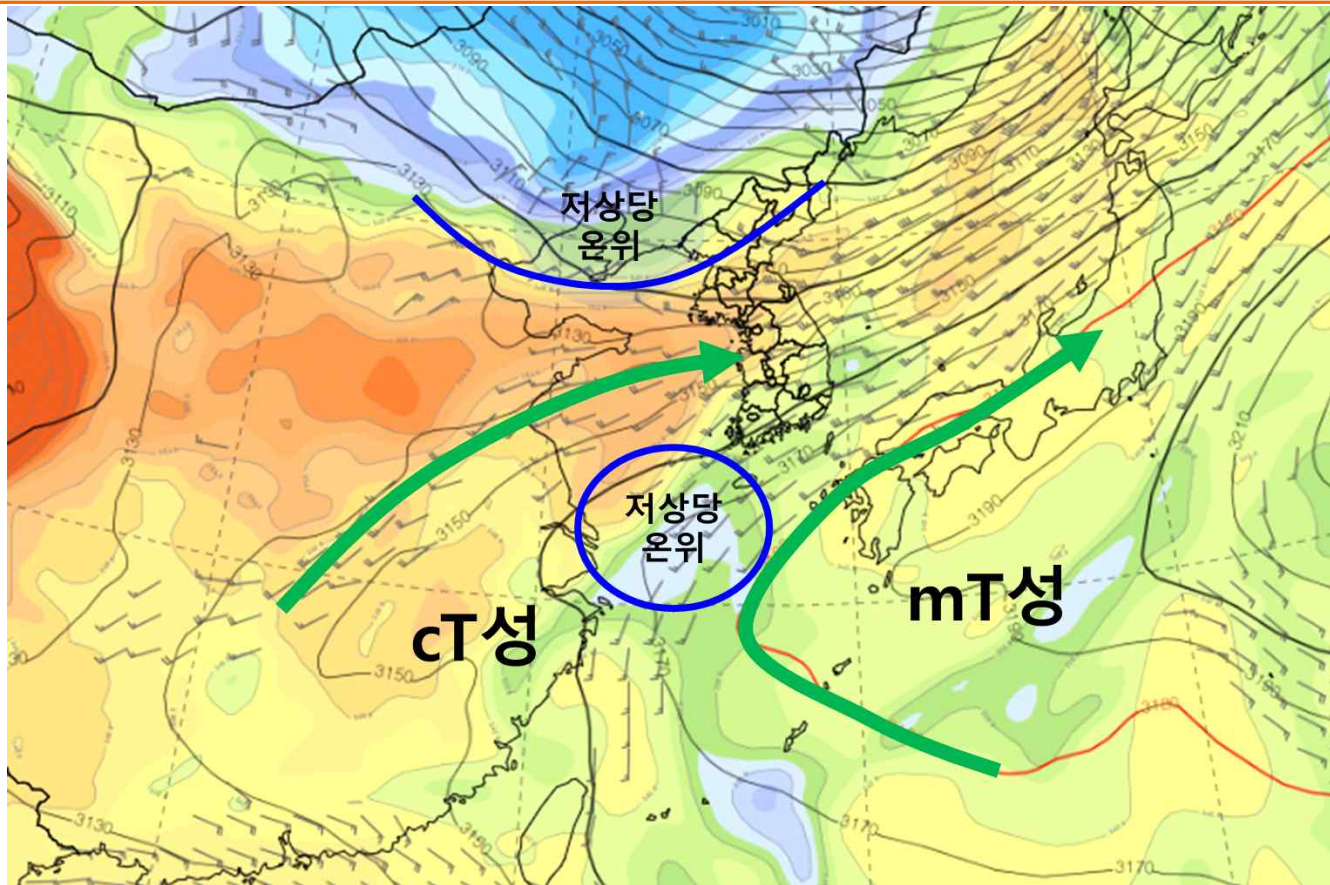
장마기간 mT가장자리 기압계 모식도

2022년 8월 8일 mT 가장자리 기압계 모식도

- 여름철 시간당 80mm이상의 강수는 북태평양고기압 가장자리에서의 하층제트와 밀접하게 관련이 있으므로, mT가장자리 분석이 가장 중요함
- 장마 기간에 전형적으로 나타나는 강수의 유형 중 하나인 mT가장자리를 따라 발생하는 호우는 일본 남쪽 부근에 중심을 둔 아열대고기압의 가장자리를 따라 저위도의 수증기가

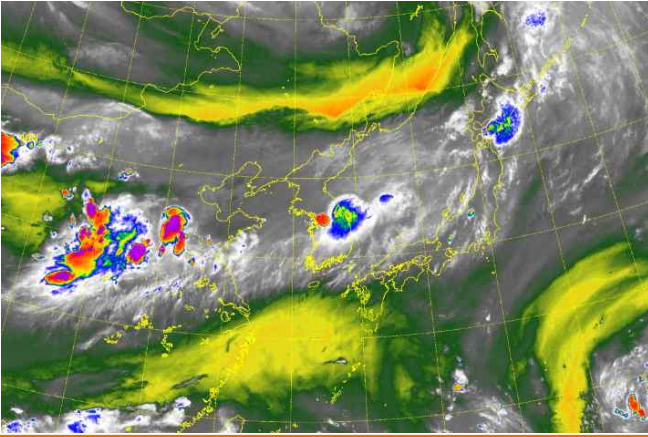
다량으로 공급되면서 발생하는 강수이며, 고기압의 세력이 강하면 강수의 정체도 유발할 수 있음

- 장마 기간 이후에는 일본 남쪽 부근의 아열대고기압뿐 아니라 중국 내륙 부근에 티베트 고기압이 발달되기 시작하므로, 아열대고기압과 티베트고기압이 합쳐진 땅콩 모양의 고기압 벨트 형태를 갖추기도 함. 8월 8일 수도권 집중호우 사례가 장마기간 이후의 고기압 벨트 형태에서 발생한 강수에 해당되는데, 전형적인 mT가장자리 형태에서 발생하는 강수가 아니므로 다른 해석이 필요함

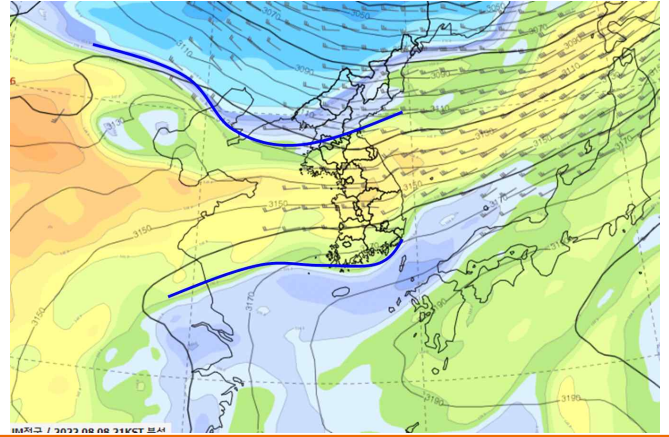


2022년 8월 8일 700hPa 고도와 850hPa 상당온위

- 그림에서 보면 mT가장자리를 따라 수증기가 유입되는 일본 부근과 중국내륙에서부터 수증기가 유입되는 우리나라 중부지역이 고상당온위역에 위치함
- 상해앞바다 부근에는 mT북단에 위치한 저상당온위역이 위치하고 있으며, 발해만 부근에서도 저상당온위역이 남하하면서 그 사이에 위치한 우리나라 중부지역의 고상당온위역이 압축될 수 있는 구조를 보임
- 따라서 이런 기압계 패턴에서 mT는 남쪽을 버티는 역할, cT가장자리는 중국내륙에서의 수증기를 유입시키는 역할을 한다고 해석할 수 있음

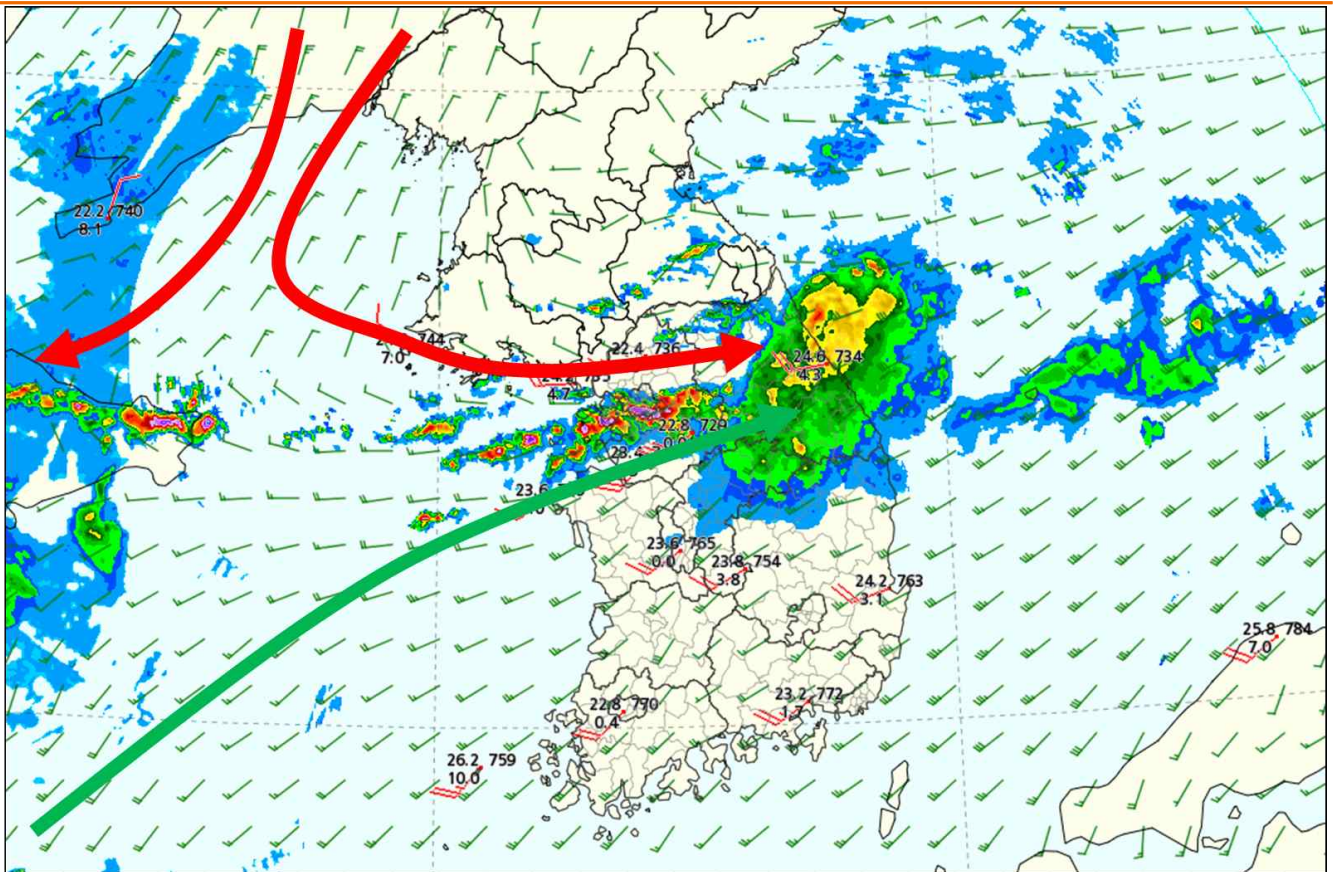


2022년 8월 8일 21시 중층 수증기강조 영상



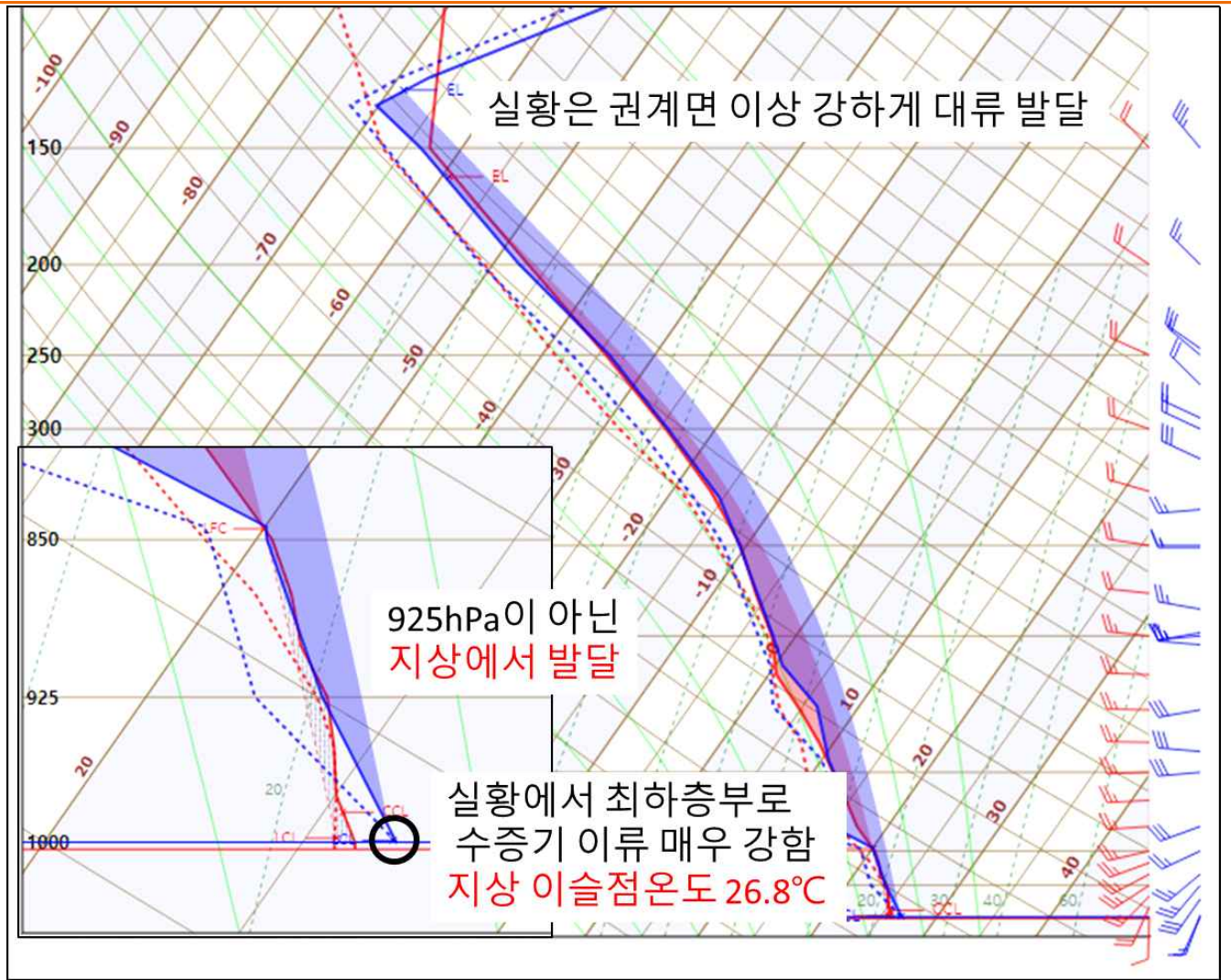
2022년 8월 8일 21시 700hPa 상당온위

- 일반적으로 다량의 수증기가 유입된 상태라면 대기 불안정이 유도되어야 강수가 잘 발달할 수 있으므로 북쪽에서 강한 강도로 남하하는 건조공기가 동반되는 것이 중요하지만, 여름철의 고온에서는 공기의 부력이 크기 때문에 건조공기가 약하게 부딪히더라도 대류가 잘 발달할 수 있으므로 오히려 건조공기의 남하 강도보다 지속시간이 긴 경우가 총 강수량이 늘어나기 좋은 환경임
- 수증기영상에서는 건조역의 대략적인 이동 경향을 파악할 수 있지만 하층으로 가라앉는 건조역을 구체적으로 파악하기는 어려우므로, 연직적인 건조역의 흐름을 보기 위해서는 상당온위 차트를 활용하는 것이 더 유리함
- 700hPa 상당온위 차트에서 저상당온위역의 부근에 뚜렷한 북풍 계열의 바람은 없지만, 서서히 남하하면서 습윤역을 압축할 수 있는 구조를 보이고 또한 중층 바람이 서풍 계열이므로 강수대가 서에서 동으로 이동하며 정체하는 형태를 보일 수 있는 조건임



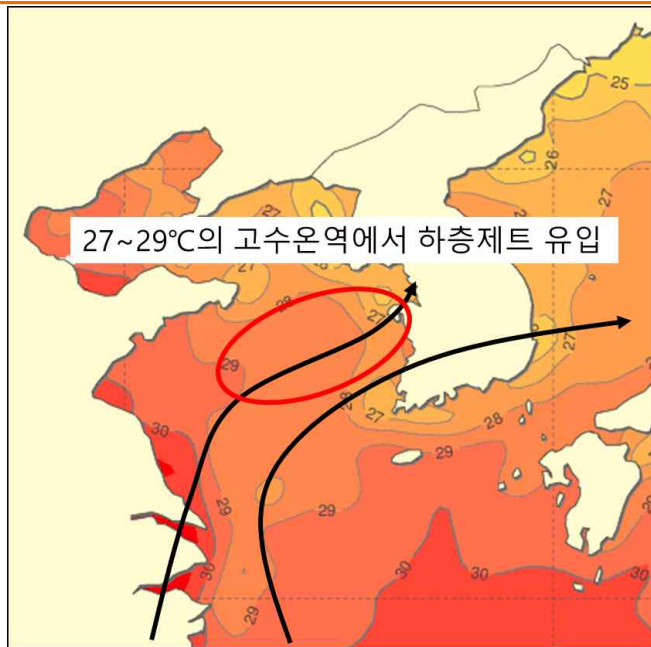
2022년 8월 8일 21시 925hPa 바람과 레이더 합성영상

- 북쪽에서 건조공기가 남하하여 대기가 압축되므로 하층에서는 수렴대가 나타날 것으로 예상할 수 있는데, 실제 선형의 강수대가 나타난 시점의 925hPa 바람장을 보면 산동반도에서 경기만 부근으로 뚜렷한 수렴대와 하층제트가 나타나고 있음
- 따라서 mT가장자리에서 나타나는 호우의 전형적인 기압계는 아니지만, 80mm/h 이상의 강우강도를 보일 수 있는 유사 기압계 패턴을 가지고 있음을 확인 가능
- 쟁점2) 이슬점온도와 강수량과의 관계는?
 - 100mm/h 이상의 강한 강우강도를 예상하기에 앞서 분석한 내용만으로 한계가 있으므로 추가적인 분석이 필요한데, 서해안 해수온도와 이슬점온도가 높은 것을 고려 해야함

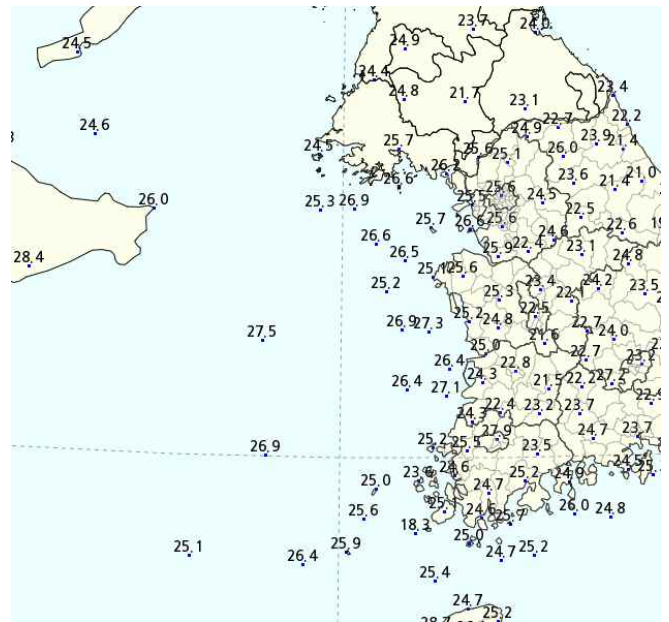


8일 21시 오산 단열선도 UM 초기장과 실황 비교(빨간색 UM, 파란색 실황)

- 호우 시점인 21시 오산 단열선도를 보면 이슬점온도가 약 27°C로 모델의 예측보다도 2°C가량 높았고, 그로 인하여 지상 기반으로 강수대가 발달할 수 있는 조건 만족함
- 높은 지상 이슬점온도로 인해 CAPE이 매우 컸고, 대류권계면 이상까지 구름대가 발달함

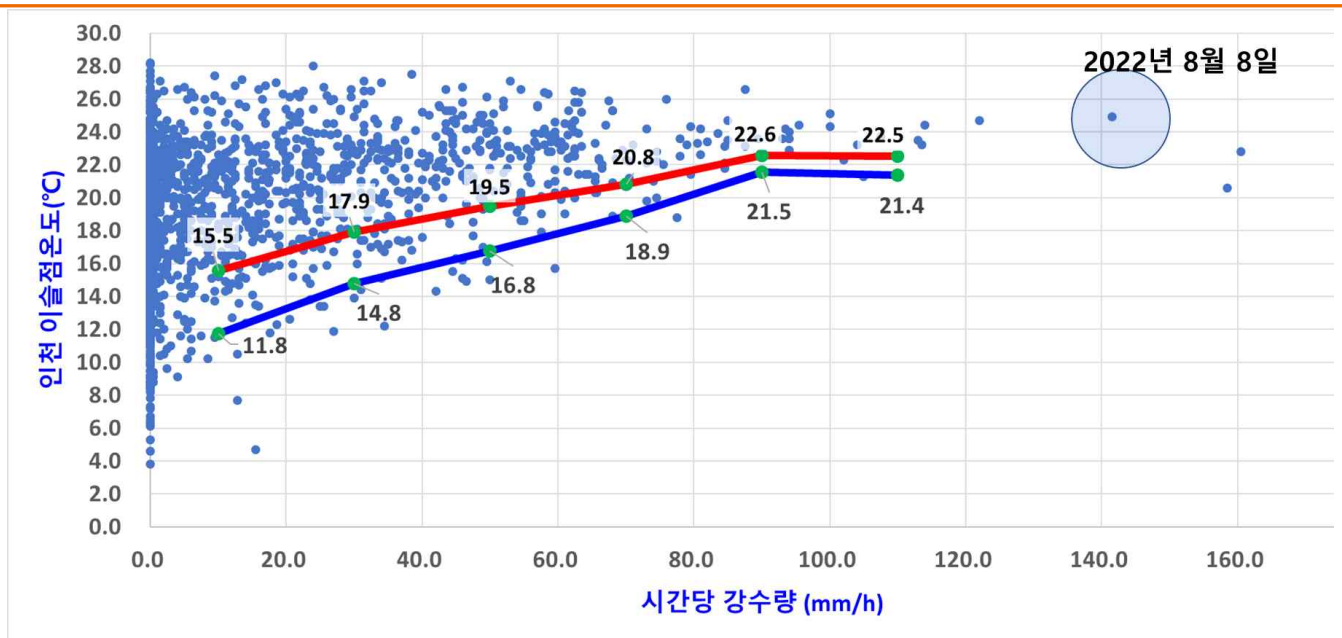


2022년 8월 8일 09시 해수면온도



2022년 8월 8일 09시 이슬점온도

- 이 당시 해수면온도는 평년보다 약 2°C가량 높았고, 특히 경기만 부근으로 하층제트가 유입되는 경로상의 수온은 27~29°C로 매우 높게 형성되었음
- 높은 수온의 서해를 거쳐온 하층제트가 유입된 지점들의 이슬점온도는 26°C 내외로 매우 높게 형성되었음



2010~2022년 6~9월 수도권지점 AWS의 시간당 강수량과 인천 이슬점온도(일평균)의 분포도

- 위 그래프는 수도권의 모든 AWS 지점에서 2010~2022년 6월에서 9월 사이에 나타난 시간당 강수량과 인천지역의 일평균 이슬점온도이며, 빨간색 라인은 각 20mm 구간별로 (평균값 - σ) 값이며, 파란색 라인은 (평균값 - 2σ) 값임
- 경기만을 통과하여 유입되는 하층제트의 경우, 인천지역을 경유하기 때문에 수도권 지역의 시간당 강수량과 인천의 이슬점온도의 분포는 선형적인 관계가 나타남

- 시간당 100mm 이상의 강우강도가 나타나기 위해서는 최소한 23°C 정도의 이슬점온도 평균값이 필요하였고, 이번 사례의 경우 인천의 일평균 이슬점온도는 24.9°C였음



2022년 8월 5일 ~ 8일 인천 지상관측 시계열

- 호우가 나타난 8월 8일 이전 4일간 인천의 이슬점온도를 보면 계속하여 25°C 이상의 분포를 보이며 높게 나타났었음
- 계속해서 따뜻한 해수를 거쳐 남서류가 유입되는 상황이므로 이슬점온도가 떨어지지 않을 것으로 예상할 수 있는 상황이었음

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 전형적인 mT가장자리가 아니더라도, 중국남부에서 유입되는 수증기량을 확인했더라면
 - 최근 장마기간 이후에 집중호우가 나타나는 경우가 많으므로, 전형적인 mT가장자리가 우리나라까지 북상하지 못하더라도 중국남부를 경유하여 유입되는 수증기 분석이 중요
 - 수증기량이 충분하다면 700hPa 저상당온위역 분석을 통해 압축 여부를 판단하되, 강도 보다는 지속력에 초점을 두며 분석 필요
 - 경기만 부근으로 최하층 고도에서 수렴라인 예상되면 위험한 시그널
- 높게 유지되는 해수온도와 이슬점온도를 고려했더라면
 - 여름철 이슬점온도의 상승은 CAPE을 크게 만들며 폭발적 대류운 발달에 기여함
 - 경기만에 위치한 인천의 이슬점온도는 시간당 강수량의 potential을 나타내며, 일평균 이슬점온도가 23°C를 넘어간다면 시간당 100mm이상의 강우강도가 나타날 수 있음
- 종관기압계에서 호우패턴을 만족한 상황에서, 이슬점온도가 강우강도 100mm/h 조건에 해당하는 23°C를 넘어 25°C가 넘어가는 상황이라면, 극한의 강우강도에 대한 대비까지 고려

3. 2022년 8월 17일 사례

여름철 강원동해안 대류성 호우 유형

단순 동풍 강수인줄 알았는데... 시간당 86mm의 국지 호우!

1. 예보와 실황은?

예보(2022년 8월 16일 17시 발표)	실 황
<p>- 강원영동 : 5~20mm</p> <p><소나기에 의한 강수량> -경기동부, 강원영서, 충북북부, 경북북부내륙: 5~30mm</p> <p><강수메커니즘 예측> -내륙: 소나기 -강원동해안: 동풍강수</p>	

※실황: 일강수량 설악동 122.5mm, 양양 95.5mm / 1시간 최대 강수량: 양양 86.0mm 설악동 35.5mm

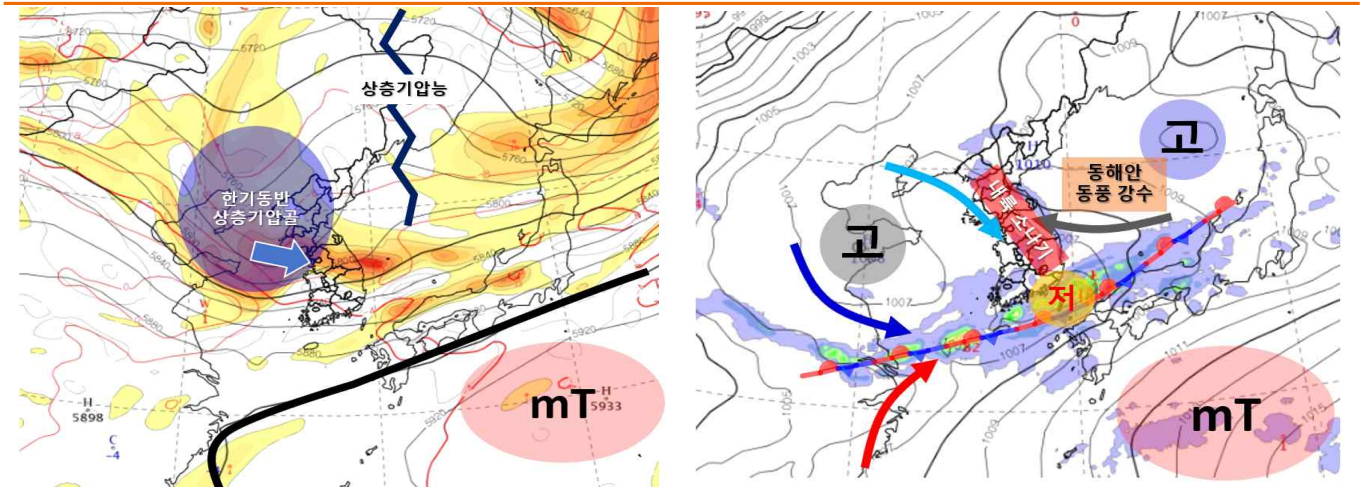
2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 단순 동풍강수로 판단한 이유는 무엇인가?
- 쟁점2) 대류성 강수 유형일 때 국지 집중호우까지 유발될 수 있는 요인은 무엇인가?
- 쟁점3) 강수의 발달 정도를 사전 예측하기 위해서는 무엇이 필요한가?

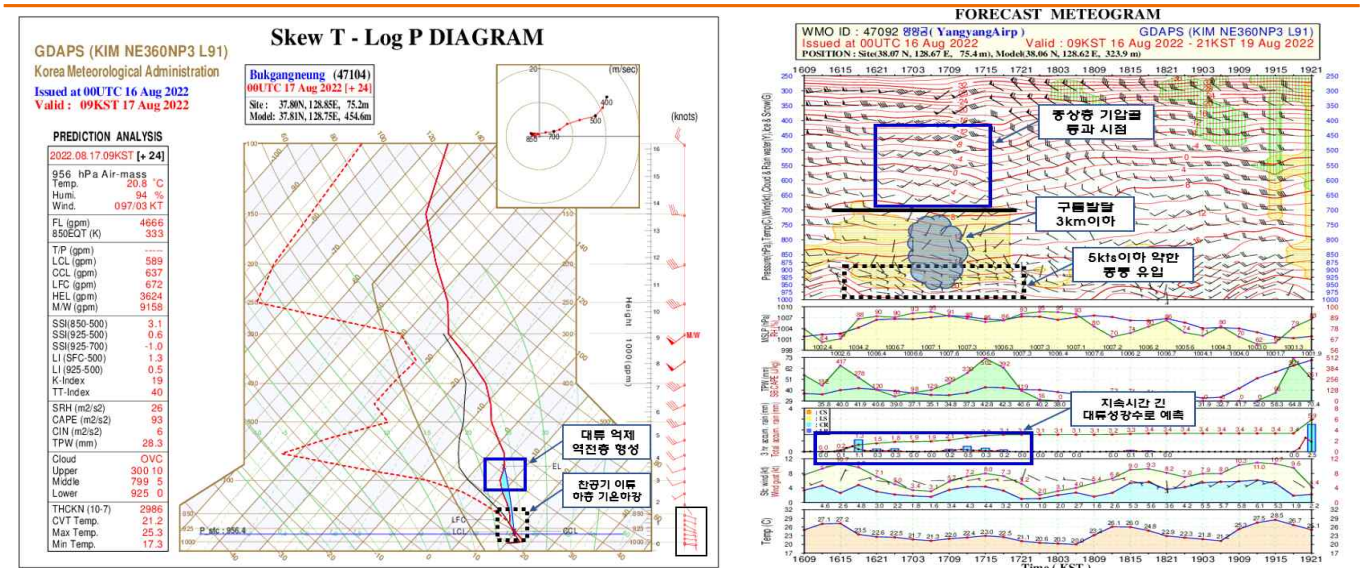
3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 단순 동풍강수로 판단한 이유는 무엇인가?
 - 발해만 북서쪽에 중심을 둔 고기압은 점차 산동반도와 연해주 부근으로 분리되어 이동하고, 한반도는 약한 기압골에 놓임. 동해상에 상층 기압능이 위치함에 따라 하층에 고기압이 형성되고, 고기압에서 불어나오는 동풍의 영향을 받는 지역에서 강수를 예측하고 있음
 - 8월 16일 17시 예보에서 17일 강수 메커니즘을 내륙은 하층 기류 수렴과 상층 한기의 침강으로 유발된 불안정에 의한 소나기로 보았으며, 강원동해안은 동해상으로 확장하는 고기압에서 유입되는 동풍에 의한 강수로 구분하여 보았음

- 강원동해안으로 유입되는 동풍의 고도가 850hPa 이하로 낮고 풍속도 5kts로 약한 와중에, 동해상에 위치한 고기압이 아래로 처지면서 풍계가 남동풍으로 바뀌어 들어올 것을 고려하여 강수량을 20mm로 예보함(이후, 17일 05시 예보에서 20~70mm, 많은 곳 강원영동중,북부 120mm 이상으로 상향 조정)



8월 17일 09시 강수 메커니즘(모식도)

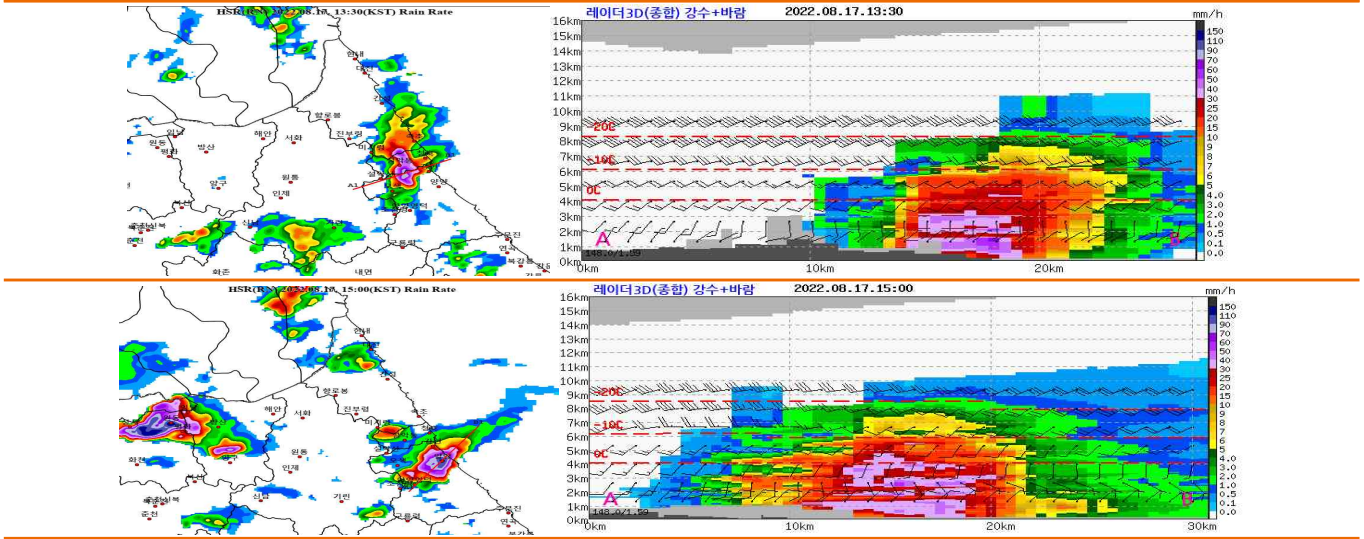


2022년 8월 16일 09시 북강릉 예상단열선도(KM 17일 09시 예측) 2022년 8월 16일 09시 양양공항 연직시계열 예측(KM)

● **쟁점2) 대류성 강수 유형으로 국지 집중호우를 유발시키는 메커니즘은 무엇인가?**

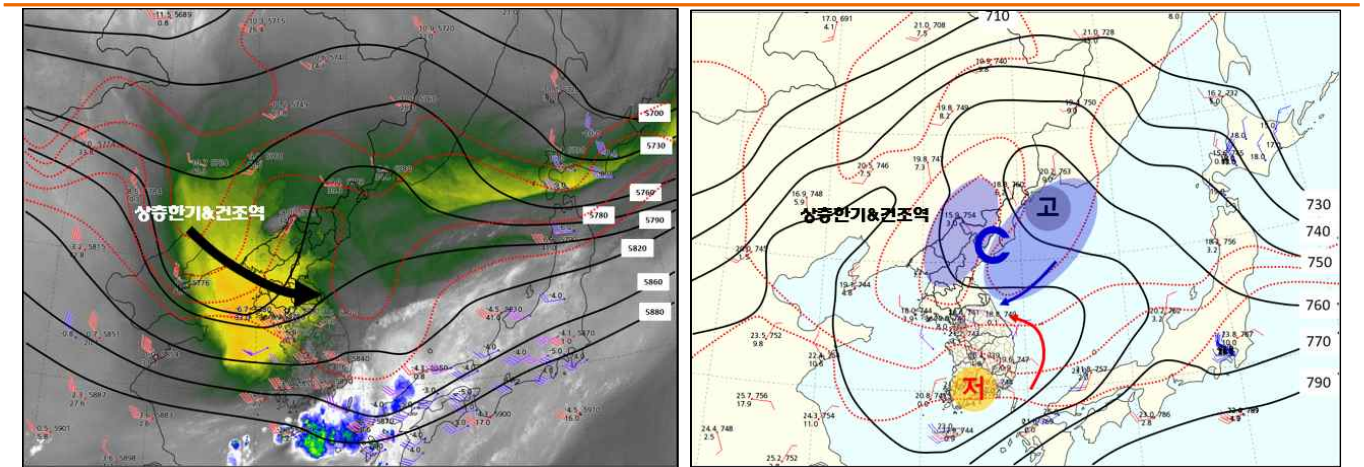
- 당초 예보와 달리 8월 17일 일강수량이 설악동 122.5mm(1시간 최대강수량: 35.5mm), 양양 95.5mm(1시간 최대강수량: 86.0mm)으로 기록되고 호우 특보도 내려짐
- (상층기압골 통과에 따른 건조역 관입+하층 기류 수렴) 강원영동중북부 해안을 중심으로 동해중부해상 고기압에서 동풍, 동해남부해상의 저기압 전면에서 남동풍, 원산만 부근과 개마고원 남동쪽으로 형성된 국지고기압에서 북풍 총 3가지 기류의 국지적 수렴이 이뤄짐에 따라 강수를 유발함. 이때, 상층의 건조하고 찬 공기가 한반도를 지나며 강수대 발달을 더욱 견인하였음
- (해상의 온난다습한 수증기 공급) 동해중,남부해상의 해수면온도가 26도로 높은 상태였으며 해상으로부터 이슬점온도가 23~24도인 공기가 남동풍을 따라 해안지역으로 유입되며

대기의 불안정과 강우강도를 강화시켜 강수량을 증가시키는 요인으로 작용함

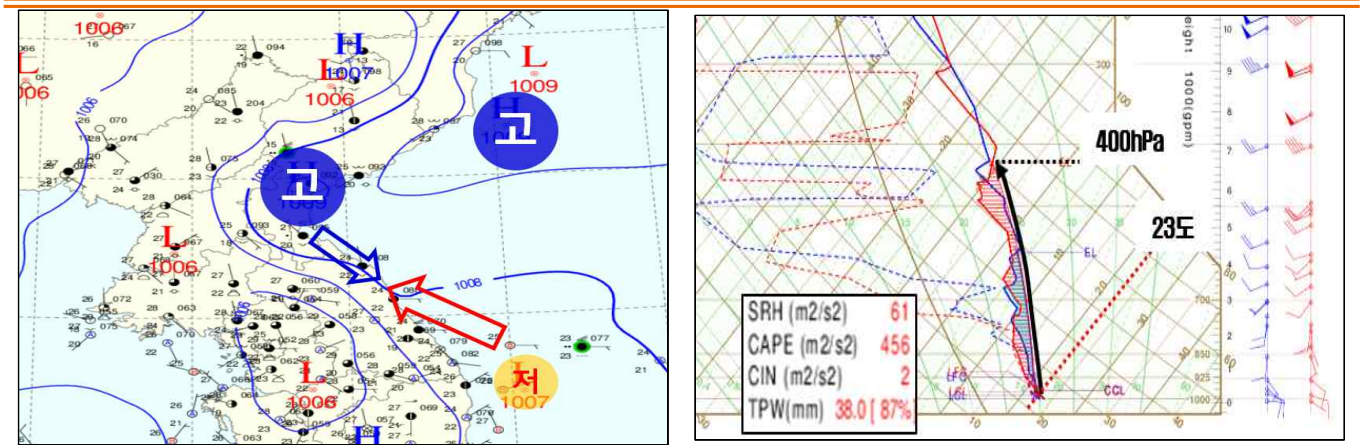


레이더 영상 및 연직단면도
(상) 2022년 8월 17일 13시 30분 설악동 / (하) 2022년 8월 17일 15시 양양

- 17일 낮동안 설악동과 양양지역에서 발생한 강수의 레이더 영상 연직단면을 보면 강수셀이 지상부터 고도 8km까지 발달한 모습을 보였음



(좌) 8월 17일 09시 500hPa / (우) 925hPa GTS



8월 17일 12시 한반도 일기도

8월 17일 09시 북강릉 고층관측

- (원인) 강수 시작은 하층 기류 수렴으로 이뤄졌지만, 한기를 동반한 상승 기압골 전면의 건조역 관입이 가세함에 따라 대류셀의 상승 기류를 더욱더 발달시켜 예상보다 강한

강수대를 유발함

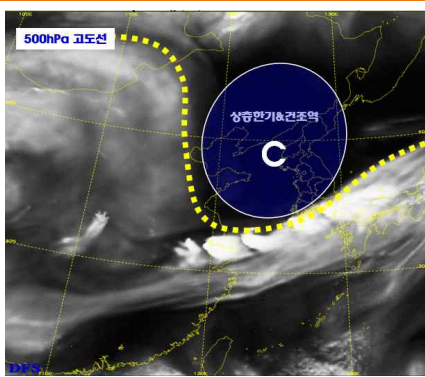
● 쟁점3) 사전 예측을 위해서는 무엇이 필요한가?



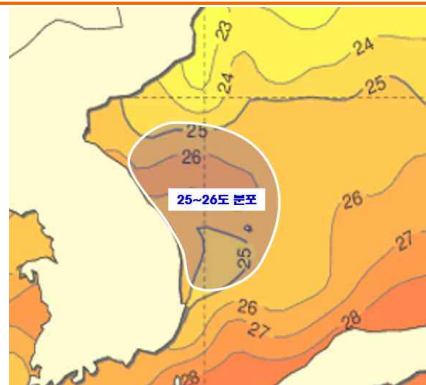
8월 16일 09시 강릉 이슬점온도 편차



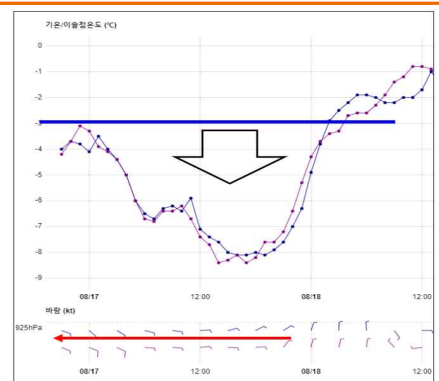
8월 16일 강릉 파고부이 수온



8월 17일 09시 수증기모의영상



8월 16일 09시 해수면온도



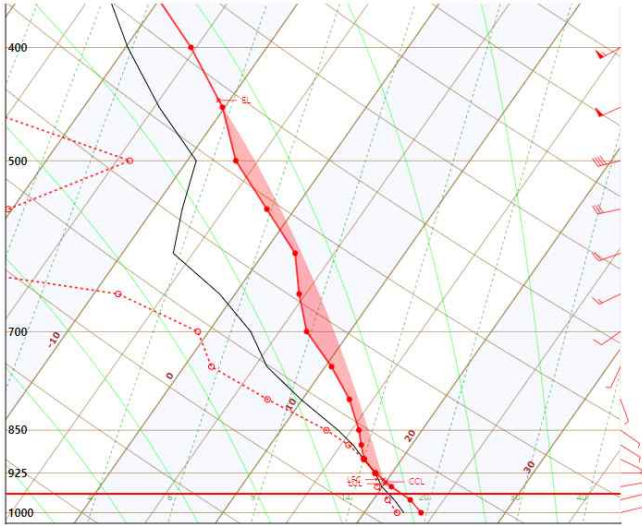
8월 17~18일 (UM)강릉 500hPa 기온 및 925hPa 바람 변화 예측

- 이번 사례의 경우 '하층 한-난의 기류 수렴에 의해 발생된 강수에 상층기압골 통과가 얼마나 영향을 끼칠까?'가 예측의 핵심이었음
- 강수가 발생되기 전인 8월 16일, 강원동해안의 파고부이를 통해 해수면 온도가 26도 관측되어 해안지역의 기온과 이슬점 온도 모두 모델보다 실황에서 더 높은 상황임을 인지함
→ 강수량 증가 및 강우강도 강화에 유리한 조건인 고온다습한 수증기의 원활한 공급
- 또한 8월 15일, 16일 동해안지역으로 30도 내외의 높은 낮최고기온의 기온 분포를 보이면서 공기 중 열 축적이 많이 된 상태로 대기의 불안정이 심화되어 강수가 강화될 수 있는 상태임
- 모델 예측은 한기를 동반한 상층기압골의 접근으로 기온은 밤까지 계속 낮아지는 경향, 하층은 따뜻한 동풍 지속되면서 동해안 강수 형태를 계속 불안정 강한 대류성으로 예상하고 있었음(16일 09시 UM 전구 모델 기준 17일 12시 불안정지수 CAPE 100 ↑, K-index 30 ↑, SSI -1)
- 16일 낮동안 실황에서 동풍의 유입고도는 1km 이하, 풍속 10kts 이하로 유입되는 상황에서 불안정에 의한 북한 장전지역과 강원북부동해안으로 소나기 형태 강수가 나타남
- 강수량 & 강우강도 증가할 수 있는 변동성 요인으로 ① 하층수렴에 의한 강수대를 강하게 유지할 수 있게 연료 역할을 하는 고온 다습한 해상의 수증기 공급이 유지되는 상황 예상

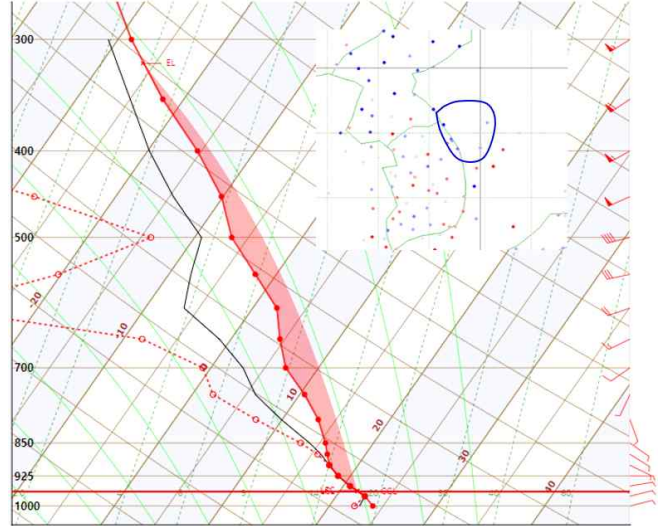
② 한기(건조역 관입)를 동반한 상층기압골의 접근 및 통과는 불안정을 강화, 동해안 강수 발달을 더욱 견인할 수 있는 요인으로 작용할 것으로 예상

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 해상에서 유입되는 기류의 특성을 고려했다면

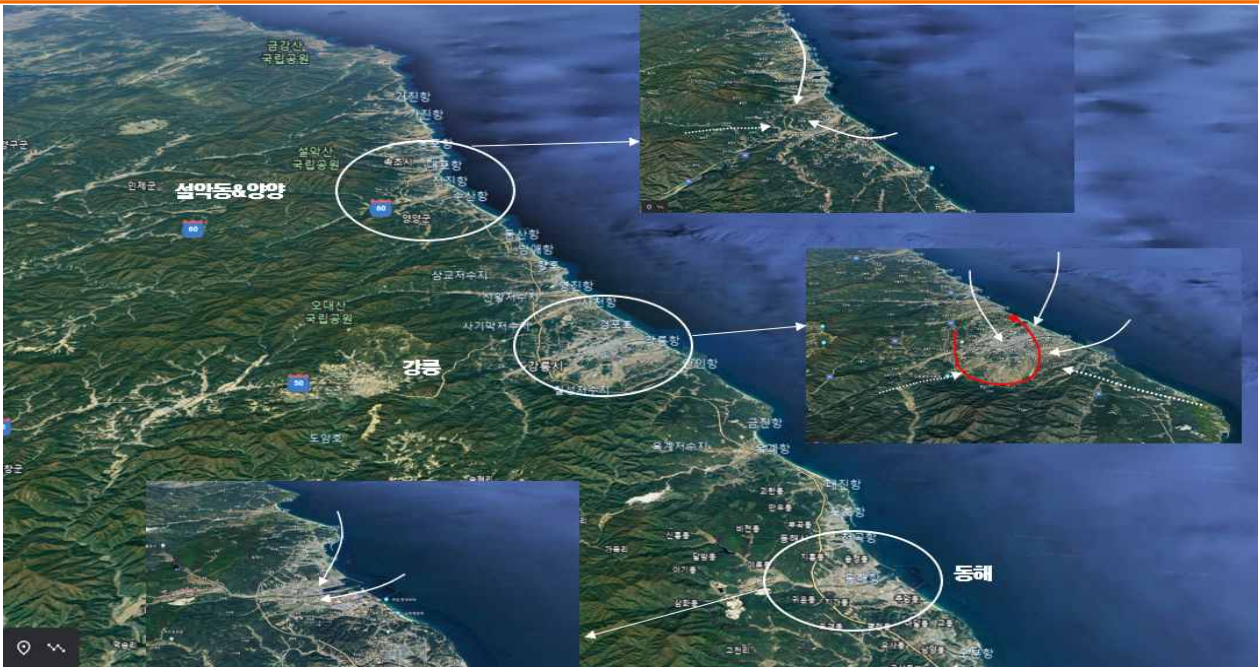


8월 17일 12시 강릉 예상단열선도



8월 17일 12시 강릉 예상단열선도의
기온 & 이슬점온도 보정

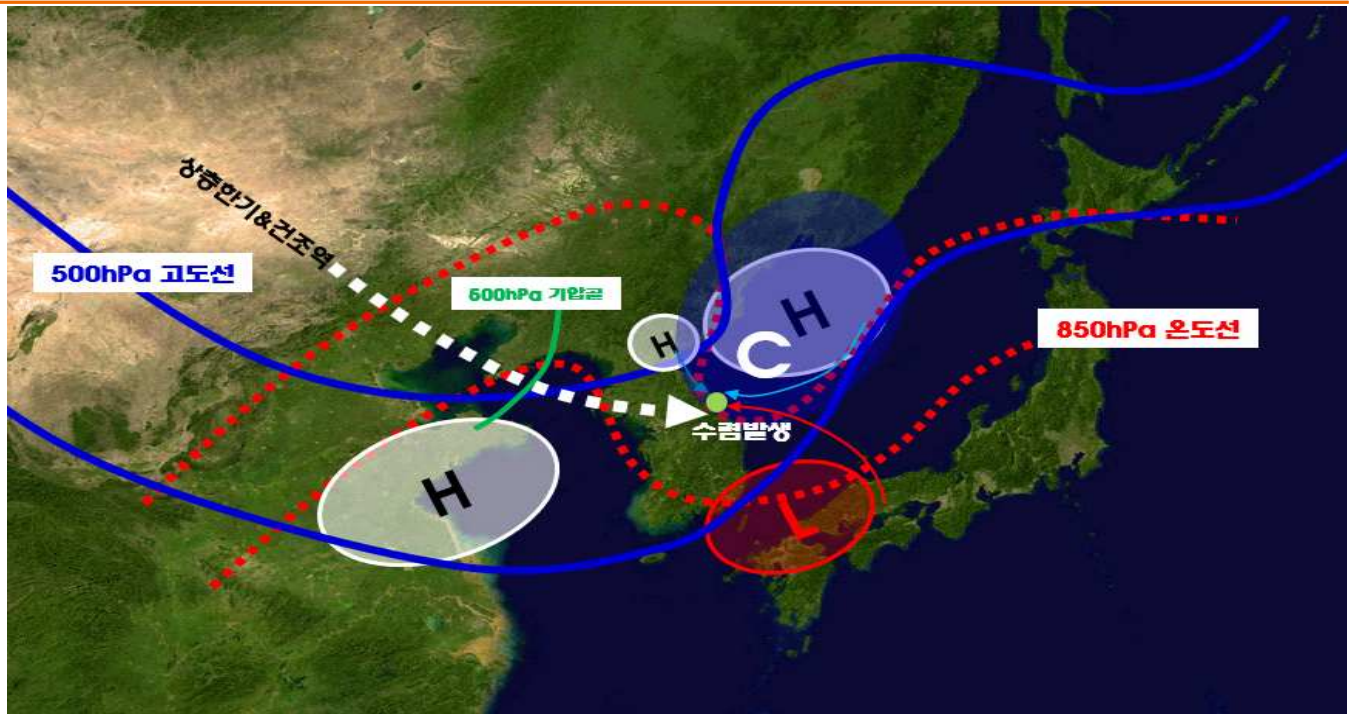
- 동해중부앞바다의 해수면온도가 25~26도 분포로 높은 상태였고 모델예측의 이슬점 온도도 음의 bias를 보이고 있었음. 이를 고려하여 모델 예상단열선도에서 925hPa~지상의 기온과 이슬점온도를 23도로 보정을 했을 때 CAPE 값은 더 커지고(불안정도 예상보다 더 커짐) 강수발달 고도 또한 더욱 높아지는 결과를 보여줌
- 국지적인 지형형태에 의해 하층 기류 수렴(한기+난기)이 강화 될 수 있는 지역을 고려했다면



강원동해안 지역 중 하층기류 수렴이 용이한 지역

- 모델에서 예측한 17일 총강수량은 강원동해안에 최대 20~30mm였음. 설악동과 양양AWS 지점을 제외한 지역에서는 모델 예측값과 16일 17시 예보의 예상 강수량과 유사한 분포를 보였음

- 이러한 결과는 국지적인 지형 특성으로 인해 하층 기류 수렴이 강하게 나타났던 지역으로만 호우특보 수준의 많은 강수량과 강한 강우강도가 발생했음을 보여주고 있음
- 여름철 동해안 강수 예측 시 하층 기류 수렴 기압계(동풍강수 유발) + 상층 기압골(한기&건조역) + 해상으로부터 유입되는 기류 특성을 복합적으로 고려하자



여름철 동해안 대류성 강수 발생 모식도

- 여름철 강원동해안에서 동풍에 의한 강수 예측 시 불안정이 강화될 수 있는 조건(위의 모식도에서 조건 요소 참고)이 형성된다면 강수는 모델이 예측하는 것 보다 국지적인 지형효과에 의해 하층수렴이 강하게 나타나는 곳에서는 뇌전을 동반한 시간당 80mm 이상의 강한 대류성 강수가 발생할 수 있음의 가능성을 열어 두고 예보에 임하여야 함
- 이제 여름철 강원동해안에서 동풍에 의한 하층수렴+상층한기 기압골 통과 시 내륙의 소나기와 유사한 형태의 호우를 유발하는 대류성 강수(강수형태 예보는 소나기)가 나타날 수 있음을 기억하자

여름예보 사례분석

2021년 여름철 강수 사후분석 사례

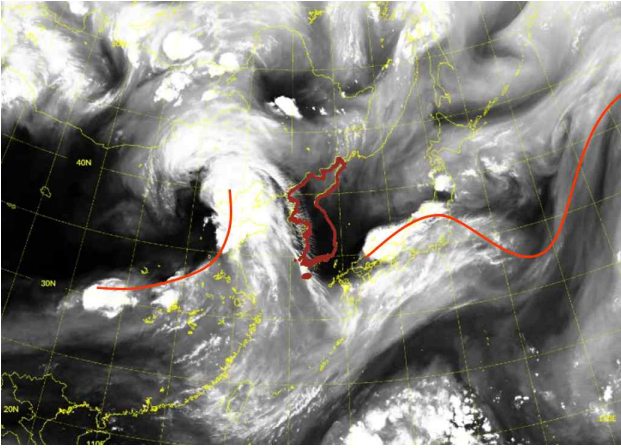


1. 2021년 7월 19일 사례

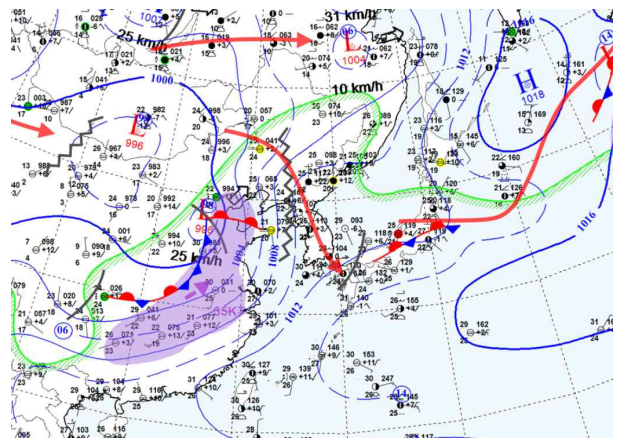
정체전선이 한반도 북쪽으로 올라가야만 장마가 끝나는 것일까? 기울어진 북태평양 고기압과 장마의 종료

1. 분석 당시(12일) 기단의 특징과 정체전선의 위치는?

- 사례일 7일 전 한반도 주변 기압계



7월 12일 09시 수증기영상

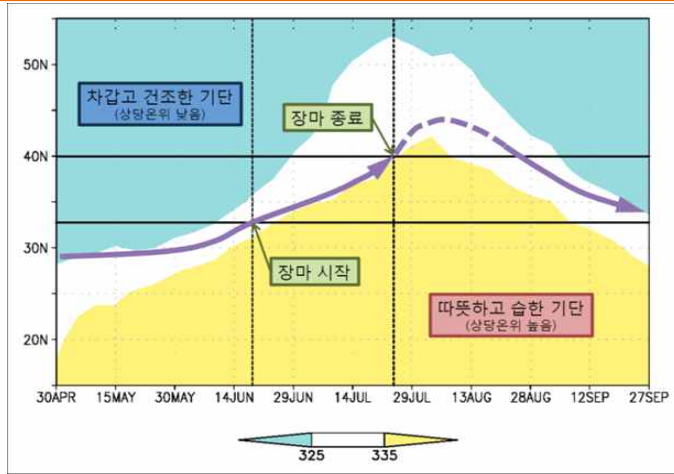


7월 12일 09시 지상일기도

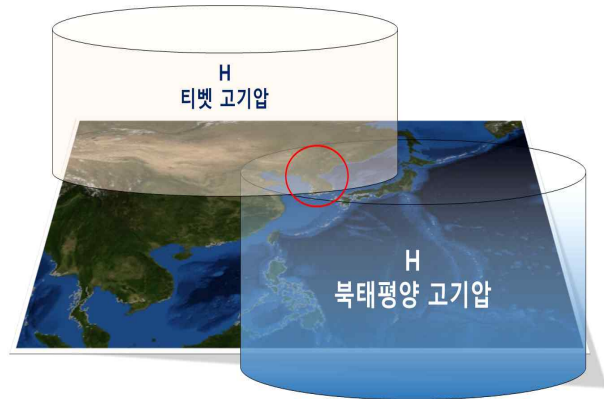
- 우리나라 서쪽에는 정체전선이 산둥반도 서쪽까지 북상하여 높은 위도에 있으며, 우리나라 동쪽에서는 정체전선이 일본열도에 위치하며 저위도로 내려가 있음
- 정체전선이 단층형태로 끊어져 있는데, 우리나라는 그 사이에 있어 정체전선의 북쪽 또는 남쪽이라 이야기하기 어려운 상황, 즉 장마 종료기로 보기에 는 무리가 있음
- 결국 일본에 위치한 정체전선이 완전히 우리나라 북쪽으로 올라가야 장마가 종료될 수 있는데, 이는 일본 동쪽에 위치한 북태평양고기압의 확장과 밀접한 관련이 있음

2. 장마(정체전선) 종료 객관적 기준과 주요 분석내용

- **쟁점1) 가이드선 상에서 제시하는 장마종료 기준을 만족하는가?**

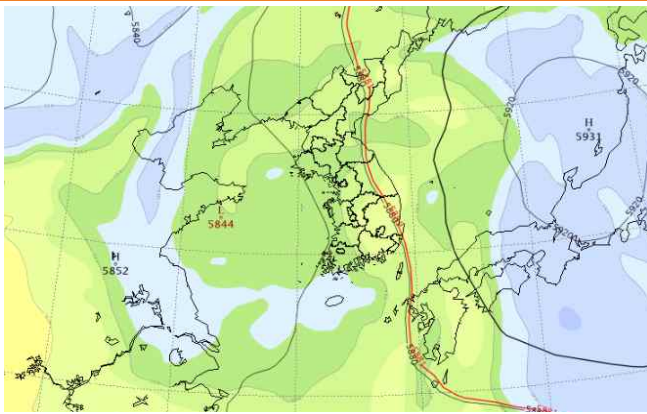


120°~140°E 지역의 위도별 상당온위와 그에 따른 장마 시종 시기

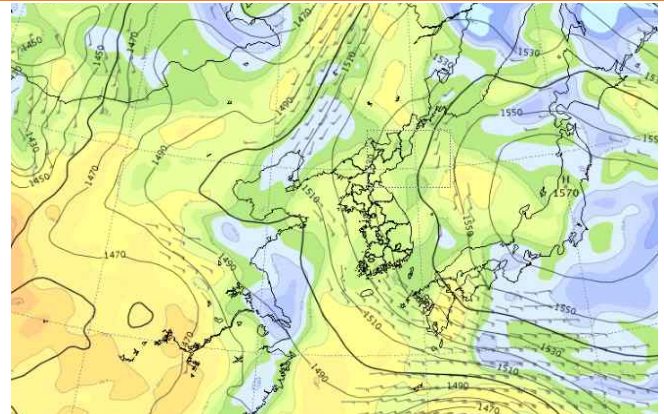


장마 종료 시 한반도 상층 기압계 분포 모식도

- 위의 왼쪽 그림을 보면 850hPa 상당온위가 335K 이상이 북위 40도 이상에 2일 이상 지속될 때 장마의 종료를 검토해야 함
- 500hPa의 5880gpm 라인은 남부지방까지 북상하여야 하고, 200hPa 기압능은 티벳에서 우리나라쪽으로 확대하는 형태를 보여야 하며 그 모식도는 오른쪽 위와 같음
- **쟁점2) 북태평양고기압의 확장고 고상당온위역 유입 방향이 일반적인 경우 어떻게 다른가?**

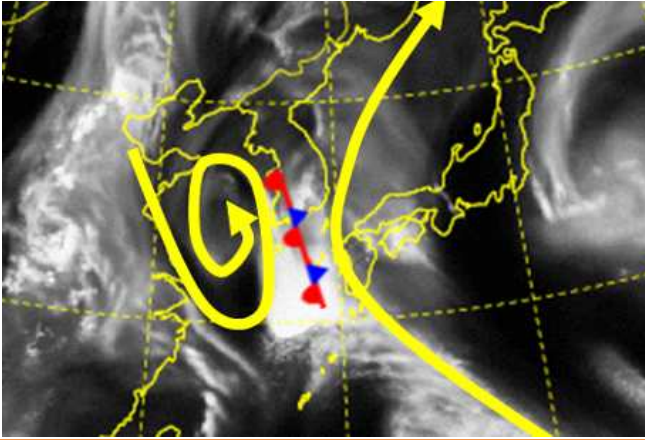


7월 19일 09시 500hPa 상당온위와 지위고도

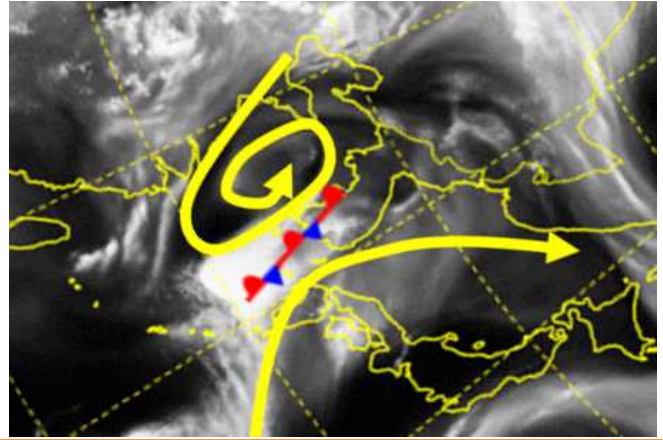


7월 19일 09시 850hPa 상당온위와 지위고도

- 200hPa은 큰 규모로 보면 이미 12360gpm 이상이 우리나라를 지배하고 있었음
- 7월 19일 일기도를 보면 500hPa에서 mT의 경계(5881, 붉은색 실선)가 부산 부근에 위치하고 있으며, 동에서 서쪽으로 확장하고 있는 상황임
- 850hPa 상당온위에서도 동고서저의 형태를 보이며 고상당온위역이 남북으로 서 있어, 기존의 가이드선으로는 장마종료를 판단하기 어려움



7월 18일 09시 수증기모의영상과 기단의 경계



같은 시간 수증기모의영상 회전 영상(60°)

- 특이한 기압계로 인해 수증기모의영상에서 정체전선이 남북으로 서 있는 형태를 보임
- 그림을 회전시켜 보면 기단의 경계가 북쪽으로 올라간 것은 아니지만 mT가 확장하면서 장마종료 때의 패턴과 가까워지는 형태를 보임, 실제로 다음날 장마는 종료 됨

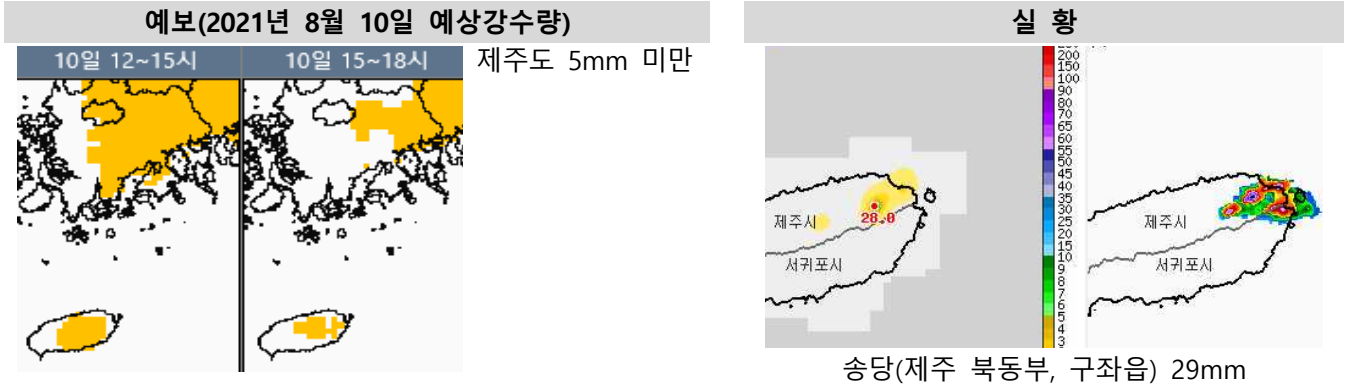
3. 시사점

- 정체전선의 흐름이 남북 흐름만 보이는 것은 아니기 때문에 장마 종료를 판단할 때, 객관화된 숫자뿐 아니라 그림 상에서 종료 패턴으로 가는지 확인하는 것이 중요

2. 2021년 8월 10일 사례

제주 동부지역 국지호우 유형 해풍수렴과 상층지원 통과 시기를 잘 보자

1. 예보와 실황은?



2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 2021년 8월 10일 사례는 제주도 동부지역 국지호우 중 어느 유형인가?
- 쟁점2) 예보와 달리 왜 호우로 연결되지 못했나?

3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 2021년 8월 10일 사례는 제주도 동부지역 국지호우 중 어느 유형인가?
 - 제주도가 mT가장자리에 위치할 때 하층에서는 수증기가 유입되고, 남서류가 제주도 산지를 가로질러 동부지역으로 수렴이 일어남

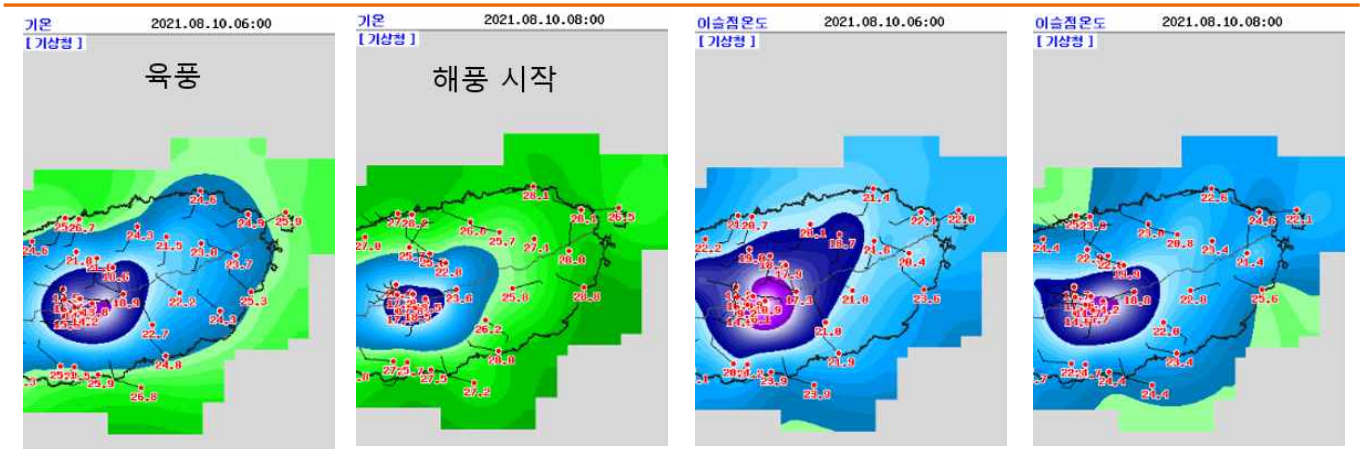


mT 가장자리형(기압계) 모식도

상층지원형(강수 메커니즘) 모식도

- 해가 뜨기 직전인 8월 10일 6시에는 산지에서 바다로 나가는 육풍이 불어나가고, 제주 동부지역의 기온과 이슬점온도는 25°C 이하로 높지 않았다. 해가 뜨기 시작하며 내륙의

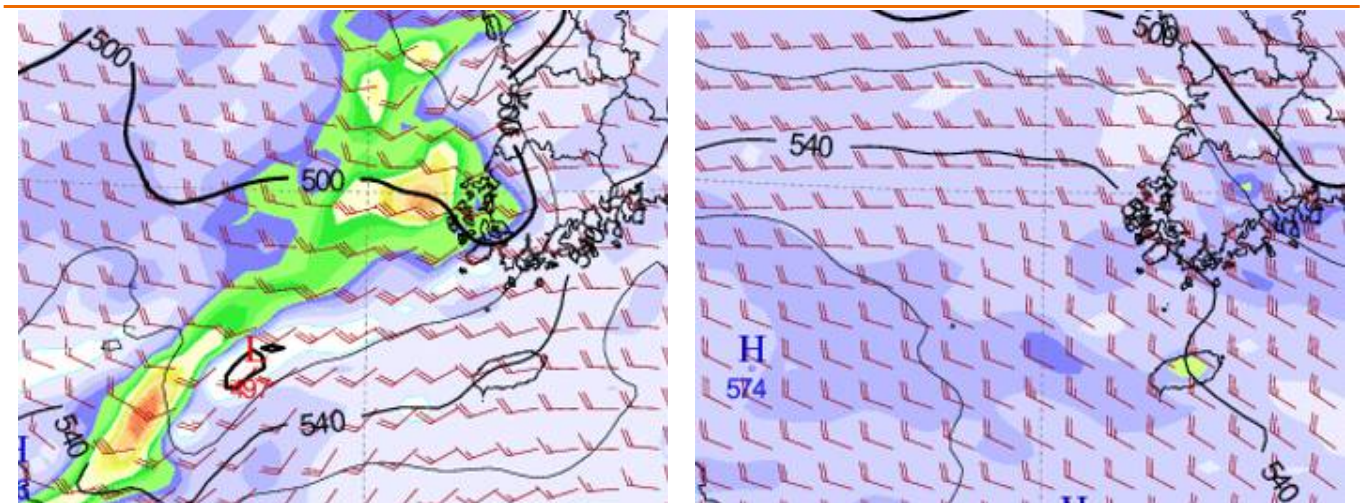
기온이 올라가 아침 8시경에는 동부지역으로 해풍으로 바뀌어 불어 들어와, 공기가 모여들기 시작하고 기온과 이슬점온도가 25°C까지 상승하면서 폭발적 대류가 발생할 가능성을 높임



2021년 8월 10일 6시와 8시 기온

2021년 8월 10일 6시와 8시 이슬점온도

- 하층에서는 mT가장자리의 남서류 유입에 따라 동부지역으로 수증기가 수렴되고, 상층은 기압골이 통과하면서 하층의 열적 조건을 트리거해 줄 수 있는 배경이 됨

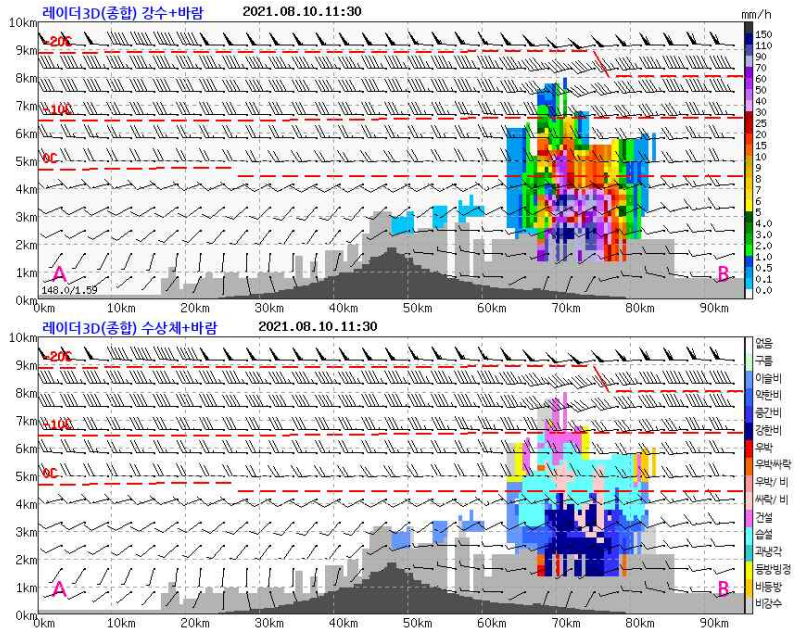
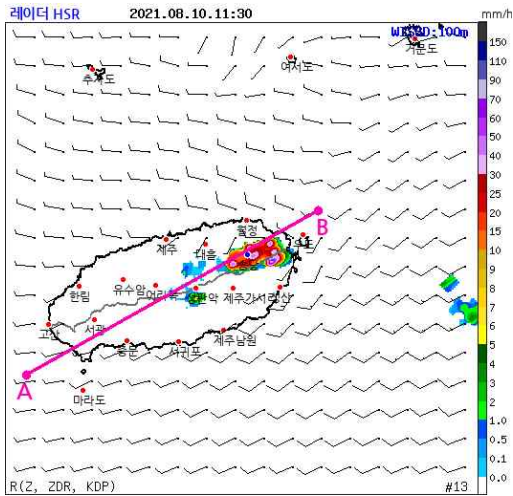


2021년 8월 9일 21시 315K 등온위면분석장

2021년 8월 10일 15시 315K 등온위면분석장

● **쟁점2) 예보와 달리 왜 호우로 연결되지 못했나?**

- 8시경 해풍이 제주 동부지역으로 모여들기 시작하여 11시 이후에는 하층의 수렴이 점차 강화되어, 제주도 북동부지역인 구좌읍 주변에서는 구름의 꼭대기가 8km까지 발달한 대류성 구름이 생겨나고 송당지역은 시간당 29mm의 강수가 내렸음
- 하지만, 하층의 CIN은 50 이하로 약하고, 925hPa 기온은 21.8°C로 역전층이 강하지 않아, 하층의 연료(열적 조건)들을 붙잡아 두지 못하면서 대류운이 지속적으로 발달하지는 못했음



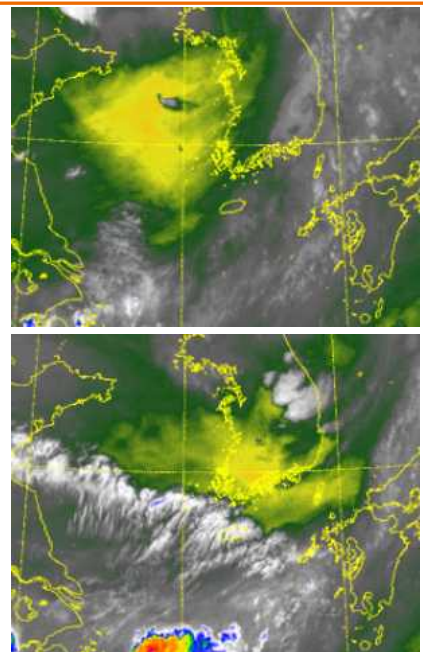
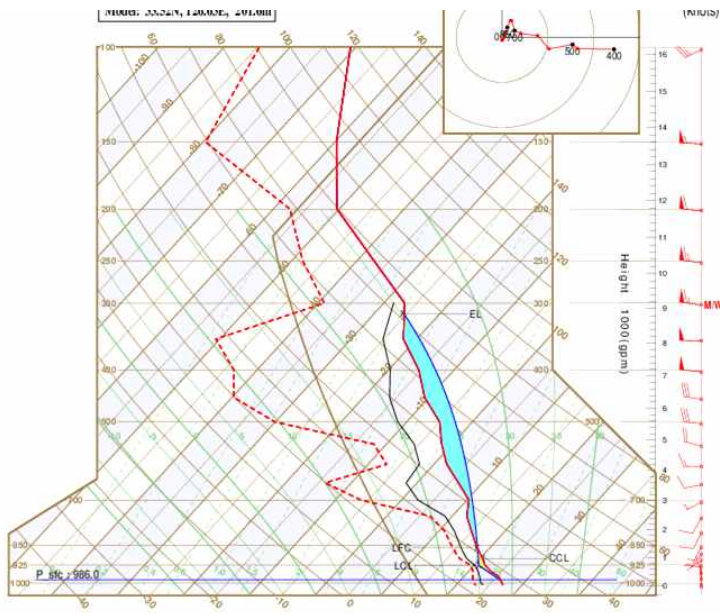
2021년 8월 10일 11시 30분 레이더영상과 100m WSSD 바람 중첩

2021년 8월 10일 11시 30분 레이더 연직단면과 바람(上), 수상체 연직단면과 바람(下)

- 제주도 상공으로 상층의 건조역이 유입되어 하층의 가벼운 공기와 어느 정도의 불안정을 유발하지만 이 건조역이 하층으로 강하게 관입되지는 못하여, 하층의 가벼운 공기가 지면으로 밀려 강한 대류를 발생시키는 트리거 역할은 못 하였음
- 또한, 9km 이상의 상공에서 난기가 유입되면서, 대류구름의 발달이 9km 이하로 제한되어 폭발적인 강수로 이어지지 못함

PREDICTION ANALYSIS

2021.08.10.12KST [+ 3]	
986 hPa Air-mass	Temp. 26.2 °C
	Hum. 77 %
	Wind. 356/01 KT
FL (gpm)	4540
850EQT (K)	337
T/P (gpm)	-----
LCL (gpm)	744
CCL (gpm)	988
LFC (gpm)	1361
HEL (gpm)	8852
M/W (gpm)	9158
SSI(850-500)	1.7
SSI(925-500)	-1.2
SSI(925-700)	0.5
LI (SFC-500)	-1.5
LI (925-500)	-1.2
K-Index	20
TT-Index	42
SRH (m2/s2)	59
CAPE (m2/s2)	585
CIN (m2/s2)	37
TPW (mm)	39.6
Cloud	BKN
Upper	200 7
Middle	799 4
Lower	925 2
THCKN (10-7)	3022
CVT Temp.	28.3
Max Temp.	30.3
Min Temp.	20.1



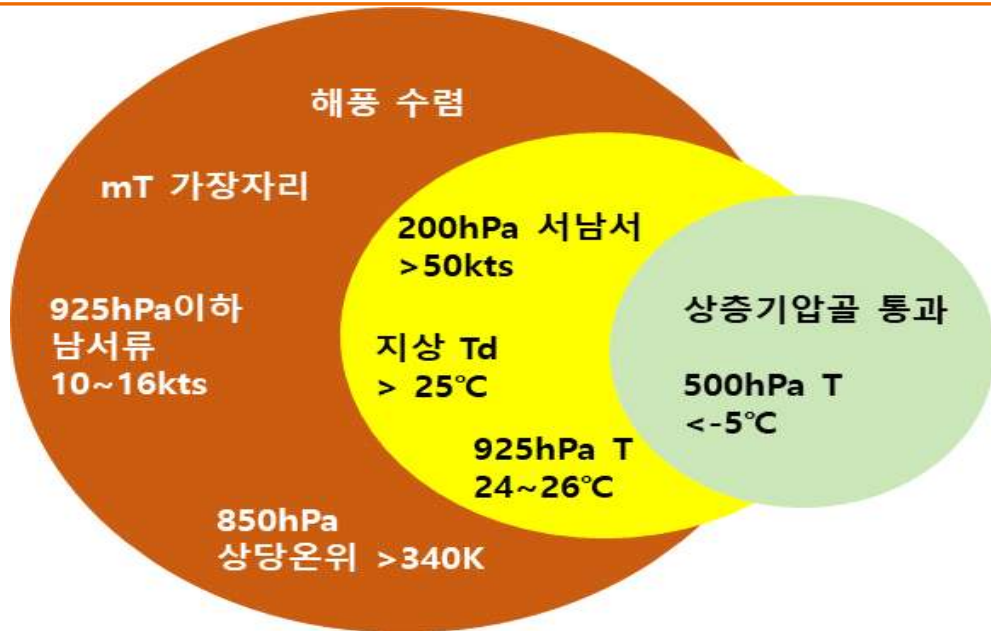
2021년 8월 10일 12시 제주공항 예상단열선도(+3시간)

수증기강조 영상 5시 30분(상), 11시 30분(하)

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

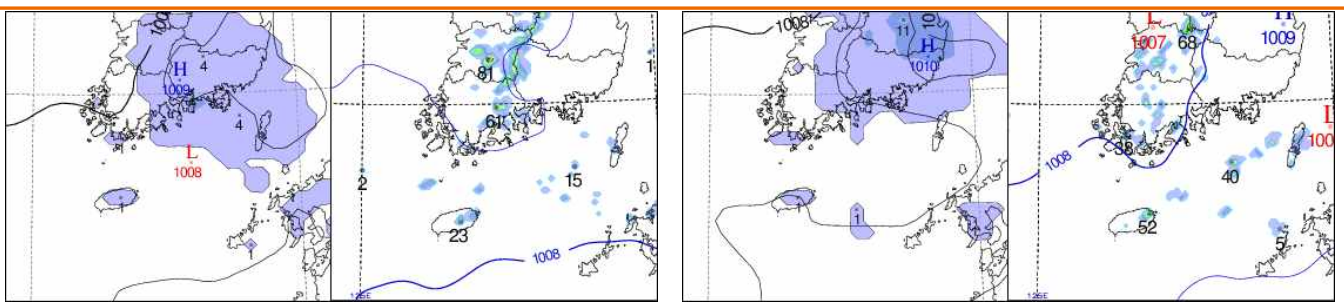
● **해풍수렴과 상층 기압골 통과 타이밍이 중요**

- 10일과 같이 종관 기압계와 해풍의 발달 및 수렴 조건은 만족하였으나, 상층지원과 하층 해풍 수렴의 최성기가 어긋날 경우에는 대류성 구름의 발달이 제한적이고 분산될 수 있음
- 제주도가 mT가장자리에 놓이는 기압계에서는 하층의 열적조건이 만족되고 해풍 수렴이 있다고 하더라도 과대 강수 예보를 내지 않게 유의해야 함



제주동부지역 국지호우 중 상층지원형 조건 벤다이어그램

- 수치모델에서 제주동부지역에 전구모델과 국지모델이 동시에 모의할 때 강수를 도입하되 925hPa 역전층의 부재로 하층의 연료(열적조건)가 분산되거나 상층지원의 타이밍이 어긋날 경우를 반드시 고려하여야 예보에 참고



9일 9시 생산 10일 12시 ECMWF(좌)와 국지모델(우)

9일 21시 생산 10일 12시 ECMWF(좌)와 국지모델(우)

더불어봄 사례분석

2020년 여름철 강수 사후분석 사례

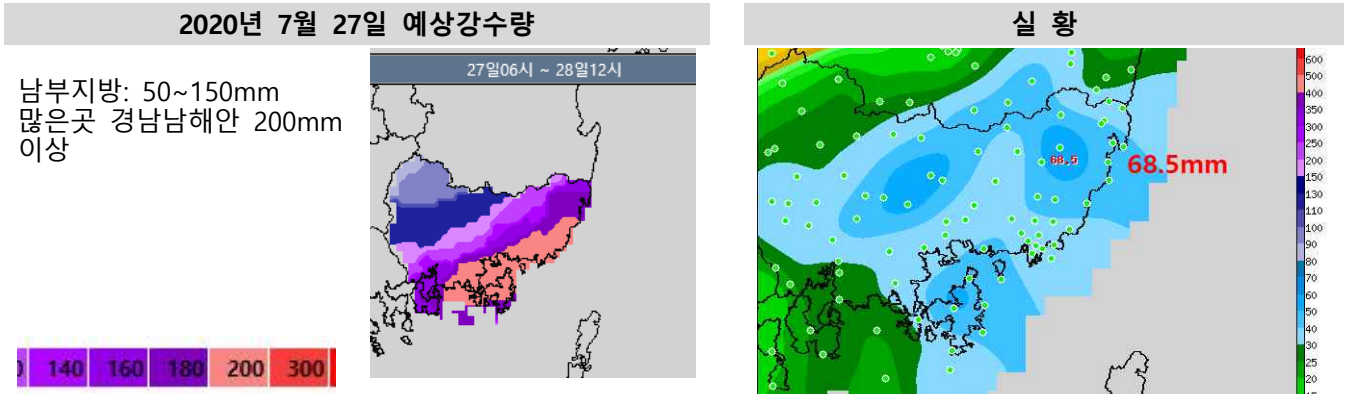


1. 2020년 7월 27일~28일 사례

부산 집중호우 유형

수증기 고속도로를 통과해야 부산에 많은 비

1. 예보와 실황은?

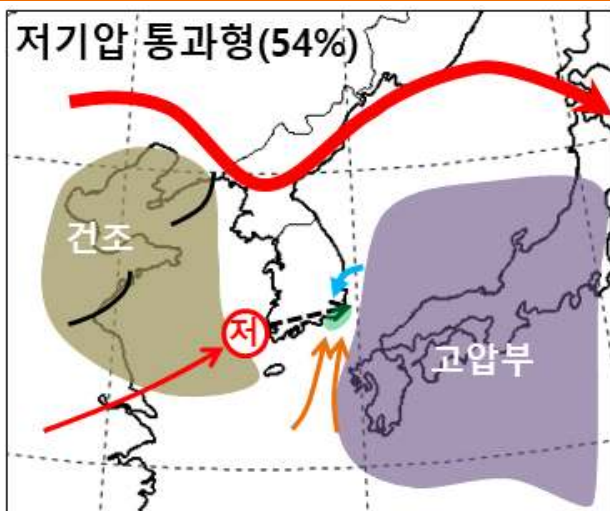


2. 쟁점사항은?

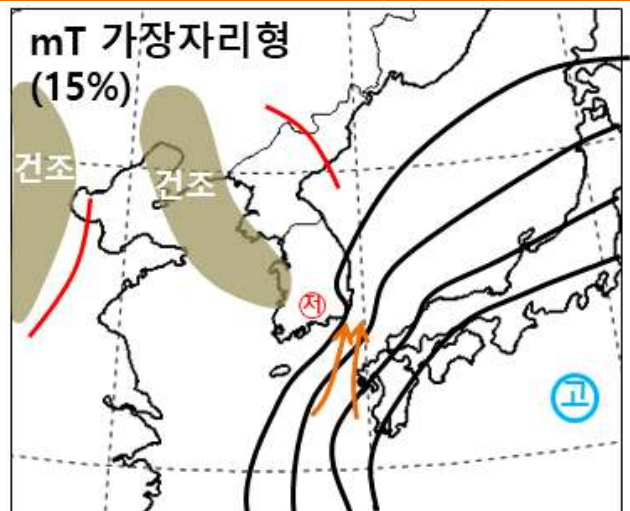
- 쟁점1) 7월 27일은 7월 10일, 23일 부산집중호우와 무엇이 달랐나?
- 쟁점2) 부산에 비가 많이 오기 위해서는 무엇이 필요한가?

3. 주요 분석내용

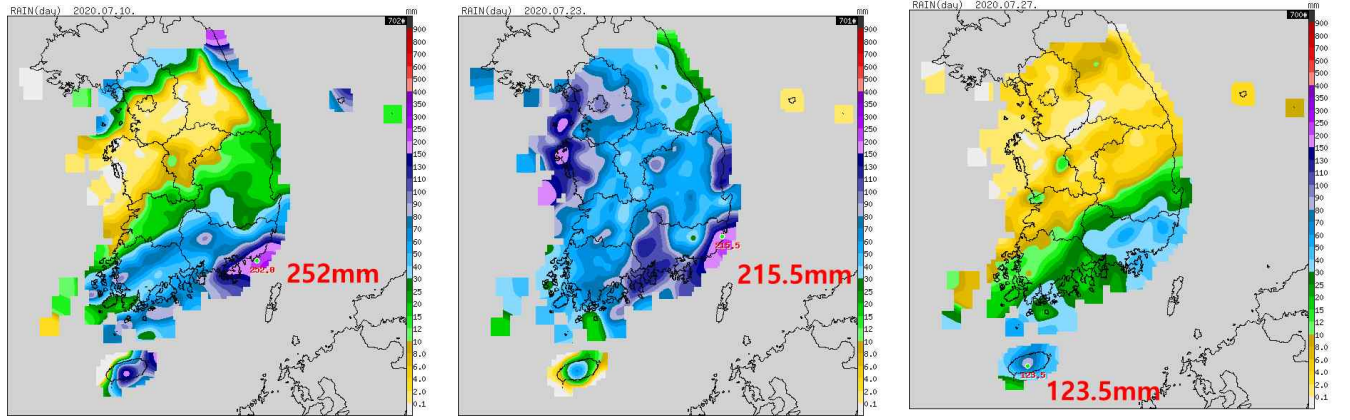
- 쟁점1) 7월 27일은 7월 10일, 23일 부산집중호우와 무엇이 달랐나?
 - 부산집중호우 유형 중 70%는 저기압 통과형과 mT가장자리형이고, 두 유형의 강수 메커니즘은 거의 같음. 고압부가 부산의 남동쪽에 위치하고 상층건조역이 서해상으로 침강하면서 하층의 하층제트를 강화시켜 강한 남풍이 부산으로 유입되면서 많은 비를 뿌림.



저기압 통과형 모식도



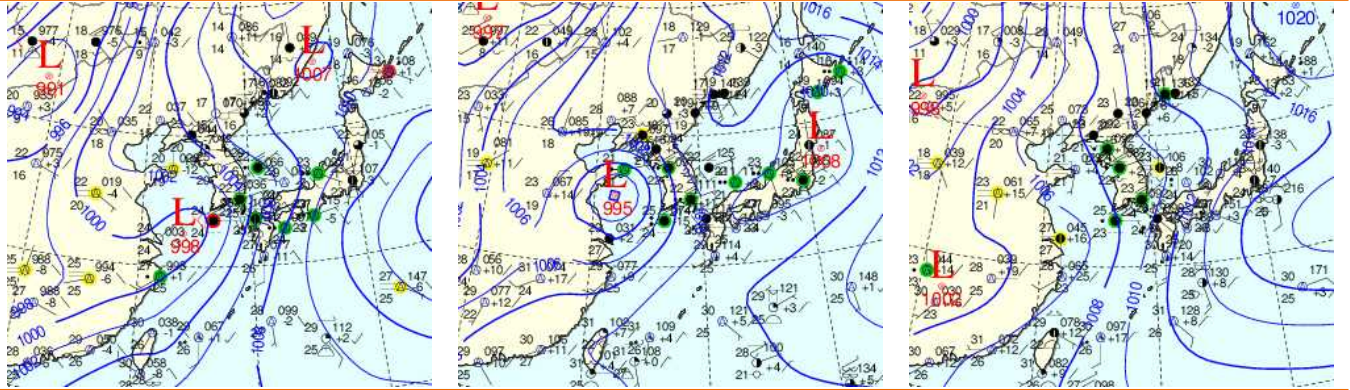
mT 가장자리형 모식도



2020년 7월 10일 일강수량

2020년 7월 23일 일강수량

2020년 7월 27일 일강수량



2020년 7월 10일

2020년 7월 23일

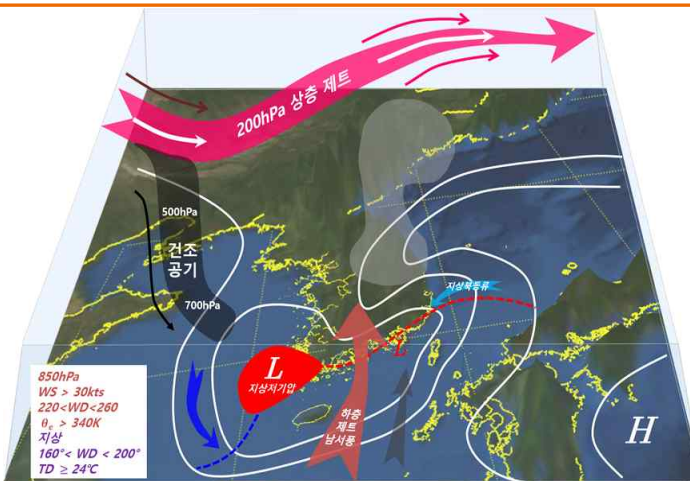
2020년 7월 27일

저기압 통과형

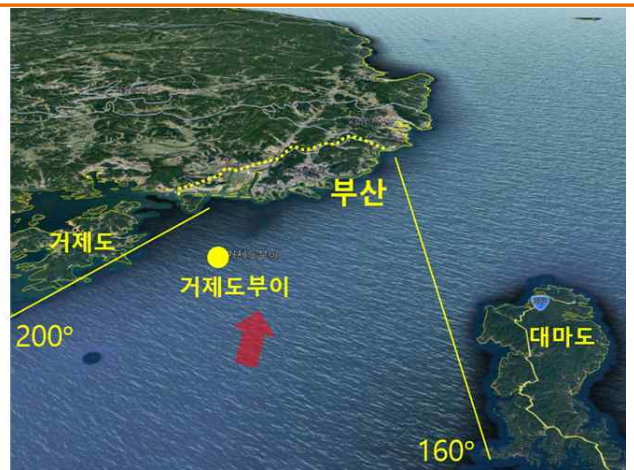
mT가장자리형

- 7월 10일과 23일은 부산집중호우 중 저기압통과형 사례였고, 27일은 mT가장자리형이었음. mT가장자리형은 저기압통과형보다 종관강제가 뚜렷하지 않기 때문에 부산 남서쪽 해상의 기류와 수렴의 위치, 이슬점온도가 23.4°C 이상일 때 시간당 60mm 강수가 가능하고 지속적으로 영향이 있을 때 300mm 이상의 강수가 가능함.

● 쟁점2) 부산에 비가 많이 오기 위해서는 무엇이 필요한가?

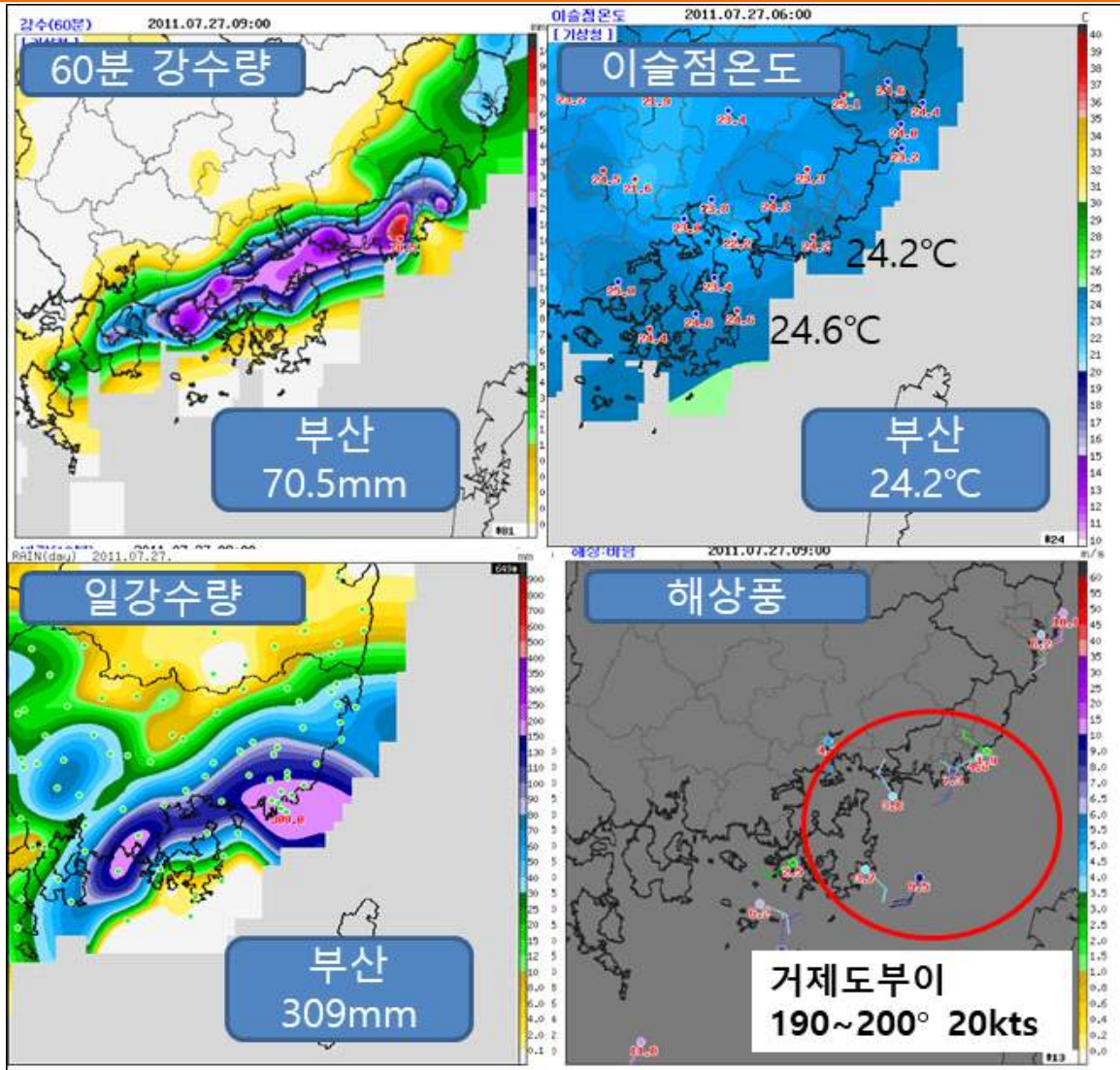


부산 집중호우 중 저기압통과형 3차원모식도



부산지형과 수증기 통로

- 기본적으로 저기압형이나 mT가장자리형 기압배치를 보이면 850hPa 조건과 상층제트의 흐름은 만족함. 이런 기압배치에서 부산에 많은 비가 내리려면 부산 남서쪽해상에 위치한 거제도 부이에서 지상 이슬점온도 24°C 이상의 공기가 160~200° 방향으로 15kts 이상 불어야 함.



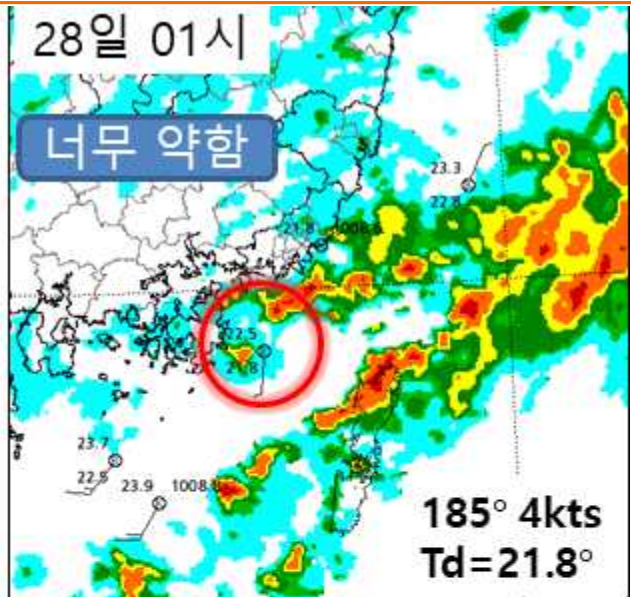
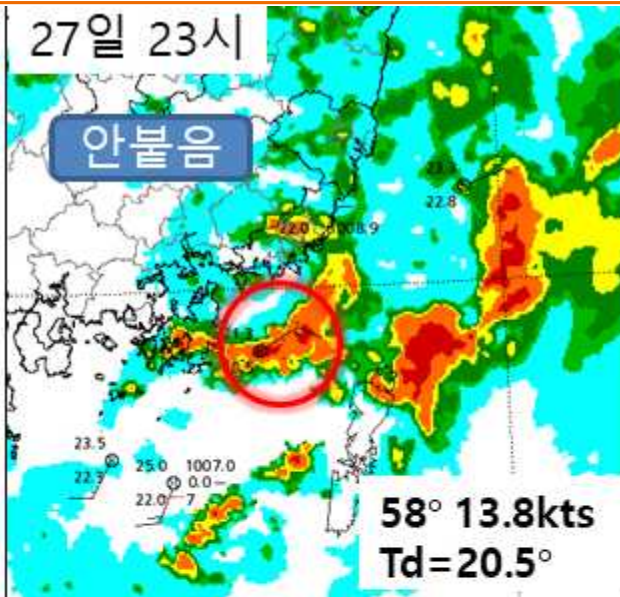
m기장자리형 유사사례 2011년 7월 27일 9시 자료(60분강수량, 이슬점온도, 일강수량, 해상풍)

- 유사사례에서 이슬점온도 24°C 이상의 수증기가 190~200° 방향으로 유입되면서 부산에서 수렴되어 발달함. 60분 강수량은 70mm가 넘었고 일강수량은 309mm를 기록하였음.

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- **거제도 부이의 바람과 수증기량을 고려했다면**

- 유사사례에서 이슬점온도 24°C 이상의 수증기가 190~200° 방향으로 유입되면서 부산에서 수렴되어 발달함. 60분 강수량은 70mm가 넘었고 일강수량은 309mm를 기록하였음.
- 27일 밤부터 28일 새벽까지 거제도부이 바람자료와 레이더 중첩자료를 보면 27일 23시 거제도 부이는 북동풍이 불면서 기압골이 거제도 부근까지 북상함을 알 수 있고, 28일 01시 기압골이 북동진하면서 거제도 부이 바람이 남풍으로 돌지만, 풍속이 약해서 부산까지 강수대가 북상하지 못함.
- 28일 새벽에 200°가 넘는 바람이 불었지만 주강수대는 대한해협으로 빠지고 04시 204° 바람이 불 때는 풍속과 이슬점온도가 22.1°C로 낮아 많은강수가 내리지 못함, 이마저도 지속되지 못하면서 부산에는 50mm 내외의 강수가 기록 됨.



2020년 7월 27일 23~28일 4시 GTS 지상자료, 레이더영상, 붉은색 원 거제도부이자료 풍향풍속, 이슬점온도

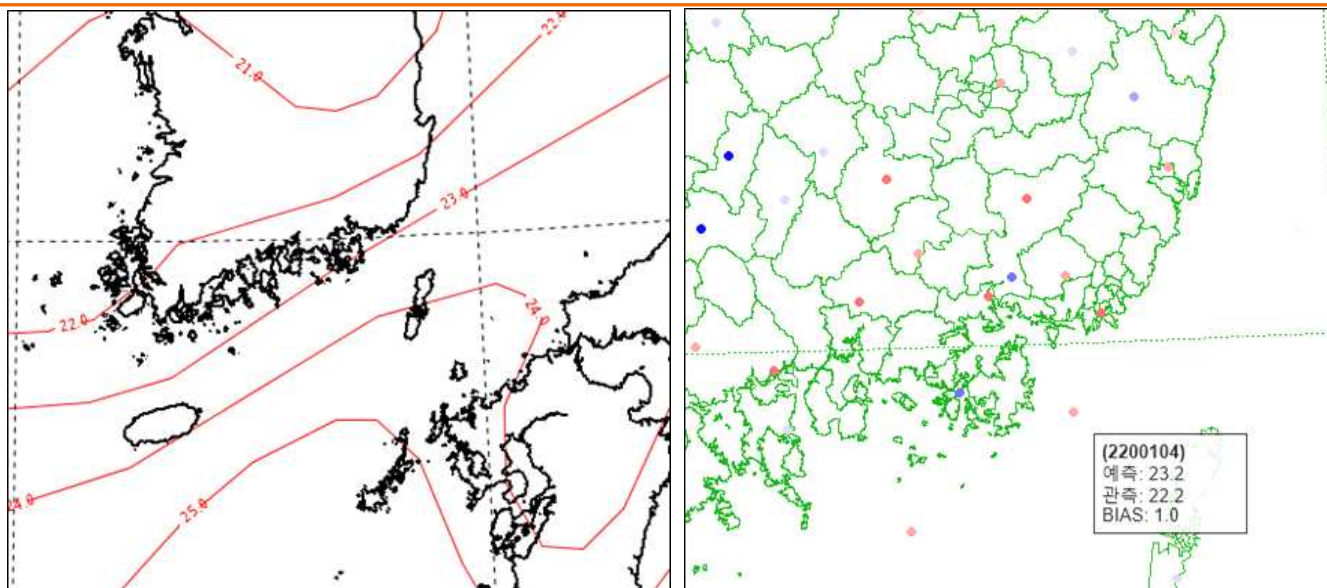
- 28일 새벽을 예상한 해상풍 자료는 부산의 남서쪽 해상에서 북상하는 남서풍이 부산까지 미치지 못함.



2020년 7월 28일 03시를 예상한 국지해안(부산청) 해상풍과 03시 부이자료 실황

- 28일 새벽 이슬점온도는 23°C이 부산남쪽에 위치하는 것으로 모의가 되고 있고, 실황에서 이슬점온도의 Warm bias가 나타나고 있음. 거제도부이의 이슬점온도는 1°C 정도 과대모의

되고 있음.



28일 03시 UM 이슬점온도 예상

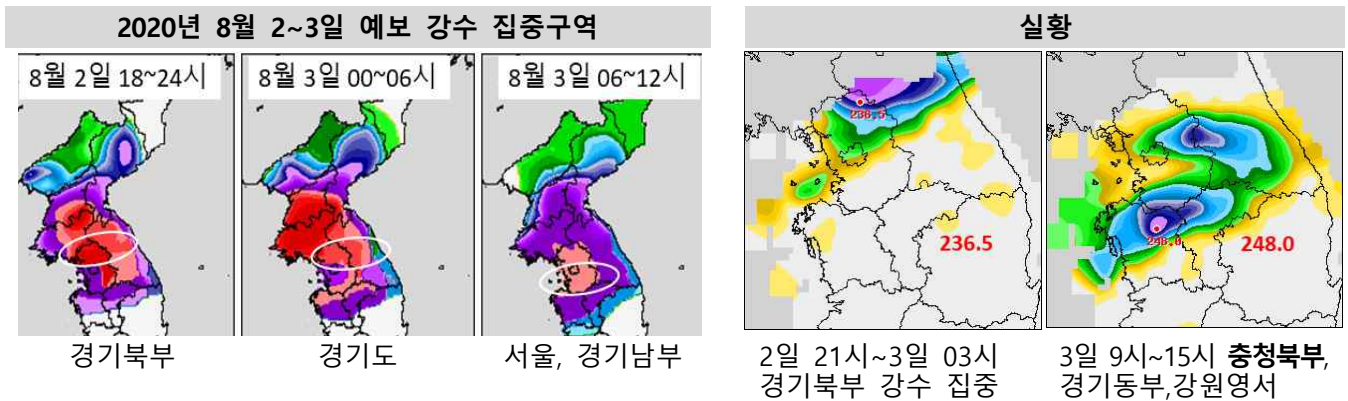
28일 03시 UM 이슬점온도 편차

- 기압계는 집중호우 패턴과 유사하지만 국지적으로 부산남서쪽으로 북상하는 수증기가 부산까지 북상하기는 어려울 것으로 모의되었고, 실황에서도 수증기량의 편차가 나타났음.

2. 2020년 8월 2일~3일 사례

남고북저형에서 북쪽골 통과하는 동안 강수 집중구역은? 강수대가 남하 시 정체할 때 mT가장자리의 위치가 중요

1. 예보와 실황은?

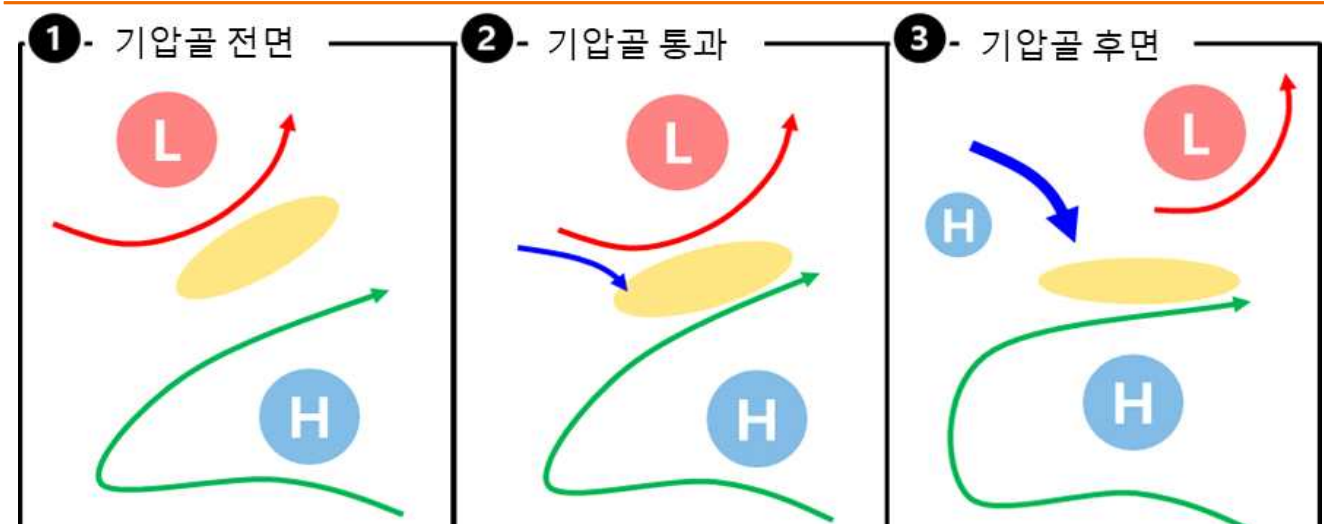


2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 남고북저형에서 기압골 통과 시 강수 집중구역은 어디인가?
- 쟁점2) 2020년 8월 3일 오전 주강수역은 어디에서 정체할 것인가?

3. 주요 분석내용

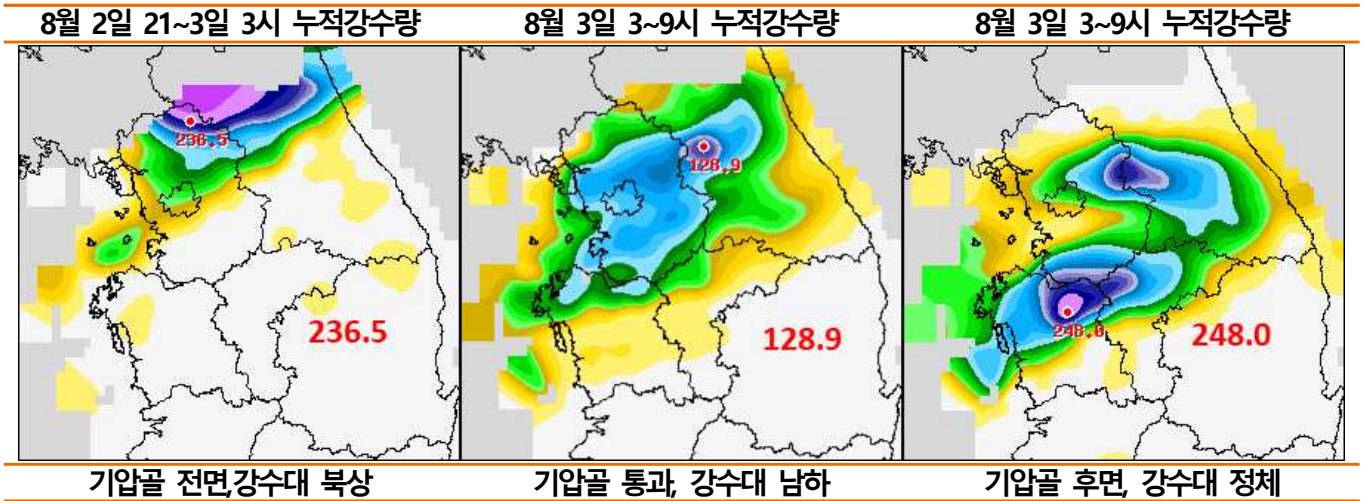
- 쟁점1) 남고북저형에서 북쪽 기압골 통과 시 강수 집중구역은 어디인가?



여름철 중부지방 남고북저형 배치시 북쪽기압골 통과 시 주강수역 모식도(노란색 타원 강수집중구역)

- 여름철 mT가장자리 중부지방에 위치하고 북쪽으로 기압골이 통과할 때(남고북저형) 강수집중 구역은 기압골 이동에 따라 3가지 유형으로 나눌 수 있음.
- 기압골 전면: 하층제트 강화역이 북상하면서 주강수역은 mT가장자리가 아닌 기압골 전면의 하층제트 중심축의 북서쪽 위치함.

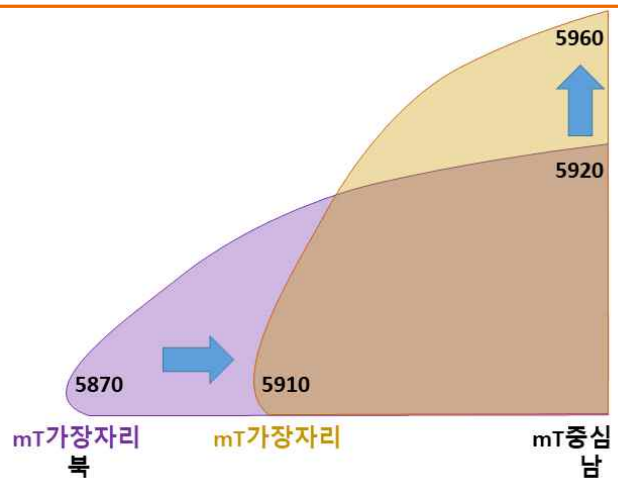
- 기압골 통과: 골 통과 후 건조역이 서서히 남하하면서 건조역과 하층제트의 수렴역도 남하함. 집중호우 가능성 낮음.
- 기압골 후면: 상층건조역의 침강(남하)과 mT의 북상으로 수렴역이 압축되면서 주강수역은 정체하면서 mT가장자리에 형성.



● **쟁점2) 3일 오전 주강수역은 어디에서 정체할 것인가?**

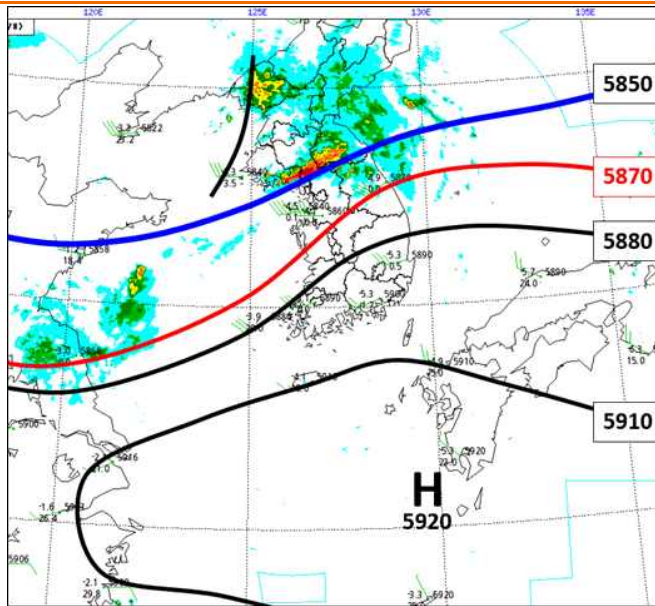
- 기압골 통과 후 건조역의 남하로 강수역이 남하 후 강수역은 mT의 가장자리에 형성 되지만, mT의 일변화와 북태평양 중심의 강도에 따라 mT가장자리가 변화하기 때문에 mT가장자리를 찾는 것이 중요함.

중심기압(고도)	가장자리 위치(고도)
5910	5860
5920	5870
5930	5880
5940	5890
5950	5900
5960	5910
5970	5920

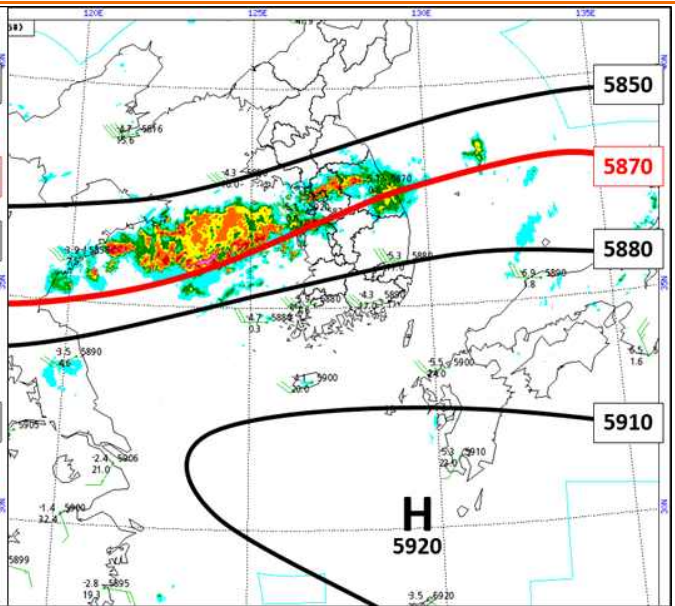


한반도 남동쪽에 위치한 고기압 중심고도에 따른 가장자리 위치와 모식도

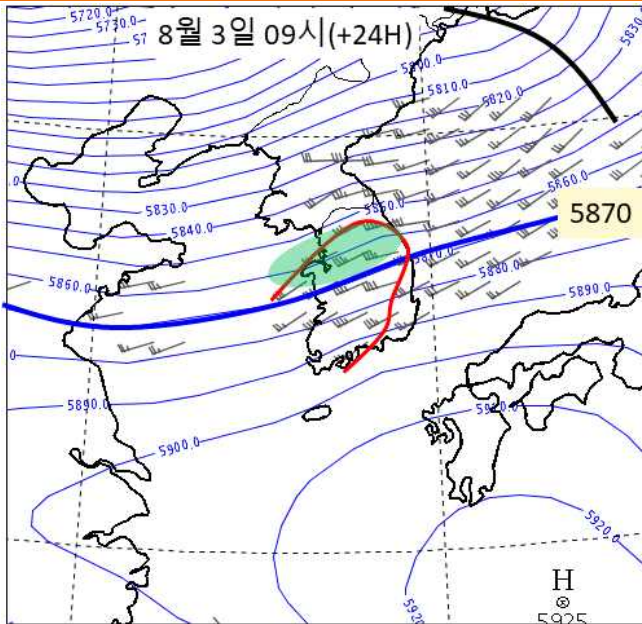
- 위 표는 한반도 남동쪽에 mT의 중심이 위치할 때 중심 강도에 따른 가장자리 고도를 나타내며 대략 50gpm 정도의 차이가 남. 모식도에서 중심고도가 강해지면 전반적으로 mT기단의 고도가 함께 높아지면서 mT가장자리는 오히려 남쪽으로 내려오는 것을 알 수 있음
- 8월 2일 21시 강수는 기압골 전면에서 하층제트가 강화되면서 기압골 전면에서 강한 강수가 형성되면서 mT가장자리보다 북쪽에서 강수대가 형성됨.
- 8월 3일 09시는 기압골 빠져난 후 건조역이 침강하면서 mT가장자리에서 수렴되면서 mT가장자리인 5870에서 주강수역이 발생됨.



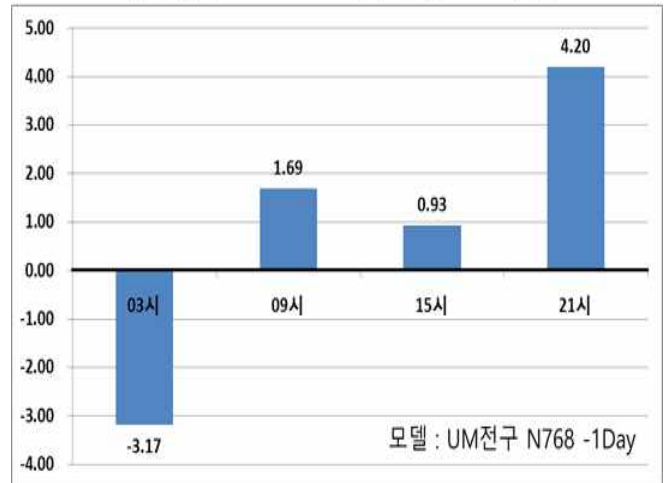
8월 2일 21시 기압골 접근 시 500hPa, 레이더영상



8월 3일 09시 기압골 접근 시 500hPa, 레이더영상



8월 3일 09시 500hPa 지위고도, 850hPa >25kts



2016~18년 7~8월 광주지점 시간대별 500hPa 모델 지위고도 편차(x축 고도편차, y축 시간)

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

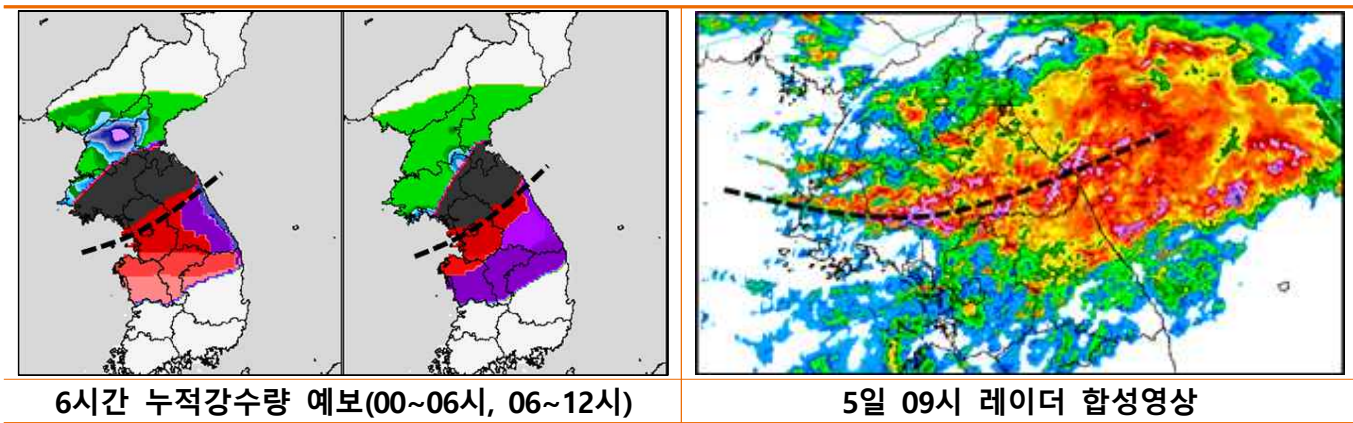
- **mT의 일변화에 따른 UM모델의 500hPa 지위고도 오차를 고려했더라면**
 - 8월 2일 09시 생산한 UM 모델을 통한 강수 메커니즘별 주강수역 예측에서 3일 9시 강수 집중구역은 mT가장자리 5870북쪽인 경기남부였다.
 - UM의 시간대별 지위고도 편차를 고려하면 09시는 모델이 실황보다 고도장을 높게 모의하는 경향이 있어 예측 시 이것을 고려하여 더 남쪽으로 강수대를 내렸어야 함.

3. 2020년 8월 5일 사례

태풍 전면에서 북한으로 밀려올라간 정체전선 mT의 일변화보다 외부요인은 더 큰 변수

1. 예보와 실황은?

예보 (8월 4일 17시 발표)	실황
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 예상 강수량 - 서울.경기, 강원영서, 충청북부 : 100~300mm (많은 곳 서울.경기, 강원영서 500mm 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 강수량 - 서울.경기 : 20~100mm - 강원영서 : 100~200mm - 강원북부산간 : 최대 250mm이상



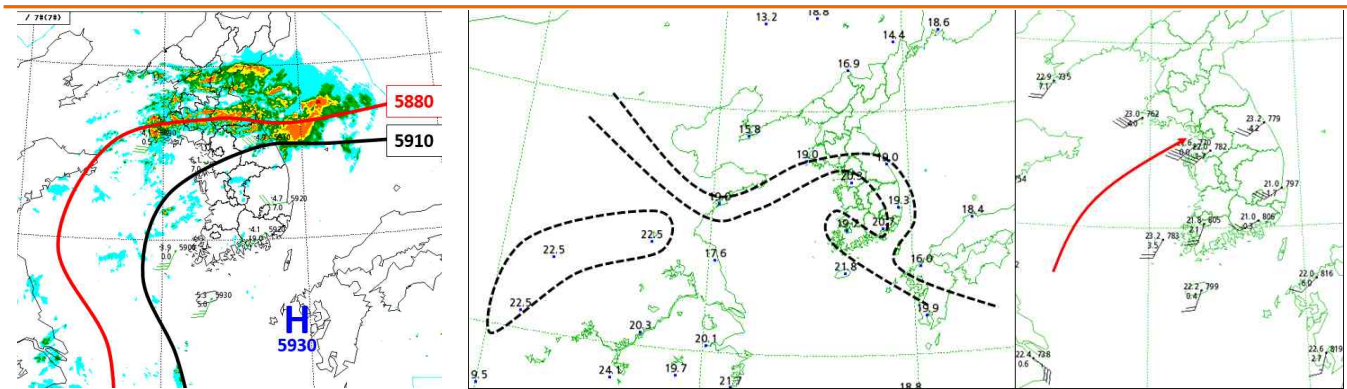
- 태풍 전면에서 mT의 경계가 북상하면서 주 강수영역이 북한지역에 영향

2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 강수의 메커니즘은 무엇인가?
- 쟁점2) 북태평양고기압의 경계에 변동을 줄 수 있는 외부 요인은?

3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 강수의 메커니즘은 무엇인가?

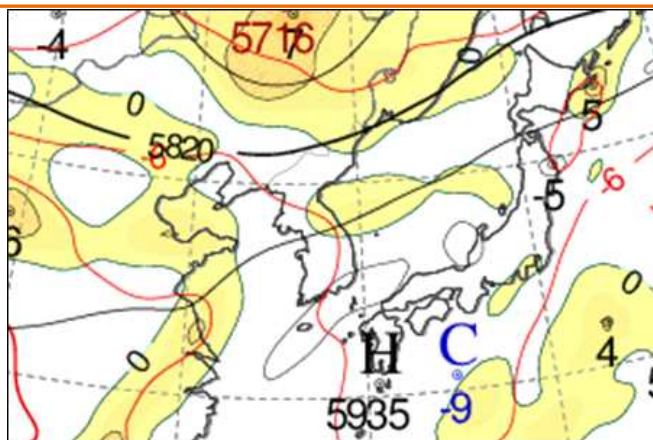


북태평양고기압 가장자리 호우
(5일 03시 500hPa)

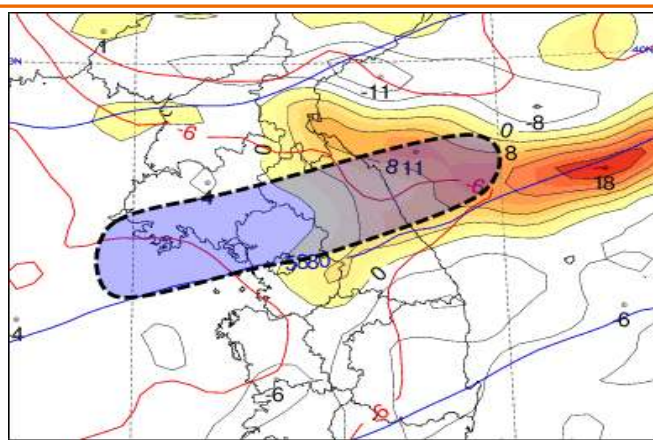
4일 09시 925hPa의 이슬점온도와 하층제트의 축

- 북태평양고기압의 가장자리(500hPa의 5880gpm 부근)에서 발생하는 정체전선 강수
- 상해부근에 열대저압부(TD)가 위치하고 동쪽에 고기압 사이에서 서해상에 강한 남풍 기류를 따라 다량의 수증기 유입됨.
- mT 가장자리에서 강수의 트리거링은 하층의 높은 이슬점 온도와 하층제트 위치함.
⇒ 925hPa에서 이슬점온도 20°C이상 구역이 한반도 위치, 하층제트는 중부지방 위치

● **쟁점2)** 북태평양고기압의 경계에 변동을 줄 수 있는 외부 요인은?

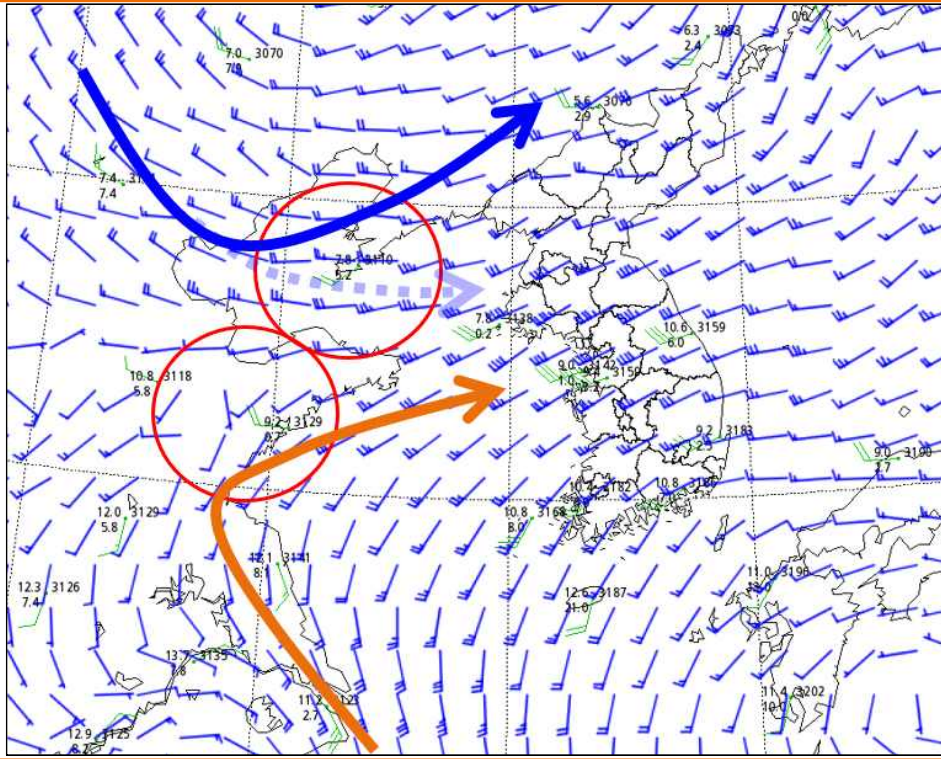


2020년 8월 5일 09시 500hPa 예상
(ECMWF, +72h)



2020년 8월 5일 09시 500hPa 한반도 예상
(ECMWF, +72h)

- 북태평양고기압 중심이 5920~30gpm이 예상되므로, 가장자리는 약 5870~80gpm
- 따라서 강한 강수의 축은 경기북부, 강원북부로 예상함.
- 일변화에 의해 새벽~아침 강수대는 예상보다 남쪽에 형성될 수 있음, 그에 따라 서울 까지 많은 강수량 도입함.

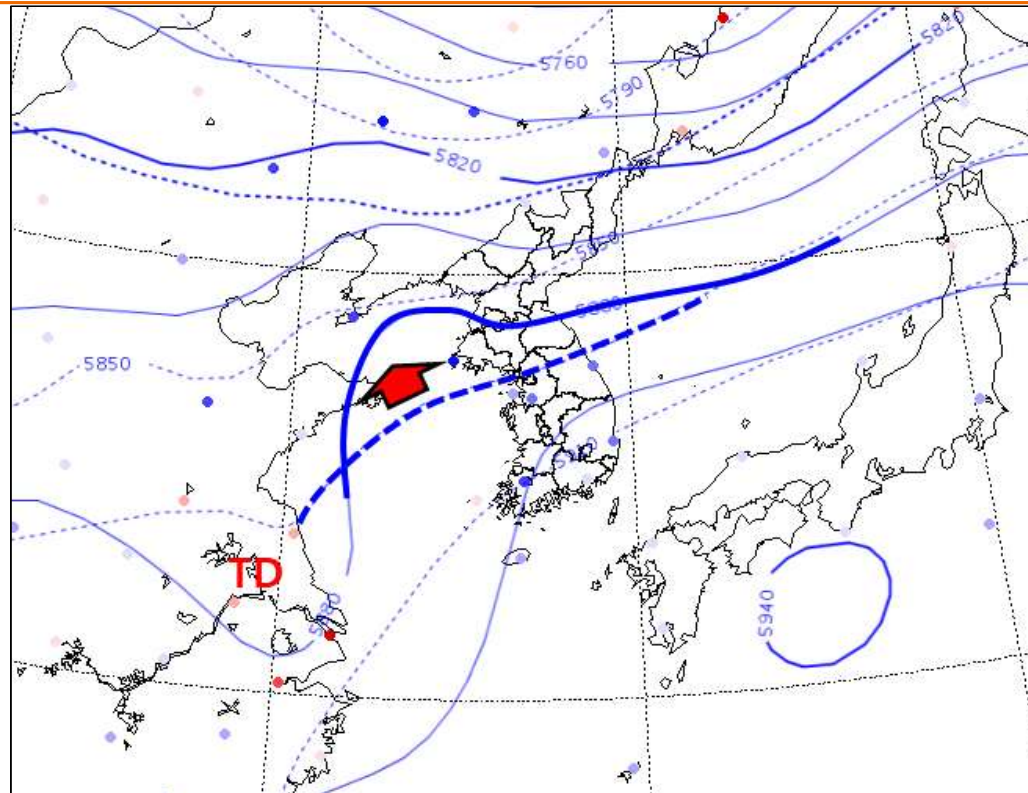


2020년 8월 4일 09시 700hPa 모델 바람장(파란색)과 관측자료(녹색)

- 북쪽 저기압은 모델이 예측한 것 보다 깊은 형태를 보이지만(다렌 지점 모델 서풍, 관측 남서풍) 기압골 후면에 북서류(5일 영향 예상)가 강하지는 않음.
- 남쪽 고기압은 모델 예상보다 견고한 형태(칭다오 지점 모델 10kts, 관측 20kts)
- 따라서 5일의 강수는 북쪽 북서류의 강도가 강하지 않으므로, 남쪽 고기압의 세력에 따라 강수의 위상이 바뀔 것으로 예상 됨.

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 태풍(또는 TD)에 의해 전면대에 위치한 북태평양고기압 경계의 변동성을 고려했다라면
 - 5일 09시 500hPa의 지위고도를 살펴보면 ECMWF의 모델이 예측(+72h)하였던 것보다 실제로 백령도는 약 30gpm, 오산은 약 15gpm 높게 관측되었음.
 - 실제로는 일변화에 의한 북태평양고기압 수축보다 태풍(또는 TD)에 의한 북태평양고기압의 확장이 더 크게 작용하였고, 그에 따라 주 강수영역은 북한으로 통과함.



2020년 8월 5일 09시 500hPa 등고도선 모델예상장(ECMWF, +72h, 파선)과 관측자료(실선)

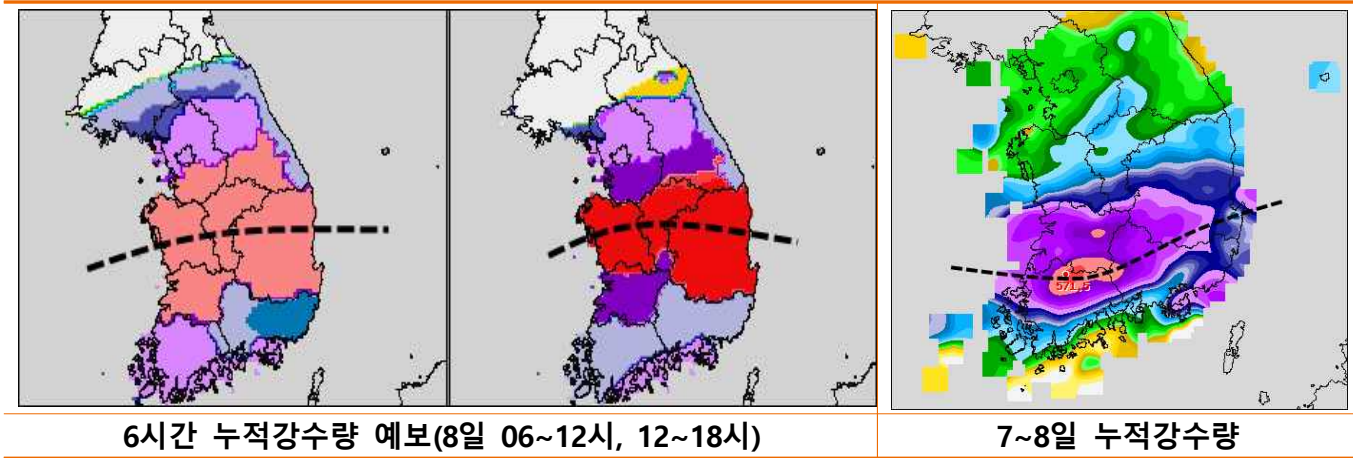
- 500hPa 지위고도의 최근 모델 편차 경향을 고려했다면
 - 하루전날인 4일에도 지위고도의 모델 음의편차가 계속 나타났었음.
 - TD가 한반도로 부근으로 북상할 것을 예상했다면 강수대는 북한으로 통과할 것을 사전에 예측.

4. 2020년 8월 7일~8일 사례

기압능 속에서 단파 기압골이 여러 번 통과하는 정체전선 패턴 시간당 80mm의 강한비가 같은 곳에 반복하여 내린다면?

1. 예보와 실황은?

예보 (8월 6일 17시 발표)	실황
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 예상 강수량 <ul style="list-style-type: none"> - 경기남부, 강원영서남부, 충청, 전북, 경북 : 100~200mm(많은 곳 300mm 이상) - 서울.경기북부, 강원(영서남부 제외), 전남, 경남, : 50~100mm(많은 곳 남해안 150mm 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 강수량 <ul style="list-style-type: none"> - 서울.경기,강원,충청북부 : 10~60mm - 충청남부,경북북부 : 50~150mm - 전북,경북남부,전남북부,경남북부 : 200~600mm



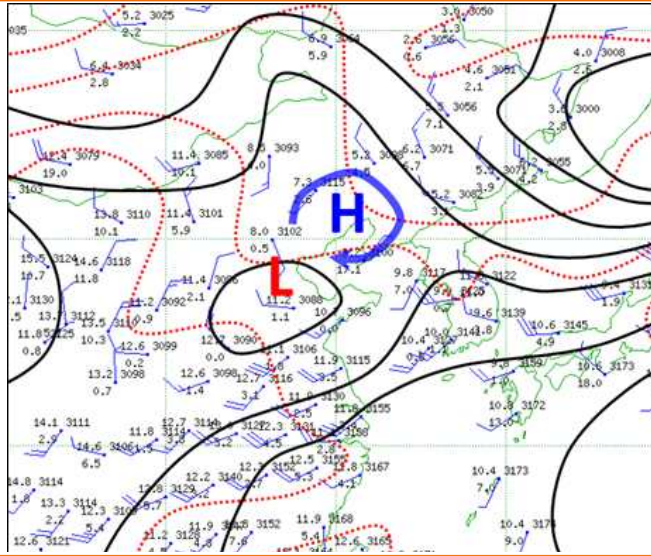
- 주 강수축은 충청도로 예상하였으나, 전남북부~경남으로 가장 많은 강수 기록
- 최대 300mm의 강수량을 예보하였으나, 600mm에 가까운 누적강수량을 기록

2. 쟁점사항은?

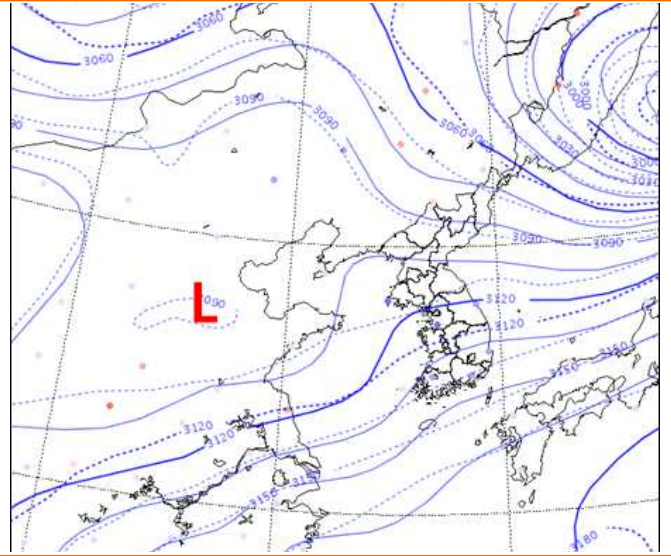
- 쟁점1) 강수대가 정체하는 영역이 어떻게 될 것인가?
- 쟁점2) 부저기압이 발생하는가? 부저기압은 어떤 영향을 미칠까?

3. 주요 분석내용

- 쟁점1) 정체전선이 정체하는 지역은?

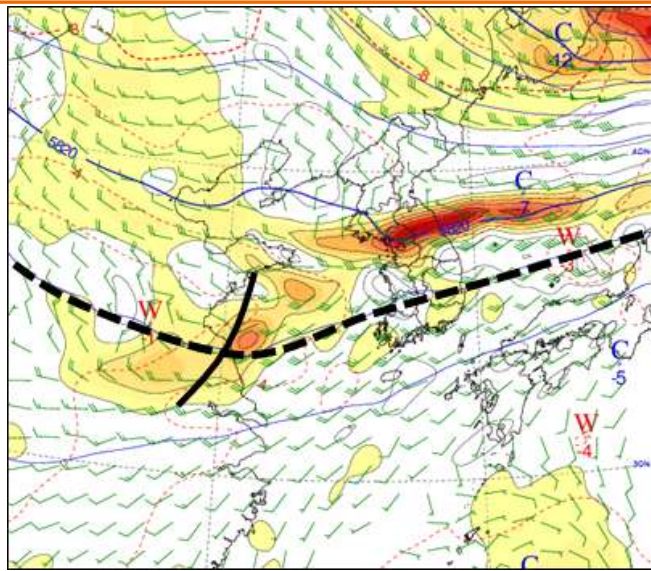


8월 7일 09시 700hPa 일기도

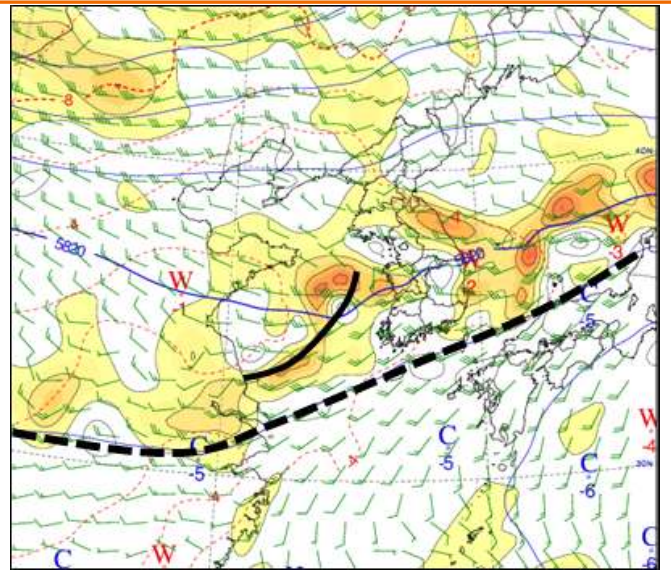


8월 7일 09시 700hPa 지위고도 편차(UM, +12h)

- 이 사례의 강수패턴은 북태평양고기압과 북쪽 기압능 속에서 단파골이 통과하는 패턴
- 발해만에 위치한 기압능은 모델보다 강하게 자리 잡고(지위고도 음의 bias), 그로 인하여 기압골은 더 깊게(지위고도 양의 bias) 통과하는 것으로 나타남.
- 고기압의 아래에서 작은 파동들이 연속적으로 발달하여 통과하는 시스템임.

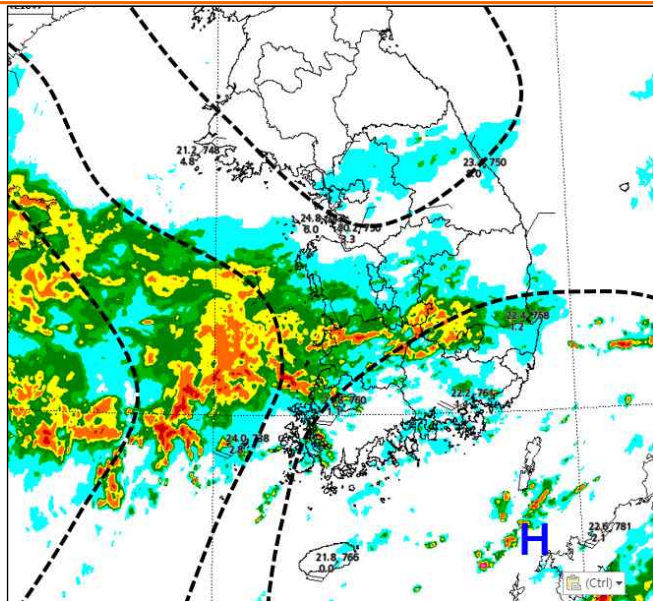


8월 7일 09시 500hPa 분석장과 5850gpm 라인(파선)

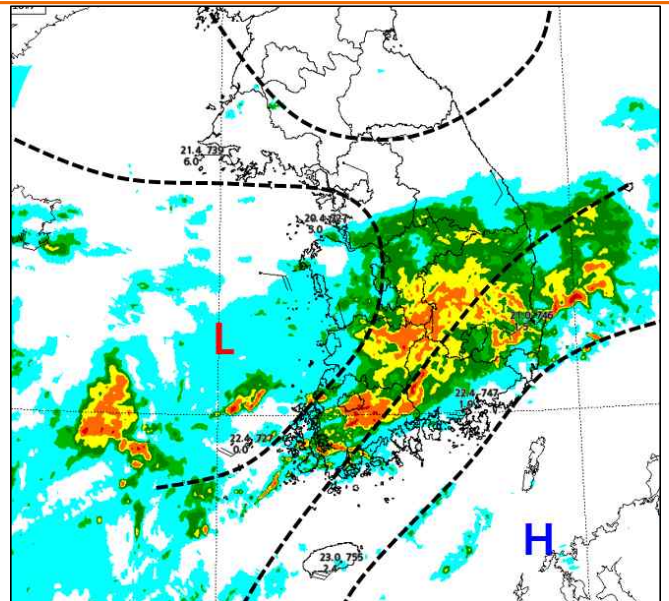


8월 8일 09시 500hPa 분석장과 5850gpm 라인(파선)

- 기압골이 동반되는 정체전선의 경우 5820~5850gpm 사이에서 전선이 위치하고 하층에 위치하는 저기압의 위치와 하층제트 분석이 중요함.
- 5850gpm 라인은 전북에서 남해상으로 남하하는 경향을 보이니, 기압골의 남북 위상은 거의 변화가 없으므로 하층에 저기압이 형성되는 위치는 크게 차이가 나지 않음.
- 즉 정체전선의 강수더라도 기압골의 영향을 받는 패턴에서는 500hPa의 지위고도로만 강수대의 위치를 파악하는 것은 위험함.
- 기압골의 위상을 고려한다면 두 번의 강한 강수대 통과가 예상이 되고, 그 위치는 남북 차이가 크지 않으며, 주로 남부지방에 많은 강수를 내릴 수 있음.



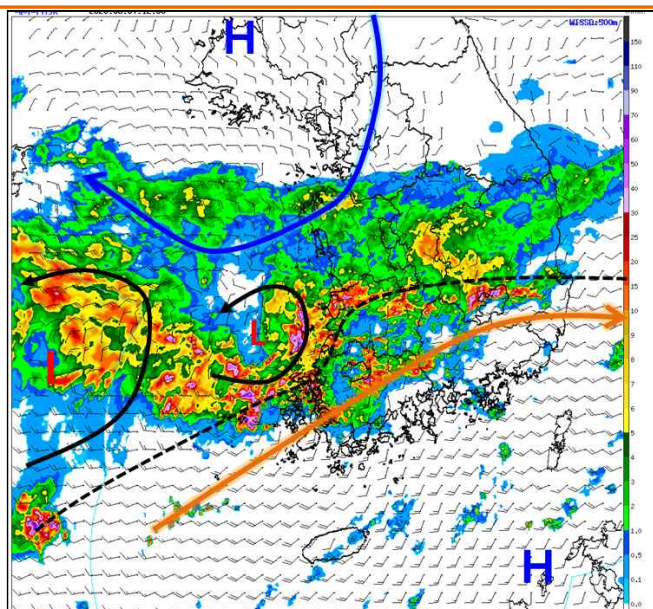
8월 7일 09시 레이더영상과 925hPa 등고선



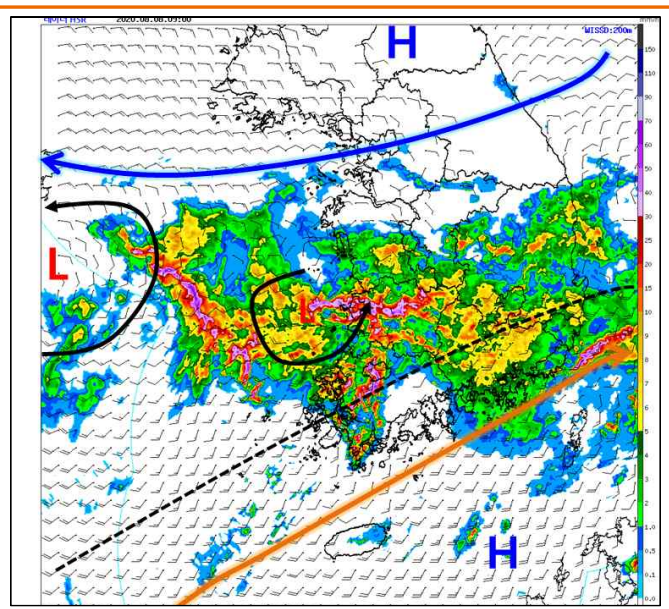
8월 7일 15시 레이더영상과 925hPa 등고선

- 7일 09시를 보면 남북으로 고기압이 자리잡고 있는 가운데 서쪽에서 기압골이 접근하고 있는 상태에서 대기가 점차 압축되면서 강수대가 강화되고 있음.
- 7일 15시에는 저기압이 서해상으로 접근하면해서 남쪽에 버티고 있는 고기압 사이에 기압경도가 커지면서 하층제트가 형성되어 강수 강화됨.
- 기압골이 접근하면서 기압경도가 증가하는 경우에는 강한 강수가 위치하는 곳은 고기압성 순환과 저기압성 순환의 경계에 위치함.

● **쟁점2)** 부저기압이 발생하는가? 부저기압은 어떤 영향을 미칠까?



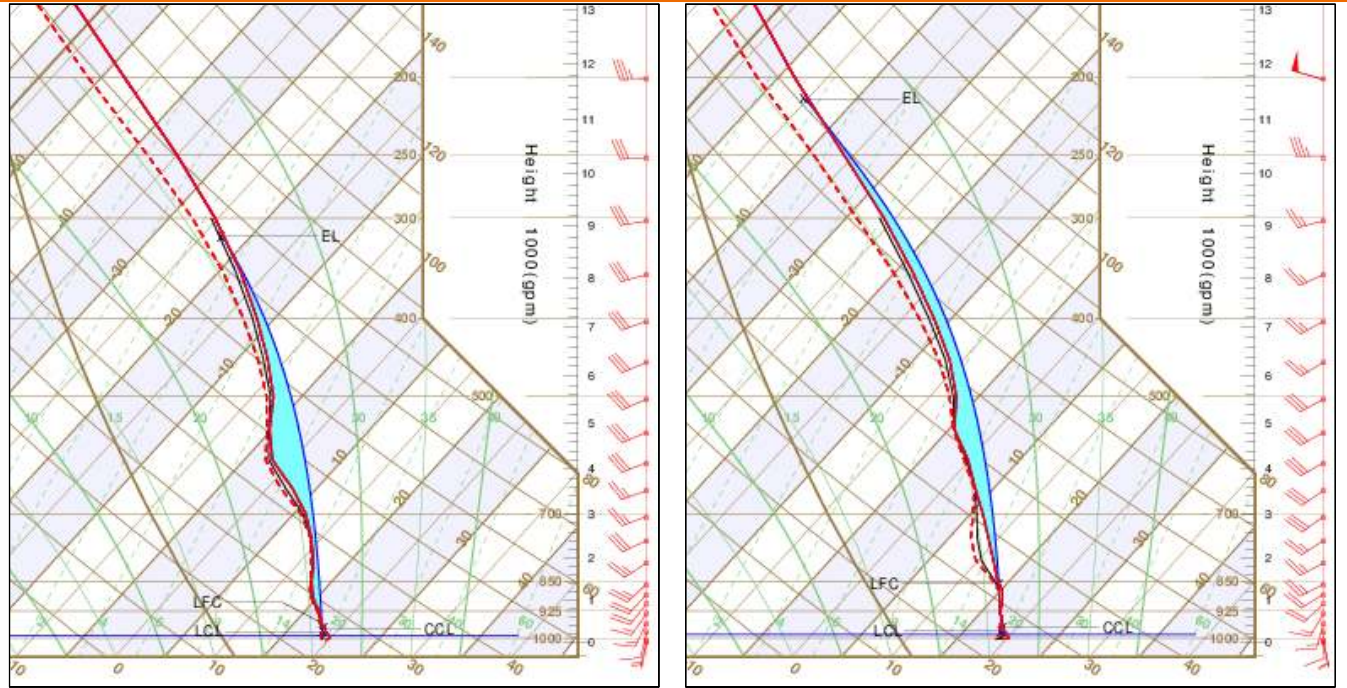
8월 7일 15시 레이더영상과 기압계모식도



8월 8일 09시 레이더영상과 기압계모식도

- 남북으로 고기압이 위치하여 시어라인이 형성된 상태이고, 산둥반도 남쪽으로는 저기압이 위치함.

- 500hPa에 위치한 기압골이 경도 120E 부근을 통과 할 때 본체 저기압 전면에 위치한 시어라인 영역에서 부저기압이 발달 용이함.
- 7일과 8일 모두 상층 기압골이 통과하면서 충남과 전북 앞바다에서 부저기압이 발달 하였고 그 전면으로 강한 강수대가 형성됨.
- 부저기압이 발생하면 하층제트가 형성되는 강풍대가 예상보다 더 남쪽으로 형성되면서, 주 강수 영역도 남쪽으로 형성됨.



8월 7일 15시 광주 단열선도(분석장)

8월 8일 09시 광주 단열선도(분석장)

- 부저기압이 발달하면, 지상부근에서부터 수렴하여 대류운동이 발생 할 수 있음.
- 일반적으로 925hPa에서 대류가 시작하면 시간당 50mm까지 가능, 지상에서부터 대류가 시작하면 시간당 100mm/h의 강수도 가능함.

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 기압능 속에 기압골이 통과하는 패턴인 것을 이해했더라면
 - 기압능 속에서 단파골이 통과할 때는 기압골이 잘 분석되지 않으므로, GTS묘화를 통한 단파골의 정확한 분석이 중요함.
 - 단파골의 위상이 산동반도 남쪽으로 통과한다면 주 강수영역은 남부지방으로 나타남.
- 부저기압이 발달 하는 것을 예상했다면
 - 단파골이 통과하면 충남과 전북앞바다에 부저기압이 발달하기 쉬움.
 - 부저기압이 발달하면 지상에서부터 수렴하여 대류가 발생하므로, 최대 시간당 100mm의 강수 강도가 가능함.
 - 지상에서부터 발달하면 산악지형의 영향도 크게 받는다는 점을 강수예보에 고려해야 함.

5. 2020년 8월 14일~15일 사례

전형적인 호우 패턴은 맞으나 대기 압축이 충분했는가?

1. 예보와 실황은?

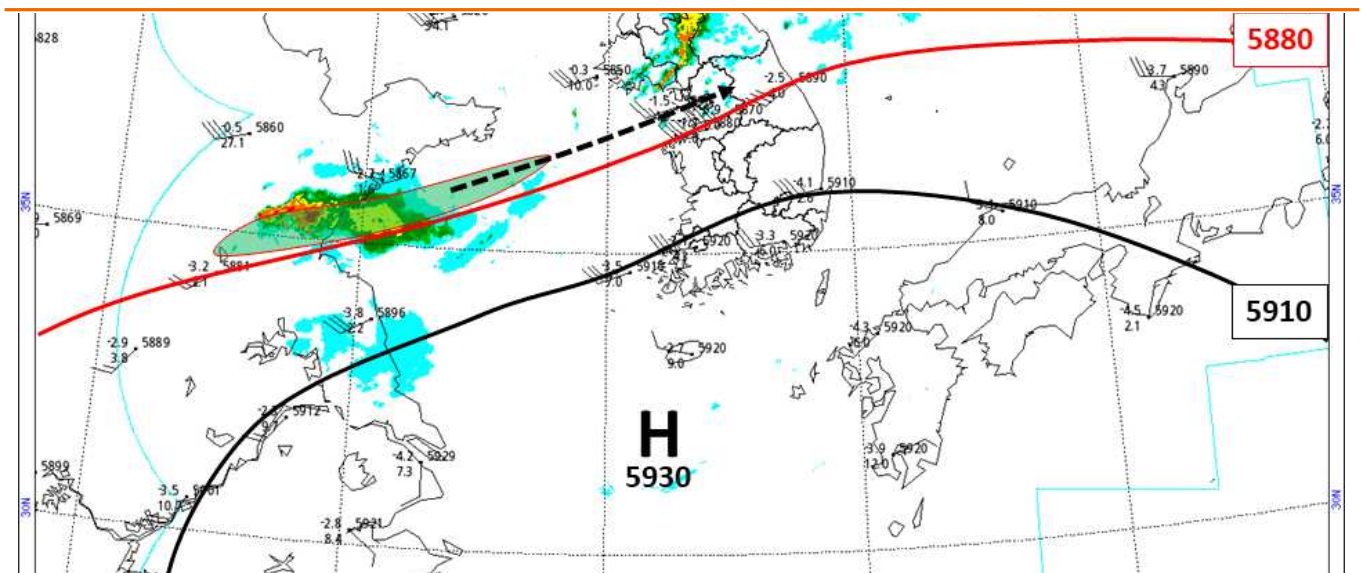
예보 (8월 14일 05시 발표)	실황
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 예상 강수량 <ul style="list-style-type: none"> - 서울.경기도, 강원영서, 충청북부 : 100~200mm(많은 곳 300mm 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 강수량 <ul style="list-style-type: none"> - 서울.경기,청북부 : 30~100mm - 강원영서 : 50~150mm
<ul style="list-style-type: none"> - 중부지방을 중심으로 최대 300mm의 강수량을 예보하였으나, - 수도권 지역은 최대 100mm, 강원영서에는 최대 150mm를 기록하면서 절반에 못 미치는 강수량을 기록함. 	

2. 쟁점사항은?

- 쟁점1) 정체전선에 의한 호우 패턴이 맞는가?
- 쟁점2) 최대 300mm의 강수가 가능한 대기압축이 발생 했는가?

3. 주요 분석내용

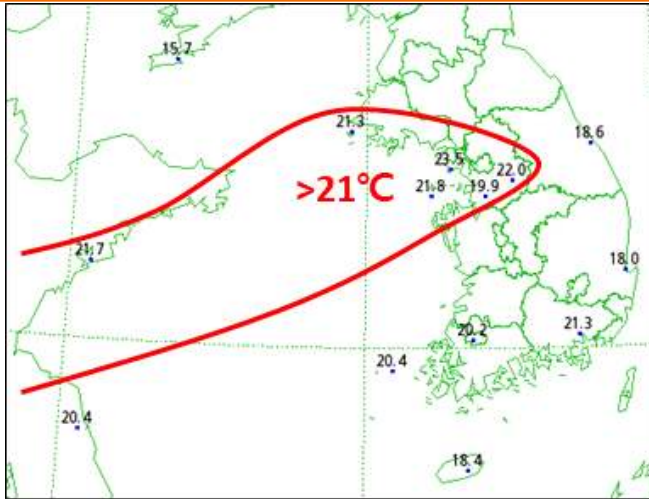
- 쟁점1) 정체전선에 의한 호우 패턴이 맞는가?



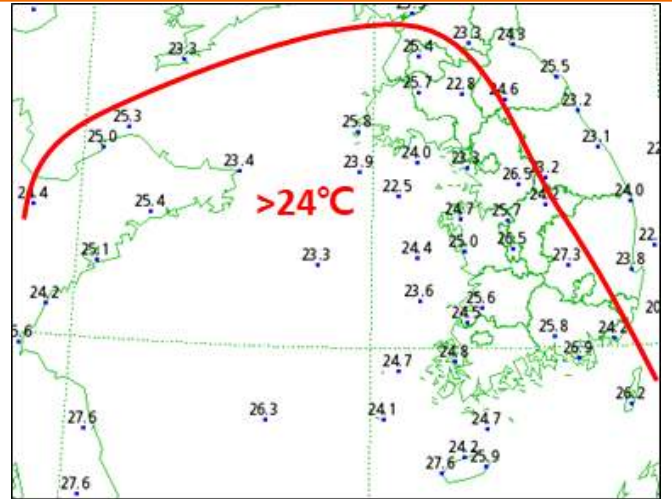
14일 09시 500hPa 일기도

- 14일 09시 500hPa에서 mT 중심은 약 5930gpm으로 나타나고, mT의 가장자리는 5880gpm에 해당함.

- 산동반도 남쪽에 강수대도 5880gpm을 따라 형성, 500hPa의 고도장의 큰 변화가 예상 되지 않으므로 우리나라 경기남부~서울을 부근으로 강수대 형성 예상

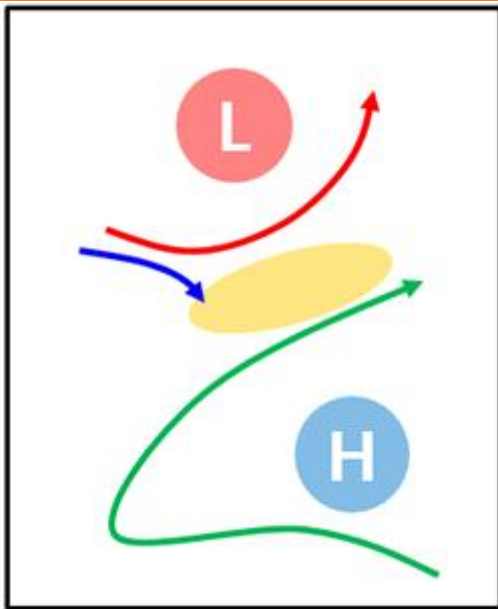


8월 14일 09시 925hPa 이슬점온도

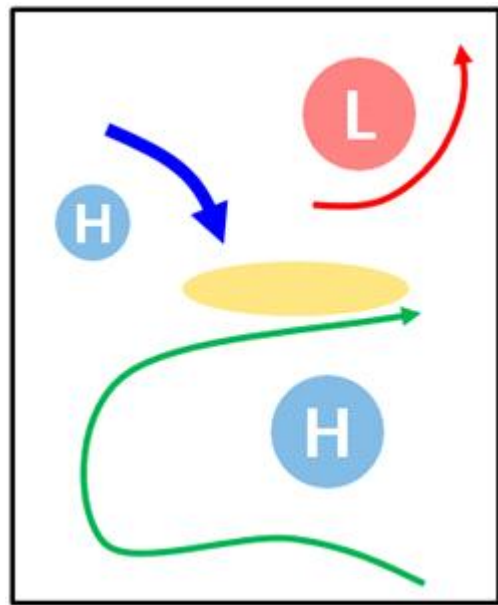


8월 14일 12시 지상 이슬점온도

- mT의 경계에 해당하는 지역을 중심으로 925hPa의 이슬점온도가 21°C이상, 지상 이슬점 온도 24°C이상이 나타남.
- 925hPa에서 대류가 시작하면 시간당 50mm 이상, 지상에서 대류가 발달하면 시간당 100mm 이상도 기록 할 수 있는 충분한 수증기 재료가 있음.

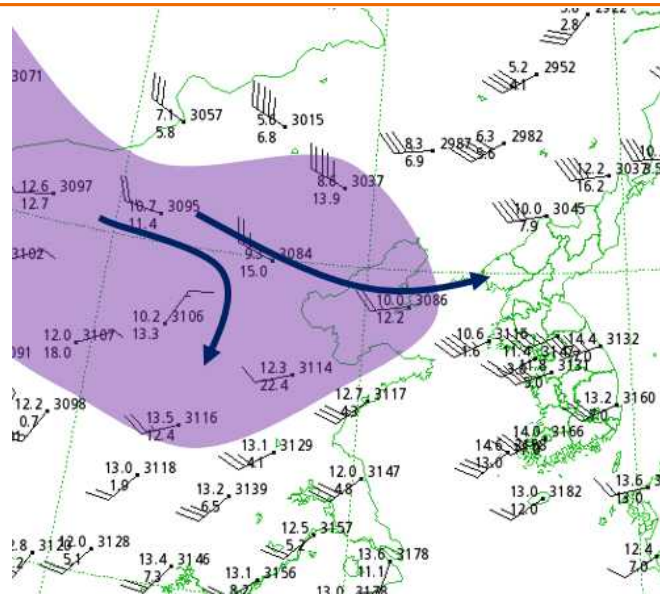


14일 21시 기압계 모식도

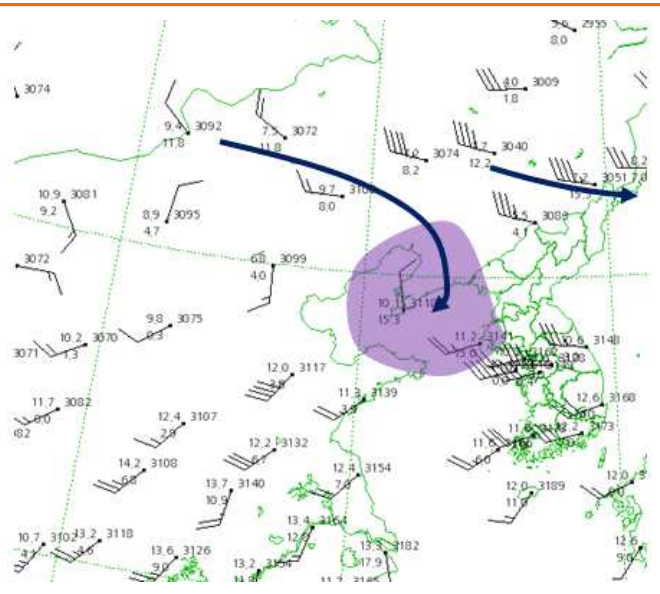


15일 09시 기압계 모식도

- 14일 밤에는 기압골과 고기압 사이에서 기류가 분류되면서 강수가 일시 소강되는 형태
- 15일 새벽에서 아침에는 북쪽 고기압성 순환에서 떨어지는 건조역과 북태평양고기압 사이에서 중규모 수렴에 의한 강한 대류성 강수 발생 가능한 구조



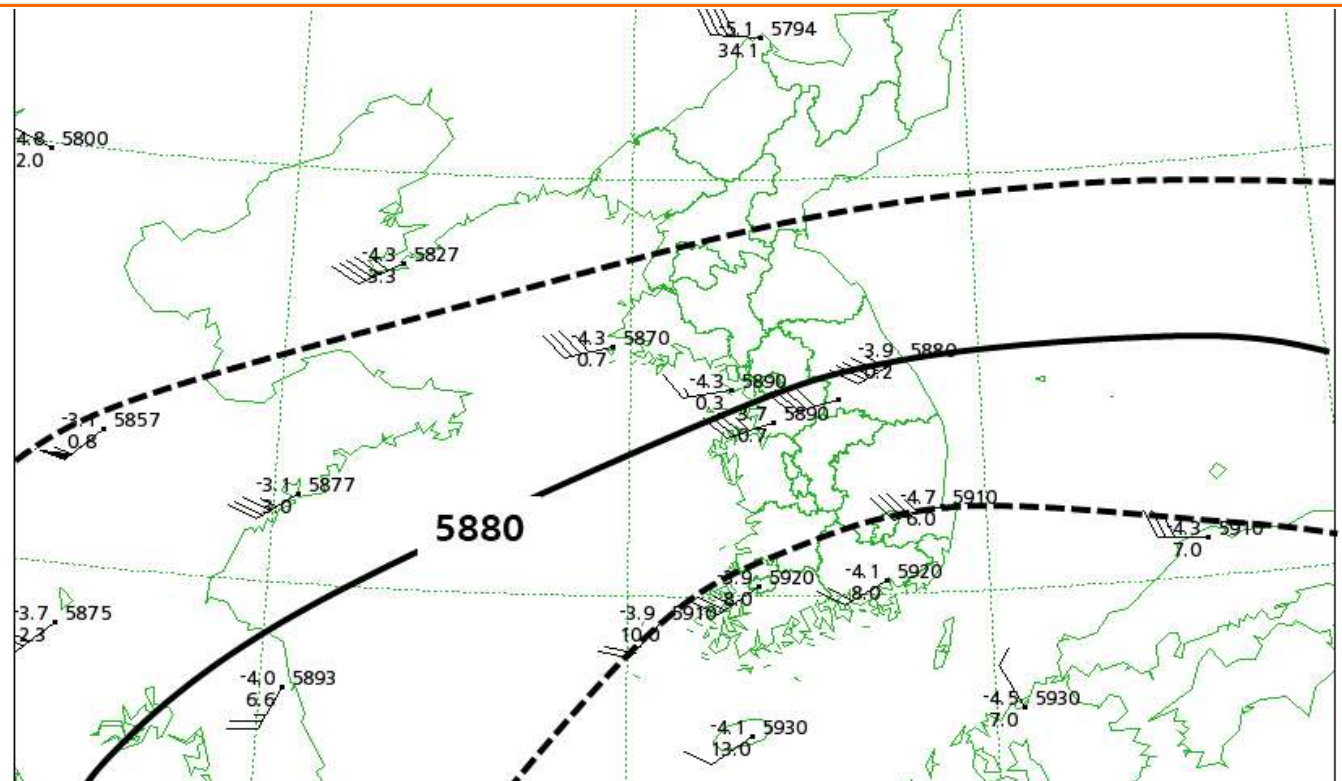
14일 09시 700hPa 일기도



15일 09시 700hPa 일기도

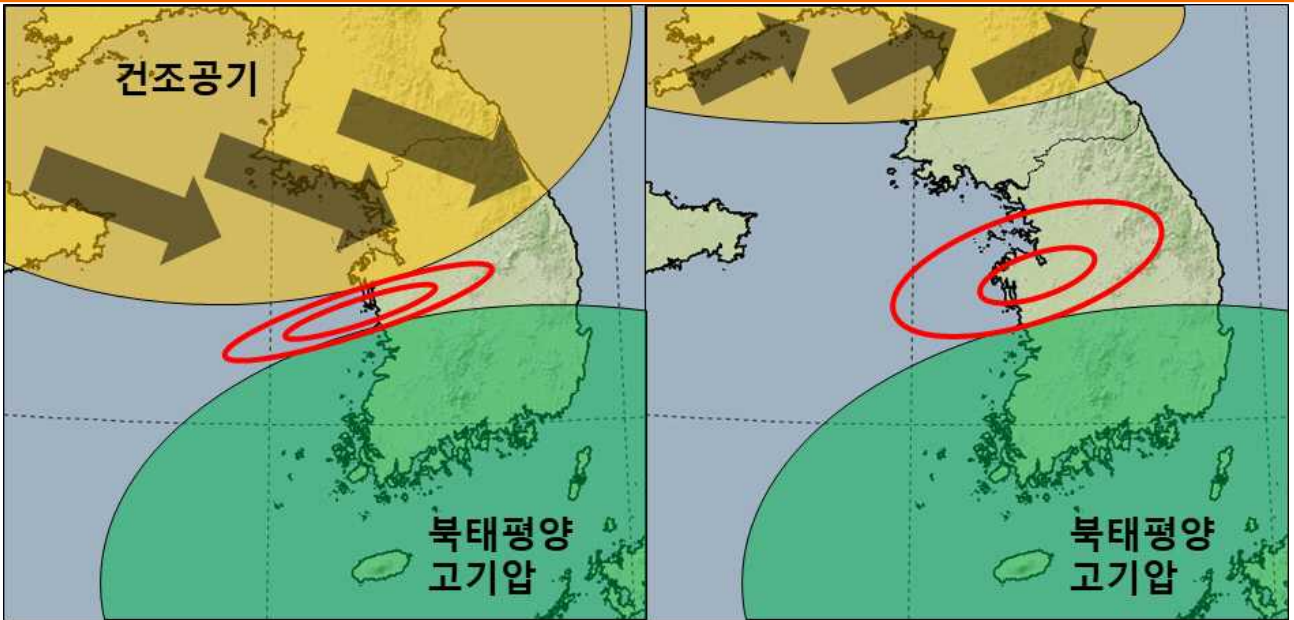
- 14일 700hPa에서 발해만 서쪽으로 폭넓은 건조역(습수 10이상)구역이 위치하고 고기압성 순환이 나타나므로 15일에는 고기압성 순환의 영향을 받을 것으로 예상
- 15일 고기압성 순환이 나타나지만, 그 강도가 강하지 않고 건조공기의 영역도 축소됨.

● **쟁점2)** 최대 300mm의 강수가 가능한 대기압축이 발생 했는가?



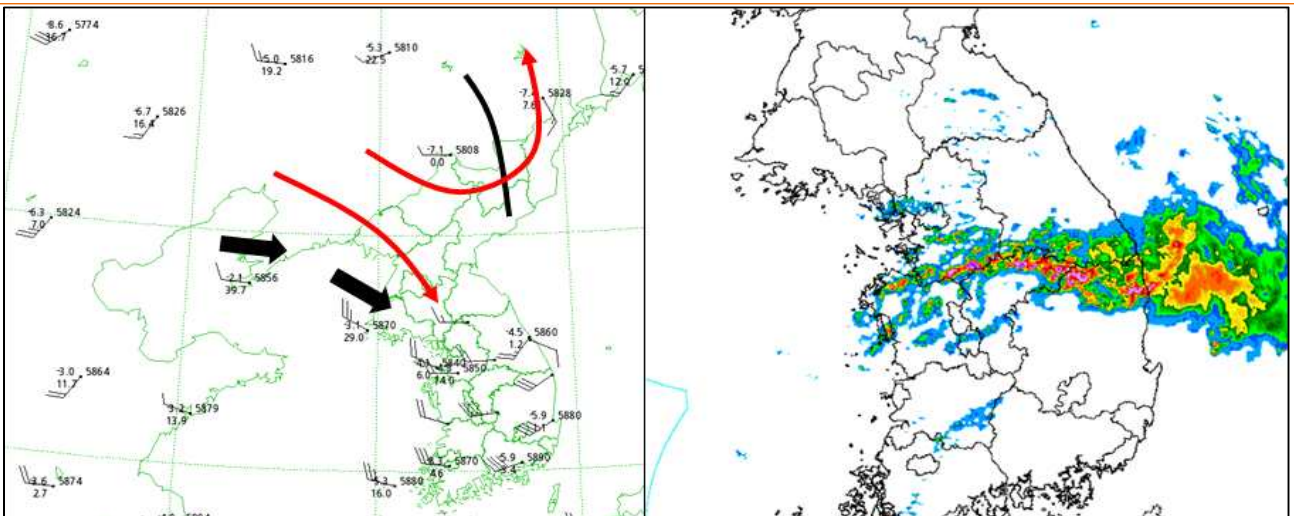
15일 09시 500hPa 일기도

- 북태평양고기압의 경계인 5880gpm 라인은 크게 변동이 없음.
- 다렌(요동반도) 고층 관측자료를 보면 700hPa에서는 고기압성 흐름에 의해 북풍 계열의 바람이 나타났지만, 500hPa에서는 남서류가 관측되고 있음.



건조공기가 남하하는 경우(좌)와 남하하지 않는 경우(우) 모식도

- 위 모식도와 같이 건조공기가 내려와 대기가 압축되기 위해서는 다렌, 백령도 까지 북서 기류가 관측되어야 하고, 300mm이상의 강수가 나타나기 위해서는 500hPa에서 북서류가 관측되어야 함.



2020년 8월 1일 21시 500hPa GTS 분석(좌), 2020년 8월 2일 06시 레이더 영상(우)

- 비슷한 기압계 패턴에서 강한 호우가 나타났던 2020년 8월 2일의 경우에는 500hPa에서 북서류가 관측 된 것을 확인할 수 있음.

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 북쪽 고기압성 순환의 강도와 깊이를 고려했다면
 - 발해만의 서쪽에서 700hPa의 고기압성 순환이 관측되었으나, 이는 대기압축의 약화로 300mm이상의 호우로 이어지기 어려움.
 - 다렌지역과 백령도 지역으로 500hPa에서 고기압성 순환에 의한 북서기류가 예상되는지 검토하여 강수량 예보에 반영 필요함.

더불어봄 사례분석

2019년 여름철 강수 사후분석 사례



1. 2019년 6월 4일 사례

시어역 강수

절리저기압이 약화될 때 후면 건조역은 분류되어 남하하지 못함

1. 예보와 실황은?

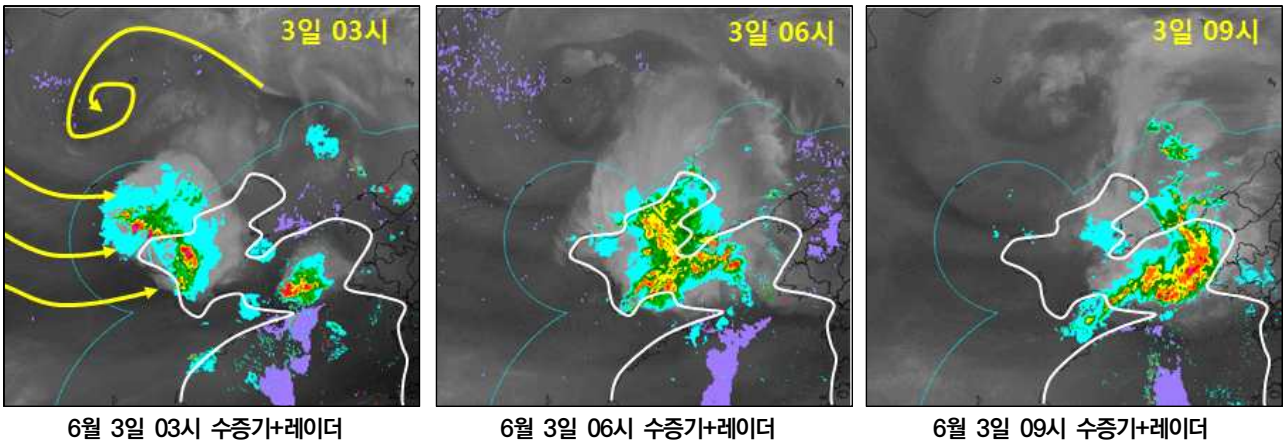
예보 (6월 3일 17시 발표)	실황
<ul style="list-style-type: none">• 서해5도 5~20mm, 경기북부 5mm 내외• 서울,경기남부 빗방울 <p>[분석팀 제언 서해안,경기북서부 5~40mm, 서울,경기 5mm 내외</p>	<ul style="list-style-type: none">• 백령도 1.4mm

2. 이슈 사항

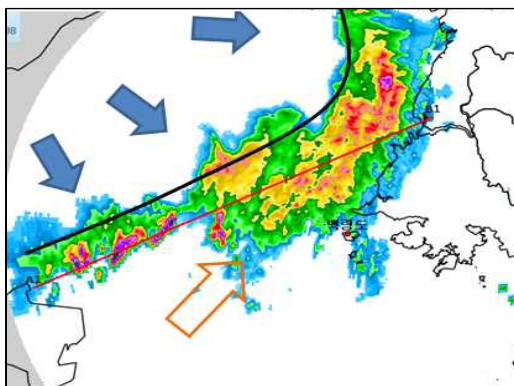
- 이슈 1) 3일 새벽과 같은 강수가 있을 것인가?
- 이슈 2) 3일에 비해 상층의 강제력과 하층제트의 강도는 강한가?
- 이슈 3) 4일에도 일변화에 의한 모델과의 강수 남북 편차가 있을까?

3. 주요 분석내용

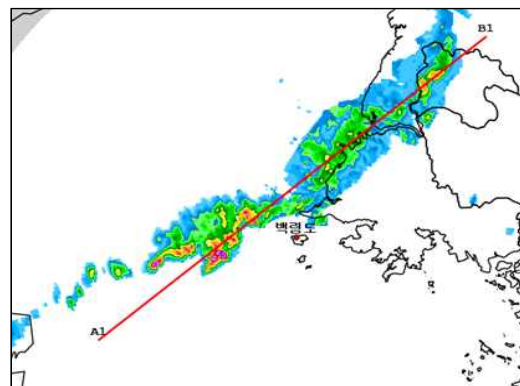
- 이슈 1) 3일 새벽처럼 MCC 강수가 발달할 것인가?



- 3일 새벽, 발해만 북서쪽에 중심을 둔 절리저기압의 남쪽으로 건조라인이 남하하며 하층 시스템 발달
- 해상(발해만)으로 진출하면서 더욱 발달되어 동남동진하면서 이동
- 낮이 되어 내륙(북한지역)으로 유입되면서 급격히 약화됨



6일 10시 레이더 영상

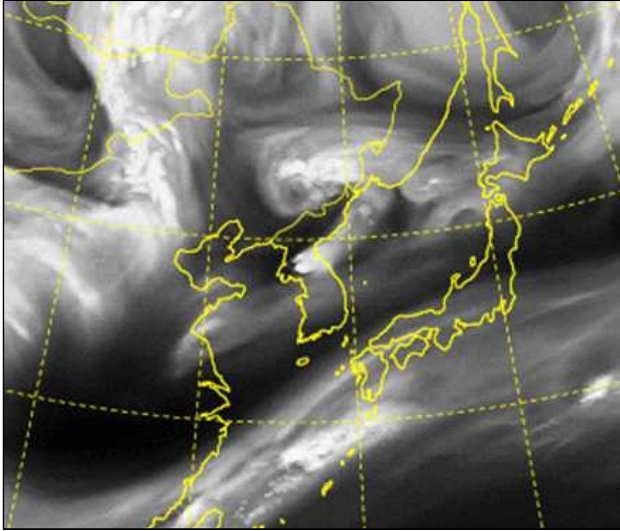


6일 11시 30분 레이더 영상

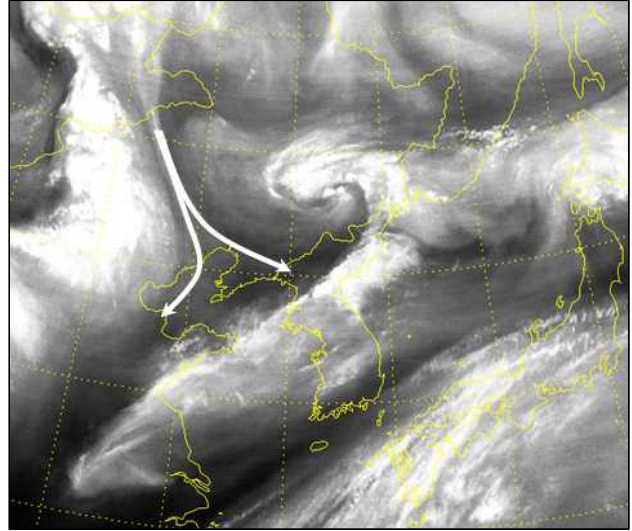
☞ 3일 강수는 MCC 강수의 특성을 가진다.

- 최초 발생 시 300km × 300km 원형의 규모로 발생하여 6시간 이상 지속됨
- 난기가 유입되는 지역으로 상층 건조공기가 트리거 역할을 하면서 다중 대류셀로 발달함
- 난류 혼합이 강한 낮 시간대, 하층 남서류가 약하고 건조한 내륙으로 유입되며 약화됨
- 4일 새벽에도 3일과 메커니즘이 크게 다르지 않을 것으로 예상함

● 이슈 2) 3일에 비해 상층 강제력과 하층제트의 강도는 강한가? ⇒ 실황과 다름



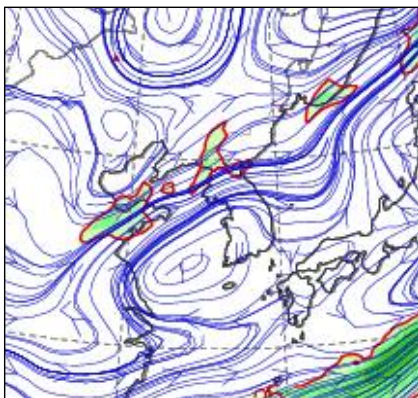
4일 06시 수증기 모의(+27h)



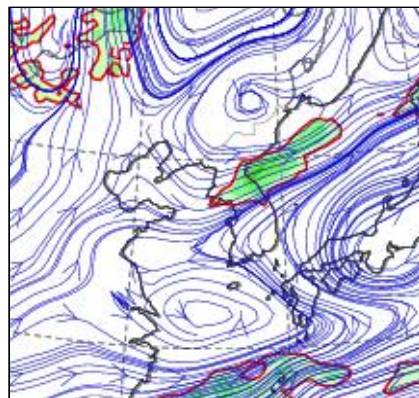
4일 06시 수증기 영상

- 발해만 서쪽의 저기압성 회전은 약화되며 백두산 북쪽으로 동진
- 후면에 광범위한 하강류가 존재해 상층 강제력은 3일과 비슷할 것으로 예상함
⇒ 실제로는 절리저기압의 회전이 와해되면서 후면의 건조 공기가 분류되어, 서해안으로 건조 공기의 침투가 약했음

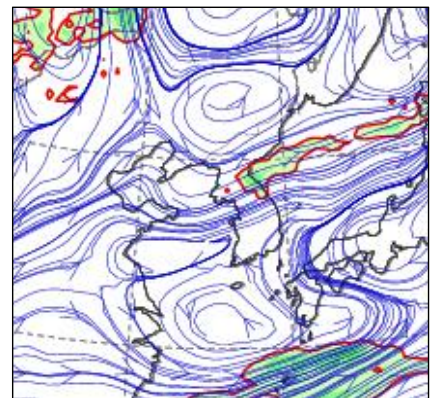
5~6월 고상당온위가 북상 전 만주지역으로 통과하는 절리저기압 강도와 규모가 약할 때는 후면의 건조공기 남하 시, 분류에 의해 남하하지 못하고 약화 될 수 있음
따라서 실황에서 절리저기압 강도분석이 중요 ☞ 수증기영상 건조라인 추적 필수



3일 09시 925hPa 유선(초기장)



4일 09시 925hPa 유선(3일 09시 발표)

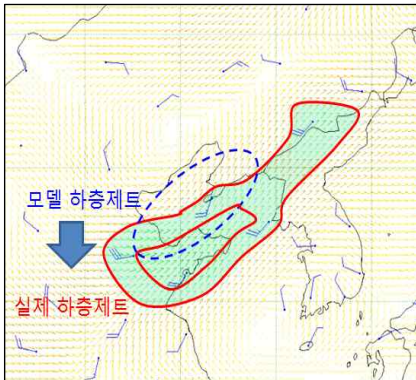


4일 09시 925hPa 유선(초기장)

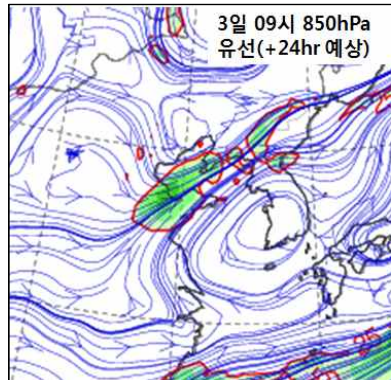
- 저기압 남쪽으로 유입되던 하층제트(25kts이상)는 중심의 위치가 동쪽으로 이동했지만 강도는 비슷할 것으로 예상함
- 상층 건조역이 분류되면서 북→남 흐름보다 서→동으로 빠져나가는 흐름이 강해짐
⇒ 하층제트가 동쪽으로 빠르게 빠져나가면서 경기만쪽으로 수렴대가 형성되지 못함

● 이슈 3) 4일에도 일변화에 의한 모델과의 강수 남북 편차가 있을까?

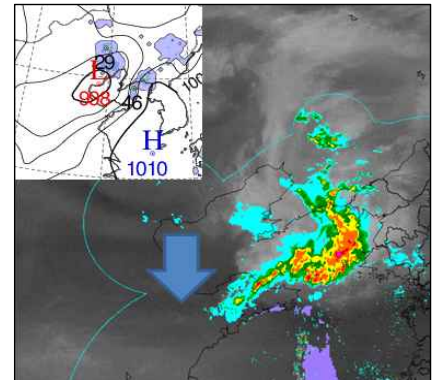
- 6월 3일 09시 실황에서는 850hPa 하층제트 모델보다 남쪽으로 발달하였고, 그에 따라 강수 밴드도 모델 예상보다 약 100km 남쪽에 형성됨



3일 09시 850hPa 바람

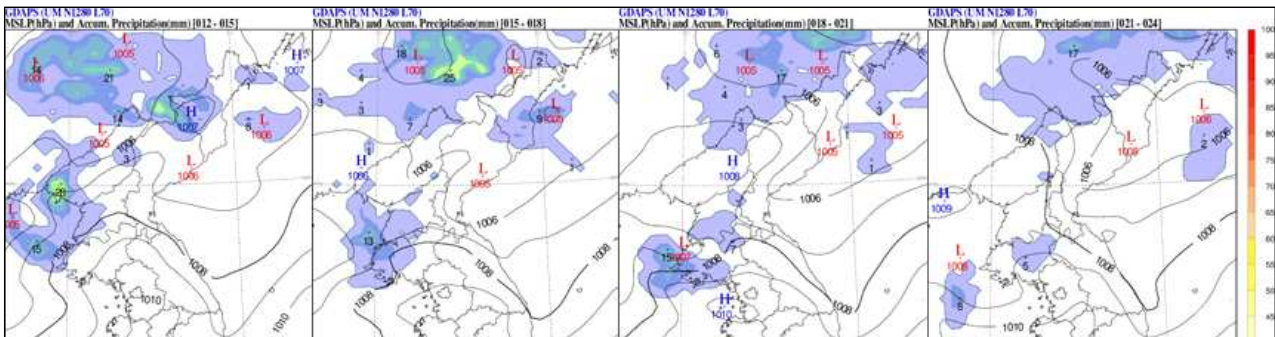


3일 09시 850hPa 유선(+24hr 예상)

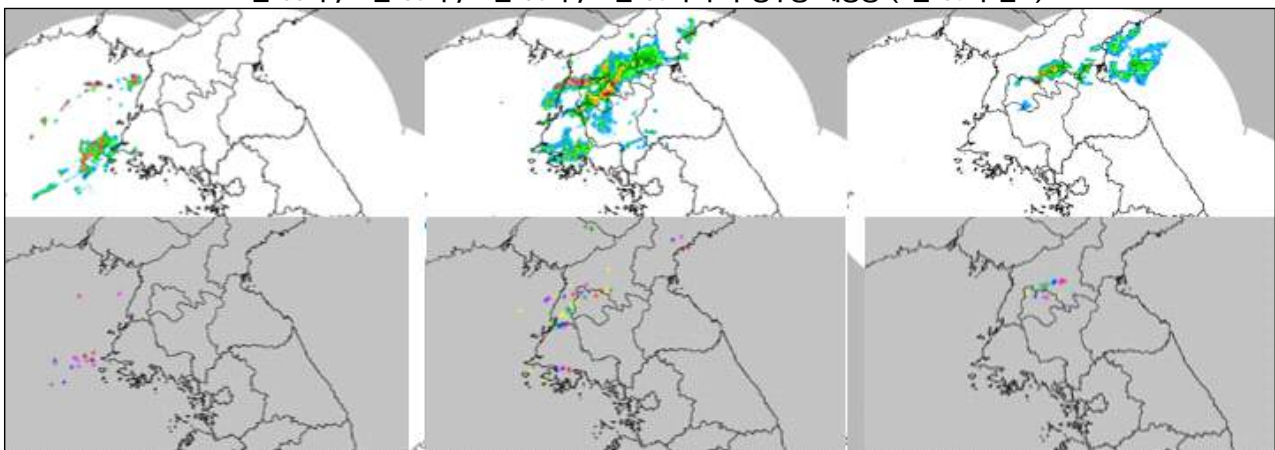


3일 09시 레이다+위성 중첩

- 새벽에 하층제트의 강화와 고도장 하강을 반영한 결과로 분석하여 4일에도 모델 예상보다 강수 밴드가 남쪽으로 형성될 것으로 예상함



4일 00시 / 4일 03시 / 4일 06시 / 4일 09시 누적 강수량 예상장 (4일 09시 발표)



4일 00시 / 4일 03시 / 4일 06시 레이다+낙뢰 영상

- 건조역이 남하하지 못하고 동진하면서, 4일 03시 이후로는 강수밴드가 남쪽으로 이동하지 못하고 동진하여 09시 전에 강수가 종료됨
- 3일 강수는 일변화의 특성보다는 건조역에 의해 강수가 강화되면서 남쪽으로 이동했던 것으로 판단됨

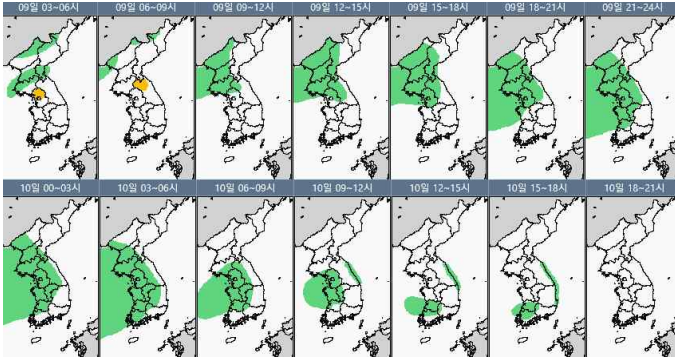
☞ 상층 강제력이 강할 때는 일변화에 의한 강수의 남북 편차 고려는 제한적

2. 2019년 6월 9일~10일 사례

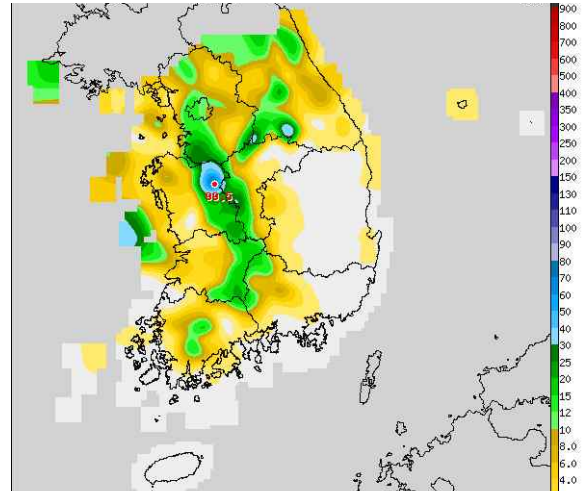
상층 저리저기압의 느린 이동 상층과 하층 저기압 중심이 분리?

1. 예보와 실황은?

예보 (6월 8일 17시 발표)



누적 강수 실황 (6월 9일~10일)

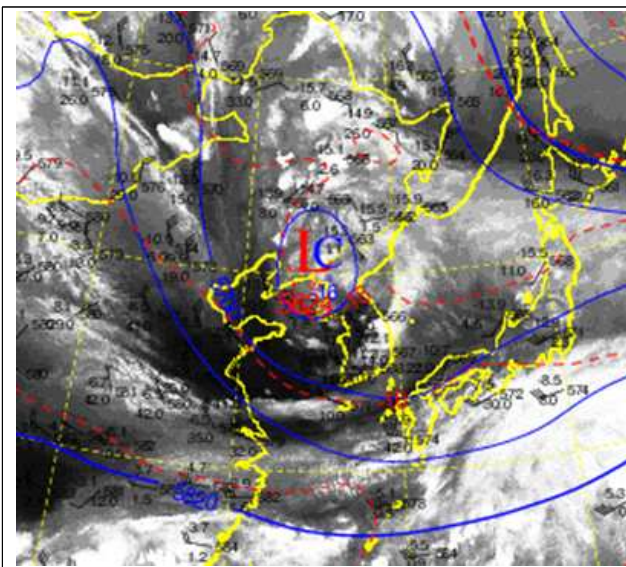


2. 이슈 사항

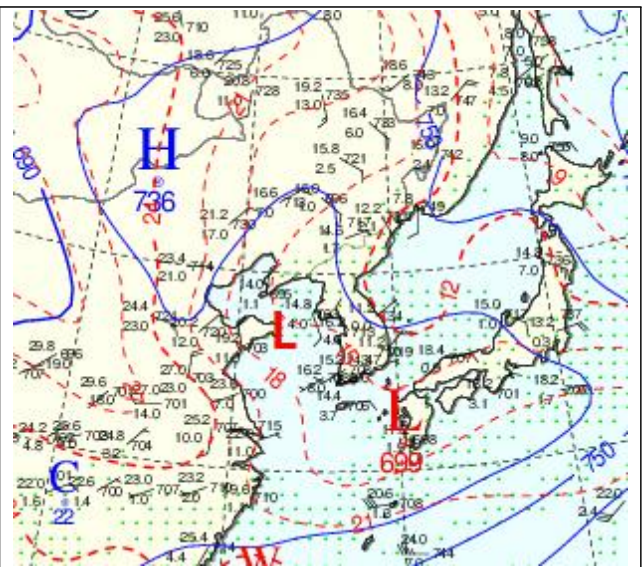
- 이슈 1) 9~10일 기압계에서 놓치지 말아야 했던 것은?
- 이슈 2) 9~10일 강수 메커니즘은 무엇인가?

3. 주요 분석내용

- 이슈 1) 9~10일 기압계에서 놓치지 말아야 했던 것은? ⇒ 상하층의 분리



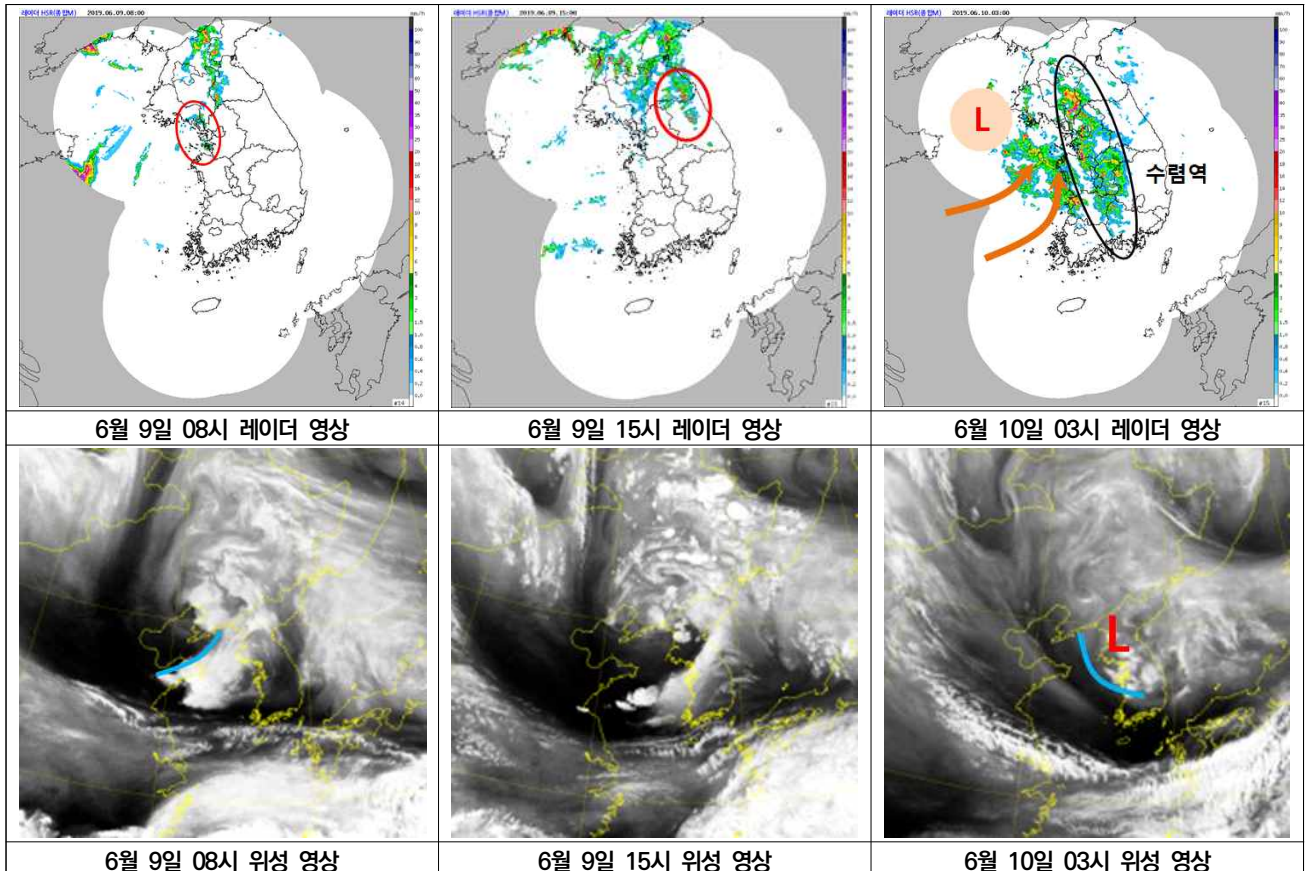
2019년 6월 9일 21시 500hPa 일기도 + 수증기



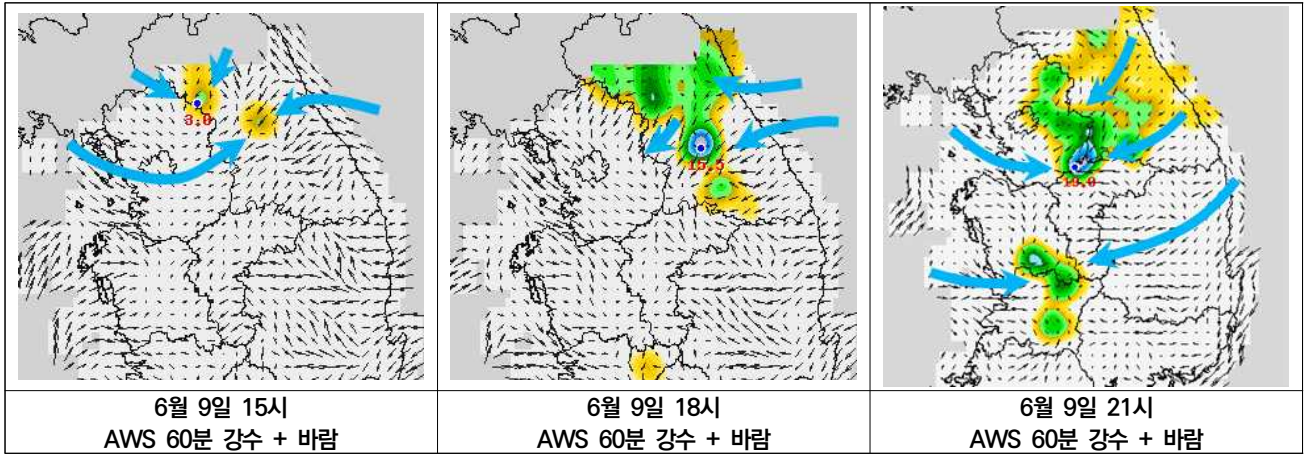
2019년 6월 9일 21시 925hPa

- 한기를 동반한 몽골 동쪽의 상층 절리저기압이 발해만으로 남하하여 중부지방을 통과
- 그러나 상층과 지상의 저기압이 분리되었음, 지상 저기압의 중심은 상층 저기압의 전면이 아니라 서해상으로 남하, 지상 저기압 전면에 위치한 서해안에는 서풍이 유입됨
- 한편, 동해상에는 오호츠크해 부근에 있는 절리저기압 후면으로부터 상층의 한기가 쌓이면서 지상 고기압이 형성되어 있던 상태였음, 몽골 동쪽의 절리저기압이 남하하면서 한기가 더해짐, 동해안으로 유입되던 동풍이 강화되었음

● 이슈 2) 9~10일 강수 메커니즘은 무엇인가?

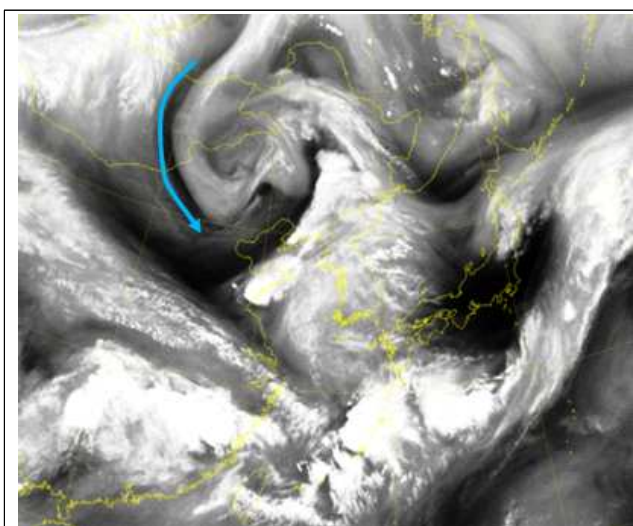


- 9~10일 사이 각각 다른 메커니즘으로 3개의 강수대 발달
- ① **9일 새벽~아침**: 몽골 남동쪽 절리저기압 전면에서 상층 한기 남하로 인한 불안정 강수 발달, 경기서해안에만 약한 강수 내림 → 건조역이 서해상으로 남하하면서 상층 한기가 내륙으로 완전히 유입되지 못했음, 따라서 강수대는 해안에만 영향을 줌
- ② **9일 오후**: 상층 한기 + 하층 기류 수렴(동풍-서풍)에 의한 불안정 강수 → 동풍과 서풍이 수렴하는 지역에서 대류성 강수 발달, 동풍이 강해지면서 강수대는 서쪽으로 이동하며 확산되었음, 전북내륙과 충남내륙에도 동풍이 깊게 유입되면서 기류 수렴역에 의한 강수 발달, 상층의 건조역까지 지원되기 시작해 불안정이 강화됨
- ③ **10일 새벽**: 상층 저기압 통과에 따른 강수대가 해상에서부터 발달, 상층 저기압 중심이 북한 지방을 통과하면서 저기압을 따라 건조역이 침투하는 충청과 전북지역으로 강수대 유입됨, 그러나 하층 저기압은 상층 기압계를 따라가지 않고 계속 서해상에 머무르면서 서해안에 남풍을 유입시키면서 강수대가 내륙 깊이 유입되지 못함

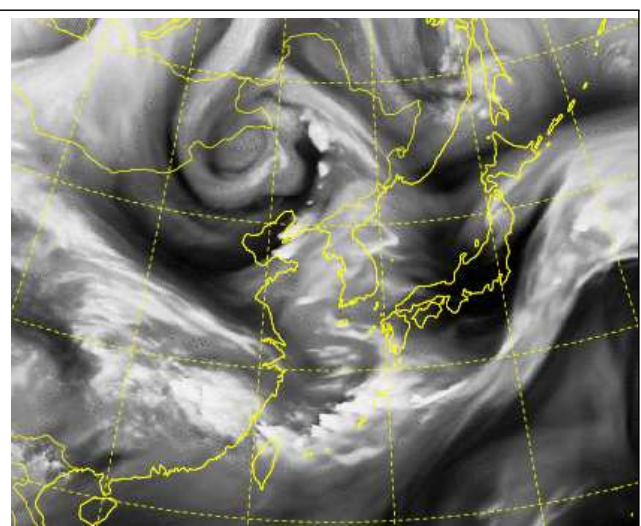


4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- **실황분석을 통한 절리저기압의 강도 및 이동 상황 파악**
 - 실황에서 나타나는 절리저기압 주변의 풍속이 모델 예상보다 강하게 나타났음, 따라서 저기압이 더 강하게 발달하고 이동이 느린 것을 파악할 수 있었음
 - 9일에 영향을 주는 건조역이 늦어지면서 9일 오전보다는 오후에 대류성 강수 가능성이 높아짐
- **절리저기압의 느린 이동은 강수 시간뿐만 아니라 주변 기압계에도 영향**
 - 9일 오후, 동풍과 서풍 기류의 수렴에 의해 발생한 대류성 강수로 동쪽 내륙에서 수렴역이 발달한 뒤 동풍이 강화되면서 서쪽으로 확대되는 상황
 - 저기압 통과에 따라 북서쪽에서부터 강수 영역이 확대되어 나가는 일반적인 그림과 다른 양상으로 전개되었음
 - 앞서 실황분석을 통해 파악한 절리저기압의 느린 이동은 동해상의 고기압이 정체할 수 있게 도와주는 요소도 된다는 것을 놓침 → 동풍의 유지



6월 8일 12시 히마와리 수증기 영상

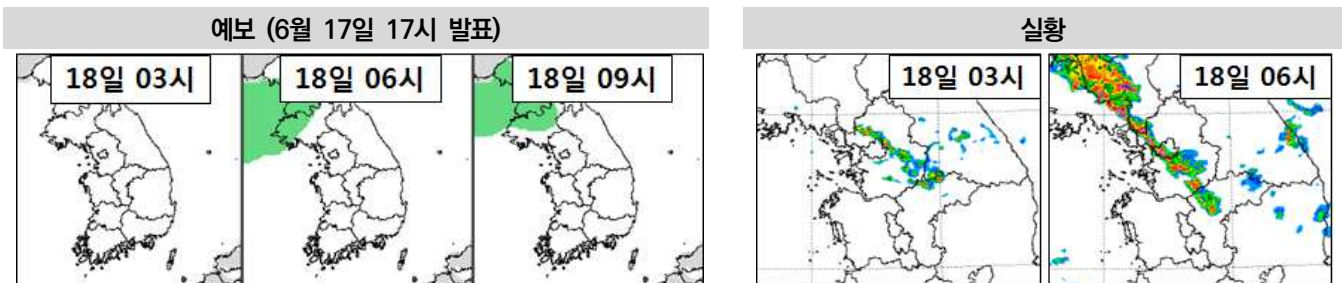


6월 8일 12시 UM 수증기 모의 영상(+15h)

3. 2019년 6월 18일~19일 사례

대류성 구름이 발생할 트리거가 없다고? 여름철 서해안 온난이류를 주목하라!

1. 예보와 실황은?

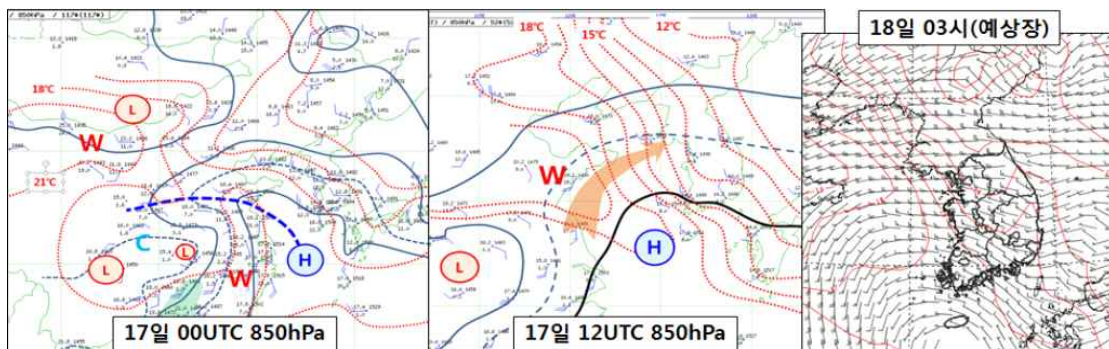


2. 이슈 사항

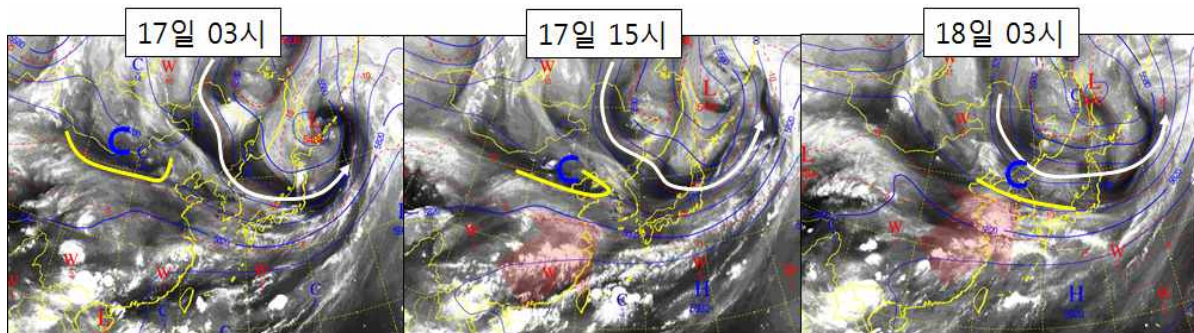
- 이슈 1) 강수의 메커니즘은? (소낙성 강수의 트리거는 무엇인가?)
- 이슈 2) 여름철과 겨울철의 온난이류는 무엇이 다른가?

3. 주요 분석내용

- 이슈 1) 강수의 메커니즘은? (소낙성 강수의 트리거는 무엇인가?)



- 17일 아침, 화남지역의 저기압 전면으로 난기 강하게 유입
- 밤부터 고기압성 순환을 따라 난기이류 서해상으로 형성, 서해상 온도경도 증가
- 18일 03시 200km에 온도경도 3.5°C, 서풍 15kts 예상 (온난이류 충족)



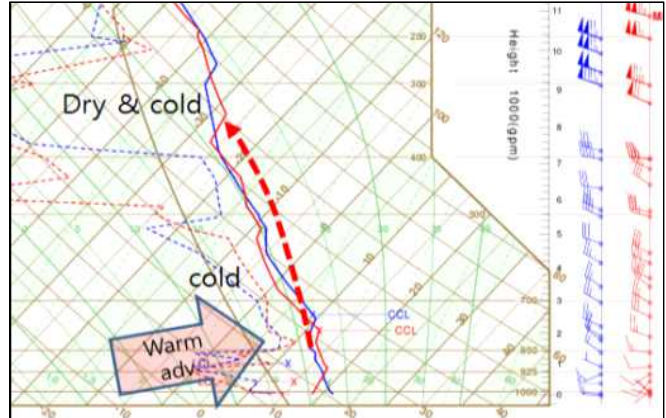
- 몽골 남쪽에 건조역이 남동진하고, 연해주 절리저기압의 회전에 따라 점차 강화되어 한남의 경계가 뚜렷함

→ 따라서 하층에서 큰 온도경도와 강한 서풍으로 인하여 온난이류가 활발히 이루어지고, 상층에서는 건조역이 위치하며 대기가 불안정해짐

● 이슈 2) 여름철과 겨울철의 온난이류는 무엇이 다른가?



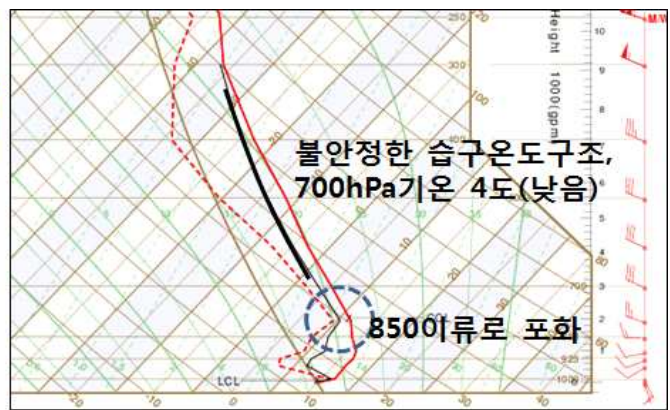
겨울철 온난이류 사례의 오산 단열선도
(2017년 12월 18일 09시)



이번 사례의 단열선도
(2019년 6월 18일 09시)

- 겨울철의 경우는 하층에 난기가 유입되더라도 대류억제 구역 때문에 연직적으로 크게 발달하기 어려움
- 여름철의 경우는 700hPa의 온도경도가 4°C 이하일 경우 대기가 연직적으로 불안정한 구조를 보이므로, 하층 트리거만 있다면 대류가 폭발적으로 발달 가능한 조건임
- 결국 불안정한 대기에서 강수 트리거는 850hPa의 온난이류이며, 850hPa Warm 경계를 따라 convection line 형성됨

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?



● 정확한 메커니즘의 이해와 예보 도입

- 850hPa 상세바람장의 온도경도와 바람, 그리고 단열선도를 볼 때 850hPa에서 포화되어 convection이 나타날 수 있는 대기 조건임
- 새벽과 아침에 온도경도가 크게 형성되므로 온난이류가 트리거로 작용하는 주 시간대는 새벽부터 아침까지임을 고려하여 예보했어야 함

4. 2019년 7월 10일 사례

제주도 동쪽? 서쪽?

저기압 경로에 따른 강수 집중 구역 찾기

1. 예보와 실황은?

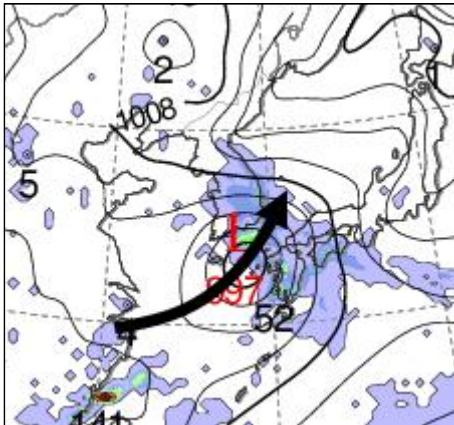
예보 (7월 9일 17시 발표)	실황
<ul style="list-style-type: none">서울, 경기도, 강원영서, 제주도 20~60mm	<ul style="list-style-type: none">제주 대부분 10~70mm, 제주 서부 5mm 내외, 많은 곳 100mm 이상 (성판악 137mm, 진달래밭 107mm, 제주 104.7mm, 한라생태숲 104.5mm)서울, 경기도, 강원영서 5~15mm

2. 이슈 사항

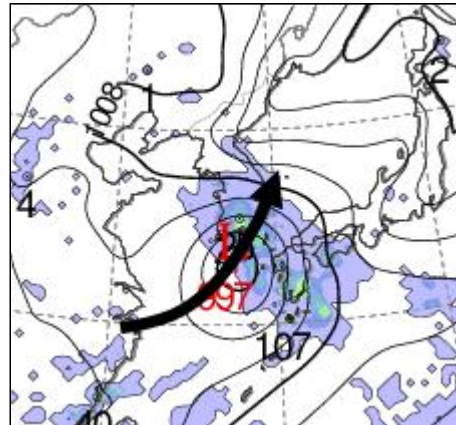
- 이슈 1) 저기압의 이동 경로는 제주도 서쪽인가? 동쪽인가?
- 이슈 2) 그에 따른 제주도 강수량은? ⇒ 예측 실패
- 이슈 3) 남쪽 저기압 통과 시 중부지방의 강수량은? ⇒ CCB 예측 실패

3. 주요 분석내용

- 이슈 1) 저기압 이동 경로는 제주도 서쪽인가? 동쪽인가?

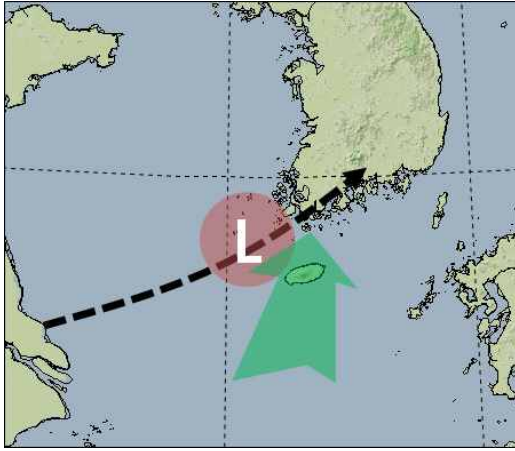


7월 10일 21시 지상 예상장(8일 21시 모델)

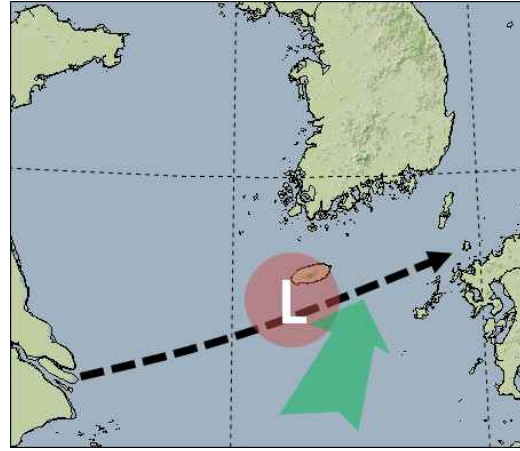


7월 10일 21시 지상 예상장(9일 09시 모델)

- UM은 저기압이 상해 부근에서 제주도 서쪽 해상으로 북동진하는 것으로 모의 (8일 21시 모델) 하다가 제주도 동쪽에서 부산을 통과하는 것으로 바뀐(9일 09시 모델)
- 반면 ECMWF는 계속 대한해협을 통과하는 것으로 예상



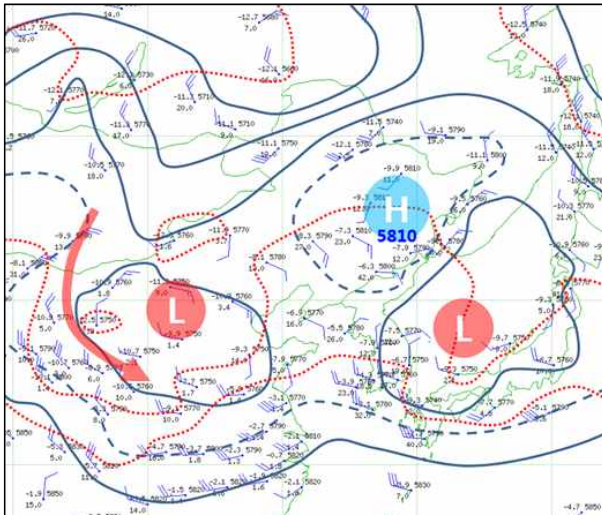
저기압이 제주도 북서쪽을 통과할 때



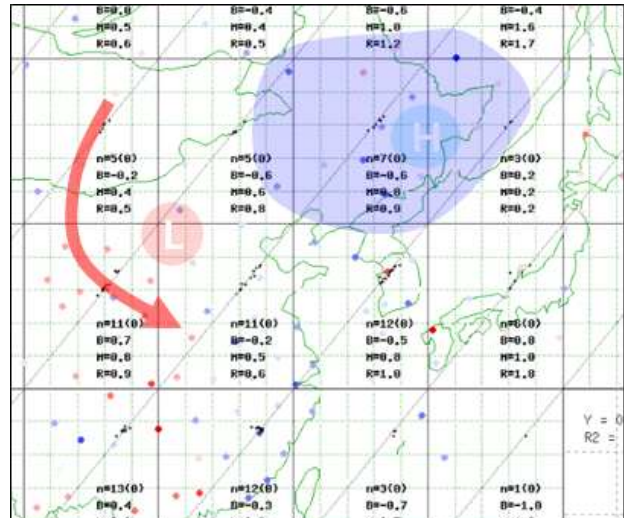
저기압이 제주도 중심 또는 남동쪽을 통과할 때

- 저기압이 제주도 북서쪽을 통과한다면, 제주도는 저기압의 전면에서 남풍류가 유입됨
→ 남풍류에 의한 지형성 강수가 지속되면서 많은 강수 가능
- 반면에 저기압이 제주도를 통과하거나 제주도 남동쪽을 지나갈 때는, 지형성 강수의 영향은 약함, 저기압 후면에서 전선성 강수대가 통과하며 적은 양의 강수 발생
→ 과거 사례 대부분 50mm 미만, 태풍의 영향을 받을 때는 100mm 이상 강수량 가능

▶ 실황분석을 통해 저기압의 이동 경로 유추

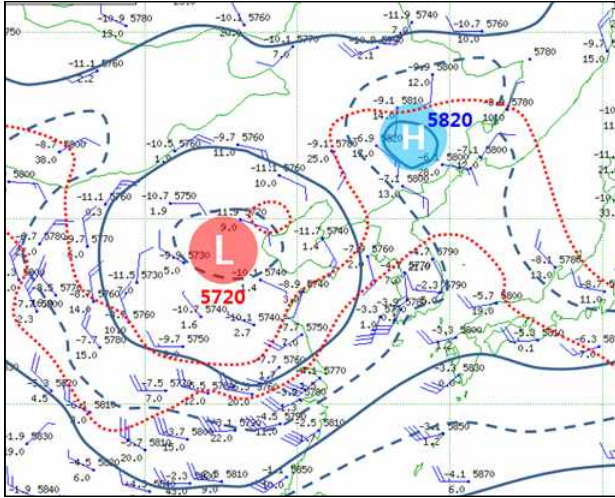


7월 9일 09시 500hPa GTS

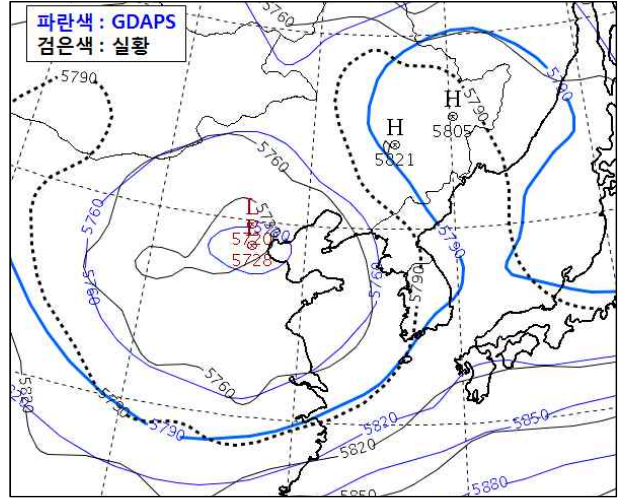


7월 9일 09시 500hPa 기온 편차

- (7월 9일 09시 500hPa GTS 분석)
 - 중국북동지방의 고기압에 형성되어 있는 온도능이 예상보다 강하게 발달
 - 몽골 남동쪽의 저기압 후면의 한기도 실황에서 더 강하게 나타남
 - UM이 ECMWF 모델보다 중국북동지방의 상층 고기압을 강하게 모의
 - 산둥반도 서쪽 저기압을 정체시키면서 지상저기압을 북상시키므로 UM 시나리오가 더 타당한 것으로 분석



7월 10일 09시 500hPa GTS

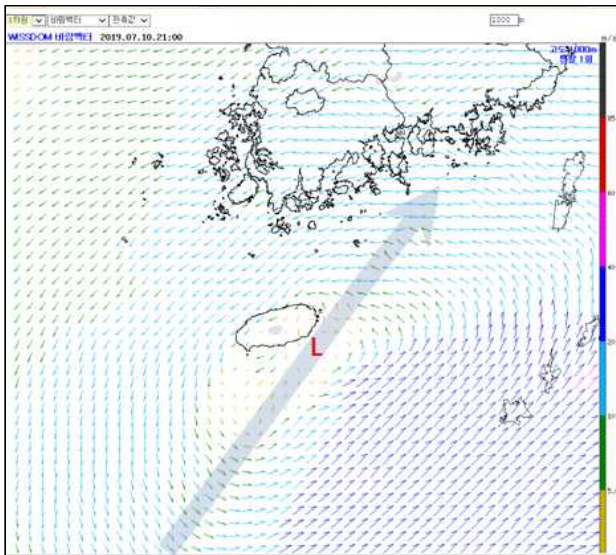


7월 10일 09시 500hPa GTS와 모델 비교

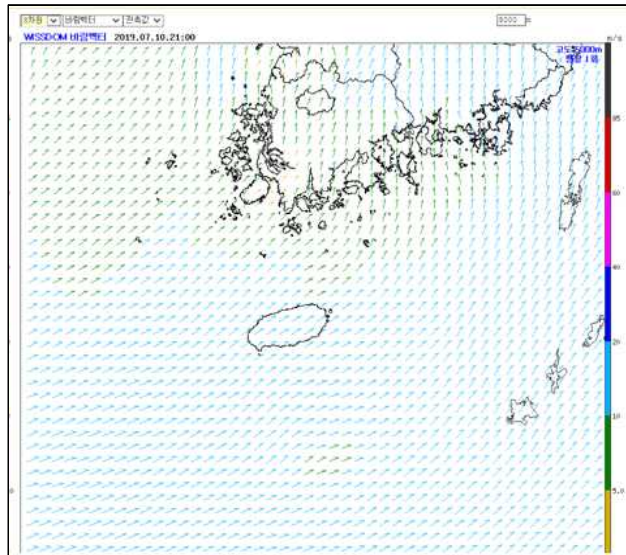
- (7월 10일 09시 500hPa GTS 분석)

- 실황에서 저기압은 제주도를 향해 북동진함, 전일 예상보다 제주도에 접근하는 형태
- 중국북동지방 고기압이 계속해서 모델 예상보다 강하고 중심이 서쪽에 있어 향후 북진 성분이 강화될 것으로 예상
- 저기압은 제주도에 근접한 뒤 경남해안으로 북진할 것으로 분석

▶ 실황에서 나타난 저기압의 이동 경로



7월 10일 12시 레이더 3차원 바람장(1000m)



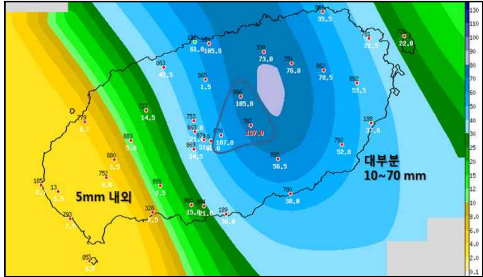
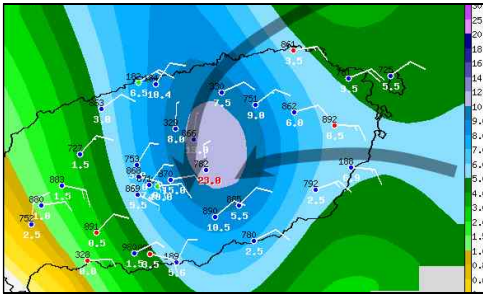
7월 10일 12시 레이더 3차원 바람장(1000m)

- 저기압 중심은 제주도 남동해안으로 근접하여 지나감

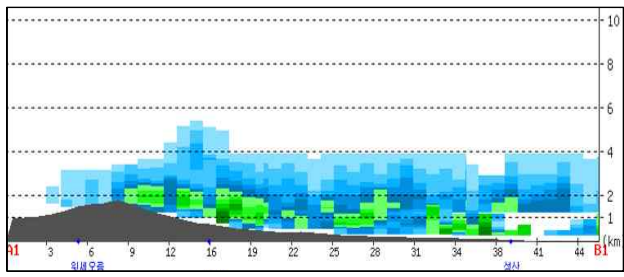
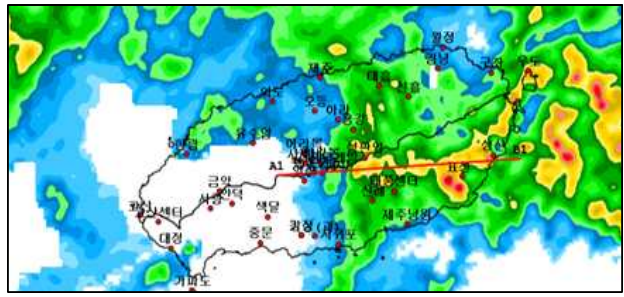
● 이슈 2) 그에 따른 제주도 강수량은? ⇒ 예측 실패

- 저기압이 제주도 동쪽을 지날 것으로 예상하면서 저기압 전면의 남서풍 강풍대는 제주도에 유입되지 못할 것으로 보았음

▶ **실황에서 나타난 강수대의 특징**

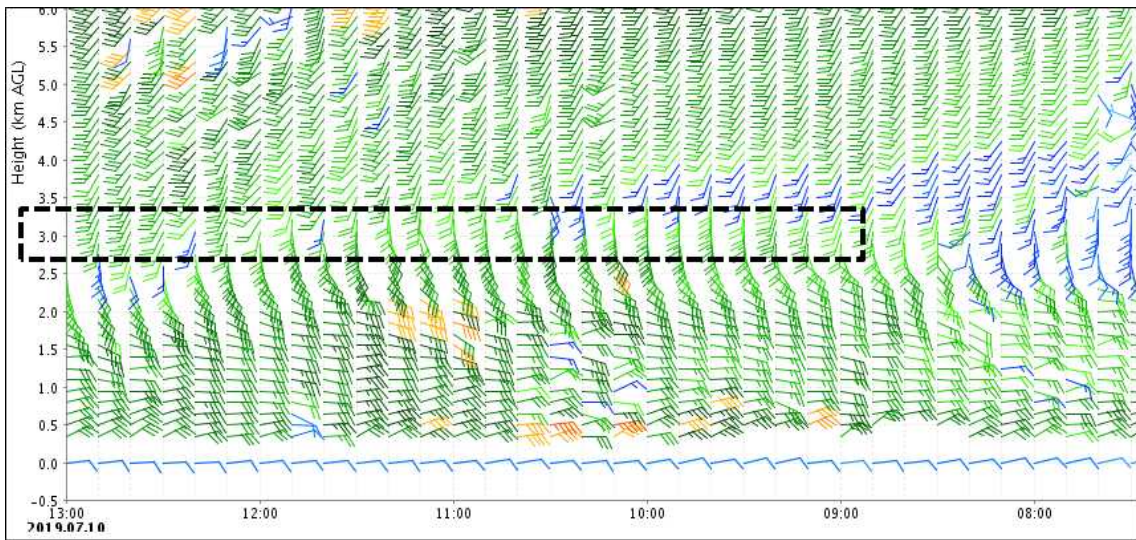


7월 10일 17시 1시간 강수량(상), 일강수량(하)



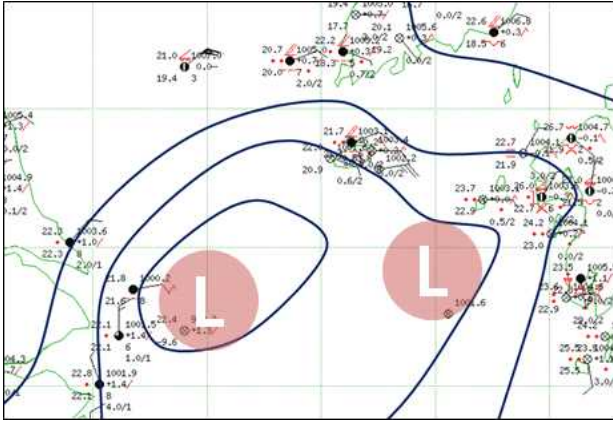
강수예코의 연직 구조

- 진달래발을 기준으로 서쪽과 동쪽에서 강수량 편차가 크게 나타남, 7월 10일 17시 성판악의 1시간 강수량은 23mm 기록됨
- 많은 강수가 발생한 원인은 동풍, 북풍의 수렴과 산사면을 따라 상승하는 지형적인 요인이 있음
- 강수대는 지상에서부터 발달하여 예코 top은 4km 이내, 성판악은 5km까지 발달함 (지형적 상승)
- 제주시 강수 증가 원인은 북풍 기류 유입과 2km 이내로 발달한 강수대의 영향

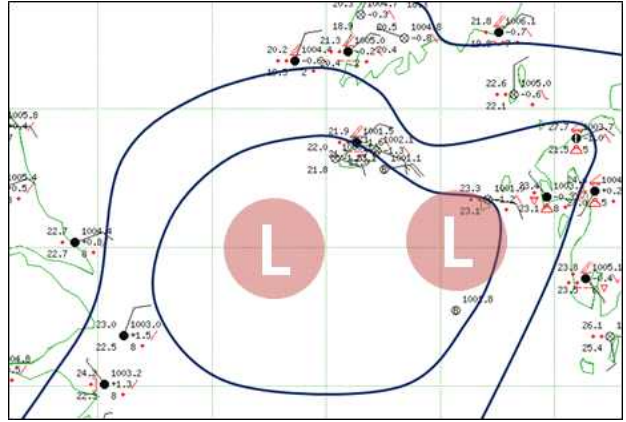


7월 10일 국가태풍센터 연직바람 관측 자료

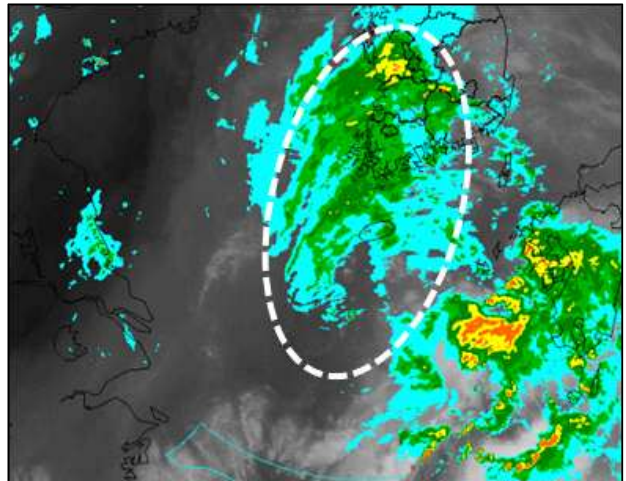
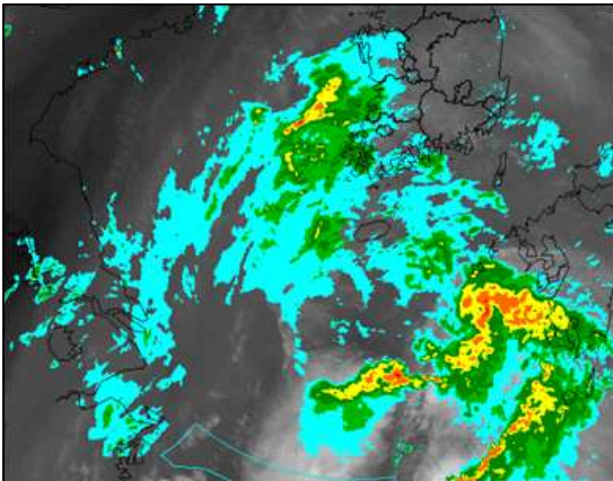
- 동풍은 지상에서 2.5km까지 분포, 남서풍은 4km 이상에서 뚜렷한 것으로 보아 저기압성 회전은 700hPa 이하 하층에서 발달, 강수대의 상하층이 분리된 형태
- ⇒ 전형적인 지형성 강수의 형태



7월 10일 09시 지상 GTS와 레이더+위성 중첩영상

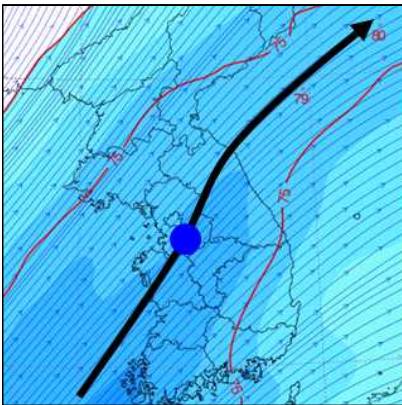


7월 10일 12시 지상 GTS와 레이더+위성 중첩영상

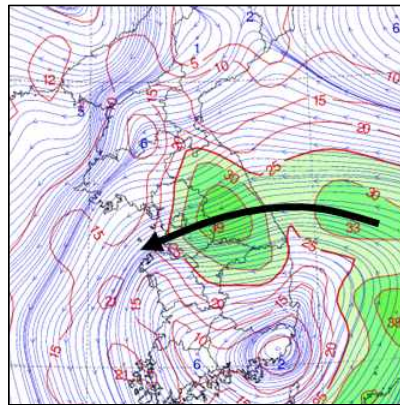


- 지상의 GTS를 묘화해보면 지상저기압이 두개로 분리되어 있는 것을 알 수 있음, 강한 대류성 강수는 수증기가 유입되는 오른쪽 저기압에 동반됨

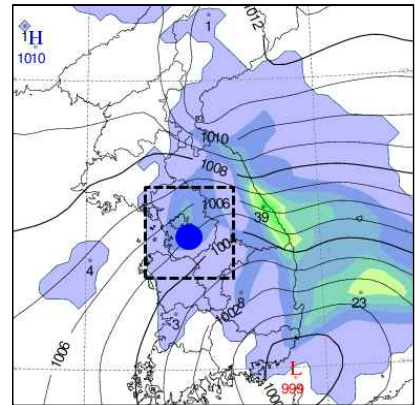
● 이슈 3) 남쪽 저기압 통과 시 중부지방의 강수량은? ⇒ CCB 예측 실패



7월 11일 06시 200hPa 유선장



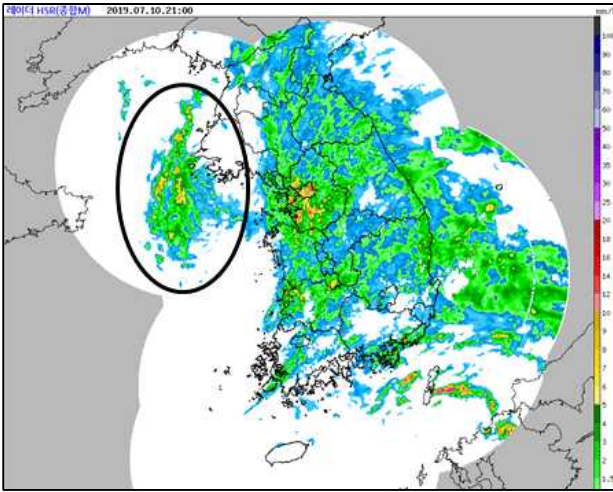
7월 11일 06시 850hPa 유선장



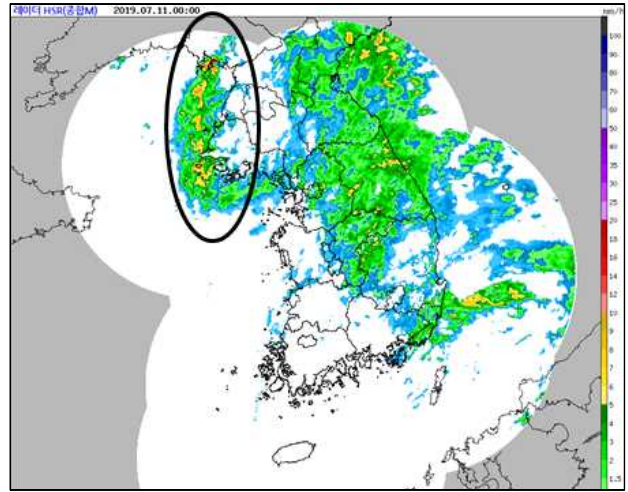
7월 11일 06시 지상 예상장

- 중부지방은 저기압의 북쪽에서 CCB의 영향
- 200hPa과 850hPa 강풍축이 중첩되는 구간에서 강수가 집중될 것으로 분석, 경기남부와 충청도에 CCB가 형성될 것으로 보아 20~60mm 예상

▶ CCB는 북한지방으로



7월 10일 21시 레이더 영상



7월 11일 00시 레이더 영상

- CCB에 의한 강한 강수대는 서해상에서 발달하여 황해도로 유입됨
- 7월 10일 오전까지 북동진하던 남쪽 저기압이 이후 북진하는 경향으로 바뀌면서 CCB도 예상보다 더 왼쪽에서 발달하여 저기압의 이동경로를 따라 북진

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- **제주도 강수 지속시간 고려**

- 저기압 중심이 제주도 남동쪽에 근접하여 느리게 통과
- 제주도에 동풍과 북동풍의 수렴역이 발달하고 강한 동풍을 타고 지형을 따라 상승, 강수대가 상하층이 분리된 형태로 강한 강도는 아니지만 지속적으로 비가 내림, 강수 지속시간이 길어 예상보다 많은 강수량 기록
- 중국북동지방의 고기압과 몽골 남쪽의 저기압이 모델 예상보다 강한 상태임을 고려하면 저기압의 이동이 느릴 수 있음을 분석할 수 있었음

- **실황분석에서 발견한 오차의 확장 해석**

- 실황에서 중국북동지방 고기압의 중심이 모델 예상보다 서쪽으로 치우쳐 있었음, 이에 따라 저기압이 향후 북동진보다는 북진할 것으로 예상되었음
- ⇒ 지상저기압이 북진함에 따라 중심이 예상보다 서쪽에 위치하면서 CCB 구역도 서쪽으로 전향될 것을 충분히 유추할 수 있었음

5. 2019년 7월 25일~28일 사례

정체전선 강수

mT 일변화에 따른 정체전선의 남북진동과 강수 집중구역 오차

1. 예보와 실황은?

예보 (6월 24일 17시 발표)

- 경기남부, 강원영서남부, 충청북부 : 400mm 이상
- 그 외 중부지방(영동 제외) : 100~250mm
- 강원영동, 경북북부 : 10~70mm
- 전남, 경남, 전북, 경북남부 : 5~40mm

실황 (일별 강수구역 예측의 실패)

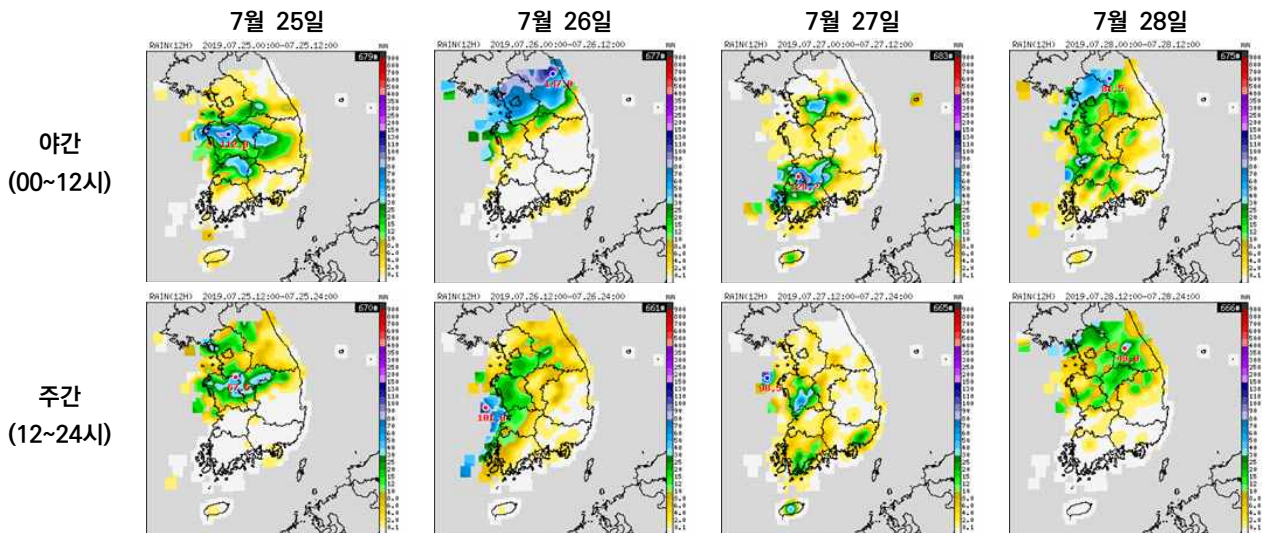
4일 동안 경기남부, 강원영서남부, 충청북부 지역으로 여러 차례 강수가 집중될 것으로 예상
→ 남북진동으로 골고루 강수가 나타나
최고 400mm를 넘지 못함

2. 이슈 사항

- 이슈 1) 강수집중은 하층제트가 강화되는 야간(새벽~오전) 시간대에 나타난다
- 이슈 2) 새벽~아침 시간대에는 강수집중구역이 모델 예상보다 남하한다
- 이슈 3) 주변 기압계의 강제력이 강하면 일변화 효과는 나타나지 않는다

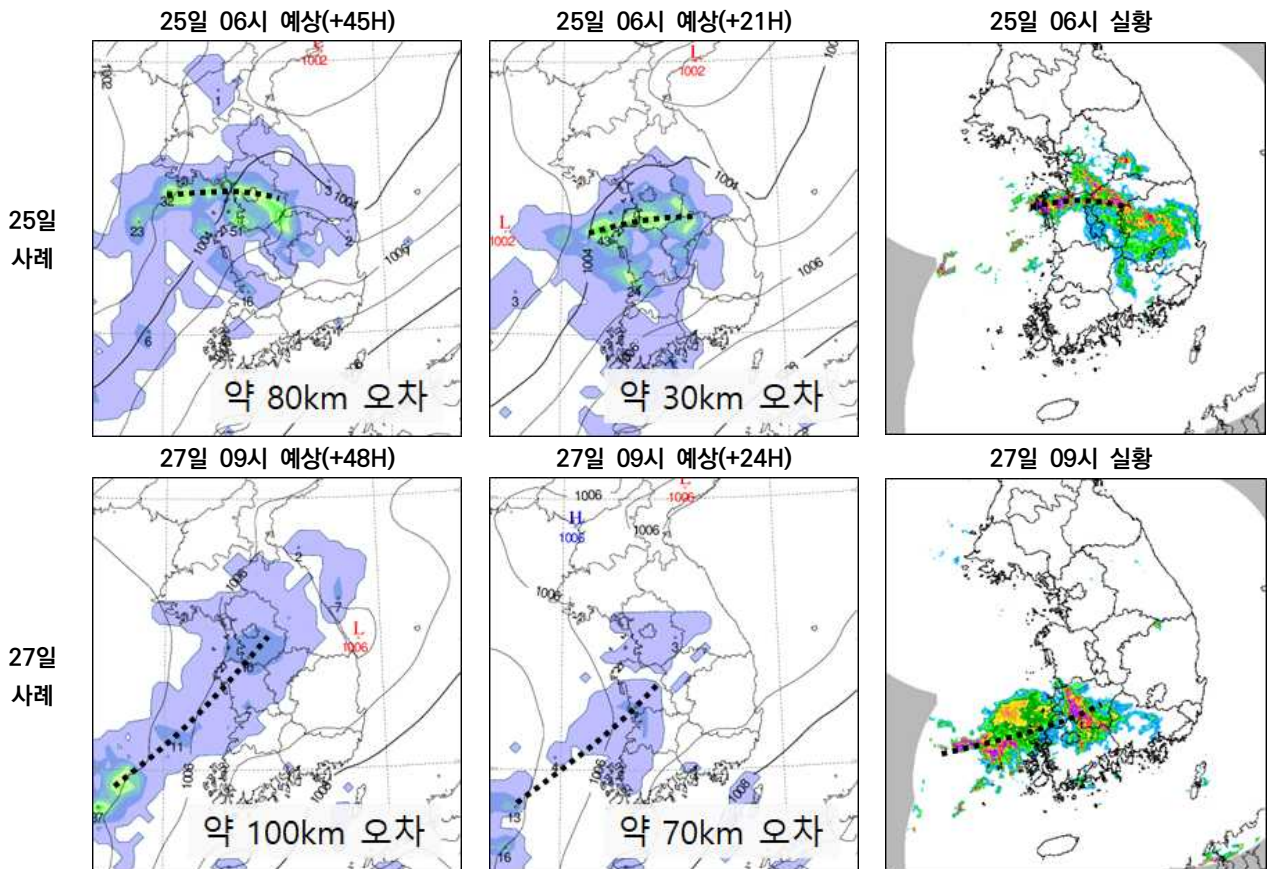
3. 주요 분석내용

- 이슈 1) 강수집중은 하층제트가 강화되는 야간(새벽~오전) 시간대에 나타난다

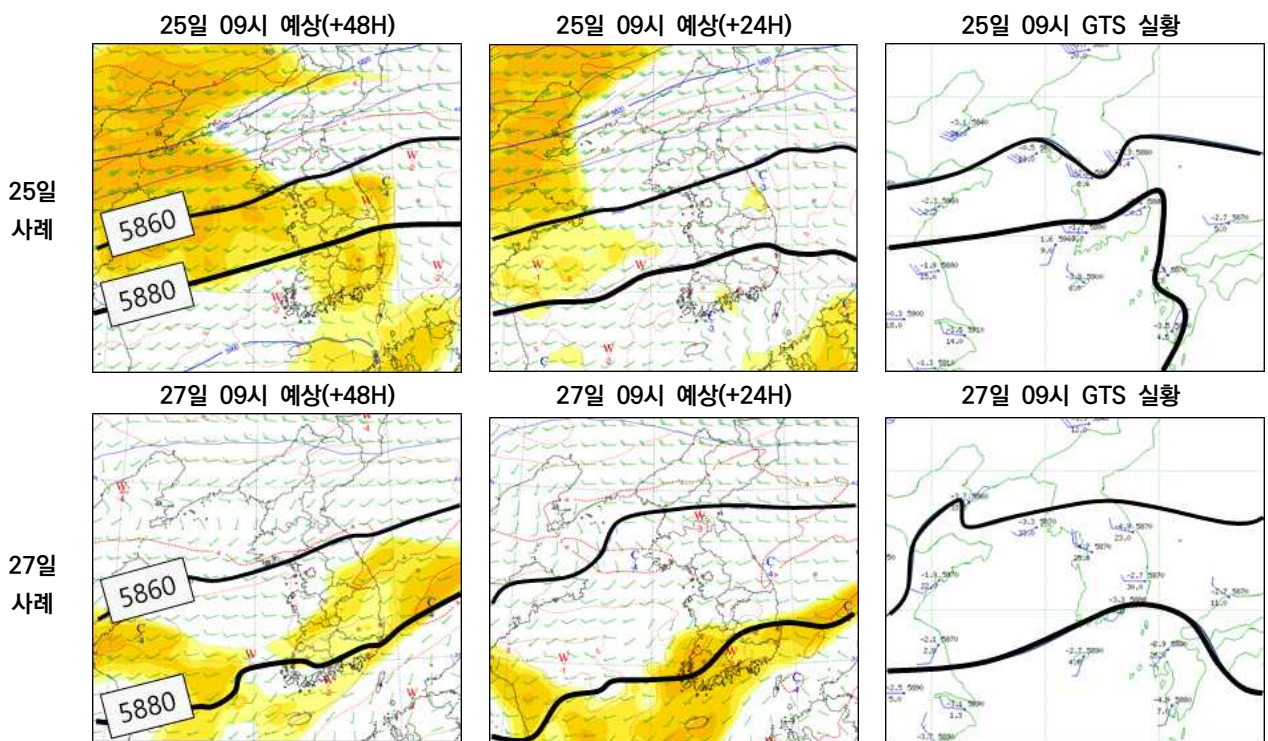


- 호우 유발 인자인 하층제트는 주간(12~24)에 약화되고 야간에 강화되는 특징이 있음
- 7월 25일부터 28일까지 야간(00~12시)과 주간(12~24)으로 누적강수량 분포를 분리해서 보면 야간에는 조직적으로 많은 강수가 나타나는데 비해, 주간에는 해상으로만 많은 강수가 일부 나타나고 육상으로는 산발적으로 적은 강수 기록
- 결국, 야간 시간대에 강수가 집중될 것이라는 분석대로 실황으로 나타남

- 이슈 2) 새벽~아침 시간대에는 강수집중구역이 모델 예상보다 남하한다
 - 정체전선 강수대의 위치는 야간(00~12시) 시간대에 mT의 수축에 의해 남하하는 특징이 있으며, 모델의 예상보다 더 남하하는 경향이 있음

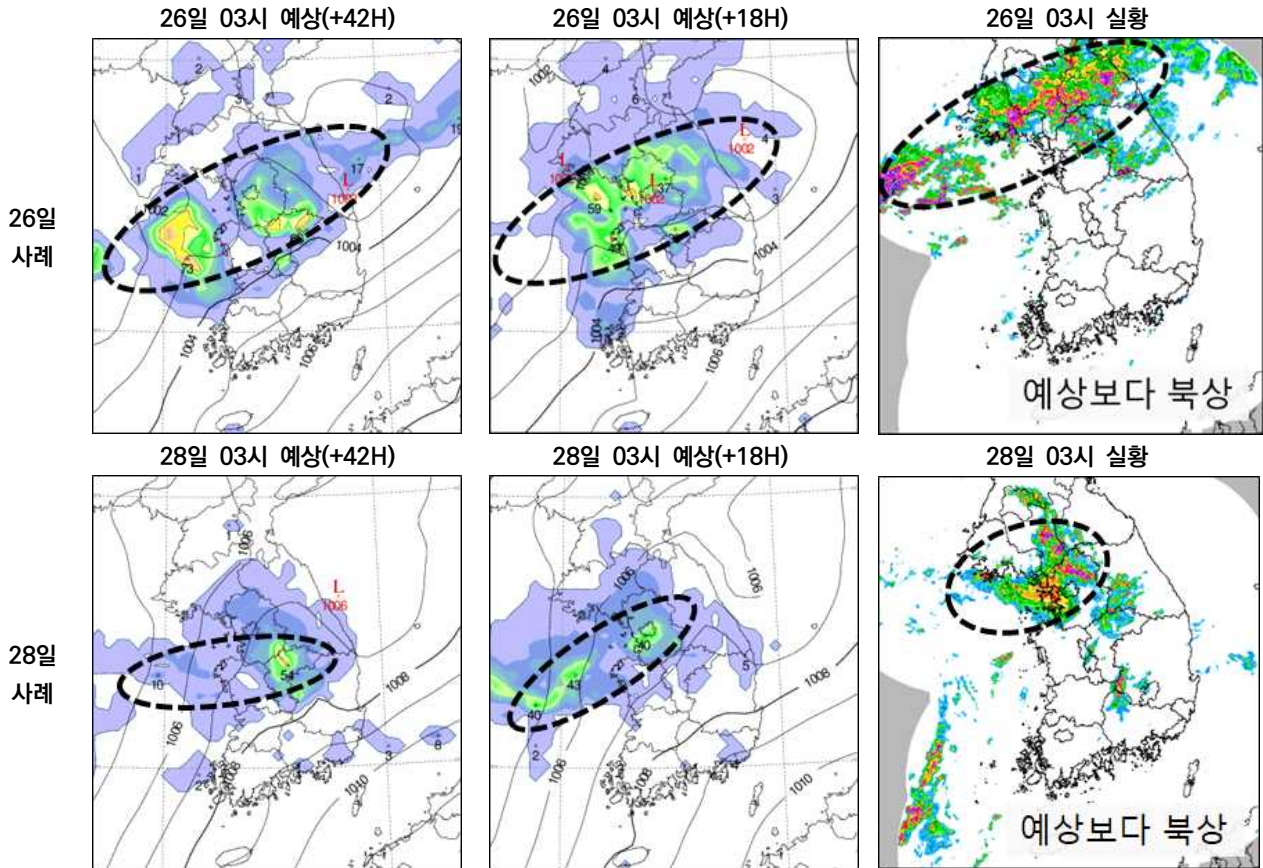


- 정체전선에서 강한 강수대가 발달했던 25일과 27일 아침의 레이더 실황을 보면, 두 사례 모두 당초 모델이 예상했던 강수역보다 크게는 100km의 오차를 보이며 남쪽으로 더 처진 것을 알 수 있음

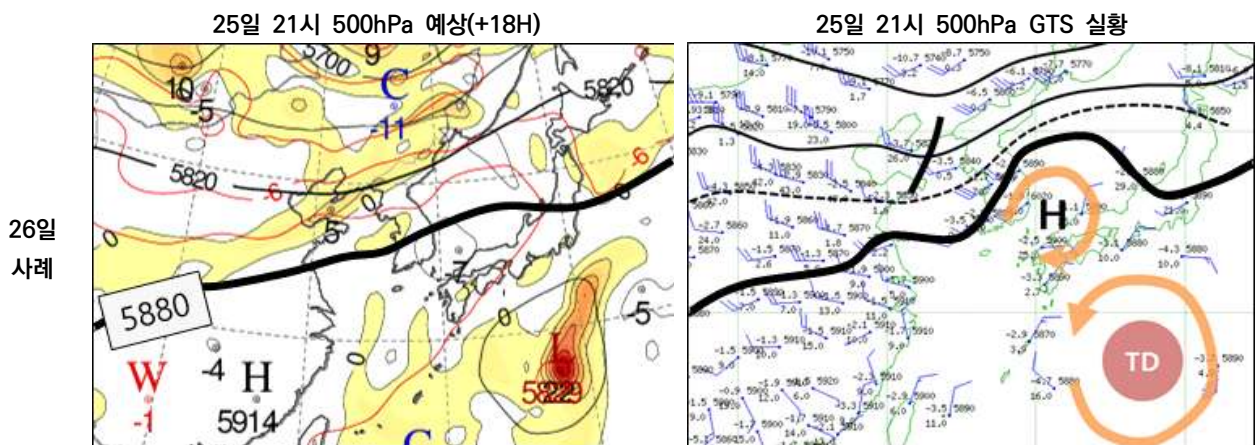


- 또한, 25일과 27일 09시 500hPa의 GTS 고도장을 묘화해보면, 모델의 예상했던 5880gpm선과 5850gpm선의 위치가 실황에서는 더 남쪽에 형성된 것을 확인할 수 있음

● 이슈 3) 주변 기압계의 강제력이 강하면 일변화 효과는 나타나지 않는다



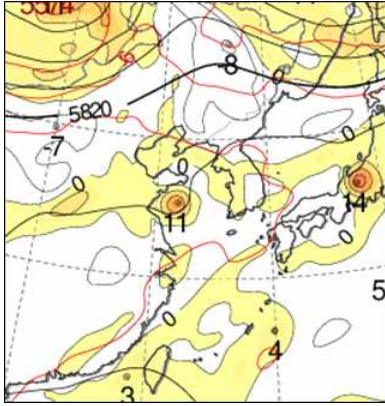
- 앞서 25일과 27일 사례에서 야간(00~12시) 시간대에는 모델 예상보다 강수대가 더 남하하여 나타나는 특징을 확인했음
- 하지만, 26일과 28일 새벽에는 반대로 모델의 예상보다 강수대의 위치가 북상하여 나타난 것을 알 수 있으며, 아래와 같은 주변 기압계의 영향을 받았음



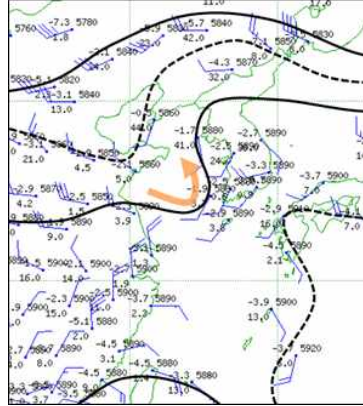
- 26일 사례에서 전날 21시 모델이 예상했던 500hPa 일기도와 GTS 실황을 분석하여 비교해보면, 실황에서 강한 TD 회전력의 영향으로 그 북쪽으로 고기압성 회전이 강화되면서 발해만 부근의 기압골 전면으로 강수대를 북상시킬 수 있는 기압계가 나타남
- 하지만, 모델 예상에서의 5880gpm선을 보면 고압부를 전혀 예측하지 못해 강수대가 실황과 같이 북상할 수 없는 상황으로 모의가 된 것을 알 수 있음

28일 사례

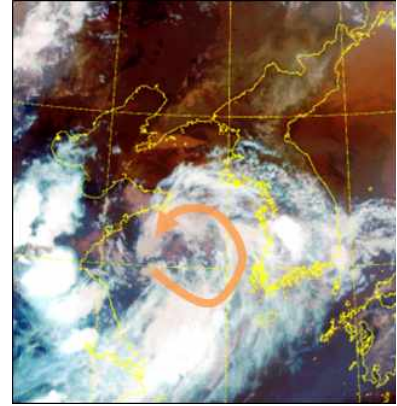
27일 21시 500hPa 예상(+12H)



27일 21시 500hPa GTS 실황



27일 21시 합성 위성영상



- 28일 사례의 경우 전날 21시 500hPa 모델의 예상에서는 산둥반도 남쪽으로 기압골이 모이 되고 있으나, GTS 실황으로 분석을 해보면 서해상까지 골이 깊게 발달함
- 위성영상에서도 서해상으로 하층과 상층의 구름들이 모두 저기압성 회전이 뚜렷하게 나타났으므로, 예상보다 골이 깊어 저기압으로 발달한 것을 알 수 있음
- 따라서, 발달한 저기압의 전면으로 난기가 강화되면서 모델의 예상보다 강수대가 북상한 결과도 나타나게 됨
- 한반도 주변으로 태풍이나 기압골의 영향이 뚜렷할 경우, mT의 일변화 효과보다는 주변 기압계의 강제력 영향이 더 크게 나타나므로 분석에 유의

6. 2019년 8월 18일 사례

제주 동부 국지호우

mT 연변에서 상층골 통과시 해풍 수렴되는 제주 동부지역 집중호우

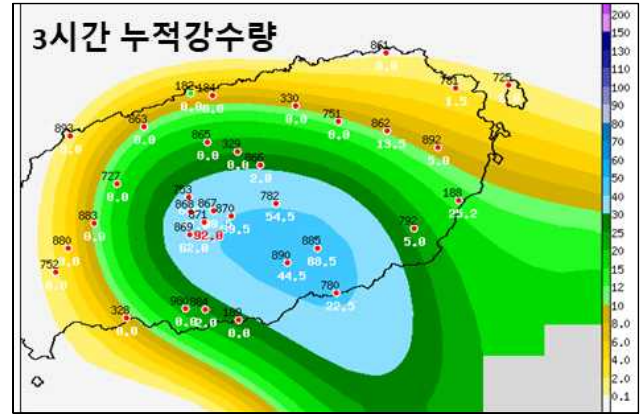
1. 예보와 실황은?

예보(8월 17일 17시 발표)

- 제주도 5~40mm

실황

- 제주 남동부역 위주로 5~90mm
- 윗세오름 94.5 태풍센터 89 성산 25.5

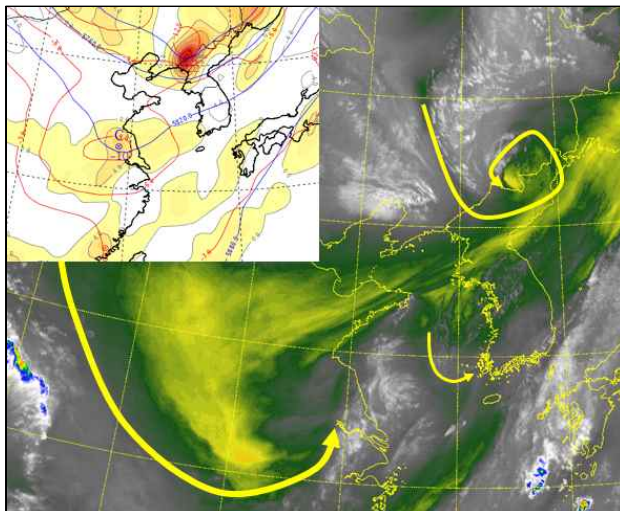


2. 이슈 사항

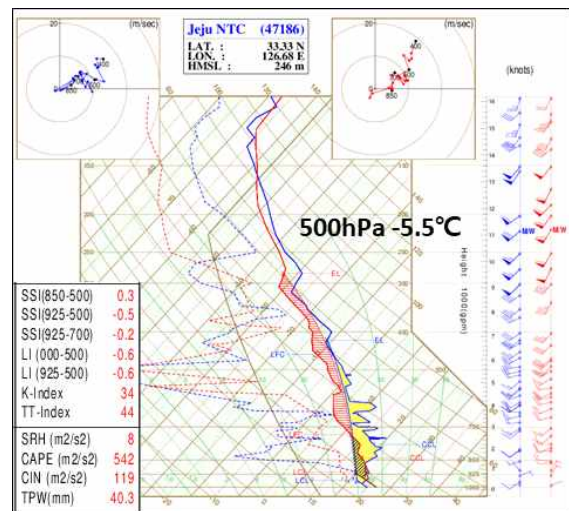
- 이슈 1) 강수 발달과정은 무엇인가?
- 이슈 2) 모델은 왜 과소 모의했나?
- 이슈 3) 사전에 예측하고 대응할 수 없었나?

3. 주요 분석내용

- 이슈 1) 강수 발달과정은 무엇인가?



2019년 8월 18일 12시 수증기 강조영상



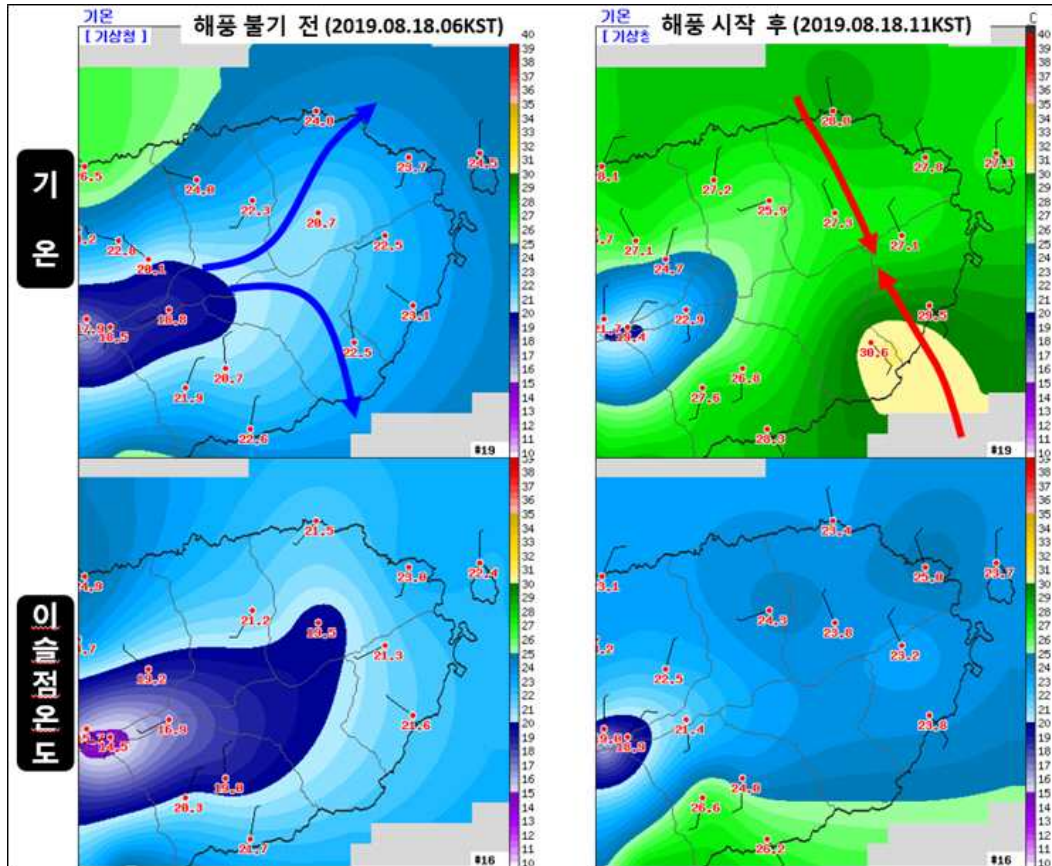
2019년 8월 18일 09시 국가태풍센터 단열선도

☞ 상층의 강제력이 있었다.

- 18일 백두산 부근에 중심을 둔 저기압성 회전의 후면으로 기압골 남하하면서 건조 공기가 제주도 북서쪽으로 침강하여 역학적인 강제력 작용
- 17일 09시 500hPa -3.3°C에서 -5.5°C로 2°C 이상 떨어져 열적 불안정 가속화

☞ **하층 다량의 수증기가 해풍에 의해 제주동부지역으로 수렴되었다.**

- 해풍이 불기 전 제주 동부지역의 기류는 내륙에서 해안으로 불어나가는 바람이 불다가 기온이 29°C 이상 상승하면서 해풍이 불기 시작함
- 해풍이 유입되면서 이슬점온도는 2°C 이상 상승하여 24~25°C가량 분포하면서 고온다습한 기류가 지상에서 수렴하면서 상승되어 대류운 발달이 시작됨



2019년 8월 18일 해풍이 불기 전(06시)과 후(11시)의 기온, 이슬점 온도와 바람깃 분포

☞ **지형과 850hPa 이하의 역전층은 특정 지역에 강수가 집중되게 한다.**

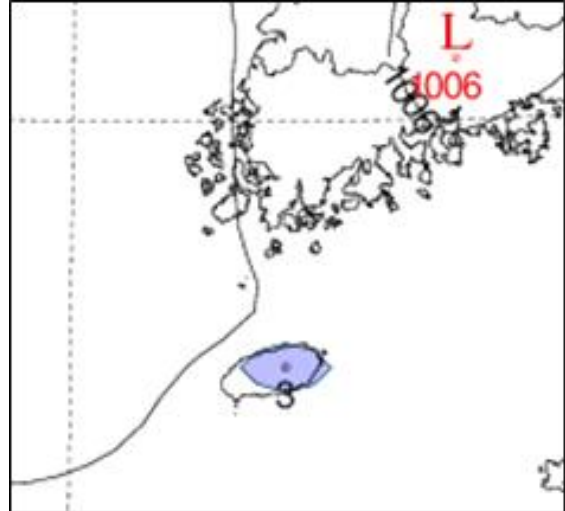
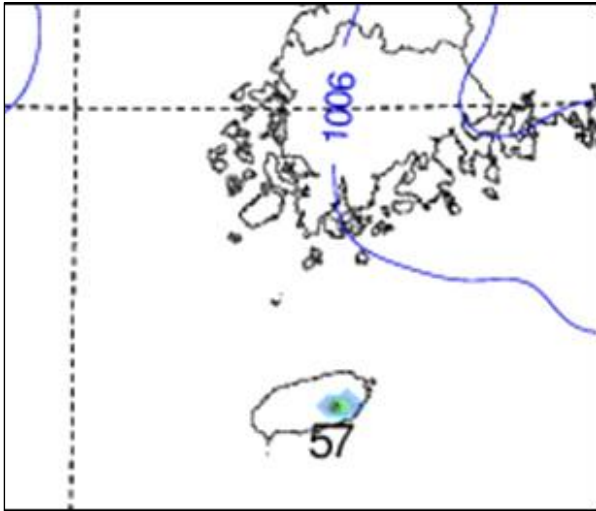
- 하층의 CIN역은 대류를 억제하는 동시에 에너지를 모으는 역할을 함
→ CIN을 뛰어넘는 강제력이 있는 지역으로 순간적으로 강하게 대류가 일어남
- 시간이 지남에 따라 해풍이 내륙 깊숙이 유입되면서 산간 지형(100~400m)을 따라 강제 상승해 응결고도에 이르게 됨,
→ 고도가 높은 산간으로 기류가 수렴될 경우 대류가능성이 더 높음
- 성산 ASOS는 30mm 이내를 기록했지만, 국가태풍센터나 성판악의 경우 3시간에 80mm 이상의 많은 비가 내렸음

● **이슈 2) 모델은 어떻게 모의했나?**

☞ **모델은 완벽하진 않지만 시그널을 준다.**

- 상층의 강제력이 있고 하층에 고온다습한 기류가 유입되는 기압계이므로, 모델에서도 불안정한 대기를 모의함
- 전국(GDAPS)와 국지(LDAPS) 모두 제주 동부지역으로 대류성 강수를 모의하나, 전구는 강수량을 10mm 이내로, 국지는 60mm 이내로 과소모의하고 있음(17일 09시 기준)

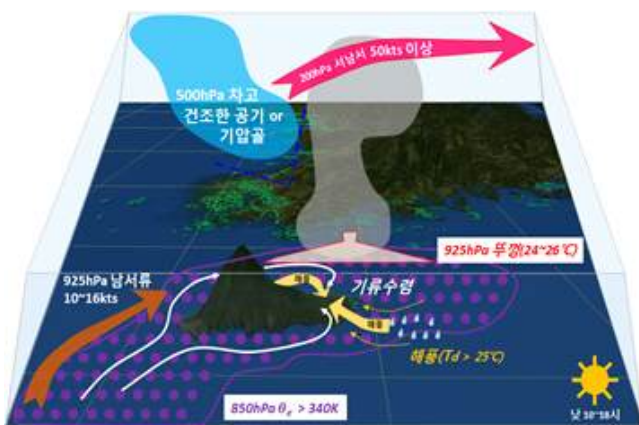
- 모델 근거로 제주 동부지역으로 대류성 강수가 있을 것(강수량은 40mm 내외)을 예보할 수 있으나, 집중호우를 예상하는데는 한계가 있음



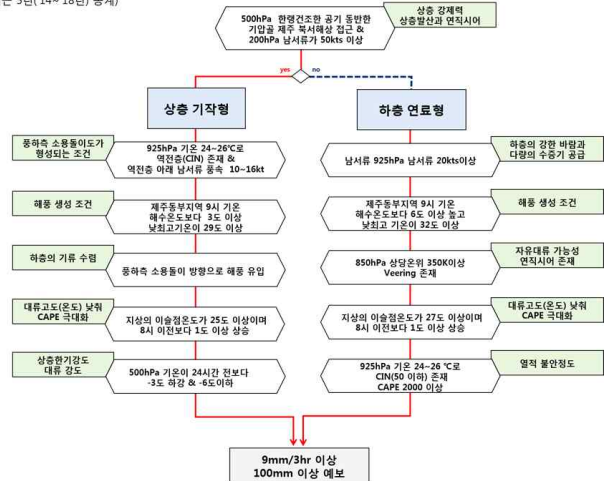
8월 17일 09시에 생산한 8월 18일 15시 국지와 전구모델의 누적강수량 (국지 1시간 누적, 전구 3시간 누적)

● 이슈 3) 사전에 예측하고 대응할 수 있을까?

- mT 가장자리에서 하층의 고온다습한 기류가 제주도 부근으로 유입될 때 기압계가 뚜렷하지 않더라도 국지적인 해풍이 제주동부지역으로 수렴하고 지형적인 상승이 더해지면 국지적인 호우가 발생할 수 있음
- 이 사례와 같이 하층의 역전층(CIN)을 뚫을 수 있을 만큼의 상층의 강제력이 동반될 경우 (한기를 동반한 기압골, 건조역) 모델 예상보다 많은 강수가 내릴 수 있음
- 메커니즘을 정확하게 이해하고 제주동부국지호우 상층지원형 가이드언스의 조건을 모델 예상과 비교한 후, 예상 강수량을 산정하고 실황 모니터링을 통해 해풍의 수렴을 분석하여 호우특보를 발표 (Why? How! 지역특화 예보 가이드언스, 제주동부 국지호우 참고)



mT가장자리에서(남서류형) 제주 동부지역 낮에 발생하는 국지호우(90mm/3h이상) 판단 (최근 5년(14~18년) 통계)

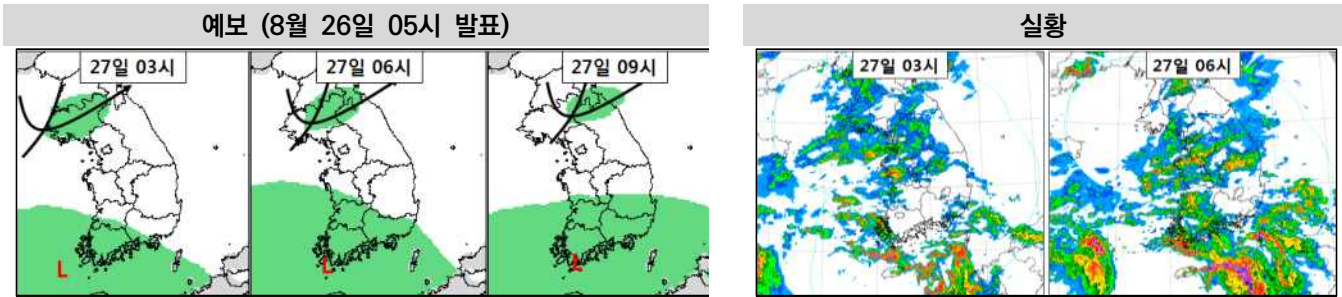


mT 가장자리에서 제주도 동부지역 낮에 발생하는 국지호우(90mm/3h) 모식도(상층지원형)와 흐름도

7. 2019년 8월 27일 사례

남쪽저기압에 집중하는 사이에... 700hPa 기압골 중부지방 강수를 놓치다

1. 예보와 실황은?

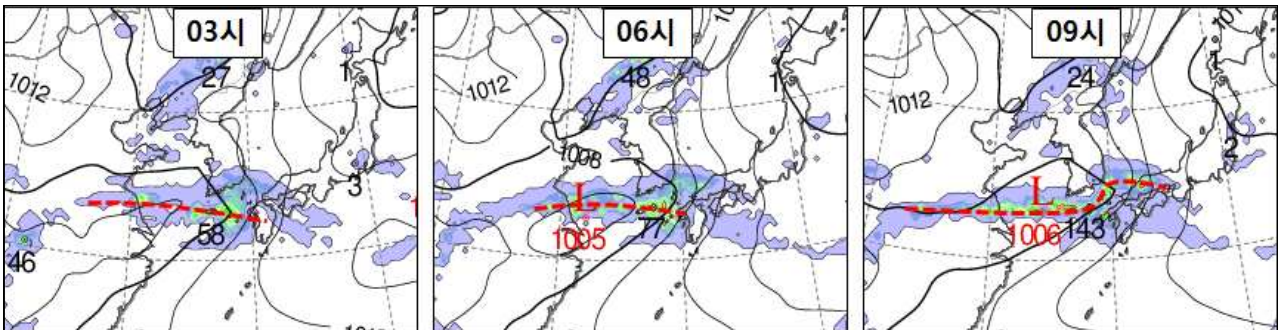


2. 이슈 사항

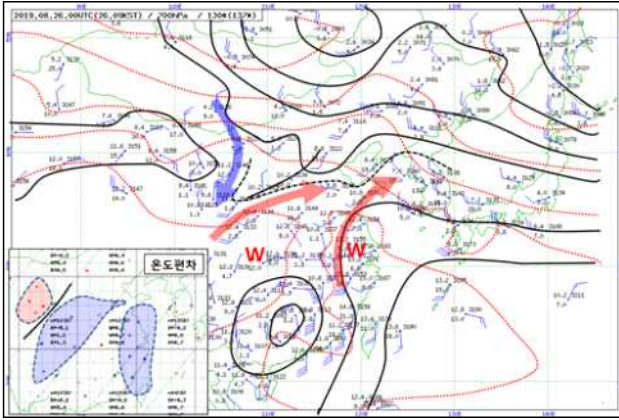
- 이슈 1) 강수 메커니즘이 남쪽저기압인가, 700hPa 기압골인가?
- 이슈 2) 과거에도 유사한 경우가 있었는가?

3. 주요 분석내용

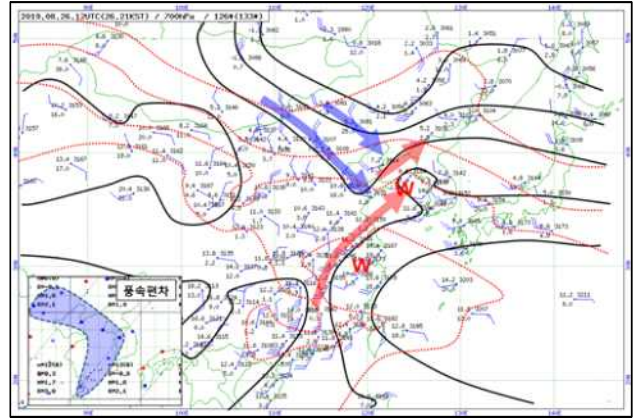
- 이슈 1) 강수 메커니즘이 남쪽저기압인가, 700hPa 기압골인가?



- 26일 09시 UM모델 예측장에서는 남쪽저기압에 의한 강수대만 예측하였고, 중부지방에는 거의 강수를 모의하지 않았음
- 그러나 중부지방에서 700hPa 기압골에 의한 강수대가 형성되었음

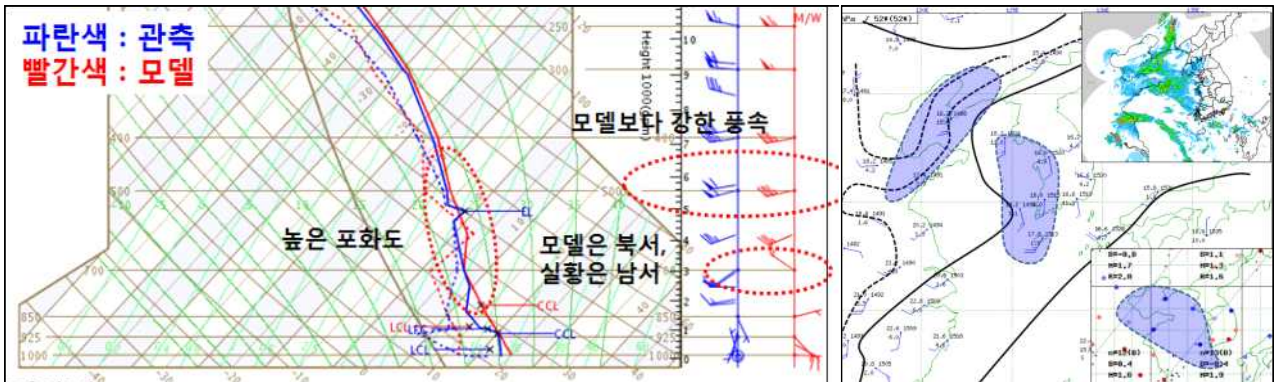


700hPa GTS분석(26일 09시)



700hPa GTS분석(26일 21시)

- 26일 09시 700hPa를 보면 기압골 전면으로 난기가 강했고, 후면에는 한랭이류역 존재, 기압골 후면으로 20kts 이상 강풍대 유지
- 골 전면에서의 난역은 TD 전면대에서의 난기와 26일 밤에 합류할 것으로 예상됨
- 26일 21시 700hPa에서 기압골이 깊게 형성되고, 온도도 전선 형태를 보임
- 특히 난역과 골 후면에 풍속이 모델에서 음의 편차를 보이면서, 모델에서 예상하는 것 보다 강한 강수대가 형성될 수 있음을 보여줌

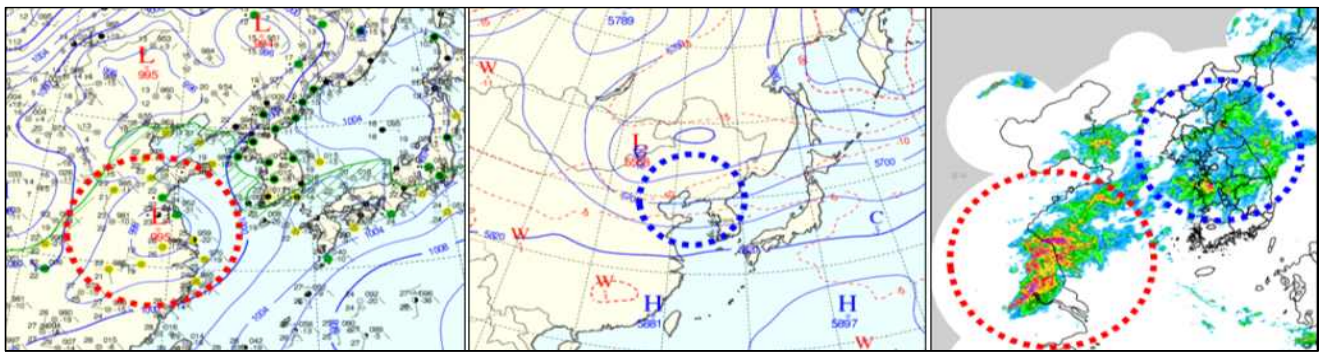


27일 03시 오산 단열선도

850hPa GTS(26일 21시)

- 27일 03시 중부지방에는 500hPa에서 풍속이 모델 예상보다 강했고, 700hPa 풍향도 남서류를 보임, 그에 따라 중층 포화도도 높게 나타남
- 850hPa에서도 골이 나타나고 그 전면으로 풍속도 모델보다 강하게 나타남
→ 즉 중부지방의 강수는 깊고 두껍게 형성된 중층기압골에 의한 강수임

● 이슈 2) 과거에도 유사한 경우가 있었는가?
⇒ 모델이 자주 놓치는 패턴, 실수는 반복된다(2019년 6월 29일 03시)



- 6월에도 유사하게 빗나갔던 사례가 있었음(남쪽저기압에 집중하였으나, 중층기압골에 의한 강수를 놓쳤던 사례). 이 때도 700hPa의 기압골이 모델보다 큰 온도편차를 보이며 실제로 더 발달하였음
- 겨울에도 비슷한 빗나간 예보가 있었음, 과거 사례에 대한 환류 필요
(Why? How! 겨울 예보, 부록 6-1 2019년 1월 12일 사례 참고)

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

- 남쪽골 강수 분석 시 700hPa 기압골의 전후 온도와 풍속 편차 면밀히 검토
- 빗나간 예보는 반복된다! 과거 사후분석 자료 적극 활용

8. 2019년 9월 10일~11일 사례

야간 하층제트에 의한 집중호우 예측 실패

하층제트 후면형 호우패턴 시 cold or dry air를 고려했어야

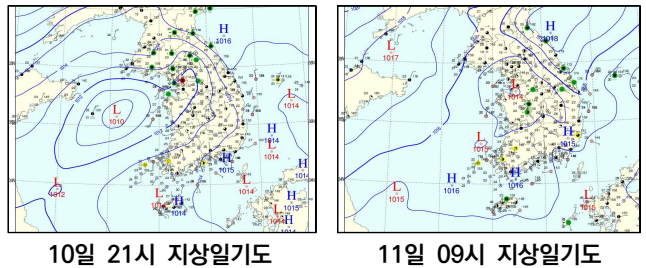
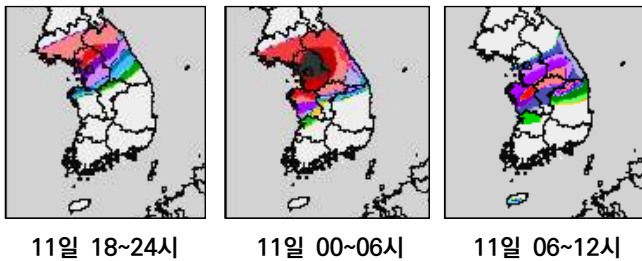
일자	2019. 9. 10. 밤~11. 오전	지역	중부지방
현상(패턴)	하층제트에 의한 정체성 스킨라인		

1. 예보와 실황은?

예보 (9월 10일 17시 발표)	실황
--------------------	----

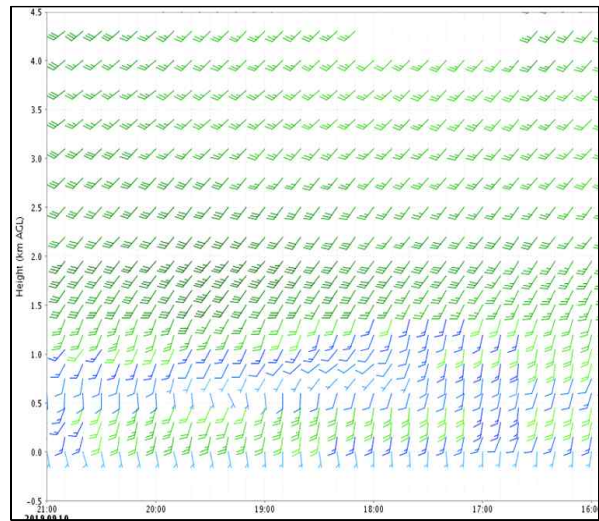
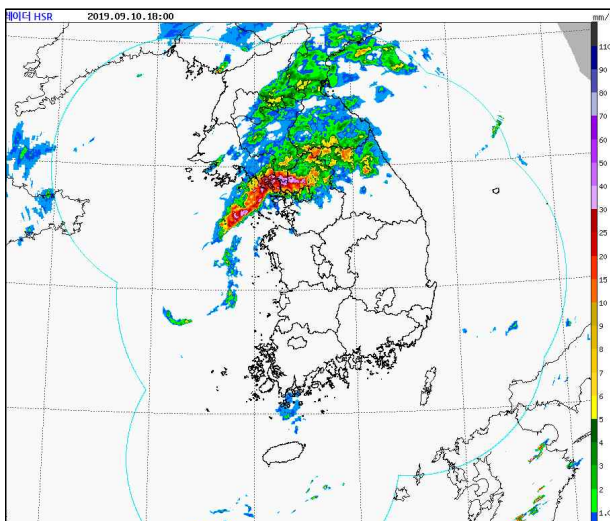
- 서울.경기도, 강원영서, 충청북부, 서해5도 : 50~150mm(많은 곳 200mm 이상)
- 강원영동, 충청남부, 경북북부내륙 : 30~80mm(많은 곳 강원영동 100mm 이상)
- 전라도, 경상도(경북북부내륙 제외), 울릉도.독도, 제주도 : 5~40mm

- 양도(강화도) 171.5mm, 경기, 강원도 30~150mm
- 특히, 충청북부 5~40mm를 기록하여 예보와 큰 차이를 보였음



▶ 실황분석

- 10일 15시부터 경기만에서 강한 강수대가 강화도로 유입됨
- 군산에서 850hPa(1.5km) 이상 고도에 하층제트가 강화되었음
- 강한 강수대의 구조는 하층제트 전면에서 속도수렴의 에코대를 나타냈음



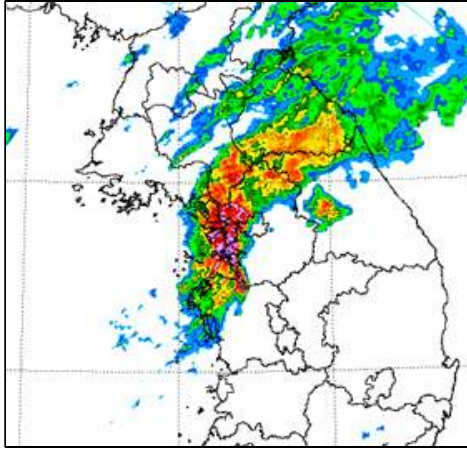
2. 이슈 사항

- 이슈 1) 강수의 메커니즘은 무엇인가?
- 이슈 2) 모델과 실황의 차이는 무엇인가?

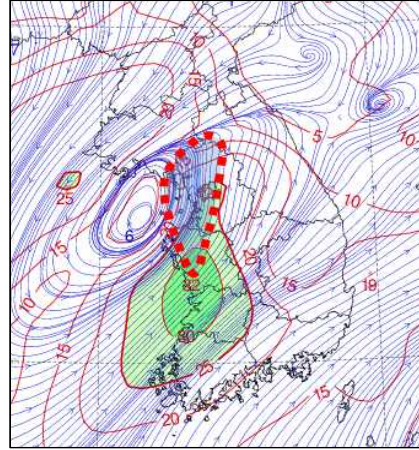
3. 주요 분석내용

● 이슈 1) 강수의 메커니즘은 무엇인가?

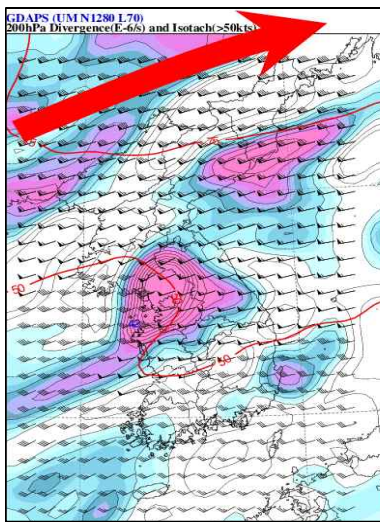
- (10일 밤~11일 새벽) 하층제트 전면(온난이류)형 호우로서, 상하층제트 커플링이 잘 조직됨
- 호우구역의 남쪽에 위치한 군산 윈드프로파일러에서 1.5km(850hPa) 고도의 남서풍 35kts가 10일 야간에 관측됨
 - 하층제트 전면형 호우구조가 잘 조직화된 형태로 경기도를 중심으로 시간당 40~50mm의 매우 강한 비가 내렸음



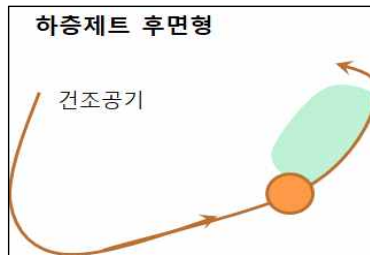
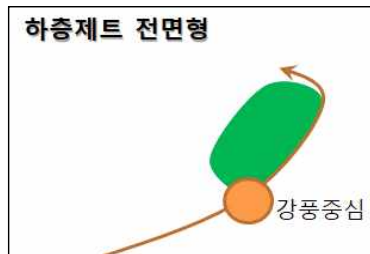
9월 10일 21시 레이더영상



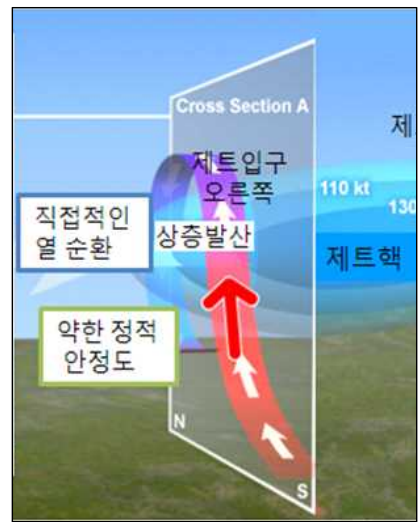
9월 10일 21시 850hPa 바람(UM 초기장)과 하층제트 중심의 북쪽 호우구역



9월 10일 21시 200hPa 바람장과 상층발산 구역 위치



하층제트 전면형과 후면형의 호우 구역 모식도

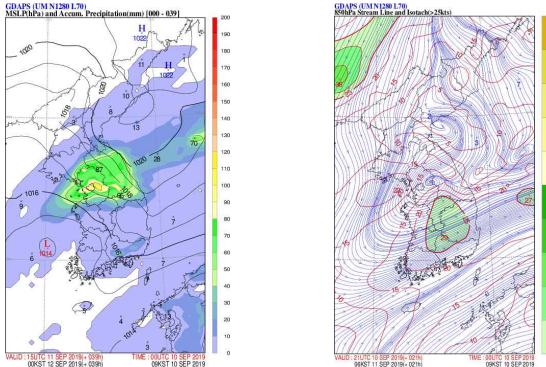


상·하층제트 커플링의 연직구조 모식도

● 이슈 2) 모델과 실황의 차이는 무엇인가?

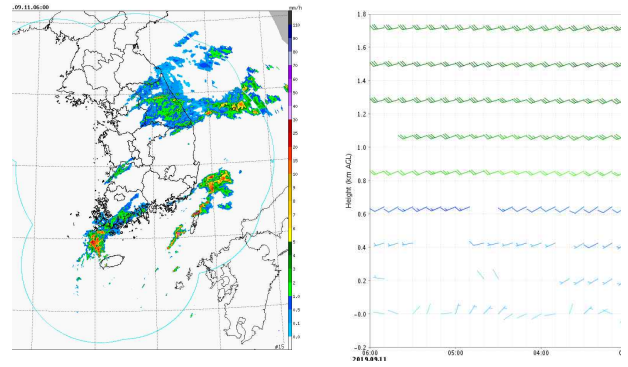
- (예상) 모델은 서울·경기도를 중심으로 50~90mm의 총강수량을 예측하였으며, 850hPa 남서류의 형태대로 주 강수대가 분포할 것으로 예측하였음. 실황과 비슷.
- (실황) 850hPa 하층제트 중심(core)의 북동쪽으로 주 강수가 분포하였고, cold front 형태 하층제트 중심의 서쪽으로는 특별한 강수대가 나타나지 않았음

10일 09시 발표 모델



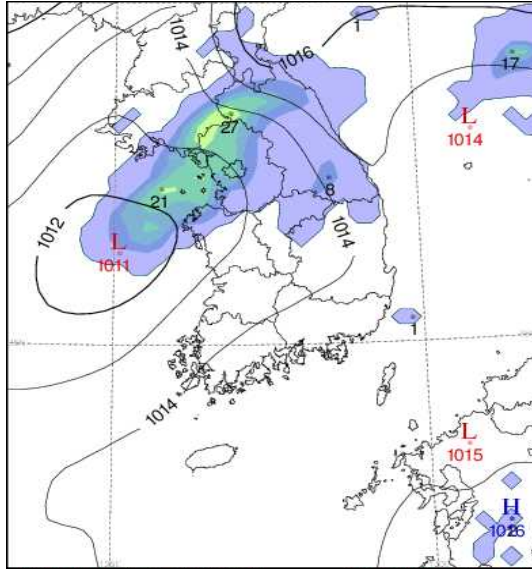
10~11일 총 예상강수량(좌), 11일 06시 850hPa 바람장(우)

실황

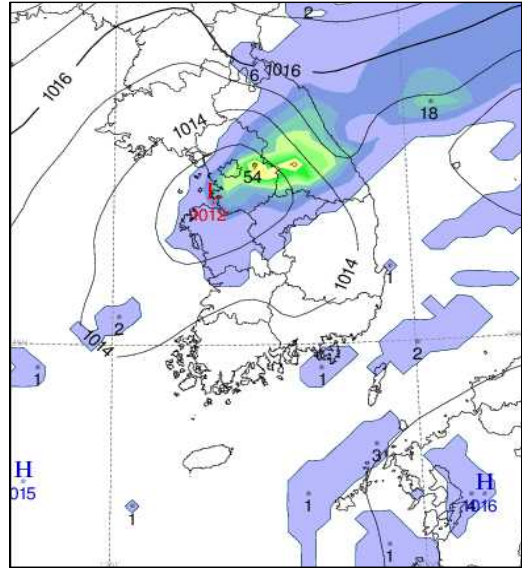


11일 06시 레이더영상(좌), 추풍령 윈드프로파일러(우)

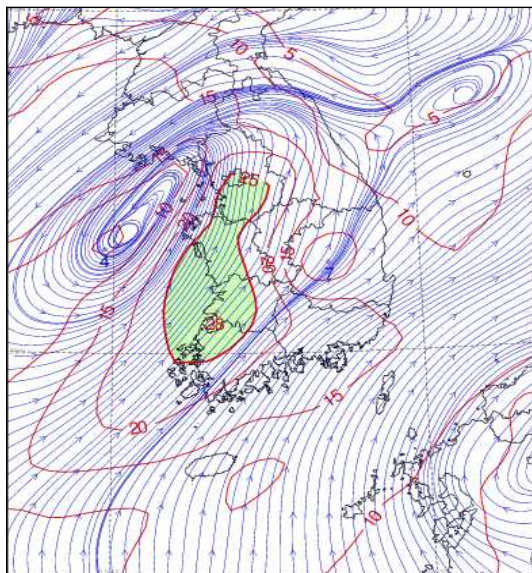
- (10일 밤~11일 새벽) 하층제트 전면형 호우구조의 특징과 영역이 실황과 비슷하게 모의되었음, 강수량은 모델에서 약 2배가량 과소모의 됨
- (11일) 하층제트 후면형 호우구조는 11일 아침 6시에도 뚜렷하게 모의되지 않았음 실황과 일치된 형태의 예측으로서, 수렴의 형태는 나타나나 강수구조는 조직화되지 않음



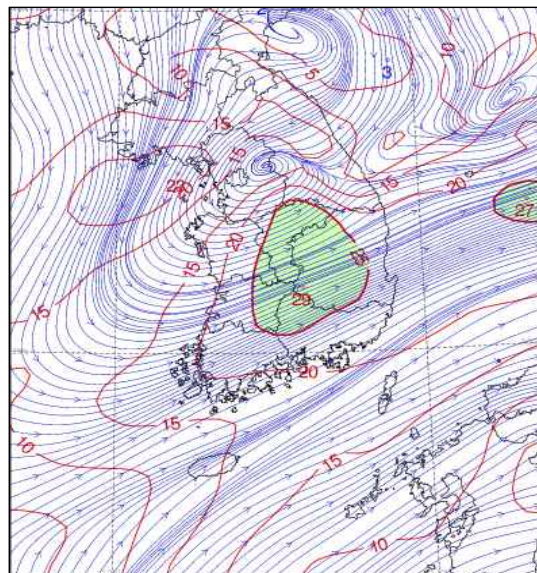
9월 10일 09시 생산 21시(+12h) 강수예상



9월 10일 09시 생산 11일 06시(+21h) 강수예상



9월 10일 09시 생산 21시(+12h) 850hPa 바람예상



9월 10일 09시 생산 21시(+12h) 850hPa 바람예상

4. 무엇을 더 고려했어야 했나?

● 하층제트 전면형 호우의 모델 과소예측은 충분히 고려되었음

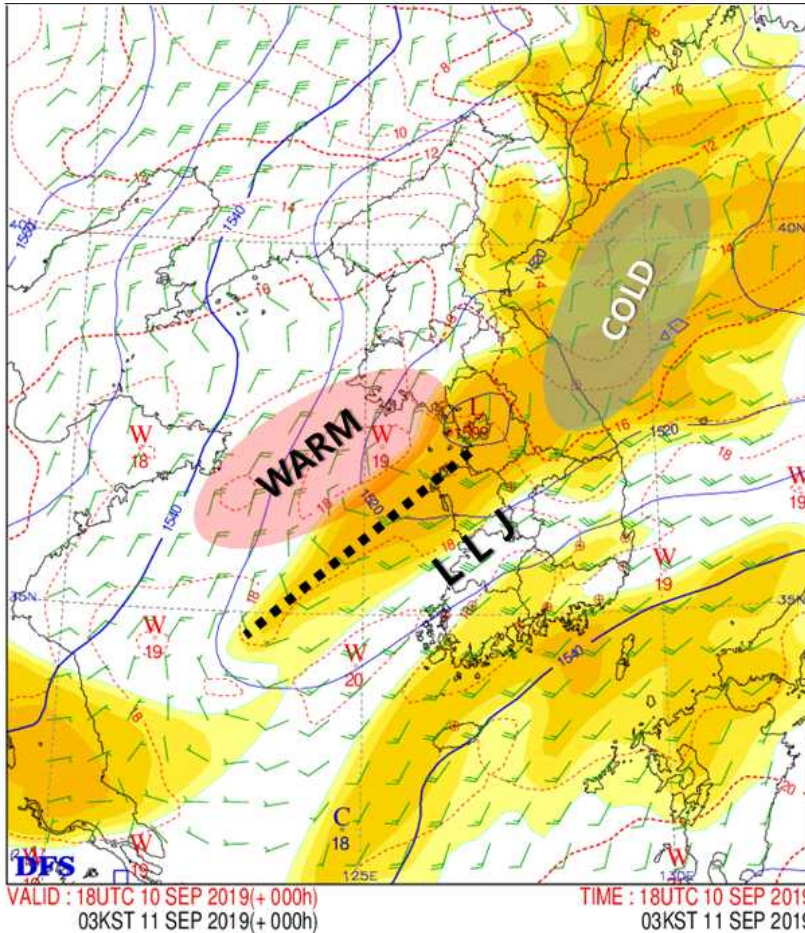
- 늦은 밤에서 아침 사이에 집중되는 야행성 호우의 특성상 많은 강수 예측은 정확했음
→ 야간 강수증가 요인으로는 하층제트 강화와 상층기온하강에 따른 불안정 강화로 강수 증가를 충분히 고려하여 서울·경기도의 강수예측은 비교적 정확하였음

● 하층제트 후면형 호우의 잘못된 해석

- 850hPa 저기압 중심의 서쪽으로 북풍의 기류와 수렴하는 cold front 형태의 불연속라인의 형성은 충분히 예측되었으나 활성화되지 않았음
→ 열대저압부 형태의 저기압 구조에서는 cold front 형태의 강수대가 활성화되지 않음
- 저기압이 열대저압부 형태로 동중국해에서 북상하였고, 중부지방을 지나간 저기압 주변으로 차가운 공기나 건조공기가 뚜렷하지 않았음. 오히려 front 북쪽에 warm이 놓인 형태로 전선이 발달할 수 없는 구조였음

→ 하층제트 후면형 호우구역이 활성화되기 위한 선결조건인 강한 건조역 또는 차가운 공기의 존재가 반드시 있어야 하는데, 이를 간과한 것이 충청도 지역의 호우를 과다 예측한 원인이었음

2019. 09. 11. 03시(KST) 850hPa UM 모델 초기장



충청북부 강수 과다 분석 원인)

예상도만 보면 저기압 남쪽으로 30kts 이상의 하층제트가 있으므로 한랭전선 타입의 정체전선이 경기남부와 충청북부에 걸릴 가능성이 있어 보이나,

사후분석 결과)

저기압의 서쪽에 warm core로 한랭전선이형이 아니며, 저기압의 남쪽으로도 강한 풍속은 있지만, 온도경도가 거의 없어 온난이류가 약함(강수대 발달 미비)

하지만, 저기압의 동쪽으로는 남풍의 기류가 동해상에서 우리나라로 형성되어있는 차가운 공기대를 거슬러 북상하는 온난이류가 강하여 강수대가 폭넓게 발달하였음

이 저기압은 중심이 온난하고, 그 북서쪽에도 차가운 공기가 없는 열대저압부형태의 저기압임 결국 그 강수역도 저기압의 중심을 기준으로 그 남쪽과 서쪽은 없고, 주로 저기압 중심의 북동쪽으로 강한 강수가 나타났음

더불어봄 사례분석

2018년 여름철 강수 사후분석 사례



1. 2018년 7월 1일 사례

남부 → 중부 북상하는 정체전선 정체전선 기울어지며 서해안 강수 집중

일자	2018. 7. 1.	지역	중부지방
현상(패턴)	정체전선 + 저기압 전면 하층제트		
특이사항	충남, 전라서해안에 400mm 강수		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 전국 100~250mm (많은 곳 서울.경기도, 강원영서중북부 300mm 이상)	[강수량] - 전국 40~130mm - 충남, 전라서해안 80~400mm

□ 강수 메커니즘은?

- (정체전선 상 저기압 발달)** 상층기압골 후면 차고 건조한 공기+북태평양 고기압 가장자리 따뜻하고 습한 공기
 ⇨ 정체전선 형성, 상층기압골을 따라 한기 동반한 단파골 남하하면서 정체전선 상에서 하층 저기압 발달, 저기압 전면에서 하층제트 형성, 강수대 강화
- (하층기류 수렴에 의한 강수대)** 제7호 태풍 뿌라삐룬 (PRAPIROON)과 북태평양 고기압 사이에서 기류 수렴, 강풍대 형성



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

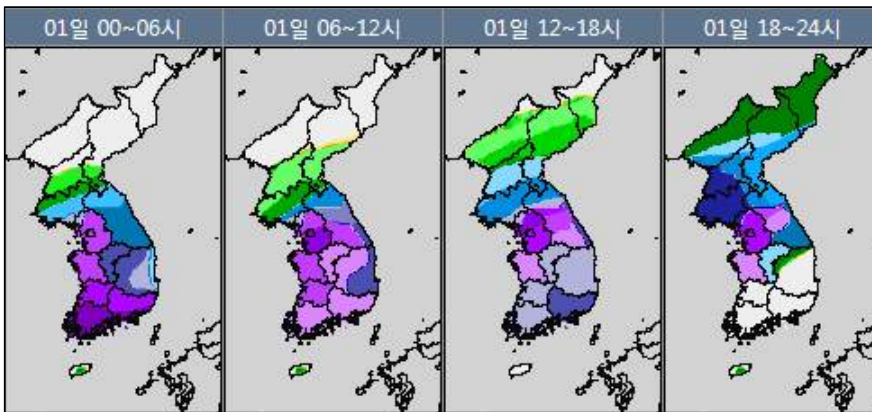
- (정체전선 북상)** 중국산둥반도 부근 500hPa 기압골 전면에서 정체전선 형성, 북태평양고기압이 확장하면서 기압골 북동진, 정체전선 중부지방으로 북상, 산둥반도 남쪽에 저기압성 회전 발달, 저기압 전면에서 풍속 강해지며 하층제트 형성, 서울.경기도에 많은 강수 집중 모의
- (태풍 전면 수렴대)** 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)이 제주도 남쪽 해상으로 북상, 태풍과 북태평양 고기압과의 수렴대가 남부지방으로 유입, 남풍 30kts 이상+지형적인 요인, 남해안 많은 강수 모의

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

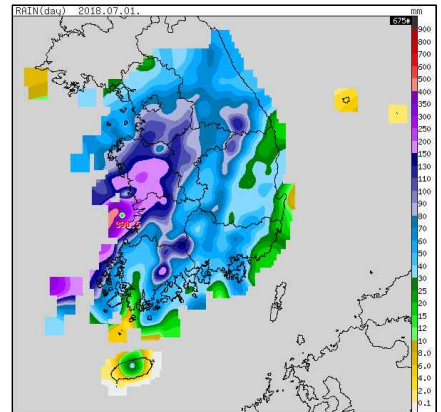
- 태풍진로 변경 가능성에 따른 기압계 변동 시나리오를 고려

1. 예보와 실황은?

- (강수 집중구역) 정체전선이 북상함에 따라 서울.경기도, 강원영서중북부의 강수 지속시간이 길어져 많은 강수량을 예상했으나 충남과 전라서해안에 강한 강수대가 집중되었음
- 예보(6월 30일 17시 발표)
 - ▶ 예상 강수량
 - 전국 100~250mm(많은 곳 서울.경기도, 강원영서중북부 300mm 이상)
- 실황
 - ▶ 강수량
 - 충남, 전라서해안 80~400mm
 - 그 외 40~130mm



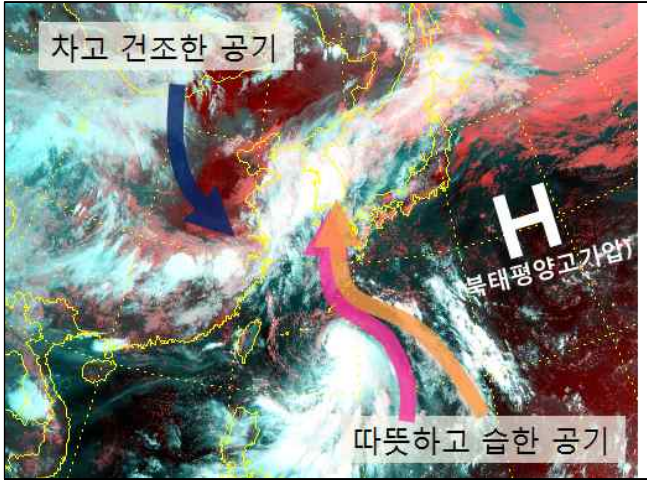
7월 1일 예상 강수량 분포도



7월 1일 일강수 분포도

2. 강수 메커니즘은?

- (서로 다른 2개 강수대) ① 북쪽 저기압 전면에서 강화된 정체전선 ② 북태평양 고기압 가장자리에서 형성된 수렴역에 의한 강수
- (①-1 정체전선 형성 및 북상) 서로 다른 성질을 가진 공기의 충돌
 - 우리나라 오른쪽에서 북태평양 고기압의 중심이 서진하고 왼쪽에서는 티벳 고기압의 세력이 유지되면서 동서 고기압 사이인 중국 동안에서 기압골 형성, 기압골 후면으로 차고 건조한 공기 침강
 - 한편 우리나라 동쪽의 북태평양고기압 가장자리를 따라 따뜻하고 습한 공기 유입
 - 서로 다른 성질의 공기가 충돌하면서 정체전선 형성, 전일(6월 30일)에는 남부지방에 머물다가 7월 1일에는 북태평양고기압이 확장하면서 중부지방으로 북상
- (①-2 정체전선 강화) 정체전선 상 저기압 발달로 인한 강수대 강화
 - 산둥반도 서쪽 내륙에 있던 500hPa 단파골이 중국 동안의 큰 기압골 흐름을 따라 남하하면서 중심 강화, 이 상층 단파골의 지원으로 산둥반도 남쪽에서 하층 저기압성 회전이 발달
 - 정체전선 상에서 발달한 하층 저기압과 북태평양 고기압 사이의 기압경도가 강해지면서 저기압 전면의 남서풍 강화(흑산도 850hPa 남서풍 40kts), 하층제트가 수렴되는 서해상에서 강수대 강화
- (② 하층 기류 수렴역에 의한 강수) 제7호 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)이 북태평양 고기압 가장자리를 따라 북상하여 오키나와 남쪽에 위치, 고기압 가장자리와 태풍 사이에서 기류가 수렴되며 강풍대 형성(창원 850hPa 남남서풍 40kts), 수증기 공급이 원활해짐



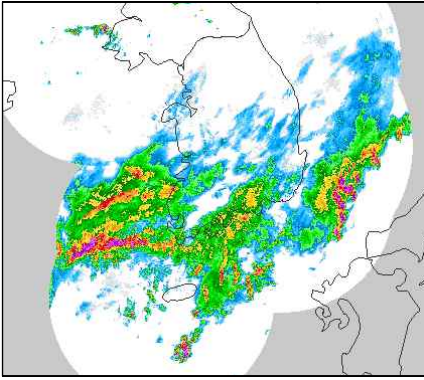
7월 1일 09시 수증기 영상



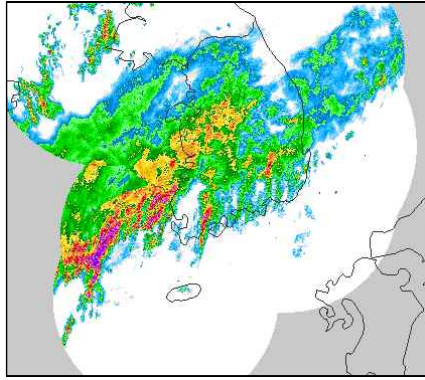
7월 1일 09시 레이더 영상

● 강수대 이동 과정

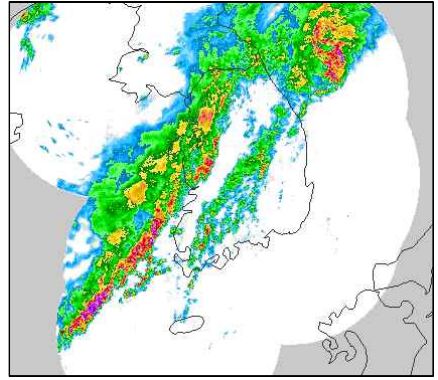
- 서쪽 기압골과 동쪽 고기압 사이에서 서로 다른 공기의 충돌로 정체전선 형성, 정체전선 상에 있는 상층 단파골의 지원으로 서해남부해상에서 남서풍이 강해지며 강수대 강화
 - 북태평양 고기압의 확장으로 강수대의 동쪽 부분만 북상(남서-북동으로 기울어짐)
 - 더이상 북상하지 않고 정체하면서 총북서해안과 전라서해안으로 강한 강수대 지속적으로 유입
 - 1일 밤부터 강수 약화
- 정체전선에 의한 강수대는 500hPa 5790gpm~5820gpm 사이에 위치



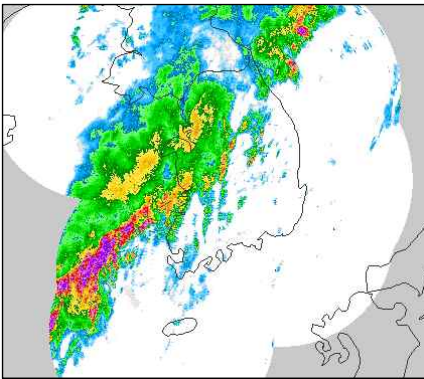
7월 1일 00시 레이더 영상



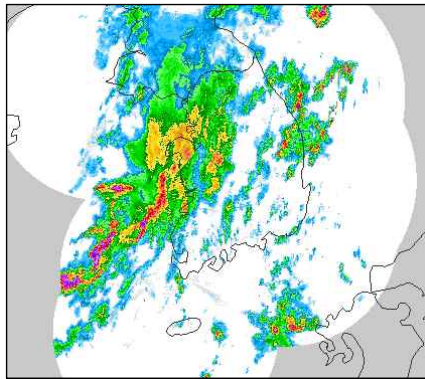
7월 1일 06시 레이더 영상



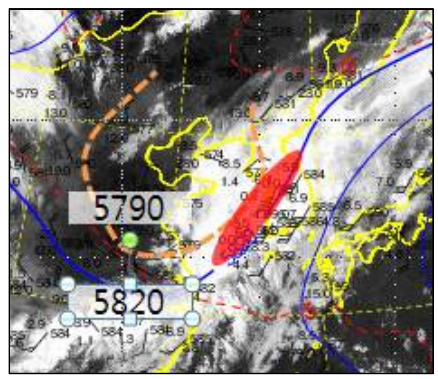
7월 1일 12시 레이더 영상



7월 1일 18시 레이더 영상



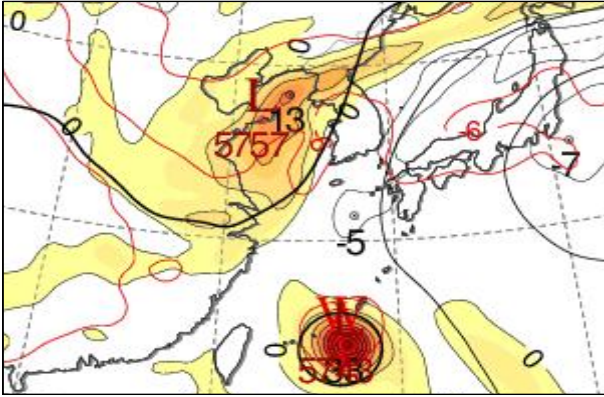
7월 1일 24시 레이더 영상



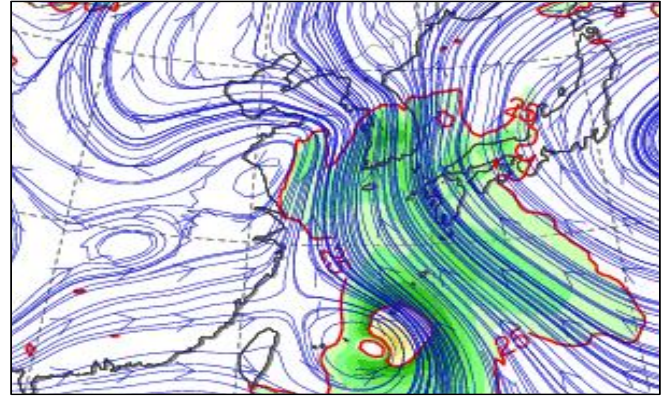
7월 1일 09시 500hPa+위성 적외

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

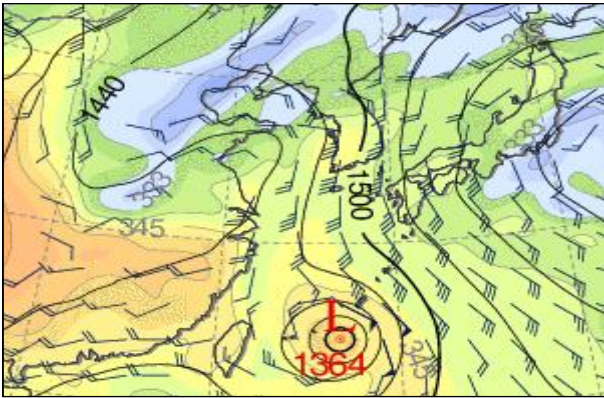
- **(2개의 강수대 영향 모의)** ① 정체전선 상 기압골에 의한 강수 ② 태풍 전면 수렴대에 의한 강수를 모의하였음, 한편, 2일~3일에는 ③ 태풍의 직접 영향에 들 것으로 예상
- **(① 정체전선 활성화 및 북상)** 중국 동안에서 500hPa 기압골이 깊게 발달하면서 후면으로 차고 건조한 공기 침강, 북태평양 고기압에서 유입되는 따뜻하고 습한 공기와 만나 5820gpm선 부근에서 정체전선 활성화, 북태평양 고기압이 확장함에 따라 상층 저기압이 북동진하면서 정체전선도 북상
 - 500hPa 기압골 내에서 발달한 하층 저기압과 북태평양고기압 사이에서 기압경도력이 커지면서 서해상의 풍속을 강화시킴 (850hPa 남남서풍 30~45kts)
 - 저기압 전면 하층 바람은 남풍 성분이 큰 것으로 모의하면서 강수대는 전체적으로 북상하여 하층제트 수렴역이 서울.경기도, 강원영서에 형성, 강수대가 정체하며 집중될 것으로 예상 (5820gpm선 30일 경상남도 → 1일 서울.경기도)
- **(② 태풍 전면 수렴대)** 남부지방은 태풍 전면에서 기류가 수렴되면서 강수 모의
 - 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)과 북태평양 고기압 사이에서 기류가 수렴되고 하층제트 형성(850hPa 남풍 30~45kts)
 - 중층까지 고상당온위역 유입(850hPa 340K, 700hPa 333K)되고 남해안의 지형적인 효과가 더해져 강수가 집중될 것으로 모의함
- **(③ 태풍의 직접 영향)** 오키나와 남쪽 해상에 있는 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)은 확장하는 북태평양 고기압 가장자리를 따라 제주도 남쪽해상으로 북상하여 7월 2일경 제주도를 통과, 3일경 전남 서해안으로 상륙하여 4일 강원동해안으로 빠져나갈 것으로 모의하였음



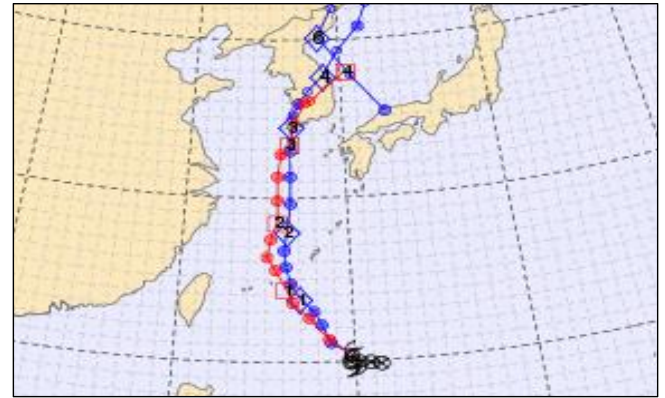
7월 1일 12시(+27h) 500hPa 고도, 기온, 와도



7월 1일 12시(+27h) 850hPa 유선, 풍속



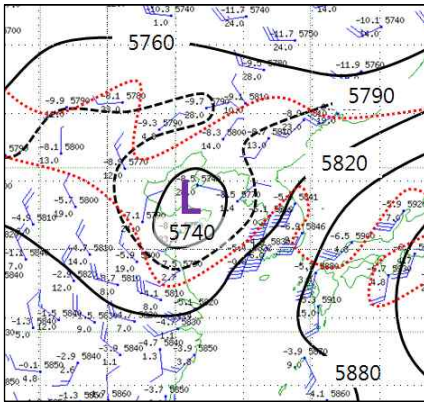
7월 1일 12시(+27h) 850hPa 고도, 상당온위



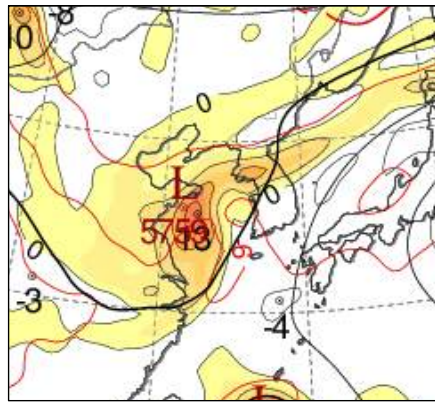
태풍 모델 예측 진로도

4. 예상과 달랐던 점은?

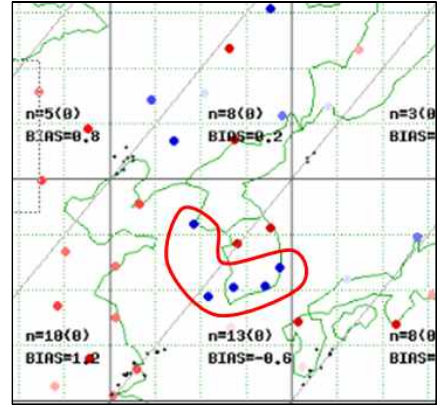
- **(강수 집중구역)** 서울.경기도, 강원영서는 예상보다 적은 강수량, 충남과 전라 서해안에는 예상보다 많은 강수량 기록됨
 - 정체전선 상 저기압에 의한 강한 강수대(①)가 북태평양고기압이 확장하면서 강한 남풍 기류를 따라 전체적으로 북상하여 중부지방에 위치할 것으로 예상하였으나 강수대가 기울어지면서 예상보다 남쪽에 집중되었음
- **서해남부해상 저기압 발달 강화**
 - 산둥반도 남쪽 저기압이 모델 예상보다 강하게 발달(저기압 중심 시도: 모델 예상 5759gpm vs GTS 실황 5740gpm)하면서 저기압 전면의 남서풍이 예상보다 강하게 유입 (7월 1일 09시 모델 예상 풍속 음의 편차)
 - 서해상에서 예상보다 강하게 발달한 수렴역이 충남서해안과 전라서해안으로 계속 유입



7월 1일 09시 500hPa GTS(고도,기온) 분석장



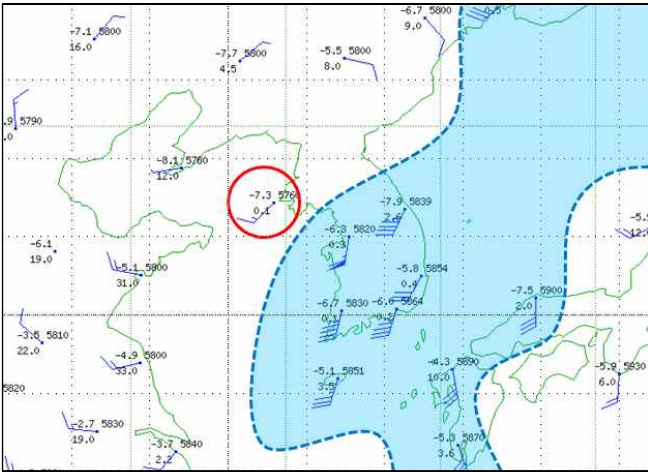
7월 1일 09시(+24h) 500hPa 고도,기온,와도 예상장



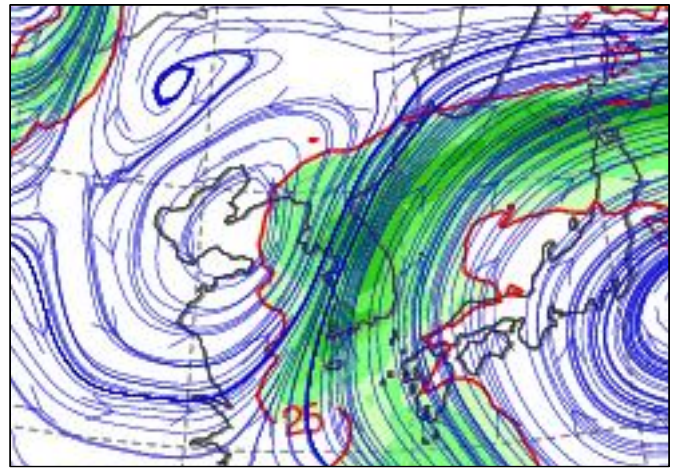
7월 1일 09시(+24h) 850hPa 풍속 GDAPS-GTS

● 북태평양 고기압 확장 정도

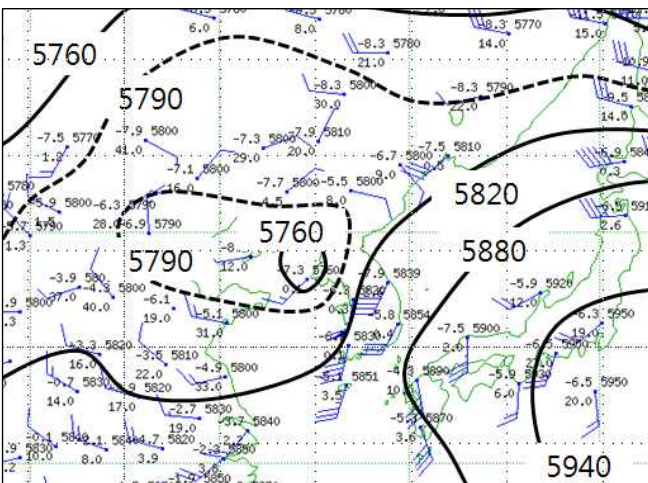
- 모델은 일본 동쪽 해상에 중심을 둔 북태평양 고기압이 확장하면서 500hPa 기압골이 북동진하고 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)도 전남서해안으로 북상하여 내륙을 관통한 뒤 강원동해안으로 빠져나가는 것으로 모의
- 서해상에서 발달하는 강한 강수대는 북태평양고기압이 확장함에 따라 북상하여 중부지방으로 유입될 것으로 예상
- 그러나 북태평양 고기압 가장자리에서 형성되는 강풍 영역의 북단이 모델이 예상하는 것보다 축소되어 나타나고 5820gpm 등고도선도 모델 예상보다 남쪽에 위치, 즉, 북태평양 고기압이 예상했던 만큼 확장하지 못하면서 강수대의 북상이 어려워짐



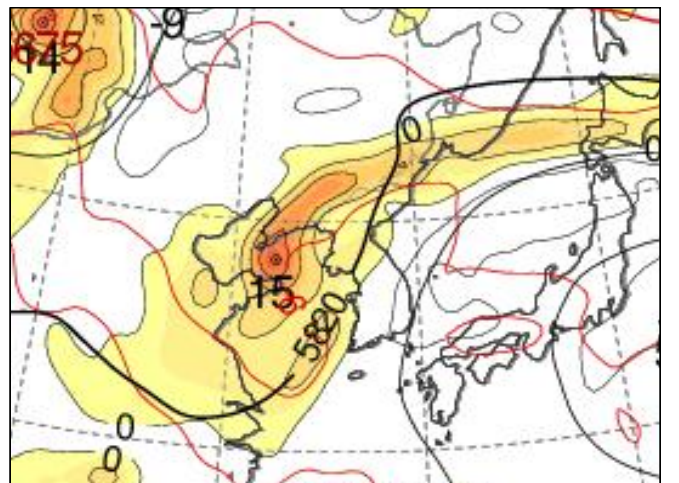
7월 1일 21시 500hPa GTS(풍속)



7월 1일 21시 500hPa 유선, 풍속(+36h)



7월 1일 21시 500hPa GTS(고도)



7월 1일 21시 500hPa 고도, 기온, 와도(+36h)

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- 서해상에서 강한 강수대의 발달은 예상했던 부분, 저기압과 북태평양 고기압 사이에서 남풍이 강화되어 강수대가 북상하면서 서울, 경기도로 유입되는 것으로 보았으나 강수대의 동쪽 부분만 북상하면서 기울어진 채로 서해안으로 지속적으로 유입되었음
- (태풍 진로) 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)이 오키나와 서쪽 해상을 지나 전남해안으로 북상할 것으로 모델이 모의함에 따라 기압계가 태풍에 의해 전체적으로 북상할 것으로 예상하였음
- 태풍 진로 변경에 따른 기압계 유동성에 대해 여러 가지 시나리오를 준비할 필요가 있음

2. 2018년 7월 4일 사례

동풍과 서풍 기류 수렴

강원영서북부 100mm 이상 강한 소나기

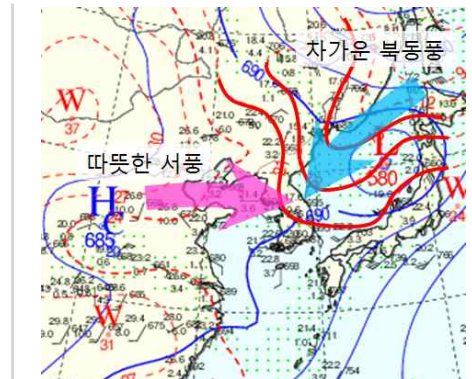
일자	2018. 7. 4.	지역	동쪽 내륙
현상(패턴)	동해상 동풍 유입으로 인한 기류 수렴 형성		
특이사항	강원영서북부 100mm 이상 강수		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 강원영동, 경상도: 30~80mm (많은 곳 경상동해안 150mm 이상) - 강원영서: 5~40mm	[강수량] - 강원도: 10~70mm (강원영서북부, 강원동해안 일부 100mm 이상)

□ 강수 메커니즘은?

- (동서 한난 공기 수렴) 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)이 대 한해협에서 동해상으로 이동, 태풍 후면으로 상층 한기 남하, 동해상으로 찬 북동풍 유입 + 서해상에는 중국내륙 고기압에서 따뜻한 서풍 기류 유입 ⇨ 한난 경계에서 수렴역 형성
- (상하층 역학적 불안정 구조) 상층기압골의 한기 남하 + 하층 태풍에 동반되어 북상한 고상당온위역 ⇨ 역학적 불안정 형성, 상층 한기가 더 강한 동쪽 지역에서 강수 강화



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

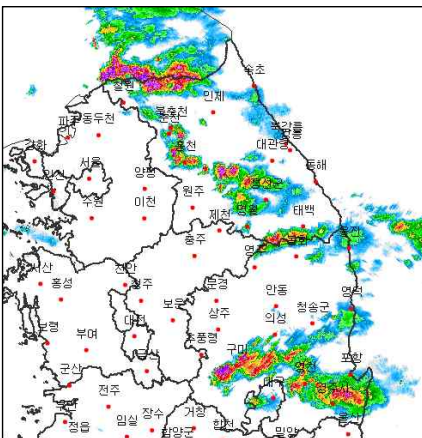
- (상층 한기 남하+하층 고상당온위역) 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)이 동해상으로 빠져나가면서 그 후면으로 상층 한기 남하, 하층에는 태풍에 동반되어 유입된 고상당온위역이 남아있는 것으로 예상
- (한난 공기 수렴) 차가운 동풍과 따뜻한 서풍 기류가 경기동부, 강원영서, 경상내륙에서 수렴
- (불안정도) AKI 지수 100 이상의 불안정 구역이 강원도, 경상북도에 나타나는 것으로 모의

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

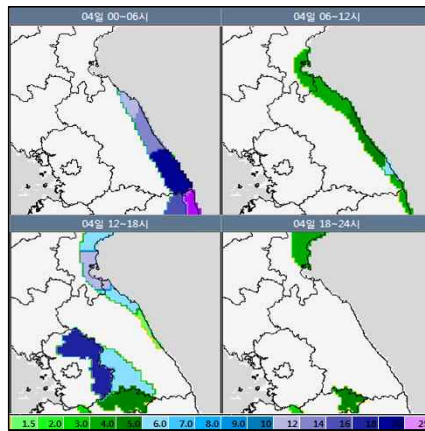
- 상층 온도경도 구역과 기압골 추적 필요

1. 예보와 실황은?

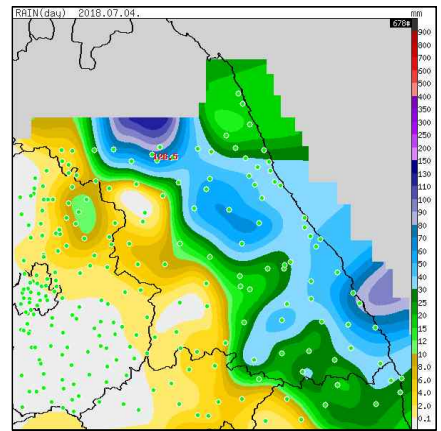
- 강원영서북부 일부 지점에 예상보다 많은 100mm 상당의 소나기가 내림
 - 일강수량 마현(철원) 102.5mm, 원동(철원) 101.5mm, 임남(철원) 126.5mm
 - 최대 60분 강수량 마현 56.0mm, 임남 57.0mm, 원동 39.0mm
- 예보(7월 3일 17시 발표)**
 - 예상 강수량
 - 강원영동, 경상도: 30~80mm(많은 곳 경상동해안 150mm 이상)
 - 강원영서: 5~40mm
- 실황**
 - 강수량
 - 강원영동, 경상북도: 10~70mm(강원동해안, 경북내륙 일부 100mm 이상)
 - 강원영서: 5~60mm(강원영서북부 일부 100mm 이상)



7월 4일 20시 레이더 영상



7월 4일 예상강수 분포도



7월 4일 일강수 분포도

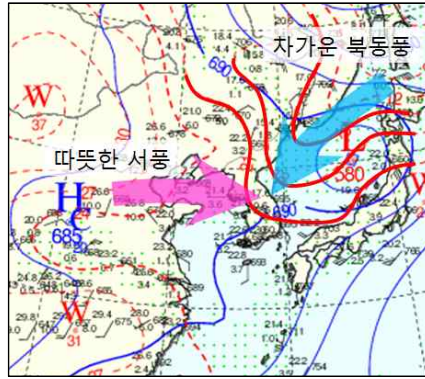
2. 강수 메커니즘은?

- (동해안 차가운 북동풍 유입)** 제7호 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)은 대한해협을 통과하여 동해상으로 진출한 뒤 온대 저기압화, 상층은 500hPa 기압골에 들며 한기가 동해상으로 남하하고 하층에는 온대저기압 후면으로 북동풍이 불면서 925hPa의 온도골이 동해상으로 확장, 동해안에 차가운 북동풍이 유입됨
- (서해안 따뜻한 서풍 유입)** 중국북부지방에 상층 기압능이 자리하면서 능 전면을 따라 북서풍이 하강하면서 산둥반도 서쪽 내륙의 하층 고기압이 강화, 중국내륙에서 발달한 하층 고기압에 의해 우리나라 서쪽으로는 따뜻한 서풍이 유입됨

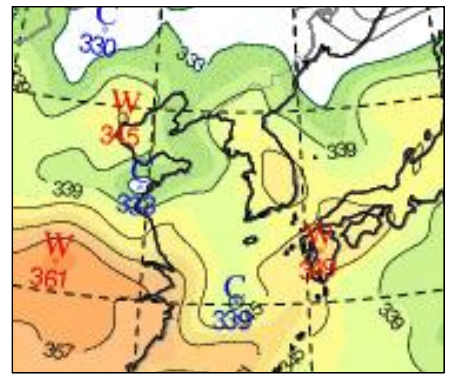
- **(동서 한난 공기 수렴)** 동쪽에서 유입되는 찬 공기(북동풍)와 서쪽에서 유입되는 따뜻한 공기(서풍)가 만나는 한난 경계에서 강수대 형성
- **(상하층 역학적 불안정 구조)** 상하층 온도 구조에 기인한 역학적 불안정이 형성됨, 태풍에 동반되어 북상한 하층 고상당온위역(850hPa 345K)이 남아있는 상태에서 상층기압골에 들며 상층 한기 남하, 상층 한기가 강한(500hPa 온도골 동해안 위치) 동쪽 지역에서 상하층 불안정에 의한 강수가 강화됨



7월 4일 21시 500hPa 분석장



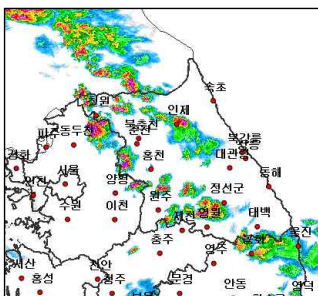
7월 4일 21시 925hPa 분석장



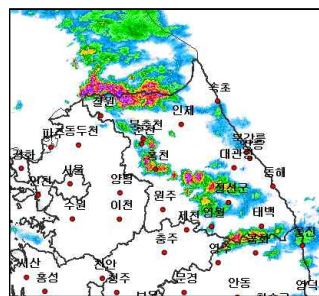
7월 4일 21시 850hPa 상당온위

• **강수대 발달 경과**

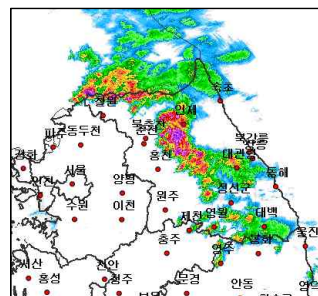
- 경기동부와 강원영서 사이에서 남서풍-북동풍의 수렴대 형성 → 하층에서 상층까지 잘 발달된 강수대(연직 10km)가 남서기류를 따라 북동진하면서 발달 강화(철원 925hPa 남서풍 5kts) → 북동진하던 강수대가 철원 북쪽 및 태백산맥 서쪽 풍상측에서 수렴 → 22시 이후 북동풍이 강화되어 강원영서까지 넘어오면서 수렴역 약화(철원 925hPa 북동풍 5kts)



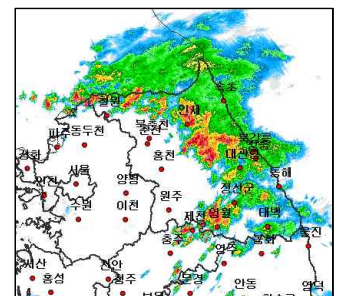
7월 4일 19시 레이더



7월 4일 20시 레이더



7월 4일 21시 레이더

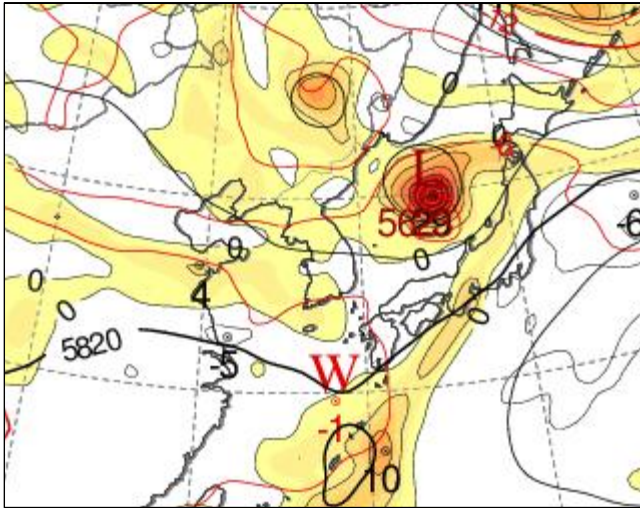


7월 4일 22시 레이더

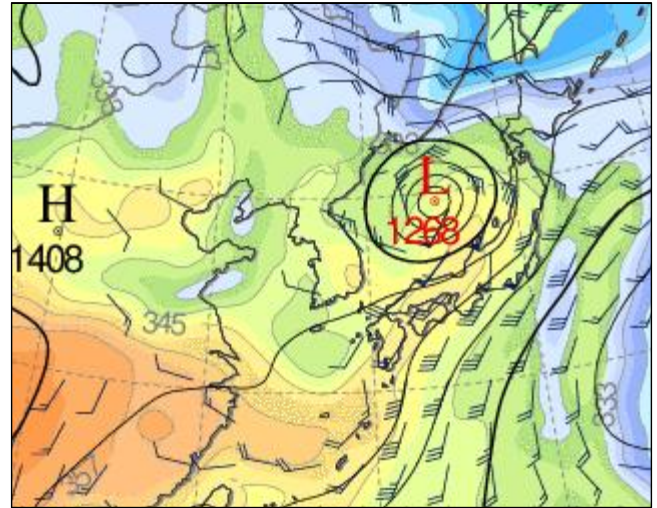
3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

- **(상층 한기 남하)** 제7호 태풍 뿌라삐룬(PRAPIROON)은 발해만에서 남동진하는 500hPa 기압골에 동반되어 4일 새벽 대한해협을 통과한 후 동해상으로 북동진, 기압골 후면으로 상층 한기 남하(500hPa -3°C선 3일 중부지방→4일 남부지방), 5일까지 기압골에 들어있으면서 상층 한기의 영향을 받을 것으로 모의
- **(하층 고상당온위역 유지)** 상층에는 기압골에 동반된 한기가 남하하는 가운데 하층에는 태풍과 함께 북상한 고상당온위역이 남아있을 것으로 모의(850hPa 340K 이상)

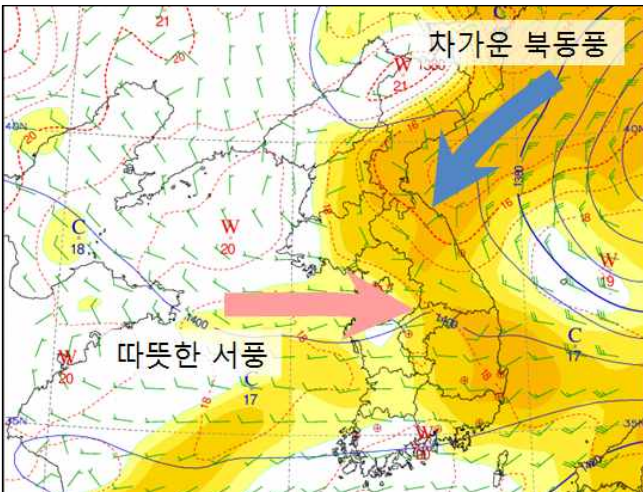
- **(동서 간 온도차)** 동쪽 지역에는 태풍 후면에 들면서 차가운 북동풍이 유입되고, 서쪽에는 중국 내륙에 있는 고기압으로부터 따뜻한 서풍 기류가 유입, 온도차가 큰 공기가 경기동부, 강원영서, 경상내륙을 중심으로 수렴될 것으로 예상
- **(불안정도)** AKI 지수 100 이상의 불안정 구역은 강원중남부, 경상북도에 모의되고 K-Index, SSI도 영서남부와 경상북도에 불안정을 모의함



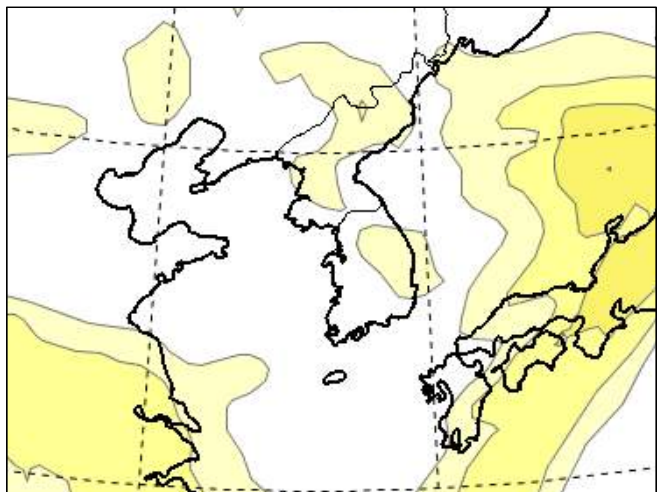
7월 4일 18시 500hPa 고도,기온,와도 예상장(+33h)



7월 4일 18시 850hPa 고도, 상당온위 예상장(+33h)



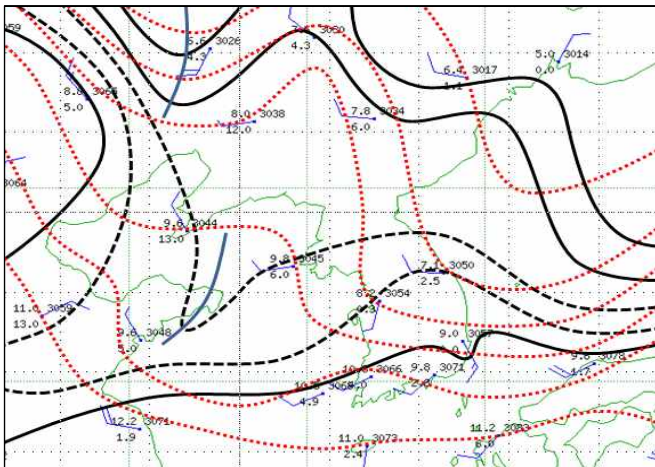
7월 4일 18시 850hPa 상세바람기온 예상장(+33h)



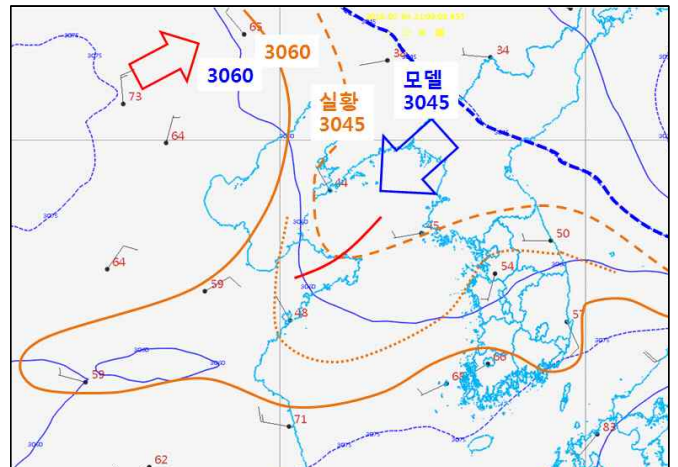
7월 4일 18시 AKI 지수 100 이상 구역(+33h)

4. 예상과 달랐던 점은?

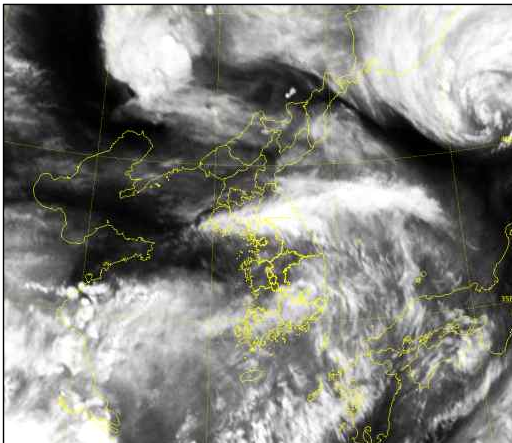
- (강수 집중구역) 많은 강수를 예상하지 않았던 강원영서북부에 100mm의 강수량이 기록됨
- 발해만 부근의 700hPa 기압골이 모델 예상보다 더 깊게 발달
 - 발해만 부근에 모델에서 모의하지 못한 700hPa 기압골이 존재(GTS 실험분석), 기압골 후면으로 건조공기가 침강하며 불안정이 강화되고 골 전면에서 상승기류 강화
 - 하층 남서풍과 북동풍이 수렴되어 형성된 강수를 더욱 발달시키는 요소로 작용
- 지형적 특성
 - 남서쪽으로 트여있어 북서쪽 기압골 접근 시 전면의 남서풍이 탁월하게 유입되는 철원, 화천의 지형적 특성으로 인해 모델 예상보다 남서풍이 깊게(강원영서까지) 유입
 - 하층 수렴에 의한 강수대는 기압골 전면의 남서기류를 따라 이동하면서 발달·강화하고 철원 북쪽 지역에서 정체함



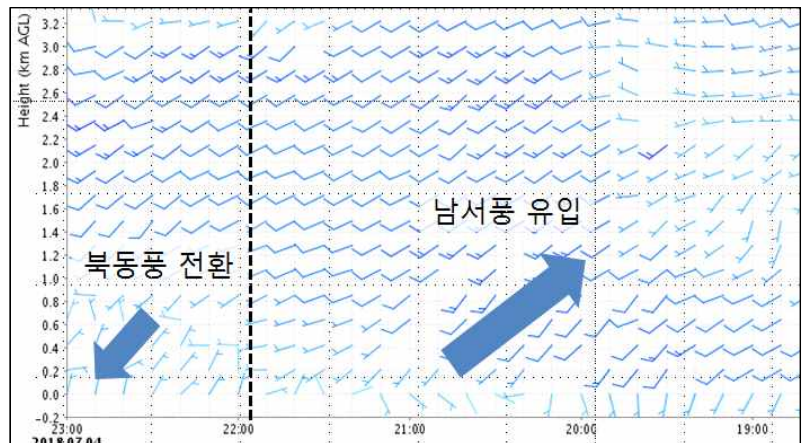
7월 4일 21시 700hPa GTS 분석장



7월 4일 21시 700hPa 모델-실험 비교



7월 4일 21시 히마와리 수증기 영상



7월 4일 철원 수직층풍관측 자료

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- 상층기압골의 추적
 - 500hPa 온도경도 구역 분석이 필요, 특히 몽골 남쪽에 온도경도 구역이 있는지 확인

3. 2018년 7월 10일 사례

복상하는 정체전선

강한 강수대가 내륙으로 유입되지 못하면...

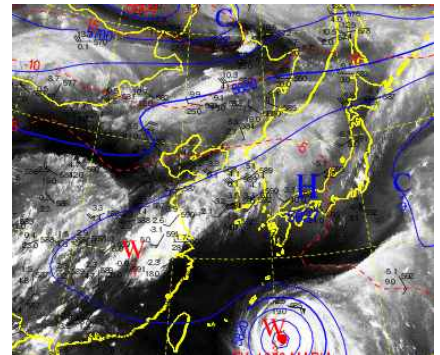
일자	2018. 7. 10.	지역	중부지방
현상(패턴)	정체전선		
특이사항	강한 강수대 내륙으로 유입되지 못한 사례		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
<p>[예상 강수량]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 서울.경기도, 강원영서: 20~60mm (많은 곳 경기북부, 강원영서북부 100mm 이상) - 강원영동, 충청북부: 5~30mm 	<p>[강수량]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 서울.경기도, 강원도: 5~40mm - 충청도, 경북북부: 5mm 미만

□ 강수 메커니즘은?

- **(정체전선 복상)** 북태평양 고기압과 중국북부내륙의 단파골 사이에서 500hPa 강풍대 중심으로 정체전선 발달, 후면에 한기가 약하고 하층제트가 동반되지 않아 강수강도는 약함, 북태평양 고기압이 확장하면서 강수대 복상
- **(중국북부내륙 약한 단파골)** 중국북부내륙의 단파골 접근, 골 후면에서 남하하는 한기가 약해 강수는 단파골 전면의 온난 이류역에서 발생



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

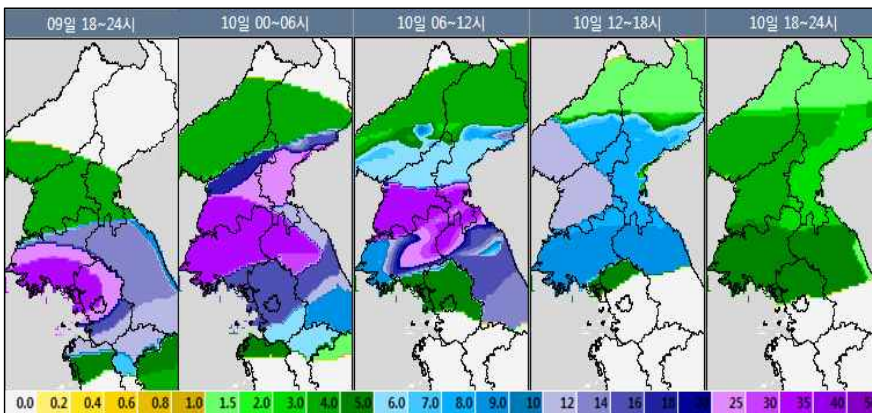
- **(정체전선 발달 및 복상)** 중국북부내륙 500hPa 단파골과 북태평양 고기압 사이에서 정체전선 발달, 500hPa 강풍대(남서풍 25kts)를 따라 강수대 형성 모의
- **(북서쪽 단파골 접근)** 북서쪽에서 단파골 남하, 산둥반도 부근 하층 저기압 발달, 저기압 전면 온난역에서 남서풍 강화(850hPa 25kts 이상)
- **(예상 강수량)** 고기압가장자리를 따라 고상당온위역 유입(850hPa 342K), 경기북부 가강수량 55mm 이상 모의

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

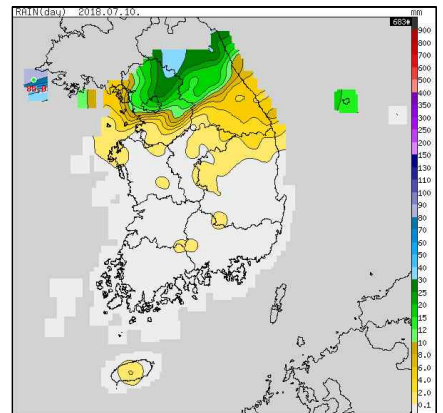
- **(우리나라 부근 고기압 세력 실황분석)** 우리나라 남쪽 고기압 세력이 모델 예상보다 강해 강수대가 더 북편하여 나타남, 또한 동쪽에 위치한 고기압도 모델 예상보다 강한 상태(850hPa 1530gpm선 위치 비교), 저기압 전면에서 발달한 강한 강수대가 내륙까지 유입되지 못할 가능성 고려

1. 예보와 실황은?

- 경기북부와 강원영서북부에 정체전선에 의한 100mm 이상의 비를 예보했으나 예상보다 적은 강수 기록
- **예보(7월 9일 17시 발표)**
 - ▶ 예상 강수량
 - 서울.경기도, 강원영서: 20~60mm(많은 곳 경기북부, 강원영서북부 100mm 이상)
 - 강원영동, 충청북부: 5~30mm
- **실황**
 - ▶ 강수량
 - 서울.경기도, 강원도: 5~40mm
 - 충청도, 경북북부: 5mm 미만



7월 10일 예상 강수량

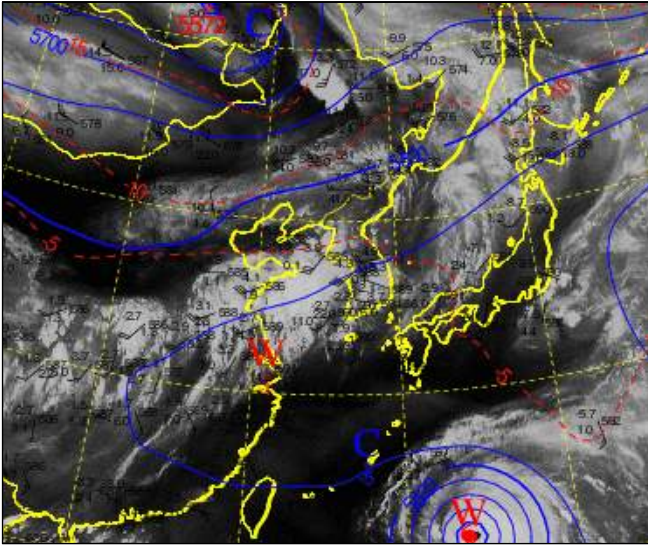


7월 10일 일강수 분포도

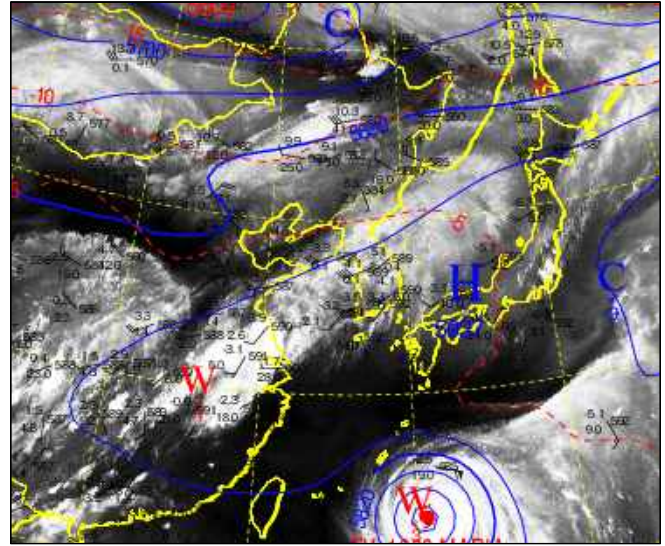
2. 강수 메커니즘은?

- **(정체전선 형성)** 북태평양 고기압 가장자리에서 유입되는 습한 공기와 중국북부내륙 단파골 후면에서 남하하는 건조한 공기가 만나면서 정체전선 형성
 - 북태평양고기압과 중국북부내륙 단파골 사이에서 기압경도가 강해지며 형성된 500hPa 강풍대(남서풍 25kts 이상)를 중심으로 정체전선 발달
 - 850hPa에도 저기압성 흐름이 형성되며 풍향 시어(남서풍-남동풍)가 뚜렷하게 나타남, 그러나 풍속이 약해 강수 강도는 약함(하층제트 없음)
- **(정체전선 북상)** 전일(9일) 오전 산둥반도 남쪽에 있던 강수대는 북태평양 고기압을 따라 동북동진, 중부지방으로 유입되어 주로 경기북부지방을 통과
 - 500hPa 강풍대 후면에 한기가 약하고 북서풍이 없음, 또한 북태평양 고기압이 확장하면서 강수대는 북상(500hPa 5880gpm 9일 09시 중부지방→9일 21시 황해도)

- **(중국북부내륙 약한 단파골)** 중국북부내륙 온도경도가 강한 구역에 단파골 존재, 그러나 단파골 후면의 한기 지원이 약하고 경압성도 약해 강수대를 강하게 발달시키지 못함, 골 전면의 온난 이류역에서 강수 발생

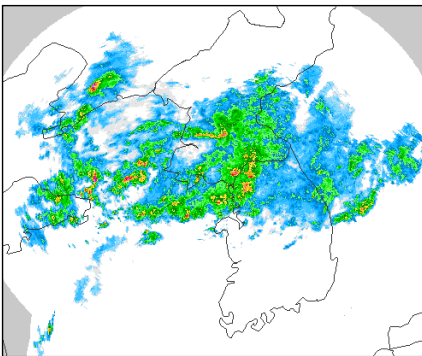


7월 9일 09시 500hPa 분석장+수증기영상

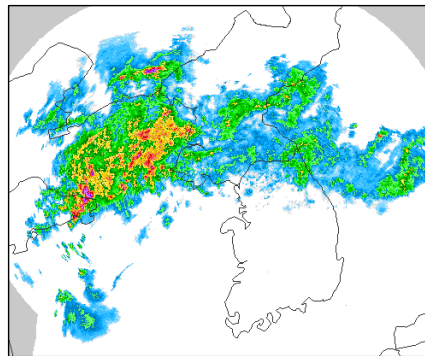


7월 9일 21시 500hPa 분석장+수증기영상

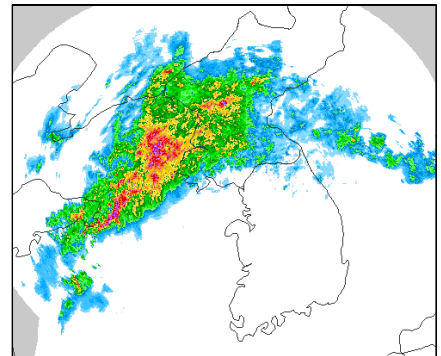
- **(강수대 이동 과정)** 9일 오후부터 10일 새벽 사이 북태평양 고기압이 확장하면서 강수대(연직 10km) 북상, 500hPa 남서풍 강풍대를 따라 발달한 강수대가 동북동진, 산둥반도와 서한만 사이에서 발달한 강한 강수대는 내륙으로 유입되지 못하고 해상에 머무름



7월 10일 00시 레이더 영상



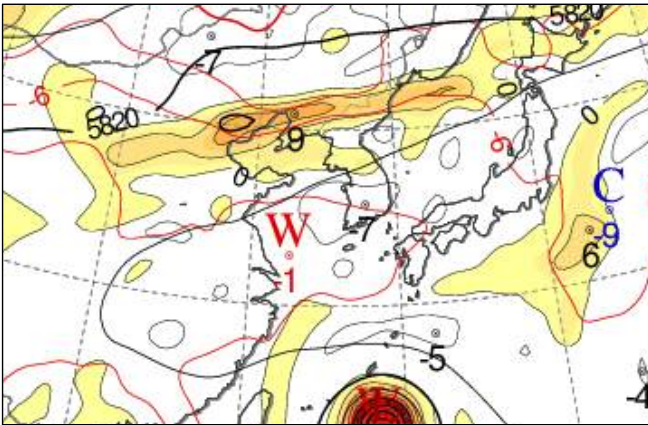
7월 10일 03시 레이더 영상



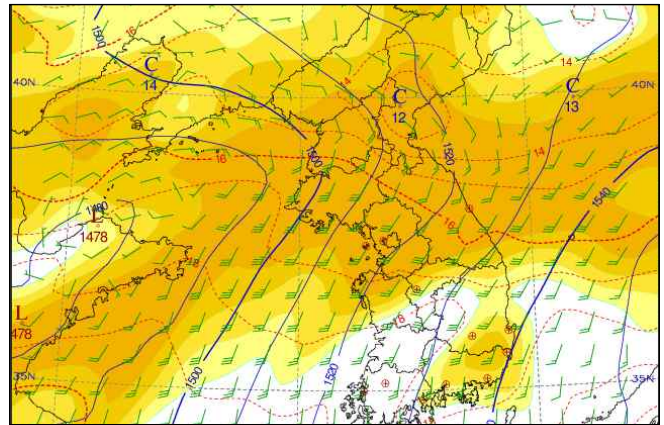
7월 10일 06시 레이더 영상

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

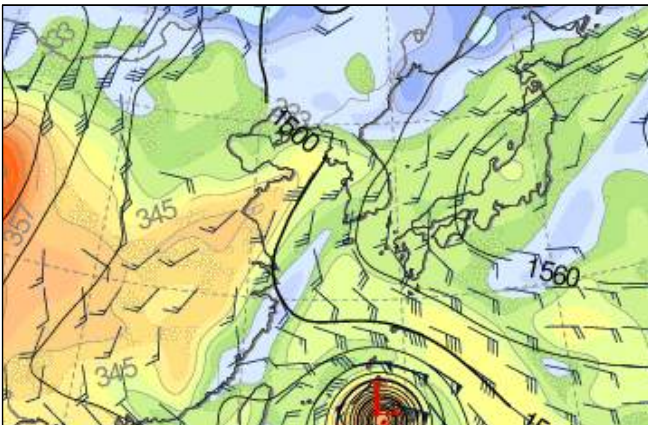
- **(정체전선 발달 및 북상)** 북태평양 고기압이 중국 상해부근~우리나라 중부지방까지 확장해 있는 가운데 양의 와도역을 동반한 500hPa 단파골이 발해만 부근을 지나가면서 정체전선을 발달시킴
 - 단파골과 북태평양 고기압 사이 500hPa 강풍대(남서풍 25kts) 형성, 이 상층 강풍대를 따라 강수대가 형성되는 것으로 모의
 - 단파골은 북태평양고기압이 확장함에 따라 동북동진하여 한중국경 부근으로 이동(500hPa 5880gpm선 9일 오전 중부지방→9일 저녁 북한지방)
- **(저기압 전면 강수대 강화)** 500hPa 단파골의 지원으로 산동반도 부근에 하층 저기압성 회전이 발달, 저기압 전면에서 기압경도가 강해지며 서해상과 중부지방으로 하층 제트(850hPa 25kts 이상)가 형성되고 강수대 강화되는 것으로 모의
 - 9일 밤~10일 새벽 하층 저기압에 동반된 온난전선이 북한지방에 위치하면서 강수대는 온난역에서 발생하는 것으로 예상함
- **(예상 강수량)** 중국내륙에서부터 고기압 가장자리를 따라 고상당온위역(850hPa 342K)이 유입되고 경기북부의 가강수량이 55mm 이상으로 모의됨, 9일 밤~10일 새벽 사이 하층제트가 강화되고 대류성 강수가 발생하면 호우 가능성이 있을 것으로 예상



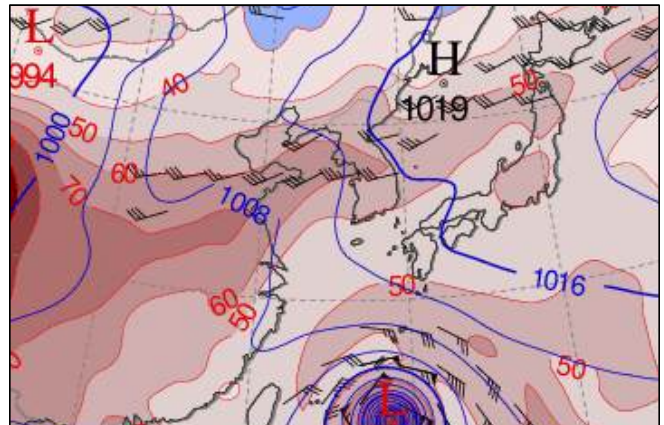
7월 10일 03시(+18h) 500hPa 고도, 기온, 와도



7월 10일 03시(+18h) 850hPa 상층 바람기온



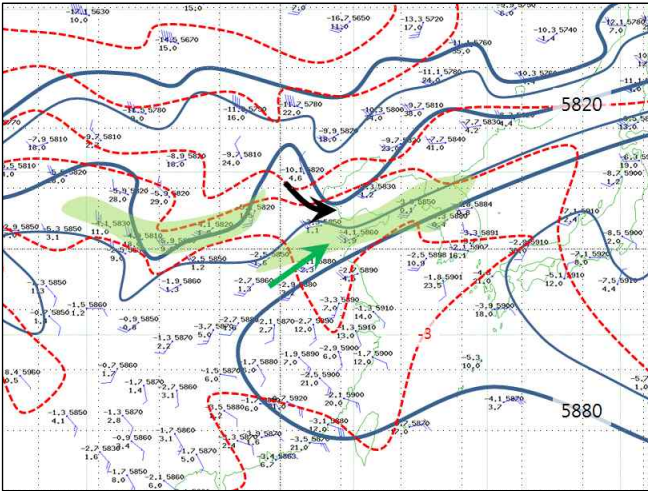
7월 10일 03시(+18h) 850hPa 고도, 상당온위



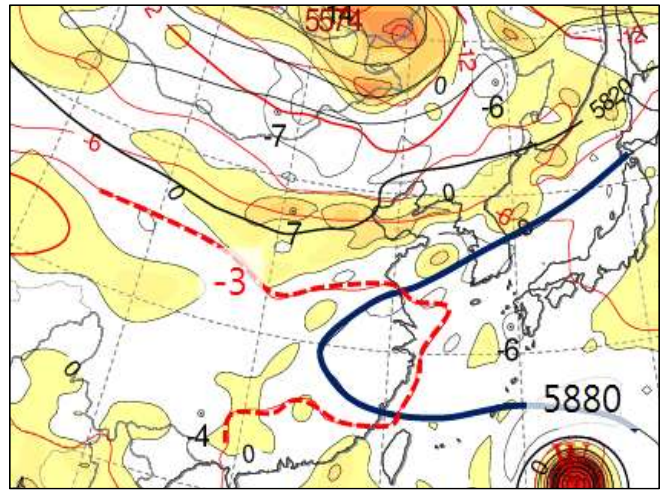
7월 10일 03시(+18h) 가강수량

4. 예상과 달랐던 점은?

- (강수대 북상 정도) 강수대가 예상보다 더 북상하면서 적은 강수량 기록
 - 전일(9일) 예보 시 실황에서 나타나는 우리나라 남쪽의 고기압이 모델 예상보다 강한 상황이었음 (500hPa -3°C선, 5880gpm선 위치 비교)
 - 실황을 반영하여 강수대는 모델이 예상하는 것보다 북편하여 나타날 것으로 예보하였으나 예상보다 더 북상함

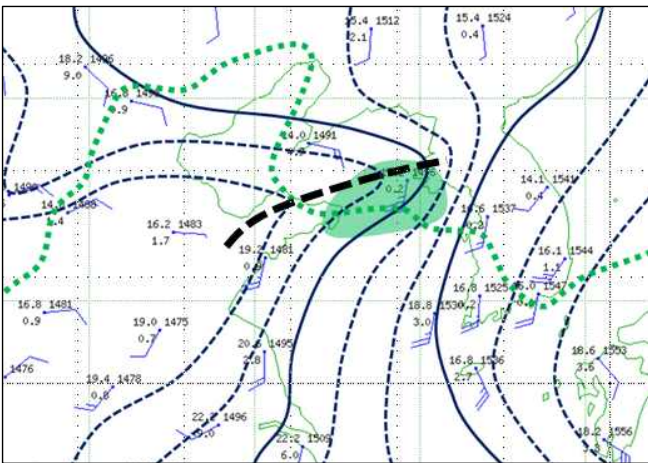


7월 9일 09시 500hPa GTS 분석장

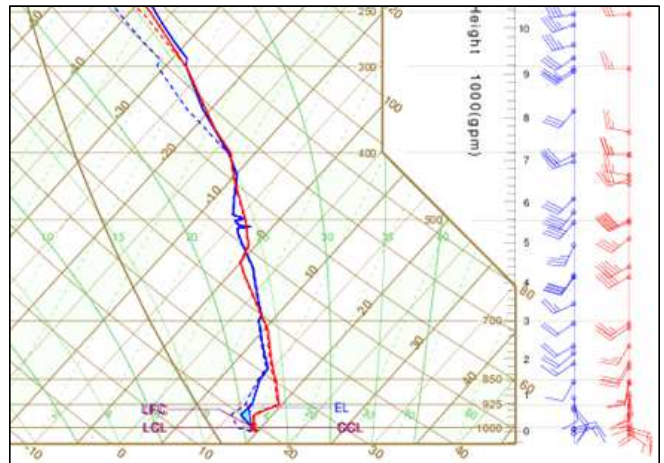


7월 9일 09시(+12h) 500hPa 기온, 와도 예상장

- (우리나라 동쪽 고기압 강화) 우리나라 남쪽 고기압뿐만 아니라 동쪽에 위치한 고기압의 세력도 강해 강수대가 내륙으로 유입되지 못함
 - 9일 21시 850hPa GTS 분석장에서 나타나는 하층제트가 산둥반도~백령도 부근으로만 형성되고 내륙에는 풍속이 약했음
 - 850hPa에서 형성된 전선대가 우리나라로 유입되지 못하고 산둥반도 북쪽~황해도로 북상



7월 9일 21시 850hPa GTS 분석장

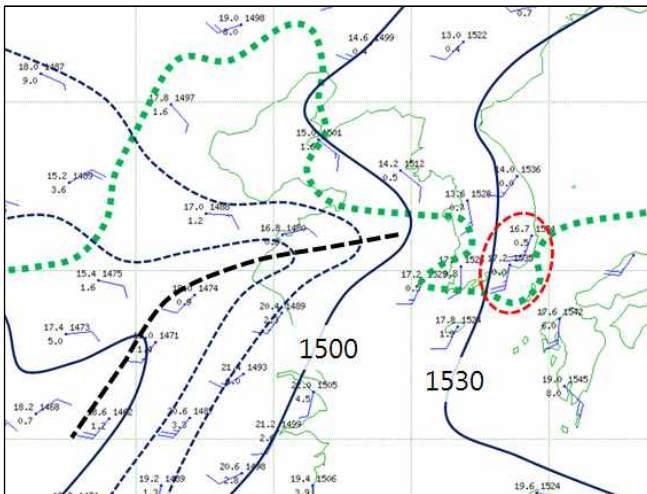


7월 9일 15시/21시 오산 단열선도

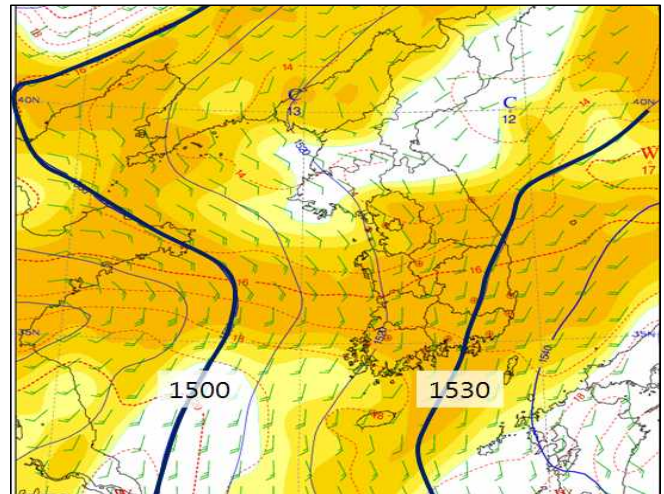
5. 예보 시점으로 돌아간다면?

● 우리나라 부근 고기압 세력 실태분석

- 우리나라 남쪽의 고기압이 모델 예상보다 강해 강수대가 모델이 모의하는 것보다 북편하여 주 강수대는 북한지방에 나타날 것으로 예상하였던 것은 일치하였음
- 9일 21시 오산 단열선도를 보면 850hPa 이상에는 남서풍이 불며 온난이류가 나타나지만 925hPa 이하 층에는 한기가 남아있고 남서풍도 뚜렷하지 않음, 동쪽의 고기압이 빠져나가지 않은 상태임을 알 수 있음
- 9일 09시 850hPa 1530gpm선의 위치가 모델 예상보다 내륙에 위치하고 있는 것을 통해 (850hPa GTS 분석장과 상세바람장 비교) 동쪽 고기압 세력이 모델이 모의하는 것보다 강한 상태임을 알 수 있음



7월 9일 09시 850hPa GTS 분석장



7월 9일 09시(+12h) 850hPa 상세바람기온 예상장

4. 2018년 8월 6일 사례

단순한 동풍 강수인줄 알았는데 강원동해안 1시간 최다 강수량 70mm 기록

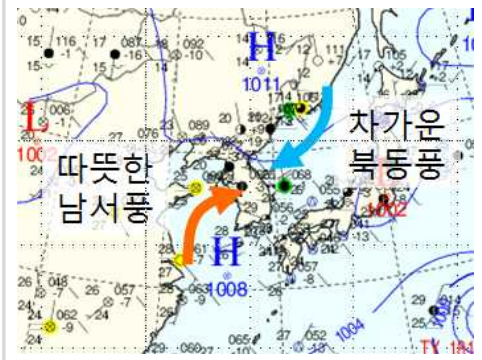
일자	2018. 8. 6.	지역	강원동해안
현상(패턴)	동풍에 의한 강수		
특이사항	중층 찬 공기의 역할		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 강원영동, 경북동해안 5~50mm	[강수량] - 강원영동중북부 100~300mm - 강원영동남부, 경상동해안 10~80mm 미만

□ 강수 메커니즘은?

- (동해안 북동풍에 의한 하층 한기 유입) 오호츠크해 부근 상층 절리저기압 후면으로 한기 남하, 동해상으로 고기압이 확장하면서 동해안으로 북동풍 유입
- (하층 기류 수렴) 동해상에서 유입되는 북동풍과 서해상 고기압 가장자리를 따라 유입되는 서풍이 동해안에서 수렴
- (중층 한기) 700hPa 단파골이 강원동해안을 통과, 단파골 전면에서 상승운동 강화



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

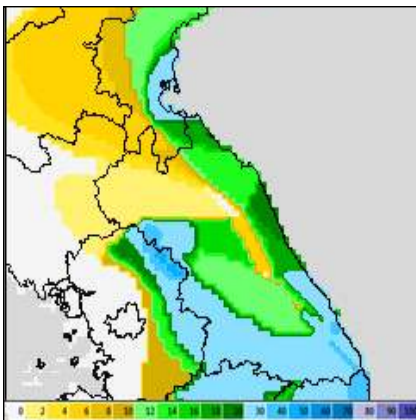
- (동해안 찬 공기 이류) 동풍류가 850hPa 이하, 5~10kts로 불면서 동해안으로 찬 공기 이류, 하층에서 동서간 온도경도 커짐
- (내륙 기류 수렴) 서해남부해상 고기압과 동해상 고기압에서 각각 북서풍과 북동풍이 유입, 내륙에서 수렴하는 것으로 모의
- (대류 억제) 850hPa 이하에는 찬 공기가 이류되나 700hPa 이상에서는 기온이 상대적으로 높게 유지되면서 상승운동을 억제할 것으로 예상

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

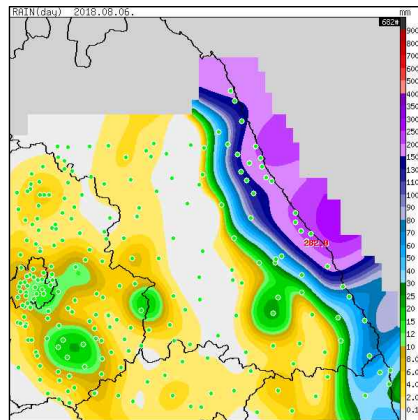
- 전일(5일) 강원동해안과 경북동해안에 낮기온이 높았음(영덕 39.9°C, 속초 38.7°C, 강문 38.2°C 등), 동해안과 산지에 35°C 이상 기온이 오르며 열이 축적된 상태에서 찬 공기 이류
- 일반적인 동풍 강수에서 나타나는 capping inversion(상승을 억제시킴)이 없었음

1. 예보와 실황은?

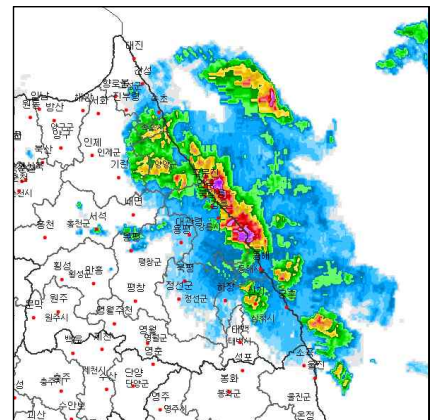
- 동해안에 북동풍이 유입되면서 호우특보 기준 미만의 강수량을 예상했으나 단시간에 강수대가 발달하면서 많은 비가 내림
 - ▶ 1시간 최다 강수량 속초 70.1mm(극값 1위), 강릉 93.0mm(극값 2위) 기록
- **예보(8월 5일 17시 발표)**
 - ▶ 예상 강수량
 - 강원영동, 경북동해안: 5~50mm
- **실황**
 - ▶ 강수량
 - 강원영동중북부: 100~300mm
 - 강원영동남부, 경상동해안: 10~80mm



8월 6일 예상강수량



8월 6일 일강수 분포도

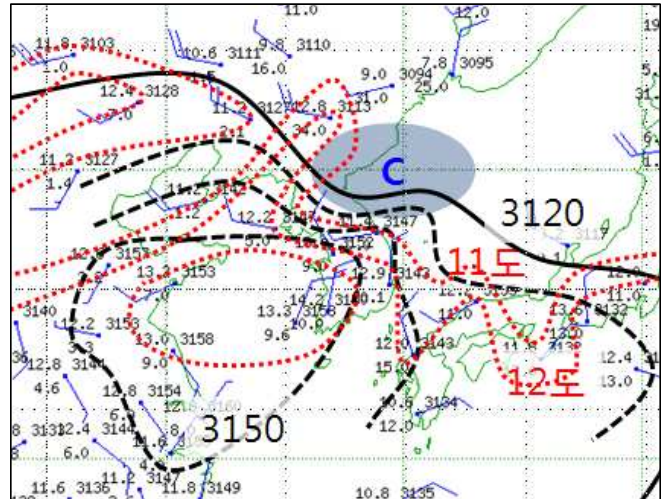
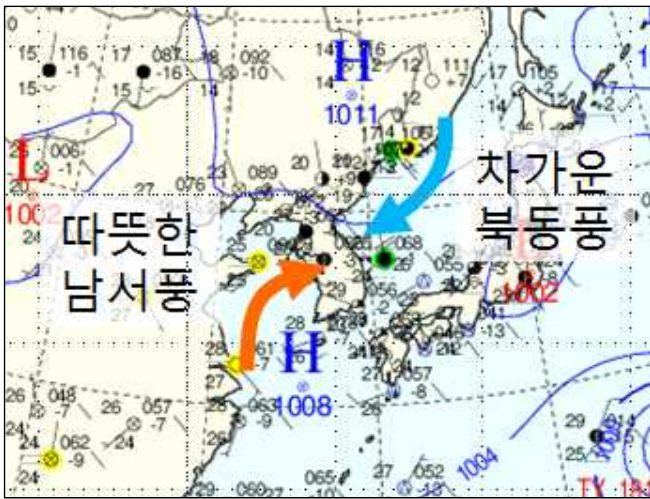


8월 6일 8시 레이더 영상

2. 강수 메커니즘은?

- **(동해안 북동풍에 의한 하층 한기 유입)** 동해상으로 고기압이 확장하면서 강원동해안에는 고기압 가장 자리를 따라 차가운 북동풍이 유입됨
 - 오호츠크해 부근에 상층 절리저기압이 자리하면서 저기압 후면으로 한기를 끌어내리는 가운데 연해주 부근으로 단파골이 남동진하고 단파골에 동반된 상층 한기가 침강하여 하층에 쌓이면서 지상 고기압이 발달
 - 연해주 부근 고기압 가장자리 따라 850hPa 이하 고도에서 북동풍이 불면서 강원 동해안으로 유입
 - 북동풍이 해상을 지나면서 수증기를 공급받아 포화되고 해안에 도달하여 수렴되면서 강수대 발달
- **(동해안 하층 기류 수렴)** 한난 기류가 수렴하면서 불안정역 형성, 강수대 발달
 - 동해상 고기압으로부터 유입되는 차가운 북동풍과 서해상에 자리한 고기압의 가장자리를 따라 부는 따뜻한 서풍이 동해안에서 수렴

- **(중층 단파골 통과)** 700hPa 단파골이 강원동해안을 지나면서 후면으로 건조 공기 관입
 - 단파골 전면에서 상승기류를 발달시켜 하층에서 수렴된 공기가 폭발적으로 상승하는 것을 도움
 - 700hPa 단파골에 동반된 온도골이 동해안에 위치하면서 700hPa 기온이 12°C 이하로 하강(5일 09시 14°C→6일 09시 11~12°C), 중층 기온이 하강하면서 역학적 불안정을 강화시킴
- **(산맥에 의한 강제 상승)** 하층에서 북동풍 찬 공기 이류에 의한 수렴, 북동풍과 서풍의 기류 수렴으로 인해 포화된 공기가 태백산맥을 동쪽 사면을 따라 상승하면서 더욱 발달

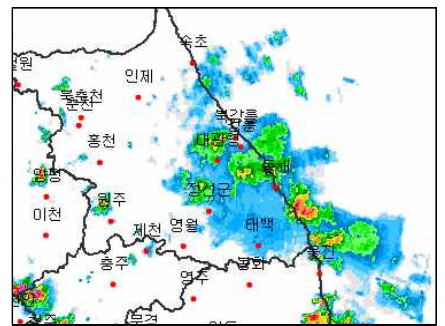
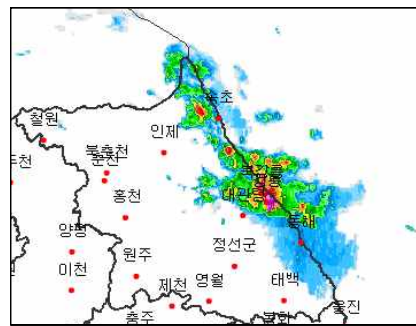
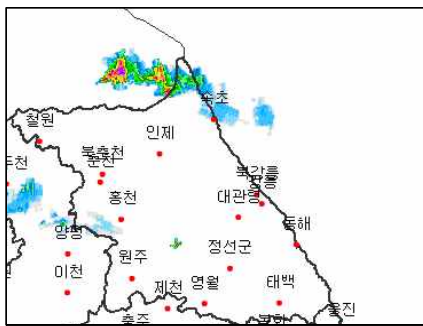


8월 6일 09시 지상 일기도

8월 6일 09시 700hPa GTS 재분석

● **강수 발달 과정**

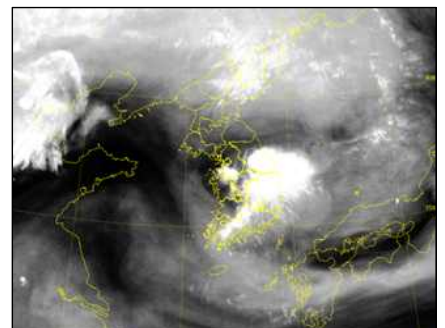
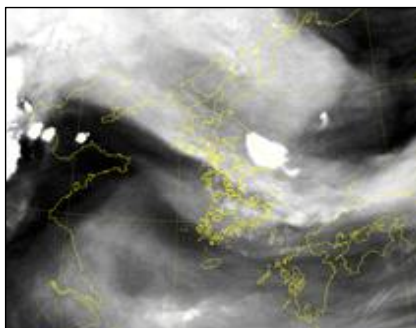
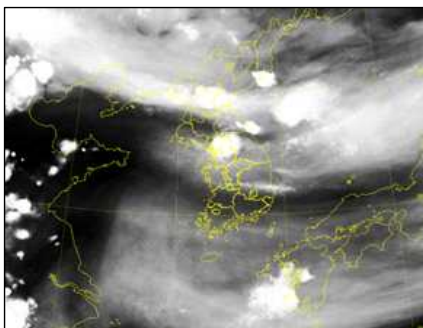
- 강원북부동해안에 예상보다 빨리 강수 에코 발달(1차 건조역 침투) → 강원중부동해안으로 남하하며 발달(2차 건조역) → 경북동해안으로 남하하며 점차 약화



8월 5일 19시 레이더 영상

8월 6일 03시 레이더 영상

8월 6일 12시 레이더 영상



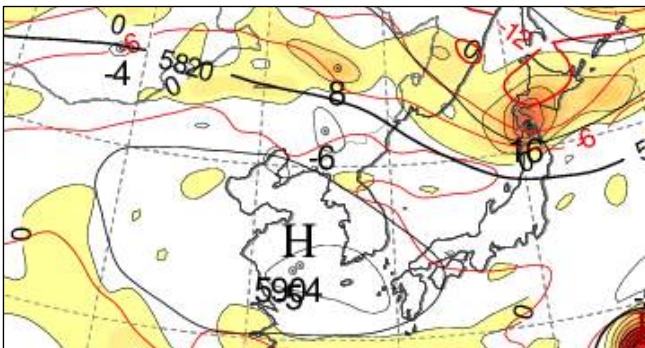
8월 5일 19시 히마와리 수증기

8월 6일 03시 히마와리 수증기

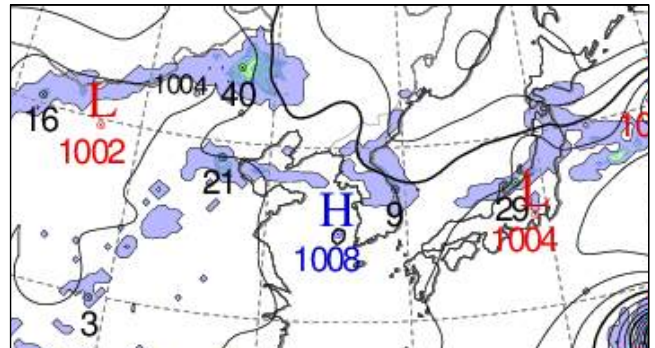
8월 6일 12시 히마와리 수증기

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

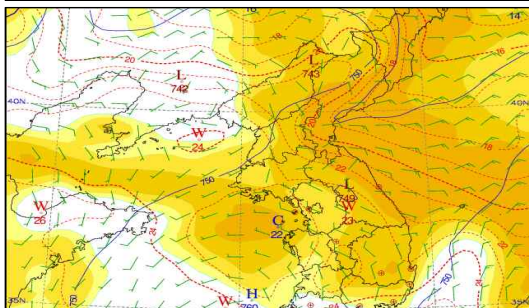
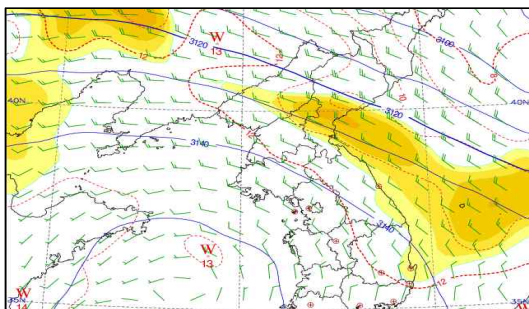
- **(동해안 차가운 북동풍 유입)** 동해안에 북동풍이 925hPa~850hPa 5~10kts로 불면서 찬 공기 이류 모의
 - 700hPa 이상에서는 서해남부해상 고기압의 가장자리를 따라 북서풍이 유입되면서 기온 하강폭이 하층대기보다 상대적으로 작은 것으로 모의함
- **(동서 고기압에 의한 내륙 기류 수렴)** 동서 한난 경계가 내륙에서 형성
 - 서해남부해상에 상층 고기압에 의한 하강기류가 쌓이면서 지상고기압이 발달
 - 연해주와 일본 홋카이도 부근에 한기를 동반한 500hPa 기압골 남하, 동해상으로 찬 고기압 확장
 - 서해상 고기압으로부터 북서풍+동해상 고기압으로부터 북동풍 ⇒ 내륙(강원영서)에서 수렴
- **(대류 억제 작용)** 동해상으로부터 850hPa 이하의 차고 습한 공기 이류, 하층 기온은 낮아지고 포화도 상승, 그러나 중상층의 기온이 높게 유지되면서 대류 발달에 방해 요소로 작용할 것으로 예상
 - 하층에서 동풍에 의해 포화되더라도 700hPa 이상 상승할 수 있는 연직 구조가 아니라 동풍에 의해 생성되는 하층운에 의해서만 내리는 강수로 예상
- 6일 강원동해안의 총 누적강수량은 30~40mm, 가강수량은 60 이상 모의되면서 대류성 강수가 발달하게 되면 많은 강수가 내릴 수 있을 것으로 모의함



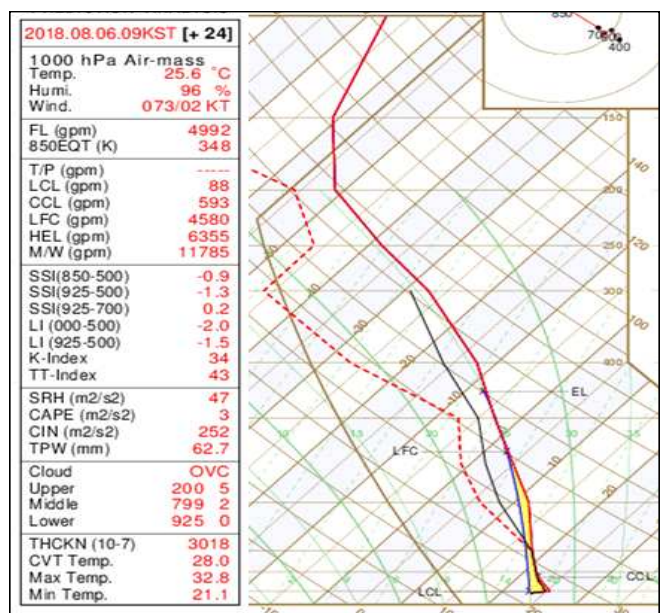
8월 6일 09시(+24h) 500hPa 고도,기온,와도



8월 6일 09시(+24h) 해면기압, 누적 강수량



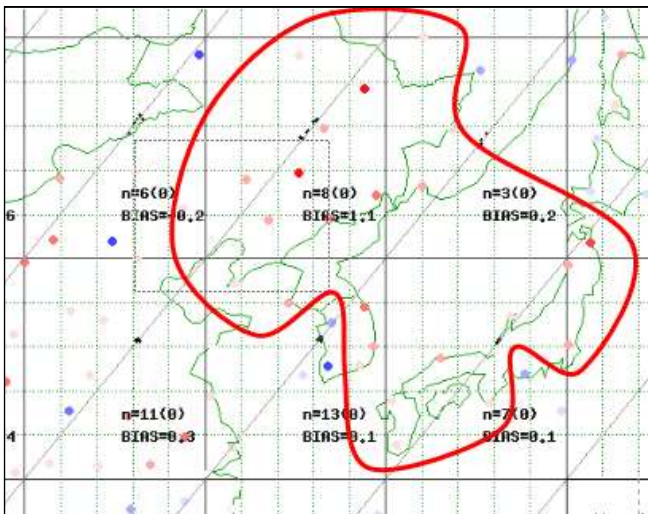
8월 6일 09시(+24h) 상세바람 예상장
700hPa(상), 925hPa(하)



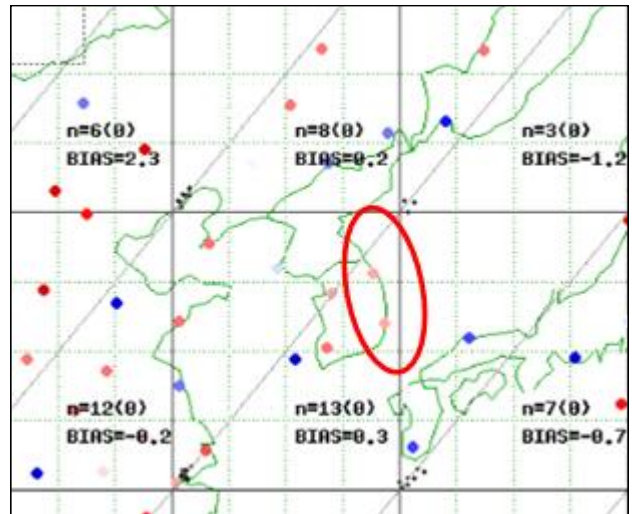
8월 6일 09시(+24h) 속초 예상단열선도

4. 예상과 달랐던 점은?

- **(강원동해안 강수량)** 강원영동중북부에서 대류성 강수대가 폭발적으로 발달하면서 예상보다 많은 강수량 기록
- **(700hPa 이상 층의 한기 남하)** 700hPa 이상 고도에서 모델이 예상했던 것보다 한기가 강하게 남하(5일 21시 700hPa의 기온 양의 bias)
 - 중상층의 한기가 남하하는 전면에서 대류 폭발적으로 발달, 낮은 고도에서 포화된 공기가 중층의 대류 발달 억제 없이 상승할 수 있었음
- **(모델 예상보다 약한 동풍)** 서풍이 깊게 유입되면서 서풍과 북동풍의 수렴역이 동해안에 발달
 - 예보 당시 동해상 고기압의 북동풍과 서해상 고기압의 서풍이 강원영서내륙 및 경북내륙에 수렴하여 하층 수렴에 의한 소낙성 강수를 내릴 것으로 예상하였음
 - 예상보다 동풍이 약하게 불면서 수렴역이 내륙이 아닌 동해안에 형성됨



8월 5일 21시 700hPa 기온 편차(모델-관측)



8월 5일 21시 850hPa 풍속 편차(모델-관측)

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- **전일(5일) 강원동해안과 경북동해안의 높은 낮기온 상황**
 - 5일 영덕 39.9°C, 속초 38.7°C, 기계(포항) 38.3°C, 강문(강릉) 38.2°C 등 동해안과 산지에 35°C 이상의 높은 낮 최고기온을 기록하면서 최하층에 열이 축적됨
 - 4~6일 사이 동해안의 해수면 온도가 28°C 이상으로 나타나면서 평년에 비해 3~5°C 높은 분포
 - ⇒ 동해안에 열이 축적된 상태에서 북동풍에 의한 한기 남하
 - ⇒ 한난 공기가 만나면서 동해안의 불안정 강화
- **강한 불안정도 존재(높은 AKI 지수)**
 - 일반적인 동풍 강수는 하층에 동풍이 불면서 한기가 이루어지므로 하층 기온만 하강, 따라서 대류 불안정이 없고 상승을 억제하는 capping inversion이 존재
 - 이번 사례는 강한 불안정도(AKI 지수 100 이상)와 capping inversion이 나타나지 않음
 - ⇒ 대류를 도와주는 다른 메커니즘 존재
 - ⇒ 일반적인 동풍 강수와 다르다!

5. 2018년 8월 29일 사례

좁은 띠 형태의 전선대 강수

경기북부, 강원영서 최북단 적은 강수량 기록

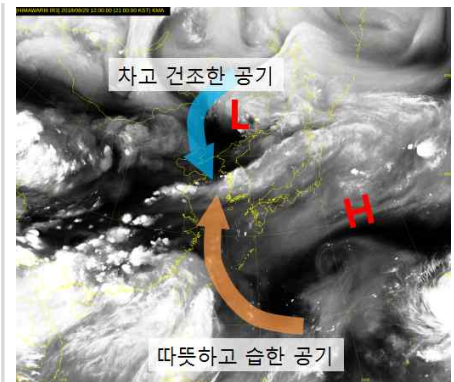
일자	2018. 8. 29.	지역	중부지방
현상(패턴)	정체전선		
특이사항	강수대의 남북 폭이 좁아 강수량 차이 큼		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 서울.경기북부, 강원영서북부: 100~200mm (많은 곳 250mm 이상) - 경기남부, 강원영서남부: 50~100mm (많은 곳 150mm 이상)	[강수량] - 서울북부, 경기북부: 100~300mm (경기북부 일부 5~50mm) - 서울(북부 제외), 경기남부, 강원영서: 10~80mm

□ 강수 메커니즘은?

- **(정체전선 형성)** 북태평양고기압과 중국북동지방 저기압 사이에서 성질이 다른 공기가 만나 정체전선 형성, 전일(28일) 영향을 주었던 기압골보다 더 차고 건조한 공기가 남하
- **(남서기류 수렴)** 북쪽 저기압의 온난역에서 부는 남서기류와 북태평양고기압 가장자리의 남서기류가 중부지방에서 수렴, 좁은 띠 형태의 강수대 발달



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

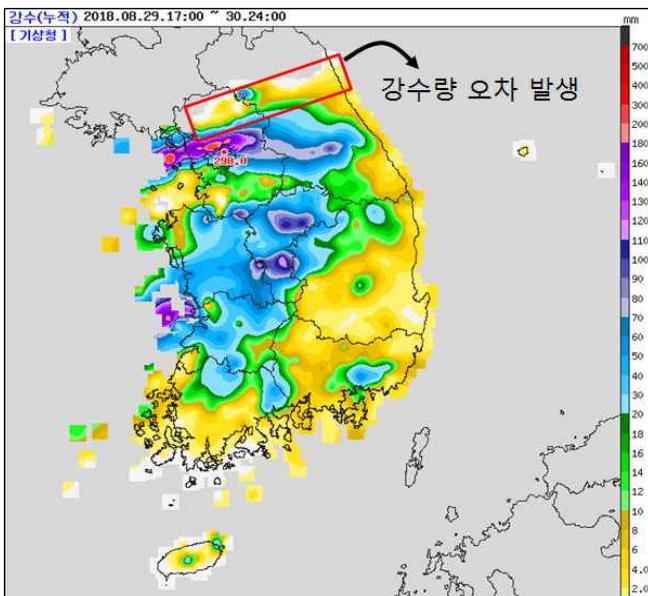
- **(중국북동지방 기압골 통과)** 북태평양 고기압이 남부지방에 자리하면서 기압골 후면의 한기가 남하하지 못하고 북한지방으로 흘러가는 것으로 모의(실황에서 나타나는 것보다 약하게 모의함)
- **(850hPa 강풍축 따라 강수대 형성)** 29일 밤 850hPa 하층 제트 축이 경기북부를 통과, 500hPa 강풍축은 북한지방에 위치하면서 강풍축이 연직으로 기울어짐, 하층의 강풍축을 따라 대류성 강수대 발달 예상

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

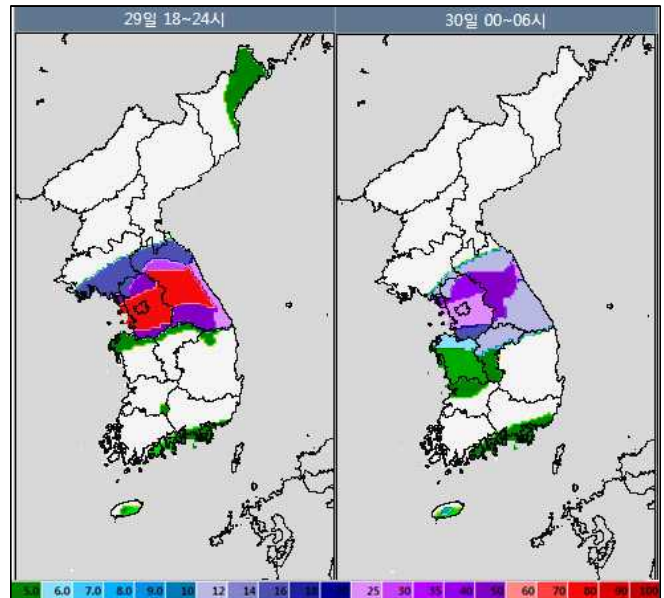
- **(북쪽 기압골 후면 한기 강도)** 발해만 북쪽 단파골 후면의 한기가 실황보다 강하게 나타나고 있었음, 북쪽 한기가 모델 예상보다 더 남하할 가능성을 고려, 또한 남쪽 고기압도 모델이 모의하는 것보다 더 북편하여 버티고 있었으므로 수렴역이 더 좁게 형성될 가능성 고려

1. 예보와 실황은?

- 29일 밤~30일 새벽 경기북부에 예상보다 적은 강수량 기록
 - 29일 낮 동안 이미 많은 강수가 내린 가운데(29일 00시~17시 사이 강수량 경기북부, 강원영서 북부 100~400mm, 1시간 최대 강수량 80mm), 29일 밤~30일 새벽 사이 강수대가 다시 발달하면서 경기북부, 강원영서북부에 많은 강수가 추가적으로 더 내릴 것으로 예상하였음
 - 그러나 예상보다 더 좁은 밴드 형태로 나타나면서 경기북부 일부에는 예보보다 적은 강수량이 기록됨
- 예보(8월 29일 17시 발표)
 - ▶ 예상 강수량(29일 17시~30일)
 - 서울.경기북부, 강원영서북부: 100~200mm(많은 곳 250mm 이상)
 - 경기남부, 강원영서남부: 50~100mm(많은 곳 150mm 이상)
- 실황(29일 17시~30일 24시)
 - ▶ 강수량
 - 서울 북부, 경기북부: 100~300mm
 - 경기북부 일부: 5~50mm
 - 서울(북부 제외), 경기남부, 강원영서: 10~80mm



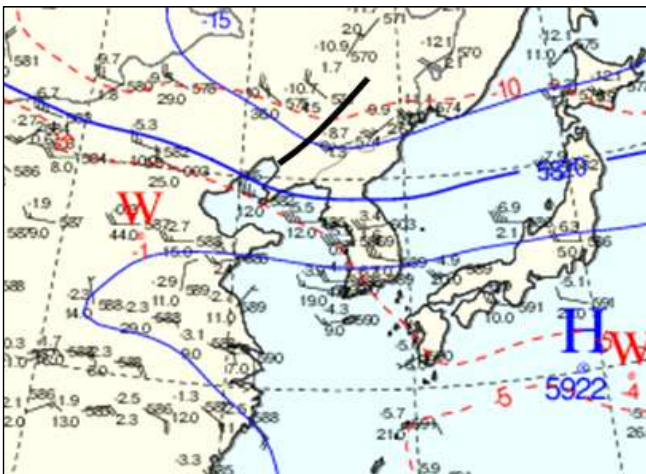
8월 29일 17시~30일 24시 누적강수 분포도



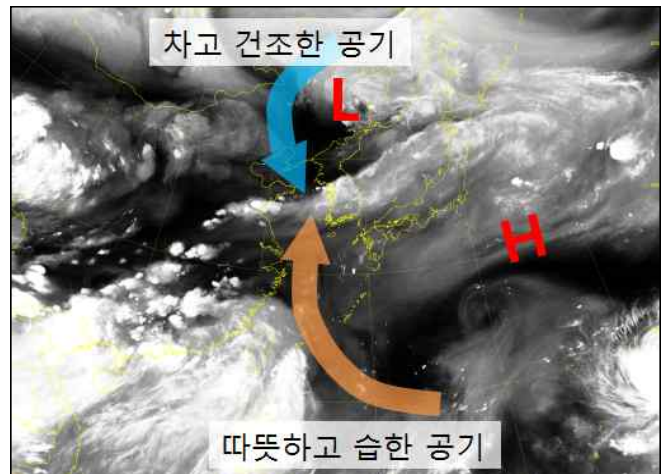
8월 29일 예상 강수량 분포도

2. 강수 메커니즘은?

- **(정체전선 형성)** 중국북동지방으로 한기를 동반한 상층기압골이 통과하며 하층 저기압을 발달 시킴, 우리나라 남쪽에 버티고 있는 북태평양 고기압(500hPa 5880gpm 남부지방에 위치)과 중국북동지방 저기압 사이에서 성질이 다른 두 공기가 충돌하며 정체전선 형성
- **(중국북동지방 저기압 연달아 통과)** 중국북동지방의 상층 저기압성 흐름을 따라 기압골이 통과 하면서 기압골 후면으로 찬공기 남하
 - 28일 밤~29일 낮까지는 서한만에 위치한 단파골에 동반된 강수대가 경기북부에 영향을 주었음
 - 29일 밤부터는 발해만 북쪽을 지나는 기압골의 영향, 하층 저기압에 동반된 강수대는 중국북동지방과 북한지방을 지나가고, 저기압 후면으로 고기압이 확장하면서 북서기류를 타고 건조역이 전일 보다 더 남하, 좁고 강한 강수대로 발달
- **(하층 남서 기류 수렴)** 북쪽 저기압 전면의 남서기류와 북태평양 고기압 가장자리에서 유입되는 남서기류가 중부지방에서 수렴되면서 좁은 띠 형태의 강수대로 발달



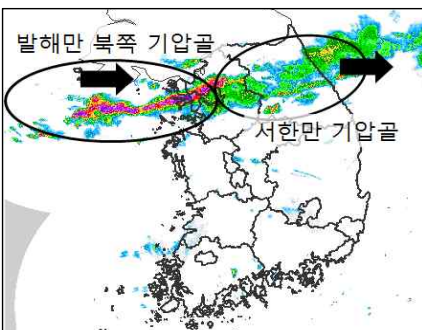
8월 29일 21시 500hPa 분석장



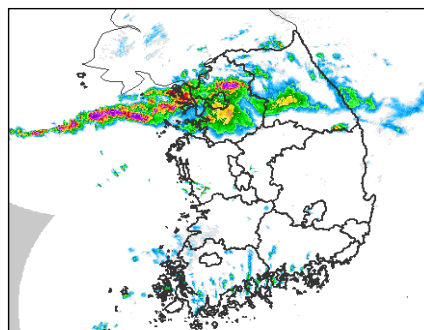
8월 29일 21시 히마와리 수증기 영상

• 강수 발달 과정

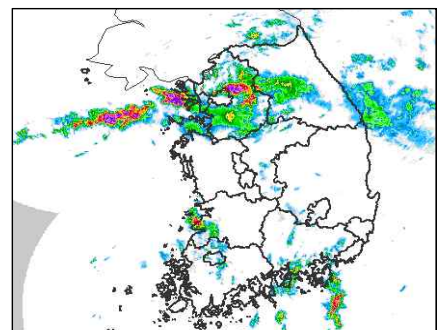
- 29일 낮까지 서한만 기압골에 동반되어 경기북부를 중심으로 영향을 주었던 강한 강수대(연직 12~14km)는 약화되면서 동쪽으로 이동
- 뒤이어 발해만 북쪽으로 기압골이 남하하면서 후면에서 건조한 한기가 침강, 북태평양 고기압을 따라 유입된 습한 공기를 파고들면서 수렴역을 좁고 폭발적으로 발달(연직 10~12km)시킴



8월 29일 18시 레이더 영상



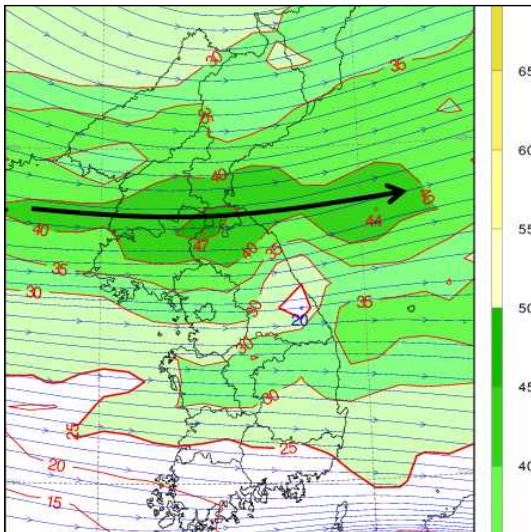
8월 29일 21시 레이더 영상



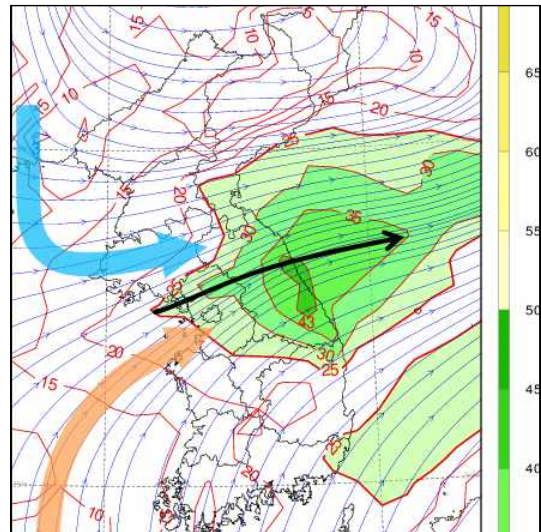
8월 30일 00시 레이더 영상

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

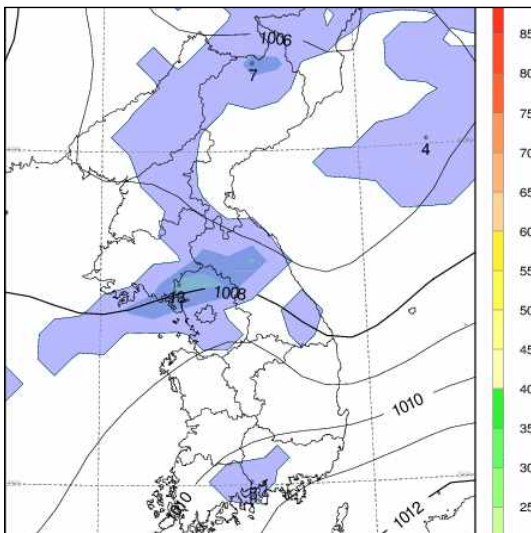
- **(중국북동지방 기압골 통과)** 중국북동지방으로 기압골이 통과, 기압골 후면으로 한기가 남하하지만 남부지방에 북태평양 고기압이 자리하고 있어(29일 21시 500hPa 5880gpm선 남부지방 위치) 깊게 내려오지 못하고 상층의 한기는 주로 북한지방으로 흘러가는 것으로 모의
- **(850hPa 강풍축을 따라 강수대 형성)** 29일 밤~30일 새벽 850hPa 하층제트 축이 경기북부를 통과, 500hPa 강풍축은 북한에 위치하므로 강풍축이 연직 방향으로 기울어져 있는 것으로 모의, 주 강수대는 한기가 하층까지 파고드는 850hPa의 강풍축을 중심으로 형성되는 남서풍의 수렴역을 따라 대류성으로 발달할 것으로 예상
- **(강한 강수대 경기북부 분포)** 좁은 띠 형태의 강수를 모델이 모의하고 있으나 강수량은 100mm 미만, 경기북부(특히 경기북동부 중심)로 강한 강수대가 통과할 것으로 모의



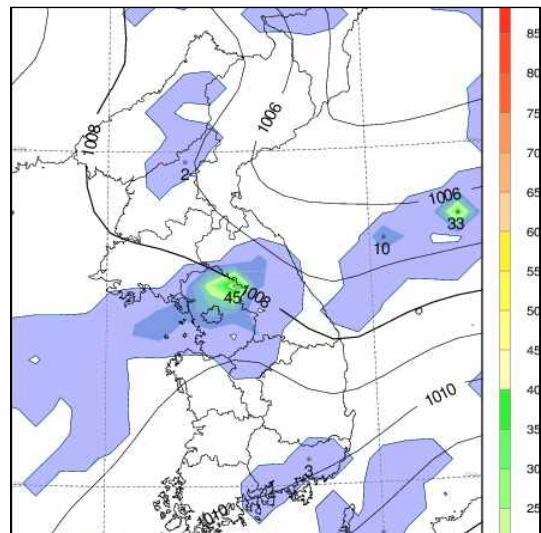
8월 29일 21시(+12h) 500hPa 유선, 풍속 예상



8월 29일(+12h) 21시 850hPa 유선, 풍속 예상



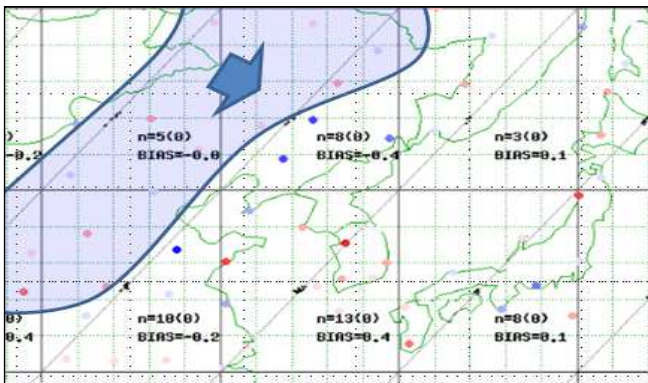
8월 29일 21시(+12h) 시간별 누적강수량 예상



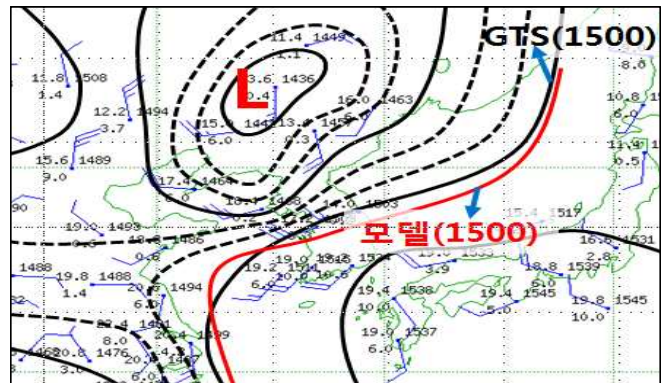
8월 30일 03시(+18h) 시간별 누적강수량 예상

4. 예상과 달랐던 점은?

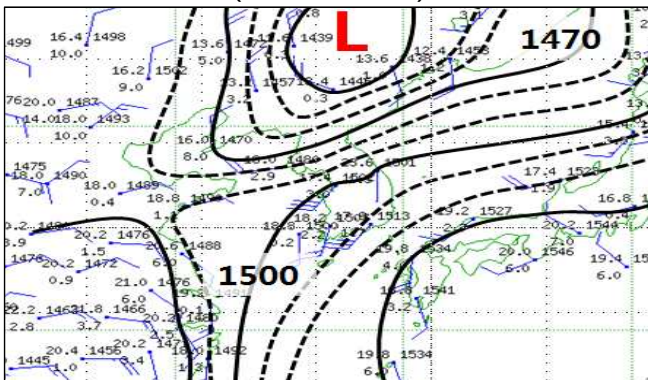
- 29일 낮 동안 이미 비가 많이 내린 상태에서 29일 밤~30일 새벽 사이 경기북부와 강원영서북부에 100~200mm의 비가 추가적으로 더 내릴 것으로 예보하였으나 강수대가 예상보다 더 좁게 발달하면서 경기북부와 강원영서북부 일부 지역에 예보보다 적은 강수 기록
- **(모델 VS 실황 500hPa 기온 분포 비교)** 예보 당시 실황과 모델에서 나타나는 500hPa 기온을 비교 (29일 09시 GDAPS VS GTS)
 - 우리나라에는 warm bias, 한중국경 부근에는 cold bias가 나타나면서 한중국경 부근으로 모델이 모의하는 것보다 난기가 강하게 유입된 상태를 보이고 있었음
 - 한편 29일 밤~30일 새벽에 남하하여 강수대를 활성화시킬 것으로 예상되는 발해만 북서쪽의 한기역에는 warm bias가 나타나면서 모델보다 실황의 한기가 더 강한 상태
 - 모델 예상보다 강한 한기가 남하함에 따라 모델이 모의하는 것보다 강수가 강하게 내릴 것으로 분석, 전체 강수량만 고려하면 실황에서 모델보다 많은 강수량이 기록됨
- **(남쪽 고기압 위치)** 29일 09시 GTS 분석장(예보 당시 실황)에서 우리나라 남쪽 고기압이 모델 모의보다 강하게 나타남, 남쪽 고기압이 강수대가 남하하는 것을 저지하면서 중부지방의 강수지속 시간이 늘어나 강수량이 많아질 것으로 보았고, 경기북부에도 많은 강수 가능성을 예상했음
 - 29일 21시 850hPa GTS 분석장에 나타나는 1500gpm선이 모델 예상보다 북상한 상태, 또한 서한만 부근의 1470gpm선도 모델이 예상하는 것보다 더 남하해 있음
 - 북태평양 고기압의 확장 및 중국북동지방 저기압 후면의 건조역 남하가 모델이 예상했던 것보다 강해 강수대는 더 좁고 강한 형태로 발달함



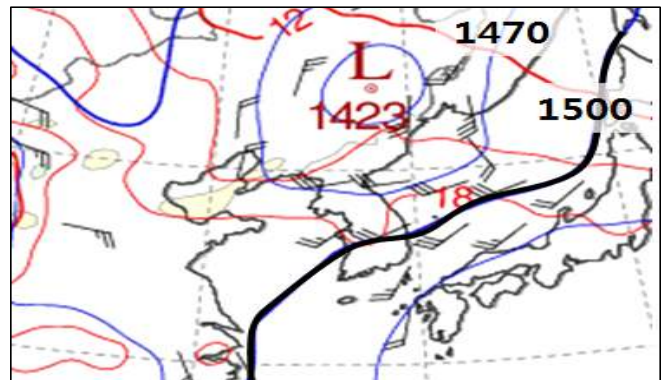
8월 29일 09시 500hPa 기온 비교
(GDAPS VS GTS)



8월 29일 09시 850hPa GTS 분석장



8월 29일 21시 850hPa GTS 분석장

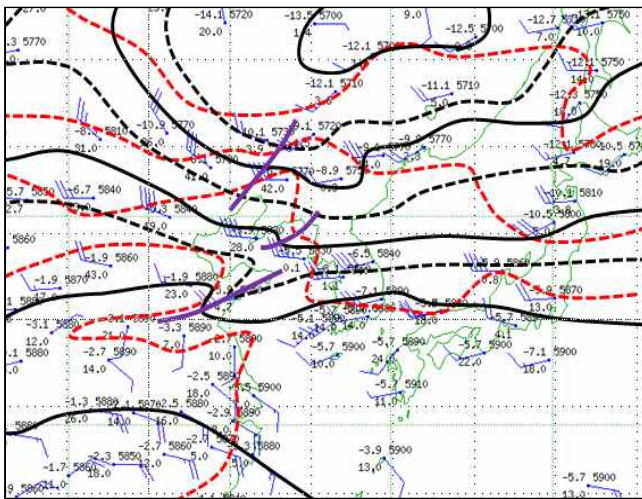


8월 29일 21시(+12h) 850hPa 전선,고도,기온 예상장

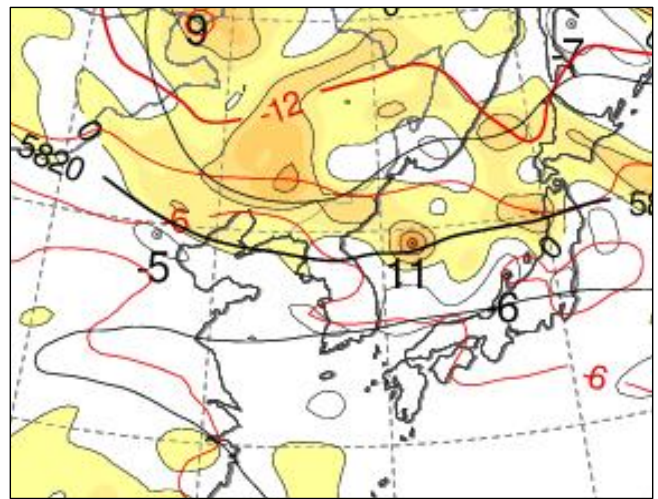
5. 예보 시점으로 돌아간다면?

● 북쪽 기압골 후면 한기 강도

- 29일 09시 GTS 일기도에서 발해만 북쪽 단파골과 서한만 단파골로 분리되어 있는 것을 분석, 이는 모델 초기장에서 뚜렷하게 표현되지 않고 있었음
- 예보 당시, 서한만 단파골이 통과한 후 발해만 북쪽 단파골이 남하하면서 29일 밤 강수대를 활성화시키고, 모델과 실황 기온 비교를 통해 발해만 북쪽 단파골 후면의 한기가 실황보다 강하게 나타나고 있음을 인지하였음
- 실황분석을 통해 북쪽 한기가 모델 예상보다 더 남하할 가능성을 고려할 수 있었음, 남쪽 고기압도 모델이 모의하는 것보다 더 북편하여 버티고 있었으므로 수렴역이 더 좁게 형성될 가능성을 간과하였음



8월 29일 09시 500hPa GTS



8월 29일 09시 500hPa 고도, 기온, 와도 초기장

6. 2018년 9월 7일 사례

제주도에 접근하면서 약화되는 강수 제주도 산지 120mm 예상했는데 50mm

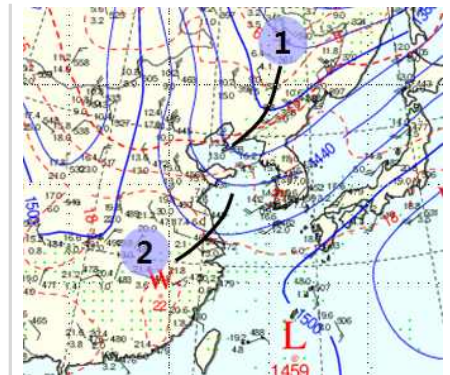
일자	2018. 9. 7.	지역	제주도
현상(패턴)	상층기압골 전면 남서풍 강화		
특이사항	해수면 온도의 작용?		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 남해안, 제주도: 30~80mm (많은 곳 제주도 남부, 산지 120mm 이상)	[강수량] - 남해안, 제주도: 5~50mm

□ 강수 메커니즘은?

- **(상층기압골 하층 분리)** 몽골 남서쪽에서 500hPa 기압골 남하, 700hPa 이하 하층에서 발해만 북서쪽 단파골과 산둥반도 남쪽 단파골로 분리되어 접근
- **(단파골 전면 남서풍 강화)** 산둥반도 남쪽 단파골 전면에서 남서풍이 강화되어 강수대 발달, 단파골 후면 건조공기의 침강이 강한 산둥반도 남쪽~제주도 서쪽 해상에는 강한 대류성 강수 발달



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

- **(강수대 분리)** 중부지방의 한랭전선과 남쪽 단파골 전면 남서풍 강화에 의한 남부지방 및 제주도 강수대로 구분하여 모의
- **(모델과 실황 비교)** 산둥반도 남쪽 단파골 전면의 700hPa 강풍대(단파골 전면~일본 남부지방 북태평양고기압 가장자리까지)를 모델이 실황보다 약하게 모의

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

- **(제주도 남쪽 고기압 약화 경향)** 모델이 중국남부내륙 고기압을 약화시키는 경향에 주목, 제주도 남쪽에는 단파골을 받쳐줄 고기압 세력이 없는 것으로 모델 모의 경향이 나타남
- **(제주도 부근 해수면 온도)** 제주도 북쪽 해수면 온도가 주변보다 낮은 상태가 지속되면서 제주도 부근에 cold pool이 형성될 가능성 고려

1. 예보와 실황은?

- 6일 17시부터 7일 사이 남서해상으로 강한 강수대가 북상하면서 남해안과 제주도에 많은 비가 내릴 것으로 예상했으나 강한 대류성 강수대가 제주도에 접근하면서 악화되어 예상보다 적은 강수량 기록

- **예보(9월 6일 17시 발표)**

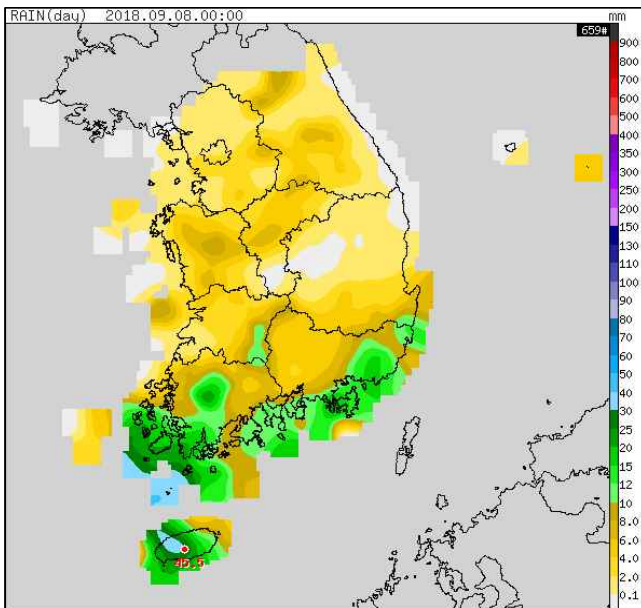
- ▶ **예상 강수량**

- 남해안, 제주도: 30~80mm(많은 곳 제주도 남부와 산지 120mm 이상)

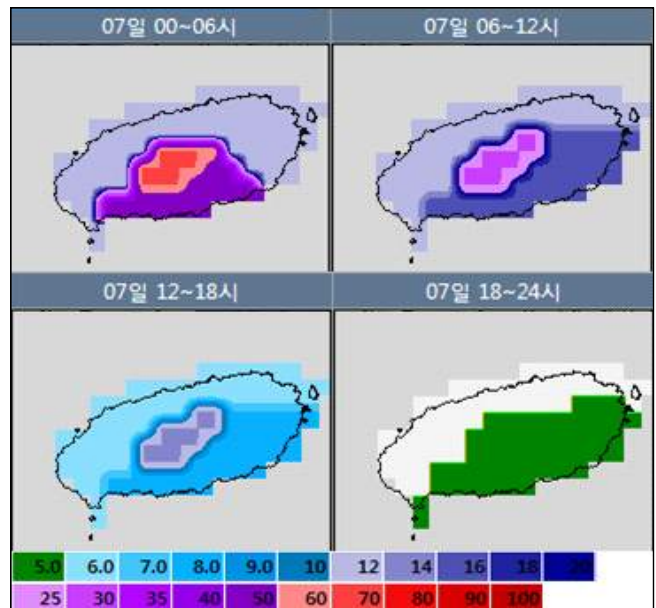
- **실황**

- ▶ **강수량**

- 남해안, 제주도: 5~50mm



9월 7일 일강수 분포도

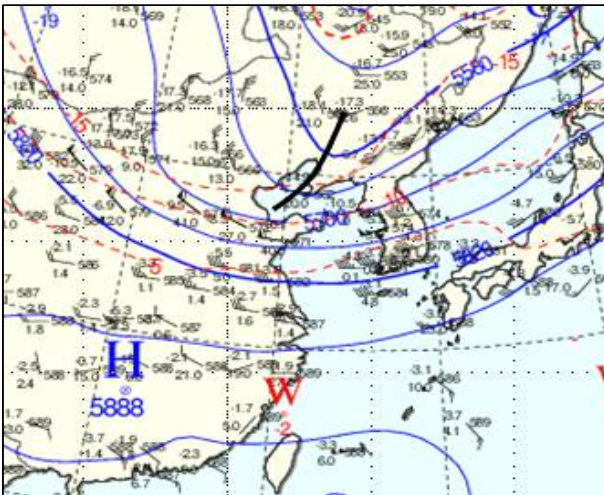


9월 7일 예상 강수량

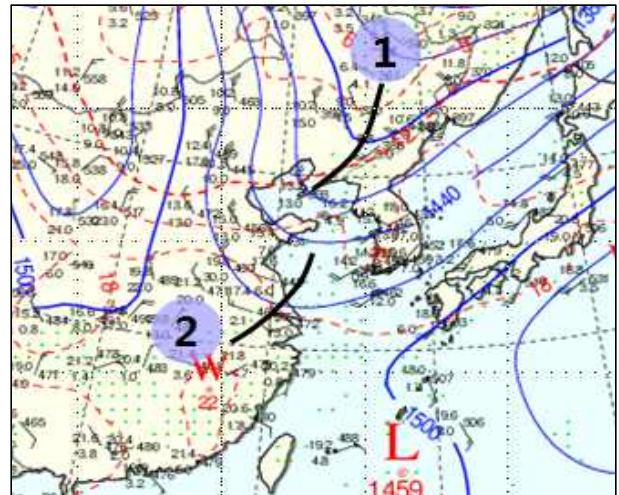
2. 강수 메커니즘은?

- **(상층기압골 하층 분리)** 우리나라 남쪽(북위 33도 부근)에 고기압이 견고하게 자리 잡은 가운데 몽골 남서쪽에서 500hPa 기압골이 남하, 700hPa 이하 고도에서 발해만 북서쪽 단파골과 산둥반도 남쪽 단파골로 분리되면서 중국남부 고기압과 일본남동쪽 고기압 사이로 남하
- **(6일 밤~7일 강수대 구분)** ① 북쪽 단파골 한랭전선(중부지방) + ② 남쪽 단파골 전면 남서풍 강화에 의한 강수대(제주도와 남부지방)
- **(① 한랭전선)** 중부지방은 발해만 북서쪽의 단파골이 남하하면서 골 후면으로 건조역이 강하게 침투하며 좁은 띠 형태의 강수대가 발달, 단파골 후면의 북서풍이 강해 강수대의 이동속도가 빠르고 지속 시간은 길지 않음

- (② 단파골 전면 남서풍 강화) 제주도과 남부지방은 산동반도 남쪽 단파골의 전면에서 남서류 강화에 따른 강수대 유입
 - 남쪽 단파골 전면에서부터 일본 남쪽 북태평양고기압 가장자리까지 강풍대가 형성되어 있는 상태에서 단파골이 접근
 - 단파골 후면으로 건조공기가 침강하면서 골 전면의 남서류가 강화되어 강수대 발달, 특히 건조역의 침강이 강한 산동반도 남쪽~제주도 서쪽 해상에는 강한 대류성 강수 발달



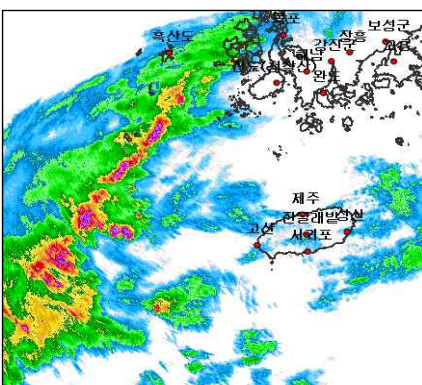
9월 6일 21시 500hPa 분석장



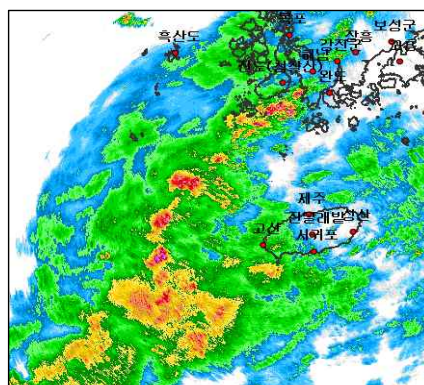
9월 6일 21시 850hPa 분석장

• 강수 발달 과정

- 남서쪽 해상에서 강한 강수대 발달 → 제주도 서쪽 해상으로 접근하면서 고기압성 곡률로 휘어짐 → 제주도에 강수대가 약화되면서 유입됨 → 제주도를 통과한 후 대한해협에서 강수대 다시 발달



9월 7일 00시 레이더 영상



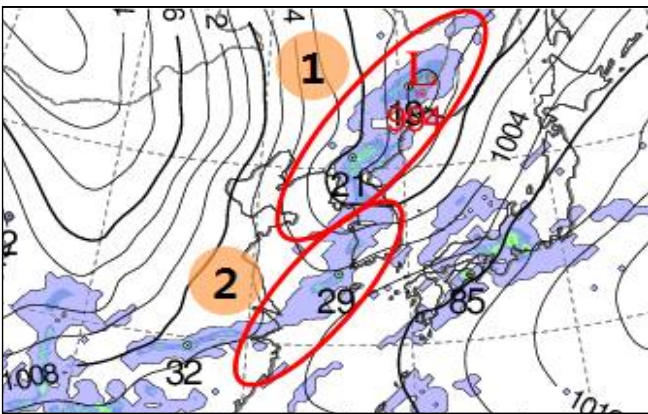
9월 7일 02시 레이더 영상



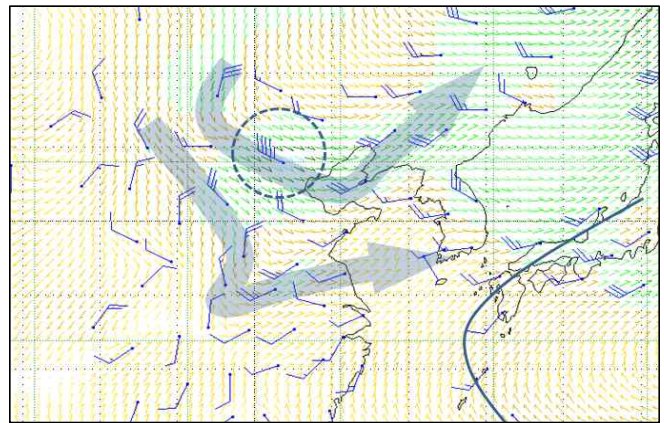
9월 7일 04시 레이더 영상

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

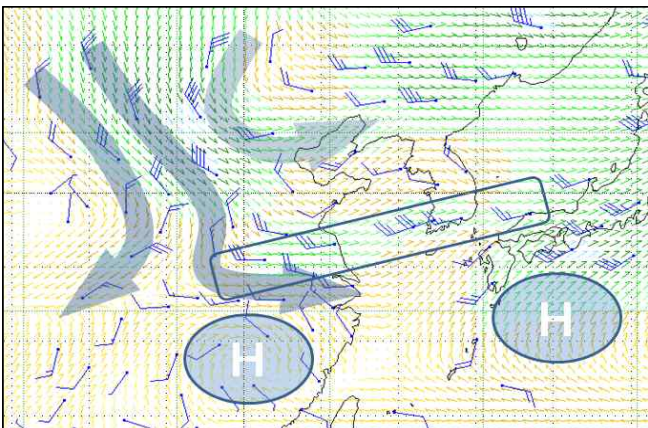
- **(모델-남북 강수대 구분)** 우리나라 남쪽 고기압이 강하게 유지되는 가운데 기압골이 남하하는 형태로 ① 중부지방 한랭전선 + ② 단파골 전면 남서풍 강화에 따른 남부지방과 제주도 강수대를 구분하여 강수 모의
- **(실황-하층 기압골 분리)** 6일 09시 700hPa과 850hPa GTS에서 기압골이 분리(발해만 북서쪽과 산동반도 남쪽)되면서 북서풍과 남서풍 간 시어라인이 뚜렷하게 존재함, 발해만 북서쪽 단파골 후면에서 침강하는 공기가 모델 예상보다 강하고 골 전면의 남서류도 모델보다 풍속이 강하게 나타났음
- **(실황-모델 700hPa 강풍대 차이 발생)** 예보 당시(6일 오후 예보) 6일 09시 GTS 분석자료에서 남쪽 단파골 전면에 나타나는 700hPa 강풍대가 모델보다 실황에서 더 강하게 나타남
 - 모델은 700hPa 강풍대를 단파골 전면(산동반도 남쪽)과 북태평양고기압 가장자리(우리나라 남부지방)로 나누어 모의하고 있는 반면, 실황에서는 단파골 전면에서부터 북태평양고기압 가장자리까지 강풍대가 연결되어 있음
 - 6일 09시 모델은 중층 강풍대 실황을 반영하여 전일(5일 21시) 모델보다 강수대를 강화시키는 경향
 - 따라서 모델보다 강한 남서풍으로 인해 강수대가 강하게 발달하고 제주도뿐만 아니라 남부지방까지 북상할 가능성이 있다고 예상



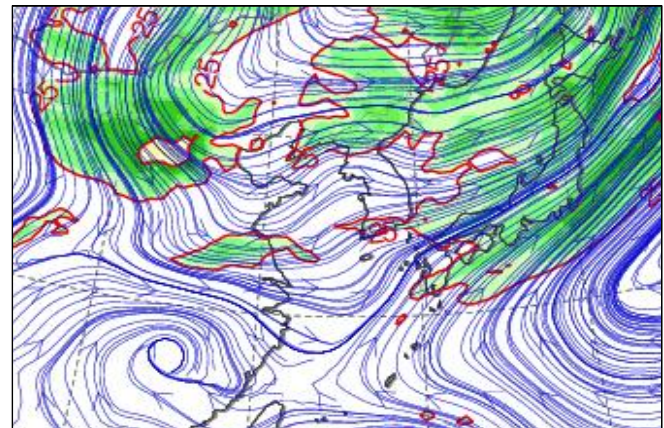
7월 3일 예상 누적강수량(+18H)



9월 6일 09시 850hPa GTS 풍향,풍속 분석



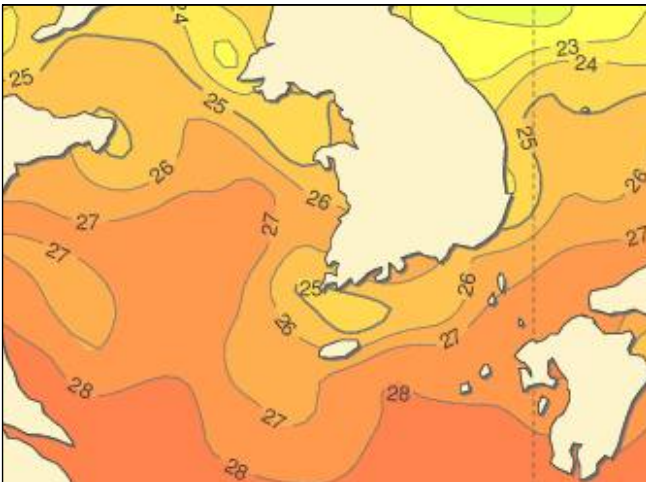
9월 6일 09시 700hPa GTS 풍향,풍속 분석



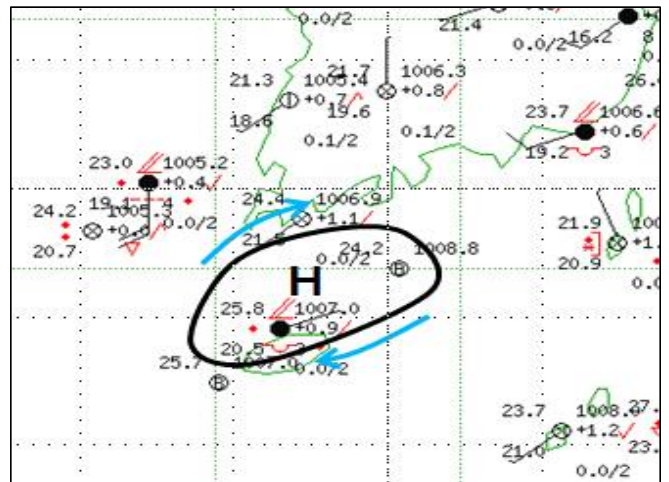
9월 6일 09시 700hPa 유선,풍속 초기장

4. 예상과 달랐던 점?

- 남서해상에서 발달한 강한 강수대가 제주도과 남부지방에 접근하면서 약화되어 유입, 예상보다 적은 강수량 기록
- **(중국남부지방 고기압 약화)** 중국남부지방에 중심을 둔 고기압 세력이 약화되면서 남쪽 단파골을 받쳐주지 못함
 - 남쪽 단파골과 중국남부지방 고기압 사이에서의 기압경도 및 단파골 전면의 남서풍이 강하게 유지되지 못하면서 강수대는 약화되고 남쪽으로 처지면서 제주도를 통과
 - 제주도를 통과한 강수대가 대한해협에서 다시 급격히 발달한 것은 단파골과 북태평양 고기압 사이에서 기압경도가 조밀해졌기 때문
- **(제주도 부근 국지 고기압 형성)**
 - 제주도 북쪽 해상에 해수면 온도가 낮은 구역이 존재, 이로 인해 제주도에 925hPa 이하의 얇은 cold pool이 형성, 국지적인 하강기류에 의해 강수대가 제주도 서쪽에서 고기압성 곡률로 휘어지고 제주도로 접근하면서 약화됨



9월 6일 09시 해수면 온도 분포도



9월 6일 21시 지상 GTS 분석

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- **제주도 남쪽 고기압 약화 경향에 주목**
 - 6일 09시에는 일본남쪽해상~중국남부내륙까지 이어진 고기압이 버티고 있으나 7일로 넘어가면서 남쪽 고기압이 약화되는 것으로 모델 예상장에서 나타남, 중국남부내륙 고기압과 일본 남쪽 고기압으로 분리되면서 제주도 남쪽에는 단파골을 받쳐줄 고기압 세력이 없는 것으로 모의
 - 예상 시점이 다가올수록 등온위면 예상장에서도 700hPa~750hPa 등압선이 전 모델보다 처지는 경향
- **제주도 부근 해수면 온도에 주목**
 - 8월 2일부터 제주도 북쪽 해수면 온도가 25°C로 주변보다 낮은 분포를 보임
 - 낮은 해수면 온도가 5일간 지속되면서 제주도에 925hPa 이하의 얇은 cold pool이 형성되고 cold pool에 의한 국지적인 하강기류가 발생하여 강수대가 제주도 서쪽에서 고기압성 곡률로 휘어지면서 약화됨

7. 2018년 9월 10일 사례

극과 극, 강원영동 동풍에 의한 강수

강원산지에는 100mm, 해안에는 5mm

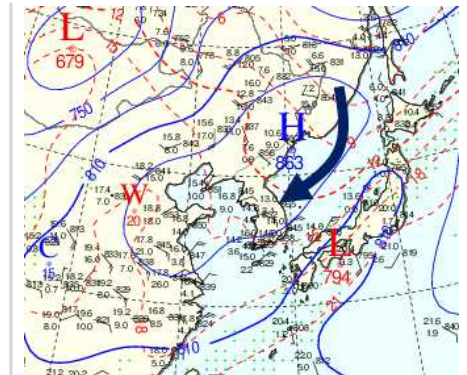
일자	2018. 9. 10.	지역	강원영동
현상(패턴)	동풍에 의한 호우		
특이사항	강원북부산지에만 집중호우		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 강원영동: 10~40mm	[강수량] - 강원영동: 5~30mm (많은 곳 강원북부산지 70~100mm)

□ 강수 메커니즘은?

- **(동해상 북동풍 강화)** 절리저기압 후면을 따라 찬 공기 남하하며 연해주 부근에 지상 고기압 형성, 고기압 가장자리를 따라 동해상으로 북동풍 유입
- **(상층기압골 지원)** 몽골 동쪽에서 한기를 동반한 기압골 남하하여 중북부지방 통과, 기압골 전면에서 상승 기류 발달, 기압골 후면 온도골이 통과하며 역학적 불안정 강화
- **(산맥에 의한 강제 상승)** 동풍이 태백산맥 서쪽 풍하측에서 수렴되어 산사면을 따라 상승



□ 수치모델은 어떻게 예상했는가?

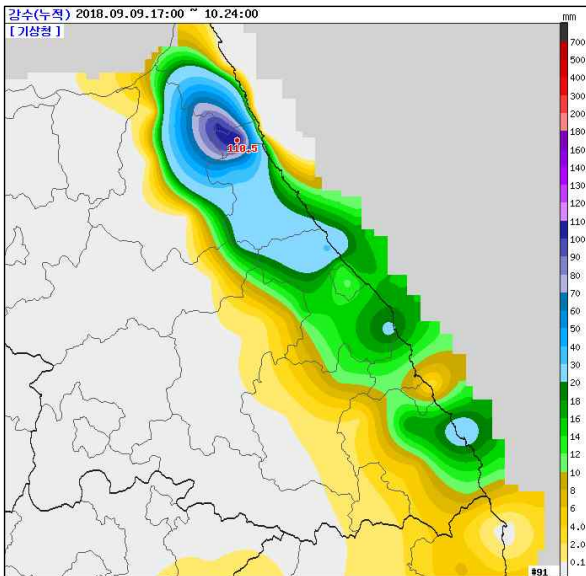
- **(동해상 차가운 북동풍 유입)** 연해주 부근 고기압 가장자리를 따라 차가운 북동풍이 불면서 하층에 한기 유입
- **(동해안 상하층 온도골 형성)** 하층은 북동풍에 의해 기온이 하강, 상층에도 중국중부내륙 고기압 가장자리를 따라 북서풍 유입되면서 기온 하강, 기온 하강폭은 하층에 비해 크지 않음
- **(동해남부해상 강풍축 발달)** 일본 큐슈 부근 저기압과 북동쪽 고기압 사이에서 기압경도 강화, 동해남부해상에 하층제트 발달, 강원동해안에는 약한 북동풍 모의

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

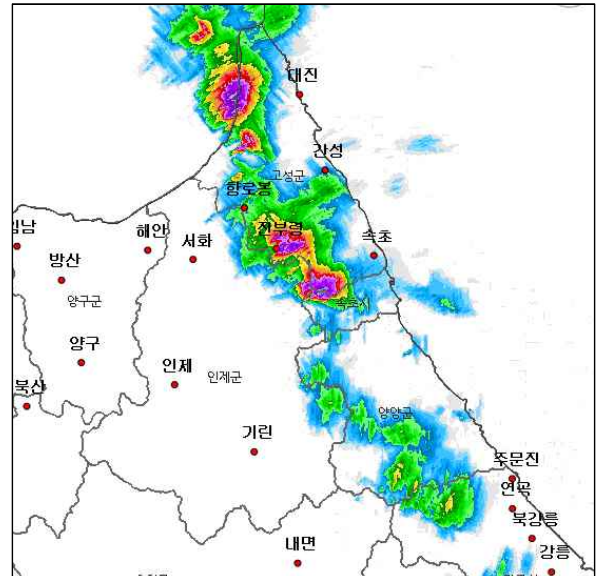
- **(하층 동풍 유입과 상층기압골을 함께 고려)** 하층 동풍 유입으로 인해 동해안 강수대가 발달하고 상층기압골 전면 상승기류로 인해 강수대가 강화되는 상호작용 고려

1. 예보와 실황은?

- 강원북부산지에 예상보다 많은 강수가 내렸으나(9월 10일 일강수량 설악동 105.5mm, 미시령 95mm, 설악산 73.5mm, 진부령 69.0mm), 반면 해안에는 5mm 내외의 약한 강수가 나타나면서 강수량의 지역차가 크게 나타남
- 예보(9월 9일 17시 발표)**
 - 예상 강수량
 - 강원영동: 10~40mm
- 실황**
 - 강수량
 - 강원북부산지: 70~100mm(강원영동 5~30mm)



9월 10일 누적강수 분포도(강원도)

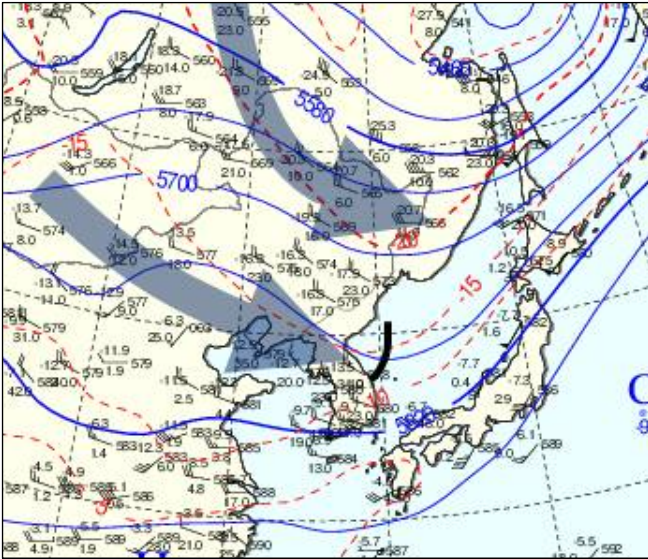


9월 10일 03시 레이더 영상

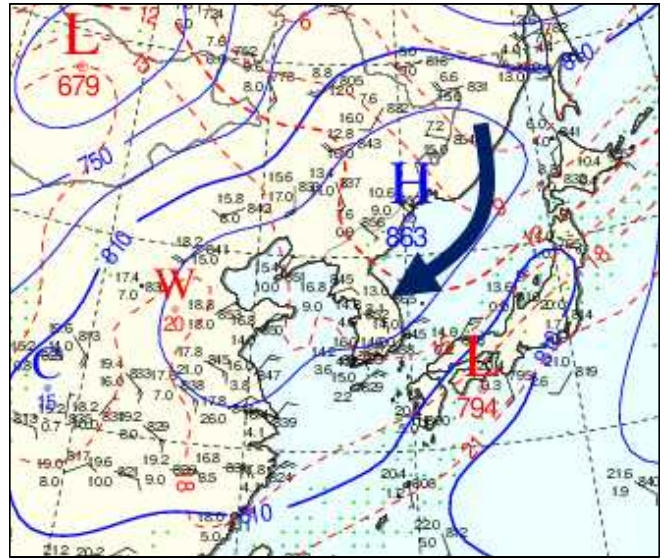
2. 강수 메커니즘은?

- (동해상 북동풍 강화)** 연해주 북쪽에 중심을 둔 저기압 후면을 따라 중국북동지방으로 찬 공기 남하, 건조하고 차가운 공기가 침강하면서 연해주 부근에 지상 고기압이 형성됨, 하층 고기압 가장자리를 따라 동해상에는 차가운 북동풍 유입
- (상층기압골 지원)** 남쪽 기압골이 지나가고 후면의 건조한 공기가 침강하면서 대기 중층 이상이 매우 건조한 상태에서 다시 한기를 동반한 기압골이 몽골 동쪽에서 남하하여 중북부지방을 통과, 동서고기압 사이에서 기압골이 통과하면서 강원영동은 골 전면에서 상승기류가 발달하며 상층의 지원을 받음

- (기압골 후면 온도골 통과) 기압골이 통과하고 그 후면으로 온도골이 통과, 즉 기압골 후면으로 기존에 있는 공기보다 더 차가운 공기가 남하하면서 온도차에 의해 역학적 불안정이 강화됨
- (산맥에 의한 강제 상승효과) 동해상에서 북동풍을 타고 유입된 공기는 태백산맥 동쪽에서 수렴한 뒤 태백산맥 동쪽 산사면을 따라 상승하면서 발달함



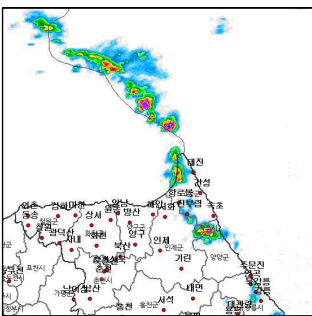
9월 10일 09시 500hPa 분석장



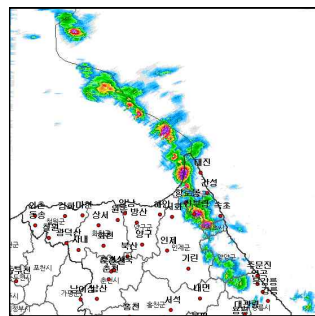
9월 10일 09시 925hPa 분석장

• 강수 발달 과정

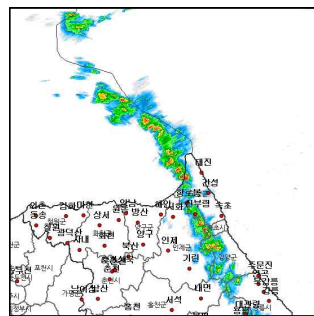
- 차가운 북동풍이 유입되며 동해안 하층운 발달 → 상층기압골 통과 시점 강수 발달 강화, 특히 산맥 풍상측에 집중 → 온도골이 통과하면서 대류 불안정이 강화되어 시간당 50mm 강도의 대류성 강수대(연직 9km)로 발달함



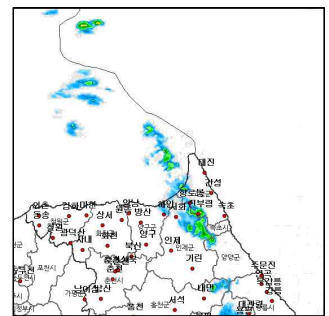
9월 10일 00시



9월 10일 03시



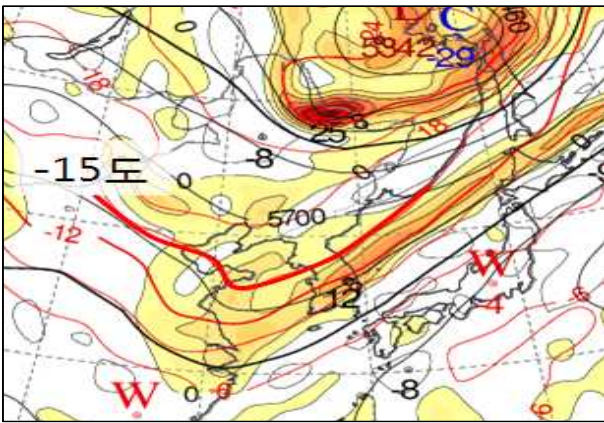
9월 10일 06시



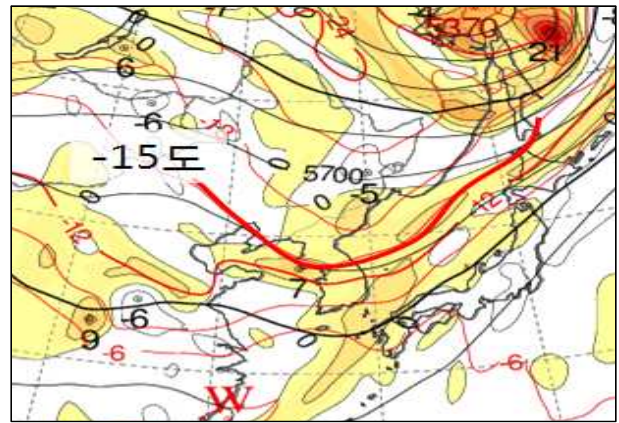
9월 10일 09시

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

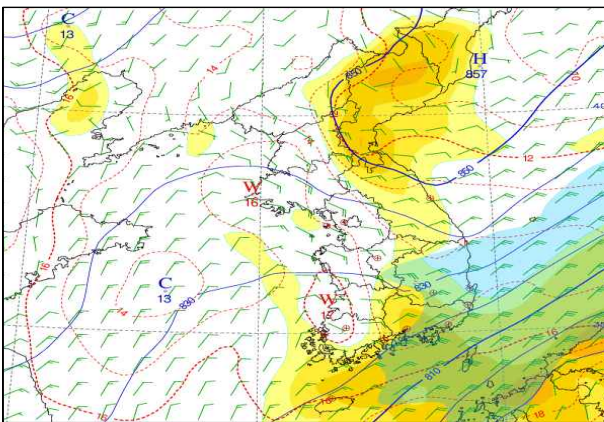
- **(북동풍 유입)** 연해주 부근 고기압 가장자리를 따라 차가운 북동풍이 동해안으로 유입됨
 - 오호츠크해 부근의 저기압 후면에서 한기가 남하하며 동해상에 하층 온도골 형성
 - 하층에 찬 공기가 쌓이면서 연해주 부근에 지상 고기압 발달
 - 고기압의 가장자리를 따라 850hPa 이하의 고도에서 북동풍이 불면서 동해안으로 한기 유입 (850hPa 북동풍 10~15kts, 925hPa 북동풍 15~20kts)
- **(상하층 온도골 형성)** 상층 온도골이 동해안에 위치하면서 하층(북동풍으로 인한 기온 하강) 뿐만 아니라 중상층의 기온도 9일 오전에 비해 하강하는 것으로 모의(9일 09시 700hPa 0°C 원산만 → 10일 03시 강원북부동해안)
 - 중상층에는 연해주의 찬 공기가 유입되는 것이 아니라 중국중부내륙의 고기압 가장자리를 따라 북서풍이 유입되는 것으로 모의하면서 동해안의 중상층 온도 하강폭은 850hPa 하층에 비해 크지 않음
- **(강풍축 발달)** 일본 규슈 부근에 저기압이 지나면서 우리나라 북동쪽 고기압과 남동쪽 저기압 사이에서 기압경도 강화
 - 동해남부해상에 850hPa 이하 하층제트가 발달하면서 상대적으로 강원동해안의 북동풍은 약하게 부는 것으로 모의



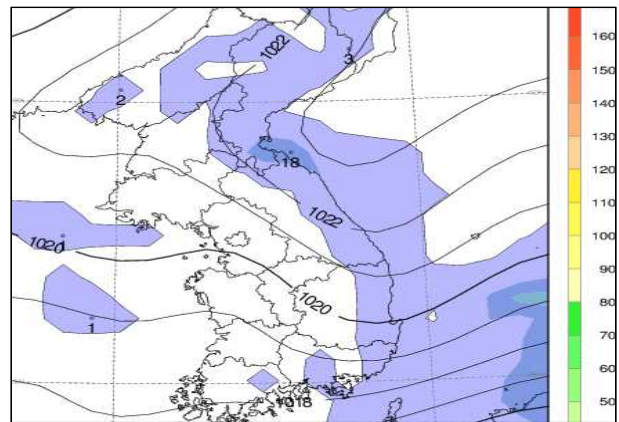
9월 9일 09시 500hPa 초기장



9월 10일 03시 500hPa 예상장(+18h)



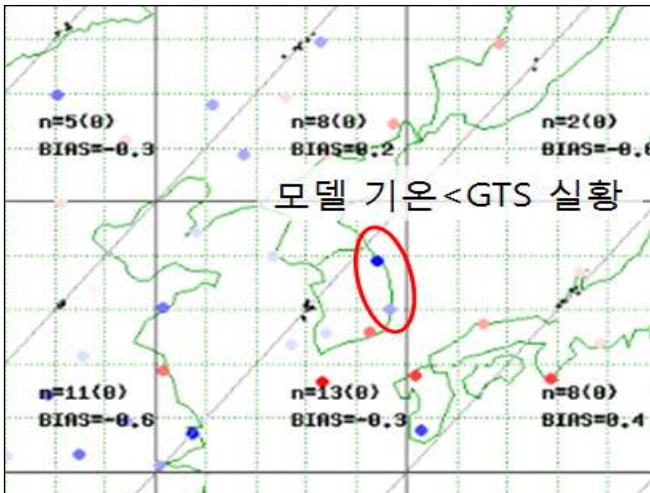
9월 10일 03시 925hPa 상세바람기온(+18h)



9월 9일 15시~10일 15시 총누적강수량 예상

4. 예상과 달랐던 점은?

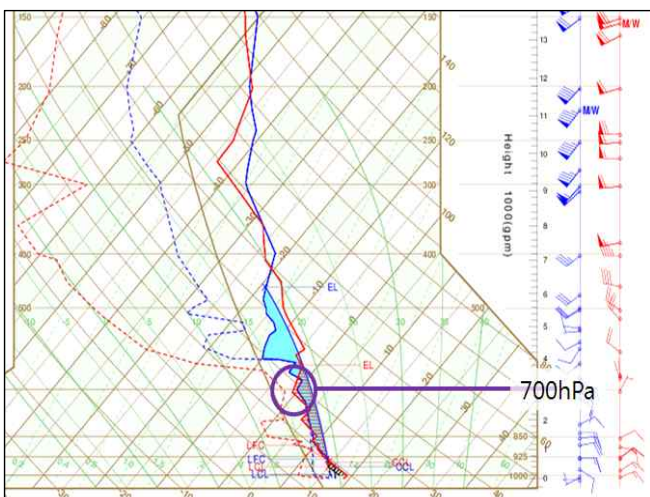
- 9일 09시경 원산만에서 발달한 강수대는 10km까지 발달하였으나 9일 09시 모델 초기장에서 이를 과소모의함
- **(850hPa 한기가 예상보다 약하게 남하)** 북동풍에 의한 한기가 예상보다 약하게 남하하면서 (동해안 850hPa 기온 cold bias) 북동풍에 의한 구름대는 해안에 형성되나 강수를 내리지 못하는 함 - 산맥을 따라 상승하면서 발달하여 강수 형성
- **(700hPa까지 동풍이 유입되면서 온도골 통과)** 모델 예상장에서는 850hPa까지 동풍이 유입되고 700hPa 이상에서는 북서~서풍이 유입되는 것으로 모의되었으나 동풍이 700hPa까지 불면서 중층의 기온이 모델이 예상한 것보다 낮게 형성됨
- 상하층 온도차에 의한 대류 불안정이 커지면서 강수대가 더욱 발달할 수 있는 구조



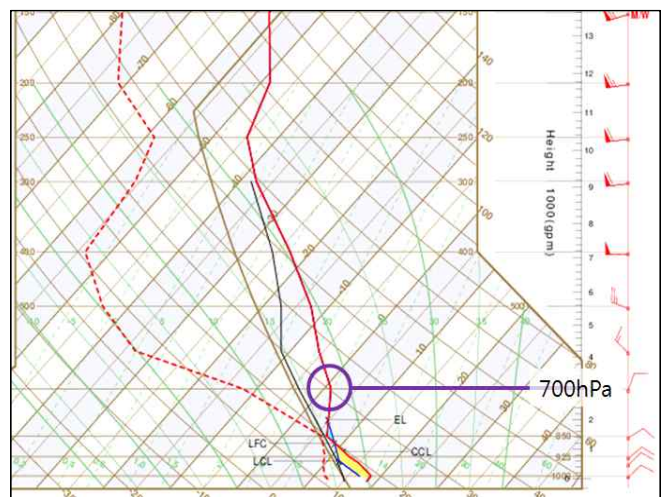
9월 10일 09시 850hPa 기온 비교
(9일 09시 모델 기준)



9월 10일 09시 700hPa 기온 비교
(9일 09시 모델 기준)



9월 10일 09시 북강릉 단열선도



9월 10일 09시(+24h) 북강릉 예상단열선도

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- **하층 동풍 유입과 상층기압골을 함께 고려**

- 700hPa 이상의 고도에서는 한기를 동반한 기압골 전면에서 남서류가 불고 700hPa 이하에서 동풍이 20kts로 불면서 해기차가 커져 구름대가 형성되어 유입됨과 동시에 상층기압골이 지나면서 기압골 전면에서 상승기류가 발달함으로써 강수대를 강화시키는 상호작용이 이루어짐
- 700hPa까지 동풍 유입으로 기온이 예상보다 하강하면서 일반적인 하층 동풍이 유입 될 때보다 대류가 깊게 발달

- **모델 초기장과 실황 비교**

전일(9일) 09시경 원산만 부근에 발달한 에코를 모델이 과소 모의하고 있었음, 즉 모델 초기장에 오차 발생을 감지하였어야 했음

8. 2018년 9월 13일 사례

제주도, 이번에는 너무 많다

제주도 동쪽 400mm 강수

일자	2018. 9. 13.	지역	제주도
현상(패턴)	하층 저기압		
특이사항	하층 저기압 전면 지형적 기류 수렴		

□ 예보와 실황은?

예보	실황
[예상 강수량] - 제주도: 10~50mm	[강수량] - 제주도: 100~450mm

□ 강수 메커니즘은?

- **(국지적 저기압 흐름 발달)** 북태평양 고기압 가장자리를 따라 상해~큐슈 부근 하층 난기 이류 + 중국내륙에서부터 상층 단파골이 빠르게 이동하면서 제주도 부근으로 찬 공기 침강하며 역학적 불안정 형성 ⇒ 저기압성 흐름 발달
- **(하층 동풍 수렴)** 제주도 부근 형성된 국지적인 저기압성 흐름을 따라 제주도 동쪽에서 북동풍 수렴되면서 강수 발달의 트리거 역할
- **(중국내륙 기압골 동진)** 중국내륙의 상층기압골이 접근하면서 하층 저기압 발달, 제주도 서쪽에서 남서풍 강화(850hPa 15kts)되면서 대류성 강수대 발달



□ 수치모델은 어떻게 예상했나?

- **(견고한 남쪽 고기압)** 우리나라 남쪽 고기압이 강하게 받치고 있는 상태에서 기압골이 접근
- **(하층 약한 동풍 유입)** 925hPa 10kts로 동풍이 약하게 유입되면서 제주도 동쪽으로 5mm 미만의 적은 강수 모의, 단순 동풍으로 인한 강수
- **(13일 중국내륙 기압골 통과)** 중국내륙 기압골은 후면의 한기가 약하고 남쪽 고기압이 버티고 있어 체계적인 저기압으로 발달하지 못하고 고기압 가장자리에서 대류성 강수 예상

□ 예보 시점으로 돌아간다면?

- **(850hPa 기압골 모의 경향)** 중국내륙 기압골 전면에서 850hPa 기온 cold bias, 후면 warm bias가 나타남, 풍속도 기압골 전면에서 음의 bias를 보임, 즉 모델이 모의하는 것보다 실황에서 기압골이 강하게 발달할 수 있다는 것 암시

1. 예보와 실황은?

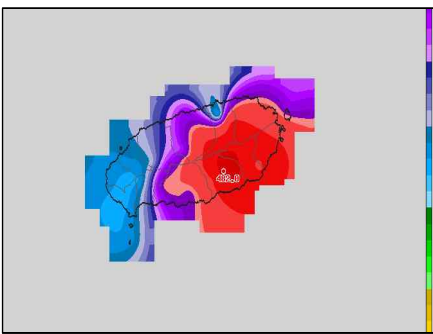
- 12일 저녁부터 제주도 동쪽에 짧은 시간 많은 강수 집중, 3시간 동안 100mm 이상(20시~23시 사이 성산 125.4mm) 기록됨
- 13일 새벽부터 오후까지는 상해부근에서 다가오는 저기압 전면에서 대류성 강수가 발달하면서 계속 영향을 주어 50~360mm의 비가 더 내림

• 예보(9월 12일 17시 발표)

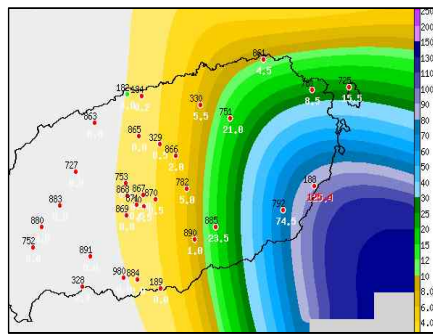
- ▶ 예상 강수량
 - 제주도: 10~50mm

• 실황

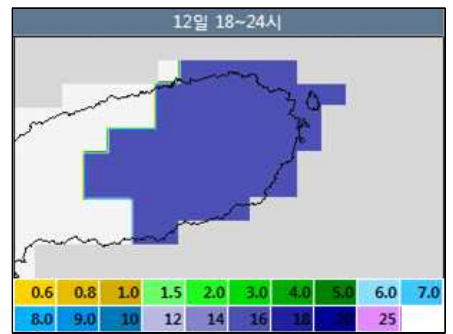
- ▶ 강수량
 - 제주도: 100~480mm



9월 12일 17시~13일 제주도 누적강수량 분포도



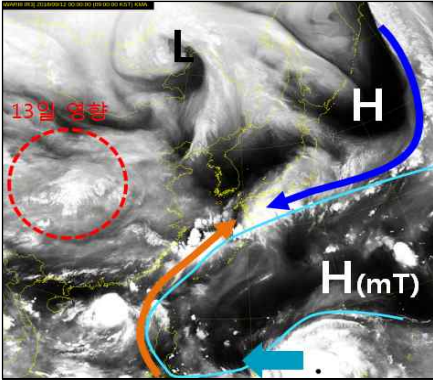
9월 12일 23시 3시간 누적강수량



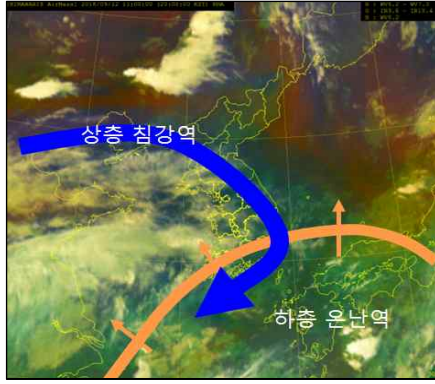
9월 12일 18시~24시 예상강수량 분포도

2. 강수 메커니즘은?

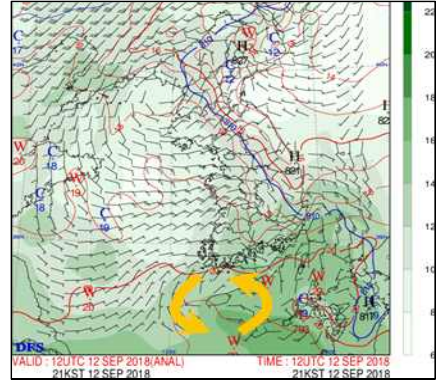
- **(국지적 저기압 흐름 발달)** 제주도 부근에 국지적 저기압 발달
 - 우리나라 남쪽의 북태평양 고기압 가장자리를 따라 상해~큐슈 부근으로 하층의 난기가 이류
 - 한편, 중국내륙에서부터 단파골이 주기적으로 고기압 가장자리를 따라 빠르게 통과하면서 단파골 전면(산둥반도~우리나라)에 형성된 기압능을 따라 제주도 부근으로 찬 공기 침강
 - 하층 난기 이류+상층 찬기 침강으로 인해 역학적 불안정역이 형성되고 국지적인 저기압성 흐름이 발달함
- **(하층 동풍 수렴이 트리거)** 상하층 불안정에 의해 형성된 국지적인 저기압성 흐름을 따라 북동풍이 유입(925hPa 20kts)되면서 수렴
 - 한라산 동쪽 사면에서 북동풍이 수렴되면서 산사면을 따라 상승기류 유발
 - 불안정한 연직 대기 구조와 더불어 대류성 강수가 폭발적으로 발달함
- **(높은 해수면 온도)** 제주도 동쪽, 남쪽 해상으로 해수면 온도가 주변보다 높은 상태
 - 상층의 한기가 남하로 인한 역학적 불안정역 형성에 도움
- **(중국내륙 기압골 동진)** 중국내륙에 있던 상층기압골이 접근하면서 하층 저기압 발달
 - 기압골 후면에서 남하하는 한기는 강하지 않으나 저기압 전면에서 남서풍(850hPa 15kts)이 강화되면서 대류성 강수대 발달



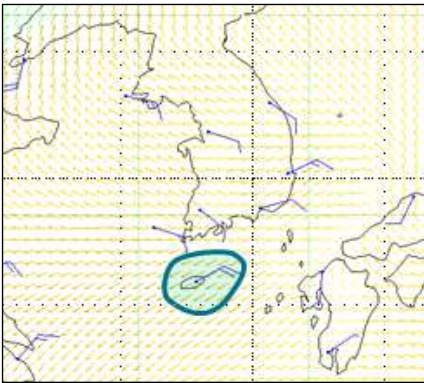
9월 12일 09시 히마와리 수증기 영상



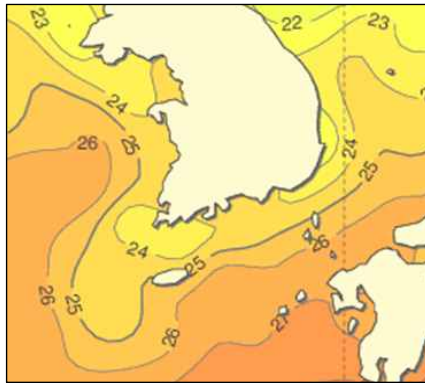
9월 12일 20시 히마와리
기단 RGB 영상



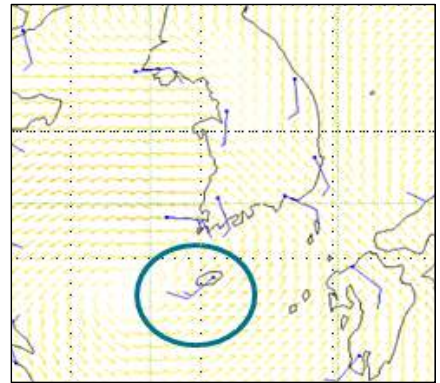
9월 12일 21시 KLAPS
925hPa 고도,기온,비습,바람



9월 12일 21시 GTS
925hPa 바람 분포도



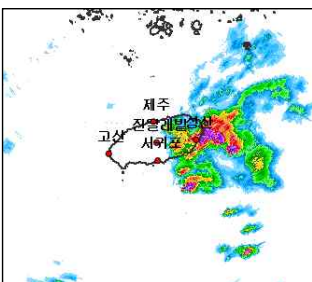
9월 12일 09시
해수면 온도 분포도



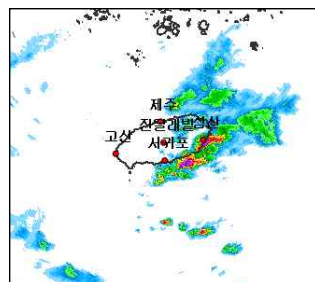
9월 12일 21시 GTS
850hPa 바람 분포도

● 강수 발달 과정

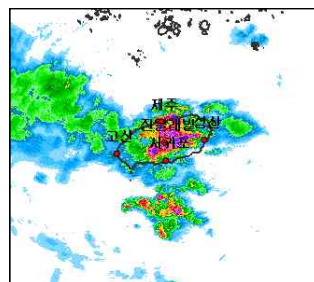
- 제주도 동쪽 수렴역 발달하여 제주도 동쪽지역 강수 집중 → 중국내륙 상층기압골이 접근하면서 동풍이 약화되어 제주도 동쪽 수렴대 약화 → 하층 저기압 전면 남서류에 의해 제주 산지를 중심으로 하층 수렴역 발달 → 저기압 전면 발달한 강수대 유입



9월 12일 21시



9월 13일 00시



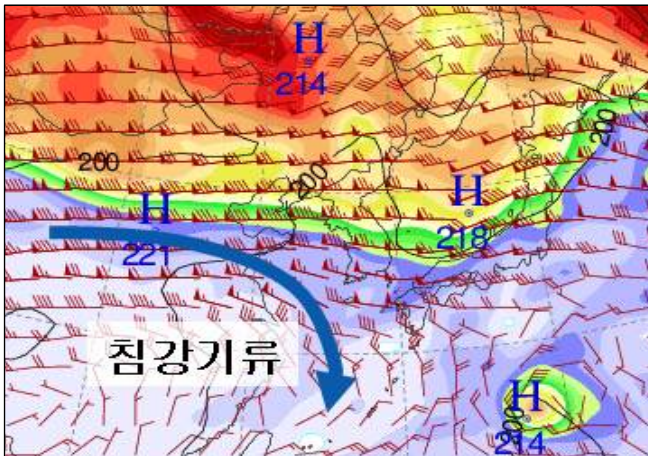
9월 13일 03시



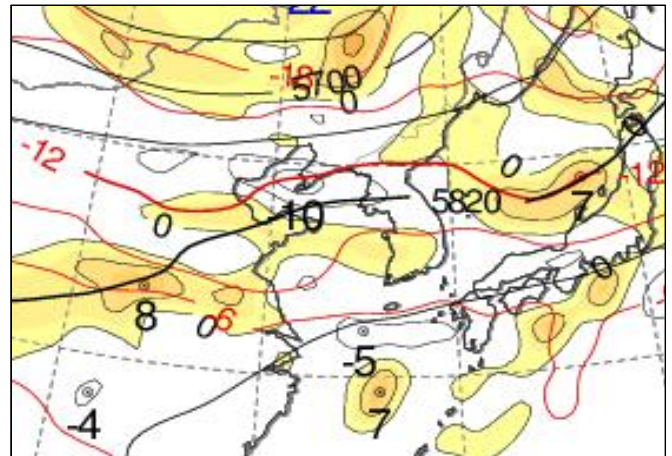
9월 13일 06시

3. 수치모델은 어떻게 예상했나?

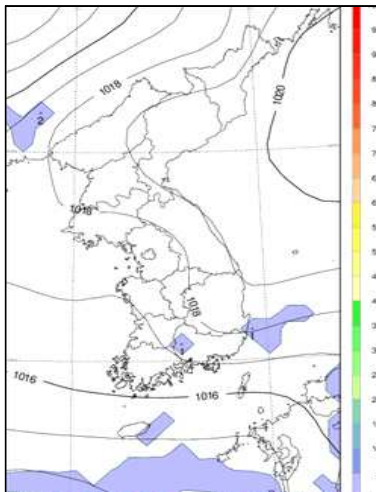
- **(견고한 남쪽 고기압)** 동중국해 부근 상층 침강류에 의해 고기압이 발달, 우리나라 남쪽에 고기압이 강하게 받치고 있는 상태에서 기압골이 접근, 기압골 후면의 한기가 약하고 동서 흐름이 강해 빠르게 지나갈 것으로 모의
- **(하층 약한 동풍 유입)** 925hPa에 동풍이 10kts로 유입되면서 제주도 동쪽 일부지역에 12일 저녁 5mm 미만의 적은 양의 강수 모의, 제주도 부근에 형성되는 저기압성 흐름은 모의되지 않고 단순한 동풍으로 인한 강수
- **(13일 중국내륙 기압골 통과)** 중국내륙의 기압골은 후면의 한기가 약하고 하층의 고기압이 강해 발달하지 못하고 약화, 남쪽 고기압으로 인해 상층 동서 흐름이 강해 기압골이 빠르게 통과하면서 체계적인 저기압으로 발달하지 못하고 고기압 가장자리에서 대류성 강수가 발생할 것으로 예상



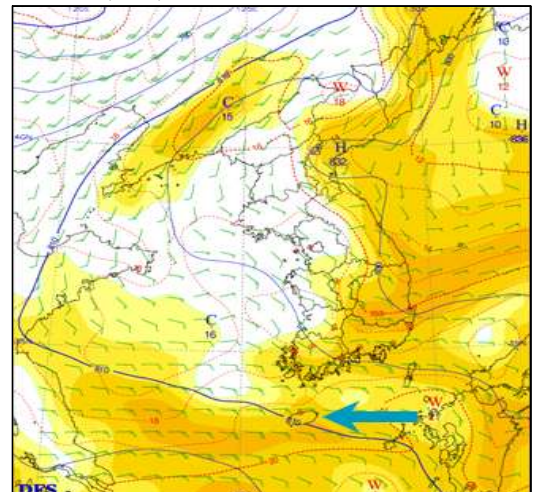
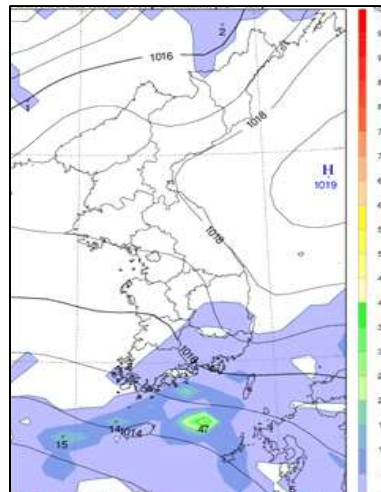
9월 12일 21시(+12h) 350K(200hPa 부근) 등온위면 예상장



9월 12일 21시 500hPa 고도,기온,와도 예상장(+12h)



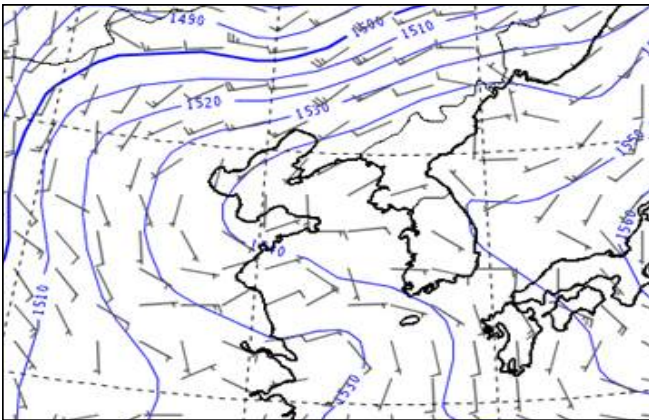
9월 12일 21시(+12h) 예상 강수분포(좌)
9월 13일 15시(+30h) 예상 강수분포(우)



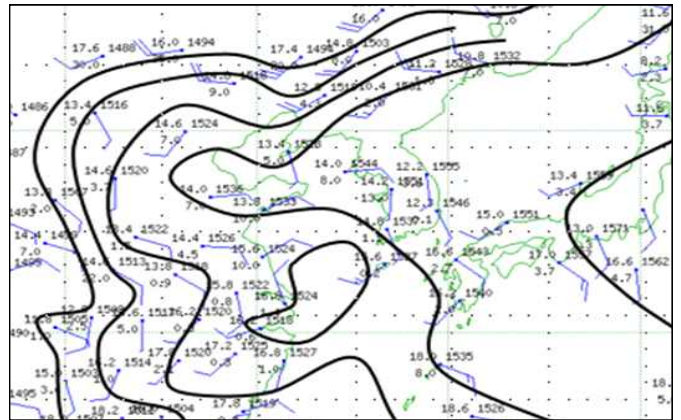
9월 12일 21시(+12h) 925hPa 상세바람예상

4. 예상과 달랐던 점은?

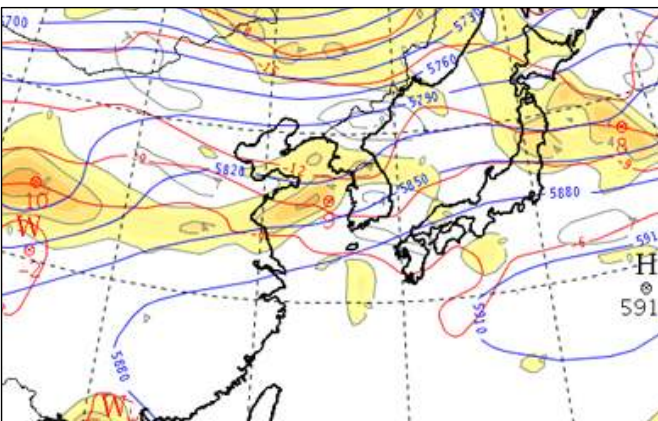
- 12일 밤 제주도 동쪽에 강한 수렴대가 발달하면서 100mm 이상의 많은 강수 발생, 13일 기압골 통과 시에도 강수가 예상보다 강하게 발달
- **(제주도 남쪽 국지적인 저기압 발달)** 하층에는 고기압 가장자리를 따라 난기가 이루어지고 주변보다 높은 해수면 온도가 분포하는 가운데 상층에는 제주도 부근으로 한기가 남하하면서 역학적 불안정 형성, 제주도 부근에 국지적인 저기압성 흐름이 발달하면서 제주도 동쪽으로 모델 예상보다 강하게 동풍이 불면서 수렴(북동풍-남동풍), 모델에서는 국지 저기압 발달을 모의하지 못함
- **(상층기압골에 의한 하층 저기압 발달)** 저기압 전면에서 유입되는 남서풍의 풍속을 모델이 실황보다 과소 모의(모델 예상과 GTS 실황을 비교해 보면 음의 bias)하였음, 하층 저기압이 모델 예상보다 강하게 발달하면서 저기압 전면의 남서풍이 모델 예상보다 강하게 유입, 수렴역이 예상보다 더 발달함
- **(동중국해 부근 강한 고기압)** 동중국해 부근에 위치한 고기압의 중심이 약화되지 않고 모델 예상보다 강하게 유지되면서 기압골을 받쳐줌, 기압골과 고기압 사이의 남서 수렴역을 강화시킴



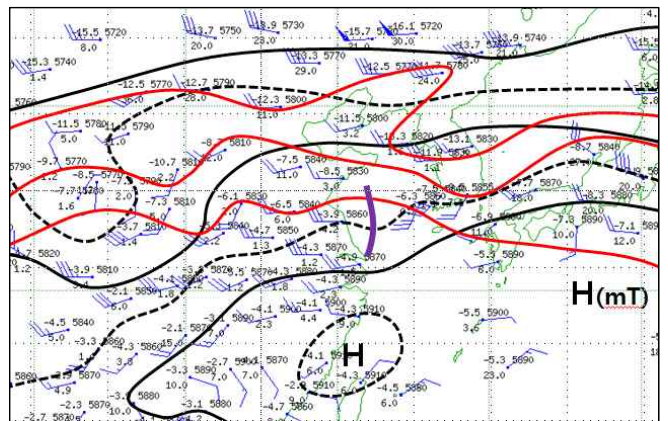
9월 13일 09시(+24h) 850hPa 예상장



9월 13일 09시 850hPa GTS 분석장



9월 13일 09시(+24h) 500hPa 예상장



9월 13일 09시 500hPa GTS 분석장

5. 예보 시점으로 돌아간다면?

- 850hPa 기압골 모의 경향

- 12일 기압골 접근 전 중국내륙에서 850hPa 기온 기압골 전면에서 cold bias, 후면 warm bias
- 풍속 또한 기압골 전면에서 음의 bias가 나타나면서 모델보다 실황이 풍속이 강함

- 상층기압골

- 기압골 후면의 풍계 서풍으로 한기가 강하게 남하하는 것은 아니나 골 전면에서 cold bias

Why? How! 여름예보 사례분석

발행일 2024년 6월
집필 한상은, 공상민, 우재훈, 김영준,
이원길, 강혜미
편집 임다솔
감수 임윤진
발행부서 예보국 재해기상대응팀
