

핀 (foehn) 현상

지구과학교육과
지산림과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부
지구환경과학부

목차

1. 연구 목적

2. 핀 현상

- 1) 핀 현상이란?
- 2) 원리는?
- 3) 예시

3. 분석 모델 소개 및 적용

- 1) 분석 모델 소개
- 2) 분석 모델 적용 - 태백산맥, Appalachian 산맥

4. 결론

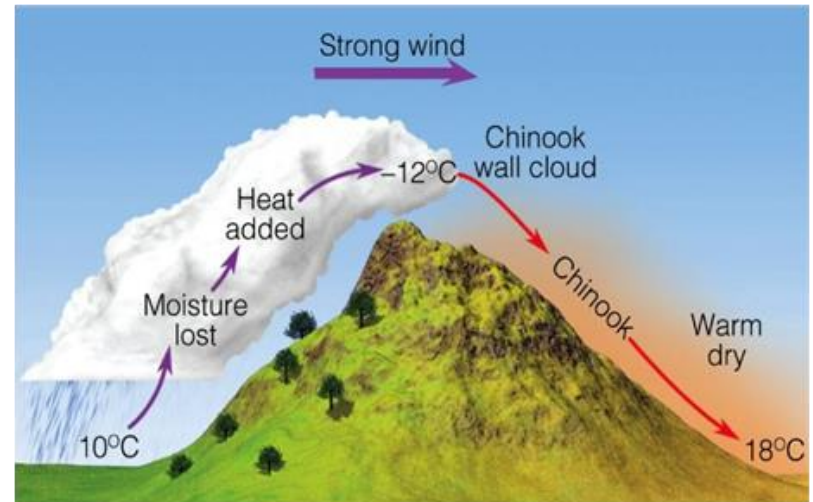
연구 목적

- 핀 에 대해 이해하고 열역학적으로 정량분석 해본다.
- 분석 결과를 실제 현상과 비교해보고 오차 원인을 분석한다.

핀 현상

핀 현상이란?

- 공기가 산맥을 넘어 풍하 측으로 불어 내리는 현상
- 풍하 측의 고온 건조 현상



핀 현상의 원리

1. 바람이 산지에 걸쳐 상승
 - 단열 팽창하면서 기온이 점차 하강
2. 상승 도중, 포화상태에 도달
 - 구름 생기고, 강수 동반
3. 풍하 측을 따라 하강
 - 거의 단열압축에 의해 기온 상승

핀 현상의 예

- 유럽 Alps 산맥
- 북미 Rocky 산맥
- 북미 Appalachian 산맥
- 우리나라 태백산맥

분석 모델 소개 및 적용

가정

- 공기는 정역학적 평형을 이룬다
- 마찰이 없다
- 풍속은 공기가 산을 넘게 하는 데에 충분히 제공(i.e. 풍속에 따라 변하는 요인 제외)
- 대기의 평균 기온 감률 일정(6.5)
- 건조 단열 감률(9.8)과 이슬점 감률(1.8)은 일정

분석 모델 소개 및 적용

1. 건조 단열 상승

1) 온도

$$\Gamma_d = -\frac{dT}{dz} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{g}{R_d} = \frac{g}{c_{pd}} = 9.8^\circ\text{C}/\text{km}$$

대입

 $T = T_0 - \Gamma_d(z - z_0)$  T, z 관계 파악

분석 모델 소개 및 적용

1. 건조 단열 상승

2) 이슬점

$$\Gamma_{dew} = - \frac{dT_{dew}}{dz} = \frac{g}{\epsilon l_v} \frac{T_{dew}^2}{T} \approx 1.8^\circ\text{C}/\text{km}$$

대입

 $T = T_0 - \Gamma_d(z - z_0)$  T dew, z 관계 파악

분석 모델 소개 및 적용

2. 상승 응결 고도(LCL)

$$T = T_{dew} \Leftrightarrow T_{dew,0} - \Gamma_{dew}(z - z_0) = T_0 - \Gamma_d(z - z_0)$$

$$\Rightarrow z_{LCL} = z_0 + \frac{T_0 - T_{dew,0}}{8} \longrightarrow \text{Z LCL 파악}$$

$$T_{LCL} = \frac{1}{\frac{1}{T-55} - \frac{\ln r}{2840}} + 55 \longrightarrow \text{T LCL 파악}$$

T LCL - Approximation
provided by Bolton

분석 모델 소개 및 적용

2. 상승 응결 고도(LCL)

But, z 를 p 로 변환 시킨다.

(습윤 단열 과정에서 p 가 z 보다 유용하게 쓰이기 때문)

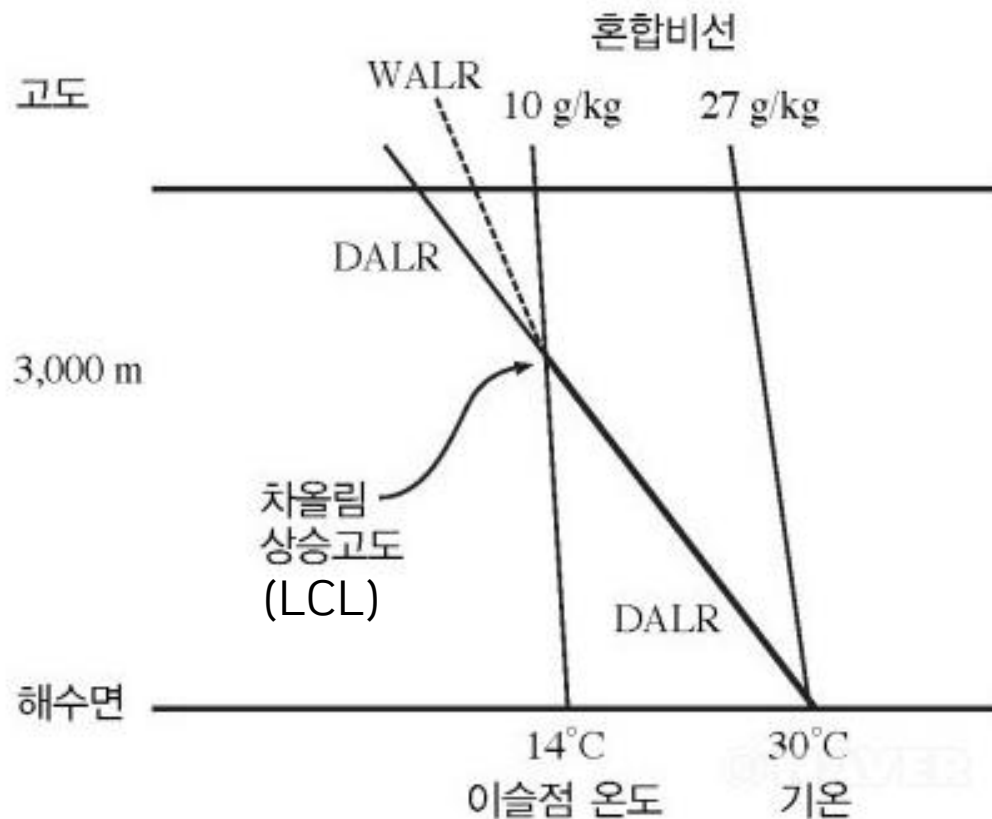
$$dp = -\rho g dz$$

$$\rightarrow p = p_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{T_0} (z - z_0) \right)^{\frac{g}{R_d \Gamma}} \longrightarrow \text{P LCL 파악}$$

$$\ast \Gamma = 6.5 K/km$$

분석 모델 소개 및 적용

2. 상승 응결 고도(LCL)



3. 습윤 단열 상승

- 실제 공기가 산을 넘을 때 강수과정이 동반 된다.

➡ pseudo adiabatic 과정으로 고려

※ 물론 pseudo adiabatic 과정과 saturation adiabatic 과정 사이에서 작용이 일어나긴 하지만, 두 lapse rate는 거의 비슷한 수치를 가지기 때문에, 극단적인 pseudo adiabatic 과정만 고려하였다. (김경익, 대기열역학, 2010)

- 상승하는 parcel의 $T \geq 0$ ➡ Rain stage
상승하는 parcel의 $T < 0$ ➡ Snow stage

3. 습윤 단열 상승

1) $T \geq 0$, rain stage(성우급)

$$(c_{pd} + w_t c_w) \ln T - R_d \ln p_d + \frac{l_v w_{sw}}{T} = \text{constant}$$

$$\rightarrow c_{pd} \ln T - R_d \ln p + \frac{l_v}{T} \frac{\epsilon e_{sw}}{p} = \text{constant}$$

※ assume. $w_{sw} \approx w_t \ll c_{pd}$, $p_d \gg e_{ws}$, $w_{sw} \approx \epsilon \frac{e_{sw}}{p}$

$$e_{sw} = 6.11 \times \exp\left(19.83 - \frac{5417}{T}\right), \quad l_v, c_{pd} \approx \text{constant}$$

3. 습윤 단열 상승

1) $T \geq 0$, rain stage(성우급)

$$c_{pd} \ln T_i - R_d \ln p_i + \frac{l_v}{T_i} \frac{\epsilon}{p_i} 6.11 \exp\left(19.83 - \frac{5417}{T_i}\right) = c_{pd} \ln T_f - R_d \ln p_f + \frac{l_v}{T_f} \frac{\epsilon}{p_f} 6.11 \exp\left(19.83 - \frac{5417}{T_f}\right)$$

Then, $T_i = T_{LCL}, p_i = p_{LCL}, p_f \sim$ 관측 고도 압력 \longrightarrow 아는 값

$\longrightarrow T_f \longrightarrow$ 계산 가능

3. 습윤 단열 상승

2) $T < 0$, snow stage(성설급)

$$c_{pd} \ln T - R_d \ln p + \frac{l_v}{T} \frac{\epsilon e_{sw}}{p} = \text{constant} \quad \begin{array}{l} \text{From,} \\ \text{Rain stage} \end{array}$$

$c_w \rightarrow c_i$ $e_{sw} \rightarrow e_{si}$ $l_v \rightarrow l_s$ 변환



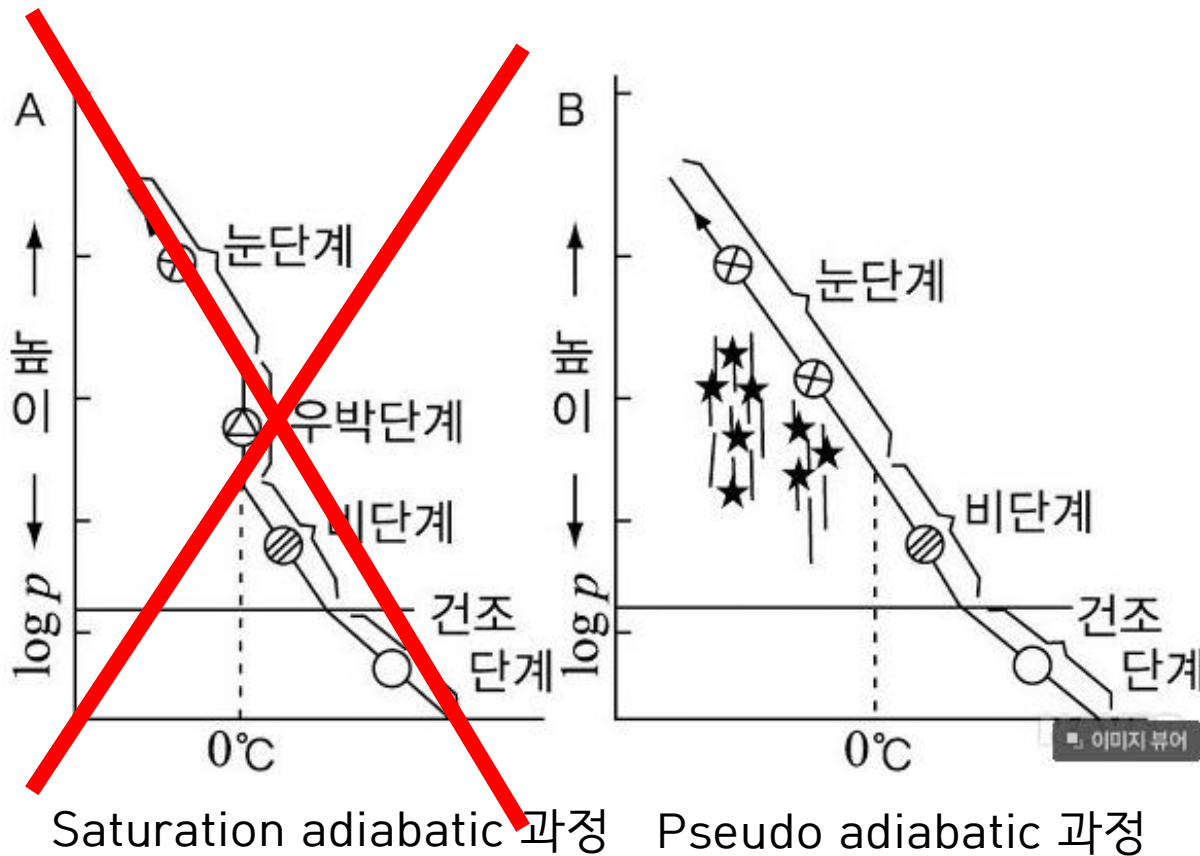
$$c_{pd} \ln T - R_d \ln p + \frac{l_s}{T} \frac{\epsilon e_{si}}{p} = \text{constant}$$

3. 습윤 단열 상승

2) $T < 0$, snow stage(성설급)

- Rain stage(성우급)에서 한 방식대로 T_i , P_i , P_f 를 구할 수 있고,
그에 따라 **T_f** 를 구할 수 있다.
- Snow stage의 과정을 겪는 것은 산이 매우 높거나 시작 온도가 비교적 낮아 온도가 0도 이하일 때만 가능 할 것이다.

3. 습윤 단열 상승



4. 건조 단열 하강

1) 온도

$$T = T_{peak} - \Gamma_d (z - z_{peak})$$

2) 이슬점

$$T = T_{peak} - \Gamma_d (z - z_{peak})$$

분석 모델 소개 및 적용

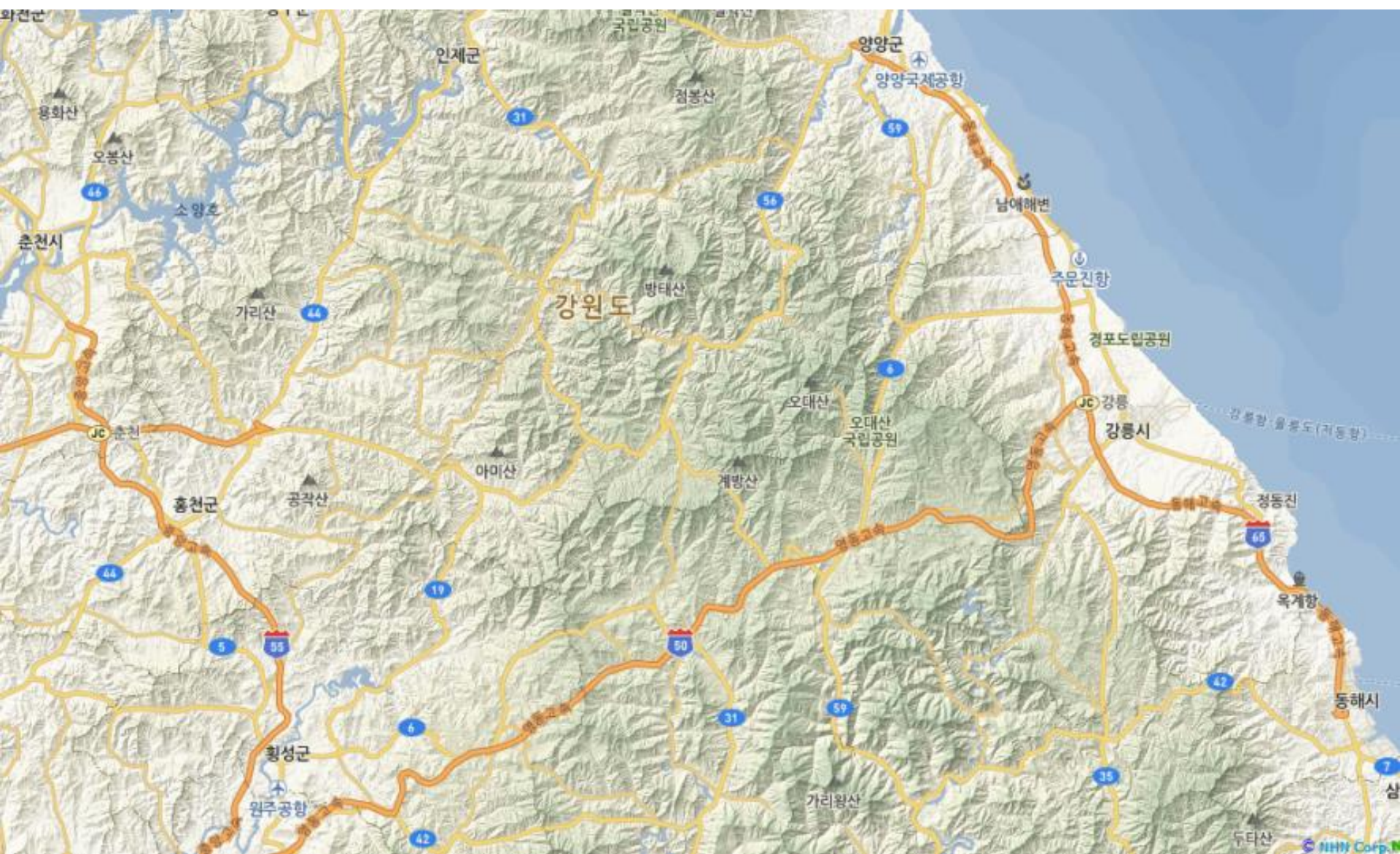
1. 태백 산맥

- 강릉-대관령-홍천 지역



1. 연구 목적 2. 필 현상 3. 분석모델 소개 및 적용 4.결론

분석 모델 소개 및 적용



1. 연구 목적 2. 핀 현상 3. 분석모델 소개 및 적용 4.결론

분석 모델 소개 및 적용

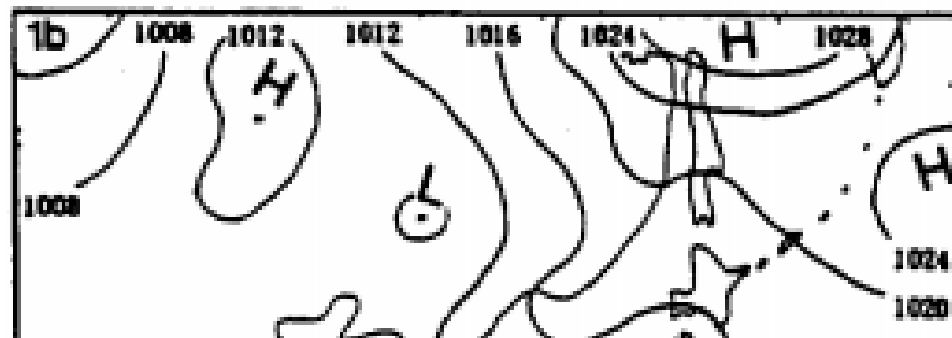
바람 발생원인

봄철 ~ 초여름

- > 오호츠크해 기단 (고기압성)
- > 동풍 계열의 바람 우세

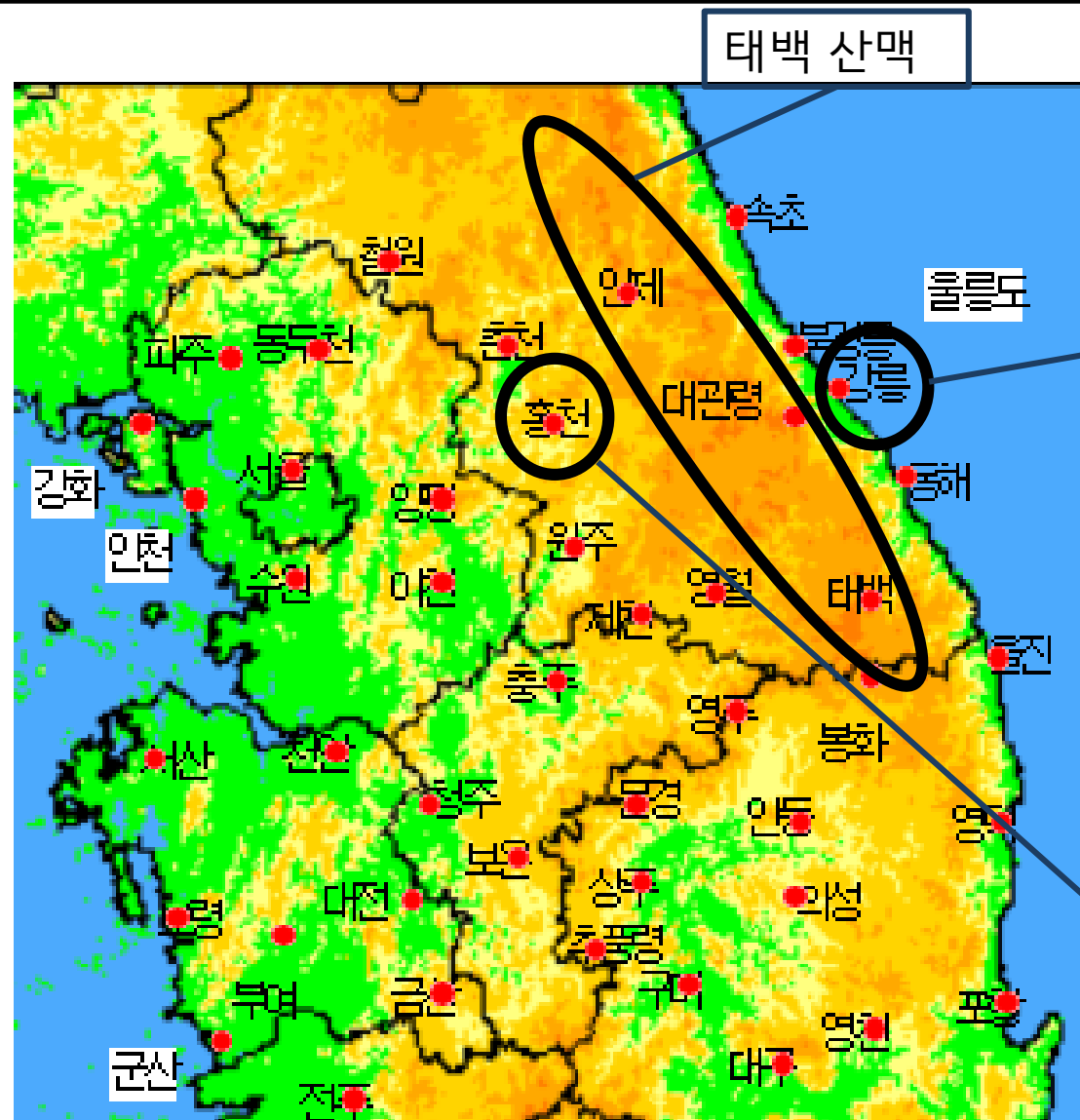


영동지방에서
태백산맥을 넘어
영서지방으로
높새바람



초여름 한반도 주변의 전형적인 기압배치도

분석 모델 소개 및 적용



관측 대상

- Initial
강릉

- Final
홍천

분석 모델 소개 및 적용

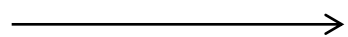
		강릉 (26m)	홍천 (141m)	Tdew (K)	TIcl (m)	ZIcl (m)	PIcl (mb)
2009. 03. 20. 14:00	온도(K)	283.36	290.76	273.99	271.95	1196.88	883.27
	R.H	0.52	0.23				
2009. 05. 24. 13:00	온도(K)	293.26	297.86	286.35	284.66	890.30	912.41
	R.H	0.64	0.44				
2009. 06. 05. 15:00	온도(K)	293.36	301.26	288.66	287.48	614.04	937.18
	R.H	0.74	0.27				
2010. 05. 13. 14:00	온도(K)	288.56	293.86	282.75	281.38	751.70	932.89
	R.H	0.68	0.3				
2010. 06. 15. 15:00	온도(K)	296.96	303.46	291.71	290.37	682.29	931.31
	R.H	0.72	0.42				
2011. 04. 16. 15:00	온도(K)	284.16	292.66	272.43	269.92	1491.76	847.58
	R.H	0.44	0.07				
2011. 05. 25. 14:00	온도(K)	285.76	300.26	282.25	281.42	464.48	967.13
	R.H	0.79	0.34				
2011. 06. 19. 15:00	온도(K)	298.06	303.36	273.99	283.69	1471.46	849.94
	R.H	0.48	0.33				

분석 모델 소개 및 적용

		강릉 (26m)	홍천 (141m)	강릉 - 홍천 관측값 차	Tpeak (K)	홍천 모델링(K)	모델링 - 강릉 온도차 (K)	오차 (K)
2009. 03. 20. 14:00	온도(K)	283.36	290.76	7.4	270.01	283.27	-0.09	-7.49
	R.H	0.52	0.23			0.39		
2009. 05. 24. 13:00	온도(K)	293.26	297.86	4.6	282.94	296.20	2.94	-1.66
	R.H	0.64	0.44			0.42		
2009. 06. 05. 15:00	온도(K)	293.36	301.26	7.9	275.47	288.73	-4.63	-12.53
	R.H	0.74	0.27			0.41		
2010. 05. 13. 14:00	온도(K)	288.56	293.86	5.3	276.99	290.25	1.69	-3.61
	R.H	0.68	0.3			0.41		
2010. 06. 15. 15:00	온도(K)	296.96	303.46	6.5	286.46	299.72	2.76	-3.74
	R.H	0.72	0.42			0.43		
2011. 04. 16. 15:00	온도(K)	284.16	292.66	8.5	269.67	282.93	-1.23	-9.73
	R.H	0.44	0.07			0.39		
2011. 05. 25. 14:00	온도(K)	285.76	300.26	14.5	275.47	288.73	2.97	-11.53
	R.H	0.79	0.34			0.41		
2011. 06. 19. 15:00	온도(K)	298.06	303.36	5.3	283.39	296.65	-1.41	-6.71
	R.H	0.48	0.33			0.43		

분석 모델 소개 및 적용

- 계산한 홍천의 기온은 실제 관측 값보다 낮게 나타났다.
- 계산한 홍천의 습도는 실제 관측 값보다 높게 나타났다.



이 지역에서 특정한 지리적 자료를 찾기가 어려워 어느 점에서 오차가 생겼는지 파악하기 힘들었다.

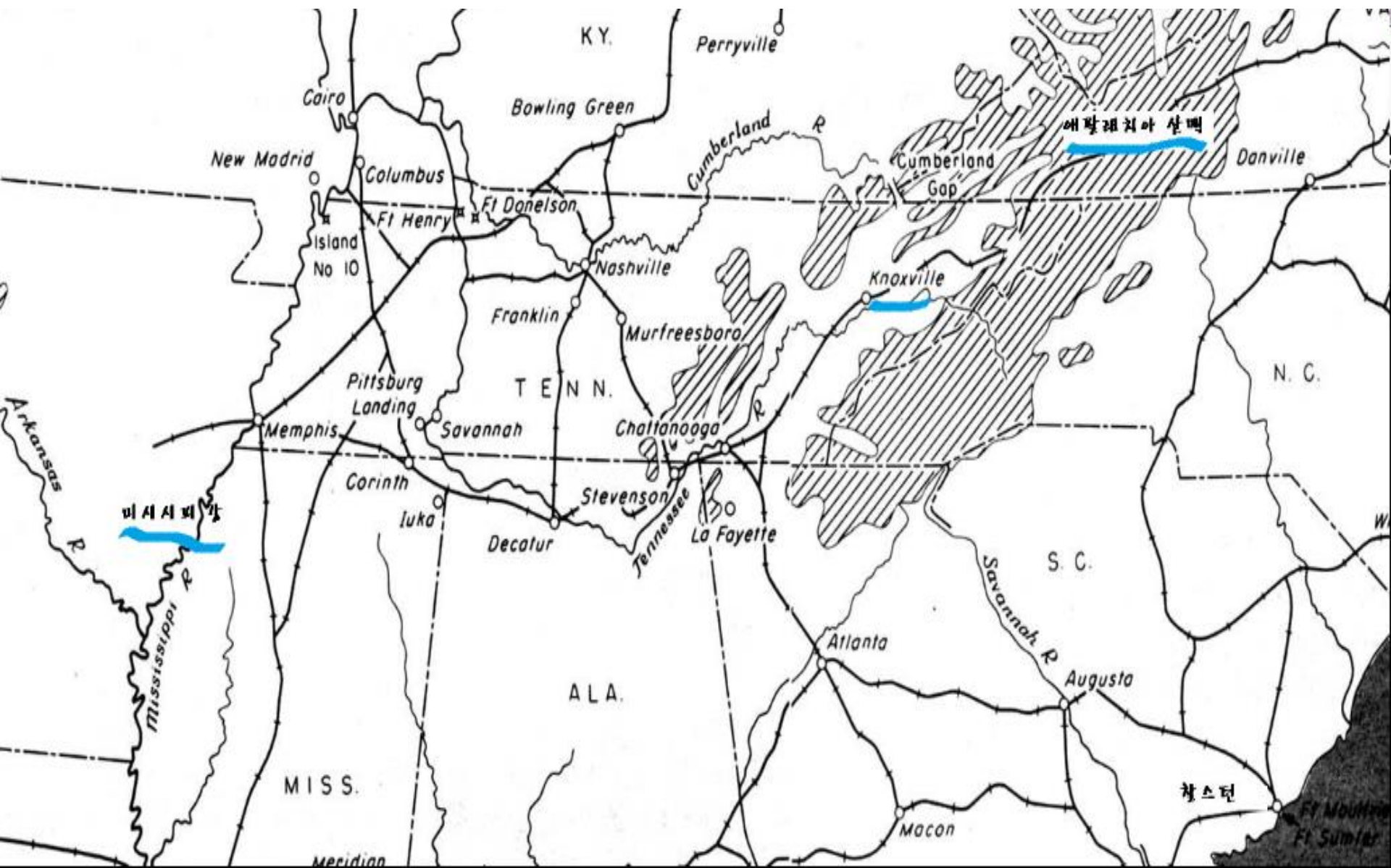
그래서 아마 식 자체에서 가정한 값에 의해 오차가 생겼을 거라 생각한다.

2. Appalachian 산맥

- 남부 지역

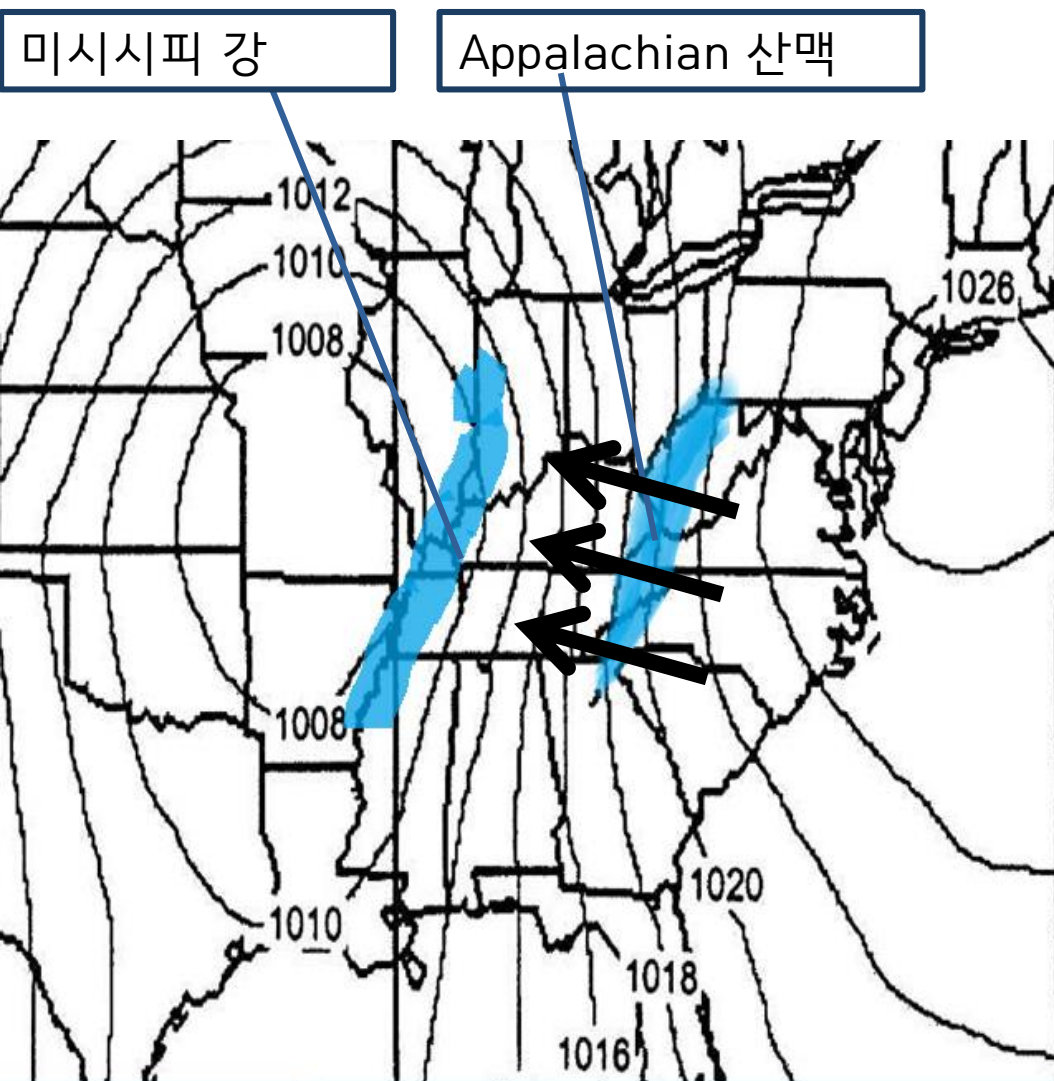


분석 모델 소개 및 적용



1. 연구 목적 2. 필 현상 3. 분석모델 소개 및 적용 4.결론

분석 모델 소개 및 적용



바람 발생원인

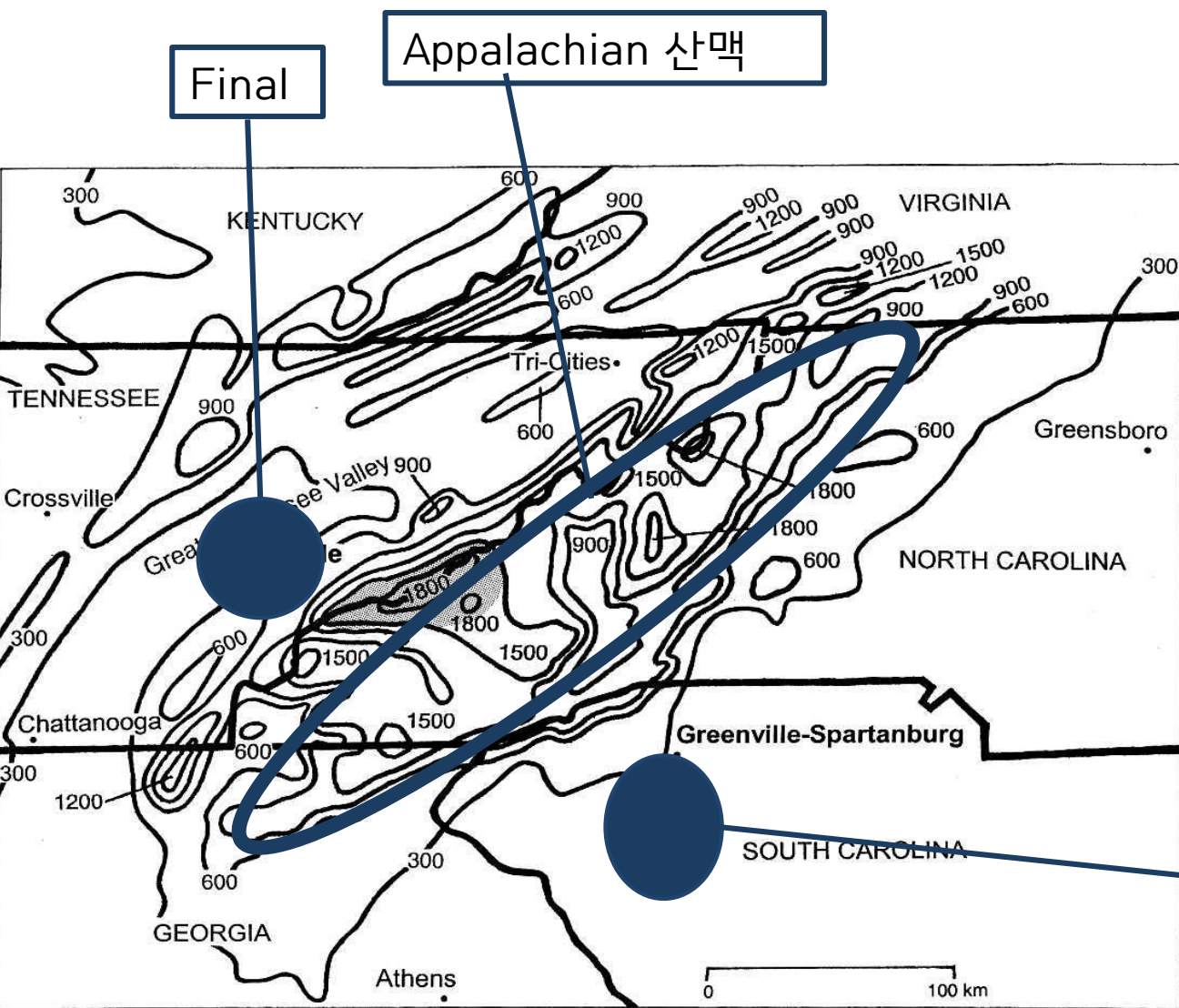
미시시피 강
-> 비교적 저기압

Appalachian 산맥
-> 비교적 고기압

➔ Appalachian 산맥에서 미시시피 강으로 바람생성

표면에서의 등압선

분석 모델 소개 및 적용



관측 대상

- Initial
- South carolina
- Final
- Knoxville airport

Initial

분석 모델 소개 및 적용

- 실제 관측 값

$$z_i = 287m \quad z_f = 293m \quad T_{1500m} = 283K$$

$$T_i = 285K \quad T_f = 290K$$

$$p_i = 1018hpa$$

$$r_i = 0.85$$

- 모델 계산 값

$$z_{LCL} = 589.5m \quad T_{LCL} = 282.01K \quad p_{LCL} = 975hpa$$

$$T_{1500m} = 275.6K \quad T_f = 287.4K$$

분석 모델 소개 및 적용

- 1500m 와 표면(293m)에서의 온도

모델

실제

$$T_{1500m} = 275.6K$$

$$T_{1500m} = 283K$$

$$T_f = 287.4K$$

$$T_f = 290K$$

왜 차이가 발생할까? ①

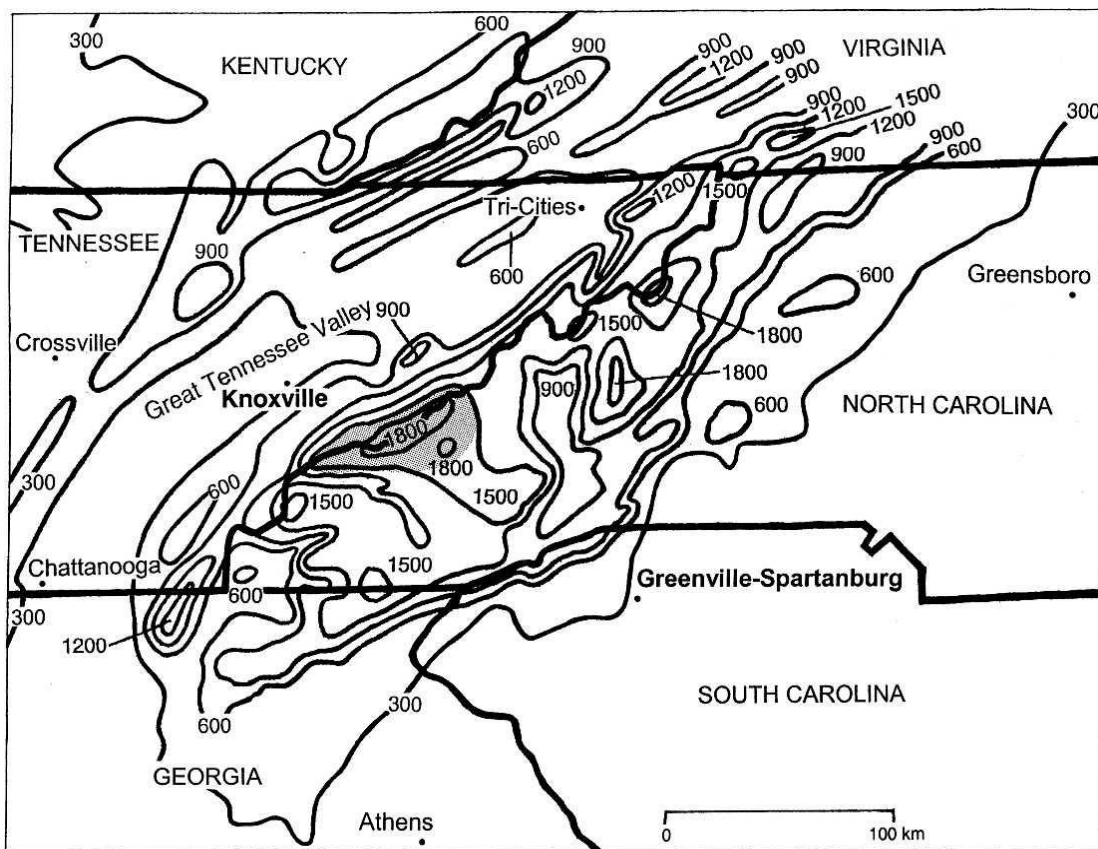
왜 차이가 발생할까? ②

오차의 원인

① 지형적인 요인

② 기압 차에 의한 warm air mass 의 유입

분석 모델 소개 및 적용



① 지형적인 요인

산맥이 지형적으로 평탄하지 않음



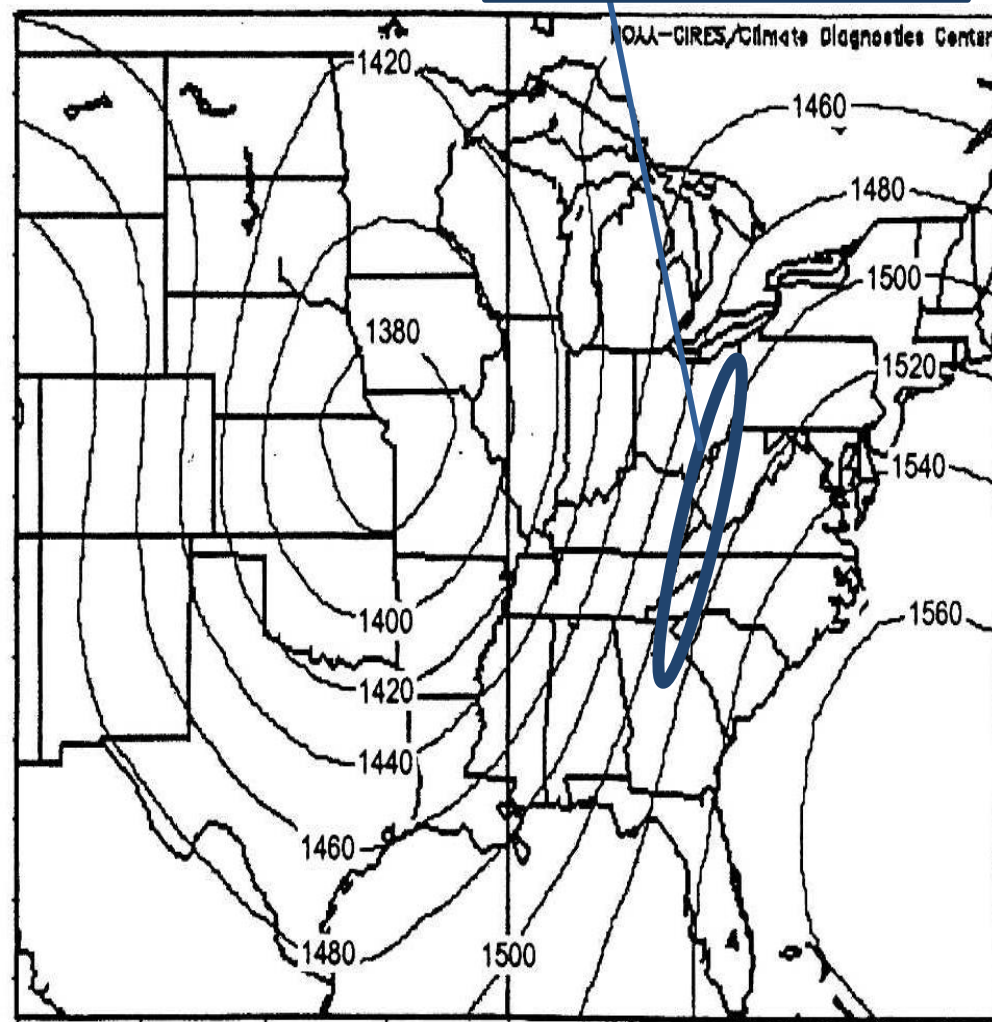
산맥 사이의 gap을 타고 흐르는
Shallow foehn wind 발생



Shallow foehn wind가 낮은 곳
을 넘어오며, 온도증가가 비교적
적음

분석 모델 소개 및 적용

Appalachian 산맥



② 기압 차에 의한 warm air mass 의 유입

산 정상 높이(1500m)에서의 기압을 비교하면, 이 산 정상의 압력은 남쪽에 비해 상대적으로 낮음.



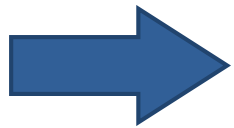
이 남쪽에서 부는 바람은 따뜻한 바람으로, 산 정상의 기온을 높게 해줌.



이로 인해 1500m에서의 기온이 실제 값에서 더 높음.

850hpa의 등고선

핀 현상은 단순 모델이 아닌 여러 지역적 변수를 포함하는 복합적 모델



핀 현상을 좀 더 다차원적으로 살펴 기온에 관해 조사해 본다면 더 기온 예측이 잘 될 것이라 생각한다.

Reference

김경익, 『대기열역학』, 2010, 119~124쪽

소진섭 · 소은미, 『역학 대기과학』, 2009, 51~58쪽, 89~126쪽

이현영, 「영서 지방의 핀 현상」, 1994

김유미 · 김만규. 「강원도 홍천 지역의 핀 연구」, 2013

David M. Gaffin, 「Foehn wind that produced large temperature differences near the southern appalachian mountains 」, 2007