creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265403

2016년 2월

석사학위 논문

안정한 날씨에 발생하는 대구공항의 야간 돌풍 연구

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

엄 태 준

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

안정한 날씨에 발생하는 대구공항의 야간 돌풍 연구

An Observational Study of the Nocturnal Gusts under the Conditions of Stable Weathers at Daegu Airport

2016년 2월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

엄 태 준

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

안정한 날씨에 발생하는 대구공항의 야간 돌풍 연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 10월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

엄 태 준

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

엄태준의 석사학위 논문을 인준함

위원장	조선대학교	교 수	정 효 상	(인)
위 원	군장대학교	교 수	정 병 옥	(인)
위 원	조선대학교	교 수	류 찬 수	(인)

2015년 11월

조선대학교 대학원

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

List of Tables ····· iii
List of Figures ····· iv
ABSTRACT ····· viii

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 자료 선정 및 분석 방법 ····· 3
1. 자료 선정 ····· 3
1) 지상일기도 패턴 ····· 3
(1) 겨울철 대륙성 고기압 장출 ····· 3
(2) 전선통과 ····· 4
(3) 태풍 직·간접 영향 ····· 5
(4) 마주보는 서로 다른 기압배치 ····· 5
2) 관측 자료 ····· 6
(1) 강수현상 ····· 6
(2) 뇌전현상 ····· 6
3) 지형 ····· 6
4) 선별 결과 ····· 7
2. 분석 방법 ····· 9

Ⅲ. 자료 분석 결과 ····· 10
1. 종관 분석 ····· 10
1) 지상일기도 ····· 10

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 850hPa 상층일기도 ····· 18
2. 중규모 분석 ····· 25
1) AWS시계열 자료 ····· 25
(1) 해풍의 특징이 나타난 패턴 (예:2007년 2월 27일) ····· 25
(2) 해풍의 특징이 나타난 패턴 (예:2006년 5월 24일) ····· 29
(3) 풍속 증가 패턴 ····· 36
2) 단열선도 ····· 41
(1) 해풍의 특징이 나타난 패턴 ····· 42
(2) 풍속 증가 패턴 ····· 43
3. 지형 분석 ····· 44
1) 위성사진 분석 ····· 44
2) AWS 그래픽 ····· 46
(1) 바람 벡터 ····· 46
(2) 경산-대구 지형분석 ····· 50
(3) 풍향별 지형 효과분석 ····· 54
4. 최근 사례 분석 ····· 60
1) 2015년 5월 27일 ····· 60
2) 2015년 6월 4일 ····· 64

Ⅳ. 결론 ····· 68
【참고문헌】 ····· 69

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table. 1. Case-screening Results·····7
Table. 2. Comparison of the Wind Speed at Daegu Airport and that of Daegu Weather Station·····16
Table. 3. Measurement of the Sea-level Pressure in Daegu, Yeongcheon and Pohang at 09:00LST and 21:00LST·····16
Table. 4. Difference of the Sea-level Pressure among 3 cities from Table. 3.·····17
Table. 5. Change of the Weather Elements before and after the Sea breeze in Pohang (Feb 27, 2007)·····26
Table. 6. Same as Table 5 except for Yeongcheon·····27
Table. 7. Same as Table 5 except for Gyeongsan·····28
Table. 8. Same as Table 5 except for Daegu·····28
Table. 9. Change of the Weather Elements before and after the Sea breeze in Pohang (May 24, 2007)·····30
Table. 10. Same as Table 9 except for Yeongcheon·····31
Table. 11. Same as Table 9 except for Gyeongsan·····32
Table. 12. Same as Table 9 except for Daegu·····33
Table. 13. Analysis of the Sea breeze Patterns·····35
Table. 14. Duration of the wind passage at 3 different points·····41
Table. 15. Comparison of the moving speed of two patterns·····46

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 1. Expansion pattern of the Continental High Pressure in Winter·····3
Fig. 2. Migration pattern of the Front·····4
Fig. 3. Direct and Indirect influence of the Typhoon·····5
Fig. 4. Placement of different Atmospheric Pressures·····5
Fig. 5. Surface Weather Chart at 21:00LST Mar. 06, 2006·····10
Fig. 6. Same as Fig. 5 except for May 24, 2006·····11
Fig. 7. Same as Fig. 5 except for Feb. 27, 2007·····11
Fig. 8. Same as Fig. 5 except for Apr. 26, 2007·····12
Fig. 9. Same as Fig. 5 except for Jun. 18, 2007·····12
Fig. 10. Same as Fig. 5 except for Aug. 29, 2008·····13
Fig. 11. Same as Fig. 5 except for Sep. 08, 2008·····13
Fig. 12. Same as Fig. 5 except for Apr. 23, 2009·····14
Fig. 13. Same as Fig. 5 except for Sep. 16, 2009·····14
Fig. 14. Same as Fig. 5 except for May 09, 2012·····15
Fig. 15. 850hPa Weather Chart at 2100LST Mar. 06, 2006·····18
Fig. 16. Same as Fig. 15 except for May 24, 2006·····18
Fig. 17. Same as Fig. 15 except for Feb. 27, 2007·····19
Fig. 18. Same as Fig. 15 except for Apr. 26, 2007·····19
Fig. 19. Same as Fig. 15 except for Jun. 18, 2007·····20
Fig. 20. Same as Fig. 15 except for Aug. 29, 2008·····20
Fig. 21. Same as Fig. 15 except for Sep. 08, 2008·····21
Fig. 22. Same as Fig. 15 except for Apr. 23, 2009·····21
Fig. 23. Same as Fig. 15 except for Sep. 16, 2009·····22
Fig. 24. Same as Fig. 15 except for May 09, 2012·····22
Fig. 25 Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST May 27, 2015·····24
Fig. 26. Pohang AWS Time Series Chart at Feb. 27, 2007·····25

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 27. Same as Fig. 26 except for Yeongcheon·····26
Fig. 28. Same as Fig. 26 except for Gyeongsan·····27
Fig. 29. Same as Fig. 26 except for Daegu·····28
Fig. 30. Pohang AWS Time Series Chart at May 24, 2006·····29
Fig. 31. Same as Fig. 30 except for Yeongcheon·····30
Fig. 32. Same as Fig. 30 except for Gyeongsan·····31
Fig. 33. Same as Fig. 30 except for Daegu·····32
Fig. 34. Characteristics of the Sea Breeze·····34
Fig. 35. Pohang AWS Time Series Chart at Sep. 08, 2008·····36
Fig. 36. Same as Fig. 35 except for Yeongcheon·····37
Fig. 37. Same as Fig. 35 except for Gyeongsan·····38
Fig. 38. Same as Fig. 35 except for Daegu·····39
Fig. 39. Characteristics of the incoming wind in Daegu·····40
Fig. 40. Pohang Skew T - Log P DIAGRAM at Mar. 06, 2006·····42
Fig. 41. Same as Fig. 40 except for May 24, 2006·····42
Fig. 42. Same as Fig. 40 except for Feb. 27, 2007·····42
Fig. 43. Same as Fig. 40 except for Apr. 26, 2007·····42
Fig. 44. Same as Fig. 40 except for Apr. 23, 2009·····42
Fig. 45. Same as Fig. 40 except for Sep. 16, 2009·····42
Fig. 46. Same as Fig. 40 except for Sep. 16, 2009·····42
Fig. 47. Same as Fig. 40 except for May 09, 2009·····42
Fig. 48. Same as Fig. 40 except for Jun. 18, 2007·····43
Fig. 49. Same as Fig. 40 except for Aug. 29, 2008·····43
Fig. 50. Same as Fig. 40 except for Sep. 08, 2008·····43
Fig. 51. Topographical features of Daegu, Korea·····44
Fig. 52. Surrounding mountain terrain of Daegu, Korea·····44
Fig. 53. Topographical features between Daegu and Pohang·····45
Fig. 54. Comparison of the width of the Low-lying Areas·····45
Fig. 55. Wind Vector and Speed Image at 14:00LST May 09, 2012·····47

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 56. Same as Fig. 55 except for 16:00LST·····47
Fig. 57. Same as Fig. 55 except for 18:00LST·····48
Fig. 58. Same as Fig. 55 except for 20:00LST·····48
Fig. 59. Wind Vector Analysis·····49
Fig. 60. Satellite Image of Gyeongsan and Daegu·····50
Fig. 61. Daegu viewed from Gyeongsan·····51
Fig. 62. Schematic Diagram of the Wind Passage between Daegu and Gyeongsan··52
Fig. 63. Bernoulli's Theorem Model·····53
Fig. 64. Schematic Diagram of the Wind Passage between Daegu and Gyeongsan··53
Fig. 65. Wind Vector and Speed Image at 13:00LST Jan. 06, 2015·····54
Fig. 66. Same as Fig. 65 except for 13:00LST Jan. 08, 2015·····54
Fig. 67. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Jan. 09, 2015·····55
Fig. 68. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Jan. 10, 2015·····55
Fig. 69. Same as Fig. 65 except for 13:00LST Feb. 04, 2015·····55
Fig. 70. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Mar. 03, 2015·····56
Fig. 71. Satellite Image for Yangsan and Busan·····57
Fig. 72. Wind Vector and Speed Image at 10:00LST Mar 03, 2015 between Yangsan and Busan·····58
Fig. 73. Same as Fig. 72 except for 16:00LST Apr. 14, 2015·····58
Fig. 74. Same as Fig. 72 except for 16:00LST Apr. 14, 2015 between Daegu and Gyeongsan·····59
Fig. 75. Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST May 27, 2015·····60
Fig. 76. Pohang AWS Time Series Chart at May 27, 2015·····61
Fig. 77. Same as Fig. 76 except for Yeongcheon·····61
Fig. 78. Same as Fig. 76 except for Gyeongsan·····62
Fig. 79. Same as Fig. 76 except for Daegu·····62
Fig. 80. Pohang Skew T - Log P Diagram at May 27, 2015·····63
Fig. 81. Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST Jun. 04, 2015·····64
Fig. 82. Pohang AWS Time Series Chart at Jun. 04, 2015·····65

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 83. Same as Fig. 82 except for Yeongcheon·····65
Fig. 84. Same as Fig. 82 except for Gyeongsan·····66
Fig. 85. Same as Fig. 82 except for Daegu·····66
Fig. 86. Pohang Skew T - Log P Diagram at May 27, 2015·····67

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

An Observational Study of the Nocturnal Gusts under the Conditions of Stable Weathers at Daegu Airport

Eom Taejun
Advisor : Prof. Ryu, Chan-su, Ph.D.
Department of Atmospheric Science
Graduate School of Chosun University

The nocturnal gust of greater than 15KTS, occurring in the stable weather conditions due to the influence of the high-pressure system at Daegu Airport, has been carefully analyzed by the synoptic scale, mesoscale and topographical analysis. This process ends up with following results.

First of all, the synoptic analysis of the 850hPa upper air always shows the thermal trough in the korean Eastern Sea, which causes the surface of discontinuity, as the land is relatively warmer than the sea.

Then, it is classified into sea-breeze front-like pattern and the other by the mesoscale analysis.

Lastly, the topographical analysis proves that Daegu is susceptible to an easterly wind, which tends to become faster when passes through Gyeongsan. It happens as Daegu Airport is located in a valley, which is 70km away from Pohang in a straight line, and this region is joined easterly.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서론

항공기 사고는 발생 시 항공기 전소(total loss)는 물론 막대한 재산과 탑승자가 전원 사망한다는 것이 일반 교통사고와는 상이하며, 사고발생 빈도는 낮으나 단 한 번의 사고도 큰 인적·물적 피해가 따른다(권병모, 2011). 사고의 원인은 다양하지만 미국 연방항공청(FAA)의 통계에 따르면, 조종사과실이 약 50%이고 기상에 의한 것은 21%라고 한다. 기상으로 인한 사고를 요소별로 분석한 미국 연방교통안전위원회(NTBS)의 통계에 따르면 바람이 59%로 시정이나 강수를 동반한 악천후보다 월등히 높음을 알 수 있다.

항공기가 공중에 떠오르려면 양력이 필요하며, 양력은 엔진의 힘으로 전진할 때 날개 상·하면에 발생하는 압력차로 얻어진다. 즉, 날개 상면은 압력이 낮아지고 하면은 압력이 커지게 되며, 이때 큰 쪽에서 작은 쪽으로 작용하는 압력으로 인해 날개를 상승시키는 힘이 발생하게 되는데 이 힘을 '양력'이라고 하고 이 힘에 의해 비행기 전체가 상승하게 된다(박혜정, 2000). 양력은 추진력이 증가하여 속도가 높아질수록 많이 발생한다. 즉 정면에서 불어오는 바람은 실제 속도보다 많은 양력을 발생시키지만, 뒤에서 불어오는 바람은 실제 속도보다 양력을 감소시킨다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 측면에서 불어오는 바람은 항공기를 좌우로 이동시켜 직선으로 비행할 수 없게 만드는 원인이다. 따라서 예상치 못한 후면 및 측면 바람은 양력을 급격히 감소시키거나 조종 불능상황으로 만들어 위험을 초래하기에 기상 요소 중 바람이 가장 많은 사고의 원인이 되었던 것이다.

항공기 운항에 영향을 주는 바람의 풍속은 기종에 따라 다르지만 일반적으로 배풍 5~10kts, 측풍 8~20kts를 적용하여 비행을 통제하고 있다. 각 기종별 제한치는 주간과 야간이 상이한 경우가 있으며, 안전을 고려하여 야간에 더 낮은 풍속 제한치를 적용하고 있다.

일반적인 강풍의 정의는 28kts 이상 부는 바람을 의미한다. 이런 강풍은 전선통과, 태풍영향, 뇌전을 동반한 적란운 주변 등에서 부는 바람이 대부분이며, 비교적 쉽게 예측이 가능하다고 볼 수 있다. 또한 28kts 이상의 바람은 대부분 갑자기 불지도 않을뿐더러 충분히 사전에 대비하여 비행계획에 큰 변수로 작용하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

지 않는다. 따라서 이번 연구는 일반적인 28kts 이상의 강풍이 아닌 야간에 항공기 운항에 영향을 줄 수 있는 돌풍에 대하여 분석하였다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 자료 선정 및 분석 방법

1. 자료 선정

본 연구에서는 공군에서 운용중인 전체 비행장에서 관측한 자료를 바탕으로 최근 10년의 자료를 이용하였으며, 풍속 기준을 15kts 이상 관측된 모든 사례를 선별하였다. 관측 시간은 야간에 발생한 사례를 연구하기 위하여 20LST~다음날 06LST의 정시관측 자료를 활용하였다.

이번 연구는 야간 돌풍이 예상되지 않는 상태에서 발생한 현상에 대하여 분석하기 위하여 다음과 같은 사례를 제외하였다.

1) 지상일기도 패턴

(1) 겨울철 대륙성고기압 장출

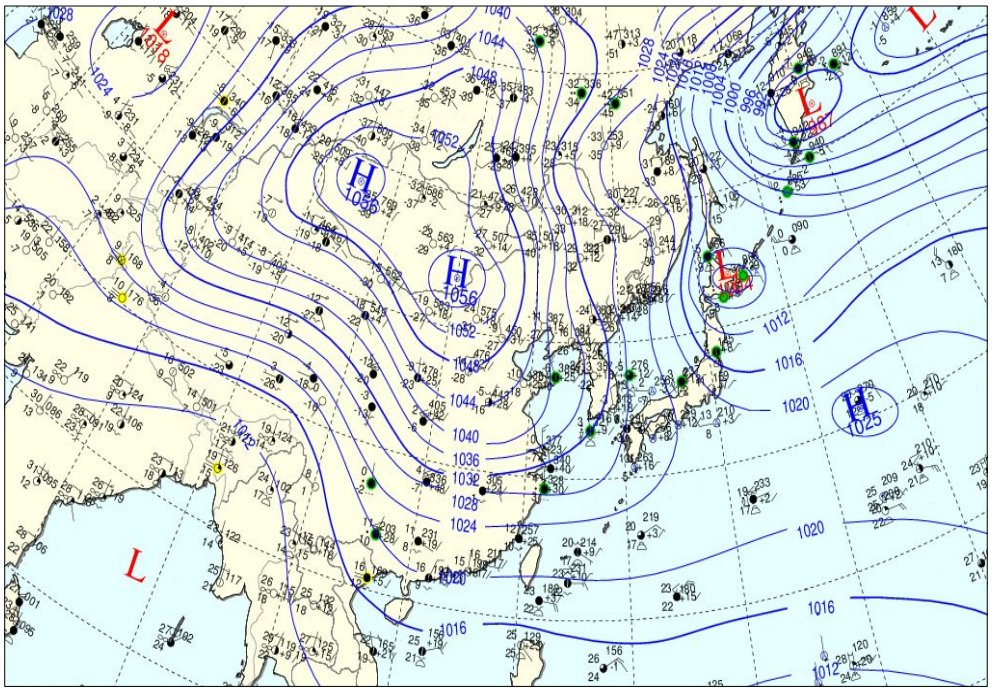

Fig. 1. Expansion pattern of the Continental High Pressure in Winter.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 1은 우리나라에 저기압이 통과하고 시베리아 고기압이 강하게 확장하며 기압경도력이 증가되는 모습이다. 이와 같은 사례는 (김상룡, 2011, 김유진·이재규·양아련, 2012) 등 많은 강풍 연구에서 보인 전형적인 겨울철 강풍 패턴으로 충분히 예상이 가능하여 이번 사례에서 제외하였다.

(2) 전선 통과

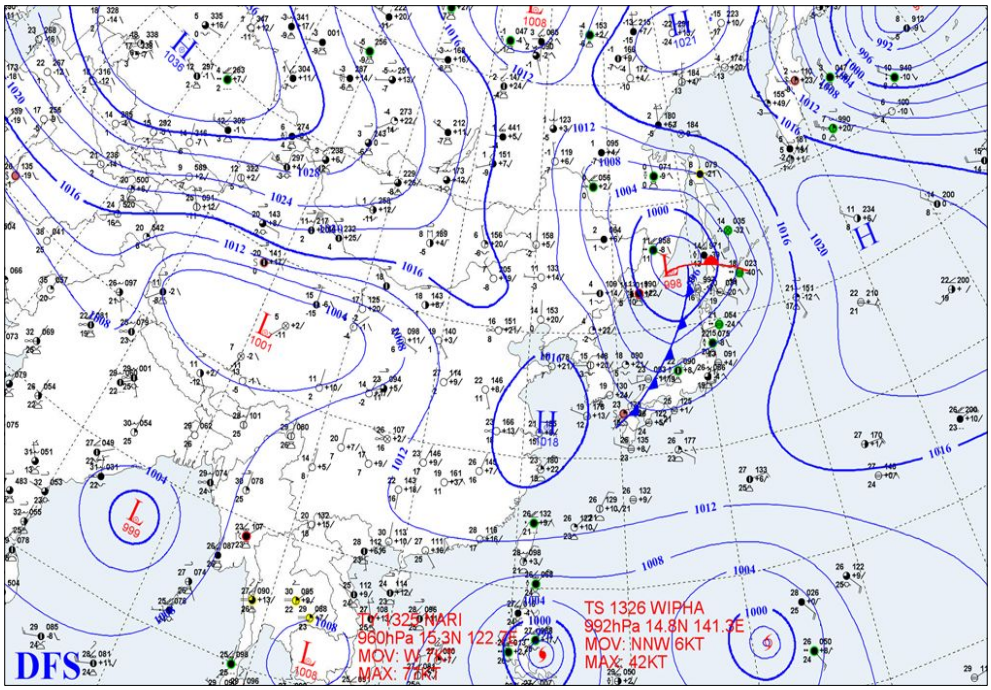

Fig. 2. Migration pattern of the Front.

Fig. 2는 우리나라에 저기압과 동반된 한랭전선 통과 패턴으로서 이승호(2007)의 기후학에서는 갑자기 바람이 강해지면서 풍향이 급변한다고 하였다. 따라서 이번 연구에서 제외하였으며 우리나라 주변을 통과한 저기압도 영향을 줄 수 있기 때문에 같이 포함하였다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(3) 태풍의 직·간접 영향

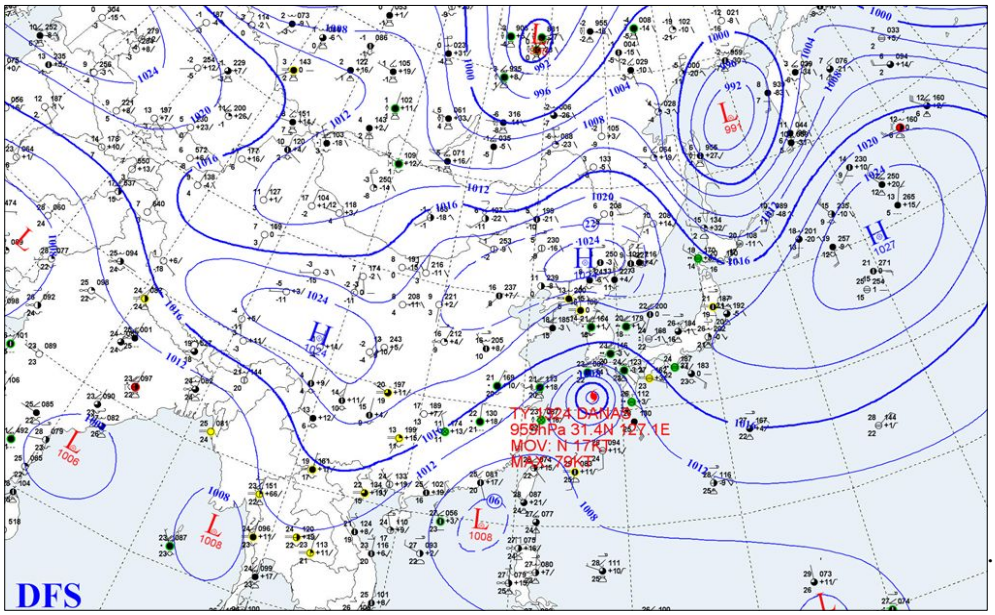

Fig. 3. Direct and Indirect influence of the Typhoon.

(4) 마주보는 서로 다른 기압배치

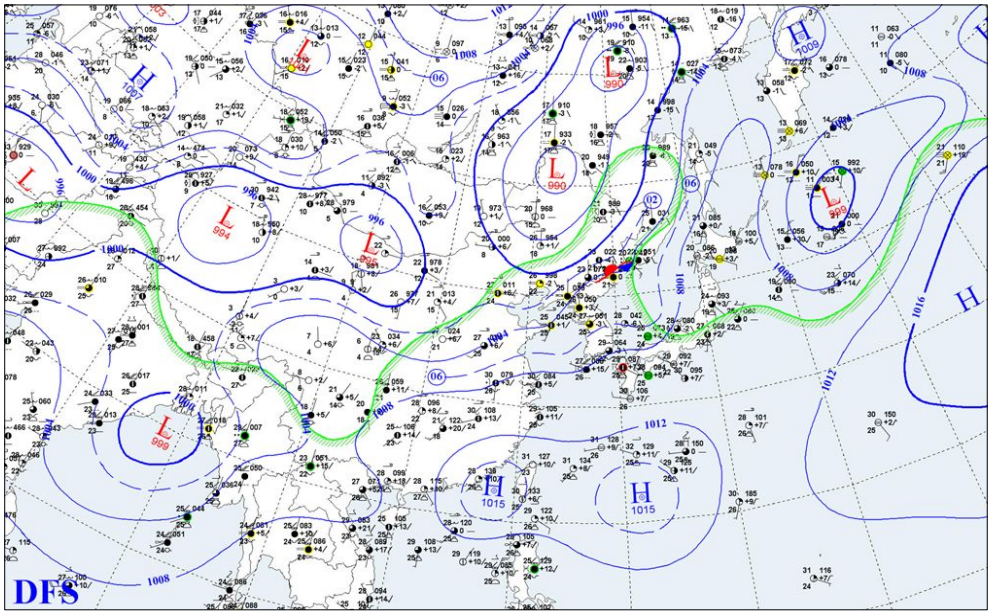

Fig. 4. Placement of different Atmospheric Pressures.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 4는 우리나라를 중심으로 남쪽에는 고기압이 자리하고 북쪽에 저기압이 자리한 패턴이다. 김상룡(2011)의 강풍 사례에서는 남고북저, 북고남저, 서고동서, 동고서저의 기압배치가 나타났듯이 이는 고기압과 저기압의 기류가 맞물려서 같은 방향으로 흐르기 때문이다. 따라서 Fig. 4와 같은 형태와 또는 그 반대를 포함하여 서로 마주보는 기압배치의 경우 모두 제외하였다.

2) 관측 자료

(1) 강수현상 관측

15kts이상 풍속이 관측된 날짜에 24시간 전체에 걸쳐 강수현상이 관측된 날은 제외하였다. 지상일기도의 기압배치에서 구별해 내지 못한 경우라도 강수현상이 있었다는 것은 대류성 활동이나 저기압의 영향을 받았기 때문이다.

(2) 뇌전현상 관측

반기성(2001)은 발달한 적란운에서 뇌전현상이 발생하며 강한 돌풍(microburst)이 발생한다고 하였다. 따라서 강수현상의 유무와 관계없이 뇌전이 관측된 날은 적란운의 발달에 의한 풍속증가 현상이므로 이번 연구대상에서 제외하였다.

3) 지형

자료 선별결과 해안가에 위치한 공항은 발견 사례가 높았다. 설동일(2009)은 부산 해안 중에서도 바다에 가깝게 위치하고 있는 곳 에서 강하고, 바다에서 약간 떨어진 관측점은 그보다 약한 특성을 보인다 하였다. 따라서 해안에 직접 위치한 강릉공항은 제외하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4) 선별 결과

Table 1. Case-screening Results

No	Station	Date	hour	Wind direction(°)	Wind speed (kts)
1	Yongsan	Apr. 19, 2013	3	040	15
2	Yongsan	Sep. 25, 2013	20	310	18
3	Sungmu	May 16, 2013	21	130	16
4	Jungwon	Aug. 11, 2013	20	250	15
5	Yecheon	Mar. 21, 2006	20	090	15
6	Kyeryong	Jun. 16, 2007	21	100	15
7	Kyeryong	Aug. 5, 2009	23	140	15
8	Daegu	Mar. 6, 2006	20	110	16
9	Daegu	May 24, 2006	20	130	20
10	Daegu	Feb. 27, 2007	23	160	15
11	Daegu	Apr. 26, 2007	20	130	20
12	Daegu	Jun. 18, 2007	20	130	15
13	Daegu	Aug. 29, 2008	20	130	17
14	Daegu	Sep. 8, 2008	21	130	16
15	Daegu	Apr. 23, 2009	22	100	16
16	Daegu	Sep. 16, 2009	20	100	15
17	Daegu	May 9, 2012	21	130	15
18	Gimhae	Dec. 30, 2006	5	310	15
19	Gimhae	Jan. 2, 2007	23	020	18

전체 발생횟수 38건 중 강릉 9건을 제외하였고, 같은 날에 발생한 유사 사례는 가장 강한 풍속이 나타났던 관측 자료만 선별하여 19건이 선별되었다. 용산과 계룡은 비행장은 아니나 도서지역이 아닌 내륙의 관측소였기에 연구할 가치가 있을 것으로 판단하였다. 그 결과 대부분의 관측소에서 발생 사례가 1~2건으로 미미하였으나 대구공항만 10건의 사례가 나타났다. 10건은 기간대비 발생횟수가 많

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

은 것은 아니나, 보편적인 강풍패턴을 제외하였고 국지풍으로서 15kts라는 기준치가 야간에 발생하기 쉬운 풍속이 아닌 점과, 해당 풍향이 100°~160°의 남동풍이며, 발생시간이 20~23LST로 일관되게 출현한 점으로 미루어 대구 공항을 이번 연구대상으로 결정하였다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 분석 방법

연구 방법은 종관분석으로 지상일기도를 이용하여 지상의 고·저기압 배치에 의한 영향과 주요지점의 기압경도력을 분석하여 발생한 바람과 상관여부를 확인하였다.

중규모 분석은 대구 공항 정시관측 자료와 기상청 AWS시계열 자료, 포항단열선도를 분석하여 대구 공항 및 대구기상대에 관측되었던 바람의 원인과 경로를 판단하였다.

대구공항에만 발생한 점으로 미루어 지형적인 특성을 분석하기 위해 위성사진과 지도를 이용하여 바람길을 확인하고 유사지형과 일치여부를 판단하기 위해 AWS그래픽 자료를 비교하였다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 자료 분석

1. 종관 분석

1) 지상일기도

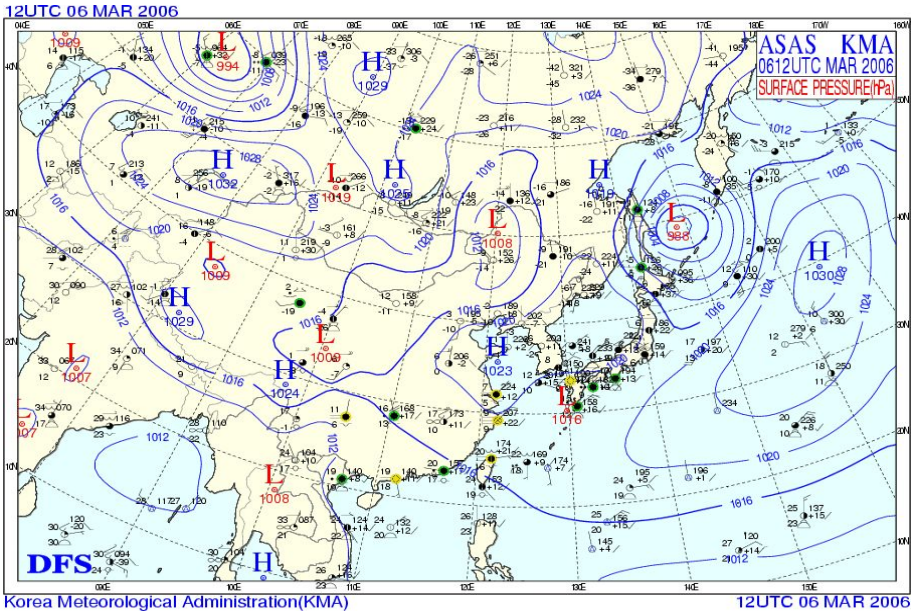

Fig. 5. Surface Weather Chart at 21:00LST Mar. 06, 2006

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

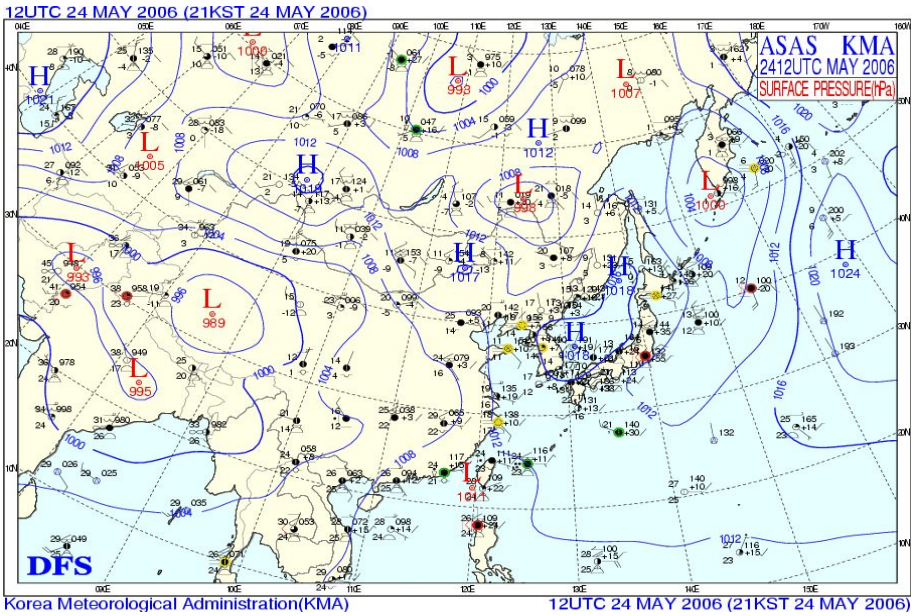

Fig. 6. Same as Fig. 5 except for May 24, 2006

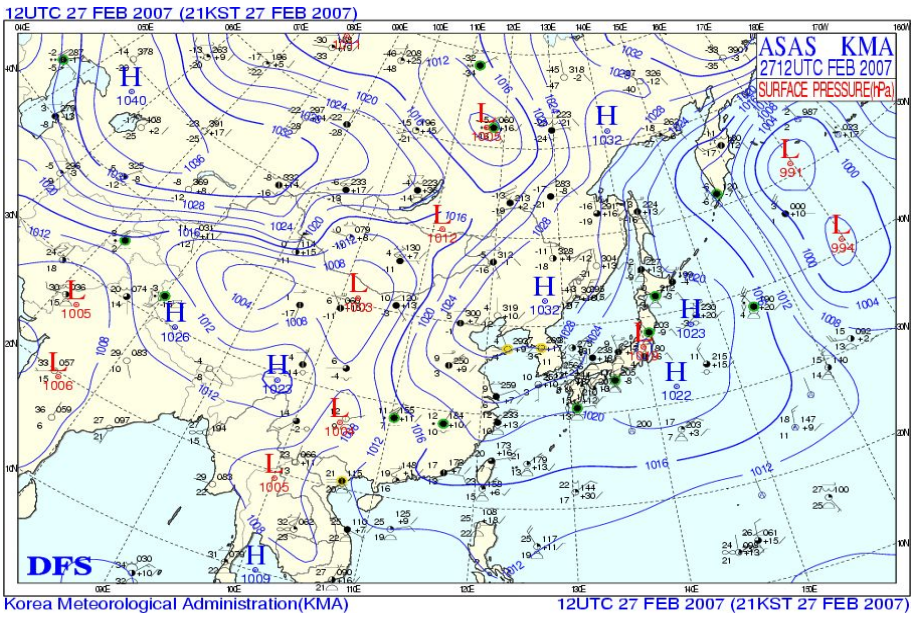

Fig. 7. Same as Fig. 5 except for Feb. 27, 2007

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

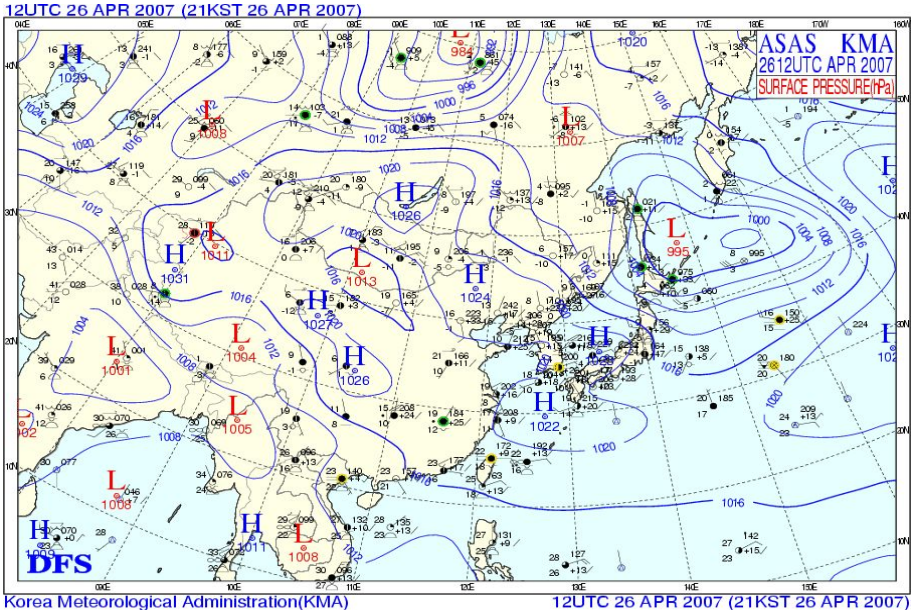

Fig. 8. Same as Fig. 5 except for Apr. 26, 2007.

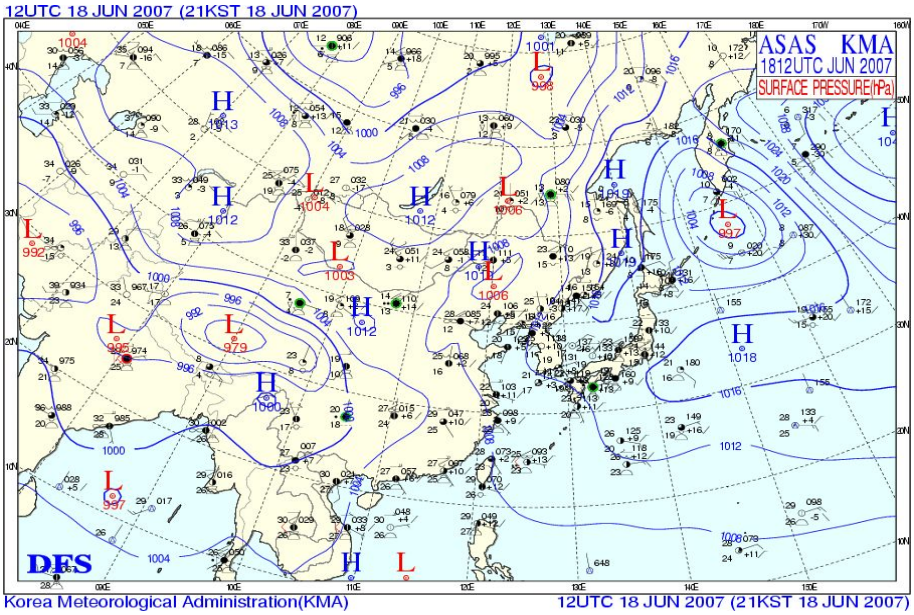

Fig. 9. Same as Fig. 5 except for Jun. 18, 2007.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

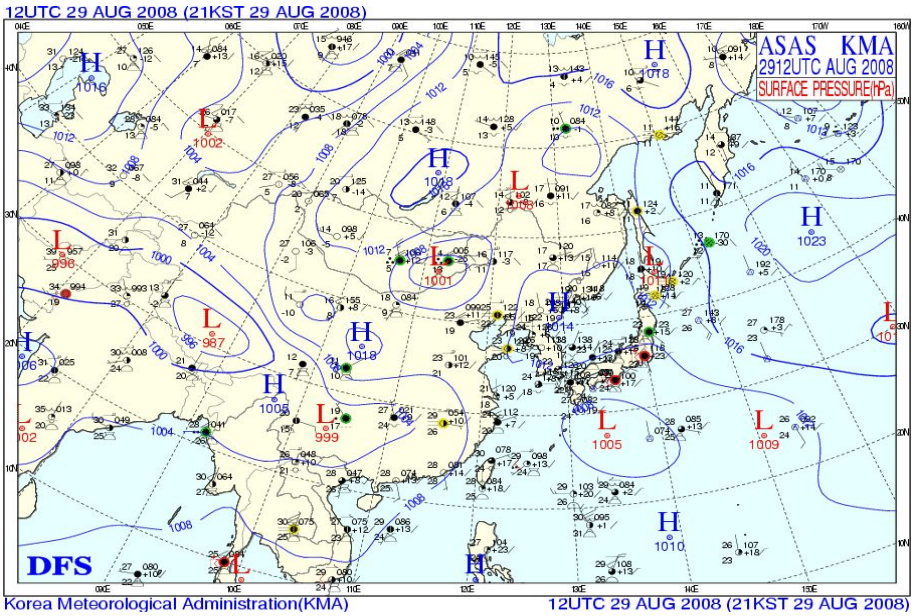

Fig. 10. Same as Fig. 5 except for Aug. 29, 2008.

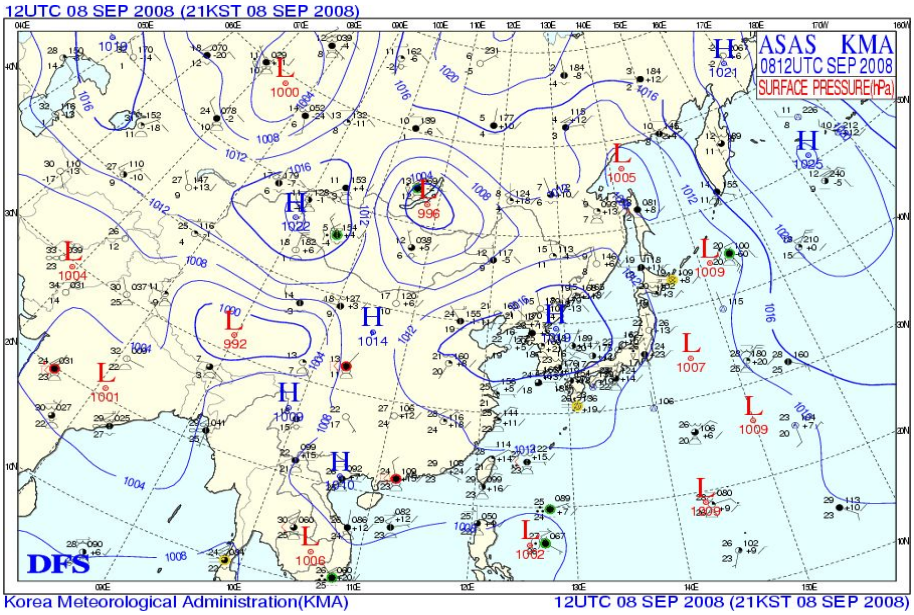

Fig. 11. Same as Fig. 5 except for Sep. 08, 2008.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

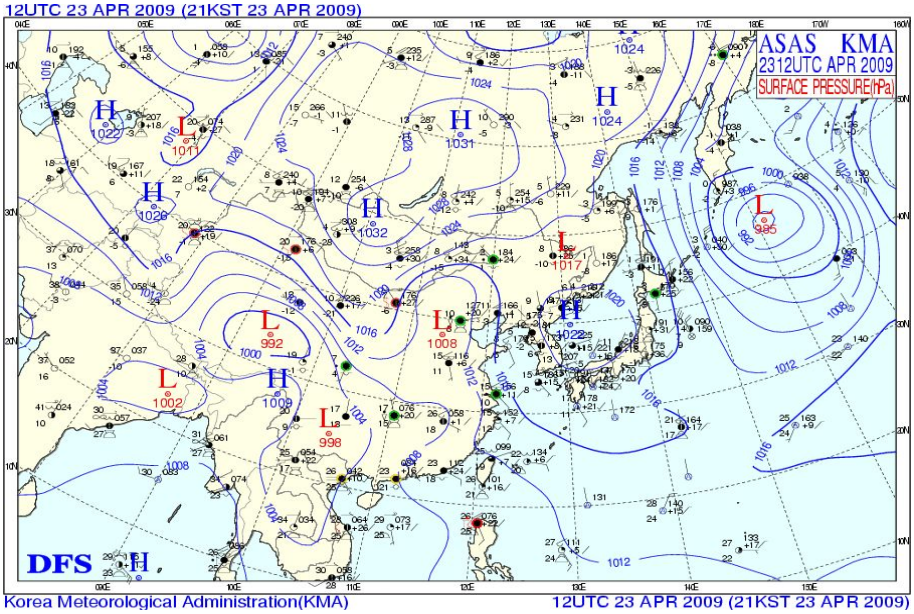

Fig. 12. Same as Fig. 5 except for Apr. 23, 2009.

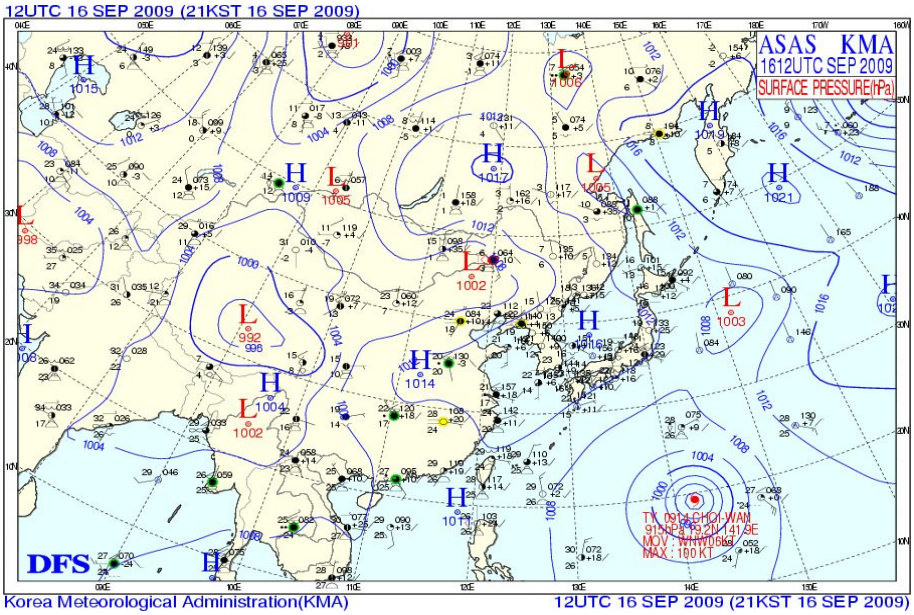

Fig. 13. Same as Fig. 5 except for Sep. 16, 2009.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

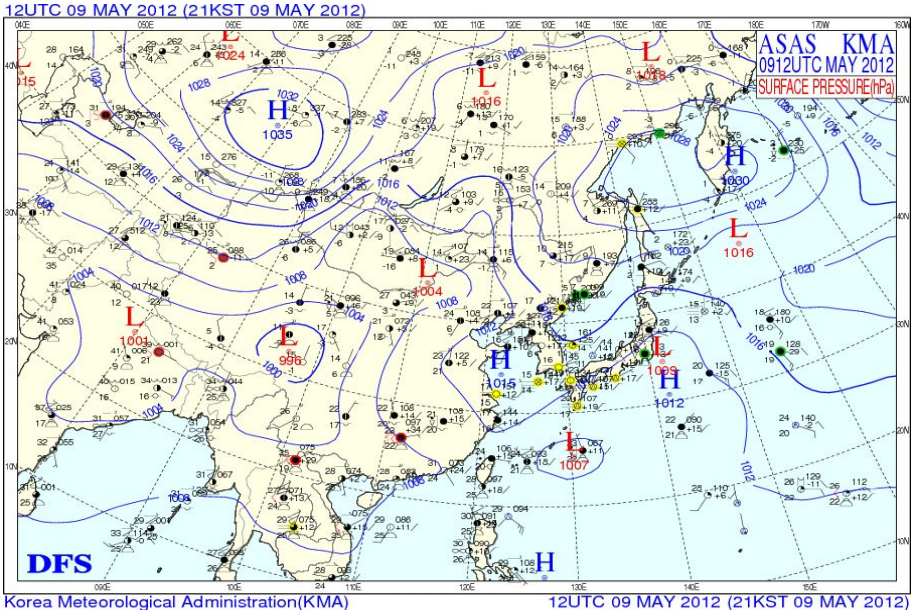

Fig. 14. Same as Fig. 5 except for May 09, 2012.

Fig. 5~14의 일기도는 발생했던 사례일의 지상일기도이며, 발생시간이 20~23LST 이므로 모두 12UTC 자료를 분석하였다. 맑고 안정한 날을 선별한 만큼 우리나라는 서해상 또는 내륙에 중심을 둔 고기압 영향권이며, 일본 동해상 또는 사할린 동해상에 저기압 중심을 두고 있다.

고기압 중심이 한반도 백두산 부근에 위치하거나 동해상에 위치하여 동풍기류가 발생하기 용이한 기압배치이나 등압선이 소하여 강풍이 예상되는 상황은 아니다.

Fig. 13은 일본 남해 먼 바다에 태풍이 존재하여 간접 영향 여부를 확인 하였다. 확인 방법으로 대구보다 더욱 영향이 큰 김해공항의 관측 자료와 비교 하였으며, 태풍의 영향으로 보이는 풍속이 없었고 대구 공항보다 약한 5~8kts의 풍속만 기록되었다.

대구공항에 나타났던 바람의 풍향이 동풍계열인 것을 감안하여 동쪽에 위치한 관측지점들을 활용하였고 기압경도력을 확인하기 위하여 대구-영천-포항의 해면기압을 분석하였다. 관측소중 대구는 자료의 통일성을 위하여 대구기상대 관측값을 활용하였으며 공항과 풍속차이는 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2. Comparison of the Wind Speed at Daegu Airport and that of DWS(Daegu Weather Station).

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
Daegu Airport	16	20	15	20	15	17	16	16	15	15	16.5
DWS	15	18	13	16	12	14	12	12	10	13	13.5

대구공항에 관측된 10건의 사례를 대구기상대와 비교한 결과 대구공항의 평균 평균풍속이 3kts 더 빠르게 나타났다.

Table 3. Measurement of the Sea-level Pressure in Daegu, Yeongcheon and Pohang at 09:00LST and 21:00LST.

Station	Daegu		Yeongcheon		Pohang	
Time / Date	009LST	21LST	09LST	21LST	09LST	21LST
Mar. 6, 2006	1020.2	1022.1	1021.4	1023.9	1019.7	1023.1
May 24, 2006	1013.5	1017.9	1014.5	1019.7	1014.7	1019.1
Feb. 27, 2007	1026.7	1026.1	1028.1	1027.9	1025.2	1027.2
Apr. 26, 2007	1018.1	1020.1	1018.9	1022.1	1017.2	1020.9
Jun. 18, 2007	1013.6	1012.5	1014.6	1014.6	1013.7	1013.5
Aug. 29, 2008	1012.8	1012.9	1012.8	1013.4	1012.9	1013.5
Sep. 8, 2008	1017.3	1018.4	1017.3	1018.6	1017	1018.6
Apr. 23, 2009	1020.6	1020.3	1020.5	1021.2	1020.5	1021.9
Sep. 16, 2009	1014.8	1014.6	1014.6	1014.9	1014.4	1015.1
May 9, 2012	1013	1015.5	1012.5	1015.5	1012.1	1016.5

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 4. Difference of the Sea-level Pressure among 3 cities from Table 3.

Date	Pohang-Yeongcheon		Pohang - Daegu		Wind speed
	09LST	21LST	09LST	21LST	(ktss)
Mar. 6, 2006	- 1.7	- 0.8	- 0.5	1.0	16
May 24, 2006	0.2	- 0.6	1.2	1.2	20
Feb. 27, 2007	- 2.9	- 0.7	- 1.5	1.1	15
Apr. 26, 2007	- 1.7	- 1.2	- 0.9	0.8	20
Jun. 18, 2007	-0.9	- 1.1	0.1	101	15
Aug. 29, 2008	0.1	0.1	0.1	0.6	17
Sep. 8, 2008	-0.3	0.0	- 0.3	0.2	16
Apr. 23, 2009	0.0	0.7	- 0.1	1.6	16
Sep. 16, 2009	- 0.2	0.2	- 0.4	0.5	15
May .9, 2012	- 0.4	1.0	- 0.9	1.0	15
Average	- 0.78	-0.24	- 0.32	0.9	16.5

Table 3은 발생일의 09LST와 21LST의 해면기압 자료이며, Table 4는 이 자료를 바탕으로 지점간의 해면기압 차이를 구하였다. 포항-영천은 오후보다 오전이 해면기압차이가 크고 포항-대구는 오전보다 오후가 기압차가 크게 나타났다. 그러나 전 지점의 평균기압차는 1hPa 미만이며, 발생한 풍속과 그날의 기압편차와의 상관관계가 나타나지 않음은 지상의 기압경도력이 풍속에 작용한 것은 미약한 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 850hPa 상층일기도

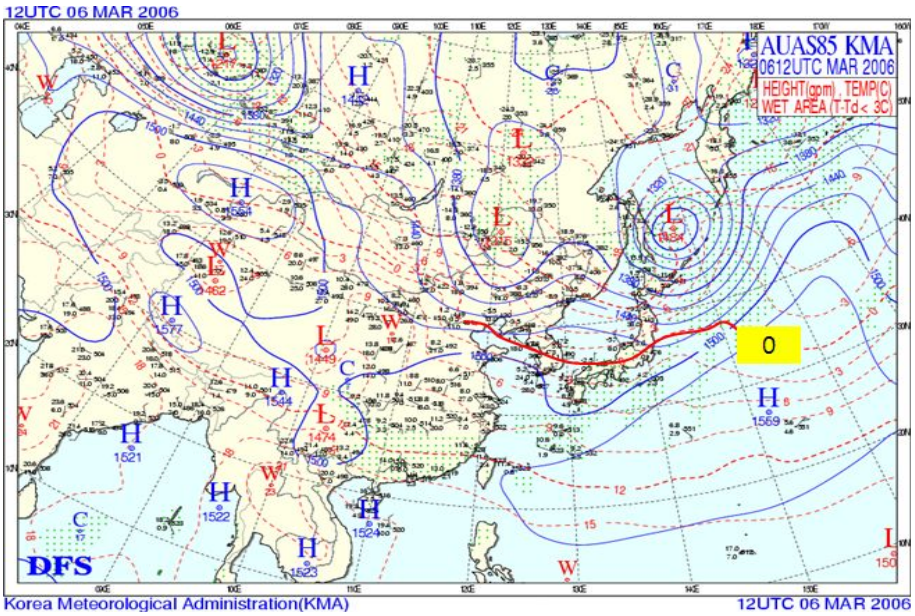

Fig. 15. 850hPa Weather Chart at 2100LST Mar. 06, 2006.

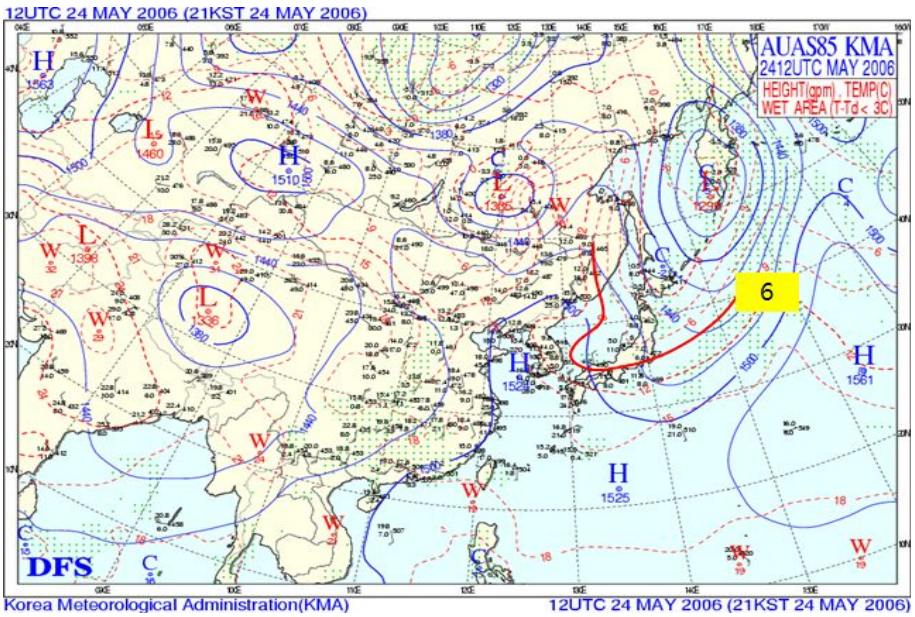

Fig. 16. Same as Fig. 15 except for May 24, 2006.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

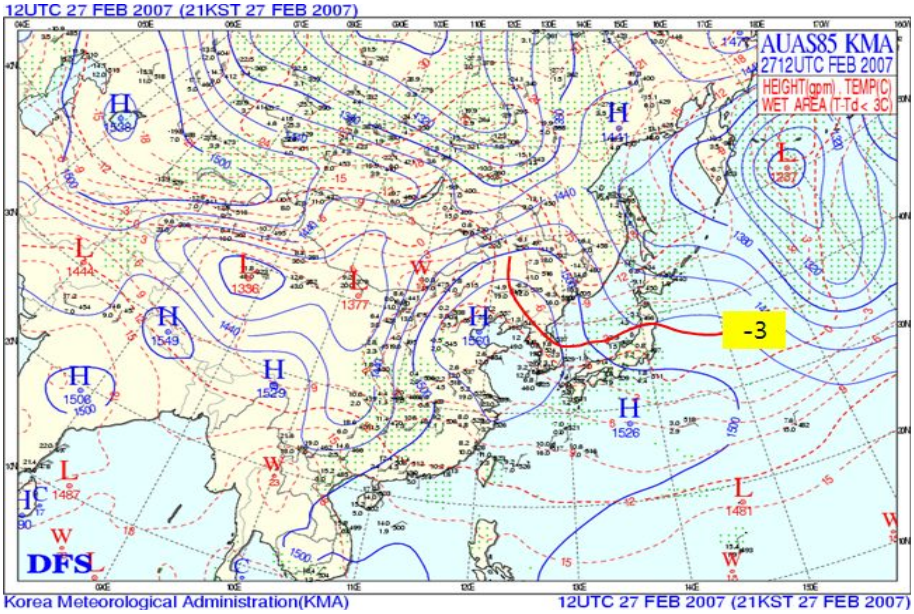

Fig. 17. Same as Fig. 15 except for Feb. 27, 2007.

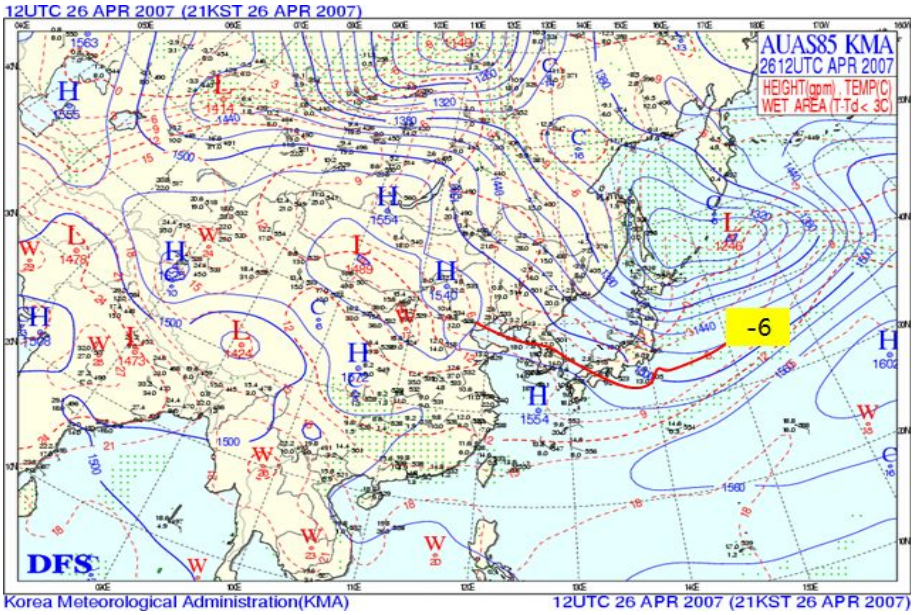

Fig. 18. Same as Fig. 15 except for Apr. 26, 2007.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

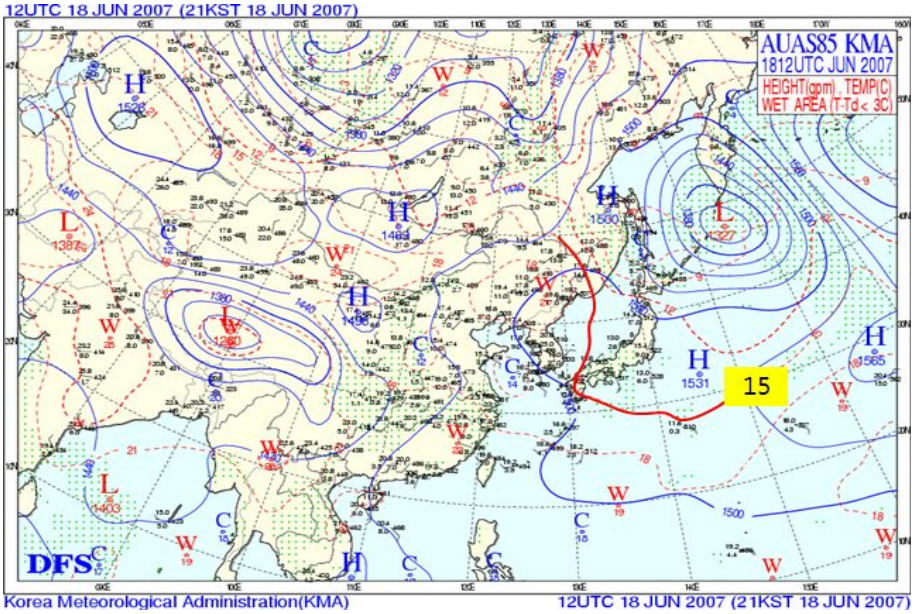

Fig. 19. Same as Fig. 15 except for Jun. 18, 2007.

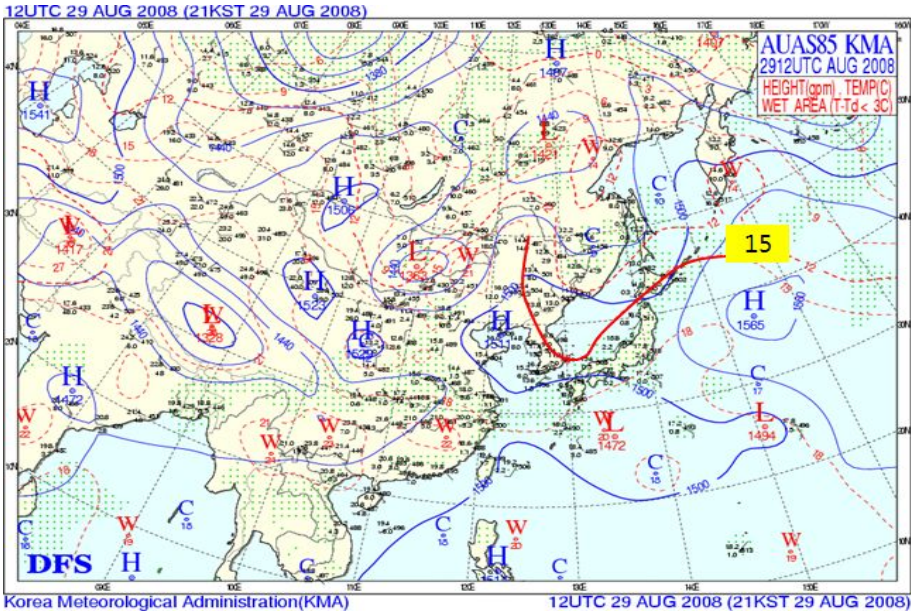

Fig. 20. Same as Fig. 15 except for Aug. 29, 2008.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

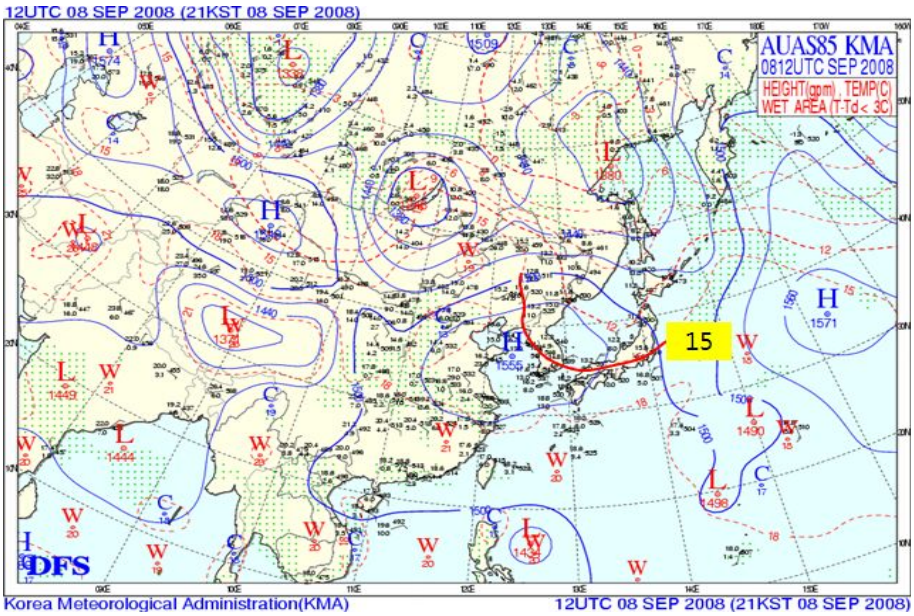

Fig. 21. Same as Fig. 15 except for Sep. 08, 2008.

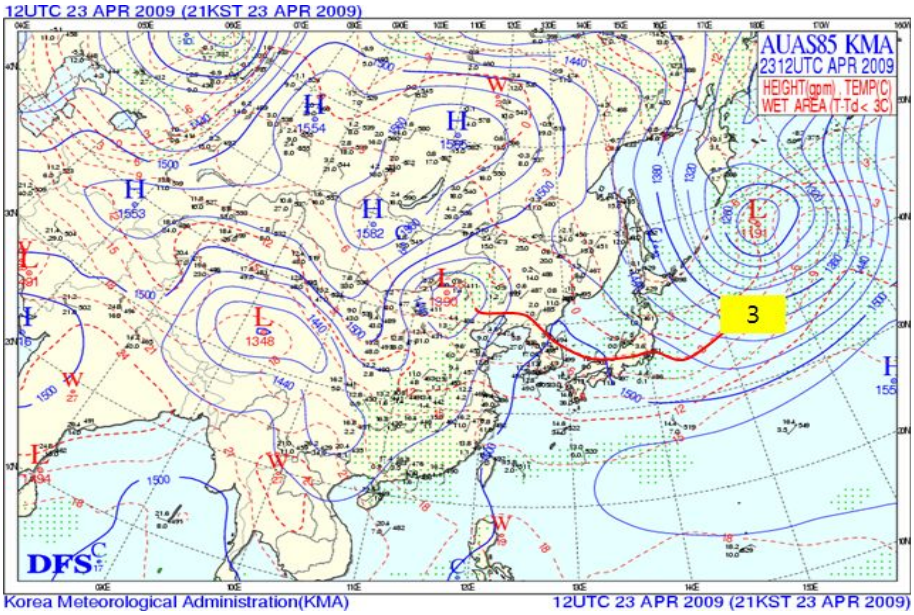

Fig. 22. Same as Fig. 15 except for Apr. 23, 2009.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

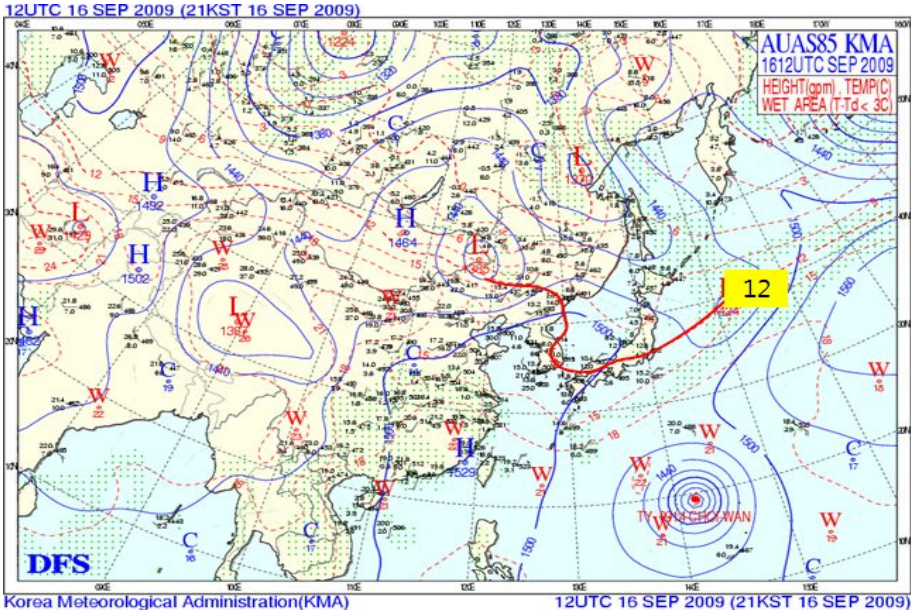

Fig. 23. Same as Fig. 15 except for Sep. 16, 2009.

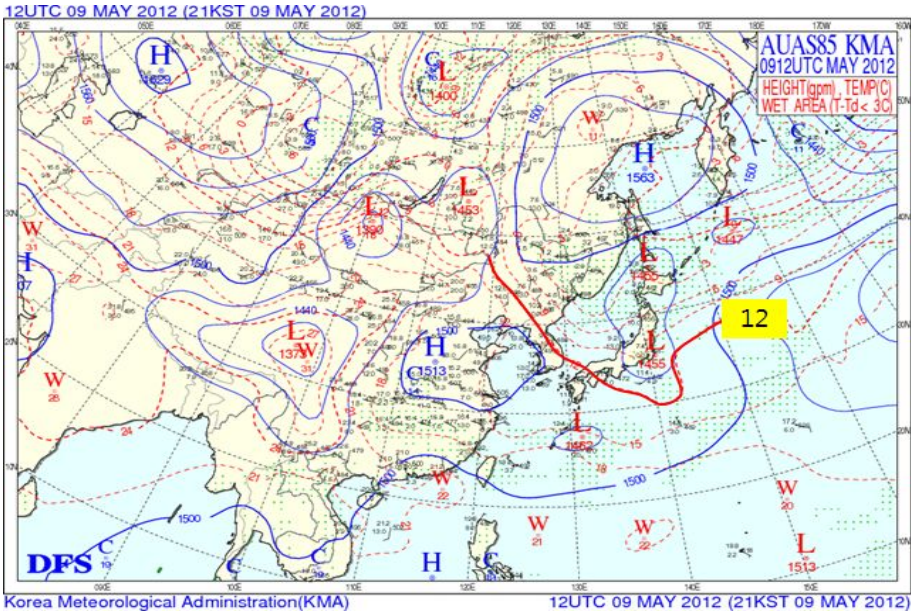

Fig. 24. Same as Fig. 15 except for May 09, 2012.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 15~24는 850hPa 상층일기도로서 특징은 모든 사례에서 모양은 다소 차이가 있지만 우리나라 동해상에 온도 골이 존재하여 우리나라는 상대적으로 온난구역이고 동해상은 한랭구역으로 불연속면이 존재했다. 이는 종관기압계에 의한 동풍 발생하면 상대적으로 동해상의 한랭한 공기가 내륙으로 하강하면서 지상의 동풍을 강화시키기 유리한 구조이다.

이를 확인하기 위하여 지상 기압계의 구조가 비슷하나 850hPa 일기도에서 동해상에 온도능이 나타나는 날을 비교해 보았다.

그 결과 포항 및 영천 지역에 동해로부터 동풍이 불었으나 풍속이 작았으며, 대구공항에는 최고 8kts의 풍속만을 기록하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

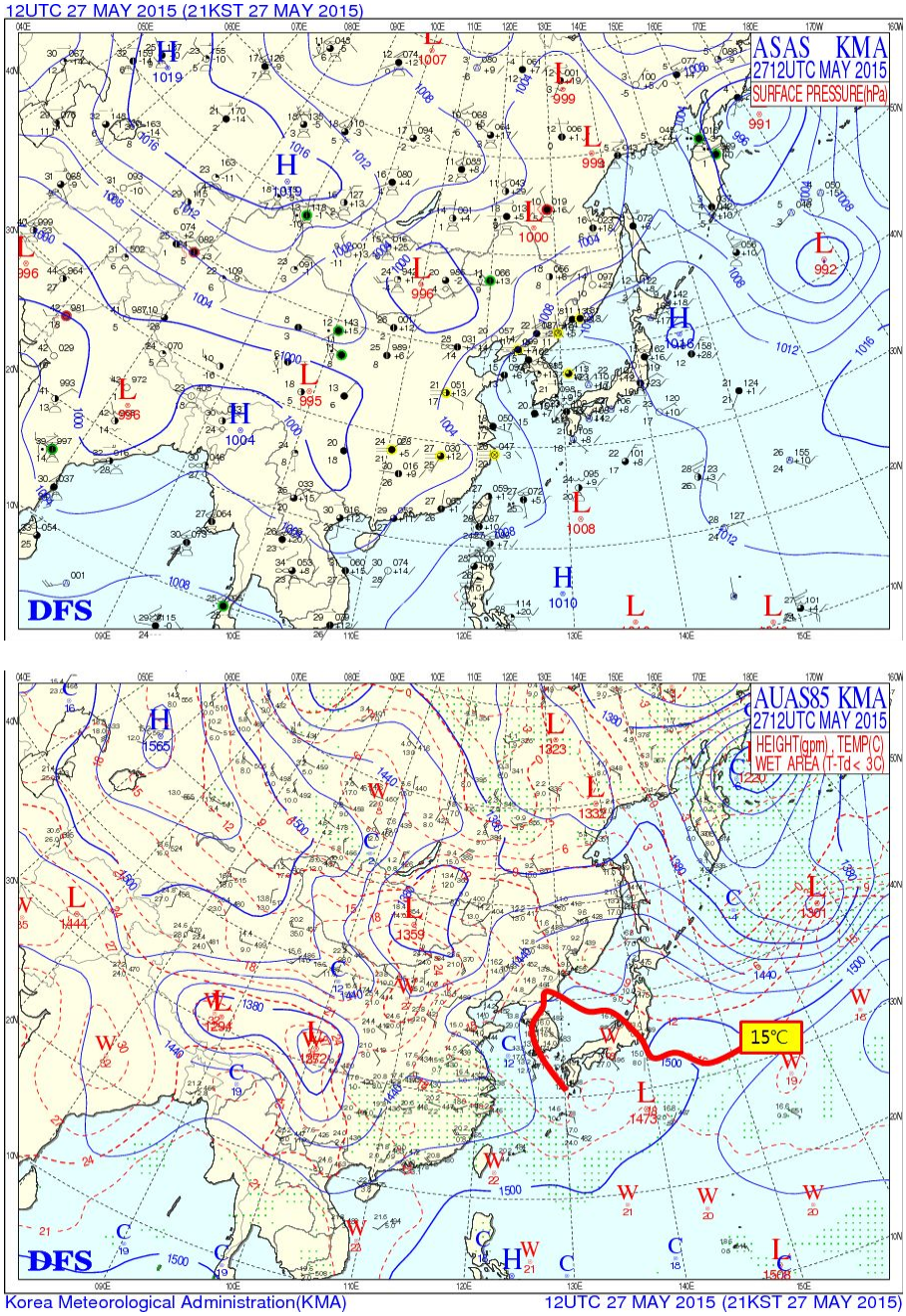

Fig. 25. Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST May 27, 2015

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 중규모 분석

1) AWS시계열 자료

기상청 AWS 시계열 자료를 이용하였으며, 대구-경산-영천-포항의 네 곳의 관측소를 선택하였다.

동쪽부터 포항-영천-경산-대구 순서로 AWS시계열 자료를 분석한 결과 대구에 해풍의 특징이 나타난 패턴과 풍속만 증가하는 패턴으로 구분되어 졌다. Marshall(1950, 박종익 등(2004)은 각각 런던과 군산에서 해풍이 유입될 때 나타나는 특징을 밝혔는데 해풍이 불어올 때, 풍향·풍속의 변화가 있었으며, 습도가 갑자기 증가하고, 기온이 갑자기 하강함을 보여 주었다. 이와 같은 특징이 포항부터 순서대로 각각 관측소에서 일정한 시간차를 두고 나타났다.

(1) 해풍의 특징이 나타난 패턴 (예:2007년 2월 27일)

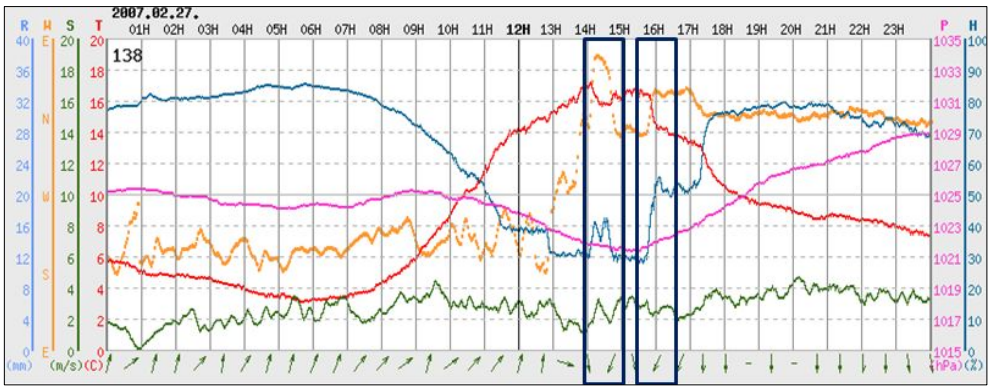

Fig. 26. Pohang AWS Time Series Chart at Feb. 27, 2007.

포항의 시계열 차트에서 14LST부터 북~북동계열의 풍향으로 바뀌었다.

위치적으로 포항은 관측소가 포항구항 아래의 송도해수욕장 부근으로 북~북동풍의 풍향이 해풍의 특성을 보인다. 14LST를 기준으로 최고기온이 나타났고, 해풍의 유입으로 더 이상 기온이 오르지 못하였으며 습도역시 증가하기 시작하였다. 이후 14:47~15:46LST 사이 북서풍으로 풍향이 바뀌며 다시 기온이 상승하고

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

습도가 하강하는 현상이 있었으나 15:47LST부터 북풍으로 바뀜과 동시 더 큰 폭으로 해풍유입의 특징이 나타났다. 15:47LST 부터 16LST까지의 변화는 다음과 같다.

Table 5. Change of the Weather Elements before and after the Sea breeze in Pohang (Feb 27, 2007).

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	340	6	16.3	29
After sea breeze	360	5	14.3	53
Change	-	1	2.0	24

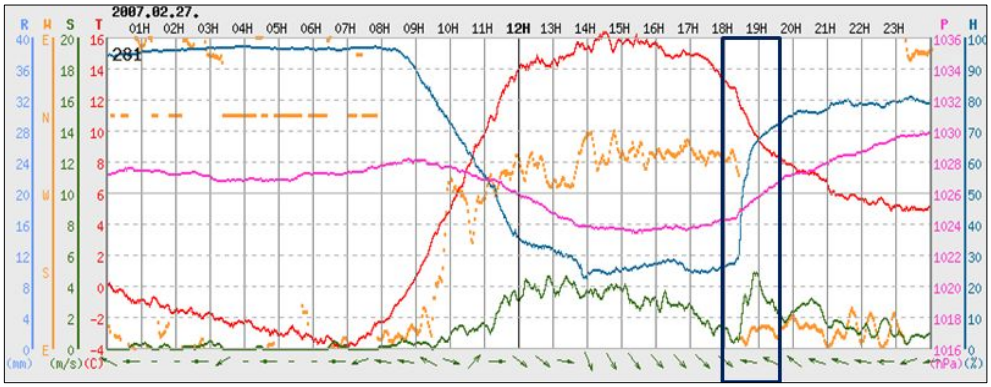

Fig. 27. Same as Fig. 26 except for Yeongcheon..

포항기상대로부터 약 45km 서쪽에 위치한 영천기상관측소의 시계열 차트는 18:25LST부터 남동~동계열의 풍향으로 바뀌었다. 풍향이 바뀜과 동시에 습도와 풍속이 급격히 증가하였고 기온은 낮아지기 시작하였다. 이는 포항에서 시작된 해풍이 유입된 것으로 분석되며 변화량은 다음과 같다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 6. Same as Table 5 except for Yeongcheon.

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	280	2	11.5	30
After sea breeze	100	10	9.3	68
Change	-	8	2.2	38

포항에서 처음 시작된 해풍이 영천까지 도달하는데 걸린 시간은 4시간 25분으로 속도를 계산하면 2.8m/sec이다.

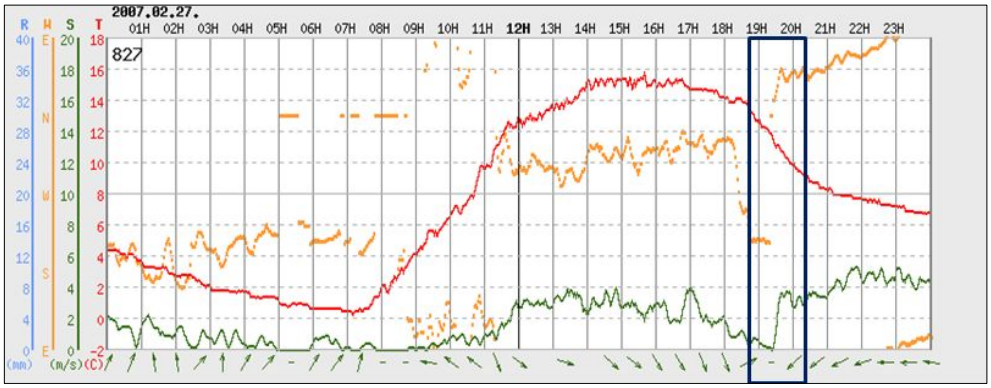

Fig. 28. Same as Fig. 26 except for Gyeongsan.

영천기상관측소로부터 22km 남서쪽에 위치한 경산 AWS의 시계열 차트는 습도 자료는 없지만 19:30LST에 북동풍으로 풍향이 바뀌면서 풍속이 급증하였고 기온이 하강하는 점으로 미루어 해풍이 유입된 것으로 분석되며, 영천기상관측소로부터 유입까지 소요 시간은 1시간 5분으로 속도는 5.6m/sec이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 7. Same as Table 5 except for Gyeongsan.

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	220	0	12.2	-
After sea breeze	020	8	10.7	-
Change	-	8	1.5	-

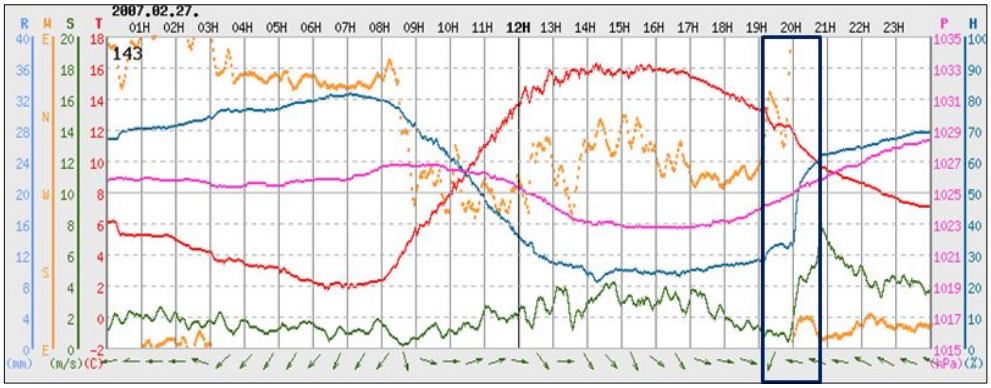

Fig. 29. Same as Fig. 26 except for Daegu.

경산 AWS로부터 약 10km 북서쪽에 위치한 대구기상대의 시계열 차트는 20LST에 남동풍으로 풍향이 바뀌면서 풍속과 습도가 급증하였고 기온이 하강하는 점으로 미루어 앞선 관측지점과 마찬가지로 해풍의 성분이 유입된 것으로 분석된다. 경산 AWS로부터 유입까지 소요 시간은 30분으로 속도는 5.5m/sec이다.

Table 8. Same as Table 5 except for Daegu

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	320	1	12.2	32
After sea breeze	100	15	9.6	62
Change	-	14	2.6	30

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 해풍의 특징이 나타난 패턴 (예:2006년 5월 24일)

해풍유입의 특성이 나타나는 또 다른 예로서 앞 사례와 다른 점은 포항에서 발생하는 해풍이 지표가열에 의해 오후에 발생하는 것이 아닌 종관적 기압배치 상의 이유로 인해 이른 아침에 발생해서 유입되는 경우이다.

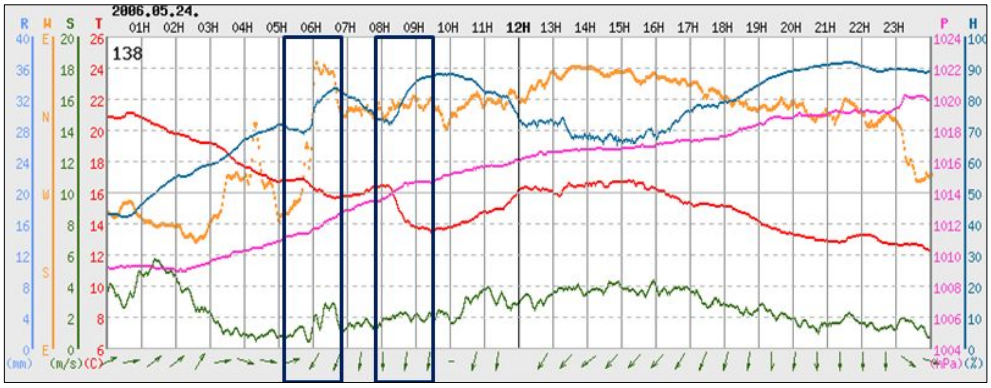

Fig. 30. Pohang AWS Time Series Chart at May 24, 2006.

Fig. 29에서 06LST에 북동풍이 불기 시작하였고 이른 시간인 만큼 이미 다소 높은 습도와 낮은 기온의 상태로 인해 해풍유입 특성이 소폭으로 변하였지만 습도의 증가와 기온의 하강이 나타났다. 06LST부터 06:40LST까지 해풍유입 특성을 보이다 06:41LST부터 풍향이 350°방향으로 바뀌면서 08:15LST까지 습도가 내려가고 기온이 소폭 오르는 모습을 보였다. 그리고 다시 08:16LST 이후 풍향이 020°방향으로 바뀌면서 해풍의 특성이 다시 나타났다. 처음 출현했던 06LST부터 40분간의 변화는 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. Change of the Weather Elements before and after the Sea breeze in Pohang (May 24, 2007).

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	060	4	16.2	77
After sea breeze	350	4	15.7	84
Change	-	0	0.5	7

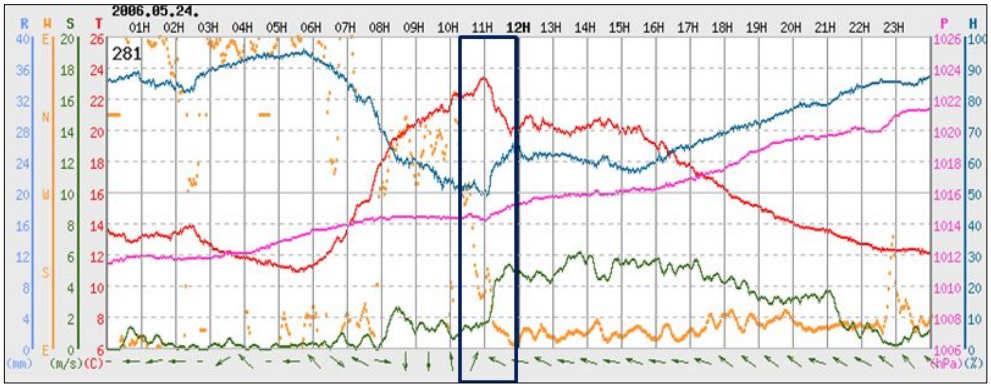

Fig. 31. Same as Fig. 30 except for Yeongcheon.

영천기상관측소의 시계열 차트는 11시부터 남동~동계열의 풍향으로 바뀌었다. 풍향이 바뀜과 동시에 전형적인 해풍유입의 특징이 나타났으며, 포항에서 이른 시간에 해풍이 시작되면서 12LST 이전에 최고기온을 기록하게 되었다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 10. Same as Table 9 except for Yeongcheon.

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	280	2	11.5	30
After sea breeze	100	10	9.3	68
Change	-	8	2.2	38

포항에서 영천까지 도달하는데 걸린 시간은 4시간으로 속도는 3.1m/sec이다.

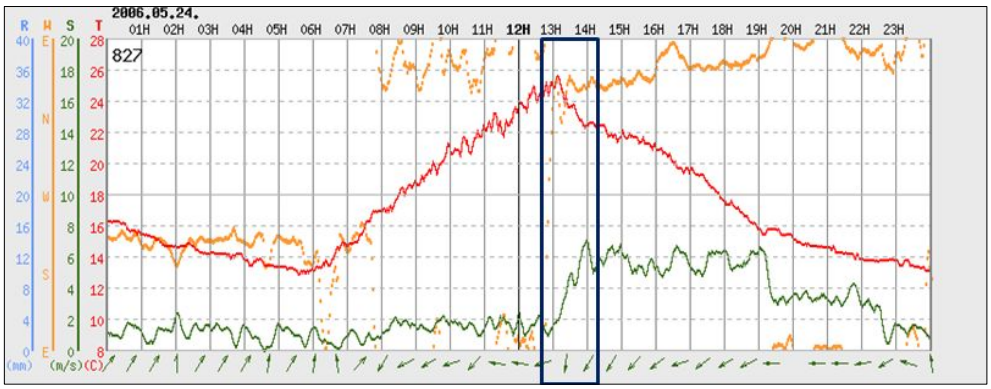

Fig. 32. Same as Fig. 30 except for Gyeongsan.

경산 AWS의 시계열 차트는 13시에 북동풍으로 풍향이 바뀌면서 해풍이 유입된 것으로 분석되며, 영천기상관측소로부터 유입까지 소요 시간은 2시간으로 속도는 3.1m/sec이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 11. Same as Table 9 except for Gyeongsan.

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	020	2	24.9	-
After sea breeze	040	14	22.5	-
Change	-	12	2.4	-

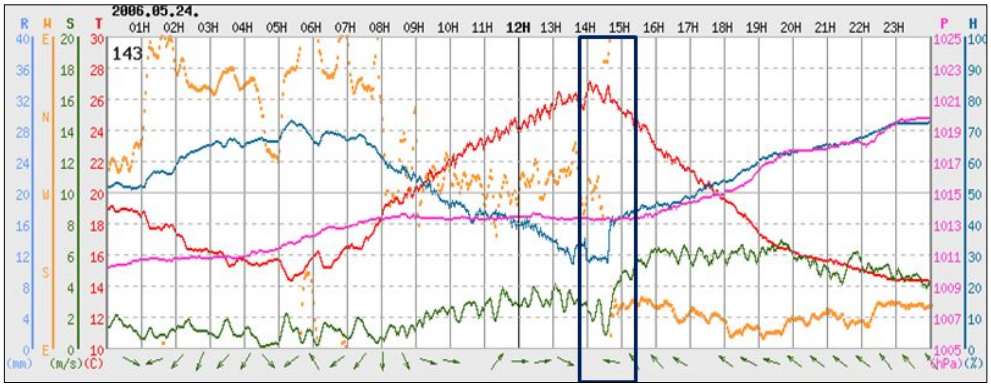

Fig. 33. Same as Fig. 30 except for Daegu.

대구 AWS 시계열 차트는 14시에 남동풍으로 풍향이 바뀌면서 해풍의 특성이 나타났으며, 경산 AWS로부터 유입까지 소요 시간은 1시간으로 속도는 2.8m/sec 이다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 12. Same as Table 9 except for Daegu.

Division	Wind direction (°)	Wind speed (kts)	Air Temperature(℃)	RH(%)
Before sea breeze	280	4	27.1	28
After sea breeze	140	10	25.1	42
Change	-	6	2.0	14

아래 시계열 자료는 앞서 다룬 두 사례를 포함해서 해풍유입의 특징이 뚜렷하게 나타났던 대구의 자료들로 전체 10건 중 7건이 해당된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

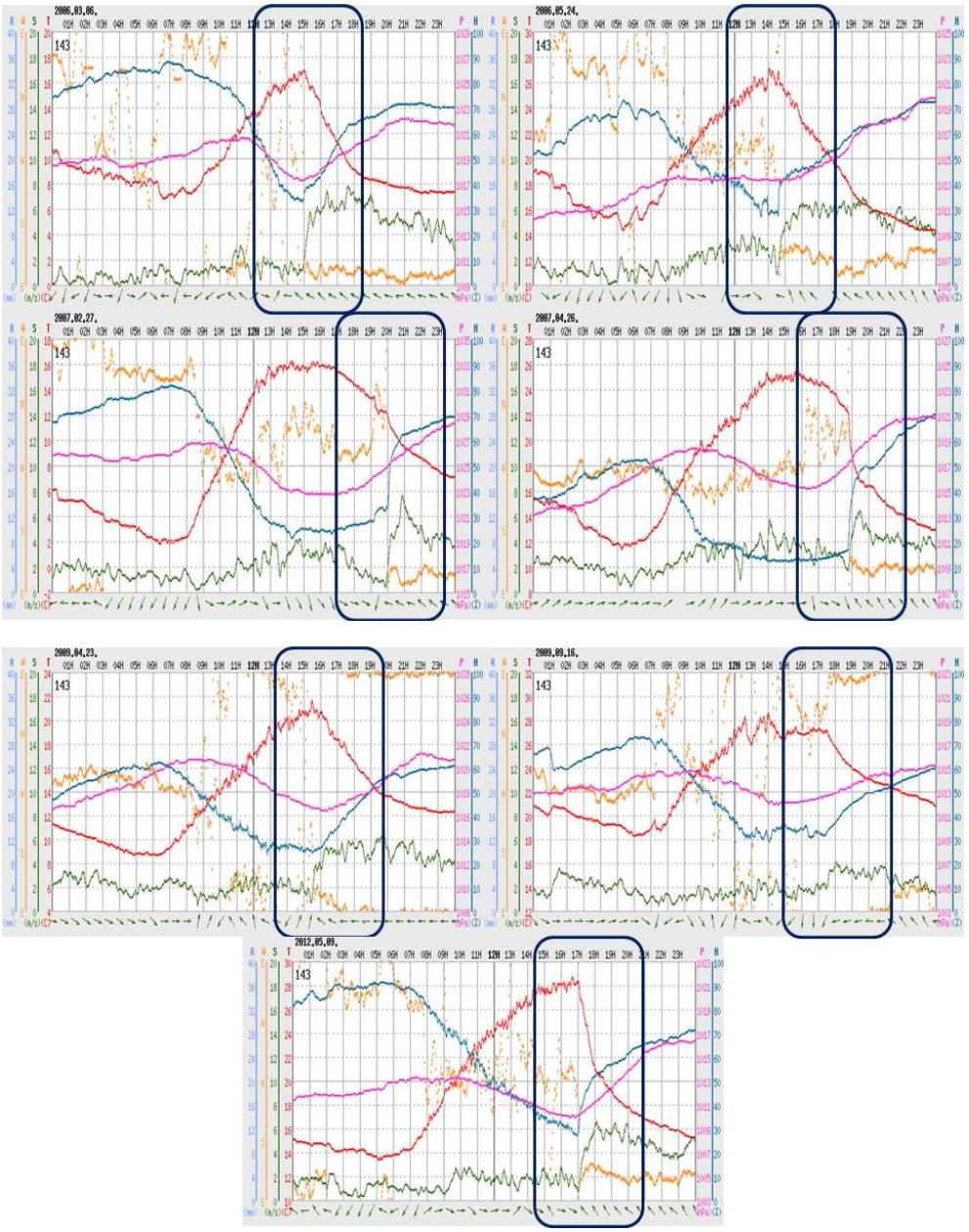

Fig. 34. Characteristics of the Sea Breeze.

위의 7건의 사례를 일자별로 각 구간에 출현하는 소요시간과 속도를 구해봤으며, 풍향·풍속의 변화, 습도 및 기온의 변화량을 계산해보았다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 13. Analysis of the Sea breeze Patterns.

Station		Pohang	Yeongcheon	Gyeongsan	Daegu
Mar. 6, 2006	Event time	09:00	13:10 (4:10)	14:40 (1:30)	15:00 (00:20)
	Wind direction (°)	360	300→080	340→060	240→ 120
	Wind speed (kts)	6	2→6	2→7	4 → 12
	RH (%)	79	46→52	-	35→ 44
	Temperature (℃)	10	14.9→13.5	16.2→14.3	17→ 13
May 24, 2006	Event time	06:00	11:00 (4:00)	13:00 (2:00)	14:00 (01:00)
	Wind direction (°)	060	330→110	020→040	280→140
	Wind speed (kts)	4	4→10	2→14	4 →10
	RH (%)	77	51→65	-	28→42
	Temperature (℃)	16.2	23.3→19.6	24.9→22.5	27.1→25.1
Feb. 27, 2007	Event time	14:00	18:25 (4:25)	19:30 (1:05)	20:00 (0:30)
	Wind direction (°)	360	280→100	220→020	320→100
	Wind speed (kts)	3	→10	0→8	1→15
	RH (%)	30	30→68	-	32→62
	Temperature (℃)	17.2	11.5→9.3	12.2→10.7	12.2→9.6
Apr. 26, 2007	Event time	12:00	17:20 (5:20)	18:10 (0:50)	18:40 (0:30)
	Wind direction (°)	010	360→110	360→060	350→120
	Wind speed (kts)	5	5→12	5→11	2→10
	RH (%)	40	14→48	-	17→50
	Temperature (℃)	20.6	23.9→17.7	22.1→16.5	22.3→16.5
Apr. 23, 2009	Event time	09:00	13:00 (4:00)	14:30 (1:30)	15:20 (0:50)
	Wind direction (°)	070	270→120	060→080	220→120
	Wind speed (kts)	5	3→10	5→11	1→8
	RH (%)	48	30→32	-	25→26
	Temperature (℃)	13.6	18.1→17.6	20.8→19.6	21.1→20.5
Sep. 16, 2009	Event time	09:30	14:40 (5:40)	16:20 (1:40)	17:20 (1:00)
	Wind direction (°)	020	150→110	040→060	020→100
	Wind speed (kts)	2	3→8	4→9	4→8
	RH (%)	55	33→43	-	32→40
	Temperature (℃)	23.8	26.5→24.9	27.5→26.1	27.1→25.0
May 9, 2012	Event time	09:00	14:40 (5:40)	16:15 (1:35)	17:00 (0:45)
	Wind direction (°)	010	180→100	020→080	280→140
	Wind speed (kts)	1	3→11	2→16	2→13
	RH (%)	73	38→62	29→52	29→52
	Temperature (℃)	18.2	26.5→18.3	28.6→22.1	28.4→21.0
Mean	Event time	-	4:45 (2.6m/s)	1:27 (4.2m/s)	0:42 (3.9m/s)
	Wind direction	015	100	055	125
	△ Wind speed	-	6.4	8	9
	△ RH	-	18.3	-	17.7
	▽Temperature	-	-3.4	-2.9	-3.5

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이를 분석한 결과 포항 영일만 지역에서 발생시간과 관계없이 풍향이 북~북동 방향으로 바뀌면 영천, 경산을 거쳐 대구까지 유입되는 것을 발견할 수 있었다. 7가지 사례의 평균 자료를 분석하면 해풍특성이 나타나기 전에 비하여 평균풍속이 영천 6.4kts 증가, 경산8kts 증가, 대구 9kts 증가하였다. 습도는 영천18.3%, 대구17.7% 증가하였으나, 기온은 하강하였는데 영천3.4℃, 경산2.9℃, 대구3.5℃로 나타났다. 풍향은 전부 동풍계열이긴 하지만 관측지점마다 차이를 보였으며, 각 관측소 안에서는 평균이 아닌 모든 자료에서 영천은 남동풍, 경산은 북동풍, 대구는 남동풍으로 나타났다.

위의 기상요소들이 급변하는 시점은 일정한 시간차이를 두고 발생하였으며, 포항에서 영천까지 약 4시간 45분, 영천에서 경산은 약 1시간 30분, 경산에서 대구는 약 40분으로 분석되었다.

(3) 풍속증가 패턴

10건의 사례중 3건의 사례에서는 앞선 7건처럼 뚜렷한 해풍의 유입의 특성이 나타나지 않았으나 포항의 풍향이 북~북동으로 전환하면 시간차를 두고 영천-경산-대구 지역으로 풍속이 증가하는 특징은 나타났다.

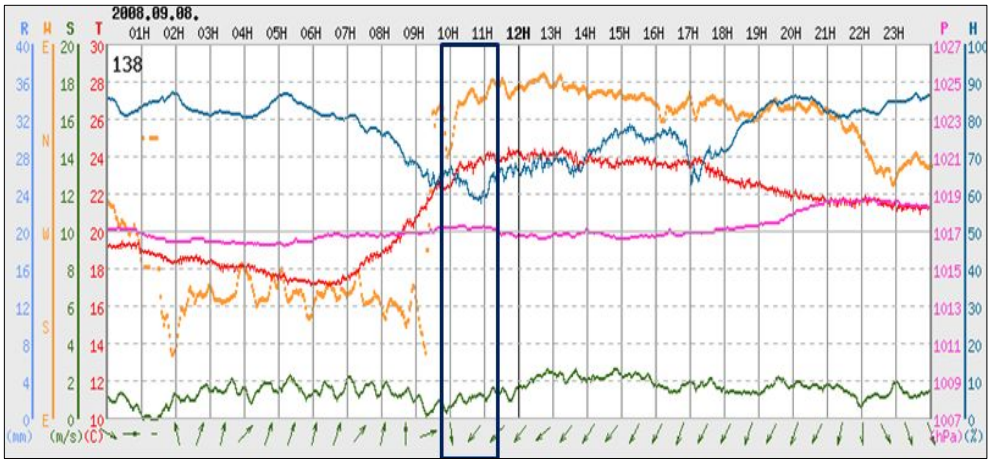

Fig. 35. Pohang AWS Time Series Chart at Sep. 08, 2008.

Fig. 34의 포항 시계열 자료에서 10:30LST경 풍향이 북~북동풍으로 전환 되었

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 그렇지만 기온의 하강이나 습도의 증가와 같은 해풍유입의 특성이 나타나지 않았다.

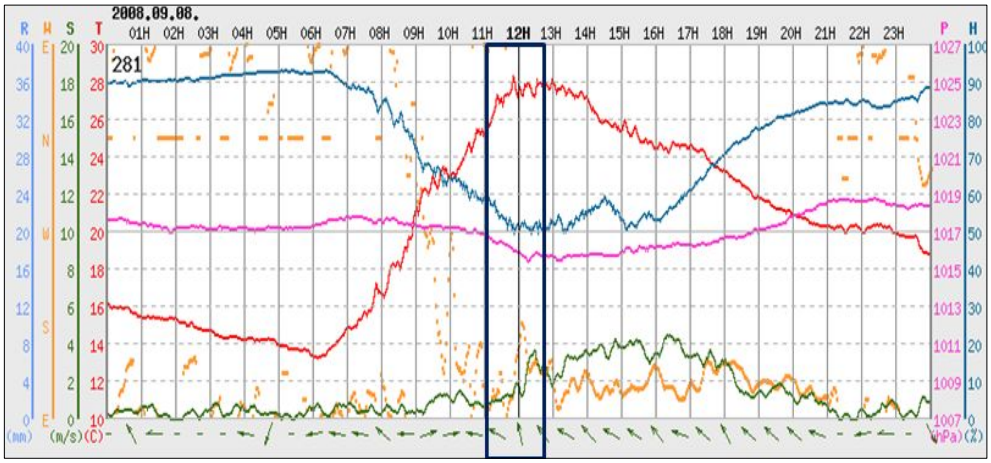

Fig. 36. Same as Fig. 35 except for Yeongcheon..

영천의 시계열 차트에서 12시 이후부터 풍속이 증가하기 시작하였으나 급격한 습도의 증가나 기온의 하강은 나타나지 않았다. 포항이 북동풍으로 바뀐 이후 1시간 55분 만에 풍속이 증가하였으며, 풍속증가 현상을 기준으로 계산한 출현 속도는 6.5m/sec로 해풍의 특징이 나타난 사례보다 빠르게 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

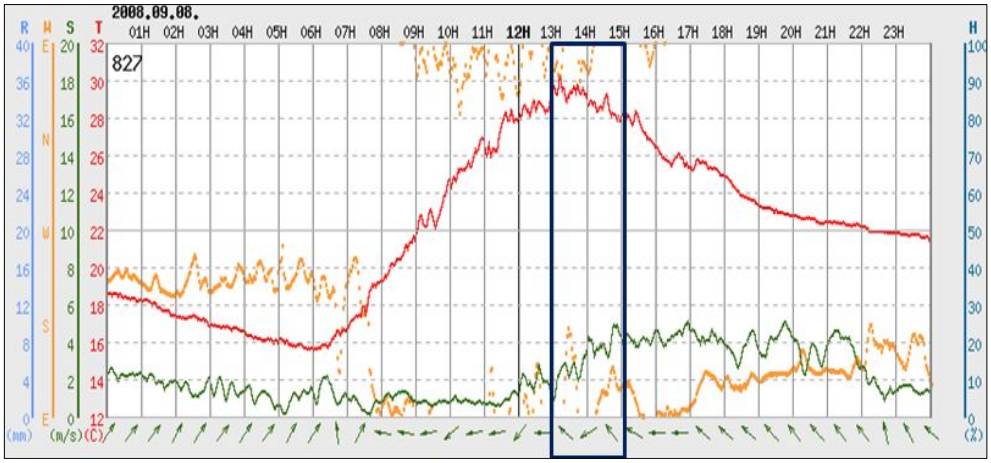

Fig. 37. Same as Fig. 35 except for Gyeongsan.

경산의 시계열 차트역시 영천에서 풍속증가현상이 나타난 후 이어서 증가하기 시작하였으나 해풍의 특징은 찾기 힘들었다. 기현우(1992)는 우리나라의 기온과 일교차에 관한 연구에서 풍속의 증가가 기온의 일교차가 적게 나타난다고 하였으며, Frederick et al.(2007)은 바람등과 같은 요소에 의해 기온변화가 나타난다고 하였다. 따라서 Fig. 35~37의 사례에서 풍속증가와 맞춰 기온이 평형 또는 하강하였지만 앞선 사례처럼 급격한 변화가 아닌 점으로 미루어 해풍의 성분보다 풍속 증가현상이 보다 큰 원인으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

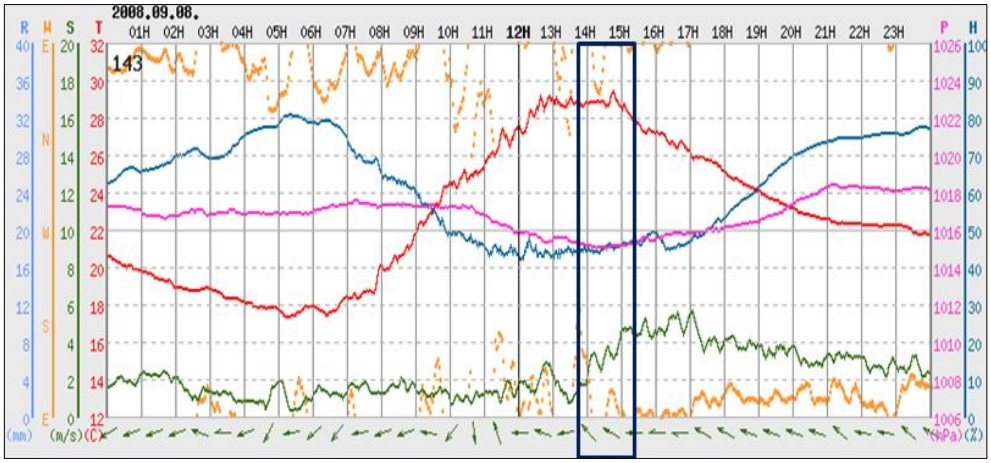

Fig. 38. Same as Fig. 35 except for Daegu.

출현 속도는 영천-경산이 7.3m/sec, 경산-대구는 6.7m/sec로 포항에서 대구까지 2시간 만에 풍속증가현상이 나타났다. 위의 사례를 포함해 모두 총 3건의 사례는 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

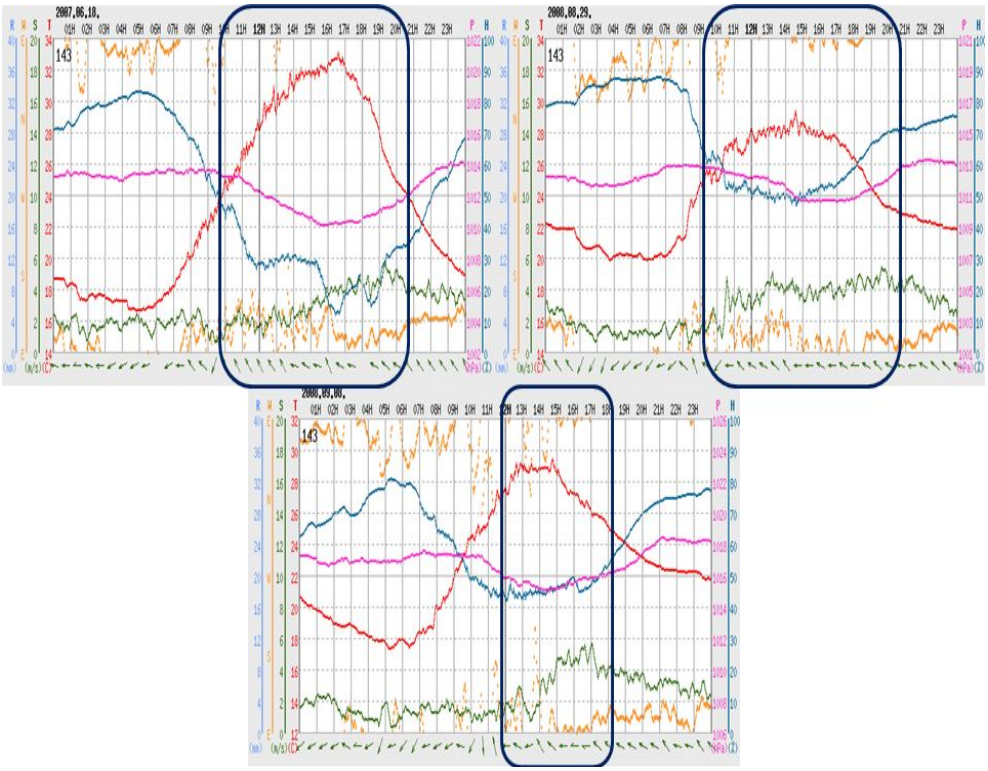

Fig. 39. Characteristics of the incoming wind in Daegu.

Fig. 38은 3건의 사례 중 대구의 AWS자료이며 동풍계열의 바람이 출현함과 동시에 풍속이 증가되는 모습이며, 공통된 점은 기온 및 습도의 변화가 두드러지게 나타나지 않았다. 이 3가지 사례의 관측구간별 도달 시간을 평균해 보았다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 14. Duration of the wind passage at 3 different points.

Date \ Station (distance)	Pohang - Yeongcheon (45km)	Yeongcheon -Gyeongsan (22km)	Gyeongsan -Daegu (10km)
Jun. 18, 2007	3hrs 50min (3.3m/sec)	50min (7.3m/sec)	30min (5.6m/sec)
Aug. 29, 2008	4hrs (3.1m/s)	70min (5.2m/sec)	25min (6.7m/sec)
Sep. 08, 2008	1hrs 55min (6.5m/sec)	50min (7.3m/sec)	25min (6.7m/sec)
Average	3hrs 5min (4.3m/sec)	1hrs 3min (6.6m/sec)	27min (6.3m/sec)

앞서 7건의 사례와 마찬가지로 위의 기상요소들이 급변하는 시점은 일정한 시간차이를 두고 발생하였으며, 포항에서 영천까지 약 3시간 15분, 영천에서 경산은 약 1시간 3분, 경산에서 대구는 약 27분으로 나타났다. 그러나 각 구간별 도달시간은 포항-영천 1시간 30분, 영천-경산 27분, 경산-대구 13분이 빠르게 나타났다.

2) 단열선도

전병일(1997)은 부산연안에서 해풍의 연직구조가 600m까지 나타난다고 하였으며, 한혜영(2007)은 강릉지역에서 800~1,100m까지, 전상식(2004)은 종관적인 영향이 적은 경우 1,500m 전후까지 관측하였다. 앞에서 나타난 두 가지 패턴의 차이점을 분석하기 위해 해당일의 09LST와 21LST의 포항 단열선도를 활용하였다. 동풍의 연직 두께를 판단하기 위해서 바람 기입 축에 동풍이 어느 고도까지 존재하는지 분석하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 해풍 특징이 뚜렷한 패턴

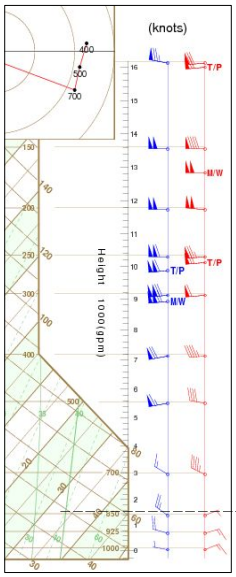

Fig.40. Pohang Skew T - Log P DIAGRAM at Mar. 06, 2006

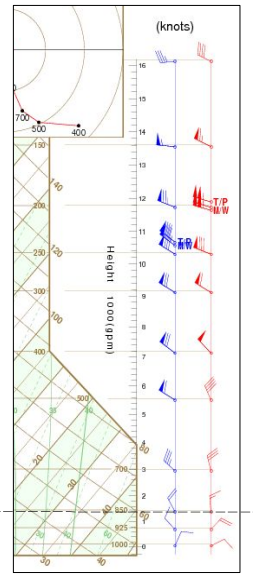

Fig.41. Same as Fig. 40 except for May 24, 2006

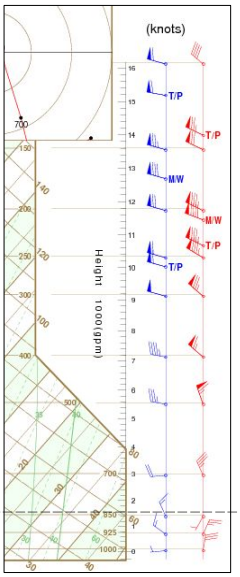

Fig.42. Same as Fig. 40 except for Feb. 27, 2007

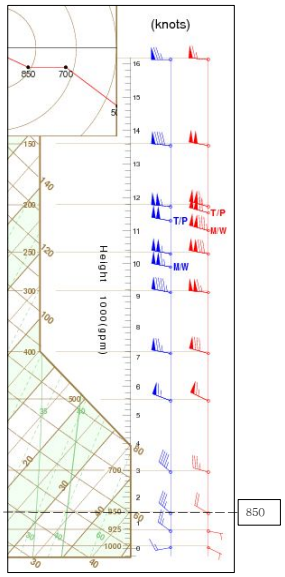

Fig.43. Same as Fig. 40 except for Apr. 26, 2007

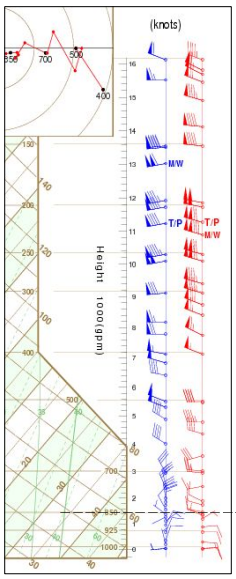

Fig.44. Same as Fig. 40 except for Apr. 23, 2009

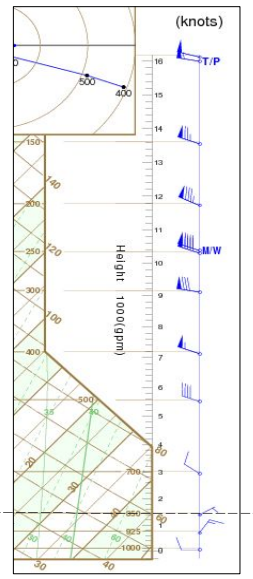

Fig.45. Same as Fig. 40 except for Sep. 16, 2009

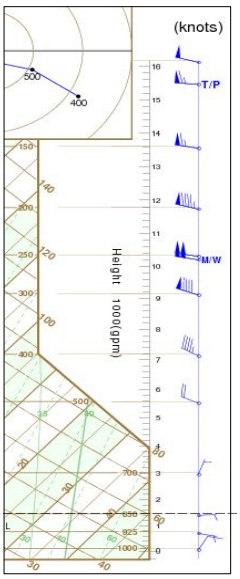

Fig.46. Same as Fig. 40 except for Sep. 16, 2009

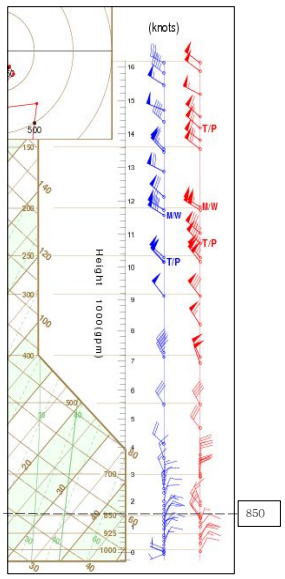

Fig.47. Same as Fig. 40 except for May 09, 2009

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

총 7일의 단열선도는 하루에 09LST(파란색)와 21LST(빨간색) 관측 자료가 분석되어있으며(09년 9월 16일 예외) 바람 기입축의 좌측이 09LST, 우측이 21LST 자료이다. 7건의 단열선도 바람에서 850hPa 이하의 고도 까지는 동풍계열의 바람이 나타났으나 그보다 상층에는 북서~서풍의 바람이 불었다. 이는 앞서 연구되었던 해풍의 연직 두께와 비슷한 높이로 종관적인 영향이 적었던 것으로 판단된다.

(2) 풍속증가 패턴

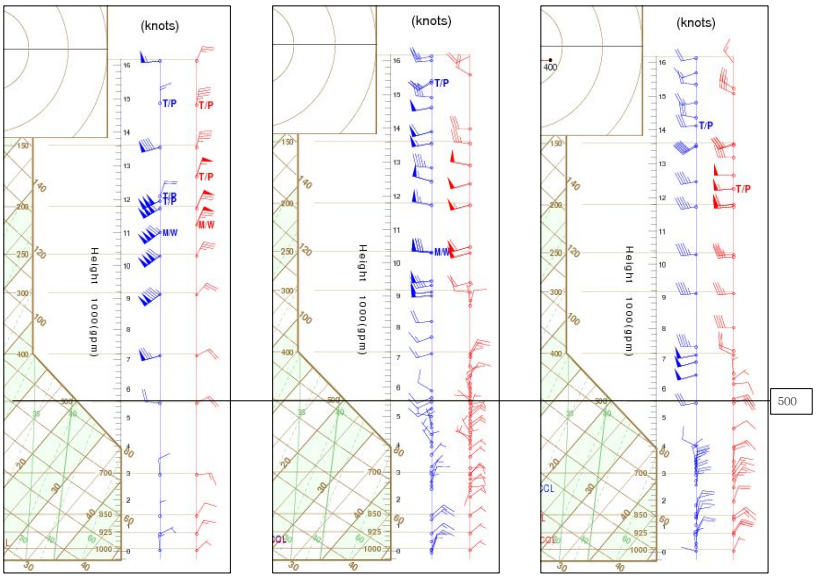

Fig.48. Same as Fig. 40 except for Jun. 18, 2007

Fig.49. Same as Fig. 40 except for Aug. 29, 2008

Fig.50. Same as Fig. 40 except for Sep. 08, 2008

풍속만 증가했던 3건의 사례에서 나타난 동풍의 바람은 앞선 사례보다 높은 곳까지 나타났다. 500hPa이상 상층까지 동풍의 바람이 관측되었으며 이는 종관장의 영향이 더 크게 작용한 것으로 판단된다. 이런 이유로 포항에서 시작된 동풍이 더 빠르게 대구에 출현하며 풍속을 증가시켰다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 지형 분석

1) 위성사진 분석

대구는 태백산맥과 소백산맥의 분기점에서 뻗어 나온 2차, 3차 산맥들에 둘러싸여 있으며 금호강을 끼고 있는 유역분지에 해당된다.

유희상 등(2013)은 대구의 지형분석에서 공항을 중심으로 북쪽 14.5km 지점에 해발고도 1201m의 팔공산, 남쪽 12.9km 지점에 해발고도 1085m의 최정산, 동쪽 3.4km 지점에 해발고도 823m의 환성산, 그리고 서쪽 12.1km 지점에 해발고도 402m의 명봉산이 자리하여 분지형태를 갖추고 있다고 하였다.

Fig. 51. Topographical features of Daegu, Korea.

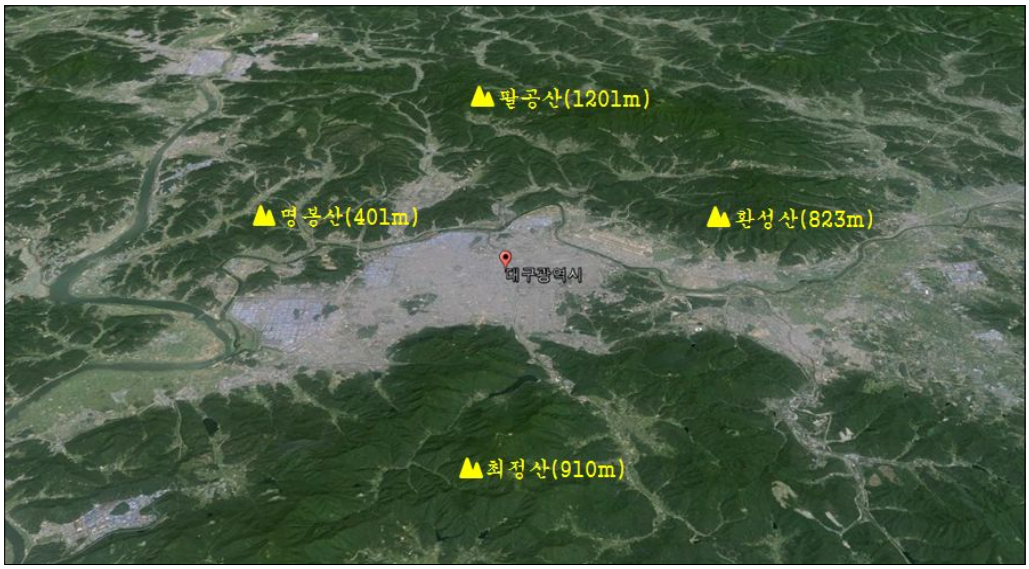

Fig. 52. Surrounding mountain terrain of Daegu, Korea.

대구는 우리나라 대표 분지형태 지형이지만 서쪽과 동쪽으로 이어지는 해발고도 50m 내외의 저지대가 존재하여 바람 길을 형성하고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

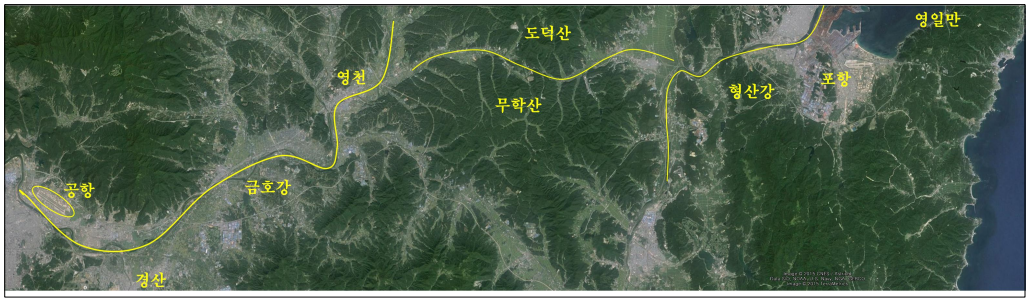

Fig. 53. Topographical features between Daegu and Pohang.

대구 공항 서쪽부터는 금호강 줄기가 이어져 있는데 경산을 거쳐 영천까지 남동~북동쪽으로 뻗어있으며, 포항 영일만에서 서쪽으로는 형산강이 뻗어있다. 영천부터 포항까지는 도덕산과 무학산 사이 골짜기로 이어져 있어 대구부터 포항까지 해발고도 50m 내외의 저지대가 형성되어 있다.

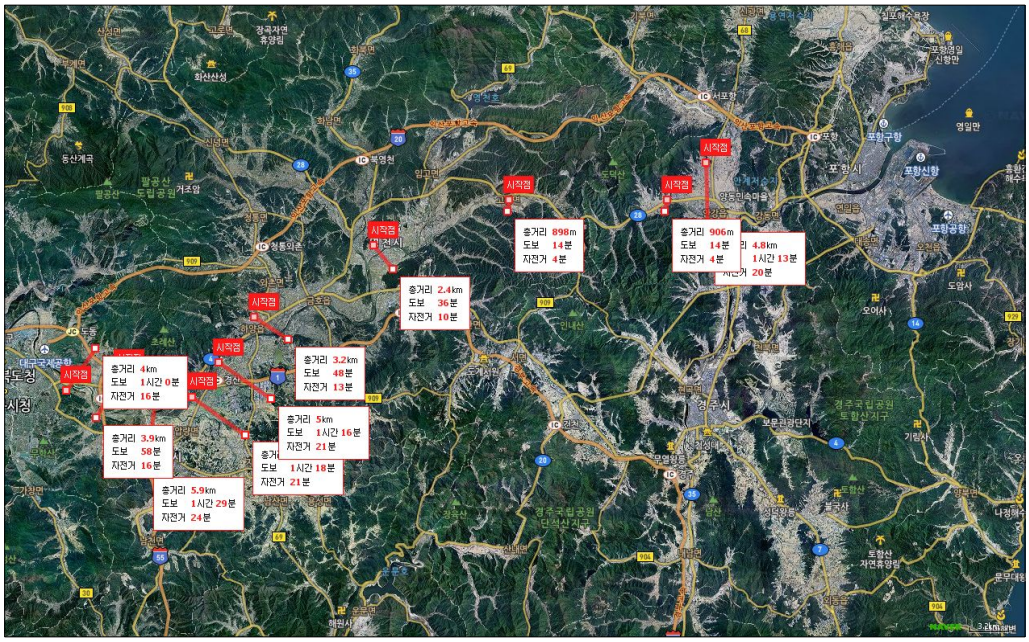

Fig. 54. Comparison of the width of the Low-lying Areas.

각 구간별 저지대의 폭을 비교하면 포항-영천 구간은 포항시내와 안강읍 내를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제외하고 0.5~1km 미만으로 폭이 매우 좁은 것을 알 수 있다. 이에 반해 영천-경산 구간은 2.4~10km 내외로 저지대의 범위가 매우 넓게 나타났다. 경산-대구 구간은 넓은 지역에서 대구로 진입할수록 점점 좁아지는데 넓은 곳은 약 15km 이나, 좁은 지역은 3.7km까지 좁아지는 것을 알 수 있다.

Table 15. Comparison of the moving speed of two patterns.

Division (distance)	Pohang -Yeongcheon (45km)	Yeongcheon -Gyeongsan (22km)	Gyeongsan -Daegu (10km)
Sea Breeze Properties	4hrs 45min (2.6m/s)	1hrs 27min (4.2m/s)	42min (3.9m/s)
Wind speed increases	3hrs 15min (4.3m/s)	1hrs 3min (6.6m/s)	27min (6.3m/s)

두 사례에서 나타난 이동속도를 비교하면 위와 같이 바람 길의 폭이 가장 좁은 포항-영천 구간이 두 패턴 모두 가장 느린 이동속도를 보였으며, 가장 넓은 영천-경산 구간이 제일 빠른 이동속도로 나타났다. 즉 해풍특징이 나타난 패턴과 풍속만 증가했던 패턴 모두 바람 길의 폭의 영향을 받아서 출현시간이 달랐던 것이다.

2) AWS 그래픽

(1) 바람 벡터

포항에서 불어오는 바람이 저지대를 따라 유입되는 것을 확인하기 위해 AWS 그래픽 자료 중에 바람 벡터와 풍속을 확인하였다. 아래 자료는 가장 최근에 발생했던 사례에서 14LST부터 2시간 간격으로 20LST까지 나열하였다.

14LST에 포항 영일만 지역으로 유입되는 북동풍의 바람이 시간이 지날수록 서쪽으로 풍속이 강해지면서 유입되는 것을 볼 수 있으며, 대구 수성구주변과 경산 부근은 주변보다 풍속이 낮은 상태이다.

16LST에는 포항에서 유입된 바람이 저지대를 따라 영천과 경주까지 풍속이 증

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가된 모습이다.

18LST에는 포항과 영천의 동쪽주변 바람이 약해졌으며 경산과 대구에는 풍속이 증가되었는데 이는 영천에 유입된 바람이 경산과 대구에 이동한 것으로 판단된다.

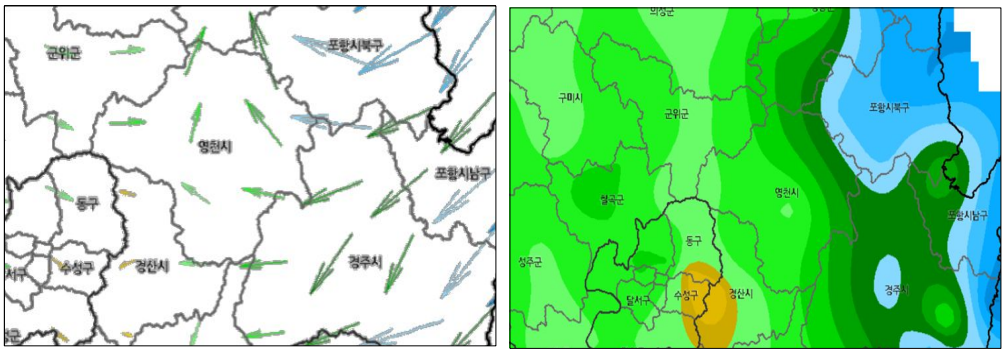

Fig. 55. Wind Vector and Speed Image at 14:00LST May 09, 2012.

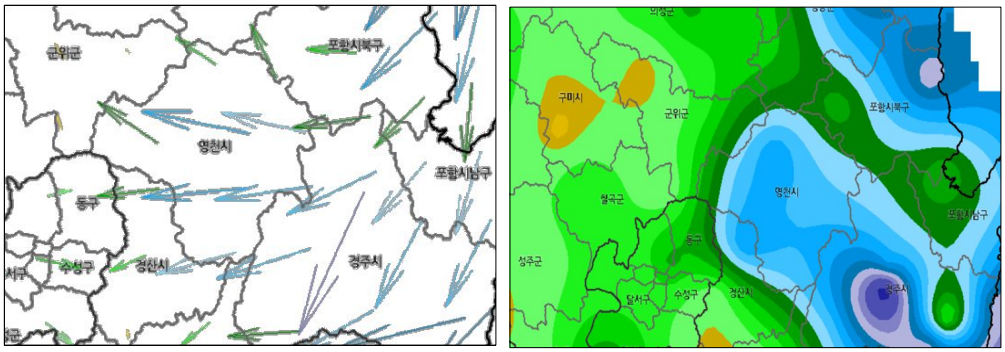

Fig. 56. Same as Fig. 55 except for 16:00LST.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

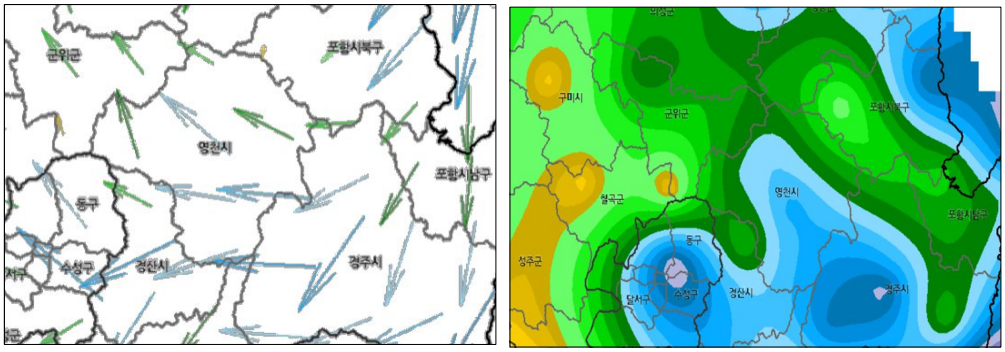

Fig. 57. Same as Fig. 55 except for 18:00LST.

또한 경주에서 경산으로도 바람이 이동하는 것을 확인하였는데, 실제로 경주에서 경산으로는 대부분 산지로 이루어져있지만 저지대의 골자기가 형성되어있다. 경주에서 경산으로 이어지는 골자기의 사행이 깊어 영천에서 이동하는 속도보다 뒤늦게 영향을 준 것으로 판단된다.

대구로 흘러들어가는 풍속에서 유독 수성구와 동구사이에 풍속이 강하게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 동풍이 유입되기 전인 14LST에는 가장 풍속이 작게 나타나던 곳이었다.

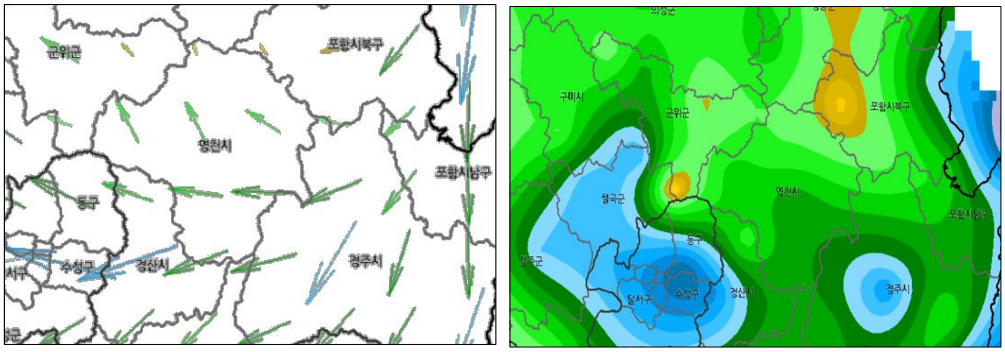

Fig. 58. Same as Fig. 55 except for 20:00LST.

20LST에는 포항에서 영천, 경산까지 풍속이 약해졌으며 대구중심으로만 풍속이 강하게 나타났다. 대구의 수성구와 동구사이에는 여전히 주변보다 강한 풍속이 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

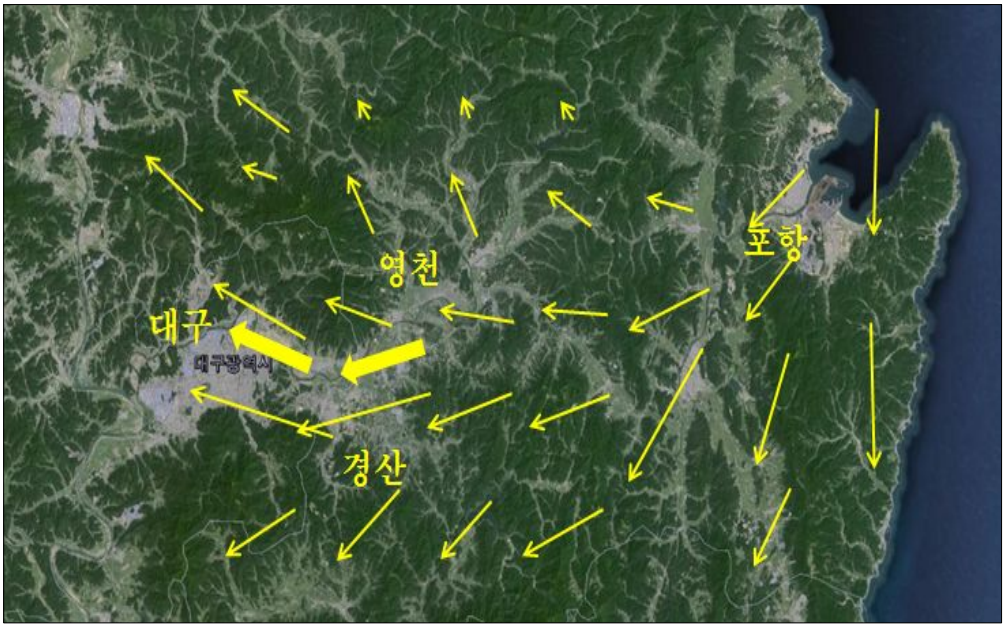

Fig. 59. Wind Vector Analysis.

20LST 바람벡터자료를 위성사진에 중첩한 결과 포항에서 유입된 바람이 대구까지 저지대방향과 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. AWS의 관측지점이 예상했던 바람 길에 정확하게 위치하는 것은 아니며, 바람벡터 자료는 모수화하여 만들어졌기 때문에 완전히 일치하지는 않았다.

앞서 대구로 유입될 때 수성구와 동구사이에 풍속이 강하게 나타났는데 이를 분석하기 위하여 경산과 대구의 지형을 분석하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2) 경산-대구 지형 분석

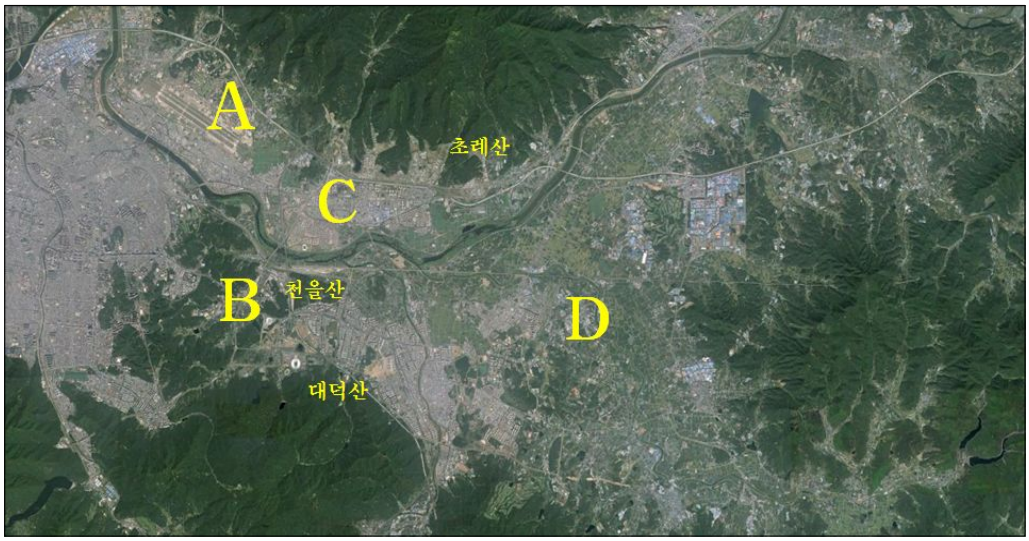

Fig. 60. Satellite Image of Gyeongsan and Daegu.

경산과 대구의 지형을 살펴보면 앞서 언급했던 동서남북 방향의 큰 규모의 산 이외에 작은 산들이 많이 있다. Fig. 60의 A는 대구공항이고 B는 수성구, C는 동구이다.

수성구와 동구는 금호강을 경계로 남북으로 나누어져 있으며 그 지역이 AWS 풍속 그래픽자료에서 바람이 강했던 부분이다. D는 경산이고 대구로 가는 방향에 남북으로 대덕산(603m)과 초례산(637m)이 자리해 바람길 폭이 좁아지는 지형이다. 수성구(B)에는 금호강 따라 남단에 천을산(100m 내외)이 위치하여 바람길을 더욱 좁아지는 지형이다. 천을산은 100m 내외의 낮은 산이지만 금호강 주변의 해발고도가 30~50m 정도로 지대가 낮아서 저고도에서 바람이 수렴되는 구조이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

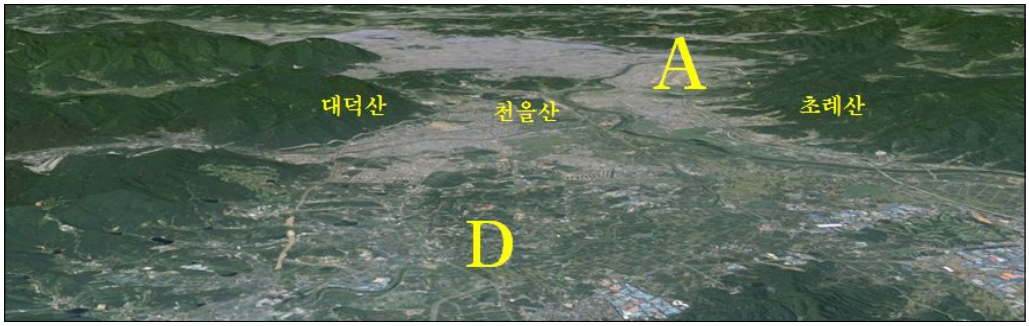

Fig. 61. Daegu viewed from Gyeongsan.

Fig. 61은 경산에서 대구방향으로 바라본 모습으로 좌측에 대덕산과 천을산이 있으며 우측에는 초례산이 있어 바람 길목이 좁아짐을 알 수 있다. Fig. 60과 61을 토대로 바람길의 모습과 단면을 보면 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

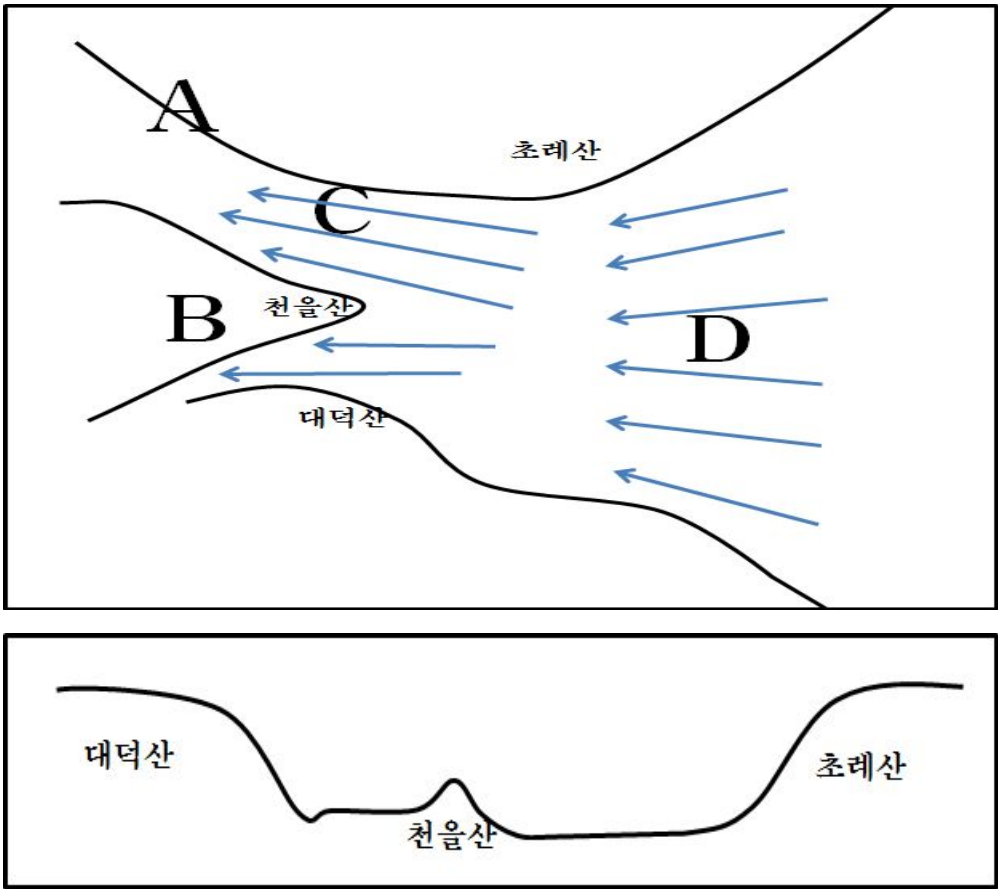

Fig. 62. Schematic Diagram of the Wind Passage between Daegu and Gyeongsan.

Fig. 62의 모식도와 같이 영천과 경주에서 넘어오는 바람들이 경산에 모여서 대구로 유입이 되며 바람길 폭이 좁아지는 현상이 나타나는데 위와 같은 모습은 베르누이의 법칙으로 해석될 수 있다.

베르누이 법칙은 유체역학의 기본법칙 중 하나이며, 베르누이가 발표한 것으로 점성과 압축성이 없는 이상적인 유체가 규칙적으로 흐르는 경우에 대해 속력과 압력, 높이의 관계를 규정하였다.

$$p + 1/2\rho v^2 + \rho gh = constant$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$\frac{p}{\rho}+\frac{v^2}{2}+gh=constant$$

유체 내의 한 점에 대해,

- p는 그 점에서의 압력
- ρ는 유체의 밀도
- v는 그 점에서의 유체의 흐름 속도
- h는 그 점의 기준면에 대한 높이
- g는 중력 가속도를 나타낸다.

$$p1+\rho gh1+1/2\rho V_1^2=p2+\rho gh2+1/2\rho V_2^2$$

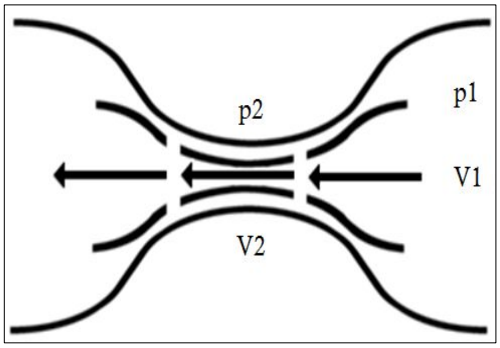

Fig. 63. Bernoulli's Theorem Model

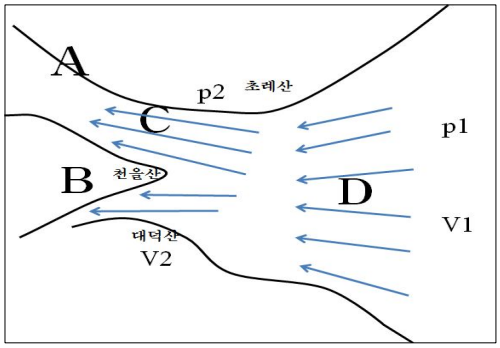

Fig. 64. Schematic Diagram of the Wind Passage between Daegu and Gyeongsan.

즉, 유체의 속력이 빨라지면 유체의 압력이 낮아지므로 Fig. 63의 모형을 Fig. 64의 바람 길 모식도에 대입하고 대응되는 지점의 기압과 풍속을 이용하여 증명할 수 있으나, 다음의 전제조건을 만족하지 못한다.

·유체는 비압축성이어야 한다. 압력이 변해도 밀도가 변하지 않아야 한다.

·유선(streamline)이 경계층을 통과해서는 안 된다.

·점성력과 마찰력이 존재하지 않아야 한다.

뿐만 아니라 증명할 위치에 관측소가 존재하지 않으므로 베르누이 법칙에 정확하게 대응하여 검증하기에는 무리가 따른다. 따라서 지형효과에 대한 검증을

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위해 다른 풍향이 발생할 경우와 다른 유사지형에 대한 분석을 하였다.

(3) 풍향별 지형효과 분석

베르누이 법칙에 의해 길목이 좁아지는 지역에서 유속이 빨라진다면 동풍의 반대 방향에서 부는 바람의 풍속이 증가할 것이며, 그렇지 않은 북풍이나 남풍에서 증가하지 않을 것이다. 이를 확인하기 위하여 15년에 발생한 서풍과 북풍 그리고 남풍에 대한 풍속변화를 비교해보았다. 단 이때는 풍향에 따른 풍속 증가여부만을 확인하기에 종관적 패턴이나 기타 풍향의 원인은 고려하지 않았고 해당 풍향이 발생하는 사례를 무작위 선정하였다.

앞선 사례에서 보인 동풍과 반대인 서풍계열의 바람에 대한 비교이다.

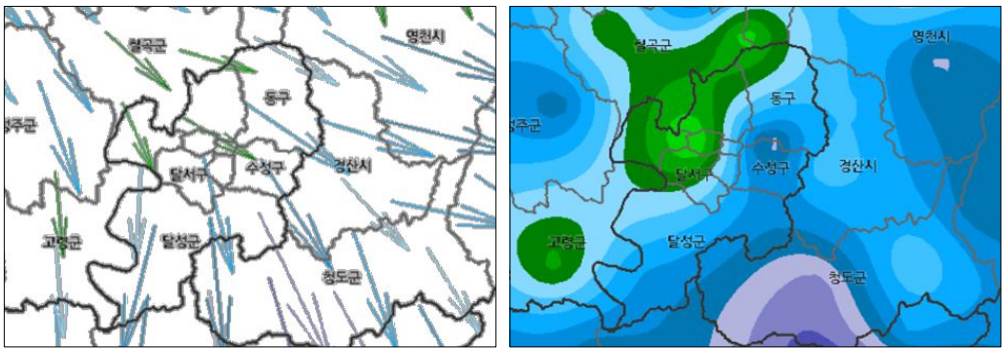

Fig. 65. Wind Vector and Speed Image at 13:00LST Jan. 06, 2015.

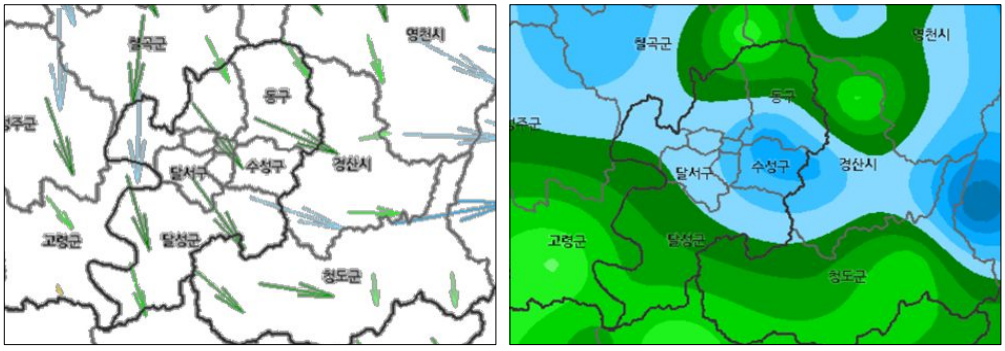

Fig. 66. Same as Fig. 65 except for 13:00LST Jan. 08, 2015.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

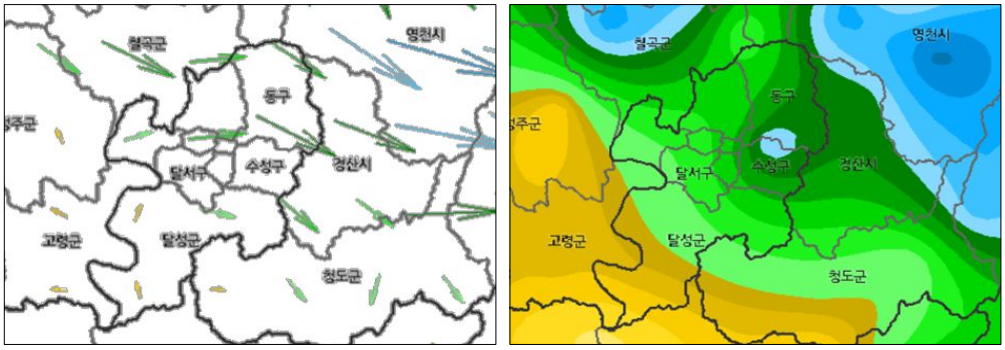

Fig. 67. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Jan. 09, 2015.

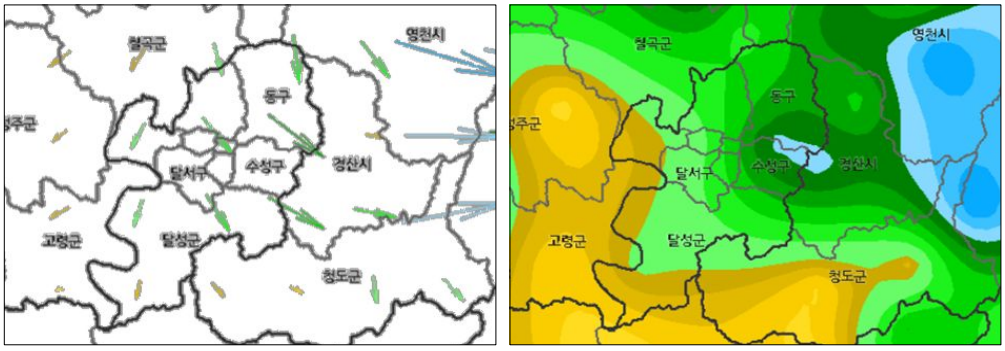

Fig. 68. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Jan. 10, 2015.

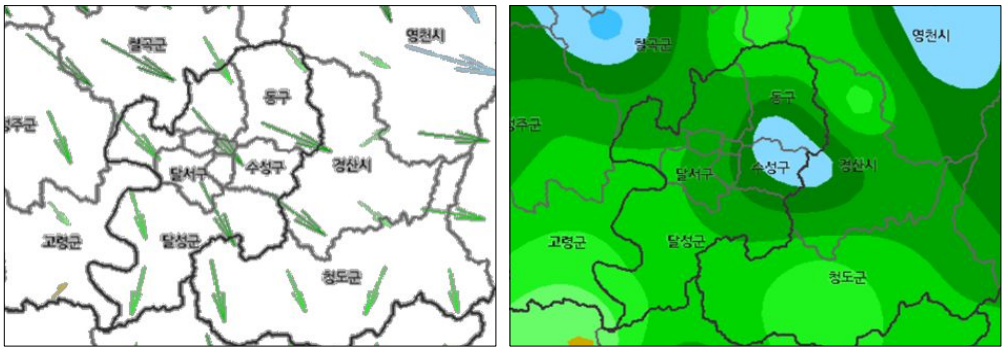

Fig. 69. Same as Fig. 65 except for 13:00LST Feb. 04, 2015.

Fig. 65~69에서 수성구와 동구사이에 동풍계열의 바람이 발생했을 때와 동일하게 풍속이 강하게 나타났다. 위와 같이 넓은 지역에서 좁은 골자기를 통과할 때

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

풍속이 증가하는 것을 확인하였으며, 이와 반대로 골자기의 수직을 향하는 풍향에 대한 사례를 확인해 보았다.

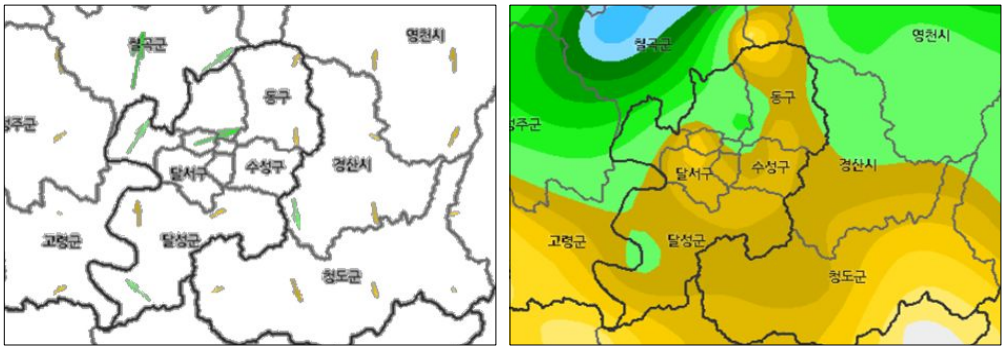

Fig. 70. Same as Fig. 65 except for 10:00LST Mar. 03, 2015.

Fig. 70에서는 020° 방향의 북동풍이 불었으며 강풍이 계속 나타났던 수성구와 동구 사이에 오히려 주변보다 풍속이 작게 나타나고 있다. 대구 지역 외에 비슷한 지형에서 바람을 비교하기 위해 다른 지형을 찾아본 결과 양산에서 부산으로 이어지는 길이 유사한 형태이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 71. Satellite Image for Yangsan and Busan..

Fig. 71은 양산에서 낙동강 줄기를 따라 부산까지 북에서 남으로 이어져 있다. 좌측엔 백두산(354m), 우측엔 금정산(800m)이 위치하여 바람 길이 형성되어 있으며 북풍과 남풍이 불 경우 풍속이 증가하는 지형으로 볼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

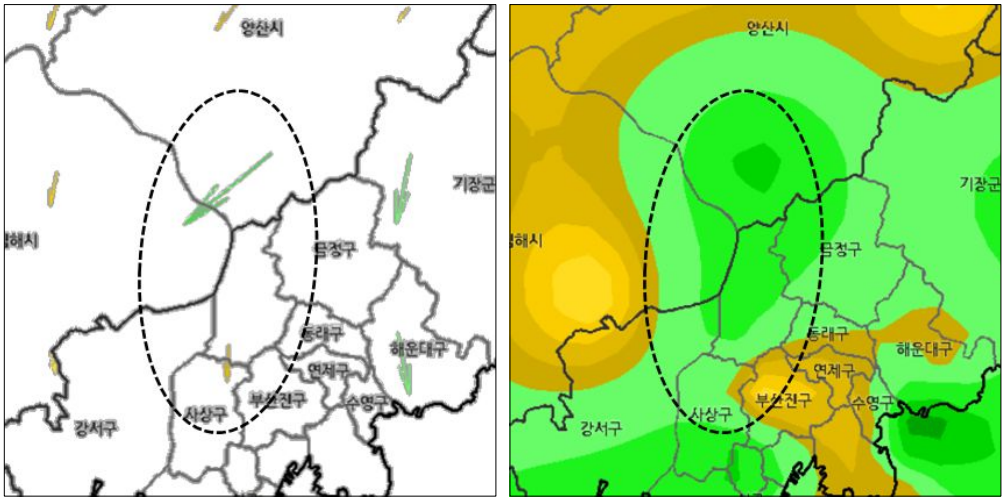

Fig. 72. Wind Vector and Speed Image at 10:00LST Mar 03, 2015 between Yangsan and Busan.

Fig. 72는 Fig. 70과 동일한 날 동시간대 양산-부산구간의 바람이다. 북풍계열의 바람이 불면서 양산에서 부산 사상구 방향으로 풍속이 주변보다 강한 것을 확인하였다.

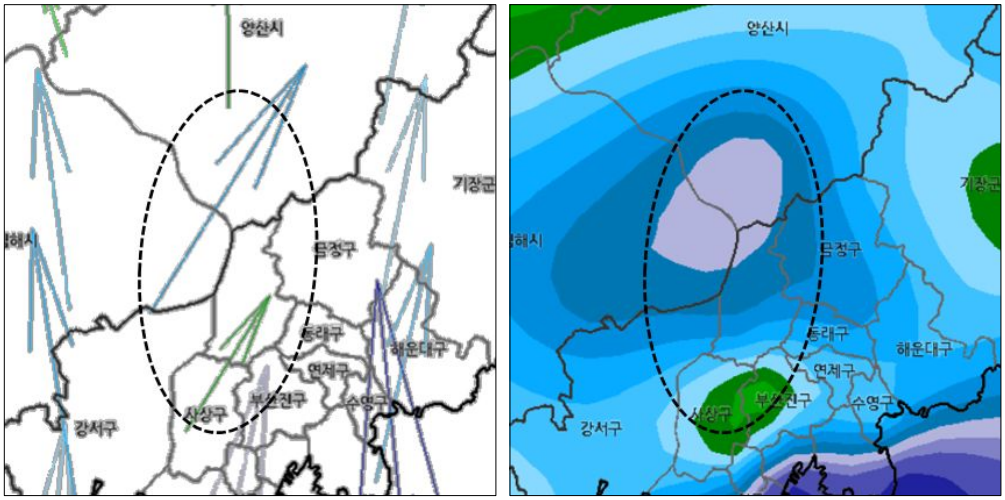

Fig. 73. Same as Fig. 72 except for 16:00LST Apr. 14, 2015.

Fig. 73은 남풍이 불었던 사례로서 Fig. 72의 북풍과 동일하게 풍속이 주변보다 강하게 나타났다. 역시 넓은 곳에서 좁은 곳으로 바람이 흐르면 풍속이 증가한다

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 것을 확인하였으며, 같은 날 대구의 경우와 비교하였다.

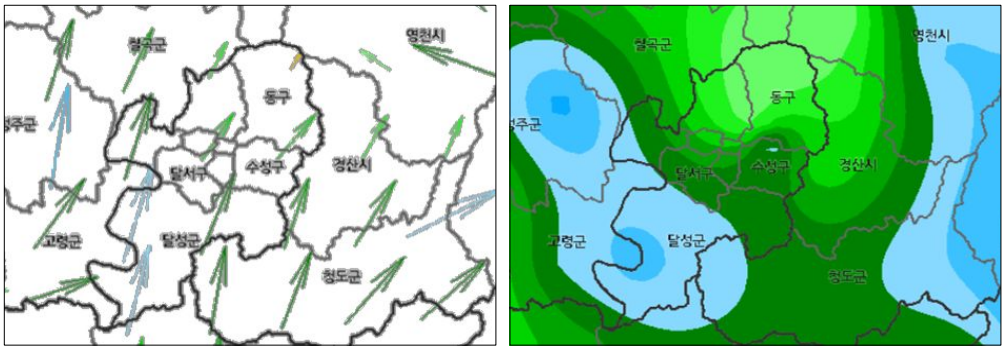

Fig. 74. Same as Fig. 72 except for 16:00LST Apr. 14, 2015 between Daegu and Gyeongsan.

동·서풍의 바람이 불 때 수성구와 동구사이는 항상 주변보다 강한 풍속을 보였지만 Fig. 70의 북풍이나 Fig. 74의 남풍의 경우에는 풍속이 작게 나타나는 것을 확인하였다.

대구-경산의 바람 길과 그와 유사한 지형인 양산-부산의 바람 길에 대한 동서남북 방향에서 불어오는 바람을 비교한 결과 바람 길과 평행하게 부는 바람에서 주변보다 풍속이 증가하였고 직각으로 부는 바람에서 그렇지 않았다.

전제조건을 완전히 갖추지 못한 환경이라 베르누이 법칙에 완전히 성립하지는 않겠지만 넓은 지역에서 좁은 지역으로 이동하면 유속이 빨라진다는 것은 확인할 수 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 최근 사례 분석

1) 2015년 5월 27일

종관규모 분석에서 다루었던 사례로 지상 기압계는 발생한 사례와 유사하나 850hPa 상층에서 동해상에 온도골이 아닌 온도능이 존재했던 상황이다.

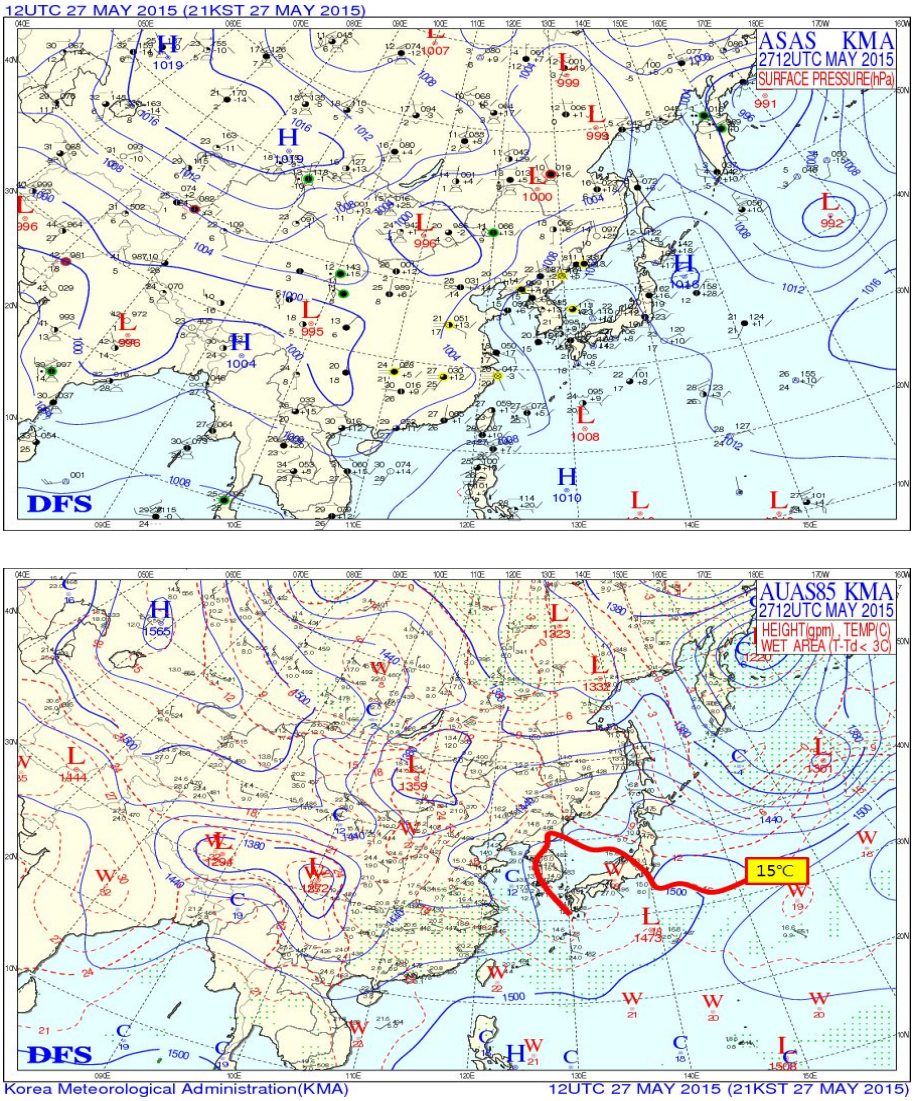

Fig. 75. Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST May 27, 2015.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

당시의 상황을 중규모 분석과 동일하게 AWS 이미지를 살펴보면 다음과 같다.

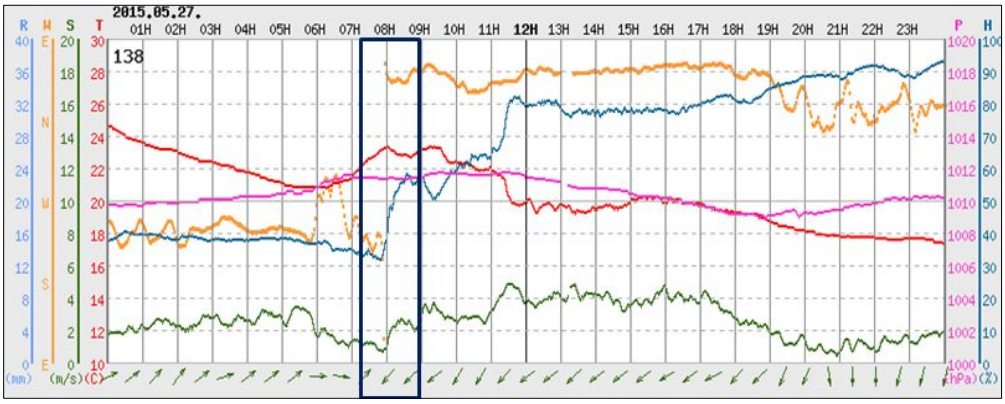

Fig. 76. Pohang AWS Time Series Chart at May 27, 2015.

08LST에 포항에 북동풍이 불기 시작하며 습도가 급증하고 기온이 하강하는 해풍유입 특징이 나타났다. 이 후로도 지속적인 북동풍이 평균 3~5m/sec로 앞의 사례들과 유사한 강도의 풍속이었다.

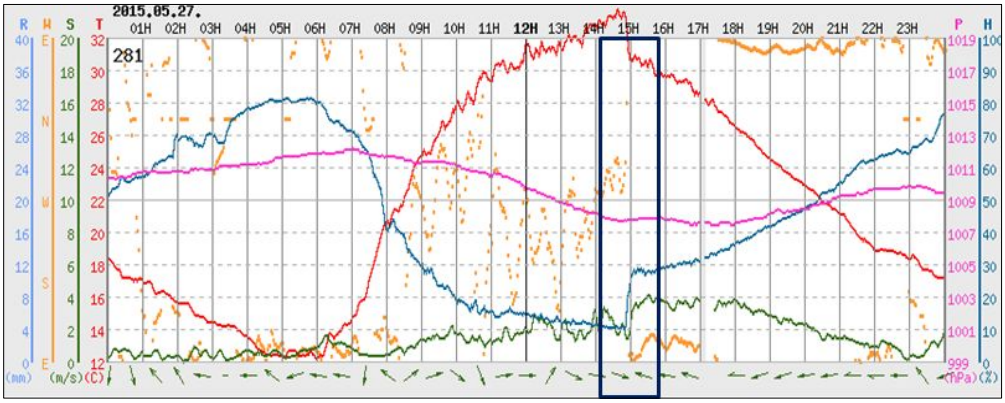

Fig. 77. Same as Fig. 76 except for Yeongcheon.

영천의 시계열은 15LST에 해풍의 특징이 나타났으나 유입시간이 7시간이 소요되었다. 이는 1.8m/sec의 속도로서 앞의 두 패턴의 속도인 2.6m/sec 와 4.3m/sec보다 느리게 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

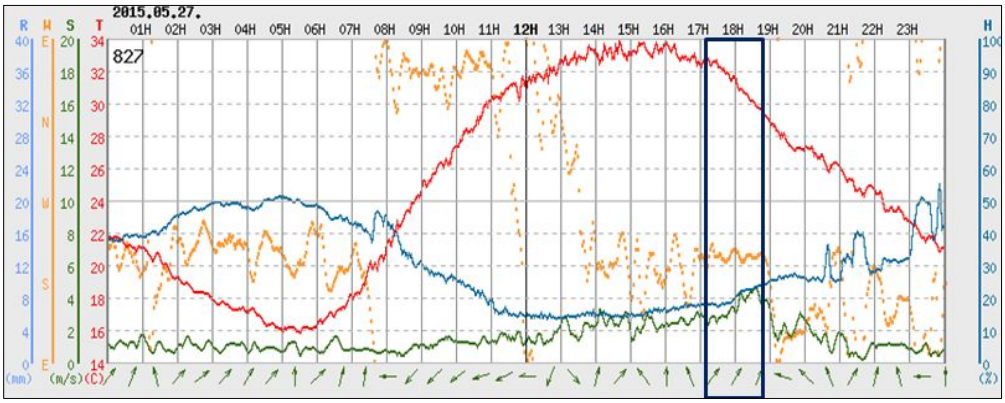

Fig. 78. Same as Fig. 76 except for Gyeongsan.

경산은 18LST경 습도와 풍속이 다소 증가하는 것을 보이나 일몰시간에 습도가 증가하는 것으로 판단될 수도 있기에 뚜렷하게 해풍이 유입된 것이라고 보기에는 무리가 있다.

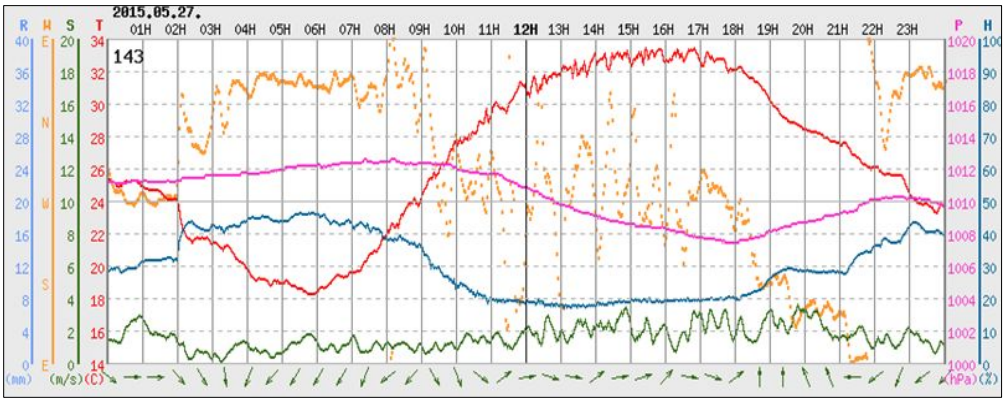

Fig. 79. Same as Fig. 76 except for Daegu.

대구는 경산보다 경계를 찾기 어려우며 19LST경 약간의 습도 증가를 보이지만 이것이 해풍의 영향으로 판단할 만큼의 변화는 아니었다. 다음의 포항 단열선도 역시 앞의 사례와 달리 동풍이 850hPa 이하까지 나타나지 않고 09LST에만 925hPa까지 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

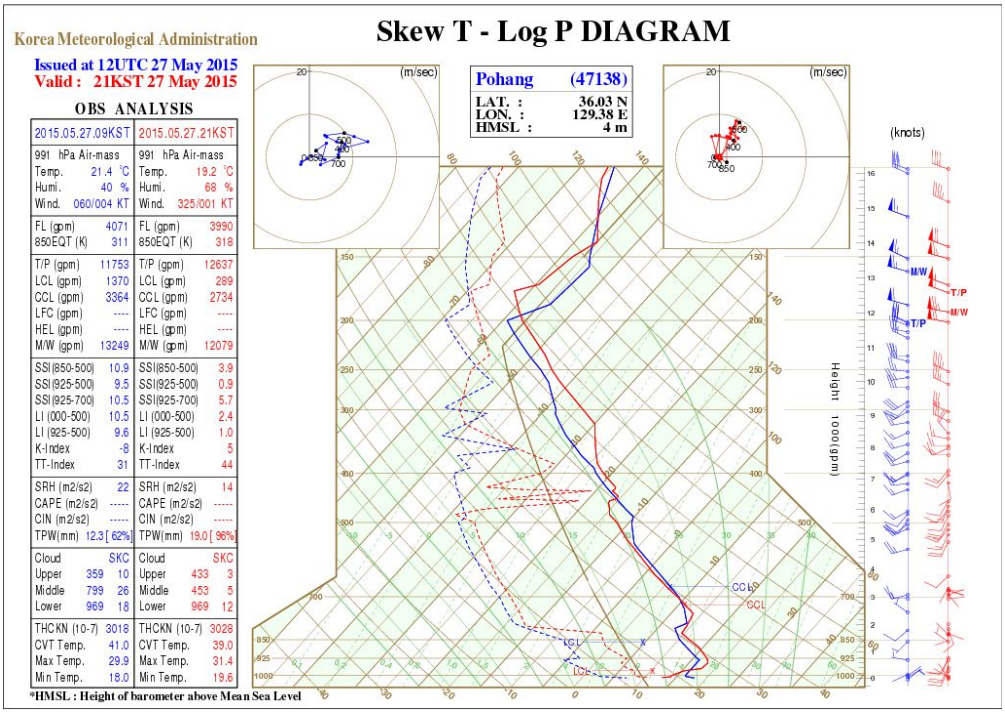

Fig. 80. Pohang Skew T - Log P Diagram at May 27, 2015.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 2015년 6월 4일

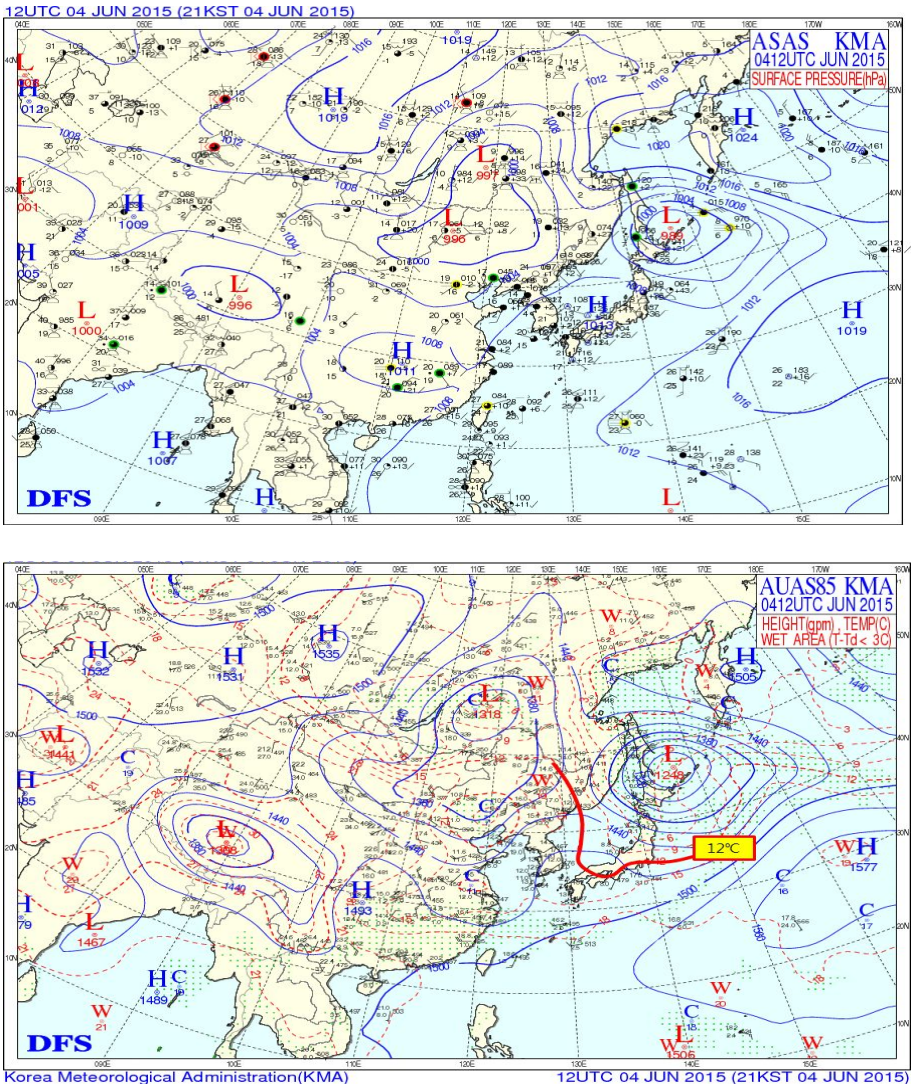

Fig. 81. Surface and 850hPa Weather Charts at 21:00LST Jun. 04, 2015.

지상의 고기압은 동해상에 위치하여 동풍기류가 나타나기 용이한 기압배치이며, 850hPa 상층은 동해상에 온도골이 존재하는 앞서 다뤘던 패턴과 비슷한 기압배치이다. 이를 AWS시계열 자료와 함께 비교해보았다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

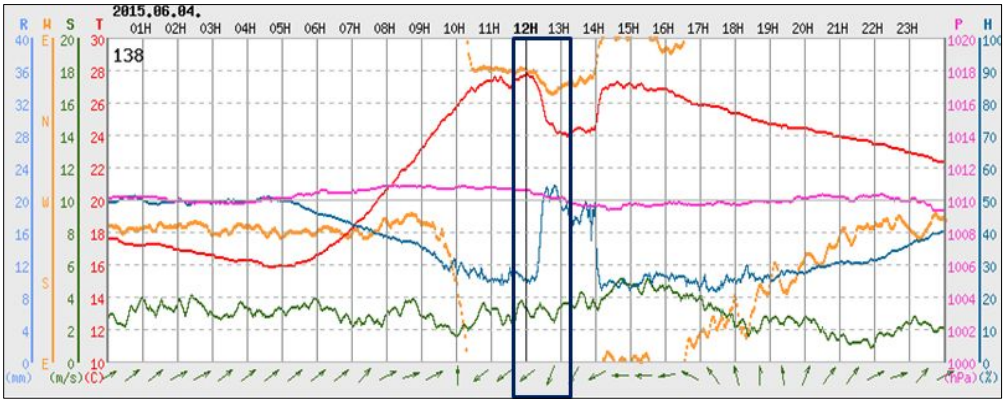

Fig. 82. Pohang AWS Time Series Chart at Jun. 04, 2015.

12:20LST경 북동풍이 불면서 해풍의 특징이 나타났다. 그러나 해풍이 오래 지속되지 못하고 14시부터 습도가 낮아졌고, 17LST 부터는 동풍이 불지 않았다.

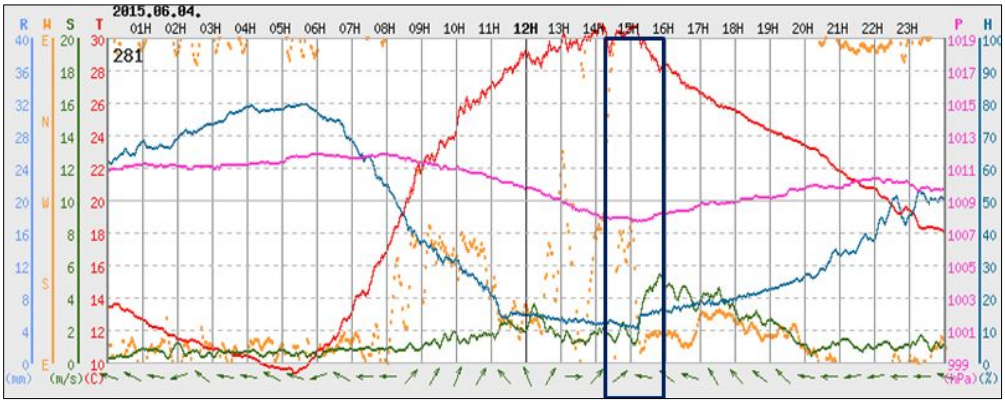

Fig. 83. Same as Fig. 82 except for Yeongcheon.

15:20LST경 동풍이 불면서 풍속이 급증하였고 습도가 증가하는 해풍의 특징이 나타났다. 포항에서 나타난 시점과 비교했을 때 3시간이 소요되었으며, 속도는 4.2m/sec이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

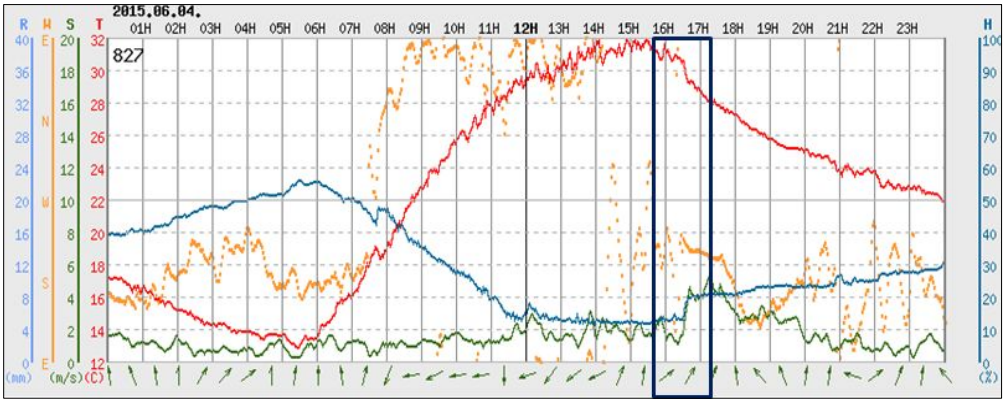

Fig. 84. Same as Fig. 82 except for Gyeongsan.

경산은 16:30LST경 습도와 풍속이 증가하는 특징이 나타났으며, 속도는 5.2m/sec이다.

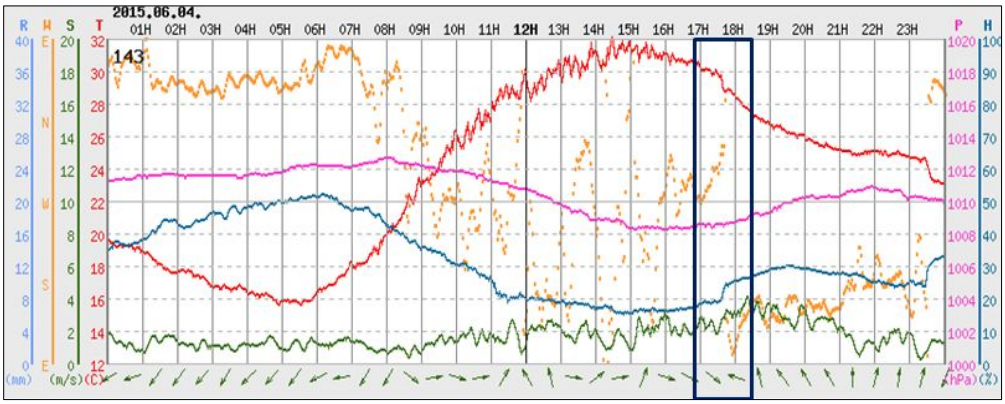

Fig. 85. Same as Fig. 82 except for Daegu.

대구는 17:30LST경에 풍속과 습도가 소폭 급증하였으며 속도는 2.8m/sec이다. 이 사례는 포항에서 시작될 때에는 기존 사례들과 유사하게 시작하였으나 지상 저기압의 동진으로 기류가 변하여 동풍이 지속적으로 유입되지 못하면서 대구까지 도달하며 해풍의 특징이 감소했다고 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

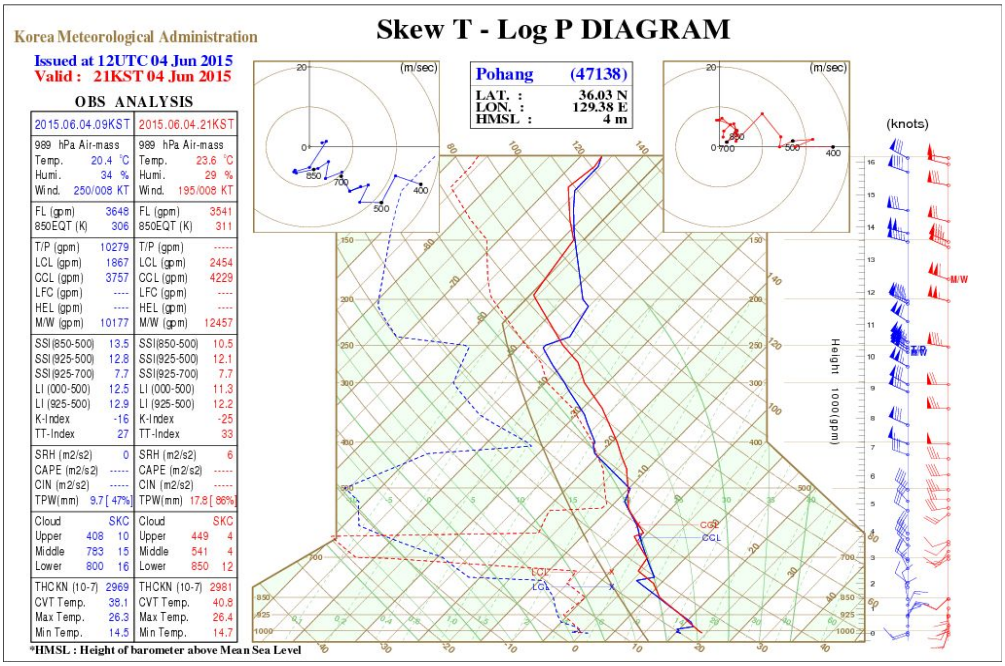

Fig. 86. Pohang Skew T - Log P Diagram at May 27, 2015.

이는 포항 단열선도에서 09LST의 관측까지는 850hPa까지 동풍이 존재하였으나 21LST에는 서풍으로 풍향이 변한 것으로 확인할 수 있었다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. 결 론

본 연구를 통해 최근 10년간 고기압권의 안정된 상태에서 야간에 15kts 이상 바람이 내륙의 공항 중에 대구에서 자주 관측된다는 것을 알 수 있었다. 이는 여러 가지 원인이 모여 나타난 현상으로 분석되며 대표적인 특징은 다음과 같다.

첫째로, 고기압권에서 기압경도력은 영향을 미치지 않지만 기압배치의 위치상 동풍기류가 발생할 수 있는 상황에서 우리나라 동해상에 850hPa 온도골이 존재하면 동풍이 발생했을 때 내륙으로 깊이 침투시키는 작용을 한다.

해풍의 내륙 침입에 대한 연구는 기상연구소(1980)에 의해 서해에서 전주까지 약 25km정도 침입했다는 보고가 있으며, 김유근과 안창섭(1985)은 사천에서 진주까지 40km 침입한다고 하였다. 그러나 종관적인 힘이 더해진다면 해풍의 특징을 포함한 바람이 70km 이상 내륙으로 침투할 수 있다는 것을 확인하였다.

둘째로, 대구로 유입되는 동풍은 영천-경산을 거치는 저지대의 바람 길을 타고 온다는 것을 확인할 수 있었으며, 경산에서 대구로 유입시 베르누이 법칙에 대입이되는 지형적인 이유로 풍속이 증가한다는 것을 확인하였다.

이번 연구를 통해 대구 공항에 나타난 야간 강풍은 종관적인 배경아래 발생된 동풍이 바람 길을 따라 대구까지 유입되었으며, 지형적인 특성이 더해져 풍속이 증가된 현상이라고 귀결되었다. 물론 이 외에도 야간에 나타나는 산풍이나 대구 도심화에 따른 열섬현상에 의한 바람 유입 등 다른 원인도 일정부분 관여하였을 것으로 예상되며, 추후 광범위한 연구가 이루어진다면 보다 정확한 예보로 활용할 수 있겠다. 이로 인해 앞으로 유사 상황에서 안전하고 계획적인 야간비행을 할 수 있는 공항예보 생산을 기대 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

【참고문헌】

구현숙, 김해동「대구지역의 국지순환풍의 환기경로 및 대기오염수송에 관한 수치모의」,『한국지구과학학회지』제21권 제6호, pp.418-427, 2004.

권병모「國內 航空機 事故 發生 類型과 原因에 대한 實證 分析」,『한국항공대학교 석사학위논문』, 2011.

기상연구소「남서해안지역(군산 일원)에서의 해풍에 관한 연구(Ⅱ)」, p.39, 2009.

기현우「남한지역에서 기온의 일교차에 관한 연구」,『전남대학교 석사학위논문』, 1992.

김상룡「LLWAS를 활용한 인천국제공항 저층 윈드시어에 관한 연구」,『공주대학교 석사학위논문』, 2011.

김유진, 안창섭「남해안지방의 해풍의 특성에 관한 연구」,『한국어업기술학회지』제21권 2호, pp.112-122, 1985.

김유진, 이재규, 양아련「종관기압 패턴별로 분석한 강원 지역 기상재해」,『한국방재학회논문집』제13권 3호, pp.57-70, 2012.

박명희, 구현숙, 김해동,「산곡풍 탁월지역의 기상일변화 특성에 관한 사례 조사」,『한국지구과학회 춘계학술발표회 논문집』, pp.194-198, 2006.

박종익, 원효성, 류찬수,「기온의 일변화에 대한 고찰」,『조선대학교 생활지도연구』제23권, pp.283-305, 2004.

박혜정,『최신항공실무』, 백산출판사, 2000.

반기성,『전쟁과 기상 하』, 명진출판사, 2001.

설동일,「AWS 데이터를 이용한 부산 해안의 바람분포 특성 해석」,『한국항해항만학회지』제33권 8호, pp.549-554, 2009.

유희상, 류재문, 김동현,「대구 군 공항 안개발생에 영향을 미치는 환경 요소 연구」,『2013년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집』, pp.572-573, 2013.

이승호,『기후학』, 푸른길, 2007.

전병일,「1992년 5월 30일의 부산연안 해풍전선의 특성」,『신라대학교 자연과학논문집』제4권, pp.103-115, 1997.

전상식,「강릉시 주변의 바람특성 연구」,『강릉지방기상청 동향/연구보고서』, 2004.

한혜영,「UHF 윈드프로파일러 관측을 이용한 해풍의 연직구조 및 내륙침투 분석」,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

『경북대학교 석사학위논문』, 2007.

Frederick K. Lutgens, Edward J. Tarbuck, 『The Atmosphere : An Introduction to Meteorology, Tenth Edition』, Sigma Press, 2007.

Marshall, W.A.L., 「Sea breeze across London」, 『Meteorological Magazine』 79, pp.165~168, 1950.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

먼저 지난 2년 동안 불편함 없이 대학원 생활을 할 수 있도록 배려해주시고, 연구와 학업에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해주신 류찬수 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 저의 논문 심사를 맡아주시고, 소중한 충고와 조언을 해주셨던 정효상 교수님, 정병옥 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 본 학위 논문 연구를 할 수 있도록 자료를 구해 주신 강하림 주무관님과 김문용 팀장님께도 감사의 말씀을 전합니다.

아울러 처음 논문을 쓰는 저에게 여러모로 큰 힘이 되어주었던 문태수 선배님, 영어를 모르던 저를 도와준 정준환님, 대구의 특징을 알려준 정광요 후배님께도 감사의 말씀을 전합니다.

2년 동안 안전하게 운전을 맡아주신 박경훈 선배님, 힘들어 할 때 격려해주신 조기융 후배님과 박규형님, 실험실에서 여러 업무를 도와주고 맛있는 식사를 위해 고생하는 김선태 조교님, 든든하게 옆에서 조언을 주신 김용수 회장님, 서로 힘이 되어준 정욱·고광효님 모두 감사드립니다.

연구로 인해 가족과 함께하지 못한 저를 대신해 가족을 챙겨주신 김경환·유정미님, 천정우·김정희님 깊은 감사드립니다.

멀리서 절 응원해주신 부모님과 장인·장모님, 늘 곁에서 힘이 되어주는 아내와 딸 현정이에게 감사드립니다.

마지막으로 지면으로 통해서 일일이 언급을 하지 못했지만 그 동안 저를 아끼고 사랑해주신 모든 분들께 다시 한 번 진심으로 감사드립니다.

2016년 2월 엄 태 준

Collection @ chosun