

윈드프로파일러를 활용한 바람시어 분석

김한준, 김경록, 강경아

울산공항기상대

1. 서론

울산공항은 남북으로 2km의 활주로를 가지고 있으며 공항북단 약 5km의 환경은 주택 및 아파트 단지로 구성 되어 있고, 남단 약 4km에서도 아파트 및 대화강이 존재하고 있다. 경험적으로 바람시어의 조건은 측풍이 10kt이상 발생시 1000ft이하에서는 지형 및 주변 마찰에 의한 국지풍이 형성되고 있으나 1,000ft이상은 종관풍이 유지되는 것으로 알 수 있다.

울산공항에서는 2006년 5월 15일부터 윈드프로파일러를 운용하고 있으며, 이를 바탕으로 바람시어 경보를 발표하고 있다. 하지만 바람시어 발생 분포 조사 및 예보에 활용할 수 있는 기초조사가 부족한 실정이다.

따라서, 윈드프로파일러를 활용하여 울산공항에 발생하는 바람시어의 발생분포를 파악하고, 바람시어 발생시의 종관적인 특징 등 사례분석을 통해 차후 바람시어 예측을 위한 기반 마련 및 항공기의 안전운항에 기여하고자 한다.

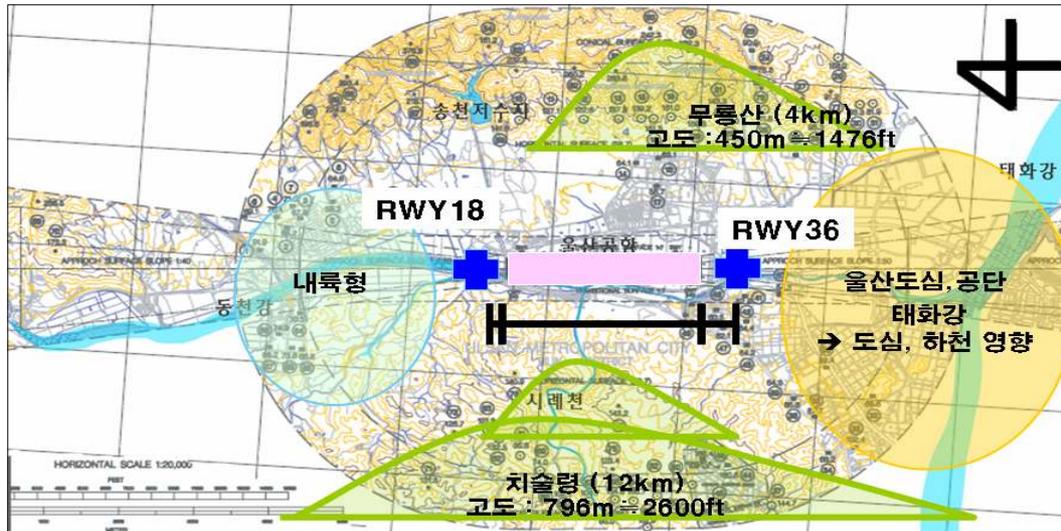
2. 본론

2.1 지형분석 및 관측환경

울산공항 서쪽으로는 약 20-200°방향으로 1,000m 이상의 고봉들이 연이어 있으며, 그 사이의 골들은 남해안까지 뻗어있다. 울산동쪽은 단일 능선들이 340-160°방향으로 위치하여 있어 내륙과 동해를 구분하고 있다. 남쪽으로는 서쪽산간지대에서 발원하여 동쪽으로 흐르는 대화강이 울산만으로 이어져 있으며 강 이남에는 평지로 울산도심과 공업단지가 자리하고 있어 도심 및 하천의 영향을 받고 있다. 북쪽으로 가면 울산 이화와 경주 모화에서는 호리병모양(∞)으로 폭이 약 800m로 좁아지기는 하나 포항까지 이어지는 형산강 지구대를 이루고 있어 내륙의 영향을 더 많이 받는다고 할 수 있다. 또한 공항주변을 살펴보면 동쪽은 450m산(약 1,500ft)들이 연이어 능선을 이루는 사이의 협곡을 막아 송천 저수지가 있으며 배수로가 활주로 북단과 경계로 동천강과 합수한다. 서쪽에는 100m(약 300ft)의 낮은 구릉이 접하고 활주로를 따라 평행으로 동천강이 흐르고 활주로 중앙부분

에서는 서쪽 구릉사이로 시레천이 동천강과 합류되고 있다.

Wind Profiler 설치 위치는 RWY36 방향은 활주로 끝에서 897m, RWY18 방향은 220m 떨어진 지점이다.



[그림 1] 울산공항 주변 지형 및 관측환경

2.2 자료분석

2.2.1 바람시어 Alert 기준

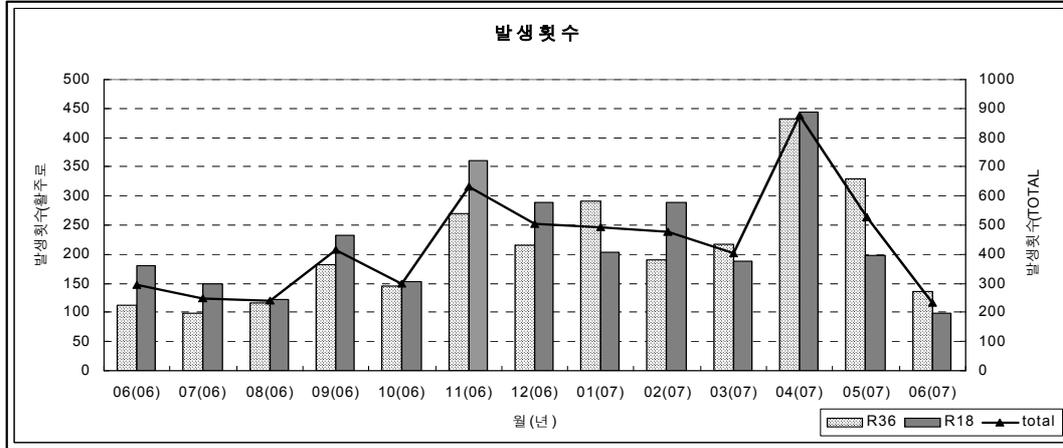
윈드프로파일러에서 제공하는 바람시어는 수평 시어 값과 연직속도(w) 값으로 강도를 구분하며 마이크로버스트는 관측된 연직속도를 기준으로 제공한다. 강도 구분의 세부 기준은 아래와 같다.

<표 1> 바람시어 Alert

WS		수평	연직속도
	MOD	4~8 kt	2.0 m/s 이상
STR	8~15 kt	2.3 m/s 이상	
SEV	15kt 이상	2.5 m/s 이상	
MB	연직속도 4.6m/s 이상		
	강수시 연직속도 10.6 m/s 이상		

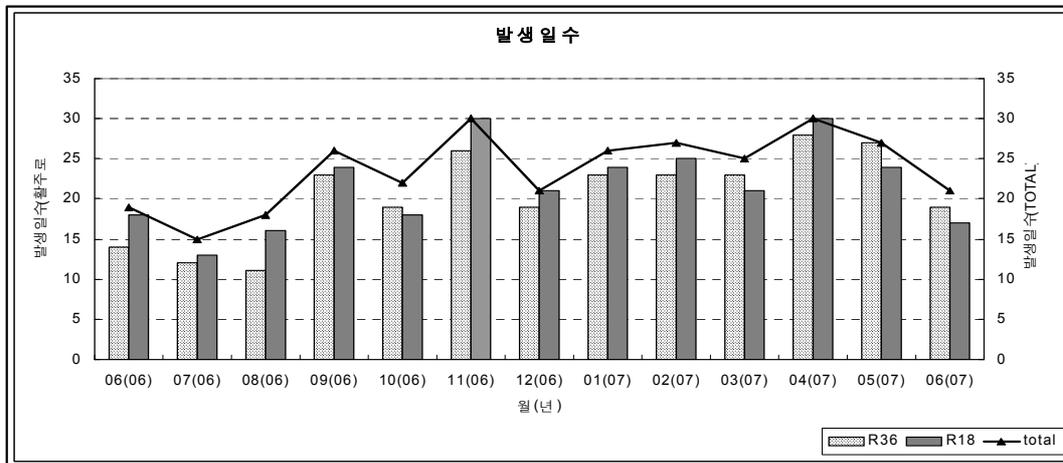
2.2.2 바람시어 Alert 발생분포

조사기간은 2006.6.1. ~ 2007.6.30.까지이다. 바람시어 Alert 발생횟수는 발생한 Alert 메시지를 기준으로 STR 이상의 강도별 발생한 횟수를 조사하였으며, 발생일수는 강도별 바람시어 Alert이 한건이라도 발생한 일수를 계산한 것이다.



[그림 2] 바람시어 Alert 발생횟수

[그림 2]에서 보듯이 총 발생횟수는 5,644회로 월평균 434.2회였다. 2007년 4월은 총 87(R36:433/ R18: 444)회로 Alert이 가장 많이 발생했으며, 2006년 11월이 630(R36:270/R18:360)회로 두 번째로 많이 발생했다. 6~8월에는 240~300회로 상대적으로 발생횟수가 적었다.



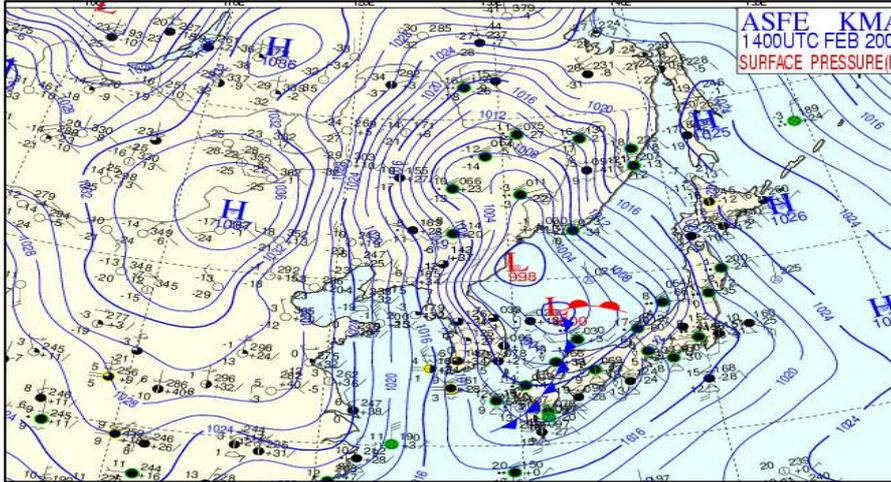
[그림 3] 바람시어 Alert 발생일수

총 발생일수는 307일이며, 월평균 발생일수는 23.6일이었다. 2006년 11월과 2007년 4월에 총 30일로 발생일수가 가장 많았다. 6~8월에는 상대적으로 발생일수가 적었다. 발생횟수와 발생일수의 분포에서 보면 여름철 바람시어 빈도가 낮음을 알 수 있다(그림 3).

2.3 사례분석

2.3.1 2007. 2. 14. 사례

가) 기상실황



[그림 4] 기상일기도 (2007.02.14. 09KST)

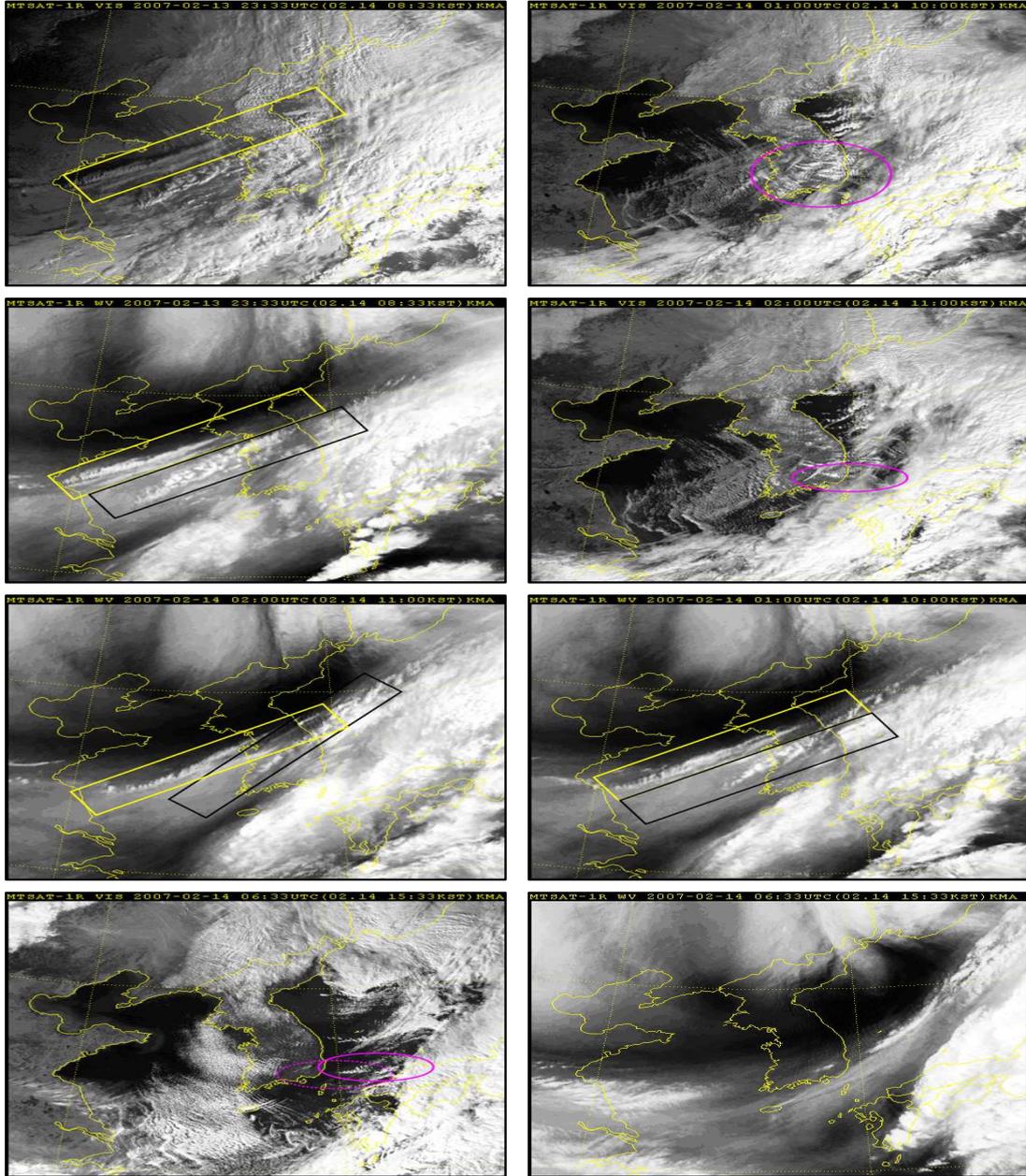
서고동저형기압 배치에서 저기압이 동해상으로 빠져나가고 만주지방에 고기압 중심 위치한 상태로 310~340 방향의 바람이 지속적으로 불었다. 또한, 전일 강수로 인해 대기가 온난습윤한 상태에서 한랭건조한 북서풍의 유입으로 불안정을 유발하고 있었다(그림 4).

이날 바람시어 Alert은 R18방향에서 0837~0854, 1011~1012, 1234~1238, 1513~1537, 1652분에, R36방향에서 1142~1144, 1233~1239, 1742분에 나타났다.

나) 위성영상 분석

한반도 북서쪽에 세로방향의 암역이 뚜렷한 것으로 보아(아침 5시) 한기이류가 강한 것으로 분석되었다. 또한 상/하층의 한기와 난기의 경계에서 황선과 대상대류운이 발생하여 서해상에서 점차 남동진하고 있다. 가시영상에서 보면 10시 전후 내륙지방에 형성되었던 파상운이 11시에는 가지산 부근에만 남아 있다. 이는 가지산을 기점으로 파동이 생길 수 있으며, 그 동쪽에 위치한 울산공항 부근의 풍향 변동이 커질 수 있음을 의미한다. 또한 10시까지의 나란하던 황선과 대상대류운이 서로 기울어지기 시작한다. 이러한 상하층의 바람 차이에 의해 바람시어가 발생할 수 있는 조건이 된 것으로

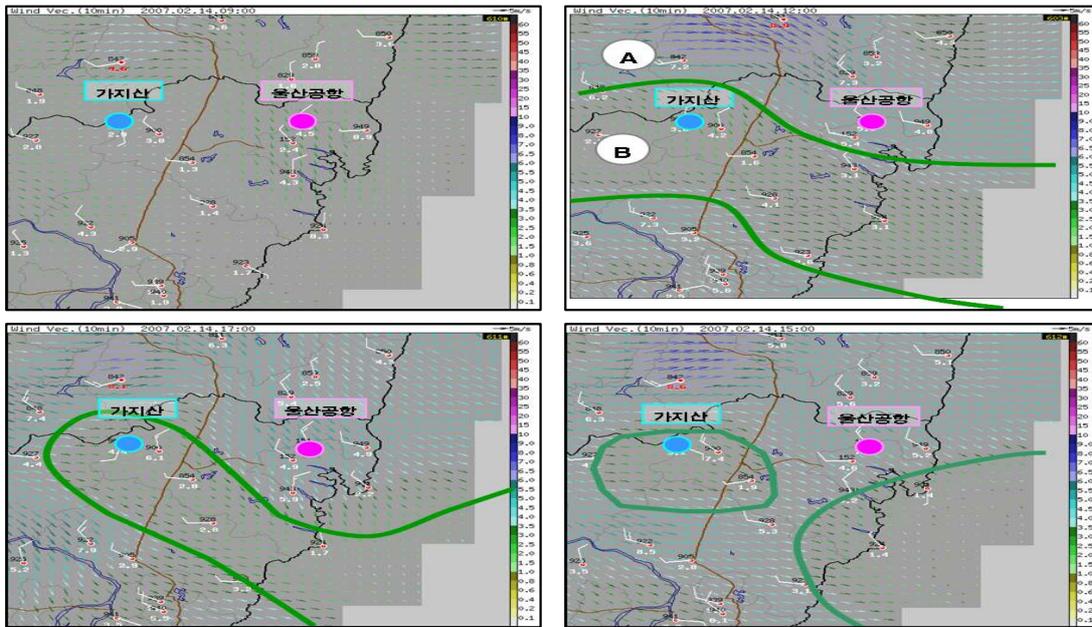
분석된다. 13시 이후 파상운의 기점이 다소 동쪽으로 이동하고 있지만 가지산 부근에 약하게나마 형태를 보이고, 상층의 암역경계가 아직은 뚜렷한 상태에 있다. 15시 이후에는 파상운이 동해상에서 나타나고 있으며, 암역의 경계가 흐려지고 있다. 이는 상층의 풍속이 약화되었음을 의미한다(그림 5).



[그림 5] 가시영상과 수증기 영상 (07.02.14.)

다) AWS 바람 분포

울산공항과 가지산을 중심으로 바람분포(그림 6)를 살펴보면, 9시에는 전반적으로 풍속이 약한 상태였다. 12시가 되면서 울산공항 북쪽(A)과 가지산 남쪽(S)에서 풍향 및 풍속차가 커지면서 울산공항 주변 대기에 파동이 발생한 것으로 분석된다. 14시 이후에는 풍향/풍속 차가 약해지고 가지산과 해안(공단, 울기)을 중심으로 풍속이 약해지면서 지형풍이 나타났다. 17시 이후에 해안까지 북서풍이 나타난 것으로 보아 울산공항 주변의 대기가 전체로 북서풍의 영향을 받은 것으로 분석된다.



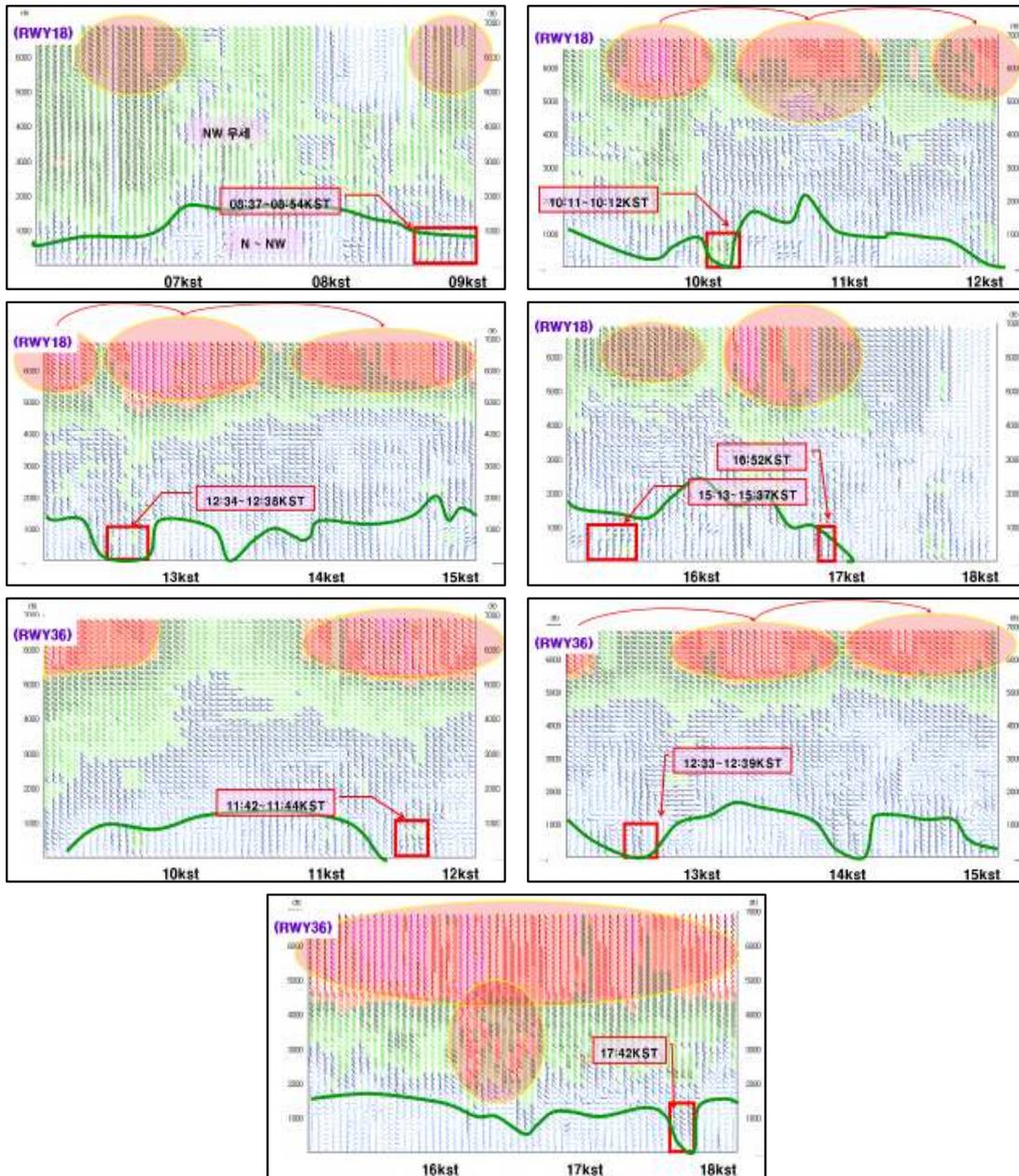
[그림 6] AWS 바람분포 (07.02.14.)

라) 윈드프로파일러 연직 바람 분포

북쪽(R18)은 9시 이전에 1,000ft 이상에서 북서풍이 유지되고 있었으며, 1,000ft 미만에서는 8시 이전에는 국지풍(북)풍이 우세하다가 8시 이후 북서풍으로 전이되고 있다. 또한 9시 전후 4,000ft 이상에서 북서풍이 강해지는 경향을 보였다. 이 강풍대는 17시 이후까지 유지되고 있다. 이는 가지산에서 나타난 파상운과 황선의 반영으로 판단된다. 10시 이후 하층에는 상층의 지원으로 일시적으로 NW풍이 강해지는 모습을 보이며 유사한 시기에 바람시어 Alert이 발생한 것으로 분석된다.

남쪽(R36)에서도 유사한 경향을 보이는데, 5,000ft 이상에서 강한 북서풍이 형성되었으며 북쪽보다 풍속이 더 강하게 나타난다. 특이한 점이 16시 이후 5,000ft 이상에서 60kt 이상 풍속이 강해졌으며 2,000ft까지 풍속이 강해지는 경향을 보였으나, 2,000ft 이하에

서는 풍속이 10kt 이하로 상하층의 풍속차가 컸음에도 불구하고 바람시어 Alert이 발생하지 않았다는 것이다.



[그림 7] 연직 바람분포 (RWY18) (07.02.14.)

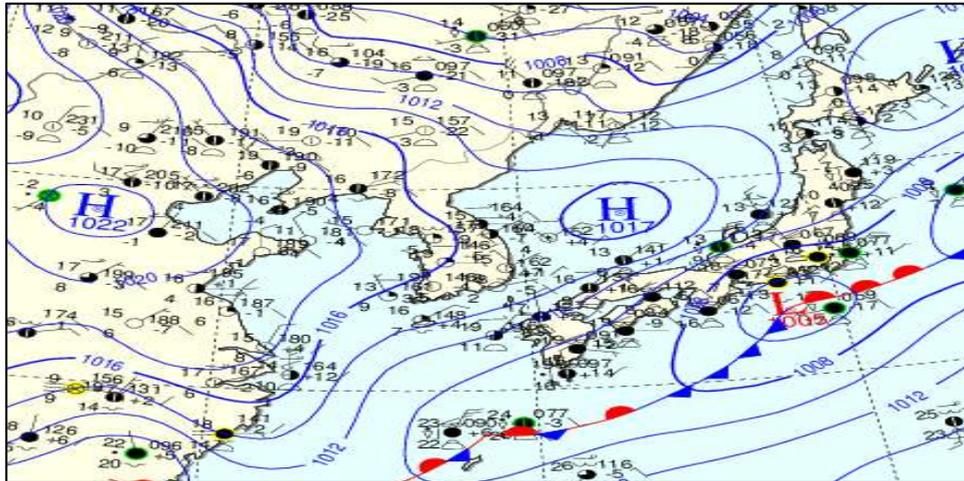
마) 분석

겨울철 동고서저형 기압배치에서 나타난 특징은 다음과 같다.

- (1) 수증기영상에서 세로암역이 나타난 것으로 보아 강풍이 예상되는 상태였으며, 한기와 난기의 경계에서 횡선과 대상대류운이 형성되었다. 또한, 가지산 부근에서 파상운이 형성되었다.
- (2) 연직바람분포에서 4,000ft 이상에서 강풍대가 나타났다. 이는 횡선과, 파상운의 반영으로 분석된다. 따라서, 대기 상층의 지원이 있을 때 바람시어 발생 가능성이 높은 것으로 판단된다.
- (3) 바람시어는 상층(수증기 영상의 횡선)과 하층의 한기 유입 차(상하층 tilting)가 나는 동안 발생하는 것으로 분석된다.
- (4) RWY18 방향에서 먼저 바람시어 Alert 이 발생하였다. 이는 R18쪽은 산간 내륙형으로 상층 기단에 빠르게 동화되고 R36쪽은 도심과 하천의 영향으로 느리게 반응했기 때문에 R18에서 먼저 Alert이 발생한 것으로 판단된다.

2.3.2 2007. 4. 23. 사례

가) 기상실황



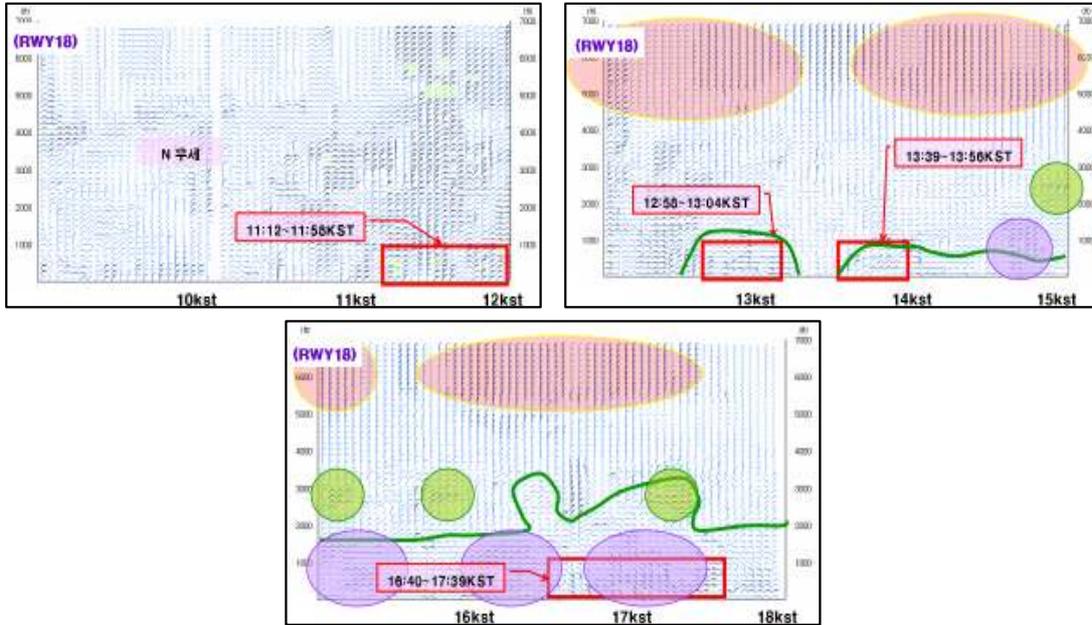
[그림 8] 지상일기도 (2007.04.23. 12KST)

화중지방에 중심을 둔 대륙고기압이 동해상으로 확장하였으며, 동해로 확장한 고압대는 동해상에서 고기압을 형성하였다(그림 8). 동해상에 위치한 고기압의 북동기류의 영향범위가 남하하고 있었으며, 성질이 다른 두 고기압의 영향을 받으면서 바람시어가 발생한 것으로 분석된다.

이날 바람시어 Alert은 R18방향에서 1112~1158, 1256~1304, 1339~1356, 1640~1739분에, R36방향에서 1307~1312, 1442~1502, 1538~1617분에 나타났다.

나) 윈드프로파일러 연직 바람 분포

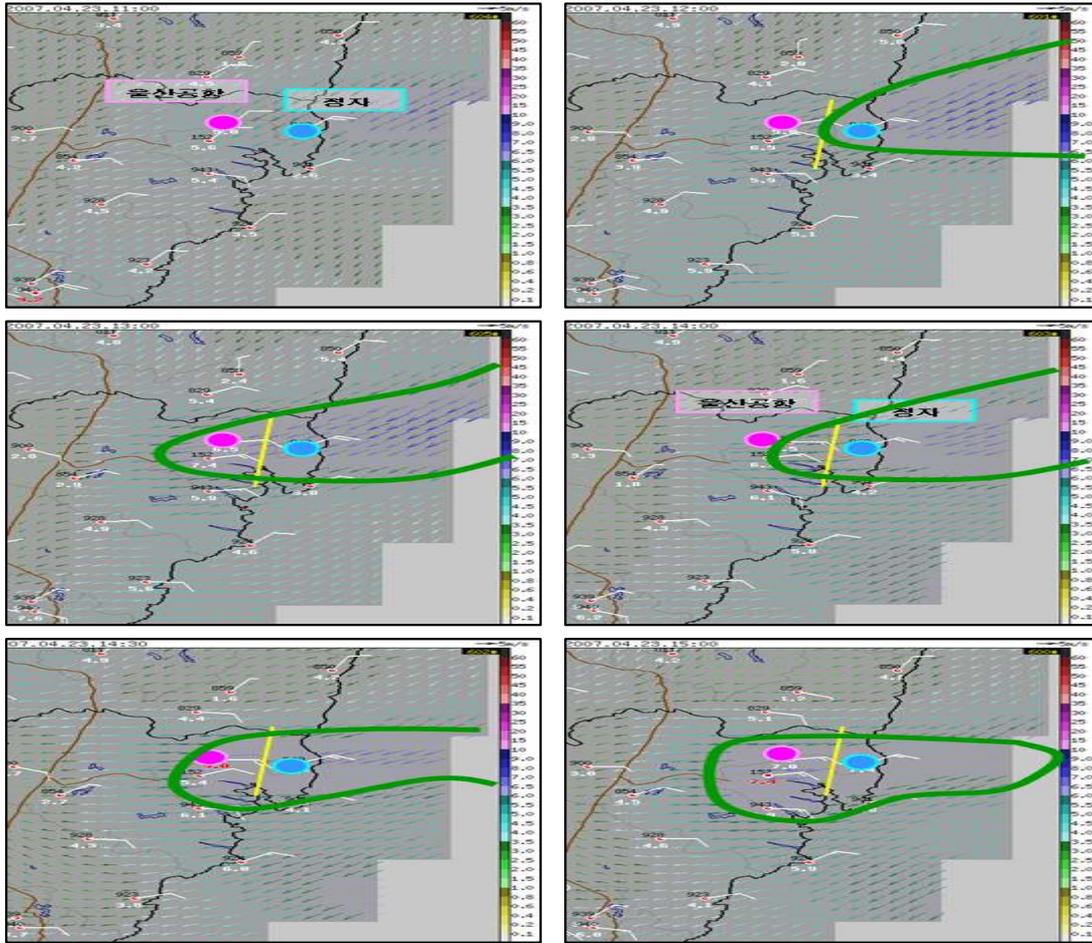
12시 이전에는 아직 동풍이 체계적으로 유입되지 않은 상태에서 N풍이 우세하다. 11시 이후 풍속이 강해지고 있었다. 12시 이후 5,000ft 이상에서 북풍이 다소 강해지기 시작하며, 하층에서 동풍이 나타나기 시작한다. 15시 이후에도 5,000ft 이상에서 북풍이 유지되고, 하층에서 동풍이 지속적으로 나타난다. 또한 3,000ft 부근에서 북동풍이 나타났다.



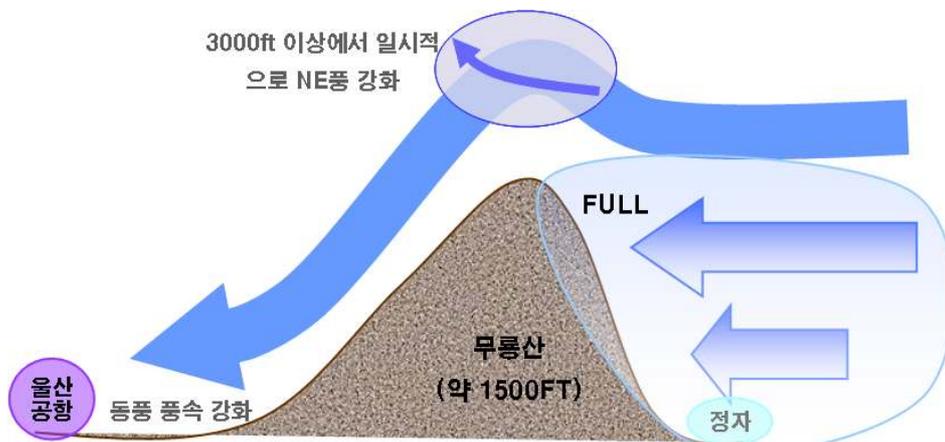
[그림 9] 연직 바람분포 (RWY18) (07.04.23.)

다) AWS 바람 분포

11시 이전부터 정자에서는 북동풍이 15kt 이상 불었으나 울산공항은 10kt 전후였다. 13시 이후 울산공항도 풍속이 강해졌다. 이는 동해상에 머물러 있던 동풍이 무룡산을 타고 넘어섰기 때문으로 판단된다. 그 모식도를 보자면 다음과 같다.



[그림 10] AWS 바람분포 (07.04.23.)

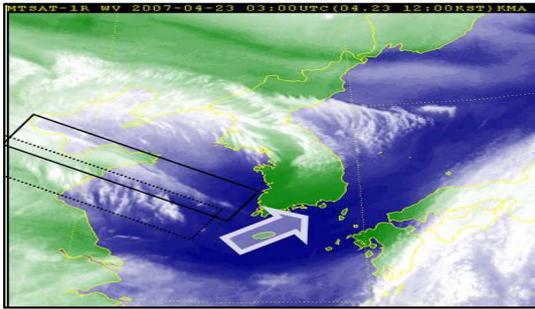


[그림 11] 4월 23일 동풍 유입 모식도

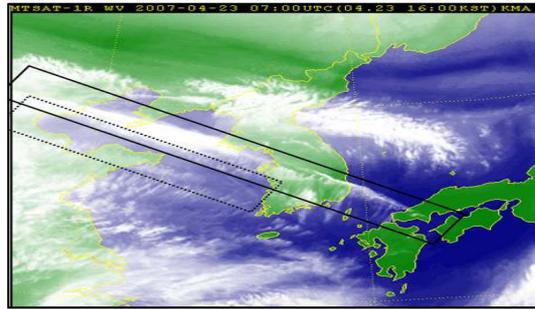
무룡산 동쪽에서부터 동풍이 나타나기는 하지만, 산을 넘지 못하고 산 동쪽에 축적되기 시작한다. 이 때 산 동쪽에 위치한 정자는 이미 동풍이 강하게 나타난다. 동풍이 축적되어 무룡산 고도까지 차게 되면 동풍이 산을 넘어 울산공항까지 유입되고 이 때 울산공항에서도 동풍이 강하게 나타났다. 동풍이 산을 넘어설 때 반동으로 3,000ft 이상에서 북동풍이 강화된 것으로 분석된다.

라) 위성영상 분석

수증기 영상을 살펴보면 10시에 화남지방에서 보이는 횡선이 북동진하고 있으며, 16시에는 울산공항을 지나고 있었다. 횡선이 접근하면서 5,000ft 이상에서 풍속이 강화된 것으로 판단된다.



[그림 12] 수증기영상 (07.04.23.)



[그림 13] 수증기영상 (07.04.23.)

마) 분석

동해상에 위치한 고기압의 영향으로 북동기류가 우세할 때의 특징은 다음과 같다.

- (1) 북동기류가 동쪽 산을 넘어 들어오면서 풍속 차에 의해 바람시어가 발생한 것으로 분석된다.
- (2) 북동진하는 횡선의 영향으로 상층에 풍속이 강화 되었으며, 이는 연직바람분포에서 5,000ft이상의 풍속강화로 나타났다.
- (3) 이 사례도 역시 R36보다 R18에서 바람시어 Alert이 먼저 발생하였다.

3. 결론

두 사례에서 바람시어 Alert은 R36보다 R18에서 먼저 발생하였다.

바람시어가 국지적으로 발생하기는 하지만, 직접적이든 간접적이든 상층의 지원이 있어야 오래 지속될 수 있는 것으로 판단된다. 상층의 영향은 연직바람분포에서 4,000ft 이상에서 풍속이 강해지는 것으로 반영되는 것으로 분석되었다.

2.1 예보착안사항

- 1) 최우선으로 바람시어 Alert 메시지에 주의한다.
R18의 Alert도 간과해서는 안 될 것이다.
- 2) 위성영상에서 횡선 또는 파상운이 형성되었는지 분석한다.
- 3) 윈드프로파일러 연직 바람분포에서 4,000ft 이상에 강풍대가 나타나는지를 관찰한다.
- 4) AWS바람벡터에서 주변의 풍향 및 풍속을 주의 깊게 관찰한다.

4. 참고문헌

기상청, 2000: 기상위성영상의 분석과 이용.

김광식, 1992: 기상학사전, 향문사.

항공기상대, 2006: 2006 항공기상 현업연구(Wind Profiler를 이용한 울산공항 지형풍 연구), p166-179.

항공기상대, 2006: 2006 항공기상 현업연구(남풍류에 의한 저층윈드시어 발생특성 및 예보 가이드스), p156-165.