

양양공항 측풍 특성 분석

김인식, 김지은, 전형일
양양공항기상실

1. 서론

1.1 연구목적

양양공항 활주로는 330°와 150° 방향으로 서쪽으로는 높은 태백산맥이 동쪽으로는 바다가 위치하고 있어 국지풍의 영향을 빈번하게 받는다. 주풍은 산맥을 넘는 바람인 서풍으로 이는 활주로에 직각방향이므로 항공기에게는 측풍으로 작용하여 운항의 위험요소로 작용하게 되고, 더구나 양양공항을 운항하는 항공기는 소형항공기와 훈련용 경량항공기들이 많기 때문에 바람에 더욱 민감한 영향을 받는다.

양양공항 항공기 운항의 가장 큰 저해요소인 바람에 관한 연구는 그동안 꾸준히 지속되어 왔으나 본 연구에서는 강풍에 집중되었던 선행연구결과에 양양공항 운항 항공기의 특성에 맞는 바람특성을 보완하여 항공기 안전운항에 기여하고자 한다.

1.2 자료 조사 기간 및 종류

1.2.1 조사기간

- 2007. 1. 1. ~ 2011. 12. 31. : 5년간

1.2.2 조사자료

- 양양공항 AMOS 풍향·풍속 데이터
- LLWAS 풍향·풍속 및 윈드시어 데이터
- 측풍발생일의 일기도 자료

1.3 연구방법

- 양양공항 지형 특성에 따른 국지풍 특성 분석
- 측풍분석 및 풍속구간 구분 목적 및 기준
- 측풍 발생율

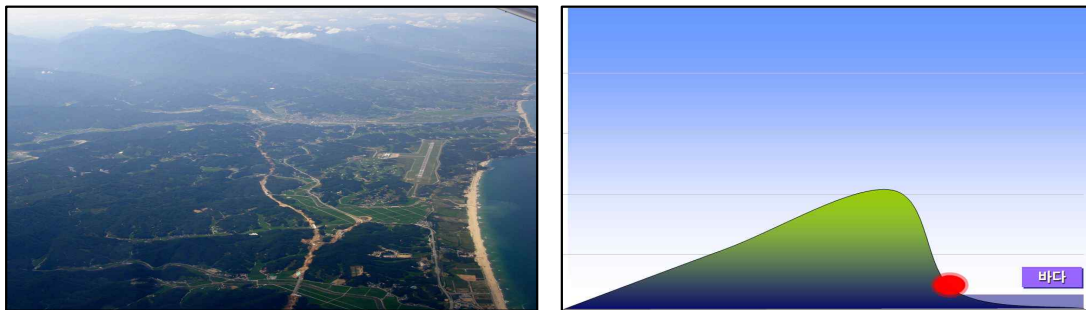
- 측풍 발생일의 월 별 발생특성 분석
- 측풍 발생일의 시간대 별 발생특성 분석
- 측풍 발생일의 종관적 특성 분석
- 측풍 발생일의 윈드시어 특성 분석
- 분석결과 종합을 통해 양양공항 국지풍 예보를 위한 특성 정립

2. 본론

2.1 양양공항 지형 특성에 따른 국지풍 특성 분석

2.1.1 지형특성

강원도는 설악산 대청봉(해발 1,708m)을 비롯해 해발 800~1,700m의 산들이 분포한 길이 600km의 태백산맥을 기준으로 영동과 영서로 나뉘어 각기 다른 기후특성을 나타낸다. 산맥의 서쪽은 완만한 경사면을 이루는 반면 동쪽은 급사면으로 동해에 접해있는데, 양양공항은 38° 03' N 128° 40' E의 영동북부지역에 속해있어 산악과 해양의 영향을 동시에 받는다. 이러한 지형적인 영향으로 서쪽의 강한 바람이 산맥을 불어 넘을 때 산맥의 풍하측에서는 강한 하강기류가 생긴다. 이 하강기류의 일부는 해안까지 지형 장애물의 영향을 받지 않고 그 풍속을 그대로 유지하여 전달되어지고, 한편 또 다른 하강기류의 일부는 연속되는 낮은 구릉지의 풍상, 풍하를 겪으며 풍속이 감쇠하는 현상이 일어난 채 전달되어져 지형에 의한 풍속차에 원인을 둔 윈드시어가 발생하기도 한다(현업연구, 2006).

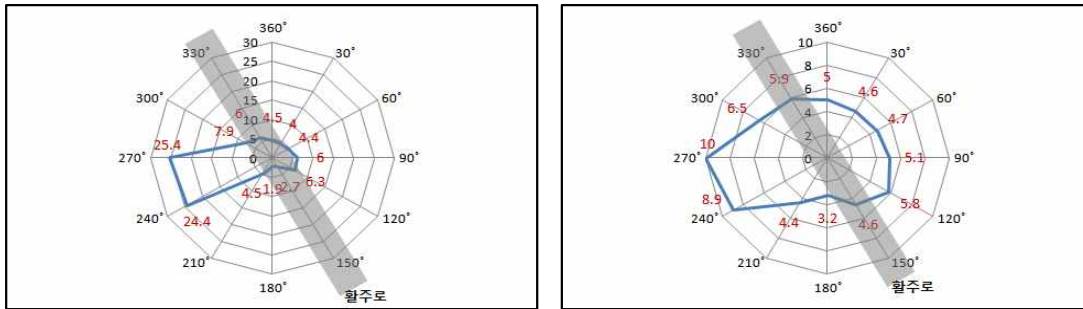


[그림 1] 양양공항 지형특성

2.1.2 국지풍 특성 분석

2007년부터 2011년까지 최근 5년 간 바람자료를 풍향 30° 간격으로 나누어 풍향별 발생빈도와 평균풍속을 살펴보았다. 양양공항의 경우 앞서 살펴본 지형특성 상 서쪽으로는 산맥이 동쪽으로는 해양이 위치하여 해안선에 평행하게 위치한 활주로 방향 330°와

150°를 기준으로 서풍계열(180°~330°)은 육풍, 동풍계열(360°~120°)은 해풍으로 해륙풍이 구분되며 이때의 바람특성이 뚜렷하게 달라진다. [그림 2]에서 나타나듯 전체의 70%가 서풍계열(180°~330°)이며, 그 중에서도 240~270°방향의 바람이 50%로 탁월하게 나타났다. 평균풍속은 5.7KT로 동풍계열(360°~120°) 바람은 5.0KT, 서풍계열(180°~330°)은 6.5KT로 해풍에 비해 육풍이 강한 특징을 보였으며, 그 중에서도 발생빈도가 가장 높았던 240~270°방향의 바람이 8.9~10.0KT로 풍속도 가장 강하게 나타났다. 결국 양양공항은 240~270°방향이 주풍이며 풍속도 강하게 나타났다.



[그림 2] 풍향별 발생율(%)(좌), 풍향별 평균풍속(KT)(우)

2.2 측풍분석 및 풍속구간 구분 목적 및 기준

2.2.1 측풍 및 풍속구간 구분 목적

2.2.1.1 측풍분석

양양공항은 바람이 항공기 운항의 가장 큰 저해요소이므로 그동안 바람특성에 관한 다양한 연구가 이루어져 왔다. 강풍은 물론 항공기에 매우 위험한 요소이므로 많은 연구가 이루어져 왔지만, 우리가 정의하는 강풍의 기준을 밑돌더라도 항공기 기종과 바람의 방향에 따라 충분히 위험요소로 작용할 수 있다. 정풍(Headwind)은 풍속과 관계없이 비행기의 양력을 발생시키는 좋은 바람이지만, 측풍(Cross Wind)의 경우 일정 기준치 이상이 되면 비행기 엔진이 돌아가지 못해 위험하다. 엔진의 입구는 전방을 향하고 있어 공기가 엔진으로 들어와 압축하고 연소시켜 추력을 생성시키는데 엔진의 옆에서 바람이 불면 엔진 내로 공기가 유입되지 못해 엔진 내부를 파손시키기 때문이다.

양양공항의 경우 [그림 2]에서 분석한 대로 240~270°도 방향이 주풍으로 풍속도 강하게 나타나는데 이는 항공기의 측풍 방향으로 앞서 밝힌 이유에서 매우 위험한 방향의 바람이다. [그림 3]은 강풍특보 기준인 25KT의 바람이 불었을 경우 풍향별 받게 되는 측풍의 풍속을 계산하여 나타낸 그림이다. 330°와 150°를 기준으로 바람방향에 따라 활주로 방향을 바꿔서 사용할 수 있으므로 풍속은 활주로를 기준으로 하여 대칭형으로 나타났다. 예를 들어 주활주로 방향인 33°방향을 사용 시 330°방향의 바람은 25KT가 불더라도

항공기에 정풍으로 작용하므로 측풍은 0KT이지만, 300°는 12.5KT, 270°는 21.7KT, 240°방향은 25KT가 그대로 25KT의 측풍으로 작용하는 정측풍 방향이고 다시 차츰 감소하여 210° 21.7KT, 180° 12.5KT로 작용하다가 150°방향에서는 활주로 방향을 바꾸어 사용하면 되므로 다시 측풍 0KT의 정풍으로 작용하게 된다.



[그림 3] 양양공항 활주로를 기준으로 한 측풍

2.2.1.2 풍속구간 구분 목적

양양공항은 12월 현재 중국남방항공 전세기가 주4편, 코리아익스프레스에어의 18인승 Beechcraft 1900D 기종의 소형항공기[그림 4]가 김해, 광주, 김포 구간을 주18편 부정기편으로 운항하고 있다. 뿐만 아니라 2008년 정규편 운항이 완전 중단된 이후, 오히려 조종 훈련을 위한 항공기 운항이 급증하여 관제량을 기준으로 일 100~200편의 훈련비행을 하고 있어 Cessna 기종의 경항공기들의 전체 운항항공기들의 가장 많은 비율을 차지하고 있는 실정이다.



[그림 4] 양양공항 주요 운항 항공기 기종

양양공항의 바람에 관한 최저기상조건은 정측풍 30KT로 운영되고 있으나, 작은 규모의 항공기들은 기상에 대한 영향을 더욱 민감하게 받는 바 이·착륙제한치도 낮아지고, 기상에 관한 문의에 있어서도 그에 따른 정보를 주로 요구한다. 이에 양양공항 주요

운항항공기 기종별 기상제한치를 파악한 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 양양공항 주요 운항항공기의 바람에 관한 기상최저치

항공사	기종	이·착륙제한치	비고
코리아익스프레스에어	Beechcraft 1900D	측풍 22KT	제작사 권장
클럽뷰티플라이 한국조종사교육원	Cessna	측풍 15KT	제작사 권장
산림항공본부	회전익	중형:평균풍속 20KT(10m/s) 대형:평균풍속 30KT(15m/s)	산림항공기운영규정 (제25조)
	고정익(단발)	측풍 14KT(7m/s)	

2.2.2 연구에 사용된 측풍 및 풍속구간 설정 기준

[그림 3]에서 계산한 대로 활주로 방향에 따른 양양공항 정측풍 방향은 240°방향과 60°방향이다. 하지만 본 연구에서는 발생빈도가 낮고 발생 시 풍속이 작아 위험요소가 상대적으로 60°방향의 동풍계열 측풍은 제외하고, 발생빈도가 높고 강풍이 주로 나타나는 서풍계열만을 대상으로 하였으며 [그림 2]의 풍향별 발생율을 참고하여 강풍이 주로 나타나는 230°~280°방향에서 일최대풍속 발생했던 날을 대상으로 삼았다. 아울러 수요자의 요구에 대한 분석을 통해 더욱 정확한 기상정보를 제공하기 위하여 <표 1>의 항공기 기종별 이·착륙제한치를 고려하여 최종적으로 <표 2>를 기준으로 하여 그 특성을 분석하였다.

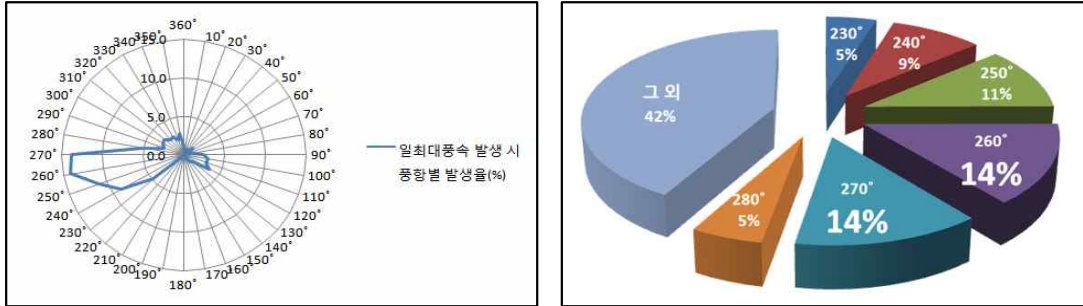
<표 2> 연구에 사용된 측풍 및 풍속구간 기준

풍향	정측풍	일최대풍속 발생시 풍향 230° ~ 250°
	측풍	일최대풍속 발생시 풍향 230° ~ 280°
풍속구간	강풍경보 및 Beechcraft 1900D 고려	일최대풍속 25KT 이상
	Cessna 등 훈련용 경항공기 고려	일최대풍속 15KT 이상

2.3 측풍 발생율

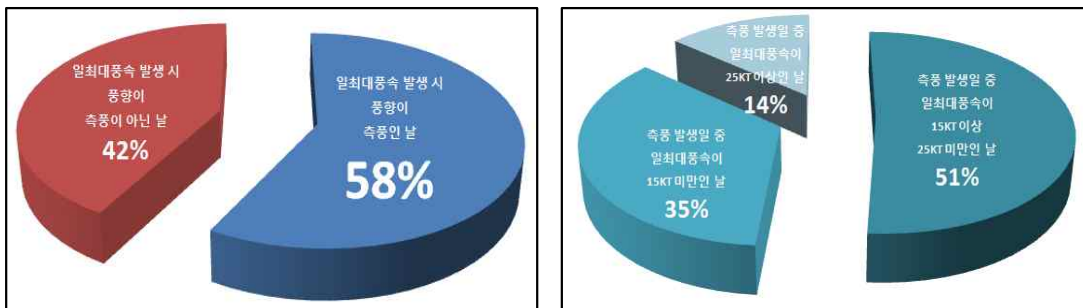
자료 조사기간인 2007년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 최근 5년(1826일) 간 일최대풍속 발생시 풍향별 발생율은 [그림 5]와 같다. 230°~280° 범위(이하 측풍범위)에서

일최대풍속이 발생한 날(이하 측풍발생일)은 총 1061일로 전체의 58%가 측풍의 범위에서 발생하였으며, 정측풍의 범위인 230°~250° 범위(이하 정측풍)에서도 24.9%(455일)의 높은 발생율을 보였다. 측풍의 범위 내에서는 비교적 고른 발생을 보였으나, 그 중에서도 260°~270°에서의 발생이 많았다.



[그림 5] 일최대풍속 발생 시 풍향별 발생율

측풍 발생일 중 일최대풍속이 15KT 이상인 날은 790일로 86%였으며, 그 중에서도 25KT 이상인 날은 146일(14%) 나타났다. 풍향은 역시 비교적 모든 방향에서 고르게 나타났으며 두가지 경우 모두 270° 방향에서의 발생이 가장 많았다.



[그림 6] 측풍 발생율(좌), 풍속구간별 측풍 발생율(우)

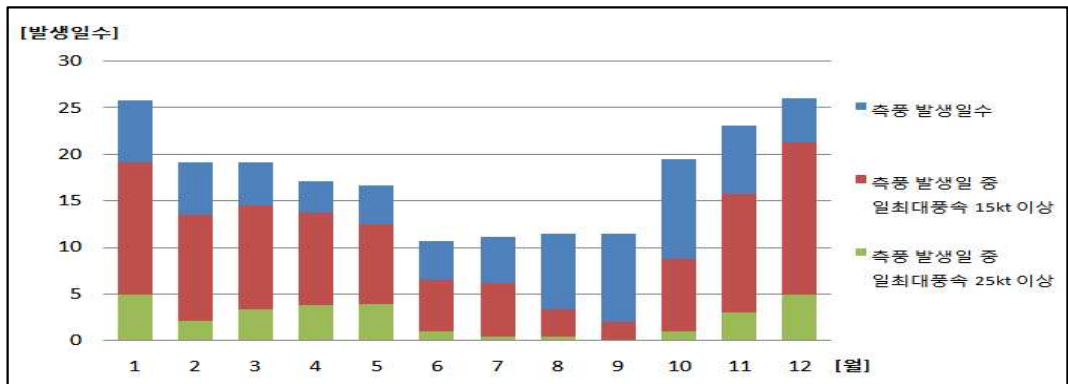
2.4 월 별 발생특성

월평균 측풍 발생일수는 17.7일로 월 별로 살펴보면 12월이 월평균 26일로 가장 높은 발생빈도를 6월이 10.8일로 가장 적은 발생빈도를 보였다. 계절적으로 겨울철의 경우 20일에서 25일로 거의 대부분 측풍에서 일최대풍속이 발생함을 알 수 있었고, 가장 적게 발생한 여름철의 경우도 10일 정도로 한달의 3분의 1이상이 측풍의 영향을 받는 것으로 나타났다. 일최대풍속이 15KT 이상인 날의 경우 12월이 21일로 가장 많았고 9월이 2일로 가장 적었으며, 25KT 이상인 날의 경우도 12월과 1월이 5일로 월 별로 격차가 매우 컸으

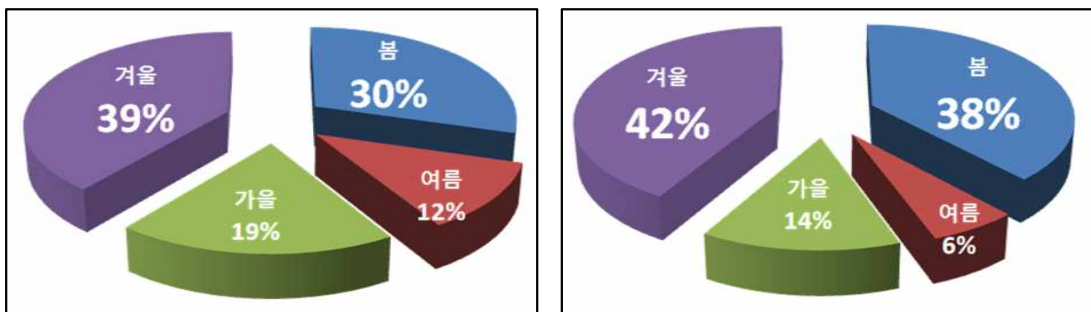
며 겨울철이 풍속도 강하고 측풍의 영향을 크게 받아 가장 위험한 계절임을 확인할 수 있었다.

<표 3> 월평균 측풍 발생일수

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
측풍 발생일수	25.8	19.2	19.2	17.2	16.8	10.8	11.2	11.6	11.6	19.6	23.2	26	17.7
측풍 발생일 중 일최대풍속 15KT 이상	19.2	13.6	14.6	13.8	12.6	6.6	6.2	3.4	2	8.8	15.8	21.4	11.5
측풍 발생일 중 일최대풍속 25KT 이상	5	2.2	3.4	3.8	4	1	0.4	0.4	0	1	3	5	2.4



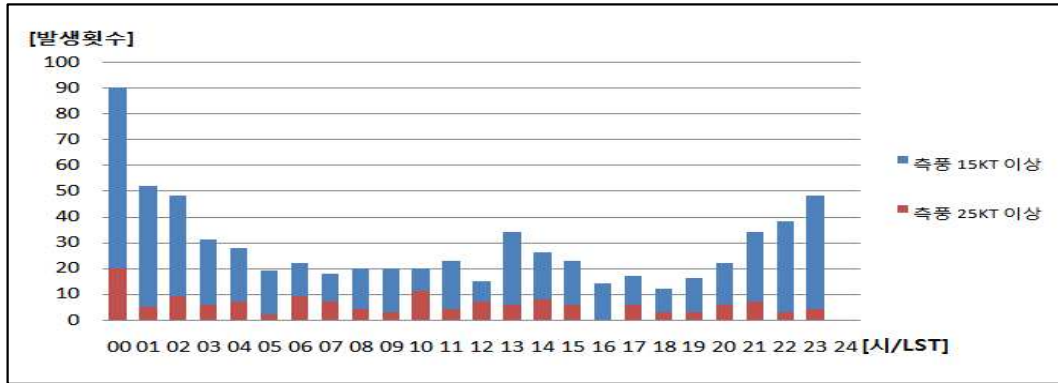
[그림 7] 월 평균 측풍 발생일수



[그림 8] 일최대풍속 15KT 이상 계절별 측풍 발생율(좌), 일최대풍속 25KT 이상 계절별 측풍 발생율(우)

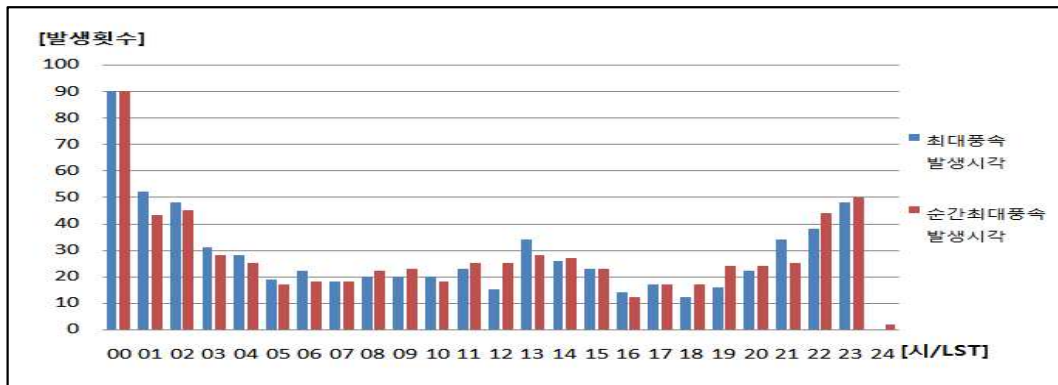
2.5 시간대 별 발생특성

15KT 이상의 측풍의 시간대별 발생횟수는 자정 무렵인 00시가 90회로 가장 많았고 22시부터 2시 사이가 높은 빈도를 보였으며, 25KT 이상의 측풍도 00시의 발생빈도가 가장 높고 그 외 시간은 비교적 고른 분포를 보여 전체적인 경향성은 15KT 이상 측풍 발생일과 같았다.



[그림 9] 시간대 별 측풍 발생횟수

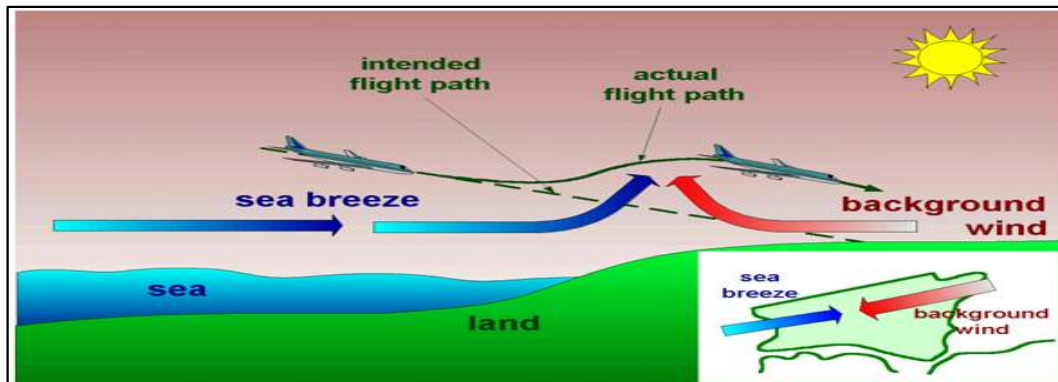
강풍은 주로 항공기 운항이 없는 야간에 발생한 것으로 보이나, 특이할만한 점은 순간최대풍속의 발생시각이다. 순간최대풍속 발생시각의 경우 일최대풍속 발생시각과 대체로 유사성을 보였으나, 8시부터 12시까지 특히 한낮인 12시의 발생빈도가 상대적으로 높게 나타난 것이 특징이다.



[그림 10] 측풍 15KT 이상일의 최대풍속과 순간최대풍속의 시간대 별 발생횟수

이는 야간의 경우 종관풍인 서풍에 국지풍으로 작용하는 육풍의 서풍이 더해져 바람이 강해지고, 한낮의 경우 종관풍인 측풍, 서풍이 우세하게 작용하나 해풍인 동풍의 영향

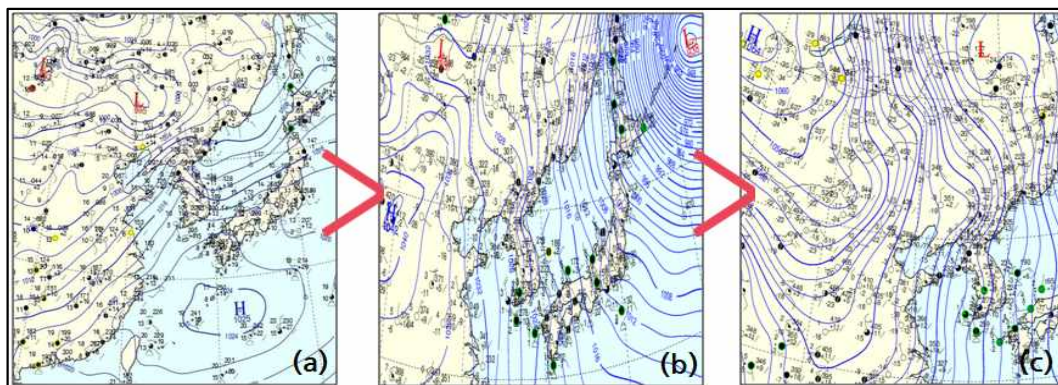
을 동시에 받고 또한 지면 가열로 인한 불안정이 가중되어 돌풍의 형태인 순간최대풍속이 많이 나타난 것으로 판단된다.



[그림 11] 한 낮 잦은 순간최대풍속 발생 원인

2.6 종관적 특성

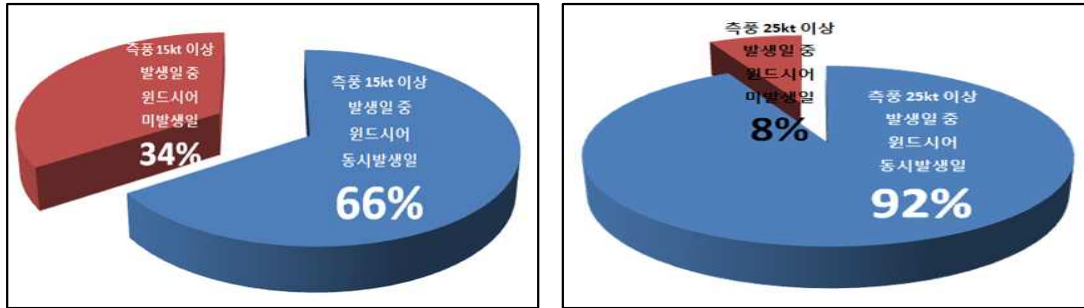
측풍 발생일이 겨울철과 봄철에 집중되었던 만큼 일기도 패턴도 남고북저형과 서고동저형, 대륙고기압 확장형이 많았다. 절반 이상의 발생빈도를 보인 남고북저형의 경우 지형적인 특성으로 25KT 이상의 강풍을 유발하는 경우가 많았고, 15KT 이상 25KT 미만의 경우 겨울철의 대표적 형태인 서고동저형과 대륙고기압형에서의 발생이 많았다. 서고동저형에서 발생한 측풍의 경우가 대륙고기압의 확장으로 인해 발생한 경우보다 윈드시어가 동반되는 경우가 많았으며, 동일한 기압 패턴에서 윈드시어의 발생유무는 일기도 상의 특징으로 뚜렷한 차이점이 나타나지 않는 것으로 보아 종관장의 차이보다는 국지적 지형에 관련된 지상풍이 원인인 것으로 생각된다.



[그림 12] 지상일기도(a: 남고북저형, b: 서고동저형, c: 대륙고기압 확장형)

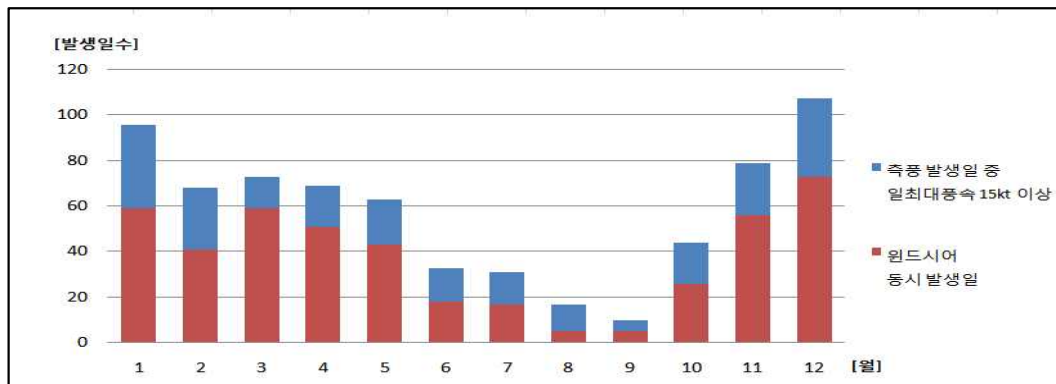
2.7 윈드시어 발생특성

15KT 이상 측풍발생일의 경우 전체 66%, 25KT 이상 측풍발생일의 경우 92%가 윈드시어를 동반하였다.



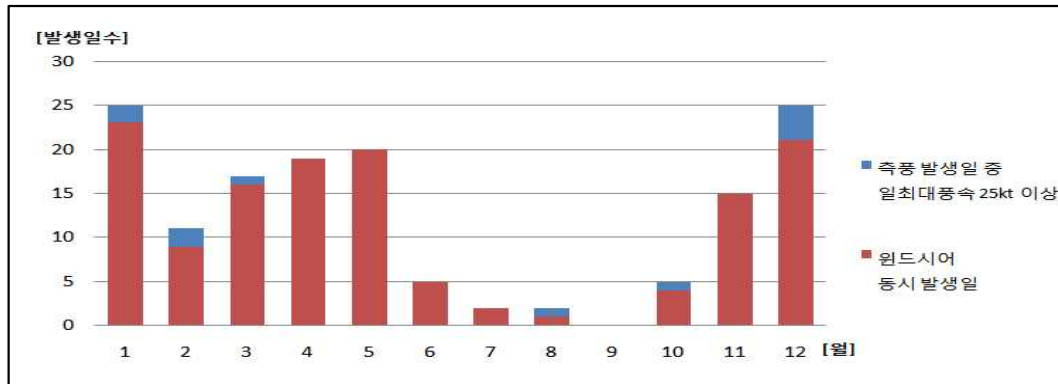
[그림 13] 측풍 15KT 이상일과 25KT 이상일 중 윈드시어 동시발생일

측풍발생일을 윈드시어 발생일과 월별로 비교해보면, 15KT 이상 측풍발생일의 경우 12월과 1월 순으로 겨울철의 발생이 가장 많았지만 윈드시어가 동반되는 경우는 60%~70%로 나타난 반면 3월 80%, 4월과 5월은 70% 내외로 봄철에 윈드시어가 동반되는 경우가 더 많았고 발생일수가 적었던 8월의 경우 윈드시어가 동반되는 경우는 30% 이하로 나타났다.



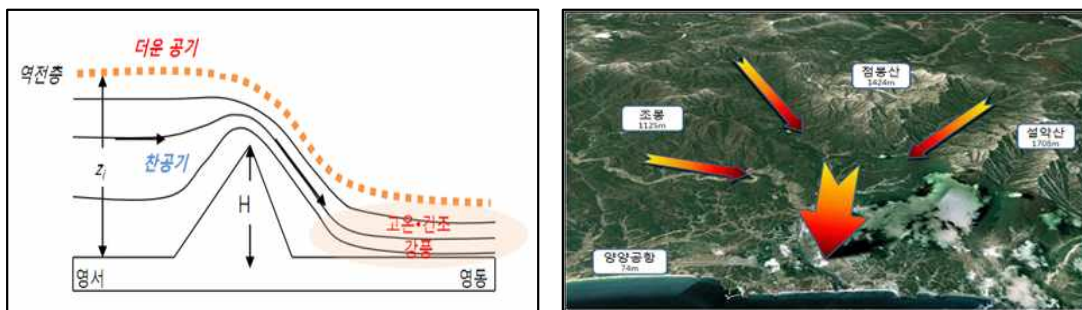
[그림 14] 측풍 15KT 이상일의 월 별 윈드시어 동시발생일

25KT 이상 측풍발생일의 경우 전체 146일 중 윈드시어가 동반되지 않은 경우는 11일로 강한 바람이 불 때는 윈드시어를 동반하는 경우가 대부분이었다.



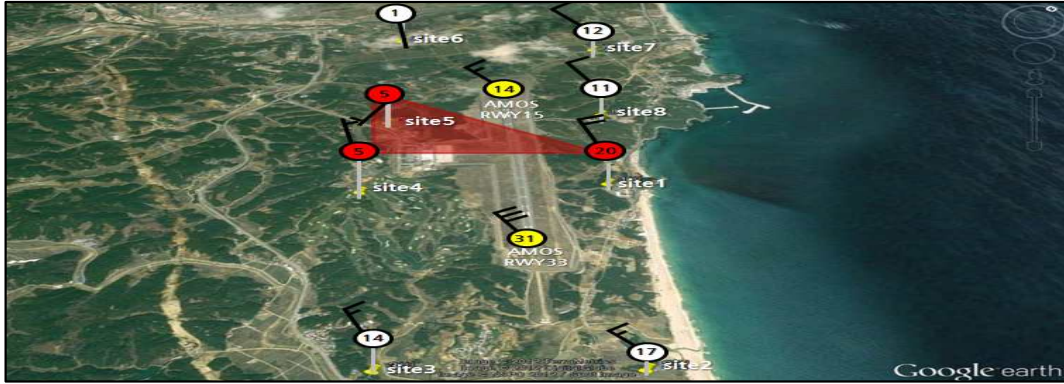
[그림 15] 즉풍 25KT 이상일의 월 별 윈드시어 동시발생일

원인으로는 태백산맥을 지나는 기류가 풍하측인 양양공항에 강한 하강풍을 발생시키고 지형적인 영향으로 수렴역이 형성되어 양양공항은 강풍 발생빈도가 높다.



[그림 16] 양양공항 강풍 발생원인

이러한 하강풍이 지형의 영향으로 해안가에 인접한 LLWAS 사이트들은 지형 장애물의 영향 없이 산맥 풍하측에서 생기는 강한 하강기류의 풍속을 그대로 유지하며 전달되는 반면, 구릉지의 끝에 위치하거나 낮은 언덕에 위치한 고도가 낮은 사이트들은 풍속이 감소되어 각 사이트 간 풍속차가 유발되며 윈드시어가 발생한 것으로 판단된다. 또한 순간최대풍속이 한낮인 12시에 발생했던 경우 모든 사례에서 윈드시어가 동반된 것으로 보아 역시 지형적인 영향인 중관풍과 해풍의 충돌로 인해 발생한 것으로 생각된다.



[그림 17] 양양공항 윈드시어 발생원인

3. 결론

3.1 요약

측풍 발생확률	58%	15KT 미만	35%			측풍 발생시 풍향 270° 최다
		15KT 이상 25KT 미만	51%			
		25KT 이상	14%			
월 별 발생특성	월평균 17.7일	15KT 이상	최다 12월 (21일)	최소 9월 (2일)	겨울철과 봄철 70~80%	
		25KT 이상	최다 12월 (5일)	최소 9월 0일		
시간대별 발생특성	00시 최다 (22~02시)	15KT 이상	최다 00시	최소 18시	순간최대풍속 한낮 12시 발생빈도 높음 (윈드시어 발생)	
		25KT 이상	최다 00시	최소 16시		
종관적 특성	15KT 이상 25KT 미만	서고동저형 대륙고기압확장형		겨울		
	25KT 이상	남고북저형		봄		
측풍+윈드시어 발생확률	15KT 이상	66%	서고동저형 윈드시어 동반	겨울철과 봄철 70~80%		
	25KT 이상	92%	남고북저형 윈드시어 적음			
윈드시어경보 발표 가능성	⇨ 측풍 25KT 이상 예상 시 강풍경보와 함께 윈드시어경보 예상					
	⇨ 낮 동안 측풍 15KT 이상 예상될 때 10~13시 윈드시어경보 예상					

3.2 분석결과 정리

태백산맥의 풍하측에 위치한 양양공항의 경우 일최대풍속 발생 시 전체의 58%가 230°~280° 범위로 측풍의 범위에서 발생하는 경우가 많다. 일최대풍속이 경향공기 바람이 ·착륙제한인 측풍 15KT 이상인 날은 38%였으며, 25KT 이상인 날도 8% 나타났다.

계절적으로는 봄철과 겨울철에 70%가 집중되었고, 시간대별로는 자정을 전후한 야간 시간대의 발생이 많았으나, 순간최대풍속의 경우 전체적인 발생시각은 유사하였지만 8시

부터 12시 그 중에서도 정오인 12시의 발생빈도가 높게 나타난 것이 특징이다.

지역적으로 강한 바람이 발생하는 봄철 남고북저형 기압패던의 경우 25KT 이상의 강풍으로 발생하는 경우가 많았고, 25KT까지의 강풍은 아니지만 15KT 이상의 측풍은 서고동저형과 대륙고기압이 확장하는 경우가 많았다. 또한 서고동저형의 경우 대륙고기압이 확장하는 경우보다 윈드시어가 동반되는 경우가 많았다. 봄철과 겨울철의 경우 측풍이 발생한 날 윈드시어가 동반되는 경우도 70~80%로 나타나 그 위험성이 더욱 크다.

양양공항의 윈드시어는 국지적 지형에 의해 발생하는 경우가 대부분으로 예측이 더욱 어려운 실정이다. 하지만 분석결과에 따르면 25KT 이상의 측풍은 90% 이상 윈드시어를 동반하였고, 25KT까지는 아니라도 15KT 이상의 바람이 불고 순간최대풍속이 한낮에 나타날 경우 모든 경우에서 윈드시어가 발생되었으므로, 이와 같은 기상상황이 예상된다면 선행시간을 확보하여 윈드시어경보 발표를 고려해야겠다. 향후 더욱 많은 사례에 대한 분석과 모델과 실황에 대한 검증 등을 지속적으로 실시하여 예측 가능한 판단기준을 정립, 예보나 경보에 직접적으로 활용할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하겠다.

4. 참고문헌

강원지방기상청, 2003 : 강원지역 국지예보 종합 가이드스(Guidence).

강원지방기상청, 2004·2005·2006 : 국지기상 집중연구 보고서(I)(II)(III).

기상연구소, 2004 : 강릉시 주변의 바람특성 연구.

항공기상청, 2011 : 2010 항공기상 현업연구.

최효, 2005 : 속초, 양양지역에서 바람의 생성역학.