해륙풍에 따른 양양공항 기온변화 연구

정강아, 김지은, 전형일
양양공항기상실

1. 서론

양양공항 활주로는 해안선에 인접하게 위치하고 있어, 해륙풍에 의한 바람의 영향을 많이 받는다. 이러한 해륙풍의 전환은 예보 시 바람의 방향뿐만 아니라, 낮 최고기온 형성시점 및 기온변화 경향에 커다란 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 종관적인 기압패턴에 의함이 아닌 순수하게 해양과 지면의 열적 성질 차이가 원인으로 발생한 해륙풍의 기준을 선정, 발생일을 조사하고 해륙풍의 발생 환경과 상관관계를 가진 인자들의 분석을 통한 해륙풍 발생 원인을 분석해내며 해륙풍 발생일의 해풍 유입시점 및 지속시간 기온변화 자료를 분석하여 해륙풍 발생일의 기온변화 경향을 예측하여 이착륙예보 발표 시 기온예보에 활용하고자 한다.

2. 본론

2.1 자료 조사 기간 및 자료 종류

2.1.1 자료조사기간 : 2004. 1. 1. ~ 2006. 12. 31. 3년간

2.1.2 자료종류

가) 일 항공기상통계표 (풍향 풍속 및 기온자료)

나) 지상일기도

다) 속초지역 풍향 · 풍속 · 기온 · 고층 및 국립해양조사원 속초검조소 수온자료

라) 강릉지역 풍향 · 풍속 · 기온자료

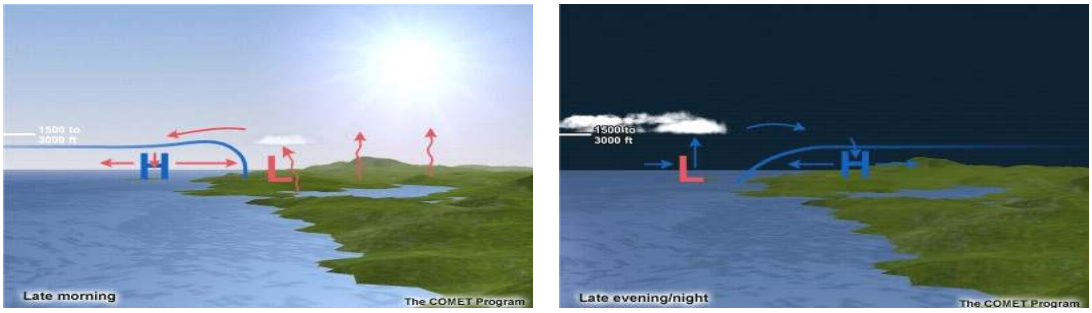
2.2 자료 분석

2.2.1 해륙풍 선정 기준

가) 해륙풍 발생 매커니즘

해륙풍은 해안지방이나 큰 호수 연안지방에서 나타나며 낮과 밤에 풍향이 바뀌는 국지바람의 일종이다. 낮에는 바다나 호수에서 육지로 해풍이 불고 밤에는 육지에서 바다나 호수쪽으로 육풍이 분다. 수면과 지면의 열용량의 차이 및 열전달방법이 다르기 때문에 낮에는 같은 위도의 수면보다 지면의 공기가 더 빨리 가열되므로 밀도차가 심

해져서 기압경도가 형성되므로 국지적 순환을 형성하게 된다. 해륙풍이 부는 범위는 비교적 좁아서 해안에서 육지로 40~50km, 그리고 해안에서 해상으로 약 10km에 달하며, 연직방향으로는 지상에서 약 1km전후이다(김광식, 1992).



[그림 1] 해륙풍 발생 매커니즘

나) 양양공항 주변 지형 지세

양양공항은 38°04′N, 128°40′E에 위치하고 있으며 해발높이는 73.5m이다. 북서에서 남동쪽으로는 태백산맥이 해안과 나란하게 북에서 남으로 뻗어 있어 설악산(1,708m), 오대산(1,563m)등이 이어져 높고 험준하며 동쪽으로는 동해바다와 접하고 있다. 해안선의 방향은 양양공항의 활주로 방향과 평행한 330°~150° 방향으로 40.3km에 이르고 해안을 따라 2~4km 너비로 길게 발달된 약간의 평지가 있다(항공기상 예보기술지침Ⅱ, 2006).

다) 해륙풍 선정 기준

본 연구에서는 고기압의 영향권 하에서 하루 동안의 풍향이 낮에는 해풍 밤에는 육풍으로 변화를 보인 날 중, 해안선의 위치와 양양공항의 지리적 지형적 특성을 고려하여 [그림 2]와 같이 해풍과 육풍의 범위를 설정하고 해풍의 유입시간이 3시간 이상 지속된 날 중 <표 1>의 조건을 만족하는 경우를 국지적 지형풍의 원인으로 발생한 해륙풍으로 정의하고 조사하였다.

<표 1> 해륙풍 선정 기준

풍향	해 풍 340° ~ 140°
	육 풍 320° ~ 160°
풍속	3kt 이상
하늘상태	전운량 4할(구름조금) 이하 무강수일
기압 패턴	고기압 영향권
지속시간	해풍 유입이 3시간 이상 지속된 날

[그림 2] 양양공항 해륙풍 풍향 범위

2.2.2 양양공항 해륙풍의 발생학적 특성

가) 해륙풍 발생 일수

2004년 1월부터 2006년 12월까지의 해륙풍 발생 일수는 총 215일로 2004년 77일 2005년 73일 2006년에 65일로 매년 70여일 정도의 발생 일수를 보였다. <표 2>의 월별 해륙풍 발생 현황을 살펴보면 전형적인 고기압의 영향을 주로 받는 이른 봄과 이동성 고기압의 영향을 받는 가을철인 3월과 10월이 다른 계절에 비해 종관풍이 약한 온난한 날씨를 보이므로 각각 24회 32회로 해륙풍의 발생이 탁월했다. 이 중 10월의 경우 발생 일수가 8일에서 14일로 한달 중 많게는 절반까지도 해륙풍의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 지표면 가열이 가장 강한 여름철에 해륙풍이 빈번하게 나타날 것을 예상하였으나 장마전선의 영향으로 흐리고 강수가 있는 날이 많았던 7월은 4회로 가장 적은 발생 일수를 보였다.

<표 2> 월 별 해륙풍 발생 일수

월 / 년	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
2004	7	4	7	6	2	7	1	7	5	14	9	8	77
2005	4	6	11	6	9	5	3	5	5	10	5	4	73
2006	4	5	6	7	4	4	0	7	9	8	5	6	65
합계	15	15	24	19	15	16	4	19	19	32	19	18	215

나) 해풍 유입시점

2004년 1월부터 2006년 12월까지 3년간 항공기상통계자료를 활용해 7시 이전에는 서풍계열의 바람이였다가 이 후 동풍계열로 바뀐 후 3시간 이상의 지속시간을 보인 뒤 다시 서풍계열의 바람으로 풍계가 바뀐 일을 <표 3>과 같이 월 별, 유입시점별로 분류해보았다. 유입시점은 10시~12시가 전체의 65%로 가장 높은 빈도를 보였고 일반적으

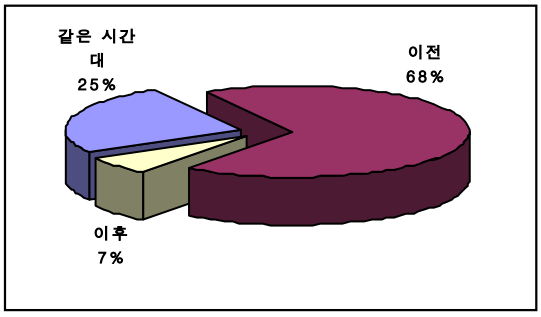
로 해풍은 보통 해가 뜬 후 2~4시간 내에 발달하기 시작함을 증명하듯 겨울철에는 11시 이후에 유입되던 해풍이 일출시간이 빨라지는 여름으로 갈수록 유입시점도 빨라져 7시~9시의 유입빈도가 늘어나다가 다시 유입시점이 차츰 늦어지는 계절적인 경향을 알 수 있었다.

<표 3> 2004년~2006년 월 별 해풍 유입시점

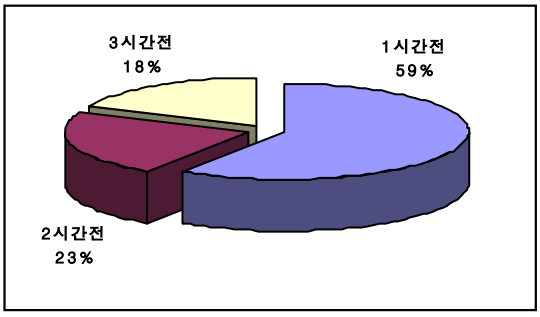
	5시	6시	7시	8시	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	합계
1월							6	8		1			15
2월						3	2	6	3	1			15
3월				1	5	6	4	4	4				24
4월				2	7	4	2	1		3			19
5월			4	2	4	4		1					15
6월			1	7	2	1	1	3	1				16
7월				1		2		1					4
8월				4	7	3		2	2	1			19
9월				1	3	10	2	3					19
10월					3	15	8	4	2				32
11월						4	9	3	2	1			19
12월							7	11					18
합계	0	0	5	18	31	52	41	47	14	7	0	0	215

(1) 속초지역과의 유입시점 비교

인근 속초의 관측자료와 해풍 유입시점을 비교한 결과, [그림 3]와 같은 경향을 보였다. 2004년~2006년 양양공항의 해륙풍 발생일 215일 중 속초에 해륙풍 전환이 발생하지 않은 날은 2일, 양양공항보다 느리게 해풍이 유입된 경우는 14일이였다. 나머지 199일 중 양양공항과 같은 시간에 해풍이 유입된 경우는 54일, 전체의 68%에 달하는 145일에는 [그림 4]와 같이 양양공항보다 빠르게 해풍이 유입되었다. 속초지역의 해풍유입시점은 양양공항의 해풍 유입여부 및 유입시점을 판단할 수 있는 중요한 요소로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.



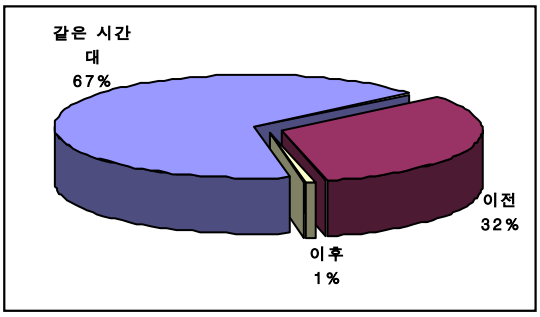
[그림 3] 속초와의 유입시점 비교



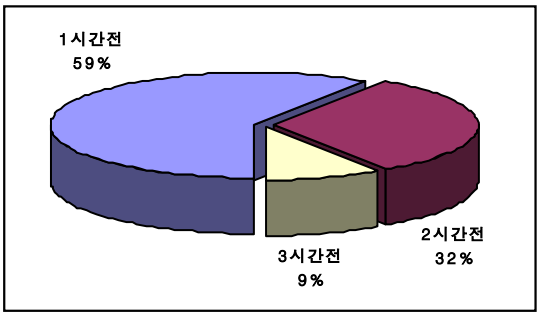
[그림 4] 이전에 유입되는 68%의 유입시점

(2) 강릉지역과의 유입시점 비교

강릉의 관측자료와 해풍 유입시점을 비교한 결과는, [그림 5]와 같은 경향을 보였다. 해륙풍발생일 215일 중 강릉에 해륙풍 전환이 발생하지 않은 날은 1일로 속초 양양공항에 해륙풍 전환이 발생하면 강릉 역시 해륙풍이 발생할 확률이 매우 높았고 양양공항보다 느리게 해풍이 유입된 경우는 79일이였다. 나머지 135일 중 양양공항과 같은 시간에 해풍이 유입된 경우는 91일로 전체의 67%, 양양공항 보다 빠르게 해풍이 유입되는 경우는 44일(32%)로 강릉은 해풍유입에 있어 양양지역과 비슷한 시점에 유입되는 경향을 보였다.



[그림 5] 강릉과의 유입시점 비교



[그림 6] 이전에 유입되는 32%의 유입시점

다) 해풍 지속시간

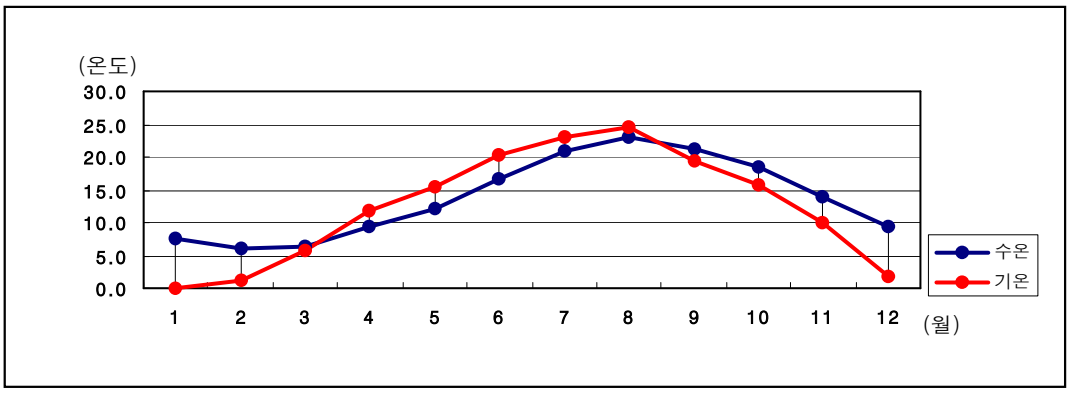
<표 4>는 해풍 유입 후 그 지속시간을 월 별로 분류한 표이다. 일 중 해풍의 지속시간은 짧게는 3시간부터 봄과 여름철의 경우 하루의 절반 이상인 12시간에서 14시간까지도 유입되었다. 해풍이 유입된 215일 중 해풍의 지속 시간은 1,454시간으로 일평균 약 6.8시간이었으며, 이를 월 별로 살펴보면 12월이 4.5시간으로 가장 짧고 5월이 9.3시간으로 가장 긴 지속시간을 나타냈다. 또한 계절별 평균을 보면 봄철이 7.7시간 여름철이 8.8시간 가을철이 6.2시간 겨울철이 4.9시간으로 일조시간이 긴 여름철이 발생 빈도수는 적지만 한번 해풍이 유입되면 가장 오랜 시간동안 영향을 미쳤음을 알 수 있었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 계절별 해풍 지속시간이 다르게 나타남은 계절에 따른 일출시간의 차이에 의한 것으로, 하절기로 가면서 일출이 빨라지고 낮시간이 길어지면서 일사가 증가함에 따라 해풍 지속시간이 길어지며 동절기에는 그 반대의 경향을 보이는 것을 알 수 있다(최병성).

<표 4> 2004년~2006년 월 별 해풍 지속시간

	3시간	4시간	5시간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간	11시간	12시간	13시간	14시간	평균 지속시간
1월	1	6	4	2	2								4.9시간
2월	3	1	4	4	2	1							5.3시간
3월	1	3	4	2	4	5	3	2					6.8시간
4월	2	1	1	1	3	2	5	1	3				7.7시간
5월		1		1		4	2	3	1	1	2		9.3시간
6월	1		2		1	2	2	3	3	1		1	8.9시간
7월				1		1	1			1			8.8시간
8월			2	3	1		6	4	1	1	1		8.7시간
9월			2	3	7	2	3	2					7.4시간
10월	3	3	5	10	7	4							5.8시간
11월	2	2	4	7	4								5.5시간
12월	4	6	4	3	1								4.5시간
합계	17	23	32	37	32	21	22	15	8	4	3	1	약 7시간

라) 해기차와의 관계

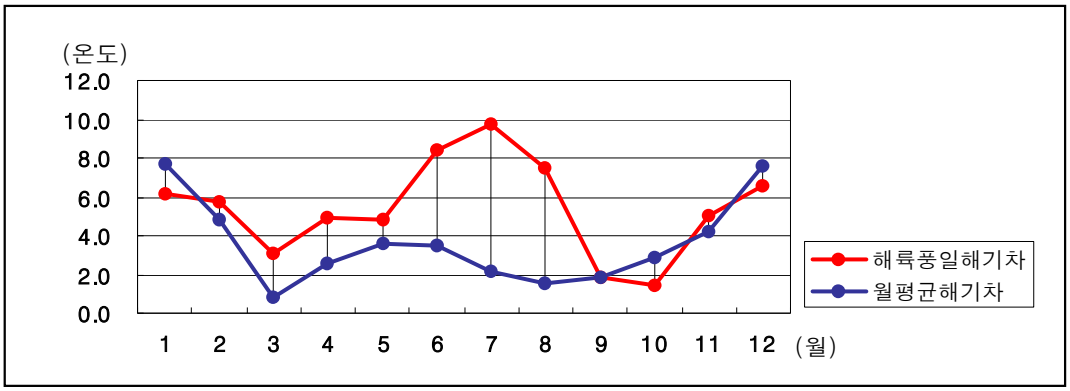
해륙풍 발생의 가장 직접적인 원인으로 작용할 것으로 예상되는 해기차를 구하기 위해 월 평균기온과 국립해양조사원 속초검조소의 수온 관측 자료를 조사하여 해기차를 분석하였다. [그림 7]의 그래프에서 보여지듯이 월 별 평균기온과 평균수온의 해기차는 여름철보다는 겨울철이 크게 나타났으며 9월에서 3월까지는 기온보다 수온이, 4월부터 8월까지는 수온보다 기온이 높은 경향을 보였음을 알 수 있다.



[그림 7] 월 별 평균기온과 평균수온

해륙풍 발생일의 평균 해기차는 5.4℃로 월평균기온과 수온의 해기차 3.6℃보다 다소 컸으며, 7월이 9.7℃로 가장 크고 10월이 1.5℃로 가장 작게 나타났다. 월평균기온과 평균수온에 의한 해기차와 마찬가지로 9월에서 3월까지는 기온보다 수온이, 4월부터 9월

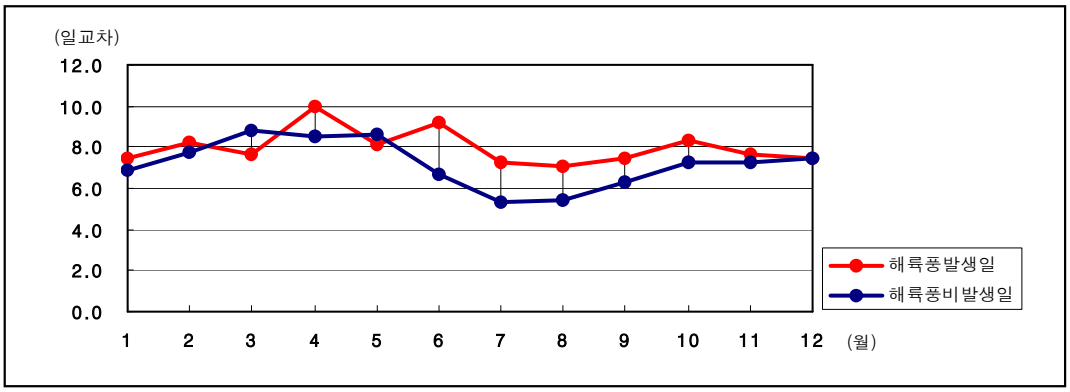
까지는 수온보다 기온이 높은 경향을 보였으며 수온이 높을 때의 평균 해기차는 4.5℃, 기온이 높을 때의 평균 해기차는 6.1℃로 기온이 높을 때의 평균 해기차가 1.5℃ 다소 높은 경향을 보였다. 특이할만한 것은 월평균기온에 의한 해기차와 해륙풍 발생일의 해기차 경향은 온도차는 있으나 비슷한 패턴을 보였지만 평균기온에 의한 해기차가 겨울철에 비해 여름철이 작게 나타난 것에 반해 해륙풍 발생일의 해기차는 7월이 9.7℃로 여름철인 6월~8월의 해기차가 두드러지게 높게 나타났음을 확인할 수 있다.



[그림 8] 월 별 평균해기차와 해륙풍발생일의 해기차 비교

마) 일교차의 관계

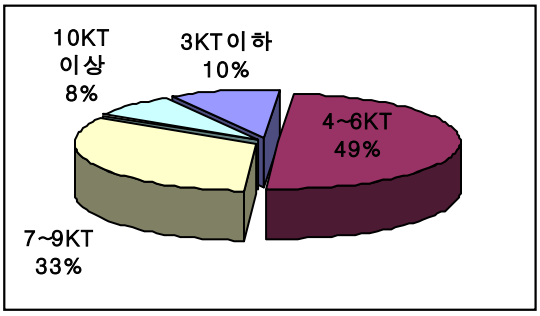
[그림 9]은 월 별 해륙풍발생일과 해륙풍비발생일간의 일교차를 비교한 것이다. 해륙풍발생일의 일교차 평균이 8.0℃로 해륙풍비발생일 평균 7.2℃보다 크게 나타났다. 해륙풍발생일의 일교차는 4월이 10.0℃로 가장 크고 8월이 7.1℃로 가장 작았으며, 해륙풍비발생일의 일교차는 3월이 8.8℃로 가장 크고 7월이 5.3℃로 가장 작다. 두가지 경우 모두 봄철에 일교차가 가장 컸고, 가을과 겨울은 거의 비슷한 일교차를 여름철이 가장 작은 일교차를 보였으며, 두가지 경우 일교차의 차이가 가장 큰 값을 보이는 경우는 6월(2.5℃)과 7월(2.0℃)로 여름철의 경우 해륙풍발생일의 일교차가 해륙풍비발생일보다 현저히 큼을 알 수 있다.



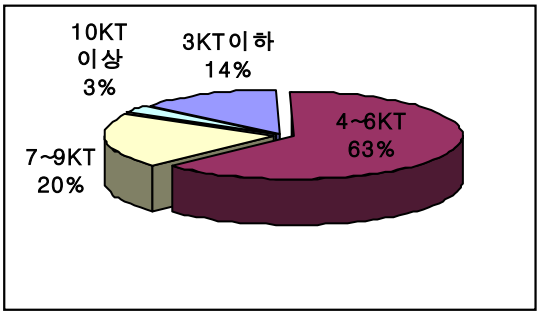
[그림 9] 해륙풍발생일과 해륙풍비발생일의 일교차 비교

바) 풍속과의 관계

기상학사전 상의 해륙풍의 정의에 따르면 해륙간의 온도차는 낮이 밤보다 크므로 해풍은 육풍보다 강한 것이 보통으로 해풍은 10~12kt(5~6m/s)정도, 육풍은 4~6kt(2~3m/s)정도로 정의되어 있다. 양양공항 해륙풍 발생일의 해풍과 육풍의 풍속은 해풍이 5kt, 육풍이 6kt로 해풍과 육풍의 풍속차가 뚜렷하지 않고 오히려 육풍이 다소 강하게 나타났다. 실제 일중 풍속이 10kt 이상인 경우 해륙풍으로 전환되는 지역적인 특성보다는 종관적인 기압계에 의한 바람의 영향을 크게 받고 있는 것으로 분석되었다. 2006년 사례의 경우 해륙풍 발생 가능성이 예상되는 날 중 일평균풍속이 9kt이상 되는 20일의 사례에서 해풍이 유입되지 못하고 일 중 육풍인 서풍만 유입되었다. 이는 해안과 인접하고 있지만 서쪽으로는 태백산맥의 영향을 함께 받는 지역적인 특성이라 사료된다(신동빈, 이태영, 1989). 2006년 해륙풍 발생일이 총 65일이였음을 감안할 때 20일의 사례는 결코 작은 일수가 아니며 이 중 단 2건을 제외한 18건의 사례가 11월~2월 사이인 겨울철에 집중되었음을 본다면 이는 겨울철 해륙풍 유입여부에 풍속이 중요한 판단요소로 작용할 수 있음을 증명한다 할 것이다.



[그림 10] 육풍 유입 시 풍속별 빈도수



[그림 11] 해풍 유입 시 풍속별 빈도수

사) 상층바람과의 관계

해륙풍 유입 시 상층바람은 속초 기상대의 09KST 고층 관측 자료를 활용하였다. 09KST 고층관측 자료와의 비교를 위하여 2004년부터 2006년까지 해륙풍이 발생한 총 215일 중 09KST 이전에 해풍이 유입된 총 53건의 사례를 이용하였다. 이 때 925hPa의 평균풍속은 11kt, 850hPa의 평균풍속은 8kt였으며 이 중 925hPa까지 해풍이 유입된 사례 24건, 850hPa까지 해풍이 유입된 사례는 16건이였다. 850hPa까지 해풍이 유입된 16건의 사례의 해풍 지속시간은 평균 10.1시간으로 이는 총 해륙풍 발생일의 해풍 지속시간 평균 6.8시간에 비해 약 3시간 정도 긴 시간이며, 이를 계절별로 분석해 본 결과 <표 5>와 같이 09KST 이전 해풍 유입사례가 없어 분석이 불과했던 겨울철을 제외하고 봄철 10.6시간, 여름철 11.3시간, 가을철이 9.3시간으로 봄철 7.7시간, 여름철 8.8시간, 겨울철 6.2시간을 보였던 평균 지속시간에 비해 모든 계절 약 3시간 정도 긴 지속시간을 보였음을 알 수 있다.

<표 5> 해륙풍발생일과 상층까지 해풍유입일의 계절별 해풍지속기간 비교

	봄	여름	가을	평균
해륙풍발생일의 평균해풍지속시간	7.7	8.8	6.2	6.8
상층까지 해풍유입일의 평균해풍지속시간	10.6	11.3	9.3	10.1

2.2.3 해륙풍 발생일의 기온변화 경향

해륙풍 발생 시 기온변화 경향을 분석하기 위하여 해풍 유입 시 최고기온과 최저기온간의 기온차를 분석한 결과 평균 2.1℃로 조사되었다. 해풍 유입시간대 중 유입시점과 최고기온과의 차를 상승폭으로 유입시점과 최저기온과의 차를 하강폭으로 분석한 결과 상승폭과 하강폭 동일한 1.1℃의 변화폭을 나타냈다. 해풍 유입 시 평균 기온 변화폭인 2℃를 기준으로 하여 해풍 유입 후 상승폭이 2℃ 이상인 경우를 기온상승형으로 2℃ 미만 상승한 경우를 기온저지형으로 이 중 하강폭이 2℃ 이상인 경우를 기온하강형으로 분류하여 유형별 기온변화 경향을 분석하였다.

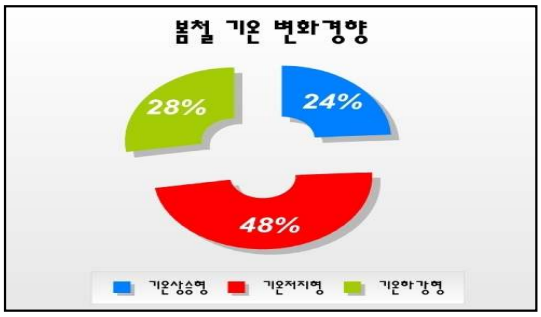
가) 계절별 기온변화 경향

(1) 봄철 기온변화 경향

봄철 평균 기온변화폭은 2.7℃였으며 기온상승형의 경우 상승폭은 3.9℃, 기온하강형의 하강폭은 3.1℃의 변화폭을 나타냈다.

<표 6> 봄철 기온변화 경향 (단위:℃)

기온차	평 균	2.7
	기온상승형	3.9
	기온하강형	3.1
수 온	8.8	
해기차	4.2	
상승폭	1.4	
하강폭	1.2	



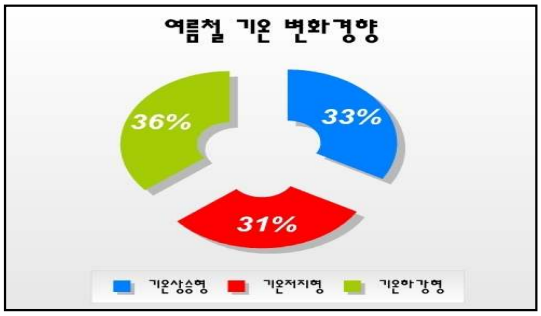
[그림 12] 봄철 기온변화 경향

(2) 여름철 기온변화 경향

여름철 평균 기온변화폭은 3.0℃였으며 기온상승형 및 하강형 모두 3.2℃의 변화폭으로 4계절 중 가장 큰 변화폭을 나타냈다. 유형별 분류에서도 다른 계절이 2℃ 이내 변화폭을 가진 기온저지형이 가장 많은 빈도를 가지는 것에 비해 여름철은 3가지 유형이 고르게 나타났다.

<표 7> 여름철 기온변화 경향 (단위:℃)

기온차	평 균	3.0
	기온상승형	3.2
	기온하강형	3.2
수 온	17.5	
해기차	8.1	
상승폭	1.5	
하강폭	1.6	



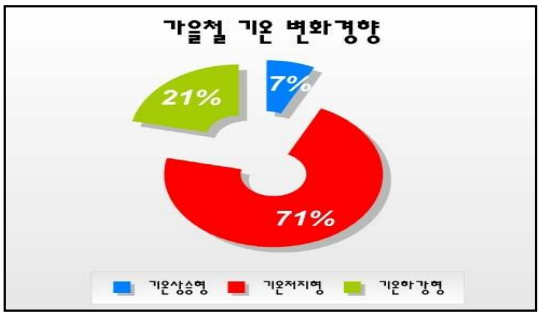
[그림 13] 여름철 기온변화 경향

(3) 가을철 기온변화 경향

가을철 평균 기온변화폭은 1.7℃였으며 기온상승형의 경우 상승폭은 0.7℃, 기온하강형은 0.9℃의 하강폭을 보였다. 가을철의 경우 해기차가 2.6℃로 4계절 중 가작 작게 나타났다.

<표 8> 가을철 기온변화 경향 (단위:℃)

기온차	평 균	1.7
	기온상승형	2.6
	기온하강형	2.8
수 온	18.4	
해기차	2.6	
상승폭	0.7	
하강폭	0.9	



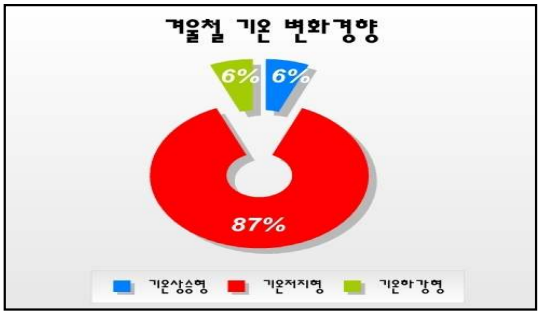
[그림 14] 가을철 기온변화 경향

(4) 겨울철 기온변화 경향

가을철 평균 기온변화폭은 1.3℃였으며 기온상승형의 경우 상승폭은 0.8℃, 기온하강형은 0.6℃의 하강폭을 보이며 기온저지형이 전체의 88%로 해풍 유입 시 거의 기온 상승이나 하강의 변화 경향을 보이지 않음을 알 수 있다.

<표 9> 겨울철 기온변화 경향 (단위:℃)

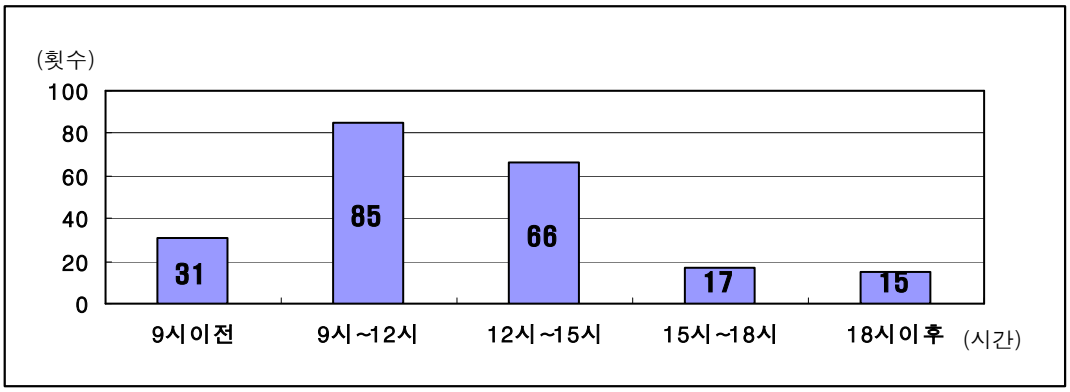
기온차	평 균	1.3
	기온상승형	2.6
	기온하강형	2.8
수 온	10.2	
해기차	6.2	
상승폭	0.8	
하강폭	0.6	



[그림 15] 겨울철 기온변화 경향

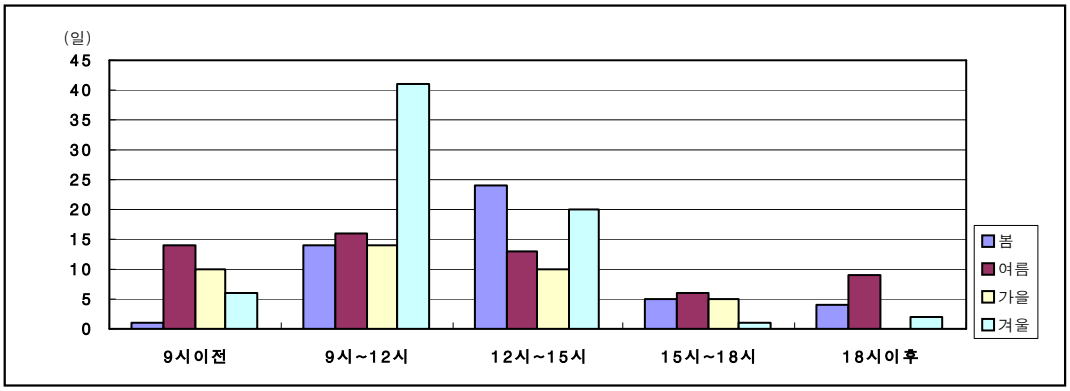
나) 해륙풍 발생일의 낮최고기온 형성시점 분석

해륙풍발생일의 낮최고기온 형성시점은 09~12시가 85건으로 전체의 40%, 12시~15시가 66건으로 31%, 09시 이전이 31건으로 14%, 15~18시가 17건(8%), 18시 이후(7%) 순으로 나타났다.



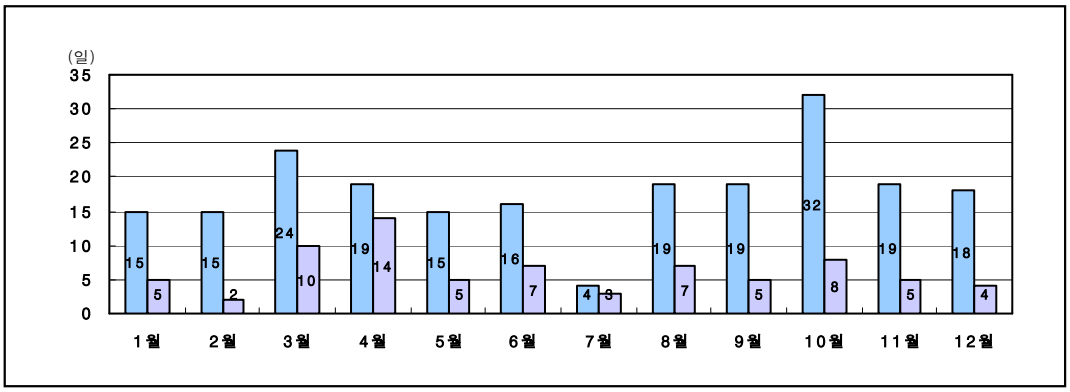
[그림 16] 해륙풍발생일의 낮최고기온 형성시점

이를 계절별로 살펴보면 봄철의 경우 낮최고기온 형성시점은 12시~15시가 전체의 50%로 가장 많은 빈도수를 보였고 봄철을 제외한 여름, 가을, 겨울철의 경우 09시~12시 사이에 낮최고기온이 형성되는 경우가 가장 많았으나 여름과 가을철의 경우는 12시~15시에 형성되는 경우와 큰차이를 보이지 않은 반면 겨울철의 경우 09시~12시에 낮최고기온이 형성되는 경우가 전체의 58%로 다른 계절과는 뚜렷한 차이를 보였다.



[그림 17] 계절별 낮최고기온 형성시점

해륙풍발생일 중에서도 낮최고기온 형성시점이 해풍 전환 직전이나 해풍에서 다시 육풍으로 전환되고 난 직후에 발생하여 풍향의 변화가 최고기온 형성시점에 직접적으로 영향을 미친 것으로 예상되는 날을 함께 조사해보았다. 해륙풍유입일 215일 중 직접적으로 영향을 받은 것으로 분석되는 일수는 75일이였으며, 분석 결과 [그림 18]과 같이 7월의 경우 해륙풍이 발생한 4일 중 3일이, 4월의 경우 19일 중 14일의 최고기온 형성시점이 해륙풍 전환에 직접적인 영향을 받은 것으로 주로 봄철과 여름철에 발생했음을 알 수 있었다.



[그림 18] 해륙풍 전환이 낮최고기온 형성시점에 직접적으로 영향을 미친 일 수

다) 다중회귀분석을 이용한 기온예측

해륙풍 발생일에 실제 관측된 기온값과 이러한 기온에 영향을 미치는 요소들과의 연관성을 분석하여 기온을 예측하기 위한 객관적인 예보식을 도출하기 위해 하나의 종속변수가 다른 여러개의 독립변수들에 의해 어떻게 설명 또는 예측되는지를 알아보기 위한 통계적 방법인 다중회귀분석을 이용하였다.

(1) 시간대별 다중회귀식 산출

기온예보식을 실제 이륙예보 발표에 적용하기 위해 현재 기상요소를 이용하여 3시간 후의 기온값을 예측해내는 다중회귀식을 양양공항의 이륙예보 평가 시간인 12시부터 21시까지 3시간 간격으로 산출해보았다. 시간별 기온에 영향을 미칠 것으로 예상되는 기상요소로는 현재의 양양공항 풍향, 풍속, 기온과 수온, 전일 21KST 850hPa 기온자료, 전일 동시간대의 양양공항 기온과 양양공항보다 1시간이상 해풍유입시점이 빠른 것으로 조사되었던 1시간 전 속초기온을 이용하였으나, 풍속과 수온의 경우 상관관계가 작은 것으로 분석되어 풍향, 기온, 전일 21KST 850hPa 기온자료, 전일 동시간대의 양양공항 기온과 1시간 전 속초기온을 이용한 결과 <표 10>과 같이 다중상관계수가 0.9 이상인 기온예보식을 얻을 수 있었다.

<표 10> 다중회귀분석을 통한 3시간 간격 기온예보식(다중회귀식)

시각	다중회귀식
12KST	다중상관계수: 0.985 =25.74250048+0.396149914*(09KST 풍향)+0.100745973*(08KST 속초기온) +0.760884826*(09KST 양양기온)+0.054935039*(전일 12UTC 850hPa 기온) -0.002711088*(전일 12KST기온)
15KST	다중상관계수: 0.993 =16.59421621-0.302716464*(12KST 풍향)+0.181195875*(11KST 속초기온) +0.763266157*(12KST 양양기온)+0.075453066*(전일 12UTC 850hPa 기온) -0.060797677*(전일 15KST기온)
18KST	다중상관계수: 0.987 =-12.71426757+0.111037237*(15KST 풍향)+0.372949635*(14KST 속초기온) +0.551737317*(15KST 양양기온)+0.077237911*(전일 12UTC 850hPa 기온) +0.014265709*(전일 18KST기온)
21KST	다중상관계수: 0.982 =-12.71426757+0.111037237*(18KST 풍향)+0.372949635*(17KST 속초기온) +0.551737317*(18KST 양양기온)+0.077237911*(전일 12UTC 850hPa 기온) +0.014265709*(전일 21KST기온)

(2) 15KST의 계절별 다중회귀식 산출

3시간 간격으로 도출된 다중회귀식을 이용하여 계산해 낸 기온값과 실제 기온과의 차이를 비교해 본 결과, 4가지 시간대별 다중회귀식 모두 상관계수 0.9이상으로 실제 기온과 상당히 유의미한 값을 보였으나 이중에서도 15KST 기온식의 경우 실제값과 기온값이 2℃ 이상의 차이를 보이는 날이 해륙풍발생일 215일 중 8일에 불과할 정도로 높은 정확도를 보였다. 이에 해륙풍발생일을 계절별로 분류하여 15KST 기온을 산출해낼 수 있는 다중회귀식을 재구성해 보았다. 분석결과에 따르면 봄철은 풍향과 전일 동시간 기온에 여름철은 1시간 전 속초기온에 가을철은 풍향과 1시간 전 속초기온에 겨울철은 전일 동시간 기온에 가장 큰 영향을 받고 있는 것으로 분석되었으며, 역시 실제값과 다중회귀식에 의한 기온값을 비교해 본 결과 2℃ 이상의 차이를 보이는 날이 봄철에 7건, 여름철이 1건 가을과 겨울엔 모두 차이값이 2℃ 이하로 매우 높은 정확도를 보였다.

<표 11> 다중회귀분석을 통한 15KST의 계절별 기온예보식(다중회귀식)

계절	다중회귀식
봄	다중상관계수: 0.964 =23.19017854-0.725752066*(12KST 풍향)+0.078453599*(11KST 속초기온) +0.903597555*(12KST 양양기온)+0.106278378**(전일 12UTC 850hPa 기온) -0.137577031*(전일 15KST기온)
여름	다중상관계수: 0.968 =27.72957742-0.404130098*(12KST 풍향)+0.363029337*(11KST 속초기온) +0.650618157*(12KST 양양기온)-0.091620397*(전일 12UTC 850hPa 기온) -0.050262765*(전일 15KST기온)
가을	다중상관계수: 0.994 =7.326441442-0.242357208*(12KST 풍향)+0.274090948*(11KST 속초기온) +0.639172837*(12KST 양양기온)+0.042695111*(전일 12UTC 850hPa 기온) +0.030851119*(전일 15KST기온)
겨울	다중상관계수: 0.9904 =0.643628733-0.08595972*(12KST 풍향)-0.019919189*(11KST 속초기온) +0.963018619*(12KST 양양기온)-0.045613221*(전일 12UTC 850hPa 기온) +0.065747912*(전일 15KST기온)

(3) 사례분석에 의한 검증

(가) 2007년 10월 9일 (가을철)

대륙고기압의 영향을 받는 대체로 맑은 날씨를 보였다. 해풍은 10월에 가장 높은 유입시점으로 조사되었던 10시에 유입되었다가 18시에 다시 육풍으로 전환되었다. 해풍유입시점의 기온은 17.2℃였고 12시에 18.2℃까지 상승하였다가 서서히 하강하여 육풍으로 전환되기 전 16.2℃까지 8시간의 해풍지속시간동안 2℃의 기온변화폭을 보였다. 2007년 10월 9일의 실제 기온변화를 산출된 회귀분석식으로 계산한 기온값과 비교해 본 결과 <표 12>와 같은 차이를 보였다. 2007년 10월 9일 15시 기온은 18.2℃였고 15시 기온을 계절별로 분류하여 산출한 다중회귀식에 의한 계산값 역시 18.2℃로 정확한 계산값을 도출해냈고 12시, 15시, 18시 기온차 역시 0.1, 0.3, 0.8℃의 차이로 근소한 차이를 보였으나 21시 기온차는 2.6℃로 다소 차이를 보였다.

<표 12> 2007. 10. 9 다중회귀식에 의한 기온값과 실제 기온의 비교 (단위: ℃)

	12시	15시	18시	21시	15시 가을철
다중회귀식에 의한 기온	18.1	18.5	17.0	15.2	18.2
실제 기온	18.2	18.2	16.2	12.6	18.2
차이	0.1	0.3	0.8	2.6	0

(나) 2006년 4월 25일 (봄철)

고기압의 가장자리에 들어 우리나라 전역이 맑은 날씨를 보였다. 해풍은 12시에 유입되었다가 18시에 다시 육풍으로 전환되어 7시간의 지속시간을 보였다. 해풍유입시점의 기온은 13.0℃였고 서서히 하강하여 육풍으로 전환되기 전 11.6℃까지 하강하여 해풍지속시간동안 1.4℃의 기온변화폭을 보였다. 2006년 4월 25일의 실제 기온변화를 산출된 회귀분석식으로 계산한 기온값과 비교해 본 결과는 <표 13>와 같은 차이를 보였다. 2006년 4월 25일 15시 기온은 12.6℃였고 15시 기온을 산출한 다중회귀식에 의한 계산값 역시 12.6℃로 정확한 계산값을 도출해냈고 12시, 18시, 21시, 15시 봄철 다중회귀식에 의한 기온차 역시 1.5℃ 이내로 실제값과 근소한 차이를 보였다.

<표 13> 2006. 4. 25 다중회귀식에 의한 기온값과 실제 기온의 비교 (단위: ℃)

	12시	15시	18시	21시	15시 봄철
다중회귀식에 의한 기온	14.5	12.6	11.6	10.1	12.2
실제 기온	13.0	12.6	11.0	9.1	12.6
차이	1.5	0	0.6	1.0	0.4

3. 결론

가. 양양공항의 해륙풍 발생 일수는 연평균 70여일로, 전형적인 고기압의 영향을 주로 받는 이른 봄과 이동성 고기압의 영향을 받는 가을철인 3월과 10월이 해륙풍의 발생이 탁월했다.

나. 해풍유입시점은 10시~12시가 전체의 65%로 가장 높은 빈도를 보였고, 겨울철에는 11시 이후, 여름철엔 07시~09시의 유입빈도가 늘어나다가 다시 유입시점이 차츰 늦어지는 계절적인 성향이 나타냈으며, 속초보다는 1시간 이상 느린 경우가 많고 강릉과는 비슷한 유입시점을 보였다.

다. 평균 해풍의 지속 시간은 7시간으로, 12월이 5시간으로 가장 짧고 5월이 9시간으로 가장 길다. 계절별로는 봄철이 8시간, 여름철이 9시간, 가을철이 6시간, 겨울철이 5시간으로 일조시간이 긴 여름철이 발생 빈도수는 적지만 한번 해풍이 유입되면 가장 오랜 시간 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

라. 해륙풍 발생일의 해기차는 5℃였으며 수온이 높은 10월에서 3월까지는 4℃ 기온이 높은 4월에서 9월의 평균 해기차는 6℃로 기온이 높을 때의 해기차가 다소 높게 나타났다.

마. 해륙풍발생일의 일교차는 해륙풍비발생일보다 1℃ 정도 크게 나타났다. 일교차는 봄철이 가장 크고 여름철이 가장 작았으나, 여름철의 경우 해륙풍발생일의 일교차가 해륙풍비발생일의 일교차보다 현저히 크게 나타났다.

바. 해륙풍 발생일의 풍속은 해풍이 5kt, 육풍이 6kt로 해풍과 육풍의 풍속차가 뚜렷하지 않고 오히려 육풍이 다소 강하게 나타나는 지역적인 특성을 보였으며 10kt 이상

의 바람이 불 경우에는 종관장에 의한 바람이 형성되는 것으로 조사되었다. 또한 상층까지 해풍이 유입된 경우, 평균적인 해륙풍발생일에 비해 3시간 정도 긴 해풍지속시간을 보였다.

사. 해풍 유입 시 최고기온과 최저기온간의 기온차는 평균 2℃로 조사되었다. 해풍 유입시간대 중 유입시점과 최고기온과의 차를 상승폭으로 유입시점과 최저기온과의 차를 하강폭으로 분석한 결과 상승폭과 하강폭 동일한 1℃ 정도의 변화폭을 나타내었으며 계절적으로는 여름이 3.0℃로 가장 큰 변화경향을 겨울이 1.3℃로 가장 작은 변화경향을 나타냈다.

아. 해륙풍발생일의 낮최고기온은 09~12시, 12시~15시에 주로 발생하였다. 봄철의 경우 12시~15시, 여름, 가을, 겨울철의 경우 09시~12시 사이에 낮최고기온이 형성되는 경우가 많았으나 여름과 가을철의 경우는 12시~15시와 큰차이를 보이지 않은 반면 겨울철의 경우 09시~12시에 낮최고기온이 형성되는 경우가 전체의 절반 이상으로 다른 계절과는 뚜렷한 차이를 보였다.

자. 해륙풍발생일 중에서도 낮최고기온 형성시점이 해륙풍 전환 직전이나 직후에발생하여 해륙풍전환이 최고기온 형성시점에 직접적으로 영향을 미친 것으로 예상되는 날은 75일로, 주로 봄철과 여름철에 발생했음을 알 수 있었다.

차. 기온예보식을 실제 이륙예보 발표에 적용하기 위해 현재 풍향, 기온, 전일 21KST 850hPa 기온자료, 전일 동시간대의 양양공항 기온과 1시간 전 속초기온을 이용하여 3시간 후의 기온값을 예측해내는 다중회귀식을 산출해 본 결과 다중상관계수가 0.9 이상인 비교적 정확한 기온예보식을 얻을 수 있었다.

앞으로 양양공항의 2006년과 2007년의 해륙풍발생일도 조사하여 더 많은 사례들을 통해 해륙풍발생일을 판단할 수 있는 요건과 그로 인한 다중회귀식을 보완하고, 보완된 다중회귀식을 실제 현업 이륙예보 시에 적용해봄으로써 지속적으로 효용성을 검증하여 양양공항 기온예보능력 향상에 기여하도록 하겠다.

4. 참고문헌

김광식, 1992 : 기상학사전

항공기상대, 2006 : 2006 항공기상 현업연구

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

강원지방기상청, 2000 : 江原氣象特性集(제Ⅸ권)

강원지방기상청, 2004 : 국지 기온예보 가이던스(Ⅰ)

이화운 · 박재홍 · 정우식 · 임헌호, 2002 : 강릉 연안지역 해풍의 선정기준과 단 시간 해풍의 기후학적 특성. 한국기상학회지

최병성 : 제주도 지역에서의 해풍 발생특성에 관한 조사. 한국기상학회지

임헌호 · 이화운 · 김유근 · 정우식 · 김영본 : 김해 지방에서 해륙풍일의 선정과 해풍 특성에 관한 연구, 한국기상학회지