

김포국제공항의 국지풍 예보기법

- 지형효과에 따른 국지적 풍향을 중심으로 -

박정훈, 윤정식
김포공항기상대

1. 서론

공항 지상의 풍향과 풍속은 이륙 또는 착륙하려는 항공기의 안전은 물론, 활주로 방향 또는 활주거리 등 항공기의 이·착륙을 결정하는 전략적인 의사결정 정보이다. 이에 항공기상관서(이하 공항기상대라 함)는 공항기상관측전문(METAR), 공항예보(TAF; Terminal Aerodrome Forecast) 및 이륙예보(take-off forecast) 등의 형식으로 항공기 조종사와 항공업무 종사자에게 풍향·풍속에 대한 실황과 함께 예측자료를 제공하고 있다.

일평균 260편¹⁾이 이·착륙하고 있는 김포국제공항은 연평균 풍속이 5kt로 인천, 김해, 제주 등의 국제공항에 비해 바람이 약한 편²⁾이며, 지형적인 영향으로 일기도에 나타나는 기압계 시스템과 상반된 바람이 불어 국지적인 특성을 보일 때가 많다. 특히 풍속이 약한 야간 등 국지풍으로 인하여 예보에 어려움이 많으며, 그 평가결과도 좋지 않다.

이에, 관측 자료와 수치예보모델에서 예측한 풍향·풍속과 비교하여 편차를 구하고, 편차의 발생 원인을 규명하여, 김포국제공항의 국지풍 모형을 도출함으로써 공항예보와 이륙예보 등의 생산에 정확도 향상은 물론 양질의 대고객서비스 제공에 기여하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 사례선정

- 기간: 2006년 7월 1일 ~ 2007년 6월 30일(1년간) 풍향, 풍속

2.2 방법

- RDAPS 30km 시계열도와 항공기상관측표(김포공항기상대) 비교검증을 실시한다.
- 비교 검증을 통하여 편차를 구하고 그 편차의 원인 분석을 실시한다.
- 원인 분석을 통하여 국지풍 모형 도출을 모색한다.

1) 2006년 김포국제공항 항공기 도착 47,513편, 출발 47,430편, 계 94,943편(한국공항공사 자료)

2) 연평균 풍속(2005년) : 인천 7.7kt, 김포 5.8kt, 제주 7.9kt, 김해 6.9kt

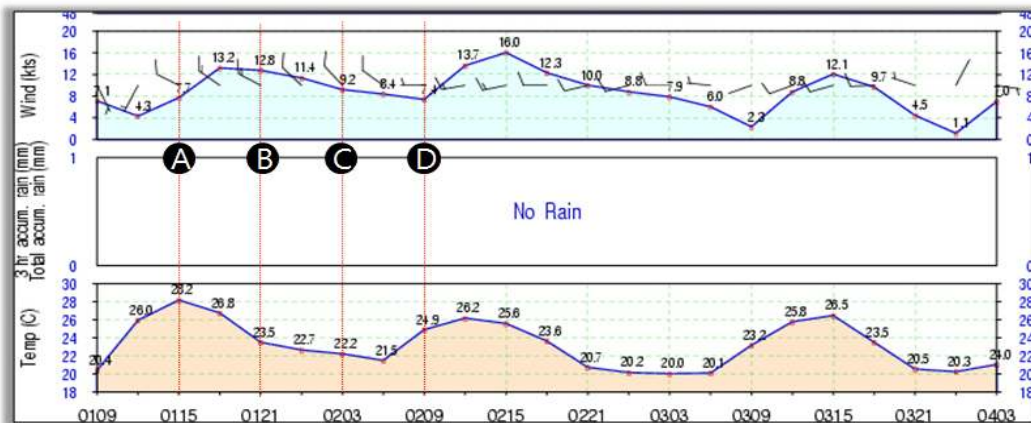
3. 연구결과

3.1 수치예보모델 예측 풍향·풍속과 실황의 비교·분석

현대의 기상예보는 대부분 수치예보모델의 결과에 의존하고 있는 실정이며, 김포공항 기상대에서도 수치예보모델의 예측에 근거하여 정량적인 TAF로 표현하여 국, 내외적으로 이용하고 있다.

풍향·풍속 예보의 경우에도 수치예측 자료인 각 공항별 연직시계열 등을 참조하여 TAF, take-off forecast 및 착륙예보 등을 생산·제공하고 있으나, 수치예보가 모든 지형요소 등 국지적인 영향을 반영할 수 없는 이상 예보자의 분석과 결정이 매우 중요하다. 이에, 수치예보 자료와 실제 측정한 관측 값과의 차이를 정형적인 기압계 시스템에서 비교·분석하여 풍향·풍속별 그 편차를 이해함으로써 예보실무에 수치예보모델 예측 값의 적용을 용이하게 하고자 하였다.

비교·분석에서는 시스템적인 바람을 산출하기 위하여 최근 1년간³⁾ 실제 관측되었던 풍향과 풍속을 RDAPS 시계열도에서 모의된 자료를 비교하였다. 또한, 각 풍향은 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서 및 북서를 기준하였고 시각별로는 주간은 당일 오전 9시 (09KST) 자료로 산출된 RDAPS 모델값을 15시부터 시작하여 21시 03시 09시 실황값을 비교하였다(그림 1).



[그림1] RDAPS 시계열 (A,B,C,D-6시간 간격으로 실황값과 비교)

◎ 비교 분석 결과(표 1)

- ▶ 북풍계열 : 풍향은 대부분 30° 가량 NW쪽으로 편향했다. 풍속은 5~6kt 감쇄하였다.
- ▶ 북동풍계열 : 풍향의 대부분 10°~20°가량 N쪽으로 편향하였으나 3월과 5월에는 S쪽으로 30° 편향하였다. 풍속은 4~6kt 감쇄하였다.

3) 2006.7.1.~2007.6.30.

- ▶ 동풍계열 : 풍향의 대부분 10°~20°가량 NE쪽으로 편향하였으나 3월과 5월에는 SE 쪽으로 30°가량 편향하였다. 풍속은 0~3kt 감쇄하였다.
- ▶ 남동풍계열 : 풍향의 대부분 10°~20°가량 S쪽으로 편향했다. 풍속은 3~4kt 감쇄하였다.
- ▶ 남풍계열 : 풍향의 대부분 05°~25°가량 SW쪽으로 편향했다. 풍속은 2~5kt 감쇄하였다.
- ▶ 남서풍계열 : 풍향의 대부분 20°~30°가량 W쪽으로 편향하였으나 6월과 8월에는 S 쪽으로 5°가량 편향하였다. 풍속은 3~6kt 감쇄하였다.
- ▶ 서풍계열 : 풍향은 3월에서 8월에는 05°~15°가량 NW쪽으로 편향하였으나 9월에서 다음해 2월까지의 SW쪽으로 05°~40°가량 SW쪽으로 편향하였다. 풍속은 4~6kt 감쇄하였다.
- ▶ 북서풍 계열 : 풍향은 대부분 30°~50°가량 W쪽으로 편향했다. 풍속은 4~6kt 감쇄하였다.

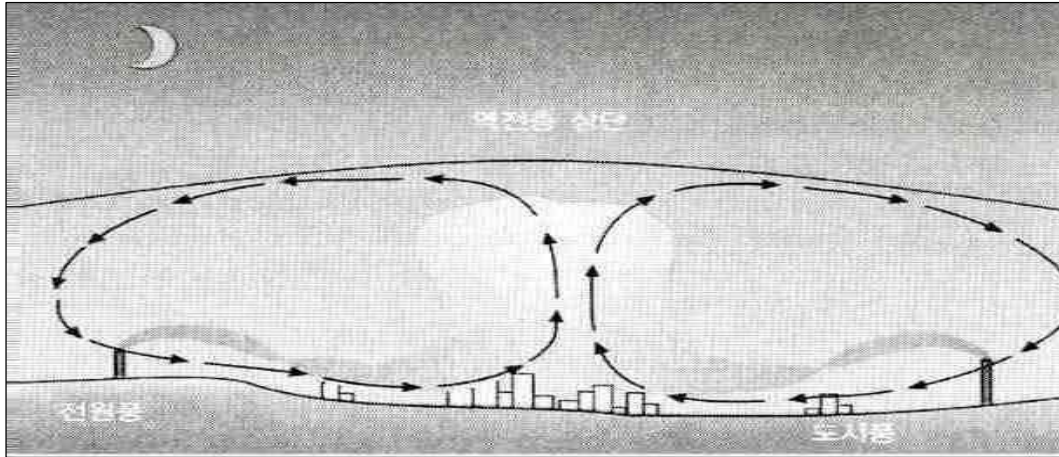
<표 1> [모델 - 실황]풍향 ■ 풍속 편차 (음영: 시기별로 풍향편차의 방향이 변함.
 풍향 (+)값: 반시계방향으로 편향, 풍속 (+)값: 감쇄 값)

	3월~5월		6월~8월		9월~11월		12월~2월	
	풍향편차	풍속편차	풍향편차	풍속편차	풍향편차	풍속편차	풍향편차	풍속편차
N	27	5	27	5	23	6	42	6
NE	23	5	-5	4	41	4	44	6
E	-34	3	17	0	18	2	8	2
SE	-22	3	-19	4	-11	3	-10	4
S	-24	2	-14	2	-12	5	-6	5
SW	-18	5	4	3	-26	5	-34	6
W	4	5	13	5	-4	4	-40	6
NW	36	6	55	4	38	5	32	6

3.2. 김포공항 풍향·풍속 편차 발생원인 분석

3.2.1. 도시화 효과

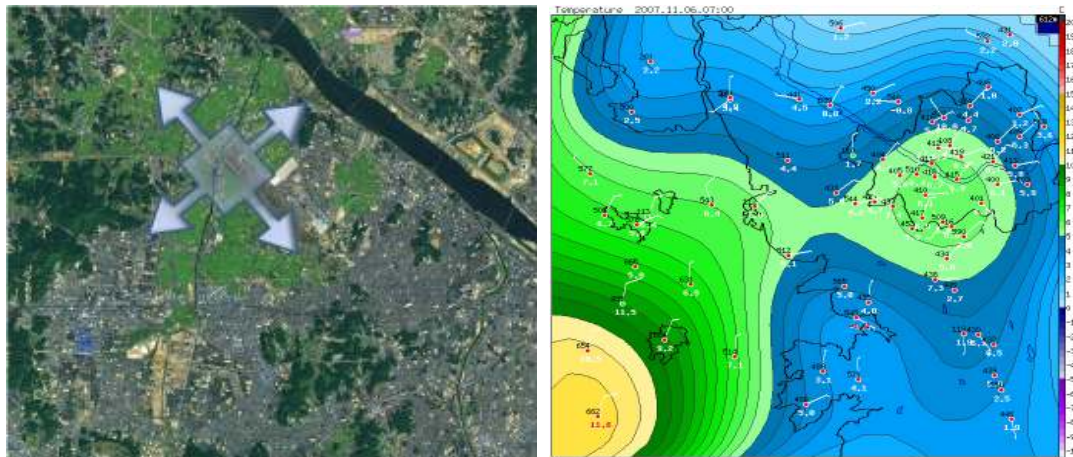
도시화가 진행되면 복사·상대습도·풍속은 감소하는데 반하여 기온·운량·강수는 증가하는 경향을 보인다. 따라서 도시내부는 주변지역에 비해 기온이 높으므로 약한 저기압이 형성되고, 열섬에서 가열된 공기가 상승하여 경도풍이 약할 때는 지표면 부근에서는 도심으로 수렴하는 기류가 발생하는데 열섬의 강도가 큰 야간에 더욱 현저하게 발생하게 된다(그림 2).



[그림 2] 도시화에 따른 풍향변화 모식도

김포공항은 북서쪽으로 초지가 형성되어 있고 남쪽으로는 부천이라는 도심지가 형성되어 있으며 동쪽 및 남동쪽으로는 한강을 비롯한 발달된 서울도심지 형성되어 북서쪽에서 남동 및 남서쪽으로 부는 국지풍이 형성된다(그림 3.좌).

사례를 들면 2007년 11월 6일 아침 7시의 경우 분석일기도에서는 만주쪽에 고기압이 위치하고 있으므로 북동풍의 유입이 예상되었으나, 김포공항을 중심으로 남쪽과 남동쪽으로는 도시화의 영향으로 more warm의 구역이 형성되면서 국지적인 영향으로 북서쪽에서 바람이 불어오고 있다(그림 3.우).



[그림 3] 좌: 도심화에 의한 국지풍(화살표), 좌: 2007.11.06.07:00kst AWS 기온분포 (푸른색:more cold, 김포공항을 중심으로 북서쪽으로부터 차가운 공기의 유입)

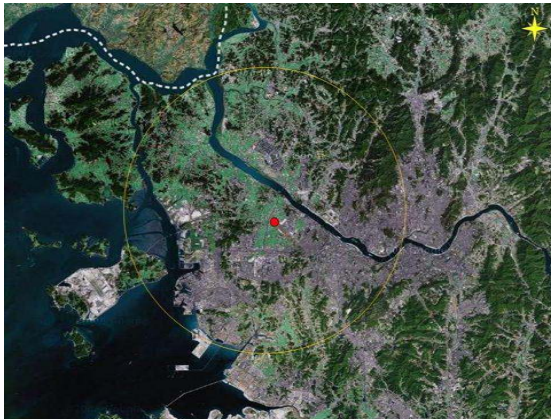
3.2.2. 지형 효과

◎ 김포국제공항 주변의 지형조사 및 분석

[그림 4] 김포국제공항 주변의 지형도 I과 [그림 5] 김포국제공항의 지형도 II에서 보는 바와 같이 김포국제공항⁴⁾은 크고 작은 산으로 둘러싸인 침식형 분지지형이다.

활주로 14R32L(신활주로)의 착륙접지대(TDZ; Touch Down Zone)에 위치한 풍측탑(그림 4와 5에서 빨간색 원으로 표시)에서 볼 때, 풍측탑을 중심으로 동쪽으로 약 16km 지점에 있는 해발 338m인 인왕산을 시작으로 북동쪽 약 20km 지점에는 해발 837m의 비교적 높은 북한산, 도봉산(해발 710m, 북동쪽 약 25km지점), 박달산(북북동쪽 약 23km 지점) 등의 북한산국립공원으로 이어져 동쪽부터 북쪽까지 산마루들로 이루어져 있다. 이들은 다시 북서쪽 약 28km 지점의 김포시 월곶면의 문수산(해발 372m)으로 이어지며, 마니산(해발 468m), 혈구산(해발 466m), 별립산 등의 산들로 형성된 강화도가 그 뒤에 자리하고 있다. 또한, 남동쪽 약 20km지점에 있는 해발 629.1m의 관악산과 연결하면 반경 약 25km 원형 산마루 장벽(그림 4의 노란색 원)을 이루고 있음을 볼 수 있다. 이 원형의 바람막이 울타리가 평지가인 김포국제공항을 둘러싸고 있어 김포국제공항의 국지풍을 형성하는 가장 큰 요인이 되고 있는 것으로 보여 진다.

한편, 그 안쪽으로도 북동쪽으로 약 2.5km 지점에 개화산(해발 131.2m), 서쪽으로 약 5.5km 지점에 계양산(해발 395m) 등의 크고 작은 산으로 또 하나의 반경 약 5km 원모양의 장벽이 구릉지에 있는 풍측탑(해발 17.7m)을 둘러싸고 있어 또 다른 바람막이 울타리가 되고 있다고 보아야 할 것이다.



[그림 4] 김포국제공항 주변의 지형도 I



[그림 5] 김포국제공항 주변의 지형도 II

4) 김포국제공항 : 북위 37.33°, 동경 126.48°, 해발고도 17.7m, 길이 3,600×45m와 3,200×60m의 2개 활주로를 있으며, 활주로 방향은 316°-136°으로 탁월풍인 북서풍을 고려 북서-남동 방향의 활주로를 설치

이 두개의 원형 바람막이 장벽을 살펴보면 다 같이 남서쪽이 비교적 장애가 덜한 개활지로 이루어져 있고, 남동쪽과 북서쪽은 한강의 입·출구로 상대적으로 열려있어 이 북서, 남서 및 남동쪽이 지형장애가 가장 적은 바람의 통로가 된다고 보여 진다.

반면, 북한산국립공원이 있는 북쪽과 및 가장 가까운 거리의 장애요인인 개화산과 인왕산 산줄기로 가로막인 북동쪽과 동쪽은 지형적인 장애가 가장 심하며, 상대적으로 고도가 높은 계양산으로 막힌 서쪽과 관악산이 있는 남쪽은 북, 북동 및 동쪽에 비해 비교적 장애가 덜한 방향으로 보여 진다.

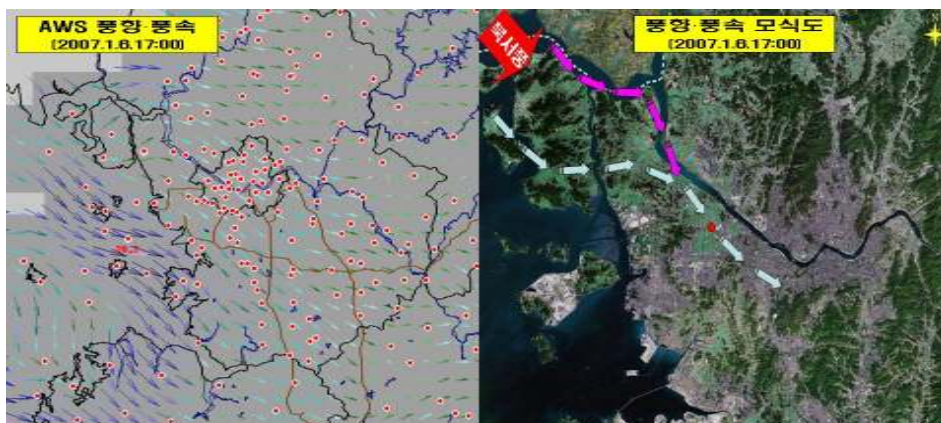
◎ AWS 바람벡터를 이용한 풍향·풍속 및 지형효과 분석

지형효과에 따른 김포국제공항 주변의 풍향·풍속의 변화를 알아보기 위하여 자동기상관측장비(AWS; Automatic Weather System) 바람벡터를 분석하여 보았다. 이 분석에서는 풍속이 김포국제공항의 연평균 풍속인 5kt이상으로 대표적인 기압계에서 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서 등의 8방향으로 구분하여 비교·분석하였다.

이 분석에서 비교적 기압계 형태 및 수치예보모델의 예측결과와 풍향이 일치하는 북서, 남동, 남서풍의 경우와 높은 산등으로 상대적으로 지형효과가 다소 있는 서 및 남풍의 경우, 지형효과가 가장 심한 북, 북동 및 동풍의 경우로 구분할 수 있었으며, 그 일반적인 모형은 다음과 같이 설명할 수 있다.

▶ 북서풍의 경우

북서풍은 편서풍대에 속하는 김포국제공항의 지리적 위치와 [그림 6] 지형도에서 보는 바와 같이 남동쪽으로 바람의 출구가 확보되어 있어 풍향별 발생빈도가 37.1%) 가장 높은 김포국제공항의 탁월풍이다.



[그림 6] 북서풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

5) 김포국제공항의 풍향 290°~340°사이의 발생빈도(2005년)

따라서 이 풍계는 기압계 형태와 수치예보모델 예측결과와도 비교적 일치한다. 그러나 위의 [그림 6] 북서풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도에서 보는 바와 같이 마니산(해발 467m) 등 비교적 높은 산으로 구성된 강화도와 김포시의 문수산(해발 376m) 등 산악지형을 지나면서 남동풍으로 휘었다가 한강하류를 따라 다시 북서풍으로 변하여 불어오고 있음을 볼 수 있다.

이는 대부분의 북서풍계에서 볼 수 있는 현상으로 북서쪽에서 김포국제공항을 향하여 불어오던 지상의 바람이 산악지형을 돌이 한강하류를 따라 접근함을 알 수 있다. 이에 따라 김포국제공항 남쪽을 지나는 북서풍보다 풍속도 약하며, 강풍이 접근하는 시각도 늦어지는 것이 일반적이다. 그러나 이 북서풍계는 김포국제공항에 도달하는 시점에서 그 방향이 일기도 및 수치예측자료와 일치하기 때문에 예보 생산 시 적용이 가장 용이한 풍계이다.

▶ 남동풍의 경우

남동풍은 주로 여름철에 발생하는 풍계로, 위의 북서풍계에서 바람의 출구인 남동쪽 방향인 개활지로 지상풍이 접근함으로 이 풍계 역시 기압계 형태와 수치예보모델의 예측결과와 비교적 일치한다.



[그림 7] 남동풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

[그림 7] 남동풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도에서 보는 바와 같이 남동풍계는 관악산(해발 629.1m) 부근에서 다소 남쪽으로 편향하기도 하나 김포국제공항을 지나는 시점에는 다시 북쪽으로 치우쳐 지남으로서 남동풍계가 유지된다.

이 풍계의 예보적용에는 별다른 문제점은 없으나, 그 지속시간이 짧아 풍향의 변화시점을 주의 깊게 고려하여야 하며, 연중 그 발생빈도⁶⁾도 8.6%로 낮고, 풍속도 약한 편이다

6) 김포국제공항의 풍향 110°~160°사이의 발생빈도(2005년)

▶ 남서풍의 경우

남서풍은 저기압 접근 시 또는 봄, 여름철에 주로 발생하며, 풍속도 강하다. 아래의 [그림 8] 남서풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도에서 보는 바와 같이 바람이 불어오는 남서쪽에는 상대적으로 키가 큰 장애물이 없다. 이에 따라 풍속의 감쇄도 다른 방향보다 덜한 것으로 보여지며, 바람이 강한 풍계기이기도 하다.



[그림 8] 남서풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

이 남서풍 역시 기압계 및 수치예보 예측자료의 적용에 상이한 점이 별로 없는 풍계이며, 지상마찰에 따른 바람의 감쇄가 상대적으로 적어 기압계의 이동에 따라 풍속의 증가가 매우 민감하다.

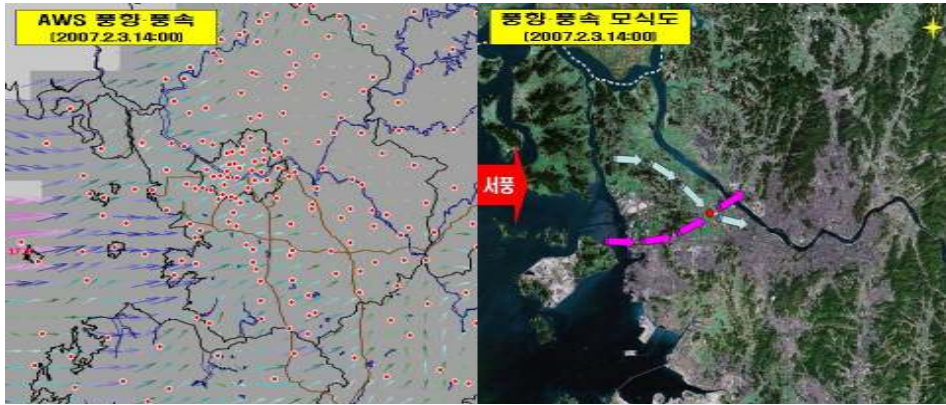
▶ 서풍의 경우

서풍계의 바람은 김포국제공항에서 북서풍 다음으로 많이 나타나는 풍향⁸⁾이다. 그러나 이 바람은 풍측탑에서 가까운 서쪽 약 5.5km 지점에 상대적으로 높은 계양산(해발 395m)을 비롯한 크고 작은 산들이 모여 있어 기압계 형태 또는 수치예보 예측값과 다소 다르게 나타는 경우를 많이 경험할 수 있다.

[그림 9]에서 보는 바와 같이 서풍의 세기 또는 기압계의 위치에 따라 서남서 또는 북서서풍으로 변하여 나타나는 경우가 있음을 알 수 있다. 일반적으로 수치예보 예측자료가 서풍이 강할 경우 서남서풍으로 관측되는 경우가 많으며, 약하게 모의한 경우는 북서서풍으로 나타난다.

7) 김포국제공항에서 남서풍(200°~250° 사이)이 평균풍속 16knot 이상인 발생빈도는 0.5%로서 북서풍(290°~340° 사이) 발생빈도 0.4% 보다 조금 더 많음(2005년)

8) 김포국제공항의 서풍(260°~280° 사이) 발생빈도 11.6%(2005년)



[그림 9] 서풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

▶ 남풍의 경우

김포국제공항에서 남풍은 지형효과가 비교적 적은 풍계이다. 이 풍계의 바람은 진입하는 방향의 지형장애보다 바람의 출구인 김포국제공항 북쪽의 산들로 다소 서편하여 남남동풍으로 부는 것으로 이해해야 될 것 같다.



[그림 10] 남풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

[그림 10]에서 보는 바와 같이 남풍이 예측된 경우 남남동풍이 부는 경우를 흔히 경험할 수 있다. 이는 북쪽의 장애물을 피해 한강하구가 바람의 출구가 되어 다소 서편하는 것으로 보여 진다. 한편, 야간의 경우 복사냉각에 의해 내륙에 고압부가 형성됨에 따라 김포국제공항에 남남동풍이 부는 경우가 매우 많다. 이는 경기만 부근에서 상대적인 저압부가 점차 확장되고 내륙의 고기압은 북편함에 따라 나타나는 형상으로, 이는 기압계 형태 또는 수치예보모델 예측결과와 전혀 다르게 나타나며, 겨울철 보다는 봄, 여름 등의 새벽에 주로 나타난다.

▶ 북풍의 경우

북풍, 북동풍 및 동풍은 김포국제공항에서 발생빈도가 낮은 풍계이며, 특히, 북동 및 동풍의 발생빈도)가 낮으며, 그 방향의 변화도 심하다.



[그림 11] 북풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

이 중 북풍은 대부분 북북서로 서편하는 경향이 많다. [그림 11]에서 보는 바와 같이 바람의 입·출구가 북서-남동의 활주로 방향과 유사하며, 상대적으로 열려있는 방향이므로 저항이 적어 북북서풍으로 변화되는 것으로 보여 진다.

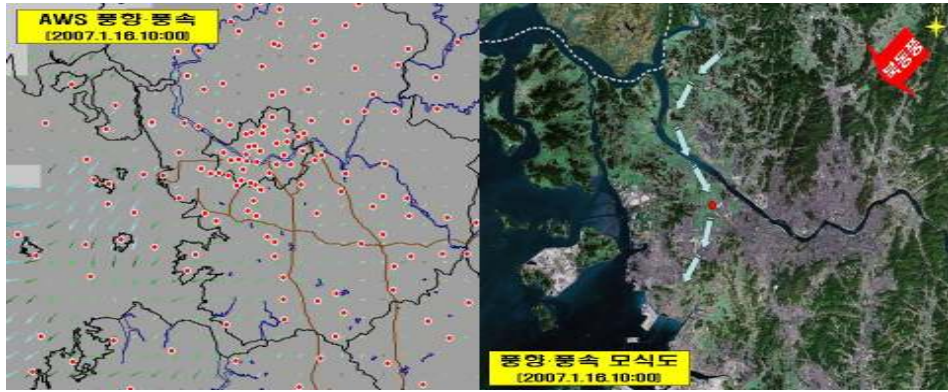
▶ 북동풍의 경우

김포국제공항에서 북동풍은 그 발생빈도가 가장 낮은 바람¹⁰⁾으로 앞에서 그림 2과 3의 김포국제공항 주변의 지형도에서 보는 바와 같이 김포분지를 형성하는 인왕산(해발 338m), 북한산(해발 837m), 박달산, 노고산(해발 401m)으로 이어지는 북한산국립공원의 상대적으로 높은 산마루들이 가로막고 있으며, 또한 풍측탑에서 가까이 있는 개화산(해발 131.2m)이 북동쪽에서 접근하는 바람의 진입을 직접적으로 방해하는 것으로 보인다.

[그림 12]는 북동풍계열이 북한산국립공원을 돌아서 북북서풍으로 불어오는 모식도이다. 이와 같은 바람은 풍향이 북북서, 북, 북동 및 동 등으로 매우 심하게 변하는 것을 흔히 경험할 수 있다. 특히 바람이 약한 야간에 자주 나타나며, 주된 풍향이 북북서가 되는 경우가 많다.

9) 김포국제공항에서 북동풍(50°~70° 사이)의 발생빈도는 2.7%로 가장 낮고, 동풍(80°~100° 사이)의 발생빈도는 3.3%로 그 다음으로 낮다(2005년).

10) 김포국제공항의 북동풍(50°~70° 사이) 발생빈도 2.7%(2005년)

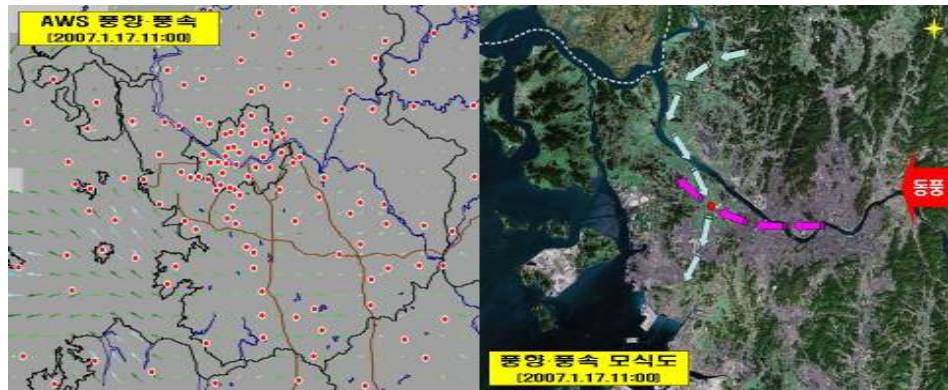


[그림 12] 북동풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

▶ 동풍의 경우

편서풍 지대에 속하는 김포국제공항에서 동풍은 그 발생빈도가 낮고, 풍향의 변화가 심하며, 풍속 또한 약하고, 지속시간도 짧다.

또한, 아래의 [그림 13]에서 보는 바와 같이 김포국제공항 동쪽 약 16km 지점에서 시작되는 인왕산(해발 338m)과 북한산(해발 837m)으로 남북으로 이어지는 산줄기를 돌아서 한강상류를 따라 남동 편향하여 동남동풍으로 불거나, 위의 북동풍의 경우와 유사하게 북한산국립공원을 돌아 북북서풍으로 불기도 한다. 이러한 경우는 대부분 풍속이 약한 경우이며 풍향도 동, 북동 및 북북서 등으로 그 변화가 매우 심하여 예보에도 어려움이 많다.



[그림 13] 동풍의 경우 AWS 풍향·풍속과 모식도

4. 결론

김포국제공항의 국지풍계는 일기도에서 표현하는 중간바람과는 풍향별, 풍속별 편차가

발생한다. 그 요인으로서는 도시화에 따른 국지풍의 영향과 지형효과가 중요한 요인으로 작용한다고 볼 수 있다. 하지만, 지상의 국지풍은 기압계 시스템 등 복합적인 상황에 따른 여러 가지 요인의 의해 나타나는 현상인 만큼 폭넓은 이해가 필요하다고 생각된다.

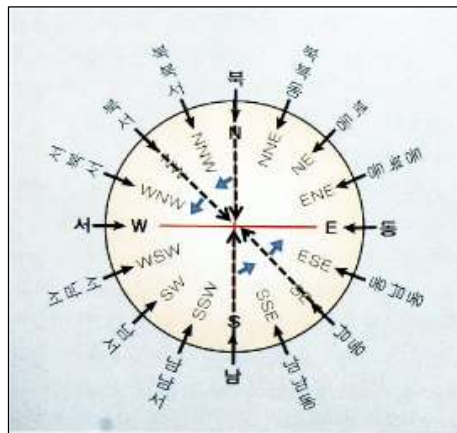
◎ 김포공항 풍향·풍속 편차 정리

<풍향·풍속 편차 풍향(+):반시계방향 편향, 풍속(+):감쇠>

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
풍향편차	27	2	4	-20	-17	-2	11	50
풍속편차	6	5	2	4	4	5	5	5

- ▶ 시기별 풍향의 변화의 방향이 다른 풍계(음영) : NE, E, SW, W
- ▶ 시기별 풍향의 변화의 방향이 적은 풍계 : N, SE, S, NW
- ▶ 풍속은 전 방향에 대하여 모델값에 비하여 2~6kt가량 감쇄가 발생하였다.

◎ 김포공항 풍향편차 모형



[김포공항 국지풍 국지풍 모형- 화살표는 모델값에 대한 편향]

이번 과제를 수행함에 따라 그동안의 예보업무를 돌아보게 되는 계기가 되었으며, 김포국제공항의 예보업무에 임하는 모든 예보자에게 국지풍계에 대한 재고의 기회가 되어 업무에 도움이 되길 바란다.

5. 참고문헌

항공기상대, 2005: 항공기상업무지침(제5차 개정판).
 기상청 기상연구소, 2004: 한국의 기후, 287-290.