

김해공항 국지풍 예측기법(Ⅱ)

(해륙풍 및 시계열 예측자료 활용방법)

허성일, 박준혁, 강춘희, 김용호

김해공항기상관측소

1. 서론

김해공항은 인천, 김포, 제주와 더불어 항공기 운항 횟수가 많은 우리나라의 대표적인 국제공항이며, 기상현상에 의한 결항이 전체 결항횟수의 54%(2001 ~ 2005년 5년간 평균)로 항공기 운항에 적잖은 영향을 미치고 있다. 그러므로 항공기 운항의 안전성 제고와 효율화에 기여하기 위해 공항예보의 확대 필요성이 대두되었고, 2003년 9월부터 착륙예보를 발표하게 되었으며, 2006년 6월부터 이륙예보를 발표하였다. 이·착륙예보 요소 중 국지풍은 객관적인 예보가 매우 어렵고, 특히 풍향·풍속에 의한 활주로 변경이 잦아 항공기 운항에 국지풍의 영향을 크게 받고 있다.

또한 김해공항은 지정학적인 요소인 1일을 주기로 하여 방향이 바뀌어지는 소규모의 국지풍이 발생하고 있다. 즉 지면과 수면위의 공기의 온도차에 의해 대기층의 에너지의 차가 생기고 이로 인해 낮에는 바다로부터 육지로 바람이 부는 해풍(海風)이 불고, 밤에는 육지로부터 바다로 부는 육풍(陸風)이 불게 된다. 이러한 해륙풍은 태양으로부터 받는 복사에너지가 대기운동의 운동에너지로 전환되는 원리를 보여주고 있기 때문에 소규모 순환으로써 그동안 상당한 관심을 갖고 연구되어 왔다. 특히, 연안지방 오염물질의 이류 확산에 따른 해륙풍의 순환효과가 크게 강조되는 등 대기환경평가를 목적으로 한 대기확산의 simulation 역시 널리 행하여지는 연구분야이다. 이들 논문은 '해륙풍을 고려한 울산지역 대기오염물질농도의 수치모의(이화운 등, 2002)', '부산 연안에서의 3차원 해륙풍 수치모의(문승의 등, 1993)', '제주도 지방의 2차원 해륙풍 순환(김유근, 1989)' 등이 있다.

그러므로 본 연구에서는 이러한 해륙풍이 김해공항의 항공기 이·착륙에 어떤 변화를 주는지를 고찰하여 활주로 변경 시각에 따른 착륙예보에 활용하고자 하였으며, 또한 시계열 자료를 활용한 국지 공항예보(TAF) 발표 및 검증을 실시하여 예측기법에 대한 적절한 방안을 유도하려 하였다.

따라서 2005년도에 「김해공항 국지풍 예측기법 I」에서는 국지풍을 규명하기 위해 과거의 풍향·풍속의 통계자료와 착륙예보 기준치에 해당되는 날에 대한 특성을 조사하여 통계적 방법에 의한 국지풍을 규명하고 착륙예보 정확성 향상에 기여하였으며, 2006년도에는 「김해공항 국지풍 예측기법 II」를 통해 국지적인 해륙풍 조사와 시계열자료를 활

용한 국지예보 생산으로 김해공항 항공기 안전운항을 위한 이·착륙예보 능력 향상에 적극 활용하고자 한다.

2. 김해공항의 해륙풍 조사

가. 조사방법

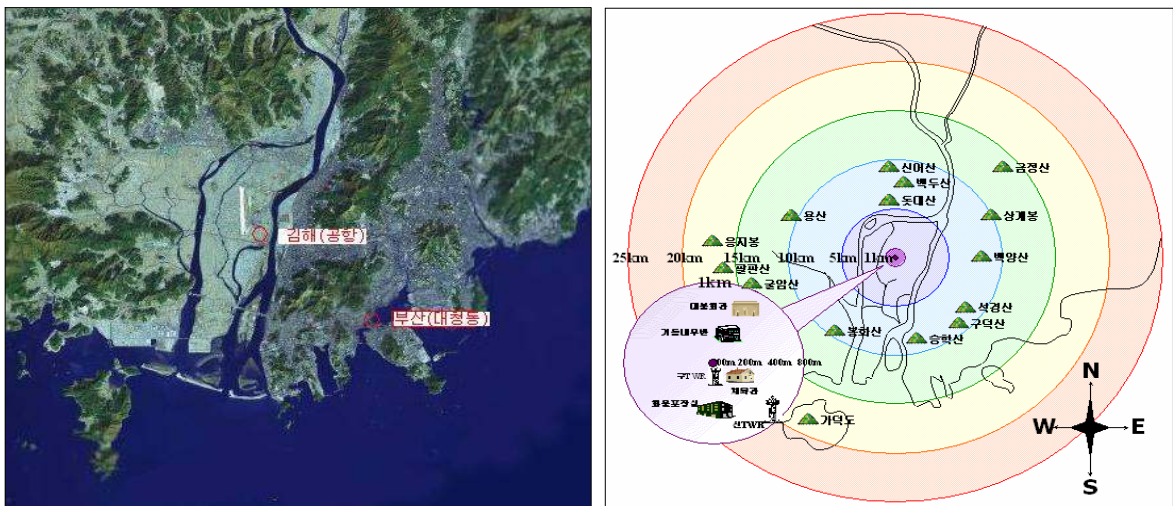
풍향·풍속 관측자료는 5년간(2001. 1. ~ 2005. 12.)의 부산지방기상청 대청동관측소 ASOS자료(대청동)와 김해공항기상관측소 AMOS자료(공항)의 기상요소 값을 조사하고, 기상청에서 작성한 각종 일기도와 부산지방의 일부지역 무인 AWS에서 관측된 자료를 분석하였다.

활주로 변경 시간대별 변화 시점을 살펴보기 위하여 3년간(2002. 1. ~ 2004. 12.)의 활주로 변경자료를 조사하였다.

기압계는 고기압영향과 이동성고기압영향으로 발생한 해륙풍을 선정하였으며, 전선과 기압골 통과로 인한 바람 변화는 제외하였다.

나. 공항주변의 지형

김해공항은 부산광역시 강서구 대저2동의 낙동강 하구에 위치하고 있으며, 동으로는 부산시 사상구, 북으로는 양산시, 서쪽으로는 김해시가 위치해 있다. 주변의 지형은 북동으로는 태백산맥의 말단과, 북서쪽으로는 소백산맥이 놓여있으며, 낙동강이 신어산(630.4m)과 금정산 사이로 흘러 들어와 주류와 지류로 나누어져 공항 동편으로는 주류, 서편으로는 지류가 되어 남쪽 녹산지역을 지나 바다와 접한다. 해안선까지의 거리는 김해공항은 15km, 부산대청동관측소는 3km 정도이며 상호간의 거리는 10km 이다.



[그림 1] 김해공항 지형도(좌) 및 주변 중요지형과의 거리(우)

다. 해륙풍 분석

1) 부산지방 해륙풍의 기준

부산지방의 해륙풍 발생 기준을 이론의 조건에 충실하면서 김해(공항)과 부산(대청동) 지점의 지정학적인 특성을 반영하여 해륙풍의 유입시간을 10시간으로 정하고 경과시간을 2시간으로 하여 풍향과 시각에 따라 조건을 <표 1>과 같이 정하였다.

<표 1> 부산지방 해륙풍 기준

구분	해풍	육풍
풍향	14~23°	32~05°
시각	08~18KST	20~06KST
경과시간	06~08KST	18~20KST
풍속	2.5m/s(5kts)이상	
측풍	06~13°, 24~31°	

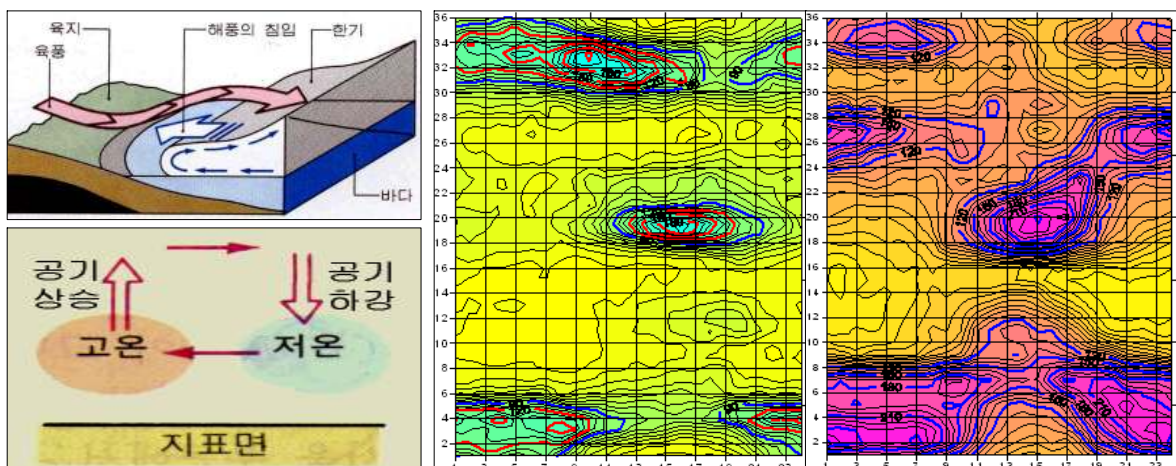
2) 부산지방 풍향별 관측 분포

가) 김해(공항) 시간대별 관측 분포

남풍계열(16~23°)의 바람은 12~20KST까지 높은 관측분포로, 해풍의 조건보다는 2~3시간 정도 늦게 나타나는 특징을 보였으며, 북풍계열(32~05°)의 바람은 20~익일 10KST까지 높은 관측분포를 보였다. 또한 NW계절풍(30~34°)이 8~14KST까지 탁월하게 나타나 겨울철의 계절적인 특징으로 인한 관측풍계의 증가로 보인다.

나) 부산(대청동) 시간대별 관측 분포

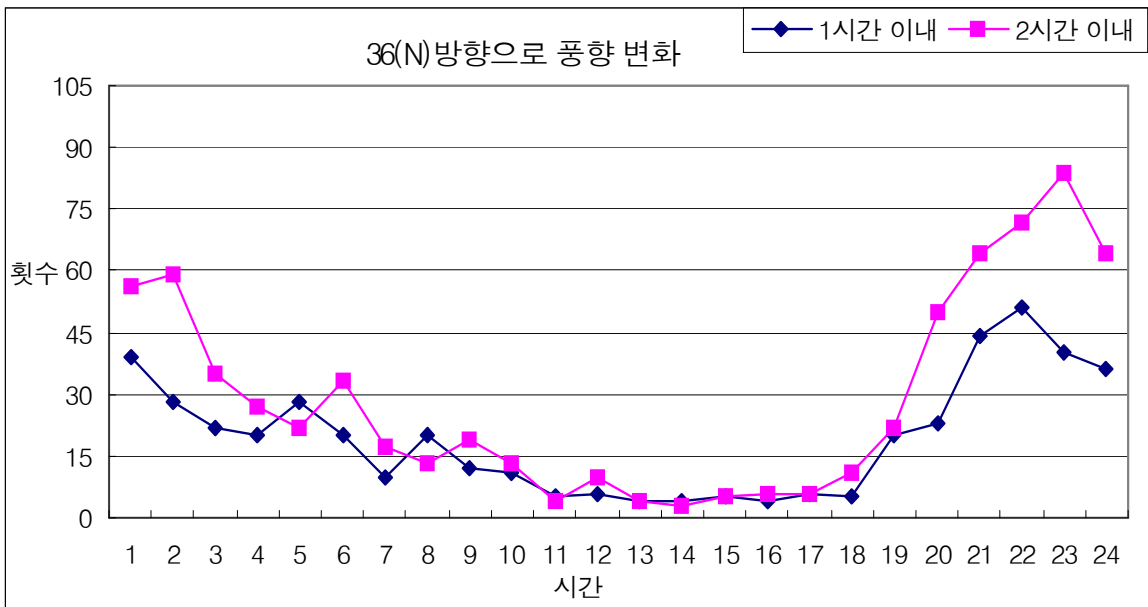
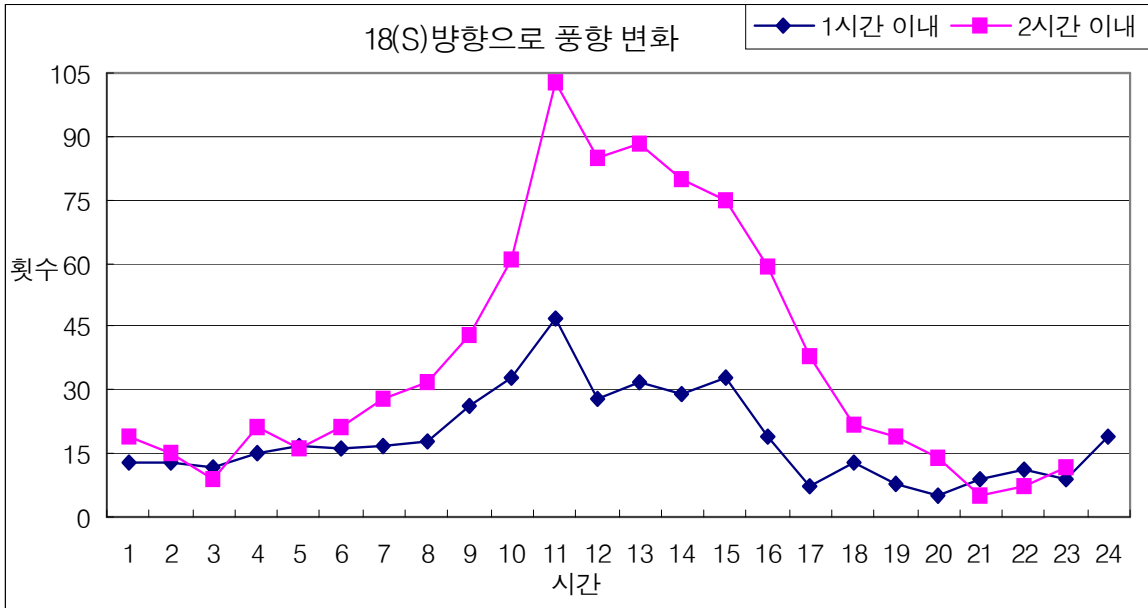
남풍계열(18~23°)의 바람은 10~18KST까지 높은 관측분포를 보여 이론적인 해풍의 조건에 거의 일치하는 경우를 보였으며, 북풍계열(36~05°)의 바람은 18~익일 10KST까지 높은 관측분포를 보였으며, NE풍(02~05°)과 W풍계열(27°)의 바람도 탁월하게 관측되어 지형적인 특성이 포함된 것으로 보였다.



[그림 2] 해륙풍 발생 모식도(좌) 공항과 대청동의 풍향관측 분포(우)

다) 김해(공항) 시간대별 풍향 변화분포

북풍계열(36°)이 남풍계열(18°)의 바람으로 1~2시간 이내에 변화하는 경향을 보면, 일출 후인 9KST부터 점차 증가하여 11KST에 정점을 보이고 다시 하강하는 분포를 보여 해풍의 변화경향과 거의 유사한 분포를 보였으며, 남풍계열(18°)이 북풍계열(36°)의 바람으로 1~2시간 이내에 변화하는 경향을 보면, 일몰 후인 18KST부터 증가하여 23KST에 정점을 보인 후 익일 8KST까지 하강하는 것으로 보여 육풍의 변화경향과 일치하였다.



[그림 3] 김해(공항) 1~2시간 이내 풍향 변화 경향

3) 해륙풍 관측 분포

가) 기압계 분류 기준(3가지 유형)

겨울·이른 봄에 나타나는 전형적인 고기압의 경우와 봄·가을에 출현하는 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때를 기준으로 하였으며, 전선과 기압골(저기압) 통과로 인한 바람, 태풍의 영향은 제외하였다. 즉 LB, HF(저기압 후면 또는 고기압 전면), HF→H(고기압 전면 또는 고기압의 영향), HB→LF(고기압 후면 또는 저기압 전면)으로 분류하였다.

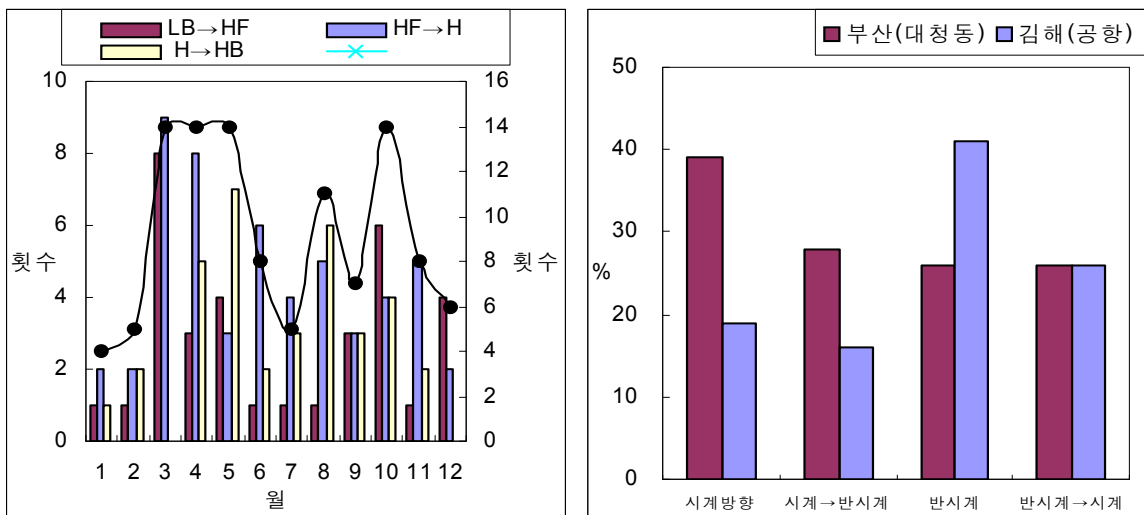
특히 고기압의 중심이 남부 및 서해 남부상에 걸쳐 있을 때는 김해(공항)에는 20kts의 해풍일 가능성이 많고, 고기압의 중심이 북부나 북동부 지방에 위치할 때는 주로 북동류의 바람이 불 때가 많다.

나) 기압계별 해륙풍 분포

해륙풍의 월별 출현 경향을 보면 봄철인 3~5월이 36%로 높은 분포를 보였으며, 북태평양 고기압의 영향을 주로 받는 8~10월도 29%로 높은 분포를 보였다. 또한 계절적으로 봄, 가을에 높은 출현을 보이는 이유는 이동성 고기압이 자주 출현하여 기압계에 의한 일반풍의 영향이 거의 나타나지 않았기 때문이다.

다) 해륙풍 풍향 변화 분포(공항 : 대청동)

해륙풍에 관한 이론(Haurwite, 1974)에는 전향력의 영향으로 시간에 따라 풍향이 시계방향으로 변해야 하는데 김해(공항)는 반시계방향으로 변하는 경우가 41%로 이론의 풍향과 일치하지 않았으나 부산(대청동)은 39%로 이론의 풍향과 일치하는 경향을 보였다. 이것은 지형적인 영향과 해안에서의 거리가 크게 작용하는 것으로 분석되었다. 즉 시계방향으로 풍향이 변하는 경우(19 : 33), 시계방향으로 변하다가 반시계방향으로 변하는 경우(14 : 23), 반시계방향으로 변하는 경우(41 : 22), 반시계방향으로 변하다가 다시 시계방향으로 변하는 경우(26 : 22)로 분석되었다.



[그림 4] 해륙풍시 기압계 유형 분포(좌), 풍향의 변화경향(우)

4) 활주로 변경운영 관측시각

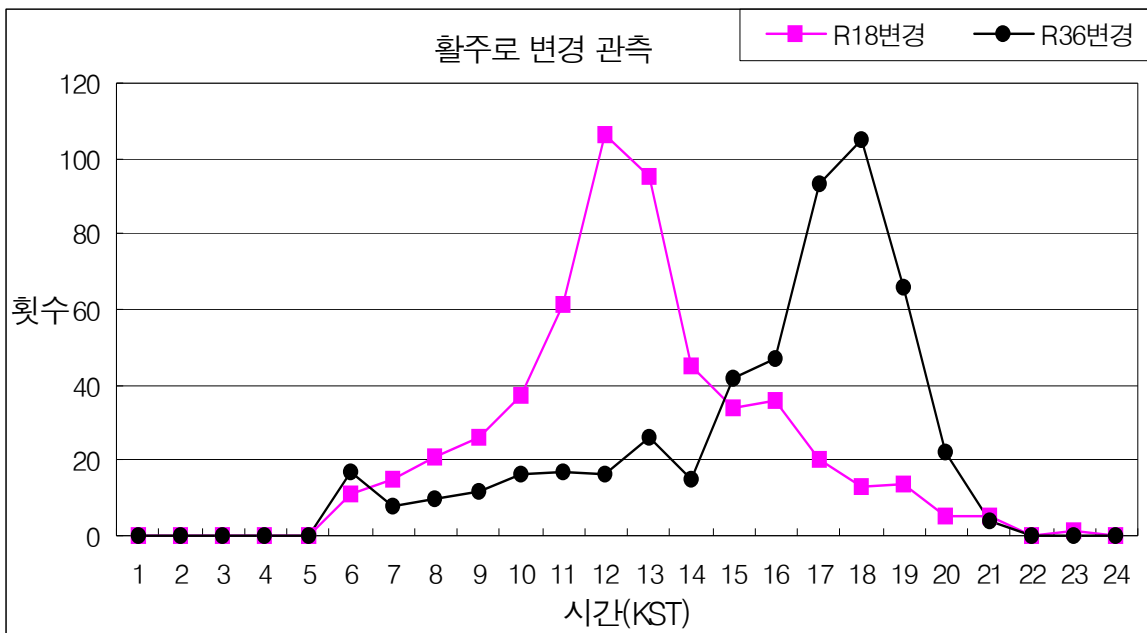
가) 공항 활주로 변경운영

김해공항의 활주로는 남쪽에서 북쪽으로 착륙(R36방향)시에는 VIS 800m, CIG 200ft의 최저기상조건치가 적용되고, 북쪽에서 남쪽으로 착륙(R18방향)시에는 VIS 3,200m, CIG 700ft의 최저기상 조건값이 적용된다. 또한 남풍이 10kts 이상 불 때는 북쪽에서 남쪽으로 착륙하는 조건이 나빠져 주 활주로를 R36방향에서 R18방향으로 변경하여 운영을 한다.

나) 활주로 변경운영 분포

풍향의 변화로 인한 활주로 변경운영을 보면, R18방향(36→18) 운영으로 전환(남풍계열이 관측)되는 경우에는 11~13KST(48%)에 높은 분포를 보인 후 점차 하락하는 경향을 나타내어 해풍의 영향인 것으로 보였다. 또 R36방향(18→36) 운영으로 전환(북풍계열이 관측)되는 경우에는 16KST에 증가하여 17~19KST(51%)에 높은 분포를 보인 후 점차 하락하는 경향을 나타내어 육풍의 영향인 것으로 보였다.

즉 활주로 변경시간대가 해풍이 불어오는 시점보다 1~2시간 늦은 결과를 발견할 수 있었는데, 이는 김해공항이 삼각주에 위치하여 실제 해안선과의 거리가 15km 떨어져 있으며, 풍속이 10kts 이하의 경우에는 활주로를 변경하지 않고 계속 사용하다가 풍속이 10kts 이상으로 증가하는 시점에 활주로를 변경하는 경우를 감안한 시간으로 보인다. 그러나 밤의 경우는 풍향이 변경되는 즉시 활주로 방향을 변경함으로 풍향의 관측값과 일치한 경우를 보였다.



[그림 5] 김해(공항)의 활주로 변경운영 분포

5) 해륙풍의 사례 분석

가) 사례일 : 2005.06.05.~ 06. / 공항(○), 대청동(○)

김해(공항)의 해륙풍은 22~09KST까지 뚜렷한 N풍계열의 육풍이 불고, 10~18KST까지 S풍계열의 해풍이 불어오고 있다.

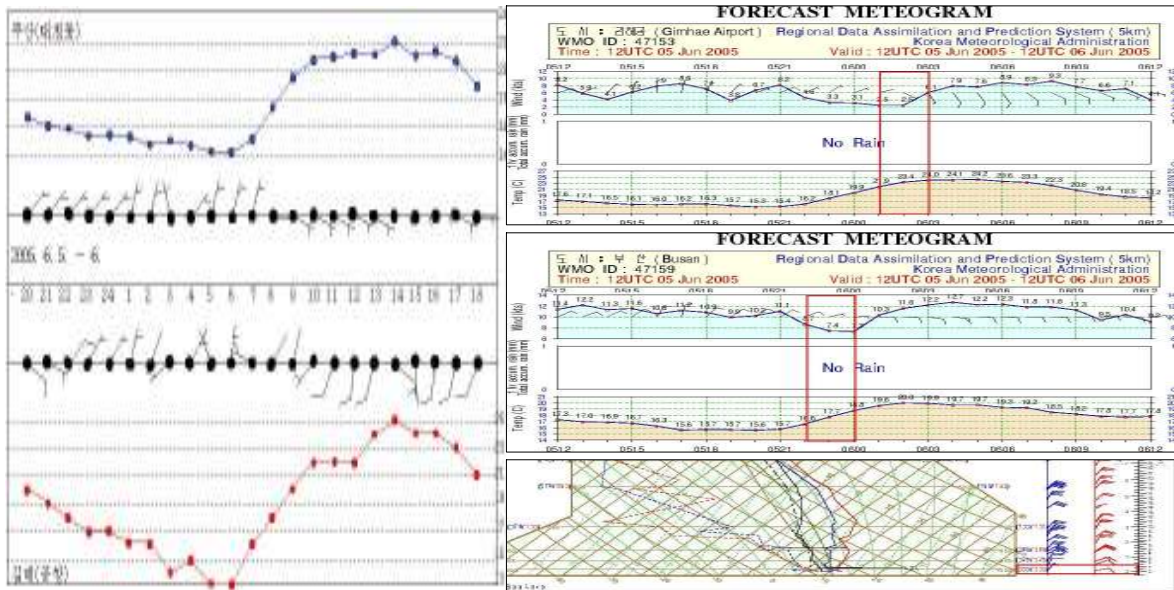
부산(대청동)의 해륙풍은 뚜렷한 경향을 보여, 22~07KST까지 N풍계열의 육풍이 불고, 8~18KST까지 SE풍계열의 해풍이 불어오고 있다

AWS 바람벡터 분포를 보면 N(06°)→NE(08°)→E(09°)→SE(12°)으로 시계방향의 변화를 보였다. 또한 풍속은 해풍이 불면서 전체적으로 증가한다.

연직시계열도(06. 05. 12UTC)에서 김해(공항)은 10~12KST 사이에 북동에서 남풍으로 변화하는 것을 잘 예측하고 있으며, 부산(대청동)은 7~9KST 사이에 북동에서 동풍으로 변화하는 것으로 모의한다. 그러나 관측과의 오차는 공항은 9~10KST, 대청동 7~8KST에 풍향이 변화하는 경향을 보여, 시계열 예측자료와 거의 일치한 경향을 보였다

대기선도에서는 고기압의 가장자리에 위치하여 침강역전이나 뚜렷한 풍향의 반전은 보이지 않고 있다.

김해(공항)의 6월 6일 활주로 변경은 R18방향으로 1215KST에 변경하여 일중 계속 운영되었다.



[그림 6] 풍속 및 기온 분포(좌)와 시계열도 예측자료 및 대기선도(우)

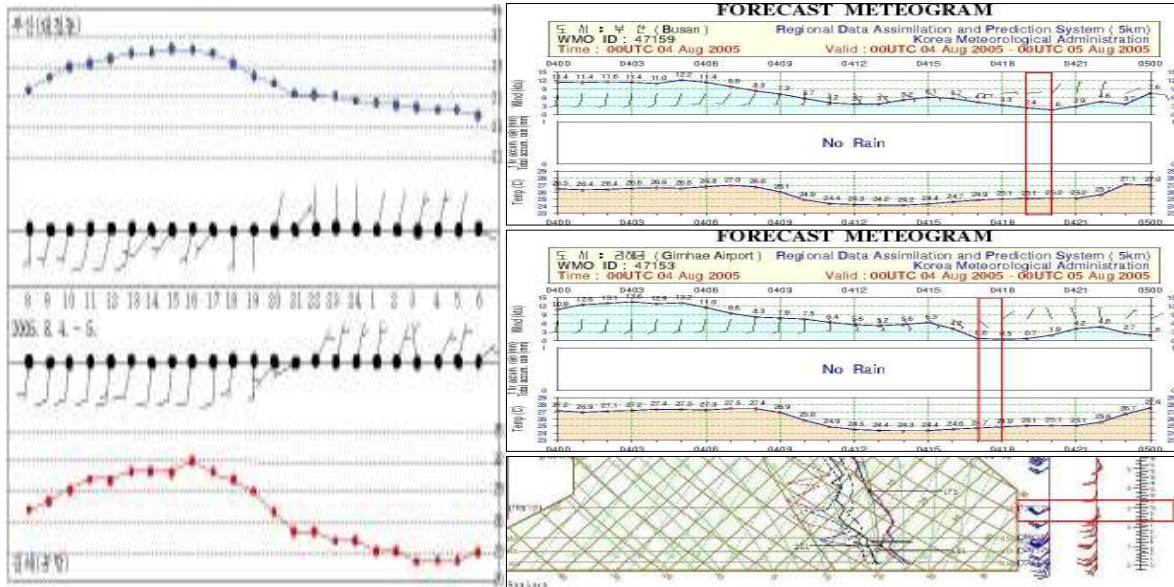
나) 사례일 : 2005.08.04.~ 05. / 공항(○), 대청동(○)

부산(대청동)의 해륙풍은 08~19KST까지 뚜렷한 S풍계열의 해풍이 불고, 20~06KST까지 N풍계열의 육풍이 불고 있다.

김해(공항)의 해륙풍은 뚜렷한 경향을 보였으며, 08~21KST까지 S풍계열의 해풍이 불

고, 22~06KST까지 N풍계열의 육풍이 불고 있다.

AWS 바람벡터 분포를 보면 S(15°)→SE(19°)→SE(20°)→N(03°)으로 반시계방향으로 변화를 보였다. 풍속은 육풍이 불면서 전체적으로 약화된다.



[그림 7] 풍속 및 기온 분포(좌)와 시계열도 예측자료 및 대기선도(우)

연직시계열도(08. 04. 00UTC)에서 부산(대청동)은 2~3KST 사이에 남동에서 북풍으로 변하는 것을 예측하고 있으며, 김해(공항)은 2~3시간 늦은 4~5KST 남풍에서 점차 북풍으로 변화하는 것으로 모의한다. 대기선도에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있다.

김해(공항)의 8월 4일 활주로 변경은 R18방향으로 0903KST에 다시 R36방향으로 1659KST에 변경하여 운영되었다.

3. 시계열 자료를 활용한 공항예보(TAF)

가. 조사방법

연직시계열 자료는 기상현상(바람, 습도, 기온, 기압, 강수의 시종 등)을 시간대별로 표현하고 있어 각종 공항예보에 바로 적용하기 편리하고 이·착륙 등 항공기상 예보에 매우 유용하게 활용할 수 있는 장점도 있으나, 시계열 자료의 정확성이 검증되지 않았고 현재의 경험적 판단으로 오차가 있다는 것에서 접근하여, 현업에서는 예측에 활용하고 있으므로 지금 표출된 자료의 오차 범위를 확인하여 예측자료로 활용하고자 하였다.

즉 2005년 1년간(2005. 01. ~ 2005. 12.) 연직시계열자료를 00UTC, 12UTC 기준으로 김해공항매시간관측자료(METAR / 총 8760개)와 연직시계열 예측값(5km)을 풍향·풍속, 강수량의 요소를 비교·분석하였다.

풍향·풍속 착륙예보 기준치는 평균풍향이 60°이상 변화하고, 평균풍향의 변화전·후의 평균풍속이 10kts 이상일 때, 변화 전 10kts 이상에서 변화 후 그 이하로 될 때, 변화 전 10kts 이하에서 변화 후 10kts이상으로 예상될 때이고, 또한 평균풍속이 10kts 이상 차가 날 것으로 예상될 때이다.

나. METAR와 연직시계열 자료와의 비교분석

1) 풍향·풍속 분석

가) 풍향 차이

<표 2>에서 보면 월별로 관측한 풍향과 연직시계열에서 나타난 풍향값의 차이가 30° 이하의 경우는 1~2월과 12월에 60% 이상으로 가장 잘 적중하는 것으로 나타났으며, 60° 이상 차이가 발생한 경우는 4월~8월에 40% 이상이고, 그 중 5월달이 56.3%로 가장 크게 벗어난 것으로 나타났다.

계절별로는 차이가 30°이하의 경우가 겨울철에 가장 상호 근접하고 있었다.

나) 풍속 차이

<표 3>에서 보면 관측된 풍속과 연직시계열의 풍속을 비교한 결과 연직시계열의 풍속이 관측된 풍속에 비해 98%이상 높게 나타났다. 풍속의 관측값과 연직시계열값의 차가 5kts이하로 차이가 낮게 나타난 때는 2월이 77% 정도로 가장 높았으며 다음 순으로 11월, 9월, 4월 순으로 나타났다.

계절별로는 차이가 5kts이하의 경우가 30% 정도로 어느 계급이 우세하다고 판단하기 어렵다.

<표 2> 월별 풍향의 계급별 분포(%)

풍향(°)		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
00 UTC	30이하	62.9	62.8	43.5	38.9	29.0	38.1	35.2	39.5	39.2	46.5	41.3	59.5	44.6
	30-60	22.2	21.6	18.8	18.8	14.7	19.9	23.0	16.9	23.1	30.9	30.7	24.6	22.1
	60이상	14.9	15.6	37.6	42.4	56.3	42.1	41.8	43.5	37.8	22.6	28.1	15.9	33.3
12 UTC	30이하	60.8	61.5	48.0	39.6	26.1	48.8	42.6	43.5	44.6	47.7	42.1	61.2	47.1
	30-60	22.2	20.7	18.4	21.0	17.6	20.0	16.9	16.7	19.9	28.4	26.8	25.9	21.2
	60이상	17.1	17.9	33.6	39.4	56.3	31.3	40.5	39.8	35.6	23.9	31.1	12.9	31.7

<표 3> 월별 풍속의 계급별 분포(%)

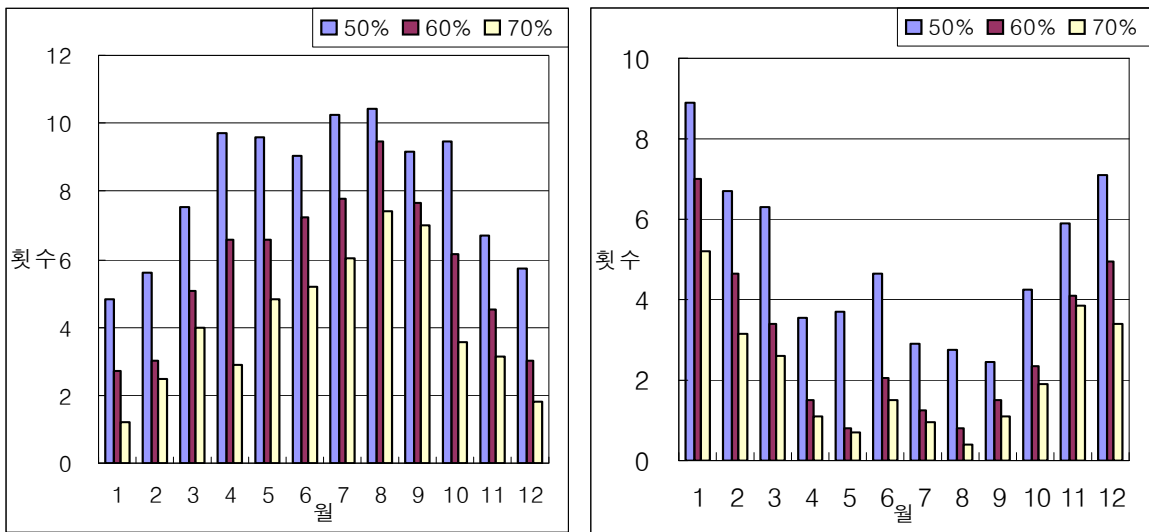
풍속		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
00 UTC	5kts 이하	4.3	81.1	12.8	51.0	26.7	53.2	23.0	20.0	55.7	7.3	63.5	9.3	33.4
	5-10kts	25.1	12.4	35.3	19.3	44.5	18.1	50.4	41.1	21.8	48.8	21.3	28.0	30.8
	10kts이상	70.6	6.5	51.9	29.7	28.8	28.8	26.6	38.8	22.5	44.0	15.3	62.8	35.9
12 UTC	5kts이하	3.9	77.1	14.9	55.1	27.7	64.2	26.3	18.4	59.3	9.8	62.8	8.5	35.1
	5-10kts	23.1	15.6	32.4	19.9	42.2	17.1	46.6	44.8	18.6	48.4	22.9	29.7	30.3
	10kts이상	73.0	7.3	52.7	25.0	30.1	18.8	27.0	36.8	22.1	41.8	14.3	61.8	34.6

2) 일 중 MEATR와 연직시계열값의 차

가) 풍속 차가 5kts 이하인 경우

월별로 분석하여 보면 일 70%(17/24) 이상인 경우에는 8월과 9월이 18회(58%)와 17회(57%)로 높게 나타났고 1월이 3회(10%)로 가장 낮게 나타났다. 풍향의 경우와 달리 겨울철에 풍속이 더 높게 나타나고 있어 정확도가 다소 낮게 나타나고 있다.

또한 시간별로 분석하여 보면 00UTC 발표의 자료는 3~8KST에 50% 이하로 나타나고 있으며, 12UTC의 경우 6~7KST에만 50% 이하로 낮게 나타나고 있다.



[그림 8] 풍속 차 5kts 이하(좌), 풍속 차 5kts 이상(우) 분포도

나) 풍속 차가 5kts 이상인 경우

월별로 분석하여 보면 일 70%(17/24) 이상인 경우에는 1월과 11월이 각각 13회(42%)와 18회(30%)로 높게 나타났고 4월에서 8월이 낮게 나타났다.

다) 풍향 차가 30°이하인 경우

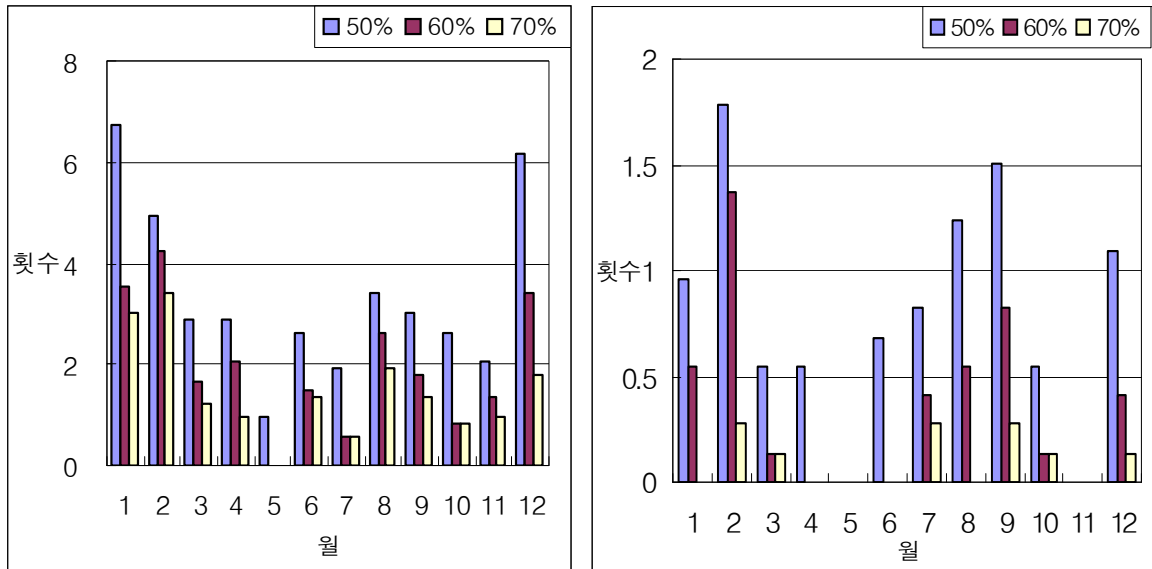
월별로 분석하여 보면 일 60%(15/24) 이상인 경우는 11월에서 2월 사이에 20~40%로 조금 높게 나타났으나 전반적으로 횟수가 적었다. 또한 계절별로 분석하여 보면 겨울철인 12, 1~2월에 60%로 다소 높은 분포를 보이고 있으며, 5월에 30% 미만으로 낮게 나타나고 있다. 이것은 겨울철에는 북서계절풍이 뚜렷하게 나타나고 있어 연직시계열도의 풍향을 잘 활용하면 예보 정확도 향상에 기여할 것으로 판단된다. 그리고 시간별로 분석하면 10~15KST에 50% 이상의 높은 분포를 보이고 있다.

라) 풍향 차가 30°이하이고 풍속의 차가 5kts 이하인 경우

월별로 분석하여 보면 일 50%(12/24) 이상인 경우는 매우 낮게 나타났으며 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 또한 발표시점(00UTC, 12UTC)에 따른 분석을 보면 00UTC는 2월

이 30%가 넘으며, 12UTC는 6~10월에 30%를 넘고 있다. 이 경우는 풍향과 풍속 모두 만족하는 경우는 30% 미만으로 예보에 활용하려면 다른 요건을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

그리고 시간별로 분석하면, 10~13KST에 00UTC자료가 35%를 넘고 있으며 일 중에는 비교적 높은 경향을 보이는데 이는 야간에 주풍향이 쉽게 변하고, 풍속 역시 낮아져 쉽게 적중하지 못하는 경우로 판단된다.



[그림 9] 풍향차 30° 이하(좌) 풍향차 30° 이하와 풍속차 5 kts 이하(우)

다. 사례분석

1) 일치사례 : 2005. 02. 17. 00UTC

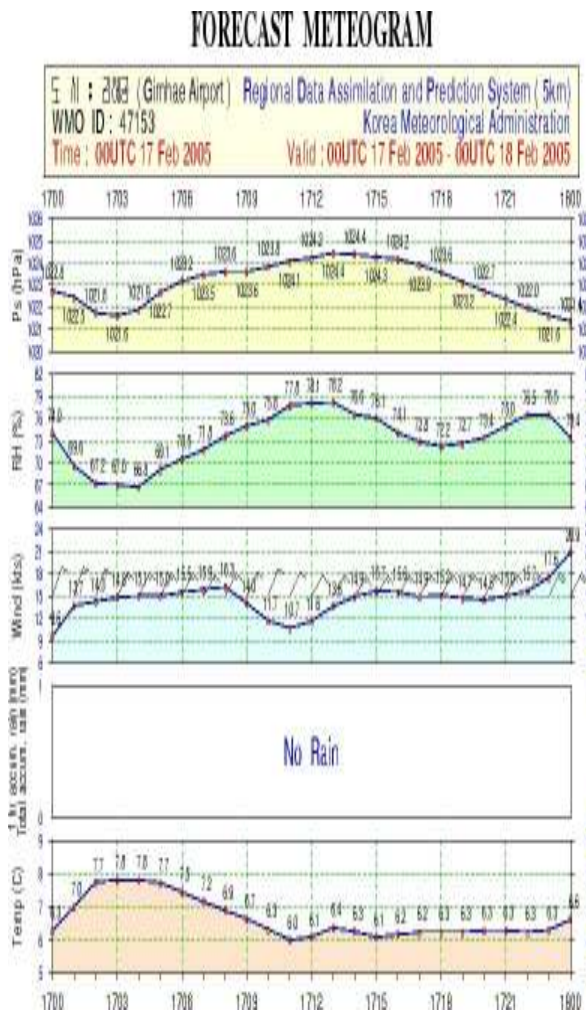
풍향의 차가 30° 이하, 풍속의 차가 5 kts 이하 인 경우에서 적중률이 92%를 보인 사례이다.

기압계 유형은 북고남저의 형태로 고기압 전면(HF)에 위치하며 주로 북동풍이 지속적으로 부는 형태를 보였다. 발달한 고기압이 북쪽에 저기압이 남쪽에 위치하면서 기압경도력에 의해 풍속도 강하여 시계열 자료와 관측값이 비교적 잘 일치된 경우를 보였다.

그 중 불일치 한 경우는 시계열 자료가 풍속을 10 kts 이상으로 예측하였으면 전부 맞는 경우이나 01, 02, 08UTC에 9 kts 이하로 예보하면 맞는 경우가 되겠다.

2) 불일치사례 : 2005. 09. 16. 12UTC

풍향의 차가 30° 이하, 풍속의 차가 5 kts 이하 인 경우에서 적중률이 0%를 보인 사례이다.



요소 시간	관측 풍향 (A)	시계열 풍향 (B)	차이값 (A-B)	관측 풍속 (A)	시계열 풍속 (B)	차이값 (A-B)
1	40	30	10	7	14	7
2	40	30	10	8	14	6
3	40	40	0	11	15	4
4	10	40	30	12	15	3
5	30	40	10	14	15	1
6	30	40	10	15	16	1
7	30	50	20	13	16	3
8	30	40	10	9	16	7
9	30	40	10	9	14	5
10	30	30	0	12	12	0
11	40	40	0	13	11	2
12	50	50	0	15	12	3
13	40	40	0	15	14	1
14	40	50	10	14	15	1
15	50	50	0	15	16	1
16	40	50	10	16	16	0
17	50	50	0	12	15	3
18	40	40	0	13	15	2
19	40	40	0	15	15	0
20	40	40	0	14	15	1
21	40	50	10	12	15	3
22	50	40	10	13	16	3
23	60	40	20	14	18	4
24	60	40	20	19	21	2

[그림 10] 2005. 02. 17. 00UTC : 일치사례

기압계 유형은 남쪽에 고기압, 북쪽에 저기압이 위치하는 고기압 후면(HB)의 배치로 저기압은 북편해서 이동하고 남쪽 고기압은 점차 강화되는 형태를 보였으며, 북서풍에서 고기압의 강화로 남풍계열의 바람으로 변화하고 있다. 하지만 시계열 자료는 고기압이 계속 위치하면서 풍속이 강해지는 것으로 모의하여 모두 틀린 경우가 되겠다.

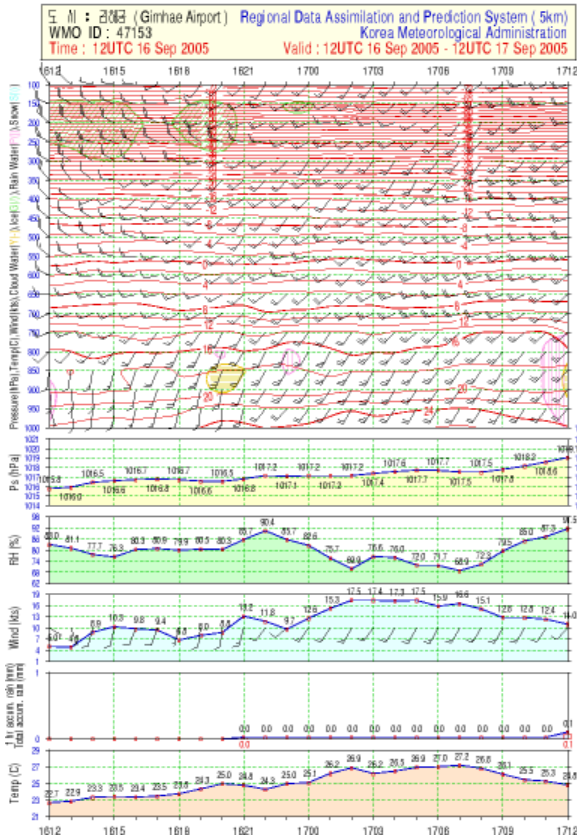
라. TAF 적용 사례

1) 자료 및 적용방법

김해공항 연직시계열 자료의 자동화된 예보문 생산의 적용을 검토하고자, 연직시계열 자료의 풍향, 풍속, 강수의 3요소를 김해공항 TAF문으로 변화하여 발표하고, 공군 김해 기상대 TAF 예보문의 결과와 상호 비교하여 적정 여부를 판단하고자 하였다.

자료기간은 2006년 9월 1일 ~ 30일까지(30일간) 00UTC, 12UTC 자료를 사용하였다.

FORECAST METEGRAM



요소 시간	관측 풍향 (A)	시계열 풍향 (B)	차이값 (A-B)	관측 풍속 (A)	시계열 풍속 (B)	차이값 (A-B)
1	330	150	180	4	5	1
2	340	190	150	5	9	4
3	340	190	150	4	10	6
4	330	200	130	4	10	6
5	330	200	130	5	9	4
6	310	190	120	5	7	2
7	320	190	130	4	8	4
8	30	180	150	3	9	6
9	340	190	150	3	13	10
10	330	220	110	5	12	7
11	300	240	60	5	10	5
12	210	220	10	4	13	9
13	200	220	20	5	15	10
14	190	220	30	7	18	11
15	210	230	20	8	17	9
16	190	220	30	8	17	9
17	200	220	20	6	18	12
18	190	220	30	6	16	10
19	180	220	40	4	17	13
20	170	220	50	4	15	11
21	220	220	0	3	13	10
22	360	220	140	2	13	11
23	340	220	120	3	12	9
24	10	230	140	3	11	8

[그림 11] 2005. 09. 16. 12UTC : 불일치사례

2) 실제 적용 예보사례

가) 적용일 : 2006. 09. 12. 00UTC(연직 : 공군 / 41 : 85)

연직시계열 자료				공군 기상대 예보자료			
TAF RPKK 121100Z 121224 05015KT -RA BECMG 1920 05010KT BECMG 2021 05015KT=				TAF RPKK 121100Z 121224 03006KT BECMG 2021 03008KT 4800 -RA			
풍향	풍속	강수	평균	풍향	풍속	강수	평균
85	39	0	41	92	100	62	85

나) 적용일 : 2006. 09. 21. 00UTC(연직 : 공군 / 95 : 90)

연직시계열 자료				공군 기상대 예보자료			
TAF RPKK 211100Z 211224 05010KT BECMG 1415 05007KT BECMG 1819 09010KT BECMG 2122 05007KT=				TAF RPKK 211100Z 211224 06008KT			
풍향	풍속	강수	평균	풍향	풍속	강수	평균
92	92	100	95	69	100	100	90

다) 적용일 : 2006. 09. 08. 12UTC(연직 : 공군 / 90 : 44)

연직시계열 자료				공군 기상대 예보자료			
TAF RPKK 072300Z 080012 04015KT BECMG 0102 05010KT BECMG 1011 09010KT=				TAF RPKK 072300Z 080012 04008KT BECMG 0405 06012KT BECMG 1112 8000 -RA			
풍향	풍속	강수	평균	풍향	풍속	강수	평균
77	92	100	90	16	100	15	44

라) 적용일 : 2006. 09. 18. 12UTC(연직 : 공군 / 41 : 82)

연직시계열 자료				공군 기상대 예보자료			
TAF RPKK 172300Z 180012 36025KT -RA BECMG 0203 32020KT BECMG 0304 34025KT BECMG 0405 NSW				TAF RPKK 172300Z 180012 28006KT 8000 -RA SCT030 BKN100 BECMG 0001 28008KT			
풍향	풍속	강수	평균	풍향	풍속	강수	평균
76	0	46	41	69	100	77	82

3) TAF 평가 결과

00UTC 자료를 분석하여 보면 공군 예보자료가 전체 평균 17점이 높았으며, 풍향의 경우는 거의 같은 점수를 보였고, 풍속의 경우에는 가장 큰 점수차이인 42점의 격차를 보였다. 또한 강수에서는 연직시계열자료가 87점으로 높은 정확도를 보여 자료의 객관화에 상당한 가능성을 보였다.

12UTC 자료에서는 전체 평균이 연직시계열자료는 73점 공군 예보자료는 82점으로 9점의 차이를 보였으나 연직자료가 70점대의 높은 점수를 보였다. 특히 풍속의 경우 81점으로 높은 결과를 보여 예보 적용이 가능할 것으로 보였다.

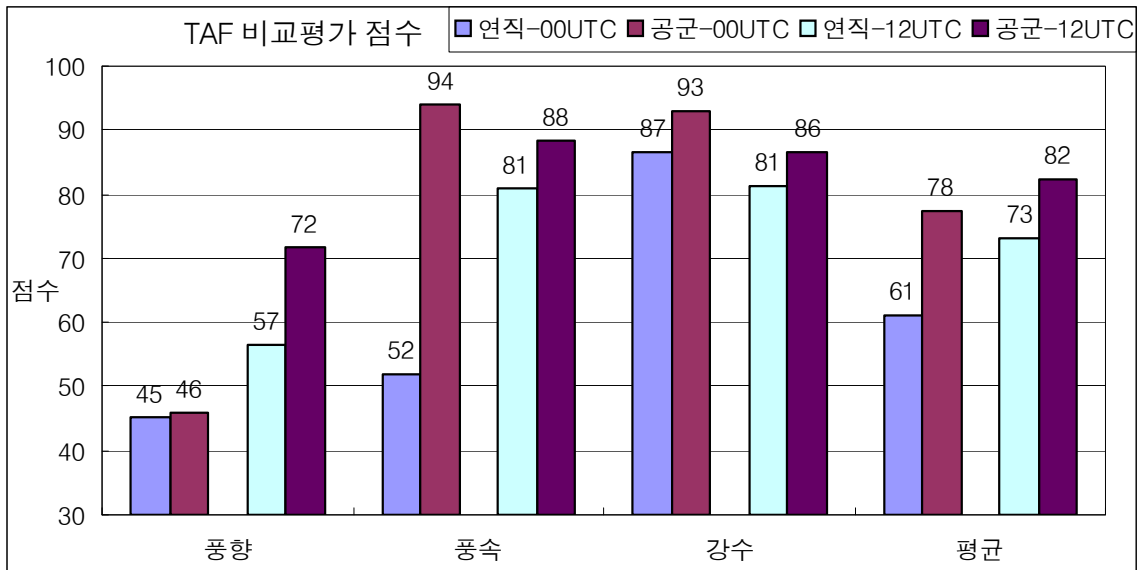
<표 4> TAF 적용 결과값

시간 요소	00UTC				12UTC			
	풍향	풍속	강수	평균	풍향	풍속	강수	평균
연직시계열자료	45	52	87	61	57	81	81	73
공군 예보자료	46	94	93	78	72	88	86	82
평가 결과 차	1	42	6	17	15	7	5	9

4. 결론

김해공항의 이·착륙예보의 점수를 살펴보면 착륙예보의 경우에는 풍향의 점수가 평균이하를 나타내고 있으며, 이륙예보의 경우에도 풍향이 풍속보다 상당히 낮은 점수를 보이고 있다. 즉 이륙예보 및 착륙예보의 적중률 향상을 위해서는 풍향에 대한 구체적인 예보기법이 필요하게 되었다.

그러므로 본 과제를 수행하여 풍향의 변화를 살펴보고, 풍속의 증감을 잘 활용하여 보다 나은 예측기법을 적용하여 향상된 항공기상서비스를 제공하고자 한다.



[그림 12] TAF 평가 점수 분포도

가. 해륙풍의 시간대별 분포

남풍계열(16~23°)의 바람은 12~20KST 사이에, 북풍계열(32~05°)의 바람은 20KST~다음날 10KST까지 높은 분포를 보인다. 즉 일반적인 해풍의 조건보다는 2~3시간 정도 늦게 나타나는 특징을 보였으며, 북풍계열은 특히 겨울철에 계절적인 특징으로 북서계절풍(30~34°)이 8~14KST까지 탁월하게 나타난다.

북풍계열(36°)이 남풍계열(18°)의 바람으로 1~2시간 이내에 변화하는 경향을 보면, 일출 후인 9KST부터 점차 증가하여 11KST에 정점을 보이고 다시 하강하는 분포를 보여, 해풍의 변화경향과 거의 유사한 분포를 보였으며, 남풍계열(18°)이 북풍계열(36°)의 바람으로 1~2시간 이내에 변화하는 경향을 보면, 일몰 후인 18KST부터 증가하여 23KST에 정점을 보인 후 익일 8KST까지 하강하는 것으로 보여 육풍의 변화경향과 일치하였다.

나. 해륙풍 발생에 따른 기압계 특징(3가지 유형)

겨울·이른 봄에 나타나는 전형적인 고기압의 경우와 봄·가을에 출현하는 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때를 기준으로 하였으며, 특히 고기압의 중심이 남부 및 서해 남부상에 걸쳐 있을 때는 김해공항에는 20kts의 해풍일 가능성이 많고, 고기압의 중심이 북부나 북동부 지방에 위치할 때는 주로 북동류의 바람이 불 때가 많다.

해륙풍의 월별 출현 경향을 보면 봄철인 3~5월이 36%로 높은 분포를 보였으며, 북태평양 고기압의 영향을 주로 받는 8~10월도 29%로 높은 분포를 보였다. 또한 계절적으로 봄, 가을에 높은 출현을 보이는 이유는 이동성 고기압이 자주 출현하여 기압계에 의한 일반풍의 영향이 거의 나타나지 않았기 때문이다.

다. 해륙풍 풍향 변화 경향(공항 : 대청동)

해륙풍에 관한 이론(Haurwite, 1974)에는 전향력의 영향으로 시간에 따라 풍향이 시계방향으로 변해야 하는데 김해(공항)은 반시계방향으로 41%로 이론의 풍향과 일치하지 않았으나, 부산(대청동)은 39%로 이론의 풍향과 일치하는 경향을 보였다. 이것은 지형적인 영향과 해안에서의 거리가 크게 작용하는 것으로 분석되었다. 즉 시계방향으로 풍향이 변하는 경우(19 : 33), 반시계방향으로 변하다가 다시 시계방향으로 변하는 경우(26 : 22)로 분석되었다.

라. 김해공항 활주로 변경 운영시각

풍향의 변화로 인한 활주로 변경운영을 보면, R18방향(36→18) 운영으로 전환(남풍계열이 관측)될 경우에는 11~13KST(48%)에 높은 분포를 보인 후 점차 하락하는 경향을 나타내고 R36방향(18→36) 운영으로 전환(북풍계열이 관측)될 경우는 16KST에 증가하여 17~19KST(51%)에 높은 분포를 보인 후 점차 하락하는 경향을 나타내어, 육풍의 영향인 것으로 보였다.

즉 활주로 변경시간대가 해풍이 불어오는 시점보다 1~2시간 늦은 결과를 발견할 수 있었는데, 이는 공항은 삼각주에 위치하여 실제 해안선과의 거리가 15km 떨어져 있고, 풍속이 10kts 이하의 경우에는 활주로를 변경하지 않고 계속 사용하다가 풍속이 10kts 이상으로 증가하는 시점에 활주로를 변경하는 경우를 감안한 시간으로 보인다. 그러나 육풍의 경우 풍향이 변경되거나 또는 풍속이 10kts 이하로 낮아져 즉시 활주로 방향을 변경함으로 풍향의 관측값과 일치한 경우를 보였다.

마. 연직시계열자료의 풍향 특성

관측값과 연직시계열 데이터의 풍향의 차이가 30°이하의 경우 1~2월, 12월에 60% 이상으로 가장 잘 적중하였다. 60°이상 차이가 발생한 경우는 4월~8월에 40% 이상이고, 그 중 5월달이 56.3%로 가장 크게 벗어난 것으로 나타났다. 각 계절별로 보면 겨울, 가을, 여름, 봄 순으로 높게 나타나며, 겨울철의 풍향이 관측값과 연직시계열 값이 가장 근접하고 있다. 겨울철에는 북서계절풍이 뚜렷하게 나타나고 있어 연직시계열도의 풍향을 잘 활용하면 어느 정도 신뢰성을 확보할 수 있다. 00UTC의 자료보다 12UTC의 자료가 다소 높은 적중율을 보이고 있다. 시간별 정확도를 살펴보면 주로 40% 이상 나타나고 있으며, 10~15KST에 50% 이상의 정확도를 보이고 있다.

바. 연직시계열자료의 풍속 특성

관측된 풍속과 연직시계열의 풍속을 비교한 결과 연직시계열의 풍속이 관측된 풍속에 비해 98%이상 크게 나타났다. 풍속의 관측값과 연직시계열값의 차가 5kts이하로 차이가

낮게 나타난 때는 2월이 77% 정도로 가장 높았으며 다음 순으로 11월, 9월, 4월 순으로 나타났다. 계절별로는 차이가 5kts이하의 경우가 가을, 여름, 봄, 겨울 순으로 나타나고 있으나, 30% 정도로 어느 계급이 우세하다고 판단하기 어렵다. 월별로 분석하여 보면 일 평균 70%(17/24) 이상인 경우에는 8월과 9월이 18회(58%)와 17회(57%)로 높게 나타났고 1월이 3회(10%)로 가장 낮게 나타났다. 풍향의 경우와 달리 겨울철에 풍속이 더 높게 나타나고 있어 정확도가 다소 낮게 나타나고 있다. 또한 시간별로 분석하여 보면 00UTC 발표의 자료는 3~8KST에 50% 이하로 나타나고 있으며, 12UTC의 경우 6~7KST에만 50% 이하로 낮게 나타나고 있다.

사. 풍향 차가 30°이하이고 풍속의 차가 5kts 이하인 경우

월별로 분석하여 보면 일 50%(12/24) 이상인 경우에는 매우 낮게 나타났으며 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 또한 발표시점(00UTC, 12UTC)에 따른 분석을 보면 00UTC는 2월이 30%가 넘으며, 12UTC는 6~10월에 30%를 넘고 있다. 이 경우는 풍향과 풍속 모두 만족하는 경우는 30% 미만으로 예보에 활용하려면 다른 요건을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

그리고 시간별로 분석하면, 10~13KST에 00UTC자료가 35%를 넘고 있으며 일 중에는 비교적 높은 경향을 보이는데 이는 야간에 주풍향이 쉽게 변하고, 풍속 역시 낮아져 쉽게 적중하지 못하는 경우로 판단된다.

아. 연직시계열자료를 활용한 TAF 평가

00UTC 자료의 경우 공군 예보자료가 전체 평균 17점이 높으며, 풍향의 경우는 거의 같은 점수를 보였고, 풍속의 경우 42점으로 최대의 격차를 보였다. 또한 강수에서는 연직시계열자료가 87점으로 높은 정확도를 보여 자료의 객관화에 상당한 가능성을 보였다.

12UTC 자료에서는 전체 평균이 연직시계열자료는 73점 공군 예보자료는 82점으로 9점의 차이를 보였으나 연직자료가 70점대의 높은 점수를 보였다. 특히 풍속의 경우 81점으로 높은 결과를 보여 예보 적용이 가능할 것으로 보였다.

자. 종합

김해공항의 이륙·착륙예보를 위한 연직시계열 자료를 참고할 때는 겨울, 가을, 여름, 봄 순으로 적용비중을 적절히 분배하여야 한다. 겨울에는 연직시계열을 주로 이용하며, 특히 10~15KST에 예보자료로 주목하여야 한다. 특히 풍속의 경우 4~10월이 비교적 정확하며, 그 중 8~9월이 더 높게 나타나고 있다. 반면 겨울철에는 연직시계열의 값이 더 높게 나타나므로 감하여 적용한다. 특히 풍속은 새벽녘은 모든 경우가 높게 모의되고 있다.

연직시계열 자료를 생산하는 프로그램인 5km 고분해능 모델은 지속적으로 개선되고 또한 수요자의 의견을 반영하고 있다. 이러한 과정을 참고로 하여 보다 나은 자료의 생산으로 일선

예보자는 확실한 참고자료를 활용한 예보 노하우를 적용하여 자신감 있는 예보를 할 수 있을 것으로 본다.

앞으로 이러한 자료를 바탕으로 Check List를 작성하고 또한 연직시계열 자료를 활용한 규정화된 TAF를 생산하여 검증을 실시함으로써 지속적으로 김해공항 국지풍 예측 향상에 기여하도록 하겠다.

※ 참고문헌

항공기상대, 2001~2005 : 항공기상 현업연구집.

공군 731-1기상대, 2005 : 해륙풍 예보법.

도우곤·정종순, 2004 : 부산지역 바람장 실시간 모니터링 프로그램 개발(Ⅱ). *부산광역시 보건환경연구원보* 14권, 78~88.

이화운·원경미·정우식·오은주·김민선·도우곤, 2002 : 해륙풍을 고려한 울산지역 대기오염물질 농도의 수치모의. *한국환경과학회지* 11권, 933~943.

항공기상대, 2002 : 착륙예보 기술지침(공항기상관측소)

항공기상대, 2002 : 항공기상예보기술지침

건설교통부, 2001 : 항공정보간행물(AIP).

건설교통부, 2000 : 표준항공교통관제절차

문승의·김유근·이화운·전병일, 1993 : 부산연안에서의 3차원 해륙풍 수치 모의. *한국환경과학회지* 2권, 103~113.

김유근, 1991 : 제주도 지방의 2차원 해륙풍 순환. *한국지구과학회지* 12권, 46~58.

김해공항 국지풍 예측 Check List

계절별 특징			UTC	00UTC		12UTC		해륙풍 적용		풍향풍속 적용시 유의점	적용할	
계절	종류	반영 정도		풍 향	풍 속	풍 향	풍 속	방향	10kts		풍향	풍속
봄	풍향	낮음	01					육풍	이하			
			02					"	"			
			03					해풍	이상			
	풍속	높음	04					"	"			
			05					"	"			
			06					"	"			
여름	풍향	보통	07					"	"			
			08					"	"			
			09					"	"			
	풍속	높음	10					"	"			
			11					육풍	이하			
			12					"	"			
가을	풍향	높음	13					"	"			
			14					"	"	이륙예보· 착륙예보를 발표하지 않음		
			15					"	"			
	풍속	보통	16					"	"			
			17					"	"			
			18					"	"			
겨울	풍향	높음	19					"	"			
			20					"	"			
			21						"	"		
	풍속	낮음	22						"	"		
			23						"	"		
			24						"	"		

※ 작성법

1. 당일 발표되는 연직시계열 자료를 시각별로 입력한다.
2. 풍향의 경우는 일부 시간(노랑색)은 신뢰도가 높다
3. 풍속의 경우는 일부 시간(빨강색)은 신뢰도가 낮다.
4. 해륙풍의 특성은 시간별로 주 풍계와 활주로 변경시각에 따른 풍속의 변화를 포함한다.
5. 작성자가 유의점을 작성하고, 연직시계열과 경험적 측면을 보완적으로 적용한다.