

수치예보자료를 활용한 이륙예보 가이드런스 개발

이호용, 신동기, 지지숙, 최정아

항공기상관리본부 예보과

1. 서론

항공기가 안전하게 이륙하기 위해서는 충분한 양력을 얻어야 하며, 이를 위해서는 충분한 활주거리가 필요하다. 이러한 활주거리는 기종에 따라 기본적으로 차이를 보이지만 주로 항공기 탑승객과 화물의 적재량에 따라 길어지거나 짧아지기 때문에 항공기 허용중량은 엄격하게 제한된다. 이러한 기종별 허용중량 결정시 활주로상의 기상상황은 매우 중요한 요인으로 고려되어 지는데, 활주로 상의 기온과 기압이 낮아 공기의 밀도가 높거나 정풍의 바람이 강할수록 항공기 양력은 증가하지만 그 반대의 경우는 양력을 감소시키는 요인으로 작용한다. 따라서 활주로상의 기상상황에 대한 예측인 이륙예보는 항공기 이륙의 안전성 확보 및 경제성 제고에 있어 매우 중요하게 고려되어진다. 이러한 이륙예보는 활주로상의 풍향, 풍속, 기온, 기압에 대한 정보를 제공하는 것이며, 지난 2006년 7월부터 민간항공사의 요청에 따라 인천, 김포, 제주공항에서 전 공항으로 확대 실시하여 항공기상정보에 대한 수요자의 만족도 향상에 기여 하고 있다. 그러나 현재, 이륙예보업무는 매시간 수정예보를 발표해야 하고, 초단시간 동안의 활주로상의 국지적인 기상변화를 세밀하게 예보해야 하므로 매우 어려움이 많다. 더욱이 이륙예보 발표시 활용 가능한 수치예보자료의 부족과 예보가이드런스의 부재는 이러한 어려움을 더하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이륙예보업무 지원을 위한 수치예보자료 콘텐츠 개발 및 정량적 가이드런스를 개발하여, 업무의 연속성·효율성을 증대하여 이륙예보 정확도 향상에 기여하고자 한다.

2. 본론

2.1 분석자료

먼저, 이륙예보 정확도 현황을 분석하기 위하여 2005년 1월부터 2007년 10월까지의 이륙예보 평가결과 자료를 활용하였으며, 정량적 이륙예보 가이드런스 개발을 위하여 항공용 단시간 예측시스템에서 2005년 1월부터 2007년 10월까지 생산한 2km 해상도의 인천공항 수치예보자료를 활용하였다.

2.2 이륙예보 평가방법

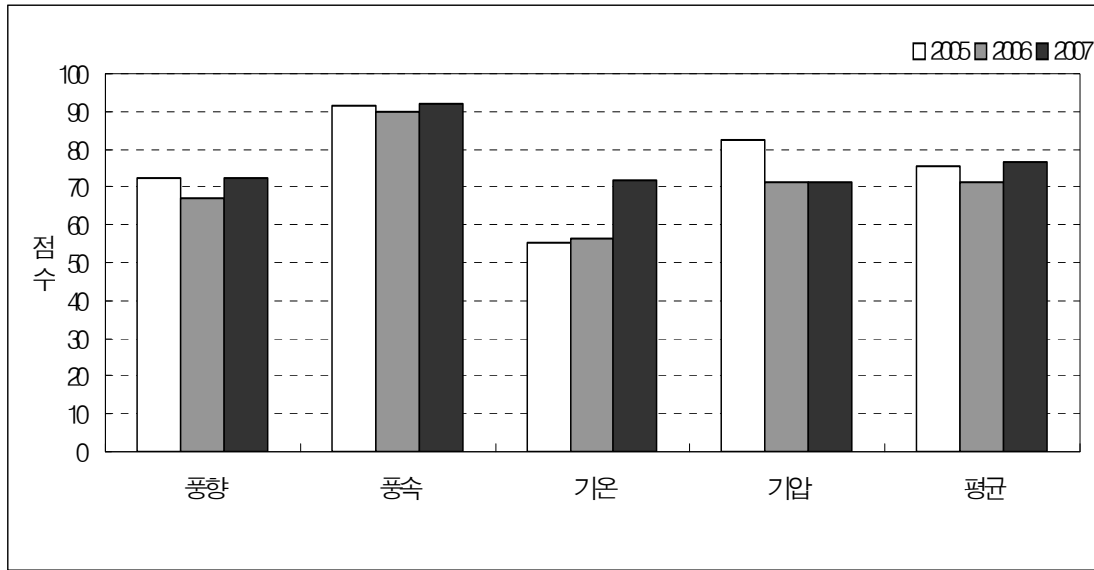
이륙예보는 활주로상의 풍향, 풍속, 기온, 기압을 예보하는 것이므로 시·공간적으로 매우 세밀한 예보이며, 이에 대한 높은 예보 정확도를 요구하는데, ICAO(International Civil Aviation Organization)에서는 이륙예보의 바람직한 예보정확도를 아래의 <표 1>과 같이 권고 하고 있다. 또한, ICAO ANNEX3 74차 개정에 따르면 한층 강화된 정확도를 요구하고 있다. 항공기상관리본부는 이러한 이륙예보 정확도 향상을 위하여 실시간 자동평가를 수행하고 있으며, 월별, 예보관별, 요소별로 예보정확도를 산출하여 예보오차에 대한 정보를 분석하고 있다. 그리고 이러한 평가방법을 적용하여 인천공항의 수치예보자료에 대한 검증 및 분석을 수행하였다.

<표 1> ICAO에서 권고하는 바람직한 이륙예보 정확도

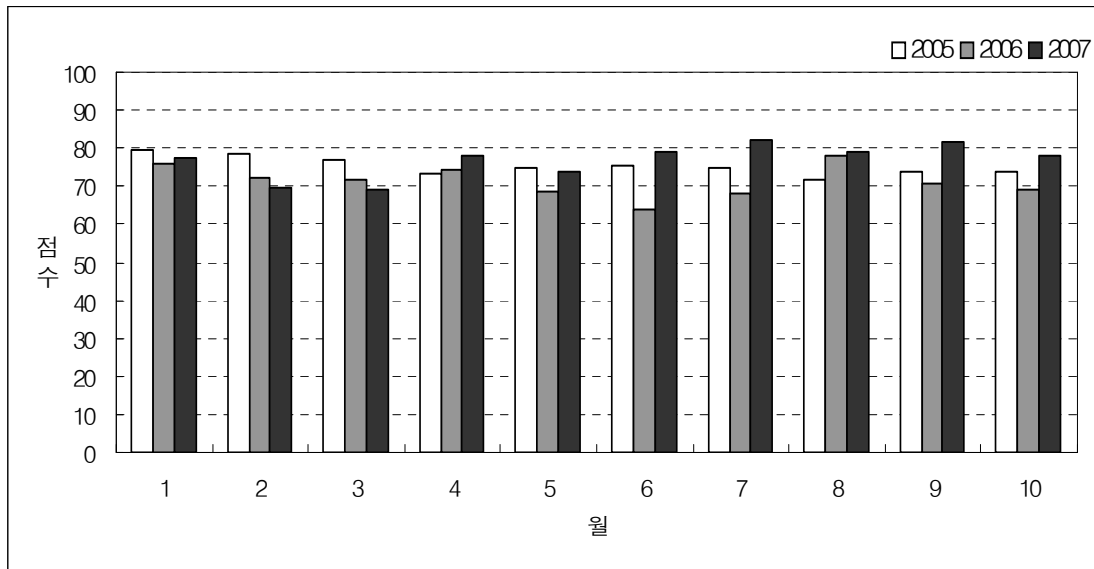
예보요소	실황과 예보의 허용오차 범위(73차)	실황과 예보의 허용오차 범위(74차)
풍향(deg.)	±30° 이하	±20° 이하
풍속(kt)	25kt 이하 일 때 ±5kt 이하 25kt 이상 일 때 실황과의 차이가 20% 이하	5kt 이하
기온(°C)	±1°C 이하	±1°C 이하
기압(QNH, hPa)	±1hPa 이하	±1hPa 이하

2.3 이륙예보 정확도 현황

2005년부터 2007년 10월까지의 요소별 연평균을 나타낸 [그림 1]을 보면, 연평균 예보 정확도는 2007년이 2005년과 2006년에 비해 예보정확도가 77점으로 가장 높았다. 특히, 기온의 예보정확도가 최근 매우 향상되는 경향을 보였고, 기압은 2005년에 비해 다소 낮아지는 경향을 보였다. 예보요소 중 풍속에 대한 예보정확도가 91.12점으로 가장 높았고, 다음으로 기압이 75.02점, 풍향이 70.51점의 순이며, 기온이 61.16점으로 가장 낮은 예보 정확도를 보였다. 또한, 월별 이륙예보 정확도를 나타낸 [그림 2]를 보면, 2007년도에 대부분 정확도가 향상되었는데, 특히, 5월~7월의 예보정확도 향상의 최근 두드러지게 나타난 특징이다. 그러나 2월과 3월의 예보정확도는 매년 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 예보경향은 예보요소별 월별 정확도에 영향을 받는데, 요소별 월별 정확도를 [그림 3]에 각각 나타내었는데, 요소별 특징 중에 하나는 풍속이 모든 월에서 다른 예보요소들에 비해 예보정확도가 높다는 것이다. 모든 월에 대하여 대부분 90점 이상의 예보정확도를 보였으며, 3월에 87점으로 가장 낮았으며, 8월 이후 93점대의 가장 높은 예보정확도를 보였다.

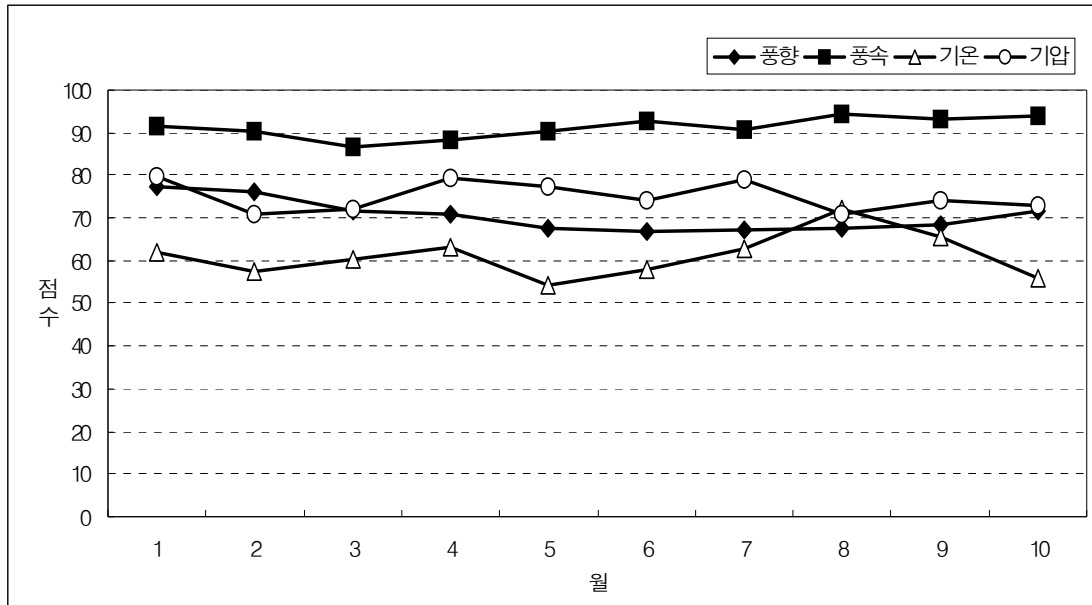


[그림 1] 연도별 이륙예보 정확도(2005년 ~ 2007년 10월)



[그림 2] 월별 이륙예보 정확도(2005~2007년 10월)

또한, 기온의 예보정확도가 대부분의 월에서 대부분 낮았으나, 5월 이후 예보정확도가 점차 높아지다가 8월에 72.06점으로 풍속 다음으로 두 번째로 높은 예보정확도를 보였으며, 8월 이후 급격하게 낮아지면서 예보요소 중 가장 낮은 예보정확도를 보였다. 그리고 풍향은 2월 이후 10월까지 70점 내외를 유지하였고, 기압도 70~80점대를 유지하였다.



[그림 3] 요소별 이륙예보 정확도(2005년 1월~2007년 10월)

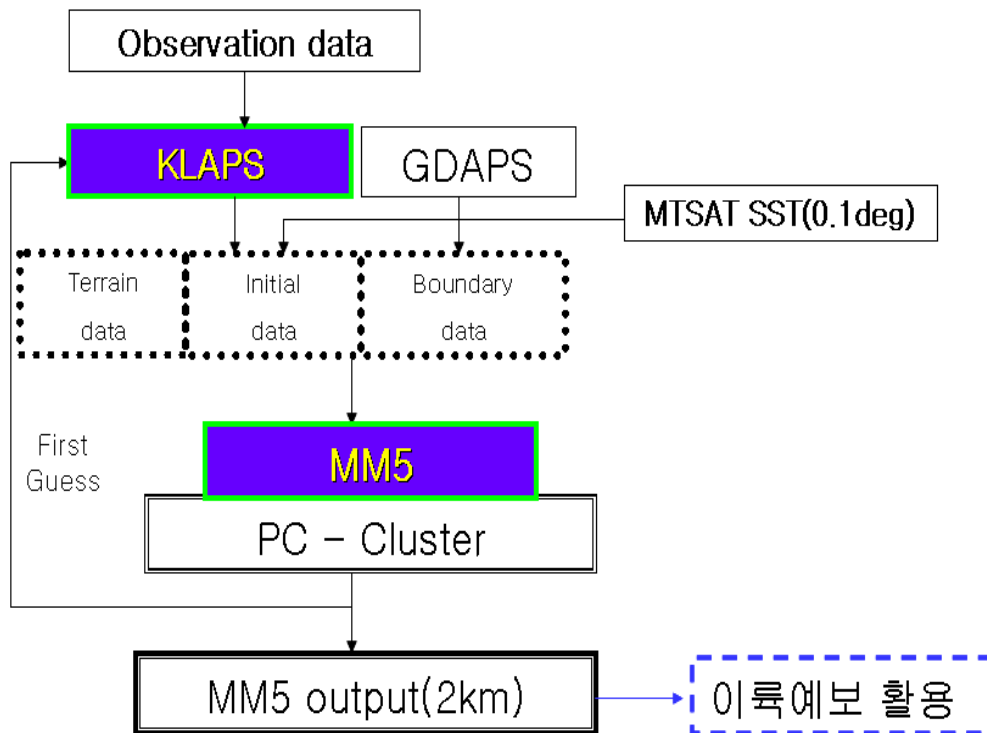
종합해 보면, 이륙예보 정확도는 매년 조금씩 향상되고 있으며, 예보요소별 예보정확도는 풍속이 가장 높았고, 기온이 가장 낮았다. 그러나 기온의 예보정확도는 예년에 비해 상당히 높아진 경향을 보이고 있는데, 5월 이후부터 예보정확도가 급격하게 상승하다가 8월을 정점으로 급격히 하강하여 예보정확도 변동이 심한 것으로 보였다. 이는 풍속, 풍향, 기압은 월별로 다소 차이를 보였지만 최고점과 최저점의 차이는 작은 경향을 보인 것과는 상이한 경향으로 기온예보에 대한 체계적인 예보가이드스가 부족하다는 것을 의미한다.

2.4 수치예보자료 생산

항공기상관리본부는 항공용 수치모델 개발의 일환으로 2004년부터 PC 클러스터를 기반으로 항공용 단시간예측시스템을 구축·운영하면서 항공예보업무에 도움을 주는 수치예보자료를 생산하여 활용하고 있다. 항공용 단시간예측시스템은 크게 MM5를 기반으로 한 수치모델체계와 KLAPS(Korea Laps Analysis Prediction System)를 기반의 자료동화체계로 구성되어 있고, 수치모델의 초기에 나타나는 스핀업 문제를 해결하기위하여 FDDA(Four Dimension Data Assimilation) 방법을 적용하고 있다. 수치모델의 초기자료는 KLAPS 자료가 이용되고, 경계 및 측면경계 조건자료는 GDAPS(Global Data Assimilation Prediction System) 자료를 이용하며, SST(Sea Surface Temperature)는 0.1° 간격의 MTSAT(Multi-functional Transport Satellite) 위성자료를 사용하여 1시간 간격으로 24시간 수치예보자료를 생산하는데, 수치예보자료를 생산하는 항공용 단시간 예측시

시스템의 모식도를 [그림 4]에 나타내었다. 또한, 수치모델의 주요 설계 내용을 <표 2>에 정리하였는데, 주요내용을 정리하면 연직 좌표계는 지형을 따르는 σ 좌표계를 이용하여 35층으로 연직 대기를 세분화 하였고, 모델의 연직 대기의 상단을 50 hPa 로 설계하였다. 그리고 비정역학 방정식계를 사용하는 Kain-Fritsch2 적은 모수화 과정, Graupel을 포함한 Reisner-II 미세 물리과정, MRF 행성경계층 모수화 과정 등의 물리과정이 적용되었으며, 지면의 온도와 수분 계산을 위하여 5층 토양 모델(5-layer soil model)을 사용하였다. 참고로 수평격자 18km, 6km, 2km에 대한 계산영역을 [그림 5]에 각각 나타내었다.

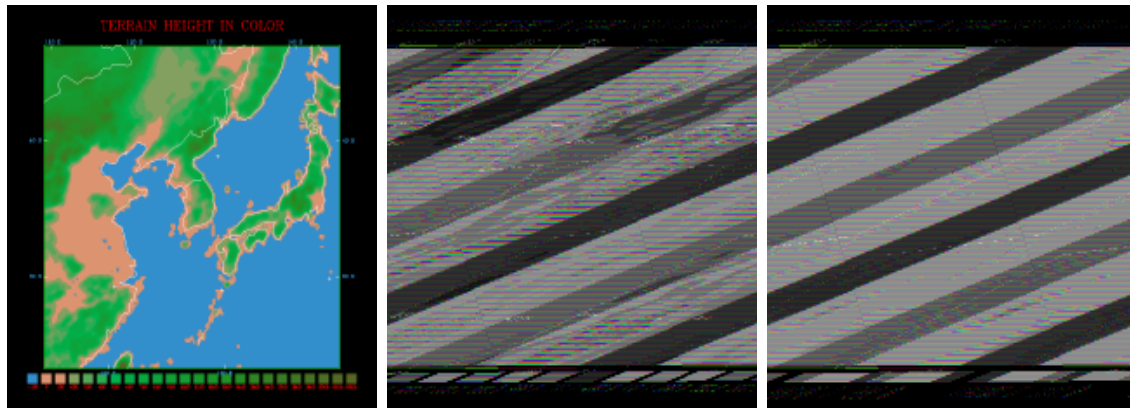
이러한 항공용 단시간예측시스템에서 생산하는 다양한 수치예보자료 중 해상도가 2km 인 수치예보자료에서 인천공항과 가장 가까운 격자점을 선정하였고, 그 격자점에서의 풍향, 풍속, 기온, 기압의 모델값을 2005년부터 2007년 10월까지 산출하였다. 그리고 ICAO의 바람직한 예보정확도를 적용하여 항공용 단시간 예측시스템의 이륙예보 정확도를 산출하였다.



[그림 4] 항공용 단시간예측시스템 모식도

<표 2> 항공용 단시간예측시스템의 수치모델 구성

Items	Description		
Dynamic	Nonhydrostatic		
DX	18 km	6 km	2 km
Dimension	148 x 148	115 x 115	82 x 82
Time steps	48	18	6
Vertical layers	35/50 hPa	35/50 hPa	35/50hPa
Forecast Time	30 hrs	30 hrs	30 hr
Initialization	Assimilated by KLAPS	Mother domain (1-way interaction)	2 domain (1-way interaction)
Lateral BC	Time and inflow/outflow dependent relaxation		
Micro physics	Reisner 2		
PBL	MRF		
SST	MTSAT SST (resolution 0.1°)		
Ground Temp	5-layer soil model		



(a) 18km 해상도

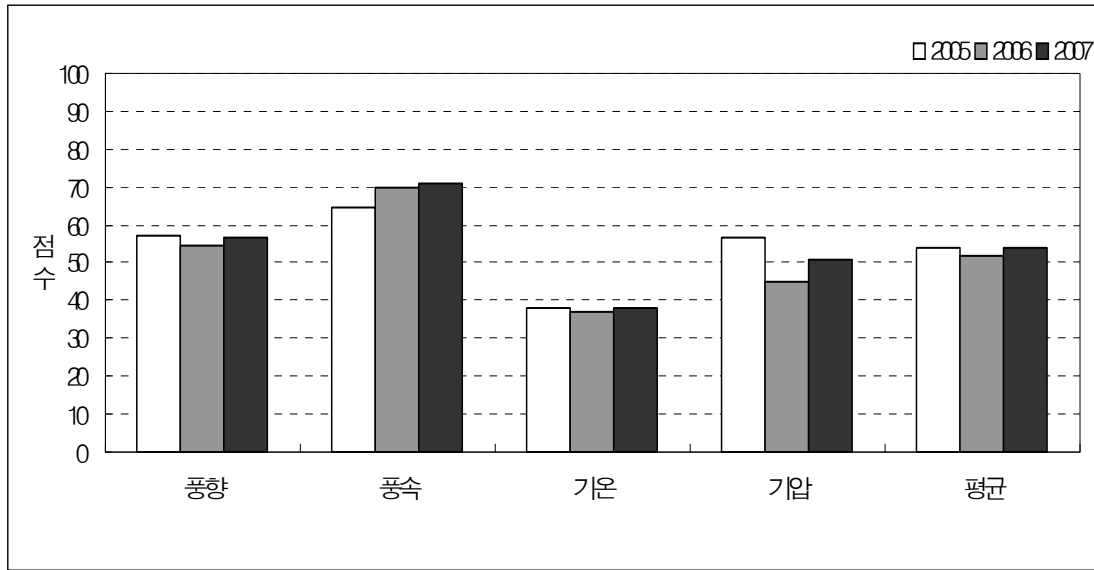
(b) 6km 해상도

(c) 2km 해상도

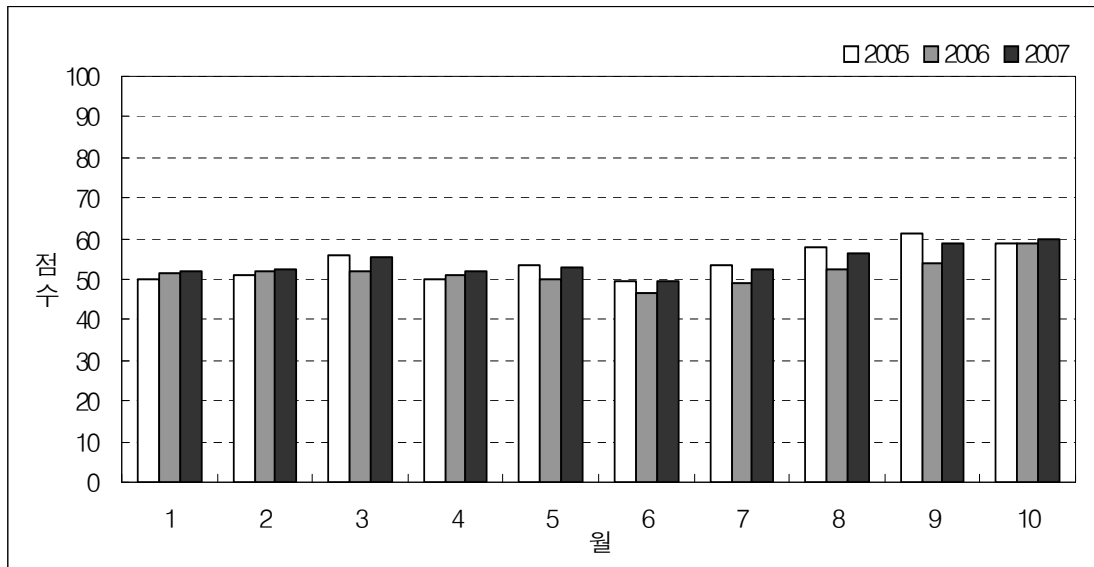
[그림 5] 항공기상 단시간예측시스템의 계산영역 및 해상도

2.5 항공용 단시간 예측시스템의 이륙예보 정확도

이륙예보 요소별 연평균을 나타낸 [그림 6]을 보면, 2005년부터 2007년까지 연평균은 55점대로 거의 변화가 없으며, 예보요소 중 풍속의 예보정확도가 68.46점으로 가장 높았고, 기온이 37.95점으로 상당히 낮은 경향을 보였다. 또한, 월별 평균을 나타낸 [그림 7]을 보면 2007년의 예보정확도가 2006년이 비해 높아진 경향을 보였지만, 7월 이후의 예보정확도는 2005년보다 낮은 경향을 보였다. 이러한 예보정확도의 요소별 경향은 예보관의 이륙예보 경향(그림 1, 그림 2)과 유사하게 나타났다. 한편, 항공용 단시간 예

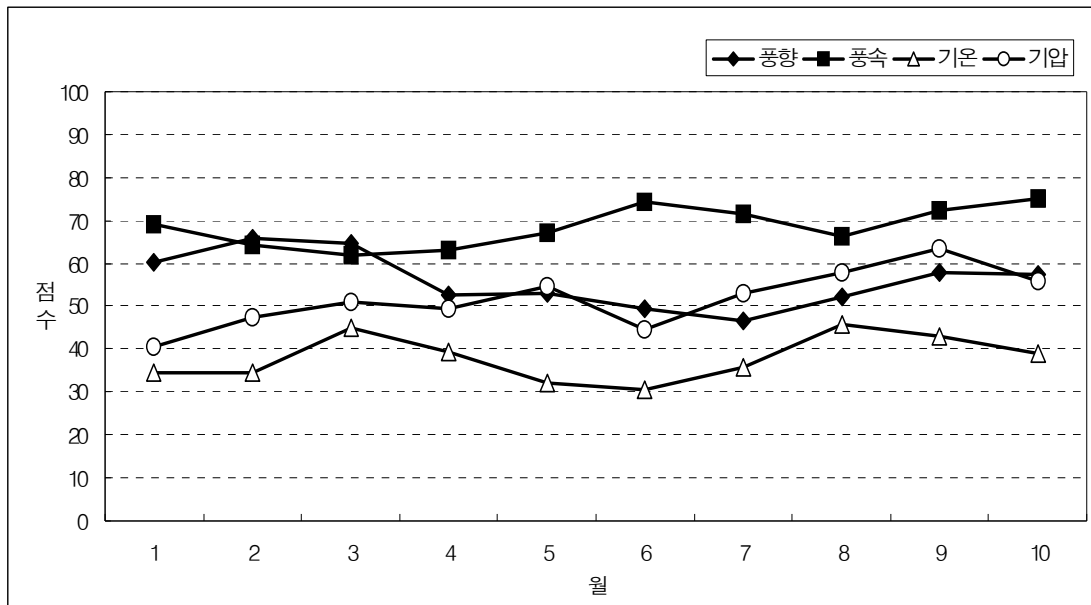


[그림 6] 수치모델의 연도별 이륙예보 정확도(2005년 1월 ~ 2007년 10월)



[그림 7] 수치모델의 월별 이륙예보 정확도(2005년 1월 ~ 2007년 10월)

측시시스템의 월별 예보요소의 예보정확도를 분석하기 위하여 [그림 8]에 요소별 월 평균을 나타내었는데, 풍속의 예보정확도는 1월에 69.05점에서 4월까지 다소 낮아지다가 4월 이후 상승하는 경향을 보였고, 풍향의 예보정확도는 3월에 64.52점으로 이후 낮아지다가 7월에 46.47점으로 가장 낮았으며, 7월 이후 다시 상승하는 경향을 보였다. 또한, 기압의



[그림 8] 수치모델의 이륙예보요소별 예보정확도(2005년 1월 ~ 2007년 10월)

예보정확도는 1월에 40.60점에서 이후 다소 상승하는 경향을 보이다가 6월에 44.73으로 낮아진 후 9월까지 다시 상승하는 경향을 보였다. 한편, 기온의 예보정확도는 1월에 34.55점에서 이후 상승하다가 3월에 45.18점으로 높아졌으며, 이후 예보정확도가 급격히 낮아져 6월에 30.70점으로 가장 낮은 예보정확도를 보였고, 6월 이후 상승하는 경향을 보였다.

종합해 보면, 수치모델의 예보정확도는 예보관의 요소별 예보정확도(그림 3)와 비교해 보면, 모든 요소들이 예보관의 예보정확도 보다 상당히 낮았으나, 월별 예보경향은 수치모델에서도 유사하게 나타났는데, 풍속이 다른 예보요소에 비해 예보정확도가 가장 높았고, 최고점과 최저점의 변동범위가 가장 낮은 경향이 수치모델에서도 잘 나타났다. 또한, 풍향이 3월 이후에 계속해서 낮아지는 경향도 잘 나타내었으며, 기온의 예보정확도가 가장 낮았고, 예보정확도가 월에 따라 상승과 하강을 반복하는 예보경향도 수치모델이 잘 나타내었다. 그러나 예보정확도에 있어서는 수치모델이 매우 낮아 수치예보자료의 개선이 요구된다. 따라서 수치모델의 예보오차를 줄이기 위하여 다음과 같은 통계적 기법을 수치예보자료에 적용하고자 한다.

2.6 이륙예보용 수치예보자료 개선

항공용 단시간예측시스템의 2km 수치예보자료를 이용한 이륙예보는 예보관의 이륙예보 정확도에 비해 상당히 낮아 이러한 수치예보자료를 현업에 직접 활용하는 것은 한계가 있다. 이는 수치모델이 국지적으로 급변하는 활주로의 하층대기의 기상상태를 잘

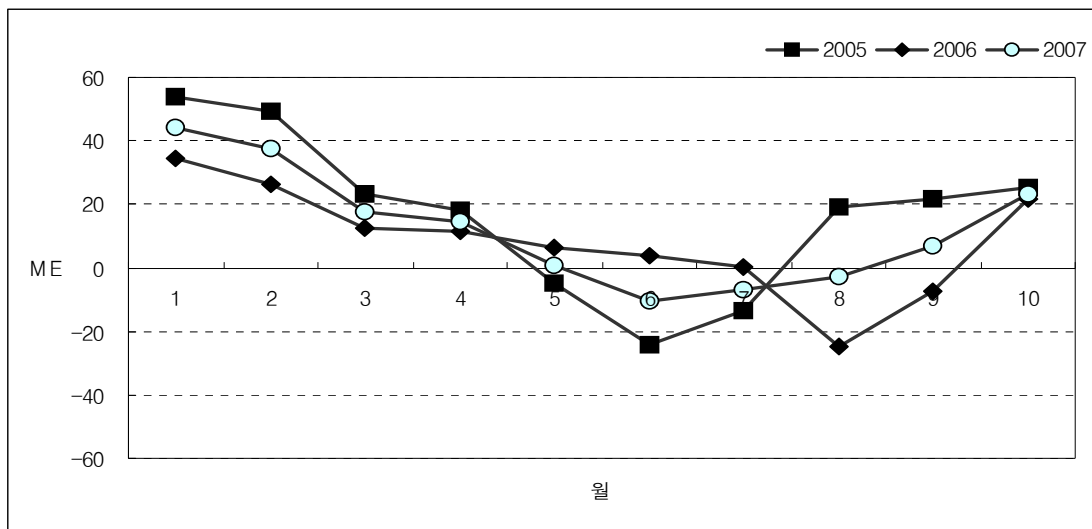
표현하기 못하기 때문이다. 따라서 항공용 단시간 예측시스템의 수치예보자료를 현업 예보에 활용하기 위하여 통계적 기법의 적용으로 예보오차를 감소시켜야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 수치예보자료와 관측 자료와의 평균 오차인 ME(Mean Error)를 산출하여 수치예보자료에 적용하기 위하여 아래와 같이 ME를 정의하였다. 여기서 F_i 는 예보값을 O_i 는 관측값을 각각 나타낸다.

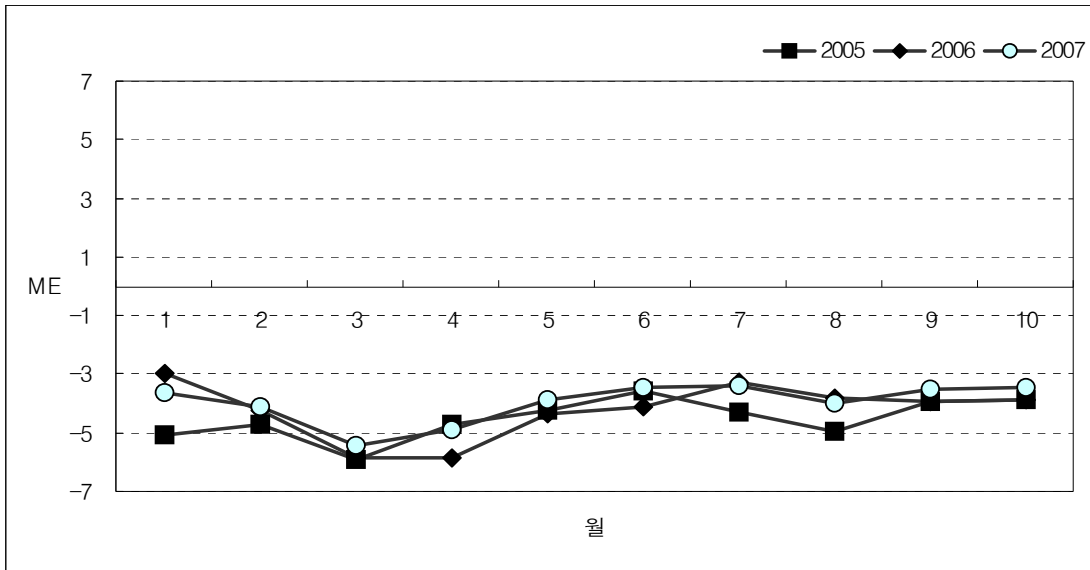
$$Mean Error = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \text{----- (1)}$$

ME는 예보값과 관측값의 차이를 평균한 것으로 음의 무한대에서 양의 무한대까지의 값을 가진다. 그리고 ME가 0이면 예보가 정확히 관측과 같다는 의미이며, 양수이면 과대예보를 나타내며, 음이면 반대로 과소예보를 나타내는 것으로 관측에 대한 예보오차를 측정하는 간단한 척도이다.

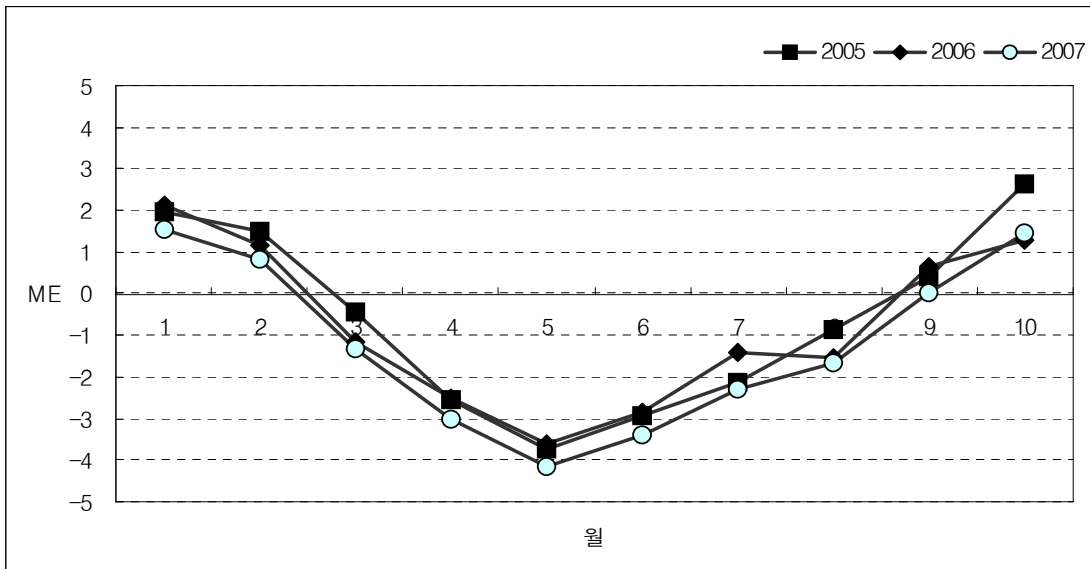
2005년 1월부터 2007년 10월까지 수치예보자료와 관측과의 월별 ME를 요소별로 각각 [그림 9]에 나타내었는데, 풍향의 월별 ME를 나타낸 [그림 9(a)]를 보면 2005~7년도의 ME는 월별 변화경향은 매우 유사하게 나타났으며, 1월과 2월에 ME가 최고이고, 5월~7월까지의 ME가 최저로 가장 낮아 예보정확도가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 풍속의 월별 ME를 나타낸[그림 9(b)]를 보면 약 -3에서 -5로 변동범위가 작은 경향을 보인다. 이는 수치모델이 월에 관계없이 일정한 차이를 보이는 것으로 실제 관측과는 차이가 있으나 예보경향은 일정함을 보여준다. 반면에 기온의 월별 ME를 나타낸 [그림 9(c)]를 보



[그림 9] 계속 (a) 풍향

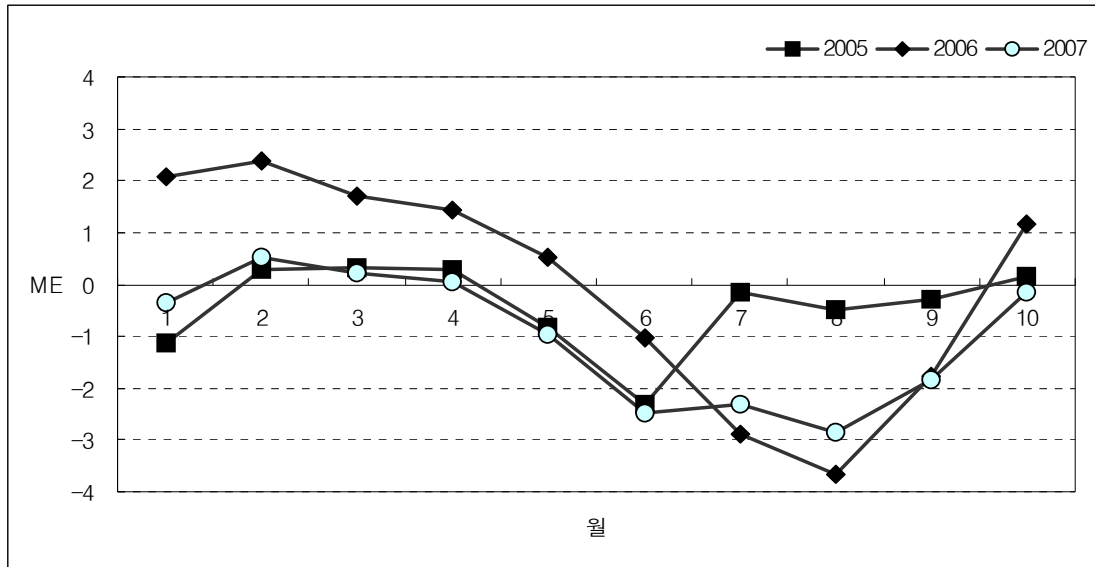


[그림 9] 계속 (b) 풍속



[그림 9] 계속 (c) 기온

면, 수치모델은 1월과 2월, 9월과 10월에는 ME가 양수인 과대예보 경향을 보이고, 3월~8월에는 ME가 음으로 과소예보 경향을 보인다. 더욱이 최대 ME와 최소 ME의 변동범위가 풍속에 비해 매우 크게 나타나 수치모델이 월별 기온변화를 제대로 예보하고 있지 않음을 보여준다. 한편, 기압의 ME를 나타낸 [그림 9(d)]를 보면 2007년도의 ME가 1월~6



(d)기압

[그림 9] 이륙예보요소별 월 ME(2005년 1월 ~ 2007년 10월)

월까지의 2005년도 ME와 같은 경향으로 변하다가 7월 이후는 2006년도 ME 경향과 유사한 특징을 보였으며, 최대 ME와 최소 ME의 변동범위도 2006년에 비해 2007년에서 감소된 경향을 보였다.

종합해 보면, 수치모델은 모든 연도에서 전체적으로 유사한 변화 경향을 보이는데, 이는 수치모델이 이륙예보 요소에 대하여 일정한 예보경향을 보인다는 것을 의미한다. 그러나 요소별 변화경향이 다소 상이한 특성을 보이기도 한다. 풍향, 기온, 기압은 과대 및 과소예보 경향을 보여, 수치모델이 월별로 변화하는 경향을 제대로 예보하지 못하였지만, 풍속은 변화경향이 일정하여 수치모델이 월별 변화를 비교적 잘 예보하였다. 그러면 이러한 예보경향의 검증은 위하여 <표 3>과 같이 2005년과 2006년의 요소별 월 평균 ME를 2007년도 수치예보자료에 적용하여 평가를 수행하였다.

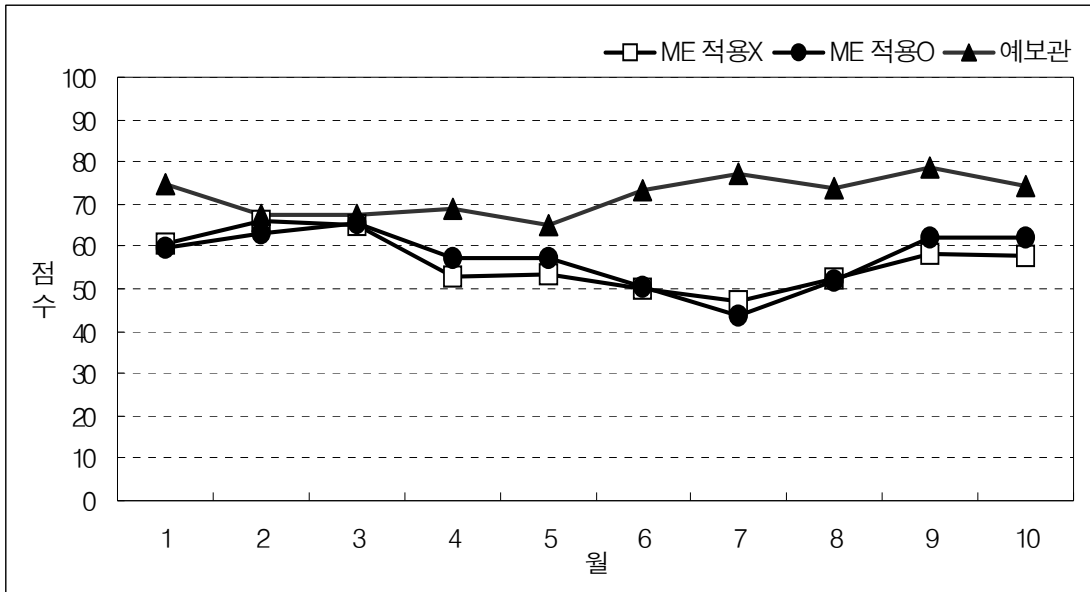
이륙예보 요소에 대한 수치모델의 2005년, 2006년도 월별 평균 ME를 <표 3>과 같이 산출하였다. 이 ME를 2007년도 수치예보자료에 적용하여 월별 및 요소별로 평가하여 ME를 적용한 수치예보자료의 예보정확도를 검증하는 한편, 예보관의 예보정확도와 비교 분석하였다.

먼저, 풍속의 예보정확도를 분석한 [그림 10(a)]를 보면, 수치예보자료와 ME를 적용한 예보정확도가 매우 유사한 경향을 보이는데, 이는 월별 풍향의 ME를 적용한 수치예보자료도 실제 풍향의 변화 경향을 제대로 예보하지 못한다는 것을 의미한다. 그러나 풍속의 예보정확도를 분석한 [그림 10(b)]를 보면 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보에 비해 높은 정확도를 보이고 있으며, 5월 이후부터는 예보관의 예보정확도 보다도

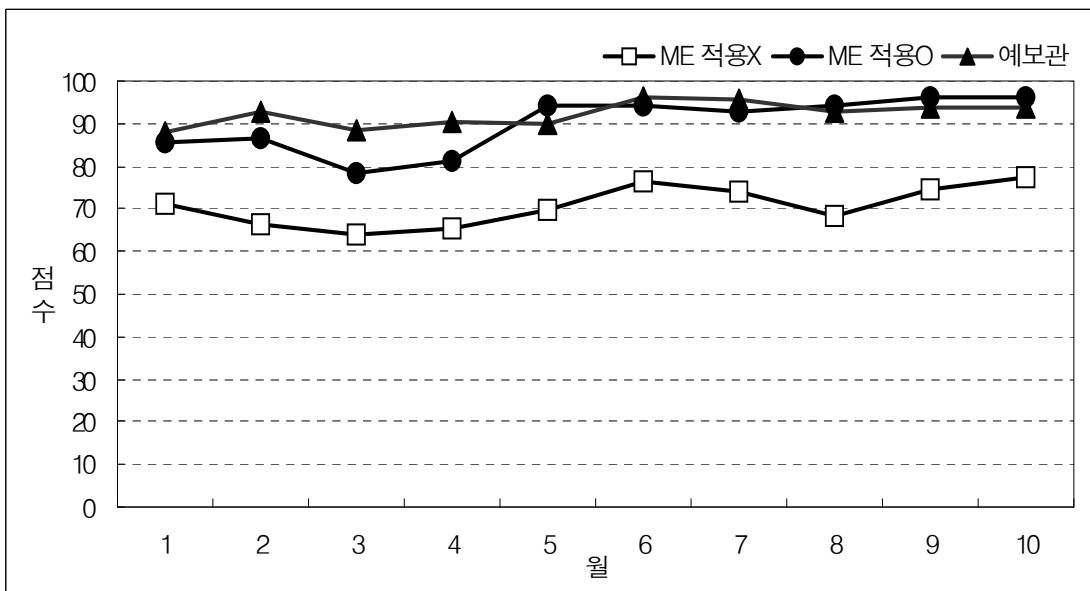
<표 3> 2005년~2006년도 요소별 월 ME

예보요소 월	풍 향	풍 속	기 온	기 압
1	44.3	-4.0	2.0	0.5
2	37.7	-4.5	1.3	1.3
3	18.0	-5.9	-0.8	1.0
4	14.7	-5.3	-2.5	0.9
5	0.8	-4.3	-3.7	-0.2
6	-10.2	-3.9	-2.9	-1.7
7	-6.6	-3.8	-1.8	-1.5
8	-2.8	-4.4	-1.2	-2.1
9	7.2	-3.9	0.5	-1.0
10	23.5	-3.9	2.0	0.6
평균	12.7	-4.4	-0.7	-0.2

예보정확도가 향상되어 이상적인 결과를 보여주고 있다. 이는 풍속에 대한 ME가 [그림 9(b)]에서와 같이 월별로 일정하게 유지하기 때문에 수치모델이 실제 풍속에 대하여 정확한 예보를 하지 못하지만 그 변화 경향을 매우 잘 예보하고 있어 이와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 기온의 예보정확도를 분석한 [그림 9(c)]에서도 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보보다 정확도가 높았지만, 예보관의 예보정확도 보다는 낮은 결과를 보였다. 이는 수치모델이 4월~6월의 기온변화 경향을 예보하지 못하고, 관측된 기온에 비해 지나친 과소예보 경향 때문이다. 그러나 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않는 예보보다 예보정확도가 매우 향상된 경향을 볼 수 있는데, 이는 수치모델이 기온의 변화 경향에 대하여 어느 정도 예보가 가능하다는 것을 의미한다. 따라서 수치모델의 예보오차를 감소시킬 수 있는 ME 이외의 적절한 통계적 기법과 수치모델의 기온예보 능력 향상을 위한 연구가 동시에 이루어져야 한다. 한편, 기압의 예보정확도를 분석한 [그림 10(d)]를 보면 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보정확도가 거의 유사한 것을 볼 수 있다. 이는 기압의 ME([그림 9(d)] 참조)가 2005년과 2006년에 큰 차이를 보여, 수치모델의 기압예보오차가 체계적이지 못했기 때문이다. 또한, 예보오차를 산출하는 ME의 방법도 기압에 적용하는 것도 다소 문제가 있어 보이는데, <표 3>에서의 ME는 기압이 가장 작아 수치모델이 기압의 변화 경향과 가장 유사하게 예보한 것으로 분석되었지

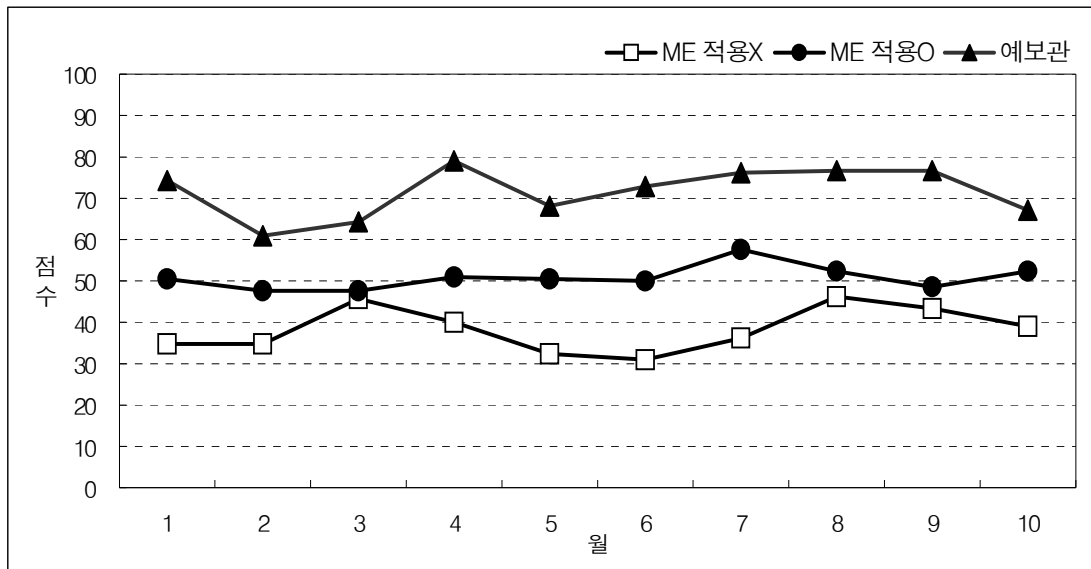


[그림 10] 계속 (a) 풍향

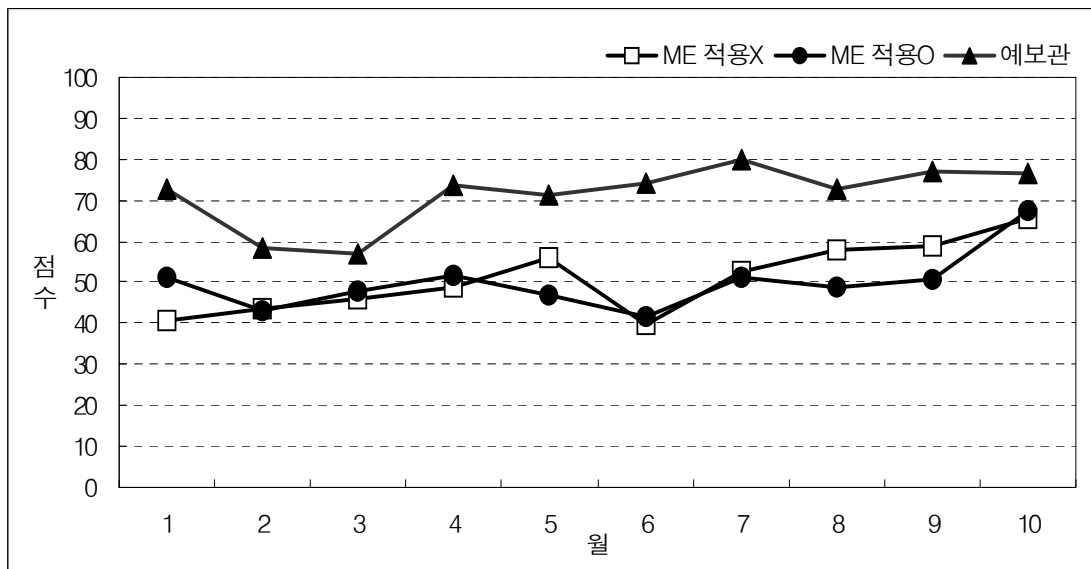


[그림 10] 계속 (b) 풍속

만, 실제 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보 보다 예보정확도 향상이 나타나지 않았기 때문이다.



[그림 10] 계속 (c) 기온



[그림 10] 이륙예보요소별 월 ME 및 예보관평가(2005년 1월~2007년 10월) (d) 기압

종합해 보면, 풍속이나 기온과 같이 수치모델의 오차가 일정한 경우에는 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않는 예보에 비해 예보정확도가 향상되었으나, 풍향과 기압같이 ME의 변동범위가 큰 요소인 경우에는 ME를 적용한 예보 정확도 향상이 매우 낮았다. 또한, ME를 적용한 풍속예보는 예보관의 예보정확도 보다 높은 예보정확도를 보인 경우

도 있어 현업 적용시 매우 유용하게 활용 될 것으로 보인다. 기온의 경우, ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보보다 정확도는 향상되었으나, 예보관의 예보정확도에 비해 매우 낮은 정확도를 보이고 있어 향후, 기온의 변화경향을 적절하게 반영 할 수 있는 새로운 통계기법 등의 연구가 추가적으로 요구된다. 한편, ME의 변동범위가 큰 풍향과 기압의 경우, 현업에 활용하기 위해서는 새로운 통계방법의 적용과 개발이 요구된다.

3. 결론

2006년 7월부터 전 공항관서로 확대 실시하고 있는 이륙예보는 활주로상의 기상상태를 예보하여 항공기 적재중량 결정에 기여하는 기상정보를 제공함으로써 항공기 이륙시 안전성·경제성 제고에 하는 중요한 예보이다. 그러나 이러한 이륙예보를 위한 수치예보자료 부족 및 예보가이던스의 부재로 예보에 많은 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 항공용 단시간 예측시스템의 수치예보자료를 활용하여 이륙예보용 수치예보자료를 생산하고, 정량적 예보가이던스를 제공하기 위하여 수치모델의 오차를 통계적으로 분석하고 이를 적용하여 이륙예보 업무의 연속성·효율성에 기여하고자 하였다.

이륙예보 정확도를 분석해 보면, 예보관의 정확도는 매년 조금씩 향상되고 있으며, 예보요소별 예보정확도는 풍속이 가장 높고, 기온이 가장 낮은 경향을 보였다.. 그러나 기온의 예보정확도는 예년에 비해 상당히 높아진 경향을 보이고 있는데, 특히, 5월~8월의 예보정확도가 매우 높아졌다. 이에 반해 수치모델의 예보정확도는 예보관의 요소별 예보정확도([그림 3] 참조)와 비교해 보면, 풍속의 예보정확도가 가장 높고, 기온의 예보정확도가 가장 낮은 경향은 예보관의 예보경향과 유사하게 나타났다. 그러나 예보관의 예보정확도에 비해 모든 요소들이 상당히 낮은 예보정확도를 보이기 때문에 정확도 향상을 위한 수치예보자료의 개선이 요구되었다. 따라서 관측과 예보의 오차를 통계적으로 분석하기 위하여 2005년과 2006년의 이륙예보요소에 대하여 수치모델과 관측의 평균적인 오차(Mean Error)를 산출하고, 이를 2007년도 수치예보자료에 적용하여 수치모델의 예보능력을 검증하였다. 수치모델과 관측과의 ME와 2007년도 예보정확도를 정리해 보면, 2005년~2007년의 ME는 전체적으로 유사한 변화 경향을 보였는데, 이는 수치모델이 이륙예보 요소에 대하여 일정한 예보경향을 보인다는 것을 의미하여 ME를 이륙예보에 적용한다면 예보정확도 향상을 기대할 수 있다. 그러나 요소별 변화경향이 기상학적 특성에 따라 상이한 특성을 보이기 때문에 요소별 분석이 요구된다. 먼저, 풍향, 기온, 기압은 과대 및 과소예보 경향을 나타내어, 수치모델이 월별로 변화하는 경향을 일정하게 예보하지 못하였지만, 풍속은 변화경향이 일정하여 수치모델이 월별 변화를 일정하게 잘 예보하였다. 이러한 수치모델의 오차경향은 예보정확도에 많은 영향을 미치는데, 풍속이나 기온과 같이 수치모델의 오차가 일정한 경우에는 ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않는 예보에 비해 예보정확도가 향상되었으나, 풍향과 기압같이 ME의 변동범위가 큰 요소인 경우에는 ME를 적용한 예보 정확도 향상이 매우 낮았다. 또한, ME를 적용한 풍속예보는 예

보관의 예보정확도 보다 높은 예보정확도를 보인 경우도 있어 현업 적용시 매우 유용하게 활용될 것으로 보인다. 그러나 기온의 경우, ME를 적용한 예보가 ME를 적용하지 않은 예보보다 정확도는 향상되었으나, 예보관의 예보정확도에 비해 매우 낮은 정확도를 보이고 있어 향후, 기온의 변화경향을 적절하게 반영 할 수 있는 새로운 통계기법 등의 연구가 추가적으로 요구된다. 한편, ME의 변동범위가 큰 풍향과 기압의 경우, 현업에 활용하기 위해서는 새로운 통계방법의 적용과 개발이 요구된다.

즉, 수치모델을 활용한 정량적 이륙예보 가이드를 개발해서 풍속은 ME를 적용한 현업 예보 적용이 가능하지만, 기온, 기압, 풍향과 같이 ME를 적용하여도 예보정확도가 낮은 예보요소에 대해서는 향후, 기상학적 특성을 고려한 통계기법을 개발하고, 적용·검증하는 지속적인 연구가 필요하다.