

Original Article

기상청 국지예보모델의 저고도 구름 예측 분석

안용준*, 장지원*, 김기영*

Analysis of low level cloud prediction in the KMA Local Data Assimilation and Prediction System(LDAPS)

Yongjun Ahn*, Jiwon Jang*, Ki-Young Kim*

ABSTRACT

Clouds are an important factor in aircraft flight. In particular, a significant impact on small aircraft flying at low altitude. Therefore, we have verified and characterized the low level cloud prediction data of the Unified Model(UM) - based Local Data Assimilation and Prediction System(LDAPS) operated by KMA in order to develop cloud forecasting service and contents important for safety of low-altitude aircraft flight. As a result of the low level cloud test for seven airports in Korea, a high correlation coefficient of 0.4 ~ 0.7 was obtained for 0-36 leading time. Also, we found that the prediction performance does not decrease as the lead time increases. Based on the results of this study, it is expected that model-based forecasting data for low-altitude aviation meteorology services can be produced.

Key Words : Aviation Meteorology(항공기상), Cloud prediction(구름예측), LDAPS(기상청 국지예보모델), Low level cloud(저고도 구름), UM(Unified model)

I. 서 론

항공기 운항에 있어 시정, 구름 등 기상요소는 운항여부 및 안전을 결정하는 중요한 요소이다. 특히 저고도로 비행하는 소형항공기는 저시정이나 낮은 구름 등의 영향으로 운항하지 못하는 경우가 발생하고 있으며, 무리한 운항 또는 갑작스런 기상현상에 의한 사고도 계속해서 발생하고 있다. 가장 최근의 사고는 2013년 11월 LG 전자의 헬기가 김포국제공항에서 잠실 헬리패드로 이동 중 짙은 안개로 항로를 이탈해 한강변의 아파트에 충돌한 것으로 2명이 사망하였다. 이는 안개로 인해 시정이 좋지 않음에도 무리하게 운항

하여 발생하였다.

이와 같은 사고를 예방하기 위해서는 무엇보다도 실황에 근거한 안전한 운항계획이 중요하지만 운항 중 급변하는 기상상황에 대비하기 위해서는 보다 상세한 기상예보 자료가 필요하다.

현재 기상청에서 제공하는 저고도 항공기상자료는 TAF(Terminal Aerodrome Forecast), 공항 기상전망, 이륙예보 등의 예보자료와 전국 지상 관측지점 관측자료 등의 실황자료이다. 그러나 해외사례의 경우, 관측자료와 지점예보자료 외에도 수치모델 예측자료를 활용하여 구름 현황 및 예측에 대한 공간 이미지를 서비스하고 있다.

따라서 본 연구는 해외 선진 항공기상예보를 벤치마킹하기 위한 사전 연구로서, 여러 수치모델의 구름예측결과 분석에 대한 선행연구사례를 소개하고 현재 기상청에서 운영하고 있는 고해상도 국지예보모델 구름예측자료와 운고계 구름관측의 상관성 및 여러 관측자료와의 비교 분석을 수행하였다.

Received : 25. Nov. 2017. Revised : 18. Dec. 2017.

Accepted : 29. Dec. 2017

* 주식회사 포디솔루션

E-mail : yjuni@4dsolution.co.kr

서울시 금천구 벚꽃로 286, 1207호

II. 본 론

1. 기상청 수치예보모델

기상청은 2010년 영국으로부터 통합모델(UM, Unified model)을 도입하여 현업 운영을 하고 있다. 이 모델은 모의 영역, 해상도, 예측기간, 목적 등에 따라 다양한 시스템으로 나뉘어져 있으며, 주로 사용하는 모델링 시스템은 전지구예보시스템(GDAPS, Global Data Assimilation and Prediction System), 지역예보시스템(RDAPS, Regional Data Assimilation and Prediction System), 국지예보시스템(LDAPS, Local Data Assimilation and Prediction System)이다. 전지구예보시스템은 전구영역을 수평 17km 해상도로 하루 2회 12일의 예측을 수행하며, 지역예보시스템은 동아시아영역, 수평 12km 해상도, 하루 4회, 87 시간 예측을 수행한다. 국지예보시스템은 한반도 영역을 1.5km 해상도로 하루 4회 36시간 예측한다(Table 1).

현재 이들 모델에서는 현재와 미래의 대기상태를 3차원 자료로 생산하고 있으며, 구름 분석을 위한 자료는 단일면의 운량(하층, 중층, 고층), 운저고도, 운정고도 등이 있다. 본 연구에서는 고해상도 국지예보모델 자료를 사용하여 하층 구름에 대한 예측성능을 파악하고자 한다.

Table 1. Description of Numerical forecasting system in KMA

수치예보시스템		수평분해능 (연직층수)	운영횟수 /일	예측시간	목 적
전지구 (GDAPS)	전지구 예보시스템 (UM N768L70)	17km (70층)	2회	12일	전지구 날씨 예측 동네예보, 중기예보
지역 (RDAPS)	지역 예보시스템 (UM 12kmL70)	12km (70층)	4회	87시간	아시아 날씨 예측 동네예보
국지 (LDAPS)	국지 예보시스템 (UM 1.5kmL70)	1.5km (70층)	4회	36시간	한반도 날씨 예측

2. 선행연구사례

과거 수치모델의 구름예측 성능에 관한 연구는 특정 지점의 구름 연직분포에 대한 모델예측성능 검증이나 연직 단면 구름분포의 기후값에 대한 모델 예측성능 검증 등에 대해 주로 이루어졌다. 그 중 기상청에서 사용 중인 UM 모델과 관련된

연구사례를 소개한다.

1) Illingworth et al.(2007)은 Cloudnet 관측 자료를 이용하여 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System), UM(Unified Model, Met Office), ARPEGE(Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle, Meteo France), RACMO(Regional Atmospheric Climate Model, Royal Netherlands Meteorological Institute), RCA(Rossby Centre Regional Atmospheric Model, Swedish Meteorological and Hydrological Institute), LM(Lokal Model, Deutscher Wetterdienst) 등 수치예보모델의 연직 구름모의 성능을 비교하였다. 예측성능을 비교하기 위한 검증지수로는 ETS(Equitable Threat Score)를 사용하였다. 2002년부터 2005년까지 월평균에 대한 검증결과, ECMWF와 UM 모델의 예측성능이 다른 모델들에 비해 우수한 것으로 나타났다(Fig 1).

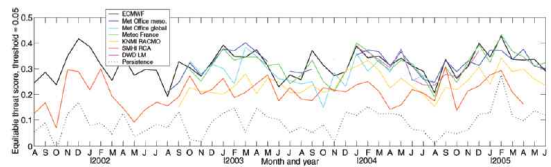


Fig 1. Equitable threat score for forecasts of cloud fraction, versus time, for the seven models at the Cabauw site (Illingworth et al.)

또한 Hogan et al.(2009)는 후속 연구를 통해 ETS외의 다른 검증지수 (Mean absolute error skill score, Frequency of occurrence, Heidke skill score, Log of odds ratio, Extreme dependency score, Symmetric extreme dependency score) 등을 사용하여 검증을 수행하였다. 그 결과 MAE skill score와 Log of odds ratio, 그리고 Symmetric extreme dependency score(SEDS) 지수에서 UM 모델(Met office Mesoscale)의 지수가 다른 모델보다 더 높게 나타났다(Fig 2).

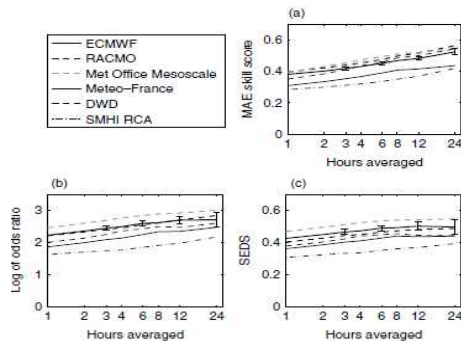


Fig 2. Three cloud-fraction skill scores at Chilbolton, Cabauw and Palaiseau in 2003 and 2004 (Hogan et al.)

2) Hogan et al.(2012)는 CloudSat- CALIPSO 위성 관측자료를 이용하여 UM 모델과 ECMWF 모델의 동서평균한 남북 연직 구름분포를 검증하였다. 그 결과 두 모델 모두 열대지역 및 남반구 해양 경계층 부근의 구름 모의 성능은 낮으나, 중위도 상층 특히 대류권계면 부근의 구름 예측 성능이 탁월한 것으로 나타났다(Fig 3).

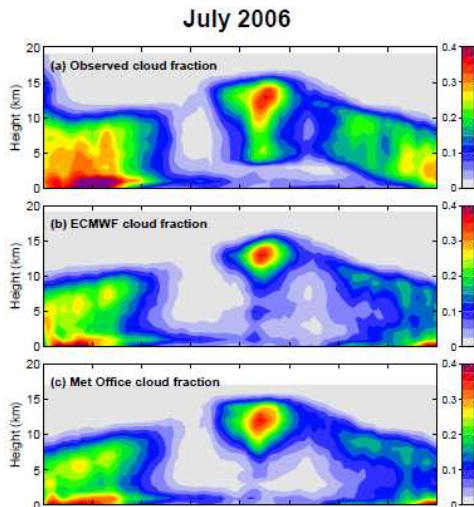


Fig 3. Evaluation of the ECMWF and Met Office models versus latitude and height. Results for July 2006: (a) observed mean cloud fraction, (b) mean cloud fraction in the ECMWF model, (c) mean cloud fraction in the Met Office model (Hogan et al.)

이처럼 선행연구사례 분석을 통하여 기상청에서 사용 중인 UM 모델의 구름 유무 및 연직구조, 그리고 기후시스템에서의 구름 모의성능이 다른 모델에 비해 우수함을 알 수 있다.

3. 공항지점 운고계 관측자료를 이용한 모델의 저고도 구름 예측결과 검증

선행연구사례 분석 결과를 토대로 실제 우리나라 공항지점에서의 모델 예측성능을 검증하기 위해 현재 항공기상청에서 관리 중인 7개 공항 지점(Fig 4)의 운고계 관측자료를 수집하여 모델 구름예측결과와의 상관성 분석을 실시하였다.

분석에 사용한 자료는 2016년 9월 1일부터 2017년 9월 30일까지 약 395일이며, 관측자료는 매시간 관측된 운저고도와 운량 자료를, 모델자료는 매일 00UTC에 수행된 36시간 국지예보모델 예측자료의 운저고도(Low cloud base)와 저고도 운량(Low cloud amount)을 사용하였다.

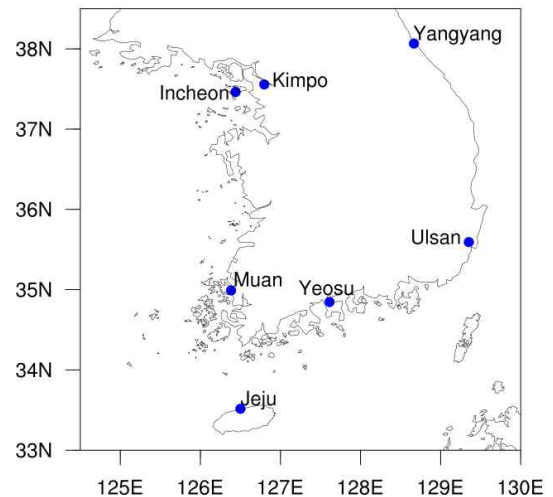


Fig 4. Location information of seven airports

분석에 앞서 저고도 운량 산출을 위하여 관측과 모델자료에 대한 후처리과정을 수행하였다 (Table 2). 관측 자료는 1~4층 운량과 운저고도 형태의 자료이므로 이 중에서 1층과 2층 자료만 사용하였으며, 1층과 2층의 운저고도가 3000ft 미만일 경우의 운량을 추출하여 사용하였다.

Table 2. Description of post-processing for extracting low level cloud

관측	1층 운저고도 > 3000 ft 경우, 운량 = 0, 1층 운저고도 < 3000 ft and 2층 운저고도 < 3000ft 경우, 1층 2층 운량 중 큰 값 사용 Octa->fraction 치환
모델	관측지점과 가장 근접한 격자값 추출 모델 Low cloud base > 3000 ft 경우, Low cloud amount = 0

모델자료는 격자형태로 자료가 출력되므로 관측지점의 위치와 가장 가까운 격자점을 선택하여 그 지점의 운저고도가 3000ft 미만일 경우 운량을 추출하였다.

Fig 5는 7개 공항지점에서 관측된 저고도 운량의 겨울철(상단 DJF)과 여름철(하단 JJA) 평균값을 나타낸다. 제주지점을 제외한 나머지 지점에서는 여름철 운량이 겨울철 보다 많은 것으로 나타난다. 또한 서해안에 걸쳐있는 공항지점(인천, 김포, 무안, 제주공항)은 겨울철과 여름철의 운량 차이가 다른 지점보다 크지 않는 양상을 보인다.

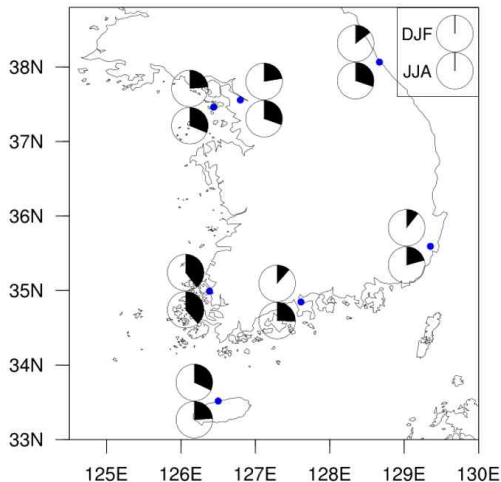


Fig 5. A pie chart of average low level cloud amount during the winter(DJF) and summer(JJA) months at seven airports.

Fig 6은 김포공항(a)과 인천공항(b), 그리고 제주공항(c)에서의 저고도 구름에 대한 관측과 모델예측의 시계열을 나타낸다. 분석기간 전체를

확인하기 위해 5일씩 평균한 값을 사용하였다.

김포공항은 세 개 지점 중 모델과 관측의 편차가 가장 적게 나타났으며, 인천공항은 분석 시작일인 2016년 9월 1일을 기준으로 200~300일 사이에 약간의 편차가 나타나고 있으며, 제주공항의 경우 75~150일 사이에는 모델이 더 높게, 300~350일 사이에는 관측이 더 높게 나타남을 알 수 있다. 제주공항 지점에서 편차가 나타난 75~150일과 300~350일 기간은 겨울철과 여름철 기간으로 계절에 따른 모델의 예측성능 차이가 나타남을 확인하였다.

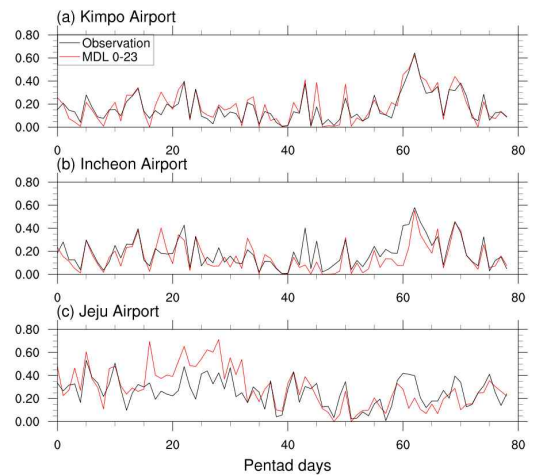


Fig 6. Timeseries of pentad cloud amount mean of ceilometer observation and LDAPS.

모델 실행시간에 따른 예측성능을 확인하고자 각 지점에서의 모델 실행시간에 대한 저고도 구름관측과 모델예측의 상관성 분석을 수행하였다 (Fig 7). 여수, 무안, 울산, 양양공항의 경우 야간 시간대에서 결측이 있어 불연속 구간이 발생하였다. 모든 공항에서 대부분의 예보시간대에 0.4 이상의 높은 상관계수가 나타났으며, 김포공항과 무안공항이 다른 공항에 비해 상관성이 높은 것으로 나타났다. 또한 대부분의 공항에서의 상관계수가 모델실행시간이 길어짐에 따라 감소하는 경향이 나타나지 않는다. 이러한 특징은 저고도 구름예측자료의 활용가능성이 높다는 것을 나타낸다.

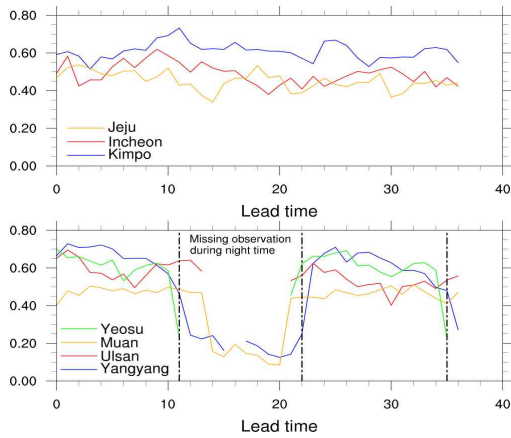
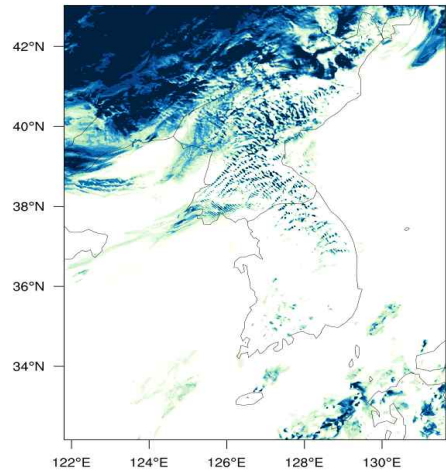


Fig 7. Time series of correlation coefficient for forecast lead time at seven observation point

4. 재분석자료와 위성영상을 이용한 모델의 구름 예측결과 공간장 분석

기상청 국지예보모델(LDAPS)의 저고도 구름의 공간분포에 대한 검증에 위하여 ECMWF 재분석 자료와 기상청에서 제공하는 천리안 위성의 구름 분석 자료를 수집하여 분석하였다. Fig 8 (a)는 2016년 9월 1일 00UTC 초기시간으로 수행된 기상청 국지예보모델의 6시간 예측 운량(Low cloud amount)을 나타내고, (b)는 2016년 9월 1일 06시 ECMWF 재분석 자료의 저고도 운량을 나타낸다. 한반도 북쪽의 넓은 영역의 구름을 비교적 유사하게 모의하는 것으로 나타나지만 ECMWF 해상도($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$)가 낮아 작은 규모의 구름을 나타내지 못한다. 따라서 LDAPS와의 직접적인 비교는 어렵다.

(a) LDAPS



(b) ECMWF

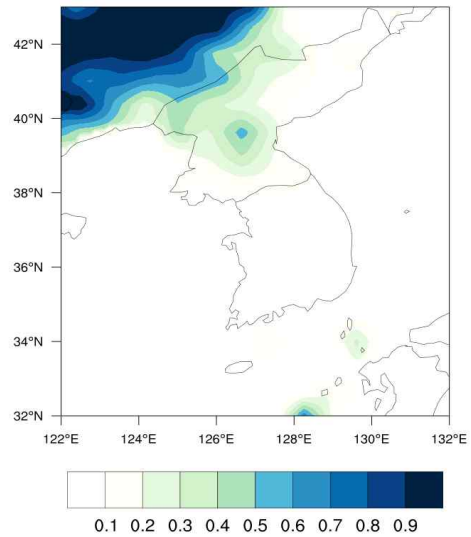


Fig 8. Low level cloud amount for LDAPS and ECMWF on 1 September 2016 06 UTC

Fig 9는 국가기상위성센터에서 제공하는 천리안 위성의 구름상 분석 영상으로 Fig 8(a)와 같은 시간을 나타낸다. 이 영상은 제공 자료 중 저고도 운량을 간접적으로 파악할 수 있는 자료로써, 한반도 북쪽 상공의 넓고 두꺼운 구름대와 우리나라 육지의 작은 규모의 하층운이 분포함을 알 수 있다. Fig 8(a)와 직접적인 비교는 어려우나 LDAPS가 남한 영역에서의 작은 규모 하층운을 모의하고 있음을 확인할 수 있다.

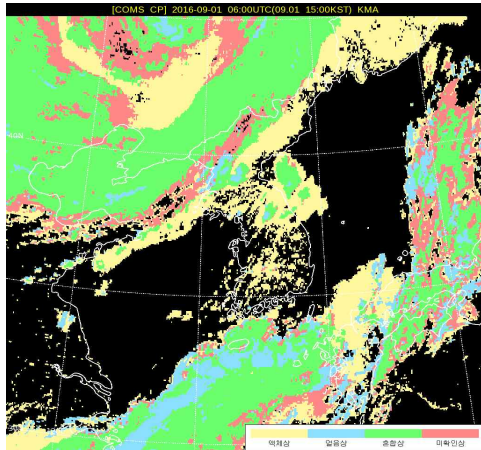


Fig 9. Cloud Phase product using COMS data on 1 September 2016 06 UTC

III. 결 론

저고도 항공운항의 안전에 중요한 구름예보 서비스 및 콘텐츠 개발을 위하여 기상청 국지예보 모델의 구름자료를 여러 가지 관측자료와 비교 분석하였다. 선행연구 조사를 통하여 기상청에서 사용 중인 UM모델의 구름모의 성능이 다른 모델에 비해 높은 것을 확인하였다.

그리고 운고계 관측자료와의 상관성 검증을 통하여 분석한 7개 모든 지점에서 0.4이상의 높은 상관관계수가 나타남을 확인하였으며, 모델 실행시간이 길어짐에 따른 성능 감소가 나타나지 않는 특징을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 하여 저고도 항공 기상 서비스에 필요한 모델 기반의 구름 예측 자료를 생산할 수 있을 것으로 생각한다. 하지만 그 이전에 더 많은 관측자료를 수집하여 연직 구름분포에 대한 분석 및 지점별 구름 예측 특성 분석 등의 연구가 필요할 것으로 보인다.

이러한 후속연구를 통하여 모델의 구름예측 성능에 대한 정확한 판단과 향상을 통하여 저고도 항공 운항 지원을 위한 구름예측 콘텐츠를 개발하고자 한다.

후 기

이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발 연구」(KMI2017-2011)의 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2017 한국항공운항학회 추계학술대회 발표논문을 수정·보완하였음.

Reference

- [1] Hogan, R. J., E. J. O'Connor, and A. J. Illingworth, "Verification of cloud fraction forecasts", *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 135, 2009, 1494 - 1511.
- [2] Hogan, R. J., T. H. Stein, H. Garçon, J. Delanoë, R. M. Forbes and A. Bodas-Salcedo, "Global verification of cloud fraction in models using CloudSat and CALIPSO data.", *Geophys. Res. Lett.*, 2012, DOI:10.1002/
- [3] Illingworth A. J., R. J. Hogan, E. J. O'Connor, D. Bouniol, M. E. Brooks, J. Delanoë, D. P. Donovan, J. D. Eastment, N. Gaussiat, J. W. F. Goddard, M. Haeffelin, H. Klein Baltink, O. A. Krasnov, J. Pelon, J. M. Piriou, A. Protat, H. W. J. Russchenberg, A. Seifert, A. M. Tompkins, G.-J. van Zadelhoff, F. Vinit, U. Willen, D. R. Wilson, and C. L. Wrench, "Cloudnet - Continuous evaluation of cloud profiles in seven operational models using ground-based observations", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 2007, 88: 883 - 898.