

# 항공기상정보 제공을 위한 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 배포서비스 개발

김 지 연\*, 김 상 일\*, 안 도 섭\*, 최 훈°

## 4D NARAE-Weather Data Platform: Advanced Distribution Service for Aviation Weather Information

Jiyeon Kim\*, Sang-il Kim\*, Do-Seob Ahn\*, Hoon Choi°

### 요 약

본 논문은 차세대 항공교통 계획(NARAE) 지원을 위한 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 배포서비스 개발에 대해 다루고 있다. 항공기 운항 안정성 확보를 위해 시간과 공간에 따라 변하는 기상정보를 실시간으로 통합 제공하는 플랫폼의 필요성이 대두되었으며, 제안된 4D 나래기상 데이터 플랫폼은 레거시 배포서비스, API 배포 서비스 및 구독/게시 배포 서비스를 통해 기상정보의 효율적인 제공을 지원한다. 이 플랫폼은 항공기 운항 계획에 따른 맞춤형 기상정보를 제공하며, 30시간 이상의 결정론적 예측 기상 데이터와 기계 학습 기반 확률예측 데이터를 제공한다. 이러한 예측 데이터는 항공기 운항 중 발생할 수 있는 위험요소를 사전에 파악하고, 운항 의사결정에 중요한 역할을 한다. 본 논문은 항공사, 항공교통 관제사, 공항 운영자 등 다양한 사용자 그룹에서 항공기 운항의 안전성과 효율성을 증대시키기 위해 활용될 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 기능 구성을 제시하고, 이러한 기능을 조합하여 구현된 레거시 배포서비스, API 배포 서비스 및 구독/게시 배포 서비스에 대해 상세히 기술한다.

**키워드** : 나래기상, 궤적기반, 영역기반, 지점기반, 항공기상

**Key Words** : NARAE-Weather, Trajectory based, Region of Interest Based, Point based, Aviation Weather

### ABSTRACT

This paper discusses the development of the distribution service for the 4D NARAE-Weather data platform, designed to support the next-generation air traffic plan (NARAE). The need for a platform that provides real-time, integrated weather information, which changes dynamically across time and space, has emerged to ensure the safety of aircraft operations. The proposed 4D NARAE-Weather data platform facilitates efficient weather information delivery through legacy distribution services, API distribution services, and subscription/publish distribution services. This platform provides customized weather information based on aircraft flight trajectories, offering more than 30 hours of deterministic forecast data and machine learning-based probabilistic forecast data. These forecast data play a crucial role in identifying potential hazards during flight and supporting operational decision-making. This paper presents the functional composition of the 4D NARAE-Weather data platform, which is designed to enhance the safety and efficiency of aircraft

※ 본 연구는 기상청 차세대 항공교통 지원 항공기상 기술개발(KMI 2022-01810)의 지원으로 수행되었습니다.

♦ First Author : Electronics and Telecommunications Research Institute, jiyeon@etri.re.kr, 정회원

° Corresponding Author : Chungnam National University Dept. of Computer Engineering, hc@cnu.ac.kr, 종신회원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute, sangill31@etri.re.kr; ahnds@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 202410-246-D-RU, Received October 18, 2024; Revised November 7, 2024; Accepted November 12, 2024

operations for various user groups, including airlines, air traffic controllers, and airport operators. Additionally, it provides detailed descriptions of the legacy distribution service, API distribution service, and subscription/publish distribution service, which are implemented by combining the platform's functionalities.

## I. 서 론

최근 전 세계적으로 COVID-19 이후 갑작스런 항공 교통의 양적 확대와 더불어 복잡성이 증가하고 있고, 국내도 저가 항공 출범 및 해외여행 수요의 증대로 항공 교통의 안전사고 위험도가 높아지고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 추세는 항공교통 시스템의 안전성과 효율성을 보장하기 위한 노력을 필수적으로 요구한다. 이에 따라 국제민간 항공기구(ICAO)에서는 글로벌 항공항행계획(Global Air Navigation Plan, GANP)을 제시하여 각 국가가 안전하고 효율적인 항공교통을 관리할 수 있는 기반을 마련하고자 하고 있다<sup>[2,3]</sup>. GANP는 항공교통의 안전과 효율성 증진을 위한 핵심 전략과 기술적 지침을 제공하며, 각 국가에서는 이를 바탕으로 국가 차원의 항공항행 계획을 수립하고 있다<sup>[4,5]</sup>. 우리나라에서는 국가 항행계획(National ATM Reformation And Enhancement, NARAE)의 성공적 이행을 위해 항공교통관리 및 항공 운항지원에 있어 첨단 기술과 데이터의 통합적인 활용이 강조되고 있으며, 그 일환으로 항공기상청을 중심으로 나래기상 시스템 구축이 추진되고 있다<sup>[6,7]</sup>.

나래기상 시스템은 현재 항공기상청의 지원 하에 개발 중인 항공기상 정보 제공 시스템으로 각 비행 단계에 최적화된 상세하고 다양한 기상 정보를 생산하고 제공하는 것을 목표로 한다. 기존의 항공기상 정보는 다양한 출처에서 산발적으로 제공되어 각 항공기의 궤적 및 운항 단계에 따라 최적의 기상 정보를 적시에 활용하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 따라 나래기상 시스템은 단편적이고 서로 다른 형식의 기상 정보 제공 방식을 개선하여 항공운항 지원을 위한 고품질의 4차원(4-Dimension, 이하 4D) 궤적기반(4 Dimension Trajectory, 4DT) 기상 정보를 생산하고 제공하고자 한다. 여기서 4D 기상 정보는 시공간적 요소를 모두 포함하여 특정 시간대의 공간적 기상 변화를 통합적으로 고려하는 정보를 의미하며, 항공기의 운항 경로에 따른 기상 조건의 예측을 통해 최적의 운항 결정을 지원할 수 있다.

특히, 나래기상 시스템에서 제공하고자 하는 4D 기상 정보는 단순히 현재의 기상 상태를 전달하는 것이 아니라, 기상예측모델의 상세화를 통해 기상요청 시간으로부터 30시간 이후까지 기상 변화를 예측하여 항공운항에

활용할 수 있는 형태로 제공할 예정이다. 이를 위해 최신 수치예보모델(Numerical Weather Prediction, NWP)의 적용과 더불어 기계 학습 기반의 기상확률모델을 활용하여 각 운항 단계별로 세밀하고 정교한 예측 정보를 생산하기 위한 연구를 진행하고 있다<sup>[8,9]</sup>. 이러한 예측 모델의 개발과 적용은 비행 경로상의 기상 변화와 기상 위험요소를 미리 파악하여 조종사와 항공교통 관제사에게 제공함으로써 항공 안전성 향상과 운항 효율성을 높이는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

또한, 4D 나래기상 데이터 플랫폼은 통합된 항공기상 정보를 효과적으로 제공하기 위해 API(Application Programming Interface)와 구독/게시(Publish/Subscribe) 방식을 활용하여 사용자들에게 필요한 정보를 적시에 제공하고자 한다. API를 통해 사용자들은 플랫폼에 직접 접근하여 원하는 항공기상 요소를 요청하고 수신할 수 있으며, 구독/게시 방식을 통해 실시간 기상 정보 업데이트가 필요한 사용자들에게 적시에 정보를 전달할 수 있도록 시스템이 설계된다. 이를 통해 각 항공기 운항 단계에서 필요한 기상 정보를 적시에 제공하여 운항 안전성과 효율성을 향상시키는 것이 목표이다.

나래기상 시스템의 성공적 구현을 위해서는 현재 개발 중인 수치예보모델을 포함하여 다양한 출처에서 생산 관리되고 있는 기상정보를 통합하고, 이를 체계적으로 관리하여 각 항공기의 운항 상황에 맞춰 적시에 정보를 제공할 수 있는 플랫폼이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 나래기상 시스템의 핵심 구성 요소로서 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 설계와 기능(II 장), 그리고 배포서비스 구현(III 장)에 대해 상세히 논의한다. 플랫폼이 항공기상정보의 수집, 통합, 관리, 그리고 사용자 맞춤형 정보의 적시 제공을 위한 API 설계와 구독/게시 메커니즘의 구현 방안을 중점적으로 다룬다. 이를 통해 각 비행 단계별로 필요한 최적의 기상 정보를 효과적으로 배포하는 방안을 제시하고 나아가 항공안전과 효율성 증진에 기여하고자 한다.

## II. 4D 나래기상 데이터 플랫폼

항공기 운항의 각 비행 단계에서 필요한 다양한 항공기상 정보를 궤적기반으로 제공하기 위해 4D 나래기상



그림 1. 4D 나래기상 데이터 플랫폼 구조  
Fig. 1. 4D NARAE-Weather Data Platform Structure

데이터 플랫폼은 크게 Fig. 1. 과 같이 세 가지 핵심 시스템으로 구성된다.

첫째, 수집처리시스템(Collection Processing System)은 다양한 출처로부터 수집되어 제공되고 있는 항공기상 정보를 통합적으로 수집하기 위한 기능을 수행한다.

둘째, 자료관리시스템(Data Management System)은 수집된 기상 정보를 체계적이고 일관되게 관리하여 기상 요소의 시간적 변화와 공간적 분포를 고려한 4D 데이터 구조를 지원하는 기능을 갖추고 있다.

셋째, 배포관리시스템(Distribution Management System)은 사용자 인터페이스 역할을 수행하며, 사용자에게 맞춤형 항공기상 정보를 적시에 제공하여 사용자가 필요로 하는 정보를 제공받을 수 있도록 한다.

## 2.1 수집처리시스템

분산되어 있는 이종의 데이터를 통합된 기상정보로 제공하기 위하여 수집처리시스템은 항공기상관련 정보를 내·외부로부터 수집한다. 수집 대상 자료는 나래기상 산출물을 포함하여 항공기상 관측 자료, 외부 기관으로부터의 항공기상 관련 자료를 대상으로 수집한다.

나래기상 산출물은 전지구 수치모델자료(Global Data Assimilation and Prediction System, GDAPS)를 포함한 단일예측자료(Single Forecast Data), 후처리모델자료(Post-Processing Model-Based Data), 후처리 진단통계자료(Post-Processing Diagnostic Statistical Data), 확률예측자료(Probabilistic Forecast Data)를 포함하는 나래기상 수치예측자료와 나래기상전문, 나래기상 일기도, 나래기상 영향정보(6종)를 포함한 나래기상 서비스자료를 포함한다.

내·외부 자료 수집을 위한 통신 방식은 기관간 활용 방식의 다양성으로 FTP(File Transfer Protocol), SFTP(Secure FTP), REST API, MQ(Message Queue) 등을 수용하도록 구성된다.

수집처리시스템은 Fig. 2.와 같이 구동방식 등을 고려하여 크게 3가지 모듈로 구성된다. 첫번째는 다양한 내·외부 자료 수집으로 자료의 출처를 관리하는 수집처 관리 모듈(Source Management), 수집처리시스템 구동 방식 관리 및 처리를 위한 자료 수집 모듈(Data

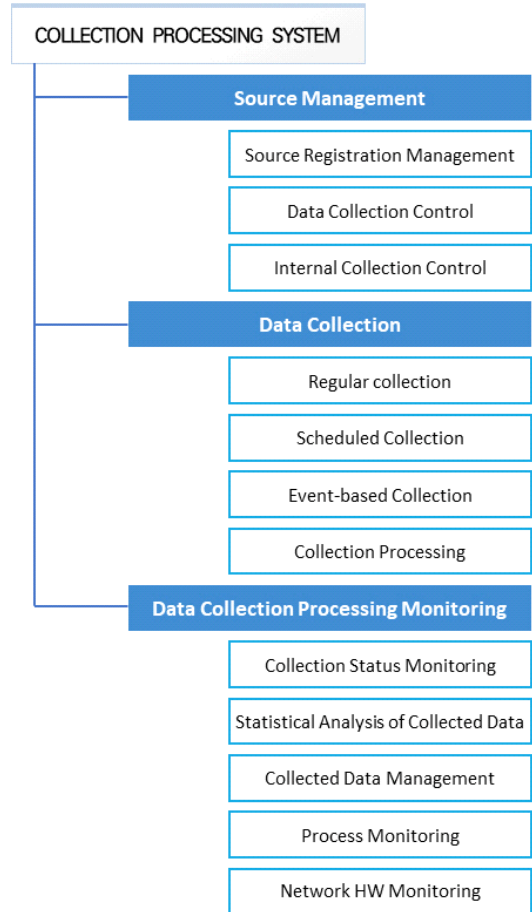


그림 2. 수집처리시스템 기능 모듈  
Fig. 2. Collection Processing System Function Modules

Collection), 시스템을 모니터링을 담당하는 수집 모니터링 모듈(Data Collection Processing Monitoring)로 구현된다.

### 2.1.1 수집처 관리 모듈

수집처 관리 모듈은 내·외부 수집 대상 기관, 기관별 수집 자료 목록 및 자료 수집 통신 방법 등을 등록/관리하는 수집처 등록 관리부(Source Registration Management)와 등록된 수집처 정보에 따라 자료 수집 주기를 설정하고 적절한 업무 부하 분산 등을 통해 H/W(Hardware)의 안정적 운영을 위한 자료 수집 제어부(Data Collection Control) 및 나래기상 산출물 수집을 제어하기 위한 나래기상 내부 산출물 수집 제어부(Internal Collection Control)로 구성된다.

표 1은 나래기상 시스템 내부 수집처로부터 수집되는 나래기상 산출물로 수집처리시스템에서 저장용량의 큰 부분을 차지하는 나래기상 수치예측자료에서 제공

표 1. 나래기상 수치예측자료 일일 저장 용량  
Table 1. Daily Storage Capacity of NARAE-Weather Numerical Prediction Data

| Classification                              | Capacity (MB)/Day | Product Generation Cycle (Hours) |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Single Forecast Data                        | 780               | 1                                |
| Post-Processing Model-Based Data            | 480               | 1                                |
| Post-Processing Diagnostic Statistical Data | 1                 | 1                                |
| Airport Probabilistic Forecast Data         | 101               | 1                                |
| Airspace Probabilistic Forecast Data        | 381               | 6                                |

되는 모델의 산출 주기를 살펴봄으로써 저장 용량을 예상하여 관리한다.

### 2.1.2 자료 수집 모듈

자료 수집 모듈은 수집처 등록 관리부에 설정된 정보에 따라 수집 대상 자료를 수집하여 자료 특성에 따른 적절한 전처리 과정을 거쳐 저장 또는 나래기상 산출물 생산을 위한 자료 제공 역할을 담당하며, 수집 구동 방식에 따른 상시 수집부(Regular collection), 주기적 수집부(Scheduled Collection) 및 트리거 수집부(Event-based Collection)로 구성된 수집기와 수집된 자료를 필요할 경우 특정 정보를 추출하거나, 무결성 검증(Integrity Verification)을 거쳐 사전 정의된 공유 스토리지(Shared Storage) 또는 DB(Database)로 저장하는 기능을 수행하는 수집 처리부(Collection Processing)로 구성된다.

### 2.1.3 수집 모니터링 모듈

수집처리시스템의 동작 상태를 모니터링하는 역할을 담당하는 수집 모니터링 모듈은 자료의 수집 성공 여부 및 진행 현황을 모니터링하기 위한 수집 상태 모니터링부(Collection Status Monitoring), 어떤 자료를 어디에서, 얼마나(크기, 수량, 수집 빈도 등) 수집하는지 그리고, 수집 자료의 활용도를 모니터링하기 위한 수집 자료 통계분석부(Statistical Analysis of Collected Data), 수집자료 목록을 조회하고, 수집처별 또는 수집 위치별 임시 저장 기간 등을 설정/관리하는 수집자료 관리부(Collected Data Management), 수집처리시스템을 구성하는 S/W(Software) 프로세스(응용 프로그램)의 동작 상태를 모니터링하여 이상 현상이 발생하면 대체 프로세스 사용 혹은 해당 프로세스 재 기동 등을

제어하는 프로세스 모니터링부(Process Monitoring), 수집처리시스템이 설치된 내부망 및 외부망 H/W(서버, 네트워크 등)의 동작 상태(CPU 사용 현황, 메모리 사용 현황, 네트워크 점유 현황 등)를 모니터링하여 이상 현상이 발생하면 예비 H/W 사용 등을 제어할 수 있도록 하는 H/W 모니터링부(Network HW Monitoring)로 구성된다.

### 2.2 자료관리시스템

자료관리시스템은 Fig. 3.과 같이 현재 수집되고 있는 기존 항공기상 관련 관측자료 및 전문자료의 저장관리 및 나래기상 산출물 자료 관리를 담당하는 레거시 자료관리 기능 모듈(Legacy Data Management)과 항공기상 자료의 4D 구조화 및 4D 항공기상 정보의 저장관리를 위한 4D 모델링 모듈(4D Modeling), 차세대 항공교통 지원을 위해 신속한 자료 제공을 가능하게 하

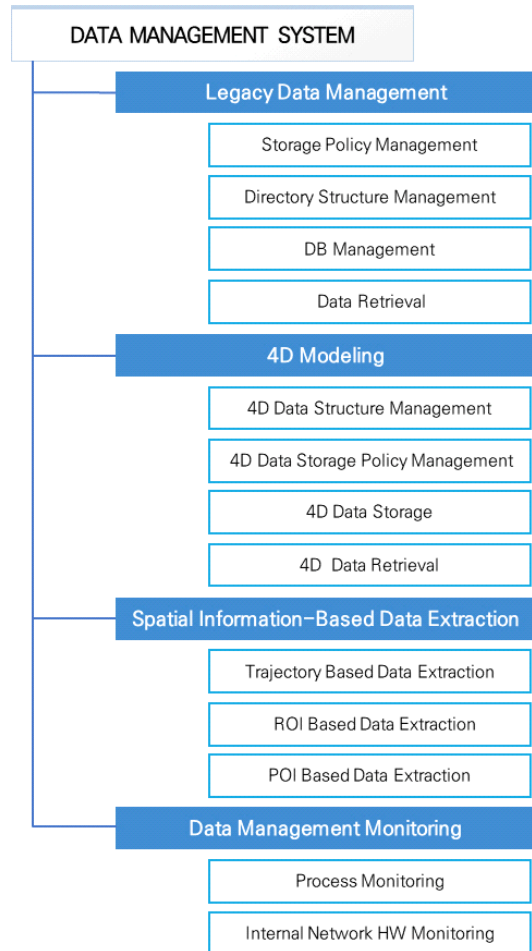


그림 3. 자료관리시스템 기능 모듈  
Fig. 3. Data Management System Function Modules

는 공간정보 기반 자료 추출 모듈(Spatial Information-Based Data Extraction)과 자료관리시스템의 동작 상태를 모니터링하는 자료관리 모니터링 모듈(Data Management Monitoring)로 구성된다.

### 2.2.1 레거시 자료관리 기능 모듈

레거시 자료관리 기능 모듈은 자료의 보관 기간, 자료 명칭 등을 정의하고 관리하는 저장정책 관리부(Storage Policy Management), 디렉토리 체계를 정의/관리하는 디렉토리 구조 관리부(Directory Structure Management), 자료의 DB 저장 관리를 위한 DB 관리부(DB Management) 및 저장된 자료의 조회 검색을 위한 자료 검색부(Data Retrieval)로 구성된다. 자료 명명 규칙, 보관 기간, 보관 장소, 접근 권한, 삭제 또는 이동 보관 등을 정의하고 관리하는 저장정책 관리부는 저장 관리 대상으로 선정된 자료를 저장 정책에 따라 정해진 기간 동안 공유 스토리지에 저장 관리하게 된다. 자료의 크기 및 저장 기간 등에 따라 요구되는 공유 스토리지의 용량이 크게 차이가 나게 되는 점을 고려하여 관리자가 스토리지 사용 현황을 조회하고, 저장 기간을 설정할 수 있는 기능을 포함한다.

### 2.2.2 4D 모델링 모듈

4D 모델링 모듈은 입출력 최적화 및 추출 성능을 고려하여 항공교통 관계자에게 정규 격자형, 비정규형 자료로부터 필요한 4D 항공기상 정보를 신속히 추출할 수 있는 형태로 데이터의 저장 구조를 구축하는 4D 구조 관리부(4D Data Structure Management), 나래기상 시스템에서 활용되는 자료 뿐만 아니라 향후 차세대 항공교통(NARAE) 지원을 위해 사용될 것으로 예상되는 4D 항공기상 정보를 고려하여 공유 스토리지 구축과 운영을 위한 4D 저장정책 가이드라인을 제시하는 4D 저장정책 관리부(4D Data Storage Policy Management), 4D 저장정책에 따라 4D 구조 관리부에 정의된 4D 구조로 자료를 저장 관리하는 4D 자료저장부(4D Data Storage)는 4D 저장정책 관리부에 설정된 가이드에 따라 자료의 저장, 삭제, 이동 등을 직접적으로 수행하는 프로세스이다. 4D 자료 검색부(4D Data Retrieval)는 공유 스토리지에 저장 관리하는 자료들을 조건에 따라 조회, 검색하는 기능을 담당한다.

### 2.2.3 공간정보 기반 자료 추출 모듈

공간정보 기반 자료 추출 모듈은 항공 관계자에게 4D 항공기상 정보를 적시에 제공하기 위해 사용자가 원하는 항공기상 요소를 신속하게 추출하기 위한 기능

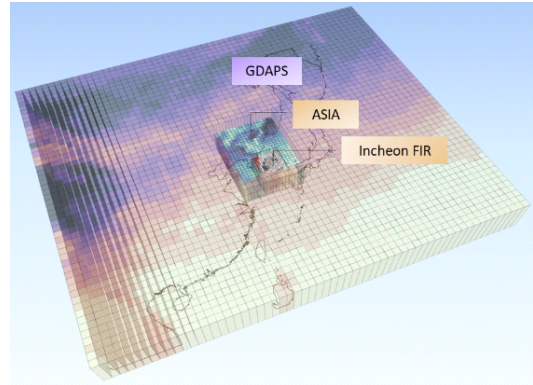


그림 4. 수치모델 통합 예시  
Fig. 4. Example of Numerical Model Integration

으로, 현재 개발에 사용하는 수치모델의 통합 활용 범위는 Fig. 4. 와 같이 한국에서 비행시간 6시간 안에 도달할 수 있는 지역을 기본적인 통합 대상으로 한다. 지역별로 서로 다른 시공간 해상도를 가지는 수치모델을 영역별로 통합 관리하는 4D 모델링 모듈내 4D 구조 관리부로부터 지형적 범위를 기준으로 항공기 운항 궤적에 따라 4D 항공기상 정보(표 2)를 추출하는 궤적기반 자료 추출부(Trajectory Based Data Extraction), 비행 궤

표 2. 나래기상 제공 항공기상 요소  
Table 2. Aviation Weather Elements of NARAE-Weather

| Classification                              | Weather Elements                                                                                                                                                | Service Area                                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Single Forecast Data                        | Temperature, Humidity, Wind Direction, Wind Speed                                                                                                               | Incheon FIR, Approach Control (South Korea), Airport |
| Post-Processing Model-Based Data            | Precipitation Type, Cloud Ceiling, Visibility (VIS), Wind Shear, Microburst, Turbulence, Icing                                                                  |                                                      |
| Post-Processing Diagnostic Statistical Data | Zonal Wind (U), Meridional Wind (V), Wind Direction, Wind Speed, Temperature, Dew Point<br>Temperature, Humidity, Visibility (VIS), Cloud Ceiling, Cloud Amount | Airport ARP (Civil Airport, Military Airport)        |
| Airport Probabilistic Forecast Data         | Wind Shear, Strong Wind, Low Visibility, Cloud Ceiling, Cloud Amount, Temperature                                                                               | Approach Control (South Korea)                       |
| Airspace Probabilistic Forecast Data        | Turbulence, Icing, Convective Area, Freezing Altitude                                                                                                           | ASIA                                                 |



획 수립이나 공항 운영 관리 등을 위해 특정 관심 지역에 대한 고도별 4D 항공기상 정보를 추출하는 영역 기반 자료 추출부(ROI Based Data Extraction), 비행 계획 수립이나 항공기 운항 중에 관심있는 특정 지점에 대한 시계열 4D 항공기상 정보를 추출하는 지점기반 자료 추출부(POI Based Data Extraction)로 구성된다 [10-11].

## 2.2.4 자료관리 모니터링 모듈

자료관리 모니터링 모듈은 자료관리시스템의 동작 상태를 모니터링하는 역할을 담당하며, 자료관리시스템을 구성하는 S/W 프로세스(응용 프로그램)의 동작 상태를 모니터링하여 이상 현상이 발생하면 대체 프로세스 사용 또는 해당 프로세스 재기동 등을 제어하는 프로세스 모니터링부(Process Monitoring)와 자료관리시스템이 설치된 내부망 H/W(서버, 네트워크 등)의 동작 상태(CPU 사용 현황, 메모리 사용 현황, 네트워크 점유 현황, 스토리지 사용 현황 등)를 모니터링하여 이상 현상이 발생하면 예비 H/W 사용 등을 제어하는 내부망 H/W모니터링부(Internal Network HW Monitoring)로 구성된다.

## 2.3 배포관리시스템

배포관리시스템 개발의 주 목적은 차세대 항공교통 지원을 위해 나래기상 내·외부 자료 배포, 4D 항공기상 정보를 사용자가 원하는 형태로 적시에 배포하는 기능을 구현하여 나래기상 시스템 구축에 기여할 뿐만 아니라, 현재 항공기상청의 외부 항공기상 자료 배포 체계를 대체할 수 있는 통합 배포체계 구축의 기반을 마련하는 것이다. 배포관리시스템의 배포 대상 자료는 Fig. 5와 같이 차세대 항공교통 지원을 위한 나래기상 산출물 자료를 기본으로 하고, 향후 통합 배포 체계 구축의 타당성 확보를 위해 현재 항공기상청에서 배포하고 있는 레거시 배포 자료 일부를 포함한다.

배포관리시스템은 Fig. 6과 같이 기존 항공기상 배포 자료를 포함하는 레거시 배포 모듈(Legacy

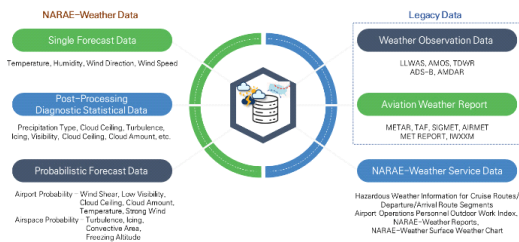


그림 5. 배포 항공기상 자료 범위  
Fig. 5. Scope of Distributed Data

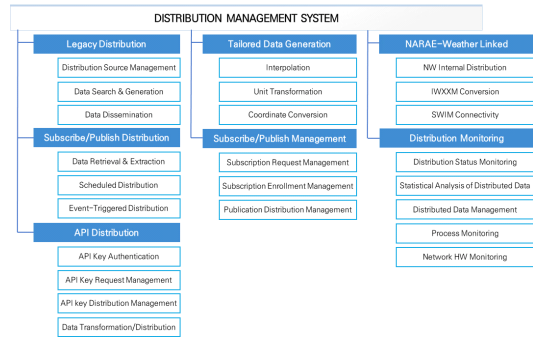


그림 6. 배포관리시스템 기능 모듈  
Fig. 6. Distribution Management System Function Modules

Distribution), 구독/게시 배포 서비스 제공을 위한 구독/게시 관리 모듈(Subscribe/Publish Management) 및 구독/게시 배포 모듈(Subscribe/Publish Distribution), 공간정보 기반 자료 제공을 위한 API 배포 모듈(API Distribution), 고객 맞춤형 정보 제공을 위한 맞춤형 자료 생성 모듈(Tailored Data Generation), 나래기상 시스템 내·외부 연동을 위한 나래기상 연계 모듈(NARAE-Weather Linked), 배포관리시스템의 동작 상태를 모니터링하는 배포 모니터링 모듈(Distribution Monitoring)로 구성된다.

### 2.3.1 레거시 배포 모듈

레거시 배포 모듈은 항공기상청 외부 자료 배포 체계 대체 타당성 확인을 위해 현재 사용하고 있는 기존 통신 방식(FTP, SFTP, NFS, MQ 등)을 이용하여 외부 배포처에 항공기상 정보를 배포하는 기능으로, 외부 배포처 등록·관리를 위한 배포처 관리부(Distribution Source Management), 자료를 검색하여 배포 자료로 구성하는 자료 검색/생성부(Data Search & Generation) 및 배포 자료 전송을 위한 자료 배포부(Data Dissemination)로 구성된다.

레거시 배포 작업을 수행하는 서버는 내부망에서 운영되는 배포 메인 서버와 외부망에서 운영되는 배포 작업 서버와 공유 스토리지로 구성된다.

### 2.3.2 구독/게시 관리 모듈

구독/게시 관리 모듈은 외부 배포처 사용자가 사용자 등록 및 구독/게시 배포 서비스 신청을 위한 구독 신청 관리부(Subscription Request Management), 관리자가 구독/게시 외부 배포처, 배포 자료 목록 및 배포 방법 등을 등록/관리하는 구독 등록 관리부(Subscription Enrollment Management), 등록된 배포처 정보에 따라

구독/게시 배포 모듈과 연계하여 사용자 맞춤형 자료를 제공하도록 업무 부하 분산 등을 통해 관련 H/W의 안정적 운영을 지원하는 게시 배포 관리부(Publication Distribution Management)로 구성된다.

### 2.3.3 구독/게시 배포 모듈

구독/게시 배포 모듈은 구독/게시 관리 모듈에서 설정된 정보에 따라 사용자 맞춤형 항공기상 정보를 배포하는 역할을 담당하며, 자료관리시스템의 공유 스토리 지로부터 배포 대상 원시 자료를 검색, 추출하는 자료 검색/추출부(Data Retrieval & Extraction)와 사용자 맞춤형 항공기상 정보의 게시 배포를 담당하는 이벤트 배포부(Event-Triggered Distribution) 및 주기적(정기) 배포부(Scheduled Distribution)로 구성된다.

### 2.3.4 API 배포 모듈

API 배포 모듈은 API 배포 서비스를 활성화하기 위한 기능으로 API 서비스 신청 자격 획득을 위한 API Key 신청 관리부(API Key Request Management), 신청 사용자 정보를 기반으로 API 서비스 제공 여부를 판단을 위한 API Key 인증부(API Key Authentication), API Key 배포 현황 관리를 위한 API Key 배포 관리부(API key Distribution Management) 및 공간정보기반 4D 항공기상 자료 배포를 위한 자료 변환/배포부(Data Transformation/Distribution)로 구성된다.

API 배포는 자료관리시스템의 공간정보 기반 자료 추출 모듈과 연계하여 서비스 제공 성능을 확인하며, 궤적기반(4DT) API 배포 서비스, 영역기반(ROI) API 배포 서비스 및 지점기반(POI) API 배포 서비스로 구성된다.

### 2.3.5 맞춤형 자료 생성 모듈

맞춤형 자료 생성 모듈은 항공기상 자료를 사용자가 원하는 형태로 제공하기 위해 해당 자료를 가공하는 기능으로 Fig. 7과 같이 사용자가 요청하는 시·공간 지점에 대한 항공기상 정보를 생성하기 위해 동작하는 보간부(Interpolation), 사용자가 항공기상 요소(온도, 고도 등)에 대해 기본 설정된 단위 이외의 특정 단위로 요청하는 경우 변경을 하는 단위 변환부(Unit Transformation) 및 EPSG:4326 - WGS 84 지리 좌표계와 Lambert Conformal Conic(LCC) 투영 좌표계 중 사용자가 요청하는 좌표계로 자료를 제공하기 위해 두 좌표계 간의 변환을 효율적으로 수행하는 좌표 변환부(Coordinate Conversion)로 구성된다.

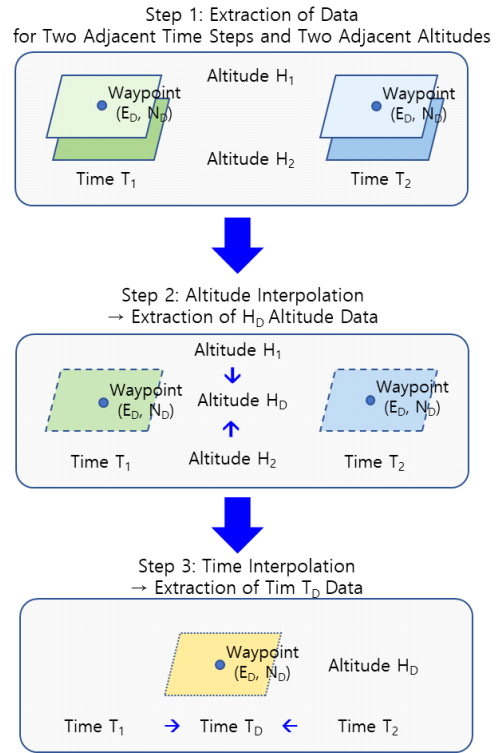


그림 7. 궤적기반 API 배포 보간 부 활용 예시  
Fig. 7. Example of Utilizing the Interpolation Section in Trajectory-Based API Distribution Service

### 2.3.6 나래기상 연계 모듈

나래기상 연계 모듈은 전문(METAR, TAF, SIGMET, AIRMET 등)을 IWXXM(ICAQ Meteorological Information Exchange Model) 포맷으로 자동 변환하는 IWXXM 변환부(IWXXM Conversion), 항공기상 예측 모델과 확률 예측 모델 등 나래기상 산출물을 생산하는 시스템의 자료를 전달하기 위한 나래기상 내부 시스템 배포부(NW Internal Distribution)와 국토교통부 SWIM기반 자료 배포를 위한 SWIM 연계부(SWIM Connectivity)로 구분된다.

### 2.3.7 배포 모니터링 모듈

배포 모니터링 모듈은 배포관리시스템의 동작 상태를 모니터링하는 역할을 담당하며, 자료의 배포 성공 여부 및 진행 현황을 모니터링하는 배포 상태 모니터링부(Distribution Status Monitoring), 자료의 활용도 등을 모니터링하는 배포 자료 통계 분석부(Statistical Analysis of Distributed Data), 배포 자료 목록을 조회하고, 배포처별 또는 배포 위치별 임시 저장 기간 등을 설정/관리하는 배포자료 관리부(Distributed Data

Management), 배포관리시스템을 구성하는 응용 프로그램의 동작 상태를 모니터링 하는 프로세스 모니터링 부(Process Monitoring), 내·외부 H/W의 동작 상태를 모니터링 하는 H/W 모니터링부(Network HW Monitoring)로 구분된다

### III. 항공기상 배포서비스

4D 나래기상 데이터 플랫폼의 배포서비스는 II장에서 살펴본 시스템 모듈별 동작을 기반으로 하여 그 운용 방식과 활용 방법을 본 장에서 다룬다. 운항 단계에 따라 사용자에게 필요한 항공기상 정보를 신속하고 정확하게 맞춤형으로 제공하기 위해 Fig. 8과 같이 레거시 배포, API 배포와 구독/게시 배포 서비스로 구현된다.

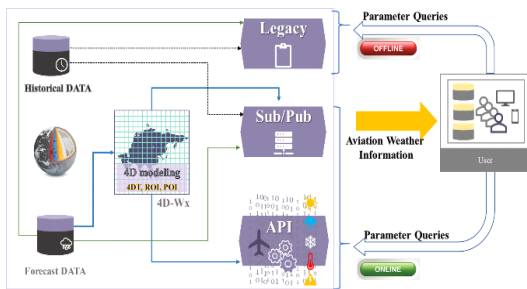


그림 8. 4D 항공기상 데이터 플랫폼 배포서비스  
Fig. 8. 4D Aviation Weather Data Platform Distribution Service

#### 3.1 레거시 배포

레거시 배포서비스는 항공기상청에서 현업으로 운영하고 있는 전통적인 항공기상 정보 배포 방식으로 오프라인으로 기상 자료를 요청하고, 관리 기관의 승인을 거쳐 사용자가 지정한 자료 전달 방법(FTP, HTTP 등)에 따라 항공기상 정보를 제공한다.

레거시 배포서비스 구현에 활용된 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 기능 구성 요소는 2.3.1절의 배포관리시스템-레거시 배포 모듈이며, 레거시 배포 서비스의 Data Flow Diagram(이하, DFD)기반 동작 개념은 Fig. 9와 같다.

레거시 배포서비스를 제공받으려 하는 사용자(Legacy Distribution Service User)는 오프라인으로 시스템 운영기관에 서비스 요청을 해야 하고, 시스템 운영기관은 자격 요건 등을 검토하여 레거시 배포 승인 여부를 결정한다.

레거시 배포가 승인되면, 시스템 관리자(System Manager)는 배포처 관리부(Distribution Source Management)를 통해 배포처 정보를 등록한다. 배포처 관리부는 등록된 배포처 정보에 따라 자료 배포부(Data Dissemination)를 활성화하여 요청된 배포 시점이 도래할 때까지 배포 대기 상태를 유지한다. 자료 배포부는 요청된 배포 시점이 되면 배포기를 구동하여 자료 검색/생성부(Data Search & Generation)에 자료 배포를 요청하고, 자료 검색/생성부가 공유 스토리지(Shared Storage)로부터 원시 자료를 검색, 추출하여 배포 대상 자료를 생성하여 전달해줄 때까지 자료 수신 대기 상태

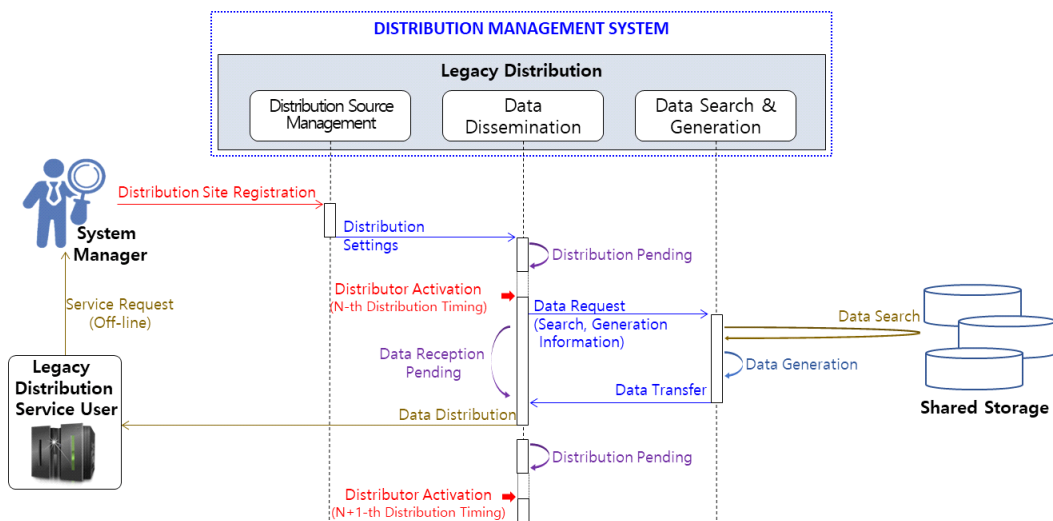


그림 9. DFD 기반의 레거시 배포 서비스 동작 개념  
Fig. 9. DFD-Based Legacy Distribution Service Operation Concept



를 유지한다. 배포 자료가 수신되면 자료 배포부는 서비스 고객에게 상호 협의된 방식으로 자료를 전달하고, 차기 배포를 위해 배포 대기 상태로 전환하며, 차기 배포 시점이 도래하면 위에서 언급한 레거시 자료 배포 과정을 반복하여 수행한다.

레거시 배포 기능 모듈 소프트웨어는 배포 메인 서버에 배포처 관리부와 자료 검색/생성부를 배치하고, 배포 작업 서버에 자료 배포부를 배치하여 구현한다. 여기서, 내부망의 배포 메인 서버는 배포 작업의 부하를 제어하는 역할을 담당한다. 외부망의 배포작업 서버는 레거시 배포 서비스의 수요에 따라, 다양한 항공 및 기상 데이터 유형을 실시간으로 수용할 수 있는 확장성을 고려하여 서버를 추가 또는 제거할 수 있도록 스케일 아웃 방식으로 구현된다.

### 3.2 API 배포

API 배포서비스는 사용자가 특정 조건을 입력하면 요구조건에 해당되는 항공기상 정보를 결정론적 예측 모델과 기계학습 기반 확률 예측모델의 나래기상 산출물로부터 추출하여 제공하는 서비스로, 궤적기반(4 Dimension Trajectory, 4DT) API, 영역기반(Region of Interest, ROI) API, 그리고 지점기반(Point of Interest, POI) API로 구분된다.

#### 3.2.1 궤적기반(4DT) API

4DT API는 항공기의 비행 경로 정보(궤적, 시간 등)를 입력 받아 해당 경로에 대한 나래기상 산출물과 수치 모델(GDPAS) 자료로부터 항공기상 정보를 추출하고, 사용자가 원하는 정보로 가공하여 제공하는 서비스이다. 즉, 사용자가 항공기의 궤적 데이터를 입력하면, 시스템은 예측모델이 갖는 시공간 해상도를 극복하여 항공 관계자에게 4D 항공기상 정보를 적시에 제공하기 위해 해당 경로에 근접한 풍향, 풍속, 온도, 강수 확률 등의 정보를 나래기상 산출물로부터 추출하고, 고도 및

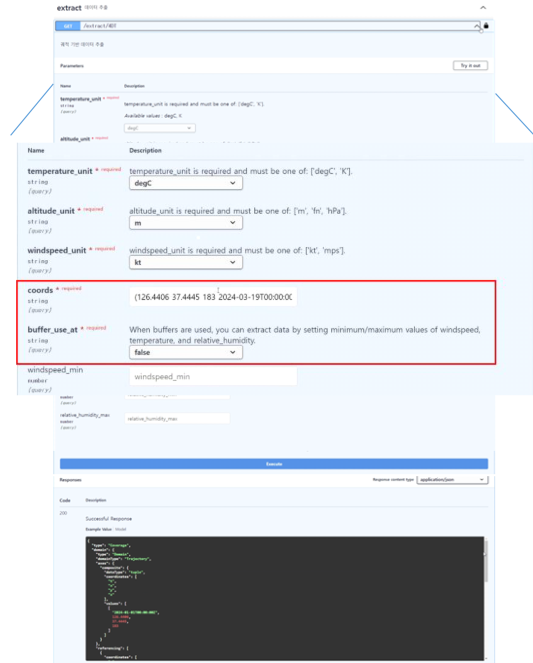


그림 10. 4DT API 시험 화면

Fig. 10. 4DT API Test & Conceptual Output Visualization

시간 보간 (Fig. 7)을 거쳐 사용자가 원하는 단위로 변환하여 제공함으로써, 기상 변화를 고려한 운항계획 및 경로 설정에 도움을 준다. 표 3은 4DT API 배포 서비스를 제공받기 위해 사용자가 입력해야 하는 입력 파라미터로서, 위도, 경도, 고도, 시각, 버퍼, 기상요소 및 임계값(선택 항목)으로 구성되고, 이들 중 버퍼는 기상 변화를 고려한 비행경로 설정을 위해 웨이포인트(waypoint) 중심으로 특정 위경도 범위(버퍼)내의 항공기상 요소를 제공받기 위해 입력하는 항목이다.

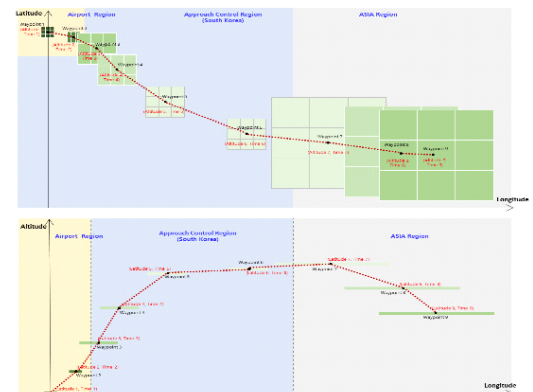


그림 11. 4DT API 출력 도식화

Fig. 11. Conceptual Output Visualization of 4DT API

표 3. 4DT API 서비스 입력 파라미터  
Table 3. Input Parameters for 4DT API

| Input Parameters for Trajectory-Based Data Extraction        |                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Trajectory Information:                                    |                                                                                                 |
|                                                              | Latitude (°N), Longitude (°E), Altitude (hPa or feet), Target Time (Year/Month/Day/Hour/Minute) |
| - Surrounding Area (Buffer) Information:                     |                                                                                                 |
|                                                              | Specific range around the waypoint                                                              |
| - Aviation Weather Elements (Table 2.)                       |                                                                                                 |
| - (Optional)Required Threshold for Aviation Weather elements |                                                                                                 |

Fig. 10은 4DT API 시험 화면으로 표 3에 정의된 사용자 입력 파라미터를 바탕으로 자료관리시스템의 4D 모델링 모듈에서 항공 경로에 해당하는 항공기상 요소를 추출한 항공기상 정보를 출력하는 부분으로 구분되고, 응답 데이터는 trajectory domain type을 갖는 json 파일로 제공된다.

Fig. 11은 4DT API 배포 서비스를 통해 제공받은 응답 항공기상 정보를 단순 도식화 한 예시로서, 웨이포인트 중심으로 특정 범위(버퍼)내의 항공기상요소를 제공받은 경우이다.

### 3.2.2 영역기반(ROI) API

ROI API는 사용자가 사각형의 특정한 공간적 영역을 지정하면 그 영역에 대한 기상 정보를 나래기상 산출물에서 추출하고 사용자가 요구하는 형태로 가공하여 제공하는 서비스이다. 이 API는 항공기가 비행할 특정 공역이나 공항 주변의 넓은 영역을 대상으로 기상 조건을 모니터링하고, 그에 따른 정보를 실시간으로 제공하는 방식이다. 사용자는 비행 전 비행계획 수립이나 공항 운영관리를 위해 특정 관심 지역에 대한 고도별 항공기상 정보를 제공받고자 할 경우 활용할 수 있다. 표 4는 ROI API 배포 서비스를 제공하기 위해 사용자가 입력해야 하는 파라미터로 좌측상단 위치의 위경도, 우측하단 위치의 위경도를 설정하여 관심 영역을 지정하고, 영역 내 고도 범위를 지정하여 지정된 시간에 해당 고도 범위 내 기상요소를 선택한다.

Fig.12는 ROI API 시험 화면으로 사용자가 입력하는 파라미터 입력 부분과 사용자 입력 파라미터를 바탕으로 자료관리시스템의 4D 모델링 모듈에서 관심 영역에 해당하는 항공 기상 요소를 추출한 항공기상 정보를 출력하는 부분으로 구분되고, Grid domain type을 갖는 json 응답 혹은 NetCDF 파일 형식으로 제공된다.

Fig. 13은 ROI API 배포 서비스를 통해 제공받은 응답 항공기상 정보를 도식화 한 예시로 관심 고도 범위 내 항공기상 요소 제공을 설명한다.

표 4. ROI API 서비스 입력 파라미터  
Table 4. Input Parameters for ROI API

| Input Parameters for Region-Based Data Extraction                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| - Area (Rectangle):                                                                        |  |
| (Left, Top) Latitude (°N) / Longitude (°E), (Right, Bottom) Latitude (°N) / Longitude (°E) |  |
| - Target Time: Year/Month/Day/Hour/Minute                                                  |  |
| - Altitude Range: hPa or feet                                                              |  |
| - Aviation Weather Elements (Table 2)                                                      |  |

그림 12. ROI API 시험 화면

Fig. 12. ROI API Test

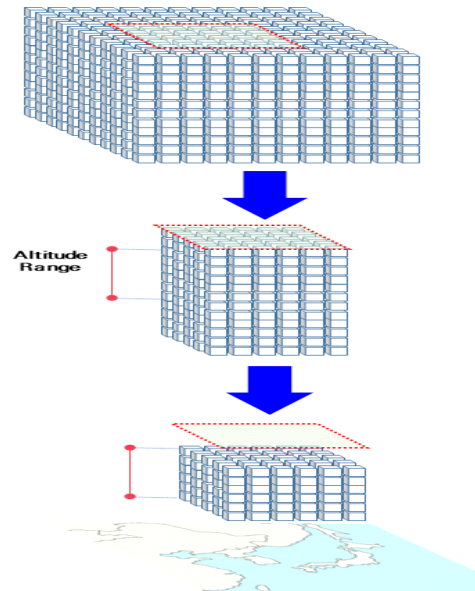


그림 13. 4DT API 출력 도식화

Fig. 13. Conceptual Output Visualization of 4DT API

### 3.2.3 지점 기반(POI) API

POI API는 특정 지점의 좌표를 입력 받아 나래기상 산출물로부터 관심 시각 범위안의 기상 정보를 추출하고, 사용자가 원하는 정보로 가공하여 제공하는 서비스이다. 이는 공항이나 특정 지점에 대한 시계열 항공기상

표 5. POI API 서비스 입력 파라미터  
Table 5. Input Parameters for POI API

| Input Parameters for Point-Based Data Extraction |                                                                                                               |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Location:                                      |                                                                                                               |
|                                                  | Latitude (°N), Longitude (°E), Altitude (hPa or feet)<br>OR Domestic Airport Name(e.g., RKSI-Incheon Airport) |
| - Target Time Range:                             |                                                                                                               |
|                                                  | (START)Year/Month/Day/Hour/Minute<br>(END) Year/Month/Day/Hour/Minute                                         |
| - Aviation Weather Elements (Table 2)            |                                                                                                               |

정보를 얻고자 할 경우 사용할 수 있다. 지점기반 기상 요소 정보 획득을 위한 입력 파라미터는 표 5와 같고, 관심 시각 범위안의 나래기상 산출물로부터 요구 항공 기상 요소를 인접 고도 2개에 대해 검색 추출 후 보간 (Fig. 7)하여 사용자가 원하는 단위로 변환하여 응답한다. 단, 위치 파라미터로 국내 공항명이 선택된 경우에는 후처리 진단 통계 (Post-Processing Diagnostic Statistical Data: LAMP) 자료만 활용하여 단일 고도에 대한 항공기상 요소를 검색 추출한다.

Fig. 14는 POI API 시험 화면으로 표 5에 정의된 사용자 입력 파라미터에 대한 출력을 나타내고 응답 데이터는 point(단일 지점) 혹은 pointSeries(다수 지점) domain type을 갖는 json 형태로 제공된다.

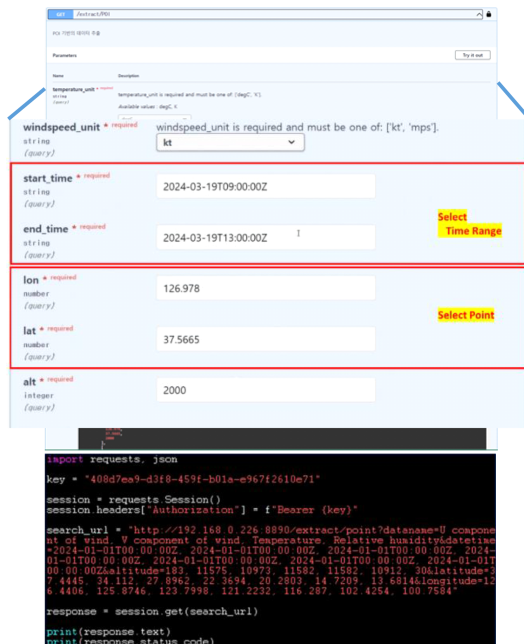


그림 14. POI API 시험 화면  
Fig. 14. POI API Test

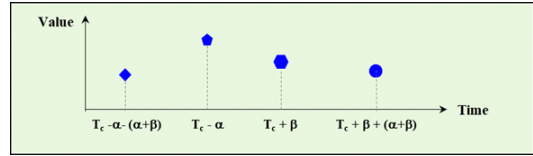


그림 15. POI API 출력 도식화  
Fig. 15. Conceptual Output Visualization of POI API

POI API 배포 서비스를 통해 제공받은 항공기상 정보는 Fig. 15와 같은 특정지점의 시계열 항공기상 요소이다.

### 3.2.4 API 배포 서비스 동작

API 배포서비스 구현에 활용된 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 기능 구성 요소는 2.3.4절, 2.3.5절의 배포관리시스템-API 배포 모듈과 맞춤형 자료 생성 모듈 및 2.2.3절의 자료관리시스템-공간정보 기반 자료 추출 모듈이며, API 배포 서비스의 DFD 기반 동작 개념은 Fig. 16과 같다.

API 배포 서비스 사용자(API Distribution Service User)는 우선 API Key 신청 관리부(API Key Request Management)를 통해 API Key 발급을 요청하여야 한다.

관리자는 API Key 신청 관리부를 통해 사용자 정보를 확인하고, 서비스 사용기한 및 배포자료 범위 등을 조정하여 API Key 발급을 승인한다.

API Key 발급이 승인되면 API Key 배포 관리부(API Key Distribution Management)는 사용자에게 인증된 API Key를 배포한다.

사용자가 발급된 API Key를 활용하여 4D 항공기상 정보를 요청하면, 시스템은 API Key 인증부(API Key Authentication)에서 Key의 유효성을 확인한 후, 데이터 변환/배포부(Data Transformation /Distribution)에 배포를 요청한다.

자료관리시스템의 공간정보 기반 자료 추출 모듈(Spatial Information-Based Data Extraction)은 데이터 변환/배포부로부터 전달받은 사용자 요구 파라미터를 기반으로 나래기상 산출물로부터 항공기상 정보를 추출하여 배포관리시스템-맞춤형 자료 생성 모듈(Tailored Data Generation)로 전달한다.

맞춤형 자료 생성 모듈은 사용자의 입력 파라미터에 부합되도록 고도 및 시간 보간(Interpolation)을 수행하고, 요청이 있을 경우 추가적으로 단위 변환(Unit Transformation) 및 좌표 변환(Coordinate Conversion)을 거쳐 맞춤형 자료를 생성하여 데이터 변환/배포부로 전달한다.

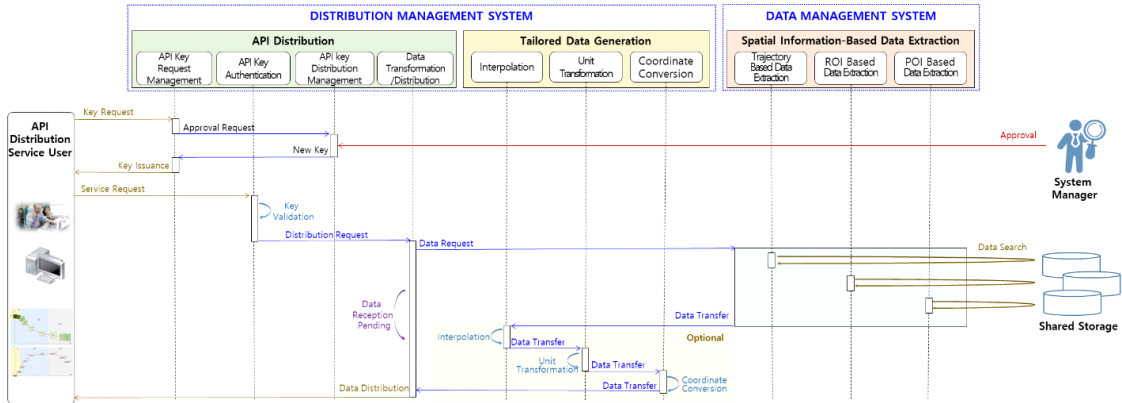


그림 16. DFD 기반 API 배포 서비스 동작 개념  
Fig. 16. DFD-Based API Service Operation Concept

데이터 변환/배포부는 API 배포 대상 자료가 수신되면 즉시 사용자에게 json 또는 NetCDF 파일 형태로 배포한다.

항공기 운항의 안정성과 효율성을 극대화하기 위해 실시간으로 변동되는 항공기상 정보를 필요로 하는 항공교통 관계자들의 API 배포 서비스 활용 예는 다음과 같다.

항공사 및 항공운항 관리자들은 4DT API 배포 서비스를 통해 비행경로에 따른 실시간 정보를 제공받아 최적의 비행경로를 설정하고 기상 상황에 따른 경로 조정을 결정한다.

항공교통 관제사들은 ROI API 배포 서비스를 활용하여 특정 공역이나 공항 주변의 기상 상태를 모니터링하여 항공기 운항 중 기상 변화에 따른 즉각적인 대응이 가능하도록 지원한다. 또한, 공항 운영자들은 ROI API 배포 서비스를 사용하여 주기적으로 공항 주변의 기상 상태를 모니터링하고, 공항 운영 및 항공기 착륙 준비에 필요한 정보를 실시간으로 제공받아 공항 내 안전 관리와 운영 계획 수립에 필수적인 기상 정보를 받아 볼 수 있다.

조종사들은 POI API 배포 서비스를 통해 이착륙 공항의 기상 정보를 실시간으로 제공받아 이 정보를 바탕으로 기상 상태에 맞춘 운항 계획을 세우고, 안전한 이착륙에 활용할 수 있다.

이외에도 항공기상 정보 활용 애플리케이션을 개발하는 개발자들은 API 배포 서비스를 활용하여 기상 데이터를 통합하고, 항공운항 계획 및 경로 설정을 지원하는 소프트웨어 솔루션을 개발하는데 도움을 받을 수 있다.

### 3.3 구독/게시 배포

구독/게시 배포 서비스는 4D 나래기상 데이터 플랫폼에서 배포하는 자료를 사용자가 설정한 기준으로 사용자 지정 저장소에 항공기상 정보를 받고자 할 경우 표 6과 같은 정보 입력 후 관리자 승인권한에 따라 자료를 받아볼 수 있는 서비스이다.

Fig. 17은 사용자가 수치모델자료에 대한 주기적 구독/게시 요청에 대한 예시 사용자 UI 화면으로 현재시점 이후 수치모델 자료가 산출될 때 사용자 지정 주소로 자료를 배포한다.

이 서비스는 API 배포 방식을 포함하여 4D 항공기상 정보 제공을 지원하며, 추가적으로 구독 요청을 통해 특정 시간대나 구간에 대한 기상 정보를 자동으로 받아볼 수 있는 기능을 제공한다. 또한, 사용자의 긴급한 일회성 항공기상 정보 요청이나 위험기상 발생시 생산되는 SIGMET전문 등을 제공하는 이벤트성 배포를 포함한다.

표 6. 구독/게시 배포서비스 요청 정보 예시  
Table 6. Example of Subscription/Publish Distribution Service Request Information

| Subscription/Publish User Request Information                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Distribution Data List                                                                              |
| - Distribution Start Date                                                                             |
| (Optional) Distribution End Date                                                                      |
| - User Reception URL                                                                                  |
| - Distribution Data Request Conditions:<br>Area of Interest, Specific Aviation Weather Elements, etc. |
| - Distribution Request Method:<br>Event-Based (includes upon request), Periodic (includes schedule)   |
| - Distribution Criteria:<br>Always, Upon Source Change, Upon Update                                   |



그림 17. 구독/게시 요청 사용자 화면  
Fig. 17. Subscription/Publish Request User Interface

즉, 구독/게시 배포 서비스의 자료 배포 방식은 크게 주기적 배포와 이벤트성 배포로 구분되며, 제공되는 항

공기상 정보는 원시자료, 전문자료, 관측자료 등의 일반 자료와 API 배포서비스에서 제공되는 4D 항공기상 예측정보 제공을 포함한다.

구독/게시 배포서비스 구현에 활용된 4D 나래기상 데이터 플랫폼의 기능 구성 요소는 2.3.2절, 2.3.3절, 2.3.5절의 배포관리시스템-구독/게시 관리 모듈, 구독/게시 배포 모듈과 맞춤형 자료 생성 모듈 및 2.2.3절의 자료관리시스템-공간정보 기반 자료 추출 모듈이며, 구독/게시 배포 서비스의 DFD 기반 동작 개념은 Fig. 18, Fig.19와 같다.

Fig. 18은 구독/게시 서비스 중 항공기상 정보의 주기적 배포 동작을 설명하고 Fig. 19는 4D 항공기상 정보 제공을 위한 API 배포를 포함하는 이벤트성 배포

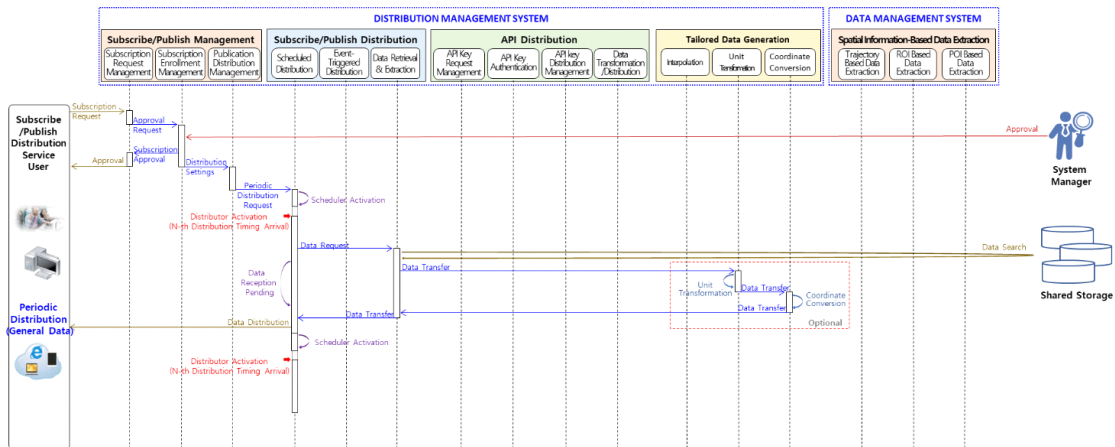


그림 18. DFD 기반 구독/게시 배포 서비스 동작 개념 (주기적 배포)  
Fig. 18. DFD-Based Subscription/Publish Distribution Service Operation Concept (Periodic)

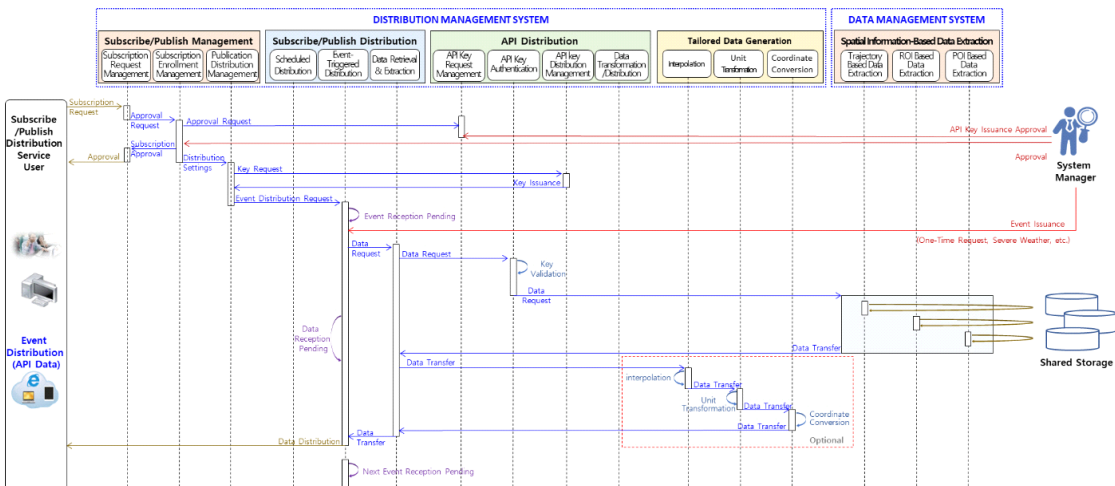


그림 19. DFD 기반 구독/게시 배포 서비스 동작 개념 (이벤트(API 데이터) 배포)  
Fig. 19. DFD-Based Subscription/Publish Distribution Service Operation Concept (Event Based- API Data)



동작을 설명한다.

국토교통부 항공철도사고조사위원회(ARAIB)와 같은 항공안전기관은 구독/게시 배포 서비스를 활용하여 기상 데이터 분석을 위해 특정 시점과 특정 영역의 기상 상태를 모니터링하며, 과거 데이터 제공 기능을 통해 과거의 기상 패턴을 분석해 사고 원인을 파악하고 예방 조치를 강화할 수 있도록 항공사 및 공항 운영자들을 지원할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 항공기 운항의 안전성과 효율성을 극대화하기 위해 개발된 4D 항공기상 정보 데이터 플랫폼의 설계와 구현에 대해 논의하였다. 본 플랫폼은 기존의 단편적이고 파편화된 항공기상정보 제공 방식의 한계를 극복하고, 시간과 공간을 포함한 4차원(4D) 데이터 구조를 통해 실시간 및 예측 기상정보를 통합적으로 제공하는 것을 목표로 한다.

플랫폼의 핵심 구성 요소인 API 배포 시스템과 구독/게시 배포 시스템은 사용자가 필요로 하는 맞춤형 기상 정보를 실시간으로 제공할 수 있으며, 이를 통해 항공기의 운항 경로 최적화와 기상 위험요소에 대한 선제적 대응이 가능하도록 지원할 것이다. 또한, 본 연구에서 제안한 기상예측모델과 기계 학습 기반 기상예측 알고리즘의 적용은 향후 기상 변화에 대한 예측 정확성을 높여, 각 비행 단계에서의 안전한 운항을 위한 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 4D 항공기상정보 데이터 플랫폼은 유관기관의 항공기상 정보 요구 사항을 분석하여 폐적기반 API, ROI 기반 API, Point 기반 API 등 다양한 API 배포 방식을 선택하였으며 이를 통해 항공사, 항공교통 관제사, 공항 운영자 등 다양한 사용자들에게 실시간 기상 데이터를 제공하고, 사용자 요구에 맞춘 구독 서비스 및 주기적 데이터 배포 기능을 통해 운항 중 발생할 수 있는 기상 위험에 대한 즉각적인 대응을 가능하게 한다. 이를 통해 본 플랫폼은 항공운항의 안전성 및 효율성을 크게 향상시킬 수 있다.

향후 연구에서는 본 플랫폼의 성능을 지속적으로 개선하고, 기상정보 제공 범위를 더욱 확장하여 다양한 항공기 운항 시나리오에 적합한 기상 데이터를 제공할 수 있는 시스템을 구축하는 방향으로 개발이 진행될 것이다. 또한, 인공지능 기반 기상예측 모델의 성능 향상과 예측 범위 확장을 통해 더 정교한 기상 예측 정보를 제공함으로써, 항공운항 지원 시스템의 신뢰성을 한층 더 높일 수 있을 것이다.

결론적으로, 본 연구에서 제시된 4D 항공기상정보 데이터 플랫폼은 항공기 운항의 안전성을 높이고 운항 계획의 효율성을 극대화하는 데 중요한 기여를 할 것으로 기대되며, 이를 통해 미래의 항공운항 지원 시스템의 발전과 항공기상 정보 제공 체계의 표준화를 선도할 수 있을 것이다.

#### References

- [1] J. Y. Kim and N. S. Park, "Trends of aircraft safety data and analysis methods," *Electr. and Telecommun. Trends*, vol. 36, no. 6, pp. 55-66, Dec. 2021.  
(<https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360606>)
- [2] *Organisation De L'aviation Civile Internationale*, Global air traffic management operational concept, ICAO, 2005.
- [3] *Global Air Traffic Management Operational Concept*, ICAO Doc. 9854, 1st Ed., 2005.
- [4] White Paper - *NextGen Network Enabled Weather Program, The 4-D Weather Data Cube Version 2.0*, Apr. 3, 2009.
- [5] Final Technical Specification, *4DwxCube P11.02.02-D41*, Jun. 16, 2016.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *National Air Navigation Plan - NARAE, National ATM Reformation And Enhancement*, Aug. 2021.
- [7] Y. M. Park, et al., "The development strategy of the future aviation weather service technologies and realization of NARAE-weather," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 36, no. 4, pp. 48-60, Aug. 2021.  
(<http://dx.doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360405>)
- [8] D. G. Oh and Y. Noh, "Roles of drop size distribution and turbulence in autoconversion based on Lagrangian cloud model simulations," *J. Geophysical Research: Atmospheres* vol. 127, no. 16, 2022, e2022JD036495.
- [9] D. B. Lee and H. Y. Chun, "Development of the Global-Korean aviation turbulence guidance (Global-KTG) system using the global data assimilation and prediction system

(GDAPS) of the Korea meteorological administration (KMA),” *Atmosphere*, vol. 28, no. 2, pp. 223-232, Jun. 2018.

(<https://doi.org/10.14191/Atmos.2018.28.2.223>)

- [10] S. I. Kim, D. S. Ahn, J. Y. Kim, S. C. Kim, and K. S. Han, “An integration approach of trajectory-based aviation weather and air traffic information for NARAE-Weather,” *Korean J. Remote Sensing*, vol. 39, no. 6, pp. 1331-1339, 2023.

- [11] S. I. Kim, D. H. Jin, J. Y. Kim, D. S. Ahn, and K. S. Han, “Seamless weather data integration in trajectory-based operations utilizing geospatial information,” *Remote Sensing*, vol. 16, no. 19, p. 3573, Sep. 2024. (<https://doi.org/10.3390/rs16193573>)

#### 김 지 연 (Jiyeon Kim)



2000년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
2007년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 공학과 박사 수료  
2000년 2월 : 전남대학교 컴퓨터 공학과 석사

<관심분야> 위성통신, 원격탐사, 항공기상  
[ORCID:0009-0001-6225-663X]

#### 안 도 섭 (Do-Seob Ahn)



1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
2010년 2월 : 충남대학교 전자공학과 박사  
1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업

<관심분야> 위성통신, 원격탐사, 항공기상

#### 최 훈 (Hoon Choi)



1996년~현재 : 충남대학교 컴퓨터 공학과 교수  
2015년~2017년 : 충남대학교 SW중심대학 사업단장  
2012년~2014년 : 충남대학교 정보통신 원장  
1993년 : Duke University 전산학과 박사

<관심분야> 모바일 컴퓨팅, 분산시스템, 미들웨어, 운영체제

#### 김 상 일 (Sang-il Kim)



2015년 3월~현재 : 한국전자통신연구원  
<관심분야> 원격탐사, 위성영상, 지리정보공학  
[ORCID:0000-0002-2266-2000]