

# 학업계획서

## 자기소개

안녕하세요. 저는 응용 수학을 전공했고 우주 산업에 관심이 있는 박범수입니다. 제가 수학을 전공하게 된 이유는 수학이 언어처럼 과학적 이론과 현상을 표현하는 강력한 도구라는 점에 큰 매력을 느꼈기 때문입니다. 문학에서 언어가 많은 의미를 함축하듯, 수학은 과학적 진리를 간결하고도 정교하게 표현할 수 있는 수단이라 생각했습니다. 학부에서 전공 수업을 들을 때, 물리학과 학생들을 많이 보았는데, 자연과학을 이해하는 데 수학이 필수적인 역할을 한다는 것을 실감했습니다. 저는 수학을 전공했지만 자연과학에도 관심이 많았습니다. 우주 산업에 관심을 가지게 된 것도, 아직 경험하지 못한 미지의 영역에서 자연과학을 탐구해보고 싶은 열망에서 비롯되었습니다. 그 중에서도 특히 흥미를 느끼는 연구 분야는 우주 물체의 궤도 결정과 예측입니다. 이 분야에 끌린 이유는, 제가 관심을 가지고 공부한 통계학, 머신러닝, 과학적 계산이 궤도 결정 및 예측 연구와 밀접하게 연관되어 있다고 느꼈기 때문입니다.

저는 관심 있는 학문을 탐구할 때 수동적인 태도보다는 적극적인 자세로, 다양한 방법을 통해 학습하려고 노력합니다. 학부에서 확률 및 통계 수업을 수강한 후, 실제 데이터를 분석해보고 싶다는 생각에 여름방학 동안 의료데이터 분석 기업에 지원하여 인턴으로 근무했습니다. 그곳에서 의료 데이터를 전처리하고 분석하면서, 학부에서 배운 통계 이론과 데이터 분석 방법론을 실무에 적용할 기회를 얻었습니다. 또한, 회사 내 세미나를 통해 미처 알지 못했던 통계적 분석 기법들을 학습하며 부족한 부분을 학습할 수 있었습니다.

머신러닝에 대한 학문적 흥미와 호기심으로 다양한 학습 기회를 모색한 끝에, AI ROBOTICS 기업의 AI 부서에서 6개월간 인턴으로 근무할 수 있었습니다. 이 기간 동안 실제 현장에서 문제를 발견하고 정의하며, 이를 해결하기 위한 프로젝트를 진행했습니다. 이 과정에서 이론적인 머신러닝과 딥러닝 지식을 실제 문제 해결에 적용하며 더 깊이 있는 학습을 할 수 있었습니다. 이러한 경험을 바탕으로 ICT 공모전에 참가하여 컴퓨터 비전 기반 AI 애플리케이션을 개발했고, 정보통신기획평가원으로부터 은상을 수상하는 성과를 낼 수 있었습니다.

과학 계산 수업에 경우, 수업을 통해 내가 해당 내용을 정확히 알고있는지 확인하고 검증하기 위해 동아리를 만들었습니다. 비선형 방정식, 보간법, 수치 적분 등 여러 알고리즘을 직접 구현해보고 오차를 비교해보면서 시간복잡도를 줄이는 방법에 대해 동아리원들과 토론하면서 수치해석 분야를 학습했습니다. 또한 학과 교수님을 초빙해 세미나를 열어 동아리 학습에 부족한 부분들을 채워나갔습니다. 이런 과정을 통해 과학 계산 수업에서 좋은 성적을 얻을 수 있었습니다.

졸업 후에도 저는 계속해서 적극적인 자세로 부족한 부분들을 채워나가려고 노력했습니다. 삼성 청년 소프트웨어 아카데미의 풀스택 개발 과정에 참여하여 소프트웨어 개발 능력을 키우는 동시에, 우리나라의 여러 산업을 탐색했습니다. 이 과정에서 다양한 매체를 통해 우주 산업에 발전과 우주천문학과 같은 자연 현상에 대한 관심이 커졌고, 해당 산업에서 내가 할 수 있는 일이 무엇이 있을까 고민했습니다. 그 고민의 결론은 인공위성의 궤도 예측 분야를 열심히 연구해보고 싶다는 생각으로 이어졌으며, 이를 통해 학문적 기여를 이뤄내고 싶은 목표를 갖게 되었습니다.

천문학이나 물리학에 대한 배경 지식이 부족할 수 있지만, 저는 학문을 탐구할 때 주어진 학습 이상을 넘어 더 많은 것을 경험하고 습득해왔습니다. 그렇기 때문에, 저에게 주어진 학습 환경 이상에 지식을 쌓고 문제 해결 능력을 발전시킬 자신이 있습니다. 이번 기회를 통해 머신러닝 기반 궤도 결정 및 예측 연구에서 의미 있는 성과를 내고, 학문적 기여를 할 수 있는 연구자로 성장하고 싶습니다.

## 지원동기

제가 DECS 연구실에 지원한 이유는 빠르게 성장하고 있는 우주 산업에 진입하여, 이 분야의 발전과 더불어 궤도 결정 분야의 연구자로서 성장하고 싶기 때문입니다.

우주 산업에 성장 속도가 가속화될 수 있는 이유 중 하나는 인공위성을 소형화 할 수 있는 기술 덕분이라고 생각합니다. 큐브 위성 개발 기술이 발전하면서 우주에서 많은 미션을 수행할 수 있게 되었고, 그에 따라 다양한 데이터를 축적하여 많은 연구 성과를 낼 수 있었다고 생각합니다.

큐브 위성을 이용하여 데이터를 활용한 기업 중, **Planet Labs**는 큐브 위성 군집을 이용하여 매일 지구 표면을 촬영하여 농업, 환경 감시, 재난 대응 등 다양한 분야에서 중요한 연구 성과를 거두었습니다. 농작물 상태를 모니터링하거나 산림 파괴를 추적하고, 자연재해 발생 시 긴급 대응 데이터를 제공함으로써 실제적인 영향을 미치기도 했습니다.

이러한 사례는 큐브위성이 효율적인 비용과 유연한 기능으로 우주 미션을 수행할 수 있다는 것과 수집된 데이터가 다양한 연구 분야에서 핵심적인 역할을 하고 있는 것을 증명하고 있습니다. 축적된 데이터를 통해 앞으로 더 많은 연구 성과가 기대되며, 이로 인해 우주 산업이 더욱 빠르게 성장할 것이라고 생각합니다.

그에 따라, 우주 산업의 성장과 함께 인공위성의 수가 증가하고 있는데, 현재 지구 궤도를 도는 우주 물체는 1 cm 이상 크기로 약 100만 개, 10 cm 이상 크기로 약 3만 개 이상입니다. 이러한 상황에서 인공위성을 효과적으로 운용하려면 더욱 정밀한 궤도 결정 및 예측이 필요합니다. 그러나 기존 물리 기반 모델의 7일 예측 오차는 수 km 수준으로, 1 m 미만의 우주 잔해 추적에는 부족합니다. 따라서 위성의 정확한 위치와 경로를 예측할 수 있는 기술은 인공위성의 성능과 수명을 극대화하는 데 필수적이라고 생각하기 때문에, 이 분야는 앞으로 더욱 발전 가능성이 크다고 생각합니다.

궤도 결정 및 예측 분야에서 도전과제는 궤도를 더 정확하게 추적하고 예측하는 것인데, 이런 도전에는 우주 시스템에 복잡한 상관관계로 인해 정밀한 예측에 한계가 있다고 알고있습니다. 이러한 한계들을 극복하기 위해 머신러닝 기반 모델이 궤도 결정 및 예측에 활용되는 것을 논문을 통해 알게되었습니다. 머신러닝 기반의 모델을 활용했을 때 장점은 대량의 위성 관측 데이터에서 패턴을 학습하고, 미세한 비선형적 관계를 포착해 물리 모델이 설명하지 못하는 현상들을 보완할 수 있도록 시너지 효과를 낼 수 있습니다.

저는 이러한 연구 흐름에 관심을 가지고 있으며, 기존에 물리 기반 모델과 머신러닝을 결합해 궤도 예측의 정확도를 더욱 높여, 우주 산업 발전에 일조하고 싶습니다. 이를 위해 우주의 동역학, 위성정밀 궤도결정 등의 교과목을 배울 수 있고 실질적인 연구 개발을 경험할 수 있는 DECS 연구실에 지원하게 되었습니다.

## 연구 계획서: 머신러닝을 활용한 궤도 결정 및 궤도 예측

### 1. 연구 배경 및 목적

최근 우주 산업의 급격한 발전과 함께 인공위성의 수가 지속적으로 증가하고 있습니다. 이러한 증가로 인해 우주 공간에서의 위성 간 충돌 위험성이 커지고 있으며, 이를 방지하고 정확한 임무 수행을 위해 더욱 정밀한 궤도 결정 및 예측이 필요합니다. 전통적으로 사용되어 온 물리 기반의 궤도 결정 모델(SGP4, SDP4 등)은 비교적 성공적으로 사용되어 왔지만, 최근 우주 환경 변화와 위성 군집(multi-satellite) 상황에서는 불확실성이 증가하고 있으며, 기존 필터링 모델 만으로는 예측 정확성에 한계가 있을 수 있습니다.

이에 따라, 제가 하고 싶은 연구는 물리 기반 모델과 머신러닝 모델을 결합하여 위성의 궤도 예측 정확도를 향상시키는 방법을 모색하고자 합니다. 머신러닝은 대규모 데이터를 처리하고, 비선형적인 패턴을 학습하여 기존 물리 모델에서 다루기 어려운 미세한 변화를 감지하는데 유용할 수 있습니다. 이를 통해, 인공위성의 궤도를 더 정확하게 결정하고, 추후 궤도 변경에 대한 예측 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대됩니다.

### 2. 연구 목표

본 연구의 주요 목표는 기존의 물리 기반 궤도 결정 모델과 머신러닝 기법을 결합하여 인공위성의 궤도 예측 정확성을 향상시키는 것입니다.

1. **기존 물리 모델의 한계 분석:** SGP4, SDP4와 같은 전통적인 궤도 결정 모델의 한계를 식별하고, 그 개선 가능성을 도출합니다.
2. **머신러닝 기반 모델 개발:** 머신러닝 알고리즘을 활용하여 기존 모델의 예측력을 보완하거나 향상시킬 수 있는 하이브리드 모델을 개발합니다.

3. **성능 평가 및 비교:** 기존 물리 모델, 머신러닝 모델, 그리고 하이브리드 모델의 성능을 비교 분석하여 최적의 궤도 예측 방법을 찾습니다.

### 3. 문헌 검토 및 현황 분석

- **기존 궤도 결정 모델**

SGP4는 인공위성 궤도를 결정하기 위한 대표적인 모델로, 지구 시스템에서 저궤도 변화를 계산하는 데 최적화되어 있습니다. SDP4는 SGP4 보다 더 높은 고도의 궤도에서 지구의 불균일한 중력장과 공기 저항, 태양 복사압 등의 복잡한 힘을 고려하기 위해 사용되어 왔습니다. 이러한 모델들은 여전히 궤도 예측에서 자주 사용됩니다. 그러나, 장기적인 예측을 하거나 고정밀 예측이 필요할 때, 한계점이 존재합니다. 따라서 두 모델은 궤도 결정과 예측에서 정밀도가 중요한 응용 분야에서는 점차 대체 모델이나 보완적 방법으로 더 복잡한 물리 모델 또는 머신러닝 기반 모델로 대체되고 있습니다.

- **기계학습 기반 궤도 예측**

최근 몇 년간 인공위성 궤도 예측에 머신러닝을 적용하려는 시도가 이루어졌습니다. 대규모의 TLE 데이터셋을 학습하여 패턴을 파악하는 방법이나, LSTM(Long Short-Term Memory)과 같은 순환 신경망(RNN)을 사용하여 시간에 따른 궤도 변화를 예측하는 연구들이 수행되었습니다. 수행된 연구들은, 머신러닝이 기존의 물리 모델에 비해 특히 비정상적 궤도 변화를 더 잘 학습하고 예측할 수 있다는 점을 입증했습니다. 이와 같은 연구는 궤도 예측의 새로운 가능성을 보여주고 있습니다.

- **문제점 및 한계**

머신러닝 모델은 많은 데이터를 필요로 하며, 위성 데이터의 수집 및 전처리가 연구의 성패에 중요한 역할을 합니다. 또한, 물리 모델과 달리 학습된 데이터 외의 상황에서 예측 정확도가 떨어질 수 있다는 한계도 존재합니다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 물리 모델과 머신러닝을 결합하여 상호 보완하는 방법을 모색하고자 합니다.

### 4. 연구 방법론

1. **데이터 수집 및 전처리**

- TLE 데이터셋 및 인공위성의 궤도 요소를 포함한 데이터를 수집합니다. 수집된 데이터를 바탕으로 궤도 예측에 필요한 변수들을 정제하고, 머신러닝 알고리즘에 맞게 전처리 과정을 진행합니다.

2. **기존 물리 모델 구현 및 분석**

- SGP4, SDP4 모델을 구현하여 인공위성 궤도를 예측하고, 이를 실제 위성 데이터와 비교하여 오차를 분석합니다.

### 3. 머신러닝 모델 개발

- 위성 궤도 예측을 위해 LSTM, SVM, GMM 등 다양한 머신러닝 알고리즘을 활용하여 불확실성을 초래하는 조건에 대해 궤도 변화를 학습하고, 이를 통해 예측력을 강화합니다.

### 4. 하이브리드 모델 개발

- 물리 기반 모델의 결과를 머신러닝 모델의 입력 변수로 사용하거나, 두 가지 모델을 결합하여 궤도 예측 정확성을 높이는 하이브리드 모델을 개발합니다.

### 5. 성능 평가 및 검증

- 각각의 모델에 대해 성능을 평가하고, 물리 모델 단독, 머신러닝 모델 단독, 그리고 하이브리드 모델의 성능을 비교 분석합니다. 궤도 예측에서의 오차율, 처리 속도, 그리고 모델의 일반화 능력을 평가 지표로 사용합니다.

## 5. 기대 효과 및 기여

- **실용적 기여:** 인공위성 궤도 예측의 정확도를 높여 위성 간 충돌 방지, 임무 성과 향상, 그리고 위성 수명 연장에 기여할 수 있습니다.
- **학문적 기여:** 물리 모델과 머신러닝을 결합한 하이브리드 모델의 연구는 기존 궤도 예측 방법론에 새로운 방법론을 제시할 것입니다. 특히, 머신러닝이 적용될 수 있는 새로운 영역을 개척하고, 그 적용 가능성을 확장하는 데 기여할 수 있습니다.

## 6. 참고 문헌

1. Caldas, F., & Soares, C. (2024). Machine learning in orbit estimation: A survey. *Acta Astronautica*, 220, 97–107.  
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2024.03.072>.
2. Peng, H., & Bai, X. (2019). Gaussian Processes for improving orbit prediction accuracy. *Acta Astronautica*, 161, 44–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.05.014>
3. Zhou, X., Qin, T., Ji, M., & Qiao, D. (2023). A LSTM assisted orbit determination algorithm for spacecraft executing continuous maneuver. *Acta Astronautica*, 204, 568–582.  
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.09.041>