



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

우주발사체 비행궤적 추정을 위한
데이터마이닝의 적용

濟州大學校 經營大學院

經營情報學科 經營情報專攻

李 成 熙

2014年 8月

우주발사체 비행궤적 추정을 위한
데이터마이닝의 적용

지도교수 김 근 형

이 성 희

이 論 文 을 經 營 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 提 出 함

2014年 8月

이성희의 經營學 經營情報專攻 碩士學位 論文을
認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 經營大學院

2014年 8月

**Application of Data Mining Technique to estimate
the Flight Trajectory for Space Launch Vehicle**

Sunghee Lee
(Supervised by professor Keun-hyung Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Business Management

2014. 8.

This thesis has been examined and approved.

Department of Management Information Systems
GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

표 차 례	III
그 립 차 례	IV
Abstract	V
제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	3
제2절 연구내용 및 결과	3
제2장 IT 융합	5
제1절 디지털 컨버전스	5
제2절 IT 융합의 중요성	6
제3절 IT 융합 사례	8
제4절 항공·우주분야의 IT 융합	11
제3장 이론적 배경 및 시스템 개요	13
제1절 데이터마이닝	13
제2절 궤적데이터마이닝	14
제3절 다항회귀분석	15
제4절 원격자료수신장비	20
1. 원격자료수신장비 개요	20
2. 비행위치정보(Slaving Data) 운용개념	23

3. 보간법(Interpolation)에 의한 비행위치추정	25
제4장 위치추정알고리즘(보간법) 분석	28
제1절 모의비행시험을 통한 성능분석	28
1. 시험내용 및 시스템구성	29
2. 비행시험계획	30
3. 시험결과 및 분석	32
제2절 나로호 발사임무를 통한 성능분석	34
1. 발사임무내용 및 비행계획	35
2. 결과분석	36
제5장 데이터마이닝 기반의 위치추정알고리즘	38
제1절 다항회귀기법에 의한 수학적 모델링	38
제2절 안테나 구동특성 분석	40
1. 이동형 다운레인지시스템	40
2. 제주추적소 원격자료수신장비#3	42
제6장 결론	46
제1절 연구 결과	46
제2절 향후 연구 방향	47
참고 문헌	49

표 차 례

<표 3-1> 데이터마이닝의 응용 및 활용분야	14
<표 4-1> 원격자료수신장비 추적성능검증을 위한 시험개요 및 내용	30
<표 4-2> 항공기의 비행지점 별 좌표 및 고도	31
<표 5-1> 보간법과 회귀분석에 따른 오차특성 결과비교	42
<표 5-2> 보간법과 다항회귀기법 따른 오차특성 결과비교	45

그 립 차 례

〈그림 1-1〉 비행추정알고리즘의 비교	4
〈그림 2-1〉 세계 및 국내 IT 융합시장 전망	7
〈그림 2-2〉 IT 융합기술 Needs	8
〈그림 2-3〉 스마트그리드 에너지 절약 메커니즘	10
〈그림 3-1〉 다항회귀(Polynomial Regression)모델	16
〈그림 3-2〉 최소자승법의 원리	17
〈그림 3-3〉 원격자료수신장비 배치현황	22
〈그림 3-4〉 원격자료수신장비 주요구성도	23
〈그림 3-5〉 보간법(Interpolation) 모델	25
〈그림 3-6〉 선형보간법의 개념	26
〈그림 3-7〉 보간 및 외삽법에 의한 위치추정알고리즘	26
〈그림 4-1〉 모의비행시험 항공기 및 시험탑재장비 구성도	29
〈그림 4-2〉 모의비행시험을 위한 항공기의 비행궤적	31
〈그림 4-3〉 추정된 안테나 방위각 및 고각변화와 구동특성	33
〈그림 4-4〉 나로우주센터상공 비행 시 각속도 및 각가속도 변화	34
〈그림 4-5〉 나로호 발사비행궤적 및 원격자료수신장비 배치현황	35
〈그림 4-6〉 위치추정알고리즘에 의한 안테나 운용각의 오차특성	37
〈그림 4-7〉 다항회귀기법에 의한 안테나 운용각의 오차특성	37
〈그림 5-1〉 기존알고리즘에 의한 고각오차변화	41
〈그림 5-2〉 다항회귀기법에 의한 고각오차 변화	41
〈그림 5-3〉 기존알고리즘에 의한 방위각 오차변화	43
〈그림 5-4〉 다항회귀기법에 의한 방위각 오차변화	43
〈그림 5-5〉 기존알고리즘에 의한 고각오차변화	44
〈그림 5-6〉 다항회귀기법에 의한 고각오차 변화	44

Abstract

Application of Data Mining Technique to estimate the Flight Trajectory for Space Launch Vehicle

Sunghee Lee

*Dept. of Management Information Systems
The Graduate School of Business Administration,
Jeju National University*

Supervised By Professor Keun-hyoung Kim

The idea for this thesis was derived from how a IT(Information Technology) could be optimally applied to the field of aerospace technology in order to improve the system performance and function for launch vehicle, satellite, deep space explorer which are required the high reliability and availability. The convergence of IT with a variety of sectors is a growing trend, and what IT convergence is and why it is important were first described. For this convergence application, the telemetry ground system which collects the status data from launch vehicle has been considered in accordance with the subject of this research. To receive the telemetry data, the telemetry ground system has to track the launch vehicle without tracking loss, and it is possible by the well-organized tracking algorithm to estimate a current flight

position data in real-time. In this thesis, the polynomial regression model of data mining application was considered as the algorithm to estimate the flight position information of launch vehicle. For the analysis, the real trajectory data which had been logged during the flight test with airplane and NARO launch mission was used. And the OriginPro 8.0 and Matlab 2010 software were used for the analysis of antenna tracking performance by both of previous interpolation and new polynomial regression model. In case of polynomial regression model, the mathematical modeling was first established with the equation of 2nd order(degree), and then the results of the estimated flight position information in real-time was produced. In conclusion, the new algorithm with 2nd order of polynomial regression model of data mining application shows the accurate tracking performance to estimate the next flight position information compared to the interpolation algorithm, and the antenna operational characteristics were better than previous.

Keyword: IT, convergence, telemetry ground system, data mining, polynomial regression, interpolation

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구배경

컴퓨터가 등장하면서 아날로그 시대의 문화와 기술을 혁신적으로 바꾸어 놓게 되는 디지털시대가 도래하게 되었다. 디지털 기술이 발전하면서 사회, 문화적 환경의 변화가 급속도로 변하게 되었고, 개인과 국가 간의 생산과 소비에 대한 니즈 및 경제 환경도 크게 달라졌다(안치득, 2009). 이러한 디지털 기술은 컴퓨터와 통신기술을 통합하여 새로운 정보에 대한 획득, 처리, 분배하는 능력이 획기적으로 증대되는 오늘날의 정보화 사회를 만들었고, 오늘날 서로 다른 문화나 기술 간의 융합(Convergence)이라는 새로운 패러다임을 형성하게 되는 근간을 마련하였다(최민숙, 2011). 최근에는 교육에 있어서도 ‘융합인재교육(STEAM: Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics)’이 주요 키워드로 부상하고 있으며, 디지털 정보사회에서 학문의 벽을 넘다드는 종합적이고 창의적인 통섭형 인재를 요구하는 필요에 의해 융합을 외치고 있다(전성균 등, 2013). 즉 다양한 분야의 지식을 활용해 복합적인 문제까지도 해결할 수 있는 능력을 갖춘 인재를 양성하기 위한 것이다.

헨리 젠킨스(Henry Jenkins)는 융합이라는 의미를 기술적인 현상의 협의적인 개념이 아니라 산업간, 문화간, 사회경제적 변화간의 상호작용으로 정의하고 있다(최민숙, 2011). 융합에 대한 요구사항은 어떤 필요에 의해 무엇과 무엇을 융합하고 융합을 통해 최종 산출되는 결과물이 무엇인지를 생각하여 신중하게 접근해 볼 필요가 있다. 기술간 또는 문화간 융합을 통해 얻어지는 이득이 단순한 문제해결의 것이 아니라, 새로운 것을 창조할 수 있고 기존시스템 및 기술을 개선할 수 있어야 한다.

최근 나로호 발사 성공이후, 한국형발사체, 차세대 위성, 달탐사등 항공우주분

야에서도 정보통신(IT) 기술을 이용한 융합의 중요성이 점차 커지고 있다. 유비쿼터스 사회에 걸맞는 항공우주시스템의 연구개발에 집중하고, 첨단 IT 기술을 접목한 응용분야에 대한 요구(Needs)가 디지털 융합(Digital Convergence)시대에 맞추어 성장하고 있다. 우주기술(ST)과 정보기술(IT)간의 융합은 이전부터 조금씩 진행되어 왔지만, 향후 국가의 우주개발중장기 개발계획의 성공적인 임무 완수를 위해서 반드시 필요한 부분이다(은종원, 2009). 특히 IT 분야에서 오랫동안 데이터 분석을 위해 사용해온 데이터마이닝 기법을 우주기술 분야에 적용하여 그 가능성을 검토해 보고 향후 다양한 우주분야로 그 범위를 확대해 보는 것은 매우 의미 있는 일이 될 것이다.

최근 GPS 및 무선통신 기술의 발전과 더불어 다양한 분야에서 이동 대상체(Moving Target)의 위치정보를 수집하여 적용 가능한 서비스에 대한 수요가 늘어나고 있으며, 이를 위해 각 대상체에 대한 추적(Tracking)이 실시간으로 이루어지면서 생성된 궤적데이터를(Trajectory Data) 분석하는 일에 대한 관심이 증가하고 있다(강주영, 2010; Roddick, J.F.& Hornsby, K., 2000). 예를 들어, 항공교통 분야에서는 향후 20년내 교통 혼잡 밀도가 2, 3배까지 증가할 수 있으며 이를 위한 항공교통제어 및 관리에 대한 정책이 주목받고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서 항공기의 비행궤적에 기반한 운용(TBO: Trajectory Based Operation)이 제안되어졌고 지금도 연구가 활발히 이루어지고 있다(Yue Song 외, 2012). 이동 대상체는 위성, 유도무기, 위성발사체, 항공기, 차량등 시간에 따라 위치가 연속적으로 변하는 대상으로 정의될 수 있으며 사람, 동물 및 태풍등도 그 범주에 포함된다(장유정, 2004). 과거에 생성된 궤적의 일부나 전부를 해석하여 미래의 궤적을 예측하는 하거나 의미있는 패턴을 분석하는 것은 여러 가지 의미(안정성, 효율, 정확성)에서 매우 중요한 하다(Yue Song 외, 2012). 위성발사체의 경우 빠른 속도(8Km/Sec)로 비행을 하며 발사 후 10분 만에 원하는 우주공간에 위성을 분리하고 임무를 종료하기 때문에 지상 추적 장비에서 발사체를 실시간으로 추적하여 정확한 비행궤적과 데이터를 획득하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서 데이터마이닝의 회귀분석(다항회기기법)을 이용하여 나로우주센터 원격자료수신장비가 발사 임무 중 우주발사체의 비행궤적을 정확하게 추정하여 발사체로부터 안정적인 데이터를 수신할 수 있는 비행위치추정 알고리

증을 고찰해 보도록 한다.

2. 연구목적

본 연구는 우주분야에서 유/무선 및 소프트웨어 응용 등 IT 융합의 결정체라고 할 수 있는 나로우주센터 원격자료수신장비에서 모의비행시험 및 나로호 발사임무동안 계산되고 사용된 비행궤적데이터를 이용하여 데이터마이닝 기법의 다항회귀분석(Polynomial Regression)을 통해 발사체의 비행위치 정보를 정확하게 추정하기 위한 방법을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해, 원격자료수신장비의 안테나 구동 및 오차특성을 분석하고 기존의 위치추정알고리즘과의 성능 비교를 실시한다. 데이터마이닝 기법으로 군집(Clustering), 분류(Classification) 및 회귀분석(Regression)이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 과거 시점에 획득한 발사체 비행궤적데이터를 바탕으로 현재 시점의 발사체 비행위치를 추정하기 위해 2차 다항회귀기법(2nd of Polynomial Regression)을 적용한 실시간 위치추정방식을 고찰한다. 본 연구의 목적을 위해 다음과 같은 3가지 사항에 대한 내용을 검토하고 분석하였다.

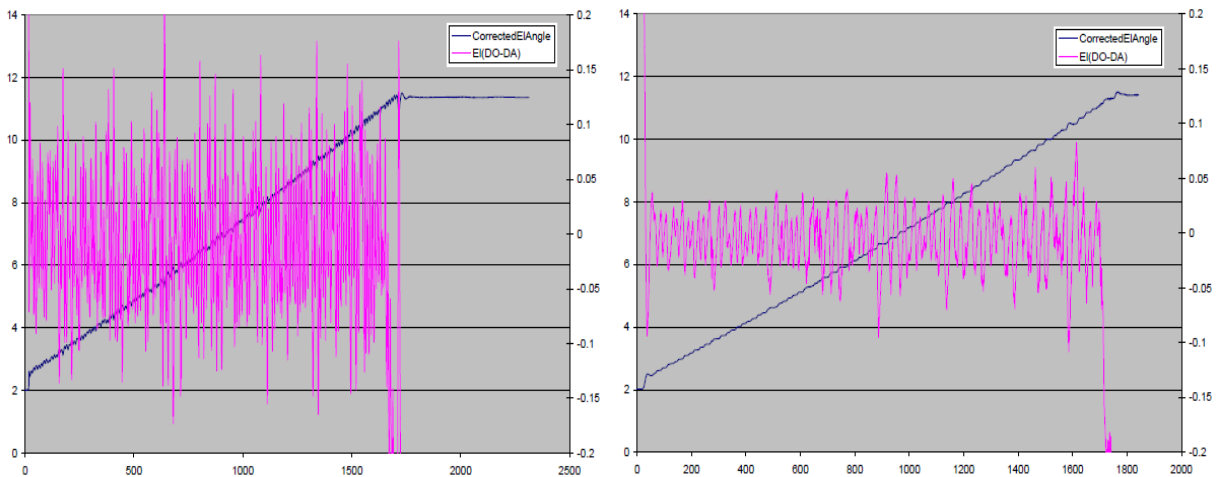
- 모의비행시험 및 나로호 발사임무를 통해 실시간 비행궤적 추정 시 사용된 기존 위치추정알고리즘(보간법)의 안테나 구동특성 및 오차분석
- 발사체 비행위치 추정을 위한 데이터마이닝 다항회귀기법의 수학적 모델링
- 다항회귀기법을 통해 발사체 위치 추정 시, 안테나 구동특성 분석 및 비교

제2절 연구내용 및 결과

본 논문은 서론을 포함하여 결론까지 모두 여섯 개의 장으로 구성되어 있으며, 본 절의 마지막 부분에 간략한 연구결과를 언급하였다. 제1장은 서론 부분으로 연구배경 및 목적을 제시하였고, 제2장에서는 디지털 융합의 정의, IT 융합의 중요성 및 주요사례를 언급하였다. 제3장에서는 본 연구의 핵심인 데이터마이닝의 정의와 다항회귀기법에 대한 이론적 고찰과 적용 시스템에 대한 기본개념을 제시하였다. 제4장에서는 나로우주센터 원격자료수신장비의 발사체 위치추정을 위

해 사용된 기존 알고리즘의 문제점 및 특성을 파악한 분석내용을 기술하였고, 제 5장에서 데이터마이닝의 다항회귀기법을 적용한 위치추정알고리즘의 개선된 시스템성능과 분석내용을 제시하고 있다. 마지막으로 제6장은 결론으로 연구결과 내용을 요약하고 향후 연구의 방향을 보여준다.

본 연구에서는 모의비행시험 및 나로호 발사 임무동안 획득된 비행궤적 데이터 분석을 위해 OriginPro 8.0과 Matlab 2010 프로그램을 사용하였고, 이를 이용한 데이터 분석결과 기존위치추정알고리즘에 의한 추정값 예측기법 보다 데이터마이닝 기법을 적용한 2차 다항회귀분석(2nd order of polynomial regression)에서 보다 우수한 시스템 성능특성(안테나 구동특성)과 추정정확도(적은 오차)를 보였다. <그림 1-1>는 기존의 비행추정알고리즘과 데이터마이닝 다항회귀기법 알고리즘에 의해 생성된 안테나 자동추적각(DA: Direction of Antenna Pointing)과 추정된 비행궤적(DO: Direction of Object Designation) 사이의 오차를 나타낸 것으로, 2차 다항회귀기법을 적용한 알고리즘에서 실제 안테나가 위성발사체(나로호)의 송신 신호에 따라 자동으로 따라가면서 발사체를 정확하게 추적한 DA값과의 오차가 작게 나타나는 것을 알 수 있다.



<그림 1-1> 비행위치추정알고리즘의 비교(좌: 기존 알고리즘, 우: 다항회귀기법)

제2장 IT 융합

제1절 디지털 컨버전스(Digital Convergence)

우리는 주위로부터 21세기는 디지털 컨버전스 시대라는 말을 자주 듣게 된다. 컨버전스는 말 그대로 여러 기술이나 성능이 하나로 수렴 또는 합쳐지는 일로 정의되지만, 디지털이라는 IT 기술과 연계되어 새로운 재화나 서비스를 창출하는 시대의 신조어로 일반화 되고 있다(이성훈 2013). 특히 인터넷 기술과 문화가 본격적으로 활용되기 시작한 90년대 중반 이후 경영분야에서는 e-business가 기업과 대학에서 본격적인 활용 및 연구 분야로 대두되었고, 이로 인해 다양한 사회적, 경제적, 기술적인 변화가 나타났다. 인터넷이라는 기술이 기존의 사업과 달리 무형의 공간에서 재화와 용역을 사고 팔수 있게 만들었고, 다양한 기술과 문화를 융합하여 새로운 서비스와 기술, 문화를 창출하게 만들었다(조남재, 2009). 즉 인터넷은 IT 기술의 기본이며 디지털 컨버전스의 시작점이라고 할 수 있다.

보통 디지털 융합은 하나의 제품이나 서비스에 다양한 IT 기술을 통합하여 새로운 형태의 기술, 서비스, 제품을 만들어내는 것을 의미한다(이성훈 등, 2013). 이러한 디지털 융합 기술은 사회, 정치, 문화, 공학기술 분야 등에서 상당한 파급효과를 나타내고 있으며 인간의 삶 자체에 대한 기존 패턴까지도 바꾸어 놓고 있다. 즉, 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)을 바탕으로 통신분야(유/무선), 네트워크와 컴퓨터, 온/오프라인의 결합 등 모든 분야에서 다양하게 일어나고 있다. 예를 들어 휴대폰의 경우, 스마트폰이 출시되면서 카메라, PMP/MP3, 게임, 방송, 금융결제 등이 하나의 패키지로 이용 가능한 형태가 되었고, 방송에 있어서도 DMB 기술을 통해 휴대폰, PDA 등에서 간편하게 다양한 미디어 방송을 시청할 수 있게 되었다. 이와 같이, 과거의 제품이나 서비스 등이 독자적으로 또는 단순한 결합 형태로 이루어졌다면, 현재의 모든 산업분야는 디지털 기술의 발전으로 다양하고 창의적인 형태로 기술과 서비스가 결합된 신(新) 산업 시대라고 할 수 있다. 따라서 정보기술(IT)과 더불어 산업 및 서비스

분야가 융합을 통해 새로운 가치를 창출하기 위한 방향으로 변화되고 있다. 이러한 디지털 컨버전스의 효과를 극대화하기 위해서는 사용자 인터페이스가 다양해야 하고, 증강현실 및 SNS의 확산이 필수적이며, 실시간 유비쿼터스 및 M2M(Machine to Machine) 서비스가 확대되어야 한다(이성훈 2013).

정부에서 2011년 발표한 ‘IT 융합 기술예측조사 2025’의 조사보고서에는 대표적인 ICT 산업군(IT와 건설, IT와 자동차, IT와 섬유, IT와 의료등)이 제시되어 있으며 해당 산업의 융합을 위해 필요한 기술과 향후 전망이 기술되어 있다(이성훈, 2013). 그 만큼 정보기술(IT)를 이용한 산업간, 기술간 융합을 통해 국가의 성장 동력과 미래를 찾는 것은 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었다. 본 장에서는 이러한 디지털 컨버전스 환경에서 요구되는 IT 기술융합의 중요성을 인식하고 대표적인 IT 융합사례와 우주기술 분야의 IT-ST간의 융합 가능한 분야를 검토해 보고자 한다.

제2절 IT 융합의 중요성

융합의 개념을 2002년 처음 도입한 미국의 경우, 인간의 수행능력을 향상시킬 수 있는 나노기술(NT), 바이오기술(BT), 정보기술(IT), 인지과학(CT)등의 네가지 기술간에 상호작용하는 상승적 결합으로 정의하였고, OECD의 경우 기존의 전통 산업내에서 혁신적인 새로움(기능이나 서비스등)을 추구하는 과정에서 생겨나는 일련의 현상으로 융합을 정의하고 있다(김동관, 2010). 이와 같이, 모든 산업에서 융합의 필요성을 외치고 있고 정보기술(IT)을 바탕으로 IT 융합의 중요성이 증대되고 있으며, 모든 국가에서 자신들의 전통 및 주력산업에 IT 기술을 접목하여 글로벌 산업 경쟁력을 갖추기 위해 노력하고 있다(신재식, 2011). 빠르게 진보하는 IT 기술을 바탕으로 혁신적인 기술과 제품을 생산하여 차별화된 국가 및 기업의 경쟁력을 제고하기 위해서 IT 융합의 중요성은 더욱 크다고 할 수 있다.

지금의 지식 정보화 사회에서는 IT 융합을 통해 가치 있는 새로운 정보를 발견하거나 생산해 낼 수도 있으며, 과거의 가치 있는 정보나 기술이 무용지물이 되기도 한다. IT 기술의 발전과 더불어 세상은 매우 빨리 변화하고 있으며 변화와

혁신 없이는 시장에서, 국가간의 경쟁에서 도태될 수밖에 없다.

정경원(2011)에 따르면, “세계 IT 융합 시장 규모가 2010년 1.2조 달러에서 2020년 3.6조 달러로 연평균 11.8%의 고성장이 전망되고, 국내 IT 융합시장 규모도 2020년에 1,237억 달러로 세계시장 성장률보다 높은 13%대의 성장을 이룰 것” 이고 예측했다. IT 융합 없이는 국가의 경제 성장도 미래도 말할 수 없다는 것을 단적으로 보여준다. 기존의 전통산업이 IT 기술과 융합되어 새로운 산업과 가치를 창출하고 혁신(Innovation)의 기틀을 만들고 있다는 것을 이제는 누구도 부정할 수 없다(정경원, 2011). 아래 <그림 2-1>은 한국전자통신연구원(ETRI) 분석에 따라 조선, 의료, 자동차등 IT 융합을 통한 10대 산업의 시장전망을 잘 보여주고 있다.



<그림 2-1 세계 및 국내 IT 융합시장 전망(ETRI 2010.06)>

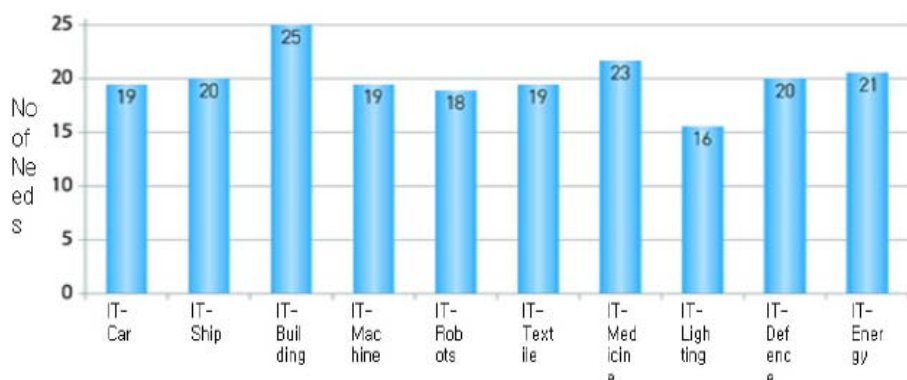
2008년 전 세계적인 경기침체의 진원지였던 미국에서 새로 출범한 오바마 정부의 위기 해법카드는 ‘변화’와 ‘IT 신 뉴딜정책’이었다. 미국을 다시 과학 기술 세계1위 국가로 만들고, 과학과 혁신으로 일자리를 창출하고 국가 경쟁력을 강화하겠다는 것이 오바마 정부의 핵심 기조였다. 미국의 새 행정부의 핵심 키워드는 바로 ‘IT’였으며, IT와 다른 산업(교육, 에너지, 의료, 환경 등)을 융합하여 새로운 일자리와 신 경제성장 동력을 발굴하겠다는 정부의 강력한 의지가 돋보였다(정경원, 2011). 예를 들어 U-웰니스 산업의 경우, 정보기술(IT)과 융합하여 새롭게 탄생한 대표적인 혁신 사례이다. 과거 의료서비스가 질병이 발생하여 치

료해주는 사후케어 시스템이었다면, IT가 융합되면서 예방관리를 통하여 사전에 병의 발생을 막는 선제적 케어로 의료서비스 자체에 대한 패러다임이 완전히 바뀌었다. 웰빙(Wellbeing)과 행복(Happiness)의 합성어인 웰니스 산업에 대한 시장 규모는 이미 2010년 2조 달러를 넘어섰고 이는 세계 가전규모의 두 배에 달하는 규모이다(이정호, 2012).

이와 같이 IT융합은 기술 및 산업 간의 융합을 IT 기술에 기반을 두고, 기존의 기술이나 제품보다 뛰어난 새로운 기술과 제품을 만들어내는 것뿐만 아니라, 완전히 창의적인 새로운 것을 창출하는 혁신을 이룰 수 있다는 것에서 그 중요성이 더욱 크다고 할 수 있다.

제3절 IT 융합 사례

우리나라의 IT기술은 국가의 지속적인 경제성장과 국민의 질 높은 삶을 추구하는데 주요한 수단으로 사용되어 왔으며, 국가 10대 주력산업을 IT 기술과 융합하여 국가 발전의 혁신 모델을 구축하는데 역량을 집중하였다(김문구 등, 2010). 즉, 자동차, 선박, 건축, 토목, 섬유, 국방, 에너지등 기존의 고유산업을 IT기술과 접목하여 새로운 형태의 산업으로 거듭나기 위한 요구가 증가하고 있는 것이 사실이다. 아래 <그림 2-2>는 IT 기술과의 융합을 필요로 하는 기술 또는 산업의 수요 현황을 나타낸다.



<그림 2-2 IT 융합 기술 Needs(출처: KEIT)>

첫 번째로 IT와 자동차(Car)와의 융합은, 유/무선 통신기술과 소프트웨어 제어 기술로 인해 자동차를 매우 스마트하게 제어할 수 있게 만들었다. 사람 없이 혼자 주행하는 무인자동차 기술, 차량 충돌방지 및 거리 자동제어기능, 차선이탈 방지기능 등 기존의 자동차 제품이나 기술에서 찾아볼 수 없는 많은 기능들이 내재되어 자동차 자체가 매우 영리해 졌다(이성훈, 2013). 또한 GIS 기술과 연동되어 현재 주행하고 있는 자동차의 위치에서 최종목적지까지의 교통상황, 위치정보, 최적경로 등을 도출할 수 있고 주요시설이나 편의시설을 손쉽게 찾을 수 있게 되었다. 향후 IT기술과 융합된 스마트카는 단순 주행을 벗어나 자동차 안에서 업무를 보고, 영화를 보는 등 새로운 문화를 창출할 수 있는 공간으로 탈바꿈 할 수도 있을 것이다(이성훈, 2013).

둘째, IT와 건설의 융합을 고려해 볼 때, 가장 대표적으로 언급할 수 있는 것이 스마트 시티가 될 수 있을 것이다. 스마트 시티는 IT 기술을 이용하여 도시간 주요 공공기능을 서로 연결한 네트워크 도시를 말하며, 센서를 통한 도시의 첨단 지능화가 이루어질 수 있도록 구축하는 것이 핵심사항이다(이성훈, 2013). 유럽의 대표적인 스마트 시티인 덴마크의 크로스로드는 스마트시티의 모범 사례로 평가되고 있다. 기술보다 인간이 중심이 되고, 윤리적이고, 디지털 모바일 서비스가 다양하게 지원되는 문화와 미디어, 통신기술을 결합한 도시로 개인과 기업간 네트워크로 국제적 연구개발 도시로 발전하여 미래의 도시 방향을 제시하고 있는 좋은 사례로 평가될 수 있다(이성훈, 2013). 우리나라의 경우에도 미래의 도시개발 모델의 일환으로, 화성 동탄 및 세종시를 비롯하여 53개 사업구에서 본격적인 스마트 U-City를 추진하고 있고, IT기술과 생태기술을 활용하여 친환경적이고 생활 친화적 도시를 만드는데 노력하고 있다(윤범선, 2011). 뿐만 아니라, 스마트 빌딩에서는 냉,난방, 조명, 전기, 가스등의 제어 및 감시가 우리가 항상 휴대하고 다니는 스마트폰에서 가능하게 되었다.

셋째, IT와 섬유에 대한 융합은 다양한 형태로 나타날 수 있다. 구글 안경이나 유연한 섬유소재를 이용하여 컴퓨터와 사람이 한 몸이 되어 언제, 어디서나 편리하게 컴퓨터를 사용할 수 있으며, 섬유소재와 전자기기와의 융합을 통해 텍스트로닉스(Textronics) 기반의 혁신 제품을 생산해 낼 수도 있다. 예를 들어 소파 위에 앉아 있으면 소파에 내장된 직물형 압력센서가 신호를 보내 벽지 색깔을 자

동으로 변화시키고, 스피커에서 노래나 자연의 소리가 흘러나오며, 소파에 내장된 진동 장치에 의해 안마까지 받을 수 있다. IT 기능이 내장된 대표적인 디지털 의류인 스포츠 건강의류의 경우, GPS 및 보폭센서, 심박수를 모니터링하는 장치를 내장하여 실시간으로 자신의 운동상태나 건강상태를 확인할 수 있도록 하였고, 나이키의 경우 운동화에 특정 센서를 부착하여 아이폰과 연결하여 실시간 자신의 운동량을 확인할 수 있도록 하였다(이태규 등, 2012).

넷째, 에너지 분야에서의 IT 융합은 최근 이슈가 되고 있는 환경문제와 자원고갈 문제의 해결을 위해 친환경적이고 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 에너지 분야에 관심이 집중되고 있고, 국가 차원의 정책과 지원도 이루어지고 있다(박장호 등, 2011). 특히 국가의 저탄소 녹색성장이라는 슬로건으로 스마트 그리드(Smart Grid)라는 기술이 주목을 받고 있으며, 이는 기존의 전력망에 IT 기술을 이용하여 전력에너지의 효율성 및 안정성을 증가시키기 위하여 생산과 소비의 정보를 서로 공유하면서 최적화하기 위한 차세대 기술이다(장병준 등, 2010). 그 밖에 무선전력전송기술이나 광통신을 이용한 지능형 전력서비스 네트워크 등은 IT기술이 전력에너지 분야에 융합될 대표적인 사례라고 할 수 있다.



〈그림 2-3 스마트그리드 에너지절약 메커니즘(출처:스마트그리드사업단(재))〉

그 외, 국방 분야에서의 무인기 및 GPS 추적장치, 기계분야에서의 지형이나 위치를 자동으로 판단하고 고장진단을 스스로하는 인공지능 무인화 기계 등은 대표적인 IT 융합 사례라고 할 수 있다.

제4절 항공·우주분야의 IT 융합

우주기술(ST)은 위성, 발사체, 위성정보활용, 달탐사, 심우주 탐험과 관련된 기술으로써 이미 많은 학문적 융합(기계, 전자, 컴퓨터, 물리등)이 이루어진 분야이다. 이러한 우주기술은 시스템을 개발하는 단계에서부터 서비스가 이루어지는 시점까지 많은 정보기술(IT)이 요구된다. 전 지구를 촬영하여 지형, 기상, 재난 등을 감시하고 위치기반 및 위성통신방송을 이용하여 전 세계적인 시장을 대상으로 상업적인 서비스를 가능하게 하며, 이를 통해 국가 및 기업의 경쟁력을 확보할 수 있다(은중원, 2009).

우리나라의 경우, 우주개발이 다른 선진국에 비해 늦게 시작되었고 90년대 초 우리별 1호를 시작으로 다목적실용위성(아리랑) 시리즈와 최초의 정지궤도 위성인 천리안위성까지 위성분야에서는 이제 선진국과 어깨를 나란히 하고 있다. 우주발사체 분야에서는 미사일기술통제체제(MTCR:Missile Technology Control Regime) 협정에 따라 선진국의 기술을 받기 힘들어 아직까지 순수한 국내 기술로 발사체를 개발한 경험이 없으나 러시아와의 기술제휴를 통해 2013년 국내 최초의 우주발사체 나로호를 성공적으로 발사한 경험을 가지고 있다. 나로호 발사에 있어서도 많은 정보기술(IT)이 사용되었는데, 발사체에 탑재된 송신전자장치와 발사체로부터 지상에서 데이터를 수신, 처리하는 지상관제 및 추적시스템등이 IT 기술이 사용된 대표적인 예라고 할 수 있다. 특히 위성이나 발사체와 같이 사람이 근접하기 힘든 시스템이나 제품으로부터 주요한 상태정보나 위치정보를 수신하고, 대용량의 위성데이터 처리 및 전송하기 위해 사용되는 원격측정기술(Telemetry)은 IT 기술의 결정체라고 표현할 수 있다(은중원, 2009).

항공분야에서의 IT 융합은 무인기(UAV)가 대표할 수 있다. 수직이착륙과 제자리 비행 뿐만 아니라 고속비행과 고고도 비행이 가능하며, 군사적 목적외 해안 및 도서 정찰과 재난감시등에 다용도로 사용되며 무선통신 및 자동항법 장치에 의해 제어가 가능하다. 헬리콥터의 경우에도 주위 환경에 따라 시야확보가 어려워 비행 제약을 많이 받게 되는데 이를 위해 조종사가 안전하게 임무 수행을 할 수 있도록 하는 기반 기술이 요구된다. 헬기 이착륙 시 영상정보를 이용하거 저

고도 비행 시 센서에 의해 장애물을 사전에 감지하고 조종사가 회피기동이나 안전비행을 할 수 있도록 하는 보조 장치의 이용은 전자 및 IT 기술 없이는 불가능 하다(나윤주 등, 2012).

본 논문에서 다루고자하는 데이터 마이닝 기법을 이용한 우주기술 분야의 응용은 이미 우주발사체 분야에 적용되어 시스템 요구사항을 도출하는데 사용되고 있다. 우주발사체를 설계하기 위해서는 임무설계와 기본적인 시스템 요구사항이 도출되어야 하고, 시스템 설계 및 구성과 통합의 밑그림이 그려져야 한다. 이때 임무 목적에 맞는 발사체를 설계하기 위해서는 유사한 임무 성격과 원하는 시스템 구성 및 성능을 갖는 다양한 발사체 정보를 이미 세부적으로 정리된 데이터 베이스로부터 찾아내고, 이를 통해 설계할 발사체의 기본 요구사항을 정의할 수 있다(서정일 등, 2013). 우주발사체의 설계과정은 매우 복잡하며 상당한 비용이 들어가는 분야이며, 다양한 기술이 융합되어 최적화 설계가 요구되기 때문에 임무 설계과정에서부터 위험요소나 신뢰도를 감소시킬 수 있는 분야를 찾아서 제거하고 최적화 방안을 만들기 위해 다양한 정보를 모은 데이터 베이스에서 마이닝 기법을 적용하는 것은 매우 효율적이다.

제3장 이론적 배경 및 시스템 개요

제1절 데이터마이닝

정보통신 기술의 발전과 인터넷 기반의 소셜네트워크가 활성화 되면서 매일 같이 수없이 많은 정량, 비정량의 데이터가 생성되고 사라진다. 이러한 다양한 데이터들 중에서 의미 있는 패턴이나 규칙을 발견하고 다양한 기법을 통해 유용한 데이터를 추출 및 분석해내는 전반적인 기술을 데이터마이닝이라고 한다 (Berry, Michael and Linoff, Gordon, 1997). 일반적으로 통계 및 수학적 기술을 비롯하여 패턴인식 기술까지 동원하여 서로관련이 없는 정형 및 비정형데이터간의 상관관계까지 파악하여 새로운 패턴이나 경향(Trend)를 찾아내는 과정으로 데이터마이닝 기법이 적용되고 있다. 이러한 데이터마이닝은 군사 분야에서 미사일의 정확도에 영향을 주는 요인들이 어떠한 작용을 하는지를 파악하기 위한 기술적 방법에도 사용되고, 정보기관 등에서 도청되는 많은 통신들 중에서 중요도를 판단하기 위해서 그리고 의학 분야에서 암의 재발 가능성을 예측하기 위한 방법으로 본 기법을 사용하기도 한다.

일반적으로 데이터마이닝은 대용량의 자료를 기존의 경험적 기법(방법)에 근거하여 예측모형에 적용할 수 있도록 일반화 시키는 특징을 가지고 있으며, 이를 통해 기업의 의사결정을 지원하거나 적용분야를 다양하게 모색할 수 있다(이선아, 2013). 따라서 데이터 마이닝 활용이 가장 활발한 곳은 기업으로, 장바구니 분석(Market Basket Analysis)등을 통해 할인점에서 소비자의 연령, 성별, 성향에 따라 달라지는 구매패턴을 이용하여 상품배치를 하고, 효율적인 판매 전략을 수립하기도 한다. 대표적인 데이터마이닝의 응용 및 활용은 <표 3-1>과 같이 다양한 산업분야에서 이루어지고 있으며, 본 논문에서 다루고자하는 위성발사체의 위치 추정을 위한 다항회귀분석도 항공우주분야의 새로운 IT 융합 데이터마이닝 적용 분야라고 할 수 있다.

<표 3-1. 데이터마이닝의 응용 및 활용분야(출처: 장남식 외, 1999)>

산업분야	주요사례
마케팅	소비자의 구매패턴 고개의 분류 및 특성파악 판매촉진을 위한 광고나 전략의 효과분석
보험	보험 청구에 대한 사기패턴 추출 고객 분류에 따른 적정상품 안내 및 판매전략
금융권	신용카드 불법사용 패턴 우수고객 및 이탈고객 관리를 위한 특성분석 고객별 맞춤형 금융상품 안내전략 모색
통신/네트워크	시간대별, 이용자별 트래픽 용량 분석 고객유치를 위한 서비스 전략 타 경쟁사와의 차별화 특성
의료	환자의 건강상태 패턴을 통한 질병예방 진단 환자유치를 위한 케어서비스 전략 수립
국방	유도무기의 궤적패턴 감지를 통한 발사지점 예측
항공우주	위성체의 상태정보를 통한 비정상적인 상황 예측 시스템 설계에 있어서 최적화된 설계패턴 도출

제2절 궤적데이터마이닝

일반적으로 궤적데이터는 이동하는 특정 대상체가 일부시점에서 위치가 연속적으로 변하는 데이터를 기록한 것이다(R.H. Gutting and M. Scheider, 2005). 위성, 자동차, 동물, 선박 등의 이동 데이터는 자동차의 교통흐름제어나 동물의 이동패턴 등을 유추하기 위해 많이 수집되었고 이러한 궤적데이터를 바탕으로 각 분야에서 유용한 데이터마이닝 연구가 진행되었다(이재길, 2009). 특히 위성이나 위성발사체와 같이 이동하는 대상체에 의해 생성된 궤적의 일부 또는 전부를 이용하여 패턴이나 경향분석을 통해 향후의 위치를 추정하는 것은 추적 임무 전

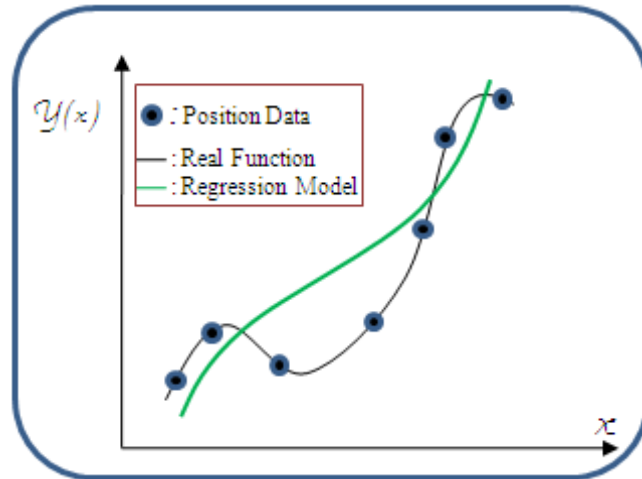
구간동안 매우 중요하다.

궤적데이터마이닝의 연구 분야는 크게 3가지 정도로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 궤적 집단화(Trajecotry Clustering) 방법으로 2가지 방법이 사용되며, 유사한 이동궤적들을 하나의 동일한 그룹으로 묶기 위해 모든 데이터를 비교하거나 전체 데이터 중 특징 있는 부분을 추출한다(Lee, J.-G. 외, 2007; Wang Chao and Han Zhonghua, 2011). 전체 궤적을 모두 비교할 경우, 그 데이터가 너무 많고 길어서 군집화 작업에 상당히 비효율적이며 궤적상의 작은 변화로 유사궤적을 찾아내는데 어려움이 있다. 이를 위해 전체궤적을 일부 부분궤적으로 나눈 후 그룹화하는 궤적 군집화 방법이 주로 사용된다(정원열 외, 2011). 이동하는 대상체의 일부 궤적을 통해 시공간적인 패턴이나 규칙을 찾아내는 것은 매우 효율적이다. 대상체 전체의 이동궤적을 근거로 규칙을 찾아내는 것보다 특정한 데이터 집합을 주기별로 분할하여 군집화하는 것이 연산측면에서도 더욱 효율적이다(강주영, 2010). 둘째, 여러 가지 궤적들을 사전에 정의한 범주 중 하나의 영역에 할당하는 분류(Classification)이다(이재길, 2009). 이 방법은 주로 기계학습 기법을 바탕으로 연구되어 왔으며, 세포나 바이러스의 이동궤적을 분류하기 위해서 위치의 변화를 기록한 연구가 수행되어져 왔다(강주영, 2010). 셋째, 자동차 주행 및 유도무기 등의 탄환 궤적등을 추정하기 위해 사용하는 회귀분석이다. 이동하는 대상체의 궤적데이터 분류와 군집화는 일반적으로 궤적의 유사도 정도를 평가하는데 주로 사용된다(강주영, 2010).

제3절 다항회귀분석

회귀분석기법은 실제 시스템 운용이나 실험과 같이 불확실하게 발생할 수 있는 랜덤 에러를 갖거나 노이즈가 있는 데이터를 부드럽게 연결(Somoth Out)하여 시스템의 전체적인 경향을 파악하는 경우에 유용하게 사용되는 근사모델 방법이다. 따라서 보간법처럼 주어진 측정치 값들을 모두 정확히 지날 필요가 없고, 근접하게 Smoothing 처리하면 된다. 일반적으로 둘 또는 그 이상의 변수들 간의 인과관계를 파악함으로써 어떤 특정변수(종속변수)의 값을 다른 한 개 또는 그 이

상의 변수(독립변수)들로부터 함수적인 연관성을 설명하기 위한 수학적 모형을 도출하고 예측하는 방법을 사용한다(이정민, 2002).



<그림 3-1> 다항회귀(Polynomial Regression) 모델

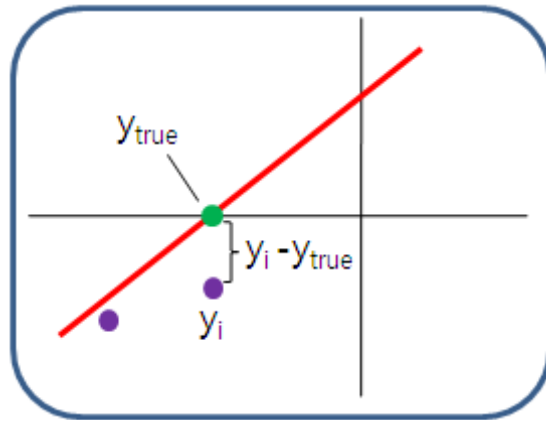
즉 특정 변수 값의 변화와 다른 변수 값의 변화가 가지는 수학적 함수식을 파악함으로써 상호관계를 추론하기 위한 회귀식을 사용한다. 회귀식이 타당할 경우 독립변수의 값을 기초로 종속변수의 값을 예측할 수 있다. 회귀분석의 수학적 모형을 도출하기 위해서는 종속변수와 독립변수 사이의 함수관계(선형, 비선형)를 먼저 파악하고, 종속변수에 영향을 주는 독립변수의 영향검토를 통해 회귀함수를 정의한다. 예를 들어, 선형회귀분석을 위한 모형은 아래 식 (3-1)와 같이 입력변수와 출력변수의 관계가 선형방정식의 형태를 취하는 것이다.

$$y = a + bx + \epsilon \quad (3-1)$$

a와 b는 절편과 기울기를 나타내며, ϵ 는 오차항(error)을 의미한다. 여기서 모수 a, b를 추정하기 위해서 최소자승법에 의해 오차의 제곱합을 최소화하는 a, b를 구해야 되며, 식 (3-2)와 같이 정리할 수 있다.

$$\epsilon = y - a - bx \quad (3-2)$$

최소자승법에 대해서는 아래 그래프에 의해 설명될 수 있다.



<그림 3-2> 최소자승법의 원리

위 선형그래프에서 각 데이터의 좌표에서 최적함수까지의 거리를 고려해 볼 때, 위 직선이 최적의 함수라면 이 차이가 가능한 최소의 값을 가지게 된다. 최소자승법은 이 편차의 제곱을 최소화하기 위한 방법으로 사용된다. 편차(오차)제곱의 총합 E를 오차(Residual)라고 하고 아래 식 (3-3)과 같이 구할 수 있다.

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{true})^2 \quad (3-3)$$

식 (3-1)와 같이 데이터가 선형관계로 추정되어 선형방정식이 도출된 경우 식은 아래 (3-4)와 같이 표현될 수 있다.

$$E = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3-4)$$

위 식 (3-1)에서 a, b는 아직 정의되지 않았고, 데이터에 적합한 직선을 찾기 위해서 오차를 최대한 줄여야 하며, a와 b는 E를 최소화하는 값이 되어야 한다.

최소자승법을 이용한 a, b를 구하기 위해 각 회귀계수 a, b 에 대해 편미분을 실시하고 그 값이 0이 되어야 한다.

$$\frac{\partial E}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (3-5)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (x_i (y_i - a - bx_i)) = 0$$

식(3-5)를 편미분하여 a, b에 대한 2원 1차 연립방정식을 식 (3-6)과 같이 구할 수 있다.

$$na + \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)b = \sum_{i=1}^n y_i \quad (3-6)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)b = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

식 (3-6)의 연립방정식을 풀면 a, b에 대한 최소제곱추정치 \hat{a} , \hat{b} 를 식 (3-7)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (3-7)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - b\bar{x}$$

여기서 \bar{y} 및 \bar{x} 는 y와 x의 각 평균값이고, 새로운 입력변수 x에 대하여 출력변수 y를 \hat{y} 로 예측하여 $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$ 로 표현할 수 있다.

위 선형회귀분석의 이론에서 살펴보았듯이, 입력변수와 출력변수간의 수학적 관계가 선형적으로 변하여 직선으로 표현이 가능할 경우에는 문제가 없지만 데

이터의 변화가 직선으로 표현하기 충분하지 않을 경우 2차 또는 3차 다항식에 의한 곡선으로 표현하기 위한 수학적 모델링을 도출해야 한다.

본 논문의 다항회귀분석의 경우에도 선형적인 변화량이 아닌 2차 다항식 형태로 발사체의 비행궤적이 변하며 그에 따라 적합한 수학적 모형을 도출하는 것이 필요하다. 즉 출력변수와 입력변수의 관계가 선형이 아니지만 2차함수로 적합하게 표현 될 수 있는 식 (3-8)을 만들 수 있다.

$$y = a + bx + cx^2 + \epsilon \quad (3-8)$$

선형방정식에서 오차제곱의 합을 구한 식 (3-4)와 같이 2차 다항회귀분석에서의 오차 제곱의 합은 아래 식 (3-9)와 같이 표현된다.

$$E = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = (y_i - a - bx_i - cx_i^2)^2 \quad (3-9)$$

오차의 제곱합 E를 최소화하는 a, b, c를 구하기 위하여 각 회귀계수에 대해 편미분을 취하여 식(3-10)과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a} &= -2 \sum_i^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial b} &= -2 \sum_i^n x_i (y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial c} &= -2 \sum_i^n x_i^2 (y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \end{aligned} \quad (3-10)$$

$$na + \left(\sum_i^n x_i\right)b + \left(\sum_i^n x_i^2\right)c = \sum_i^n y_i \quad (3-11)$$

$$\left(\sum_i^n x_i\right)a + \left(\sum_i^n x_i^2\right)b + \left(\sum_i^n x_i^3\right)c = \sum_i^n x_i y_i$$

$$\left(\sum_i^n x_i^2\right)a + \left(\sum_i^n x_i^3\right)b + \left(\sum_i^n x_i^4\right)c = \sum_i^n x_i^2 y_i$$

위 식 (3-11)를 통해 회귀계수 a, b, c는 측정값으로 계산하여 구할 수 있다.

제4절 원격자료수신장비(Telemetry Ground System)

1. 원격자료수신장비 개요

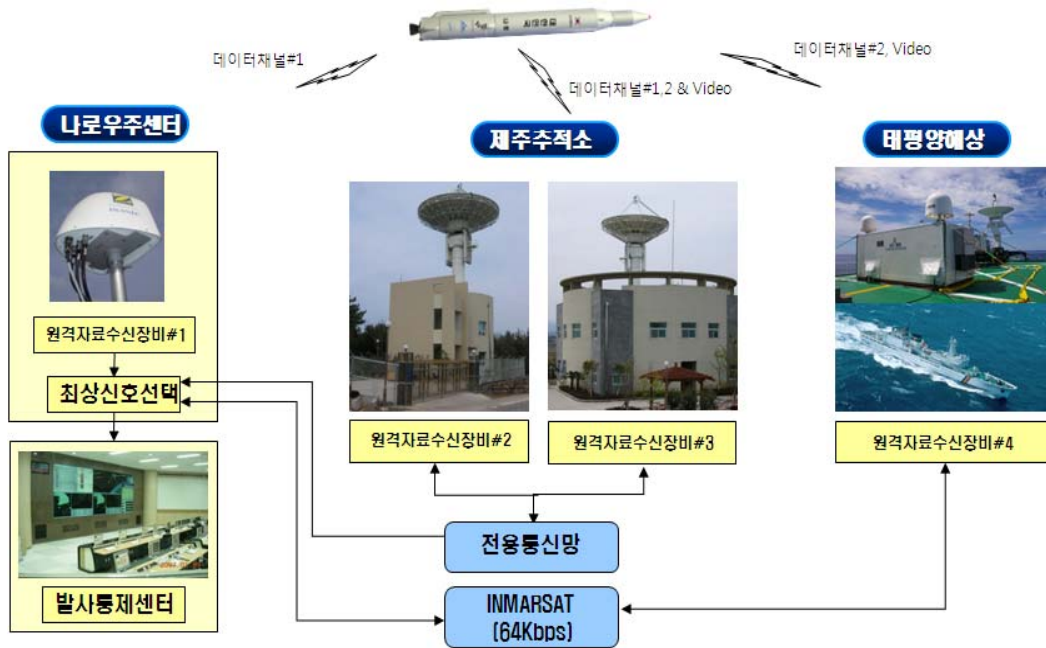
원격측정(Telemetry)이란 어원에서 볼 수 있듯이 사람이 직접 접근하기 어려운 환경에서 통신링크를 통해 계측하고자 하는 대상체의 정보를 획득하기 위해 사용되어 왔고, 자동차, 항공기 유도무기등 움직이는 대상체를 시험하기 위해 발전되어 왔다(이성희 외, 2003; Frank Carden, 1995). 일반적으로 필요한 데이터를 획득하고 모니터링하기 위한 대상체에 송신장치를 설치하고, 해당 데이터를 획득하기 위한 수신장치가 별도로 운용된다. 송신장치의 경우 센서에 의한 신호획득, 처리부와 무선 송신부등이 구성되며, 수신장치는 수신안테나와 RF 수신장치, 신호처리 및 기록장치등으로 이루어져 있다(Telemetry Group 119-88; 이성희 외, 2004). 원격측정기술은 의학, 생태학, 군사, 항공, 우주등 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있으며, 무선통신기술의 발전과 더불어 대상체를 모니터링하고 데이터를 획득할 수 있는 범위(거리)가 크게 늘어났으며, 본 논문에서 제시하고 있는 IT 융합 기술의 결정체라고 정의할 수 있다.

우주발사체 추적용 원격자료수신장비는 발사 전부터 최종 위성이 분리되는 시점까지(수 천 Km) 발사체를 추적하고 발사체로부터 신호를 수신하여 실시간 처리하는 방식으로 이루어져 있다(이성희 외, 2004). 위성발사를 위해서는 상당한 예산이 소요되며, 발사 전 구간동안 예상할 수 없는 많은 위험상황이 발생할 수

있다. 발사 전부터 발사임무가 완료되는 전 구간동안 발사체의 동작특성 및 상태 정보는 발사 진행의 지속여부를 판단하는 주요 정보로 사용되며 위성의 진입과 상태 등을 확인하는데 매우 중요한 요소로 사용된다(이성희 외, 2003). 따라서 위성발사체를 정확하게 추적(Tracking)하여 임무 전 구간동안 발사체의 위치 및 상태정보를 획득하고 실시간 분석하는 기술이 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 발사체를 정확하게 추적하는 기술이 선행되어야 한다.

나로우주센터 원격자료수신장비는 발사 전부터 발사체(나로호) 및 탑재체(위성)에 대한 각종 동작상태 및 특성 등에 관한 제반자료를 획득하는 무선통신시스템으로써, 발사체의 위치, 자세, 속도, 가속도, 온도, 압력 및 단(Stage)분리, 위성분리 등의 주요상태 및 운동특성을 획득하기 위한 장비이다(오창열, 2011). 원격자료수신장비는 데이터 획득을 위한 방식으로 국제적인 표준(IRIG, Inter-Range Instrumentation Group)을 따르고 있으며, 발사체의 구조에 따라 2개의 데이터 채널(각 단별로 1개)과 1개의 영상신호(단 및 위성분리 확인을 위한 Video신호)등 3개의 데이터 신호를 동시에 수신할 수 있다(이성희 외 2003). 나로호로부터 안정적인 신호 획득을 위한 운용개념으로 발사 초기구간, 소형지상국 1대를 센터내부에 설치하고 2대의 대형지상국(직경 11m 안테나)을 제주추적소에 설치하였고, 소형지상국은 발사체 발사 전부터 제주추적소의 대형수신국이 신호를 안정적으로 수신할 수 있는 시점동안의 비행초기구간(약 30Km)에 대하여 신호를 수신하게 된다. 제주추적소 원격자료수신장비의 경우 발사 후 고각 약 1도 이상이 확보되는 시점(발사 후 약 41초)부터 위성분리시점(발사 후 약 540초)까지를 임무구간으로 설정하여 운용하고 있으며, 나로호 2단 비행구간이 시작되는 시점부터 위성분리시점까지 안정적인 신호획득을 위하여 선박 탑재형 다운레인지 시스템을 남태평양 해상에 별도로 운용한다. 제주추적소에 설치·운용중인 2대의 원격자료수신장비는 발사체 송신부의 성능 특성에 따라 최대 2,000Km까지 추적이 가능하고, 실제 임무 시 서로 간에 백업 기능이 가능하도록 설계되어 있다. 센터 및 제주, 다운레인지 등의 각 지상국에서는 발사체 추적 및 신호 수신을 통하여 데이터를 실시간 처리 및 저장하고 주요데이터(Quick Look Message)를 추출하여 센터로 전송한다. 나로우주센터내의 소형 지상국에는 각 지상국(센터 내부의 소형지상국, 제주추적소, 다운레인지시스템)으로부터 전송되는 신호들을 수

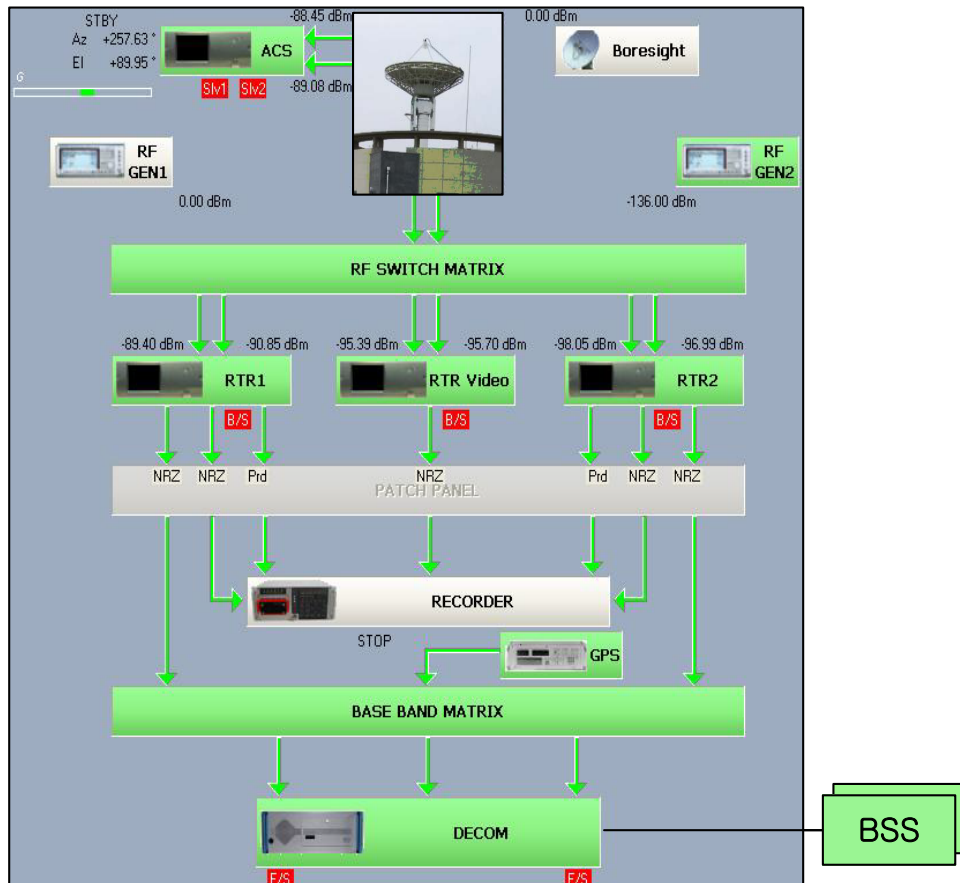
신하여 이들 중 최상의 신호를 선택(Best Source Selection) 및 처리하는 신호선택시스템(Best Source Selector)이 있으며, 발사임무 진행을 위한 주요 정보를 실시간으로 발사통제센터에 분배한다.



<그림 3-3> 원격자료수신장비 배치현황

우주발사체 추적을 위한 원격자료수신장비는 발사체를 추적하기 위한 여러 가지 안테나 추적모드가 있으며, 모드 우선순위에 따라 자동추적알고리즘에 의해 발사체로부터 송신되는 RF 신호를 수신하고 그 신호원을 지속적으로 추적하게 된다. 발사체로부터 RF 신호원을 수신하여 자동추적을 운용하기 전, 원거리의 제주추적소 및 이동형 다운레이인지시스템은 발사체 비행이 예상되는 지점에 안테나를 위치시키고 발사체로부터 송신되는 RF 신호를 기다리기 위해 Slaving mode로 안테나를 운용한다. 위성발사체(나로호)의 경우, 최대 8km/sec의 속도로 비행하기 때문에 원격자료수신장비가 비행정보중앙처리시스템으로부터 비행위치정보(Slaving Data)를 수신한 시점에서는 이미 과거시점(최대 0.7초)의 데이터가 되고 이를 그대로 사용할 수 없다. 즉 수신된 Slaving Data 시점에 발사체는 이미 그

위치를 통과하고 없으며 발사체 추적에 실패할 수밖에 없다. 따라서 수신된 과거의 비행궤적정보를 기준으로 현 시점에서 발사체를 정확하게 지향할 위치정보를 계산하는 위치추정알고리즘이 필요하다.



〈그림 3-4〉 원격자료수신장비 주요구성도

2. 비행위치정보(Slaving Data) 운용개념

센터 내 소형지상국을 제외한, 제주추적소의 11m 대형 안테나와 해외 이동형 다운레인을 위한 안테나제어시스템은 자동추적(Monopulse mode), 수동추적(Manual mode), 외부추적(Slaving, Program mode)등 여러 가지 운용모드로 발사체를 추적하는 기능을 담당한다. 자동추적의 경우 발사체로부터 송신되는 RF 신호를 추적하고, 안테나로부터 전송된 추적오차신호를 처리하여 안테나 구동부를 실시간 제어한다. 자동추적 실패 시 외부 시스템으로부터 비행위치정보(Slaving

Data)를 제공받아 안테나 운용모드를 변경(Slaving Mode)한 후 발사체를 지속적으로 추적할 수 있다. 나로호 발사 추적 임무 시, 안테나 운용개념에 따라 자동 추적모드, Slaving Mode, 프로그램모드(Program Mode), 매뉴얼모드(Manual Mode)의 순으로 우선순위(Priority)가 지정되어 있으며, 제주추적소 및 다운레인지 시스템은 최초 발사체로부터 신호를 수신하기 전 비행정보중앙처리시스템에 의해 전송된 Slaving Data를 이용하여 Slaving Mode로 우선 운용되는 개념으로 정의되어 있다.

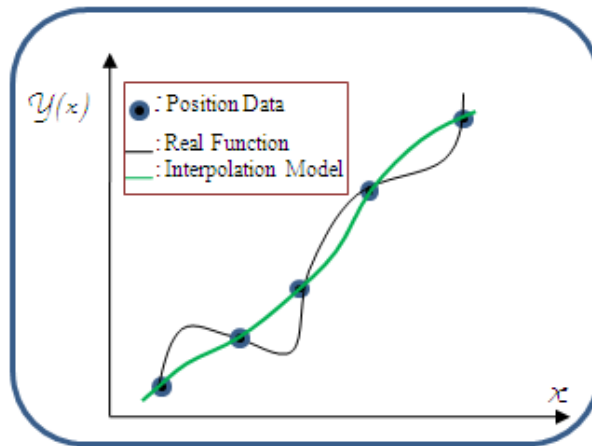
비행정보중앙처리시스템은 나로우주센터 발사통제센터내에 위치하며, 지상추적장비로부터 발사체의 위치정보를 취득하여 처리 후 분배하는 기능을 수행한다. 각 추적장비에서 수신된 비행위치정보는 비행정보중앙처리시스템의 알고리즘에 의해 필터링 및 좌표계 변환 등의 과정을 거쳐 관련 시스템 전자지도 및 그래프 상에 발사체의 위치표시를 위해 분배된다. 또한 각 추적 장비들의 추적 실패 시, 재 추적 시도를 위한 기본 자료로 이용하기 위해 최적의 발사체 위치 데이터를 각 추적장비의 사용 좌표계 형태로 변환한 후 전용 통신망을 통해서 추적시스템으로 분배한다(윤석영, 최용태, 2011).

비행정보중앙처리시스템에 의한 Slaving Data는 추적레이더 및 다른 추적장비에 의해 발사체를 추적한 비행위치정보를 기준으로 각 위치의 추적장비로 전송되기 때문에 각 추적장비에서는 현재 위치에서의 발사체 위치정보를 정확히 알고 추적하기 위한 방안이 필요하다. 원격자료수신장비의 안테나 구동을 위한 모든 기능은 안테나제어장치에서 수행하며 추적을 위한 각종 자료(자체추적신호, Slaving Data, Nominal Trajectory Data)를 수신할 수 있으며, 필요에 따라 예상되는 비행위치정보를 임무 전에 입력할 수 있도록 되어있다. 또한 비행정보중앙처리시스템으로부터 20Hz(50ms) 단위로 Slaving Data를 수신하며, 두 대의 비행정보중앙처리시스템과 이더넷 IP로 연결되어 주 시스템으로부터 Slaving Data를 수신하지 못할 경우 자동으로 예비 시스템으로부터 절체되어 안정적인 Slaving Data를 수신할 수 있다.

3. 보간법(Interpolation)에 의한 비행위치추정

현재 시점의 발사체 궤적을 정확하게 추정하고 안테나를 위치시키기 위해 안테나제어장치는 발사통제센터 내 비행정보중앙처리시스템으로부터 Slaving Data를 수신하고, 이 데이터를 처리하기 위한 알고리즘이 필요하다. 현재 시점을 기준으로 수신된 과거의 비행위치정보(Slaving Data) 실측치 값을 적용하여 보간법(Interpolation)에 의한 발사체의 현재위치를 계산한다.

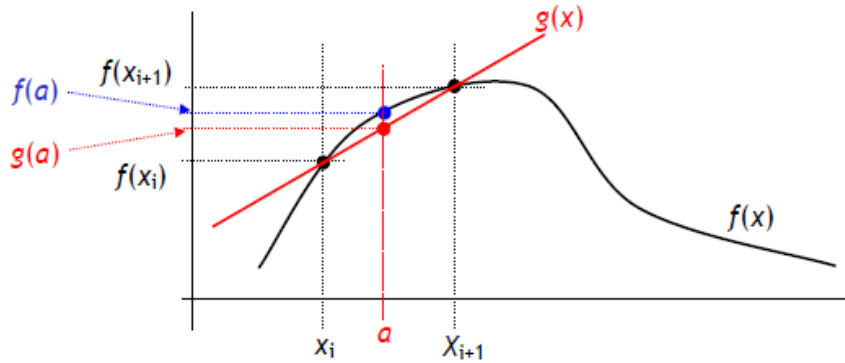
보간법에 의한 위치추정은 <그림 3-5>와 같이 주어진 관측점들을 정확히 지나는 근사모델로써, 회귀분석모델과 달리 실제적용 모델에서 보다 실험실과 같은 이상적인 상황에서 시뮬레이션할 때 랜덤오차(Random Error)가 없는 실험이나 추정방식에서 많이 사용된다. 즉, 통계적 혹은 실험적으로 구해진 데이터들(x_i)로부터, 주어진 데이터를 만족하는 근사함수 ($f(x)$)를 구하고 이 식을 이용하여 주어진 변수에 대한 함수 값을 구하는 일련의 과정을 의미한다.



<그림 3-5> 보간법(Interpolation) 모델

측정점이나 실험점을 정확히 지나기 때문에 많은 측정값들이 존재하고 비선형성이 큰 시스템에 적용할 경우에는 성능 및 예측값을 추정하는데 있어서 정확도를 증가시킬 수 있으나, 측정값이나 실험값이 적은 경우에는 응용분야의 궤도 예측(추정)값이나 시스템의 성능 예측값에 왜곡을 줄 수도 있다. 또한 주어진 값들을 모두 통과하는 하나의 수식을 만들어 내기가 어렵고, 구간을 나누어 처리할

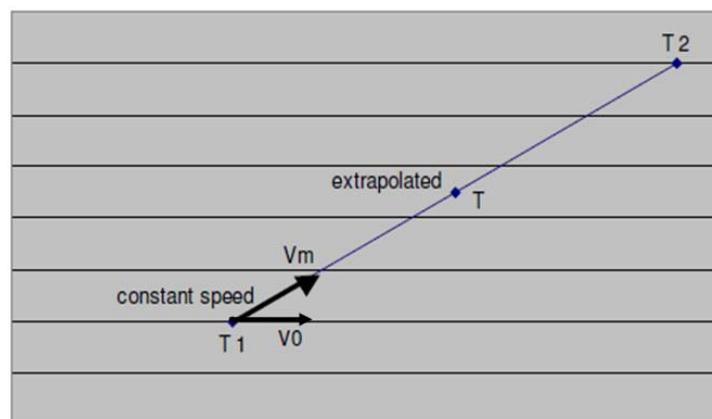
경우 여러 개의 수학식이 산출되어 복잡도가 증가된다. 아래 그림은 예측된 2점을 이용하여 선형보간법에 의한 직선의 방정식을 구한 뒤 특정시간에 예측되는 임의의 값을 구하는 방법을 설명한 것이다.



<그림 3-6> 선형보간법의 개념

$$g(x) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i}(x - x_i) + f(x_i) \quad (3-12)$$

비행정보중앙처리시스템으로부터 입력된 과거의 Slaving Data를 이용하여 T_1 과 T_2 시점에서의 측정값이 관측되었을 때 선형보간법에 의해 임의의 T 시점에서의 추정값은 식 (3-12)을 통해 구할 수 있다.



<그림 3-7> 보간 및 외사법에 의한 위치추정알고리즘

이후, Slaving Data가 통신 장애나 다른 추적장비의 추적손실로 더 이상 수신 되지 못할 경우 미래 시점의 안테나 구동을 위해서 예상되는 발사체의 비행위치를 추정해야하며 이때 외사법(Extrapolation)에 의해 아래 식 (3-13)과 같이 구할 수 있다.

$$P(T) = P_1 + V_0(T - T_1) + \frac{1}{2}a(T - T_1)^2 \quad (3-13)$$

여기서 P_1 은 T_1 시점에 측정된 값이고, V_0 는 T_1 에서의 초기 각속도 그리고 a 는 각가속도를 의미한다. 실제 발사통제센터로부터 20Hz(50ms) 단위로 Slaving Data를 수신하고 있으나 통신장애나 통신지연에 따른 가까운 미래의 예측값을 외사법을 통해 추정할 수 있다.

제4장 위치추정알고리즘(보간법) 분석

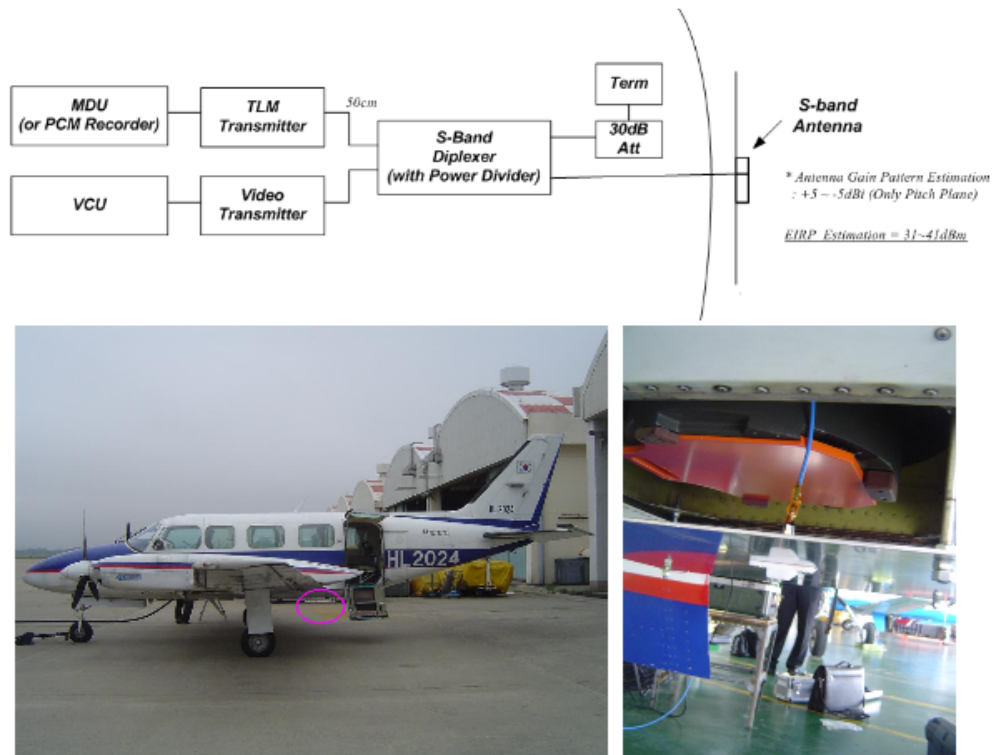
제1절 모의비행시험을 통한 성능분석

원격자료수신장비를 포함한 대부분의 지상추적장비의 설치 및 자체 시험이 완료된 2007년 이후 나로호 3차 발사 임무가 성공적으로 완료된 2013년 이전까지 민간항공기 및 공군 전투기(T-50)를 이용한 모의비행시험을 18차례 수행하였다. 본 시험을 통해 추적시스템(원격자료수신장비, 추적레이더, 광학추적장비, 비행종단지령장비)의 주요기능 및 추적성능을 점검하고 발사통제센터 내 주요시스템과의 상호 연동기능을 검증하였다. 모의비행시험을 통한 추적시스템의 성능 검증을 위해 나로호 발사체에 사용될 동일한 시험탑재장비(S-Band 송신기, C-Band 트랜스폰더, S/C-Band 안테나 각 1대)를 항공기에 탑재하고 시험 전 정의된 항공기의 비행궤적에 따라 지상의 추적시스템이 실시간 추적 임무를 수행하였다. 이러한 시험을 통해 발사체 탑재장비와의 RF 호환성 시험, 추적시스템의 안테나 운용모드 및 추적성능(Tracking Accuracy, Pointing Accuracy), 데이터 획득 및 처리기능을 포함하여 본 논문에서 검증하고자 하는 Slaving Data에 의한 안테나 기준 위치추정알고리즘 분석을 실시하였다. 모의비행시험을 통해 원격자료수신장비의 추적성능 검증을 위한 주요항목은 아래와 같으며, 본 절에서는 비행정보중앙처리시스템에 의해 전송된 Slaving Data 통해 안테나가 얼마나 정확하게 항공기를 추적하고 안정된 구동특성을 보이는지에 대해 동일한 비행궤적을 가지고 3차례 시험을 수행한 12차(2008년 10월)부터 14차까지(2009년 4월)의 모의비행시험 데이터 중 12차 데이터를 기준으로 시험결과를 분석하였다.

- 이동형 다운레이저시스템에서의 안테나 구동특성
- 발사통제센터내 비행정보중앙처리시스템과의 Slaving 연동기능 검증
- Slaving Data의 큰 변화폭에 따른 안테나의 각속도 및 각가속도 변화와 위치추정 오차 변화분석

1. 시험내용 및 시스템구성

나로호 1차 발사 직전에 수행한 3차례(12차~14차)의 모의비행시험에서는 동일한 비행궤적을 가지고 발사 전 최종 리허설을 준비하였다. 모의비행시험을 위해 나로호에 탑재될 송신장비와 동일한 규격 및 성능을 가지는 시험탑재장치를 민간항공기에 장착하였고 실시간으로 조종사와 무선교신을 하면서 비행시험을 실시하였다. 항공기에 설치된 원격자료송신장치는 데이터재생을 위한 기록장치와 데이터전송을 위한 무선송신부(송신기, 안테나)로 구성되어 있으며, 송신안테나는 아래 <그림 4-1>과 같이 항공기 동체 아래 부분에 장착되어 신호를 전송하게 된다.



<그림 4-1> 모의비행시험 항공기 및 시험탑재장비 구성도

원격자료수신장비는 센터내부 소형지상국을 비롯하여 제주추적소내 2대의 대형지상국 그리고 이동형 다운레인지 시스템이 본 모의비행시험에 이용되었다. 이동형 다운레인지시스템의 경우, 해상으로 나갈 수 있는 조건이 충족되지 않아 센

터내부 지상에 고정하여 운용하였고 통신망은 실제임무와 동일한 시간지연(0.7초)을 가지는 위성망(INMARSAT)을 이용하였다.

원격자료수신장비의 안테나 추적 및 위치추정알고리즘 성능검증을 위해 <표 4-1>과 같이 안테나 모드를 변경하면서 추적모드 성능시험과 Slaving Data에 의한 항공기의 비행위치 지향성능을 확인하였다. 모의비행시험 완료 후 안테나제어 장치(ACU: Antenna Control Unit)에 저장된 로그파일(안테나 운용모드, 수신신호 레벨, 추적각, 추적오차, Slaving Data)을 추출하여 분석을 실시하였다.

<표 4-1> 원격자료수신장비 추적성능검증을 위한 시험개요 및 내용

항 목	주 요 내 용
시험일시	2008년 10월 1일 ~ 2009년 4월 2일(3차례 실시)
장소	고흥 나로우주센터 및 제주추적소 일대
시험내용	<ul style="list-style-type: none"> ● 안테나 모드 변경시험: Slave->Stop->Slave ● 위치추정알고리즘 성능검증: Slaving 모드 시
시험분석	<ul style="list-style-type: none"> ● 수신된 Slave data 위치(각도)와 각 원격자료수신장비에서 변환된 각도에 따른 안테나 구동특성 분석

2. 비행시험계획

여수공항을 이륙한 항공기는 나로우주센터 방향인 A1 지점을 지나 나로우주센터 상공인 A5를 통과한 후 나로호 발사방향과 동일한 B1에서 B4구간까지 순차적으로 비행한 뒤 다시 B1 구간까지 회항하면서 비행 임무를 종료하는 궤적을 그린다. 항공기가 A1에서 A5구간으로 진입하는 동안 추적레이더가 자동추적을 실시하고 자동추적이 완료된 후 비행위치정보를 획득하면, 이 정보를 비행정보중앙처리시스템에 전송하고 다시 비행정보중앙처리시스템이 현재의 항공기 위치정보를 각 원격지에 있는 추적장비(센터내 추적장비 및 제주추적소)에 분배하게

된다. <그림 4-2>와 <표 4-2>는 모의비행시험을 위해 항공기가 통과해야 할 지점을 사전에 정의한 위치로써 항공기가 예정된 비행지점을 통과할 때마다 지상 통제 책임자와 비행 조종사간 무전기를 통해 항공기의 위치를 확인하였다.



<그림 4-2> 모의비행시험을 위한 항공기의 비행궤적

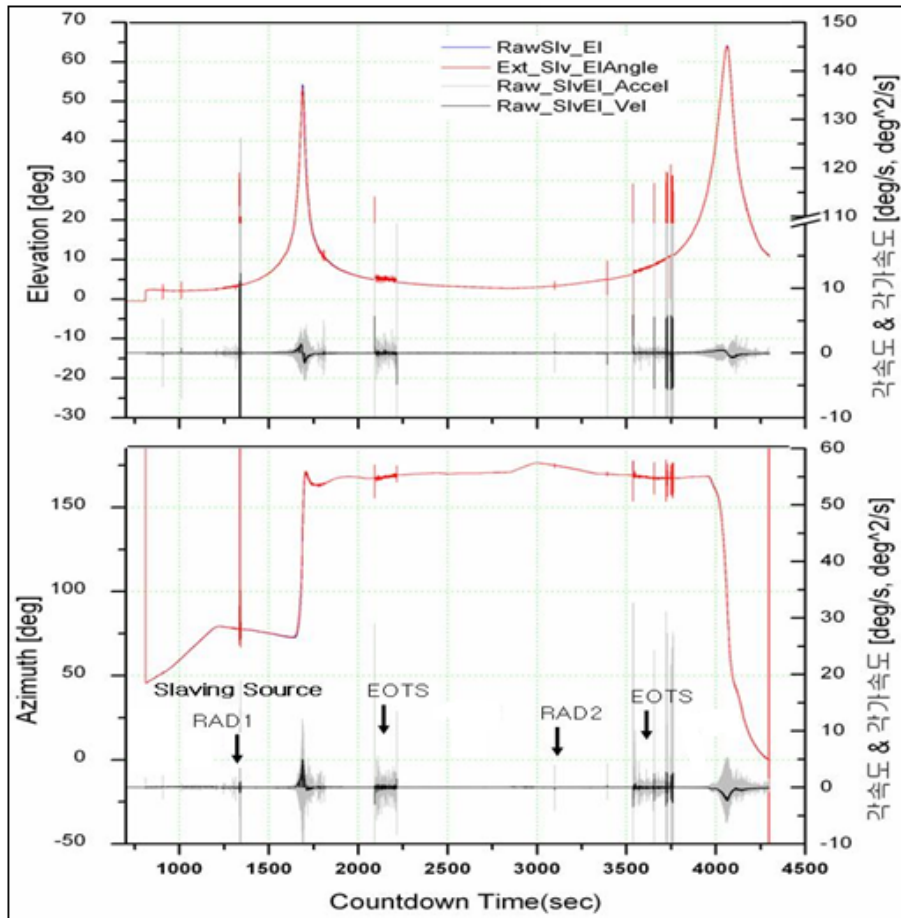
<표 4-2> 항공기의 비행지점 별 좌표 및 고도

Point	Latitude	Longitude	Altitude
A1	34°0'32"	127°4'55"	3,000m
A2	34°9'26"	127°6'52"	2,500m
A3	34°8'31"	127°0'35"	2,000m
A4	34°7'22"	127°4'51"	1,500m
A5	34°6'15"	127°2'31"	1,500m
B1	34°1'06"	127°3'16"	2,000m
B2	34°0'22"	127°6'16"	5,000m
B3	33°4'35"	127°9'05"	5,000m
B4	33°9'59"	127°1'39"	5,000m
B5	33°9'27"	127°6'45"	5,000m

3. 시험결과 및 분석

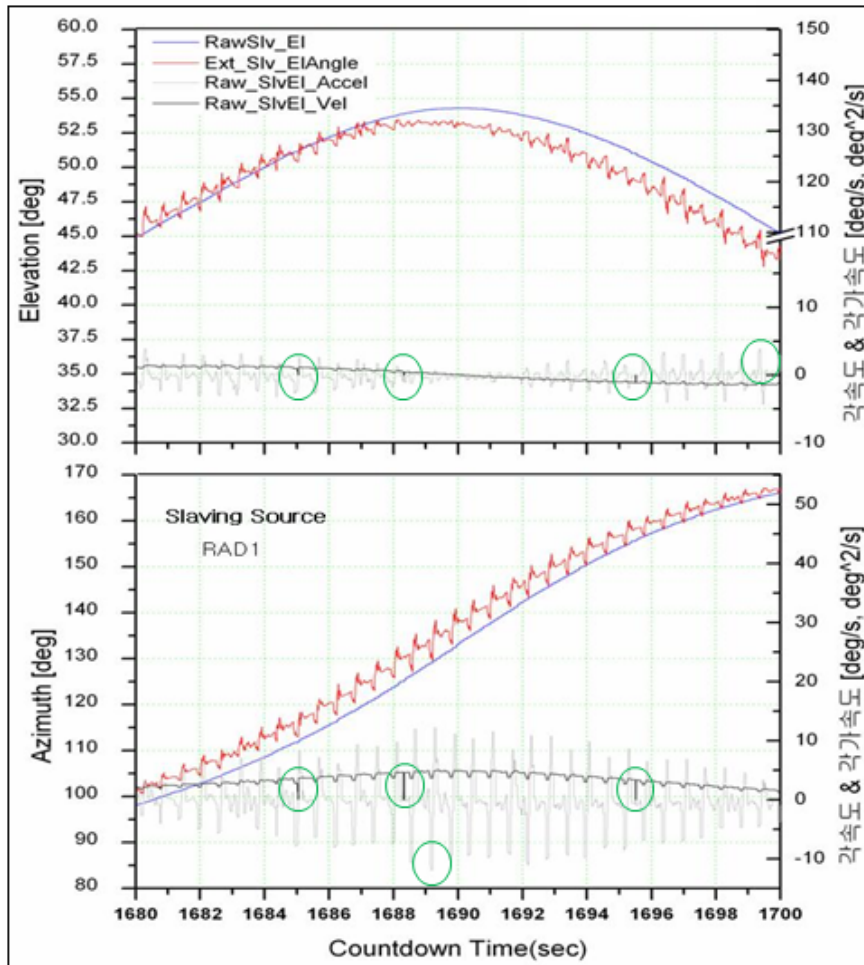
시험결과를 위한 분석은 보간법(Interpolation)에 의한 위치추정알고리즘 성능이 가장 잘 나타날 수 있는 이동형 다운레이저시스템에 저장된 로그파일을 이용하여 실시하였다. 다운레이저시스템은 제주추적소 원격자료수신장비와 달리 Slaving Data를 수신하기 위해 위성통신망(INMARSAT)을 이용하고 0.7초 정도의 통신 지연이 발생하기 때문에 실제 발사 임무 시 8km/sec로 비행하는 발사체의 향후 위치를 추정하는 기존알고리즘(보간법)과 새로운 알고리즘(다항회귀법)을 비교하는데 가장 적절하다. <그림 4-3>은 다운레이저시스템이 비행정보중앙처리시스템으로부터 모의비행시험 동안 수신한 Slaving Data를 기준으로 기존의 위치추정알고리즘으로 추정된 데이터로 안테나 구동하고 그에 따라 반응한 안테나의 각속도 및 각가속도 변화량을 나타낸 것이다. Slaving source가 해당시점에 서로 다른 추적장비로 절체 되었을 때 extrapolation 각도에 점프되는 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 광학추적장비(EOTS)가 Slaving Source일 때, 각가속도 및 각속도의 진동폭이 커져 그 결과가 추정한 결과에도 그대로 반영되는 것을 볼 수 있다. 특히 <그림 4-3>과 같이 나로우주센터 상공을 비행할 시(1700초, 4000초 부근), slaving data의 각속도 및 각가속도의 값이 크게 변한 것을 볼 수 있다.

앞서 언급하였듯이, Slaving Data 패킷은 위성통신망을 거치면서 0.7초의 시간지연을 가지게 되며 다운레이저에서 항공기를 추적할 시점에는 이미 과거의 위치값이 되므로 그대로 이용할 수 없다. 따라서 식 (5-7)과 같이 외삽법(Extrapolation)에 의한 현재 항공기의 속도, 가속도 정보를 이용하여 현재값을 예측해야 한다. <그림 4-3>을 확대하여 나로우주센터 상공 비행 시(약 1700초 부근), 안테나의 각속도 및 각가속도 변화를 살펴보면 <그림 4-4>와 같이 고각(Elevation)의 경우 각속도는 최대 $1.5^{\circ}/\text{sec}$, 각가속도는 최대 $3^{\circ}/\text{sec}^2$ 로 나타난다. 이를 반영한 추정(Extrapolation)된 결과에도 최대 3° 의 진폭을 갖는 진동현상이 확인되었고, 방위각(Azimuth)의 경우에도 각속도는 최대 $5^{\circ}/\text{sec}$, 각가속도는 최대 $10^{\circ}/\text{sec}^2$ 로 나타났으며 추정된 결과에도 최대 10° 의 진폭을 갖는 진동현상을 확인할 수 있었다.



〈그림 4-3〉 추정된 안테나 방위각 및 고각 변화와 구동특성

이러한 현상은 13차 및 14차 모의비행시험에도 동일하게 나타났으며, 나로우주센터 상공을 지나갈 때 다운레인지가 높은 양각을 유지하기 때문에 각속도 및 각가속도의 변화가 크게 나타 나타나면서 발생한 현상이다. 즉, 현재 항공기의 위치를 예측하기 위해 사용된 추정알고리즘이 기존에 수신된 과거 데이터의 특성값을 하나하나 모두 반영하여 현재 위치에서의 비행위치값을 추정하다보니 방위각 및 고각에서도 지향오차가 크게(5° 이상) 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 추적각 오차로 인해 안테나 구동에 있어서 구동폭(Variation)이 크게 나타나고 갑작스러운 진동으로 인해 안테나가 불안정하게 움직여 비행중인 대상체(Target)에 대한 추적손실을 가져올 수 있다.



<그림 4-4> 나로우주센터상공 비행 시 각속도 및 각가속도 변화

제2절 나로호 발사임무를 통한 성능분석

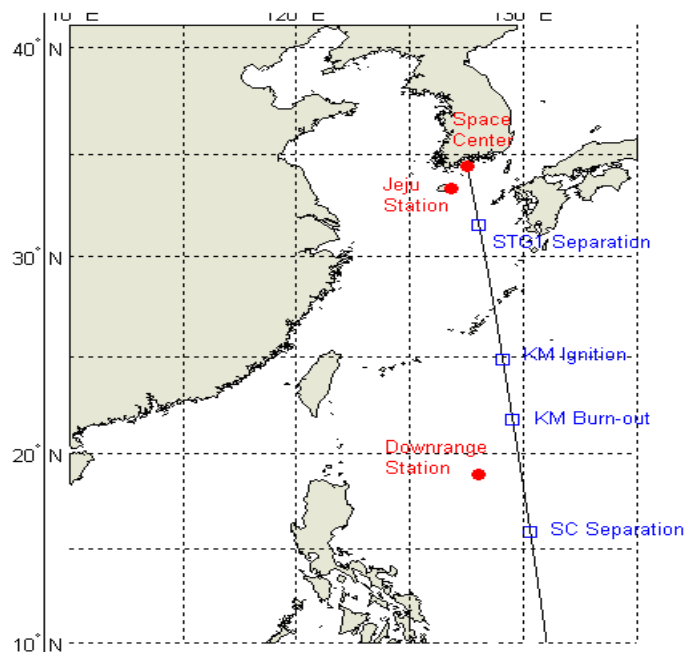
나로호 발사임무는 2009년 8월 1차 발사를 시작으로 2013년 1월까지 모두 3차례 이루어졌으며, 발사임무를 위한 궤적 및 추적장비의 임무는 모두 동일하였으며, 성공적으로 임무를 수행하였다. 성공적인 위성궤도 진입과 나로호가 정상적인 비행궤적을 유지한 3차 발사데이터보다 페어링 미분리로 인하여 비행궤적이 비정상적으로 유지되어 지상에서의 추적각 변화가 심했던 나로호 1차 발사데이터를 이용하여 기존 위치추정알고리즘에 의한 성능분석을 실시하였다.

나로호 1차 발사의 경우, 위성보호를 위해 사용되는 페어링(위성보호덮개) 한 쪽이 미 분리되어 발사 후 380초 이후에 발사체의 비행자세가 심하게 변하였고

그에 따라 비행위치정보로 제공되는 Slaving Data의 변동 폭도 매우 컸다. 따라서 발사 운용개념에 따라 발사 후 380초 이후 자동추적모드에서 Slaving Mode로 안테나를 운용한 원격자료수신장비#2의 안테나는 Slaving Source의 큰 변동폭으로 인해 안테나 구동이 매우 불안정하였고 자동추적을 유지할 수 없었다. 본 절에서는 제주추적소 원격자료수신장비#2에서 기록된 로그파일을 가지고 기존 위치추정알고리즘에 의한 안테나의 구동 및 오차특성을 살펴본다.

1. 발사임무내용 및 비행궤적

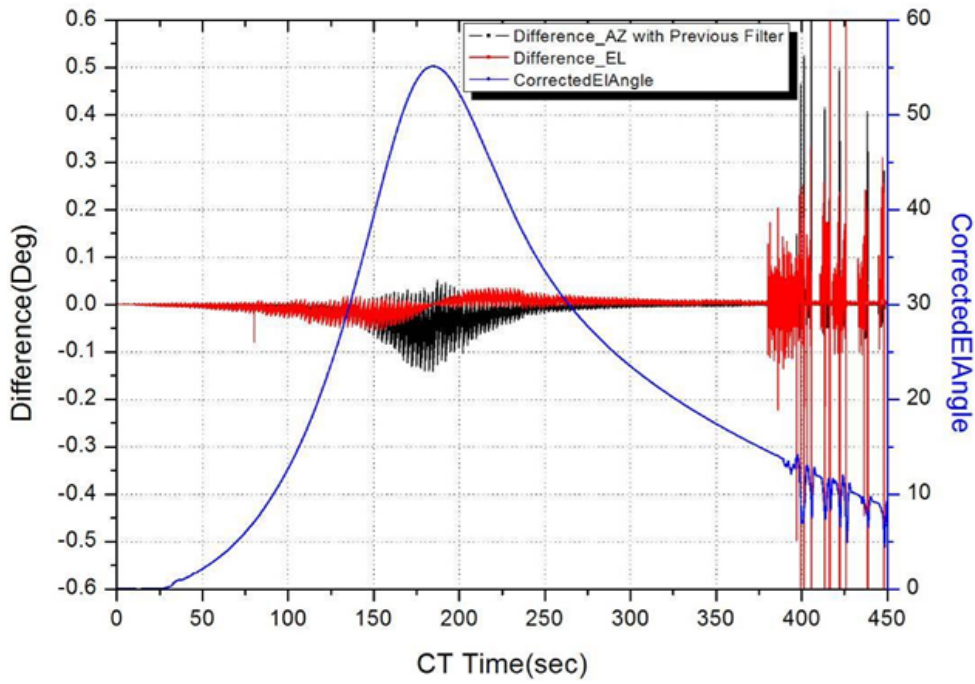
나로호 발사 임무를 위해, 나로우주센터내 다른 추적장비들과 함께 원격자료 수신장비는 <그림 4-5>와 같이 센터내부의 소형지상국, 제주추적소 원격자료수신국(2대), 태평양 해상의 다운레인지시스템을 운용하였다. 비행정보중앙처리시스템으로부터 실시간 Slaving Data를 수신하면서 Slaving Mode로 안테나를 구동하다가 고각 약 3도 이상이 유지되는 시점(발사 후 250 초 이후)부터 RF 신호에 의한 자동추적을 수행하였다.



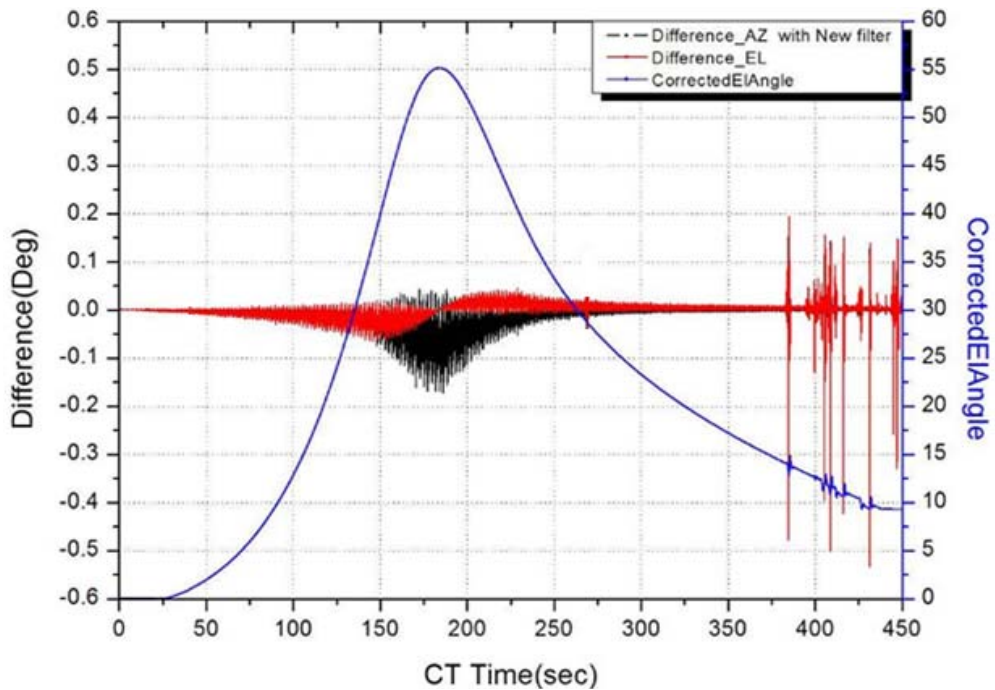
<그림 4-5> 나로호 발사비행궤적 및 원격자료수신장비 배치현황

2. 결과분석

나로호 1차 발사에 따른 Slaving Data의 수신경향을 살펴보면, 제주추적소 및 다운레이저시스템에서 발사 후 380초 이전까지는 특별한 진동폭을 가지지 않는 정상적인 Slaving Data가 수신되었으나 그 이후에는 발사체의 이벤트 문제(페어링 미분리)로 인해 비행중심을 잡지 못한 발사체의 비행궤적으로 인해 변화가 심하고 불연속적인 값을 갖는 Slaving Data가 수신되었다. 발사 후 380초까지는 추적레이더에 의한 비행위치정보가 Slaving Data로 분배되었으나 이후 운용개념에 따라 발사체 내부에 있는 관성항법장치(INS) 데이터를 통한 비행위치정보가 Slaving Data로 분배되었다. 발사체의 2단 점화 이벤트가 발생하고 추진력에 의한 가속도가 상승하던 발사체는 상단 페어링 한곳의 미분리로 인하여 무게중심이 무너지고 비행자세가 불안정해 지면서 심하게 텀블링하는 문제가 발생한다. 발사체 내부의 관성항법장치에 의해서 생성되어 분배된 비행위치가 심하게 변하였고 이 데이터를 수신하여 운용개념에 따라 Slaving 추적을 실시한 원격자료수신장비#2에서는 원천데이터의 나쁜 특성 때문에 자동추적을 할 수 없을 정도로 안테나 지향 구동각의 변화도 심하게 나타났다. <그림 4-6>과 같이 발사 후 380초 이후에 Slaving Data에 의하여 추적한 안테나 구동각과 추정된(Extrapolated) Slaving Data 사이의 오차(방위각: 빨간색 Plot, 고각: 파란색 Plot)가 매우 심하게 변하는 것을 볼 수 있다. 다운레이저시스템에서의 안테나 구동특성도 발사 후 380초까지는 다운레이저 안테나제어장치에서 추정된(Extrapolation) Slaving 각도의 변화가 적고 연속적인 값을 가지나, 이후에 Slaving Source가 INS로 변하면서 변동폭이 심하게 발생하였다. 아래 <그림 4-6>과 <그림 4-7>은 동일한 데이터를 가지고 기존위치추적알고리즘과 다항회귀기법을 이용한 원격자료수신장비 #2에서의 안테나 구동 및 오차특성을 보여주고 있다. 두 그림을 비교하여 볼 수 있듯이, 아래 4장에서 제시될 다항회귀기법을 적용한 안테나 운용각과 추정된 비행위치정보간의 오차가 훨씬 줄어들고 이에 따라 더욱 부드러운 안테나 구동특성을 유지할 수 있음을 보여주고 있다.



<그림 4-6> 위치추정알고리즘(보간법)에 의한 안테나 운용각의 오차특성



<그림 4-7> 다항회귀기법에 의한 안테나 운용각의 오차특성

제5장 데이터마이닝 기반의 위치추정알고리즘

제1절 다항회귀기법에 의한 수학적 모델링

원격자료수신장비 안테나제어시스템은 나로우주센터내 비행중양정보처리시스템으로부터 수신한 slaving data의 위치값을 이용하여 현재 안테나가 지향해야 할 위치정보를 계산한다. 계산을 위해 사용되는 Slaving Data는 추적레이더에 의해 측정된 값이며 이 값에는 추적레이더 특성에 따른 측정오차가 포함되어 있으며 최종 수신하여 안테나를 예상비행지점에 위치시킬 때까지 계산을 위한 지연 시간 특성이 반영되어 있지 않다. 따라서 원격자료수신장비 및 이동형 다운레인 지시스템의 안정적인 운용을 위해서는 수신된 Slaving Data를 이용하여 더욱 부드럽고 정확한 안테나 구동특성을 위한 알고리즘을 구현해야하며, 최소자승법을 통해 추정할 수 있다.

무엇인가를 추정하는데 있어서 오차를 최소화하는 것은 당연하다. 오차가 발생하였을 때 오차의 합을 단순히 이용해서는 안 된다. 즉, 오차가 +3, -3일 경우 오차의 합이 0이 되어 어떠한 오차도 발생하지 않게 되며 오차의 전체 합을 잘못 표현할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 오차를 양수로 바꾼 값을 이용하는 것이 필요하며, 절대값을 이용하거나 제곱을 이용하는 방법을 사용할 수 있다. 수학적 편의성을 위해 절대값을 이용하는 방법보다 제곱함수를 이용하여 계산하는 방식이 편리하다. 제곱의 합을 이용하면 음수 및 양수의 합이 0으로 수렴되는 문제를 해결하고, 오차가 심한 요소에 높은 가중치를 둘 수 있다. 제곱의 합을 최소로 하는 식은 편미분으로 쉽게 구할 수 있다. 발사통제센터에서 송신되는 Slaving Data는 지구중심의 좌표값 x, y, z 에 대하여 아래 식 (5-1)과 같이 표현 될 수 있다.

$$\begin{aligned} s_x &= \beta_{x0} + \beta_{x1}t + \beta_{x2}t^2 + \epsilon_x \\ s_y &= \beta_{y0} + \beta_{y1}t + \beta_{y2}t^2 + \epsilon_y \\ s_z &= \beta_{z0} + \beta_{z1}t + \beta_{z2}t^2 + \epsilon_z \end{aligned} \quad (5-1)$$

관측치의 개수 n 에 대해 오차 제곱합이 최소가 되도록 아래 식 (5-2)를 도출하고, 최소자승법에 오차항이 최소가 되도록 그 값을 추정할 수 있다.

$$E = \sum_i^n [s_i - (\beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2)]^2 \quad (5-2)$$

E 를 최소로 하는 회귀계수 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 에 대해 각각 편미분을 실시하고 아래 식 (5-3)의 연립방정식을 통해 추정값인 $\hat{\beta}_j$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \beta_0} &= -2 \sum_i^n [s_i - (\beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2)] = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial \beta_1} &= -2 \sum_i^n t_i [s_i - (\beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2)] = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial \beta_2} &= -2 \sum_i^n t_i^2 [s_i - (\beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2)] = 0 \end{aligned} \quad (5-3)$$

위 식에서 $\beta_j(j=0,1,2,\dots,m)$ 에 관한 $(m+1)$ 원 연립방정식을 Gauss 정규방정식 행렬과 벡터로 표시하면 $Aa=b$ 형태로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_0 n + \hat{\beta}_1 \sum_i^n t_i + \hat{\beta}_2 \sum_i^n t_i^2 &= \sum_i^n s_i \\ \hat{\beta}_0 \sum_i^n t_i + \hat{\beta}_1 \sum_i^n t_i^2 + \hat{\beta}_2 \sum_i^n t_i^3 &= \sum_i^n t_i s_i \\ \hat{\beta}_0 \sum_i^n t_i^2 + \hat{\beta}_1 \sum_i^n t_i^3 + \hat{\beta}_2 \sum_i^n t_i^4 &= \sum_i^n t_i^2 s_i \end{aligned} \quad (5-4)$$

입력데이터의 오류성분은 식 (5-6)의 회귀계수와 식 (5-7)에 처리되고, 최종적으로 수신한 slaving data의 t_0 시점을 기준으로하여 n 개의 과거 측정값에서 회귀계수를 구할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} n & \sum t_i & \sum t_i^2 \\ \sum t_i & \sum t_i^2 & \sum t_i^3 \\ \sum t_i^2 & \sum t_i^3 & \sum t_i^4 \end{bmatrix}, a = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} \sum s_i \\ \sum t_i s_i \\ \sum t_i^2 s_i \end{bmatrix} \quad (5-5)$$

회귀계수 $\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$ 를 구하기 위하여 계수행렬이 대칭행렬로 표현될 수 있으며, $A=C^T C$ 이고, $b=C^T S$ 이므로 식 (5-5)와 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} (C^T C) \hat{\beta} &= C^T S \\ \hat{\beta} &= (C^T C)^{-1} C^T S \\ &= \begin{bmatrix} n & \sum t_i & \sum t_i^2 \\ \sum t_i & \sum t_i^2 & \sum t_i^3 \\ \sum t_i^2 & \sum t_i^3 & \sum t_i^4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum s_i \\ \sum t_i s_i \\ \sum t_i^2 s_i \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5-6)$$

$$\begin{aligned} s_n(x, t_0) &= \hat{\beta}_{x0} + \hat{\beta}_{x1} t + \hat{\beta}_{x2} t^2 \\ s_n(y, t_0) &= \hat{\beta}_{y0} + \hat{\beta}_{y1} t + \hat{\beta}_{y2} t^2 \\ s_n(z, t_0) &= \hat{\beta}_{z0} + \hat{\beta}_{z1} t + \hat{\beta}_{z2} t^2 \end{aligned} \quad (5-7)$$

따라서 현재 시점의 위치 추정값은 식 (5-7)을 이용하여 향후 예측할 미래시간의 값이므로 식 (5-8)과 같이 extrapolation에 의한 안테나 운용각(값)을 구할 수 있다.

$$s_{ext.}(t) = s_n + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a_0(t - t_0)^2 \quad (5-8)$$

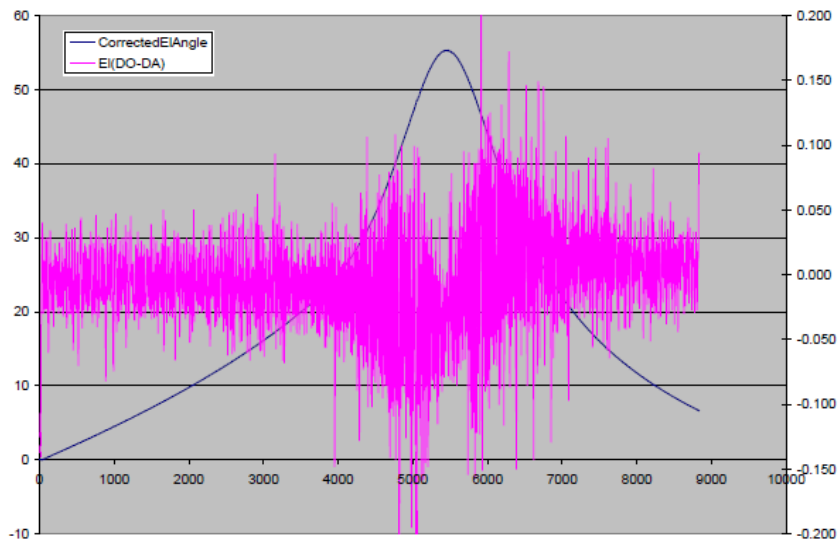
(v_0/a_0 : t_0 에서의 velocity/acceleration, t_0 : 최종 측정시간)

제2절 안테나 구동특성 분석

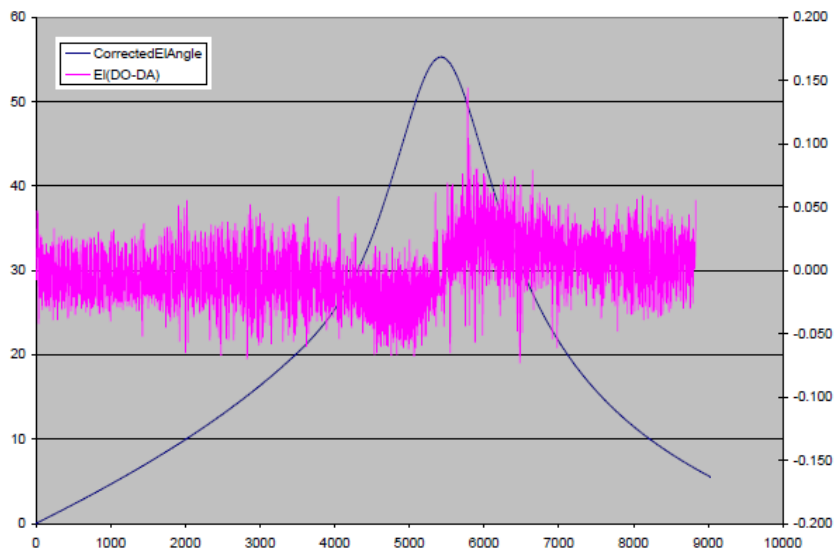
1. 이동형 다운레인지시스템

위 5.1절에 언급한 다항회귀방식을 적용하여 나로호 1차 발사 및 모의비행시

험 시 저장했던 기존의 Slaving 데이터를 추출하여 기존위치추정방식(보간법)과의 성능비교를 실시하였다. <그림 5-1>과 <그림 5-2>는 다운레이저시스템에서 고각 변화에 대한 안테나 구동각(DA)과 안테나 위치지향정보(DO)간의 오차를 나타낸 것으로 오차가 적을수록 Slaving Mode에서 자동추적모드로 안테나 운용모드를 변경할 때 더욱 부드러운 구동특성을 유지할 수 있고 발사체를 추적하는 오차도 줄어들 수 있음을 보여준다.



<그림 5-1> 기존알고리즘에 의한 고각오차 변화



<그림 5-2> 다항회귀기법에 의한 고각오차 변화

안테나 구동각과 추정된 위치데이터(Extrapolated Trajectory Data)사이의 평균 및 최대오차와 Quadratic 값은 아래 표 5-1과 같다. Quadratic 값을 산출하기 위해 아래 식 (5-9)를 이용하였다.

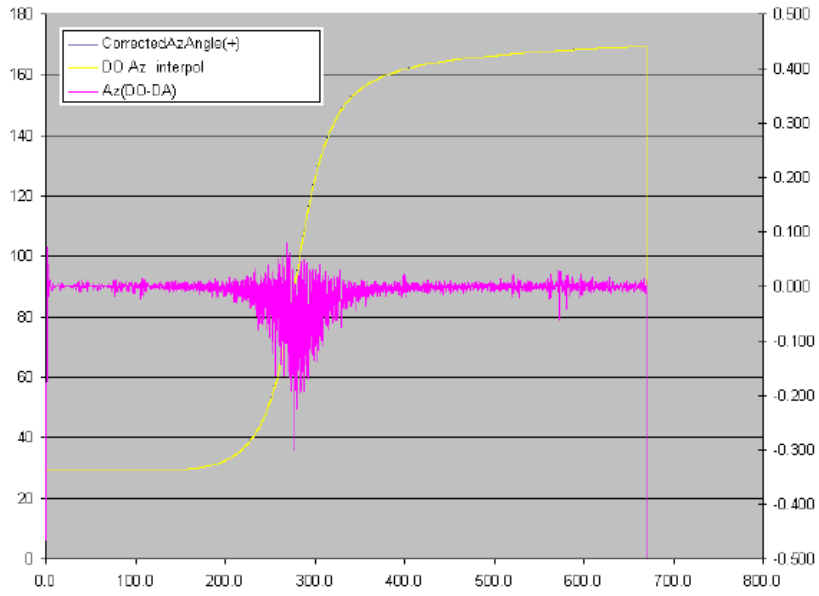
$$Error_{quadratic} = \sqrt{(Error_{Az} * \cos(El))^2 + Error_{El}^2} \quad (5-9)$$

<표 5-1> 보간법과 회귀분석에 따른 오차특성 결과비교

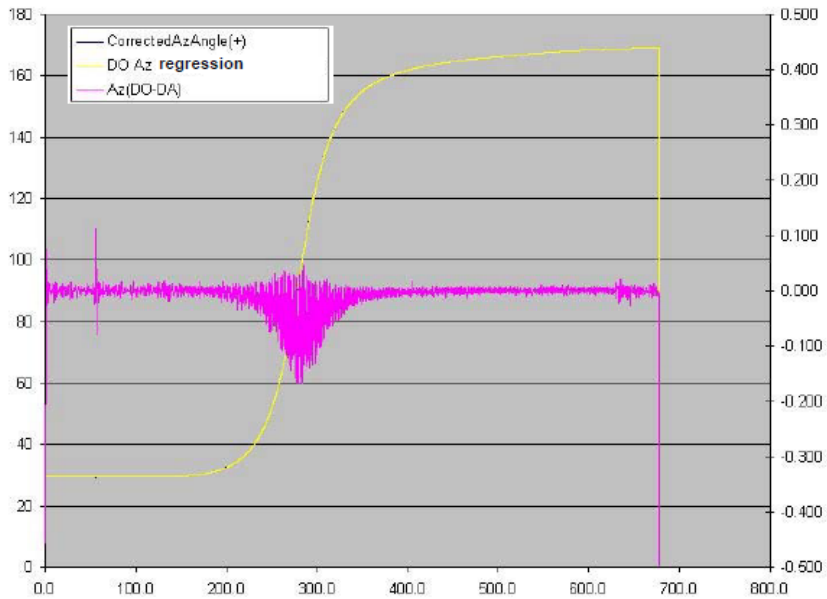
	기존위치추정알고리즘 (Interpolation)	다항회귀기법 (2nd order Polynomial Regression)
평균 DO-DA (방위각)	-0.05	-0.01
평균 DO-DA (고각)	0.00	0.00
DO-DA (최대 Quad.)	0.99	0.15
DO-DA (평균 Quad.)	0.07	0.03

2. 제주추적소 원격자료수신장비#3

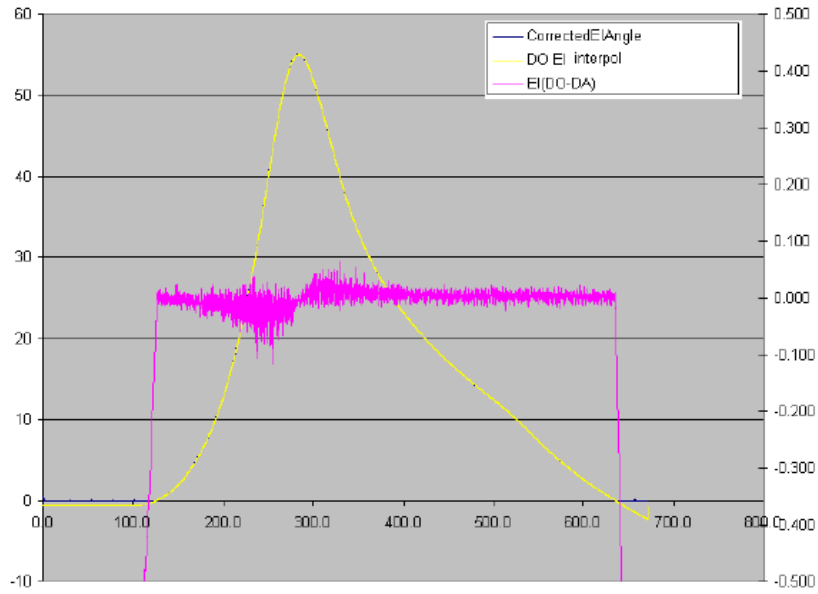
<그림 5-3>부터 <그림 5-6>까지는 제주추적소 원격자료수신장비#3에서 나로호 1차 발사데이터를 이용하여 기존위치추정알고리즘과 다항회귀기법을 통한 안테나 운용각과 추정데이터간의 오차특성을 비교한 것이다. 분석결과, 다운레인지 시스템과 동일하게 다항회귀기법을 이용한 위치추정알고리즘의 오차특성이 더 적게 나타나고 부드러운 안테나 구동특성을 보인다는 것을 알 수 있다.



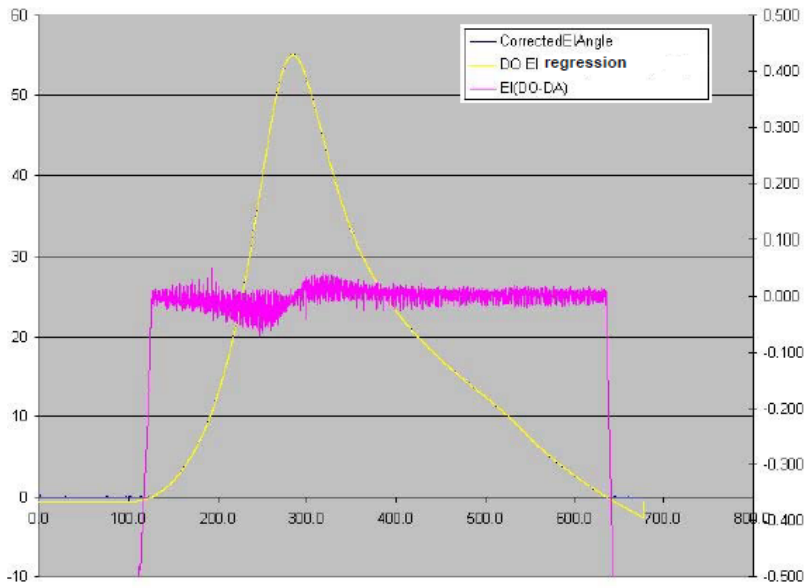
<그림 5-3> 기존알고리즘에 의한 방위각오차 변화



<그림 5-4> 다항회귀기법에 의한 방위각오차 변화



<그림 5-5>기존알고리즘에 의한 고각오차 변화



<그림 5-6> 다항회귀기법에 의한 고각오차 변화

안테나 운용각과 추정된 Slaving Data간의 차이를 구하고 평균값을 위 식 (5-8)을 이용해서 구하면 아래 <표 5-2>와 같은 오차특성을 파악할 수 있다.

〈표 5-2〉 보간법과 다항회귀기법에 따른 오차특성 결과비교(TLM#3)

	기존위치추적알고리즘 (Interpolation)	다항회귀기법 (2nd order Polynomial Regression)
평균 DO-DA (방위각)	-0.010	-0.009
평균DO-DA (고각)	0.000	0.000
DO-DA (최대 Quad.)	0.182	0.098
DO-DA (평균 Quad.)	0.016	0.015

분석결과에서 볼 수 있듯이, 데이터마이닝의 다항회귀기법을 통한 안테나 실제 운용각과 Slaving 데이터의 오차(DO-DA)가 크게 줄어드는 것을 볼 수 있고, 이는 추정된 근사모델을 통해 부드러운 안테나 구동특성을 구현할 수 있고 발사체 비행위치에 따른 자동추적 실패 확률을 줄일 수 있음을 보여준다.

제6장 결론

제1절 연구 결과

본 논문에서는 IT 융합을 위한 데이터마이닝 기법과 우주기술과의 접목을 위해, 나로우주센터 원격자료수신장비와 다운레이저시스템에서의 항공기를 이용한 모의비행시험 및 나로호 발사결과 데이터를 이용하여 위치추정알고리즘을 분석하였다. 기존의 위치추정알고리즘(보간법)과 데이터마이닝의 다항회귀분석기법에 의한 발사체의 비행위치추정정확도를 비교·분석하였고, 그 결과 비행정보처리중앙시스템에 의해 전송된 과거의 Slaving 데이터가 변동폭이 크게 발생하거나 오류정보가 포함되어 비정상적인 Slaving 데이터를 수신하였을 때 다음과 같은 안테나 구동특성을 보였다.

첫째, 모의비행시험 시험결과에서 볼 수 있듯이, Slaving Data의 소스정보(Tracking Radar, EOTS)가 변경되었을 때, 해당 소스의 각도(방위각 및 고각) 변화가 크게 발생하였고 그 변화폭이 그대로 안테나 운용각에 전달되었다. 또한 갑작스러운 큰 폭의 각도 변화에 따라 안테나의 각속도 및 각가속도도 그대로 증가하였고 안테나의 거친 구동특성이 나타났다.

둘째, 항공기가 나로우주센터 상공을 선회할 때, 갑작스러운 방위각 및 고각 변화가 빠르게 일어났고 그 시점에서의 안테나 각속도 및 각속도도 크게 증가하였다.

셋째, 나로호 1차 발사임무 시, 페어링 미분리로 인해 발사체가 텀블링하며 비행위치가 급격하게 변할 때 Slaving 데이터에 의해서 Slaving mode로 추적임무를 수행한 원격자료수신장비#2의 경우 Slaving 데이터 자체의 급격한 변화로 인해 안테나의 구동특성이 매우 거칠게 나타났고 자동추적에 실패하는 현상이 나타났다.

위 3가지 특징은 보간법에 의한 위치추정알고리즘이 과거의 실제 Slaving 데이터 측정값을 기준으로 계산하였고, 그 값에 오류정보가 포함되어 있는 경우 보간 에러가 발생하여 안테나의 구동특성이 거칠게 나타나서 정확한 발사체 위치

정보추정이 어렵게 되었다. 따라서 과거의 실제 측정치 궤적을 그대로 지나는 데이터를 이용한 보간법보다 과거의 궤적데이터를 사용하여 데이터마이닝의 다항회귀기법을 통해 근사화한 추정방정식 모델을 만들고, 이를 이용하여 보다 정확한 비행위치궤적 정보를 예측하여 발사체 추적손실 및 안테나 구동특성을 부드럽게 유지할 수 있었다.

나로호 1차 비행궤적을 이용하여 데이터마이닝의 다항회귀기법을 통한 안테나 운용각의 오차 및 구동특성을 살펴보면, 발사체 2단 점화가 일어난 후 급격한 비행위치 변화가 일어나는 약 380초 이후 구간부터 임무 종료 시까지 안테나 운용각과 Slaving 데이터와의 차이가 기존의 보간법 보다 훨씬 줄어든 것을 볼 수 있다. Slaving 데이터로 입력되는 개별적인 값에 모두 반응하여 안테나 동작특성이 나타나지 않았고, 정의된 예측모델에 따라 추정된 값을 부드럽게 따라가는 것을 알 수 있다. 안테나 운용각과 Slaving 데이터와의 최대 및 평균오차(DO-DA)의 경우에도 제5절에서 볼 수 있듯이 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있다.

따라서 데이터마이닝의 다항회귀기법을 이용한 원격자료수신장비 비행위치추정알고리즘은 향후 한국형발사체 임무 및 유럽 위성발사체(VEGA, Soyuz)의 발사 운용 지원 임무 시 매우 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

제2절 향후 연구 방향

비행위치추정을 위해 입력되는 Slaving 데이터 내 랜덤하게 발생하는 오류 성분(속도, 위치정보 등)은 통신링크상의 시간지연이 길어질수록 더욱 더 크게 증가하는데, 향후 오류정보가 될 수 있는 요소를 파악하고 그 종류 및 크기에 따라 추정오차의 정확도에 영향을 주는 정도를 파악해 보는 것은 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 모수를 추정하는 방법으로 다항회귀분석의 최소자승법을 사용하였으나, 일반적으로 확률변수의 분포를 알고 있을 때 우리가 궁극적으로 알고자 하는 모수와 가장 가까운 값을 추정하는데 사용되는 최대가능도추정량(MLE: Maximum Likelihood Estimator) 방법을 사용하여 그 값을 분석하고 최소자승법과 비교해 보는 것도 좋은 연구 방향이 될 수 있을 것으로 판단된다.

그 밖에 IT와 우주기술(ST)과의 융합을 위한 위성분야 응용에서는 데이터마이닝 적용 방식들 중 이상적탐지(Anomaly Detection) 기법을 이용한 위성의 동작상태 및 운용 상태를 파악하고 예측 및 조치가 가능한 부분을 찾아 사전에 위험요소를 파악해 보는 것도 좋은 연구 방향이 될 수 있을 것이다. 일반적으로 이상적탐지는 특징이 다른 나머지 데이터들과 현저히 다른 관측 결과 값들을 식별하는 것으로 정상적인 값을 비정상적인 값으로 오인하는 확률을 줄이고, 비정상적인 값만을 추출할 수 있는 신뢰도가 유지되어야 한다. 따라서 위성의 경우, 막대한 예산을 들여 지구관측, GIS정보 제공, 재난지역 감시 및 기상과 해양의 조류상태까지 파악하는 중요한 시스템으로써 위성시스템 자체의 비정상적인 상태를 높은 신뢰도를 가지고 사전에 감시하고 조치할 수 있는 방안이 매우 중요하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[국내 문헌]

- [1] 강주영, “이동 객체의 궤적 패턴 마이닝과 위치예측 기법“, 이화여자대학교, 학위논문[석사], 2010.
- [2] 김동관, “IT 융합서비스 및 활용기술의 기술숙성에 관한 연구 - 산업간 융합을 중심으로”, 한양대학교, 학위논문[석사], 2010.
- [3] 박장호, 이봉규, “에너지-IT 융합 유망산업 및 육성분야 우선순위 도출 시 핵심선정요인 분석”, 인터넷정보학회논문지, 제12권, 제3호, 2011, pp.139-149.
- [4] 신한섭 외 4인, “나로우주센터 추적레이더의 성능 검증시험”, 한국항공우주학회 학술발표 논문집 2, 2008, pp.1136-1139.
- [5] 신재식, “IT융합 현황 및 정책과제”, 한국정보기술학회지, 제9권, 제1호, 2011, pp.6-10.
- [6] 서정일 외 6인, “데이터마이닝을 이용한 우주 발사체 다분야 통합 임무 설계 연구”, 한국항공우주학회, 2013년도 춘계학술대회 논문집, 2013, pp.1045-1049
- [7] 안치득, “디지털 컨버전스와 기술발전 방향”, 디지털 컨버전스의 미래(연구 보고서), 2009, pp.53-71.
- [8] 이선아, “데이터마이닝을 활용한 부정거래 탐지에 관한 연구-농산물 유통거래를 중심으로”, 서울시립대학교, 학위논문[석사], 2013.
- [8] 이성희 외 2인, “위성발사를 위한 원격측정 지상국시스템 설계에 관한연구”, 항공우주기술, 제2권, 제2호, 2003, pp.167-178.
- [9] 이성희 외 4인, “우주 발사체 추적용 원격자료수신장비 기술동향”, 항공우주산업기술동향, 제2권, 제2호, 2004, pp.109-119.
- [10] 이성훈, “디지털 컨버전스와 스마트 시티에 관한 연구”, 디지털 정책연구, 제11권, 제9호, 2013, pp.167-172.
- [11] 이성훈, “ICT를 이용한 생활 밀착형 디지털 컨버전스에 관한 연구”, 디지털 정책연구, 제11권, 제11호, 2013, pp.429-434.
- [12] 이정민, “통계적회귀분석에 관한 연구“, 연세대학교, 학위논문[석사], 2002
- [13] 이정호, “IT 신융합 산업 웰니스-세계2조원 블루오션 시장을 잡아라”, 기술과미래, 제79호, Vol.3, 2012, pp.48-51.
- [14] 이재길, “대규모 궤적데이터를 위한 데이터 마이닝 툴”, 정보과학회논문지, Vol.15, No.3, 2009, pp. 145-153.
- [15] 이태규 외 2인, “섬유IT 융합: 디지털 의류와 웨어러블컴퓨팅 현황”, 한국

- 정보기술학회지, 제10권, 제2호, 2012, pp.77-86.
- [16] 오창열, “위성발사체 추적정확도 향상을 위한 전파굴절 분석”, 충남대학교, 학위논문[박사], 2011.
- [17] 윤석영, 최용태, “비행정보중앙처리시스템의 추적 필터 구현을 위한 알고리즘 프레임워크 설계”, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, Vol. 2011, No.11, 2011, pp. 1295-1300.
- [18] 은종원, “ST-IT 기술 융합 발전방향”, 통신위성우주산업연구회논문지, 제4권, 제2호, 2009, pp.1-4.
- [19] 장남식 외 2인, 데이터마이닝, 대청미디어, 서울, 1999.
- [20] 장유정, “LBS를 위한 이동 객체 위치관리 시스템의 설계 및 구현“, 건국대학교, 학위논문[석사], 2004.
- [21] 장병준, 한상규, “에너지-IT 융합기술 동향 및 주요이슈”, 정보과학회지, 제28권, 제7호, 2010, pp.44-51.
- [22] 정원열, 조성준, “퀘적데이터마이닝을 이용한 이동객체의 시점 추정에 관한 연구”, 대한산업공학회 추계학술대회논문집, Vol.2011, No.11, 2011, pp. 1220-1225.
- [23] 전성균, 이영준, “EPL을 활용한 예술교과 중심의 STEAM 교육 프로그램 설계”, 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집, 제21권, 제2호, 2013, pp.215-217.
- [24] 조남재, “디지털 컨버전스 의미의 고찰과 e-business의 미래연구 방향”, e-비즈니스 연구, 제10권, 제4호, 2009, pp.105-127.
- [25] 최민숙, “디지털 시대의 컨버전스”, 이화여자대학교출판부, 2011.

[해외 문헌]

- [26] Berry, Michael J.A. and Linoff, Gordon, *Data Mining Techniques: For marketing, sales, and customer support*, Wiley(New York), 1997.
- [27] Frank Carden, *Telemetry System Design*, Artech House, 1995
- [28] Lee, J.-G., Han, J., and Whang, K.-Y., "Trajectory Clustering: A Partition-and-Group Framework" *In Proc. 2007 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*, pp.593-604, Beijing, China, June 2007
- [29] R.H.Guting and M.Scheider, *Moving Objects Database*, Morgan Kaufmann, 2005
- [30] Roddick, J.F., and Hornsby, K., "An Updated Bibliography of Temporal, spatial and spatio-temporal data mining Research," *TSDM*,

- 2000, pp. 147-164.
- [31] Telemetry Group, *Telemetry Application Handbook 119-88*, Range Commanders Council, 1988
- [32] Wang Chao and Han Zhonghua, *Trajectory Clustering Method Research and Application*, TMEE, 2011
- [33] Yue Song, Peng Cheng and Chundi Mu, "An Improved Trajectory Prediction Algorithm based on Trajectory Data Mining for Air Traffic Management", *International Conference on Information and Automation*, 2012, pp.981-986.
- [34] <http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do>?(검색일: 2014.04.07)