

전구 및 유사 기상영상 관측임무와 충돌을 회피하기 위한 동서방향 위치유지기동의 시간 이동이 천리안위성 연료소모에 미치는 영향 연구

조영민*

Study of Impact on COMS Fuel Consumption by East-West Station Keeping Maneuver Time Shift to Avoid Conflict with the Observation of Full Disk or Similar Meteorological Images

Young-Min Cho*

Abstract

In the COMS satellite mission operation, more large meteorological images such as Full Disk(FD) image or 2 adjacent Extended Northern Hemisphere(ENH) images can be taken by the time shift of East West Station Keeping(EWSK) maneuver when the EWSK conflicts with the large images. In this study an analytical approach based on probability of the conflict is proposed for theoretical analysis about the EWSK time shift to avoid the conflict with FD or 2 ENH images. The EWSK time shift has been applied to the COMS operation as a test, too. The theoretical study result and test operation outcome are synthesized to provide the analysis of impact on the COMS fuel consumption by the EWSK time shift. This study is expected to contribute to the maximization of COMS meteorological mission application

초 록

천리안 위성 임무 운영 관련하여, 전구(Full Disk: FD) 영상 및 2개의 인접 확장북반구(Extended Northern Hemisphere: ENH) 영상들에 대한 기상 관측 임무와 동서방향 위치유지(East West Station Keeping: EWSK) 기동 임무가 서로 충돌할 경우, EWSK의 시간 이동을 통해 큰 기상영상들의 손실을 줄일 수 있다. 이를 위해 FD 및 2개 ENH 영상의 기상관측임무를 피하는 EWSK 시간 이동에 대해 충돌 확률을 고려한 해석적 방법을 제시하여 이론적 고찰을 수행하였으며, 천리안위성 운영에도 시험적으로 적용하였다. 이론적 고찰 결과와 시험 운영 결과를 종합하여 기상영상 회피 EWSK 시간 이동이 천리안위성 연료 소모에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 제시하였다. 본 연구 결과는 천리안 기상 임무 활용의 극대화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

키워드 : 천리안위성 (COMS), 기상 영상(meteorological image), 동서 위치 유지 기동(East West station keeping maneuver), 임무계획(mission planning), 위성 연료 (satellite fuel), 위성 운영 (satellite operation)

접수일(2012년 5월 21일), 수정일(1차 : 2012년 6월 15일, 게재 확정일 : 2012년 7월 1일)

* 정지케도위성관제팀/ymcho@kari.re.kr

1. 서 론

통신, 해양, 기상 3분야 복합 임무를 수행하는 정지궤도 위성인 천리안위성이 2003년부터 개발되어 2010년 6월 27일 오전 6시 41분 (한국시간) 아리안-5 로켓에 실려 남미 프랑스령 기아나 꾸루 발사장에서 성공적으로 발사되었다. 천리안 위성에는 3가지 임무 수행을 위해 통신탑재체, 해양탑재체(GOCI), 기상탑재체(MI)가 탑재되었다^[1-3]. 천리안 위성은 적도 약 35600km 상공 정지궤도에서 동경 128.2도에 위치하여 탑재체 임무에 대한 궤도상 시험(In Orbit Test: IOT)을 약 7개월간에 걸쳐 성공적으로 마치고^[4-6] 2011년 4월 1일부터 현재까지 정상 임무 운영 중에 있다.^[7]

위성의 임무 수행을 위해서는 지상국의 위성 관제가 필요하다. 천리안 위성은 한국항공우주연구원(항우연)의 천리안 위성 관제 시스템에 의해 관제되고 있다. 천리안 위성 관제 시스템은 비행동역학 서브시스템(Flight Dynamic Subsystem: FDS), 임무 계획 서브시스템 (Mission Planing Subsystem: MPS), 실시간 운영 서브시스템 (Real-Time Operation Subsystem; ROS), 원격측정명령송수신기(Telemetry, Tracking & Command: TT&C)로 구성되어 있다^[8,9]. 천리안 위성 임무 계획을 위해서 항우연 MPS는 기상청 국가기상위성센터로부터 기상 관측 임무 요청을 받고, 한국해양연구원 해양위성센터로부터 해양 관측 임무 요청을 받는다. 그리고 항우연 FDS로부터 위성 궤도 및 자세 제어 임무 요청을 받아 항우연 MPS에서 요청 임무들 사이 충돌을 점검하고 조정하여 일일 임무 계획을 수립하여 항우연 ROS로 전송하면 항우연 ROS에서 천리안 위성으로 일일 임무 계획 명령을 전송한다^[10].

천리안 위성은 위성 궤도 및 자세 제어를 위해 위치 유지(Station Keeping: SK) 기동(Maneuver)^[11,12]과 휠오프로딩(Wheel Off Loading: WOL)^[13,14]을 수행한다. SK는 남북방향 SK(North South Station Keeping: NSSK)와 동서방향 SK(East West Station Keeping: EWSK)의 두 가지가 있다. WOL/SK과 기상/해양 영상은

서로 동시에 수행될 수 없으며 WOL/SK 과 기상/해양 영상 일정 충돌 관리 규격에 정의된 우선 순위에 따라 어느 한 임무만 수행되도록 임무 계획이 수립된다.

천리안 위성의 기상 영상은 관측 영역에 따라 5가지로 나뉘며 전구(Full Disk: FD), 확장북반구(Extended Northern Hemisphere: ENH), 제한남반구(Limited Southern Hemisphere: LSH), 아시아 북태평양(Asia and Pacific in Northern Hemisphere: APNH), 국소지역(Local Area: LA)으로 정해져 있다^[10]. 천리안 기상 영상 활용의 극대화를 위해서 가급적 많은 전구(FD) 영상과 확장북반구(ENH) 영상의 확보가 필요하다. 이를 위해서는 일일 기상임무계획에서 전구(FD) 및 2개의 인접 확장북반구(ENH)와 같이 큰 기상 영상들이 위성 궤도 및 자세 제어 임무와 충돌로 인해 수행되지 못하는 경우를 최소화할 필요가 있다.

본 논문에서는, EWSK과 기상 영상 충돌이 발생시, 전구(FD) 영상 및 2개의 인접 확장북반구(ENH)영상들을 확보하기 위해 EWSK의 시간을 이동하는 경우에 대한 연구를 수행하였다. EWSK은 위성의 설계 및 운영 상태를 고려하여 위성 연료를 최소한으로 소모할 수 있는 최적의 시간에서 실행되도록 FDS에서 계획된다. 그런데 어떤 이유로 이 최적 시간을 변경할 경우 일반적으로 위성 연료는 추가적으로 더 소모된다. 위성이 연료를 더 소모하게 되면 위성의 임무 수명은 줄어들게 마련이다. 따라서 기상 영상과 충돌을 회피하기 위해 EWSK 시간을 이동할 경우 위성에 미치는 영향으로 위성의 연료 사용량 변화를 고려하여야 한다.

본 논문의 연구 관련하여, 궤도 모의(orbit simulation) 기법을 사용하여 천리안위성의 EWSK 금지 시간 구간 적용에 따른 연료 증가 분석^[15]이 발표된 바 있으며, 천리안위성에 대해 동서방향 위치유지 시각 변경에 따른 속도요구량 분석^[16]도 수행되었다. 참고문헌 [15]보다는 [16]이 천리안 위성 정상 운영 궤도에 대한 최근 연구 결과이면서 본 논문의 접근 방법에 유효한 결과를 제시하고 있다. 본 논문의 이론적 분석에서

는 EWSK 금지 시간 구간을 직접 적용한 궤도 모의를 수행하는 것 아니라 EWSK과 기상영상의 임무 충돌, EWSK 시간 이동, 연료 소모 증가량의 각 세부 단계별로 해석적 방법을 적용하고 세부 결과를 전체로 종합하는 접근법을 제시하여 분석 과정의 이해도를 더 높였다.

기상 영상 활용 극대화 필요성에 부응하기 위해 EWSK 시간 이동이 위성에 미치는 영향에 대한 이론적 분석 및 검토와 함께, FD 및 2개 ENH 영상과 충돌을 회피하기 위한 EWSK 시간 이동을 천리안위성 운영에 적용하여 시험 운영도 수행하였다. 이론적 고찰 결과와 시험 운영 결과를 종합하여 EWSK 시간 이동이 천리안위성의 연료 소모에 미치는 영향에 대한 결론을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 이론적 고찰

기상 관측 임무는 지구 관측을 위해 3시간 마다 전구(Global) 모드 관측을 수행하고 두 전구 모드 관측 사이 2시간 30분 동안에는 지역(Regional) 모드 관측을 수행하는 것으로 구성된다. 기상 관측 임무 정상 운영에 대한 전구모드 관측은 30분 동안에 “지구전면(FD) + 국소지역(LA)”의 2개 영상으로 운영되고 있고, 지역 모드 관측은 30분 동안에 “확장북반구(ENH) + 국소지역(LA) + 확장북반구(ENH) + 국소지역(LA)”의 4개 영상으로 운영되고 있다. 그러므로 이론적으로 가능한 지구관측 기상영상 개수 최대 한계는 하루 24시간 동안 FD는 8개, ENH는 80개, LA는 88개이다. 지구관측 이외에도 기상탐체제 가시광선 채널의 복사 성능 점검을 위해 알베도 모니터링(Albedo Monitoring)을 하루에 1번 (21시30분 경 UTC)수행하고 기상탐체제 성능 변화 관측을 위해 달 관측과 우주 암흑 관측이 주기적으로 수행된다. 알베도 모니터링, 달 관측, 우주 암흑 관측이 수행될 때 해당 시간의 지구관측 기상영상(FD, ENH, LA)은 촬영되지 못 한다.

천리안 위성 관제에서는 일반적으로 위성 자

세 및 궤도 제어를 위해서 하루에 WOL을 2번 수행하고 일주일에 NSSK과 EWSK을 각각 1번씩 수행한다. MPS는 FDS로부터 WOL과 SK에 대한 임무 일정 정보를 받는다. 하루 24시간 중에서 EWSK가 수행될 수 있는 시간대는 WOL/SK 과 기상/해양 영상 일정 충돌 관리 규격에 정의된 우선 순위에 따라 결정된다. 기상 관측 임무 정상 운영에 대해, EWSK가 수행될 수 있는 시간대에서 EWSK이 FD 및 2개 ENH 영상과 충돌할 수 있는데 이 경우 EWSK 시간을 조금 이동하여 EWSK이 근처의 1개 ENH 또는 ‘1개 ENH + 1개 LA’와 충돌하도록 하면 EWSK이 FD 및 2개 ENH 영상과 충돌하는 경우를 피할 수 있다. 이렇게 하면 최종적으로 이동된 EWSK가 수행될 때 1개 ENH또는 ‘1개 ENH + 1개 LA’만이 촬영되지 않게 되어 작은 영상의 희생으로 큰 영상의 손실을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 해석적 방법을 통해 이론적 고찰을 수행하고자 한다. 기상영상회피 EWSK 시간이동에 대한 연료 소모량 분석은 EWSK 임무와 기상영상 관측임무의 충돌 확률 산출, EWSK 시간 이동 계산, 연료 소모량으로 변환의 3가지 세부 단계로 나누어 볼 수 있다. 각 세부 단계의 결과를 전체로 종합하면 원하는 연료 소모량 분석 결과를 얻을 수 있다.

천리안위성 임무 수명 기간 동안 위성 전체 연료 소모량에 대한 EWSK 시간 이동의 연료 추가 소모량 비율을 ρ 라고 정의하면 ρ 는 식(1)로부터 구할 수 있다.

$$\rho = P\Delta tRE \quad (1)$$

여기서, P 는 기상영상과 EWSK의 임무충돌 발생 확률이고, Δt 는 EWSK의 1회 충돌회피 평균이동시간, R 은 EWSK 이동 시간당 추가연료 소모율, E 는 전체 연료 소모량에 대한 EWSK의 연료소모량 비율이다.

기상영상과 EWSK의 임무충돌 발생은 기상영상의 촬영 작동 시간과 EWSK 소요 시간이 서로 겹치는 것을 의미한다. 그러므로 기상영상과

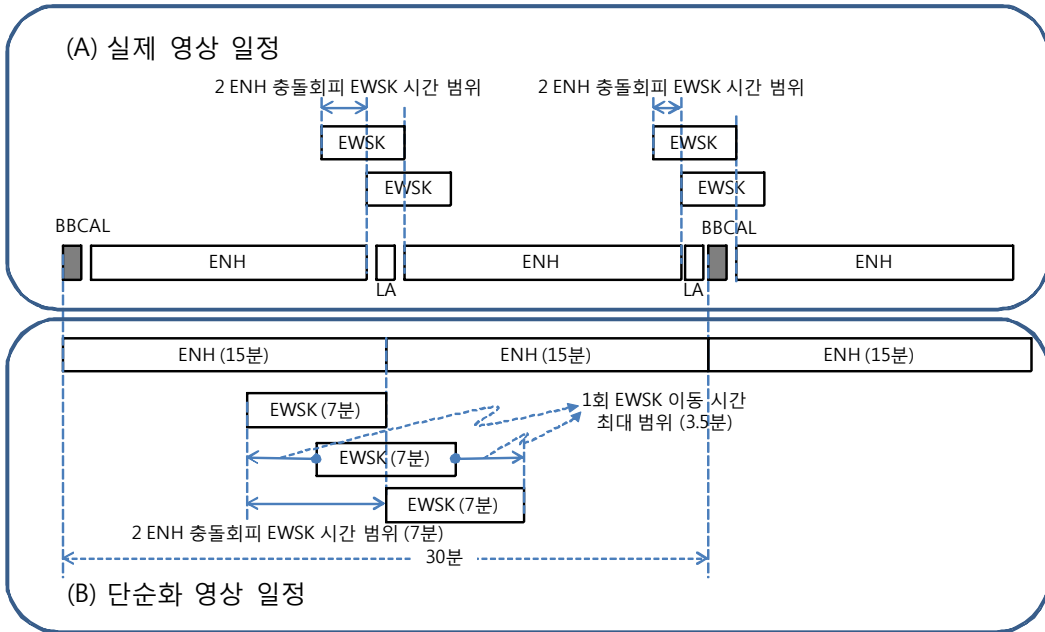


그림 1. 2개 ENH 영상의 충돌에 대한 EWSK 충돌 회피 개념도

EWSK의 임무충돌 발생 확률(P)은 기상영상의 촬영 작동 시간과 EWSK 소요 시간이 겹치는 시간대가 하루 24시간에서 발생할 수 있는 확률이다. EWSK의 1회 충돌회피 평균이동시간(Δt)은 FD 또는 2개의 ENH 기상영상 관측임무와 EWSK 임무가 서로 충돌했을 때 충돌을 피하기 위해 EWSK를 이동시켜야 하는 평균 시간이다. EWSK 이동 시간당 추가연료 소모율(R)은 EWSK 최적 시간으로부터 EWSK 시간을 이동시킬 경우 이동 시간에 따른 소모 연료량의 증가율을 이동 시간으로 나눈 값이다. 여기서 소모 연료량의 증가율은 최적시간 EWSK 소모 연료량에 대한 'EWSK 시간 이동으로 인해 추가로 요구되는 연료 소모량'의 비율이다. EWSK 이동 시간당 추가연료 소모율 관련하여 2개의 기존 연구^[15,16]가 있으며, 본 논문에서는 천리안 위성 정상 운영 궤도에 대한 최근 연구 결과이면서 본 논문의 접근 방법에 유효한 '동서방향 위치유지 시각변경에 따른 속도요구량 분석'^[16]을 참조하고자 한다. [참고문헌 16]에 의하면, FDS에서 계산한 EWSK 최적 시간으로부터 EWSK 시간을 이동

시킬 경우, 이동 시간에 따른 속도 증분(Delta Velocity) 요구량 차이는 최적 EWSK 연료 소모량 대비 7.7%/12시간=0.64%/시간이다. 속도 증분이 작을 경우 연료소모량은 속도 증분에 직접 비례하므로, 근사적으로 EWSK 이동 시간당 추가연료 소모율(R)은 최적 EWSK 대비 0.64%/시간으로 간주할 수 있다. 이처럼 EWSK 시간 이동에 의한 속도 증분에 대해 [참고문헌 16]을 참조하므로 본 연구에서 적용되는 천리안 위성 질량, 경도 위치, 궤도 이심률, 태양풍 압력, 동서방향 위치유지 조건 등의 궤도 역학 조건은 [참고문헌 16]과 동일하다.

위성 전체 연료 소모량에 대한 EWSK의 연료 소모량 비율(E)은 FDS에서 천리안 위성 원격측정 자료를 분석을 통해 위성 발사 이후 최근까지 위성 연료량 소모를 추정하여 구할 수 있다. 천리안 위성의 전체 연료 소모 대비 EWSK의 연료소모율은 약 6%이다.

계산의 편의 도모, 분석 마진 확보 그리고 최악 조건 고려 등을 감안하여 FD 촬영 작동 시간은 30분, ENH 촬영 작동 시간은 15분, EWSK

표 1. FD 및 2개 ENH 와 EWSK 충돌에 대한 충돌 확률, 시간 이동, 연료소모 분석

분석 요소	FD 충돌	2 ENH 충돌
충돌 확률 (P)	0.077	0.263
EWSK의 1회 충돌 회피 평균이동시간 (Δt)	9.25분	1.75분
EWSK 이동 시간당 추가연료 소모율 (R)	0.64%/시간	0.64%/시간
전체 연료 소모량에 대한 EWSK의 연료소모량 비율 (E)	6%	6%
위성 전체 연료 소모량에 대한 EWSK 시간 이동의 연료 추가 소모량 비율(ρ)	0.00046%	0.00029%

소요 시간은 7분으로 가정하고 그림 1과 같이 기상영상 관측 일정을 단순화시켜 식(1)의 적용을 고려하였다. 논문 지면의 원활한 활용을 위해 FD 영상 충돌 경우에 대한 개념도는 생략한다. EWSK의 최적 실행 시각은 확률적으로 하루 24시간 동안 균일하게 분포한다고 가정한다. 단순화된 기상 관측 임무 정상 운영 일정에 대해 식(1)로부터, FD 및 2개 ENH 기상영상 충돌회피 수행시, 천리안위성 임무 수명 기간 동안 위성 전체 연료 소모량에 대한 EWSK 시간 이동의 연료 추가 소모량 비율을 구하였고 표 1에 제시하였다. 이론적으로 FD 및 2개 ENH 영상과 EWSK 충돌 회피에 따른 추가 연료 소모량은 임

무수명 전체 연료 소모량의 0.00075% 정도가 될 것이며 아주 작은 값이어서 무시 가능함을 알 수 있다. 이것은 동서방향의 위치유지를 위한 연료 소모 자체가 전체 위성연료의 6%로 작고 EWSK 이동 시간 자체도 조금이기 때문에 EWSK 이동 시간으로 추가되는 연료소모량이 임무수명 전체 연료소모에 미치는 영향 또한 아주 미소하는 것을 의미한다. 한편, 동서방향 위치유지의 시간 이동으로 인해서 이심율벡터의 진화방향이 최적의 방향과는 달라질 수 있기 때문에 이심율 벡터의 진화원(evolution circle)이 매끈해지지 않고 지그재그가 될 수 있다. 그러나, 본 논문에서 고려하는 EWSK 이동 시간(표 1)은 작은 값이어서 이심율 변화는 미미하고, 본 논문에서 사용한 'EWSK 이동 시간에 따른 속도 증분 요구량'은 [참고문헌 16]에 의하면 천리안위성의 동서방향 위치유지 이심율 한계값을 고려하여 계산된 값이기 때문에, 본 논문의 EWSK 시간 이동에 따른 연료 추가 소모(표 1)에 있어서 발생하는 이심율 벡터의 변화는 천리안위성의 동서방향 위치유지 요구 충족에 전혀 지장을 주지 않는다.

2.2 천리안위성 시험 운영 결과

2011년 7월 21일부터 FD 및 2개 ENH 영상과 충돌을 회피하기 위한 EWSK 시간 이동을 천리안위성 운영에 시험적으로 적용하였다. 시험 운영 첫 날 실제로 이 두 임무들간 충돌이 발생하여 충돌회피 운영을 수행하였다. 이 날 FDS에서 계산된 EWSK 최적 시작 시간은 10:11:13 (UTC) 이었는데, 이 최적 EWSK이 2개의 연속된 지역 모드관측 임무 모두에 걸치게 되어 2개 ENH 영상 관측임무와 충돌하기 때문에, EWSK 시작 시간을 10:05:07(UTC)로 이동하고, 변경된 EWSK와

표 2. 기간별 천리안 위성 EWSK 연료 소모량

구분	기간	EWSK 연료 소모 상대량	증감
시험 4개월	2011년 7월21일~11월17일 (약 4개월)	100%	기준
직전 4개월	2011년 3월10일~7월14일 (약 4개월)	78%	-22%
전년 동기	2010년 7월20일~11월18일 (약 4개월)	123%	23%

충돌하는 1개의 ENH 영상 관측임무를 당일 임무계획에서 삭제하여 천리안위성을 운영하였다. 약 4개월간의 시험 운영 결과 분석을 위해 본 논문에서는 2011년 11월 17일을 기준으로 정하고 이 날짜까지의 시험 운영 결과를 분석하였다.

EWSK 시간 이동에 따른 위성 연료 사용량 변화 분석에 앞서, 먼저 발사후 EWSK 수행 전체 연료 소모량을 검토하였다. 천리안 위성 발사 이후 본 논문 기준일 2011년 11월 17일까지 약 1년 4개월 동안 천리안 위성 EWSK 수행 내역을 검토한 결과, 대략적으로 IOT 기간 동안 연료가 조금 더 많이 소모되었으며 위성 전체 연료 소모량에서 EWSK의 연료 소모량이 차지하는 비율은 6%로 작음을 알 수 있었다.

기상 영상과 충돌을 회피하기 위한 EWSK 시간 이동이 위성 연료 소모에 미치는 영향을 분석하기 위해서는, 시험 운영 결과에 대해 EWSK 연료 소모량의 연중 변화 및 IOT 기간 특성에 의한 영향을 고려하여야 한다. EWSK 시간 이동 시험 운영 기간 (시험 4개월) 동안의 EWSK 연료 소모량과 함께 직전 4개월 및 전년 동기 동안의 EWSK 연료 소모량 변화를 표 2에 제시하였다. 시험 4개월 동안에 직전 4개월 동안보다는 EWSK 연료 소모량이 약 22% 증가하였으며 전년 동기 동안보다는 EWSK 연료 소모량이 약 23% 감소하였다. 직전 4개월 대비 시험 4개월 동안에 EWSK 연료 소모량이 약 22% 증가한 것은 2가지 요인으로 추정할 수 있다. 하나는 EWSK 시간 이동에 따른 연료 소모 증가이고 또 다른 하나는 계절적 요인 등에 기인한 자연스러운 연중 변화로 인해 발생한 연료 소모 증가이다. 본 논문 기준일 시점에서 아직은 천리안 위성 운영 기간이 1년 4개월로 연중 변화를 확인하기에 충분히 길지 않기 때문에 EWSK의 연료 소모량의 연중 변화 특성을 분명히 시험운영으로 검증할 수는 없다. 충분한 연중 변화 특성을 검증하기 위해서는 아마도 3~5년의 긴 시간이 필요할 것이다. 전년 동기 대비 시험 4개월 동안에 EWSK 연료 소모량이 약 23% 감소한 것은 IOT 기간 동안보다는 정상 운영 동안에 위성 운영이 더 안정화되었기 때문인 것으로 해석되어야 할

것이다. 시험 4개월 동안에 전년 동기 동안보다 EWSK 연료 소모량이 23% 썩이나 상당히 감소한 것 EWSK 시간 이동에 따른 연료 소모 증가가 있다고 하더라도 그 양이 크지 않다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

앞 절의 이론적 고찰 결과에서 EWSK 시간 이동이 천리안위성의 연료 소모에 미치는 영향은 무시할 정도로 작다. 이 점을 고려하면 표2의 직전 4개월 대비 시험 4개월의 EWSK 연료 소모량 증가는 연중 변화에 따른 것이며, 전년 동기 대비 최근 4개월의 EWSK 연료 소모량 감소는 IOT와 정상운영의 차이를 의미하며 결론적으로 시험운영 결과도 EWSK 시간 이동에 따른 추가 연료 소모 증가는 무시 가능하다는 것을 보여주는 것이라고 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 EWSK과 기상 영상 충돌이 발생시 전구(FD) 영상 및 2개의 확장북반구(ENH) 영상들을 확보하기 위해 EWSK의 시간을 이동하는 경우에 위성 연료 소모에 미치는 영향이 어떻게 되는지를 연구하였다.

본 논문의 이론적 분석에서는 EWSK과 기상영상의 임무충돌, EWSK 시간 이동, 연료 소모 증가량의 각 세부 단계별로 해석적 방법을 적용하고 세부 결과를 전체로 종합하는 해석적 접근법을 제시하여 분석 과정의 이해도를 더 높였다. 이론적으로 FD 및 2개 ENH 영상과 EWSK 충돌 회피에 따른 추가 연료 소모량은 임무수명 전체 연료 소모량의 0.00075% 정도가 될 것이며 무시 가능함을 알 수 있다.

이론적 분석 및 검토와 함께, FD 및 2개 ENH 영상과 충돌을 회피하기 위한 EWSK 시간 이동에 대해 천리안위성 시험 운영도 약 4개월 동안 수행하였다. 이론적 고찰 결과와 시험 운영 결과를 종합하여 EWSK 시간 이동이 천리안위성의 연료 소모에 미치는 영향을 분석한 결과, 시험운영 결과도 EWSK 시간 이동에 따른 추가 연료 소모 증가는 무시 가능하다는 것을 보여주는 것

이라고 판단할 수 있다.

본 연구 결과는 전구(FD) 및 2개의 확장복반구(ENH)와 같이 큰 기상 영상들이 위성 궤도 제어 임무와 충돌로 인해 수행되지 못하는 경우를 최소화하는 데 적용할 수 있고 천리안 기상 임무 활용의 극대화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

천리안위성은 교육과학기술부, 기상청, 국토해양부의 재정 지원을 받아 한국항공우주연구원, 기상청, 한국해양연구원, 한국전자통신연구원의 협력을 통해 운영되고 있습니다. 본 연구는 그 결과물의 일부로서 정부의 지원과 관련 기관의 협력에 감사드립니다. 아울러 한국항공우주연구원 천리안위성 관제 인원들의 열정과 노고에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Cho, Y. and Youn, H., "Characteristics of COMS Meteorological Imager", Proceedings of SPIE Vol. 6361, 2006, p. 63611G
2. Kim, H., G. Kang, B. Ellis, M. Nam, H. Youn, F. Faure, P. Coste, and P. Servin, "Geostationary Ocean Color Imager (GOCI), Overview and Prospect", Proceedings of 60th International Astronautical Congress, Daejeon, Republic of Korea, Oct. 12-16, 2009, IAC-09.B1.3.9, pp. 1-11
3. 이성팔, 조진호, 유문희, 최장섭, 안기범, "천리안 위성 Ka 대역 통신탑재체시스템 기술", 통신위성우주산업연구회논문지, 제5권, 제2호, 2010, pp. 75-81
4. Kim, H., Y. Kim, Y. Cho, G. Kang, D. Lee, and Y. Chang, "On COMS Optical Sensors and Their Applications", Proceedings of 2010 International Symposium on Remote Sensing / 2010 International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics, Jeju, Republic of Korea, Oct. 27-29, 2010, pp. 271-274.
5. 유문희, 조진호, 이성팔, 김재훈, "천리안통신 위성 궤도내시험", 통신위성우주산업연구회논문지, 제6권, 제1호, 2011, pp. 109-114
6. Cho, Y., "Earth Observation Mission Operation of COMS during In-Orbit Test", Proc. of Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XV, Prague, Czech Republic, Sep. 19-22, Proc. of SPIE Vol. 8176, 2011, pp. 817626-1~10.
7. 조영민, "천리안위성 지구관측임무 정상운영 소개", 2012 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, 무주, 3월29-30일, 통권15호, 2012, pp. 17-24
8. 이병선, 김인준, 이수전, 황유라, 정원찬, 김재훈, 김해연, 이훈희, 이상철, 조영민, 김방엽, "발사 후 3개월간의 궤도 내 시험을 통한 통신해양기상위성 관제시스템의 운용검증", 통신위성우주산업연구회논문지, 제6권, 제1호, 2011, pp. 37-44
9. 이상철, 엄용현, 조영민, 박봉규, 김방엽, 양군호, 천용식, 박철민, 한치승, 석진영, "천리안 위성의 실시간 운용업무 소개", 한국항공우주학회 2011년도 춘계학술발표회 논문집, 경주, 4월13일-15일, 2011, pp. 1207-1211
10. 조영민, 이상철, 김방엽, "천리안위성 관제의 임무 계획 소개", 2011 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, 경주, 3월24-25일, 통권14호, 2011, pp. 110-114
11. Lee, B.-S., Y. Hwang, H.-Y. Kim, and S. Park, "East-West Station-Keeping maneuver strategy for COMS satellite using iterative process", Advances in Space Research, Vol. 47, Iss. 1, 2011, pp. 149-159
12. 이상철, 조영민, 박영웅, 박봉규, 김방엽, 양군호, 천용식, "천리안위성 남북위치유지 기동 운용 소개", 한국항공우주학회 2010년도 춘계학술발표회 논문집(II), 제주, 11월11-12일, 2010, pp. 1068-1071

13. 이상철, 박봉규, 김방엽, 주광혁, 박영웅, “월 오프로딩을 고려한 동서 위치유지 기동 계획 연구”, 한국항공우주학회지, 제34권, 제9호, 2006, pp. 60-66
14. 박봉규, 박영웅, 이상철, “통신해양기상위성 (COMS)의 모멘텀 덤핑 최적 추력기 선택”, 한국항공우주학회지, 제34권, 제11호, 2006, pp. 54-60
15. Park, B., S. Lee, K. Yang, "COMS East/West Stationkeeping Fuel Consumption Considering Mandatory Observation Time Slots Of Optical Payloads", Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2007, Jeju, Republic of Korea, Oct. 31 - Nov. 2, 2007, pp. 166-170.
16. 이병선, “동서방향 위치유지 시각 변경에 따른 속도요구량 분석”, TM, 대전, 한국전자통신연구원, 2012, pp.1-12