

족하는 계획된 목표궤도인 기준궤도를 설계하였다. 기본적으로 기준궤도는 임무 설계 시 완전한 주기성이 고려된 최대한 실제에 가까운 궤도이기 때문에 지구중력장 모델만을 고려하여 간략하게 설계하였다. 둘째, 실제의 인공위성의 궤도는 계획된 기준궤도를 유지해야 하지만 시간에 따라 섭동력의 영향을 받아 계획된 궤도로부터 벗어나게 된다. 기준궤도로부터 실제궤도가 얼마나 벗어나는지에 대한 정량적 분석을 위해 지구 중력장, 달-태양 중력, 대기저항력, 태양복사압, 조석력 등과 같은 다양한 섭동력의 영향에 대한 분석을 수행하였다. 셋째, 반경방향(radial), 진행방향(along-track), 교차방향(cross-track)의 세 방향의 성분으로 구성된 우주공간오차(Space Error) 개념을 적용하여, 투영된 지상궤적에 상응하는 오차를 계산하는 것 보다 안정적으로 오차를 계산하였다. 또한 운용요구사항에 따라 허용된 범위 내에서 궤도를 유지하기 위해 GVE(Gauss Variation Equation)을 이용한 궤도조정을 수행하였다. 섭동력의 분석 결과로부터 지구대기저항력, 달-태양 중력으로 인해 가장 두드러지는 장반경과 궤도이심률의 변화를 조정하기 위해, 임무에 사용되는 추력기의 연료 효율을 고려하여 동결궤도가 유지될 수 있는 최적의 위도이각에서 In-plane에 대한 궤도조정만을 수행하여 장반경과 이심률을 동시에 조정하였다. 지구대기와 태양활동의 영향으로 시간에 따른 장반경의 변화율에 따라 궤도조정 주기를 가지는 것을 알 수 있었고, 이 변화율 때문에 생기는 우주공간오차의 증가를 보정하여 위성의 지상궤적을 목표범위 안에서 유지할 수 있었다.

**[V-2-2] 달궤도선 임무 해석을 위한 궤도전파기 개발 및 궤도선의 수명 분석**

송영주<sup>1</sup>, 박상영<sup>1</sup>, 최규홍<sup>1</sup>, 김해동<sup>2</sup>, 심은섭<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주비행제어 연구실,  
<sup>2</sup>한국항공우주연구원

미래 한국의 달궤도선 임무에 대비하여 달 근접 궤도 전파기인 (orbit propagator) YSPLOP ver. 1(Yonsei Lunar Precise Orbit Propagator version 1)을 개발 하였다. 개발된 궤도 전파기의 성능은 상용 소프트웨어인 STK Astrogator를 이용하여 검증되었다. 개발된 궤도 전파기를 이용, 달 궤도선의 운용에 있어서 다양한 섭동력들이 궤도선의 수명(orbital decay)에 미치는 영향을 분석하였다. YSPLOP ver. 1은 정밀한 달 중심 탐사선의 위치 산출을 위하여 M-EME2000 (Moon-Centered, Earth Mean Equator and Equinox of J2000) 좌표계, M-MME2000 (Moon-Centered, Moon Mean Equator and IAU vector of epoch J2000) 좌표계 그리고 M-MEPMO (Moon-Centered, Moon Mean Equator and Prime Meridian) 좌표계를 이용하여 탐사선의 상태(state) 정보를 산출한다. 또한 태양, 지구, 달, 화성, 목성의 중력에 의한 섭동력 및 태양풍에 의한 영향을 포함할 수 있도록 설계되었으며, 달 근접 궤도선의 궤도 운동에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 섭동력인 달의 비대칭 중력장에 의한 영향 또한 고려하도록 하였다. 달의 비대칭 중력장 모델(Lunipotential model)은 LP165p 모델이 사용되었으며 행성의 정밀한 위치 산출을 위하여 JPL의 DE405 천체력이 사용되었다. 개발된 궤도 전파기를 이용, 달고도 100 km, 궤도 경사각 90°인

달 중심의 극궤도를 약 30일 동안 전파한 결과, YSPLOP ver. 1의 성능은 STK Astrogator와 비교하여 보았을 때 약 수 m의 오차를 보이는 것으로 확인되었다. 달의 극궤도 탐사선의 궤도 수명을 분석한 결과, 최소한 달의 비대칭 중력장이 70 by 70 이상으로 고려되어야 함을 확인하였으며 이때 달 궤도선의 수명은 약 160일로 나타났다. 아울러 달 근접 환경에서의 지구 중력에 의한 섭동력은 달 궤도선의 운동에 있어서 무시 할 수 없는 정도의 많은 영향을 끼치고 있음을 확인하였다. 이 연구를 통하여 개발된 궤도 전파기는 미래 한국의 달 궤도선 및 착륙선의 임무 설계시 사용 될 수 있다. 또한 이 연구에서 제시된 달 근접 환경에서의 다양한 섭동력들이 달 궤도선의 운동에 미치는 영향에 대한 해석 결과는 추후 달 근접 임무 설계시 고려되어야 하는 섭동력들의 기본 사양을 제공할 것이다.

**[V-2-3] 대전 지상국의 가시성을 고려한 달천이(TLI) 및 달포획(LOI) 기동의 달탐사 최적 궤적 설계**

우진<sup>1</sup>, 송영주<sup>1</sup>, 박상영<sup>1</sup>, 최규홍<sup>1</sup>, 김해동<sup>2</sup>, 심은섭<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주비행제어 연구실,  
<sup>2</sup>한국항공우주연구원

이 연구에서는 달천이(TLI: Trans Lunar Injection) 및 달포획(LOI: Lunar Orbit Injection) 기동 시 대전 지상국의 가시성을 고려한 최적의 임무를 설계하였다. TLI 기동은 탐사선이 지구 주차궤도에서 지구-달 천이궤적으로 진입하기 위하여 주어지는 기동이며, LOI 기동은 탐사선이 지구-달 천이궤적에서 달의 중력권으로 진입하기 위하여 주어지는 기동이다. TLI 및 LOI 기동 시 대전 지상국에서의 가시성의 확보는 실제적인 미래 한국의 달 탐사를 대비하였을 때 중요한 요소이다. 따라서 이 연구에서는 TLI 및 LOI 기동 시 대전 지상국에서의 가시성을 모두 고려하여, 최소연료로 지구 주차궤도에서 달 임무궤도 진입까지의 모든 단계에 대해 임무설계를 실시하였다. TLI 및 LOI 기동 시 추력은 순간 추력(Impulsive thrust)로 가정하였으며, KSLV-II 발사체의 성능을 적용하여 설계하였다. 임무 설계 시 태양, 지구, 달의 섭동력을 고려한 N체 운동 방정식을 탐사선에 적용하였으며, 지구의 비대칭 중력장, 태양 복사압, 달의 J2 섭동에 의한 영향도 고려하였다. JPL의 정밀 천체력인 DE405를 사용하였고, 상용 소프트웨어인 SNOPT(Spares Nonlinear OPTimizer)를 이용하여 비행 궤적의 최적해를 도출하였다. 임무 설계 결과를 통해, 대전 지상국의 가시성을 고려한 TLI 및 LOI 기동의 크기에 의한 임무 설계의 분석을 수행하였다. 또한 최적화된 달 탐사 임무의 단계별 기동의 크기와 지구-달 천이 궤적의 형상 및 다양한 임무 요소들의 해석을 도출하였다.

**[V-2-4] NORAD TLE 및 정밀 궤도정보를 이용한 운용위성-우주파편 간의 충돌 불확실성 해소 방안**

최수진, 정옥철, 김해동, 정대원, 김학정  
 한국항공우주연구원

인류가 위성을 발사하기 시작하면서 수많은 우주파편이 발생하게 되었고 이로 인하여 우주파편 환경은 날이 갈수록 심각해지

고 있다. 우주공간을 비행하는 우주물체는 분쇄된 파편, 임무 관련 파편, rocket body 그리고 운용위성으로 구분된다. U.S. Space Surveillance Network에 따르면 10cm 이상 크기를 갖는 물체는 현재 13,000개가 넘는다고 알려지고 있고 질량만 해도 6,000톤이 넘는다. 이런 우주파편 환경으로 인하여 우주파편 간의 충돌, 우주파편과 운용위성 간의 충돌 또는 운용위성 간의 충돌에 대한 우려가 꾸준히 제기되어왔고, 불행하게도 2009년 2월 10일 Iridium 33과 Cosmos 2251 위성이 고도 790km 부근에서 충돌하여 1,300여개의 우주파편이 발생했다. 또한 2007년에 중국이 고도 860km 부근에서 750kg에 해당하는 자국의 위성 (FY-1C)을 미사일로 격추시킴에 따라 2500여개의 우주파편이 발생하여 저궤도의 우주파편 환경을 더욱 심각하게 만들고 있다. 운용위성과 우주파편과의 충돌 가능성을 분석하기 위해서는 우주파편 및 위성의 궤도정보를 알아야 한다. 이를 위해서 NORAD(North American Aerospace Defense Command)에서 제공하는 TLE(Two Line Element)가 주로 이용된다. 하지만 관측 및 궤도 결정 특성상 수 km의 오차를 포함하므로 궤도정보의 공분산이 크다는 단점이 있으므로 충돌 분석을 수행하는데 있어 한계가 있다. 이 논문은 충돌분석 수행에 있어 TLE 정보만을 이용한 경우뿐만 아니라 정밀궤도와 TLE를 동시에 이용한 경우를 비교함으로써 충돌 불확실성의 해소방안을 제시할 계획이다.

**Session : 우주측지**  
**10월 30일(금) 15:45 - 17:00 제2발표장**

**[VI-2-1] IVS통합분석센터 운영전략**  
 광영희<sup>1,2</sup>, 조정호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 우주계측정보공학과, <sup>2</sup>한국천문연구원

한국천문연구원은 2008년 10월 IVS(International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) 통합분석센터로 선정되어 현재 정규운영을 위한 준비 작업을 진행하고 있다. IVS 통합분석센터는 개별 IVS 분석센터에서 산출한 산출물을 통합하여 개별 분석센터 산출물의 품질을 검증하고 국제 지구기준좌표계 구성에 필요한 입력 데이터를 제공하는 기능을 한다. 이 연구에서는 IVS통합분석센터로서의 역할과 향후 IVS 통합분석센터의 운영계획에 대해 초점을 맞춘다. VLBI 산출물 통합을 위해 다른 IVS 통합분석센터와 차별화하여 GPS 자료처리 소프트웨어 Bernese 5.0에서 제공하는 정규방정식 단계 통합 프로그램인 ADDNEQ2를 활용할 계획이다. 이와 관련하여 VLBI 데이터 처리에 적합하도록 ADDNEQ2를 수정 보완한 사항과 수정된 ADDNEQ2로 통합한 예비 결과에 대해 집중적으로 논의한다. 이와 더불어 산출한 예비 결과를 각 개별 IVS 분석센터 산출물을 바탕으로 비교 검증한 결과를 소개한다.

**[VI-2-2] GPS 신호의 전파염폐(Radio Occultation)방법을 이용한 연직 수증기량 산출**  
 노경민<sup>1</sup>, 조정호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원 우주측지연구그룹

저궤도위성에서 수신한 지구대기에 의해 염폐된(Occulted) GPS 신호를 이용한 연직 수증기량 산출에 관해 다루었다. 전파염폐(Radio Occultation) 기법은 원래 행성대기에 의해 염폐된(Occulted) 별빛을 이용하여 행성의 대기를 분석하는데 사용되던 기법을 일컫는 말로 최근엔 GPS를 이용한 지구대기 분석에 활용되고 있다. 1995년 GPS/MET 위성을 통해 처음으로 GPS 전파염폐 기술을 통한 대기정보의 연직분포를 산출하였고, 현재는 COSMIC 위성군을 비롯해 많은 저궤도위성에서 GPS 전파염폐 기술을 통해 온도, 압력, 습도 등의 연직분포를 산출하고 있다. 이 중 연직 수증기량 분포는 기상예보를 위한 수치모델(Numerical Weather Model)에서 매우 중요한 초기 값이다. GPS 전파염폐 기술을 통한 연직수증기량 산출은 라디오존데(Radiosonde)나 마이크로미터와 같은 연직수증기량 관측기의 검증 및 상호 통합활용이라는 측면에서 활용가치가 매우 높다. 특히, GPS 전파염폐 기법은 시공간적 제약이 상대적으로 전 지구적인 기후분석에는 적합한 기법으로 주목을 받고 있다. 이 연구에서는 COSMIC에서 제공하는 굴절각(Bending Angle)정보를 이용하여 연직 수증기량을 산출하는 알고리즘을 구현하였다. 또한 천문원이 보유하고 있는 마이크로미터에서 산출한 가강수량과의 비교-검증하기 위한 방안을 도출하였다. 이 연구결과는 현재 진행 중인 다목적실용위성 5호의 전파염폐용 수신기의 활용에 기여할 것으로 기대된다.

**[VI-2-3] 다년간(2000-2008) GPS 자료를 이용한 가강수량의 연간변화경향 분석**

손동호<sup>1</sup>, 조정호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

우주측지 정밀도 향상을 위해 대류층 지연오차의 정확한 산출은 필수적이다. 한국천문연구원은 GPS 자료를 이용하여 대류층 지연오차 요인인 대기 중의 수증기량을 정확히 산출하는 연구를 수행하고 있다. 또한, 1999년부터 GPS 관측을 시작한 이래로 10년 이상의 연속 관측자료를 보유하고 있다. 이 연구에서는 2000년부터 2008년까지 한국천문연구원의 GPS 상시관측소 5곳(서울, 대전, 목포, 밀양, 속초)의 GPS 가강수량을 산출하고 이들의 다년간 변화경향을 분석하였다. 산출된 GPS 가강수량을 라디오존데 관측값과 비교하여 신뢰도 검증하였다. 선형회귀방법을 통하여 GPS 가강수량에 대한 경향을 분석하면 관측 지역마다 기술기의 차는 있으나 전체적으로 시간이 지날수록 GPS 가강수량이 증가하는 경향을 보였다. 해당 기간동안 GPS 가강수량의 연간 변화량은 평균 0.20mm 증가하였고 목포의 경우 0.25mm로 가장 큰 변화량을 보였으며 서울이 0.16mm로 가장 작은 변화량을 보였다. 여름철 연간 변화량은 평균 0.32mm 증가하였고 겨울철은 평균 0.08mm 감소하였다. 일반적으로 기온이 상승하면 상대습도가 내려가 수증기의 증발이 활발해져 대기 중의 수증기량이 증가한다. 최근 10년간 기상청의 기온은 매해 평균 0.16℃씩 증가하였으며 대기 중의 수증기량과 직접적으로 연관되어 있는 GPS 가강수량의 변화 경향과 유사함을 확인하였다.