

# 가상은하2로 최대 210kg 위성을 궤도에 올려

▶ 조선중앙통신은 '국기우주개발전망 계획에 따라 지난 2009년 4월 5일 함경북도 화대군 무수단리에서 운반로켓 은하2호로 인공위성 광명성 2호를 발사해 궤도에 진입시키는데 성공했다'고 보도했다. (연합포토)

재구성한 가상은하2의 특성 표에서 진한 글씨로 표시한 Ms1, Ms2, Msh, Mtw 및 발사중량 Mt 등은 아직 모르는 양이고, 이들 5개의 미지수를 정하는 것이 은하2를 역설계하는 것과 같다. 5개의 미지수를 정하기 위해 우리가 쓸 수 있는 조건은 연소종료된 제1단의 낙하점 540km, 제2단의 낙하점 3천846km, 궤도진입속도 7.87km/s, 이륙초기 가속도 0.345g과 궤도 경사각 40.6° 등이다.

## 가상은하2의 역설계

정밀한 수치계산을 통해 가상은하2를 역설계하는 대신 가장 기본적인 '치올코프스키 로켓방정식'과 탄도비행하는 물체의 '최대사거리 공식' 등을 이용한 약식계산으로 가상은하

2의 제원을 개략적으로 정할 수 있다. 그러나 약식계산을 위해서는 몇 가지 가정을 할 필요가 있다. 첫째 제1단 엔진이 연소 종료될 때 로켓은 대략 50~60km 고도에 이르고 진행방향으로도 발사지점에서 50여km 떨어진 곳에 있다고 가정한다. 따라서 연소종료 점에서 제1단의 탄착점까지 지표면을 따라 켜진 거리는 490km가 된다.

같은 맥락에서 제2단의 연소종료지점의 위치는 진행방향으로 수평거리 300km, 고도 300km 지점으로 가정한다. 따라서 제2단은 연소종료지점에서 진행방향으로 3천545km를 더 비행하고 바다에 낙하했다는 뜻이 된다. 연소종료된 1단이 연소종료지점으로부터 490km 떨어진 곳에 낙하했다는 조건은 실질적인 1단



글 정규수 박사

root20@kornet.net

글쓴이는 서울대학교 물리학과 졸업 후 피츠버그대학교에서 박사학위를 받았으며, 국방과학연구소에서 30년간 연구원으로 근무 후 2006년 정년퇴직했다.



알려진 데이터를 이용해 재구성한 가상은하2의 특성

		만재중량(톤)	공중량(톤)	연소후중량(톤)	추력(톤)	비추력(초)	연소시간(초)
제1단	보강된 DF-3A	62.10+Ms1	4.1+Ms1	4.65+Ms1	112.00	243.0	125.0
제2단	보강된 R-27K	13.25+Ms2	1.05+Ms2	1.15+Ms2	29.60	296.0	120.3
제3단	R-27K 보조엔진	3.10	0.28	0.36	3.17	220.2	>190.3
보호덮개		Msh	-	-	-	-	-
투사량		Mtw	-	-	-	-	-
은하2 이륙중량		Mt	Mt=80.45+Ms1+Ms2+Msh+Mtw				

1단과 2단의 충돌지점, 궤도 진입속도, 초기 가속도, 궤도경사각 데이터를 사용해 진한 글씨로 쓴 보강 구조물, 연결부, 보호덮개, 발사중량 및 투사량의 중량을 결정해야 한다.

은하2 로켓이 만족해야 할 성능 특성

연소종료속도(km/s)			이륙중량 Mt(톤)	Ms1+Ms2+Msh+Mtw(톤)
1단	2단	3단		
2.03	4.87	7.87	83.27	4.82

모터의 연소종료속도가 2.03km/s 전후가 돼야 함을 의미하고, 2단 모터 낙하지점이 연소종료지점에서 수평거리가 3천546km라는 것은 2단의 연소종료 시점의 실제속도가 4.87km/s 전후였다는 것을 뜻한다.

한편 포스텔은 은하2 발사 비디오를 분석하여 은하2의 초기 가속도가 0.345g가 되는 것으로 계산했다. 따라서 은하2의 추력은 발사중량의 1.345배가 됨을 알 수 있다. 이로부터 은하2의 초기가속도와 DF-3A의 추력 112톤으로부터 은하2의 발사중량이 83.27톤이라는 것을 알 수 있다. 은하2의 이륙중량은 우리가 이미 알고 있는 탄두를 제외한 DF-3A의 중량, 탄두를 제외한 R-27K의 중량과 사피르-2 상단 엔진의 중량 추정치 및 각종 미지중량을 포함한 중량이다. 따라서 우리가 알고자 하는 제1단의 보강재 질량 Ms1, 제2단의 보강재 질량 Ms2, 위성보호덮개 질량 Msh 및 투사량 Mtw의 합은 4.82톤이 된다. 충돌지점까지 거리 데이터와 궤도진입속도로부터 역산해 얻은 각단의 연소종료속도와 이륙중량 및 미지의 중량 사이의 관계를 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보듯이 우리가 구하고자 하는 미지수는 Ms1, Ms2 및 Msh 등 3개가 남아 있고, 3단로켓 각 단의 연소종료속도 값을 만족하도록 이들 미지수를 정할 수 있다.

Ms1, Ms2 및 Msh 값이 변하면 각 단의 연소종료속도가 변하는 것은 사실이다. 하지만, 수학에서 3개의 미지수를 가진 3개의 방정식을 푸는 것과는 달리 유일하고 의미 있는 해답이 늘 있어야 하는 것은 아니다. 우리가 은하2의 구성으로 제시한 모델이 실제 은하2의 구성과 가깝도록 정해졌다면, <표 2>에서 요구하는 각 단의 연소종료속도 조건을 만족시키는 의미 있는 Ms1, Ms2 및 Msh 값이 존재해야 한다. 바꿔 말하자면 Ms1, Ms2 및 Msh 값의 전부 또는 일부가 음수가 되든가 아니면 비현실적으로 큰 값이 나온다면 우리가 제안한 가상은하2 모델은 잘못된 것으로 볼 수 있다. Ms1, Ms2 및 Msh 값이 정해지면 Mtw 값은 4.82톤에서 이들 값을 빼고 남은 값이 된다.

이러한 방식으로 우리가 재현한 은하2 모델이 실제로 북한이 개발한 은하2와 물리적으로 같다는 의미는 물론 아니다. 그래서 이 모델을 가상은하2라고 부르는 것이다. 하지만, 이렇게 구한 가상은하2는 북한이 쏘아 올리려던 광명성2호를 예정된 궤도에 진입시킬 수도 있고, 연소가 끝난 가상은하2의 제1단과 2단은 실제로 은하2 시험에서 1, 2단이 충돌한 지점에 떨어지게 된다는 의미로 받아들여진다. 이러한 가상은하2를 탄도탄으로 개조한 '가상대포동2'의 성능은 북한이 실제은하2를 개조해 개발하려는

알려진 데이터를 이용해 재구성한 가상은하2의 특성

	질량(톤)	공질량(톤)	연소종료질량(톤)	추력(톤)	비추력(초)	연소시간(초)
1단	65.15	7.15	7.70	112.20	243.0	125.0
2단	13.85	1.65	1.75	29.60	296.0	120.3
3단	3.10	0.28	0.36	3.17	220.2	>190.3
탑재물(Mtw)	0.70	위성+위성 장착대+위성분리 장치+연결부+기타				
보호덮개(Msh)	0.47	2단 연소종료 시 분리 가정				
이륙질량(Mt)	83.27	1단+2단+3단+탑재물+보호덮개				

연소종료 후 제1단은 540km 지점에, 제2단은 3천846km에 낙하하고, 위성을 근지점 490km, 원지점 1천426km 되는 타원 궤도에 진입시킬 수 있는 가상은하2의 구성 및 성능 특성

대포동2와 많이 다르지 않을 것으로 짐작할 수 있다.

0.7톤 탑재물, 490km×1천426km 타원궤도에 진입 가능

〈표 2〉는 가상은하2의 각 단의 엔진이 연소종료 시에도 달해야 하는 속도를 명시하고 있다. 로켓엔진 각단의 연소 전후의 질량비와 엔진의 비추력을 알면 치올코프스키 로켓 방정식을 이용해 각 단의 엔진이 점화된 후 연소종료될 때까지 얻을 수 있는 속도증가를 구할 수 있다. 제1단 엔진의 속도증분은 제1단의 연소종료속도가 되고, 제1단의 속도증분과 제2단의 속도증분을 더하면 2단의 연소종료속도가 되고, 1단 2단 3단의 속도증분과 지구의 자전효과를 모두 합하면 제3단의 연소종료속도가 된다. 하지만, 이러한 계산은 중력에 의한 감속도 없고 공기마찰로 인한 속도감소도 없는 이상적인 경우에 맞는 명목상의 수치이다.

공기 마찰이나 중력에 의한 감속 효과는 경험적으로 대략적인 값을 추정할 수 있기 때문에 정확한 수치계산을 하지 않고도 은하2의 연소종료 시점의 개략적인 실제속도를 예측할 수 있다. 중력회전을 적절히 이용하면 제1단, 2단, 3단 모터가 작동하는 동안 중력에 의한 감속과 공기저항에 의한 감속의 합을 상당히 줄이는 것이 가능하다. 은하2의 연소종료 속도를 구할 때 제1단, 2단 및 3단의 속도증분 값에서 각각 0.758km/s, 0.357km/s 및 0.107km/s씩 빼줌으로써 중력과 공기 마찰로 인한 속도 손실을 반영했고, 제3단의 연소종료속도에는 지구 자전에 의한 속도 이득인 0.3522km/s를 더해 줌으로써 은하2의 최종속도를 얻었다. 〈표 2〉에서 요구하는 각 단의 실질적인 연소종료속도가 나올 때까지 Ms1, Ms2 및 Msh를 바꿔가면서 치올코프스

키 방정식을 풀었다.

이렇게 해서 얻은 〈표 2〉의 조건을 만족시키는 값은 Ms1=3.05톤, Ms2=0.60톤, 페이로드덮개 무게 Msh=0.47톤, 투사량은 Mtw=0.7톤으로 계산되었다. Mtw는 페이로드를 장착하고 방출하는 구조물 질량과 페이로드 무게를 합친 무게로 우리가 지금까지 투사량 또는 최대탑재량이라고 부르는 질량이다. 알려진 사진, 비디오 및 〈표 2〉에서 요구하는 모든 조건을 만족시키도록 구조보강재, 보호덮개 및 투사량을 구해서 구성한 은하2의 개략적인 부품 및 성능특성을 정리하면 〈표 3〉과 같다.

〈표3〉으로 요약되는 가상은하2가 북한에서 개발한 은하2와 얼마나 비슷한지는 알 수가 없지만, 적어도 가상은하2를 이용하면 무게가 0.7톤인 탑재물을 근지점 490km, 원지점 1천426km인 타원궤도에 진입시킬 수 있고, 연소된 후 분리된 제1단은 발사대에서 540km 전후, 제2단은 3천 850km 전후인 지점에 낙하하여 실제 은하2 비행 데이터를 개략적으로 재현할 수 있다.

궤도에 진입하는 총질량은 투사량 0.7톤과 연소종료된 제3단의 질량 0.36톤을 합쳐 1.06톤으로 예상된다. 그 중 유효하중인 인공위성의 무게는 투사량의 25~30% 수준으로 생각하면 175~210kg 정도가 될 것으로 추정할 수 있다. 3단 모터는 일정한 추력으로 190.3초 동안 작동하는 것으로 가정하였으나 가변추력으로 작동시킨다면 훨씬 긴 시간인 270초 이상을 연소시키는 것도 가능하다. 다음 호에서는 2009년 4월 5일 북한이 발사한 은하2 위성발사를 재현할 수 있는 가상은하2 모델의 성능을 바탕으로 은하2의 탄도탄 버전인 대포동2의 성능을 예측해 보자. **ST**