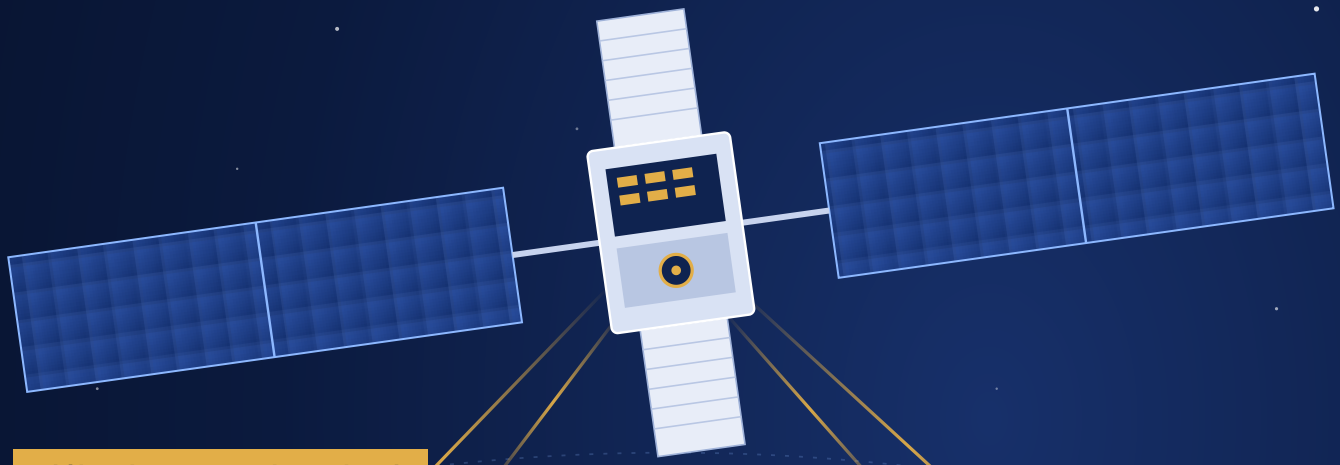


기획특집 · 우주로 간 AI 인프라

궤도 위의 데이터센터

위성 100만 기의 비상 신호, FCC는 어디까지 허가했나

스페이스X가 AI 연산을 맡을 위성을 최대 100만 기까지 띄울 수 있는 조건부 허가를 받았다. 미국 연방통신위원회(FCC)는 비상시에 쓸 주파수부터 첫 위성을 궤도에서 운용해야 할 기한까지 정했다.

100만 기
조건부 허가 상한

2033년
첫 위성 운용 기한(11. 25.)

6개 층
명목 고도 550~1,002km

Ka 대역
예비·비상 관제 통신

차례

02 왜 지금인가 — 최대 100만 기 조건부 허가, 첫 위성은 언제 띄워야 하나

03 기술과 경쟁 — 서버를 궤도에 올리면 무엇이 달라질까

04 사진으로 보기 — 발사에서 재진입까지, 사진으로 본 위성망의 일생

05 미국의 규칙 — 신청에서 허가까지 열 달, 그사이 바뀐 규칙

06 허가서 읽기 ① — 스페이스X는 어떤 조건으로 허가를 받았나

07 허가서 읽기 ② — 위성 100만 기가 밤하늘에 미칠 영향, FCC는 어디까지 심사했나

08 한국의 과제 — 한국의 첫 실증 위성, 발사 전에 답할 질문

디지털미래연구소 Digital Future Institute · dfi.re.kr

글 이순환

PART 1 왜 지금인가

최대 100만 기 조건부 허가, 첫 위성은 언제 띄워야 하나

스페이스X의 계획대로라면 위성들은 평소 레이저로 데이터를 주고받는다. 레이저 통신이 끊기면 지상 관제소는 어떻게 위성 상태를 확인하고 명령을 보낼까? 이때 사용하는 것이 FCC가 이번에 허가한 Ka 대역 무선 통신이다.



그림 1 평소에는 빛으로, 끊기면 전파로. 스타마인드 위성은 데이터를 위성 간 레이저로 주고받는다. FCC가 허가한 무선 통신은 레이저가 끊겼을 때 위성을 관제하는 Ka 대역 신호다. 일러스트: 디지털미래연구소

FCC 우주국은 이날 스페이스X의 궤도 데이터센터 군집 '스타마인드'를 조건부로 허가했다. 위성 최대 100만 기를 고도 550~1,002km에 띄워 우주에서 AI 연산을 하겠다는 계획이다. FCC는 이를 "미국 역사상 첫 우주 데이터센터 군집 허가"라고 불렀다.

100만 기는 얼마나 큰가

로이터에 따르면 지금 궤도에 있는 위성은 약 1만 7천 기다. 스타마인드 한 건의 허가 상한이 그 약 59배다. 다만 100만은 '올려도 되는 최대치'다. 실제로 몇 기가 오를지는 스페이스X가 발사하고 운용하는 속도에 달렸다. 블루오리진과 스타클라우드도 각각 수만 기 규모의 위성망을 신청해 FCC의 심사를 받고 있다 (03면).

왜 하필 우주인가

지상에서 AI 서버를 늘리려면 전력을 더 끌어오고 칩에서 나는 열을 식혀야 한다. 궤도에서는 태양전지판으로 전기를 얻을 수 있다. 다만 서버와 방열판을 로켓에 실어 올리는 비용까지 계산해야 손익이 보인다.

누가 밤하늘을 살피나

천문학자들은 위성이 반사하는 햇빛과 내보내는 열을 걱정한다. FCC는 충돌 위험과 임무를 마친 위성의 처리 계획은 살폈지만, 적외선 관측에 미칠 영향은 이번 무선 면허에서 판단할 사안이 아니라고 봤다(07면).

기업의 목표와 면허의 기한

첫 발사 목표는 2027년, 첫 위성 운용 기한은 2033년

머스크가 밝힌 첫 발사 목표는 2027년 3분기다. 면허가 요구하는 첫 성과는 2033년 11월 25일까지 위성 한 기를 지정 궤도에서 실제로 운용하는 것이다. 기한을 못 지키면 허가는 효력을 잃는다.



자료: FCC DA 26-1273(2026. 11. 25.) 허가 조건 1·4·10, 본문 5·11·16~17항 · FCC 보도자료(11. 25.) · Reuters(11. 25.) 위성 수 · Spaceflight Now(11. 26.) 발사 목표

PART 2 기술과 경쟁

서버를 궤도에 올리면 무엇이 달라질까

> 지상의 데이터센터에서는 서버가 케이블로 연결된다. 스페이스X는 연산 장치를 여러 위성에 나눠 싣고, **위성끼리 레이저로 데이터를 주고받게** 할 계획이다. 이 위성들은 기존 스타링크 위성망과도 레이저로 이어진다.

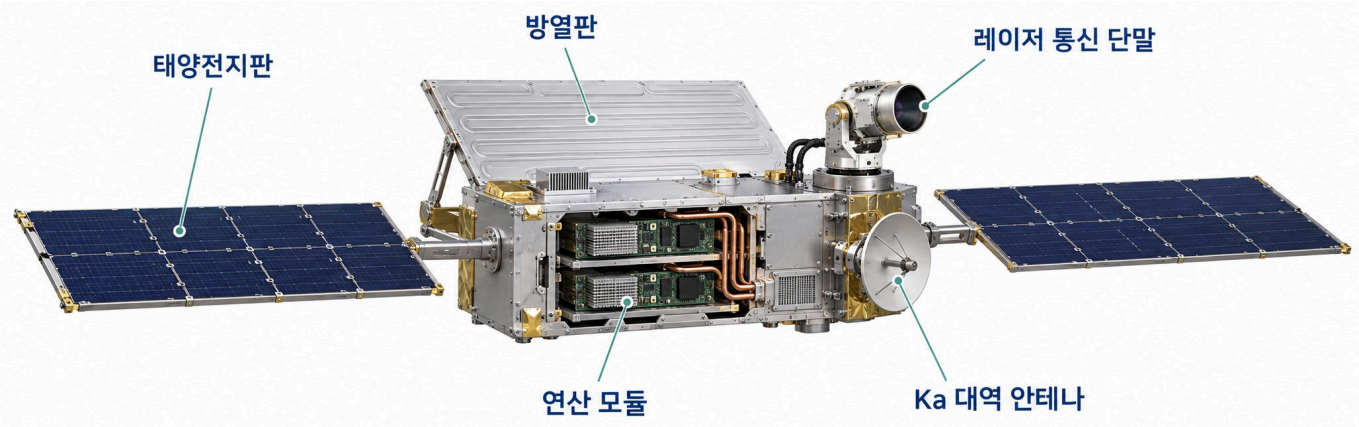


그림 2 궤도 데이터센터 위성의 구성(개념도, 실제 스타마인드 위성의 모습이 아니다). 보도에 따르면 스타마인드 위성 한 기는 약 250kW를 쓰고 날개폭이 약 75m다(Spaceflight Now). 이미지: AI 생성 이미지(디지털미래연구소 제작)

전기는 햇빛에서, 열은 어디로?

진공에서는 바람을 불어넣어 서버를 식힐 수 없다. 칩에서 난 열을 방열판까지 옮긴 뒤 적외선으로 내보내야 한다. 연산량이 늘면 칩에서 나는 열도 많아진다. 방열판을 키우면 로켓에 실어야 할 무게도 늘어난다.

고장 난 서버를 바꾸려면

지상에서는 기술자가 서버 랙을 열 수 있다. 궤도에서는 같은 수리가 어렵다. 방사선을 견디는 칩, 일부 위성이 고장 나도 데이터를 돌려보낼 통신 경로, 수명을 다한 위성을 치울 방법이 함께 필요하다.

같은 연산을 처리하는 데 어디서 비용이 더 들까?

궤도와 지상의 경제성을 비교하려면 같은 연산을 같은 시간 안에 끝내는 조건부터 맞춰야 한다. 궤도 쪽에는 발사와 교체, 지상까지 결과를 보내는 비용이 든다. 지상 쪽에는 전력과 냉각, 부지 비용이 든다. 어느 쪽 전기료가 싼지만으로는 답하기 어려운 이유다.

신청서에 적힌 숫자와 실제로 올라간 위성 2026. 11. 27. 기준

사업자 · 계획	확인되는 단계
스페이스X · 스타마인드	최대 100만 기 **조건부 허가**(11. 25.). 첫 위성 운용 기한 2033년 11월
블루오리진 · 선라이즈	5만 1,600기 신청(3월). 심사 중
스타클라우드	8만 8,000기 신청. 심사 중
카우보이 스페이스 · 스탬피드	2만 기 신청(5월). 낮과 밤의 경계를 따라 도는 태양동기궤도(고도 700~1,000km) 제안
구글 · 선캐처	10월 플래닛과 시제품 위성 1기 발사. 블루오리진 뉴글렌 전용 발사는 2029년 1분기 목표
중국 · 삼체 연산 군집	2025년 5월 연산 위성 12기 발사(저장랩·궈싱항천)
한국 · K-문샷 구상	100kg급 실증 위성에 국산 AI 칩을 실어 2028년 누리호로 시험하는 방안 논의(08면)

자료: FCC DA 26-1273 · GeekWire(11. 25.) 신청 현황 · Via Satellite·New Space Economy(5. 15.) 카우보이 스페이스 · Google 블로그·Reuters·Via Satellite(11. 19.) 선캐처 · CGTN(2. 9.) 중국 · 뉴시스(11. 2.) 국내 구상 · Spaceflight Now(11. 26.) 위성 사양

PHOTO 사진으로 보기

발사에서 재진입까지, 사진으로 본 위성망의 일생

지구를 내려다보는 로켓 상단에 납작한 위성들이 층층이 쌓여 있다. 2019년 5월 스페이스X가 스타링크 위성 60기를 궤도에 풀어 놓기 직전의 모습이다. 스타마인드가 구상하는 대규모 위성망은 어떻게 배치하고 운용할까. 기존 우주 임무의 사진과 그림을 통해 **대량 배치와 발사, 레이저 통신, 대기권 재진입**을 살펴봤다.

01 · 대량 배치



01 궤도에 올라 분리를 앞둔 스타링크 위성들(2019년 5월). 스페이스X는 위성 수십 기를 로켓 한 대에 겹겹이 쌓아 한꺼번에 올린 뒤 궤도에서 풀어 놓는다. 사진: SpaceX(CC BY-NC 2.0)

02 · 발사



02 스타링크 위성을 싣고 발사되는 팰컨 9. 우주 데이터센터의 비용을 따질 때는 서버를 궤도까지 운반하는 발사비부터 계산해야 한다. 사진: U.S. Space Force / Samuel Becker(퍼블릭 도메인)

03 · 레이저 통신



03 국제우주정거장의 레이저 단말이 중계위성(LCRD)을 거쳐 지상으로 사진·영상을 보내는 NASA 실험을 그린 이미지. 스타마인드 위성도 평소에는 이런 레이저로 통신한다. 그림: NASA

04 · 재진입



04 국제우주정거장에서 본 지구 대기층과 초승달. 임무를 마친 저궤도 위성은 대부분 이 대기권으로 들어와 타서 사라진다. 사진: NASA Earth Observatory / ISS066-E-86970

사진 출처: 01 SpaceX Flickr “Starlink Mission”(CC BY-NC 2.0) · 02 미 우주군(patrick.spaceforce.mil, 퍼블릭 도메인) · 03 NASA 레이저 통신 중계(LCRD) · 04 NASA Earth Observatory “Earth’s Limb with a Crescent Moon”

PART 3 미국의 규칙

신청에서 허가까지 열 달, 그사이 바뀐 규칙

1월에 신청서를 낼 때만 해도 스페이스X는 위성 배치 기한을 아예 면제해 달라고 했다. 그사이 FCC가 **위성 배치 기한**을 바꿨다. 스페이스X는 10월에 기한 면제 요청을 거두고 새 기준을 적용해 달라고 했다. 열 달 동안 달라진 규칙을 차례로 짚는다.

1. 30. – 2. 4. **스페이스X, 최대 100만 기 궤도 데이터센터 신청** DA 26-113

우주국이 접수해 공개 의견을 받기 시작했다. 배치 기한·보증금·심사 차례 규정의 면제 요청도 함께 들어 있었다.

3. 5. **고정위성업무 대역에서 '관제 신호만' 보내도 되나** FCC 26-13

새 우주 활동용 주파수 규칙안에서 FCC가 던진 질문이다. 스타마인드의 Ka 대역 비상 관제가 바로 이 경우이고, 답은 아직 없다.

3. 6. **카이퍼시스템스(아마존)·비아샛·미국천문학회, 허가 반대 청원**

전파 간섭, 우주쓰레기, 천문 관측, 규정 면제의 남용을 문제 삼았다.

7. 22. **위성 면허 규칙 전면 개편, '파트 100' 신설** FCC 26-47

같은 주파수를 쓸 신청을 한데 묶어 심사하는 절차에 들어오지 않는 비정지궤도 사업자는 이행보증금을 내지 않는다. 대신 ITU와 같은 방식의 배치 기한(7·9·12·14년)을 따른다.

10. 1. – 19. **환경 심사 규칙 개정, 기한·보증금 전환 지침** FCC 26-64 · DA 26-1080

FCC는 우주 활동을 미국 영토 밖 활동으로 보고 환경 심사 대상에서 뺐다. 스페이스X는 기한 면제 요청을 거두고 새 기한을 적용받겠다고 했다.

11. 25. **우주국장, 일부 허가·일부 보류 결정** DA 26-1273

FCC 우주국장이 위원회에서 위임받은 권한으로 결정했다. 공개와 함께 효력이 생겼고, 반대 청원 3건은 모두 기각됐다. 스페이스X가 30일 안에 거절하지 않으면 조건을 수락한 것으로 본다.

12. 17. 예정 **FCC 공개회의: 외국 위성 시장 진입에 '상호주의'를 적용할지**

본국이 미국 위성에 높은 문턱을 두면 같은 조건을 걸 수 있게 하는 규칙안이다. 해외 진출을 준비하는 한국 위성 사업자도 지켜볼 사안이다.

> "보증금을 내지 않아도 되고, 다른 신청자와 같은 심사 차례를 기다릴 필요도 없어졌다. 대신 주파수를 먼저 쓸 권리는 얻지 못했다.
>
> 절차를 줄인 자리에 남은 것 — 허가 조건 6~10, 본문 7~9항

스페이스X는 기존 이용자는 물론 앞으로 들어올 이용자와도 간섭을 조정해야 한다. FCC는 배치된 위성 수와 비상 주파수 사용 실적을 반년마다 보고받기로 했다. 절차는 줄었지만, 그만큼 운용 기록으로 증명해야 할 몫이 늘어난 셈이다.

용어 풀이

TT&C	원격측정·추적·명령. 위성의 상태를 받아 보고 위치를 추적하며 명령을 보내는 관제 통신	**우주운용업무**	위성 관제처럼 우주 장치를 운용하는 데 쓰는 무선 업무. 스타마인드 면허의 분류다
고정위성업무	지상의 정해진 지점과 위성 사이의 통신 업무. 18.8~19.3GHz·28.6~29.1GHz의 본래 용도	**일괄 심사(처리 라운드)**	같은 대역을 쓰려는 비정지궤도 신청을 한데 모아 주파수 이용 순위를 정하는 절차
이행보증금	배치 기한을 못 지키면 몰수되는 돈. 주파수를 묵혀 두는 것을 막는 장치	**파트 100**	7월 개편으로 생긴 FCC 위성 면허 규칙. 기존 파트 25를 대체

자료: FCC DA 26-113(2. 4.), FCC 26-13(3. 5.), FCC 26-47(7. 22. 채택), FCC 26-64(10. 1.), DA 26-1080(10. 7.), DA 26-1273(11. 25.) 조건 6~10·본문 7~9항 · FCC 12월 공개회의 잠정 의제(11. 24. 발표, Benton 인용)

PART 4 허가서 읽기 ① 허가 조건

스페이스X는 어떤 조건으로 허가를 받았나

> 레이저 연결이 끊긴 위성이 지상에 상태를 알리면, 관제사는 명령을 보내 위성을 제어한다. 이때 쓰는 통신이 **원격측정·추적·명령(TT&C)**이다. FCC는 스타마인드에 '우주운용업무' 면허를 주면서 이 신호를 보낼 주파수와 조건을 정했다. 위성 폐기, 보고, 배치 기한도 함께 정했다.

조건	주요 내용
1 **비상 통신**	허가 하향 18.8~19.3GHz, 상향 28.6~29.1GHz만 허용한다. 문서로 유해 간섭이 보고되면 원인이 된 운용을 즉시 멈추고, 해결할 때까지 재개할 수 없다.
2~3 **연방 시스템**	조건 상향 대역의 연방 시스템을 보호하고, 하향 대역은 영향을 받을 수 있는 국가안보·인명안전 기관과 먼저 조정한다. 지구국에는 별도 허가가 필요하다.
4 **위성 폐기**	보류 600km 아래 두 궤도층의 계획은 기준을 충족했다. 위쪽 네 층은 배치 전에 최종 우주쓰레기 저감 계획을 담아 변경을 신청해야 한다. 대기권 재진입 대신 다른 궤도로 옮겨 폐기하겠다는 요청은 보류됐다.
5~6 **신고·보고**	조건 ITU 신고 내용에 맞춰 운용한다. 매년 1월 1일과 7월 1일까지 근접 사건, 회피 기동, 재진입 현황, **Ka 대역을 쓴 위성 수** 등을 보고한다.
7~9 **규칙 면제**	허가 신청 소프트웨어 제약에 따른 서식 예외, 같은 주파수 신청의 일괄 심사 면제, 이행보증금 면제를 인정했다. 기존·향후 사업자와의 조정 의무는 남는다.
10~11 **기한**	조건 지정 궤도에서 운용할 누적 규모는 2033년 1기, 2035년 10만 기, 2038년 50만 기, 2040년 전량이다. 기한은 모두 11월 25일. 15년 면허는 첫 위성의 정상 운용을 FCC에 인증한 날부터 시작한다.

고도 600km에서 갈린 여섯 궤도층

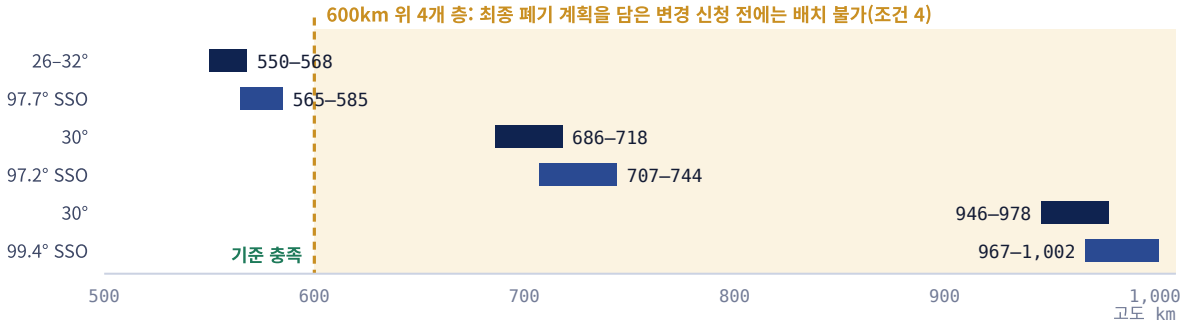


그림 3 각 층의 명목 운용 고도(km)와 궤도 경사각. 짙은 막대는 경사궤도, 옅은 막대는 태양동기궤도(SSO). 아래 두 층만 폐기 계획이 기준을 충족했다. 자료: DA 26-1273 허가서 2쪽

왜 주파수 분배표에 예외를 뒀나

이 대역은 고정위성업무에 배분돼 있다. 여기서 관제 신호만 따로 보내도 그 업무에 해당하는지는 FCC가 별도 절차(05면 3월 규칙안)에서 의견을 듣고 있다. 우주국은 답을 미리 내지 않고 **이번 신청에 한해 분배표에 예외**를 뒀다. 다음 사업자도 같은 대역을 자동으로 쓸 수 있다는 뜻은 아니다.

자료: FCC DA 26-1273, Grant 2~5쪽·조건 1~11 및 본문 5·11항. 고도는 각 층의 명목 운용 범위(스페이스X 2026. 5. 29. 서한). 47 CFR § 2.106(a), § 25.114(d)(14)(vii)(D)(1)

PART 5 허가서 읽기 ② 반대 의견

위성 100만 기가 밤하늘에 미칠 영향, FCC는 어디까지 심사했나

> 위성이 지구의 그림자를 지나 햇빛을 받으면 지상의 망원경에는 밝은 궤적으로 보일 수 있다. 서버가 내보내는 열은 적외선 관측에서 또 다른 걱정거리다. FCC는 같은 밤하늘을 놓고도 **전파 간섭, 가시광선, 적외선을 서로 다르게 판단**했다.

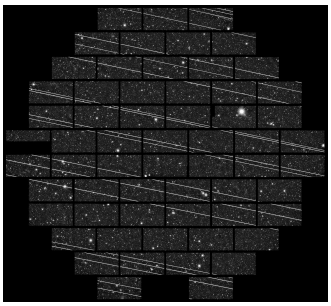




사진 1 칠레 CTIO 망원경에 장착된 DECam으로 찍은 사진. 비스듬히 뻗은 흰 줄 19개가 스타링크 위성이 지나간 흔적이다.
CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/DECam DELVE Survey(CC BY 4.0)

사진 2 미국 뉴멕시코의 밤하늘. 둥글게 도는 별 궤적 사이로 위성 행렬이 곧은 선을 긋는다.
M. Lewinsky / NOIRLab 게재(CC BY 2.0)

비아샛의 질문

100만 기가 한꺼번에 전파를 쓰면?

FCC는 100만 기가 동시에 예비 통신에 의존할 만큼 광링크가 광범위하게 고장 날 가능성은 낮다고 봤다. 다만 실제로 Ka 대역을 쓴 위성이 몇 기인지는 반기마다 확인한다. 위성이 전파를 반사해 간섭을 일으킬 수 있다는 별도 의견에는 기술적 근거가 부족하다고 답했다.

기각 + 반기 보고로 확인

미국천문학회의 질문

망원경에는 무엇이 보일까?

가시광선 관측에는 스페이스X가 미국 국립과학재단과 협의하겠다는 약속을 받아들이고 추가 조건을 붙이지 않았다. 위성의 폐열이 적외선 배경을 밝게 만들 수 있다는 우려는 이번 무선 운용 심사 범위를 벗어난다고 판단했다.

약속 수용 적외선은 범위 밖

환경에 관한 질문

발사와 재진입은 누가 보나?

FCC는 개정된 환경 심사 규칙에 따라 우주에서 이뤄지는 활동을 역외 활동으로 봤다. 발사 때 나오는 배출물의 영향은 소관 밖이라고 했고, 위성 재진입에 따른 대기 영향 주장은 이번 기록에서 충분히 뒷받침되지 않았다고 봤다.

소관 밖 발사 환경은 연방항공청(FAA)

경제성에 관한 질문

돈이 되는 사업일까?

FCC는 사업의 성패를 정부가 대신 판단할 이유가 없다고 답했다. 반면 위성이 임무를 끝낸 뒤 어디로 갈지는 면허 조건에 명시했다. 허가 반대 청원 세 건은 모두 기각했지만, 스페이스X가 요청한 대로 모든 폐기 방식을 허용한 것은 아니다.

판단 안 함 폐기 방식 일부 보류

미국천문학회는 결정 직후 “낙담했고 당혹스럽다(disheartened and dismayed)”는 입장을 내고, 면허에 공식 조정 의무가 없다는 점을 우려했다.

후속 심사에서 볼 두 가지

01

600km 위의 위성을 어떻게 폐기할 것인가

네 개 층의 최종 폐기 계획은 변경 신청으로 다시 제출돼야 한다. 사업자가 아직 입증해야 할 내용이다.

02

비상 통신을 실제로 쓴 위성은 몇 기일까

스페이스X는 반년마다 Ka 대역으로 지상과 통신한 위성 수를 FCC에 보고해야 한다. 이 수치를 보면 전체 위성 가운데 몇 기가 예비 통신을 사용했는지 알 수 있다.

자료: FCC DA 26-1273, 조건 4·6 및 본문 5·10~20항 · 미국천문학회(AAS) 입장(11. 25., Spaceflight Now·GeekWire 인용) · 사진: NOIRLab “Starlink Satellites Imaged from CTIO”(CC BY 4.0) · NOIRLab ann22005a(M. Lewinsky, CC BY 2.0)

PART 6 한국의 과제

한국의 첫 실증 위성, 발사 전에 답할 질문

> 국내에서도 100kg급 소형 위성에 국산 AI 반도체를 실어 우주에서 시험하는 방안이 나왔다. 11월 2일 국회 토론회에서 제시된 목표는 **2028년 11월 누리호 7차 발사** 때 이 위성을 함께 띄우는 것이다. 이 위성이 궤도에서 첫 계산을 마쳤다고 해 보자. 결과는 어디로 보내고, 신호가 끊기면 누가 어떤 주파수로 위성을 찾을까?

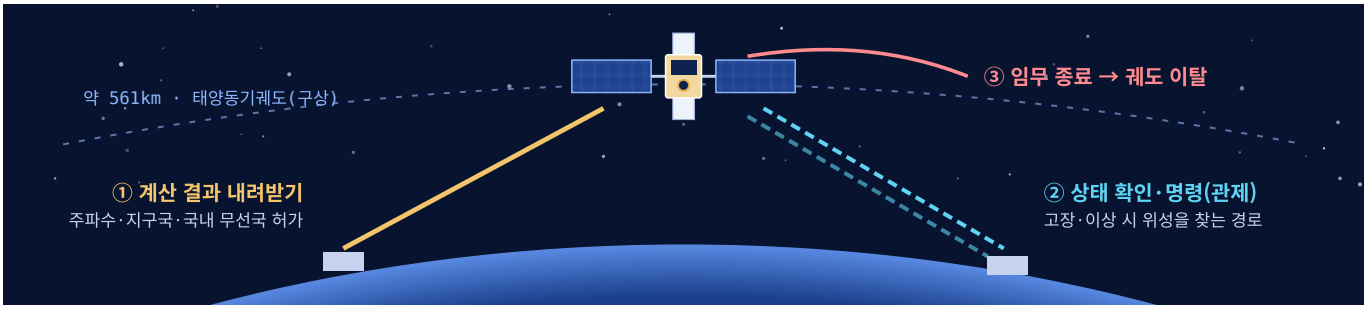


그림 5 실증 위성이 그려야 할 세 갈래 경로(개념도). 고도 약 561km 태양동기궤도에서 1년 이상 칩·전력·열 제어를 시험하는 안이 토론회에서 제시됐다. 확정된 사업 계획은 아니다. 일러스트: 디지털미래연구소

01 먼저 그릴 것은 통신 경로다

실증팀은 위성 사이의 광링크, 지상으로 결과를 보내는 회선, 고장 때 쓰는 관제 신호를 나눠 그릴 수 있다. 경로별로 사용할 주파수와 지구국을 적으면 국내 무선국 허가와 국제 조정에서 확인할 사항이 드러난다. ITU 신고 뒤에도 관련 망과의 조정과 실제 사용 절차가 따른다.

02 임무를 마친 위성은 어떻게 처리할까?

발사와 운용을 맡은 기관, 전파 당국, 천문 관측기관이 함께 볼 자료가 있다. 실증 위성의 예상 밝기, 다른 물체에 접근했을 때의 회피 절차, 고장 시 지상에서 명령을 보낼 방법, 임무 종료 뒤 궤도에서 이탈하는 데 걸리는 시간이다.

03 위성에서 처리한 정보는 어디로 가고, 누가 열람할까?

국내 이용자의 정보가 위성에서 처리돼 해외 지구국에 내려온다면, 누가 어느 단계에서 정보를 받거나 열람할 수 있을까. 경로와 처리 주체를 특정해야 개인정보 국외 이전 여부를 검토할 수 있다. 공공기관용이라면 클라우드서비스 보안인증(CSAP)의 적용 범위도 따져야 한다.

04 산업의 기회는 실험 결과에 있다

국산 AI 칩이 같은 연산을 하는 데 전기를 얼마나 쓰는지, 생긴 열을 방열판이 얼마나 내보내는지 재 보면 다음 위성의 크기를 정할 근거가 생긴다. 발사·교체 비용까지 더하면 지상 데이터센터와 같은 일을 처리하는 비용을 놓고 비교할 수 있다.

첫 실증이 남겨야 할 기록

첫 실증에서 확인할 것은 국산 AI 칩이 우주에서도 작동하는지다. 다음 위성을 설계하려면 한 걸음 더 들어가야 한다. 같은 연산을 처리하는 데 전력을 얼마나 썼는지, 통신이 끊겼을 때 지상에서 다시 연결하는 데 얼마나 걸렸는지도 알아야 한다. 전력 사용량은 다음 위성의 태양전지판 크기를 정하는 근거가 되고, 통신 복구 기록은 비상 관제 절차를 짜는 자료가 된다.

12. 17.	12. 25.께	매년 1. 1. · 7. 1.	배치 전
FCC 위성 상호주의 규칙안 표결	스페이스X 조건 수락 간주(30일)	반기 보고 — Ka 대역 사용 위성 수	600km 위 폐기 계획 변경 신청

자료: 우주데이터센터포럼 국회 토론회(11. 2., 뉴시스 인용) · FCC DA 26-1273 조건 4~6 · ITU 전파규칙 · KISA 클라우드서비스 보안인증 안내 · 필자 제안. 국내 일정과 궤도는 토론회에서 제시된 구상이며 확정 계획이 아니다.