

스페이스 &

스페이스X 스타십 13차 비행 분석

Ship의 임무 완주와 Super Heavy가 남긴 과제

Executive Summary

2026년 7월 24일 실시된 스타십 13차 통합비행시험에서 상단부 Ship은 실물 Starlink V3 위성 20기 배치, 우주 공간 Raptor 재점화, 대기권 재진입, 인도양 연착수로 이어지는 주요 임무를 한 번의 비행에서 수행했다. 5월 12차 비행이 V3 하드웨어와 Raptor 3가 실제로 비행할 수 있음을 확인한 시험이었다면, 13차는 V3 Ship이 탑재체 임무를 시작부터 끝까지 수행할 수 있음을 확인한 단계로 평가한다.

착수 이후의 결과도 주목할 만하다. Ship은 수면 접촉 후 옆으로 쓰러졌음에도 대규모 폭발이나 동체 파괴 없이 부유하며 데이터를 계속 전송했다. 완전한 크기의 Ship이 해상착수 후 온전한 형상으로 확인된 첫 사례로, 재진입을 마친 열차폐체와 플랩, 엔진부를 이전보다 완전한 상태에서 관찰할 수 있게 됐다는 점에서 데이터 품질이 크게 개선됐다. 다만 이는 열차폐체의 열적·구조적 생존성에 관한 진전이지, 복귀 후 검사와 정비, 동일 기체 재비행까지 포함한 빠른 재사용성을 입증한 것은 아니다.

프로그램 전체의 우선 검증 항목은 여전히 Super Heavy의 안정적 회수다. Super Heavy는 33기 Raptor 3의 정상 점화와 상승, 단 분리, 고추력 boostback까지 수행했지만 착수 연소에서 필요한 엔진 수를 확보하지 못해 해상에 고속 충돌했다. 13차의 근본 원인이 공개되지 않아 12차와 동일한 고장 메커니즘이라고 단정할 수는 없지만, 발사대 포획과 빠른 재사용을 위해 비행 중 다수 엔진 재점화의 신뢰성을 추가로 검증해야 한다.

향후 관전 포인트는 세 가지다. 첫째는 Super Heavy 착수 연소의 정상화, 둘째는 실제 궤도 투입과 정밀한 궤도 이탈 연소, 셋째는 Ship의 지상 귀환 이후 열차폐 검사·교체와 동일 기체 재비행이다. 이 세 단계가 차례로 입증돼야 스타십이 목표로 하는 발사빈도와 발사단가 구조를 평가할 수 있다.

하드웨어 검증에서 임무 검증으로, 엇갈린 Ship과 Booster

스타십 13차 비행은 2026년 7월 24일 오후 5시 51분 미국 중부시간, 한국시간으로는 7월 25일 오전 7시 51분에 Starbase Pad 2에서 실시됐다. 비행체는 Super Heavy Booster 20과 Ship 40으로 구성됐으며 두 기체 모두 초도 비행이었다. 임무는 완전한 지구 궤도 진입을 시도하지 않는 약 65분의 준궤도 프로파일로 설계됐다. 탑재체로는 위성 형상과 질량만 모사한 시뮬레이터가 아니라 전력·통신·전개 기능을 갖춘 실물 Starlink V3 위성 20기가 실렸다.

다만 이 위성들은 운용 궤도에 투입되지 않았다. 약 200km 고도에서 Ship으로부터 방출된 뒤 Ship과 유사한 준궤도 궤적을 따라 약 20분 후 대기권에 재진입해 소멸하도록 계획됐다. 따라서 이번 비행을 Starlink V3 상용 배치의 개시로 표현하기보다는 실물 위성을 이용해 적재, 순차 방출, 전개, 통신으로 이어지는 임무 체계를 검증한 시험으로 보는 것이 적절하다.

발사까지의 과정도 V3 운용체계의 현 수준을 보여준다. 7월 16일 첫 시도에서는 엔진 점화 명령 직후 일부 Raptor 3가 정상 점화 조건을 충족하지 못해 비행 소프트웨어가 T-0에서 이륙을 자동 중단했다. 이후 점검에서 6개 엔진의 액체산소 터보펌프 내 수분과 이에 따른 압력 저하가 확인됐고, SpaceX는 관련 엔진을 교체하고 누설 점검과 펌프 스핀업 검증을 거쳐 동일 기체를 8일 뒤 발사했다. 다수 엔진에서 점화 이상이 나타났다는 점은 제작·취급·점화계통의 반복 운용 안정성이 아직 완전히 확보되지 않았음을 시사한다. 반면 이미 엔진 점화 명령이 내려간 상태에서도 발사체와 발사대를 손상시키지 않고 자동 중단했으며, 비교적 짧은 기간 안에 같은 기체로 재시도에 성공했다는 점은 Pad 2의 중단·정비 체계가 설계대로 작동했음을 보여준다.

7월 23일 두 번째 시도는 발사체 문제가 아니라 구름과 가시성 조건으로 하루 연기됐다. 발사 자체가 불가능한 기상은 아니었으나, 고동압 구간과 재진입 과정에서 열차폐체를 영상으로 관찰하는 것이 이번 비행의 핵심 목적 가운데 하나였기 때문에 SpaceX는 충분한 관측 자료를 확보하기 어렵다고 판단했다. 이는 13차가 단순한 비행 성공보다 열차폐와 기체 거동에 관한 데이터 취득을 중심으로 설계된 시험이었음을 보여준다.

표 1. 스타십 13차 통합비행시험 개요

항목	내용
발사 시각	2026년 7월 24일 17:51 미국 중부시간(한국시간 7월 25일 07:51)
발사 장소	Starbase Pad 2, Texas
비행체	Super Heavy Booster 20 + Ship 40
버전	Starship·Super Heavy V3의 두 번째 통합비행
비행 프로파일	궤도 진입 미시도, 약 65분의 준궤도 비행
탑재체	실물 Starlink V3 위성 20기
Super Heavy 결과	상승·단 분리·boostback 수행, 착수 연소 감속 실패
Ship 결과	위성 배치·우주 재점화·재진입 후 인도양 연착수
착수 후 상태	Ship 동체가 파괴되지 않고 일정 시간 부유

자료: 미래에셋증권 리서치센터

결과는 두 단에서 뚜렷하게 갈렸다. Ship은 계획된 주요 시험을 사실상 모두 수행한 반면, Super Heavy는 착수 직전 다수 엔진 재점화에서 문제가 발생했다. 이번 비행을 단순히 성공이나 실패로 분류하기보다, Ship의 탑재체 임무와 귀환 과정에 관한 기술 리스크는 낮아진 반면 Booster의 회수 리스크는 남았다고 보는 편이 정확하다.

12차와 비교하면 이러한 차이가 더 선명해진다. 12차는 Starship V3, Super Heavy V3, Raptor 3, Starbase Pad 2가 모두 처음 통합된 시험이었다. 당시 Super Heavy는 상승 중 엔진 1기가 정지했고 boostback과 착수 과정에서 필요한 엔진 수를 확보하지 못했다. Ship에서도 진공용 Raptor 3 하나가 정지해 예정된 우주 공간 재점화 시험이 취소됐다. 반면 13차에서는 Ship의 6개 엔진이 상승 전 구간을 정상적으로 작동했고, 실물 위성 배치와 우주 공간 재점화까지 후속 시험을 이어갈 수 있었다. Super Heavy도 상승 중 엔진 손실 없이 단 분리와 고추력 boostback을 수행했으나 착수 재점화 문제는 남았다.

요약하면 12차는 V3가 실제로 비행할 수 있음을 확인한 시험이었고, 13차는 V3 Ship이 실제 탑재체 임무를 시작부터 끝까지 수행할 수 있음을 확인한 시험이었다. 다만 두 비행 모두 Super Heavy 착수 과정에서 엔진 재점화 부족이 나타났다. FAA 시정 조치 이후에도 유사한 결과가 반복됐다는 점은 부담이나, 13차의 근본 원인이 공개되지 않은 만큼 12차와 동일한 고장 메커니즘이라고 단정하기는 어렵다.

표 2. 스타십 12차와 13차 비교

구분	12차 비행	13차 비행	평가
V3 개발 단계	V3·Raptor 3·Pad 2 최초 통합	V3 두 번째 통합비행	하드웨어 비행 검증→ 임무 검증으로 진전
Booster 상승	상승 중 엔진 1기 정지	33기 정상 작동	개선
Booster boostback	필요 엔진 수 미확보, 조기 종료	고추력 프로파일 수행 후 조기 종료	진전했으나 완전 정상은 아님
Booster 착수	재점화 부족으로 고속 해상 충돌	착수 재점화 부족으로 고속 해상 충돌	핵심 과제 잔존
Ship 상승	진공 Raptor 1기 정지	6기 전 구간 정상 작동	개선
탑재체	시뮬레이터 20기·카메라 위성 2기	실물 Starlink V3 20기	실제 임무 체계로 확대
우주 재점화	취소	Raptor 3 1기 재점화	V3 최초 달성
Ship 착수	착수 후 화염·동체 파괴	착수 후 동체가 온전하게 부유	구조 생존성 개선
궤도 진입	미시도	미시도	미검증
기체 재비행	미시도	미시도	빠른 재사용성 미검증

자료: 미래에셋증권 리서치센터

실물 탑재체로 확인한 Ship의 임무 수행 능력

13차에서 Ship이 거둔 가장 중요한 성과는 개별 시험 항목 하나가 아니라 상승, 탑재체 배치, 우주 공간 엔진 재점화, 재진입과 착수로 이어지는 임무 사슬을 처음으로 끊김 없이 연결했다는 점이다. 12차에서는 진공용 Raptor 3 하나가 상승 중 정지했다. 나머지 엔진으로 목표 준궤도 궤적에는 도달했지만, 엔진 손실에 따른 비행 조건 변화로 예정된 우주 공간 재점화 시험은 취소됐다. 13차에서는 해수면용 Raptor 3기와 진공용 Raptor 3기 등 총 6기가 상승 연소 전 구간에서 정상적으로 작동했고 Ship은 계획된 속도와 궤적에 도달했다.

이후 Ship은 측면의 이른바 PEZ dispenser 방식 화물 도어를 통해 Starlink V3 위성 20기를 순차적으로 방출했다. 이전 비행에서도 Starlink 형상의 시뮬레이터를 배치한 사례는 있었지만, 전력·통신·전개 기능을 갖춘 실물 위성을 내보낸 것은 이번이 처음이다. 방출된 위성들은 태양전지판과 안테나를 전개하고 지상 및 기존 Starlink 위성과 RF 통신을 수행했다. 기존 Starlink 군집과 고용량 레이저 링크도 연결했으며 위성별 상태와 주요 텔레메트리를 전송했다. 이 가운데 6기는 카메라와 조명을 이용해 Ship의 타일과 플랩, 전체 형상을 외부에서 촬영했다. SpaceX는 20기 전량과 접촉해 데이터를 수신했다고 밝혔다.

이 시험은 Starship과 Starlink V3가 하나의 통합 배치 시스템으로 작동할 수 있음을 보여줬다. V3처럼 크고 무거운 위성을 Ship 내부에 적재하고 순차적으로 밀어내는 기계적 배치 장치가 작동했고, 위성이 방출 직후 전력과 통신 계통을 가동했으며, 기존 Starlink 네트워크를 Ship 상태를 외부에서 관찰하는 분산형 검사 수단으로 활용할 수 있었다. 반면 위성들은 실제 운용 궤도에 투입되지 않았고 자체 추진을 통한 궤도 상승과 장기간 운용도 수행하지 않았다. 따라서 Starship의 Starlink V3 상용 배치 능력은 실제 궤도 임무에서 추가로 검증해야 한다.

위성 배치 이후 Ship은 Raptor 엔진 1기를 우주 공간에서 재점화했다. 이 기능은 향후 궤도에 진입한 Ship이 속도를 낮춰 대기권에 재진입하기 위한 궤도 이탈 연소와 궤도 변경, 달·화성 임무에서의 추진 기동에 필요하다. 스타십 프로그램 전체로는 2024년 6차 비행에서 우주 공간 엔진 재점화를 수행한 바 있다. 이번 성과의 의미는 V3 Ship과 Raptor 3 조합으로 처음 재점화에 성공했고, 12차에서 엔진 손실로 취소됐던 항목을 정상적으로 완료했다는 데 있다.

그림 1. 실제 V3 위성 사출에 성공한 Ship



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

그림 2. 궤도 임무를 위한 재점화 미션에 성공한 Ship



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

재진입 과정에서 Ship은 배면이 대기 흐름을 받는 belly-flop 자세를 유지하고 네 개의 플랩으로 자세와 궤적을 제어했다. 향후 Starbase 귀환 시 필요한 횡방향 기동을 모사하는 dynamic bank maneuver도 수행했다. 최종 구간에서는 중앙 Raptor 3기를 점화해 수평 자세에서 수직 자세로 전환한 뒤 엔진 수를 3기에서 2기, 다시 1기로 줄이며 인도양에 착수했다. 수면 접촉 후 기체는 옆으로 쓰러졌지만 대규모 폭발이나 동체 파괴 없이 방송 종료 시점까지 부유하며 데이터를 전송했다.

2024년 10월 5차 비행에서도 Ship은 목표 지점에 비교적 정확히 착수했으나 수면 접촉 후 전도되는 과정에서 화염과 동체 파괴가 발생했다. 이에 비해 13차의 차별점은 정밀도보다 수면 접촉과 전도 과정에서도 탱크와 동체의 전체 형상이 유지됐다는 점이다. 다만 해상에 착수한 기체는 염수 침수와 전도 충격을 받았으며 애초에 회수와 재비행을 전제로 한 운용 방식이 아니었다. 이번 결과는 Ship의 구조 생존성과 재진입 후 검사 데이터 확보 측면의 진전으로 평가해야 한다.

표 3. 스타십 13차 주요 비행 이벤트

비행 단계	주요 이벤트	결과 및 의미
T+0	33기 Raptor 3 점화·이륙	전량 정상 점화, 상승 구간 정상 수행
T+2:18~2:21	Booster 주엔진 정지·hot-staging	Ship 6기 점화와 단 분리 정상
T+2:25~3:03	Super Heavy boostback	고추력 프로파일 수행, 이후 조기 종료
T+6:27~6:53	Super Heavy 착수 연소	일부 엔진만 재점화, 감속 부족으로 고속 충돌
T+8:05	Ship 상승 연소 종료	6기 전 구간 정상 작동
T+16:40~27:29	Starlink V3 20기 배치	실물 V3 전량 순차 방출
T+38:58	우주 공간 Raptor 재점화	V3 Ship·Raptor 3 조합 최초
T+47:30 이후	재진입·bank maneuver	열차폐체·플랩·구조 데이터 확보
T+65:01~65:26	Ship 착수 연소	3→2→1기 감속 후 착수, 전도 후에도 부유

자료: 미래에셋증권 리서치센터

Booster 회수가 결정하는 스타십의 비용 구조

13차 이후 시장과 언론의 관심은 실물 Starlink V3 배치와 착수 후 온전히 떠 있는 Ship에 집중됐다. 그러나 스타십 프로그램의 발사단가와 발사빈도를 결정하는 우선 검증 항목은 Super Heavy 회수다. Booster를 매번 소모한다면 33기 Raptor와 대형 추진제 탱크로 구성된 하드웨어를 매 비행 새로 생산해야 한다. Ship의 회수와 재사용이 성립하더라도 Booster 회수가 안정화되지 않으면 스타십이 목표로 하는 완전 재사용형 비용 구조는 제한될 수밖에 없다.

이번 비행에서 Super Heavy가 보인 진전도 분명하다. 33기 Raptor 3는 모두 정상적으로 점화됐고 상승과 hot-staging까지 계획대로 진행됐다. 12차에서 나타났던 상승 중 Booster 엔진 정지도 관측되지 않았다. 단 분리 후에는 V3 Super Heavy에서 처음으로 고 추력 boostback 프로파일이 적용됐다. 이는 단 분리 후 자세 전환과 다수 엔진 점화 시퀀스가 개선됐다는 의미다. 다만 SpaceX는 boostback 연소가 계획보다 일찍 종료됐다고 밝혔기 때문에 전 구간이 완전하게 정상 수행됐다고 보기는 어렵다.

문제는 최종 착수 연소였다. Super Heavy는 목표 해역까지는 도달했지만, 감속에 필요한 수의 엔진을 재점화하지 못했다. 계획은 13기를 먼저 점화해 속도를 크게 낮춘 뒤 수면에 접근하면서 엔진 수를 단계적으로 줄이는 것이었다. 텔레메트리 화면 상 점화 엔진은 10기 안팎에서 7기, 최종 접근 시 5기 수준으로 감소한 것으로 보인다. 다만 SpaceX가 엔진별 점화 결과를 공개하지 않은 만큼 이는 영상에 따른 추정이며, 공식적으로 확인된 것은 착수 연소에 필요한 추력이 확보되지 않아 고속으로 수면에 충돌했다는 사실이다.

7월 16일의 지상 점화 문제와 실제 비행 중 착수 재점화 문제도 구분해야 한다. 지상 초기 점화와 비행 후반의 재점화는 추진제 침전, 탱크 압력, 배관 온도, 엔진 열상태, 기체 자세가 모두 다르다. 7월 16일 문제는 액체산소 터보펌프 내부의 수분과 이에 따른 압력 저하로 원인이 특정됐지만, 7월 24일 착수 연소 실패의 근본 원인은 공개되지 않았다. 따라서 첫 발사 시도의 문제가 해결되지 않았다고 표현하기보다는, Raptor 3의 전체 점화 신뢰성 가운데 착수 환경에서의 다수 엔진 재점화가 별도 과제로 남았다고 보는 편이 정확하다.

같은 비행에서 Ship의 Raptor 3 6기는 상승 전 구간을 완주했고 그중 1기는 우주 공간 재 점화에도 성공했다. 이는 Raptor 3 전체에 공통된 구조적 설계 결함으로 단정하기 어려운 근거다. 현 단계에서는 개별 엔진 간 품질 편차, 추진제 공급과 가압 조건, 엔진 점화 명령과 중단 로직, 착수 시퀀스의 소프트웨어 설정 등 국소적인 원인도 열어둘 필요가 있다. 다만 다수 엔진을 반복 생산·운용해야 하는 스타십 구조에서 지상 점화 이상과 비행 중 재점화 부족이 연달아 관측됐다는 사실 자체는 양산 품질과 운용 신뢰성을 계속 확인해야 할 이유가 된다.

발사대 포획에서는 이러한 신뢰성의 요구 수준이 더 높아진다. 해상 착수 시험에서는 일부 엔진이 정상적으로 작동하지 않더라도 기체와 엔진 데이터를 확보할 수 있다. 반면 타워 포획에서는 착수 재점화 실패가 Booster 한 기의 손실을 넘어 발사대와 타워 손상, 이후 발사 일정 중단으로 확대될 수 있다. 따라서 Super Heavy의 다수 엔진 재점화 신뢰성이 충분히 확보되기 전까지 SpaceX가 포획 프로파일을 보수적으로 운영할 가능성이 있다.

결국 관건은 문제의 존재 자체보다 해결 속도다. SpaceX의 경쟁력은 초기 설계의 완전성보다 비행에서 확인된 문제를 빠르게 특정하고 다음 기체와 소프트웨어에 반영하는 반복 주기에 있었다. 14차 이후 비행에서 Super Heavy 착수 연소가 정상화되는지는 개별 비행의 성패를 넘어, V3와 Raptor 3에서도 같은 개발 주기가 유지되는지를 판단하는 지표가 될 전망이다.

그림 3. 13차 슈퍼헤비 랜딩 번 당시 텔레메트리 정보(10→7→5)



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

그림 4. V2 버전의 마지막 11차 슈퍼헤비 랜딩 번 당시 텔레메트리 정보(13→5→3)



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

열차폐, 생존성을 넘어 운영경제성으로

13차에서 Ship의 열차폐체가 외관상 양호한 상태를 유지한 것은 의미 있는 진전이다. 그러나 열차폐의 경제적 성패를 결정하는 것은 재진입에서 타일이 한 번 버티는지가 아니라, 복귀 후 검사와 교체에 얼마나 적은 노동과 시간이 필요한지다. 열차폐체는 우선 재진입 열유속을 견디고, 상승 진동과 공력하중에도 타일이 이탈하지 않으며, 타일 사이와 플랩 힌지를 통한 고온 가스 침투를 막고, 아래쪽 동체와 용접부를 보존해야 한다. 여기에 실제 재사용 시스템으로 성립하려면 복귀 후 결함을 빠르게 찾을 수 있어야 하고, 손상 부품을 짧은 시간에 교체할 수 있어야 하며, 여러 차례 비행해도 손상과 정비시간이 급격히 늘어나지 않아야 한다.

13차는 이러한 조건 가운데 비행 성립에 관한 고품질 데이터를 확보한 시험이다. Ship 자체의 카메라와 센서가 상승·재진입 하중과 열환경을 측정했고, Starlink V3 6기가 외부에서 타일과 플랩, 전체 기체 형상을 촬영했다. 착수 이후에도 기체가 파괴되지 않았기 때문에 재진입을 완료한 열차폐체를 이전보다 완전한 형상으로 관찰할 수 있었다. 그러나 해상착수 기체를 회수해 분해하거나 재비행하지 않았기 때문에 타일 내부의 미세균열, 타일과 부착부 사이의 숨은 손상, 부착 스티드의 변형과 피로, 하부 단열재 손상, 스테인리스 동체의 국부 최고온도는 확인할 수 없다.

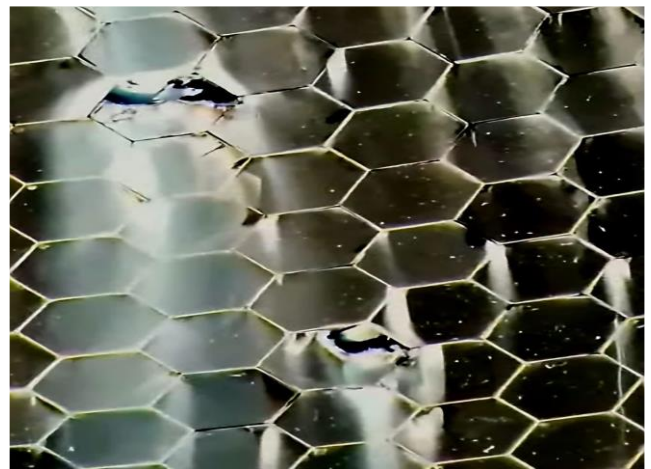
따라서 향후 추적할 지표는 단순한 타일 손실률보다 검사와 정비에 관한 수치가 돼야 한다. 전체 타일 가운데 수작업 검사가 필요한 비율, 자동 영상과 열화상 검사만으로 비행 승인이 가능한 비율, 비행당 교체 타일 수, 타일 한 장의 교체시간, 열차폐 전체의 검사·정비 노동 시간이 실질적인 KPI다. 타일의 99%가 남아 있어도 나머지 전체를 사람이 하나씩 확인해야 한다면 빠른 재사용은 성립하기 어렵다. 평평한 동체 중앙부보다 플랩 힌지와 노즈 곡률 변화부, 엔진 스커트, 페이로드 도어처럼 타일 배열과 구조가 불연속적인 경계부가 반복 비행 후에도 유지되는지도 중요하다.

그림 5. 외관상 양호한 상태를 유지한 Ship



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

그림 6. 일부 파손된 것으로 보이는 열차폐체



자료: SpaceX, 미래에셋증권 리서치센터

그림 7. 다양한 재료와 맞춤 부품으로 이뤄져있던 스페이스셔틀의 열차폐 방식



자료: NASA, 미래에셋증권 리서치센터

이 문제가 왜 결정적인지는 스페이스셔틀이 잘 보여준다. 셔틀의 열차폐는 단일 재료가 아니라 위치별 열환경과 구조 하중에 따라 서로 다른 소재를 조합한 시스템이었다. 가장 높은 열유속을 받는 노즈캡과 날개 앞전에는 강화 탄소-탄소, RCC가 사용됐다. 동체 하부에는 NI-900을 중심으로 한 저밀도 실리카 타일이 적용됐다. NI-900은 부피의 약 94%가 공기여서 단열성은 뛰어났지만 물리적 강도는 낮았다. 상대적으로 온도가 낮은 상부에는 흰색 타일과 유연 단열 블랭킷이 사용됐으며, 운용 후반에는 한 장의 블랭킷으로 여러 개의 타일을 대체해 부품 수와 검사 부담을 줄였다. 최종 형상 기준으로 각 궤도선에는 약 2만4,300개의 타일과 2,300개의 단열 블랭킷이 설치됐다.

셔틀 타일은 알루미늄 동체에 직접 부착되지 않았다. 실리카 타일과 동체 사이에 RTV 실리콘 접착제와 Nomex 펠트 재질의 SIP, 즉 Strain Isolation Pad를 배치해 알루미늄 구조와 실리카 타일의 열팽창 차이와 동체 변형을 흡수했다. 이 구조는 열적·구조적 요구를 충족했지만 타일 교체 공정을 복잡하게 만들었다. 손상 타일을 제거한 뒤 기존 접착제와 SIP 상태를 검사하고 부착면을 세척·수리해야 했다. 교체 타일은 위치별 곡률과 두께에 맞게 가공됐고 접착과 경화 이후 주변 타일과의 높이와 틈새를 다시 측정해야 했다.

셔틀 TPS의 가장 큰 병목은 교체 타일 숫자 자체가 아니었다. 운용 후반 기준 비행당 평균 교체 타일은 약 50장으로 전체 수량에 비하면 적었지만, 그 50장을 찾고 나머지 타일의 안전성을 확인하기 위해 사실상 전체 외피를 검사해야 했다. 육안 손상, 타일 높이와 단차, 타일 사이의 틈새, 균열과 표면 코팅, gap filler 돌출 상태가 모두 검사 대상이었다. 저밀도 실리카 타일은 방수성이 사라지면 수분을 흡수할 수 있었고, 방수제가 재진입 열환경에서 소실됐기 때문에 매 비행 후 다시 방수 처리를 해야 했다. Columbia 사고 이후에는 RCC 내부 결함을 찾기 위해 열화상, 초음파, CT, X-ray 등 비파괴검사도 강화됐다.

비용 역시 실리카 원재료보다 검사와 정비 시스템에서 발생했다. NASA 자료에서 코팅이 완료된 셔틀 타일 한 장의 가격은 최대 약 1,000달러 수준으로 제시됐다. 임무당 약 50장을 교체한다고 단순 계산하면 직접 타일 비용은 약 5만달러다. 셔틀 전체 운용비와 비교하면 재료비 자체는 제한적이었다.

실제 비용은 숙련 인력에 의한 전체 외피 검사, 위치별 맞춤 타일 가공, 기존 접착제와 부착면 처리, 접착제 경화 대기, 단차와 틈새 측정, 비파괴검사와 품질보증, 대규모 정비 조직과 시설 유지에서 발생했다. 셔틀의 사례가 주는 핵심 교훈은 타일이 여러 번 사용될 수 있다는 것과 열차폐 시스템을 낮은 비용으로 반복 운용할 수 있다는 것이 서로 다른 문제라는 점이다.

Starship은 셔틀과 다른 구조를 갖고 있어 출발점은 상대적으로 유리하다. 원통형 동체의 넓은 면적에 규격화된 육각 타일을 반복 배치할 수 있어 위치별 맞춤 타일이 많았던 셔틀보다 대량생산과 예비품 관리, 자동 영상검사에 유리하다. 외부 관측과 Musk의 설명을 종합하면 상당수 타일은 동체에 용접된 스테인리스에 기계적으로 고정되는 구조로 파악된다. 부착 스테인리스가 정상이고 타일만 손상됐다면 접착제 제거와 장시간 경화 없이 교체할 가능성이 있다. 스테인리스 동체 역시 셔틀의 알루미늄 동체보다 상대적으로 높은 온도에서 구조적 여유를 가질 수 있다.

다만 기계식 부착과 스테인리스 구조가 모든 문제를 해결하는 것은 아니다. 부착 스테인리스는 반복적인 열과 진동으로 변형되거나 피로가 누적될 수 있고 스테인리스 주변 용접부도 검사 대상이다. 타일을 지나치게 단단히 고정하면 열팽창 과정에서 균열이 발생할 수 있고, 느슨하게 고정하면 상승 진동과 공력하중에서 이탈할 수 있다. 탱크와 배선, 밸브, 플랩 작동기 역시 국부 과열에 민감하므로 스테인리스 동체라는 이유로 일부 타일 손실이 항상 허용된다고 일반화할 수는 없다.

표 4. 스페이스셔틀과 Starship의 열차폐 운영 특성 비교

구분	스페이스셔틀	Starship V3
동체 재질	알루미늄	스테인리스
주요 타일 형상	위치별 맞춤 부품 다수	규격화된 육각 타일 반복
부착 방식	RTV·SIP 기반 접착 구조	스테인리스 기반 기계식 고정으로 파악
교체 절차	가공·접착·경화·단차 측정	경화 없는 교체 가능성, 실측 미공개
반복 정비	전면 검사·방수·비파괴검사	실운용 정비 데이터 미공개
동일 기체 재비행	다수 수행, 장기간 정비 수반	Ship 재비행 사례 없음
핵심 검증 항목	안전성과 정비 공수	자동검사·교체시간·반복 내구성

자료: SpaceX, NASA, 미래에셋증권 리서치센터

초기 Starlink 배치용 무인 Ship은 유인선보다 높은 차량 상실 위험을 수용할 수 있다. 일부 손상 조건을 실제 비행에서 시험하거나 개발 단계에서 더 높은 손실 확률을 감수하는 것도 가능하다. 그러나 경제성 기준까지 낮아지는 것은 아니다. 귀환 중 Ship을 잃으면 인명피해는 없더라도 제작비가 소모되고, 빠른 재사용을 전제로 한 발사비 구조도 성립하기 어렵다. 무인선에서는 한 번의 손상도 허용하지 않는다는 안전 기준은 완화할 수 있지만 수십 회 재사용해야 한다는 경제성 요구는 그대로 유지된다. 유인선으로 전환할 경우 단일 타일 손상에 대한 손상 허용성, 궤도상 TPS 검사, 열센서와 부착계통의 중복성, 충분한 무인 재비행 실적 등이 추가로 요구될 것이다.

결국 열차폐의 경제적 성공은 재진입 생존, 손상 허용성, 자동검사, 빠른 교체, 누적 재비행이 모두 연결된 결과다. 앞으로 결정적인 사건은 타일이 외관상 더 멀쩡해 보이는 비행이 아니라, Ship이 Starbase로 귀환해 포획되고, 자동 검사로 손상 지도가 작성되며, 제한적인 타일 교체 후 동일 기체가 다시 비행하는 것이다.

궤도 임무 전환이 바꾸는 평가 기준

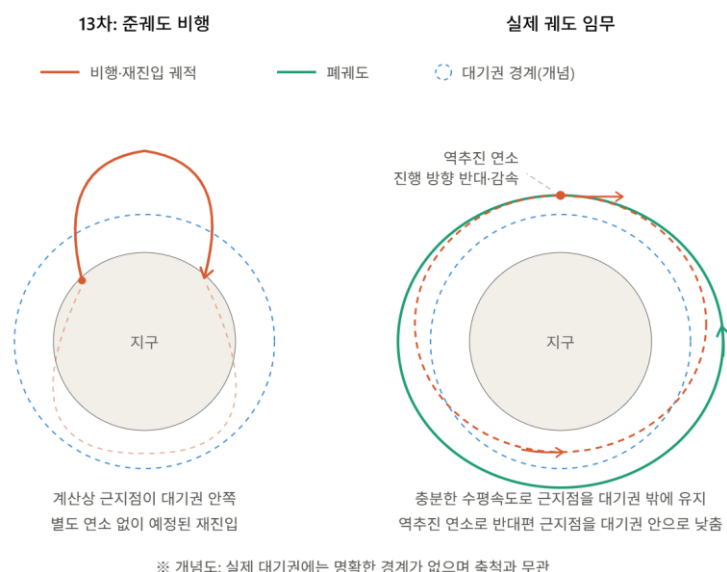
13차는 성능 부족으로 궤도에 진입하지 못한 비행이 아니라 의도적으로 궤도를 닫지 않은 시험이었다. Ship은 궤도속도에 근접한 수평속도까지 가속했지만 근지점을 대기권 안쪽에 남겨 별도의 궤도 이탈 연소 없이 인도양으로 재진입하도록 설계됐다. 함께 배치된 Starlink V3 20기가 약 20분 후 소멸한 것도 같은 비행 프로파일의 결과다. 따라서 실제 궤도 임무로 전환할 때의 논점은 Starship이 궤도에 오를 수 있느냐보다, 상용 탑재중량과 귀환용 추진제를 함께 싣고 목표 궤도에 정확히 도달할 수 있느냐다.

13차에서 SpaceX가 언급한 full-duration ascent burn은 해당 시험에서 계획한 연소시간을 모두 채웠다는 의미다. 추진제를 모두 사용하거나 Starship의 최대 궤도 투입 성능을 발휘했다는 뜻은 아니다. 실제 상용 임무에서는 Starlink V3 위성과 분리장치, 궤도 이탈용 추진제, 재진입과 착륙에 필요한 잔여 추진제를 동시에 확보한 상태로 목표 궤도에 진입해야 한다. 따라서 다음 비행에서 단순한 궤도 도달 여부보다 어느 정도의 탑재중량과 추진제 여유를 남긴 채 도달했는지가 중요하다.

궤도 투입 정확도도 상용 발사체를 가르는 항목이다. 엔진 정지 시점과 추력 편차가 조금만 달라져도 근지점과 원지점이 달라진다. Starlink처럼 동일한 배치 임무를 반복하는 경우 투입 궤도 오차는 위성 자체의 추진제 소모와 운용수명으로 전가된다. Raptor 엔진 간 추력 편차, 추진제 잔량 계측, 유도 소프트웨어, 엔진 정지 정밀도가 함께 검증돼야 하는 이유다.

실제 궤도에 진입한 뒤에는 최소 한 차례 이상 지구를 공전하며 자세제어와 전력·통신 운용, 극저온 메탄·산소 탱크의 압력 관리, 무중력 상태의 추진제 침전 제어를 수행해야 한다. 특히 액체 추진제가 탱크 내부에 떠다니는 상태에서는 재점화 직전 추진제를 엔진 흡입구 쪽으로 모으는 제어가 필요하다. 13차의 우주 공간 재점화는 이 과정의 일부를 확인한 것이지만 장시간 궤도 체류 후 정확한 시점에 재점화하는 전체 사슬은 아직 검증되지 않았다.

그림 8. 준궤도 비행과 실제 궤도 임무의 차이



자료: Claude, 미래에셋증권 리서치센터

궤도 이탈 이후의 재진입 조건도 다시 확인해야 한다. 완전한 궤도에 진입한 Ship은 임무 종료 후 Raptor를 재점화해 속도를 낮추고 목표 지점으로 재진입해야 한다. 이 경우 진입 속도와 각도, 총 가열시간, 누적 열하중, 플랩 제어시간, 착륙 지점까지의 횡방향 기동거리가 13차 준궤도 비행과 달라질 수 있다. 따라서 13차의 양호한 열차폐 외관을 실제 궤도 이탈 후 재진입 조건에 그대로 적용하기는 어렵다.

발사체로서의 상업적 성공과 완전 재사용 시스템의 성공은 구분할 필요가 있다. 상승과 궤도 투입, Starlink V3 분리, 위성의 자체 궤도 상승까지 성공하면 대형 위성 발사체로서 실질적인 상업 임무를 수행한 것으로 볼 수 있다. 반면 Starship이 목표로 하는 낮은 발사단가는 궤도 체류와 이탈, 재진입, 지상 귀환, 제한적인 정비와 재비행까지 연결돼야 성립한다. 차기 비행의 최종 프로파일과 Ship 포획 여부는 규제 승인과 비행 데이터 검토 결과에 따라 달라질 수 있으므로, 특정 비행의 확정 목표로 단정하기보다 14차 이후 순차적으로 검증할 단계로 보는 것이 적절하다.

표 5. 13차 대비 실제 궤도 임무의 추가 요구사항

항목	13차 결과	궤도 임무에서 추가로 필요한 검증
상승 델타V	준궤도 목표 속도 달성	수평 델타V 추가로 근지점을 대기권 밖에 형성
성능 여유	시험 위성 20기 배치	상용 탑재중량과 귀환 추진제 동시 확보
투입 정확도	준궤도 목표 궤적 달성	목표 주차궤도의 근지점·원지점 오차 관리
위성 운용	방출 후 약 20분 이내 소멸	자체 추진을 통한 운용 궤도 상승
궤도 체류	약 65분	1주회 이상 자세·전력·추진제 관리
궤도 이탈	우주 공간 재점화 1회	정밀한 deorbit burn과 재진입 지점 제어
재진입	준궤도 고에너지 진입	실제 궤도 이탈 후 누적 열하중 검증
회수	인도양 해상착수	Starbase 귀환과 타워 포획
재사용	미검증	자동검사·제한적 정비 후 동일 기체 재비행

자료: 미래에셋증권 리서치센터

낮아진 임무 리스크, 남아 있는 재사용 리스크

13차 비행의 첫 번째 의미는 Starship과 Starlink V3가 하나의 통합 배치 시스템으로 작동할 수 있음을 확인했다는 점이다. Ship은 실물 위성을 적재하고 순차적으로 방출했으며, 위성은 전력·통신 계통을 가동하고 기존 Starlink 군집 및 지상과 교신했다. 이는 Starship이 단순한 시험 발사체에서 실제 탑재체 임무를 수행하는 발사체로 이동하고 있음을 보여준다. 다만 위성이 운용 궤도에 진입하지 않았으므로 상용 임무에서 요구되는 궤도 투입 정확도와 위성 자체의 궤도 상승, 장기간 운용은 다음 단계에서 확인해야 한다.

두 번째 의미는 열차폐와 구조 생존성에 관한 데이터의 질이 개선됐다는 점이다. Ship이 착수 후에도 동체 형상을 유지하면서 이전 비행보다 완전한 상태의 열차폐체와 플랩, 엔진부를 관찰할 수 있었다. 그러나 이는 재진입 생존성의 진전이며, 지상 귀환 후 검사와 정비, 동일 기체 재비행을 포함한 재사용 경제성은 미검증이다. 셔틀의 사례가 보여주듯 열차폐의 경제성을 가르는 것은 타일이 한 번 버티는지가 아니라 복귀 후 얼마나 적은 노동과 시간으로 다시 비행할 수 있느냐다.

세 번째로 단기적인 우선 과제는 Super Heavy 착수 재점화다. 목표 해역에 도달하는 것과 발사대에서 포획되는 것은 요구되는 신뢰도가 다르다. 해상에서는 일부 엔진의 재점화 실패가 기체 손실로 끝날 수 있지만 발사대에서는 발사 인프라 전체의 가동 중단으로 확대될 수 있다. Booster 회수의 안정화가 발사원가와 발사빈도를 결정하고, 이후 Starlink V3 배치 속도와 HLS를 포함한 장기 임무 일정에도 영향을 미치는 이유다.

13차가 입증한 것은 V3 Ship의 준궤도 종단간 임무 수행 능력이다. 아직 완전한 지구 궤도 진입, 실제 궤도에서의 이탈 연소, Ship의 Starbase 귀환과 타워 포획, Super Heavy와 Ship의 재비행, 두 Starship 간 극저온 추진제 이송, 궤도상 랑데부와 도킹은 수행되지 않았다. 따라서 이번 비행을 스타십 개발의 완성으로 해석하기보다, 실제 궤도 임무와 회수·재비행 단계로 넘어갈 수 있는 기술적 근거를 마련한 시험으로 평가한다.

향후 추적할 우선순위는 명확하다. 첫째는 Super Heavy 착수 연소 정상화와 회수 신뢰성 확보, 둘째는 실제 궤도 투입과 Starlink V3의 운용 궤도 진입, 셋째는 궤도 이탈 후 Ship의 지상 귀환과 포획, 넷째는 귀환 기체의 자동 열차폐 검사와 제한적인 정비, 다섯째는 동일 기체의 재비행과 누적 턴어라운드 데이터다. 이 항목들이 순서대로 검증될 때 스타십의 기술적 완성도뿐 아니라 발사빈도와 발사단가에 관한 경제적 가정도 평가할 수 있을 것으로 판단한다.

Compliance Notice

- 당사는 본 자료를 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- 본 자료는 외부의 부당한 압력이나 간섭없이 애널리스트의 의견이 정확하게 반영되었음을 확인합니다.

본 조사분석자료는 당사의 리서치센터가 신뢰할 수 있는 자료 및 정보로부터 얻은 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목 선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 조사분석자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다. 본 조사분석자료의 지적재산권은 당사에 있으므로 당사의 허락 없이 무단 복제 및 배포할 수 없습니다.