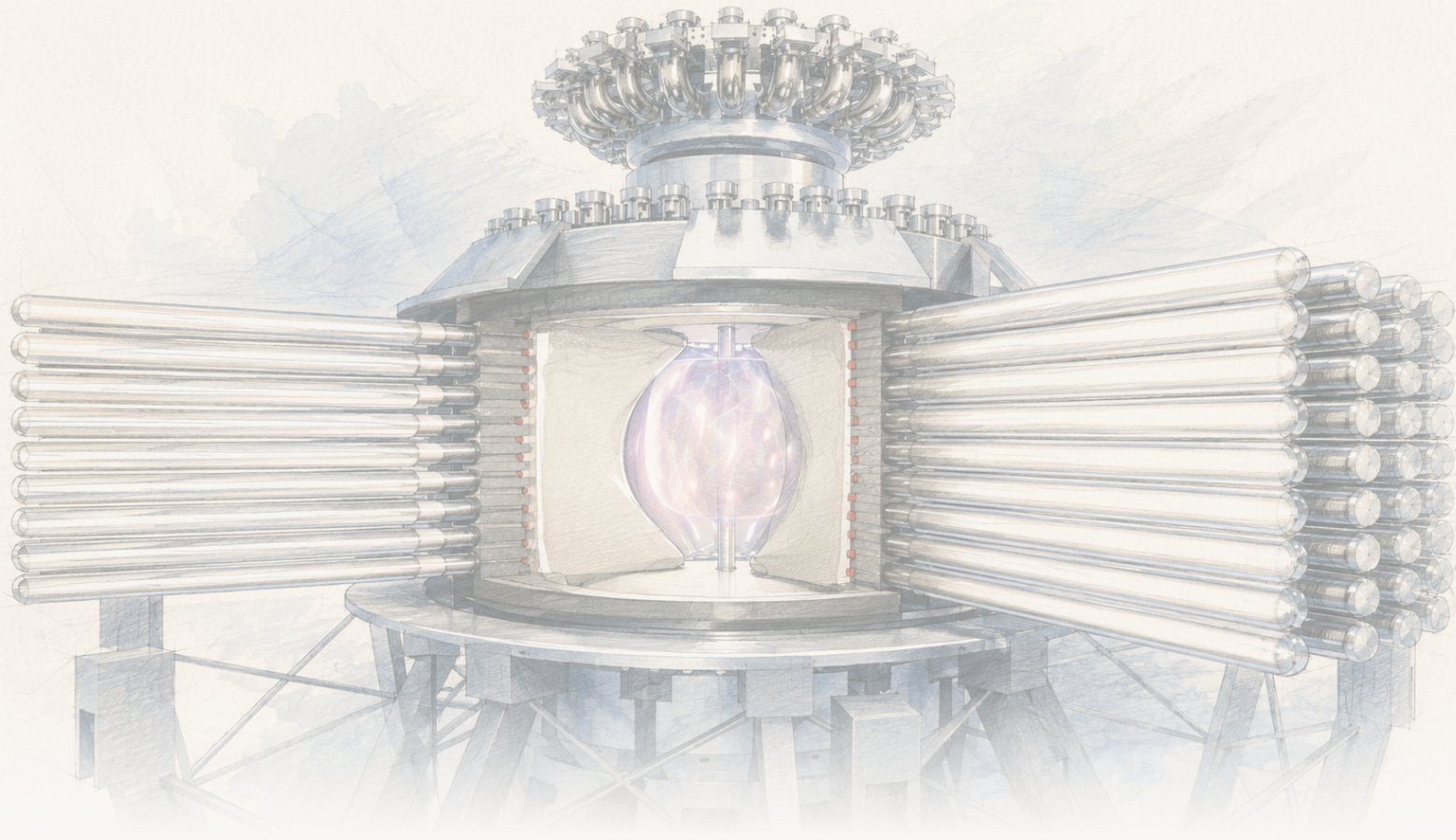




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

플라스마를 압축해 가열한 핵융합 장치—실제 진전과 아직 아닌 발전소

*General Fusion*의 LM26은 붕괴하는 리튬 라이너로 자화된 중수소 플라스마를 압축해 가열되는 것을 관측했다. 전자 온도는 세 배 넘게 올라 약 0.72 keV ($718 \pm 80\text{ eV}$, 약 800 만 °C)의 측정 최대 값에 도달했고, 분석은 가열 대부분을 자화 표적 핵융합이 의존하는 압축 자체에 돌린다. 이 방식에는 실제 공학적 검문소를 하나 통과한 셈이다. 그러나 한 장치의 최초 11 회 샷을 회사가 동료평가 전 프리프린트로 보고한 것이며, 온도는 연소 플라스마에 필요한 수준보다 여전히 약 10 배 낮다. 순에너지, 손익분기점, 전력 생산은 없었다. 메커니즘을 보였을 뿐 발전소를 만든 것은 아니다.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment*, S. J. Howard et al. (General Fusion), arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (preprint) · DOI: 10.48550/arXiv.2606.23974

플라스마를 ‘짜서’ 가열한 핵융합 장치 — 실제 진전과 아직 아닌 발전소

핵융합로가 가동에 들어가는 에너지보다 더 많은 에너지를 돌려주려면 연료 플라스마가 동시에 충분히 뜨겁고, 충분히 조밀하며, 충분히 오래 가둬져 있어야 한다. 물리학자들이 **로스 기준 (Lawson criterion)** 이라고 부르는 조건에 묶이는 세 요소다. 주류 연구는 거대한 초전도 자석 (ITER 같은 토카막) 이나 대형 레이저 배열 (미국 국립점화시설 NIF 의 관성가둠) 을 쓴다. 그러나 일부 기업은 세 번째 경로인 **자화 표적 핵융합 (magnetized target fusion, MTF)** 에 베팅한다. 따뜻하고 자화된 플라스마를 만든 뒤 빠르게 기계적으로 압축해, 디젤 엔진이 점화 플러그가 아니라 압축으로 연료를 점화하듯 압축 자체로 가열하는 방식이다.

2026 년 6 월 캐나다 기업 **General Fusion** 은 **Lawson Machine 26(LM26)** 결과를 공개해 이 핵심 전제가 실제로 성립하는지 시험했다. 자화된 플라스마를 기계적으로 압축하면 모델이 예측하듯 정말 뜨거워지는가? 구형 토카막 중수소 플라스마를 안으로 붕괴하는 고체 리튬 라이너로 압축한 첫 11 회 샷에서, 성능이 가장 좋은 샷들은 압축과 함께 플라스마가 뚜렷하게 더 뜨거워지고 더 조밀해지며 자기장도 강해졌다. 회사의 분석은 그 가열의 대부분이 압축 자체에서 왔다고 본다.

이는 MTF 접근법에 대한 실제적이고 구체적인 공학 결과다. 그러나 동시에 **동료평가를 받지 않은 회사 프리프린트**에 실린 최초의 소수 샷이며, 온도는 연소 플라스마에 필요한 수준보다 여전히 훨씬 낮다. 핵융합 에너지 생산도, 손익분기점도, 발전소도 아니다.

[video pending]

General Fusion 이 제공한 홍보 영상으로, LM26 이 어떻게 생겼는지 보여 주기 위해 포함했다. 이 장치가 향후 핵융합 목표를 달성할 것이라는 독립적 증거는 아니다.

A real heating step, far below a burning plasma

Temperature is only one Lawson quantity; density and confinement time still matter.

temperature (log scale)

burning D-T plasma: ~10 keV (100+ million C)

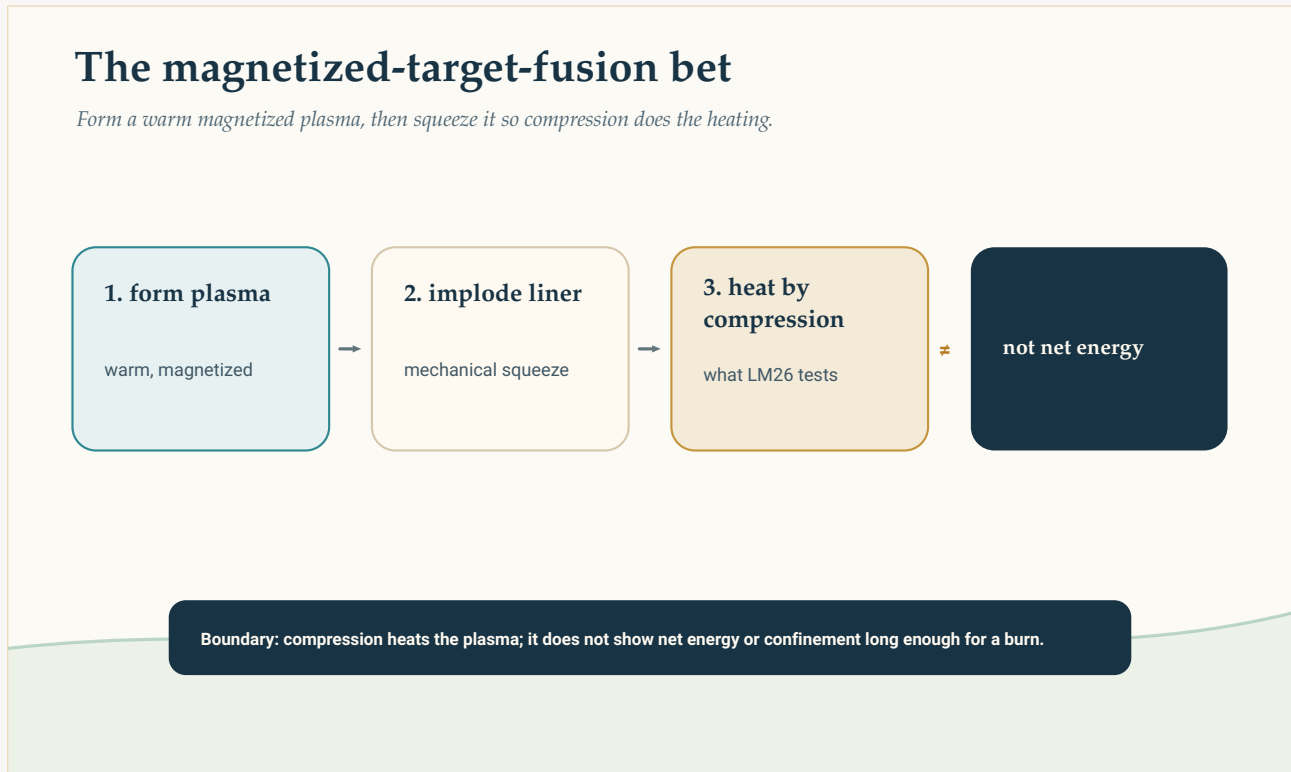
General Fusion milestone: 1 keV

LM26 peak: ~0.72 keV (~8 million C)

Boundary: heating shown; a burning plasma is an order of magnitude, and two more quantities, away.

온도 사다리: LM26 의 약 0.72 keV, General Fusion 의 1 keV 목표, 그리고 연소 중수소-삼중수소 플라스마에 필요한 약 10 keV. 온도는 로슨 조건 세 요소 가운데 하나일 뿐이다.

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0



자화 표적 핵융합: 따뜻하고 자화된 플라스마를 만든 뒤, 붕괴하는 라이너로 압축해 그 '짜는 힘'이 가열을 담당하게 한다. 디젤 압축과 비슷한 발상이다. LM26 은 압축이 플라스마를 가열하는지를 시험했지, 순에너지나 충분한 가둠을 입증한 것이 아니다.

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0

“자화 표적 핵융합”, “keV”, 로슨 기준은 무엇인가?

핵융합에서 플라스마 온도는 보통 도가 아니라 **킬로전자볼트 (keV)**로 표시한다. 1 keV 는 약 **1,160 만 °C**에 해당한다. 중수소-삼중수소 연료가 효율적으로 핵융합하려면 대략 **10 keV**(1 억 °C 이상)에 도달해야 한다. 그러나 온도는 동시에 충족해야 하는 세 조건 중 하나일 뿐이다. **로슨 기준**은 충분한 **밀도**와 충분한 **가둠 시간**도 필요하다고 말하며, 흔히 온도 × 밀도 × 가둠 시간의 “삼중곱”으로 묶는다. 플라스마를 가열하는 것은 필요하지만 그것만으로는 턱없이 부족하다.

자화 표적 핵융합 (MTF)은 두 주류 방식의 중간쯤에 있다. 거대한 자석으로 뜨거운 플라스마를 오래 가두거나, 레이저로 아주 작은 표적을 거의 순간적으로 가열하는 대신, MTF 는 자화된 플라스마를 만든 뒤 수 마이크로초 동안 기계적으로 압축한다. 성공한다면 압축이 플라스마를 가열하는 동시에 밀도도 높여, ITER 규모의 자석이나 NIF 규모의 레이저 없이 핵융합 조건에 접근할 가능성이 있다. 실제 장치에서 압축이 정말 그만큼의 가열을 만들어 내는지가 바로 LM26 같은 시험이 묻는 질문이다.

연구진이 한 일

- General Fusion의 자화 표적 핵융합 장치 **LM26**을 만들고 가동했다. 구형 토카막 중수소 플라스마를 만든 뒤 안쪽으로 붕괴하는 **고체 리튬 라이너**로 압축해, 반지름 기준 약 **3 배 압축**을 달성했다.
- **최초 11 회의 압축** 샷을 수행하고 많은 진단 장비를 붙여 시간에 따른 플라스마 온도·밀도·자기장을 재구성했다. 방출되는 중성자, X 선, 가시광과 빠른 카메라로 플라스마-벽 상호작용도 기록했다.
- 압축 가열, 플라스마 자체 전류에서 오는 옴 가열, 경계로 빠져나가는 에너지 손실을 함께 계산하는 **통합 물리 모델**을 만들고 측정 자료와 비교해 실제 가열이 어디서 왔는지 추정했다.

무엇을 발견했나

- 압축할수록 플라스마가 뜨거워졌다. 가장 좋은 샷에서 전자 온도는 **3 배 이상**, 전자 밀도는 약 **10 배**, 폴로이달 자기장은 약 **10 배** 증가했다. 3 배의 반지름 압축이 이를 구동했다. 최고 성능 샷에서 논문이 측정한 **최대 전자 온도는 약 0.72 keV**(툼슨 산란으로 718 ± 80 eV), 약 800 만 °C 다.
- 가열의 대부분은 압축 때문이라고 분석했다. 통합 모델은 온도 상승의 과반이 MTF 전체가 의존하는 기계적 압축 자체에서 왔으며, 옴 가열이 주원인은 아니라고 결론 낸다.
- 압축 중 중성자 방출이 증가했다. 더 뜨겁고 조밀해진 중수소 플라스마와 일치하는 결과다.

이것이 보여 주지 않는 것

- 핵융합 에너지, 손익분기점, 순에너지 이득이 아니다. 장치 가동에 들어간 것보다 더 많은 에너지를 만들어 낸 것이 아니다. 결과는 핵융합 주기의 한 단계인 플라스마 가열에 관한 것이지, 원자로의 에너지 수지에 관한 것이 아니다.
- 온도는 연소 플라스마에 필요한 수준보다 여전히 약 **10 배 낮다**. 약 0.72 keV 는 대략 800 만 °C 다. 중수소-삼중수소 연료는 대략 **10 keV(1 억 °C 이상)** 와 더불어 충분한 밀도 × 가둠 시간이 있어야 연소를 유지할 수 있다. General Fusion 자체의 다음 목표인 **1 keV** 도 점화와는 거리가 멀다.
- “가열의 대부분이 압축에서 왔다” 는 것은 **모델 기반 결론**이지 계기에 직접 찍힌 값이 아니다. 진단 데이터에 맞춘 통합 물리 모델에서 압축·옴 가열·손실의 몫을 나눈 결과다. 그 분할을 얼마나 믿을지는 모델을 얼마나 신뢰하느냐에 달려 있다.
- 회사 프리프린트이며 동료평가 전이다. 장치를 만든 팀이 직접 보고한 결과이고, 회사는 이 기술의 약속을 바탕으로 자금을 조달해 왔다. 아직 독립적인 학술 검토를 거치지 않았다.
- 중성자 증가가 **에너지 생산에 의미 있는 핵융합 수율**이라는 뜻은 아니다. 이런 조건의 중수소에서 일 부 중성자는 예상되며, 전력 생산에 유용한 수준과는 매우 멀다.
- 회사가 별도로 말한 **미래 발전소의 전력망 공급** 주장에 대해서는 아무것도 보여 주지 않는다. 독립 보고는 그 주장을 상당한 주의와 함께 다뤄 왔다.

근거는 얼마나 탄탄한가?

- **핵심 주장은 좁고 검증 가능하다.** “자화된 플라스마를 압축했더니 더 뜨거워졌고, 그 대부분은 압축 때문이었다”는 MTF가 통과해야 할 바로 그 메커니즘 시험이다. 논문은 진단 장비가 풍부한 샷 자료와 명시적인 에너지 수치 모델로 이를 뒷받침한다. 동료평가를 통과한다면 초기 단계이지만 접근법을 실제로 검증하는 결과가 된다.
- **한계는 장식적인 것이 아니라 구조적이다.** 11 회 샷, 한 장치, 한 팀, 아직 동료평가 전, 그리고 연소 플라스마보다 한 자릿수 이상 낮은 대표 온도다. 핵심 결론인 가열의 과반이 압축에서 왔다는 모델에 기대므로, 동료평가에서 가장 중요한 질문은 그 분해가 얼마나 견고한지다.
- **정직한 상태 평가는 ‘에너지 이정표 달성’이 아니라 ‘메커니즘 시험’이다.** MTF를 “압축이 플라스마를 가열해야 한다”에서 “압축이 실제로 플라스마를 가열한다” 쪽으로 조금 옮긴 결과다. 그 이상으로 과장할 이유는 없다.

왜 중요한가

자화 표적 핵융합의 흥미로운 점은 기록 경쟁이 아니라 경제성에 있다. 기계적 압축으로 플라스마를 핵융합 조건에 가깝게 가열할 수 있다면 ITER 규모의 자석이나 NIF 규모의 레이저 없이도 접근할 수 있어, 제대로 작동한다면 더 저렴하고 빠르게 반복 개선할 경로가 될 수 있다. 문제는 바로 그 “작동한다면”이다. 그리고 그것은 압축이 모델이 약속하는 가열을 실제로 제공하는가 같은 화려하지 않은 검문소에서 갈린다. LM26의 첫 샷들이 내놓은 답은 조건부로 ‘그렇다’다. 그래서 주목할 만하다. 긴 사다리의 한 칸이고, 올라가는 당사자들이 보고했으며, 아직 다른 이들의 검증을 받지 않았고, 정상까지는 한참 남았다.

핵심 요약

General Fusion의 LM26은 붕괴하는 리튬 라이너로 자화된 중수소 플라스마를 압축해 가열되는 것을 보여줬다. 전자 온도는 3배 넘게 올라 측정된 최대값이 약 0.72 keV ($718 \pm 80 \text{ eV}$, 약 800만 °C)에 이르렀고, 회사의 분석은 가열 대부분을 MTF가 의존하는 핵심 메커니즘인 압축 자체에 돌린다. 이 방식의 핵융합을 위한 실제적이고 구체적인 공학적 한 걸음이다. 동시에 한 장치에서 수행한 최초 11회 샷이고, 동료평가 전인 회사 프리프린트이며, 온도는 연소 플라스마에 필요한 수준보다 약 10배 낮다. 순에너지도, 손익분기점도, 전기도 없다. **메커니즘을 보였을 뿐 발전소를 만든 것이 아니다.**

출처

S. J. Howard et al. (General Fusion), The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment, arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (2026)

<https://arxiv.org/abs/2606.23974>

General Fusion, 'General Fusion Achieves Compressional Plasma Heating with LM26 Magnetized Target

Fusion Machine' (company announcement, June 2026)

<https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-1m26-magnet>

Nature news, 'Nuclear-fusion firm says plant will deliver electricity to grid - but big questions remain' (2026)

<https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z>