



The CLEAN PAPER

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

একটি ছোট অণু untreated PTFE-কে জুড়ছে, আবার ethanol দিয়ে ধুয়ে সরানোও গছে

JACS-এর একটি গবেষণাপত্র fluoro-crown ether phosphate আঠা-এর কথা জানায়, যা পরীক্ষাগারে lap-shear পরীক্ষা-এ adhesion-প্রতিরোধী PTFE-কে জোড়ে এবং পরে ethanol দিয়ে ধুয়ে সরানো যায়। CyclicFP-fmoc untreated PTFE-তে নমনীয় cohesive ব্যর্থতা-সহ 1.3 MPa-তে পট্টে ছাঁচ, আর সম্প্রকৃতি একটি variant 2.3 MPa পর্যন্ত যায়। PTFE-তে fluorine-fluorine interaction এবং আঠার ভেতরে hydrogen bonding ও pi-stacking-এর পক্ষে spectroscopy-ভিত্তিক প্রমাণ আছে। এটি আশাব্যঞ্জক পদার্থ ফল; এখনও বাণিজ্যিক আঠা, সর্বজনীন পুনর্ব্যবহার সমাধান বা পূর্ণ পরিশোধিত নরিপত্তা মূল্যায়ন নয়।

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

Paper: *Small-Molecule Adhesives with Strong and Ductile Adhesion to PTFE, Yet Allowing Easy Wipe-Off Removal*, Kohei Kikkawa, Abir Goswami, Kiyoshi Morishita, Hao Wang, Takashi Nakamura, and Takuzo Aida, *Journal of the American Chemical Society* 148, 29138-29145 (2026) · DOI: 10.1021/jacs.6c07886

PTFE-তে কছি আটকানো কঠনি হওয়ার কারণ আছে

Polytetrafluoroethylene, যা PTFE নামে বেশি পরিচিতি এবং Teflon-সহ বিভিন্ন বাণিজ্যিক নামে বিক্রি হয়, আংশিকভাবে এত উপকারী কারণ এটি অন্য কছির সঙ্গে সহজে মিশ্রিত করা যায় না। এর ঘর্ষণশক্তি কম। অনেকে তরল এর ওপর ফোঁটা হয়ে থাকে। ঘর্ষণকে এড়িয়ে, খসখসে করা, প্লাজমা-প্রক্রিয়াকরণ বা বিশেষ প্রাইমার ব্যবহার না করলে অনেকে আঠাই এতে কাজ করেন না।

ননস্টিক আবরণ ও রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয় যন্ত্রাংশের জন্য এই প্রতারণাধর্মী কঠমতা দাবুণ। কিন্তু প্রকট শিল্পীরা যখন ঘর্ষণকে স্থায়ীভাবে কঠমগিরস্ত না করে PTFE-কে আরেকটি অংশের সঙ্গে জোড়া দিতে চান, তখন এটিই সমস্যা হয়ে দাঁড়ায়।

Journal of the American Chemical Society-তে প্রকাশিত একটি গবেষণাপত্র সমস্যাটিকে অস্বাভাবিক দিক থেকে মোকাবিলা করে এমন একটি ছোট-অণু আঠার কথা জানায়। Kohei Kikkawa, Abir Goswami ও সহকর্মীরা ফ্লুরো-করাউন-ইথার ফসফেট অণু তৈরি করেছেন, যা কঠনি আগাম ঘর্ষণ-প্রক্রিয়াকরণ ছাড়াই PTFE-তে শক্তভাবে আটকে থাকতে পারে, ভাঙার আগে নমনীয়ভাবে বিকৃত হয়, এবং পরে ইথানল দিয়ে ধুয়ে PTFE পাত থেকে সরানো যায়।

প্রধান অণুর নাম **CyclicFP-fmoc**। ল্যাপ-শিয়ার পরীক্ষায় এটি অপরিশোধিত PTFE পাতকে $1.3 \pm 0.1 \text{ MPa}$ আঠালো শক্তিতে ধরে রেখেছিল এবং বিচ্ছিন্ন করতে কাজ লগেছিল 1300 N/m । 1 MPa মানে প্রতি বর্গমিলিমিটারে 1 নিউটন; তাই 1.3 MPa সর্বোচ্চ চাপকে আনুমানিকভাবে এমন বলা যায় যেন প্রতি বর্গমিলিমিটারে 130-গ্রাম আপলের ওজন পড়ছে। এটিকে একক কঠের ফলভিত্তিক তুলনা, পরীক্ষার নমুনার প্রকৃত বল বা সংযোগের জ্যামিতি নয়। 1300 N/m বিচ্ছিন্নকরণ-কাজ প্রতি বর্গমিটারে 1300 জুল বিচ্ছেদশক্তির সমান। প্রকট শিল্পগত ভার মূল্যায়ন হিসেবে নয়, সরাসরি দৃশ্যমান প্রদর্শন হিসেবে গবেষণাপত্রে 7 cm^2 জোড়কে 8 kg ওজন ধরে রাখতে দেখানো হয়েছে। জোড়টি PTFE-র সংযোগস্থলে নয়, আঠার স্তরের ভেতরে ভেঙেছে। এটি গুরুত্বপূর্ণ: পরীক্ষায় দুর্বল বিন্দু ছিল না PTFE-আঠা সংযোগস্থল।



ঝুলন্ত ওজন ধরে রাখা আঠালো স্ট্রাপের গবেষণাপত্রে ছবি (চিত্র 2, বাম) ভিত্তিতে পেন্সিল অঙ্কন। এটি মূল আলোকচিত্র নয়, স্কেল-অনুযায়ী অঙ্কনও নয়, এবং প্রকট শীলগত ভার-মূল্যায়ন চিত্রও নয়।

AI-generated adaptation — The Clean Paper; source photograph: Kikkawa et al., JACS 2026, Figure 2 (left) Fair-use assertion

ফলটির অর্থ “PTFE সমস্যার সমাধান হয়ে গেছে” নয়। এটি নিম্নতরিত্র পরীক্ষাগারে একটি উপাদান ফল। তবে কঠিন একটি সমন্বয়ে পরিস্কার উদাহরণ: শক্ত আসঞ্জন, নমনীয় ব্যর্থতা এবং আসঞ্জন কঠিন বলে পরিচিতি একটি পৃষ্ঠ থেকে ধুয়ে সরিয়ে নেওয়া।

সাধারণত শক্তি আর সহজে সরানো কনে পরস্পরে বন্দি হয়ে যায়

আঠাকে সাধারণত একটি আপস করতে হয়। শক্ত আন্তঃসংযুক্ত পলিমার আঠা খুব শক্তিশালী হতে পারে, কিন্তু এগুলো প্রায়ই হঠাৎ ভেঙে যায় এবং পরিস্কারভাবে সরানো কঠিন। নরম টপের মতো আঠা প্রসারিত হয়ে শক্তিশীষণ করতে পারে, কিন্তু সাধারণত শক্তিতে পছিয়ে থাকে।

এই আপসের মূল কারণ অণুস্তরে। শক্তির জন্য দরকার চাপ দক্ষভাবে এক অংশ থেকে আরেক অংশে পট্টমানো। নমনীয়তার জন্য দরকার চলাচল, পুনর্বিন্যাস এবং শক্তি অপচয়। সহজে সরাতে চাইলে এমন বন্ধন দরকার যা ভিত্তি-পদার্থ নষ্ট না করে ভাঙা যায়। এই চাহিদাগুলো ভিন্ন দিকে টানে।

ছোট-অণুর আঠা আকর্ষণীয়, কারণ নীতিগতভাবে এগুলো সরানো ও পুনর্ব্যবহার করা যেতে পারে। বহু প্রচলিত আঠাকে দৃঢ় করে এমন দীর্ঘ, জট-পাকানো পলিমার নেটেওয়ার্ক এগুলো তৈরি করেনা। এটি আবার দুর্বলতা: সেই জট না থাকলে ছোট অণু সাধারণত নমনীয় অথচ উচ্চ-শক্তির আসঞ্জন দিতে হিমশিম খায়।

JACS গবেষণাপত্রটি পলিমারের নজিস্ব জড়তার ওপর ভরসা না করে একাধিক **প্রত্যাবর্তনযোগ্য অ-সময়োজী মথিস্ক্রিয়া** একসঙ্গে কাজে লাগানোর চেষ্টা করেছে। অণুটিতে একটি ফ্লুরনিকৃত ক্রাউন-ইথার ফসফেট অংশকে ইউরথেনে-সম্প্রকৃতি Fmoc অংশের সঙ্গে যুক্ত করা হয়েছে। সহজ করে বললে, ফ্লুরনিকৃত রিং PTFE-র ফ্লোরিন-সমৃদ্ধ পৃষ্ঠের সঙ্গে মথিস্ক্রিয়া করতে পারে, ইউরথেনে অংশ পাশের আঠা অণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধন করতে পারে, আর সমতল ফ্লুরনেলি অংশগুলো একে অন্যের ওপর স্তূপ হতে পারে। লক্ষ্য কনো একক “জাদুকরি” বন্ধন নয়; বরং কয়েক ধরনের দুর্বল ও প্রত্যাবর্তনযোগ্য মথিস্ক্রিয়াকে একসঙ্গে কাজ করানো:

- PTFE-র কাছে ফ্লোরিন-ফ্লোরিন মথিস্ক্রিয়া;
- আঠার অণুগুলো র মধ্য হাইড্রোজেন বন্ধন;
- ফ্লুরনেলি দলের মধ্যে pi-pi স্তরবিন্যাস;
- এবং সঙ্গে এতটা আণবিক চলাচল, যাতে চাপ পড়লে সঙ্গে সঙ্গে ফটে না গিয়ে তা শিথিল হতে পারে।

প্রধান PTFE পরীক্ষায় কী দেখা গেছে

লেখকরা CyclicFP-fmoc এমন PTFE পাতের মাঝখানে রেখেছিলেন যগুলোকে আগে পৃষ্ঠ-প্রক্রিয়াকরণ বা পরিস্কার করা হয়নি, আঠা গরম করছিলেন এবং পরীক্ষার আগে পাতগুলো ঘররে তাপমাত্রায় 10 মিনিট রেখেছিলেন।

পরিমাণগত পরীক্ষায় তারা ল্যাপ শিয়ার ব্যবহার করেন। CyclicFP-fmoc দিয়ে জোড়া PTFE পাত টেনেসাইল চাপে 1.3 ± 0.1 MPa পর্যন্ত পট্টমান; তিনটি পরিমাপের গড় মানক বচিযুতি হিসেবে এই মান দেওয়া হয়েছে। চুল ভরায়ার দিয়ে প্রায় 50 C-এ আঠা লাগালেও কাছাকাছি মান, 1.1 ± 0.1 MPa, পাওয়া যায়—অর্থাৎ শুধু উচ্চ তাপমাত্রায় গলানোই একমাত্র উপায় ছিল না।

একই PTFE ল্যাপ-শিয়ার বিন্যাসে লেখকরা বাণজ্যিক ইপোকসি, অ্যাক্রিলিক, সলিকিন ও ইউরথেনে আঠার সঙ্গে ফলটি তুলনা করেন। ওই নিম্নতরনগুলো র শক্তি ছিল প্রায় **0.1 থেকে 0.7 MPa**, যেখানে CyclicFP-fmoc-এর ছিল 1.3 ± 0.1 MPa। একই সাবস্ট্রেটে ও একই

পরীক্ষা-পদ্ধতিতে করা এই তুলনা, ভিন্ন পদার্থ ও ভিন্ন জ্যামিতির পরীক্ষার MPa মান এক তালিকায় সাজানোর চেষ্টে অনেক বেশি তথ্যবহুল।

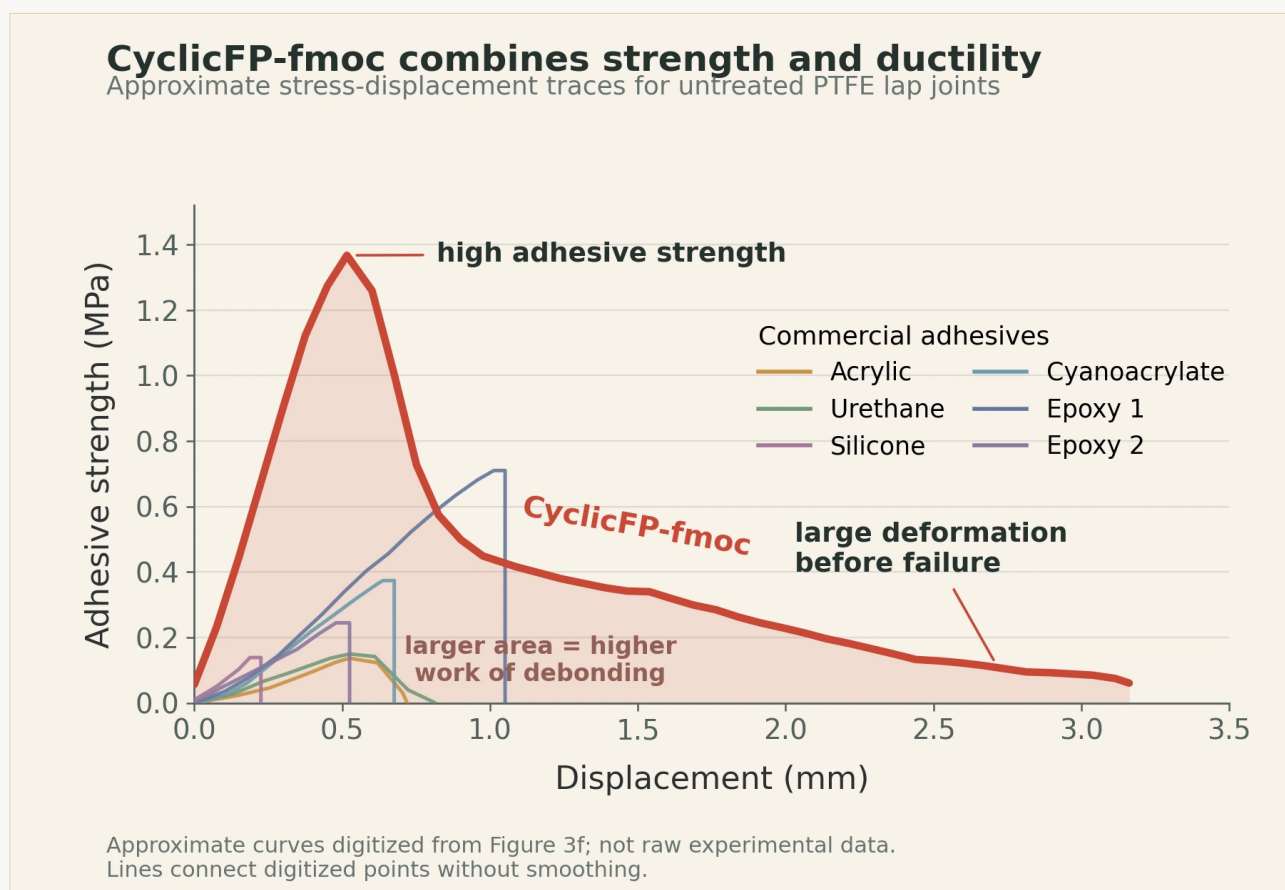
সংরক্ষণের পরও মান খুব বেশি বদলায়নি। স্বাভাবিক পরিবেশে 30 দিন রাখার পর আসঞ্জন শক্তি ছিল $1.3 \pm 0.2 \text{ MPa}$ । পাতগুলো জোর করে আলাদা করে আবার ওভারল্যাপ করিয়ে গরম করার পর শক্তি ছিল $1.2 \pm 0.2 \text{ MPa}$ । এই চক্র দশবার পুনরাবৃত্তির পরও মান ছিল প্রায় $1.3 \pm 0.3 \text{ MPa}$ ।

সরো রূপভেদে প্রধান অণু ছিল না। তিনটি fmoc দলসহ সম্পর্কিত অণু **CyclicFP-fmoc3** PTFE-তে $2.3 \pm 0.2 \text{ MPa}$ পর্যন্ত পট্টাইছে। তবে গবেষণাপত্রটি CyclicFP-fmoc-এর ওপর বেশি জোর দিয়ে, কারণ এটি শক্তি, নমনীয়তা, প্রক্রিয়ার পক্ষে প্রমাণ এবং মুছে সরানোর ক্ষমতা—সবকটি একসঙ্গে দেখায়।

দাবিটির দ্বিতীয় অর্ধ হলো নমনীয়তা

শুধু শক্তিশালী হলেই যথেষ্ট নয়। ভঙুর আঠা অনেক বড় শীর্ষ চাপ সহ্য করে তারপর হঠাৎ ভঙে যেতে পারে। গবেষণাপত্রটির তুলনামূলকভাবে স্বতন্ত্র দাবি হলো CyclicFP-fmoc একই সঙ্গে নমনীয় আচরণও করে।

ল্যাপ-শিয়ার বক্ররেখায় CyclicFP-fmoc সর্বোচ্চ চাপে পট্টাইছানোর পর স্থানচ্যুতি বাড়তে থাকলেও ধীরে ধীরে চাপ হারায়। গবেষণাপত্রে পরীক্ষিত বাণিজ্যিক আঠাগুলো তুলনামূলকভাবে ভঙুর জোড়ের মতো আচরণ করছে: সর্বোচ্চ চাপের কিছু পরই ব্যর্থতা হয়েছে।



CyclicFP-fmoc একটি উচ্চ চাপ শীর্ষের সঙ্গে শীর্ষের পর দীর্ঘ লজে দেখায়; ছায়াযুক্ত অংশটি এর বেশি বিন্দন ছাড়ানোর কাজ বোঝাতে সম্পাদকীয় নরিদশক। চিত্র 3f থেকে আনুমানিক বক্ররেখা ডিজিটাইজ করা হয়েছে; এগুলো কাঁচা পরীক্ষামূলক তথ্য নয়।

লখেকরো চাপ-স্থানচ্যুতি বিকররখোর নচিরে ক্ষেত্রফলকে বন্ধন ছাড়ানোর কাজ হিসেবে মপেছেন। PTFE-তে CyclicFP-fmoc-এর মান **1300 N/m**। পরীক্ষতি বাণজ্যিকি আঠাগুলে ার মান ছিল **26 থেকে 314 N/m**।

ভাঙনের ধরনও এই ব্যাখ্যার সঙ্গে মলে। CyclicFP-fmoc-এর PTFE জে াড় সংবদ্ধ ব্যরখতা দেখিয়েছে—অর্থাৎ আঠার ভেতরেই ভঙেছে। এর মানে পরীক্ষাগুলে াতে PTFE সংযে াগস্থল সামগ্রিকি আঠা স্তররে চয়ে শক্তিশালী ছিল, আর আঠা নজিরে ভেতরে বকিত হয়ে শক্তিঅপচয় করত পেরেছে।

চাপ শথিলিকরণ পরীক্ষা অণুগুলে ার সময়মাত্রা সম্পর্কে আরও তথ্য দয়ে। 20 C-এ বশৈষ্টিয় শথিলিকরণ সময় ছিল **60 ms**, এবং Arrhenius বশিলষণ থেকে সক্রিয়করণ শক্তি পাওয়া যায় **33.8 kJ/mol**। সহজ ভাষায়, হঠাৎ কেন্দ্রীভূত চাপ এলে আঠার স্তরটি স্থিরি ভঙুর কঠনিরে মতে া আচরণ না করে যথেষ্ট দ্রুত পুনর্বনিয়াস করতে পারে।

লখেকরো কনে মনে করনে ফলে ারনি গুরুত্বপূর্ণ

PTFE তৈরিকারবন-ফলে ারনি বন্ধন দয়ে। CyclicFP-fmoc-এ আছে ফলে ারনিযুক্ত ক্রাউন-ইথার গে াষ্টী। লখেকরো যুক্তদিনে, **F-F মথিস্করয়ি** PTFE-তে আঠার সংযে াগে সাহায্য করে, আর অন্য মথিস্করয়িগুলে া আঠার স্তরকে একসঙ্গে ধরে রাখতে ও বকিত হতে সাহায্য করে।

ক্যুকেটনিয়িন্তরণ পরীক্ষা সেই দকিই ইঙগতি দয়ে। CyclicFP-fmoc-এর ফলে ারনি পরমাণুগুলে া হাইড্রোজেনে পরমাণু দয়ে বদলালে তৈরিক CyclicP-fmoc PTFE-তে অনেকে দূর্বলভাবে আটকায়—প্রায় **0.1 ± 0.0 MPa**। রথেকি ফ্লুরো-াইথার ফসফেট AcyclicFP-fmoc পটে াছয় মাত্র **0.3 ± 0.1 MPa**। pi-স্তরবনিয়াস বা হাইড্রোজেনে-বন্ধন একক বাদ দেওয়া রূপভদেগুলে ার ফলও খারাপ ছিল।

এরপর গবষণাপত্রটি বরণালবীক্ষণ ও স্ফটিকি গঠন দয়ে মথিস্করয়িার এই ধারণাকে সমর্থন করে। CyclicFP-fmoc স্ফটিকি প্রতবিশৌ অণুর ফলে ারনি পরমাণুগুলে ার দূরত্ব **2.49 থেকে 2.91 অ্যাংস্ট্রম**, যা দুটি ফলে ারনি পরমাণুর **2.94 অ্যাংস্ট্রম** van der Waals সমষ্টির চয়ে কম। FT-IR এবং চলক-তাপমাত্রা NMR অস্ফটিকি আঠায় হাইড্রোজেনে বন্ধন, F-F মথিস্করয়ি ও pi-pi স্তরবনিয়াসের পক্ষে প্রমাণ দয়ে।

PTFE-র ক্ষেত্রে সবচয়ে সরাসরি প্রমাণ আসে কঠনি-অবস্থা **19F MAS NMR** থেকে: CyclicFP-fmoc-কে PTFE ন্যানে াকণা বা পাতলা PTFE ফলিমেরে সঙ্গে মশোলে বরণালসিরে যায়। ফলে ারনি-বহীন নিয়িন্তরণ একই সরণ তৈরিকরো না। অর্থাৎ ফলে ারনিযুক্ত অংশগুলে া PTFE-র সঙ্গে মথিস্করয়ি করে—এটি শুধু নকশা রূপরখো নয়, পরীক্ষামূলক প্রমাণও।

তবু এটিকে “F-F বন্ধন-ই PTFE সমস্যার সমাধান” বলে সরল করা উচিত নয়। গবষণাপত্রটির নজিস্ব মডলে আরও স্তরযুক্ত: সংযে াগস্থলে F-F মথিস্করয়ি PTFE আসঞ্জনে সাহায্য করে, আর হাইড্রোজেনে বন্ধন ও pi-pi স্তরবনিয়াস আঠার ভেতরের সংবদ্ধতা ও নমনীয়তায় অবদান রাখে।

মুছে ফলে সরানে া সত্যি, তবে সীমার মধ্যে

সরানে ার ফলটিই ব্যবহারকিভাবে সবচয়ে আকর্ষণীয়। লখেকরো আলাদা করা PTFE পাত ইথানল দয়ে ধুয়েছেন এবং তাদের প্রদর্শনীতে CyclicFP-fmoc কনে া অবশিষ্টাংশ ছাড়াই পুরে াপুরসিরে বলে জানান। তারা আঠা উদ্ধার করে বারবার ব্যবহারও করছেন; পুনর্বব্যবহার পরীক্ষায় আসঞ্জন শক্তি ছিল প্রায় **1.2 ± 0.1 MPa**।

এটি গুরুত্বপূর্ণ, কারণ প্রচলতি শক্তিশালী আঠা প্রায়ই পরম্কারভাবে সরানে া কঠনি। PTFE ধরে রাখতে পারে কনিতু পরে ধুয়ে ফলো যায়—এমন আঠা মোরোমত, বচিছনি করা ও পুনর্বব্যবহারে কাজে লাগতে পারে।

তবে সীমাটি গুরুত্বপূর্ণ। গবষণাপত্রটি নিয়িন্তরতি নমুনা পরীক্ষা করছে; সব ধরনের দূষতি শলিপ্পৃষ্ঠ, আবহাওয়ায় ক্ষয়প্রাপ্ত জে াড়, দ্রাবকরে

সংস্পর্শ বা দীর্ঘময়োদ্বিয়ার্থক্য নয়। PTFE পাত থেকে ইথানল দিয়ে মুছে ফেলো বহু-পদার্থের সমাবেশের পূর্ণ পুনর্ব্যবহার প্রক্রিয়া প্রমাণ করার সমান নয়।

গবেষণাপত্রে আরও বলা হয়েছে, CyclicFP-fmoc PFAS “চরিকাল রাসায়নিক” নয়। এই বক্তব্যকে সম্পূর্ণ পরিশেষে ঝুঁকি-মূল্যায়ন হিসেবে বিবেচিত করা উচিত নয়। স্থায়িত্ব, বিষাক্ততা, উৎপাদনের মাত্রা, পরিশেষে ছড়ানোর পথ এবং ন্যূনতর—এসব আলাদা প্রশ্ন।

এটুকী প্রমাণ করে না

- এটি বাজারে প্রস্তুত করে না। আঠা পণ্য দেখায় না।
- এটি প্রমাণ করে না যে পৃষ্ঠ প্রস্তুতি ছাড়াই সব শলিপ্রকৃতির PTFE এখন নরিভর্যে গ্যেভাবে আঠা দিয়ে জোড়া যাবে।
- ইথানল দিয়ে সরানো সব সাবস্ট্রেটে, পৃষ্ঠ শর্ত বা পুরোনো জোড়ে সমান ভালো কাজ করে—এটি দেখায় না।
- F-F মথিস্ক্রিয়া একই আসঞ্জন ব্যাখ্যা করে—এটি প্রমাণ করে না। গবেষণাপত্রের প্রক্রিয়ায় F-F, হাইড্রোজেন বন্ধন ও pi-pi স্তরবন্যাস একসঙ্গে আছে।
- এটি সম্পূর্ণ প্লাস্টিক-পুনর্ব্যবহার কর্মপ্রবাহ দেখায় না।
- আঠার অণুগুলোর পূর্ণ পরিশেষে বা বিষাক্ততাবকি নরিপাততা পরোফাইল প্রত্যাধি করে না।
- এর মানে বাণিজ্যিকি আঠাগুলোর সাধারণভাবে খারাপ নয়। তুলনাগুলো এই গবেষণাপত্রে পরীক্ষিত পদার্থ ও PTFE ল্যাপ-শিয়ার বন্যাসরে জন্য নরিদৃষ্টি।

ফলটুকিতটা শক্তিশালী?

পরীক্ষাগারভিত্তিক উপাদান গবেষণাপত্র হিসেবে ফলটুকিশক্তিশালী, কারণ লেখকেরা শুধু একটি বড় সংখ্যা জানাননি। তারা শক্তি, নমনীয়তা, 30 দিনের স্থায়িত্ব, পানির সহনশীলতা, পুনরায় জোড়া দেওয়া, ইথানল দিয়ে সরানো, বিভিন্ন আণবিক রূপভেদে এবং প্রস্তাবিত মথিস্ক্রিয়ার বর্ণালবিক্ষণমূলক প্রমাণ পরীক্ষা করেছেন।

সবচেয়ে বেশি বিশ্বাসযোগ্য সমন্বয় হলো ব্যর্থতা ধরন ও ন্যূনতর। PTFE সংযোগস্থল আগে ভেঙে গেলে দাবি দুর্বল হতো। তার বদলে যে থিটআঠার স্তরের ভেতরে ভেঙেছে। আর ফলে নিয়ুক্ত চক্রাকার গঠন বাদ দিলে বা বদলালে PTFE আসঞ্জন দ্রুত কমে যায়।

বাকি প্রশ্ন হলো মাত্রা ও ব্যবহারকৃতির। ল্যাপ-শিয়ার পরীক্ষা মানসম্মত ও উপযোগী, কনিত্ত বাস্তব যে থিথে পলি, আঘাত, কলান্টি, দূষণ, তাপমাত্রা চক্র ও মশির উপাদানের প্রভাব থাকে। ন্যূনতরতি পরীক্ষাগারে পাতের মাঝে খুব ভালো কাজ করা একটি অণুকেও প্রকটিশলগত আঠা হতে হলে ফর্মুলেশন, প্রক্রিয়া এবং স্থায়িত্ব ডটোসটে রূপ নতি হবে।

কনে এটি গুরুত্বপূর্ণ

PTFE উপাদানবজিগ্ননে একটি অস্বস্তিকর সীমায় আছে। এর নথিক্রিয়াই তাকে মূল্যবান করে, আবার একই বৈশিষ্ট্য মরোমতযোগ্য বা পুনর্ব্যবহারযোগ্য সমাবেশে একে যুক্ত করা কঠিন করে।

এই গবেষণাপত্র সরাসরি বলের বদলে রাসায়নিকভাবে নরিদৃষ্টি একটি পথ দেখায়। PTFE পৃষ্ঠকে খসখসে বা রাসায়নিকভাবে আক্রমণ করার বদলে এমন ছোট অণু নকশা করা হয়েছে, যা ওই পৃষ্ঠের সঙ্গে মথিস্ক্রিয়া করতে পারে এবং একই সঙ্গে নমনীয়, প্রত্যাভর্তনযোগ্য আঠার স্তর বজায় রাখে।

এই নকশা যুক্তিযুক্ত অন্যান্য ক্ষেত্রেও কাজ করে, তবে যান্ত্রিক কর্মক্ষমতা পুরো হারানো ছাড়াই সহজে সরানো ও পুনর্ব্যবহার করা যায়—এমন আঠা তৈরিতে সাহায্য করতে পারে। প্রকৃত প্রতিশ্রুতি একটি অণুকে প্রস্তুত আঠা বলা নয়; বরং শক্তিশালী, নমনীয় এবং পরে আলাদা করা যায় এমন আসঞ্জননের জন্য একটি আণবিক কৌশল।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

Kikkawa, Goswami ও সহকর্মীরা PTFE এবং অন্য সাবস্ট্রেটে ফ্লুরো-করাউন ইথার ফসফেট-জাত ছোট অণুকে আঠা হিসেবে পরীক্ষা করেছেন। প্রধান অণু CyclicFP-fmoc কনো প্রব-চকিহিসা ছাড়াই PTFE পাতকে ল্যাপ-শিয়ার পরীক্ষায় $1.3 \pm 0.1 \text{ MPa}$ শক্তিতে জোড়ে; ব্যর্থতা PTFE interface-এ নয়, আঠা স্তরে ভেতরেই হয়; বচিছিন্ন করতে প্রায় 1300 N/m কাজ লাগে; সংরক্ষণ ও বারবার পুনরায় জোড়ার পরও কর্মক্ষমতা থাকে; এবং ইথানল দিয়ে ধুয়ে PTFE থেকে সরানো যায়। সম্প্রকতি একটি বৃপভদে $2.3 \pm 0.2 \text{ MPa}$ পর্যন্ত পট্টায়। বর্ণালবীক্ষণ ও নয়ন্তরণ অণুগুলো এমন একটি প্রক্রিয়াকে সমর্থন করে যখনে F-F মথিস্করয়া PTFE ইন্টারফসে সাহায্য করে, আর হাইড্রোজনে বন্ধন ও pi-pi স্ট্যাকিং আঠা স্তরে চাপ ছড়াত সাহায্য করে। ফলটি PTFE-র জন্য শক্তিশালী, নমনীয় ও ধুয়ে সরানো যায় এমন আসঞ্জননের আশাব্যঞ্জক পরীক্ষাগার প্রদর্শন; এখনো বাণজ্যিকি আঠা, সর্বজনীন পুনর্ব্যবহার সমাধান বা পূর্ণ পরবিশেষত-নরাপত্তা মূল্যায়ন নয়।

উৎস

Kikkawa et al., Small-Molecule Adhesives with Strong and Ductile Adhesion to PTFE, Yet Allowing Easy Wipe-Off Removal, *Journal of the American Chemical Society* 148, 29138-29145 (2026)

<https://doi.org/10.1021/jacs.6c07886>