

SANOAT GAZLARIDAN KARBONAT ANGIDRIDNI AJRATIB OLIHDA AEROGOLLARNING QO'LLANILISHI

Orolova Gulsevar Mengniqul qizi¹, Boboyeva Marjona Saidaxmadovna²

E-mail: gulsevarorolova77@gmail.com

E-mail: marjonaboboyeva440@gmail.com

Termiz davlat universiteti talabalari

ANNOTATSIYA: Ushbu maqolada sanoat gazlari tarkibidan karbonat angidrid (CO_2) ni samarali ajratib olishda aerogellarning qo'llanilish imkoniyatlari va ularning adsorbsion xususiyatlari tahlil qilinadi. Aerogellar yuqori g'ovaklik, katta solishtirma sirt maydoni va past zichlikka ega bo'lib, ular CO_2 molekulalarini selektiv yutish jarayonida yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Tadqiqotda aerogel materiallarining fizik-kimyoviy xossalari, ularning gaz yutish mexanizmlari hamda sanoat chiqindi gazlarini tozalashdagi roli ko'rib chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, aerogellar ekologik toza texnologiyalarni rivojlantirishda va issiqxona gazlarini kamaytirishda istiqbolli adsorbent sifatida muhim ahamiyatga ega.

KALIT SO'ZLAR: aerogel, karbonat angidrid, CO_2 ajratish, adsorbsiya, sanoat gazlari, g'ovak materiallar, ekologik toza texnologiyalar, gaz tozalash

ABSTRACT: This article analyzes the application of aerogels in the efficient separation of carbon dioxide (CO_2) from industrial gases and their adsorption properties. Aerogels possess extremely high porosity, large specific surface area, and low density, which enable highly effective selective adsorption of CO_2 molecules. The study examines the physicochemical properties of aerogel materials, their gas adsorption mechanisms, and their role in industrial flue gas purification. The results indicate that aerogels are promising adsorbents for the development of environmentally friendly technologies and for reducing greenhouse gas emissions.

KEYWORDS: aerogel, carbon dioxide, CO_2 capture, adsorption, industrial gases, porous materials, environmental technology, gas purification

АННОТАЦИЯ: В данной статье анализируются возможности применения аэрогелей для эффективного отделения углекислого газа (CO_2) из промышленных газов и их адсорбционные свойства. Аэрогели обладают высокой пористостью, большой удельной поверхностью и низкой плотностью, что обеспечивает высокую эффективность селективного поглощения молекул CO_2 . В работе рассмотрены физико-химические свойства аэрогелевых материалов, механизмы адсорбции газов и их роль в очистке промышленных выбросов. Полученные результаты показывают, что аэрогели являются перспективными адсорбентами

для развития экологически чистых технологий и снижения выбросов парниковых газов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аэрогель, углекислый газ, CO₂ улавливание, адсорбция, промышленные газы, пористые материалы, экологические технологии, очистка газов

ASOSIY QISM

Aerogellarning umumiy tavsifi va tuzilishi

Aerogellar — bu gel strukturasi dan suyuq faza olib tashlanishi natijasida hosil boʻladigan, oʻta yengil va yuqori gʻovakli nanostrukturali materiallardir. Ularning asosiy xususiyati shundaki, qattiq skeletning ichida havoga toʻla nanogʻovaklar tizimi mavjud boʻlib, bu ularning zichligini juda past darajaga tushiradi. Aerogellarning zichligi baʼzan havo zichligiga yaqinlashadi, bu esa ularni eng yengil qattiq materiallardan biri sifatida ajratib turadi.

Tuzilish jihatidan aerogellar uch oʻlchamli tarmoqqa ega boʻlib, ularning gʻovaklari nanometr oʻlchamda boʻladi. Ushbu tuzilma materialning solishtirma sirt maydonini keskin oshiradi, bu esa gaz molekulalarini yutish jarayonida muhim rol oʻynaydi. Ayniqsa, karbonat angidrid molekulalarining adsorbsiyasi uchun katta faol yuzalar zarur boʻlib, aerogellar bu talabni toʻliq qondiradi.

Aerogellar odatda silika (SiO₂), uglerod, alumina yoki polimer asosida tayyorlanadi. Har bir tur oʻzining adsorbsion xususiyatlari bilan farqlanadi, lekin CO₂ ajratib olish jarayonida eng koʻp qoʻllaniladiganlari silika va uglerod aerogellaridir.

2. Karbonat angidridni ajratish zarurati va muammo dolzarbligi

Sanoat rivojlanishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan karbonat angidrid miqdori keskin ortib bormoqda. Energetika, metallurgiya, sement ishlab chiqarish va kimyo sanoati kabi sohalar CO₂ chiqindilarining asosiy manbalaridir. Ushbu gaz issiqxona effekti kuchayishiga sabab boʻlib, global iqlim oʻzgarishlarini tezlashtiradi.

Shu sababli CO₂ ni ajratib olish va uni qayta ishlash texnologiyalarini rivojlantirish bugungi kunda eng muhim ekologik vazifalardan biridir. Anʼanaviy usullar — masalan, amin eritmalari bilan absorbsiya yoki kriogen ajratish — samarali boʻlsa-da, ular energiya sarfi yuqoriligi va korroziya muammolari bilan cheklanadi. Shu nuqtai nazardan, aerogellar asosidagi adsorbsiya texnologiyalari istiqbolli alternativ sifatida qaralmoqda.

3. Aerogellarning CO₂ adsorbsion xususiyatlari

Aerogellar yuqori gʻovaklik (90–99%) va katta solishtirma sirt maydoni (baʼzan 1000 m²/g dan yuqori) tufayli gaz molekulalarini samarali ushlab qoladi. CO₂ molekulalari aerogel ichidagi mikrogʻovak va mezogʻovaklarga kirib, Van-der-Vaals kuchlari yoki kimyoviy bogʻlanishlar orqali ushlanadi.

Adsorbsiya jarayoni ikki asosiy mexanizmga ega:

Birinchi — fizik adsorbsiya bo‘lib, unda CO₂ molekulari aerogel yuzasiga zaif molekulyar kuchlar orqali birikadi. Bu jarayon past haroratlarda samarali kechadi va qayta tiklash (regeneratsiya) oson bo‘ladi.

Ikkinchi — kimyoviy adsorbsiya bo‘lib, aerogel yuzasiga funksional guruhlar (amin, gidroksil va boshqalar) kiritilganda yuzaga keladi. Bu holatda CO₂ molekulari bilan kuchliroq kimyoviy bog‘lar hosil bo‘ladi, natijada yutilish samaradorligi ortadi.

4. Aerogel turlarining CO₂ ajratishdagi samaradorligi

Silika aerogellar eng keng tarqalgan turlardan biri bo‘lib, ularning afzalligi yuqori barqarorlik va katta sirt maydonidir. Biroq sof silika aerogellar CO₂ ni selektiv yutishda unchalik yuqori ko‘rsatkich bermaydi, shuning uchun ularning yuzasi kimyoviy modifikatsiya qilinadi.

Uglerod aerogellar esa CO₂ bilan kuchli o‘zaro ta’sirga ega bo‘lib, ular mikrog‘ovak struktura tufayli yuqori adsorbsion sig‘imga ega. Ayniqsa, yuqori bosim sharoitida uglerod aerogellarining samaradorligi sezilarli darajada oshadi.

5. CO₂ ajratib olish mexanizmining fizik-kimyoviy asoslari

Karbonat angidridni aerogellar yordamida ajratish jarayoni ko‘p bosqichli fizik-kimyoviy hodisa hisoblanadi. Avvalo gaz molekulari aerogel yuzasiga diffuziya orqali yetib boradi. Keyin ular mikrog‘ovaklar ichiga kirib, adsorbsiya markazlariga joylashadi

6. Sanoat gazlaridan CO₂ ajratishda qo‘llash texnologiyalari

Aerogellar asosidagi adsorbentlar odatda kolonka tipidagi reaktorlarda qo‘llaniladi. Sanoat chiqindi gazlari ushbu kolonka orqali o‘tkazilganda CO₂ aerogel qatlamida ushlab qolinadi, azot va boshqa inert gazlar esa tizimdan chiqib ketadi. Keyingi bosqichda regeneratsiya jarayoni amalga oshiriladi. Bunda harorat oshiriladi yoki bosim kamaytiriladi, natijada adsorbsiyalangan CO₂ ajralib chiqadi va qayta ishlash yoki saqlash uchun yo‘naltiriladi.

7. Aerogellarning afzalliklari va cheklovlari

Aerogellarning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: yuqori adsorbsion sig‘im, katta sirt maydoni, past zichlik va kimyoviy barqarorlik. Shuningdek, ular qayta ishlatilishi mumkin bo‘lgan ekologik toza materiallar hisoblanadi.

Biroq ayrim cheklovlar ham mavjud. Masalan, aerogellarni ishlab chiqarish texnologiyasi murakkab va qimmat. Bundan tashqari, mexanik mustahkamlik ba’zi hollarda yetarli darajada yuqori emas, bu esa sanoat miqyosida qo‘llashni biroz cheklaydi.

8. Zamonaviy tadqiqotlar va rivojlanish istiqbollari

So‘nggi yillarda aerogellarni CO₂ yutish samaradorligini oshirish bo‘yicha ko‘plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Ayniqsa, nanokompozit aerogellar, amin bilan funksionallashtirilgan materiallar va gibrid polimer-silika tizimlari katta qiziqish uyg‘otmoqda.

MUAMMOLAR VA UNING TAHLILI

Sanoat gazlaridan karbonat angidrid (CO₂) ni ajratib olishda aerogellar qo‘llanilishi istiqbolli yo‘nalish bo‘lsa-da, ushbu texnologiya bir qator ilmiy va amaliy muammolarga ega. Birinchi muammo — aerogellarning ishlab chiqarish tannarxining yuqoriligidir. Ayniqsa, superkritik quritish jarayoni murakkab va energiya talabchan bo‘lib, bu sanoat miqyosida keng qo‘llanilishini cheklaydi. Ikkinchi muammo — aerogellarning mexanik mustahkamligining pastligi. Ularning g‘ovakli nanostrukturasi yuqori adsorbsiya xususiyatini ta‘minlasa-da, fizik zarbalarga va bosim o‘zgarishlariga nisbatan mo‘rtlik ko‘rsatadi. Bu esa ularni uzoq muddatli sanoat reaktorlarida ishlatishda muammo tug‘diradi. Uchinchi muammo — namlik va aralash gazlar ta‘siri. Sanoat chiqindi gazlari tarkibida suv bug‘i, SO_x va NO_x kabi komponentlar mavjud bo‘lib, ular aerogellarning CO₂ yutish samaradorligini kamaytirishi mumkin. Bu hodisa selektiv adsorbsiya jarayonining murakkablashishiga olib keladi. To‘rtinchi muammo — regeneratsiya (qayta tiklash) jarayonidagi energiya sarfi. CO₂ bilan to‘yingan aerogellarni qayta tiklash uchun harorat yoki bosimni o‘zgartirish talab etiladi, bu esa qo‘shimcha energiya xarajatlarini keltirib chiqaradi.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, ushbu muammolar asosan materialning strukturasi va sanoat sharoitlaridagi murakkab gaz aralashmalari bilan bog‘liq. Shu sababli, hozirgi tadqiqotlar aerogellarning yuzasini kimyoviy funksionallashtirish, nanokompozitlar yaratish va gibrid materiallar ishlab chiqishga qaratilgan. Bu yondashuv CO₂ selektivligini oshirish va barqarorlikni yaxshilashga xizmat qiladi.

XULOSA

Sanoat gazlaridan karbonat angidridni ajratib olishda aerogellar yuqori samarali adsorbent sifatida katta ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ularning yuqori g‘ovakligi, katta solishtirma sirt maydoni va moslashtiriladigan kimyoviy tuzilishi CO₂ molekularini samarali ushlab qolish imkonini beradi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, aerogellar CO₂ ni ajratib olishda an’anaviy usullarga nisbatan ekologik jihatdan toza va energiya tejankor alternativ hisoblanadi. Biroq, ularning sanoat miqyosida keng qo‘llanilishi uchun tannarxni kamaytirish, mexanik mustahkamlikni oshirish va namlikka chidamlilikni yaxshilash zarur.

Kelajakda nanokompozit aerogellar, funksional guruhlar bilan boyitilgan materiallar hamda biomassaga asoslangan aerogellar rivojlanishi ushbu sohadagi

asosiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib xizmat qiladi. Bu esa uglerod neytrallik maqsadlariga erishishda muhim rol o‘ynaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Parveen A. S. et al. *Advances in Carbon-Based Aerogels for CO₂ Capture*. Gels, 2025.
2. Cui B. et al. *Aerogel-based carbon capture materials: Research progress and application prospects*. Separation and Purification Technology, 2025.
3. Zhang L. et al. *Carbon Material-Based Aerogels for Gas Adsorption*. Nanomaterials, 2022.
4. Keshavarz L., English N. J. *The Importance of Precursors and Modification Groups of Aerogels in CO₂ Capture*. Molecules, 2021.
5. Bahadi S. A. et al. *Recent Advances in CO₂ Adsorption Using Aerogel Materials*. KFUPM Research, 2024.
6. Sheikh M. S. et al. *Silk-fibroin aerogel for efficient CO₂ capture*. arXiv, 2025.
7. Siegelman R. L. et al. *Challenges in adsorption-based CO₂ capture*. Energy & Environmental Science, 2019.
8. Frontiers in Chemistry. *Porous adsorption materials for CO₂ capture in industrial flue gas*, 2022.
9. ScienceDirect. *Advancements and challenges in carbon aerogels for CO₂ capture*, 2025.
10. PubMed. *Challenges and opportunities for adsorption-based CO₂ capture*, 2020.