



Монтмориллонит ба олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой бүхий нано композит материалын нийлэгжүүлэлт

Лувсандагва Мандахсайхан^{1*}, Долгормаа Анударь¹, Очирхуяг Алтантуяа¹, Гэндэнжамц Оюун-Эрдэнэ¹

¹Материал судлал, технологийн лаборатори, Хими, Химийн Технологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс

*E-mail: mandakhsaikhan1@mas.ac.mn

ORCID: [0000-0002-1465-0894](https://orcid.org/0000-0002-1465-0894)

Хүлээн авсан: 18.11.2022

Хяналтанд: 18.11.2022

Хэвлэлтэнд авсан: 27.12.2022

Хураангуй: Хөмүүлтийн ордын монтмориллонитын төрлийн байгалийн шаврыг олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолойтой нийлэгжүүлж, нано композит материал гарган авах зорилгоор энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэлээ. Байгалийн шаврын дээжинд механик боловсруулалт хийж монтмориллонитыг баяжуулсан. Баяжуулсан дээжинд автоклавын аргаар шүлтийн боловсруулалт хийж үр дүнг рентгенфлуоросценцын аргаар тодорхойлоход, шаврын дээж дэх нийт цахиурын оксидийн хэмжээ 38.4%-иас 21.7% болж буурсан нь шүлтийн боловсруулалт үр дүнтэй явагдсаныг харуулж байна. Шүлтийн боловсруулалт хийсэн шаврыг гексаметилэндиаминаар үйлчлэн амин (-NH₂) бүлгийг суулгасан бөгөөд нил улаан туяаны спектроскопын шинжилгээгээр амин бүлгийн эрчим илэрсэн. Худалдааны олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолойг исэлдүүлэн, карбоксилжүүлж бэлтгэсэн. Шавар болон олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолойг тус тусад нь боловсруулалт хийсний эцэст композит материалыг химийн аргаар нийлэгжүүлэн гарган авсан. Композит материалын шинж чанарыг судлахдаа нил улаан туяаны спектрометр, рентгендифрактометр, сканнинг электрон микроскоп болон раман спектроскопын шинжилгээний аргыг ашигласан. Туршилтын дүнгээс харахад, композит материал нь химийн найрлагын хувьд нүүрстөрөгч 19.65%, хүчилтөрөгч 41.06%, хөнгөнцагаан 8.86%, цахиур 9.75%, төмөр 7.52% агуулгатай байсан ба шаврын гадаргуу дээр олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой жигд тархан сууж, композит материал нийлэгжсэн болох нь сканнинг электрон микроскопын шинжилгээний дүнгээс харагдаж байв. Цаашид гарган авсан композит материалын шинж чанарын болон хэрэглээний судалгааг нарийвчлан хийх шаардлагатай гэж үзэж байна.

Түлхүүр үг: шавар, механик боловсруулалт, шүлтийн боловсруулалт, автоклав.

ОРШИЛ

Сүүлийн үед дэлхийн хүн амын өсөлт, технологийн дэвшил нэмэгдэхийн хэрээр байгалийн баялгийг олборлох хурд, далайц нэмэгдэж байна. Үүний хэрээр олборлож буй баялгийг зүй зохистой ашиглаж, олон талын хэрэглээтэй дэвшилтэт материал гарган авах зайлшгүй шаардлага тулгарч байна. Манай орны хувьд төрөл бүрийн байгалийн баялаг ихтэй бөгөөд үүнийг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй, оновчтой боловсруулалт хийж, нэмүү өртөг шингэсэн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэж, хэрэглээнд нэвтрүүлэх нь нэн тэргүүний зорилт юм. Монгол улсад шаварлаг чулуулгийн судалгааны ажил 1947 оноос тухайн үеийн ЗХУ болон бусад орны геологчдын оролцоотойгоор хийгдэж эхэлсэн. Үүний үр дүнд 133130 орчим мян.м³ нөөцтэй 80 орчим шаварлаг чулуулгийн орд газрын талаарх геологи хайгуулын ажлын дүгнэлтийг эрдэм шинжилгээний лаборатори, технологийн үр дүнгээр баяжуулан судалгаа хийсээр байна [1].

Хүн төрөлхтөн хэдэн мянган жилийн өмнөөс шаврыг ахуй амьдралдаа хэрэглэсээр ирсэн билээ [2]. Эхэн үедээ байшин барилга, сав суулга зэрэгт л ашиглаж

байсан бол орчин үед техник технологи, дэд бүтэц, анагаах ухаан, гоо сайхан, электроник гээд бүхий л салбарт шаврыг боловсруулан ашиглаж байна. Шавар нь дэлхий дээрх хамгийн их нөөцтэй байгалийн баялаг юм. Үүний төрөл зүйл, ашиглах боломжийг нарийвчлан судалснаар хямд өртгөөр бүтээмж өндөртэй материал гарган авах боломжтой. Шаврын эрдсүүдийг ихэвчлэн давхаргын бүтэц дэх төрлөөр нь үндсэн 4 бүлэгт хуваадаг. Сметтит шаврын бүлэгт монтмориллонит, тальк, пиро-филлит, сапонит, нонтронит багтдаг. Энэхүү бүлгийн химийн бүтцийн ерөнхий томъёо (Ca,Na,H)(Al,Mg, Fe,Zn)₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂*H₂O болно [3]. Шаварлаг эрдсүүд нь байгалийн болон синтетик байж болох ба эдгээр нь гидрофил шинж чанартай. Шаврын гадаргууг органофил болгохдоо тодорхой аргаар өөрчилж болох бөгөөд ингэснээр шаварлаг чулуулаг дахь эрдэс бодис органик полимеруудтай адсорбцлохдоо сонгомол ба сонгомол бус гэсэн хоёр хэлбэрээр явагдаж болно [4]. Сүүлийн жилүүдэд шаварлаг чулуулаг болох монтмориллонит, вермикулит, каолинит, гялтгануур (мусковит) нь олон төрлийн үйлдвэрлэлийн процесс, эмийн үйлдвэр, гоо сайхны

Хүснэгт 1. Шаврын физик шинж чанарууд

Дээж	Нягт, г/ см ³	Шатаалтын хорогдол, %	Чийг, %	Хувийн гадаргуугийн талбай, см ² /г	Гадаад байдал
Хөмүүлтийн байгалийн шавар	2.72	9.58	4.01	1939	Хар саарал өнгөтэй, барьцалдсан хатуу бүхэллэг

бүтээгдэхүүн, органиксинтез, хүрээлэн буй орчны нөхөн сэргээлтэд ашиглагдаж байна [5].

Нүүрстөрөгчийн нано хоолой (ННХ)-г анх 1991 онд Ижима нар нээсэн [6]. Үүнээс хойш физик-химийн шинж чанар дээр нь тулгуурласан судалгааны ажлууд маш ихээр хийгдэж байна. Олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой (ОХННХ)-г 21-р зууны материал гэж нэрлэсэн бөгөөд тэдгээрийн механик, дулааны, цахилгаан дамжуулах, электроник шинж чанар нь атомын орон зайн бүтэц байгуулалтаас хамаардаг, диаметртэйгээ харьцуулахад харьцангуй урт, нано бүтэцтэй материал юм [7, 8]. ОХННХ-г төрөл бүрийн материалуудтай нийлэгжүүлэн шинэ төрлийн, хэрэглээ ихтэй материал гарган авахыг зорьж байна. Сүүлийн жилүүдэд ОХННХ-н шингээлтэй холбоотой хэрэглээ нь байгаль орчны бохирдлын асуудлыг шийдвэрлэхэд ихээхэн анхаарал татаж байна.

ОХННХ нь харьцангуй шинэ адсорбент бөгөөд олон шалтгааны улмаас нүүрстөрөгчид суурилсан шингээгч материал нь сонирхолтой судлагдахуун юм [9]. Мөн шаварт суурилсан нано композит материалыг эпокси дүүргэгч материал болгон сансар огторгуй, батлан хамгаалах, автомашин гэх мэт маш олон салбарт өргөн хэрэглэж байна [10].

Нийт гадаргуугийн талбай биш харин гадаргуугийн функционал бүлгийн нягтрал нь органик бус бохирдуулагчийг адсорбцлох чадварыг тодорхойлох гол хүчин зүйл болдог. Мөн дан ОХННХ нь гидрофоб шинж чанартай тул цаашдын боловсруулалт, композит бэлтгэхэд хүндрэл учирдаг. Тиймээс ОХННХ-н гадаргууг гидрофилжүүлэх болон карбоксил бүлэг суулгах арга түгээмэл ашиглагддаг. ОХННХ-г идэвхжүүлж гадаргуугийн морфолог болон функционал бүлэгт өөрчлөлт оруулснаар шингээлтийн багтаамжийг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. ОХННХ-г HNO₃, KMnO₄, H₂O₂, NaClO, H₂SO₄, KOH, NaOH зэрэг химийн бодисоор идэвхжүүлсэн тухай дурдсан байдаг [11]. Идэвхжүүлсний дараа металлын хольц, аморф нүүрстөрөгч, катализаторыг дэмжих материалууд нь зайлуулагдах ба гадаргуугийн шинж чанар шинэ функционал бүлгүүдтэй болж өөрчлөгдөнө.

Энэхүү өгүүлэлд бид амин бүлгээр функционалжуулсан шавар ба карбоксил бүлгээр функционалжуулсан (исэлдүүлсэн) олон ханат

ОХННХ-р шинэ төрлийн нано композит материалыг химийн аргаар нийлэгжүүлж бэлтгэн, шинж чанарын судалгааг XRD, XRF, FTIR, SEM, EDS болон Раман спектроскоп ашиглан тодорхойлсон.

Бидний хийсэн судалгааны ажил нь өөрийн орны шавар эрдэс дээр суурилсан нано композит материалыг анх удаа нийлэгжүүлэн гарган авч байгаагаараа онцлог юм.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Бидний хувьд Монгол орны томоохон шаврын орд болох Төв аймгийн Баянжаргалан сумын нутагт орших Хөмүүлтийн шавар, БНХАУ-ын “Guosan Pilot technology” компанид үйлдвэрлэсэн 8-15 нм диаметртэй, 3-12 мкм урттай, хувийн гадаргуугийн талбай 250 м²/г, 97% цэвэршилттэй ОХНН-г судалгааны ажлын гол түүхий эд болгон ашигласан. Хөмүүлтийн ордын шаврын зарим физик, химийн шинж чанарын үзүүлэлтийг Хүснэгт 1, 2-г харуулав.

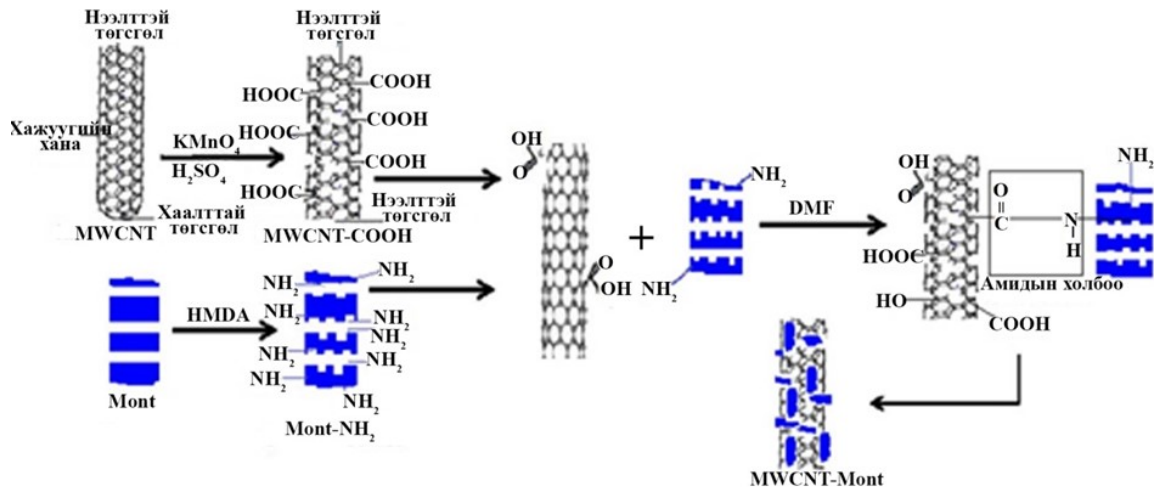
Шаврын суурь материал бэлтгэх: Байгалийн шаврыг 5 минутын турш чичиргээт тээрмээр нунтаглан, 47 мкм (ASTM стандарт) шигшүүрээр шигшсэн. Үүний дараа шаврыг механик боловсруулалт болох хүнд, хөнгөний аргаар ялган монтмориллонитын төрлийн эрдсийг баяжуулсан. Баяжуулсан дээжнээс 6г-г жигнэн авч 36% NaOH - ийн 60 мл уусмал нэмэн хатаах шүүгээнд 120°C-г 24 цагийн турш автоклавын аргаар боловсруулснаар шаварт агуулагдах цахиур уусаж зайлуулагдан суурь материал болох сүвэрхэг бүтэцтэй (Mont-Na) монтмориллонитын шавар бэлэн болно [12].

Олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолойг исэлдүүлэх (карбоксилын бүлэг суулгах): Олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой (ОХННХ)-г калийн перманганат болон хүхрийн хүчил ашиглан исэлдүүлсэн. 5г ОХННХ дээр 1.58г KMnO₄ болон 0.5М H₂SO₄-ийн 100 мл уусмал нэмэн 2 цагийн турш хэт авиагаар боловсруулж, 2 цагийн турш исэлдүүлж, ОХННХ-СООН бэлтгэв.

Монт-ОХНН нано композит материал гарган авах: Монтмориллонит болон олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой бүхий (MWCNT-mont) композит материал гарган авахдаа урьдчилан автоклавын аргаар шүлтээр боловсруулсан монтмориллонитын (Mont-Na) шавраас 3 г таслан авч 120 мл ионгүйжүүлсэн ус хийн 120 эрг/минут

Хүснэгт 2. Шаврын химийн найрлага, XRF

Дээж	Химийн найрлага, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
Хөмүүлтийн байгалийн шавар	52.36	0.936	20.58	8.28	1.01	1.35	1.06	2.53	0.221	1.023



Зураг 1. Нано композит материал (MWCNT-Mont) нийлэгжүүлэн гарган авах урвалын ерөнхий механизм

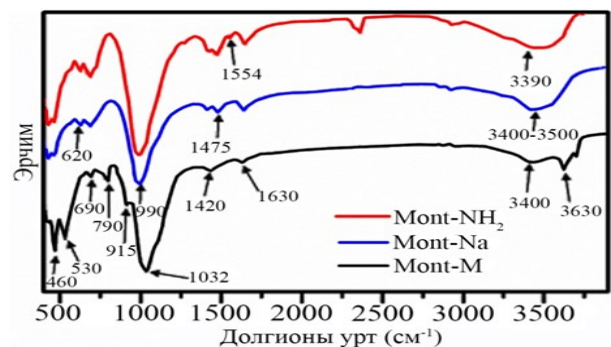
хурдтайгаар халаагчтай соронзон хугтуур дээр 80°C-т 30 минутын турш, цааш үргэлжлүүлэн 0.12 г гексаметилендиамин (HMDA) нэмж 2 цагийн турш халааж, модификацлан сүвэрхэг бүтэцтэй монтмориллонитын шаврыг амин бүлгээр функционалжуулсан (Mont-NH₂). Үүний дараа pH орчинг бууруулах зорилгоор 2.5 μM HCl 150 мл нэмж 80°C-т 12 цагийн турш соронзон хугтуур бүхий халаагуурт боловсруулав.

Боловсруулалт дууссаны дараа дээжийг шүүн авч орчныг саармаг болтол ионгүйжүүлсэн усаар угаана. Монтмориллонитын шаврын гексаметилендиаминаар (Mont-NH₂) боловсруулсан дээжээс 2 г дээж таслан авч 50 мл диметилформаид (DMF) нэмж 40 минутын турш хэт авиагаар боловсруулан 600 эрг/мин хурдтайгаар 90°C хүртэл халаасны дараа 0.2 г карбоксилжүүлсэн ОХННХ-СООН нэмж 28 цагийн турш химийн нийлэгжүүлэлтийг явуулснаар [13] амидын холбоогоор холбогдон Зураг 1-т үзүүлсэн механизмын дагуу урвал явагдан нано композит материалыг (MWCNT-mont) гарган авсан.

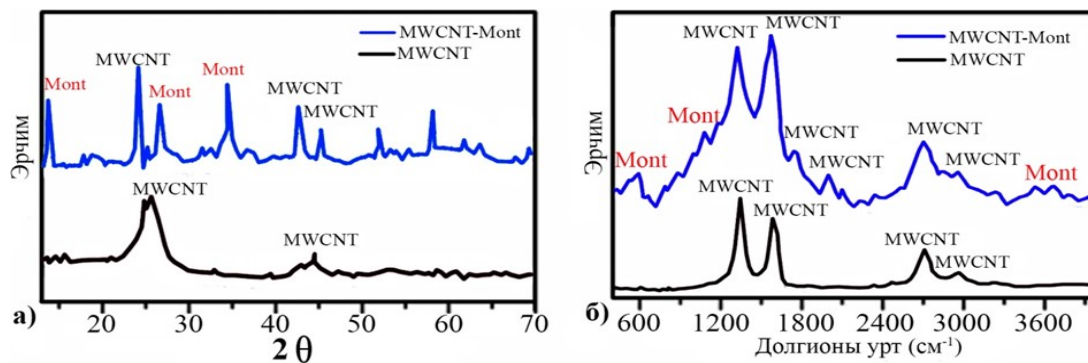
Шинжилгээнд ашигласан тоног төхөөрөмж, шинжилгээний нөхцөл: Дээжний шинжилгээнд натрийн бораттай хайлш үүсгэх замаар рентгенфлуоресценцийн спектрометр (XRF, PANalytical Axios^{mAx} PW4400), Cu хоолой, хүчдэл 40.0kV; гүйдлийн хүч 30.0mA; 2θ өнцөг 5.0-120.0 бүхий хэмжилтийн нөхцөлд нунтгийн рентгендифрактометр (Enraf Nonius Defelt Diffractis 583, Голланд), нил улаан туяаны шингээлтийн спектрометр (FTIR, ALPHA II, Bruker, Герман), нунтгийн гадаргуугийн талбай хэмжигч (FBT-9, Хятад), 532нм лазер, 10000 мс-ийн интеграцийн хугацаа, 5x нэмэлт, 4x объектив, 12.5 мВт лазерын хугацаа гэсэн нөхцөлд Раман спектрометр (Bruker Senterra II Raman spectra instrument) болон энергийн тархалтын спектрометр (SEM, EDS, HITACHI S-4800)-ын багаж тоног төхөөрөмжийг ашиглан хэмжилтийг гүйцэтгэв.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Урьдчилан боловсруулалт: Монтмориллонит байгалийн эрдсийг (Mont-M) урьдчилан боловсруулалтанд оруулж шүлтийн уусмалаар үйлчилсний дараа (Mont-Na) болон амин бүлэг суулгасан (Mont-NH₂) дээжүүдийн нил улаан туяаны (НУТ) спектрийн (FTIR) шинжилгээний дүнг харьцуулан Зураг 2-т харууллаа. НУТ-ны шинжилгээний дүнгээс харахад Mont-M дээжинд талст бүтцийн давхарга хоорондын усны молекулуудын валентын хэлбэлзлийн эрчим 3400 см⁻¹ долгионы уртад илэрсэн бол үүний деформацийн хэлбэлзлийн эрчим нь 1639 см⁻¹ дээр илэрч байсан. Мөн октаэдр давхаргын Al-OH-Al бүлгийн валентын хэлбэлзлийн эрчим нь 3630 см⁻¹, үүний деформацийн хэлбэлзлийн эрчим нь 915 см⁻¹ дээр илэрсэн [12]. Харин шүлтээр боловсруулсны дараа үүссэн Mont-M дээжинд 620 см⁻¹ болон 1475 см⁻¹ дээр шинээр эрчим үүссэн нь шүлтийн уусмалаар үйлчилснээс үүдэлтэй аморф цахиурын деформацийн хэлбэлзэл болон тэгш бус валентын хэлбэлзлийг илэрхийлж байна. Харин Mont-NH₂ буюу амин бүлэг суулгасан монтмориллонит дээжинд шинээр 1554 см⁻¹ дээр эрчим үүссэн нь амин бүлэг NH деформацийн хэлбэлзэл [14], 3390 см⁻¹ дээр илэрсэн эрчим нь N-H бүлгийн валентын хэлбэлзлийг тус бүр илэрхийлж



Зураг 2. Нил улаан туяаны спектрограмм



Зураг 3. Олон ханат нүүрстөрөгчийн nano хоолой (MWCNT) болон монт-ОХННХ бүхий (MWCNT-mont) nano композит материалын Рентген дифрактограм (а) болон Раман спектрограмм (б).

байгаа бөгөөд энэ нь Mont-NH₂ дээжинд амин бүлгийн ковалент холбоо үүссэн гэдгийг илтгэж байна [15]. Сонирхолтой нь 2356 см⁻¹ дээр эрчим илэрсэн нь O=C=O бүлгийн валентын хэлбэлзэл бөгөөд хэмжилтийн явцад тухайн дээж гаднах агаарын орчноос CO₂-г шингээсэн тохиолдолд ихэвчлэн илэрдэг. Хэдийгээр үүнийг хэмжилтийн алдаа гэж үзэж болох ч нөгөө талаар монтмориллонитыг тодорхой нэмэлт бүлэг суулгаснаар энгийн тасалгааны температур болон даралтын доор ч агаараас CO₂-ийг маш хурдтай адсорбцлох боломжтой болдог [16]. Иймээс Mont-NH₂ дээжний FTIR шинжилгээнд CO₂-н валентын хэлбэлзлийн эрчим илэрсэн нь монтмориллонит дээжинд амин бүлгийн идэвхтэй функционал бүлэг суусан гэдгийг давхар батлах үр дүн гэж үзэж байна. Монтмориллонит шаврын гадаргууд амин бүлэг суулгаснаар nano композит гарган авахад шаардлагатай идэвхт, нүх сүвэрхэг, суурь материал бэлэн болж цаашид судалгаандаа амин бүлэгжүүлсэн монтмориллонитын дээжээ ашигласан.

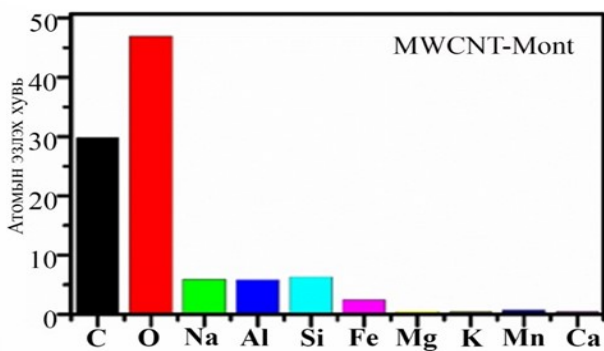
Шинэ төрлийн nano композит материалын шинэ чанарын судалгаа: Гарган авсан шинэ төрлийн nano композит материалын (MWCNT-mont) талст бүтцийн шинэ чанарыг рентгендифрактометрын (XRD) аргаар дан ОХННХ (MWCNT)-н дээжтэй харьцуулан Зураг 3а-д харууллаа. Рентгендифрактометрын үр дүнгээс харахад, дан ОХННХ нь 2θ=25°, 42°, 45° шугамууд дээр шингээлт өгсөн [17] бол композит материалын хувьд мөн 2θ=24°, 42°, 45° шугамууд дээр ОХННХ-н, 2θ=13°, 26°, 34° шугамууд дээр монтмориллонит шаврын (Mont) [18] эрдсийн шингээлтийг өгсөн. Энэ нь бидний гарган авсан nano композит материал нь эх материал болох монтмориллонит шаврын онцлог октаэдр бүтэц болон олон ханат нүүрстөрөгчийн nano хоолойн сүвэрхэг бүтцийг эвдэлгүйгээр гадаргууг нь идэвхжүүлэх замаар нийлэгжин композит материал гарган авсныг илтгэн харуулж байна.

MWCNT (ОХННХ) болон MWCNT-Mont композит материалын Раман спектрийг Зураг 3б-д харуулсан байна. Спектрээс харахад, ОХННХ-н талст торын гажилт, муруйлтаас үүдэлтэй эмх замбараагүй байдлаас үүсэх D эрчим 1330 см⁻¹, C-C холбооны

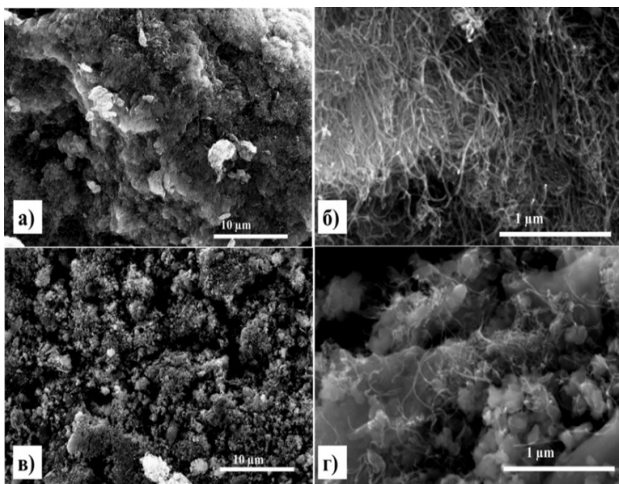
чичиргээний G-эрчим 1590 см⁻¹ долгионы мужид илэрсэн [19]. Композит материалд ОХННХ-н онцлог 4 эрчим (1330, 1700, 2690, 2930 см⁻¹) бүгд илэрсэн ба нэмэлтээр монтмориллонит дээжинд харгалзах эрчмүүд болох тетраэдр талст торын SiO₄ -ийн гажуудлаас үүдэлтэй хэлбэлзлийн эрчим 461 см⁻¹, Al-OH деформацийн хэлбэлзэл 795 см⁻¹, Si-O валентын хэлбэлзэл 1090 см⁻¹ долгионы мужид илэрсэн байна [20]. Мөн талст торын октаэдр талын Al³⁺ ((AlO₂(OH)₄)-тай холбогдсон OH бүлгийн хэлбэлзлийн эрчим нь 3500-3600 см⁻¹ дээр өргөн мөр үүсгэж байгаа нь тогтоогдсон [21].

Гарган авсан nano композит (MWCNT-Mont) дээжний хувьд элементийн агуулгыг энергийн тархалтын спектрометрийн аргаар (EDS) тодорхойлж, үр дүнг Зураг 4-т үзүүлэв. Шинжилгээний дүнгээс харахад, тухайн дээжинд агуулагдах элементүүдийг атомын эзлэх хувиар (at.%) илэрхийлбэл нүүрстөрөгч 29.8%, хүчилтөрөгч 46.9%, цахиур 6.3%, хөнгөнцагаан 5.9%, натри 5.9% болон төмөр 2.5% байна. Мөн маш бага хэмжээгээр магни 0.5%, кали 0.4%, манган 0.7% болон кальци 0.4% илэрсэн. Нүүрстөрөгчийн nano хоолой болон байгалийн шавар ашигласан ижил төстэй судалгааны үр дүнтэй харьцуулж үзэхэд, нүүрстөрөгч болон цахиур, хөнгөнцагааны атомын эзлэх хувь дундажтай ойролцоо байгаа нь бидний бэлтгэсэн композит материалын холимгийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд зохистой хэмжээгээр орсон гэдгийг илтгэж байна [22].

Дан ОХННХ (MWCNT) болон nano композит материалын (MWCNT-Mont) морфологийн судалгааны дүнг Зураг 5а-г-д харуулсан байна. Зураг 5а,б-д ОХННХ (MWCNT) нь дан сүвэрхэг хоолой хэлбэрийн бүтэцтэй байгааг харуулж байгаа бол Зураг 5в,г-д nano композит (MWCNT-Mont) нь ОХННХ болон монтмориллонит шаврын гол нэгдэл болох цахиур-хөнгөнцагаан-төмрийн оксидын nano жижиг хэсгүүдтэй жигд нэгдэж, сүвэрхэг, нийлмэл бүтэцтэй материал үүсгэснийг харуулж байна. Мөн энэхүү шинжилгээний дүнгээс харахад, гарган авсан nano композит материал нь ОХННХ болон Монтмориллонит шаврын хоёулангийнх нь онцлог



Зураг 4. Нано композит (MWCNT-Mont) материалын энергийн тархалтын спектрометрийн шинжилгээний дүн



Зураг 5. Олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолой (MWCNT) (а-б) болон монт-ОХННХ бүхий (MWCNT-mont) (в-г) нано композит материалын сканнинг электрон микроскопын зураг (SEM)

шинж чанар болох сүвэрхэг шинж чанарыг аль алиныг эвдэлгүйгээр үүссэн болох нь харагдаж байгаа бөгөөд цаашид энэхүү гарган авсан нано композит материалыг шингээгч материал болгон ашиглах боломжтой.

ДҮГНЭЛТ

Шавар ба олон ханат нүүрсөтөрөгчийн нано хоолойг нийлэгжүүлж нано композит материал бэлтгэхэд шаврыг боловсруулах шат нь хамгийн чухал бөгөөд монтмориллонит нь гидрофил шинж чанартай. НУТ-ны шинжилгээний дүнгээс харахад, шүлтээр боловсруулж, амин бүлэг суулгасан монтмориллонит дээжинд шинээр 1554см^{-1} , 3390см^{-1} дээр илэрсэн эрчмүүд амин бүлгийн ковалент холбоо үүссэн болохыг харуулж байна. Рентгендифрактометрын үр дүнгээс харахад, бидний гарган авсан материал нь эх материал болох монтмориллонит шаврын онцлог октаэдр бүтэц болон олон ханат нүүрсөтөрөгчийн нано хоолойн сүвэрхэг бүтцийг эвдэлгүйгээр гадаргууг нь идэвхжүүлэх замаар нийлэгжүүлэн композит материал гарган авсаныг илтгэн харуулж байна. Раман спектрометрын дүнгээс үзэхэд, композит

материалд MWCNT-ийн онцлог 4 эрчим (1330 , 1700 , 2690 , 2930 см^{-1}) бүгд илэрсэн.

Эх орны шавар эрдэс болох монтмориллонит дээр суурилсан нано композит материалыг лабораторийн нөхцөлд гарган авч, бүтэц шинж чанарыг тодорхойлсон нь нүх сүвэрхэг шингээгч материал болгон хэрэглэх боломжийг бүрдүүлж өглөө.

Мөн байгалийн монтмориллонитоос урьдчилан механик боловсруулалт хийж, шүлтээр боловсруулан гарган авсан сүвэрхэг материалыг композит материал нийлэгжүүлэн гарган авах суурь материал болгон ашиглахаас гадна сүвэрхэг шаврыг хаягдал усны хүнд металлын ион болон агаарын бохирдлыг бууруулах зорилгоор шингээгч материал болгон ашиглах боломжтой юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг Боловсрол, Соёл, Шинжлэх Ухаан, Спортын Яамны захиалгаар, Шинжлэх Ухаан, Технологийн сангийн санхүүжилтээр 2019-2022 оны хооронд хэрэгжүүлж буй “Нано бүтэцтэй функциональ материалыг эрдэс түүхий эдээс нийлэгжүүлэх судалгаа болон хэрэглээ” сэдэвт суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэсэн болно. Мөн рентгендифрактометрийн (XRD) шинжилгээг ШУТИС-ийн профессор, доктор Г.Батдэмбэрэл, сканнинг электрон микроскоп (SEM), энергийн тархалт (EDS) болон Раман спектроскопын шинжилгээг Унгар улсын Сегедийн их сургуулийн Хүрээлэн буй орчин болон Хэрэглээний шинжлэх ухааны тэнхимд гүйцэтгэсэн. Иймд энэхүү судалгаанд хамтран ажилласан нийт судлаачиддаа талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Б.Намжилдорж (2018). Монгол орны шаварлаг түүхий эдийн судалгаа, туршилт боловсруулалт. ШУТИС-ын хэвлэх үйлдвэр. Улаанбаатар.
2. R. E. Grim and H. Kodama (2022). Clay Mineral. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/clay-mineral>
3. P. Avouris (2002). Molecular electronics with carbon nanotubes. *Acc. Chem. Res.*, 35(12):1026-1034. <https://doi.org/10.1021/ar010152e>
4. E. T. Thostenson, Z. Ren, T.-W. Chou (2001). Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Compos. Sci. Technol.*, 61(13):1899-1912. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00094-X](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00094-X)
5. Y. Zhao, J. Fraser Stoddart (2009). Noncovalent functionalization of single-walled carbon nanotubes. *Acc. Chem. Res.*, 42(8):1161-1171. <https://doi.org/10.1021/ar900056z>
6. Sumio Iijima (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354:56-58. <https://doi.org/10.1038/354056a0>
7. T. W. Ebbesen, P. M. Ajayan (1976). Large scale

- synthesis of carbon nanotubes. *Nature*, 358:220-222. <https://doi.org/10.1038/358220a0>
8. A.Oberlin, M.Endo, T.Koyama (1976). Filamentous growth of carbon through benzene decomposition. *J. Cryst. Growth.*, 32(3):335-349. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(76\)90115-9](https://doi.org/10.1016/0022-0248(76)90115-9)
 9. S. Iijima, T. Ichihashi (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, 363:603-605. <https://doi.org/10.1038/363603a0>
 10. Asif AbdulAzeez, Kyong YopRhee, Soo JinPark, DavidHui (2013). Epoxy clay nanocomposites – processing, properties and applications: A review. *Composites Part B: Engineering*. Volume 45, Pages 308-320. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.012>
 11. Kevin A.Wepasnick, Billy A.Smith, Kaitlin E.Schrote, Hannah K.Wilson, Stephen R.Diegelmann, D.Howard Fairbrother (2011). Surface and structural characterization of multi-walled carbon nanotubes following different oxidative treatments. *Carbon*. Volume 49, Pages 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.08.034>
 12. Y. Kim, Y. K. Kim, J. H. Kim, M. S. Yim, D. Harbottle, J. W. Lee (2018). Synthesis of functionalized porous montmorillonite via solid-state NaOH treatment for efficient removal of cesium and strontium ions. *Appl Surf Sci*, 450:404-412. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.181>
 13. V. B. Yadav, R. Gadi, S. Kalra (2019). Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review. *J. Environ. Manage.*, 232:803-817. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120>
 14. H. Gu et al., (2013). Study of amino-functionalized mesoporous silica nanoparticles (NH₂-MSN) and polyamide-6 nanocomposites co-incorporated with NH₂-MSN and organo-montmorillonite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 170:226–234. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.12.010>
 15. L.Jacque, (2022) Hand book IR. [Online]. “Chapter 17: IR Spectroscopy.”. Available: <https://orgchemboulder.com/Labs/Experiments/HandbookIR.pdf>
 16. N. Mendel, D. Siretanu, I. Siretanu, D. W. F. Brilman, F. Mugele (2021). Interlayer Cation-Controlled Adsorption of Carbon Dioxide in Anhydrous Montmorillonite Clay. *Journal of Physical Chemistry C*, 125(49):27159-27169. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c06746>
 17. P. Nie, C. Min, H. J. Song, X. Chen, Z. Zhang, K. Zhao (2015). Preparation and tribological properties of polyimide/carboxyl-functionalized multi-walled carbon nanotube nanocomposite films under seawater lubrication. *Tribol Lett*, 58(1):1-12. <https://doi.org/10.1007/s11249-015-0476-7>
 18. B. A. Fil, C. Özmetin, M. Korkmaz, B. A. Fil, C. Özmetin, M. Korkmaz (2014). Characterization and Electrokinetic Properties of Montmorillonite. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/274691527>
 19. S. Mohan et al., (2016). Completely green synthesis of silver nanoparticle decorated MWCNT and its antibacterial and catalytic properties. *Pure and Applied Chemistry*, 88(1-2):71-81. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0602>
 20. R. L. Frost, L. Rintoul (1996). Lattice vibrations of montmorillonite: an FT Raman and X-ray diffraction study. *Applied Clay Science*. 11(2-4):171-183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(96\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(96)00017-8)
 21. A. Wang, J. J. Freeman, B. L. Jolliff (2015). Understanding the Raman spectral features of phyllosilicates. *Journal of Raman Spectroscopy*. 46 (10):829-845. <https://doi.org/10.1002/jrs.4680>
 22. P. Tang et al., (2022). Layered Montmorillonite/3D Carbon Nanotube Networks for Epoxy Composites with Enhanced Mechanical Strength and Thermal Properties. *ACS Appl Nano Mater*, 5(6):8343-8352. <https://doi.org/10.1021/acsnm.2c01404>

Synthesis of nanocomposite materials with montmorillonite and multiwalled carbon nanotubes

Luvsandagva Mandakhsaikhan^{1*}, Dolgormaa Anudari¹, Ochirkhuyag Altantuya¹, Gendenjamts Oyun-Erdene¹

¹Laboratory of Material Science and Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences Ulaanbaatar 13330, Mongolia

*E-mail: mandakhsaikhanl@mas.ac.mn

ORCID: [0000-0002-1465-0894](https://orcid.org/0000-0002-1465-0894)

Submitted: 18.11.2022

Reviewed: 18.11.2022

Accepted: 27.12.2022

Abstract: The purpose of this study was to produce a nanocomposite material by modifying and combining natural montmorillonite clay from the Khumuult deposit with multi-walled carbon nanotubes. Clay and multi-walled carbon nanotubes were pre-treated separately in several steps before combining them to produce a composite material. Mechanical processing was used to enrich the mineral montmorillonite from natural clay samples. The enriched montmorillonite sample was then autoclaved in alkali (NaOH), and the amount of total silica in the clay sample decreased from 38.4% to 21.7% in X-ray fluorescence analysis, indicating that the alkali treatment was effective. After functionalization, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopic analysis revealed the intensity of the amine group at 1540 and 2356 cm⁻¹, proving that the amine group successfully interacted on the montmorillonite. Commercial multiwalled carbon nanotubes were oxidized and carboxylated to increase activity and yield a composite.

The FTIR, X-ray diffractometer, Scanning Electron Microscope (SEM), and Raman spectroscopy were used to investigate the properties of composite materials. According to the test results, the chemical composition of the composite material was 19.65% carbon, 41.06% oxygen, 8.86% aluminum, 9.75% silicon, and 7.52% iron. SEM analysis of our synthesized composite material revealed that multi-walled carbon nanotubes were evenly distributed on the surface of the clay.

Further, it is considered necessary to conduct a detailed study of the characteristics and applications of the composite materials synthesized.

Keywords: *clay, mechanical treatment, alkali treatment, autoclave.*

© The Author(s). 2022 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

DOI:<https://doi.org/10.5564/bicct.v10i10.2601>