

Улсын бүртгэлийн
дугаар

Нууцын зэрэглэл: Б

Аравтын бүрэн
ангилалын код

Төсөл хэрэгжүүлэх гэрээний
дугаар: 25/11/96

ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ
ХИМИ, ХИМИ-ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

БАРИЛГЫН ШИНЭ, ШИНЭЧИЛСЭН МАТЕРИАЛ
ҮЙЛДВЭРЛЭХ ТЕХНОЛОГИ

Шинжлэх ухаан технологийн төслийн дуусгавар тайлан

2011-2013

Төслийн удирдагч:

**Ж.ТЭМҮҮЖИН – Академич, Доктор (Sc.D),
Хими, Хими-Технологийн Хүрээлэнгийн
эрдэм шинжилгээний тэргүүлэх ажилтан,
Монгол улсын зөвлөх инженер**

Санхүүжүүлэгч байгууллага:

Шинжлэх ухаан технологийн сан

Захиалагч байгууллага:

Барилга, хот байгуулалтын яам

Улаанбаатар 2013

ГАРЧИГ

Гарчиг.....	2
Реферат.....	3
Гүйцэтгэгчдийн жагсаалт.....	4
Удиртгал.....	5
I БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ТОЙМ.....	9
1.1.Хаягдал үнсний судалгааны тойм.....	9
1.2.Хаягдал үнсний хэрэглээ.....	17
1.3. Монгол улсад дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглаж буй судалгааны үр дүнгээс.....	21
СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ЗОРИЛГО, ЗОРИЛТ.....	22
II БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АРГА, АРГАЧЛАЛ.....	23
2.1.Түүхий эдийн судалгаа.....	23
2.2.Бүтээгдэхүүний шинж чанарын судалгаа.....	25
III БҮЛЭГ. ТУРШИЛТ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЦЭМЖ.....	27
3.1.Үнсний судалгаа.....	27
3.2.Геополимер материалын судалгаа.....	39
3.3.Геополимер бетоны практик туршилт.....	62
ГЕОПОЛИМЕР ТЕХНОЛОГИЙН ТАНИЛЦУУЛГА, СУРТАЛЧИЛГАА.....	65
ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД БАЙГУУЛСАН ЛАБОРАТОРИЙН ТАНИЛЦУУЛГА.....	66
ДҮГНЭЛТ.....	69
ТӨСЛИЙН ХУГАЦААНД ХЭВЛҮҮЛСЭН БҮТЭЭЛ.....	70
АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ.....	76
ХАВСРАЛТ.....	81

РЕФЕРАТ

“Барилгын шинэ, шинэчилсэн материал үйлдвэрлэх технологи” Шинжлэх ухаан технологийн төслийн хүрээнд Улаанбаатар хотын 4-р цахилгаан станцын цахилгаан шүүлтүүрийн нарийн ширхэглэлтэй Багануур болон Шивээ-овоогийн нүүрсний үнсийг ашиглан геополимер төрлийн барилга, замын материал үйлдвэрлэх технологийн параметрыг тогтоох судалгаа явуулав. Цахилгаан станцын хаягдал үнсний хими, физик, нүх сүвэрхэг чанар, болон цацраг идэвхийн шинжилгээг нарийвчлан явуулсны үндсэн дээр барилга, замын материалд ашиглах боломжтой гэдгийг тодорхойлов.

Шинжлэх ухаан технологийн төслийн ажлын даалгаварт заагдсан геополимертэй төст материал үйлдвэрлэх технологийн параметрууд болох шүлтийн концентраци, шингэн шилний хэмжээ, хатаалт явуулах температур, хатаалтын хугацаа зэрэг үзүүлэлтийг бат бөх, ус шингээлт, нягтын үзүүлэлтэй уялдуулан уялдуулан хамгийн тохиромжтой нөхцлийг тогтоов. Оновчтой горимын дагуу бэлтгэсэн Багануурын үнсэнд суурилсан геополимер төст зуурмагийн бат бөх нь 300 кг/см^2 -аас өндөр, харин Шивээ-овоогийн үнсэнд суурилсан материалын 200 кг/см^2 -аас өндөр болохыг тодорхойлов. Хамгийн оновчтой горимыг тогтоосон зуурмагт 0-5 мм-ийн хайргыг жингийн 75-80%-иар геополимер төст зуурмаг материалд нэмэн геополимертэй төст бетон гарган авлаа. Гарган авсан бетон материалын хэрэглээний шинж, бат бөхийн үзүүлэлтэнд тулгуурлан Багануурын үнс нь геополимертэй төст бетон үйлдвэрлэхэд хамгийн тохиромжтойг илрүүлээ. Багануурын үнсэнд суурилсан геополимер бетон материалын бат бөхийн үзүүлэлт нь 300 кг/см^2 -аас өндөр, хүйтэн тэсвэрлэлтийн хэмжээ 40 циклээс илүү болохыг тодорхойлов. Шинээр бий болгосон технологийн дагуу үйлдвэрлэсэн материалыг “БАРИЛГА-2012” Экспо болон “Багальд ээлтэй техник технологи-2013” үзэсгэлэнгүүдэд тавьж сурталчлан “Дэвшилтэт шинэ материал үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэгч”, “Ногоон өргөмжлөл” зэрэг өргөмжлөлүүдээр шагнуулав.

Геополимер төст материал үйлдвэрлэх технологийг Монгол улсын Оюуны өмчийн газраар “Цахилгаан станцын хаягдал үнсээр цементгүй барьцалдуулагч материал гарган авах” нэр бүхий №3860-р патентаар баталгаажуулав.

Төслийг хэрэгжүүлэх явцад Хими, Хими-Технологийн Хүрээлэнд ХБНГУ-ын Хумболдтын сангийн буцалтгүй санхүүжилтээр 12000 Еврогийн (24 сая төгрөг) шахалтын бат бөхийг хэмжигч компьютерийн удирдлагат WDW-50 багажийг худалдан авч бусад шаарлагатай багажийг суурилуулан геополимерийн шинэ лабораторийг үйл ажиллагаанд оруулав.

ӨАБНУ-ын Үйлдвэрлэлийн судалгаа шинжилгээний байгуулагатай (CSIR) хамтран хаягдал үнсийг ашиглан геополимер материал үйлдвэрлэх хамтын төслийг эхлүүлээд байна.

Энэхүү тайлан нь 31 зураг, 15 хүснэгт, 1 хавсралт бүхий 81 хуудаснаас тогтоно.

Түлхүүр үг:

Цахилгаан станцын хаягдал үнс, барилгын материал, замын материал, геополимер, бетон, шүлтээр идэвхижүүлэх, байгаль орчинд ээлтэй технологи

ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛТ

1. Жанцандоржийн Амгалан, академич, ХХТХ-ийн зөвлөх.....
2. Амгалангийн Минжигмаа, доктор PhD, ХХТХ-ийн ЭШТА.....
3. Батмөнхийн Даваабал, магистр, ХХТХ-ийн ЭШДА.....
4. Цэдэвийн Жадамбаа, Доктор ScD, Проф., ШУТИС-ийн
Шинэ Материалын Төвийн Захирал
5. Амгалангийн Бэхбаатар, технологич, ХХТХ-ийн ажилтан.....

УДИРТГАЛ

Статистикийн 2007 оны мэдээгээр Улаанбаатар хотын хүн ам 1 саяаас давсан бөгөөд энэ тоо нь жил тутам нэмэгдэж байгаа буюу Монгол улсын нийт хүн амын 40-өөс илүү хувь нь тус хотод амьдарч байна. Түүнчлэн сүүлийн үеийн баримтаар Улаанбаатарын эдийн засаг нь тус улсын дотоодын нийт бүтээгдэхүүний 54.5%-ийг гаргаж байна. Мөн Улаанбаатарт 38342 бизнесийн байгууллага бүртгэгдсэнээс 2763 нь боловсруулах үйлдвэрлэл юм.

Улаанбаатар хотын хүн амын механик өсөлтөөс шалтгаалан орон сууцны хэрэглээ шаардлага улам өсөж байна. Эдгээр үйлдвэрлэл, хүн амын өсөлт нь эрчим хүчний хэрэглээг ихэсгэж байна. Иймээс Улаанбаатарт эрчим хүчний хүчний шинэ үүсвэр буюу нүүрсийг түлш болгон ашигладаг дулааны шинэ цахилгаан станц байгуулах судалгаа хийгдэж байна. Урьдчилсан тооцоогоор нүүрснээс эрчим хүч үйлдвэрлэх хэмжээ дэлхий даяар буурахгүй байгаа бөгөөд 2030 онд нийт эрчим хүчний 44%-ийг нүүрсийг ашиглан гаргахаар байна. Ялангуяа атомын цахилгаан станц байхгүй, сэргээгдэх эрчим хүчний үйлдвэрлэл сул хөгжсөн манай орны хувьд дулааны цахилгаан станцын ач холбогдол ойр болон дундын ирээдүйд хэвээр хадгалагдах төлөвтэй байна. Аж үйлдвэрийн салбарт хэрэгцээтэй эрчим хүч болон дулааныг 100% дулааны цахилгаан станц үйлдвэрлэж байна.

Эрчим хүч, дулааны үйлдвэрлэл нь асар их хэмжээний хаягдал буюу шатаалтын үлдэгдэл болох үнс, шааргыг бий болгодог. Тухайлбал, нүүрсний ордоос хамаарч шатаалтын дараа дунджаар 10 орчим хувийн үнс үлддэг. Энэ нь цахилгаан станцын үнс шааргыг бараг ашигладаггүй манай орны хувьд маш их хэмжээ юм. Тухайлбал, зөвхөн Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын үнс шааргын хаягдал жилд дунджаар 0.3 сая тонноор, 3-р цахилгаан станцынх 0.1 сая тонноор тус тус нэмэгдэн байгаль орчны бохирдлыг улам ихэснэж байна.

Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станц нь үнсээ үйлдвэрээс 3 орчим километрийн зайд байрлах үнсний бассейнд хадгалдаг бөгөөд энэхүү бассейнийг 5-6 тэрбум төгрөгөөр байгуулдаг боловч дунджаар 5 жилийн дараа дүүрч шинэ бассейн байгуулах шаардлага бий болдог. Өөрөөр хэлбэл жилд дунджаар 1 тэрбум төгрөгийг зөвхөн хаягдал үнсээ хадгалахад зарцуулж байна. Мөн нээлттэй эх сурвалжид гарсан мэдээгээр үнс зайлуулах шугам, насос болон тухайн системийг ажиллуулахад жилд

дунджаар 1 тэрбум төгрөг зарцуулдаг байна. Зөвхөн 4-р цахилгаан станцын хувьд нийтдээ жилд дунджаар 2 тэрбум төгрөг үнстэй холбоотой бүхий л зардалд зарцуулагддаг гэж тооцож болох юм.

Мөн хүн төрөлхтөн одоо үед портланд цементээр үйлдвэрлэсэн бетоны бат бөх, эдэлгээ даах хугацаатай нь уялдсан асуудалтай тулгарч байна. Цементийн үйлдвэрлэл сүүлийн 150 жилд жил болгон өсөж байгаа бөгөөд 2000 онд 1500 сая тонн болжээ [47]. Харин цементийг ашиглаж үйлдвэрлэсэн бетоны хэрэглээний хугацаа нь урьдчилан тооцоолж байснаас хамаагүй богино буюу 50-70 жилийн настай нь тогтоогдсон бөгөөд АНУ-д өнгөрсөн зууны 50-60 оны үед баригдсан бетон байгууламжууд нь бүрэн шинэчлэл засваруудыг шаардаж байна [48]. Тухайлбал, ойрын 5 жилд АНУ-ын дэд бүтцийг бүрэн эвдрэлд оруулахгүй нөхцөлд хадгалахын тулд 1.6 триллион долларыг зарцуулах шаардлагатайг тогтоосон байна [49]. Портланд цементийн үйлдвэрлэлээс учирч буй хамгийн том хор хохирол нь агаарт цацагдаж буй хүлэмжийн хий буюу CO₂-ийн хэмжээ юм. Дэлхийн хэмжээгээр Портланд цементийн үйлдвэрлэл нь 2.2 тэрбум тонн CO₂-г агаарт цацдаг бөгөөд энэ нь агаар мандалд ялгарч буй хүлэмжийн хийн 7%-ийг эзэлдэг ажээ. Эрдэмтдийн үзэж байгаагаар, 1 тонн портланд цементийн үйлдвэрлэл нь 1 тонн нүүрсхүчлийн давхар ислийг (CO₂) агаарт ялгаруулдаг.

Дэлхий нийтэд эрчим хүч, дэд бүтцийн хөгжлийн өсөлтийн хурд ирээдүйд энэ хэвээр хадгалагдах нь ойлгомжтой байгаагаас, өртөг хямдтай, хэрэглээний хугацаа болон чанарын үзүүлэлт өндөртэй шинэ төрлийн барилгын материал (бетон) бий болгон тогтвортой хөгжлийг хадгалах шаардлага бий болж байна [50]. Энэхүү шаардлагад үндэслэгдсэн орчин үеийн шинжлэх ухаан технологийн хөгжлийн голлох чиг хандлагад байгаль орчинд ээлтэй аргаар шинэ материал гарган авах, үйлдвэрлэлийн хаягдлыг дахин боловсруулж өөр төрлийн ашигтай материал үйлдвэрлэн экологид учирч буй дарамтыг багасгах судалгаа зүй ёсоор орж байна.

Улаанбаатарын 3 болон 4-р цахилгаан станцын үнсийг ашиглан цемент, бетоныг орлуулах чадвартай орчин үеийн хамгийн сонирхогдож буй геополимер төрлийн барилгын материал үйлдвэрлэх нь үнсний хаягдлын хэмжээг бууруулах ач холбогдолтой юм.

Геополимер гэдэг нь аморф бүтэцтэй хөнгөн цагаант цахиурын нэгдэл бөгөөд талст бус хөнгөн цагаант нэгдлийг (метакаолин, цахилгаан станцын үнс шаарга) шүлтээр (натри, калийн шүлт эсвэл натри, калийн силикат) үйлчлүүлэн зуурч харьцангуй нам температурт (60-90°C) боловсруулан гаргаж авдаг. Геополимер материал нь цемент, бетоныг орлохоос гадна хүчил болон шүлт, өндөр температур даах чадвар, хатуулаг, эдэлгээний чадвараараа ердийн цемент юмуу бетонон материалаас илүү өндөр үзүүлэлттэй юм.

Дэлхий нийтэд сүүлийн 10 гаруй жилд цахилгаан станцын хаягдал үнсийг ашиглан геополимерэн барилгын материал, уул уурхайн нүх цооногийн битүүлэлт, авто болон явган хүний зам барих, галд тэсвэртэй материал үйлдвэрлэх зэрэгт ашиглах судалгааг явуулан үйлдвэрлэл практикт зохих хэмжээгээр нэвтрүүлсээр байна. Үнсээр геополимер бетон үйлдвэрлэхэд портланд цементийн үйлдвэрлэлийн үндсэн процесс болох шатаалт шаардлагагүй учир хүлэмжийн хийг (CO₂) ялгаруулдаггүй үйлдвэрлэл юм.

Монгол улсад дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглахад саад болж буй шалтгаанд олон жилийн өмнөөс уламжлал хэлбэрээр тогтож ирсэн хуучинсаг ойлголт буюу үнсэнд агуулагдах цацрагийн хэмжээ орно. Гэвч АНУ, Австрали, Европийн Холбооны улсууд, Израйлд хийгдсэн судалгаагаар цахилгаан станцын хаягдал үнсээр хийсэн бүтээгдэхүүнд агуулагдах цацрагийн хэмжээ нь хүний биед нөлөө үзүүлэхүйц түвшин гэж заагдсан хэмжээнээс бага байдгийг тогтоосон бөгөөд үнсээр хийгдсэн материал нь хүний биед хоргүй гэсэн дүгнэлт гаргасан юм [51-53]. Тухайлбал, Израйлийн эрдэмтэд энэхүү дүгнэлтээ Ази, Европ, Өмнөд Америк, Африкаас олзборлосон нүүрсний шаталтын үлдэгдэл үнсэн дээр гаргажээ. Америкийн нэгдсэн улсад 1930-аад оны үед дулааны цахилгаан станцын хаягдал үнсийг барилгын материалын үйлдвэрлэлд анх ашиглаж эхэлсэн бөгөөд одоогийн түвшинд нийт гаргаж буй үнсний 50 орчим хувийг эргүүлэн ашиглаж байна. Европийн холбооны улсуудад үнсийг бүрэн эргүүлж ашиглаж байгаа бөгөөд үнсний хаягдал гэж үүсдэггүй байна.

Монгол улсад мөрдөгдөж буй керамик, тоосго ба гулдмай, техникийн шаардлага MNS-138:99 стандартын дагуу цацрагийн хувийн бодит идэвхижил нь хүний амьдран буй орон сууцанд ашиглаж буй материалд 370 Бк/кг-аас ихгүй байна гэж заасан

байдаг. Харин Монгол улсын засгийн газрын Цөмийн энергийн газрын Цөмийн болон цацрагийн хяналтын газрын дүгнэлтээр Улаанбаатарын 3, 4-р цахилгаан станцад түлш болгон хэрэглэдэг Багануур болон Шивээ-Овоогийн нүүрсний үнсэн дахь цацрагийн хэмжээ дунджаар Шивээ-Овоогийнхөд 300 Бк/кг, Бага-Нуурынхад 490 Бк/кг байдаг байна. Энэ 2 ордын нүүрсийн тавь тавин хувиар авч хэрэглэдэг Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын хувьд дан үнсийг тэр чигээр нь барилгын материал болгон ашиглахад стандартад заагдсан хэмжээний хязгаарт ойролцоогоор дөхөж очиж байна. Харин геопалимер материалыг ихэвчлэн геопалимер бетон болон зуурмаг хэлбэрээр үйлдвэрлэн хэрэглэдэг. Энэ тохиолдолд нэгж материалд ноогдох үнсний хэмжээ 2-оос 5 дахин буурдаг буюу, үйлдвэрлэсэн материалд агуулагдах цацрагийн хэмжээ стандартад заасан хэмжээнээс 2-оос 5 дахин бага болно. Өөрөөр хэлбэл, цахилгаан станцын үнсийг ашиглаж үйлдвэрлэсэн геопалимер материал нь цацрагийн ямар нэгэн хортой нөлөөг амьдарч байгаа хүн болон хүрээлэн байгаа орчинд өгөхгүй юм.

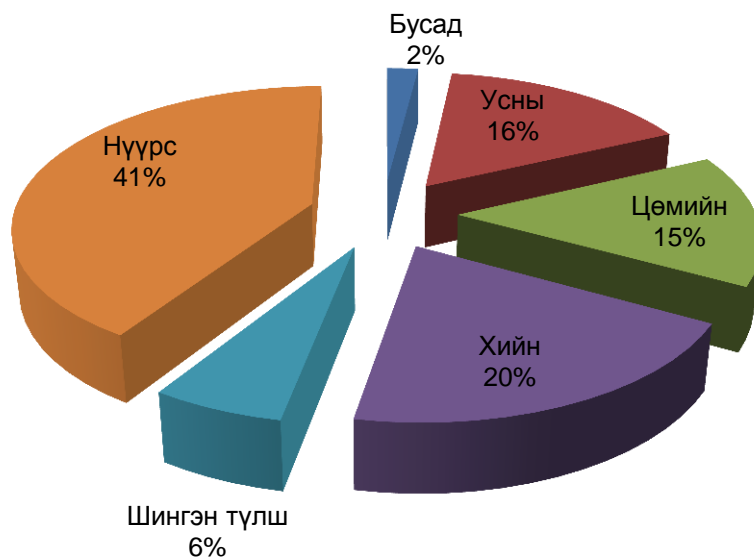
I БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ТОЙМ

1.1.Хаягдал үнсний судалгааны тойм

Үнсийг органик агуулсан нэгдлийн шаталтийн үлдэгдэл гэж ерөнхийд нь үзэж болно. Үнсийг хүн төрөлхтөн маш эрт дээр үеэс ашиглаж байсан мэдээ байдаг. Эртний Ром хотод 2000 гаруй жилийн түүхтэй архитекторын хосгүй дурсгал болсон Колизей цэнгэлдэх хүрээлэн болон эртний бурхдын өргөө болох Пантеоныг барихдаа мөн галт уулын үнс ашиглаж байсан байна. Эдгээр барилгууд нь он цагийн уртад бүрмөсөн эвдэрч нуралгүй одоог хүртэл байж байгаа нь галт уулын үнс, шохой болон голын элсийг ашиглаж үйлдвэрлэсэн эртний Ромын бетон нь онцгой бат бөхийн үзүүлэлтэй байсны баталгаа юм [1]. Дээрхи жишээнээс харахад үнсийг эрт дээр үеэс эхлэн тодорхой хэмжээгээр ахуйн болон үйлдвэрлэлийн зориулалтаар ашиглаж байжээ. Үнс нь шаталтийн үлдэгдэл хаягдал боловч энэхүү хаягдлын хэмжээ нь их хэмжээний үйлдвэрлэл явуулах түвшинд байгаагүй бололтой. Эрт үеэс ашиглаж байсан үнс нь ч мөн хүний үйл ажиллагаанаас бий болоогүй байсан байна. Хүний үйл ажиллагаанаас бий болсон үнсийг нүүрсийг зориудаар түлж байсан үетэй холбож үзэх нь зүйтэй юм.

Нүүрс нь шатах түлш хэлбэрээр эртний Грек болон Ромын эзэнт гүрний үеэс хэрэглэгдэж эхэлсэн байна. Эртний Грекийн философич Теофрастус (Theophrastus) нь манай эриний өмнөх 4-р зуунд гарсан “Чулууны тухай” зохиолдоо шатдаг түүхий эдийг түлш болгон ашиглаж байсан тухай дурдсан байдаг байна [2].

Хүний ухаант үйл ажиллагаанаас үүдсэн нүүрсний хаягдал үнсний хэмжээ хүн төрөлхтөн цахилгаан эрчим хүч ашиглаж эхэлснээс хойш үлэмж хэмжээгээр нэмэгдсэн гэж үзэж болохоор байна. Дэлхий дахинд ажиллаж буй цахилгаан станцууд нь шатах түлшийг ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг. Нүүрс нь дэлхий дээрхи эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн голлох түүхий эд юм. Дэлхийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлд эзэлж буй түлшний хэмжээг харуулав.



1-р зураг. Дэлхийн эрчим хүчний үйлдвэрлэл [3].

Нүүрсийг эрчим хүчний үйлдвэрлэлд ашиглах нь улс орон бүрд өөр өөр байдаг. Нүүрсийг эрчим хүчний үйлдвэрлэлд ашиглах хэмжээг 1-р хүснэгтэд харуулав.

Хүснэгт 1

Улс орнуудын нүүрсийг эрчим хүчний үйлдвэрлэлд ашиглаж буй хэмжээ

Монгол 90%	Польш 93%	БНХАУ 81%
Өмнөд Африк 94%	Израйл 71%	Казахстан 70%
Австрали 76%	Грек 55%	Чех 62%
Энэтхэг 68%	АНУ 49%	Герман 49%

Урьдчилсан тооцоогоор нүүрснээс эрчим хүч үйлдвэрлэх хэмжээ дэлхий даяар буурахгүй төлөвтэй байгаа бөгөөд 2030 онд нийт эрчим хүчний 44%-ийг нүүрсийг ашиглан гаргахаар байна. Нүүрсийг ашиглаж гаргасан эрчим хүч нь бусад эх үүсвэрээс гаргасан эрчим хүчтэй харьцуулахад харьцангуй хямд учраас байгаль орчны бохирдлыг үүсгэж буй шалтгаанаар ойрын болон дундын ирээдүйд дулааны цахилгаан станцын ашиглалтыг бүрэн хэмжээгээр зогсоох боломжгүй юм. Үнс нь нүүрсэнд агуулагдах, шатдаггүй эрдэс хольцын шатаалтын үед үүссэн бүтээгдэхүүн юм. Нүүрсэнд агуулагдах эрдэсүүд нь төрөл бүрийн бүлэгт хамаарах бөгөөд голчлон силикат, оксигидроксидоос тогтохоос гадна сульфат, карбонат, сульфид болон фосфат, үндсэн элемент, хлорид болон бусад эрдэсүүд бас агуулагдаж болно.

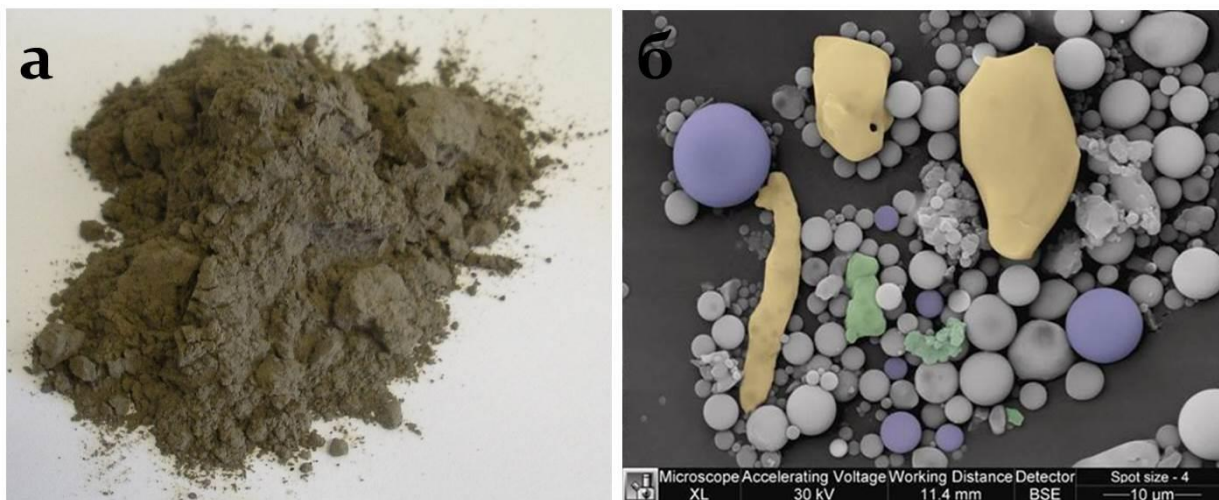
Нүүрсэнд агуулагдах эрдэс нь хэмжээгээрээ: силикат > карбонат > оксигидроксид > сульфид \geq сульфат > фосфат > бусад нэгдэл гэсэн ерөнхий дараалалтай байдаг байна. Нүүрсэнд агуулагдах үндсэн эрдэсүүдэд кварц, каолинит, иллит, кальцит, пирит, плагиоклаз, Калийн хээрийн жонш, гипс багтах бөгөөд төмрийн оксигидроксид, сульфат, доломит, анкерит, сидерит зарим тохиолдолд агуулагддаг. Бусад хольцууд нь маш бага хэмжээтэй хольц гэж тооцогддог. Нүүрсэнд агуулагдах эрдэс хольц нь нүүрсийг ашиглах үеийн үйлдвэрлэл, технологи болон байгаль орчны хамгааллын чиглэлээр үүсэж болох асуудлуудтай ихээр холбогдож байдаг. Нийтдээ нүүрсэнд агуулагдаж байдаг 125-аас их тооны эрдэсүүд байдгаас 100 гаруй нь маш бага буюу, бага хэмжээгээр агуулагддаг байна [4].

Дэлхий нийтэд эрчим хүчний хэрэглээ өсөж байгаагаас дулааны цахилгаан станцаас гардаг хаягдал үнс нь хамгийн их хэмжээгээр хуримтлагддаг хаягдлын тоонд багтдаг. Цахилгаан станц ажиллах үед утаагаар зөөгдөн цахилгаан шүүлтүүрт хураагдаж буй хэсгийг үнс (fly ash), харин шатаах зуухны ёроолд үлдсэн том ширхэглэлтэй хэсгийг шаарга (bottom ash) гэж хуваадаг. Иймээс үнс нь аморфжилт ихтэй бөмбөлөг хэсгээс тогтдог бол шаарга нь талст бүтэц ихтэйгээс гадна бөмбөлгөн бүтэц багатай юм. Дулааны цахилгаан станцаас гарах үнсний ерөнхий зарчмыг 2-р зурагт үзүүлэв.



2-р зураг. Дулааны цахилгаан станцаас үнс гарах ерөнхий зарчим

Цахилгаан шүүлтүүрийн нарийн ширхэглэлтэй үнс нь станцын гаргаж буй нийт үнсний 70-аас илүү хувийг эзэлдэг гэж үздэг. Ерөнхийд нь цахилгаан станцын шатаалтын хаягдлыг нүүрсний шаталтын дагавар бүтээгдэхүүн (coal combustion byproducts) гэж нэрлэдэг бөгөөд үүнд нь үнс болон шааргын аль аль нь багтдаг. Үнс нь гадаад хэлбэрээрээ хар саарал өнгөтэй, нарийн ширхэглэлтэй байдаг бөгөөд дундаж хэмжээгээр авч үзвэл нийт үнсний 80-аас илүү хувь нь 100 микроноос нарийн ширхэглэлтэй байдаг. Станцаас ялгарах үнсний ердийн зургийн аппаратаар авсан болон өндөр нөрийвчлалтай электрон микроскопоор авсан зургаас (3-р зураг) үнсний бүтэц нь ердийн нүдээр харснаас ямар ялгаатай болохыг харж болно.



3-р зураг. Цахилгаан станцын шүүлтүүрийн нарийн ширхэглэлтэй үнсний гадаад бүтэц, а- энгийн зургийн аппаратаар авсан, б- электрон микроскопоор авсан

Зарим эрдэмтэд нүүрсний шаталтын дагавар бүтээгдэхүүн нь жилд 600 сая тонноор хаягддаг бөгөөд үүнээс 500 сая тонн буюу 75-80% -ийг нарийн ширхэгтэй үнс (fly ash) эзэлдэг бөгөөд дэлхийн дунджаар нийт үнсний 16%-ийг ашигладаг гэж дурдсан байдаг [5]. Гэвч хамгийн сүүлийн үеийн тооцоогоор жилд 750 сая тонн үнс хаягддаг гэж үзсэн бөгөөд үүний 25 хувийг ахин ашигладаг байна [6, 7]. Үнс нь хаягдаж буй хэмжээгээрээ дэлхийн 5 дахь том түүхий эдийн нөөц гэж тооцогддог [8]. Өөрөөр хэлбэл, цахилгаан станцын хаягдал үнс нь зайлшгүй ашиглах түүхий эд юм. Иймээс ч үнсний судалгаа нь хамгийн сонирхол татаж буй сэдвийн тоонд ордог.

АНУ-ын Шинжлэх ухааны мэдээллийн хүрээлэнгийн Томсон-Ройтерсийн Web of Knowledge болон Elsevier компанийн Scopus бүртгэлийн системүүдэд зөвхөн 2013 оны 1-ээс 9 сарын хугацаанд судалгааны сэдэвт нь үнс гэсэн үг орсон 1300 гаруй өгүүлэл бүртгэгдсэн байх бөгөөд жилд дунджаар 1500 орчим өгүүлэл энэ сэдвээр хэвлэгддэг. Гэхдээ энэхүү өгүүллүүдэд цахилгаан станцын хаягдал үнснээс гадна цагаан будааны хальс, тарианы сүрэл, ахуйн хаягдлыг шатаасан үнсний судалгаа ордогыг дурдах нь зүйтэй юм.

Химийн найрлагийн хувьд үнс нь хөнгөн цагаан, цахиур, төмөр болон кальцийн оксидыг хамгийн их хэмжээгээр агуулдаг. 2-р хүснэгтэнд дэлхийн бүс нутгуудын цахилгаан станцын хаягдал үсний химийн найрлагыг дундачлан үзүүлэв.

2-р хүснэгт

Дэлхийн бүс нутгуудад хаягдаж буй үнсний химийн дундаж найрлага [6].

Нэгдэл	Хязгаар (жин%)				
	Европ	АНУ	БНХАУ	Энэтхэг	Австрали
SiO ₂	28.5- 59.7	37.8- 58.5	35.6- 57.2	50.2- 59.7	48.8-66.0
Al ₂ O ₃	12.5- 35.6	19.1- 28.6	18.8- 55.0	14.0- 32.4	17.0-27.8
Fe ₂ O ₃	2.6- 21.2	6.8- 25.5	2.3-19.3	2.7- 14.4	1.1-13.9
CaO	0.5- 28.9	1.4- 22.4	1.1-7.0	0.6-2.6	2.9-5.3
MgO	0.6-3.8	0.7-4.8	0.7-4.8	0.1-2.1	0.3-2.0
Na ₂ O	0.1-1.9	0.3-1.8	0.6-1.3	0.5-1.2	0.2-1.3
K ₂ O	0.4-4.0	0.9-2.6	0.8-0.9	0.8-4.7	1.1-2.9
P ₂ O ₅	0.1-1.7	0.1-0.3	1.1-1.5	0.1-0.6	0.2-3.9
TiO ₂	0.5-2.6	1.1-1.6	0.2-0.7	1.0-2.7	1.3-3.7
MnO	0.03- 0.2	-	-	0.5-1.4	-
SO ₃	0.1- 12.7	0.1-2.1	1.0-2.9	-	0.1-0.6
ШЖХ	0.8-	0.2-	-	0.5-5.0	-

	32.8	11.0			
--	------	------	--	--	--

Үнс нь химийн найрлага, шинж чанарынхаа дагуу ангилагдаж болно. Тухайлбал, бетонд хэрэглэгдэх цахилгаан станцын нарийн ширхэглэлтэй үнсний Америк болон Европын стандартууд байдаг байдгыг 3-р хүснэгтэнд тоймлон үзүүлэв. [9, 10].

3-р хүснэгт

Бетонд хэрэглэгдэх үнсэнд тавигдах АНУ болон Европ -ын стандарт шаардлага

Ангилал	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Чийгшэл (%)	ШЖХ (%)
ASTM C618				
C	>50	<5	<3	<6
F	>70			<12
EN 450-1				
A	>70	<3	>25	<5
B				2-7
C				4-9

Үнсний химийн найрлага нь нүүрсэнд агуулагдах хольцоос хамаарах боловч нүүрсний төрлөөс мөн хамаардаг. Тухайлбал, Америкын **C** ангиллын үнс нь лигнит төрлийн нүүрсийг шатаахад үүсдэг бол **F** ангиллын үнс нь чулуун юмуу антрацит төрлийн нүүрсийг шатаахад гардаг байна. Ашиглаж буй нүүрсний төрлөөс хамаарч үнсний химийн найрлага өөрчлөгдөх хязгаарыг 4-р хүснэгтэнд харуулав.

4-р хүснэгт

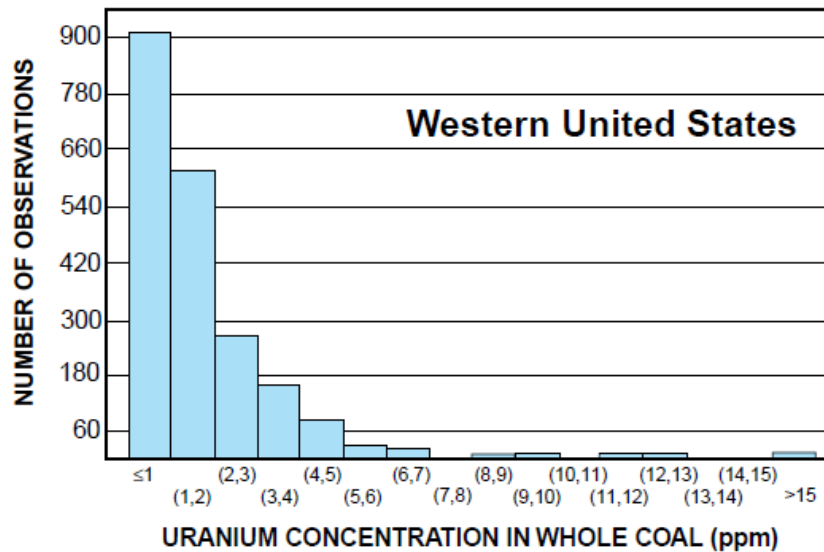
Нүүрсний төрөл, үнсний химийн найрлагын харьцаа [11].

Исэл, (жин %)	Битумжсэн	Хагас битумжсжэн	Хүрэн нүүрс
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10

Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
SO ₃	0-4	0-2	0-10
ШЖХ	0-15	0-3	0-5

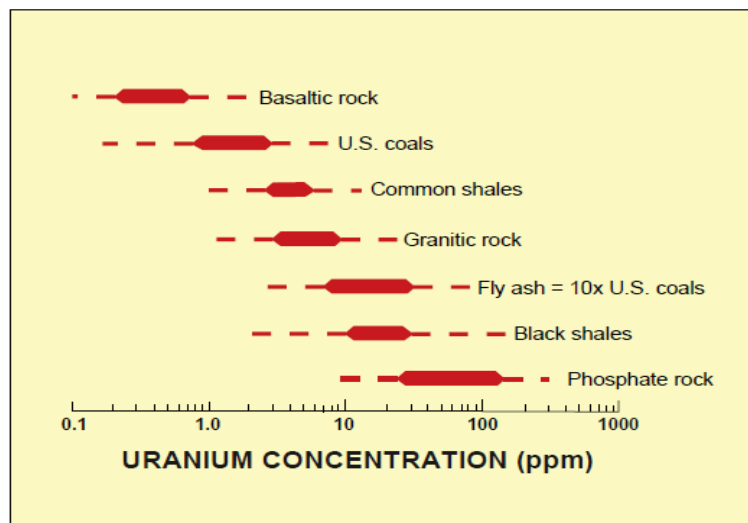
Хаягдал үнс нь эрдэс зүйн найрлагынхаа хувьд 50-иас багагүй хувь нв аморф шилэн фазаас тогтох бөгөөд талст нэгдлийн хувьд голчлон кварц, муллит, хээрийн жонш, төмрийн оксидуудыг агуулдаг. Хаягдал үнсэнд мөн дутуу шатсан нүүрс зохих хэмжээгээр агуулагддаг байна. Энэхүү дутуу шатсан нүүрсийг үнсний массаас салган авч идэвхижүүлсэн нүүрс хэлбэрээр ашиглах боломжтой гэж зарим судлаачид дурдсан байдаг [12, 13].

Хэдийгээр нүүрсний үндсэн бүрэлдэхүүн хэсэг нь органик гаралтай боловч органик бус эрдэс болон бага агуулгатай мөр төдий (trace elements) хольцод байгалийн цацраг идэвхит элемент агуулагдаж болдог. Энэхүү цацраг идэвхит үндсэн элементүүдэд уран (U), торий (Th) болон тэдгээрийн задралын бүтээгдэхүүнүүд тухайлбал, ради (Ra) болон радон (Rn) багтана. Хэдийгээр эдгээр элементүүд үнсэнд агуулагдах хүнцэл (As arsenic), селен (Se selenium) болон мөнгөн уснаас (Hg mercury) химийн хорны хувьд бага үйлчилгээтэй боловч үзүүлж болох цацрагийн нөлөө нь гол эрсдэлийг агуулж байдаг [14]. Нүүрсийг шатаасны дараахь үеийн цацрагийн үнэлгээ нь эх нүүрс болон шатаасны дараахь үнсэнд агуулагдах цацраг идэвхит элементийн хэмжээнээс хамаарна. АНУ-ын геологийн алба нь нүүрсэнд агуулагдах элементийн агуулгын талаархи хамгийн том мэдээллийн санг бүрдүүлсэн бөгөөд 2000 гаруй нүүрсний дээжинд агуулагдах ураны тархалтыг 4-р зурагт үзүүлэв [14].



4-р зураг. АНУ баруун мужуудад орших нүүрсэнд агуулагдах цацрагийн хэмжээ [14].

Ихэнхи нүүрсэнд агуулагдах цацрагийн хэмжээ нь 1-4 саяны нэг (ppm) концентрациас бага агуулгатай байна. Ураны энэхүү агуулга нь ихэнхи чулуулаг болон хөрсөнд байдаг хэмжээтэй ижил байгааг 5-р зургаас харж болно.



5-р зураг. Нүүрс, хөрс, үнс, чулуулгад агуулагдах ураны дундаж хэмжээ, [14].

Нүүрсэнд агуулагдах эрдэс хэсэг нь дунджаар нүүрсний 10%-ийг эзэлдэг учраас үнсэнд агуулагдах цацраг идэвхит бодисын хэмжээ ойролцоогоор эх нүүрсэнд

агуулагдах хэмжээнээс 10 дахин их байна. Өөрөөр хэлбэл үнсний цацрагийн хэмжээ нь нүүрснийхээс 10 дахин баяжсан байдаг. АНУ-ын геологийн албаны мэдээнд дурдсанаар торийн агуулга нь дундаж хэмжээгээрээ 1-4 саяны нэгд багтдаг бөгөөд энэ нь газрын цардаст агуулагдах дундаж хэмжээ болох ойролцоогоор 10 саяны нэгд утгаас бага байна. Торийн агуулга нь 20 саяны нэгээс их нүүрс маш ховор байдаг байна. Нүүрсэнд агуулагдах уран болон түүний задралын бүтээгдэхүүнүүд нь нүүрсний органик хэсэг буюу гумины хүчилтэй холбоотой байдаг бол торий болон түүний задралын бүтээгдэхүүнүүд, калийн изотоп нь органик бус хэсэгтэй (үнсний матрикс) холбоотой байдаг байна [15]. Нүүрсний цацраг идэвхит изотоп болон задралын бүтээгдэхүүн нь уг элементүүд нь нүүрсний органик болон органик бус хэсэгтэй холбогдож байгаагаас шалтгаалан өөр өөр байж болдог байна.

Үнсэнд агуулагдах цацраг нь тухайн түүхий эдийг ашиглахгүй байх үндэс болохгүй юм. Учир нь бидний хэрэглэж байгаа байгалийн хөрс болон чулуулгийг ашиглаж гаргасан материалуудад цацраг идэвхит ^{238}U , ^{232}Th төрлийн элемент болон калийн радио идэвхит изотоп болох ^{40}K голчлон агуулагддаг. Ураны эрэмбийн задралд ^{226}Ra –гаас эхэлсэн задрал нь цацраг идэвхижлийн хувьд чухал ач холбогдолтой бөгөөд иймээс олон тохиолдолд ураныг биш радийг зааж өгсөн байдаг. Дэлхийн царцдаст агуулагдаж байгаа радий, торий калийн цацрагийн хэмжээ нь 40 Бк/кг, 40 Бк/кг ба 400 Бк/кг байдаг [16].

1.2.Хаягдал үнсний хэрэглээ

Хаягдал үнсийг цементийн түүхий эд юмуу нэмэлт болгон хэрэглэх нь одоогийн түвшинд ашиглагдаж буй хамгийн том хэрэглээ юм [17]. Нийт гарч буй үнсний 72%-ийг цемент, бетоны үйлдвэрлэлд ашигладаг байна [18].

Цахилгаан станцын үнсийг голчлон үнсэн цөөрөмд хадгалаад газарт булах замаар зайлуулдаг байсан боловч өнгөрсөн зууны 30-аад оноос эхлэн бетонд нэмэлт хэлбэрээр холин усан сангийн бүтээцэд ашиглаж эхэлжээ. Тухайлбал, “Hungry horse” усан сангийн даланг АНУ-ын Montana муж улсад 1948-1953 онуудад 120000 тонн үнс ашиглаж барьсан. Мөн 1950-1970 онуудад 100 гаруй том хэмжээний далангийн барилгад үнсний агуулагдах хэмжээ нь 50 хүртэлхи хувийг эзлэх бетоныг ашиглажээ [19]. Англи улсад үнсний хольцтой бетоныг 1954 онд анх удаа Бридэлбэйний усан сан

(Breadalbane dams) байгуулахад ашигласан байна. Үнсийг бетонд нэмэлтээр хийн барьсан дэлхийд нэртэй байгууламжид дэлхийн хамгийн өндөр барилга буюу Бурж Дубай цамхаг орно. Уг байгууламжийг өндөр бат бэхтэй бетон ашиглаж барихдаа 40%-ийн үнсэн нэмэлт ашиглажээ [20]. Өөрөөр хэлбэл, үнсийг цемент, бетонд нэмэлт хэлбэрээр ашиглах нь уламжлалт өргөн хэрэглэгддэг арга юм. Иймд үнсний уламжлалт бус хэрэглээг тодруулж байна.

Үнсийг полимерийн үйлдвэрлэлд ашиглах нь

Үнсийг полимерийн үйлдвэрлэлд ашиглах боломж нь харьцангуй бага судлагдсан сэдэв юм. Гол зарчим нь үнсний бөмбөлөг хэлбэрийн бүтцийг ашиглахад оршдог гэж дурдсан байна [21]. Резин, поливинил хлорид (PVC), полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полиэстер давирхай болон будгийн үйлдвэрлэлд үнсийг дүүргэгч болгон ашиглах боломж дурджээ [22]. Үнсний бөмбөлөг хэлбэр нь хамгийн бага талбайд хамгийн их эзэлхүүн эзлэх боломжийг олгон полимерийн тусгай шинж чанарыг сайжруулдаг байна. Бөмбөлөг хэлбэр нь мөн урсгалыг сайжруулан, халуунаар шахаж хэвлэх ажиллагааг хялбаршуулдаг гэж тэмдэглэгджээ. Резинд дүүргэгч болгон хэрэглэдэг шохойн чулуу болон каолинтыг бөмбөлгөн хэлбэртэй үнсээр орлуулах *Plastil* дүүргэгчийн Өмнөд Африкт гарган авсан байна.

Үнсийг шингээгч (адсорбент) болгон ашиглах нь

Хаягдал үнсийг шингээгч болгон ашиглах боломжийн талаархи хамгийн длэлгэрэнгүй тойм өгүүллийг Ванг, Вуй нар бичсэн байна [23]. Энэхүү тойм өгүүлэлд дурдсанаар хаягдал үнсийг шаталтын үед дэгдэх хүхэрлэг хий, азотын оксид NO_x , мөнгөн ус, хийн хэлбэртэй органик нэгдлийг цэвэрлэх [24], хаягдал уснаас төрөл бүрийн хортой металл (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , As^{5+} , Cs^-) металлын төрлийн нэгдэл, органик бус анион болон органик будгийг зайлуулахад ашиглах судалгаа хийгдсэн байна [23, 25]. Бусад шингээгчидтэй харьцуулахад үнс нь эдийн засгийн хувьд илүү ашигтай шингээгчид тооцогдож байна. Үнс дангаараа шингээлтийн багтаамж харьцангуй бага юм. Үнсний шингээгчид хамгийн сайнаар нөлөөлж байгаа нэгдэл нь дутуу шатсан нүүрс юм. Гадаад улсуудад гарч буй хаягдал үнсний жингийн 1-10% хүртэлхи хувьд дутуу шатсан нүүрс агуулагддаг гэж дурдагдсан байдаг нь шиэнгээлтийг сайжруулах үндэс болсон байна. Үнсний

шингээлтийг сайжруулахын тулд химийн боловсруулалт хийх нь зохимжтойг тэмдэглэжээ [23].

Үнсийг цеолитын түүхий эд болгон ашиглах нь

Үнсийг цеолит нийлэгжүүлэх түүхий эд болгох, гаргасан цеолитыг төрөл бүрийн шингээгч болон катализын зориулалтаар ашиглах нь хамгийн их сонирхол татсан сэдвийн нэг юм. Үнсний химийн найрлага, нийлэгжүүлэх нөхцөл зэргээс шалтгаалан цеолит P ($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$), филипсит ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot \text{H}_2\text{O}$), К-чабазит ($\text{KAlSiO}_4\cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$), фаужасит ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_{3.3}\text{O}_{8.8}\cdot 6.7\text{H}_2\text{O}$), цеолит А ($\text{NaAlSi}_{1.1}\text{O}_{4.2}\cdot 2.25\text{H}_2\text{O}$), цеолит Х ($\text{NaAlSi}_{1.23}\text{O}_{4.46}\cdot 3.075\text{H}_2\text{O}$), цеолит Y ($\text{NaAlSi}_{2.43}\text{O}_{6.86}\cdot 4.465\text{H}_2\text{O}$), аналцим ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\cdot \text{H}_2\text{O}$), гидроксисодалит ($\text{Na}_{1.08}\text{Al}_2\text{Si}_{1.68}\text{O}_{7.44}\cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$), гидроксиканкринит ($\text{Na}_{14}\text{Al}_{12}\text{Si}_{13}\text{O}_{51}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) төрлийн цеолитуудыг нийлэгжүүлж байсан байна [2]. Үнснээс нийлэгжүүлсэн цеолит Х (Na-X) нь Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} болон Pb^{2+} зэрэг хүнд металлуудыг шингээх чадвартайг илрүүлжээ [26]. Үнснээс нийлэгжүүлсэн 14 төрлийн цеолитыг ашиглан 3 валенттай хромын оксидыг уснаас зайлуулах боломжтойг тодорхойлон хамгийн оновчтой шингээлтийн горим тодорхойлогдсон байна [27]. Цеолит нийлэгжүүлэн хүнд болон хортой элементийг хаягдал уснаас зайлуулах судалгаа нь лабораторийн түвшинд төдийгүй хагас үйлдвэрлэлийн нөхцөлд мөн туршигдан батлагджээ [28]. Хагас үйлдвэрлэлийн нөхцөлд 1100 кг үнсийг тусгай реакторт боловсруулан 2924 Л бохирдсон уснаас хүнд болон хортой элементийг ялгаж чадсан байна. Өөрөөр хэлбэл, энэхүү ажил нь үйлдвэрлэл практикт туршигдсан гэж үзэж болох юм.

Үнсийг керамикын түүхий эд болгон ашиглах нь

Үнс нь өөртөө SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 зэрэг оксидуудыг агуулж байдгаас шилэн керамик материалын түүхий эд болгох боломжтой гэж зарим судлаачид үзсэн байдаг [29]. Тэд эхлээд үнсэндээ хайлш үүсгэгч нэмэлт нэмэн 1500-1600°C температурт хайлуулжээ. Дараа нь хайлуулсан шилээ нунтаглан ахиж хэвлээд 900-1200°C температурт талсжуулан шилэн керамик материал гарган авсан байна. Харин үнсэн дээр холбогч нэмэлт хийн хэвлээд 900-1300°C температурт шатаан керамик биет гаргах боломжтой юм. Энэтхэгийн Жандаспур дахь Металлургийн төв лабораторид үнсийг ашиглан 100°C температурт өөрөө паалан үүсдэг шинэ төрлийн хананы хавтан болон галд тэсвэртэй тоосго гарган авч патентаар баталгаажуулсан байна [18].

Үнсийг хөдөө аж ахуйд ашиглах нь

Үнсийг хөдөө аж ахуйд хөрсний чанар сайжруулагчаар ашиглах боломжтой гэж зарим судалгаанд дурдагдсан байна [30, 31]. Ихэнхи үр тарианы ургалт хөрсний рН нь 6.5-7 байхад сайн явагддаг байна. Харин үнс нь хүчиллэг болон шүлтлэг аль нь ч байж болдог. Иймд хүчиллэг хөрсөнд шүлтлэг үнсийг цацахад нийт хөрсний рН-ийг өсгөдөг. Энэ нь Са, Na, Al болон ОН ионуудын хөрсөнд шингэх боломжийг олгодог байна. Үнсийг хөдөө аж ахуйд ашиглах судалгаанд хэрэглэгдсэн түүхий эд нь кальцийн агуулга өндөртэй (СаО >15%) С ангиллын үнс байдаг. Үнсийг хөрсөнд нэмэхэд бүтэц нь сайжран, нягт нь буурах, хөрсний агааржилт нэмэгдэх, хатуу цардас үүсэхийг багасгах, бордоо болон шохойн хэрэглээг бууруулах зэрэг эерэг талууд ажиглагддаг. Гэхдээ зарим тэжээлийн бодисын уусалтыг багасгах сөрөг үзэгдэл мөн тэмдэглэгджээ [6].

Үнсийг геополимерийн түүхий эд болгон ашиглах нь

Геополимер гэдэг нь хагас аморф, хөнгөн цагаант цахиурын үеэлсэн полимертэй төстэй бүтэцтэй нэгдэл юм. Үүнийг голчлон хөнгөн цагаант цахиурын түүхий эд буюу хаягдал үнсийг ашиглан гаргадаг. Сүүлийн жилүүдэд дэлхий нийтэд геополимерийн судалгаа нь хамгийн их сонирхол татаж буй халуун сэдвийн нэг болоод байгаагийн дээр олон тооны тойм өгүүлүүд хэвлэгдсэн байна [32-34]. Үнснээс гаргасан геополимер төрлийн материал нь шинжилгээ судалгааны түвшнээс хальж хагас үйлдвэрлэл, үйлдвэрлэлийн бүтээгдэхүүн болж Австралид E-Crete™ бетон нэрээр үйлдвэрлэгдэж байна [35]. Геополимерийн хамгийн гол хэрэглээ нь барилга, замын материал болох төрөл бүрийн бетоны үйлдвэрлэл юм. Геополимер бетон үйлдвэрлэхэд F төрлийн буюу кальцийн оксидын (СаО) агуулга багатай үнсийг ашиглахад тохиромжтой гэж үздэг [36, 37]. Геополимер материал үйлдвэрлэх зарчмыг 6-р зургаар харуулж болно.



6-р зураг. Геополимер төрлийн материал гаргах ерөнхий зарчим

Үнсийг шүлтээр зуурахдаа жингийн 75-80%-д нь дүүргэгч нэмж өгвөл геополимер төрлийн бетон болох боломжтой юм. Геополимер төрлийн материалын бүтцийн үүсэлтийг түргэсгэхийн тулд дунджаар 60-80°C температурт тодорхой хугацаагаар (24 цаг хүртэл) бэхжүүлэх нь тохиромжтой юм.

1.3. Монгол улсад дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглаж буй судалгааны үр дүнгээс

Монгол улсад дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглах оролдлого өнгөрсөн зууны 70-аад оны үеэс эхэлсэн болотой. Тэр үед анх бетонон блокны цементийн зарим хэсгийг үнсээр орлуулах туршилт хийгдэж байсан байна. Мөн Дархан хотын цахилгаан станцын үнсийг керамзитын шаварт 30% нэмэн хурдавчилсан горимоор шатааж, хөргөлтийн үед 800-700°C-ийн үед 15 минут бариулан талсжуулж А ангилалд багтах керамзит гарган авах судалгаа 1980-аад оны сүүлээр хийгджээ [38]. Манай улсад хийгдэж буй судалгаанд үнс-шаарганы холимогийг бетоны үйлдвэрлэлд ашиглахад зохих анхаарал тавьж тавьж байсан байна. Тухайлбал, шохой 5%, цемент 45%, 3-р цахилгаан станцын үнс 50% бүхий хольц дээр 3-5% хөнгөнцагааны нунтагийг савангийн уусмалаар зуурч хөөлгөгч болгон хэрэглээд 90°C температурт уураар 8 цаг жигнэсэн автоклавын бус сэвсгэр бетоны бат бөх 28 өдрийн дараа 600, 1000 кг/м³ эзлэхүүний массад харгалзсан 20 болон 30 кгс/см² байсан байна [39]. Үнсийг барилгын материал, тухайлбал, керамик, бетоны үйлдвэрлэлд ашиглах туршилт, үйлдвэрлэлийн ажил нь 1986 онд Монгол улсад анх удаа “Барилгын материалд хэрэглэх дулааны цахилгаан станцын үнс”-ний стандартыг гаргах үндэсийг бий болгосон бололтой [40]. Энэхүү стандартад үнсийг төрөл зүйлээр хуваагаагүй, зөвхөн үнс нэрээр оруулсан байна. Улаанбаатар хотод одоогоор ажиллаж байгаа дулааны 3-н цахилгаан станцаас зөвхөн 4-р цахилгаан станц л үнсийг утаанаас ялгах шүүлтүүрээр тоноглогдсон бөгөөд бусад цахилгаан станцаас нарийн ширхэгт үнсийг ялган авах боломжгүй юм. Иймээс MNS 3298-86 стандартыг цахилгаан станцын шааргад зориулагдсан стандарт гэж үзэж болох юм. Харин манай улсад мөрдөгдөж буй портланд цементийн стандартад заасны дагуу цементийн үйлдвэрлэлд зөвхөн нарийн ширхэглэлтэй цахилгаан шүүлтүүрийн үнсийг хэрэглэх ёстой [41].

Манай улсад сүүлийн жилүүдэд нарийн ширхэглэлтэй шүүлтүүрийн үнсийг бетонд нэмэлт болгох болон зам барих ажилд ажилд ашиглаж буй боловч ашиглах арга замыг зааж өгсөн үндэсний стандарт байдаггүй учир тухайн компаниудыг зохих журмын дагуу ашиглаж байна гэж үзэх аргагүй юм.

СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ЗОРИЛГО, ЗОРИЛТ

Судалгааны ажлын зорилго нь Монгол орны дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглан барилга, замын шинэ төрлийн материал болох цементгүй барьцалдуулагч буюу геопалимер материал гарган авах технологийн параметрыг тогтоон бодит загвар бүтээгдэхүүн гарган авч, бодит бүтээгдэхүүн гарган авах технологи боловсруулах явдал байв.

Дээр дурдагдсан зорилгыг биелүүлэхийн тулд дараахь зорилтуудыг тавьж ажиллав:

- Улаанбаатарын 4-р дулааны цахилгаан станцын үнсний хими, физик, эрдэс зүй, гадаад хэлбэр, нүх сүвэрхэг байдал, цацраг идэвхийн шинжилгээг нарийвчлан явуулах
- Дулааны 4-р цахилгаан станцын үнсээр геопалимер зуурмаг материал үйлдвэрлэх технологийн параметрийг тогтоох (хатаалтын температур, шүлтийн концентраци, хатаалтын хугацаа, шүлтлэг шингэн хольцын найрлага, харьцаа)
- Хамгийн оновчтой гэж тогтоосон хувилбараар тогтоосон зуурмагт хайрга, дайрга нэмэн геопалимер бетон гарган авах
- Гарган авсан геопалимер бетоныг ашиглан биет материалыг гарган авах технологи боловсруулах
- Шинээр бий болгосон технологийн заавар, бүтээгдэхүүнийг олон нийтэд танилцуулах сурталчлах.

II БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АРГА, АРГАЧЛАЛ

2.1 Түүхий эдийн судалгаа

Судалгааны түүхий эд болгон Улаанбаатарын 4-р дулааны цахилгаан станцын цахилгаан шүүлтүүрийн Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсийг ашиглав. Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын 2 зуух Багануурын нүүрсээр, 2 зуух Шивээ-овоогийн нүүрсээр галалдаг бөгөөд цахилгаан станцаас ойролцоогоор 2 ордын нүүрсний 900-1000 кг үнсийг тус тус авч ашиглав. Үнс нь цахилгаан шүүлтүүрээс авч байгаа учир анхан шатны дундачлалт хийгдсэн гэж үзээд хими, эрдэс зүйн шинжилгээнд өгсөн үнсийг дундачлан ашиглав.

2.1а. Химийн найрлага

Түүхий эдийн химийн найрлагыг Рентген-флуоресцентний аргаар (XRF) Япон улсын Акита Их сургуулийн лабораторид Ригаку (*Rigaku*) компанийн Примини (*Primini*) төрлийн багажаар нунтагийг даралтаар шахан таблетик хэлбэрт оруулсан дээжин дээр үзэв. Мөн химийн шинжилгээг Монгол улсын **SGS Mongolia** олон улсын итгэмжлэгдсэн лабораторид дээжийг бораттай хайлуулж бэлдсэн дискийг ашиглах стандартчилагдсан аргыг ашиглан баталгаажуулав. Хоёр өөр газарт хийсэн Рентген-флуоресцент хэмжилтийн ялгаа нь 1%-иас бага байсан бөгөөд шинжилгээний үр дүнгийн дундачлагдсан хэмжээг судалгаанд ашиглав.

2.1б. Эрдэс зүйн найрлага

Эрдэс зүйн найрлагыг Япон улсын Акитагийн Их Сургуульд *Bruker* компанийн "D8 Advance" рентген дифрактометр болон Монгол улсын ШУА-ийн Байгалийн шинжлэлийн нэгдсэн лабораторийн *Shimadzu* компанийн "MAXima_X XRD-7000" рентген-дифрактометрүүдээр $\text{Cu-K}\alpha$ туяаг ашиглан $2-80^\circ$ 2θ өнцгийн хязгаарт явуулав. Урьдчилан шатаасан хөнгөн цагааны оксидыг дотоод стандарт болгон Риетвелдийн шинжилгээг явуулан эрдэс зүйн найрлагыг мөн баталгаажуулав.

2.1в. Гадаад морфологи

Үнсний гадаад морфологийг Австралийн Куртины Их Сургуулийн *Zeiss* компанийн *FESEM (Evo 40XVP)*, Японы Акита Их Сургуулийн *JEOL* компанийн *FESEM (JSM-6701F)*, БНХАУ-ын Баотагийн Газрын ховор элементийн хүрээлэнгийн *Hitachi* компанийн *SEM (S-3400N)* электрон микроскопуудыг ашиглан явуулав. Үнсний гадаргуугийн химийн найрлагыг *EDS X-ray* хэмжигч буюу *Oxford Instruments* компанийн (*Energy Dispersive Spectroscopy*), *AMETEK* компанийн (*EDAX^{TSL}*) системүүдийг ашиглан явууллаа.

2.1г. Ширхэглэлийн шинжилгээ

Ширхэглэлийн шинжилгээг 25-75 микроны шигшүүрээр шигших аргаар болон *Shimadzu* компанийн лазерийн ширхэглэл хэмжигч (*SALD-2100*) багажийг ашиглан явуулав. Лазерийн ширхэглэл хэмжигчийг ашиглахын өмнө шингэн орчин дахь дээжийг 30 секундын турш хэт авианы үйчлэлд оруулан бүхэл хэсгийг задлав.

2.1д. Нүх сүв, хувийг гадаргуугийн талбай, хувийн жин

Үнсний нүх сүвний хэмжээ, хувийн гадаргуугийн талбай (*BET*)-г *Bel Japan* компанийн (*Belsorp mini*) багажаар хэмжив. Хэмжилтийн өмнө дээжинд агуулагдах хийн урьдчилсан зайлуулалтыг 200°C температурт 4 цагийн турш явуулав. Өндөр цэвэршилтэй гелийн хийг шингээгдэгч хий болгон ашиглалааа.

Үнсний хувийн жинг жин болон эзэлхүүний харьцаагаар 100 мл эзэлхүүнтэй цилиндр шилэн саванд хийсэн үнсийг ашиглан тогтоов.

2.1ж. Цацрагийн үзүүлэлт

Туршилтанд хэрэглэсэн үнсний цацрагийн үзүүлэлтийг Монгол улсын засгийн газрын хэрэгжүүлэгч агентлаг Цөмийн шинжилгээний төвд гамма-спектроскопын аргаар Монгол улсын *MNS 5072:2001* стандартын дагуу тогтоолгов.

2.1з. ²⁷Al Хатуу биеийн цөмийн соронзон спектр

²⁷Al цөмийн соронзон спектрийг 11.7 Т *Bruker Avance III 500* загварын төхөөрөмж дээр 130.24 MHz давтамжтайгаар авав. Хэмжилтэнд 1 μс давтамж ба 1 с ахин эргэх хугацааг ашигласан бөгөөд дээж хадгалсан силикон нитрид сав 10-12 kHz

давтамжтайгаар соронзон оронд эргэлдэж байв. Спектрийг стандарт $Al(H_2O)_6^{3+}$ дээжтэй хаьцуулан тогтоов.

2.2. Бүтээгдэхүүний шинж чанарын судалгаа

2.2а. Шүлтлэг шингэний бэлтгэл

Шүлтлэг шингэнийг 4-14 М хүртэлхи концентрацитай натрийн шүлт болон зах зээлд борлогдож буй натрийн шингэн шилийг ашиглав. Шингэн шилийг дагалдаж ирсэн шинжилгээний дүнд дурдсанаар силикатын модуль 3.28 байв. Натрийн шүлтийг 99%-ийн цэвэршилтэй ялтсан шүлтийг нэрмэл усанд уусгах замаар химийн стандарт аргачлалын дагуу бэлдэв.

2.2б. Дээж бэлтгэл

Хаягдал үнсийг шүлтийн уусмалтай холин зуурч, зуурмаг хэлбэрээр хэвлэх боломжтой болгон 2 см талтай төмөр хэвэнд цутган, шингэн ууршуулахгүй органик уутанд хийн 40-90°C температурт 2-24 цагийн турш хадгалан бат бэх авахуулан бэхжүүлэв.

Зуурмагийн оновчтой параметрыг тогтоосон хувилбар дээр жингийн 75-80% -иар 0-5 мм-ийн хайрга нэмэн 7, 15 см талтай төмөр хэвүүдэд цутган геопалимер төрлийн бетон бэлдээд органик уутанд хийн 70°C температурт 22 цагийн турш хадгалан бат бэх авахуулан бэхжүүлэв.

2.2в. Бат бөх, ус шингээлтийн үзүүлэлт

Бэлтгэсэн геопалимер дээжний бат бөхийг *Jinan* компанийн бат бөхийн шинжилгээний компьютертэй холбоо бүхий (*WDW-50*) багажийг ашиглан явуулав. Ус шингээлтийг тодорхойлохдоо урьдчилан жинг нь үзэж бэлдсэн сорьцыг буцалж буй нэрмэл устай стаканд хийн 30 минутын турш буцалгаад хөргөсний дараа ахин жинг нь үзэн жингийн өөрчлөлтийн хувиар тодорхойлох аргачлалыг ашиглав.

2.2г. Хүйтэн тэсвэрлэлт

Хүйтэн тэсвэрлэлтийг тухайн туршилтын явцад тохируулан бага зэрэг өөрчилсөн Монгол улсын стандарт, “MNS 1918 : 1985 Бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийг тодорхойлох

арга- -д заасан аргачлалын дагуу тодорхойлов [46]. Хөлдөөлтийг -22°C температурт гэсгээлтийг тасалгааны температурт авсан крантны усанд явуулав. Хөлдөөлт болон гэсгээлтийг багаар бодоход 6 цагийн турш үргэлжлүүлсэн.

2.2д. Бүтээгдэхүүний цацраг идэвхижил

Технологийн параметрыг урьдчилан тогтоосон аргаар үйлдвэрийн хэвэнд бэлэн бүтээгдэхүүн хэвлээд цацраг идэвхижлийг Цөмийн энергийн газрын лабораторид гамма-спектроскопийн аргаар шинжлэв. Хэмжилтэнд оруулсан бэлэн бүтээгдэхүүнийг урьдчилан нунтаглан бэлдэв.

III БҮЛЭГ. ТУРШИЛТ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЦЭМЖ

3.1. Үнсний судалгаа

3.1.1 Үнсний химийн найрлага

Рентген-флуоресцентний аргаар тодорхойлсон үнсний химийн найрлагыг 5-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

5-р хүснэгт. Туршилтанд хэрэглэсэн үнсний химийн найрлага

Үнс	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SO ₃	K ₂ O	SrO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Шивээ-овоо	34.19	11.71	9.93	30.19	7.11	1.11	3.38	0.70	0.22	0.46	0.24	0.02
Багануур	55.75	13.82	10.43	14.24	1.67	0.32	0.83	1.325	0.12	0.41	0.11	0.03

Шатаалтын жингийн хоргдол нь Багануурын үнсэнд 0.94%, Шивээ-овоогийн үнсэнд 0.32% тус тус байв.

Бетонд хэрэглэх хаягдал үнсний үзүүлэлтийг тогтоосон Америкын ASTM C618 стандартын дагуу Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсийг С ангиллын үнс гэж тооцож болохоор байна. Хэдийгээр ASTM C618 ангилалд үнсэнд агуулагдах кальцийн оксидын (CaO) хэмжээг тодруулан заагаагүй боловч ихэнхи судлаачид кальцийн оксидын хэмжээ жингийн 5%-иас өндөр байхад С ангиллын үнс гэж тооцно хэмээн дурдсан байдаг.

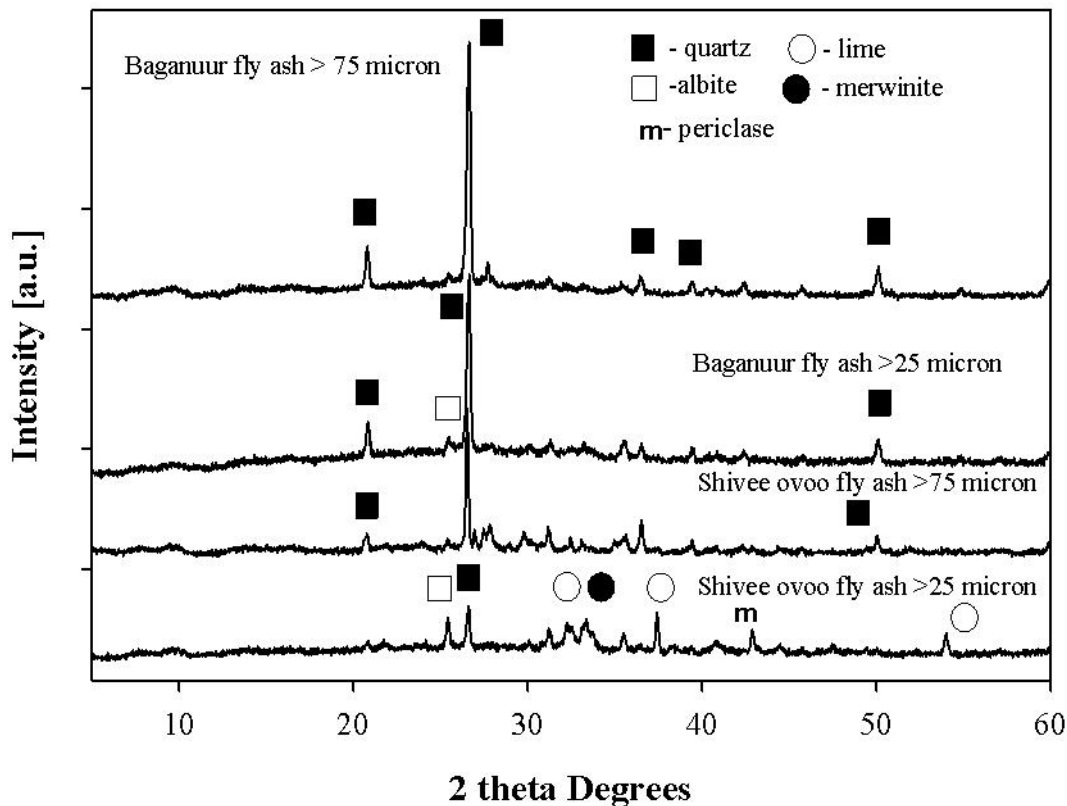
Хэвлэлийн тоймд дурдсанаар кальцийн оксидын агуулга өндөртэй С ангиллын үнс нь геополимер материал үйлдвэрлэхэд төдийлөн тохиромжтой биш юм.

3.1.2 Эрдэс зүйн найрлага

Рентген-дифрактограммын үр дүнгээр хийгдсэн Риетвелдийн аргаар Багануурын үнсэнд кварц, магнетит, гематит, кианит Al₂SiO₅, микроклин, геленит Ca₂Al[AlSiO₇] болон бага хэмжээний муллит зэрэг 7 төрлийн талст фаз агуулагдаж байгааг тодорхойлов.

Харин Шивээ-овоогийн үнсэнд гематит Fe_2O_3 , кварц SiO_2 , магхемайт $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, микроклин KAlSi_3O_8 , мервенит $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$, шохой, альбит, периклаз MgO , аккерманит $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$, жисмондайн $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, муллит зэрэг 11 төрлийн эрдэс их бага хэмжээгээр агуулагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл, Багануур болон Шивээ-овоогийн үнс нь маш нарийн нийлмэл найрлагатай бүтээгдэхүүн юм. Шигшүүрийн анализын тусламжтайгаар үнсэнд агуулагдах фазууд нь мөн ширхэглэлийн тодорхой фракцид өөр өөр хэмжээтэйгээр агуулагддаг болохыг тодорхойллоо.

Үнсэнд агуулагдах талст фазууд ширхэглэлийн хязгаарт хэрхэн тархаж байгааг 7-р зурагт үзүүлсэн Рентген-дифрактограммаас харж болно.



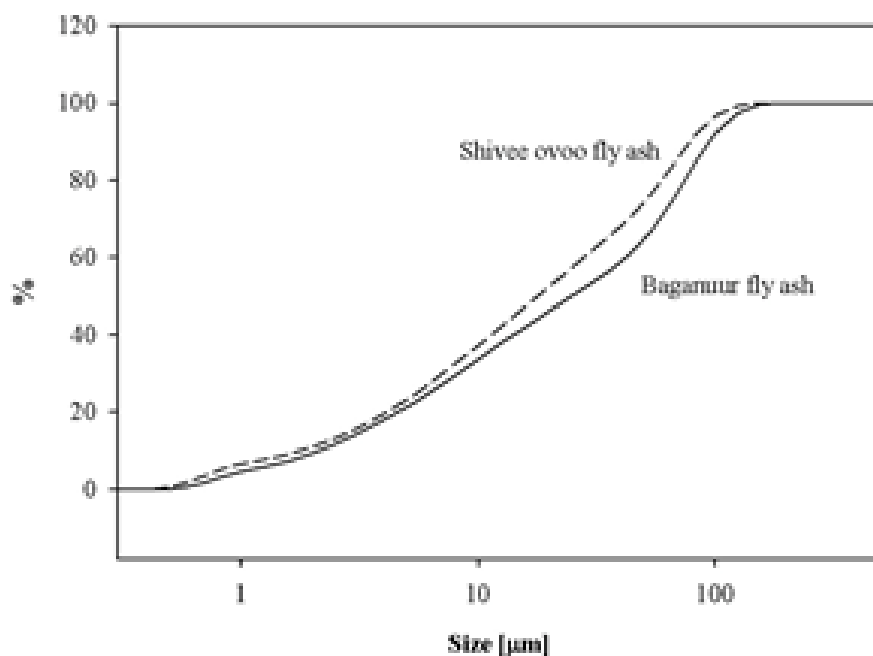
7-р зураг. Янз бүрийн ширхэглэлтэй үнсний Рентгендифрактограмм

Зургаас харахад Багануурын үнсэнд талст фазууд ширхэглэлийн бүхий л хязгаарт ерөнхийдөө жигд тархсан бол Шивээ-овоогийн үнсний нарийн ширхэглэлтэй буюу 25 микроны шүүлтүүр дээр үлдсэн хэсэгт шохой (кальцын оксид, CaO) болон мервенит илүү их хэмжээтэй оршиж байна.

Риетвелдийн анализын тусламжтайгаар Багануур болон Шивээ-овоогийн нүүрсний үнсний 65% нь аморф бүтэцтэй болохыг тогтоов. Ерөнхий утгаар авч үзвэл аморф бүтэц нь геопалимер болон поззолонь төрлийн урвал явагдахад хамгийн тохиромжтой гэж тооцогддог. Учир нь аморф бүтэц нь химийн урвалд оролцох боломжийг дээшлүүлж, хялбар уусах боломжийг хангаж өгдөг.

3.1.3 Ширхэглэл, нүх сүв, хувийн гадаргуугийн судалгаа

Лазер ширхэглэлийг хэмжигч багажаар хэмжсэн үнсний ширхэглэлийн хэмжээг 8-р зурагт үзүүлэв.



8-р зураг. Туршилтанд хэрэглэсэн үнсний ширхэглэлийн тархалт

Туршилтаас Багануурын үнсний 75% < 53 µm, 50% < 20 µm, 25% < 5 µm байсан бол Шивээ-овоогийн үнсний 75% < 41 µm, 50% < 14.5 µm, 25% < 4.5 µm, тус тус байна.

Харин шигшүүрийн аргаар тогтоосон ширхэглэлийн дундаж хэмжээ нь лазерийн тусламжтай тогтоосноос ялгаатайг байгааг 6-р хүснэгтээс харж боолно.

6-р хүснэгт. Шигшүүрийн аргаар тогтоосон ширхэглэлийн хэмжээ

Үнс	>73.66 μm , %	>43.18 μm , %	>25.4 μm , %	<25.4 μm , %
Багануур	6.99	25.27	62.04	5.68
Шивээ- овоо	16.74	30.89	45.92	6.45

Дээрхи хүснэгтээс харахад Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсний голлох хэсэг нь 25 микроноос их байна.

Шигшүүрийн шинжилгээнээс гарсан ширхэглэлийн хэмжээ лазерийн шинжилгээнийхээс илүү том байгаа нь усан орчинд хэт авиагаар үйлчлэхэд хоорондоо аггломераци болсон хэсгүүд илүү сайн задарснаас болсон бололтой.

Шигшүүрээр ялгасан үнсний эзэлхүүний жингийн өөрчлөлтийг тогтоосныг 7-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

7-р хүснэгт. Ширхэглэлээс хамаарсан эзэлхүүний жингийн өөрчлөлт

Үнс	Эзэлхүүний жин (ρ , г/см ³)		
	73.66 μm	43.18 μm	25.4 μm
Багануур	1.018 (0.005)	1.120 (0.023)	1.153 (0.025)
Шивээ-овоо	1.124 (0.003)	1.364 (0.026)	1.392 (0.032)

Шивээ-овоогийн үнс нь Багануурын үнснээс илүү хүнд хэсгээс тогтож байгаа нь үнсэнд агуулагдах эрдэс хэсэг нь илүү хүнд хэсгээс тогтож байгаатай холбоотой юм. Кварцын хэмжээ нь Шивээ-овоогийн үнсэнд Багануурынхаас бага бөгөөд тэдгээр нь харьцангуй том ширхэгтэй хэсэгтээ оршиж байна.

Үнсний БЭТ хувийн гадаргуугийн талбай болон нүх сүвний хэмжээг тодорхойлсныг 8-р хүснэгтэнд харуулав.

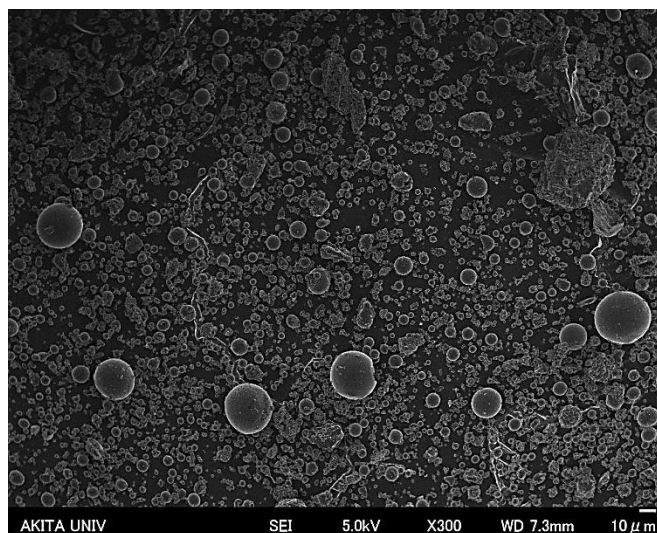
8-р хүснэгт. Үнсний БЭТ хувийн гадаргуугийн талбай, нүх сүвний эзэлхүүн

Үнс	Хувийн гадаргуугийн талбай, БЭТ м ² /г	Нүхний эзэлхүүн, мл/г (x10 ⁻⁴)
Шивээ-овоо	1.04	1.49
Багануур	2.75	2.12

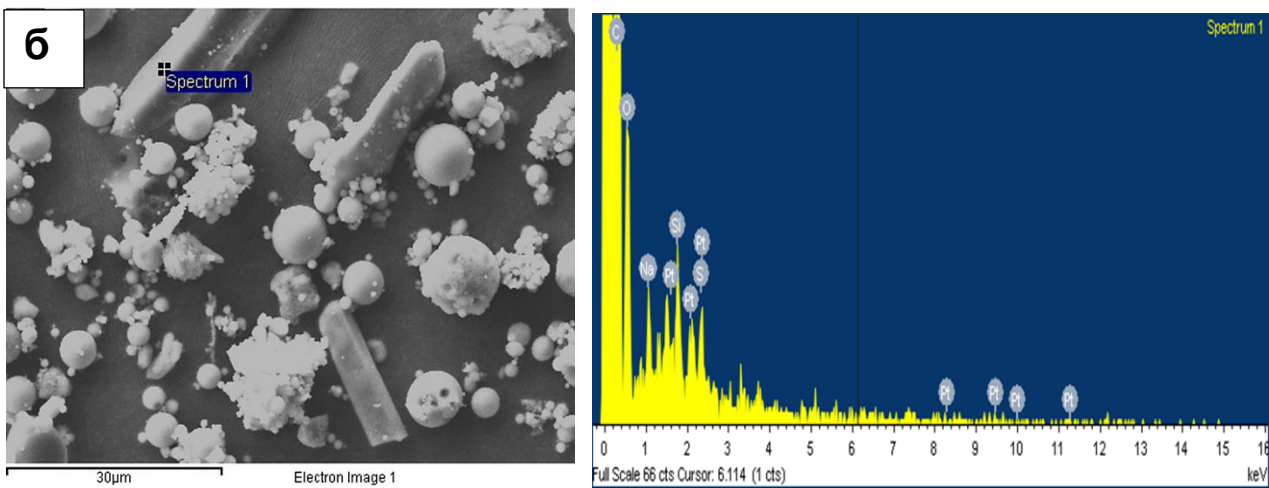
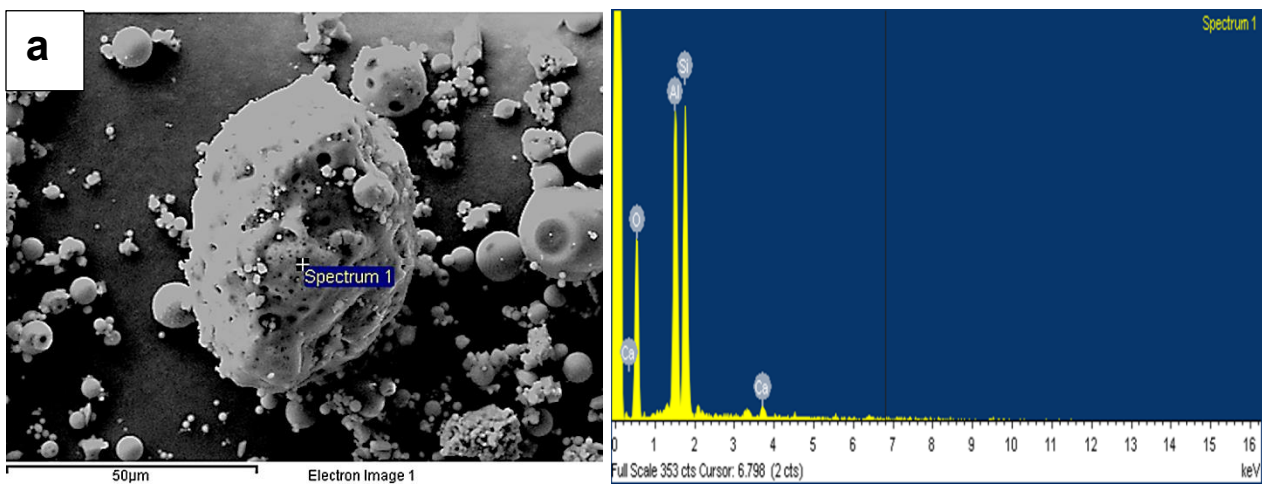
Хувийн гадаргуугийн талбай болон нүх сүвний эзэлхүүнээс үндэслэн Багануурын үнс нь Шивээ-овоогийн үнстэй харьцуулахад нүх сүвэрхэг шинж нь илүү гэж дүгнэж болно.

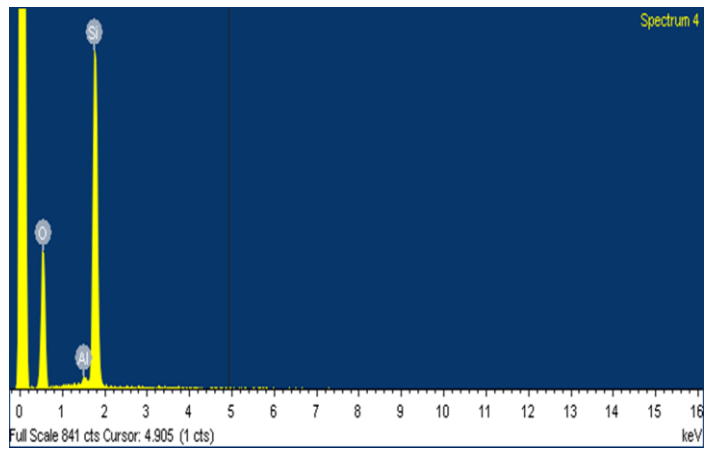
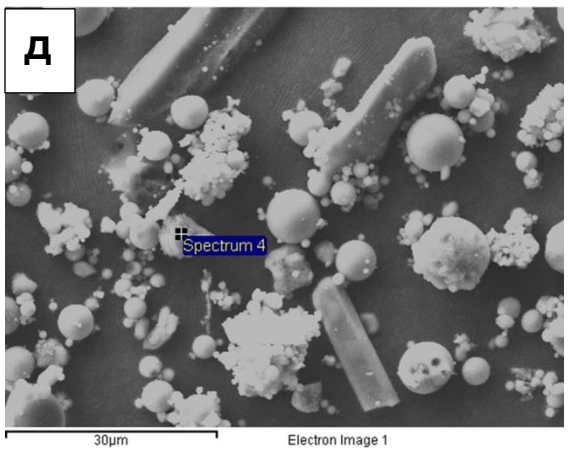
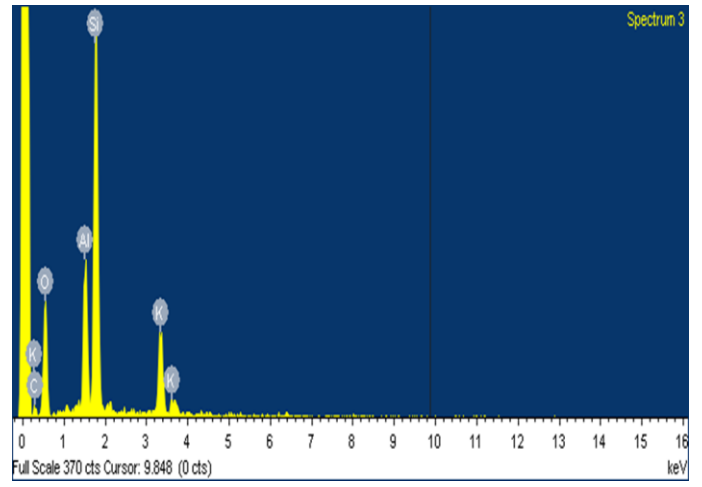
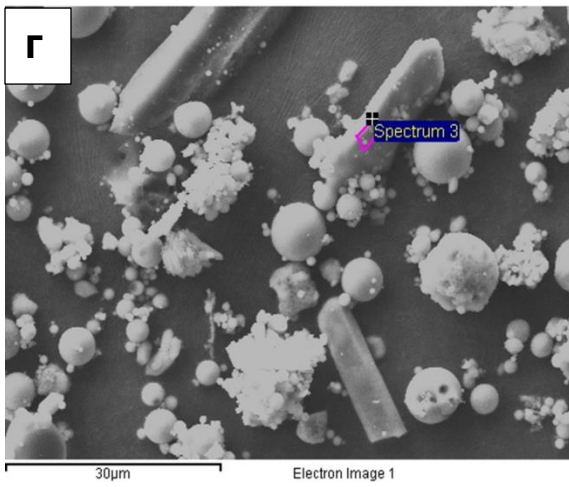
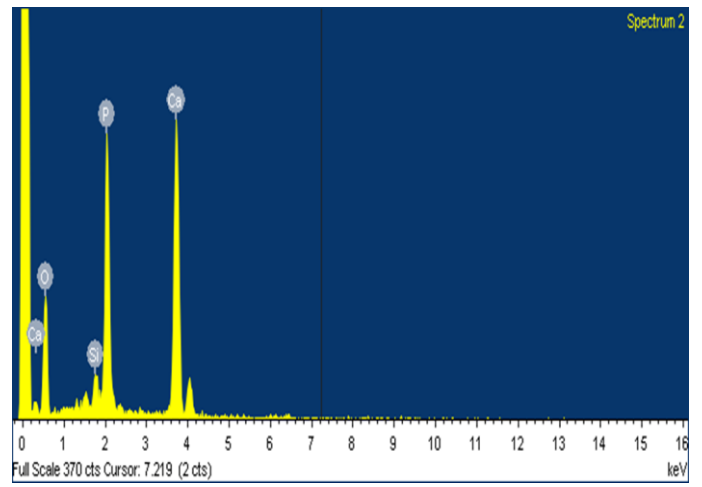
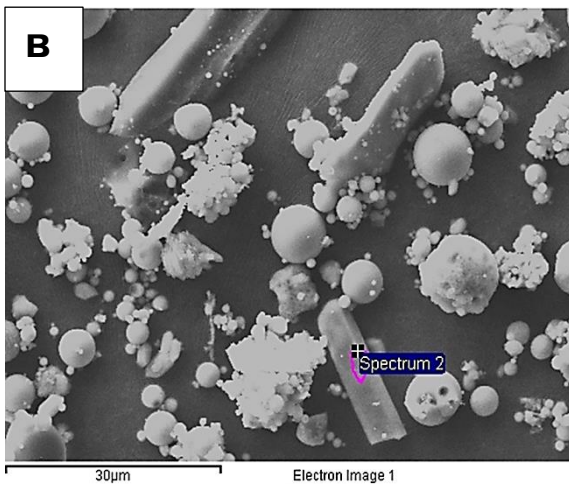
3.1.4 Гадаад морфологийн судалгаа

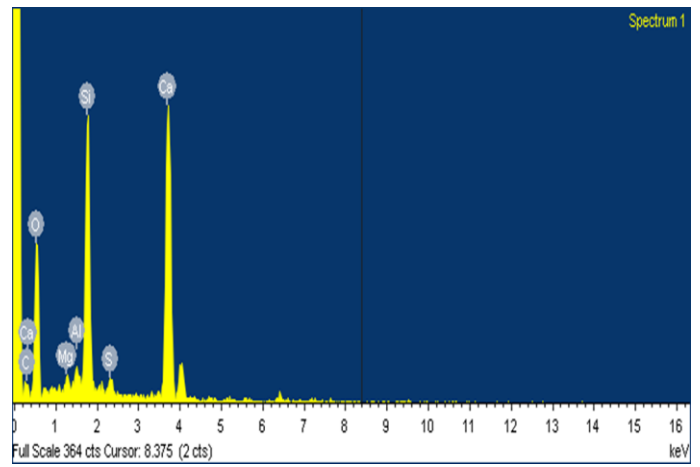
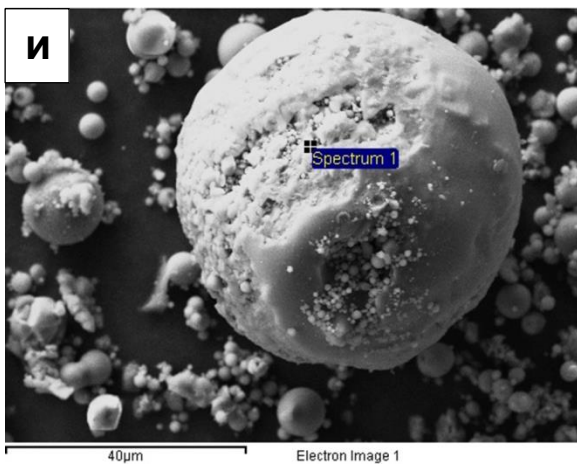
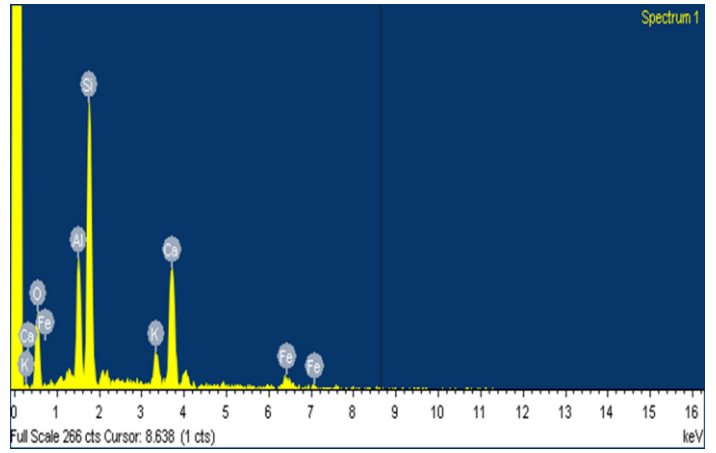
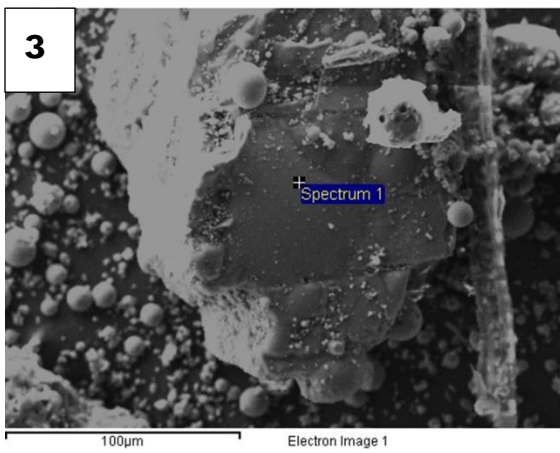
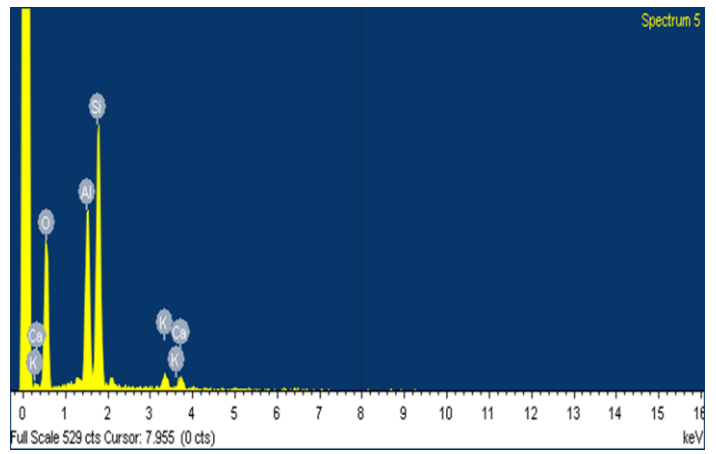
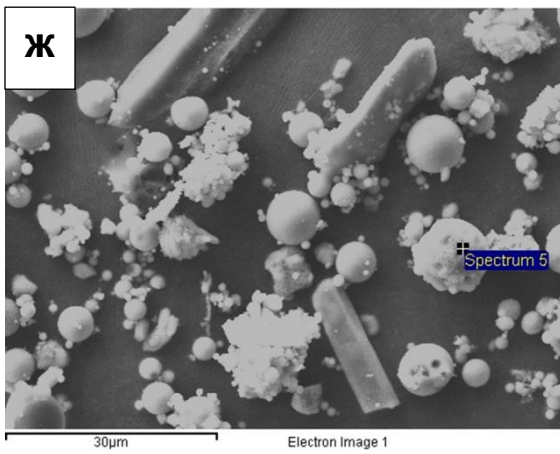
Үнсний гадаад морфологийг ЭДС буюу энергийн сарнилын спектр буюу рентгений анализтай хамтран судалсныг 9, 10-р зургуудад үзүүлэв.



9-р зураг. Багануурын үнсний гадаад хэлбэр



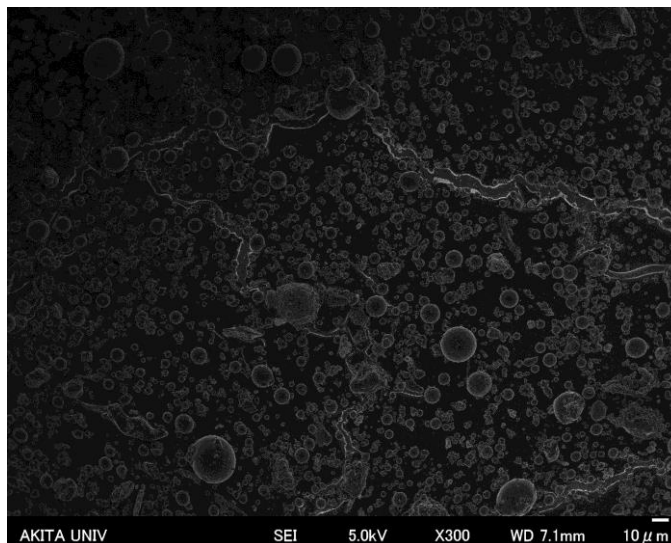




10-р зураг. Багануурын үнсний электрон микрокопын зураг болон сарнилын спектр

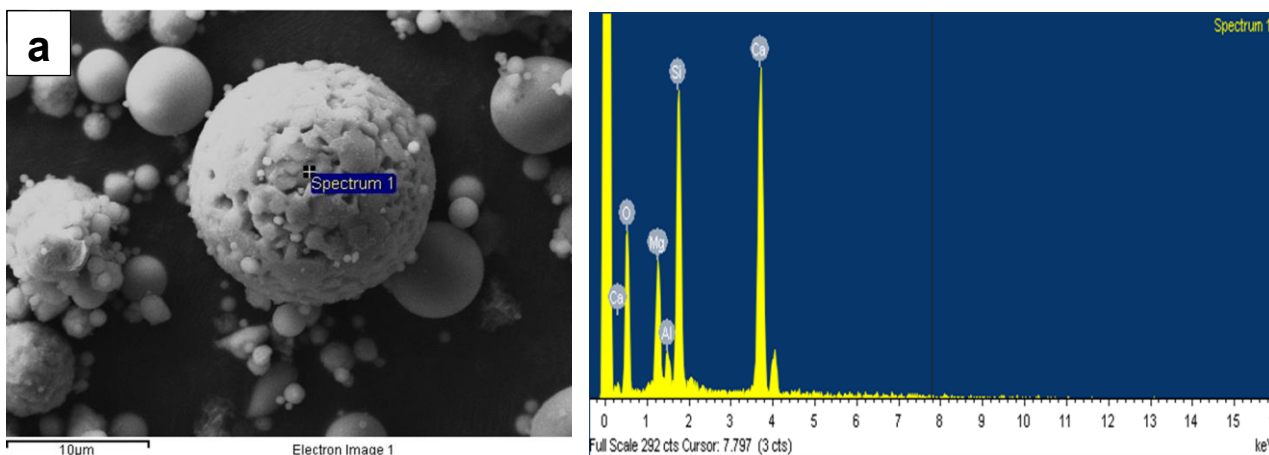
Электрон микроскоп, сарнилын спектрийн зургуудаас харахад Багануурын үнсний кальций нь хөнгөнцагаан болон цахиурын оксидтой нэгдэл хэлбэрээр оршиж байгаа нь Рентген-дифрактограммын зургийг баталж байна. Мөн үнсэнд кальцийн фосфат буюу апатит агуулагдаж байгааг (в) зургаас харж болно.

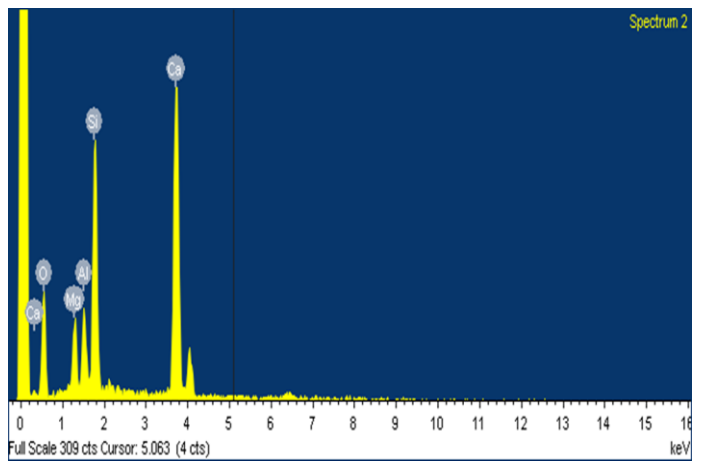
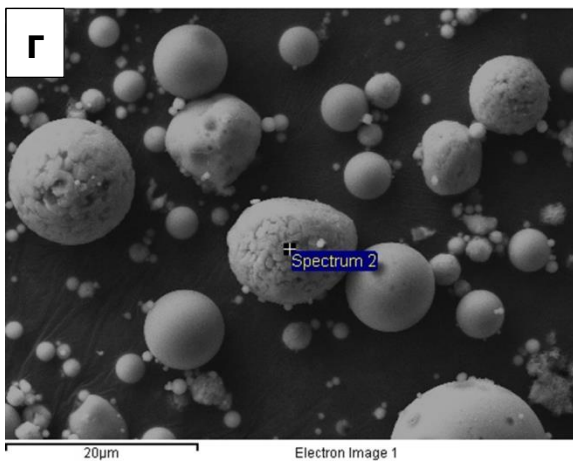
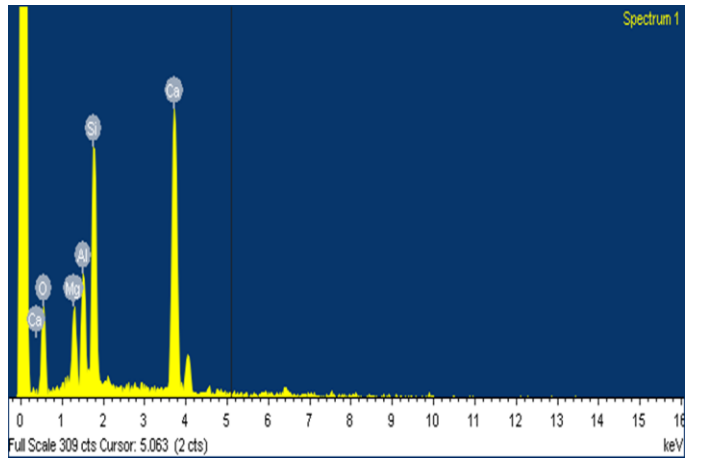
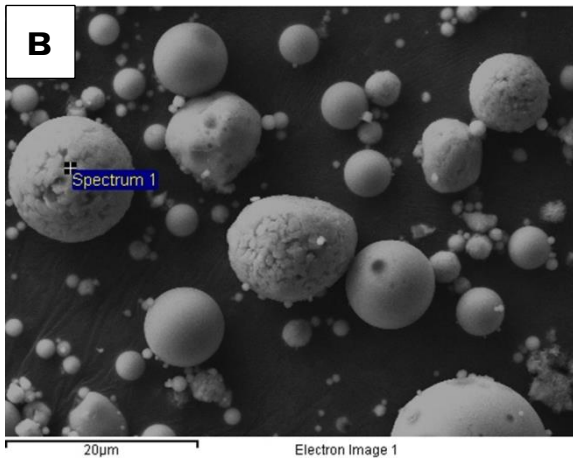
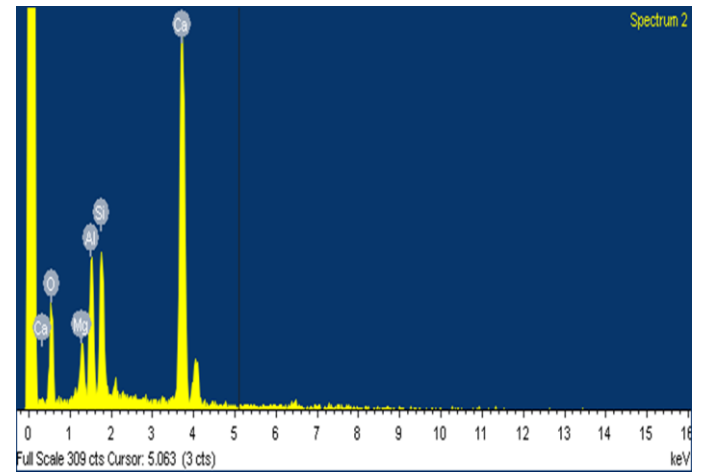
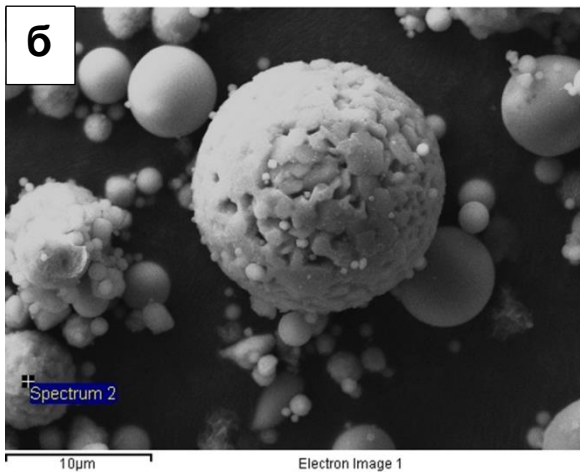
Үнсний гадаад ерөнхий хэлбэрийн хувьд Багануур болон Шивээ-овоогийн үнс төстэй байгааг 11-р зургаас харж болно.

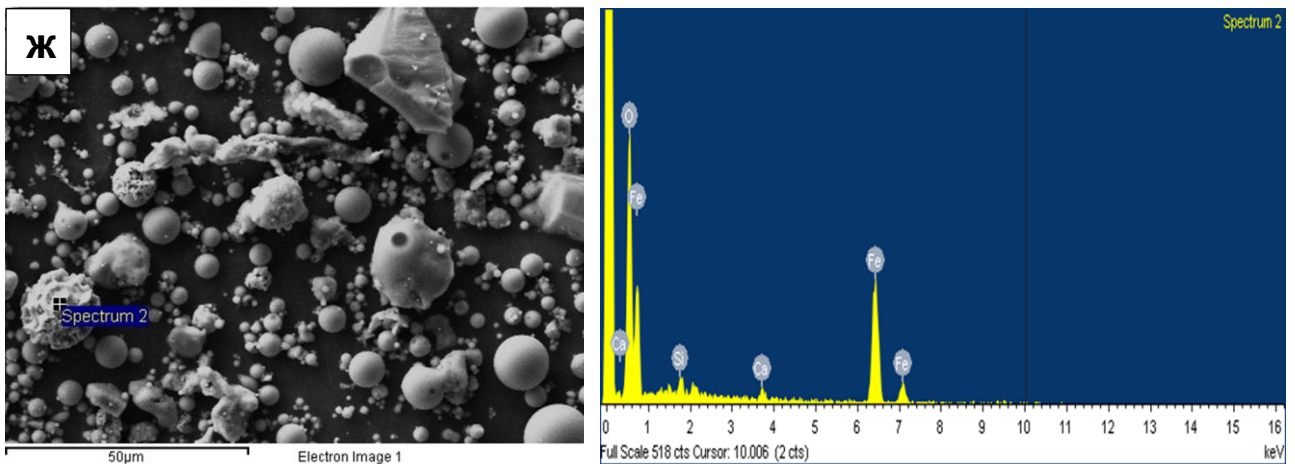
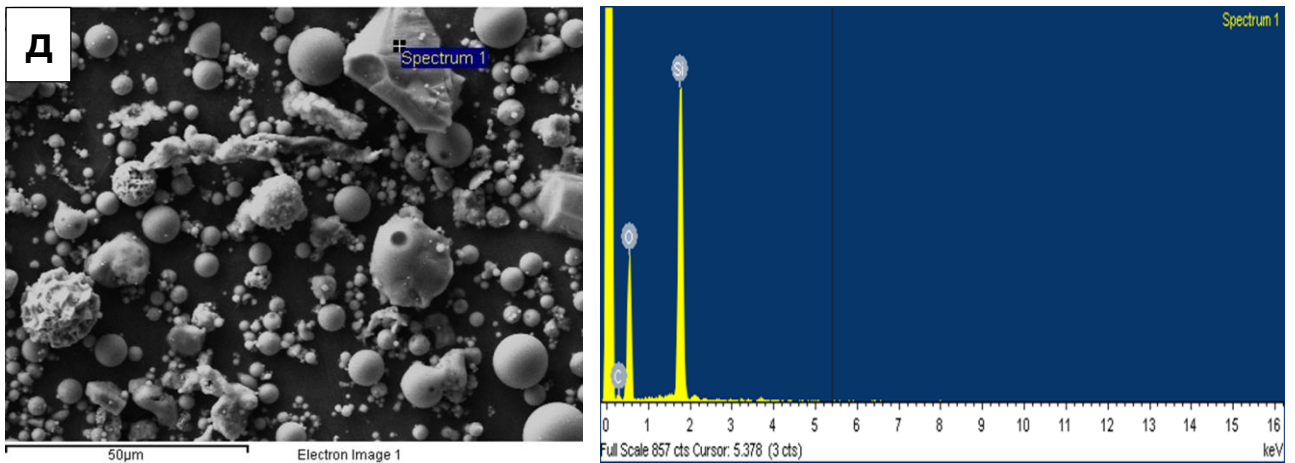


11-р зураг. Шивээ-овоогийн үнсний гадаад хэлбэр

Шивээ-овоогийн үнсний электрон микроскоп болон сарнилын спектрийг 12-р зурагт үзүүлэв.







12-р зураг. Шивээ-овоогийн үнсний электрон микроскоп, сарнилын спектр

Шивээ-овоогийн үнсний кальций нь мөн хөнгөн цагаан болон цахиуртай нэгдэл хэлбэрээр оршиж байгаа нь харагдаж байна. Шивээ-овоогийн үнсний кварц нь бөмбөлөг бус хэлбэртэй байгаа нь анхдагч нүүрсэнд том ширхэгтэй элс буюу кварц хэлбэртэйгээр оршиж байсныг илтгэж байна.

3.1.5 Үнсний цацраг идэвхийн судалгаа

Монгол улсад дулааны цахилгаан станцын үнсийг ашиглахад саад болж буй шалтгаанд олон жилийн өмнөөс уламжлал хэлбэрээр тогтож ирсэн хуучинсаг ойлголт

буюу үнсэнд агуулагдах цацрагийн хэмжээ орно. Монгол улсад хүчин төгөлдөр мөрдөгдөж байгаа MNS 5072:2001 стандартын дагуу барилга, замын материалд тавигдах цацрагийн үзүүлэлтийг 9-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

9-р хүснэгт. MNS 5072:2001 стандартын үзүүлэлт

№	Радийн эквивалент (Бк/кг)	Барилга, бүтээцийн төрөл
I.	<370	Барьж засварлаж байгаа орон сууц, нийгмийн зориулалттай барилга
II.	<740	Хүн оршин сууж байгаа газарт барьж засварлаж байгаа зам барилга, үйлдвэрийн зориулалттай барилга байгууламж
III.	<1500	Хүн оршин суудаггүй газарт барьж, засварлаж байгаа зам барилга, байгууламж
IV.	$1500 < A_{эфф} < 4000$	Барьж засварлаж байгаа зам барилга, байгууламж : Ийм тохиолдолд эрүүл ахуй болон цацрагийн хяналтын албаны зөвшөөрлөөр асуудлыг шийднэ.
V.	$A_{эфф} > 4000$	Ашиглахыг хориглоно.

Үнсийг дангаар нь барилгын бүтээцийн материал, эд анги болгон хэрэглэх боломжгүй бөгөөд хэрэглэсэн тохиолдолд цацрагийн идэвхижил нь 370 Бк/кг-аас бага байх ёстой юм. Туршилтанд хэрэглэсэн Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсний цацрагийн идэвхижлийг 10-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

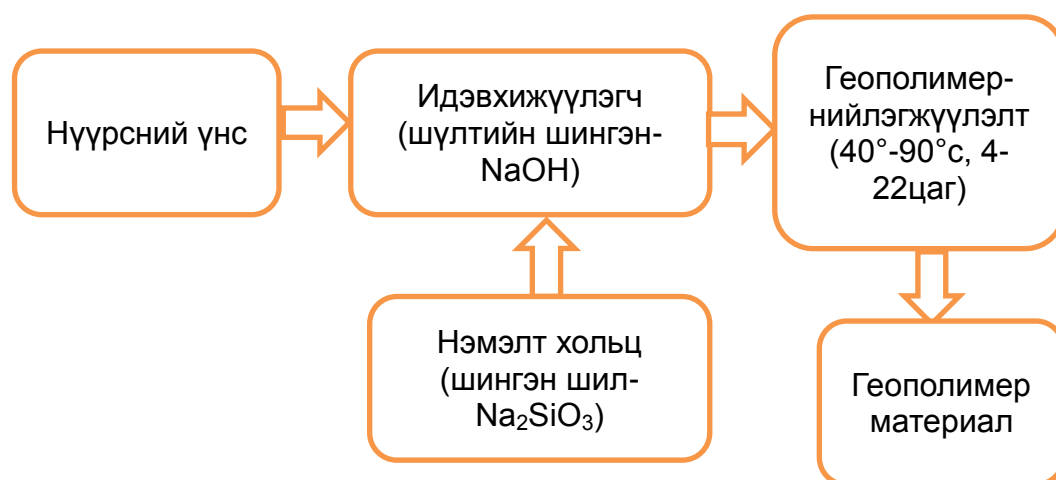
10-р хүснэгтв Туршилтанд хэрэглэсэн үнсний цацраг идэвхижил

№	Дээж	Изотопын идэвхитэй концентраци, (Бк/кг)			Радийн эквивалент (Бк/кг)
		A_{Ra-226}	A_{Th-232}	A_{K-40}	
1	Багануур	242.4	31.1	381.6	314.4
2	Шивээ овоо	262.8	48.7	215.6	342.7

Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсний аль алиныг нь дангаар нь барилгын материал болгон хэрэглэх боломжтой нь харагдаж байна. Гэхдээ үнс нь дангаараа барилгын материал биш юм. Үнс нь барилгын материал үйлдвэрлэх түүхий эд бөгөөд өөр төрлийн дүүргэгч болон идэвхитэй нэгдэлтэй хольж хэрэглэдэг учраас цацрагын идэвхижлийн хэмжээ нь эцсийн бүтээгдэхүүнд бууран барилга болон замын материал үйлдвэрлэхэд ямарч асуудал үүсгэхгүй нь тодорхой байна.

3.2. Геополимер материалын судалгаа

Геополимер материалын судалгаанд хэрэглэсэн технологийн схемийг 13-р зурагт үзүүлэв.



13-р зураг. Геополимер материалын нийлэгжүүлэлтэнд ашигласан технологийн схем

Уг технологийн схем ёсоор хувьсах өөрчлөлтийн параметрийг идэвхижүүлэгч шингэний найрлага, шүлтийн концентраци, нийлэгжүүлэлт явуулах температур, хугацаа зэрэг үзүүлэлтээр сонгон авч хамгийн тохиромжтой нийлэгжүүлэх нөхцлийг бат бөхийн үзүүлэлтээр сонгон авлаа. Туршилт явуулах үеийн зургийг доор үзүүлэв (14-р зураг).

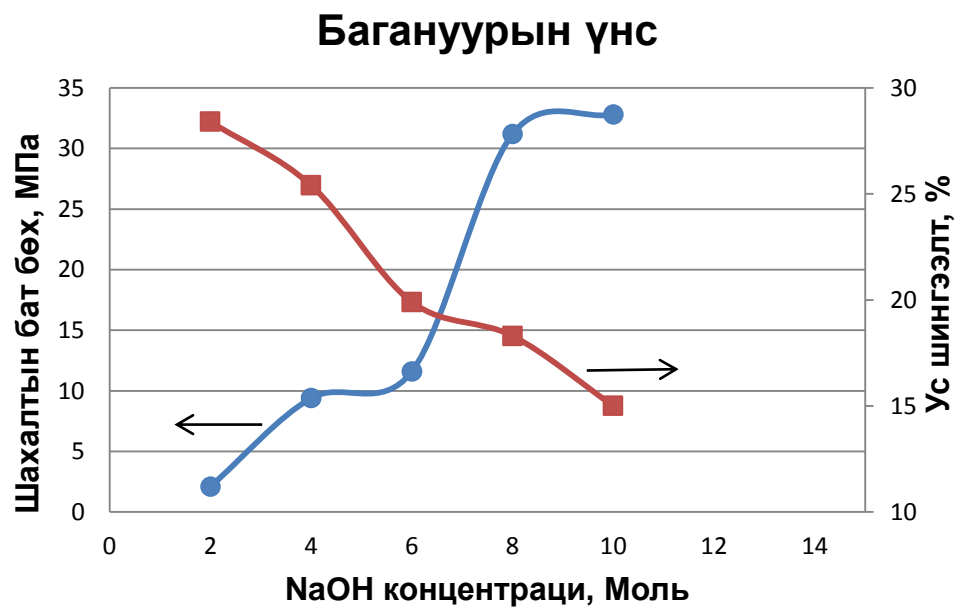


14-р зураг. Сорьц бэлтгэлт, бэхжүүлэлт

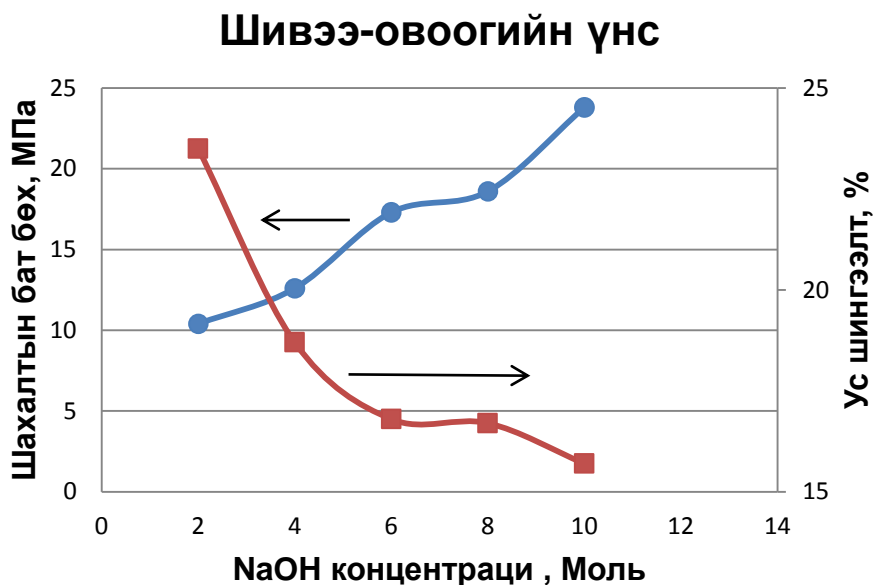
3.2.1 Геополимер материал гарган авахад шүлтийн концентрацийн үзүүлэх нөлөө

Доор үзүүлсэн -р зургуудад шүлтийн концентрацийн сорьцын 7 хоногийн дараахь бат бөхийн үзүүлэлтэнд үзүүлэх нөлөөг харуулав. Геополимер сорьцын бэхжүүлэх температурыг урьдчилсан байдлаар 70°C температурт 22 цаг гэж сонгон авсан.

Туршилтаар бэлтгэсэн сорьцын шахалтын бат бөх, ус шингээлтийг доорхи графикаар үзүүлэв.

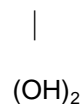
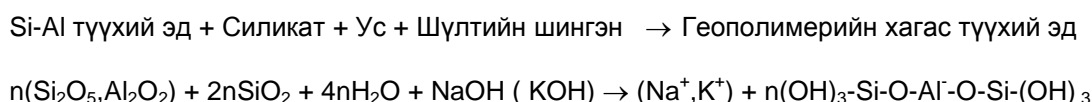


15-р зураг. Багануурын үнсээр хийсэн геополимерийн бат бөхийн үзүүлэлтэнд шүлтийн концентрацийн үзүүлэх нөлөө

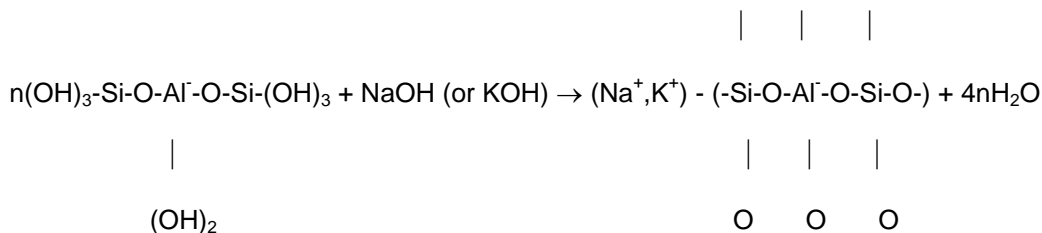


16-р зураг. Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геополимерийн бат бөхийн үзүүлэлтэнд шүлтийн концентрацийн үзүүлэх нөлөө

Дээрхи зургаас урьдчилсан нэг дүгнэлт хийж болохоор байна. Энэ нь шүлтийн концентраци ихсэхийн хэрээр бат бөхийн хэмжээ нэмэгдэх зүй тогтол юм. Геополимержих урвалыг ерөнхийд нь дараахь урвалын дагуу харуулж болдог:

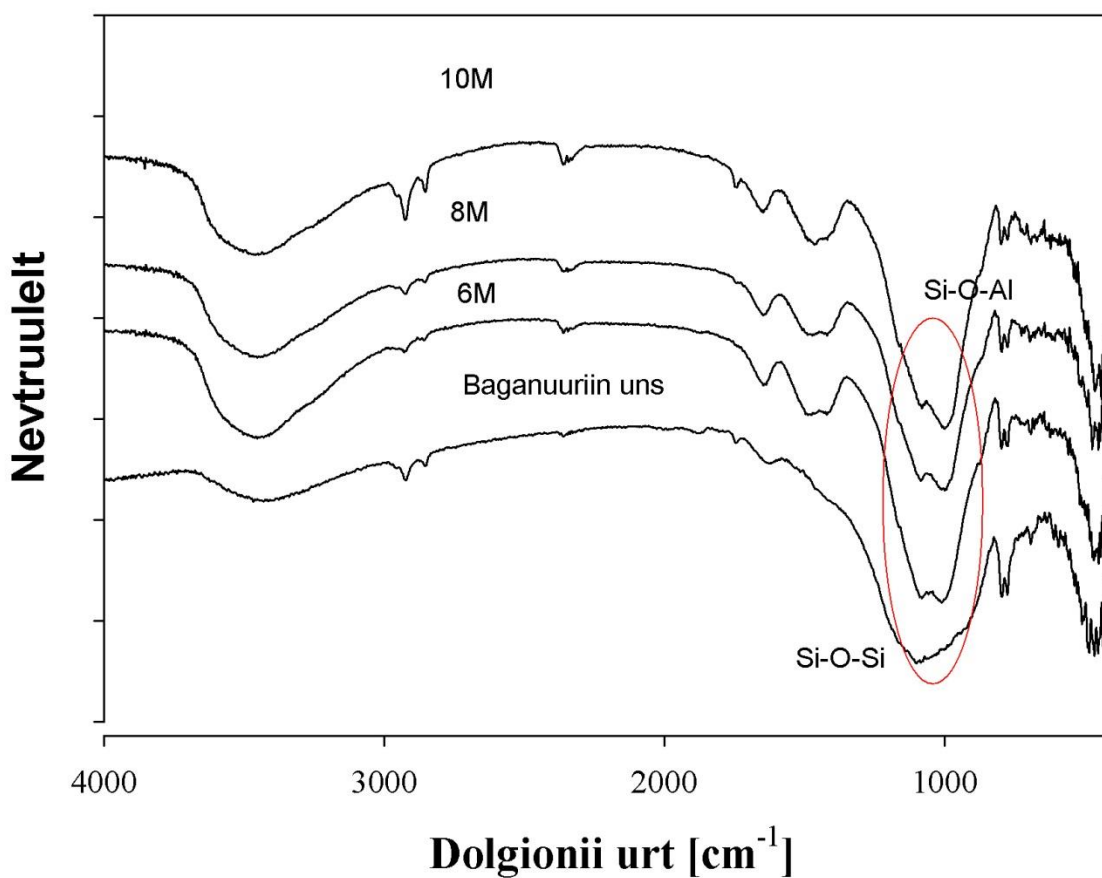


Геополимерийн хагас түүхий эд + Шүлтийн ион \rightarrow Геополимер бүтэц

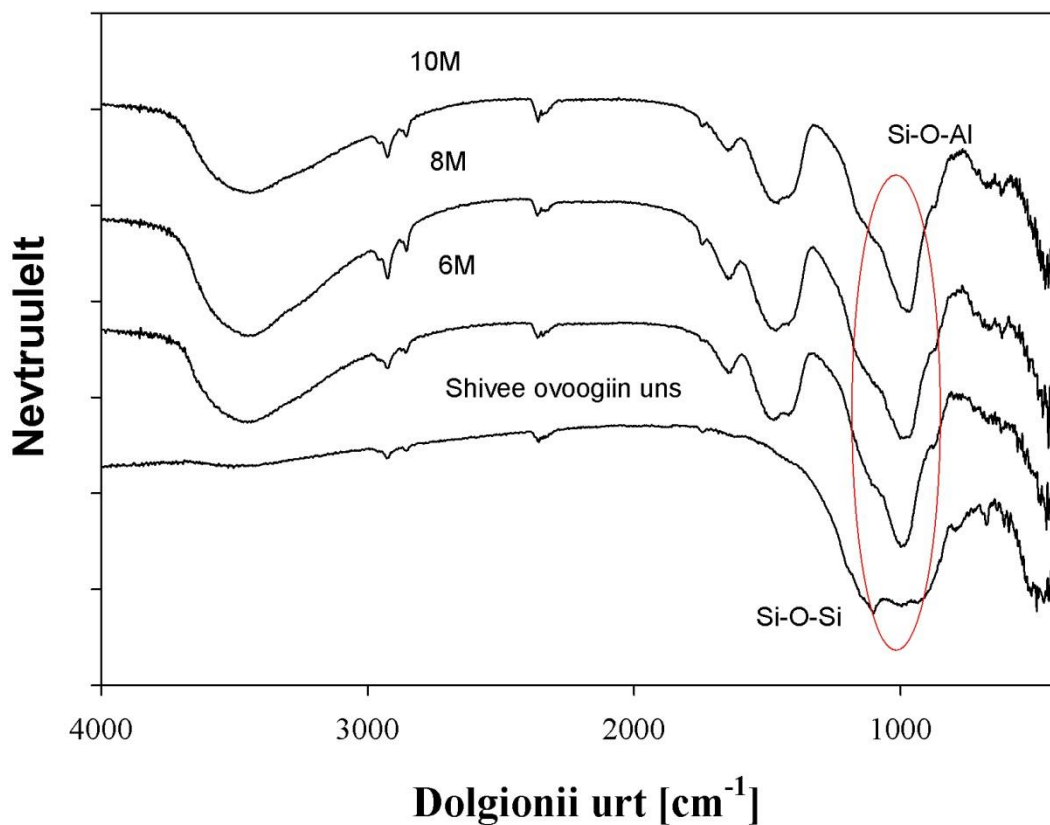


Бэлтгэсэн сорьцын шахалтын бат бөх сайжирсныг үнсний шүлтийн шингэнд уусах уусалт нэмэгдэн, геополимер бүтэц сайжирснаар тайлбарлаж болно. Геополимер бүтцийн үүсэлт сайжран, бат бөх нэмэгдэн, сорьцын нэг төрөлжилт илүү сайн явагдсанаас нүх сүвний хэмжээ бууран ус шингээлт сайжирсан гэж бас дүгнэж болно.

Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсийг шүлтээр идэвхижүүлэн геополимер нийлэгжүүлэхэд шүлтийн концентрациас шалтгаалан геополимержих процессын идэвхижил хэрхэн явагдаж байгааг нил улаан туяаны спектрийн аргаар судалсныг 17, 18 -р зургуудад үзүүлэв.



17-р зураг. Багануурын үнсийг 8-10М концентрацитай шүлтээр үйлчлүүлэн гаргасан сорьцын нил улаан туяаны спектр

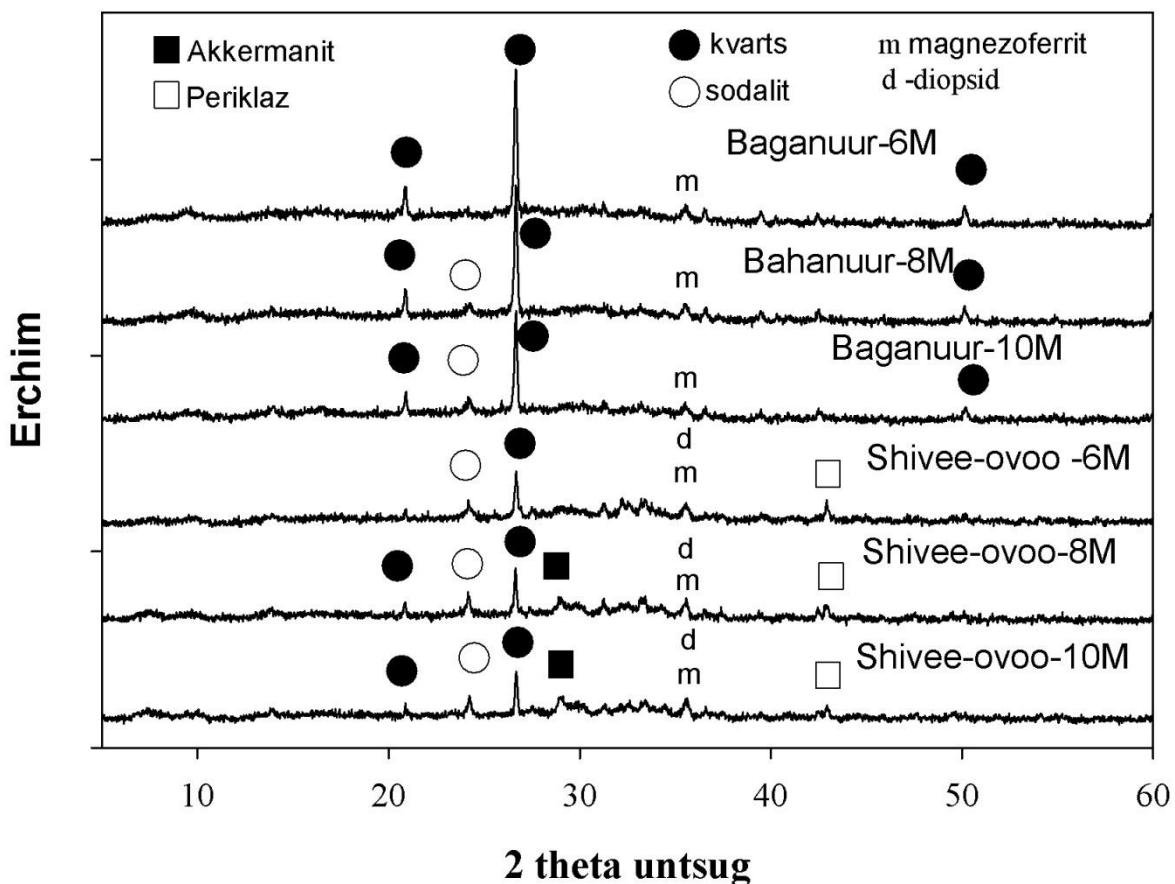


18-р зураг. Шивээ-овоогийн үнсийг 8-10M концентрацитай шүлтээр үйлчлүүлэн гаргасан сорцын нил улаан туяаны спектр

Нил улаан туяаны спектр нь геополимержих урвал буюу Si-O-Si холбоо нь поликонденсацийн дагуу Si-O-Al холбоо болон шилжих шилжилтийг маш сайн илэрхийлж өгдөг. Тухайлбал Si-O-Al холбоо бүхий цеолитын төрлийн нэгдэл үүсэж байгааг хамгийн сайн илрүүлдэг.

Цахиурын 3-н хязгаарт нэгдэл буюу Si-O-Si холбоо нь 1000-1200 cm^{-1} долгионы уртад шингээлт өгдөг бол цахиур хүчилтөрөгчийн тетраэдр бүтцэд хөнгөн цагааны атом орон Si-O-Al холбоо үүсэхэд анхны холбооны шингээлт долгионы тоо багасах муж руу шилждэг. Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геополимер материалын шүлтийн концентраци ихсэхэд бага долгионы тооны муж руу шилжих шилжилт илүү тод ажиглагдаж байгаа нь геополимержих процессийн эрчим шүлтийн концентраци нэмэгдэхэд илүү сайжирч байгаагийн баталгаа юм.

Шүлтээр идэвхижүүлсэн үнсний Рентген-дифрактограммыг 19-р зурагт үзүүлээ.

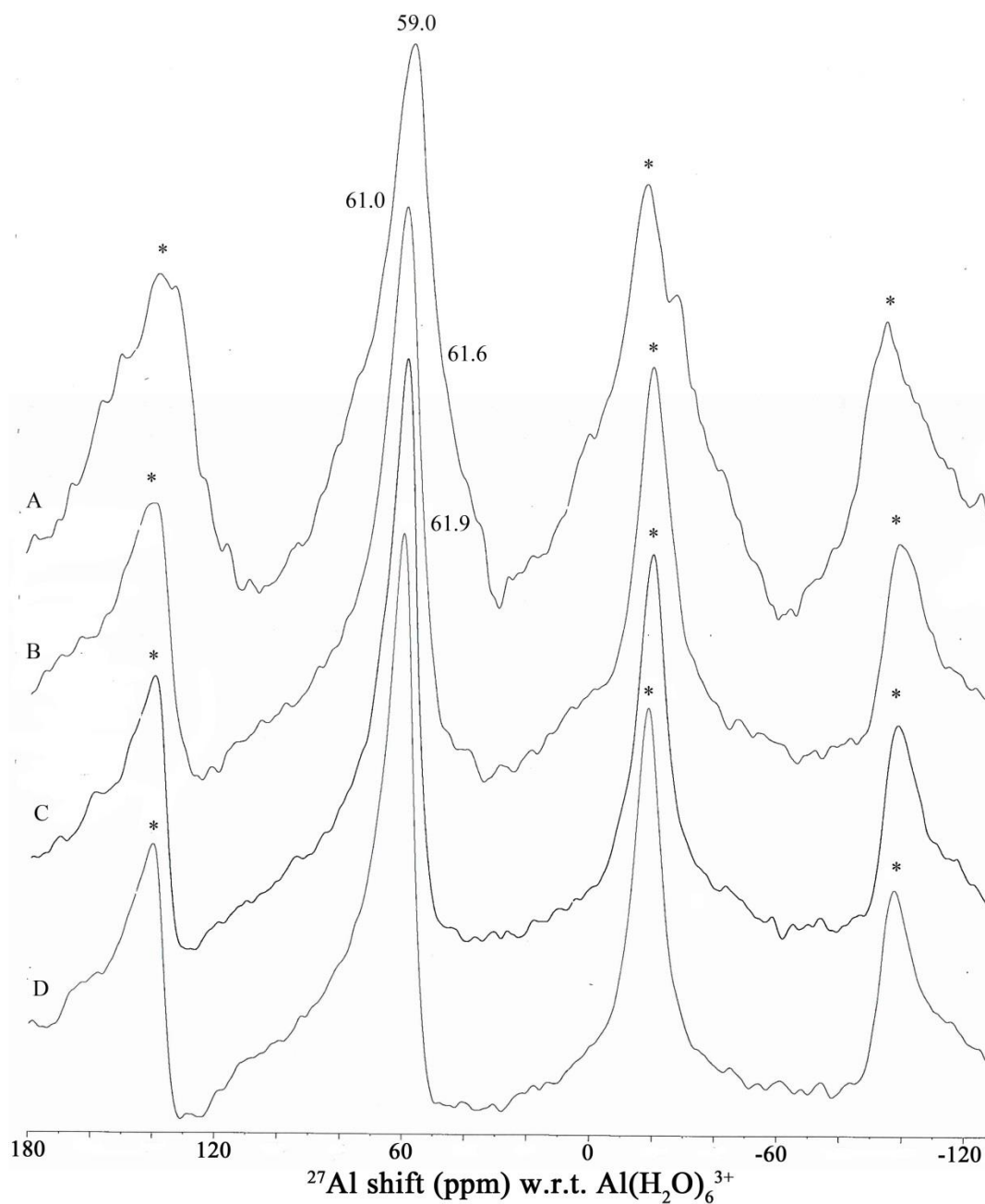


19-р зураг. 6-10М шүлтийн уусмалаар идэвхижүүлсэн Багануур, Шивээ-овоогийн үнсний Рентген-дифрактограмм

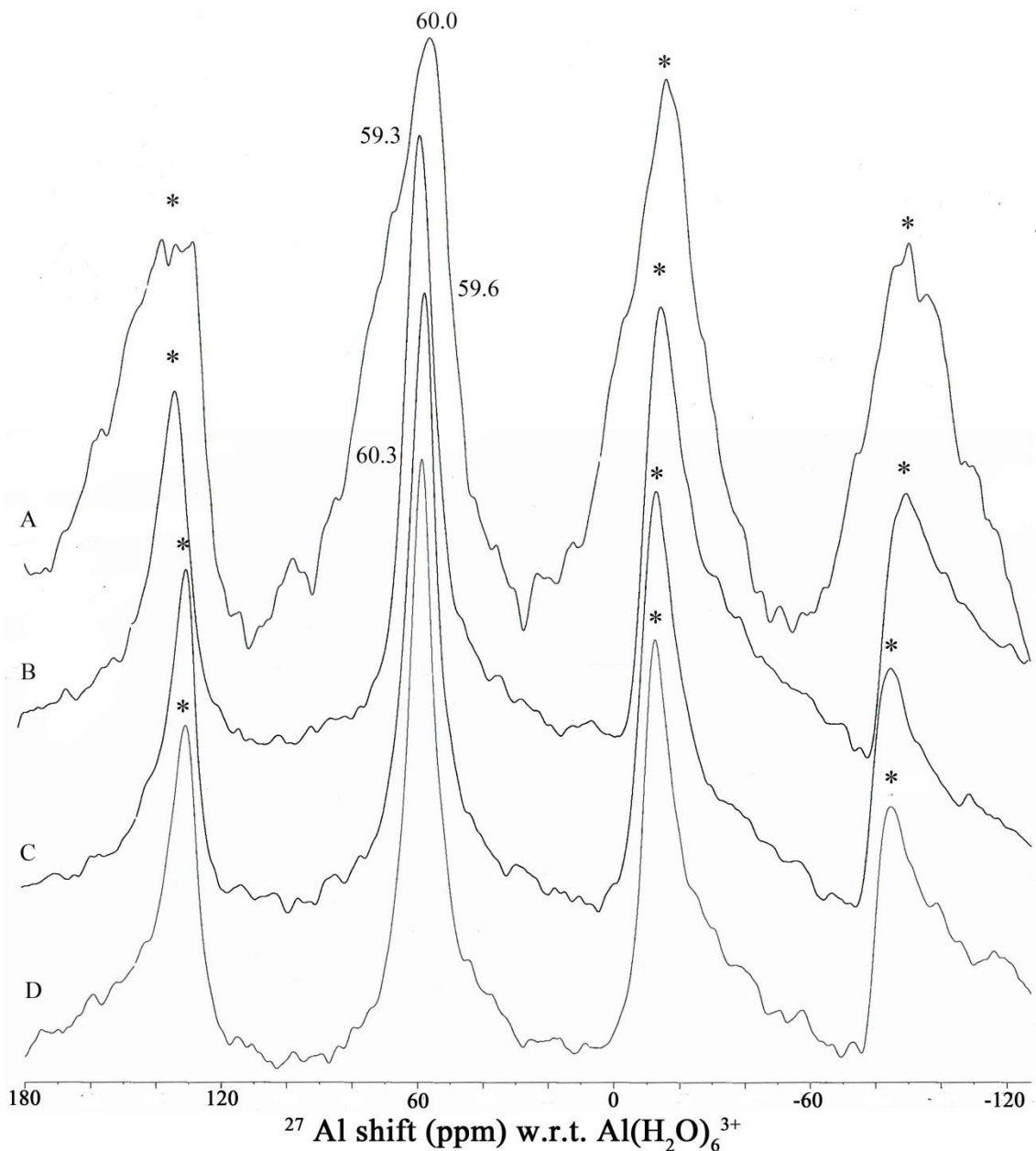
Геополимер бүтэц нь аморфоос хагас цеолитжисон хэлбэртэй байдаг гэж хэвлэлийн тоймд дурдагдсан байдаг [33]. Шүлтээр идэвхижүүлсэн дээжинд шинээр содалит буюу хөнгөн цагаант-цахиур-натрийн цеолит үүссэн нь нил улаан туяаны спектрийн дүнтэй мөн тохирч байна. Үнс нь шүлттэй урвалд орохдоо цеолитын төрлийн нэгдлээс гадна аморф хөнгөн цагаант цахиурын 3-н хэмжээст нэгдэл үүссэн нь тодорхой юм. Учир нь материалын бат бөх нэмэгдэх үндсэн шалтгаанд 3-н хэмжээст хөнгөн цагаант цахиурын нэгдлийн үүсэлт багтана гэж үздэг. Бидний туршилтанд хэрэглэсэн үнс нь их хэмжээний кальций агуулж байгаа учир цементийн бэхжилтийн

үндэс болдог C-S-H фаз буюу устай кальцийн силикат нэгдэл үүсэж болохыг үгүйсгэх аргагүй юм. Үнс нь өөртөө маш олон төрлийн эрдэс агуулсан нийлмэл систем учраас сул талсжисан кальцийн силикат гидратын эрчим Рентген-диффрактограммын зураг дээр гарч ирэхгүй байж болох талтай юм.

Шүлтийн концентраци ихсэхэд геополимержих урвал идэвхижин, урвалын бүтээгдэхүүний нэг болох цеолитын төрлийн нэгдлийн талсжилт үүсэж байгааг ^{27}Al хатуу биеийн цөмийн соронзон спектрийн аргаар баталлаа.



20-р зураг. Багануурын үнсийг (A), 6М (B), 8М (C), 10М (D) натрийн шүлтээр идэвхижүүлсэн дээжний ^{27}Al хатуу биеийн цөмийн соронзон спектр



21-р зураг. Шивээ-овоогийн үнсийг (A), 6М (B), 8М (C), 10М (D) натрийн шүлтээр идэвхижүүлсэн дээжний ^{27}Al хатуу биеийн цөмийн соронзон спектр

Туршилтанд хэрэглэсэн үнсэнд их хэмжээний төмрийн ион агуулагдаж байгаас ^{29}Si хатуу биеийн цөмийн соронзон спектрийг гаргах боломжгүй байв.

Хөнгөн цагааны спектрээс дараахь дүгнэлтүүдийг гаргаж болохоор байна. Төмрийн агуулга өндөртэй үнсний хөнгөн цагааны цөмийн спектр нь эргэлтээс үүссэн маш өндөр зурвас үүсгэнэ. Үнсэнд агуулагдах хөнгөн цагаан нь ихэнхидээ тетраэдр координаци буюу -60 ppm (саяны нэгд)-д эрчим өгнө. Харин шүлтийн концентраци нэмэгдэхийн хэрээр энэхүү эрчим илүү нарийсан хурц болж байгаа нь үүссэн нэгдлийн талсжилт сайжирч байгаагийн баталгаа юм. Өөрөөр хэлбэл шүлтийн концентраци ихсэхэд идэвхижүүлсэн үнсэнд агуулагдах цеолитын хэмжээ сайжирч байгаа бололтой.

Рентген-дифрактограмм, нил улаан туяаны спектр, ^{27}Al цөмийн соронзон спектрийн үр дүнгүүд идэвхижүүлсэн дээжинд аморф хөнгөн цагаант цахиураас гадна талсжисан цеолитын төрлийн (содалит) нэгдэл үүсэж байгааг баталж байна.

Багануурын үнсээр хийсэн геополимер материалын механик үзүүлэлт нь Шивээ-овоогийн үнсийг ашиглаж хийсэн материалаас илүү байгаа нь харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл Багануурын үнс нь геополимер материал үйлдвэрлэхэд илүү тохиромжтой байхаар байна. Харин шүлтийн концентрацийн хувьд 8 болон 10 Молийн шүлтийн уусмалаар зуурсан сорьцын механик үзүүлэлтийн ялгаа төдийлөн их биш байна. Натрийн шүлтийг БНХАУ-аас импортлон хэрэглэдэг учраас импортын бүтээгдэхүүний хэмжээг багасгах нь геополимерийн технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд чухал ач холбогдолтой юм. Иймд шүлтийн концентрацийн хамгийн зохимжтой хэмжээг 8М гэж сонгон авав. Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсийг 8М натрийн шүлтээр идэвхижүүлээд 22 цагийн турш 70°C температурт бэхжүүлэхэд бат бөхийн үзүүлэлтээрээ 250 кг/см^2 -аас багагүй геополимер зуурмаг гарган авах боломжтой.

3.2.2 Геополимер материал гарган авахад бэхжүүлэх температурын үзүүлэх нөлөө

Геополимер материалын бэхжүүлэлтийг ихэвчлэн тасалгааны бус харин бага зэрэг өндөр температурт явуулдаг. Учир нь геополимержих урвалын үндэс болсон хөнгөн цагаант цахиурын шүлтэнд уусах урвал бага зэрэг өндөр температурт илүү эрчимтэй явагддаг.

Багануур болон Шивээ-овоогийн үнсийг 8М NaOH-ийн уусмалаар идэвхижүүлэн 22 цаг бэхжүүлсэн сорьцын механик үзүүлэлтийг 1 болон 7 хоногийн дараа тодорхойлсныг 10, 11-р хүснэгтүүдэд үзүүлэв. Ерөнхийдөө геополимер төрлийн шүлтээр идэвхижүүлсэн материалыг 1 хоногийн дараа бат бөхийн үзүүлэлтийнхээ 60%-иас багагүйг авдаг гэж үздэг бөгөөд үүнийг батлахын тулд 1 өдрийн дараахь механик үзүүлэлтийг хэмжсэн болно.

10-р хүснэгт. Багануурын үнсийг төрөл бүрийн температурт бэхжүүлсний дараахь механик үзүүлэлт

NaOH концентраци	Температур, °C	Багануур					
		1 хоног			7 хоног		
		Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)	Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)
8М	40	2.48	1.78	6.75(1.26)	12.08(1.45)	1.74	11.5(2.08)
	50	1.15(0.28)	1.89	17(4.24)	8.12(0.58)	1.76	29(1.73)
	60	1.15(0.1)	1.78	16.25(4.27)	11.29(0.58)	1.65	13.75(4.03)
	70	1.8	1.76	31.25(5.44)	10.1(0.57)	1.85	32.5(7.33)
	80	16.04(4.2)	1.62	10(1.41)	15.2(0.3)	1.6	8(3.74)
	90	13.71(3.4)	1.56	28.3(4)	14.3(0.25)	1.56	28.75(8.7)

11-р хүснэгт. Шивээ-овоогийн үнсийг төрөл бүрийн температурт бэхжүүлсний дараахь механик үзүүлэлт

NaO	Темп	Шивээ-овоо	
		1 хоног	7 хоног

		Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)	Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)
8M	40	1.75(0.14)	1.64	6(0.81)	5.65(1.71)	1.79	6.75(0.5)
	50	1.66(1.13)	1.99	12.5(1.29)	10.97(1.33)	1.81	14(1.4)
	60	1.68(0.91)	1.82	11(2.30)	11.18(0.24)	1.68	8.25(2.87)
	70	10.5(1.62)	1.73	25.75(2.87)	15.23(0.04)	1.83	22.75(2.98)
	80	9.47(0.9)	1.74	11.5(1.73)	10.3(3.1)	1.69	12.75(5.5)
	90	13.35(2.52)	1.66	17.75(5.06)	14.5(0.26)	1.69	26.25(5)

Дээрхи хүснэгтээс харахад бэхжүүлэх температур өндөр байх тусам бат бөхийн үзүүлэлт сайжирч байна. Мөн бат бөх нь өндөр байх тусам нягт нь мөн өсөж байна. Бэхжүүлсний дараа шууд хэмжсэн дээжний ус шингээлт бага нягт өндөр байгаа нь сорьцын нүх сүвэнд байгаа шүлтлэг шингэн ууршиж амжаагүйгээс болжээ. Харин 7 хоногийн дараа нягт нь буурсан нь сорьцын жин хөнгөрснөөс болсон гэж үзэж болно. Багануурын үнсээр хийсэн сорьцын механик бат бөхийн үзүүлэлт нь Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн сорьцоос бараг бүх температурын хязгаарт илүү байна. Туршилтанд хэрэглэсэн 2 төрлийн үнсээр хийсэн геополимер материалын бат бөхийн үзүүлэлт Багануурын үнсээр хийсэнд илүү сайн байна.

Туршилтын үр дүнд үндэслэн бэхжүүлэлт явуулах хамгийн тохиромжтой температурыг 70°C гэж үзлээ.

3.2.3 Геополимер материалын бат бөхөд шүлтийн шингэний найрлагын үзүүлэх нөлөө

Геополимер материалыг нийлэгжүүлэхэд калийн болон натрийн шүлтийг голчлон ашигладаг байна. Калийн шүлтийг ашигласан тохиолдолд геополимер хольцын урсамтгай чанар нь натрийн шүлтээс илүү сайн байдаг нь цутгах ажиллагаанд сайнаар нөлөөлдөг гэж үзсэн байдаг. Гэсэн хэдий ч калийн шүлт нь өртгийн хувьд

натрийн шүлтээс үнэтэй учир үйлдвэрлэл практикт төдийлөн ашиглагдахгүй байна. Австралийн Куртины их сургуулийн судлаачид [37], геополимер бетон бэлтгэхдээ шингэн шилийг натрийн шүлт дээр нэмэлт болгон хэрэглэсэн тохиолдолд механик бат бөхийн үзүүлэлт сайжирдгийг туршилтын журмаар анх удаа тогтоосон байна. Тухайн судлаачид шингэн шил:натрийн шүлт жингийн харьцааг 2.5:1 гэж аваад туршилт эхлэхээс 1 хоногийн өмнө хольж бэлтгэсэн шүлтлэг шингэн нь геополимер бетоны бат бөхийг хамгийн өндөр түвшинд хүргэж байгааг дуджээ. Энэ ажил хэвлэгдсэний дараа ихэнхи судлаачид шингэн шилийг натрийн шүлттэй холин шүлтлэг шингэн бэлтгэдэг болсон.

Бид судалгаандаа шингэн шил болон 6, 8, 10М-ийн натрийн шүлтийг 3 өөр төрлийн харьцаагаар авч холин бат бөхийн үзүүлэлтийг харьцуулан судаллаа. Хэдийгээр бид өмнөх туршилтаар 8М-ийн шүлтийн уусмалыг хамгийн тохиромжтой гэж сонгосон боловч шингэн шил нэмэх нь бат бөхийн үзүүлэлтийг эрс сайжруулж болох юм гэж үзсэнээс 6 болон 10М-ийн шүлтийг мөн адил ашиглалаа. Доорхи 12, 13-р хүснэгтэнд шингэн шил нэмсэн болон нэмээгүй шүлийн уусмал геополимерийн бат бөхөд хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулав.

12-р хүснэгт. Идэвхижүүлэгч шингэний харьцаа Багануурын үнсээр хийсэн геополимерийн механик бат бөхөд үзүүлэх нөлөө. Үнсний эзэлхүүний нягт 1.08 г/см^3 .

NaOH	NaOH:Na ₂ SiO ₃	Ус/геополимер хатуу биет, жингээр	Si/Al	Al/Na	Na/Al	1 өдөр			7 өдөр		
						Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)	Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)
6M	-	0.32	3.34	1.2	0.83	3.98	1.75(0.08)	18.25(2.63)	27.9(0.14)	1.69(0.03)	25.75(6.24)
	50:50	0.24	3.77	1.57	0.64	6.33	1.74(0.03)	19.25(7.63)	17.7(0.47)	1.58(0.009)	22(6.1)
	75:25	0.22	4.06	1.32	0.76	16.1	1.56(0.02)	5.25(0.5)	22.3(0.85)	1.43(0.03)	4.6(1.98)
	25:75	0.22	4.83	1.65	0.61	18(5.24)	1.53(0.03)	14.25(4.03)	19.4(1.3)	1.5(0.03)	17(6.27)
8M	-	0.27	3.34	1	1	1.8	1.76(0.05)	31.25(5.44)	10.1(0.57)	1.85(0.02)	32.5(7.33)
	50:50	0.23	3.34	1.32	0.76	9.5	1.69(0.03)	24.5(5.74)	14.51(0.58)	1.62(0.02)	22(7.75)
	75:25	0.26	3.6	1.05	0.95	9.2	1.61(0.03)	21.75(1.7)	11(0.47)	1.6(0.02)	16.25(2.22)
	25:75	0.21	4.83	1.5	0.67	16.5(1.4)	1.55(0.03)	15.75(2.87)	17.75(0.35)	1.67(0.01)	21(6.98)
10M	-	0.24	3.34	0.9	1.1	1.6	1.73(0.01)	22(3)	5(0)	1.76(0.03)	19.5(2.89)
	50:50	0.22	3.77	2.26	0.44	4.35	1.75(0.02)	42.5(2.52)	9.05(1.63)	1.68(0.008)	42(5.94)
	75:25	0.26	3.6	0.87	1.15	7.25	1.7(0.04)	45.75(6.4)	13.28(0.18)	1.64(0.05)	29(5.6)
	25:75	0.2	4.75	1.43	0.7	13.65(0.3)	1.62(0.01)	14.3(7.8)	17.4(0.14)	1.55(0.02)	24.75(12)

13-р хүснэгт. Идэвхижүүлэгч шингэний харьцаа Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геополимерийн механик бат бөхөд үзүүлэх нөлөө. Үнсний эзэлхүүний нягт 1.31 г/см^3 .

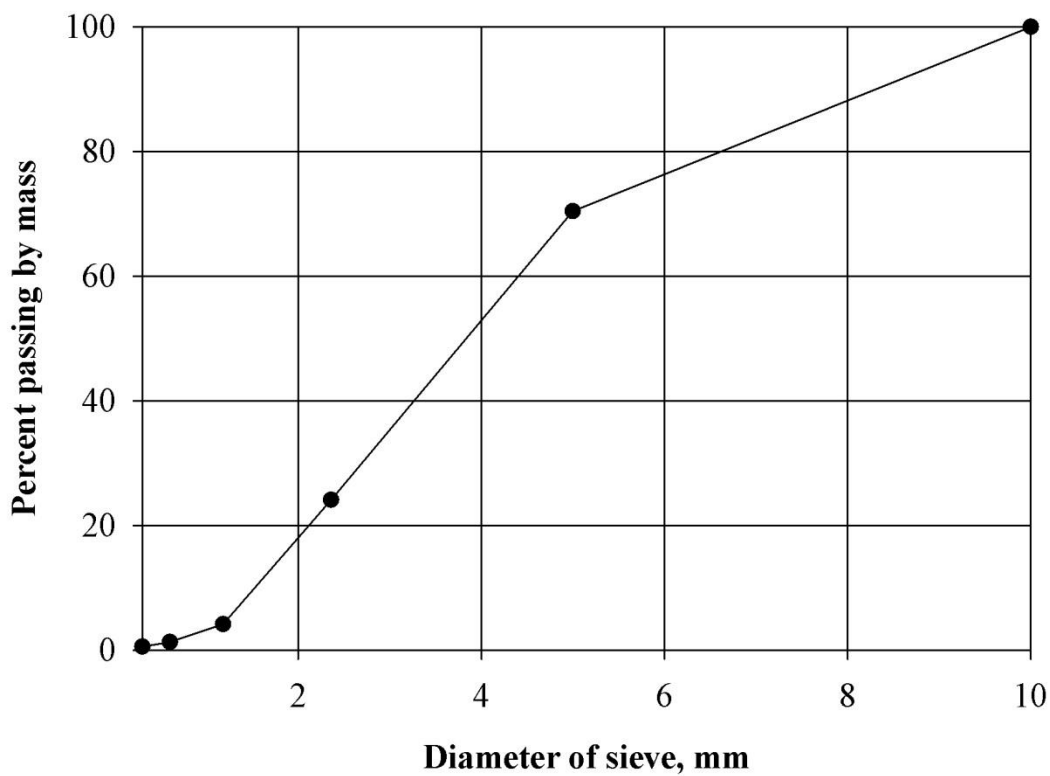
NaOH	NaOH: Na ₂ SiO ₃	Ус/геополимер хатуу биет, жингээр	Si/Al	Al/Na	Na/Al	1 өдөр			7 өдөр		
						Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)	Ус шингээлт, %	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (МПа)
6M	-	0.30	2.72	1.12	0.89	1.77(0.15)	1.794(0.02)	14.25(2.21)	12.04(0.86)	1.87(0.02)	27.25(4.35)
	50:50	0.32	3.22	1.36	0.73	2.5(0.21)	1.680(0.02)	21(4.08)	10.38(1.82)	1.70(0.003)	21(6.24)
	75:25	0.43	2.86	1.28	0.78	8.1(0.25)	1.709(0.01)	7.25 (3.95)	13.25(0.67)	1.69(0.04)	11.25(2.87)
	25:75	0.21	3.47	1.52	0.65	11.3(5.54)	1.83(0.06)	50.43(21.65)	8.3(5.7)	1.82(0.01)	45.75(4.5)
8M	-	0.28	2.72	0.89	1.12	10.5(1.62)	1.728(0.06)	25.75(2.87)	15.23(0.04)	1.83(0.03)	22.75(2.98)
	50:50	0.31	3.2	1.19	0.84	3.94(1.65)	1.777(0.02)	25.33(8.96)	13.8(0.325)	1.71(0.01)	22.5(3.78)
	75:25	0.41	2.72	0.62	1.60	7.63(0.33)	1.726(0.01)	16.5(3.87)	14.85(1.06)	1.64(0.02)	14(2.70)
	25:75	0.20	3.49	1.36	0.73	7.82(0.17)	2.05(0.05)	30.5(4.65)	9.83(0.66)	1.97(0.03)	49(13.93)
10M	-	0.31	2.72	0.62	1.61	2.4(0.53)	1.798(0.02)	9.5(1)	10.66(0.94)	1.77(0.01)	17.75(0.95)
	50:50	0.31	3.23	0.97	1.01	3.98(0.65)	1.86(0.01)	46.75(8.77)	10.14(2.91)	1.79(0.069)	43.5(11.09)
	75:25	0.41	2.86	0.55	1.84	9.07(0.5)	1.742(0.02)	27(3.16)	15.79(1.18)	1.70(0.024)	26.25(8.18)
	25:75	0.2	3.47	1.24	0.81	10.3(0.02)	1.6(0.03)	30.5(10.75)	8.84(2.07)	1.8(0.06)	31(7.12)

Хүснэгтээс харахад Багануурын үнсний хувьд шүлтийн найрлаганд шингэн шил нэмэх нь ямар нэгэн давуу тал авчрахгүй байгаагийн дээр шингэн шил:шүлтийн жингийн хэмжээ 1:3 байх тохиолдолд бат бөхийн хэмжээ эрс буурч байна. Бат бөхийн хэмжээ буурах хандлага нь шүлтийн бага концентрацийн хувьд ажиглагдаж байна. Харин шүлтийн концентраци нэмэгдэхэд шингэн шилийг нэмэх нь бат бөхөд эерэг нөлөөлөл авчирч байна. Энэхүү хандлага мөн Шивээ-овоогийн үнсэнд адилхан ажиглагдаж байна. Харин Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геополимерийн бат бөх нь 10М натрийн шүлтийг шингэн шилтэй хольсон тохиолдолд маш ихээр дээшилсэн нь ажиглагдсан боловч зуурмагийн барьцалдалт асар хурдтай явагдаж байсан нь уг хольцын найрлагыг практикын хувьд авч хэрэгжүүлэхэд хүндрэлтэй, бүүр болмжгүй нөхцлийг бий болгож байна. Ерөнхий практик хэрэглээнд тохиромжтой утгаар авч үзвэл шингэн шилийг натрийн шүлт дээр нэмэх нь зуурмагийн барьцалдах хугацааг түргэсгэн маш богино хугацаа буюу 1-3 минутын дотор хатууралт өгөн цааш хутгах боломжгүй болгож байв. Хурдан хатуурах энэхүү үзэгдэл нь Шивээ-овоогийн үнсийг ашигласан тохиолдолд илүү тод ажиглагдаж байв. Өөрөөр хэлбэл, кальцийн агуулга өндөртэй үнсийг шингэн шилний хольцтой натрийн шүлтээр идэвхижүүлэх нь барьцалдах хугацааг хэт түргэсгэх муу талтай байна. Шүлтлэг уусмал дахь шингэн шилний жингийн хэмжээ нь шүлтийн жингээс 3 дахин их байх тохиолдолд бат бөхийн үзүүлэлт бага зэрэг дээшилж байгаа нь ажиглагдаж буй боловч энэ нь практик хэрэглээнд, тухайлбал, геополимер төрлийн бетон гаргахад хэрхэн нөлөөлөхийг шалгах шаардлагатай юм.

Ерөнхий утгаар авч үзвэл бетон гэдэг нь цемент, дүүргэгч, ус гэсэн холимогыг тодорхой нөхцөлд бэхжүүлж гаргасан биет юм. Дүүргэгч болгон 0-5, 5-10, 15-20 мм-ийн хайрга болон дайрга (буталсан чулуу), элс зэргийг ашигладаг бөгөөд дүүргэгчид нь хуурай жингийн 20-30%-ийг эзэлдэг. Геополимер төрлийн биетийг мөн бетон эдлэл болгон ашиглах учраас хэрэглээний зарим шинж чанарыг геополимер төрлийн бетон дээр туршив.

3.2.4 Геополимер материалын хүйтэн тэсвэрлэлтийн судалгаа

F ангиллын нарийн ширхэглэлтэй шүүлтүүрийн үнсээр хийсэн геопалимер зуурмаг нь хүйтэн тэсвэрлэлтийн туршилтын 150 циклийн дараа ч ямар нэг гадаад өөрчлөлтгүй байдаг боловч бат бөх нь анхны үзүүлэлтийн 70% хүртэл буурдаг нь тэмдэглэгджээ [42]. Кальцийн агуулга өндөртэй, металлургын үйлдвэрийн шааргыг шүлтээр боловсруулж гаргасан бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийг даах чадвар нь хамгийн багаар бодоход 300 цикл байдаг байна [43]. Brooks болон бусад зоиогчид [44] F ангиллын үнсээр хийсэн материал хөлдөлтийн 40 циклийн дараа ч маш бага хэмжээний эмтрэл өгдөг гэж дурдсан байна. Буцламтгай давхаргын шатаалтаас үүссэн нарийн ширхэгтэй үнсийг геопалимер хийхэд ашиглахад хөлдөлт-гэсгээлтийн цикл нь багаар бодоход 50 цикл байдгаас гадна үнсний кальцийн агуулга нь 17.9% байсан нь бидний туршилтад хэрэглэж буй Багануурын үнстэй ойролцоо юм. Уг материалын бат бөх нь 50 циклийн дараа анхны үзүүлэлтийнхээ 82%-тай тэнцүү байжээ [45]. Геопалимер материалын хүйтэн тэсвэрлэлтийг судлахын тулд 0-5 мм-ийн хайргагчийг дүүргэгч болгон ашиглав. Ашигласан хайрганы ширхэглэлийг шигшүүрийн тусламжтайгаар тодорхойлсныг 22 - зурагт үзүүлэв.



22-р зураг. Геопалимер бетон хийхэд ашигласан хайрганы ширхэглэлийн тархалт

Дээрхи зургаас харахад дүүргэгч болгон хэрэглэсэн хайрганы 75-аас их хувь нь 2.36-5 мм хэмжээтэй байна.

Хүйтэн тэсвэрлэлтийг нэг талын урт нь 7 см-ийн хэмжээтэй 70°C температурт 22 цагийн турш бэхжүүлсний дараа 28 хоног тасалгааны температурт хадгалсан бетон шоог ашиглан явууллаа. Туршилтанд маш хурдтайгаар хатуурч байсан Шивээ-овоогийн үнсийг шингэн шилний хольцтой шүлтийн шингэнээр зуурсан найрлагыг ашиглаагүй. Учир нь энэхүү найрлага нь үйлдвэрлэл практикт хэрэглэгдэх боломж өгөхөөргүйгээр хурдан хатуурч байв. Хүйтэн тэсвэрлэлтэнд ашигласан шооны түүхий эдийн найрлага, нягт болон шахалтын бат бэхийг 12 -р хүснэгтэнд үзүүлэв.

12-р хүснэгт. Геополимер бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийн үр дүн

№	Сорьц	Нягт (г/см ³)	Шахалтын бат бөх (кг/см ²)
1	Багануур 8М-NaOH+ (80%хайрга:20%үнс) 260мл NaOH +(2160г хайрга:540г үнс)	2.16	205.88
2	Шивээ-овоо, 8М-NaOH+(80%хайрга:20%үнс) 350ml NaOH+ (2160г хайрга:540г үнс)	2.15	106.7
3	Багануур 8М(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+(75% хайрга:25%үнс) 292мл(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH) + (2025г хайрга:675г үнс)	2.13	305.04
5	Багануур 8М-NaOH+(75%хайрга:25% үнс) 323мл NaOH +(2025г хайрга:675г үнс)	2.41	242.74
6	Багануур 8М(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+ (80% хайрга: 20%үнс) 256мл (75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH) + (2160г хайрга:540г үнс)	2.17	300.7
7	Шивээ-овоо 8М-NaOH+ (75%хайрга:25%үнс) 300мл NaOH + (2025г хайрга:675г үнс)	2.11	141.63

Туршилтанд хэрэглэсэн геополимер төрлийн бетоноос хамгийн өндөр бат бөхийг шүлтийн шингэн нь (75% шингэн шил + 25% NaOH) найрлага бүхий Багануурын

үнсээр хийсэн бетон үзүүлж байна. Хэдийгээр геопалимер төрлийн бетоны хөлдөлт-гэсгээлтийг даах чадвар маш сайн гэж хэвлэлийн тоймд дурдагдсан боловч бидний туршилтын үр дүнгээр энэ үзүүлэлт хэвлэлийн тоймд заасан үр дүнд хүрэхгүй байна. Тухайлбал хуурай үедээ бат бөхийн өндөр үзүүлэлттэй байсан шингэн шил бүхий шүлтлэг шингэнийг агуулсан бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт хамгийн сул байв. Тухайлбал шингэн шил агуулсан Багануурын үнсээр хийсэн 3 болон 6-р сорьцууд дөнгөж 5 циклийн дараа л хагарч эхэлсэн.



23-р зураг. Шингэн шил агуулсан шүлттэй уусмалаар идэвхижүүлсэн Багануурын үнсээр хийсэн геопалимер (3, 6-р сорьц), хүйтэн тэсвэрлэлтийн 5 циклийн дараа

Шингэн шил агуулсан геопалимер бетон нь хүйтэн тэсвэрлэлтийн хамгийн муу үзүүлэлтийг өгч байсан бол шингэн шилгүй сорьцоос Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн үнсний агуулга нь 25% бүхий бетон эвдэрч эхэлсэн.

Тухайлбал 30 циклийн дараа 7-р сорьцын бүрэн эвдрэл явагдсан. Туршилтанд хэрэглэсэн геопалимер бетон сорьцын зургийг 30 циклийн дараа үзүүлэв. Хэдийгээр Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геопалимер бетон хийхэд шингэн шил ашиглаагүй боловч хүйтэн тэсвэрлэх чадвар муутай байгаа нь харагдаж байна. Үүний шалтгааныг Шивээ-овоогийн үнсэнд агуулагдах чөлөөт кальцийн оксидтой CaO холбон тайлбарлаж болно. Чөлөөт кальцийн оксидын шүлттэй урвалд орон кальцийн

гидроксид үүсгэх урвал нь дулаан ялгарч явагддаг экзотермийн урвал бөгөөд тэлэлт өгдөг. Энэхүү тэлэлт нь бетонд хагарал өгөн бетон дотор ус орж хөлдөх процессыг түргэсгэн хүйтэн тэсвэрлэлтийг бууруулж байна.



24-р зураг. Хүйтэн тэсвэрлэлтийн 30 циклийн дараахь зураг.

13-р хүснэгт. Сорьцын хүйтэн тэсвэрлэлтийн ерөнхий үзүүлэлтүүд

№	Сорьц	Хөлдөөлт-гэсгээлтийн цикл
1	Багануур 8M-NaOH+ (80%хайрга:20%үнс) 260мл NaOH +(2160г хайрга:540г үнс)	>40
2	Шивээ-овоо, 8M-NaOH+(80%хайрга:20%үнс) 350ml NaOH+ (2160г хайрга:540г үнс)	≥40
3	Багануур 8M(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+(75% хайрга:25%үнс) 292мл(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH) + (2025г хайрга:675г үнс)	5

5	Багануур 8M-NaOH+(75%хайрга:25% үнс) 323мл NaOH +(2025г хайрга:675г үнс)	>40
6	Багануур 8M(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+ (80% хайрга: 20%үнс) 256мл (75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH) + (2160г хайрга:540г үнс)	5
7	Шивээ-овоо 8M-NaOH+ (75%хайрга:25%үнс) 300мл NaOH + (2025г хайрга:675г үнс)	30

Дээрхи хүснэгтээс ижил хэмжээтэй (25%) Шивээ-овоогийн үнсээр хийсэн геопалимер бетоны хэрэглээний шинж чанар Багануурын үнсээр хийсэн (25%) бетонд хүрэхгүй гэдэг нь тодорхой байна. Дээр дурдсанчлан Шивээ-овоогийн үнсний эрдэс зүйн найрлага нь хүйтэн тэсвэрлэлт муутай байгаагийн гол шалтгаан болсон байна.

Бетон дахь Шивээ-овоогийн үнсний агуулга нь бага байх нь хүйтэн тэсвэрлэлтийг сайжруулах нэгэн үндэс болж байна. Тухайлбал Шивээ-овоогийн үнсний агуулга нь 20% байхад хүйтэн тэсвэрлэлт сайжирч байна. Учир нь нийт бетоны масс дахь чөлөөт кальцийн оксидын хэмжээ багасч байна.

Туршилтанд хэрэглэж буй тоног төхөөрөмжийн хүрэлцээнээс шалтгаалан хүйтэн тэсвэрлэлтийн судалгааг 40 циклийн дараа зогсоосон. Хэдийгээр 205-ийн Шивээ-овоогийн үнстэй бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт нь 25%-ийн үнстэйгээс илүү байсан боловч 40 циклийн дараа гадаргуу дээр эмтрэл болон бага зэргийн хагарал гарсныг харж болно. Харин 20, 25% Багануурын үнс агуулсан геопалимер бетоны гадаргуу дээр ямар нэгэн өөрчлөлт харагдахгүй байна. Өөрөөр хэлбэл, чөлөөт кальцийн оксидын агуулга багатай Багануурын үнс нь геопалимер бетон үйлдвэрлэхэд тлүү тохиромжтой байна.



23-р зураг. Хүйтэн тэсвэрлэлтийн 40 циклийн дараахь геополлимер бетон

Хүйтэн тэсвэрлэлтийг шалгасан сорьцны бат бөхийн үзүүлэлтийг хэмжсэн үр дүнг 14-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

14-р хүснэгт. Хүйтэн тэсвэрлэлтийг үзсэн сорьцны бат бөхийн үзүүлэлт

№	Сорьц	Шахалтын бат бөх, кг/см ²	Усанд 3 хоног хадгалсан, кг/см ²	Хүйтэн тэсвэрлэлтийн дараахь, кг/см ²
1	Багануург 8M-NaOH+(80%хайрга:20%үнс)	205.88	186	161.2
2	Шивээ-овоо, 8M-NaOH+(80%хайрга:20%үнс)	106.7	59.2	67.3
3	Багануур 8M(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+(75%хайрга:25%үнс)	305.04		
5	Багануур 8M-NaOH+(75%хайрга:25%үнс)	242.74	261.2	263.2
6	Багануур	300.7		

	8M(75%Na ₂ SiO ₃ ;25%NaOH)+ (80% хайрга: 20%үнс)			
7	Шивээ-овоо 8M-NaOH+ (75%хайрга:25%үнс)	141.63		

Дээрхи хүснэгтээс харахад 20%-ийн Багануурын үнсийг ашиглаж хийсэн геополимер бетоны бат бөх нь хүйтэн тэсвэрлэлтийн 40 циклийн дараа 20% орчмоор буурсан байгаа нь хэрэглээний шинж чанарыг хангаж байна гэж үзэж болох юм. Багануурын үнсний агуулга өндөртэй геополимер бетоны бат бөх нь хүйтэн тэсвэрлэлтийн дараа буураагүй байгаа нь Багануурын үнсээр хийсэн геополимер төрлийн бетоныг манай улсад зам, барилгын материалаар ашиглах боломжтой гэдгийг илтгэж байна.

Шингэн шилний оролцоотой бэлдсэн геополимер бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт маш бага байгаа нь шингэн шил агуулсан шүлтлэг уусмал нь кальцийн оксидтой харилцан үйлчлэлцэн усанд уусамтгай кальцийн силикатын төрлийн нэгдэл үүссэнээс болжээ гэж таамаглаж болохоор байна. Иймээс геополимер төрлийн бетоны судалгаанд зөвхөн дан натрийн шүлтээр идэвхижүүлсэн Багануурын үнсийг ашиглах нь хамгийн тохиромжтой юм гэсэн дүгнэлтэнд хүрлээ.

3.2.5 Геополимер материалын цацраг идэвхийн судалгаа

Геополимер төрлийн материалыг хийсэн үнсний цацраг идэвхийн хэмжээ нь барилгын материалын стандартад тавигдах шаардлагыг бүрэн хангаж байгааг нь гарган авсан материалын цацраг идэвхижил нь стандартын шаардлагыг хангаж буйг илтгэж байна. Гэсэн хэдий ч үнсний цацрагийн үзүүлэлт нь тогтмол нэг түвшинд байдаггүй бөгөөд нүүрсний аль давхаргаас авснаасаа шалтгаалан нэг ордын хувьд ч гэсэн өөрчлөгдөж байдаг. Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын Багануурын үнсний 2011 болон 2013 онуудад авсан дээж болон түүгээр хийсэн геополимер тоосгоны цацрагийн үзүүлэлтийг 15-р хүснэгтэнд харуулав.

15-р хүснэгт. Үнс болон түүгээр хийсэн геополимер тоосгоны цацрагийн үзүүлэлт

№	Бүтээгдэхүүн	Изотопын идэвхижлийн концентраци, Бк/кг			Радийн эквивалент (Ra_{eq}), Бк/кг
		A_{Ra-226}	A_{Th-232}	A_{K-40}	
1	Багануурын үнс (2011)	242.4	31.1	381.6	314.4
2	Шивээ-овоогийн үнс (2011)	262.8	48.7	215.6	342.7
3	Багануурын үнс (2013)	1169.2	26.9	355.1	1233.6
4	Багануурын үнсэнд (2011) суурилсан бетон (үнс 25% + хайрга 75%)	37.8	15.6	831.4	129
5	Шивээ-овоогийн үнсэнд (2011) суурилсан бетон (үнс 25% + хайрга 75%)	54.8	17.2	884.9	152.6
6	Багануурын үнсэнд (2013) суурилсан бетон (үнс 20% + хайрга 80%)	119.2	13.1	697.9	195.7

Дээрхи хүснэгтээс харахад 2013 онд авсан үнсний цацрагийн хэмжээ барилгын материалд тавигдах шаардлагаас илүү гарч байгаа боловч уг үнсийг ашиглаж хийсэн геополимер бетоны цацрагийн үзүүлэлт стандартын шаардлагыг хангаж байна. Хэмжилтэнд ашигласан геополимер бетоныг 24-р зурагт үзүүлэв.



24-р зураг. Цацрагийн үзүүлэлтийг хэмжсэн геополимер бетон

3.3. Геополимер бетоны практик туршилт

Бид хамгийн тохиромжтой гэж сонгон авсан үнс, болон технологийн параметруудыг ашиглан тусгай хэвэнд замын хавтангийн зориулалттай геополимер бетон бэлдэн тэдгээрийгээ Хими, Хими-Технологийн Хүрээлэнгийн хүн болон машины хөдөлгөөний ачаалал өндөртэй гадаа талбай дээр 2012 оны 10 сард байрлуулаад дараа жилийн буюу 2013 оны 4 сард салган авч гадаад эвдрэл болон хэлбэр хэмжээний өөрчлөлтийг судлав. Хавтанг Багануурын үнсийг ашиглан бэлтгэсэн. Ашигласан шүлтийн концентрацийг 8-12 моль, температур 70°C, хугацааг 22 цагаар сонгож авав.



25-р зураг. 2012 оны 11 сард хавтанг байрлуулж байгаа нь



26-р зураг. Хавтанг 2013 оны 4 сарын 18

Хавтангууд гадаа орчны нөхцөлд (өвлийн хүйтэн, цас, мөс) 5-6 сарын турш гадны үйлчлэл (хүн болон машины ачаалал)-ийн доор байсан боловч ямар нэгэн өөрчлөлт ороогүй болох нь харагдаж байна. Шинээр бий болгосон технологийн дагуу үйлдвэрлэсэн геоплимер замын хавтан нь хэрэглээний шаардлага хангаж байна гэж дүгнэж болно.



27-р зураг. Нэг жил өвөлжүүлсэн хавтангийн зураг.

ГЕОПОЛИМЕР ТЕХНОЛОГИЙН ТАНИЛЦУУЛГА, СУРТАЛЧИЛГАА

“Барилгын шинэ, шинэчилсэн материал үйлдвэрлэх технологи” шинжлэх ухаан, технологийн төслийн судалгаагаар цемент хэрэглэдэггүй шинэ төрлийн бетоныг гарган авах боломжтойг тогтоосон. Энэхүү геополимер төрлийн бетоны бат бөхийн үзүүлэлт нь 300 кг/см^2 -аас өндөр байгаа нь барилгын материал болгон ашиглах, ялангуяа цементээр хийсэн бетоны оронд ашиглах боломжтойг харуулсны дээр шинээр боловсруулсан технологийн танилцуулга, бүтээгдэхүүний загвар нь Монгол улсын засгийн газрын Барилга хот байгуулалтын яам, Мишээл группын хамтран зохион байгуулсан "БАРИЛГА-2012" Экспо үзэсгэлэнд тавигдан "Дэвшилтэт шинэ материал үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэгч" өргөмжлөл, Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам, Үндэсний худалдаа аж үйлдвэрийн танхимын хамтран зохион байгуулсан “Байгаль орчинд ээлтэй техник технологи-2013” үзэсгэлэнгээс “Ногоон Өргөмжлөл”-өөр тус тус шагнуулсны зэрэгцээ уг технологи нь Монгол улсын засгийн газрын Оюуны өмчийн газраас № 3160 патентаар баталгаажсан болно. Шинэ технологид гардуулсан өргөмжлөлийг 28-р зурагт үзүүлэв.



28-р зураг. Шинэ технологид гардуулсан өргөмжлөл

ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД БАЙГУУЛСАН ЛАБОРАТОРИЙН ТАНИЛЦУУЛГА

“Барилгын шинэ, шинэчилсэн материал үйлдвэрлэх технологи” шинжлэх ухаан технологийн төслийг бичих үед ХБНГУ-ын Александр фон Хумбольдтын сангийн буцалтгүй санхүүжилтээр зарим төрлийн багаж тоног төхөөрөмж худалдан авахаар төлөвлөгөөг дурдсан. Төсөл батлагдсаны дараа Хумбольдтын санд албан ёсоор хүсэлт тавин багаж тоног төхөөрөмж шинээр худалдан авах төсөл бичсэн. Уг төслийг Хумбольдтын сан хянан үзээд 12000 Евро буюу 20.000.000₮ (хорин сая орчим төгрөг)-ийн санхүүжилт олгохоор шийдвэрлэсний дагуу энэ мөнгөөр БНХАУ-ын Жинан үйлдвэрийн бүрэн автоматжисан шахалтын бат бөт үзэгч машиныг худалдан авлаа. ШУА-ийн Хими, Хими-Технологийн Хүрээлэнгийн 2-р байранд шинээр геополимер материалын судалгааны лабораторийг тохижуулан ашиглалтанд оруулав. Уг лабораторид доргиогч, бүх төрлийн шигшүүр, хатаах зуух, бетоны хэв, цементийн барьцалдах хугацаа тодорхойлогч Викийн багаж, зуурсагийн урсамтгай чанар тодорхойлогч зэрэг судалгааны лабораторид шаардагдах бүх төрлийн багажийг худалдан авч тохижуулав.

Лабораторийн нээлтэнд ШУА-ийн ерөнхийлөгч академич Б.Энхтүвшин, ХБНГУ-ын элчин сайдын яамны атташе Дрекслер болон Барилга, Хот Байгуулалтын Яамны газрын дарга Мэргэнбаяр нарын албаны хүмүүс оролцов.



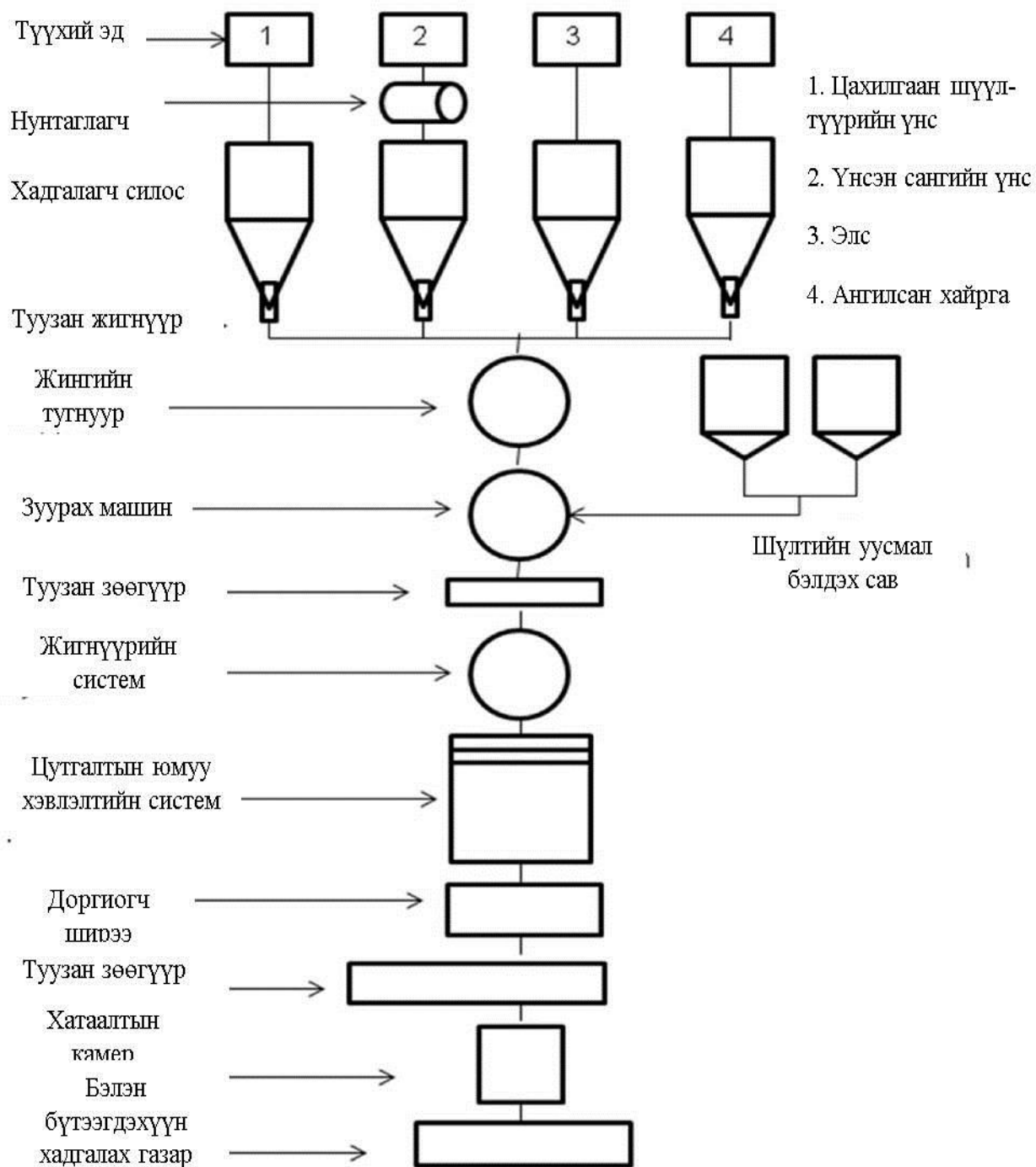


29-р зураг. Шинэ лабораторийн нээлт



30-р зураг. Хумбольдтийн сангаас хандивласан бүрэн компьютерийн удирдлагат шахалтын бат бөх үзэгч төхөөрөмж

Үйлдвэрлэлийн технологийн схем



31-р зураг. Үйлдвэрлэлийн санал болгож буй технологийн схем

ДҮГНЭЛТ

1. Улаанбаатар хотын дулааны 4-р цахилгаан станцын Багануур болон Шивээ-овоогийн үнс нь кальцийн оксид өндөртэй, АНУ-ын ASTM стандартаар С ангиллын үнсэнд багтана.
2. Кальцийн агуулга өндөртэй үнсийг шүлтлэг шингэнээр идэвхижүүлэхэд шингэн шилийг ашиглах нь тохиромжгүй. Шингэн шил нь кальцийн нэгдэлтэй урвалд орон усанд уусамтгай, хялбар хатуурдаг бүтэц үүсгэн геополимержих урвал явагдах боломжийг хаана.
3. Багануурын үнсний цацрагийн хэмжээ нүүрсний давхаргаас шалтгаалан өөрчлөгдөх боловч хайрган дүүргэгч нэмсэн геополимер төрлийн бетоны цацрагийн үзүүлэлт стандартын шаардлагыг хангана.
4. Геополимер төрлийн бетоныг хийхэд кальцийн агуулга харьцангуй багатай Багануурын нүүрсний үнс тохиромжтой.
5. Багануурын нүүрсний үнсийг 8-10 М натрийн шүлтээр боловсруулан жингийн 75-80%-д нь 0-5 мм-ийн хайрга, дайрга нэмэн битүү саванд хийж 70°C температурт 20-24 цагийн турш бэхжүүлэн гаргасан геополимер бетоны 7 хоногийн дараахь шахалтын бат бөх 30 МПа-аас багагүй, хүйтэн тэсвэрлэлт 40 циклээс илүү байна.

ТӨСЛИЙН ХУГАЦААНД ХЭВЛҮҮЛСЭН БҮТЭЭЛ

Гадаадад хэвлэгдсэн номын бүлэг

1. Temuujin, J., Characterisation and utilisation of coal combustion by products in Mongolia, in Fly Ash: Chemical Composition, Sources and Potential Environmental Impacts, Edited by P.K.Sarker, Chapter 6, Nova Science Publishers, New York, ISBN: 978-1-62948-044-2 (2013).

Олон улсын сэтгүүлд хэвлүүлсэн өгүүлэл

1. Temuujin, J., Rickard, W. and van Riessen, A.: Characterisation of various fly ashes for preparation of Geopolymers with advanced applications, *Advanced Powder Technology*, 24, 495–498, (2013)
2. Rickard, W.D.A., Temuujin, J. and van Riessen, A.: Thermal analysis of geopolymer pastes synthesised from five fly ashes of variable composition, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **358**, 1830-1839 (2012)
3. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Rickard, W., and Van Riessen, A.: Thermal properties of spray coated geopolymer type compositions, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **107**, 287-292 (2012)
4. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Lee, M., Chen-Tan, N. and van Riessen, A.: Structural characterisation of geopolymers treated in acid and alkaline environments, *Cement and Concrete Composites*, **33**, 1086-1091 (2011)
5. Rickard, W., Williams, R., Temuujin, J. and van Riessen, A.: Assessing the suitability of three Australian fly ashes as a aluminosilicate source for geopolymers in high temperature applications, *Materials Science and Engineering: A* **528**, 3390-3397 (2011)
6. Temuujin, J., Rickard, W., Lee, M. and Van Riessen, A.: Preparation and thermal properties of fire resistant metakaolin-based geopolymer type coatings, *Journal of Non Crystalline Solids* **357**, 1399-1404 (2011)

Дотоодын сэтгүүлд хэвлүүлсэн өгүүлэл

7. Minjigmaa A., Zolzaya Ts., Bayanjargal E., Davaabal B., Temuujin J.: Characterisation of ash pond ashes from 3rd thermal power plant by SEM/EDX and XRD methods, *Mongolian Journal of Chemistry*, ISSN: 2226-6739, 14(40), 61-65 (2013)
8. Temuujin J.: Review: Ash products from thermal power stations, their application and feasibility of utilizing in our country, *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, [1] 53, 58-72 (2013)
9. Minjigmaa, A., Zolzaya, Ts., Davaabal, B., Bayarzul, U., Temuujin, J.: Preliminary results on characterisation of various coal combustion products from Mongolian thermal power stations and their application for preparation of geopolymers, *Mongolian Journal of Chemistry*, ISSN: 2226-6739, 13(39), 78-81 (2012)
10. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Davaabal, B. and Ochirbat, Z.: Characterisation of fly ash from 4th Thermal Power Station of Ulaanbaatar city and its applicability for a zeolite synthesis, *Mongolian Journal of Chemistry* ISSN: 2226-6739, 12(38), 16-19 (2011)
11. Zolzaya, Ts., Davaabal, B., Ochirbat, Z., Oyun-Erdene, G., Minjigmaa, A. and Temuujin, J.: The mechanochemical activation study of Tsagaan-tsav zeolite, *Mongolian Journal of Chemistry* ISSN: 2226-6739, 12(38), 98-101 (2011)

Олон улсын хуралд хэлэлцүүлсэн болон хэвлэгдсэн илтгэл

12. Temuujin, J.: Preparation and Characterisation of Geopolymer Type Paste and Concrete From High Calcium Mongolian Fly Ashes, 77th Annual session of the Indian Ceramic Society, Jamshedpur, India, 19-20 December, 2013 (уригдсан)
13. Temuujin J.: Present research activity of Laboratory of Materials Science and Technology of Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Invited presentation at KICET (Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), 26 November, 2013, Seoul, Korea

14. Telmenbayar, L., Delgermaa, M., Temuujin, J.: Research on controlled crystallization of bismuth ferrite in silica glasses, The 4th International Conference on Creative Science and Technology, ICCST-2013, Oral presentation, 04-05 October, Darkhan city, Mongolia, Conference Proceedings pp.385-386
15. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Bayarzul, U., Ankhtuya, A.: Preparation of geopolymer type binder from Mongolian fly ash and its characterisation, The 8th International Forum on Strategic Technology IFOST-2013, Oral presentation, 28 June 01 July, 2013, Ulaanbaatar, Mongolia, IEEE Conference Proceedings ISBN: 978-1-4799-0931-5, vol.1, pp.199-202, DOI: 10.1109/IFOST.2013.6616969
16. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Davaabal, B., Amgalan, J.: Characterisation of granulometric composition of a Mongolian fly ash and its application for value added products, The 8th International Forum on Strategic Technology IFOST-2013, Poster presentation, 28 June - 01 July, 2013, Ulaanbaatar, Mongolia, IEEE Conference Proceedings ISBN: 978-1-4799-0931-5, vol.1, pp.203-206, DOI: 10.1109/IFOST.2013.6616970
17. Temuujin, J.: Preparation technology of cementless - a new type of binder from thermal power station ashes, The 9th Mongolia Development Forum "Innovation/Green Developments", June 01, 2013, London, UK (invited)
18. Temuujin, J., Rickard, W., Van Riessen, A.: Characterisation of various coal combustion products from Mongolian thermal power stations and their application for preparation of geopolymers and zeolitic compounds, 26th International Mineral Processing Congress, September 24-28, 2012, New Delhi, India, (invited keynote lecture), Conference Proceedings, Paper 1136, pp.5455-5461
19. Temuujin, J.: Present situation and future perspective of coal combustion by products utilisation in Mongolia, The First Mongolia-South Africa International Workshop on Conversion and Utilisation of Coal and Industrial Solid Wastes to Value Added Products, July 16, 2012, Ulaanbaatar

20. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Rickard, W. and van Riessen, A.: Characterisation of a various fly ashes from Australia and Mongolia and their utilisation for preparation of Geopolymers with advanced applications, 5th Asian Particle Technology Symposium APT-2012, July 2-5, 2012, Singapore (invited), Conference Proceedings pp.47-54, ISBN: 978-981-07-2518-1 :: doi:10.3850/978-981-07-2518-1 258
21. Temuujin, J.: Preparation of zeolitic compounds from class C fly ash and its characterisation, 5th Asian Particle Technology Symposium APT-2012, July 2-5, 2012, Singapore, Conference Proceedings pp.125-130, ISBN: 978-981-07-2518-1:: doi:10.3850/978-981-07-2518-1 083
22. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Davaabal, B., Bayarzul, U., Zolzaya, Ts.: Characterisation of various Mongolian fly ashes and their utilisation for preparation of Geopolymer type composition, 11th International Conference on Concrete Study, June 15, 2012, Ulaanbaatar, Conference Proceedings pp.
23. Temuujin, J.: Preparation of zeolitic compounds from high calcium fly ash, International forum on strategic technology IFOST-2011, Poster presentation, 22-24 August, 2011, Harbin, China, IEEE Conference Proceedings ISBN:978-1-4577-0396-6, vol.1, pp159-161.
24. Jadambaa, Ts., Temuujin, J.: Preparation of a various zeolites from fly ash, International conference on natural minerals study, 5th International Conference on Priority and feature of Baikal region development, Poster presentation, June 30- July 3, 2011, Ulan-Ude, Russia, Conference Proceedings pp.79-81.
25. Temuujin, J.: Powder technology research activity in Mongolia and its future tendency, The first Mongolia-Korea joint workshop on powder technology, June 21-23, 2011, Ulaanbaatar, Mongolia, Conference Proceedings pp.52-69.
26. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Ochirbat, Z., Davaabal, B., Munguntulga, Ch., Mungunshagai, P.: Preliminary results on utilisation of power plant fly ash as an additive for reducing of cement content in concrete, 10th International conference on concrete study in Mongolia, Darkhan technological school, June 9, 2011, Darkhan city, Conference Proceedings, pp.21-27.

27. Rickard, W., Williams, R. P., Temuujin, J., & van Riessen, A.. In situ characterisation of fly ash geopolymers exposed to an Australian standard fire curve using synchrotron and laboratory XRD techniques. Oral presentation, Australian X-ray Analytical Association conference, Sydney, Australia. (2011, February)

Дотоодын хуралд тавьсан илтгэл

28. Баярзул, У., Тэмүүжин, Ж., Минжигмаа, А., Анхтуяа, А.: Дулааны цахилгаан станцын үнснээс геополимер гаргах судалгаа, Залуу судлаачдын “Хүрэл тогоот-2013” Эрдэм шинжилгээний хурал, 4.10.2013, Улаанбаатар, Хурлын эмхэтгэл, хх32-38.
29. Тэмүүжин, Ж.: “Хаягдал үнс – Геополимер цементгүй бетон” лтгэл, Байгаль орчин ногоон хөгжлийн яам, Монголын үндэсний худалдаа аж үйлдвэрийн танхимын хамтран зохион байгуулсан “Байгаль орчинд ээлтэй техник технологи” чуулган.21.04.2013, Улаанбаатар
30. Тэмүүжин, Ж.: Монголын уул уурхайн хөгжлийн стратегийн судалгаа, “Уул уурхай-хөгжлийн түлхүүр” Үндэсний хурал, Ашигт малтмалын хэрэг эрхлэх газар, 24.12.2012, Улаанбаатар Хурлын бүтээл хх.86-95.
31. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Davaabal, B., Bayarzul, U., Zolzaya, Ts.: Characterisation of ashes from thermal power stations of the central region of Mongolia and their applicability for production of construction materials, "Хими-2012" Үндэсний хурал, 08.11. 2012, Улаанбаатар
32. Temuujin, J.: Present situation of coal and oil shale combustion by products utilisation in Mongolia and challenges, Workshop on technology development of coal and oil shale processing in Mongolia, МАК, October 9, 2012, Ulaanbaatar, Mongolia

33. Minjigmaa, A., Temuujin, J., Oyun-Erdene, G., Zolzaya, Ts., Ochirbat, Z., Davaabal, B.: Study on mechanical activation of zeolite, "Chemistry-2011" Poster presentation, National Conference, 11 November, 2011, Ulaanbaatar, Mongolia
34. Тэмүүжин, Ж., Минжигмаа, А.: Монгол орны эрдэс түүхий эдээс нэмүү өртөг шингэсэн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх боломж, Уул уурхай- хөгжлийн түлхүүр” Үндэсний хурал, Ашигт малтмалын хэрэг эрхлэх газар, 29.04.2011, Улаанбаатар

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. <http://www.the-colosseum.net/idx-en.htm>, 2012 оны 9 сард хандсан.
2. V.K.Jha, M.Matsuda, M.Miyake, Resource recovery from coal fly ash waste: an overview study, Journal of the Ceramic society of Japan, 116 [2] 167-175, 2008
3. <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/coal-electricity/>, 2012 оны 9 сард хандсан.
4. S.V.Vassilev, C.G.Vassileva, Occurrence, abundance and origin of minerals in coals and coal ashes, Fuel processing technology, 48 (1996) 85-106)
5. Ahmaruzzaman, A review on the utilization of fly ash, Progress in Energy and Combustion Science 36, 327-363, (2010)
6. R.S.Blissett, N.A.Rowson, A review of the multi-component utilisation of coal fly ash, Fuel 97, 1–23, (2012)
7. S.Wang, Application of solid ash based catalysts in heterogeneous catalysis, Environmental Science and Technology, 42, 7055–63, (2008)
8. A.B.Mukherjee, B.Zevenhoven, P.Bhattachaya, K.S.Sajwan, R.Kikuchi, Mercury flow via coal and coal utilization by-products: a global perspective, Resource Conservation and Recycling, 52, 571-591, (2008)
9. ASTM C618-12, Standard specification for coal fly ash and raw calcined natural pozzolan for use in concrete
10. EN 450-1-2009, Fly ash concrete, Part 1. Definition, specifications and conformity criteria
11. J.F.Meyers, P.Raman, S.K.Bernadette, Fly ash. A highway construction material. Federal highway administration, Report No.FHWA-IP-76-16, Washington DC (1976)
12. J.J.Li, J.Cui, N.Q.Zhao, C.S.Shi, X.W.Du, The properties of granular activated carbons prepared from fly ash using different methods, Carbon 44, 1298–1352, (2006)

13. B.Rubio, M.T.Izquierdo, M.C.Mayoral, M.T.Bona, J.M.Andres, Unburnt carbon from coal fly ashes as a precursor of activated carbon for nitric oxide removal, *Journal of Hazardous Materials* 143, 561–566, (2007)
14. Radioactive elements in coal and fly ash: Abundance, forms and environmental significance, US geological survey fact sheet FS-163-97
15. C.Papastefanou, Radioactivity of coals and fly ashes, *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 275, 29-35, (2008)
16. Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Radiation protection 112, 1999 Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection
17. González A, Navia R, Moreno N. Fly ashes from coal and petroleum coke combustion: current and innovative potential applications. *Waste management research*, 27, 976–87, (2009)
18. S.Kumar, Lecture on “Fly ash: challenges and opportunity” on 20th Sept 2012, organised by Indian Ceramic Society, Jamshedpur Chapter
19. R.S.Kalyoncu, D.W.Olson, Coal combustion products, U.S. Geological Survey, Fact Sheet 076-01
20. W.F.Baker, D.S.Korista, L.C.Novak, Burj dubai: engineering the world’s tallest building, *Struct. Design Tall Spec. Build.* 16, 361–375, (2007)
21. H.W.Nugteren, Coal fly ash: from waste to industrial product, Part. Part. Syst. Charact. 24, 49–55, (2007)
22. H. W. Nugteren, R. A. Kruger, Fly Ash as a replacement for mineral fillers in the polymer industry. *World of coal ash*, Lexington, Kentucky, USA (WOCA) 2005, (on CD).
23. S.Wang, H.Wu, Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents, *Journal of Hazardous Materials* B136, 482–501, (2006)
24. A. Peloso, M. Rovatti, G. Ferraiolo, Fly ash as adsorbent material for toluene vapours, *Resour. Conserv.* 10, 211–220, (1983)

25. R.S.Iyer, J.A.Scott, Power station fly ash — a review of value-added utilization outside of the construction industry, *Resources, Conservation and Recycling*, 31, 217–228, (2001)
26. V.K.Jha, M.Nagae, M.Matsuda, M.Miyake, Zeolite formation from coal fly ash and heavy metal ion removal characteristics of thus-obtained Zeolite X in multi-metal systems, *Journal of Environmental Management*, 90, 2507–2514, (2009)
27. D.Wu, Y.Sui, S.He, X.Wang, C.Li, H.Kong, Removal of trivalent chromium from aqueous solution by zeolite synthesized from coal fly ash, *Journal of Hazardous Materials*, 155, 415–423, (2008)
28. X.Querol, J.C.Umana, F.Plana, A.Alastuey, A.Lopez-Soler, A.Medinaceli, A.Valero, M.J.Domingo, E.Garcia-Rojo, Synthesis of zeolites from fly ash in a pilot plant scale. Examples of potential environmental applications, *International ash symposium, University of Kentucky, 1999, Paper 12*
29. M.Erol, S.Küçükbayrak, A.Ersoy-Meriçboyu, Comparison of the properties of glass, glass–ceramic and ceramic materials produced from coal fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 153, 418–25, (2008)
30. S.Jala, D.Goyal, Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production – a review. *Bioresour Technol*, 97, 1136–47, (2006).
31. V.C.Pandey, N.Singh, Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agric Ecosyst Environ*, 136,16–27, (2010)
32. Komnitsas, K., Zaharaki, D., Geopolymerisation: a review and prospects for the minerals industry. *Minerals Engineering* 20, 1261–1277, (2007)
33. Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J.L., Lukey, G.C., Palomo, A., Van Deventer, J.S.J., Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science* 42, 2917–2933, (2007)
34. F.Pacheco-Torgal, Z.Abdollahnejad, A.F.Camões, M.Jamshidi, Y.Ding, Durability of alkali-activated binders: A clear advantage over Portland cement or an unproven issue?, *Construction and Building Materials* 30, 400–405, (2012)

35. J.S.J.van Deventer, J.L.Provis, P.Duxson, Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement, *Minerals Engineering* 29, 89–104, (2012)
36. F.Skvára, T.Jílek, L.Kopecký, Geopolymer materials based on fly ash, *Ceramics – Silikáty* 49 (3) 195-204 (2005)
37. Hardjito H, Rangan RV, Development and properties of low-calcium fly ash based geopolymer concrete, Research Report GC1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia 2005
38. Ц.Жадамбаа, Силикат, керамик материалыг нам температурт шатааж гарган авах онол ба технологийн үндэс, ШУТИС-ийн Манай эрдэмтэд цуврал, 441х, ШУТИС-ийн хэвлэл, Улаанбаатар 2004
39. О.Батмөнх, Ус бага шаардах холимог барьцалдуулагчийн онолын үндэс, бетоны технологи, ШУТИС-ийн Манай эрдэмтэд цуврал, 279х, ШУТИС-ийн хэвлэл, Улаанбаатар 2004
40. MNS 3297-86, Барилгын материалд хэрэглэх дулааны цахилгаан станцын үнс, Монгол улсын стандарт
41. MNS 974-2008, Портланд цемент, техникийн шаардлага, Монгол улсын стандарт
42. F.Škvára, T.Jílek, L.Kopecký, Geopolymer materials based on fly ash, *Ceramics – Silikáty* 49 (3) 195-204 (2005)
43. Y.Fu, L.Cai, Y.Wu, Freeze–thaw cycle test and damage mechanics models of alkali-activated slag concrete, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 3144–3148
44. R.Brooks, M.Bahadory, F.Tovia, H.Rostami, Properties of alkali-activated fly ash: high performance to lightweight, *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 3, No. 3, September 2010, 211–218
45. R.Slavik, V.Bednarik, M.Vondruska, A.Nemec, Preparation of geopolymer from fluidized bed combustion bottom ash, *Journal of Materials Processing Technology* 200 (2008) 265–270

46. Монгол улсын стандарт, "MNS 1918 : 1985 Бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийг тодорхойлох арга
47. J.Gebauer, in Calcium Hydroxide in Concrete, ed. J.Skalny, J.Gebauer, I.Older, The American Ceramic Society, Westerville, OH, USA, 2001, special volume, pp.1-10.
48. A.M.Neville, Maintenance and Durability of Structures Concr.Int., 19 (1997) 52
49. J.W.Phair, Green Chem., 8 (2006) 763.
50. Batelle, Toward a sustainable cement industry. Batelle study for the world business council for sustainable development., Batelle, Columbus, OH, USA, 2002
51. R.A.Zielinski, J.R.Budahn, Radionuclides in fly ash and bottom ash: improved characterization based on radiography and low energy gamma-ray spectrometry, Fuel Vol. 77, No. 4, pp. 259-261, 1998
52. M. Nisnevich, G.Sirotn, T.Schlesinger, Y.Eshel, Radiological safety aspects of utilizing coal ashes for production of lightweight concrete, Fuel Volume 87, Issues 8-9, July 2008, pp.1610-1616
53. R.Meij, J.van den Berg, Coal fly ash management in Europe, trends, regulations and health and safety aspects, Kentucky, October 22-24, 2001, International ash utilisation symposium; The American Coal Ash Association - <http://www.acaa-usa.org/>)



МОНГОЛ УЛС ШИНЭ БҮТЭЭЛИЙН ПАТЕНТ

№ 3860

Монгол Улсын Оюуны Өмчийн Газрын даргын 2013 оны 132
тушаалаар

Жадамбаа Тэмүүжин

энэхүү патентийг олгов.

Шинэ бүтээлийн нэр:

**Цахилгаан станцын хаягдал үнсээр цементгүй
барьцалдуулагч материал гарган авах арга**

Шинэ бүтээлийн зохиогч

Жадамбаа Тэмүүжин

Мэдүүлгийн улсын бүртгэлийн дугаар: 4892

Анхдагч огноо: 2012.07.27

Давамгайлах огноо: --

Энэхүү патент нь 2012 оны 07 сарын

27 өдрөөс эхлэн Монгол улсын нутаг дэвсгэрт

20 жил хүчинтэй

ОЮУНЫ ӨМЧИЙН
ГАЗРЫН ДАРГА



Н. ЧИНБАТ

Улаанбаатар хот