

ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН ХАЯГДАЛ ҮНС, ҮНСНИЙ ХЭРЭГЛЭЭ, ҮНСИЙГ МАНАЙ УЛСАД АШИГЛАХ БОЛОМЖ

Ж.Тэмүүжин

ШУА, Хими, Хими-Технологийн Хүрээлэн

Товч агуулга

Цахилгаан станцыг хаягдал үнсний төрөл, хими, эрдэс зүйн найрлага болон гадаад бүтцийн онцлогыг судлав. Цахилгаан станцын хаягдал үнс нь барилга, хими, шинэ болон байгаль орчны хамгааллын чиглэлээр ашиглаж болох хэрэгцээт түүхий эд юм. Үнс нь инэнхидээ хөнгөн цагаант цахиураас тогтсон бөмбөлөг хэлбэрийн гадаад бүтэцтэй байдаг. Манай оронд хаягдал үнсийг ашиглах шинэ боломж байгааг өөрсдийн хийж буй судалгааны үндсэн дээр тодорхойлов.

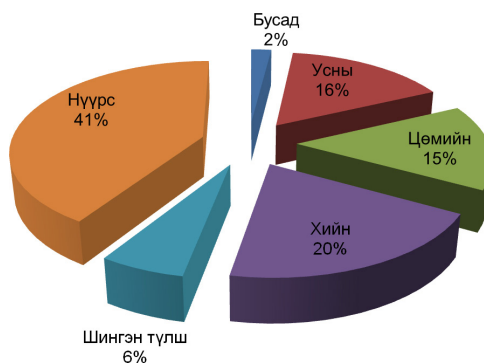
ОРШИЛ

Үнсийг органикагуулсан нэгдлийн шат алтийн үлдэгдэл гэж ерөнхийд нь үзэж болно. Үнсийг хүн төрөлхтөн маш эртдээ үе эс ашиглаж байсан мэдээ байдаг. Эртний Ром хотод 2000 гаруй жилийн түүхтэй архитекторынхосгүй дурсгал болсон Колизей цэнгэлдэх хүрээлэн болон эртний бурхдын өргөө болох Пантеоныг барихдаа мөнгө, галтуулын үнс ашиглаж байсан байна. Эдгээр барилгууд нь онцгой нуртаг бүрмөсөн эвдэрч нуралгүй одоог хүртэл байж байгаан галтуулын үнс, шохой болон голын элсийг ашиглаж үйлдвэрлэсэн эртний Ромын бетон нь онцгой бат бөхийн үзүүлэлтэй байсныг баталгаажуулж [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 ≥ 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.

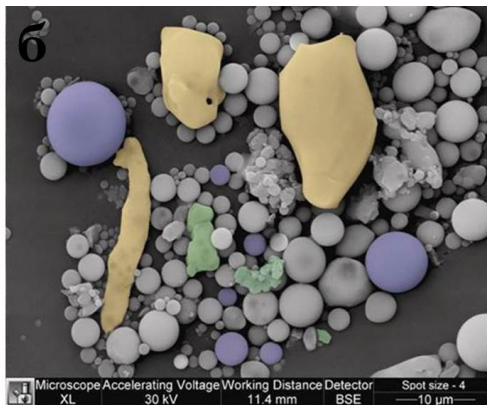


2-р зураг. Дулааны цахилгаан станцаас үнс гарах ерөнхий зарчим

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 шатаалтын 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

ТҮҮХИЙ ЭДИЙН СУДАЛГАА

Химийн найрлагийн хувьд үнс нь хөнгөн цагаан, цахиур, төмөр болон кальцийн оксидыг хамгийн их хэмжээгээр агуулдаг. 2-р хүснэгтэнд дэлхийн бүс

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.

Энэхүү богино хэмжээний тойм өгүүлэлд цахилгаан станцын хаягдал үнсийг ямар чиглэлээр ашиглаж байгаа талаархи сүүлийн үед хийгдсэн судалгааг тоймлон үзүүлэхээс гадна өөрсдийн хийж буй судалгааны ажлыг мөн харуулах болно.

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	0.8-32.8	0.2-11.0	-	0.5-5.0	-

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 (%)	Чийгшлэл (%)	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 С 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 битумжсэн	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

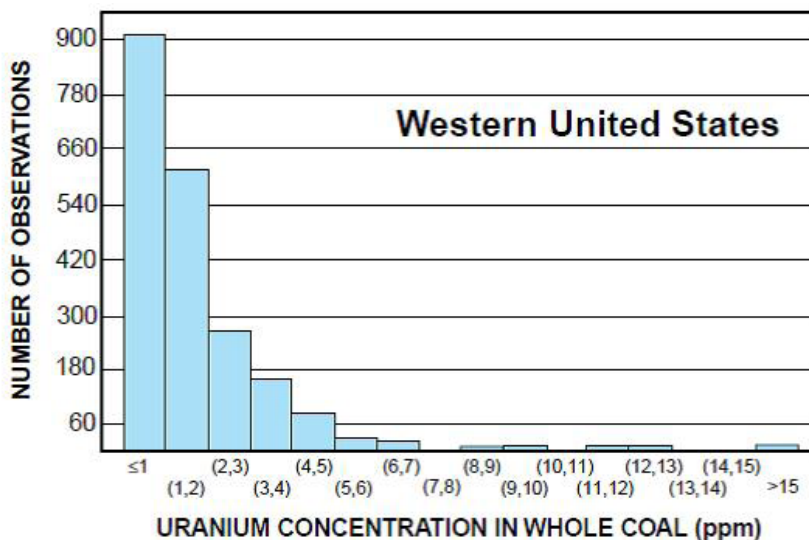


Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
SO ₃	0-4	0-2	0-10
ШЖХ	0-15	0-3	0-5

Хаягдалүнс нь эрдэс зүйн найрлагынхаа хувьд 50-иас багагүй хувь нь 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 бүс эрдэс болон бага агуулгатай мөртөдий (trace elements) хольцод байгалийн цацраг идэвхит элемент агуулагдаж болдог. Энэхүү цацраг идэвхит үндсэн элементүүдэд уран (U), торий (Th) болон тэдгээрийн задралын

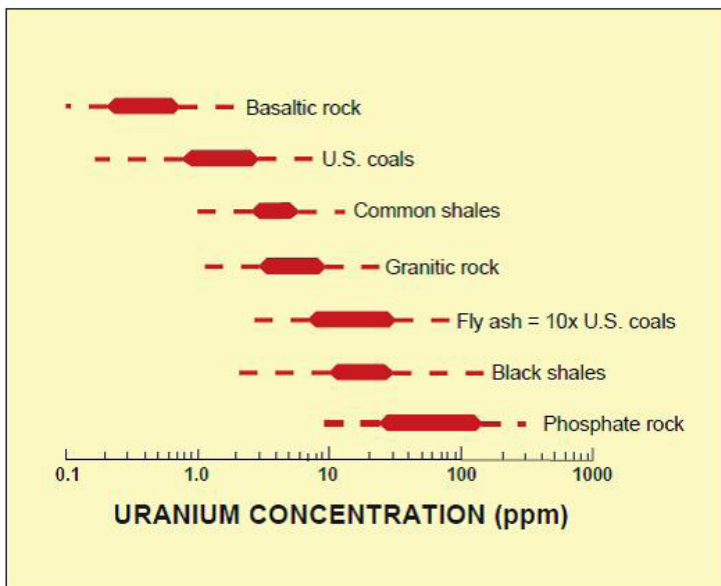
бүтээгдэхүүнүүд тухайлбал, ради (Ra) болон радон (Rn) багтана. Хэдийгээр эдгээр элементүүд үнсэнд агуулагдах хүнцэл (As arsenic), селен (Se selenium) болон мөнгөн уснаас (Hg mercury) химийн хорны хувьд бага үйлчилгээтэй боловч үзүүлж болох цацрагийн нөлөө нь гол эрсдэлийг агуулж байдаг [14]. Нүүрсийг 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 нэг 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].

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

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].

72%-ийг цемент, бетоны үйлдвэрлэлд ашигладаг байна [18].

Цахилгаанстанцынүнсийгголчлонүнс энцөөрөмдхадгалаадгазартбулахзамаарза



йлуулдаг байсан боловч өнгөрсөн зууны 30-аад оноос эхлэн бетон днэмэлт хэлбэрээр холинуулан 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. Үнсний 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, үнсний цемент, бетонд нэмэлт хэлбэрээр ашиглах нь уламжлалт өргөн хэрэглэгддэг арга юм. Иймд үнсний уламжлалт бус хэрэглээг тодруулж байна.

Үнсний полимерийн үйлдвэрлэлд ашиглах нь:

Үнсний 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 үнснийг 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.

Үнсний 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 NOx, 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 шингээлтийг сайжруулах үндэс болсон байна. Үнсний шингээлтийг сайжруулахын тулд химийн боловсруулалт хийх нь зохимжтойг тэмдэглэжээ [23].

Үнсний цеолитын түүхий эд болгон ашиглах нь:

Үнсний 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 ($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), филиппит ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$), 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 ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), гидроксидодалит ($\text{Na}_{1.08}\text{Al}_2\text{Si}_{1.68}\text{O}_{7.44} \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$), 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



X (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 нийгжүүлэн 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 керамикийн 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 гэсвэртэй 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 Ca, Na, Al болон OH ионуудын хөрсөнд шингэх боломжийг олгодог байна. Үнсийг хөдөө аж ахуйд ашиглах судалгаанд хэрэглэгдсэн түүхий эд нь кальцийн агуулга өндөртэй ($CaO > 15\%$) 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 геопалимерийн түүхий эд болгон ашиглах нь:

Геопалимер 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 геопалимерийн судалгаа нь хамгийн их сонирхол татаж буй халуун сэдвийн нэг болоод байгаагийн дээр олон тооны тойм өгүүлүүд хэвлэгдсэн байна [32-34]. Үнснээс гаргасан геопалимер төрлийн материал нь шинжилгээ судалгааны түвшинээс хальж хагас үйлдвэрлэл, үйлдвэрлэлийн бүтээгдэхүүн болж Австралид E-Crete™ бетон нэрээр үйлдвэрлэгдэж байна [35]. Геопалимерийн хамгийн гол хэрэглээ нь барилга, замын материал болох төрөл бүрийн бетоны үйлдвэрлэл юм. Геопалимер бетон үйлдвэрлэхэд F төрлийн буюу кальцийн оксидын (CaO) агуулга багатай үнсийг ашиглахад тохиромжтой гэж үздэг [36, 37]. Геопалимер материал үйлдвэрлэх зарчмыг 6-р зургаар харуулж болно.

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



6-р зураг. Геополимер төрлийн материал гаргах ерөнхий зарчим

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 болой. 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].

ШУА-ийн Хими, хими-технологийн хүрээлэнгийн Материал судлал технологийн лабораторид 2010 оноос Монгол орны цахилгаан станцын үнсийг иж бүрнээр ашиглах туршилт судалгааны ажил хийгдэж байна [42]. Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын хаягдал Багануур болон Шивээ-овоогийн нарийн ширхэглэлтэй үнс нь ASTM ангилал С бүлгийн үнсэнд багтаж байна. Манай лабораторид хийгдсэн хаягдал үнсийг ашиглан хортой элементийг шингээх чанар сайтай цеолит болон геополимер төрлийн барилга, замын материал гарган авах судалгаа, томгосон туршилтын ажлын үр дүн эрдэм шинжилгээний хуралд хэлэлцэгдэн, мэргэжлийн сэтгүүлүүдэд хэвлэгдээд байна [43-47]. Манай лабораторид хийгдэж буй судалгааны дүнгээс харахад үнсний химийн найрлага, цацраг идэвхижлийн тогтворгүй байдал нь

бүтээгдэхүүний технологи боловсруулахад хүндрэл өгөхөөр байна. Жишээ болгон Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцаас

2010, 2011, 2013 онуудад авсан Багануурын нүүрсний үнсний химийн найрлагын өөрчлөлтийг авч үзье (5-р хүснэгт).

5-р хүснэгт

Багануурын нүүрсний үнсний химийн найрлагын өөрчлөлт

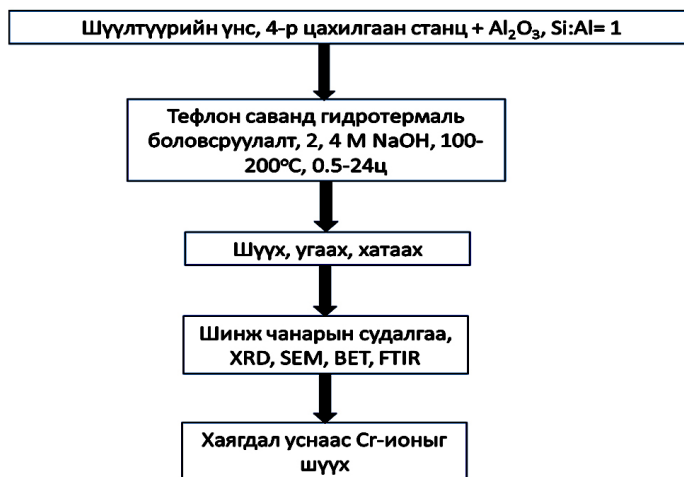
Үнс	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SO ₃	K ₂ O	SrO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	ШЖХ, %
Багануур, 2010	53	16.4	8.85	15.5	1.81	0.17	1.32	1.67	0.2	0.826	-	-	1.05
Багануур, 2011	55.75	13.82	10.43	14.24	1.67	0.32	0.83	1.325	0.12	0.41	0.11	0.03	0.94
Багануур, 2013	51.18	13.02	14.9	14.47	1.74	0.53	0.61	1.34	-	0.51	0.21	0.11	1.07

Энэхүү хүснэгтээс харахад нэг орд газрын нүүрсний үнсний химийн найрлага нь дээж авах хугацаанд 0.1-6% хүртэл хязгаарт өөрчлөгдөж байна. Энэхүү өөрчлөлтөөс үүдэн дүгнэлт хийхэд, үнсийг ашиглан гаргаж буй бүтээгдэхүүн нь химийн найрлагын өчүүхэн өөрчлөлтөнд ч мэдрэмтгий байвал тогтвортой ашиглагдах технологи боловсруулах боломжгүй юм.

Өөрөөр хэлбэл, химийн найрлагын тодорхой өөрчлөлт нь гаргасан бүтээгдэхүүний шинж чанарт аль болох бага өөрчлөлт үзүүлэх шаардлагатай юм.

Цеолит нийлэгжүүлэх судалгаа

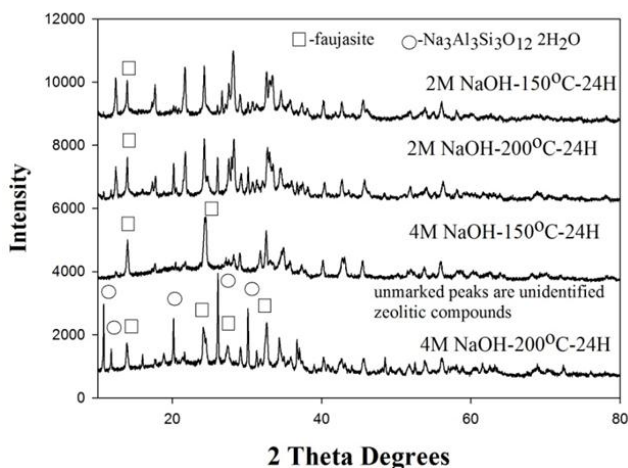
Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын Багануурын үнсийг ашиглан цеолит нийлэгжүүлэх судалгаа явуулсан туршилтын дарааллыг 7-р зурагт үзүүлэв.



7-р зураг. Багануурын нүүрсний үнснээс цеолит нийлэгжүүлэх технологийн схем

Туршилтанд бэлтгэсэн холимгийг 150 болон 200°C температурт боловсруулсны

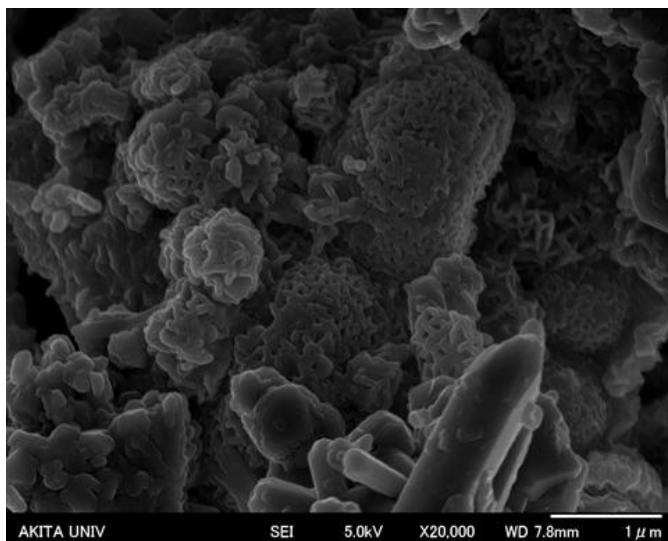
дараахь дээжний Рентгенграммыг 8 -р зурагт харууллаа.



8-р зураг. 2 болон 4M концентрацитай шүлтээр 150, 200°C температурт 24 цаг боловсруулсан дээжний Рентгенграмм

Энэхүү Рентгенограммын зургаас харахад цеолитын төрлийн нэгдлийн талжилтанд боловсруулалтын температур болон шүлтийн концентраци чухал нөлөө үзүүлж байна. Фаужасайт ($\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{Mg}$)_{3.5}[

$\text{Al}_{7.5} \text{Si}_{17} \text{O}_{48}$]•32(H_2O) болон натрийн цеолит ($\text{Na}_3 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) нь үндсэн талст фазыг бүрдүүлж байна. Энэхүү нийлэгжүүлсэн цеолитын гадаад морфологийг 9-р зурагт үзүүлэв.



9-р зураг. 200°C температурт 24 цагийн турши нийлэгжүүлсэн цеолитын морфологи

Нийлэгжүүлсэн цеолитыг аван хромын давс зориуд хольж бэлтгэсэн устай 1/100 харьцаагаар холин 1 цаг хутган тэнцвэрийн нөхцөлд хүргэсэн холмигоос хромын ионыг шингээх чадварыг тогтоосон үр дүнгээс харахад цеолит үүссэн дээжний хромын

шингээлт 45%-иар сайжирсан байв. *Геополлимер төрлийн материал гаргаж авах судалгаа*

Манай лабораторид 4-р цахилгаан станцын Багануур, Шивээ-овоогийн үнс, 4-р цахилгаан станцын үнсэн сангийн үнс,

3-р цахилгаан станц, Дархан, Эрдэнэтийн цахилгаан станцын үнсэн сангийн үнсийг ашиглан геополимер төрлийн барилга, замын материал үйлдвэрлэх судалгааг явуулсны үндсэн дээр 4-р цахилгаан станцын цахилгаан шүүлтүүрийн нарийн ширхэглэлтэй Багануурын үнс нь геополимер төрлийн зуурмаг, бетон үйлдвэрлэхэд хамгийн тохиромжтой болохыг тогтоосон юм. Гарган авсан

геополимер төрлийн барилга, замын материалын бат бөхийн үзүүлэлт нь 300 кг/см²-аас илүү байгаа нь стандартад тавигдах шаардлагыг хангаж байна.

Туршилтаар гарган авсан геополимер төрлийн нүх сүвэрхэг хөнгөн бетон болон зам барилгын өнгөлгөөний тоосго хэлбэрээр ашиглах боломжтой бетоны зургийн доор үзүүлэв (10-р зураг).



10-р зураг. Геополимер төрлийн бетон, хөнгөн бетон

Багануурын үнсийг ашиглаж гаргасан геополимер төрлийн бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт нь 40 циклээс илүү байсныг тогтоосон. Туршилт явуулах үед цаг хугацааны хавчигдлаас шалтгаалан 40 циклийн дараа туршилтыг зогсоосон боловч бетонд ямар нэгэн өөрчлөлт

ажиглагдаагүй.

Манай улсад үнсийг үйлдвэрлэлийн зориулалтаар ашиглахад чухал ач холбогдолтой гэгддэг цацрагын үзүүлэлт, уг үнсийг ашиглаж хийсэн бетон бүтээгдэхүүний цацрагийн идэвхижлийг 6-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

6-р хүснэгт

Багануурын үнс, үнсээр хийсэн бетоны цацраг идэвхижил

№	Үнс	Изотопын идэвхижлийн концентраци, Бк/кг			Радийн эквивалент, Бк/кг
		A_{Ra-226}	A_{Th-232}	A_{K-40}	
1	Багануур, 2011	242.4	31.1	381.6	314.4
2	Багануур 2011 үнсээр хийсэн бетон	37.8	15.6	831.4	129
3	Багануур, 2013	1257.6	27.3	420.9	1328.2
4	Багануур 2013 үнсээр хийсэн бетон	119.2	13.1	697.9	195.7

Барилгын материал болон хэрэглэгдэж байгаа бүтээгдэхүүний цацраг идэвхижлийн Радийн эквивалент нь 370 Бк/кг-аас бага байх шаардлагатай байдаг Хэдийгээр 2013 онд авсан Багануурын үнсний цацраг

идэвхижил нь 2011 онд авсныхаас 4 дахин их байгаа боловч энэ үнсийг ашиглаж хийсэн бетоны цацраг идэвхижил нь стандартын үзүүлэлтийг бүрэн хангаж байна. Учир нь бетон үйлдвэрлэхийн тулд



нийт түүхий эдийн жингийн 75-80%-д нь цацраг идэвхижил багатай хайрга юмуу

дайргыг нэмдгээс эцсийн бүтээгдэхүүний цацраг идэвхижил буурдаг байна.

ДУГНЭЛТ

Дулааны цахилгаан станцын үнс нь дэлхий нийтээр өргөн ашиглаж буй үнэт түүхий эд юм. Цахилгаан станцын шүүлтүүрийн нарийн ширхэглэлтэй үнс нь хэрэглээний чанараараа ашиглахад хамгийн тохиромжтой. Цахилгаан станцын үнсний хими, эрдэс зүйн найрлага болон гадаад хэлбэрнь ашиглах салбар, хэрэглээний шинж чанарыг тодорхойлно. Улаанбаатарын 4-р цахилгаан станцын шүүлтүүрийн нарийн

ширхэглэлтэй Багануурын үнсийг ашиглан фаужасайт төрлийн цеолит нийлэгжүүлэх боломжтой.

Багануурын үнс нь геополимер төрлийн материал гарган авахад хамгийн тохиромжтой байна. Гарган авсан материалын бат бөх болон цацрагийн үзүүлэлт нь хэрэглээний шаардлагыг хангаж байна.

ТАЛАРХАЛ

Монгол орны дулааны цахилгаан станцын үнсний нарийвчилсан судалгаа үнсээр төрөл бүрийн бүтээгдэхүүн хий боломжийг тогтоох эрдэм шинжилгээний ажил нь Шинжлэх ухаан технологийн төсөл,

сэдэвт ажил, ШУА-ийн судалгааны грант, Залуу докторын судалгааны грантаар санхүүжигдсаныг талархан тэмдэглэж байна.

Ашигласан бүтээлийн жагсаалт

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.Bhattacharya, 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 geopological 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, BurjDubai: 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. Worldof 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.Къзькбайрак, A.Ersoy-Merizboyu, 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.Camxes, 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.Skvbra, T.Jnlek, L.Kopecká, 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 нүнс, Монгол улсын стандарт
 41. MNS 974-2008, Портланд цемент, техникийн шаардлага, Монгол улсын стандарт
 42. J.Temuujin, 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)
 43. J.Temuujin, 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
 44. J.Temuujin, W.Rickard, A.Van Riessen, 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
 45. J.Temuujin, W.Rickard, A.van Riessen, Characterisation of various fly ashes for preparation of Geopolymers with advanced applications, Advanced Powder Technology, 24, 495-498, (2013)
 46. J.Temuujina, A.Minjigmaa, Ts.Zolzayaa, B.Davaabal, Preparation and characterisation of geopolymer type paste and concrete from high calcium Mongolian fly ashes, Transactions of the Indian Ceramic Society, (submitted for publications, 2013)
 47. J.Temuujin, A.Minjigmaa, B.Davaabal, U.Bayarzul, Ankhtuya, K.J.D.MacKenzie, Sustainable utilization of fly ashes for alkali activated materials preparation, (submitted for publication, 2013)