

**switchasia**  
GRANTS PROGRAMME



SUSTAINABLE  
PLASTIC  
RECYCLING  
IN MONGOLIA



МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ  
ФИЗИК, ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

---

## ХУВАНЦАР ХОГ ХАЯГДЛЫГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛСАН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ДҮН ШИНЖИЛГЭЭ, ТУРШИЛТ

---

СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ХУРААНГУЙ ТАЙЛАН  
ЦУВРАЛ 3.

Улаанбаатар 2023 он

Энэхүү судалгааны тайланг Европын Холбооны санхүүжилттэй “Монгол улс дахь хуванцар хог хаягдлын дахин боловсруулалтын тогтвортой байдлыг хангах төсөл”-ийн хүрээнд Монголын байгаль орчин аюулгүй байдлын төв ТББ-ын захиалгаар Физик Технологийн Хүрээлэнгийн судлаач, доктор Л.Сарантуяа боловсруулав. Энэхүү тайланд орсон агуулга нь Европын Холбооны байр суурийг илэрхийлээгүй болно.

Гүйцэтгэгч: Л.Сарантуяа, Доктор

Захиалагч: МОНГОЛЫН БАЙГАЛЬ ОРЧИН  
АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ТӨВ ТББ

## I. ТӨСӨЛ ГҮЙЦЭТГЭХ ҮНДЭСЛЭЛ, ШААРДЛАГА

Хуванцар нь бидний өдөр тутмын амьдралд хамгийн өргөн хэрэглэгддэг материалуудын нэг юм. Өнгөрсөнтэй харьцуулахад, технологийн хөгжил болон хотжилтын хэт хурдацтай өсөлтөөс шалтгаалан хуванцар хог хаягдал асар их хэмжээнд хүрч байна. Хуванцар бүтээгдэхүүн нь хүн төрөлхтний өдөр тутмын амьдралд хэрэглэгдэх болсноор хаягдлын хэмжээ өдрөөс өдөрт өсөн нэмэгдсээр байгаа билээ. Тэдгээр хуванцруудын ихэнх хэсгийг полиэтилентерефталат (polyethylene terephthalate PET) нэгдлийг ашиглаж хийсэн усны сав, хоолны сав болон нэг удаагийн хэрэглээтэй уут зэрэг эзэлж байна. Харин эдгээр нэг удаагийн хуванцар савнаас үүсэх хаягдал нь хүрээлэн буй орчинд маш их хэмжээгээр хаягддаг ба тэдгээр нь удаан задралд ордог буюу хэдэн арван жилээс хэдэн зуун жил огт задрахгүй үлддэг зэргээс болж сүүлийн жилүүдэд хамгийн тулгамдсан хүрээлэн буй орчны асуудлуудын нэг болоод байна. Мөн эдгээр хаягдлуудын ихэнх хувь нь хогийн цэг рүү явдаг ба тэдгээр хог хаягдлын хэмжээ нь хурдацтай хөгжил болон үйлдвэрлэлийн хэмжээнээс шалтгаалж огт буурахгүй байна.

Хуванцар хог хаягдлын асуудлыг шийдэх 4 үндсэн арга [1] байдаг.

Үүнд:

1. Булах;
2. Шатаах;
3. Био задрал;
4. Дахин боловсруулах; зэрэг аргууд ордог.

Ихэнхдээ хуванцар хог хаягдлыг газар булах эсвэл шатаах аргуудыг сонгодог. Гэвч газарт булах нь маш том хэмжээний талбай шаардагдахаас гадна хөрсөнд нэвчих зэргээс хамаарч байгаль орчинд хортой нөлөө үзүүлдэг арга гэж тооцогдоод байна. Хуванцар хаягдлууд нь бусад ахуйн хэрэглээний хог хаягдлуудтай нэгдэж химийн хортой бодис үүсгэх, хөрсөнд нэвчиж гүний усыг бохирдуулдаг. Хуванцар хог хаягдал нь зөвхөн гүний усыг бохирдуулаад зогсохгүй агаарын бохирдолд ч нөлөөлдөг. Хуванцар хаягдлыг усанд хаясан тохиолдолд жижиг хэсэгт задардаг ба тэдгээрийг далайн амьтад идсэнээр хордох, үхэх цаашлаад тухайн төрөл зүйл мөхөх аюулд ч хүргэдэг. Харин хоёр дахь арга болох хуванцрыг шатаах нь мөн адил хүрээлэн буй орчин болон хүний эрүүл мэндэд маш аюултай, хортой хийг ялгаруулдаг. Харин био задрал болгох арга нь харьцангуй хэрэглэж болох, хор нөлөө багатай арга боловч хуванцар хаягдлын хэмжээ нэмэгдэхийн хэрээр урт хугацаа зарцуулах ба хөрсийг бохирдуулах зэрэг сул талуудтай.

Тодорхой системчлэгдээгүй хог хаягдлын менежменттэй, хотожсон бүс нутгийн хувьд хуванцар хаягдал нь томоохон асуудал үүсгэж байгаа учраас дээрх аргуудтай харьцуулахад бага энерги зарцуулдаг, байгаль орчинд ээлтэй арга нь дахин боловсруулах арга [2] юм.

Бидний өдөр тутмын амьдралд ахуйн хэрэглээний хатуу хог хаягдлын ихэнх хэсгийг хуванцар материалууд эзэлж байгаа учраас түүнийг дахин боловсруулах судалгаа эрчимтэй хийгдэж эхлээд байна. Түүний нэг жишээ нь хаягдал хуванцрыг ашиглан бетон блок гарган авах судалгаа юм. Дахин боловсруулсан хуванцар хаягдлыг бетон дээр нэмэхэд ямар нэгэн шинж чанарт нь өөрчлөлт үзүүлдэггүйгээрээ давуу талтай. Хаягдал материалуудыг дүүргэгч болон холбогчоор ашиглах нь олон давуу талтай боловч бүх хуванцар хаягдлууд тохиромжтой байдаггүй. Тиймээс инженерүүд хуванцрыг хольц хэлбэрээр ашиглах нь элбэг.

Хэд хэдэн төрлийн хуванцар хаягдлыг бетон блок үйлдвэрлэлийн салбарт дүүргэгчээр ашиглаж болдог. Expanded polystyrene (EPS) дээр суурилсан хаягдлууд, өндөр нягттай полиэтилен (high-density polyethylene HDPE), полиэтилентерефталат (polyethylene terephthalate PET)-аар хийгдсэн хаягдал савнууд, полипропилен болон полиэтилен уутнууд нь бетон үйлдвэрлэлд өргөнөөр ашиглагддаг. Бага нягттай полиэтилен (low-density polyethylene LDPE) нь химийн урвалд тэсвэртэй бөгөөд илүү өргөн хүрээний хэрэглээтэй. LDPE нь хайлах температур багатай, шатамхай, дулаанд тэсвэргүй боловч маш сайн холбогч шинж чанартай байдаг.

Хуванцар хог хаягдлыг дахин боловсруулан хийсэн замын хучилтын блок нь бүрэн цутгаж хийсэн хучилтаас илүү үзэмжтэй харагддаг байна. Мөн эвдрэл болон ус бетон дээр хөлдөж эзлэхүүнээ тэлэх үед үүсэх гэмтлийг бууруулдаг. Хуванцрыг бетонд нэмэх үед уян харимхайн хүчний шинж чанарыг багасгадаг боловч цэцэрлэгт хүрээлэн болон явган хүний замын хучилтын блок хийхэд зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байдаг. Хамгийн гол давуу тал нь тухайн материалыг ямар ч хэлбэр, хэмжээ, болон нягттай гаргаж авч болдог. Энэ материалаар хийгдсэн блок нь хэр урт хугацаанд ашиглагдах нь тухайн материалыг бүрдүүлж байгаа нэгдлүүд болон материалын орцоос шууд хамаарна.

Монгол улс жилд дунджаар 330 тэрбум орчим төгрөгийг зөвхөн хүнсний хуванцар, сав баглаа боодол, ус ундаа, жүүс, шар айрагны савны үйлдвэрлэлд зарцуулж байна. Нийтдээ 20000 орчим тонн хуванцар савны хог хаягдал үүсдэгээс дөнгөж 30% буюу 6000 орчим тонныг цуглуулж дахин боловсруулж экспортод бэлтгэн гаргаж байна. Цуглуулах савны хэмжээ ийм байгаа ч өнөөдрийг хүртэл технологид тулгуурласан дахин боловсруулах үйлдвэрийн түүхий эд татан төвлөрүүлэх дэд бүтэц байхгүй, зах зээлийн энэ орон зай хоосон хэвээр байна.

Дэлхий нийтийн экосистемд хандах чиг хандлага, түүхий эдийн нөөцийн хомсдол, хэрэглэгч ногоон технологийг дэмжих болсон зэргээс шалтгаалан Монгол улс

дахь шингэн хүнс үйлдвэрлэгчдийн сонирхол ч мөн адил өөрсдийн үйлдвэрлэсэн бүтээгдэхүүний хуванцар болон бусад төрлийн сав баглаа боодлыг эргүүлэн татах, дахин ашиглах чиглэл рүү шилжээд байгаа юм. Хүлэмжийн хийг багасгах, хог хаягдлыг дахин боловсруулах чиглэлээр үйл ажиллагаа явуулж байгаа үйлдвэрүүдийн түүхий эдийг цуглуулах найдвартай дэд бүтцийг бий болгох хэрэгтэй байна.

Улаанбаатар хотод гэр хорооллын тоосжилт ихтэй, амьдрах орчин хангалтгүй байгаа гудамж, зам талбайг тухайн орон нутгаас цугларсан хуванцар түүхий эдээр үйлдвэрлэсэн бүтээгдэхүүнээр орчны тохижилтыг хийж гүйцэтгэх нь эдийн засгийн өндөр ач холбогдолтой ажил юм.

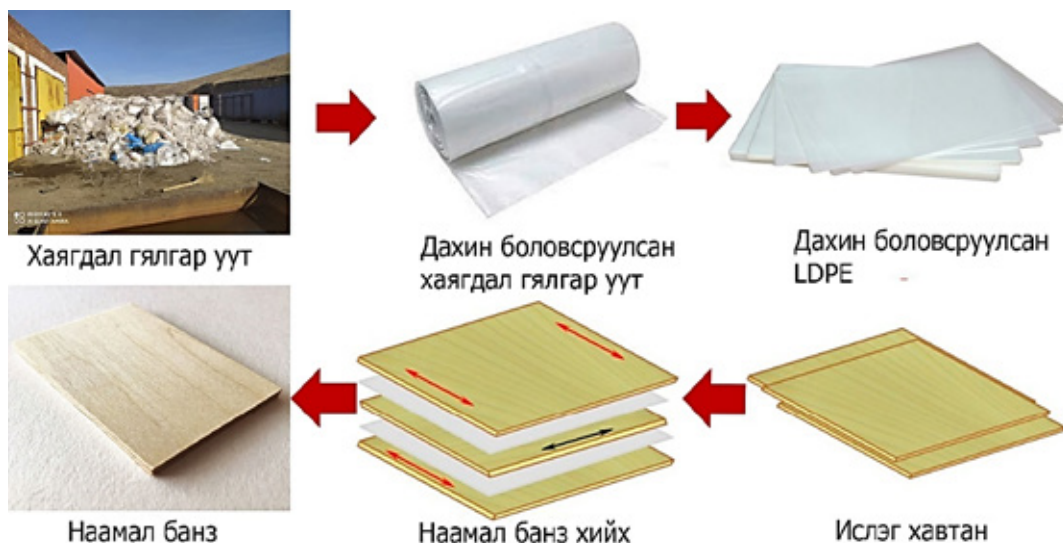
## II. ХАЯГДАЛ ХУВАНЦРЫГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛАН ҮЙЛДВЭРЛЭЛД НЭВТРҮҮЛЭХ БОЛОМЖТОЙ БҮТЭЭГДЭХҮҮН ГАРГАН АВАХ ТЕХНОЛОГИЙН ТҮРШИЛТ

### 2.1 Хаягдал хуванцар ашиглан наамал банз гарган авсан технологи, туршилт

Наамал банз гарган авах энэхүү судалгаанд PET (polyethylene), PP (polypropylene), PVC (polyvinyl chloride), PE (polystyrene)-ийн холимог буюу нийт 500 гр хуванцар болон өргөн хэрэглэгддэг модон хавтанг түүхий эд болгон ашигласан.

Наамал банзыг бэлтгэхдээ эхлээд хаягдал хуванцрыг сайтар цэвэрлээд, хатааж жижиглэн буталсан. Хуванцар материалуудыг жинлэж авсаны дараагаар модон хавтангийн завсар хооронд хийж доорх Хүснэгт 1-д харуулсан параметруудийн дагуу боловсруулалтад оруулсан. Ингэхдээ хуванцрын орцыг 1 м<sup>2</sup> талбайд 50-200 гр байхаар сонгон авсан. Мөн бид дулааны шахалтын температурыг 120-150°C-ын мужид байхаар сонгож авсан. Уг температурын утга нь тухайн хуванцар нэгдлүүд задралд орохгүй зөвхөн хайлах процесс явагдах үеийн температурын утга юм. Шахах хугацааг аль болох бага байхаар сонгож авсан нь бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх хугацаа богино байх нь үйлдвэрлэгчдэд ашигтай гэж үзсэн.

**Зураг 1. Наамал банз гарган авах туршилтын схем.**



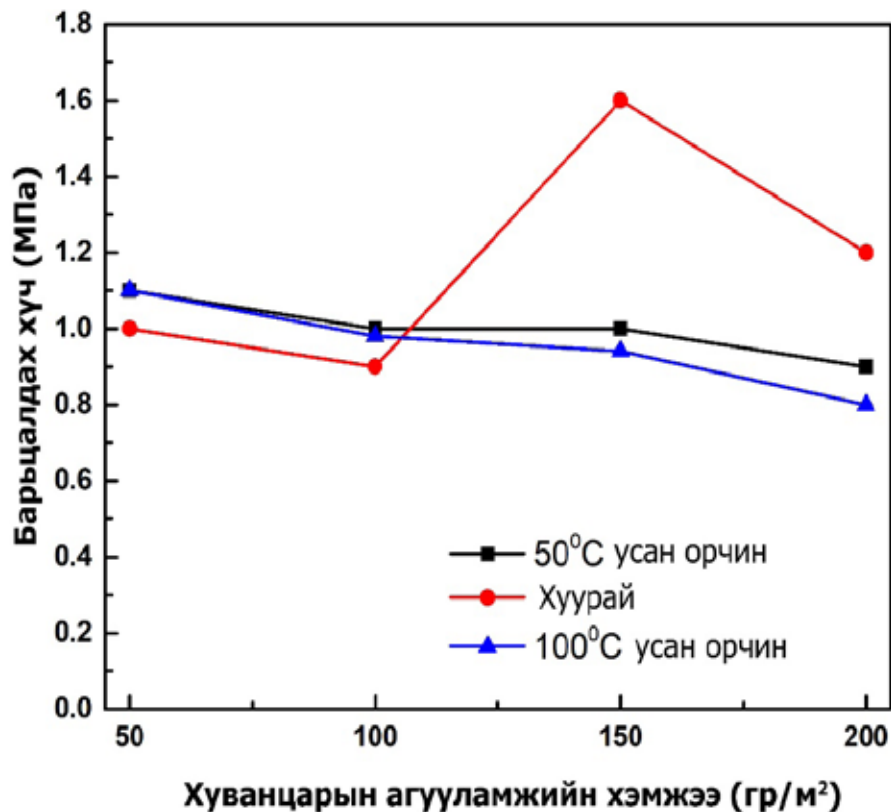
**Хүснэгт 1. Дулааны шахалтын аргад ашигласан параметрууд.**

№	Хаягдал хуванцрын орц хэмжээ (гр/м <sup>2</sup> )	Дулааны шахалтын температур (ОС)	Дулааны шахалт хийх хугацаа (мин)
1	50	120-150	4-7
2	100	120-150	4-7
3	150	120-150	4-7
4	200	120-150	4-7

Гаргаж авсан наамал банзны бат бөхийн шинж чанарыг тодорхойлох шахалтын хүчийг хэмжсэн үр дүнг Зураг 2-оос харахад энгийн барьцалдуулагчийн оронд хуванцар барьцалдуулагч ашигласанаар хуурай наамал банзны бат бөх шинж чанар тухайн материал дахь хуванцар болон энгийн барьцалдуулагчийн хэмжээ ихсэх тусам өсөх-буурах-өсөх зэрэг динамик процесс явагдаж байсан. Харин тухайн наамал банзыг норгох үед бат бөх шинж чанар нь дээр дурдсан динамик процессоос эсрэг байсан. Мөн тухайн материалыг усанд хийж 50°C болон 100°C-д халаах үед тэдгээрийн бат бөх шинж чанар багасч байсан ба хуванцар материалын хэмжээ их байх үед минимум утгатай байсан. Үүнээс харахад барьцалдуулагчаар орж байгаа хуванцрын хэмжээ бага байх тусам тухайн материалын усан орчин дахь бат бөх шинж чанар нь их байгаа бол харин эсрэгээрээ хуурай үед хуванцрын хэмжээ ихсэх тусам илүү сайн бат бөх шинж чанартай байна. Гэсэн хэдий ч хуванцар материалын хэмжээ тодорхой утгаас ихэссэн үед бат бөхийн хязгаарын хэмжээ буурч байсан. Үүний учир нь тухайн хуванцар материалууд нь уян харимхайн хүч маш багатай байдагтай холбоотой гэж үзэж байгаа бөгөөд тухайн материал дээрх хуванцар үеийн зузаан хэт ихэссэнтэй холбоотой. Мөн түүнчлэн тухайн материалыг боловсруулах үед хэт өндөр даралтаар шахах үед бат бөх шинж чанар нь буурч байсан. Гарган авсан материалуудад агуулагдаж байгаа чийг нь өндөр температурт ууршиж бат бөх шинж чанарыг бууруулах стресс үүсгэж байна гэж үзлээ. Цаашлаад хуванцар үеийн зузаан ихсэх үед чийгийн хэмжээ нэмэгдэж стрессийг нэмэгдүүлдэг ба ингэснээр бат бөх шинж чанар мөн адил буурч байна.

Хуурай орчинд байгаа бүтээгдэхүүний хувьд хаягдал хуванцрын хэмжээг 150 гр/м<sup>2</sup> байхаар сонгож авахад барьцалдуулах хүчний хэмжээ хамгийн өндөр байсан ба 50°C болон 100°C-ийн усан орчинд үзүүлж байгаа барьцалдуулах хүч нь стандартыг хангахуйц хэмжээнд байна. Тиймээс 150 гр·м<sup>-2</sup> хуванцрын агууламжийг үйлдвэрт ашиглах хамгийн тохиромжтой параметр гэж үзэж байна.

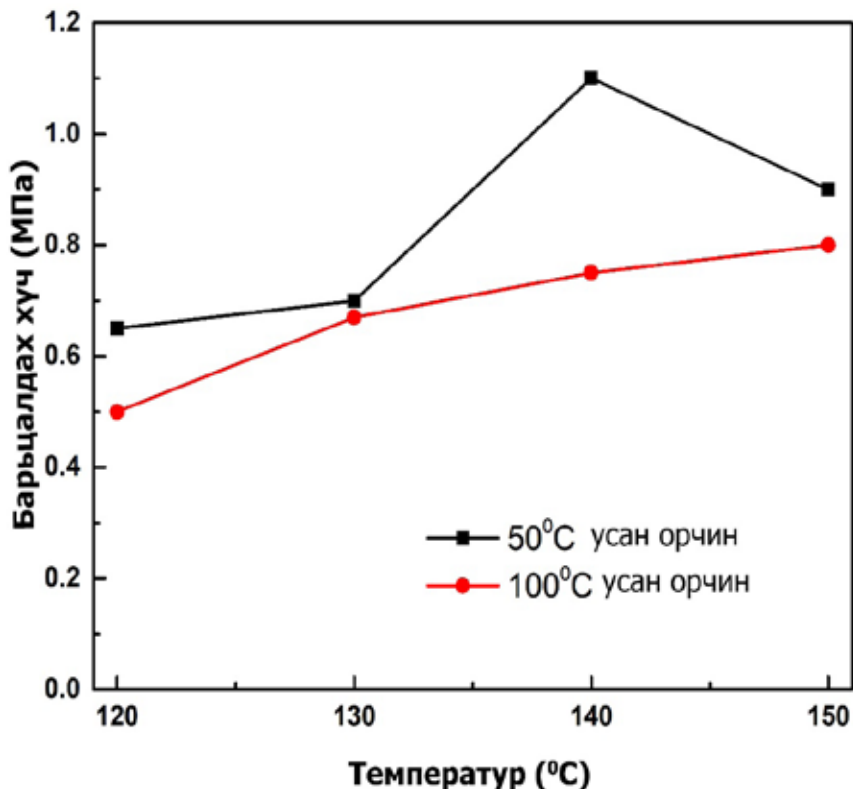
**Зураг 2. Наамал банзны барьцалдах хүчийг тодорхойлсон үр дүн.**



Гарган авсан бүтээгдэхүүний барьцалдах хүчийг тодорхойлсоны дараа дулааны шахалтын температур болон барьцалдах хүчний хамаарлыг хэмжилтээр тодорхойлсон үр дүнг Зураг 3-т харууллаа. Энэхүү үр дүнгээс харахад дулааны шахалтын температур нэмэгдэх тусам барьцалдах хүч ихэсч байгаад тодорхой нэг түвшинд хүрээд буурах хандлагатай байна. 50°C-ын усан орчинд 140°C температурт шахсан наамал банзны барьцалдах хүч хамгийн их байсан бол усны температур 100°C болох үед 150°C-т шахсан материал хамгийн бат бөх байв. Үүнээс харахад өндөр температурт тухайн материалыг шахах үед илүү сайн хайлж илүү жигд тархсанаар наамал банзны барьцалдах хүчийг илүү сайжруулж байна гэж үзлээ. Гэсэн хэдий ч дулааны шахалтын температурыг хэт ихээр нэмэгдүүлсэн тохиолдолд хуванцруудыг дулааны задралд оруулж барьцалдуулах хүчийг бууруулах эрсдэлтэй гэж үзэж байна. 100°C хүртэл халаах үед 140°C болон 150°C-д шахалт хийсэн наамал банзны барьцалдуулах хүчний хооронд бага зэрэг ялгаа байгаа боловч аль аль нь стандарт утгад хүрч байна. Боловсруулалтын үед зарцуулагдах энергиэс хамаарч 140°C-д шахалт хийх нь эдийн засгийн хувьд илүү үр ашигтай харагдаж байна.

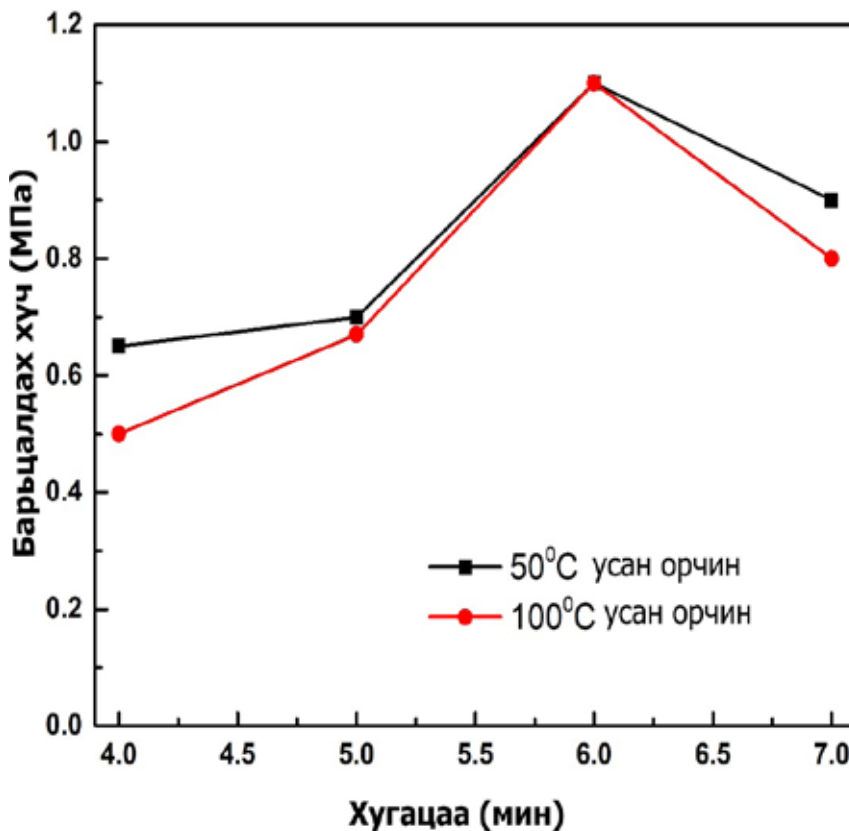


**Зураг 3. Шахалтын температур болон барьцалдуулах хүчний хамаарал.**



Үүний дараа бид дулааны шахалтын хугацаа нь барьцалдуулах хүчинд хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойлсон. Тухайн хуванцруудын хувьд илүү удаан хугацаагаар өндөр температурт шахсанаар хайлж буй хуванцрын хэмжээг ихэсгэж илүү жигд тархах боломжийг олгодог учир барьцалдуулах хүч өсч байна. Эндээс 4-7 минутын турш дулааны шахалт хийсэн наамал банзыг 50°C болон 100°C хүртэл халаах үед 6 минут шахсан материалын барьцалдах хүчний хэмжээ хамгийн өндөр байсан бол харин 6-аас дээш минут шахах үед барьцалдах хүч буурч байсан. 140°C-д 6 минутын турш дулаанаар шахах үед тухайн хуванцрууд бүрэн хайлж байгаа боловч үүнээс илүү хугацаагаар шахах үед гадаргуу дээрх хуванцрын зузаан болон наалдамхай шинж чанар нь багасч барьцалдуулах хүч буурсан. Үүнээс гадна хэт удаан хугацаагаар хуванцрыг дулааны шахалтаар шахах нь наамал банзны барьцалдуулах хүчийг бууруулах шалтгаан болж байна. Тийм учраас 6 минутын турш дулааны шахалт хийх нь хамгийн тохиромжтой нөхцөл гэж тодорхойллоо.

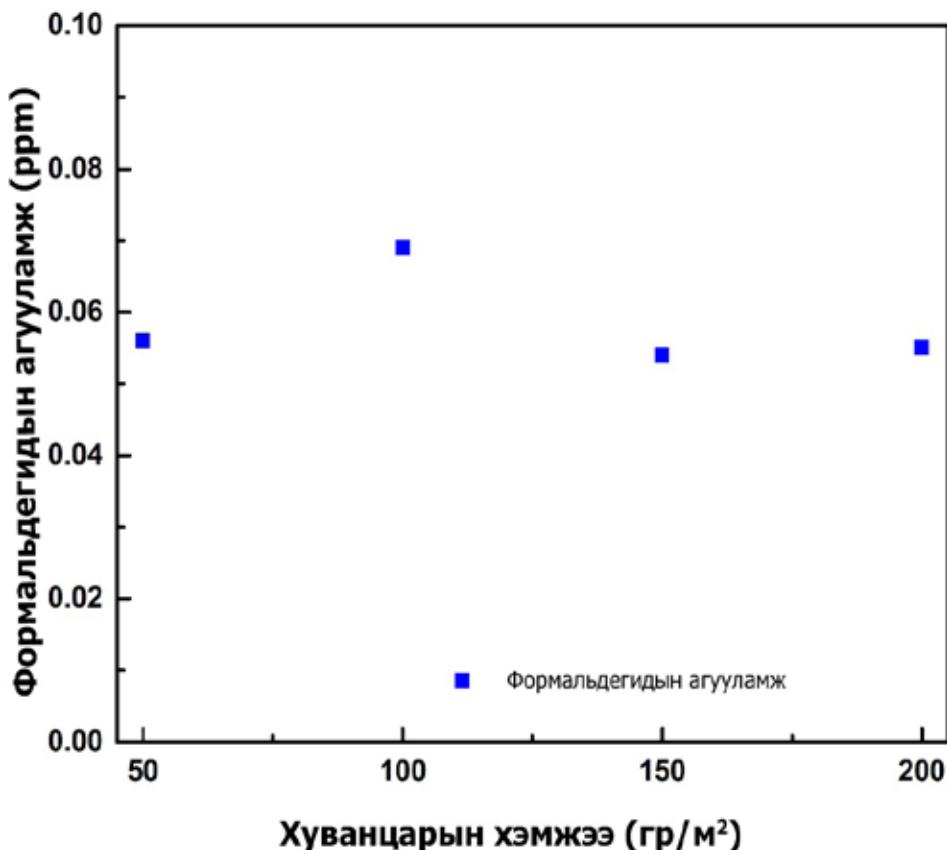
**Зураг 4. Хугацаа болон барьцалдуулах хүчний хамаарал.**



Дахин боловсруулагдсан хуванцараар хийсэн наамал банзны барьцалдах хүч нь стандартын хэмжээнд хүрч байна. Наамал банзыг гаргаж авах технологи болон хуванцрын хэмжээ, дулааны шахалтын хугацаа болон температурын нөлөөллөөс хамаарч тухайн материалын шинж чанар өөрчлөгдөж байна. Судалгаанаас харахад 150гр/м<sup>2</sup> хуванцар материалыг 140°C-д дулааны шахалтаар 6 минутын турш шахах нь хамгийн оптимал нөхцөл болохыг тодорхойллоо.

Үүний дараа бид Метанал хуванцар (Формальдегид)-ын хэмжээ бүтээгдэхүүнд ямар хэмжээтэй байгааг тодорхойлсон. Учир нь наамал банз нь ахуйн хэрэгцээнд өргөн хэрэглэгдэх учир хүний биед сөрөг нөлөөгүй байх шаардлагатай. Иймээс тухайн бүтээгдэхүүнд агуулагдах формальдегидын хэмжээг заавал тодорхойлох шаардлага үүссэн. Доорх хүснэгтэд туршилтаар гарган авсан бүтээгдэхүүнд агуулагдах формальдегидын хэмжээг тодорхойлсон үр дүнг харууллаа.

**Зураг 5. Материалд агуулагдаж байгаа хуванцрын хэмжээ болон формальдегидын агууламж.**

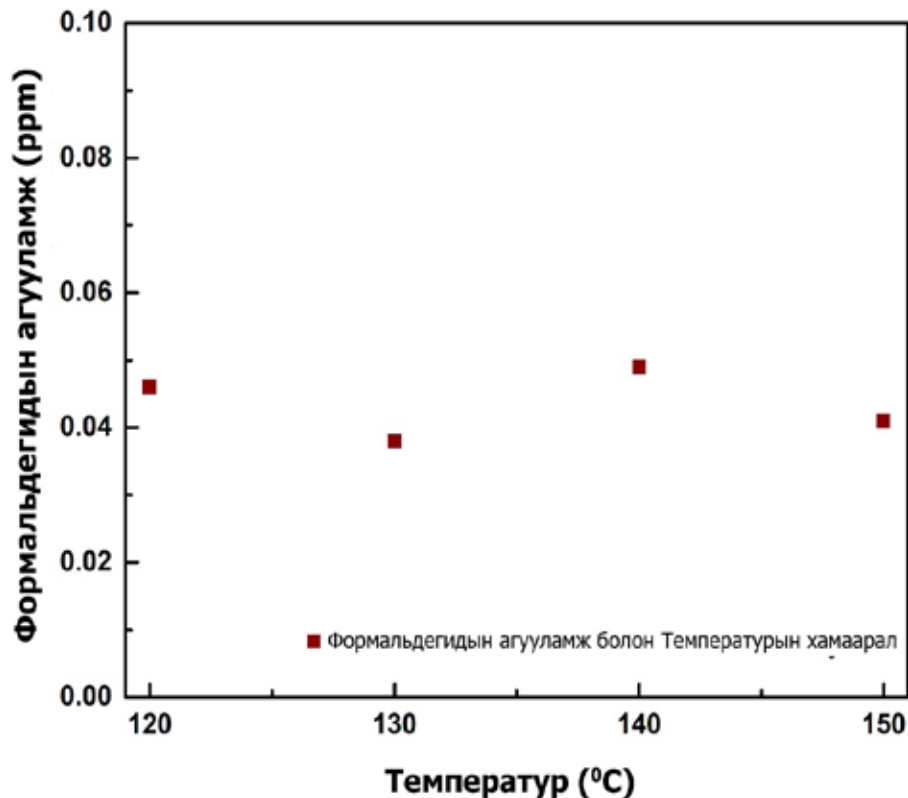


Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад хаягдал хуванцрын хэмжээ 150 гр/м<sup>2</sup> байх үед формальдегидын хэмжээ хамгийн бага байсан. Бусад тохиолдолд ч мөн адил маш бага хэмжээтэй буюу ойролцоо байгаа нь хүснэгтээс харагдаж байна. Иймд хуванцрын орцоос шалтгаалан формальдегидын хэмжээ нэмэгдэхгүй байгаа нь харагдлаа.

**Хүснэгт 2. Хаягдал хуванцрын хэмжээ болон Формальдегидын агууламжийн хамаарал.**

Хаягдал хуванцрын хэмжээ (гр/м <sup>2</sup> )	Формальдегидын агууламж (ppm)
50	0.056
100	0.069
150	0.054
200	0.055

**Зураг 6. Температур болон формальдегидын агууламжийн хамаарал.**



Наамал банзыг бэлтгэх температурын утга болон формальдегидын агууламжийн хамаарлыг Зураг 6-д үзүүлээ. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад 130°C температурын утгад хамгийн бага формальдегидын агууламжтай байсан. Мөн дулааны боловсруулалтад оруулахаас өмнөх үеийн формальдегидын агуулгыг тодорхойлсон үр дүнтэй харьцуулахад багасч байгаа үр дүн гарсан нь модны бүтцээс шалтгаалан формальдегидын хэмжээ буурах магадлалтай гэж үзлээ. Хэмжилтийн үр дүнгийн тоон утгуудыг Хүснэгт 3-д харуулав.

**Хүснэгт 3. Температур болон Формальдегидын агууламжийн хамаарал.**

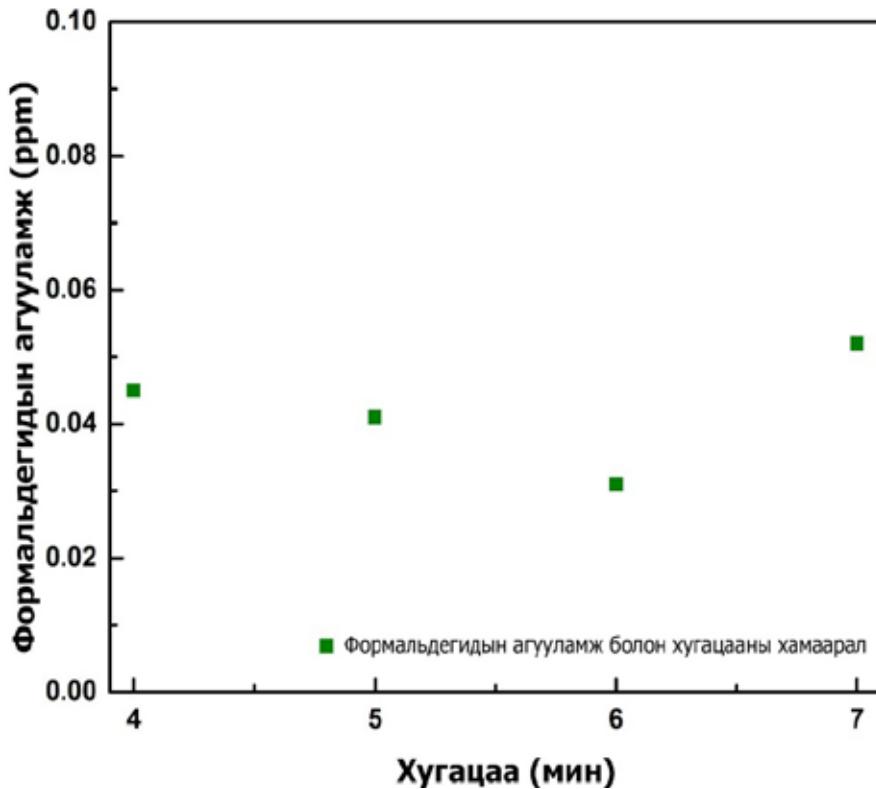
Температур (°C)	Формальдегидын агууламж (ppm)
120	0.046
130	0.038
140	0.049
150	0.041

Үүний дараа бид наамал банзыг шахах хугацаа болон формальдегидын агууламжийн хамаарлыг тодорхойлсон. Хэмжилтийн үр дүнг Зураг 7 болон Хүснэгт 4-д харууллаа.

**Хүснэгт 4. Хугацаа болон Формальдегидын агууламжийн хамаарал.**

Хугацаа (мин)	Формальдегидын агууламж (ppm)
4	0.045
5	0.041
6	0.031
7	0.052

**Зураг 7. Хугацаа болон формальдегидын агууламж.**



Судалгааны үр дүнгээс харахад гарган авсан бүтээгдэхүүнд агуулагдах формальдегидын хэмжээ ердийн худалдаанд байгаа наамал банзны стандарт утгатай харьцуулахад маш бага байгаа нь харагдаж байна. Олон улсад зөвшөөрөгдсөн стандарт утга нь  $E_0=0.07\text{ppm}$ ,  $E_1=0.14\text{ppm}$ ,  $E_2=0.38\text{ppm}$  байна. Учир нь үйлдвэрлэгчид банзыг

хийхдээ барьцалдуулагч нэгдэл болох формальдегид хэмээх химийн бодисыг маш их хэмжээгээр нэмдэг. Харин энэ бүтээгдэхүүний хувьд барьцалдуулагч материалаар хаягдал хуванцар ашигласанаар уг бүтээгдэхүүнд формальдегид маш бага агууламжтай байх бөгөөд цаашид ахуйн хэрэглээнд ашиглах бүрэн боломжтойг харуулж байна. .

## **6.2 Хаягдал хуванцар ашиглан хайлуулах аргаар явган хүний замын хавтан гарган авах туршилт**

Явган хүний замын хавтан гарган авах энэхүү туршилтад бид элс болон HDPE хуванцар хаягдлыг ашигласан. Худалдаанд байгаа барилгын элсийг HDPE хуванцартай жингийн өөр өөр харьцаагаар холих замаар дээжийг гарган авсан. Туршилтад сонгон авсан хуванцар болон элсний харьцааг Хүснэгт 5-д харуулав.

### **Хүснэгт 5. Элс болон HDPE холимогийн харьцаа**

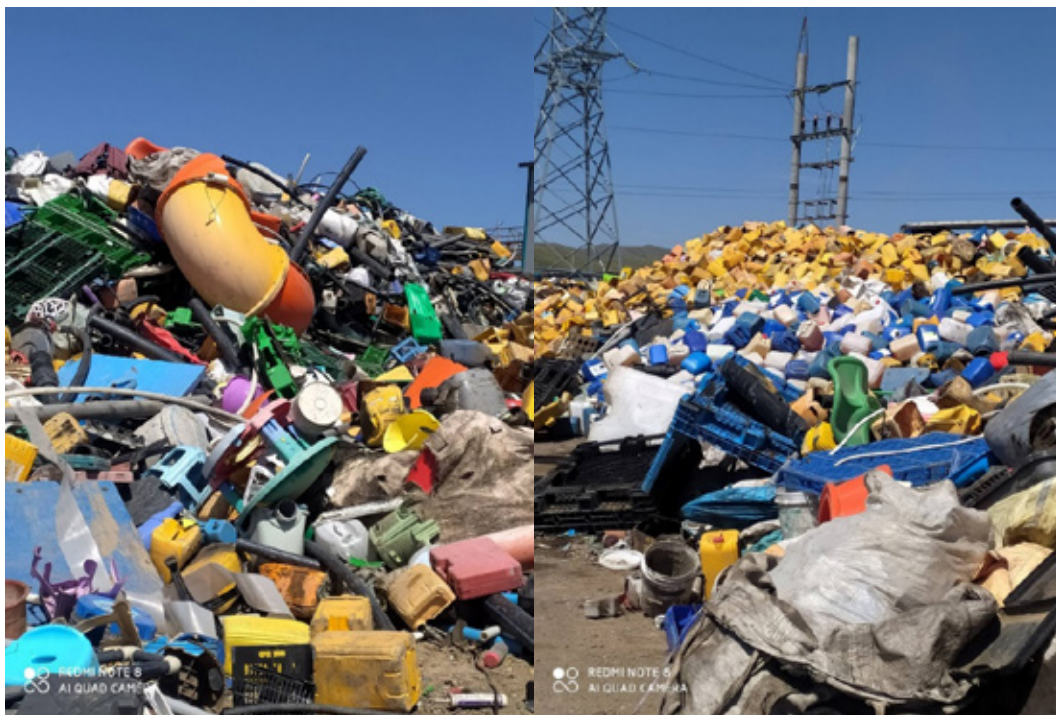
<b>HDPE-Элс харьцаа</b>	<b>1:1</b>	<b>1:1.2</b>	<b>1:1.5</b>	<b>1:1.8</b>	<b>1:2</b>	<b>1:3</b>	<b>1:4</b>
HDPE (гр)	100	90	80	70	60	50	40
Элс (гр)	100	110	120	130	140	150	160
Нийт (гр)	200	200	200	200	200	200	200

Явган хүний замын хавтан гарган авах туршилтыг дараах 4 үе шаттайгаар явуулсан.

1. Хаягдал хуванцрыг цуглуулах, ангилах, жижиглэх
2. 2 фазыг халааж хайлуулан холих\
3. Шахах
4. Хөргөх

Эхлээд бид HDPE хуванцрыг хогийн цэг дээрээс цуглуулсан (Зураг 8). Үүний дараа хаягдал HDPE-д агуулагдах бохирдлыг цэвэрлэн хатаасан. Хатаасан хуванцрыг жижиглэн буталсан.

**Зураг 8. Туршилтад ашигласан улаан чулуутын хогийн цэг дээрх HDPE хуванцар.**



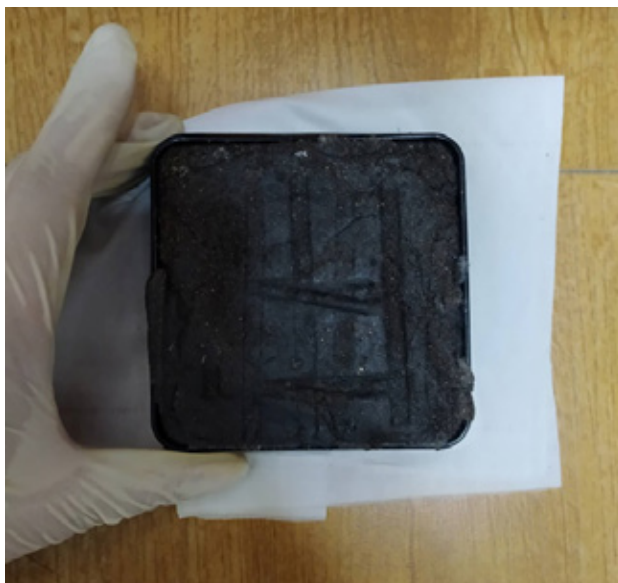
Жижиглэсэн HDPE хуванцрыг соронзон хутгуур дээр  $130^{\circ}\text{C}$  температурт хайлуулсан. Холимогийг бэлтгэхдээ элсийг урьдчилаад хуванцартай ижил температурт өндөр температурын шатаах зууханд халаан нэгэн төрлийн болтол хутгана. Зураг 9-д туршилтын явцыг үзүүлээ.

### Зураг 9. Туршилтын явц



Нэгэн төрлийн болтол хутгасан холимогийг металл хэвэнд хийж, шахан тасалгааны температурт хөргөн дээжийг гарган авсан (Зураг 10).

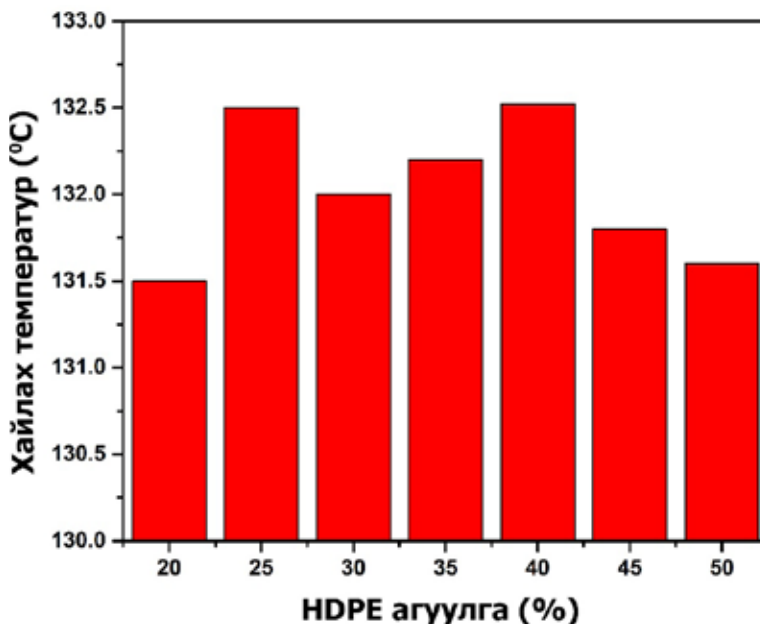
### Зураг 10. Гарган авсан дээж.



Бид холимогт агуулагдах хуванцрын агуулгаас хамаарч хайлах температур болон хугацааны хамаарал хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг тодорхойлох хэмжилтийг явуулсан. Хайлах температур, хугацаа болон хуванцрын агуулгын хамаарлыг Зураг 11-12-т харуулав.

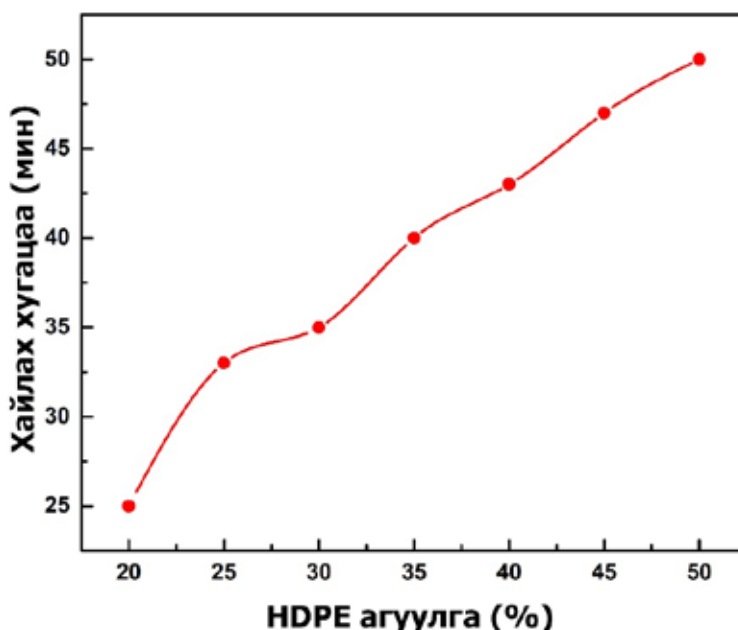


**Зураг 11. Холимогийн хайлах температур болон HDPE агуулгын хамаарал.**



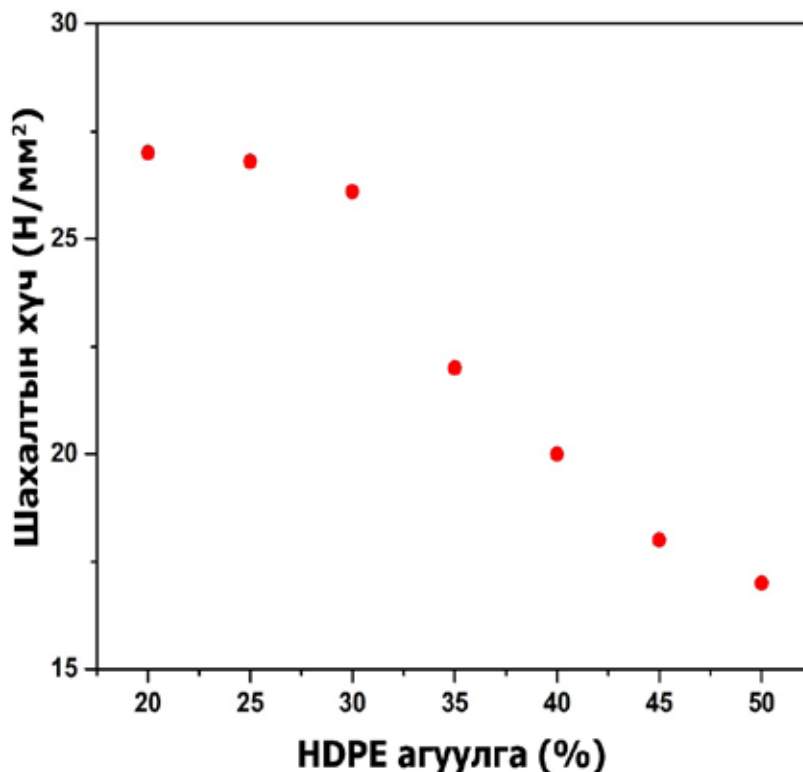
Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад хуванцрын агуулга нэмэгдэхэд хайлах температур өөрчлөгдөхгүй харин хайлах хугацаа удааширч байв. Хуванцрын агуулга багасах тусам хайлах хугацаа багассан.

**Зураг 12. Холимогийн хайлах температур болон хугацааны хамаарал.**



Бид гарган авсан дээжийн бат бэхийн шинж чанарыг тодорхойлов. Хэмжилтийн үр дүнг Зураг 13-т үзүүллээ. Үр дүнгээс хуванцрын агуулга нэмэгдэх тусам бат бэх шинж чанар буурч байгааг харж болно. Иймээс хаягдал хуванцрыг гарган авахдаа HDPE хуванцрын агуулгыг хамгийн ихдээ 20% байхаар сонгон авах нь зүйтэй гэж үзэж байна. Мөн цаашид хаягдал HDPE хуванцрыг ашиглан явган хүний хавтан хийх бүрэн боломжтой бөгөөд байгаль экологи, эдийн засгийн хувьд өндөр үр ашигтай юм.

**Зураг 13. Гарган авсан дээжийн бат бэх шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүн.**



**Хүснэгт 6. Гарган авсан дээжийн шахалтын хүч болон HDPE хуванцрын агуулгын хамаарал.**

№	HDPE агуулга (%)	Шахах хүч (Н/мм²)
1	20	27.1
2	25	26.8
3	30	26.1
4	35	22
5	40	20
6	45	18
7	50	17

нөхцөлд хэргэлж болохуйц, жигд тархсан байгааг харж болохоор байна. WPET ашигласан дээжийн шахах болон түлхэлцэх хүч нь харьцуулах дээжээс 0.4-1.9%-иар бага байсан боловч уян харимхай хүч нь бага зэрэг илүү байгаа нь туршилтын үр дүнгээс харагдаж байна.

Байгаль экологид үзүүлж байгаа үр дүнгээс харахад PET-ийн хаягдлыг ямар нэгэн боловсруулалтгүйгээр шууд бетонд ашиглах боломжтой байна. PET-ийг ашиглах нь зардал багатай ба бусад хэрэглээтэй яг адилаар шууд бүтээгдэхүүнд ашиглах бүрэн боломжтой байгаа нь харагдаж байна.

### 6.3 Хаягдал хуванцар агуулсан Бетон дээж гарган авах туршилт

**Дээж бэлтгэл:** Бетон зуурмагийг бэлтгэхийн өмнө хаягдал хуванцруудыг тусгай нунтаглагч төхөөрөмж ашиглан сайтар буталж нунтаглаж ойролцоогоор 1 мм хэмжээтэй болгож бэлтгэсэн. Үүний дараа туршилтад хэрэглэх элсийг шигшиж том хэмжээтэй хайрга, чулуу болон бусад бохирдлоос нь ялгасан. Хамгийн түрүүнд ус болон цементийн харьцааг 0.5 байхаар жигнэж авах ба үүний дараагаар цемент болон элс, нунтаг хуванцрын харьцааг (1:2:0, 1:1.6:0.4) байхаар Хүснэгт 7-т үзүүлсэн хэмжээгээр хольж зуурмагийг нэгэн жигд болгож бэлтгэв. Зуурмагийг сайтар хутгаж бэлдсэний дараагаар дээжийн хэвэнд хийж 7, 14 болон 28 хоног хатаасанаар хэмжилтэд бэлэн болно. Бүтээгдэхүүн гарган авах туршилтын горимыг Хүснэгт 7-т үзүүлээ.

**Зураг 14. Бетон дээж гарган авах туршилт.**

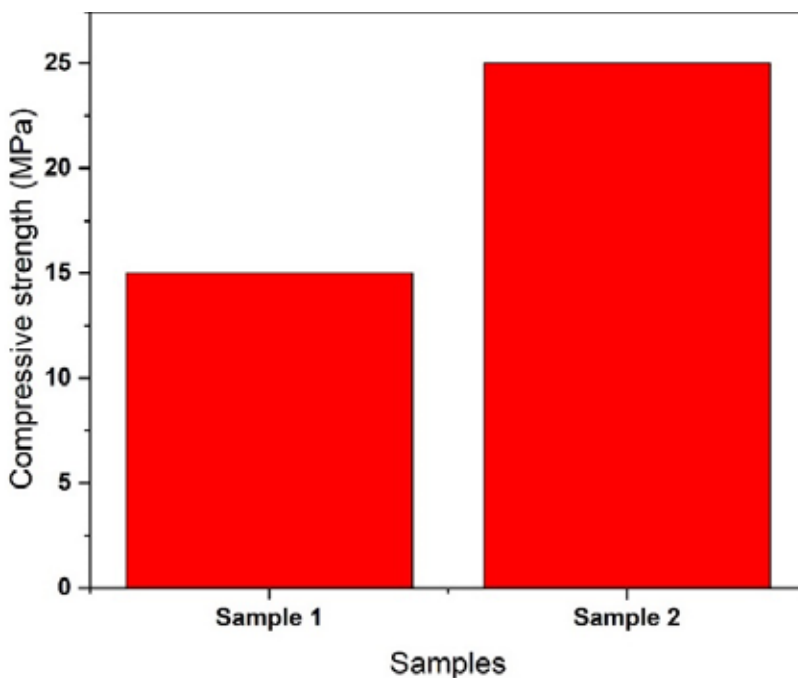


## Хүснэгт 7. Бетон дээж бэлтгэхэд орох цемент болон элс, хуванцрын хэмжээ.

	Цемент (грамм)	Элс (грамм)	Хуванцар (грамм)	Ус: Цементийн харьцаа
Дээж 1	250	500	0	0.5
Дээж 2	250	400	100	0.5

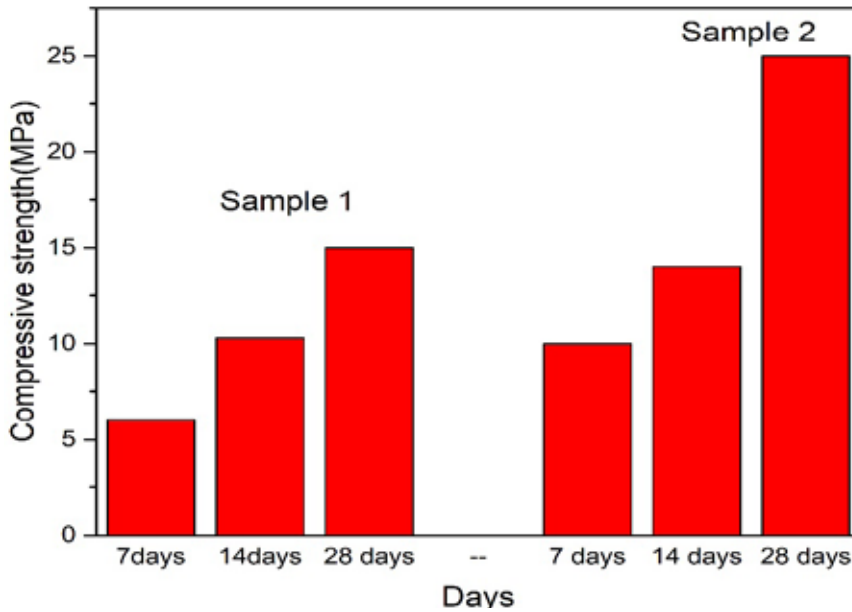
Дахин боловсруулсан хуванцраар элсийг орлуулахдаа (0%, 20%) байхаар бэлдсэн. Гарган авсан бүтээгдэхүүний бэт бэх шинж чанарыг хатаалтын 28 дахь хоногт тодорхойлсон хэмжилтийн үр дүнг Зураг 15-д үзүүлэв. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад хуванцрын хэмжээ 0% байхад шахалтын хүч нь 15МПа байсан бол хуванцрын хэмжээ 20% байхад шахалтын хүч 25Мпа болж өссөн байна. Мөн энд хуванцрын ширхэгийн хэмжээ маш чухал гэдэг нь туршилтын явцад харагдсан. Учир нь хуванцрын ширхэгийн хэмжээ том байх тусам барьцалдах хүч муу буюу бат бэх шинж буурч байсан.

**Зураг 15. Бетон дээжний бат бэх шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүн.**



Бетон блокийн шахалтын хүч нь хатаах өдөр ихсэх тусам нэмэгдэж байсан. Эндээс шахалтын хүч болон дахин боловсруулсан хуванцрын хооронд ямар нэгэн мэдэгдэхүйц холбоо хамаарал байхгүй байгааг харж болохоор байна. Шахалтын хүчийг гарган авсан дээжүүдийн хувьд 7, 14, 28 дахь өдрийн дараа тодорхойлсон үр дүнг Зураг 16-д үзүүлээ.

**Зураг 16. Бетон дээжийн бат бэхийн шинж чанар хатаалтын өдрөөс хамаарсан хамаарал.**



6.4 РЕТ хаягдал хуванцар ашиглан явган хүний замын хавтан гарган авах туршилт

Ашигласан материал: Дээж бутлагч, цемент, элс, РЕТ хуванцар, хайрга чулуу ус, дээжийн хэв.

**Зураг 17. Дээж бутлагч, цемент, хайрга, РЕТ элс, нунтаг хуванцар, дээжийн хэв.**





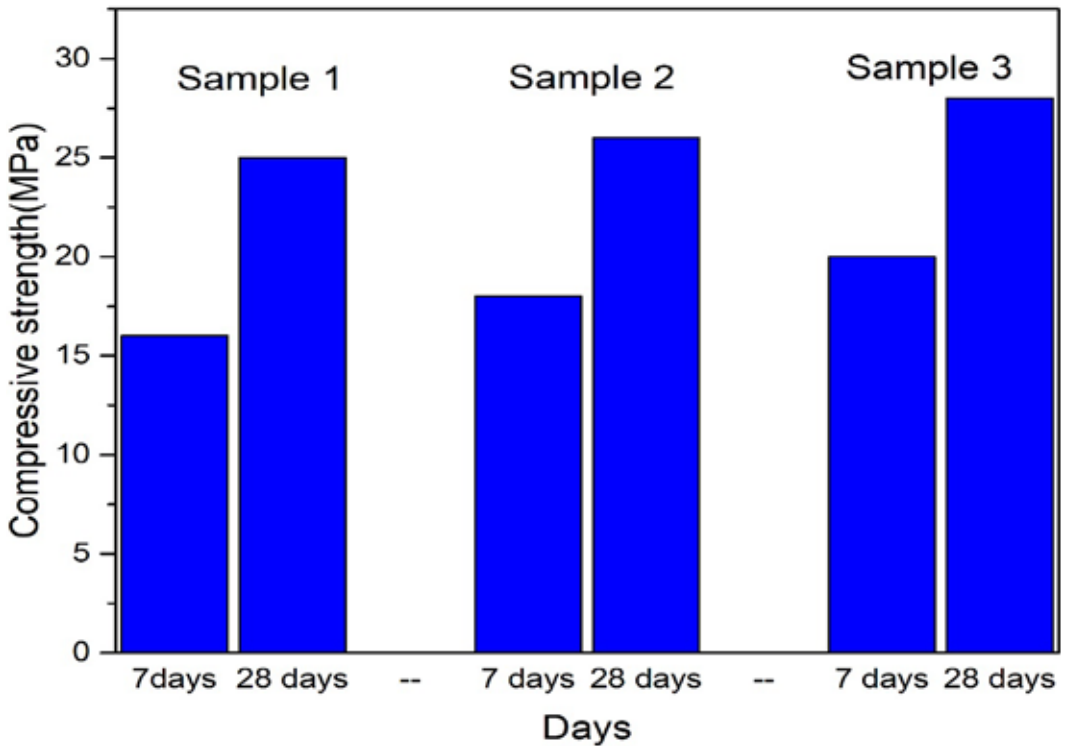
**Дээж бэлтгэл:** Явган хүний замын хавтанг бэлтгэхдээ өмнөх туршилтын процесстой яг адилаар хаягдал хуванцруудыг сайтар буталж нунтаглаж ойролцоогоор 1 мм хэмжээтэй болгож бэлдэнэ. Туршилтад хэрэглэх элсийг шигшиж том хэмжээтэй хайрга, чулуу болон бусад бохирдлоос нь ялгана. Үүний дараагаар цемент болон элс 2-ыг устай хольж зуурмаг бэлдэх ба үүн дээр Хүснэгт 8-д заасны дагуу хаягдал хуванцрыг нэмнэ. Эцэст нь хайрга чулуу буюу том ширхэгтэй барьцалдуулагчийг нэмж сайтар холино. Энэхүү процессын үед 3 ялгаатай дээж бэлдсэн ба эхнийх нь стандарт явган хүний замын хавтан буюу цемент, элс, хайргаас тогтох бол дараа нь элс болон хайрганы жингийн 20%-ийг нунтаг хуванцараар орлуулж зуурмаг бэлдэх ба хайргыг хуванцараар орлуулах үед бутлахгүйгээр том хэжээтэйгээр нь (ойролцоогоор 0.5-1.5 мм) шууд хэрэглэнэ. Сайтар хольсон зуурмагийг хэвэнд хийж хатаав.

**Хүснэгт 8. Явган хүний замын хавтан бэлтгэхэд орох цемент болон элс, хайрга, PET хуванцрын харьцаа.**

	Цемент (грамм)	Элс (грамм)	Хайрга (грамм)	Хуванцар (грамм)	Ус:Цементийн харьцаа
Дээж 1	150	268	396	0	0.5
Дээж 2	150	214	396	53	0.5
Дээж 3	150	268	317	79	0.5

Дээжийг гарган авсаны дараа 7 болон 28 хоног хатаасны дараах бат бэх шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүнг Зураг 18-д үзүүлэв.

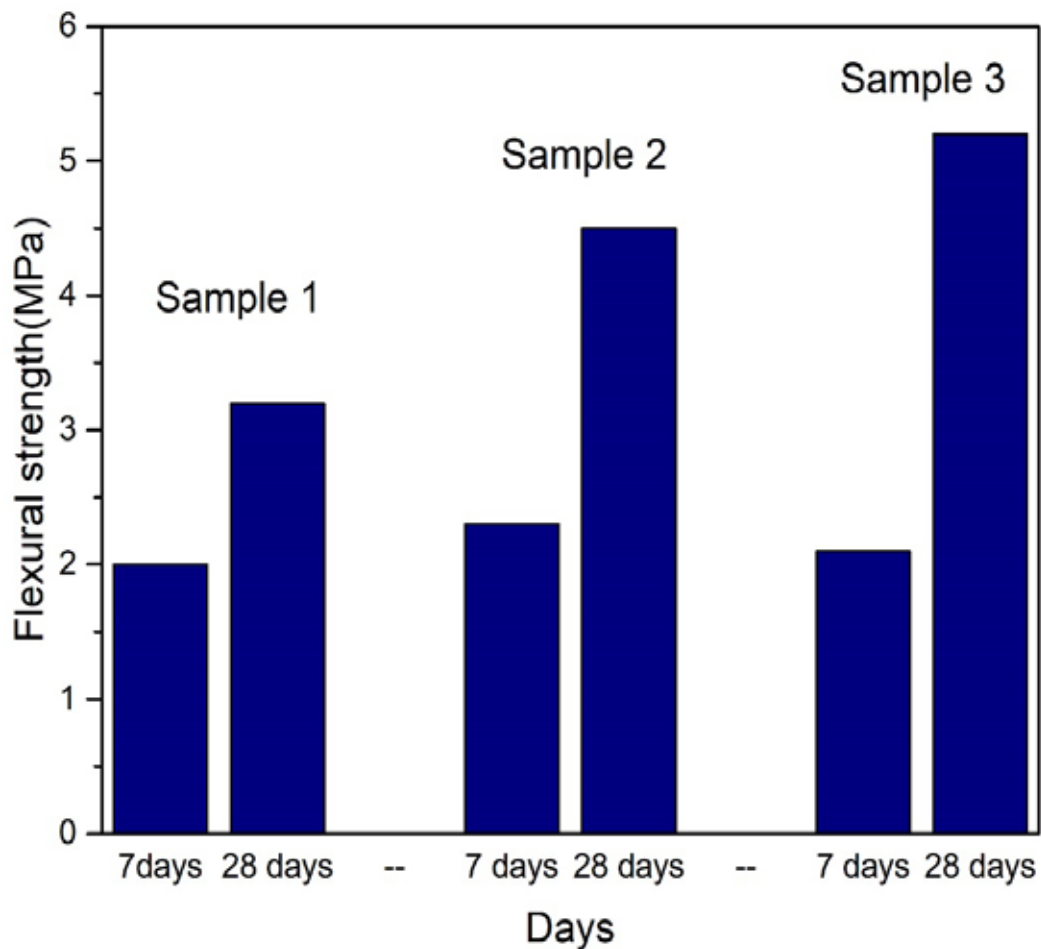
**Зураг 18. Явган хүний замын хавтангийн бат бэхийн шинж чанар хатаалтын өдрөөс хамаарсан хамаарал.**



Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад мөн адил хатаалтын хоног ихсэх үед бат бэх шинж чанар өсч байгаа нь харагдсан. Мөн холимогийн 20%-д нь хаягдал хуванцрыг холиход холиогүй дээжээс илүү бат бэх шинж чанар үзүүлж байгааг хэмжилтийн үр дүнгээс харж болно.

Үүний дараа гарган авсан дээжийн уян харимхай шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүнг Зураг 19-д үзүүллээ. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад хуванцрын хэмжээ 0% байхад уян харимхай хүч нь ойролцоогоор 2-3МПа байсан бол хуванцрын хэмжээ 20% болоход ойролцоогоор 2.3-5.2Мпа хүртэл өссөн байна. Энэ нь явган хүний замын хавтанд хуванцрыг хольж өгсөнөөр илүү уян харимхай шинж чанартай, түүнийгээ дагаад энгийн замын хавтантай харьцуулахад хагарч бутрах нь багасах зүй тогтол ажиглагдаж байна.

**Зураг 19. Явган хүний замын хавтангийн уян харимхай шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүн.**





## ДҮГНЭЛТ

Термо хуванцар материал (PET, HDPE, LDPE, PP, PS, PVC)-ууд нь дэлхий дахинд хамгийн өргөн хүрээнд хэрэглээнд нэвтэрсэн өндөр молекулт органик нэгдэл ба 1-100 сая жил огт задрахгүйгээр тогтвортой оршин байх чадвартай юм. Үүнийгээ дагаад эдгээр хуванцрууд байгаль орчин болон хүн ам ихээр төвлөрсөн бүс нутгуудын хог хаягдлын ихэнх хувийг бүрдүүлж байна. Харин эдгээр асар их хэмжээний хаягдлуудын ихэнх хэсэг нь байгальд ил хаягдах аль эсвэл хогийн цэг дээр ямар нэгэн боловсруулалт хийгдэхгүйгээр шууд хаягдаж байгаа нь байгаль орчинд ноцтой аюул учруулж байна. Тийм учраас эдгээр хог хаягдлуудыг монгол орны нөхцөлд үйлдвэрийн болон лабораторийн орчинд дахин боловсруулах боломжийг бусад улс орны шийдэлтэй харьцуулан судаллаа. Үүнээс дараах 3 гол дүгнэлтийг хийж болохоор байна.

Үүнд:

Байгаль дээр хаягдаж байгаа термохуванцрууд (PET, HDPE, LDPE, PP, PS, PVC)-ын хэмжээ дан ганц дэлхий даяар бус Монгол улсад ч хурдацтай нэмэгдэж байгаа учир хүрээлэн буй орчны гол бохирдуулагч болж байна. Мөн эдгээр хаягдал хуванцрууд 1-100 сая хүртэлх жил тогтвортой бүтцээ хадгалдаг ба эдгээрээс ялгарах микро болон нано хэмжээтэй хуванцрууд нь хүн болон бусад бүхий л төрлийн амьд организмд төрөл бүрийн өвчин үүсгэх эрсдэлтэй байна. Тийм учраас хэрэглээнээс үүссэн термохуванцруудыг дахин боловсруулж ашиглах зайлшгүй шаардлага Монгол улсад үүсээд байна.

Термо хуванцруудаас өндөр цэвэршилттэй дахин ашиглагдах боломжтой бүтээгдэхүүн гаргаж авахын тулд дахин боловсруулах процессыг явуулахаас өмнө тухайн хуванцар материалын төрөл, бүтэц, химийн бүтэц болон хайлах температур зэргийг зайлшгүй тодорхойлж бохирдлоос нь ялгаж нэгэн төрлийн хуванцрыг ангилж, ялгах ёстой. Ингэснээр тухайн термохуванцар материалаас гарах бүтээгдэхүүний чанар сайжрах, дахин боловсруулах өртөг буурах зэрэг давуу талуудтай. Үүний тулд термохуванцруудыг ялгах багажууд болох FT-IR, DSC, XRD, SEM зэргийг ашиглаж бохирдол болон бусад хольцоос нь ялгах зайлшгүй шаардлагатай гэж үзэж байна.

Энэхүү судалгааны хүрээнд Монгол оронд дахин боловсруулсан хуванцруудыг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлж болох хэд хэдэн хэрэглээ байснаас наамал банз болон явган хүний замын блок хийх нь эдийн засгийн хувьд харьцангуй үр ашигтай, өргөн хэрэглээтэй мөн түүнчлэн стандарт хангах бүрэн боломжтойг туршилтаар хийж батлав. Үүнээс бидний гаргаж авсан бүтээгдэхүүнд хаягдал хуванцрыг барьцалдуулагчаар хийсэн ба гарч ирсэн бүтээгдэхүүн нь стандартын шаардлага хангахуйц, зардал бага арга болох нь тогтоогдсон ба шууд үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломжтой байна. Харин бусад улсад хэрэглэж байгаа болон туршилтын явцад байгаа хэрэглээнүүдээс дахин боловсруулсан

хуванцраас гаргаж авсан хөвөн даавуу материал, дуу болон дулаан тусгаарлагч аэрогель болон пиролизоор гаргаж авсан шатдаг түлш зэрэг бүтээгдэхүүний технологийг Монгол улсад оруулж ирж хэрэглээнд нэвтрүүлэх бүрэн боломжтой байна.

Монгол улсын хэмжээнд одоогоор тулгарч байгаа байгаль дээр үл задрах хуванцар хог хаягдлын асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд дахин боловсруулж нэмүү өртөг нэмэгдсэн бүтээгдэхүүнүүд болох явган хүний замын блок болон наамал банз зэргийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх бүрэн боломжтой. Ингэснээр байгаль орчинд шүүд хаягдах хуванцар хог хаягдлыг бууруулах, эдийн засгийн өндөр өгөөж авах боломжтой байна.

## НОМ ЗҮЙ

- [1] T. Hundertmark, M. Mayer, C. McNally, T. Jan Simons, C. Witte, How plastics waste recycling could transform the chemical industry, 2020.
- [2] Plastics Europe. Plastics – the Facts, 2019
- [3] J.Brahney, M.Hallerud, E.Heim, M.Hahnenberger, S.Sukumaran, Science 2020, 368, 127.
- [4] Maxine Swee-Li Yee, Ling-Wei Hii, Chin King Looi, Wei-Meng Lim, Shew-Fung Wong, Yih-Yih Kok, Boon-Keat Tan, Chiew-Yen Wong, and Chee-Onn Leong Nanomaterials, 11, 496, 2021.
- [5] H. Thomson, K. Illingworth, H. McCoach, M. Jefferson, S. Morgan, Based on Analysis of UK Grocery Packaging Data from – PlasticFlow 2025: Plastic Packaging Flow Data Report
- [6] European Council, Conclusions from Special Meeting of the European Council (17, 18, 19, 20 and 21 July 2020),
- [7] European Parliament and Council, Off. J. Eur. Union 2008, 51, 3.
- [8] CEWEP. Landfill taxes and bans overview, 2020.
- [9] A. Chruszcz, S. Reeve, WRAP, Composition of Plastic Waste Collected via Kerbside
- [10] M. Avella, E. Bonadies, E. Martuscelli, R. Rimedio, Polym. Test. 2001, 20, 517.
- [11] J. Kirchherr, D. Reike, M. Hekkert, Resour., Conserv. Recycl. 2017, 127, 221.
- [12] J. Kirchherr, L. Piscicelli, R. Bour, E. Kostense-Smit, J. Muller, A. Huibrechtse-Truijens, M. Hekkert, Ecol. Econ. 2018, 150, 264.
- [13] J. C. Prata, A. L. P. Silva, T. R. Walker, A. C. Duarte, T. Rocha-Santos, Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 7760.
- [14] Nor azah Yusof, Nor Dyana Zakaria, Nor Amirah Mohd Maamor Abdul Halim Abdullah International Journal of Molecular Sciences 14, 2013 3993-4004
- [15] Jasim Hadi Ghazi Faisal Najmuldeen, Iqbal Ahmed Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly 2014, 20, 163-170
- [16] Jia-Horng Lin 1,2,3, Yi-Jun Pan 4 , Chi-Fan Liu 5 , Chien-Lin Huang 6 , Chien-Teng Hsieh 7 , Chih-Kuang Chen 8 , Zheng-lan Lin 1 and Ching-Wen Lou Materials, 2015

- [17] Iprabowo, Jnur Pratama, M Chalid *Materials Science and Engineering* 2017, 223
- [18] Fatma Zohra Benabid, Nkharchi, Foued Zouai, Abdel-Hamid Ismail Mourad *Polymers and Polymer Composites*, 2019, 27, 389-399
- [19] Saad Alshahri, Mohammed Alsuhybani, Elid Alosime, Mansour Almurayshid, Alhanouf Alrwais, Salha Alotabi, *Polymers*, 2021, 13, 3081.
- [20] Lin JH, Pan Yj, Liu CF, Huang CL, Hsieh CT, Chen CK, Lin Zi, Lou CW *Materials*, 2015, 8, 8850-8859
- [21] Shamsuzzaman Rasel, Joy Sarkar, *Manufacturing of fabric by recycling plastic bottles: An ecological approach Part 2: Manufacturing Process*, 2019.
- [22] Junaid Saleem, Gordon McKay, *Asia-Pac. J. Chem. Eng*, 2016,
- [23] Junaid Saleem, Muhammed Adil Riaz, Gordon, Mckay, *Journal of Hazardous Materials*, 2018, 341, 424-437.
- [24] Zsolt Dobó, Zsófia Jakab, Gábor Nagy, Tamás Koós, Katalin Szemmelveisz, Gábor Muránszky, *Energy*, 2019, 189.
- [25] Hong Wei Koh, Duyen K. Le, Gek Nian Ng, Xiwen Zhang, Nhan Phan-Thien, Umejr Kureemun, Hai M. Duong, *Gels*, 2018 4, 43.



## ТЭМДЭГЛЭЛ

Dotted lines for writing the summary.

## ТЭМДЭГЛЭЛ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ТЭМДЭГЛЭЛ

A series of 25 horizontal dotted lines for writing.