



Хаягдал шилийг бетонд ашиглах боломжийн судалгаа

Дашдондог Оюунбилэг¹, Цэгмид Батбаатар¹

¹Дархан-Уул аймаг дахь Технологийн сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль,
Дархан-Уул 45000, Монгол Улс

*E-mail: oyunbileg@stda.edu.mn
ORCID: [0000-0003-2266-3828](https://orcid.org/0000-0003-2266-3828)

Хүлээн авсан: 18.11.2022

Хяналтанд: 25.11.2022

Хэвлэлтэнд авсан: 31.12.2022

Хураангуй: Дэлхийн хэмжээнд жил бүр хэдэн сая тонн шилний хаягдал гарч байгаа бөгөөд энэ нь газрын хөрсөнд уусаж шингэдэггүй, байгаль орчинд задардаггүй хог хаягдлыг үүсгэдэг байна. Шилний найрлагад цахиурын исэл агуулагдсан байдаг тул түүнийг барилгын материалд ашиглах бүрэн үндэслэлтэй. Шилний хаягдлыг нарийн нунтаглаж, цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулан бетонд ашигласнаар байгаль орчинд ээлтэй, эрчим хүчний хэмнэлттэй, ногоон технологийн хөгжилд хувь нэмэр оруулах боломжтой юм. Судалгааны ажилд МАК-ийн портландцемент (ОРС), цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулах зорилгоор өнгөгүй болон өнгөтэй хаягдал шилний нунтаг, том дүүргэгчээр Орхон аймаг дахь “Дэлт хошуу” ордоос ОТК ХХК-ний үйлдвэрлэсэн 5-10, 10-20мм-ийн ширхэглэлтэй буталсан дайрга, нарийн дүүргэгчээр Дархан “Салхит”-ийн карьерийн /0-5мм/ элсийг сонгон авч В25 ангийн бетон зуурч, бетон сорьцын шахалтын бат бэхийг туршсан болно. Өнгөгүй ба өнгөтэй шилний химийн найрлагыг XRF анализын аргыг ашиглан тодорхойлов. Туршилтын дүнд цементийн жингийн 20% хүртэл нунтаг шилийг орлуулахад хяналтын бетон сорьцтой харьцуулахад удаан бэхжилттэй болох нь батлагдав. Тухайлбал: 90 хоногийн дараагаас эхлэн 20% хүртэлх бүх найрлагын шахалтын бат бэхийн утга нь төслийн утгадаа хүрэх ба 180 хоног дээр 20% шил агуулсан бетон сорьцын бат бэх бэх 57.5 МПа-д хүрч байна. Шилний найрлага дахь микро цахиурын исэл нь цементийн зуурмагийн гидратацийн процессийн дүнд үүсч байгаа кальцийн ислийн гидраттай харилцан үйлчлэлцэж кальцийн гидросиликат нэгдлүүдийн хоёрдогч гелийг үүсгэнэ. Түүнчлэн гидроксил ионууд болон шүлтийн ионууд микроцахиурын гадаргууд нэвчиж, чөлөөт усны хэмжээ багасаж, бүтэц нягтрах боломжийг бий болгодог учраас бат бэх нэмэгддэг байна.

Түлхүүр үг: цахиур, бат бэх, тогтвортой хөгжил, барьцалдах материал

ОРШИЛ

Шилний хаягдал жил ирэх тусам нэмэгдэж байгаа нь дэлхий нийтэд тулгараад байгаа хамгийн том асуудлын нэг юм. Энэ хог хаягдлын ихэнх нь хогийн цэгт хаягдаж, хог хаягдал хуримтлагдах нь хүлэмжийн хий ялгаруулахад хүргэж улмаар дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлтөд нөлөөлж байна. Хаягдал шилний хувьд шууд өөрөө аяндаа задардаггүй, газрын хөрсөнд 1000 жилийн турш хадгалагдах материал тул хүрээлэн буй орчин болон хөрсний бохирдлыг бий болгож байдаг. Иймд хаягдал шилийг дахин боловсруулах нь илүү үр ашигтай, байгаль орчинд ээлтэй тул сүүлийн жилүүдэд хог хаягдлын менежментэд энэ асуудал түлхүү тавигдаж байгаа билээ. Дэлхий нийтийн хэмжээнд жилд 27 тэрбум тонн хаягдал шил гарч байгаагийн 32%-ийг лонхны шил, 11%-ийг нь хавтгай шилний хаягдал эзэлж байна гэсэн статистик мэдээ байна [1]. Манай улсын хэмжээнд нийт хог хаягдлын 10% орчмыг шилний хаягдал эзэлдэг бөгөөд жилд дунджаар 319 сая тонн шилний хаягдал үүсдэг гэсэн тооцоо бий. Дахин боловсруулсан шилийг хүнс, шилэн эдлэл, автомашин, барилга, эрүүл мэнд, сансар, батлан хамгаалах гэх мэт янз бүрийн салбарт өргөн ашиглаж

байна. Их хэмжээгээр үүсээд байгаа шилний хаягдлыг бетонд хэрэглэх боломжийн талаар хийгдсэн маш олон судалгааны ажлууд байдаг.

Байгаль орчны экологийн тэнцвэрт байдалд ээлтэй, ногоон технологийг барилгын салбарт нэвтрүүлэх тогтвортой хөгжлийн бодлогыг дэлхий нийтээрээ эрхэмлэж байна. Хаягдал шилийг барилгын материалд ашиглах нь их хэмжээний талбай эзлээд байсан хогны асуудлыг шийдвэрлэх төдийгүй байгаль орчинд үүсэх хүлэмжийн хийн багасалтад нөлөө үзүүлдэг. Хамгийн анх 1963 онд судлаач Шмидт ба Саи [2] нар хаягдал шилийг барилгын материал хэрэглэх судалгааг хийж ханын хавтанд ашигласан байна.

Барилгын салбарт хамгийн өргөн хэрэглэгддэг материал бол бетон юм. Бетоны технологийн хөгжил нь тухайн улс орны нийгэм эдийн засгийн хөгжлийн түвшинг илэрхийлэх түлхүүр болж өгдөг. Бетон нь тодорхой харьцаа бүхий цемент, элс, хайрга, дүүргэгчдийг устай холих замаар бэхжүүлж, төсөллөсөн хэлбэр дүрс, хэмжээс бүхий бат бэх өндөртэй барилгын материал юм. Бетоны үндсэн бүрдүүлэгч болох цементийн хэрэглээ ч асар их болж байна. Цементийн үйлдвэрлэлээс ялгарч байгаа

хүлэмжийн хий нь дэлхийн дулааралд нөлөөлж буй нийт хүлэмжийн хийн 8%-ийг эзэлж байна гэсэн судалгаа байдаг [3]. Цементийн жингийн тодорхой хувьд хаягдал материал болон үйлдвэрлэлийн хаягдал болох хоёрдогч түүхий эд (хаягдал шил, хуванцар, дэгдэмтгий үнс)-ийг ашиглах тал дээр олон орны судлаачид анхаарлаа хандуулж, цементийн үйлдвэрийн түүхий хольцын найрлагад хаягдал шилийг нэмэх, цементийн чулуунцарт шилийг нэмж хамтад нь нунтаглах, бетонд нарийн болон том дүүргэгч, цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулан ашиглах зэрэг олон боломж байгааг тогтоосон байна [4-7].

Хаягдал шилийг цементийн үйлдвэрлэлд шилний пуццолонжих чадвар дээр тулгуурлан чулуунцарын тодорхой хувьд орлуулах, цементийн зуурмагт нэмэх, бетонд нарийн эсвэл том дүүргэгч болгон хэрэглэх замаар ашиглаж болно. Цементийн үйлдвэрлэлд хаягдал шилийг ашиглахдаа шилээ хольцоос нь цэвэрлэж, тодорхой ширхэглэлтэй болтол нь буталсны дараа түүхий эдтэй хамтад нь хольж, дараа нь үйлдвэрлэлийн зууханд өндөр температурт (1300-1450⁰C) халааж хайлуулдаг [8]. Шилний химийн найрлага, пуццолон шинж дээр үндэслэн цементэд нэмэлтээр ашигладаг. Гэхдээ хаягдал шилийг нэмэхдээ тодорхой хязгаартай байх ёстой гэдгийг Кси ба Ки нарын судлаачид цементийн түүхий хольц дээр хаягдал шилний нунтгийг нэмж өгөхөд зууханд шилний шингэн фаз үүсч, зарим нэг сөрөг нөлөө үзүүлж болохыг тогтоосон байдаг [9]. Тухайлбал цементийн үндсэн эрдэс болох алит(C₃S) – ийн агууламж буурч байсан. Учир нь шилний найрлага дахь натрийн исэл (Na₂O) нь цементийн эрдэс болох гурван кальцийн алюминат (C₃A)-тай урвалд орж бат бэхэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг нэгдэл (NC₈A₃) үүсгэдэг гэсэн дүгнэлтэд хүрсэн. Энэ нэгдэл нь бэхэжсэн цементийн бат бэхийг бууруулж байна гэж тайлбарлажээ. Иймд цементийн түүхий хольцод хаягдал шилийг нэмэх нь тохиромжгүй харин чулуунцар дээр нэмэх боломжтой гэдгийг санал болгосон байна.

Двораг нарын эрдэмтэд хаягдал шилийг механик идэвхжүүлэлтэд оруулахад зөвхөн дүүргэх материал төдий биш пуццолон шинж чанар нь ихэсдэг гэжээ [10]. Цементийн чулуунцартай шилний хаягдлыг хамтад нь нунтаглахад тус тусад нь нунтагласнаас илүү физик механик шинж чанарын үзүүлэлт нь өндөр болохыг тогтоожээ. Үүнийг Халвинак, Майернарын хийсэн судалгааны үр дүн давхар нотолж, цементийн жингийн 7.5% ба 15%-ийг хаягдал шилээр орлуулахад шил болон чулуунцарыг тус тусад нь нунтагласан сорьцын шахалтын бат бэх нь хамтад нь нунтагласнаас бага зэрэг буурсан байна. Хаягдал шил агуулсан бүх сорьцын шахалтын бат бэхийн утга нь хяналтын сорьцоос

өндөр утгатай гарч байсан. Цементийн чулуунцартай хамт нунтагласан 15%-ийн шил бүхий сорьцын 28 хоногийн дараах шахалтын бат бэх нь хяналтын сорьцынхоос 11%-иар илүү байгааг туршилтын дүнд тогтоожээ [11].

Хаягдал шилийг бетонд ашиглах нь бүтцийг нягтруулж, ус шингээлтийг бууруулж, бетоны бат бэх чанарыг сайжруулдаг давуу талтай. Судлаач Вижакумар [12] хаягдал шилийг нарийн нунтаглаж, бетонд цементийн жингийн 10%, 20%, 30%, 40% орлууль шахалтын, суналтын болон гулзайлтын бат бэхийг туршиж, ердийн бетоной харьцуулсан байна. Судалгааны ажлын дүнд шилний жижиг хэсгийн ширхэглэлийн хэмжээ 0.075мм-ээс бага байх үед шүлт-цахиурын урвал явагддаггүй болохыг тогтоожээ. Мөн 40% хүртэл нэмж өгөхөд шахалтын бат бэх өсөх бөгөөд үүнээс их болбол буурч байгааг тогтоосон байна.

Васудеван, Канапати нар бетонд нунтаг шилийг ашиглахад түүний хөдөлгөөнт чанар болон шахалтын бат бэх нэмэгдэж байгааг тогтоожээ [13]. Судлаач Вагүшири 0.09мм-ийн хэмжээтэй нунтаг шилээр цементийн жингийн 0%, 10%, 20%, 30% , 40%-д орлуулан М20 ангийн бетон зуурмаг зуурч, сорьц бэлтгэн шахалтын болон гулзайлтын бат бат бэх, Юнгийн модулийг 7 ба 28 хоногийн дараа туршсан байна. Лабораторид хийсэн туршилтын үр дүнгээс харахад бетон дахь шилний нунтаг 20%-д хамгийн их шахалтын бат бэхтэй болох нь ажиглагджээ. Судалгааны ажлын үр дүнд хаягдал нунтаг шилний ширхэглэл 0.09мм байхад пуццолонжих урвал сайн явагдаж, цементийн бат бэхийг сайжруулж болохыг харуулжээ [14].

Жангид болон Саожи нар бетоны цементийн жингийн тодорхой хувийг нунтаг шилээр солиход шилний зарим хэсэг нь гидратацид ордог болохыг тогтоосон. Шилийг нарийн нунтаглахад түүний найрлага дахь SiO₂ нь пуццолонжих урвалд орж бетоны чанарыг сайжруулж байна гэж үзжээ. Уг туршилтанд шилийг цементийн жингийн 0-40% хүртэл хувьд 5% -ийн алхамтайгаар орлуулан шахалтын, гулзайлтын болон суналтын бат бэхийг 7, 28, 60 хоногийн дараа туршжээ. Туршилтын дүнд 20% шил агуулсан бетон сорьцын бат бэх хамгийн өндөр утгатай гарсан байна [5].

Бетоны хувьд удаан эдэлгээт чанар маш чухал байдаг бөгөөд үүнийг илэрхийлэх үзүүлэлтүүдийн нэг бол хүйтэн тэсвэрлэлт юм. Шил агуулсан бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт сайжирдаг болохыг Р.Абендин, Х. Рамадан нарын судлаачдын хийсэн туршилтын дүн харуулдаг [15].

Манай улсын хувьд нийт хог хаягдлын 2%-ийг л ашиглаж байгаа бөгөөд хаягдал шилийг бүрэн ашиглах түвшинд хүрээгүй байна. Хаягдал шилийг ашиглан хөөсөн шил гарган авах судалгаа нэлээд сайн хийгдсэн бөгөөд өнөөдөр үйлдвэрлэлд

Хүснэгт 1. Цементийн хими эрдэс зүйн найрлага

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+ Na ₂ O	SO ₃	ШГА	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ S	C ₄ AF
PC	20.71	5.39	3.6	64.61	2.03	1	0.84	0.35%	16.26	8.23	57.6	10.87

нэвтрүүлэх бэлтгэл ажил хийгдэж байна. Хаягдал шилийг дахин боловсруулах, ашиглах менежментийн бодлого анхаарал татсан асуудлын нэг юм. Хаягдал шилийг үйлдвэрлэлд татан авах, боловсруулах зэрэг асуудлын менежментийг цогцоор нь шийдэж чадвал бид хаягдал шилийг уламжлалт бетоны үйлдвэрлэлд шууд ашиглах бүрэн боломжтой гэдэг нь урьдчилсан судалгааны дүнгээс харагдаж байна.

Уг өгүүлэлд цементийн зуурмагийн тодорхой хувьд хаягдал шилний нунтгийг орлуулж, түүнийг бетонд ашиглах боломжийг судалсан судалгааны ажлын үр дүнг тусгав.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

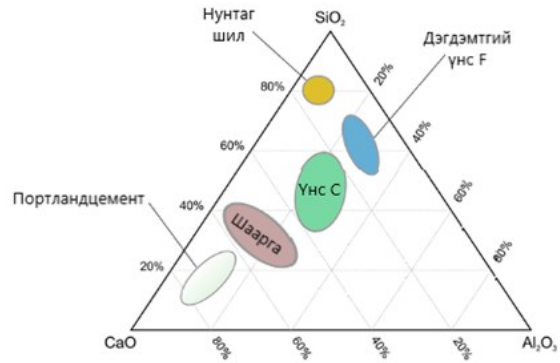
Цемент. МАК цементийн үйлдвэрийн MNS 0974:2008 стандартын шаардлага хангасан PC42.5 ангийн цементийг хэрэглэсэн болно.

Хаягдал шил. Ахуйн хаягдлаас бий болсон өнгөгүй шил болон хүрэн өнгийн шилийг сонгон авч сайн угааж цэвэрлэсний дараа цементийн ширхэглэлтэй адил болтол нь буюу №008-ийн шигшүүр дээрх үлдэгдэл нь 10%-иас ихгүй болтол нь нарийн нунтаглаж, шилний нунтаг гарган авна. Өнгөгүй (архины) болон өнгөтэй(пивоны) шилний химийн найрлагыг XRF1400 рентгендифрактометрийн анализийн аргаар тодорхойлсон (Хүснэгт 2).

Өнгөтэй ба өнгөгүй шилний химийн найрлага нь маш бага үл ялиг өөр байна. Химийн найрлагын дүнгээс харахад (SiO₂ +Al₂O₃ +Fe₂O₃) нь 70%-иас бага байгаа нь ASTM C618 стандартад заасны пуццолон материалын шаардлагыг хангаж байна. Түүнчлэн CaO – Al₂O₃ – SiO₂ гурван компонентот системийн диаграмаас (Зураг 1) харахад шилний цахиурын ислийн агууламж 70% орчимд байгаа нь түүний пуццолонжих идэвхтэйг үзүүлж байгаа тул цементэд суурилсан материалд ашиглах боломжтойг харуулж байна [16].

Дүүргэгч. MNS0392:2014 стандартын шаардлага хангасан Дархан “Салхит”-ийн карьерийн /0-5мм/ элсийг нарийн дүүргэгчээр, Орхон аймаг дахь “Дэлт хошуу” ордоос ОТК ХХК-ийн үйлдвэрлэсэн 5-10, 10 -20мм-ийн ширхэглэлтэй дайргыг том дүүргэгчээр тус тус судалгаанд ашиглав.

Нэмэлт. Цементийн зуурмагийн бат бэхийг тодорхойлохдоо MNS ASTM C494/C 494M:2011



Зураг 1. CaO – Al₂O₃ – SiO₂ гурван компонентот системийн диаграмм

стандартын шаардлага хангасан уян налархайжуулагч нэмэлтийг хэрэглэв.

Судалгааны ажлын аргачлал

Цементийн зуурмагийн тархалтыг тодорхойлох

Цементийн зуурмагийн тархалтыг MNS EN 196-3 стандартад заасан аргачлалын дагуу туршсан болно. Бүх зуурмаг дахь ус цементийн харьцааг тогтмол 0.5 байхаар тооцсон болно (Хүснэгт 3).

Бат бэхийг турших

Цементийн зуурмаг бэлтгэх. Бат бэхийг турших зорилгоор 4x4x16см хэмжээтэй гулдмай сорьц бэлтгэсэн. Бүх сорьцыг бэлтгэхдээ зуурмаг дахь элс: (цемент+шил) харьцаа 2.75, ус барьцалдагчийн харьцаа нь тогтмол 0.5 байхаар орцын тооцоог хийв. Сорьцыг хэвтэй нь 24 цагийн турш чийгтэй орчинд хадгалж, дараа нь хэвнээс нь салгаж усан банд байрлуулсан. Арчилгааны тодорхой хоногуудад MNS 974:2008 стандартад заасны дагуу бат бэхийг туршина.

Бетон зуурмаг бэлтгэх. Төслийн бат бэх нь 28 хоногийн дараа 35МПа, хөдөлгөөнт чанар нь 100-125мм байхаар тооцоолж, орцын тооцоог хийв. Цементийн жингийн 5 – 25%-д хаягдал шилний нунтаг байхаар орцыг тооцоолов (Хүснэгт 4).

Зуурмагийг бэлтгэхдээ эхлээд дүүргэгч болох элс, дайрга хоёрыг хамтад нь зууруулд хийж 1 минутын турш холино. Тусгай саванд цемент ба шилийг заагдсан харьцааны дагуу сайн хольсны дараа дүүргэгч дээр нэмж өгнө. Дараа нь зуурах усаа сайн хэмжиж хуурай хольц дээр хийж, 5 минутын турш зуурна. Зуурч дууссаны дараа бетон зуурмагийн

Хүснэгт 2. Хаягдал шилний химийн найрлага

Шил	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Бусад ислүүд*
Өнгөгүй	66.1	0.8	0.7	16.5	1.8	0.6	12.4	0.4	0.5%
Өнгөтэй	66.4	0.9	0.8	13.0	1.7	0.8	13.5	0.1	

* BaO, PbO, Cr₂O₃, CuO

Хүснэгт 3. Цементийн зуурмагийн орц

Сорьц	Цемент, гр	Шилний нунтаг, гр	Олон ширхэглэлт элс, гр	Ус, мл
Хяналтын сорьц	450	-		
Сорьц 10	405	45		
Сорьц 15	382.5	67.5		
Сорьц 20	360	90	1350	225
Сорьц 25	337.5	112.5		

хөдөлгөөнт чанарыг турших зорилгоор конусын суултыг тодорхойлно. Энэ туршилтад хаягдал шилний өөр өөр агууламжтай бетоны конусын суулт нь усыг өөрчлөхгүй тогтмол байлгахад 110-125 мм байгааг хянана. Зуурмагаар 15x15x15см шоо сорьц бэлтгэж чийгтэй орчинд 24 цаг хадгалаад, хэвнээс нь салгаж усан баннд арчилна. Бетоны шахалтын бат бэхийг тодорхойлох зуурмагт нэмэлт ашиглаагүй болно.

Цементийн зуурмагийн болон бетоны шахалтын бат бэхийг MNS 1170:2009 стандартад заасны дагуу 7, 14, 28, 56, 90, 180 хоногийн дараа туршина. Туршилтын үр дүнг тус бүр 3 сорьцын дундаж үзүүлэлтээр тооцоонд авна.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Цементийн зуурмагийн тархалтыг судалсан дүн.

Ус/цементийн харьцааг тогтмол 0.5 байхад хаягдал шилний хэмжээ ихсэхэд цементийн зуурмагийн

Хүснэгт 4. Бетоны орц найрлага

Материал	Хэмжээ, кг
Цемент	215
Ус	445
Элс	625
Дайрга	1005

тархалт үл ялиг нэмэгдэж байна (Хүснэгт 5). Туршилтын дүнгээс харахад тархалтын хэмжээ нь байгаа нь MNS EN196-3 стандартад заасны дагуу хэвийн тархалттай цементэд багтаж байна.

Цементийн зуурмагийн шахалтын бат бэхийг туршсан дүн. Хаягдал шил агуулсан цементийн зуурмагийн бэхжилт хугацаанаас хамаарах хамаарлыг Зураг 2-д үзүүлэв. Туршилтын дүнгээс харахад шил агуулсан цементийн зуурмагийн шахалтын бат бэх нь бэхжилтийн 7, 14, 28, 56 хоног дээр хяналтын сорьцынхоос бага утгатай болох нь харагдаж байна. Харин бэхжилтийн 90 хоног дээр 25%-ийн шил агуулсан сорьцыг тооцохгүйгээр бусад бүх сорьцын шахалтын бат бэх хяналтын сорьцынхоос өндөр болсон байна. Энэ туршилтын дүн нь судлаач Нассар, Сорошиан [14] нарын хийсэн судалгааны дүнтэй нийцэж байна.

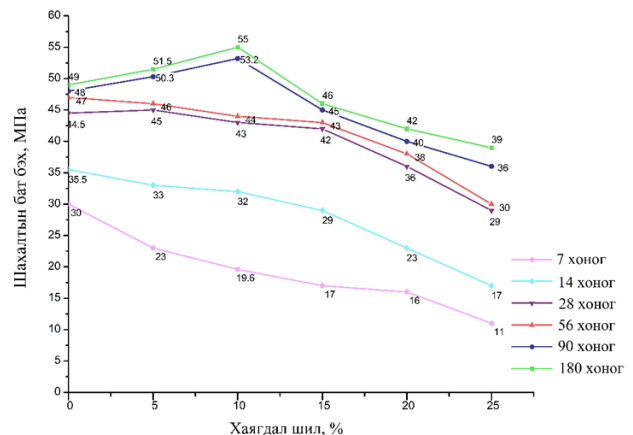
Хүснэгт 5. Тархалтыг судалсан дүн

Үзүүлэлт	Цементийн жинд орлуулсан хаягдал шилний хэмжээ				
	0%	10%	15%	20%	25%
Тархалт, мм	133	133.5	134	135	136

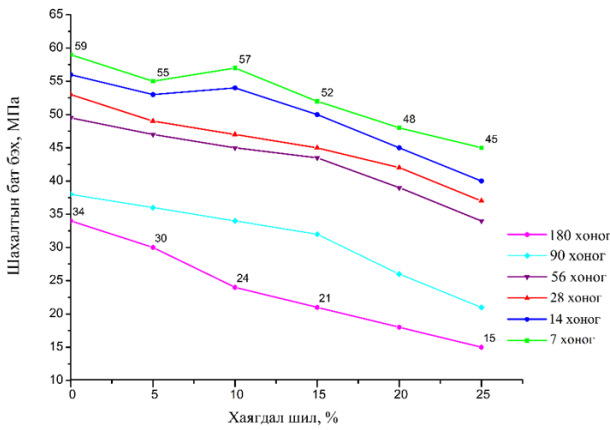
Бэхжилтийн 90 хоногийн шахалтын бат бэхийн хувьд 10% хаягдал шил агуулсан сорьцын бат бэх нь хамгийн өндөр утгыг үзүүлж байна. Яг энэ чиг хандлага 180 хоног дээр адилхан илэрч байгаа бөгөөд 10% шил агуулсан сорьцын бат бэхийн утга өндөр гарч байна. Гэхдээ 90 ба 180 хоногийн шахалтын бат бэхийн утга нь хяналтын сорьцтой харьцуулахад нэмэгдэж байгаа боловч энэ нь ач холбогдол өгөх тийм хэмжээнд биш байна. Тухайлбал, 90 хоног дээр 10% шил агуулсан сорьцын бат бэх нь хяналтын сорьцынхоос ердөө 9%-иар их гарсан байгааг харж болно. Бат бэхийн өсөлтийг дараах байдлаар тайлбарлаж байна. Цементийн гидратацийн дүнд C-S-H гель болон Ca (OH)₂ портландит үүсдэг. Портландит чөлөөт хэлбэрээр байх нь цементийн бэхжилтэнд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Энэ үүссэн чөлөөт портландиттэй микро аморф цахиур харилцан үйлчлэлцэж, пуццолон SF+CH+H@C-S-H* хоёрдогч C-S-H* гелийг бий болгоно. Хоёрдогч пуццоланик C-S-H* гель үүссэнээр матрицын бичил бүтцэд хатуу биетээс хатуу төлөвт холболт сайжирч, бат бэх, удаан эдэлгээт чанар сайжирна.

Шахалтын бат бэхэд нэмэлтийн үзүүлэх нөлөө.

Шил агуулсан цементийн зуурмагийн шахалтын бат бэхэд нэмэлтийн үзүүлж байгаа нөлөөллийг туршсан үр дүнг Зураг 3-д харуулав. Бэхжилтийн эхэн үед буюу 7 ба 14 хоногийн шахалтын бат бэхэд нэмэлт эерэг нөлөө үзүүлж байна. Тухайлбал, нэмэлтэй зуурмагийн 7 ба 14 хоногийн бат бэх нь нэмэлтгүй зуурмагийн бат бэхээс 43% ба 35%-иар нэмэгдсэн байна. Гэхдээ хаягдал шилний хэмжээ нэмэгдэх тусам шахалтын бат бэхийн утга буурч байна. Нэмэлт нэмж өгснөөр 7 ба 14 хоног дээрх



Зураг 2. Цементийн зуурмагийн бэхжилт



Зураг 3. Уян налархайжуулагч нэмэлттэй цементийн зуурмагийн бэхжилт

шахалтын бат бэхийн зөрүү багасаж байна. Энэ нь уян налархайжуулагч нэмэлтийн нунтаг шилэнд үзүүлэх нөлөө нь портландцементтэй харьцуулахад бага байгааг гэрчилж байна. Учир нь портландцемент устай хольж эхлэнгүүт шууд урвалд орж эхэлдэг бол шилний пуццолонжих урвал эхлэхэд удаан хугацаа шаарддагтай холбоотой. Бэхжилтийн 28, 56 болон 90 хоногт нэмэлтийн үзүүлэх нөлөө эхэн үеийн бэхжилттэй харьцуулахад бага байна.

Шил агуулсан цементийн хувьд шилний агууламж ихсэхийн хэрээр шахалтын бат бэхийн ялгаа буурч байсан. Бэхжилтийн эхэн үед пуццолонжих урвал маш бага явагддаг бөгөөд нэмэлтийн нөлөөгөөр барьцалдах чадвар сайжирч, бат бэх нэмэгддэг байна.

Бэхжилтийн 90 ба 180 хоногийн шахалтын бат бэхийн утга өндөр гарч байгаа нь шилийг цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулахад пуццолонжих урвал удаан явагдах буюу хожуу үеийн бэхжилт явагддаг болохыг баталж байна.

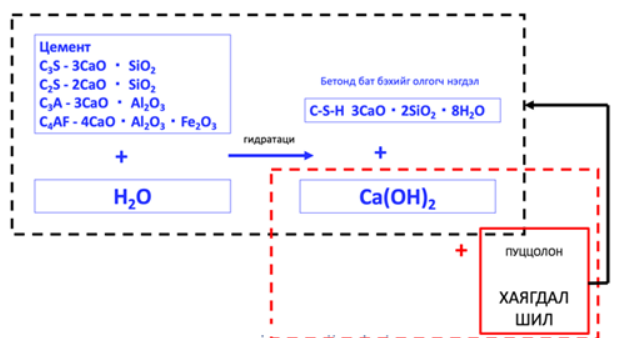
Бетоны шахалтын бат бэхийг туршсан дүн. Бетоны шахалтын бат бэхийг турших зуурмагт химийн нэмэлт хэрэглээгүй. Төслийн бат бэхийг 28 хоногийн дараа 35МПа гэж тооцоолсны дагуу цементийн жингийн 0–20%-д хаягдал шил агуулсан сорьцын бат бэх нь төслийн бат бэхдээ хүрсэн, харин 25%-д шил агуулсан сорьцын бат бэх үл ялиг бага байгаа нь харагдаж байна. Хаягдал шил бүхий сорьцуудын шахалтын бат бэх нь бэхжилтийн 7, 14, 28 болон 56 хоногуудад хяналтын (0% шил) сорьцын бат бэхээс бага утгатай байна. Бэхжилтийн цаашдын хоногууд 90 хоног дээр 10, 15, 20% хаягдал шил агуулсан бетоны сорьцын бат бэх нь хяналтын сорьцынхоос давсан буюу 10% шил агуулсан сорьцын бат бэх хамгийн өндөр утгатай буюу 52МПа гарч байна (Зураг 5). Харин 25% шил агуулсан сорьцынх мөн л бага гарсан буюу хяналтын сорьцоос 5%-иар бага байна. Гэхдээ 180 хоног дээр энэ зөрүү багасаж (2%) байна. Бэхжилтийн 180 хоногийн дараа 20% шил агуулсан

бетоны бат бэх хамгийн өндөр 57.5 МПа буюу хяналтын сорьцынхоос 13%-иар их байгаа нь харагдаж байна. Судалгааны ажлын дүнд шил агуулсан бетоны бат бэхийн хурд нь хяналтын сорьцтой харьцуулахад удаан хожуу үеийн бэхжилт нь өндөр болохыг тогтоов.

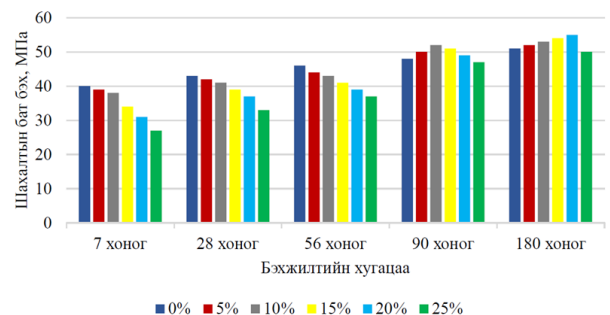
Шилний найрлага дахь микро цахиурын исэл нь цементийн зуурмагийн гидратацийн процессийн дүнд үүсч байгаа кальцийн ислийн гидраттай харилцан үйлчлэлцэж кальцийн гидросиликат нэгдлүүдийн хоёрдогч гелийг үүсгэнэ (Зураг 4).

Түүнчлэн гидроксиль ионууд болон шүлтийн ионууд микроцахиурын гадаргууд нэвчиж, чөлөөт усны хэмжээ багасаж, бүтэц нягтрах боломжийг бий болгодог учраас бат бэх нэмэгддэг байна.

Хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх нөлөө ба эдийн засгийн ач холбогдол. Барилгын салбарын тогтвортой хөгжлийг дэмжих хүрээнд барилгын материалын үйлдвэрлэлд хоёрдогч гаралтай болон дахин боловсруулсан түүхий эдийг хэрэглэхийг уриалж байгаа билээ. 1тонн портландцемент үйлдвэрлэхэд 0.9 тонн нүүрсхүчлийн хий агаарт хаягдаж байдаг. Мөн азотын исэл, хүхрийн исэл ялгаруулж агаарын бохирдлыг бий болгодог. 1тонн хаягдал шил ашиглахад 1тонн байгалийн түүхий эдийг хэмнэх боломжтой гэсэн үг юм. Хаягдал шил нь биологийн задралд ордоггүй, маш их хэмжээний талбай эзэлж, байгаль орчныг бохирдуулж байдаг тул аль болохоор дахин ашиглах боломжийг хайх нь зүйтэй. Хаягдал шилийг бетон үйлдвэрлэлд оновчтой хэмжээгээр ашиглах нь байгаль орчинд ээлтэй төдийгүй бетоны чанарыг сайжруулдаг



Зураг 4. Портландцемент ба хаягдал шилний хооронд явагдах химийн харилцан үйлчлэл



Зураг 5. Хаягдал шил агуулсан бетоны шахалтын бат бэх

гэдгийг олон судлаачид баталсан байдаг.

Судалгааны ажлын дүнгээс харахад цементийн жингийн тодорхой хувьд шилийг нэмж өгөхөд эрт үеийн бэхжилт нь удаан, хожуу үеийн бэхжилт сайн байна. Тухайлбал, бэхжилтийн 90 хоногийн дараах 15% -ийн шил агуулсан бетоны бат бэх хяналтын сорьцын бат бэхээс 10%-иар илүү, 20% шил агуулсан бетоны бат бэх хяналттай ойролцоо буюу 49МПа утгатай гарч байна. Цементийн жингийн 20% хүртэл хувийг хаягдал шилээр орлуулснаар байгалийн түүхий эдийг хэмнэхээс гадна цементийн үнийг тэр хэмжээгээр бууруулж чадна. Мөн цементийн үйлдвэрлэлээс хүрээлэн буй орчинд ялгарах нүүрсхүчлийн хийг багасгах буюу 20%-иар цементийг хэмнэхэд 6 тонн цементийн үйлдвэрлэл тутмаас 1 тонн хүлэмжийн хийг бууруулах боломжтой.

ДҮГНЭЛТ

Өнгөгүй тунгалаг болон өнгөтэй шилний химийн найрлага нь бараг адилхан төдийгүй ASTM C618-д заасны дагуу пуццолон материалын шаардлагыг хангаж байна. Хаягдал шилний найрлага нь тогтмол, бохирдолгүй цэвэр учраас агууламж ихсэхэд цементийн зуурмагийн тархалт бага зэрэг нэмэгдэж байна.

Бетоны зуурмагийн цементийн жингийн 20% хүртэл хаягдал шилийг орлуулах боломжтой бөгөөд стандартад заасны дагуу 28 хоногийн дараах бат бэхийг 10% шил агуулсан бетон сорьц хангаж байгаа тул хамгийн тохиромжтой найрлага гэж үзэж байна.

Хаягдал шил агуулсан бетон нь хожуу үеийн бэхжилттэй байгаа нь туршилтаар тогтоогдов. Тухайлбал: 10%-иас цааш шилний агууламжийг нэмэгдүүлэхэд 28 хоногийн бат бэхийн утга нь төслийн бат бэхийн утгадаа хүрсэн хэдий ч хяналтын сорьцын утгаас бага, харин 90 хоногийн дараагаас эхлэн 20% хүртэлх бүх найрлагын шахалтын бат бэхийн утга нь төслийн утгадаа хүрэх ба 180 хоног дээр 20% шил агуулсан бетон сорьцын бат бэх 57.5 МПа-д хүрч байна. Иймд хожуу үеийн бэхжилттэй бетон тул төсөллөж байгаа эдлэл хийцдээ тохируулан хэрэглэх нь зүйтэй юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. <https://www.statista.com/statistics/1055604/key-figures-glass-recycling-globally/>
2. Schmidt, A.; Saia, W. Alkali-aggregate reaction tests on glass used for exposed aggregate wall panel work. *ACI Mater. J.* 1963, 60, 1235–1236
3. Д.Оюунбилэг (2014). Цементийн хими. Дархан-уул аймаг. х3
4. A.M. Matos, J. Sousa-Coutinho. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement” *Constr. Build. Mater.*, 36 (2012), 205-215. <https://doi.org/10.1016/>

5. Jangid JB, Saoji AC. Waste Glass Powder as The partial replacements of Cement in Concrete Production. *Experimental Investigation of Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2014, 55-60.
6. Dabiri H, Sharbatdar MK, Kavyani A, Baghdadi M. The Influence of Replacing Sand with Waste Glass Particle on the Physical and Mechanical Parameters of Concrete. *Civil Engineering Journal*. 2018; 4:1646-52 <https://doi.org/10.28991/cej-03091101>
7. Vijayakumar G, Vishaliny H, Govindarajulu D. Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete production. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2013; 3:153-57.
8. Edward Harrison, Aydin Berenjian, Mostafa Seifan. Recycling of waste glass as aggregate in cement based materials. *Environmental Science and Ecotechnology* 2020; 100064. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2020.100064>
9. Z. Xie, Y. Xi. Use of recycled glass as a raw material in the manufacture of Portland cement, *Mater. Struct.* 35 (2002). <https://doi.org/10.1007/BF02483139>
10. K. Dvorak, D. Dolak, P. Dobrovolný. The improvement of the pozzolanic properties of recycled glass during the production of blended Portland cements, *Procedia Eng.* 180 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.284>
11. J. Halbiniak, M. Major. Use of Waste Glass for Cement Production, 2019. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 585(1):012008. <https://doi:10.1088/1757-899X/585/1/012008>
12. K. Sundara Kumar, M.Siva Chennakesava Rao. Studies on utilization of waste glass powder in concrete making. *International Journal For Technological Research In Engineering* Volume 3, Issue 12, p 3240-3244 August-2016
13. Bhagyasri T, Prabhavathi U, Vidya N. Role of Glass Powder in Mechanical Strength of Concrete. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*. 2016; 3:74-78.
14. Roz-Ud-DinNassar, Parviz Soroushian. Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. *Constr. Build. Mater.*, 29 (2012), pp. 368-377 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.061>
15. Raed Abenden, Khaled Ramadan. Freezing Thawing Resistance of Concrete Incorporating Glass Waste. (2015) *Journal of Materials Science Research* 4(4) <https://doi:10.5539/jmsr.v4n4p19>
16. B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton, Supplementary cementitious materials, *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) 1244–1256. <https://doi.org/10.1016/>

The study on the possibility to use waste glass in concrete

Dashdondog Oyunbileg^{1*}, Tsegmid Batbaatar¹

¹*School of Technology in Darkhan, Mongolian University of Science and Technology, Darkhan-Uul 45000, Mongolia*

*E-mail: oyunbileg@stda.edu.mn

ORCID: [0000-0003-2266-3828](https://orcid.org/0000-0003-2266-3828)

Submitted: 18.11.2022

Reviewed: 25.11.2022

Accepted: 31.12.2022

Abstract: Million tons of waste glass are produced worldwide every year, which creates waste that does not dissolve in the soil and does not decompose in the environment. The composition of glass contains silicon oxide, so it is fully justified to use it as a building material. It is possible to contribute to the development of environmentally friendly, energy efficient and green technologies by finely grinding glass waste and using it in concrete as a partial replacement of cement weight.

In this study, mix the grade B25 concrete with PC 42.5 Portland cement, colorless and colored waste glass powder, fine and large aggregate were used. This research deals with studying the effect of adding waste glass powder (5-25%) to cement mortar on mechanical properties of concrete. The chemical composition of colorless and colored was determined using the XRF analysis method. A set of tests, including unconfined compressive strength tests, were conducted on samples prepared at curing times of 7, 14, 28, 56, 90 and 180 days.

The results showed that cement replacement for waste glass up to 20% produced lower compressive strength than that of the control sample at 28 days. But also, it will be increase after 90 days. The micro-silica in the glass product reacts secondary to the calcium oxide hydro silicate compound formed from the cement hydration process to form calcium hydro silicate. Main hydroxyl ions and alkali ions penetrate the surface of micro silica, reducing the amount of free water and increasing the strength of concrete.

Keywords: *silicon, strength, sustainability development, binding material .*

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

DOI:<https://doi.org/10.5564/bicct.v10i10.2600>