



ЦЕМЕНТИЙН ГИДРАТЖИЛТЫН БҮТЭЭГДЭХҮҮНД НАНОЦАХИУРЫН ОКСИД НЭМЭЛТИЙН ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨ

Д. Баатарцэрэн, Н. Жавхлантөгс, Б. Цэрэнханд*

Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль,
Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол улс

* Цахим шуудан: tserenkhand@seas.num.edu.mn

Редакцид ирүүлсэн: 2017.05.12

ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгаагаар Монгол оронд үйлдвэрлэсэн 3 төрлийн цементийн шинж чанар болон тэдгээрийн гидратжилтанд нано SiO_2 -ийн үзүүлэх нөлөөг харьцуулан судаллаа. Наноцахуурын оксид нь цементийн гидратжилтийн үед үүсэх кальцийн гидроксидыг поzzолонжих (pozzolanic) урвалд оруулж кальцийн гидросиликат үүсгэдэг. Поzzолонжих урвалын хурд тухайн бодисын хувийн гадаргуугаас шууд хамааралтай байдаг. Энэхүү судалгаанд наноцахуурын оксидыг цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, 2.5 %-иар, наноцахуурын оксидын тархалтыг сайжруулах зорилгоор бетоны химийн нэмэлт болох поликарбоксил (Viscocrete 5540) цементийн жингийн 1.0 %-иар тус тус нэмж судалгааг гүйцэтгэсэн. Бэлтгэсэн цементэн бетоны шахалтын бат бэхийг 3, 7, 14, 28 хоногуудад, эрдсийн бүтэц, найрлагыг 28 хоногт тус тус тодорхойлсон. Туршилтаас харахад наноцахуурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ нь Хөтөлийн цементэд 0.5 %, 1.0 %, Улаан цементэд 1.0 %, Налгартүшиг цементэд 0.5 % үед шахалтын бат бэх нь өндөр байсан. Цементийн бетоны эрдсийн найрлагын шинжилгээнээс үзэхэд цемент тус бүрд нэмэлтийн хэмжээ 0.5 %, 1 % үед гидратжилтаар үүсэж буй кальцийн гидроксидын эрчим хамгийн бага, кальцийн гидросиликатын эрчим өндөр байсан. Наноцахуурын оксид нь цементийн шахалтын бат бэхийг нэмэгдүүлэх, гидратжилтаар үүсэх эрдсийн найрлагыг өөрчлөх болон цементийн өгөршилийг багасгах, удаан эдэлгээтэй болгох зэрэг шинж чанартай байна.

Түлхүүр үгс: цемент, наноцахуурын оксид, бат бэх, гидратжилт, өгөршилт;

ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд нанохэмжээтэй жижиг хэсгийг хэрэглэж, шинэ шинж чанар бүхий материал гаргаж авах нь олон судлаач, эрдэмтэдийн сонирхлыг маш ихээр татаж байна. Барилгын материалын шинж чанарт тавигдах шаардлага нэмэгдэхийн хирээр түүнд нанонэмэлтийг өргөн хэрэглэж

байна. XXI зуун гарсанаар цемент, бетон салбарт эрчимтэй өөрчлөлт гарч төрөл бүрийн химийн нэмэлт болон нанонэмэлт материалууд дотроос наноцахуурын оксид нь материалын чанарыг эрс сайжруулдаг болохыг эрдэмтэд тогтоосон. Цементийн бат бөх, гидратжилт, өгөршилтэнд тэсвэртэй

байх шинж чанаруудыг нэмэгдүүлэхийн тулд химийн нэмэлтийг хэрэглэдэг [1, 2].

Харин наноцахиурын оксид нь эрдэс нэмэлт бөгөөд цементийн гидратжилтын үед үүсэх бүтээгдэхүүн болон хатуурах процессыг түргэсгэдэг байна. Үүний шалтгаан нь наноцахиурын оксидын онцгой шинж чанартай холбоотой юм[2]. Цахиурын тоос (Silica fume) ба бусад цахиурлаг нунтаг эрдсүүд нь цементийн гидратжилтын үед дүүргэгч нөлөө үзүүлж нүх сүвийг багасгах, поззолонжих урвалыг явуулж кальцийн гидроксидыг кальцийн гидросиликат болгон хувиргах, цементийг өндөр шинж чанартай, бат бэх сайтай болгох нөлөө үзүүлдэг. Өнгөрсөн 10 жилд 1-100 нм-ын хэмжээтэй наножижиг хэсгийн ер бусын шинж чанар нь судлаачдын анхаарлыг маш ихээр татаж байна [3-6]. Цементийн үйлдвэрлэлийн ялгаруулж буй нүүрсхүчлийн хий нь дэлхий нийт ялгарч буй нүүрсхүчлийн хийн 6-7 %-ийг эзэлдэг. Иймд цементийн үйлдвэрлэлийг дэлхий нийтээр багасгах бодлоготой байна. Цахиурын тоос (silica fume), цахилгаан станцын үнс (fly ash), наноцахиурын оксидыг хэрэглэж нүүрсхүчлийн хийг ялгаруулахгүй цемент үйлдвэрлэх боломжтой[4, 7]. Цементийн гидратжилтанд үүсдэг кальцийн гидросиликат нь өөрөө маш нарийн нанобүтэцтэй материал юм [5]. Бетоны шинж чанарыг нэмэгдүүлэх, маркыг дээшлүүлэх, бат бэх чанарыг нэмэгдүүлэхийн тулд нано эрдэс нэмэлт болон химийн нэмэлтийг хамтад тодорхой харьцаагаар хэрэглэж бетоны шинж чанарыг бүрэн нэмэгдүүлэх судалгааны ажлууд олон байдаг [8]. Цементийн гидратжилтын үед үүсэх нэгдлийн шинж чанарыг өөрчлөх, шинэ нэгдэл үүсгэх, кальцийн гидросиликатын үүсэлтийг нэмэгдүүлэх, кальцийн гидроксидын үүсэлтийг бууруулах талаар олон эрдэмтэд судалсан байдаг. К. Соболев нар цемент дэх наноцахиурын оксидын оптимал нөхцлийг тодорхойлсон. Тус судалгаанд

наноцахиурын оксидыг золь-гель аргаар гарган авч цементэд нэмэлт болгон хэрэглэсэн ба суперпластификатор химийн нэмэлтийг уян налархайжуулагч болгон судалгаандаа ашигласан байна. Энэхүү судалгааны үр дүнд суперпластификатор нэмэлт нь наноцахиурын оксидын тархалтын сайжруулдаг, цементийн бат бэх болон гулзайлтын бат бэхийг наноцахиурын оксид нэмэгдүүлдэг гэж дүгнэсэн [9, 10].

Монгол оронд химийн нэмэлт харьцангуй өргөн хэрэглэгдэж байгаа боловч нанохэмжээт эрдсийн нэмэлтийг хэрэглэхгүй байна. Иймд нанохэмжээт эрдэс нэмэлтийн үзүүлэх нөлөө, түүнийг гарган авах аргыг судлах, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх асуудал нэн тэргүүнд тавигдаж байна. Учир нь сүүлийн жилүүдэд манай оронд барилга болон замын бүтээн байгуулалт хэмжээтэй нэмэгдэж байгаа төдийгүй тэдгээрт хэрэглэгдэх цемент, бетоны шинж чанарыг өөрийн орны эрс тэс уур амьсгалд тохируулан нэмэгдүүлэх шаардлага гарч байгаа юм. Нанохэмжээт нэмэлтийн нөлөөг судлаж Монгол орны цаг агаарт тэсвэртэй, удаан эдлэгдэх чадвартай, бат бэх чанар өндөртэй бетоныг гарган авах бүрэн боломжтой юм. Р. Санжаасүрэн нар нанохэмжээт нэмэлт бүхий бетон үйлдвэрлэх технологийн физик-химийн судалгааг хийж гүйцэтгэсэн байна. Энэхүү судалгаагаар наноцахиурын оксидыг золь-гель аргаар гарган авч цементэд нэмэлт болгон хэрэглэсэн. Судалгааны үр дүнд нанохэмжээт нь цементийн бат бэх ба идэвхт чанарыг нэмэгдүүлдэгийг судалсан боловч гидратжилтын дүнд үүсэх нэгдлийн судалгааг нарийн судлаагүй байна [2]. Иймд нанохэмжээт нэмэлтийг хэрэглэн Монголд хэрэглэгдэж буй цементийн гидратжилтаар үүсэх кальцийн гидроксидын хэмжээг бууруулах, кальцийн гидросиликатын хэмжээг нэмэгдүүлэх, түүний оптимал нөхцлийг тодорхойлох нь энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго юм.

МАТЕРИАЛ, АРГА АРГАЧЛАЛ

Энэхүү судалгаанд OPC 42.5 маркийн Хөтөл, Улаан, Налгартүшиг цемент, 300 м²/г гадаргуугийн талбайтай, 210-260 нм-ийн хэмжээтэй наноцахиурын оксид (Shanghai Mackline Biochemical Co., Ltd, 99.8 %) болон поликарбоксил (ViscoCrete 5540) химийн нэмэлтийг ашиглан судалгааг гүйцэтгэлээ. Судалгаанд наноцахиурын оксид нэмэлтийг цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, 2.5 %-иар, химийн нэмэлтийг цементийн жингийн 1 %-иар тооцоолон дээжүүдийг бэлтгэсэн болно.

Энэхүү судалгаанд ашигласан цементийн хувийн гадаргуу (Zhejiang, DBT-

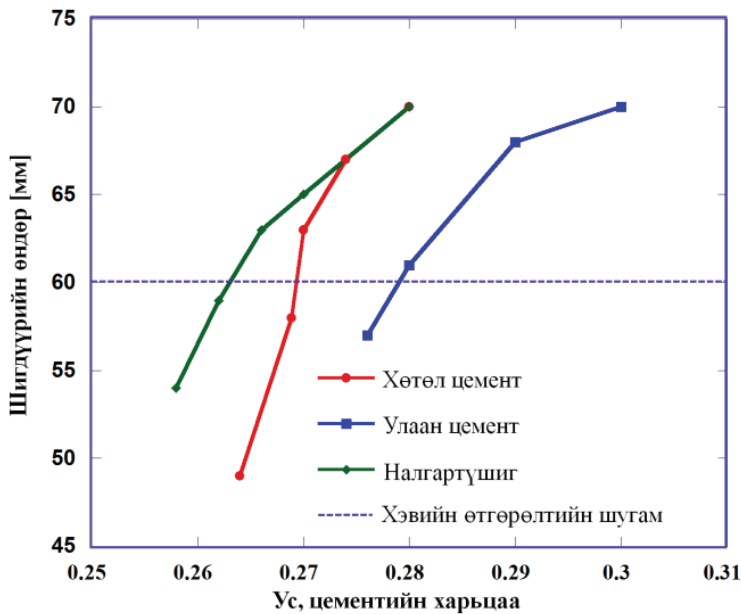
127), хэвийн өтгөрөлт (Reliable, IS:5513), барьцалдах хугацаа (Reliable, IS:5513), шахалтын бат бэх (Zhejiang, STYE-300), гулзайлтын бат бэх (KZJ-5000) зэрэг шинж чанаруудыг стандарт аргуудаар тодорхойлсон [11, 12]. Хэвийн өтгөрөлттэй байх үеийн ус, цементийн харьцаагаар наноцахиурын оксидын нэмэлттэй 2x2x2 ба 4x4x16 см хэмжээтэй цементэн бетоныг бэлтгэв. Гидратжсан цементийн эрдсийн найрлагыг рентген диффрактометрийн (Maxima_X, XRD-7000) шинжилгээгээр тодорхойлсон.

ҮР ДҮН, ХЭЛЦЭМЖ

Цементийн ерөнхий шинж чанар

Хөтөл, Улаан, Налгартүшиг цементүүдийн хэвийн өтгөрөлтийн үр дүнг харьцуулан доорх Зураг 1-д харуулав. Зураг 1-ээс үзэхэд ус, цементийн харьцаа Хөтөл

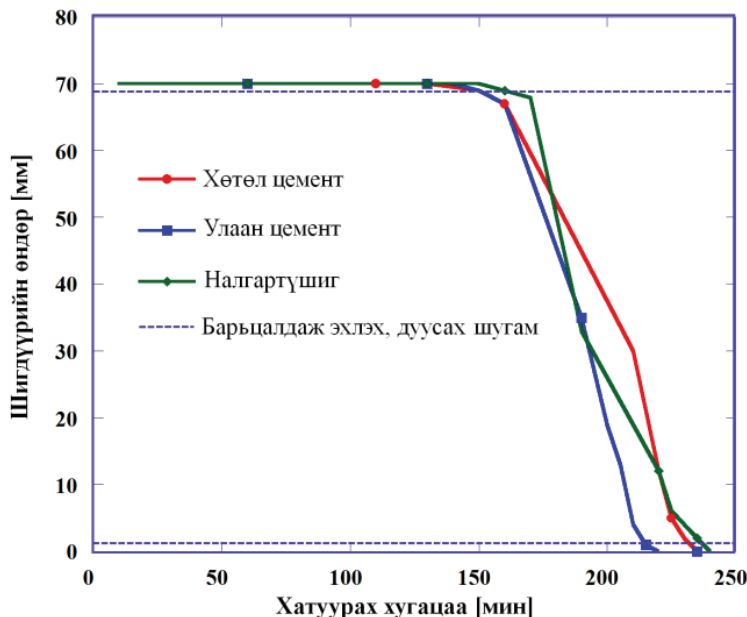
(0.27) болон Налгартүшиг (0.26) хэвийн өтгөрөлттэй байгаа нь Улаан цемент (0.28)-ээс бага байна. Энэ нь дээрх цементүүд нь ус бага зарцуулдаг цемент байна.



Зураг 1. Цементийн хэвийн өтгөрөлт

Дээрх гурван төрлийн цементийн барьцалдах эхлэх ба дуусах хугацаа хооронд харьцуулан Зураг 2-т үзүүлэв. Зураг 2-оос харахад Хөтөл болон Улаан

цементийн барьцалдаж эхлэх хугацаа нь Налгартүшиг цементийн барьцалдаж эхлэх хугацаанаас богино байна.



Зураг 2. Цементийн барьцалдах хугацаа

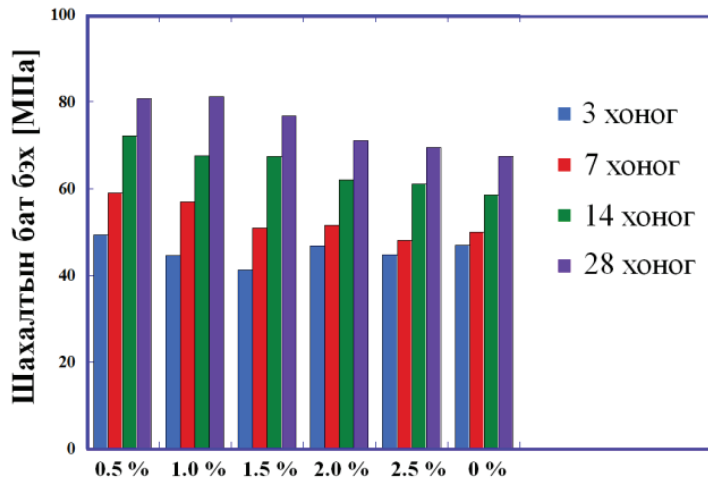
Түүнчлэн Зураг 1-т үзүүлснээр ус, цементийн харьцаа нь Улаан цементэд өндөр байсан нь түүний барьцалдаж эхлэх ба дуусах хугацаа хамааралгүй байна. Цементийн барьцалдах хугацаа нь зөвхөн шинээр үүсч буй гидрат нэгдлийн үүсэлтийн хурдтай хамааралтай байна. Хөтөл, Улаан, Налгартүшигийн цементүүдийн хувийн гадаргуу, 28 хоногийн гулзайлтын болон шахалтын бат бэх харгалзан 407.8, 465.0, 463.0 см²/г, 8.07, 8.20, 7.87 МПа болон 42.73, 43.10, 45.60 МПа байв. Хувийн гадаргуугийн хэмжээ Улаан цемент (465.0 см²/г)-д хамгийн өндөр байна. Улаан цементийн хувийн гадаргуу их байсан тул түүний хатуурах хугацаа бага байна. Хувийн гадаргуугийн хэмжээ ба цементийн хатуурах хугацаа хоорондоо урвуу

хамааралтай байна.

ОРС 42.5 маркын эдгээр цементүүдийн ус, цементийн харьцаа болон хатуурах хугацаа, гулзайлтын болон шахалтын бат бэх нь MNS 974:2008 стандартыг бүрэн хангаж байна [11].

Наноцахиурын оксидын нэмэлттэй цементэн бетоны механик шинж чанар

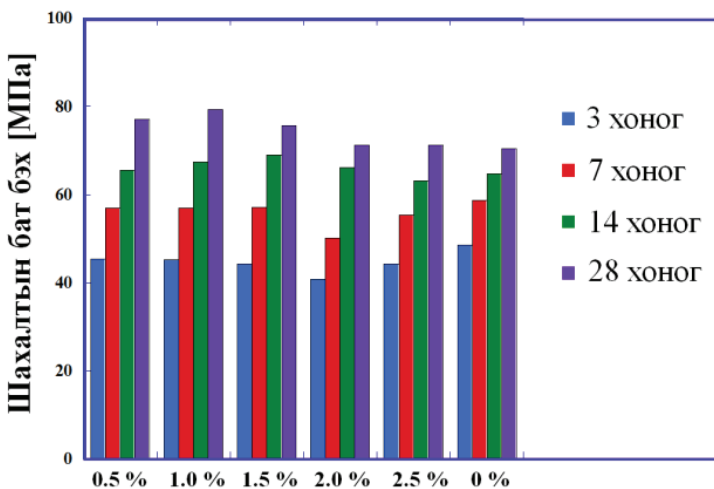
Хөтөл, Улаан, Налгартүшиг цементэд наноцахиурын оксидын хэмжээг цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, 2.5 % харьцаагаар цементэд тус тус нэмж, поликарбоксил ViscoCrete 5540 бетоны химийн нэмэлтийг уян налархайжуулагч болгон цементийн жингийн 1.0 %-иар нэмж түүний шахалтын бат бэхийг 3, 7, 14, 28 хоногуудад тодорхойлсон үр дүнг Зураг 3, 4, 5-т харуулав.



Зураг 3. Наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Хөтөл цементийн шахалтын бат бэх

Зураг 3-аас үзэхэд Хөтөл нэмэлтгүй болон нэмэлттэй цементийн шахалтын бат бэх 3, 7, 14, 28 хоногуудад жигд өсөлттэй явагдсан байна. Наноцахиурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 % байхад түүний 28 хоногийн шахалтын бат бэг хамгийн их өнлөр гарсан

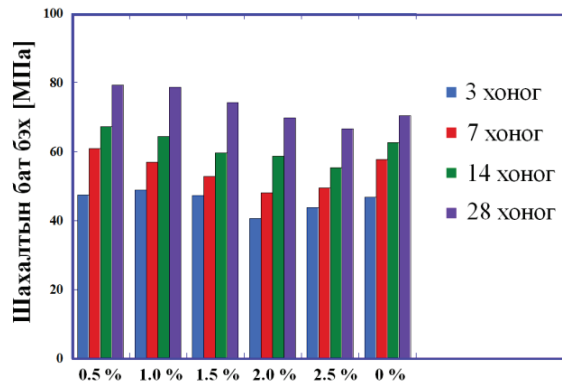
(80.78 МПа, 81,17 МПа) байна. Цаашид нанонэмэлтийн хэмжээг нэмэгдүүлэхэд түүний шахалтын бат бэх буурч байна. Харин 3 хоногийн шахалтын бат бэхүүд нь нэмэлтийн хэмжээ нэмэгдэх тусам их өөрчлөлт харагдахгүй байна.



Зураг 4. Наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Улаан цементийн шахалтын бат бэх

Зураг 4-өөс үзэхэд Улаан цементийн хувьд 1.0 %-ийн наноцахиурын оксидын нэмэлттэй үед шахалтын бат бэх нь хамгийн өндөр (79.39 МПа) байна. Мөн наноцахиурын оксидын хэмжээ нэмэгдэх

тусам шахалтын бат бэх буурч байна. Улаан цементийн хувьд гидратжилтын 7, 14 хоногт шахалтын бат бэх өсөлт ихтэй харагдаж байна.



Зураг 5. Наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Налгартушиг цементийн 3, 7, 14, 28 хоногийн шахалтын бат бэх

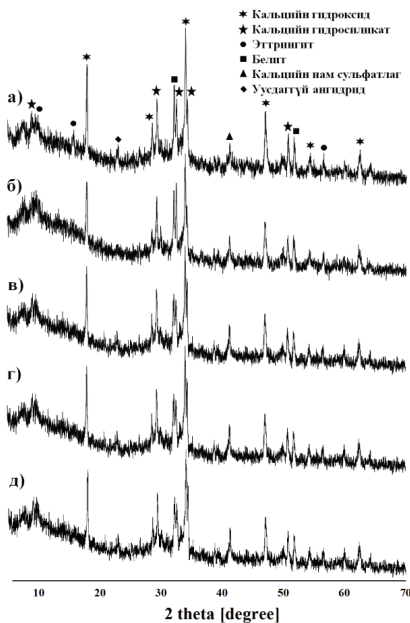
Зураг 5-аас харахад наноцахиурын оксидын 0.5 %-ийн нэмэлттэй Налгартушиг цементийн 28 хоногийн бат бэх нь хамгийн өндөр (79.29 МПа) байна. Харин нэмэлтийн хэмжээ ихсэх тусам шахалтын бат бэх буурч байна. Наноцахиурын оксидын нэмэлтэй

Налгартушиг цементийн шахалтын бат бэх 28 хоногт огцом өсөлт үзүүлсэн байна. Эдгээрээс дүгнэхэд наноцахиурын оксидын нэмэлт 1 %-иас их үед цементэн бетоны шахалтын бат бэхийг бууруулдаг байна.

Наноцахиурын оксидын нэмэлттэй цементэн бетоны эрдсийн найрлага

Цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.5 %-ийн наноцахиурын оксидын нэмэлттэй дээжүүдийн рентген фазын

шинжилгээний үр дүнг Зураг 6, 7, 8-д тус тус харуулав.

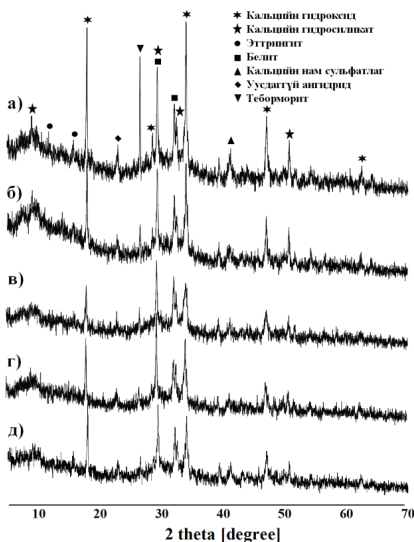


Зураг 6. Нэмэлтгүй (а) болон 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 % (б, в, г, д) наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Хөтөл цементийн эрдсийн анализ

Зураг 6-оос харахад Хөтөл цементийн гидратжсан эрдсийн найрлагад кальцийн гидроксидын ($d = 4.93, 2.63, 1.93, 1.48 \text{ \AA}$), эттрингитийн ($d = 9.3, 5.61 \text{ \AA}$), кальцийн гидросиликатын ($d = 9.84, 2.75, 2.62, 1.80 \text{ \AA}$), белитийн ($d = 3.05, 2.78, 1.77 \text{ \AA}$), уусдаггүй ангидридын ($d = 3.86 \text{ \AA}$), кальцийн нам сульфатлагийн ($d = 2.18 \text{ \AA}$) [13,14] эрдсүүд бүхий цемент байна. Эрдсийн шинжилгээнээс наноцахиурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ 0.5 %, 1.0 %-ийн үед гидратжилтанд үүсэх кальцийн гидроксидын хэмжээ буурч, кальцийн гидросиликатын хэмжээ нэмэгдэж байгааг тэдгээрийг илэрхийлэх шугамуудын

эрчимтэй холбож тайлбарлаж болно. Наноцахиурын оксидын нэмэлтийн 1.5 %, 2.5 %-иар нэмэхэд кальцийн гидроксидын эрчим эргэн нэмэгдэж, кальцийн гидросиликатын эрчим буурч байна.

Зураг 7-оос харахад Улаан цементийн гидратжсан эрдсийн найрлагад кальцийн гидроксидын ($d = 4.93, 2.63, 1.93, 1.69, 1.48 \text{ \AA}$), эттрингитийн ($d = 9.3, 5.64, 1.62 \text{ \AA}$), кальцийн гидросиликатын ($d = 9.78, 6.36, 3.35, 2.75, 2.28, 1.80 \text{ \AA}$), белитийн ($d = 3.05, 2.78, 1.77 \text{ \AA}$), уусдаггүй ангидридын ($d = 3.87 \text{ \AA}$), кальцийн нам сульфатлагийн ($d = 2.18 \text{ \AA}$) [13, 14] эрдсүүд бүхий цемент байна.

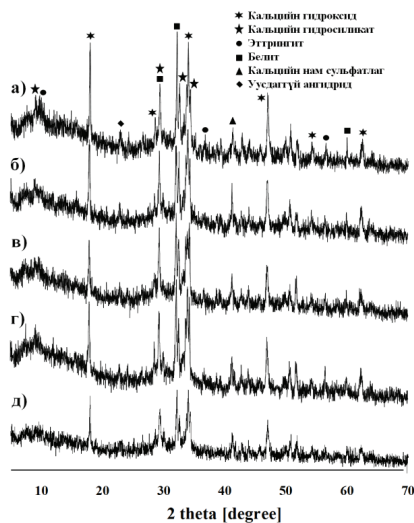


Зураг 7. Нэмэлтгүй (а) болон 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 % (б, в, г, д) наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Улаан цементийн эрдсийн анализ

Улаан цементийн эрдсийн анализаас наноцахиурын оксидын нэмэлтгүй үед теборморит (C_2SH_2 , $d = 3.35 \text{ \AA}$) [13, 14] эрдэс илэрсэн. Наноцахиурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ 1.0 %-иар нэмэхэд кальцийн гидроксидын эрчим буурч, кальцийн гидросиликатын эрчим ихэссэн бөгөөд теборморит буурсан харагдаж байна. Мөн цементийн жингийн 1.5 %, 2.5 %-ийн нэмэлттэй үед кальцийн гидроксид буцан нэмэгдэж, гидросиликатын эрчим буурсан байна. Зураг 4-т үзүүлсэн 14, 28 хоногууд дахь шахалтын бат бэх огцом өссөн нь Улаан цемент дэх белитийн эрчим

өндөр байсантай холбоотой .

Зураг 8-аас харахад Налгартүшиг цементийн гидратжсан эрдсийн найрлагад кальцийн гидроксидын ($d = 4.93, 2.63, 1.93, 1.69, 1.48 \text{ \AA}$), эттрингитийн ($d = 8.86, 5.96, 3.6, 1.62 \text{ \AA}$), кальцийн гидросиликатын ($d = 2.75, 2.61, 2.18, 1.54, 1.80 \text{ \AA}$), белитийн ($d = 3.04, 2.78, 2.44, 1.76 \text{ \AA}$), уусдаггүй ангидридын ($d = 3.87 \text{ \AA}$), кальцийн нам сульфатлагийн ($d = 2.18 \text{ \AA}$) [13, 14] эрдсүүд бүхий цемент байна. Налгартүшиг цементийн эрдсийн анализаас үзэхэд Хөтөл болон Улаан цементүүд дэх белитийн агуулагаас их байна.



Зураг 8. Нэмэлтгүй (а) болон 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 % (б, в, г, д) наноцахиурын оксидын нэмэлттэй Налгартүшиг цементийн эрдсийн анализ

Наноцахиурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ 1.0 %-иар нэмэхэд кальцийн гидроксидын эрчим буурч, кальцийн гидросиликатын эрчим өссөн байна. Цементийн жингийн 1.5 %, 2.5 %-ийн нэмэлттэй үед кальцийн гидроксид буцан нэмэгдэж, гидросиликатын эрчим буурсан байна.

Зураг 6, 7, 8-аас харахад наноцахиурын оксидын нэмэлтийн хэмжээ 1.5 %, 2.5 % үед дээрх гурван цементийн кальцийн гидроксидын эрчим эргэн нэмэгдэж байгаа нь ажиглагдаж байсан. Энэ нь кальцийн

гидроксидын уусах чанартай холбоотой болно. Кальцийн гидроксидын уусах чанар 1.3 г/л байдаг. Харин кальцийн гидроксид усанд уусаж 1.1 г/л-ээс бага концентрацтай болоход кальцийн гидросиликат задарч кальцийн гидроксидыг үүсгэдэг. Цаашид концентрац буурч 1.08 г/л болоход C4AH11 задарч кальцийн гидроксидыг үүсгэдэг. Үүний үр дүнд гидрат нэгдлүүд задарч барьцалдах чадваргүй, аморф байдалтай ислийн гидратууд үүсгэсэнээр цементийн бат бэхийг бууруулдаг байна [15].

ДҮГНЭЛТ

Хөтөл, Налгартүшиг цементэд наноцахиурын оксидын хэмжээг цементийн жингийн 0.5 %, 1.0 %, Улаан цементэд 1.0 %-иар нэмэхэд цементэн бетоны шахалтын бат бэх хамгийн их, гидратжилтаар үүсэх кальцийн гидроксидын эрчим бага, кальцийн гидросиликатын эрчим их байгаа нь наноцахиурын оксидын нэмэлтийн

тохиромжтой нөхцөл гэж тогтоолоо. Наноцахиурын оксидын нэмэлт нь цементийн гидратжилтаар үүсэх кальцийн гидросиликатын хэмжээг ихэсгэх, кальцийн гидроксидын хэмжээг багасгах, гидратжилтын явцад үр дүнтэй нөлөө үзүүлээ.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг “МУИС-ийн 2015-2016 оны хичээлийн жилийн судалгааг дэмжих өндөр түвшний судалгаа

(№24, №26)” төслийн дэмжлэгтэйгээр хийж гүйцэтгэсэн болно.

**НОМ ЗҮЙ**

1. Babu G.R, 2013, *Effect of nano-silica on properties of blended cement*, *Int. J. Comput. Eng. Res.*, 3:50-55.
2. Санжаасүрэн Р, Бадамсүрэн Ж, 2013, *Нано хэмжээст нэмэлт бүхий бетон үйлдвэрлэх технологийн физик-химийн судалгаа, Шинжлэх ухаан технологийн сэдэвт ажлын тайлан.*, УБ. 19-24.
3. Shih J.Y, Chan T.P, Hsiao T.C, 2006, *Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite*, *Mater. Sci. Eng. A*, 424:266-274.
4. Bircik H, Sarier N, 2014, *Comparative study of the characteristics of nano silica, silica fume and fly ash incorporated cement mortars*, *Mater. Res.*, 17(3): 570-582.
5. Qing Y, Zenan Z, Deyu K, Rongshen C, 2007, *Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume*, *Construc. Build. Mater.*, 21:539-545.
6. Al-Salami A.E, Al-Gawati M.A, 2013, *Pozzolanic activity of nano-silica and its application for improving physical, mechanical and structural properties of hardened cement*, *Int. J. Appl. Phys. Math.*, 3:376-380.
7. Buynng-Wan J, Ji-Sun C, Seok-Won K, 2011, *An experimental study on the characteristics of chemically synthesized nano-cement for carbon dioxide reduction*, *J. Cer. Proc. Res.*, 12:294-298.
8. Lyappan M, Jagannathan D.A, 2013, *High strength self compacting concrete with nanosilica*, *Int. J. Emerg. Trends Eng. Devel.*, 5:163-168.
9. Sobolov K, Flores I, Torres-Martinez L.M, Valdez P.L, Zarazua E, Cuellar E.L, 2009, *Engineering of SiO₂ Nanoparticles for Optimal Performance in Nano Cement-Based Materials*, *Nanotech. Construc.*, 3:139-148.
10. Sobolov K, Flores I, Torres-Martinez L.M, Cuellar E.L, Valdez P.L, Zarazua E, 2010, *Performance of cement systems with nano- SiO₂ particles produced using sol-gel Method*, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1276:1-7.
11. Портландцемент. Техникийн шаардлага, MNS 974-2008, Монгол Улсын Үндэсний Стандарт, 1-13.
12. Цемент-Олон ширхэгтэй элс хэрэглэн турших арга, MNS 976-2008, Монгол Улсын Үндэсний Стандарт, 1-20.
13. Намжилдорж Б, 2007, *Материалын судалгааны физик аргууд*, УБ, 1:70-76.
14. Намжилдорж Б, 2014, *Материалын судалгааны физик аргууд*, УБ, 2:347-382.
15. Батмөнх О, 2006, *Ус бага шаардах холимог барьцалдуулагчийн онолын үндэс, бетоны технологи*, УБ, 8-35.



THE EFFECT OF NANOSILICA ON HYDRATION OF CEMENT

*D. Baatartseren, N. Javkhlantugs, B. Tserenkhand**

School of Engineering and Applied Sciences, National University of Mongolia

**corresponding author: e-mail: tserenkhand@seas.num.edu.mn*

Abstracts: Addition of nano-silica effected to increase the content of calcium hydrasilicate and to decrease the content of calcium oxide for resulting the hydrate cement. Additional mass percent of nanosilica in all three cements of 1.0 % was important to increase compressive strength because the formation of calcium hydrasilicate is increased and the content of calcium oxide is decreased which were become from the results of X-ray diffraction analysis. Therefore, the addition of nanosilica of 1.0 % is optimal dosage. This is related to the dissolution of calcium hydroxide.

Keywords: cement, nanosilica, strength, hydration;