

Улсын бүртгэлийн
дугаар: 9023011

Аравтын бүрэн
ангиллын код

Нууцын зэрэглэл: Б

Төсөл хэрэгжүүлэх
гэрээний дугаар
ШУСс-2019/41

ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛИЙН
ДАРХАН-УУЛ АЙМАГ ДАХЬ ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ

**ЭХ ОРНЫ ЭРДЭС ТҮҮХИЙ ЭДЭЭР ӨНДӨР
ҮЗҮҮЛЭЛТТЭЙ БЕТОН ГАРГАН АВАХ
ТЕХНОЛОГИЙН СУДАЛГАА**

**Шинжлэх ухаан технологийн төслийн суурь судалгааны тайлан
2019-2022**

Төслийн удирдагч:	Х.Жанчивдорж Доктор Ph.D
Санхүүжүүлэгч байгуулга:	Шинжлэх ухаан технологийн сан
Захиалагч байгууллага:	Боловсрол Шинжлэх Ухааны Яам
Гүйцэтгэгч байгууллага:	ШУТИС ДаТС

2023 он

РЕФЕРАТ

Өнөөдөр дэлхийн практикт 150 МПа хүртэлх бат бэхтэй бетоны технологи боловсруулагдаад бүрэн хэрэгжиж байна. Мөн өндөр бат бэхтэй төдийгүй хий ба ус үл нэвтрүүлэх чадвар, өгөршил ба идэмхий орчин болон элэгдэл тэсвэрлэлтээр маш сайн буюу хэт өндөр үзүүлэлттэй бетон /UHPC/-ийг гарган авч олон давхар өндөр барилга байгууламж, атомын цахилгаан станц, гидротехникийн байгууламж, аварга том гүүр, замын өнгөн үе, өрөмдлөгийн тавцан болон бусад төрлийн инженерийн томоохон байгууламжууд зэрэгт хэрэглэх практик дүрэм журам нэгэнт гарч амьдралд хэрэгжиж байна.

Улс орнууд хөгжихийн хэрээр орчин үеийн өндөр барилга, урт алгасалтай гүүр, зам, хонгил, цэвэрлэх байгууламж барих шаардлага улам бүр тулгарч тэдгээрт хэрэглэх материалд техник, эдийн засгийн хувьд улам өндөр шаардлага тавигдаж байна. Чухамхүү энэхүү шаардлагыг зөвхөн өндөр бат бэхтэй бетон (HSC) хангадаг.

Техникийн өндөр хөгжилтэй орнууд 60МПа-аас дээш бат бэхтэй бетоныг даацын үндсэн бүтээц, эдлэхүүнд хэрэглэх нь барилга, байгууламжийн эдэлгээний хугацааг уртасгаж, материал багтаамжийг багасгах, тусгай зориулалтаар хэрэглэх үндсэн арга гэж үздэг.

Өргөн хэрэглээний бүтээц-эдлэхүүний бетоны бат бэхийг нэмэгдүүлснээр эдлэхүүний даац, эдэлгээний чанар сайжрахын зэрэгцээ жин нь хөнгөрч бүтээцийн алгасал уртсаж, хөндлөн огтлол багасах ба зарим тохиолдолд арматур хэмнэх, архитектурын онцгой шийдлийг хэрэгжүүлэх боломжтойгоос гадна хэрэглээний хүрээг тэлэх, эдийн засгийн үр ашигтай байх нөхцөл бүрддэг.

Өндөр бат бэхтэй бетоноор хийсэн дэвшилтэт бүтээц эдлэл АНУ-д нийт хэрэглээний 1 гаруй хувийг эзэлдэг бол Оросын Холбооны Улс(ОХУ)-д 0,5 орчим хувьд хүрсэн байна.

Өндөр бат бэхтэй бетоны өртөг 30-50МПа бат бэхтэй бетоныхоос 1,5–1,8 дахин өндөр байдаг боловч хэрэглэж байгаа бүтээц, эдлэхүүнд орох бетоны эзлэхүүн 4-6 дахин багассанаас материалын зарцуулалтыг 2-3 дахин бууруулах боломж олгодог байна.

Өндөр бат бэхтэй бетонд чанарын шаардлага бүрэн хангасан материал хэрэглэх, усны орцыг аль болох багасгах, химийн ба эрдэс нэмэлтийг заавал хэрэглэх, үйлдвэрлэлийн технологийн горимын мөрдөлт болон түүхий эд бүтээгдэхүүний чанарын хяналтыг тогтмол хийж жигд байлгах үндсэн шаардлагуудыг хэрэгжүүлэх нь хэрэглээний баталгаа болдог байна.

Манай орны хувьд тусгай зориулалтын, өндөр бат бэхтэй бетоны үйлдвэрлэл, хэрэглээ төдийлөн хөгжөөгүй байна.

Бетоны үйлдвэрлэл, хэрэглээний өнөөгийн нөхцөл нь бетоны зориулалтыг өргөтгөх, шинж чанарыг дээшлүүлэх, дэвшилтэт арга технологийг өөрийн орны нөхцөлд зохицуулан нэвтрүүлж үр ашигтай хэрэглээг буй болгох шаардлагатайг харуулж байна.

Үүний нэг жишээ нь уурхайн гүнд олборлож байгаа хүдрийг мөргөцгөөс хүдрийн нөөцийн талбайд хүнд даацын автомашин буюу 360тн-оос хүнд жинтэй “Белаз” машинаар 400 тн-оос илүү жинтэй хүдрийг тээвэрлэх шаардлага гарч байна. Энэ үед тээвэрлэх зам нь өндөр даацын байхаас гадна тусгайлан бэлдсэн, угсармал байх шаардлага тавьдаг ба үүнд хамгийн тохиромжтой материал нь угсармал бетон хавтан байх боломжтой. Иймээс тээврийн хэрэгсэл зорчих энэхүү замд хэрэглэх өндөр бат бэхтэй бетоны найрлага тогтоож улмаар энэхүү найрлагаар бетон хавтанг үйлдвэрлэх, түүнчлэн өндөр барилга байгууламж, алслал томтой гүүрний байгууламжид хэрэглэх 80-100МПа бат бэхтэй бетон гарган авах технологийн боловсруулалтын талаар энэхүү ажилд тусгав.

Судалгааны ажлын дүнд өндөр бат бэхтэй бетонд хэрэглэх бүрдүүлэгч материалын сонголт хийж, бетон хольц нь доргиулахгүйгээр өөрөө тархаж нягтрах, 100МПа (1000кгх/см²) бат бэхтэй бетоны оновчтой найрлага тогтоож, түүний физик механикийн шинж чанар болон удаан эдэлгээт чанарыг тодорхойлсон болно.

Хэвлэгдэх чанар сайтай өөрөө нягтардаг В60 болон үүнээс дээш ангийн бетоныг эх орны РС42.5 ангийн портландцементийг цахиурын тоосонцроор идэвхжүүлэн, магмын гаралтай гүний чулууг дүүргэгчээр ашиглан үйлдвэрлэх нь илүү тохиромжтой. Бетоны сонгосон найрлага, технологийг хэрэглэн үйлдвэрлэсэн эдлэлийг 850С-ын температур, 95%-ийн харьцангуй чийгшилтэй орчинд 18 цагийн турш уураар бэхжүүлсэн нөхцөлд 72 цагийн дараа ашиглалтад шилжүүлэх боломжтой.

Түлхүүр үг: бетон, өндөр бат бэх, цахиур, цемент, удаан эдэлгээт чанар

БОЛОВСРОЛ ШИНЖЛЭХ УХААНЫ ЯАМ

ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛИЙН ДАРХАН-УУЛ АЙМАГ ДАХЬ ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ

Судалгааны багийн бүрэлдэхүүн:

Төслийн удирдагч:

Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн технологич

Х.Жанчивдорж доктор (Ph.D)

Төслийн гүйцэтгэгчид:

Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн технологич

Ж.Амгалан доктор (Ph.D), профессор

**Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн хими
технологич**

Ц.Батбаатар доктор (Ph.D), дэд проф

**Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн хими
технологич**

Д.Оюунбилэг доктор (Ph.D), дэд проф

Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн технологич

Ш.Хишигжаргал магистр

Барилгын материалын үйлдвэрлэлийн технологич

Н.Оргилсайхан докторант

ГАРЧИГ

РЕФЕРАТ

УДИРТГАЛ	1
НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. БЕТОНЫ БҮТЭЦ БҮРЭЛДЭЛТ	11
1.1.Бетоны бүтэц, бүтцийн үүсэлтэд нөлөөлөх хүчин зүйлүүд	11
1.2. Цементийн чулууны бүтэц бүрдэх.....	14
1.3. Цементийн бүтэц бүрэлдэн бий болоход эрдсийн нөлөө.	17
1.4. Бүтэц бүрэлдэлтэд нунтаглалтын нөлөө.	19
1.5 Цементийн чулууны бүтэц бүрэлдэхэд орчны нөлөө	20
1.6 Суб микро бүтэц: (мезо) [2-30х].....	21
1.7 Барьцалдалгааны бүсний гидратац	23
1.8 Бетоны бат бэхийн өсөлтөд дүүргэгчийн үзүүлэх нөлөө	24
1.9 Бүтэц бүрэлдэлтэд нэмэлтийн нөлөө.....	29
1.10. Хүрээлэн байгаа орчны нөлөөлөл.....	32
Нэгдүгээр бүлгийн дүгнэлт	33
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ТҮҮХИЙ ЭД, СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ	35
2.1 Хөтөлийн цементийн физик-механик шинж чанарууд.....	35
2.2. Дүүргэгч материалуудын физик-механик шинж чанарууд.....	35
2.3. Судалгааны ажлын аргачлал	39
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ӨНДӨР ҮЗҮҮЛЭЛТТЭЙ БЕТОН ХОЛЬЦЫН НАЙРЛАГА ТОГТООХ СУДАЛГАА	41
3.1 Бетоны найрлагад орох дүүргэгч материалын зохистой найрлагын хэмжээ, ширхгийн бүрэлдэхүүн тодорхойлох судалгаа	41
3.2 Дүүргэгч материалын ширхгийн хэлбэр бетоны.....	49
шинж чанарт үзүүлэх нөлөө	49
3.3. Өндөр үзүүлэлттэй бетонд зориулсан дайрга бэлтгэхэд анхаарах онол практик ба технологийн хүчин зүйл	53
3.4. Барьцалдах материалд тавигдах шаардлага	61

3.5. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны оновчтой найрлагын судалгаа	72
3.5.1. Шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмагийн шинж чанарыг туршсан дүн	74
3.5.2. Бэхжсэн бетоны шинж чанарын судалгаа	74
3.5.2.1 Бетоны бат бэхийг туршсан дүн	74
3.5.2.2 Бетоны ус шингээлтийг туршсан дүн.....	76
3.5.2.3 Бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийг судалсан дүн	77
3.5.2.4 Бетоны ус үл нэвтрүүлэлтийг тодорхойлсон дүн.....	78
3.5.2.5 Бетоны температурын үйлчлэлийг даах чанарыг судалсан дүн	79
3.5.2.6 Бетоны бэхжилтэд орчны нөлөөг судалсан дүн	83

IV БҮЛЭГ. ӨНДӨР ҮЗҮҮЛЭЛТТЭЙ БЕТОНЫ АРЧИЛГАА.....88

4.1. Арчилгааны мөн чанар.....	88
4.2. Арчилгааны аргууд ба арчилгааны материал	89

ЕРӨНХИЙ ДҮГНЭЛТ

Ном зүй	100
----------------------	------------

Хавсралт.....	104
----------------------	------------

ЗУРАГ

<i>1.1-р зураг. Бетоны дотоод бүтцийн загварчлал. ITZ-барьцалдалгааны бүс (субмикробүтэц).....</i>	<i>21</i>
<i>3.1-р зураг. Хүнд бетоны бүрэлдүүлэгчийн эзлэх ойролцоо хувь.....</i>	<i>41</i>
<i>3.2-р зураг. Дүүргэгчийн шахалтын бат бэхийг туршсан үр дүн.....</i>	<i>46</i>
<i>3.3-р зураг. Баянголын дайрган дүүргэгчтэй өндөр марктай сорьцын бэхэжсэний дараах төлөв байдал.....</i>	<i>52</i>
<i>3.4-р зураг. Хайрга бутлах замаар гарга авсан дайрга</i>	<i>52</i>
<i>3.5-р зураг.Талст торны элементүүд хоорондын харилцан үйлчлэлийн хүчний хамаарал.....</i>	<i>54</i>
<i>3.6-р зураг. Сүүлийн үед шинээр үйлдвэрлэгдэж байгаа шахах, хагалах, нидрэх ба цохилтын хүчний үйлчлэлээр дайрга бэлтгэх дэвшилтэд бутлах төхөөрөмжүүдийн төрөл.....</i>	<i>56</i>
<i>3.7-р зураг. Бутлан ангилах үйлдвэрээс гарсан дайрганы төлөв байдал.....</i>	<i>56</i>
<i>3.8-р зураг. Доргиурт шигшүүрийн торны гадаргуу дээрх ширхгийн хөдөлгөөний тооцооны бүдүүвч.....</i>	<i>57</i>
<i>3.9-р зураг. Ширхэг нүхээр нэвтрэх нөхцөл.....</i>	<i>58</i>
<i>3.10-р зураг. Торны нүхээр нэвтрэх магадлал.....</i>	<i>58</i>
<i>3.11-р зураг. Портландцементийн гадаад ба дотоод морфологи.....</i>	<i>62</i>
<i>3.12-р зураг. Цахиурын тоосонцрын гадаад ба дотоод морфологи.....</i>	<i>63</i>

3.13-р зураг. Дэгдэмтгий үнсний гадаад ба дотоод морфологи.....	64
3.14-р зураг 1-р найрлагын шахалтын ба гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлсон дүн.....	66
3.15-р зураг. Туршилтын ажил гүйцэтгэж байгаа нь.....	66
3.16-р зураг. Цементийн зуурмагийн ус шаардалт.....	67
3.17-р зураг. Цементэн зуурмагийн барьцалдаж эхлэх ба дуусах хугацаа.....	68
3.18-р зураг. Цементийн гулзайлтын бат бэхийг турисан дүн.....	69
3.19-р зураг. Цементийн шахалтын бат бэхийг турисан дүн.....	69
3.20-р зураг. 28хоног бэхэжсэний дараах цементийн чулууны рентгенограмм.....	71
3.21-р зураг. 28хоног бэхэжсэний дараах цементийн чулууны рентгенограмм.....	71
3.22-р зураг. Бетоны ус- цементийн харьцаа ба шахалтын бат бэхийн хамаарал.....	75
3.23-р зураг. Бетоны ус- цементийн харьцаа ба гулзайлтын бат бэхийн хамаарал.....	75
3.24-р зураг. Ус шингээлтийг судалсан үр дүн.....	77
3.25-р зураг Хүйтэн тэсвэрлэлтийг туршиж буй байдал.....	77
3.26-р зураг Ус нэвтрүүлэлтийг туршиж буй байдал.....	78
3.27-р зураг Сорьцын температурын үйлчлэлийг туршиж буй байдал.....	79
3.28-р зураг. Ус-цементийн харьцаа, хүйтэн тэсвэрлэлт ба ус үл нэвтрүүлэлтийн хамаарал....	80
3.29-р зураг. Хүйтэн тэсвэрлэлт ба ус үл нэвтрүүлэлтийн хамаарал.....	80
3.30-р зураг Хүйтэн тэсвэрлэлт ба үлдэгдэл бат бэхийн хамаарал.....	81
3.31-р зураг. Бетоны макро бүтцийн зураг.....	81
3.32-р зураг. Хүрээлэн байгаа орчны чийглэг нөхцөлөөс бат бэхийн өсөлт хамаарах байдал.....	84
3.33-р зураг. Бат бэхийн өсөлтөд арчилгааны температурын нөлөө.....	85
3.34-р зураг. Бат бэхийн өсөлтөд арчилгааны температурын нөлөө.....	85

ХҮСНЭГТ

2.1-р хүснэгт Хөтөлийн цементийн PC42.5 ангийн цементийн физик-механик шинж чанар.....	35
2.2-р хүснэгт Дайрга /10-20мм/- ны шинж чанарын харьцуулсан үзүүлэлт.....	35
2.3-р хүснэгт Дайрга /5-10мм/- ны шинж чанарын харьцуулсан үзүүлэлт.....	36
2.4-р хүснэгт “Түшиг Уул” ХХК –ийн элс /0-5мм/-ний шинж чанарын үзүүлэлт.....	37
2.5-р хүснэгт Судалгаанд сонгож хэрэглэсэн дүүргэгчийн химийн бүрэлдэхүүн.....	38
2.6-р хүснэгт Цахиурын тоосонцрын хими найрлага.....	38
3.1-р хүснэгт Элс хайрганы холимог (ПГС)–ийн шинж чанарын үзүүлэлт.....	45
3.2-р хүснэгт Түшиг–Уул компанийн 0.14–5.0 мм ширхэгтэй элсний шинж чанарын туршилтын үр дүн	46
3.3-р хүснэгт Туршилтын бетон зуурмагийн найрлага.....	47
3.4-р хүснэгт Бетоны шинж чанарын үзүүлэлт.....	48
3.5-р хүснэгт Стандартын бус орчинд бэхэжсэн бетоны шахалтын бат бэхийн үзүүлэлт.....	48
3.6-р хүснэгт Торны нүхээр ширхэг нэвтрэх магадлал.....	58
3.7-р хүснэгт Цементийн хими физик шинж чанар.....	62

3.8-р хүснэгт Цахиурын тоосонцрын физик хими шинж.....	63
3.9-р хүснэгт Дэгдэмтгий үнсний шинж чанар.....	64
3.10-р хүснэгт Цементийн гулдмай сорьцын орц найрлага.....	64
3.11-р хүснэгт Шахалтын ба гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлсон дүн.....	65
3.12-р хүснэгт Цементийн зуурмагийн найрлага.....	67
3.13-р хүснэгт Бетоны найрлага ($\text{кг}/\text{м}^3$).....	74
3.14-р хүснэгт Шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмагийн шинж чанарыг туршсан дүн.....	74
3.15-р хүснэгт. Хүйтэн тэсвэрлэлтийг судалсан дүн.....	77
3.16-р хүснэгт Ус үл нэвтрүүлэх чадварыг судалсан дүн судалсан дүн.....	78
3.17-р хүснэгт Температурын үйлчлэл даах чанарыг туршсан дүн.....	79

УДИРТГАЛ

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны үүсэл хөгжил, өнөөгийн хэрэгцээ, цаашдын хөгжлийн чиг хандлага бетон бол дэлхий дээр хэрэглээгээрээ усны дараа ордог материал юм. Дэлхийн хэмжээнд жил бүр 6 тэрбум м³ бетон үйлдвэрлэж байгаагийн 40%-ийг Хятадад үйлдвэрлэж байна.

Портландцементийг бетоны үйлдвэрлэлд үндсэн барьцалдах материалаар хэрэглэж эхэлсэн 19-р зууны дунд үед хайрга, байгалийн элс хэрэглэж урсамтгай бетон зуурмаг бэлтгэж урсган цутгах арга, урсган цутгасан бетоноо цохих аргын хослолоор хэвлэж байсан учир бетоны бат бэх 20-25 МПа-аас хэтрэхгүй байжээ. Барилгын үйлдвэрлэл түүний дотор бетоны хэрэглээ тасралтгүй өсөхийн хамт түүний бат бэхийг сайжруулах зайлшгүй шаардлага урган гарч байсан учир дүүргэгчээр дайрга хэрэглэж ус цементийн харьцааг багасгах чиглэл баримталж улмаар аргуун бетоны технологийг нэвтрүүлсэн байна. Энэ технологи нь цементийн зарцуулалтыг багасгаж 30 МПа-аас дээш бат бэхтэй бетон гаргаж авах боломжийг нээж өгсний зэрэгцээгээр бетоны технологид холих, доргиулах, шахах, төвөөс зугтах хүчний үйлчлэлийн гэх мэт шинэ тоног төхөөрөмжийг зохион бүтээж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд хүргэсэн байна. Дүүргэгчээр дайрга хэрэглэж аргуун бетон зуурмаг бэлтгэж механик хүчний үйлчлэлээр хэвлэдэг болсноор бетоны бат бэх сайжирсан боловч эрчим хүчний болон хөдөлмөр зарцуулалт эрс нэмэгдсэн юм. Эрчим хүчний зарцуулалт эрс өссөн нь аргуун бетон зуурмагийг нэг төрлийн найрлагатай болтол хольж бэлэн болгоход хөдөлгөөнтэй бетон зуурмагийг холихоос 1.5-2 дахин үүнээс ч илүү хугацаа шаардагдаж бетон зуурмагийг хэв хашмалд цутгаж тараах, нягтруулахад зориулалтын хүчтэй төхөөрөмж ашиглаж байдагтай холбоотой юм.

Дэлхийн практикт 1930-аад он гэхэд бетоны хэрэгцээ урьд өмнө байгаагүй тийм их хэмжээгээр өсөж үйлдвэрлэл нь хурдассан юм. Тэр үед бетон үйлдвэрлэлийн тоног төхөөрөмжийн хүчин чадал тийм ч өндөр түвшинд хүрч чадаагүй, цементийн марк бага, бетон зуурмаг бэлтгэх (холих), хэв хашмалд цутгах, нягтруулах ажиллагаанд шинжлэх ухааны дэвшил төдий л нэвтрээгүй байсан учир бетоны бат бэх 20-25 МПа-аас нэг их хэтэрч чадаагүй байжээ. Энэ нь нэлээд хөдөлгөөнтэй бетон зуурмаг хэрэглэж байсантай холбоотой юм. Бетон зуурмагийн хөдөлгөөнт чанар өндөр байвал түүний найрлагад илүүдэл ус их хэмжээтэй байх учир түүгээр хэвлэсэн бетон бүтцийн хувьд сийрэг байх болно. Үүний учир тэр үед өндөр маркийн бетоны тухай ойлголт байгаагүй юм.

Бетон, төмөрбетоны үйлдвэрлэл нэмэгдэж салбарын шинжлэх ухаан хөгжихийн хэрээр бетон зуурмаг бэлтгэх, бетон зуурмагийг хэвэнд тарааж цутгах, нягтруулах

ажиллагааг хялбарчлах замаар бетоны бат бэхийг нэмэгдүүлэх боломжтойг судалгаа, практик үйл ажиллагааныхаа үр дүнд барилгачид түүний дотор бетон судлаачид, үйлдвэрлэгчид илрүүлж чаджээ.

1960-1970-аад онд өндөр маркийн бетон гэсэн ойлголт бетоны технологид гүнзгий орж ирсэн бөгөөд 40МПа-аас дээш бат бэхтэй бетоныг өндөр маркийн бетон гэж үнэлдэг болсон байв. Бетоны бат бэхийг ингэж өндөр болгож чадсан нь ус-цементийн харьцааг багасгаж бетоны бүтцийг сайжруулж чадсантай холбоотой юм. Учир нь бетоны технологид доргиур механизм хэрэглэж аргуун бетон зуурмаг бий болгосон, энэ тохиолдолд ус-цементийн харьцааг мэдэгдэхүйц багассан; гадаргуугийн идэвхтэй нэмэлт олж бетоны технологид нэвтрүүлсэн. Үүний үр дүнд усны орцыг багасгаж бетон зуурмагийн хэвлэгдэх чанарыг улмаар бетоны бүтцийг сайжруулж чадсан юм.

1980-аад оноос олон талын үйлчилгээтэй уян налархайжуулагч нэмэлтийг олж бетоны технологид нэвтрүүлснээр өндөр үзүүлэлттэй бетон гэдэг ойлголт 55 МПа буюу түүнээс дээш бат бэхтэй бетон гэсэн ойлголт бий болжээ[1-2].

Өнөөдөр дэлхийн практикт 150МПа хүртэлх бат бэхтэй бетоны технологи боловсруулагдаад бүрэн хэрэгжиж байна. Мөн өндөр бат бэхтэй төдийгүй хий ба ус үл нэвтрүүлэх чадвар, өгөршил ба идэмхий орчин болон элэгдэл тэсвэрлэлтээр маш сайн буюу хэт өндөр үзүүлэлттэй бетон /УНРС/-ийг гарган авч олон давхар өндөр барилга байгууламж, атомын цахилгаан станц, гидротехникийн байгууламж, аварга том гүүр, замын өнгөн үе, өрөмдлөгийн тавцан болон бусад төрлийн инженерийн томоохон байгууламжууд зэрэгт хэрэглэх практик дүрэм журам нэгэнт гарч амьдралд хэрэгжиж байна[3-4].

Америкийн Бетоны Институтээс боловсруулан гаргасан АСI PRC-363-10 гэсэн бичиг баримтад өндөр бат бэхтэй бетонд шахалтын бат бэхийн утга нь 55МПа (8000 PSI) -аас багагүй бетон хамрагдана гэж заасан байна[4].

Европын холбооны улсуудын шинэчлэн мөрдөж байгаа EN 206:2016 стандартад өндөр бат бэхтэй бетоны анги нь хүнд бетонд хамгийн багадаа C50/60; хөнгөн бетонд LC50/55-аас багагүй байхыг шаарддаг[5]. Мөн Японд[6] B60; ОХУ ГОСТ 25192—2012 -д B55-аас их[7] гэж тусгасан байна. Харин өндөр үзүүлэлттэй бетоны хувьд стандартад тусгайлан зааж өгөөгүй байдаг. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны хувьд найрлага сонголт нь ердийн бетонтой адилхан бөгөөд бүрдүүлэгчдийг маш зөв сонгох, эрдэс нэмэлт хэрэглэх замаар бетоны нүх сүвний хэмжээг багасгаж, ус цементийн харьцааг бууруулах (0.21-0.23) нь зүйтэй гэдгийг олон судлаачид тэмдэглэсэн байдаг [8,9]. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны удаан эдэлгээт чанар нь ердийн бетонтой харьцуулахад 2 дахин их байдаг байна. Бетоны өртөг B30-B50 ангийн

бетоныхоос 1,5–1,8 дахин өндөр байдаг боловч хэрэглэж байгаа бүтээц, эдлэхүүнд орох бетоны эзлэхүүн 4-6 дахин багассанаас материалын зарцуулалтыг 2-3 дахин бууруулах, хийц эдлэлийн овор хэмжээ жинг бууруулах боломжийг олгодог байна.

Бетоны бат бэх өндөр байвал түүний удаан эдэлгээт чанар сайн байна гэж үзэж бас болохгүйг бетоны технологид гарч байгаа шинжлэх ухааны дэвшил баталж байна. Өндөр бат бэхтэй бетон гэж нэрлэхээсээ өндөр үзүүлэлттэй бетон гэж нэрлэвэл илүү зөв байх юм. Учир нь бат бэх нь хэчнээн өндөр байсан ч гэсэн бетонд задгай (нээлттэй) нүх сүв байвал түүгээр нь усны уур нэвчин орж тэндээ конденсацлагдаад цаашдаа цементийн чулуу бүрдүүлэгч зарим эрдсийг уусгаж бүтцийг нь сийрэгжүүлж болно. Хэрэв бетоны нүх сүвэнд ус нэвчиж орсон бол хөлдөж мөс үүссэнээс болоод дотоод даралтын улмаас шинээр ан цав үүсэж бүтцэд сөрөг нөлөө үзүүлнэ; Бетоны гадаргуугийн задгай нүх сүвээр ямар нэг хий нэвчин орж орчны чийгийн нөлөөгөөр хүчил эсвэл шүлт үүсгэж цементийн чулууг өгөршилд оруулж болно. Жишээлбэл: агаараас нүүрсхүчлийн хий бетонд нэвчиж орсон бол орчныхоо болон бетоны өөрийн нь чийгийн нөлөөгөөр карбонатжиж болно. Энэ нь бетоны бүтцийг эвдэхэд хүргэнэ.

Ийнхүү бетонд механик хүч үйлчлээгүй байхад түүний дотоод бүтцэд эвдрэл гарч улмаар бат бэх нь буурч удаан эдэлгээний шаардлага хангахгүйд хүрнэ. Гэтэл бетон, төмөрбетон эдлэл бүтээцийн хамгийн чухал үзүүлэлт бол удаан эдэлгээт чанар байх ёстой. Энэ шаардлагыг хангахын тулд бетоныг нягт бүтэцтэй болгох хэрэгтэй юм. Нягт бүтэцтэй бетон өндөр бат бэхтэй төдийгүй удаан эдэлгээний шаардлагыг хангадаг учир өндөр үзүүлэлттэй бетон гэж нэрлэх нь зүйтэй юм.

Өндөр үзүүлэлттэй бетон гаргаж авъя гэвэл дараах хэдэн нөхцөлүүдийг хангах хэрэгтэй. Үүнд:

- өндөр бат бэх (идэвхжилт)-тэй цемент, ус шингээгдээгүй өндөр бат бэхтэй дүүргэгч сонгох;
- ус-цементийн харьцааг хамгийн бага түвшинд байлгах. Бетон зуурмаг бэлтгэхэд орсон усны тал хувь үүнээс ч илүүгүй хэсэг нь (бэхжилтийн явцад арчилгааг технологийн шаардлагын дагуу хийгээгүй бол) орчиндоо ууршиж алдагдсанаас капилляр нүх сүв үүсэж улмаар бетоны бүтэц муудна;
- цементийн орцыг аль болох бага байлгах. Энэ нь бетоны бүтэц бүрдүүлэгч хатуу хэсгүүдийн дотроос хамгийн бат бэх муутай хэсэг нь цементийн чулуу байдагтай холбоотой юм;

- бетон зуурмагийн холилтыг маш сайн хийх, нягтруулалтыг гүйцэт зөв хийх (нягтруулалтыг дутуудуулах, хэтрүүлэх тохиолдлын аль алинд бетоны бүтэц алдагдана)
- усны орц багасгагч нэмэлт, бүтэц сайжруулагч нэмэлт, цементийн гидратацийг идэвхжүүлэгч зэрэг нөлөө үзүүлдэг олон талын үйлчилгээтэй нэмэлтийг суперпластификатортай хослуулан хэрэглэх;
- бэхжилтийн хамгийн таатай орчныг бүрдүүлэх; бетон зуурмагт орох материалын тугналтыг аль болох нарийвчлал сайтай хийх;

Эдгээр долоон нөхцөлөөс бэхжилтийн таатай орчныг бүрдүүлэхээс бусад зургаан нөхцөлийг бүрдүүлэхэд тийм ч хэцүү биш юм. Харин бэхжилтийн таатай нөхцөл бүрдүүлэхэд нэлээд түвэг учирч болно. Юуны урьд бетон зуурмагийг барьцалдаж эхлэхээс нь өмнө өгөгдсөн хэв, хашмалд цутгаж нягтруулж дуусмагц усны ууршилтаас хамгаалах бололцоотой бүх арга хэмжээг авах хэрэгтэй. Ялангуяа чийгтэй арчилгааг хамгийн зөв технологиор гүйцэтгэх нь чухал. Бэхжиж байгаа бетоны арчилгааг цаг уурын нөхцөл, тухайн бетоны нимгэн зузааны байдал (цул эсвэл нимгэн), хэрэглэсэн цементийн шинж чанартай нягт уялдуулан хийх ёстой.

Хурдан эргэлттэй бетон зууруулаар тохиромжтой хугацаагаар нь бетон зуурмагийг холивол нэг төрлийн найрлагатай болоод зогсохгүй дүүргэгч ба цементийн чулууны хоорондын барьцалдаагаа сайжирч өндөр үзүүлэлтэй бетон гарган авах чухал нөхцөл болж чадна.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны ашиглагдах нөхцөлөөс хамаарч цементийн төрлийг сонгох ёстой. Өөрөөр хэлбэл бетоны ашиглагдах нөхцөлөөс хамаарч цементийн эрдэс зүйн найрлагад онцгой шаардлага тавигдана. Жишээлбэл: нимгэн ханатай бетон, төмөрбетон эдлэл бүтээц (хавтан, нимгэн дотор хана, хамар хана болон бусад) үйлдвэрлэхэд нунтаглалтыг сайжруулах замаар бат бэхийг нь өндөр болгосон портландцемент, хурдан бэхэждэг портландцемент хэрэглэж болно. Ус чийгийн үйлчлэлд нэрвэгдээд байдаггүй бол цементийн найрлагад C_3S болон C_3A – ийн агууламж өндөр байхыг зөвшөөрнө. Замын хучлага, онгоц буух, хөөрөх талбайн хучилтын бетон хэдийгээр нимгэн байдаг боловч ашиглалтын нөхцөл (байнга норж, хатаж, хөлдөж, гэсэж, цохилт, үрэлтийн хүчинд болон температурын өөрчлөлтөд орж байдаг г.м) нь хүнд учир C_3S болон C_3A – ийн агууламж багатай, бэхжихдээ дулаан бага ялгаруулдаг портландцемент хэрэглэх хэрэгтэй.

C_3S –ийн агууламж бага (50%-иас ихгүй) байвал белитлэг цемент мөн. Ийм цементээр хийсэн бетон эхний үедээ маш удаан бэхэждэг учир бэхжилтийн явцад ялгарах дулаан бага

байна. Ийм учир бетон зуурмагийг хэвлэсний дараах эхний үе шат буюу бүтцийн бат бэхээ дөнгөж олж авч байгаа үед нь бетоны нийт эзлэхүүнд үүсэх хэв гажилт (агшилт) бага үүнтэй уялдаад бетоны бүтцэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг дотоод хүчдэл тийм ч их биш байна. Өөрөөр хэлбэл бетоны бүтцэд эвдрэл, ан цав үүсгэх хэмжээний дотоод хүчдэл үүсэж чадахгүй. Харин хугацаа өнгөрөх тутам дотоод бүтцийн бат бэх нь аажмаар нэмэгдээд ямар ч хүчдэлийг тэсвэрлэх хэмжээнд хүрсэн үед нь алитлаг цементийн бэхжилт идэвхжиж өндөр бат бэхтэй нягт бетон үүснэ.

Хэрэв уян налархайжуулагч нэмэлт хэрэглэвэл бэхжилт удааширч бэхжилтийн эхний үеийн дулаан ялгаралт багасаж бетоны бүтэц хэвийн бүрэлдэн тогтох нөхцөл бүрэлдэнэ. Үүний зэрэгцээгээр усны орц багасаж байгаа учир бетоны бүтэц улам нягт байх нөхцөл бүрэлдэх болно.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны эвдрэлийн байдлыг харахад дүүргэгч хугарсан, хагарсан байдал ажиглагдаж болохгүй. Хэрэв ийм тохиолдол гарвал дүүргэгч нь бат бэхийнхээ хувьд өндөр бат бэхтэй бетонд хэрэглэх дүүргэгчийн шаардлага хангахгүй байгааг гэрчилнэ.

Дүүргэгчээр дээд зэргийн нягт бүтэцтэй, жижиг талст бүтэцтэй чулуулгаас бэлтгэсэн дайрга хэрэглэнэ. Ийм чулуулагт базалт, диорит зэрэг бялхмал чулуулаг хамаарна. Эдгээр чулуулаг нь үндсэндээ цахиурын ислээс тогтох бөгөөд далд талст бүтэцтэй учир бат бэх нь их өндөр байна. Бетонд хэрэглэх дүүргэгчийн бат бэх нь бетоныхоо бат бэхээс багаар бодоход 1.2 дахин их байх шаардлагатай байдаг. Жишээлбэл: Өндөр бат бэхтэй бетоны бат бэх нь 100 МПа байх ёстой бол дүүргэгчийн шахалтад үзүүлэх бат бэх 120 МПа-аас багагүй байх шаардлагатай. Нэр заасан чулуулгууд цахиурын ислээс (цахуурын ислийн бат бэх 200 МПа хүрнэ) тогтсон учир бат бэх нь хангалттай өндөр байх болно. Дайрганы найрлагад хавтгай, гонзгой зэрэг хялбархан хугардаг хэврэг хэсгүүд агуулагдаж болохгүй. Тийм учраас дайргыг алхан бутлуураар бэлтгэх нь зүйтэй байдаг. Энэ тохиолдолд дайрганы найрлагад хурц үзүүртэй хэврэг хэсгүүд байхгүй. Бутлалтын явцад чулуулаг олон удаагийн цохилтод ордог учир хурц ирмэг, булантай, хавтгай, гонзгой нарийхан хэсэг үүсэх боломжгүй юм. Хавтгай, гонзгой хэсэг, хурц ирмэг, булан байхгүй учир дайрганы завсар хоорондын зай хамгийн бага байх болно. Энэ нь бас цементийн орц бага байх нөхцөл бүрдүүлнэ.

Дүүргэгч бүр тодорхой бат бэхтэй бетон гаргаж авахад л тохирч байдаг. Хэрэв дүүргэгчийн бат бэхийн үзүүлэлтийн энэ хязгаараас бетоны бат бэх илүү байвал цементийн орцыг эрс нэмэгдүүлэх шаардлага гарч эдийн засгийн хувьд таагүй нөхцөл бүрдүүлнэ. Ер

нь бетоны бат бэхийг нэмэгдүүлье гэвэл (дүүргэгчийн бат бэх хангалттай өндөр байсан ч гэсэн) цементийн орцыг нэмэх зайлшгүй шаардлагатай байдаг.

Бетоны бат бэх нь C50; C60 ангийн шаардлага хангах хэмжээнд байвал жижиг талст бүтэцтэй бөгөөд хар бараан өнгийн чанар муутай эрдэс (эвэр хуурмаг, гялтгануур г.м) агуулаагүй буюу маш бага хэмжээгээр агуулсан боржингийн дайрга хэрэглэнэ. Мөн сиенит (цахиурын исэл агуулахгүй буюу маш бага хэмжээгээр агуулна)-ээс бэлтгэсэн дайрга хэрэглэж болно. Шохойн чулуу, элсэн чулуу, гантиг зэрэг чулуу өндөр үзүүлэлттэй бетоны дүүргэгчид тавигдах техникийн шаардлагыг хангахгүй.

Цементийн орц хамгийн бага боловч хамгийн тохиромжтой хэмжээнд байх хэрэгтэй. Цементийн гол үүрэг нь устай урвалд ороод том жижиг дүүргэгчийн ширхгүүдийн гадаргууг бүрхэж хооронд нь наах, тэдгээрийн завсар хоорондын зайг бөглөж нягт бүтэц бүрдүүлэхэд оршдог юм. Хэрэв цементийн орц багавал энэ үүрэг биелэгдэхгүй. Харин ихэдвэл бас бетоны бүтэцд улмаар бат бэхэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг юм. Тийм учраас тодорхой бат бэхтэй бетонд орох цементийн тохирсон хэмжээ гэж байх ёстой гэдэг нь тодорхой байна.

Бетоны дотоод бүтэцд ямар нэг согог, маш жижиг ан цав үүсвэл өндөр бат бэхтэй бетоны бат бэх буурна. Дотоод бүтэцд согог, ан цав үүсэх нь цементийн орцтой шууд холбоотой байдаг. Дотоод бүтэцд нь ямар ч согог үүсэхгүй, согог үүсэх боломж бүрдүүлэхгүй байя гэвэл цементийн орцыг багасгах хэрэгтэй. Ингэж чадвал бэхжилтийн явцад ялгарах дулаан багасна. Зузаан бетон, төмөрбетон эдлэлд 450 кг/м^3 -ээс илүүгүй (бага) цемент орвол тохиромжтой байна. Энэ тохиолдолд ялгарах дулаан бага байх учир бетоны дотоод бүтэцд гарах эвдрэл багасна. Харин нимгэн ханатай бетон эдлэлд 600 кг/м^3 хүртэл цемент орж болно. Цементийн орцыг багасгахад дараах аргуудын хэрэглэвэл үр дүнд хүрнэ.

Өндөр бат бэхтэй портландцемент хэрэглэх; Үүний тулд цементийг механик аргаар эсвэл химийн аргаар эсвэл механик ба химийн хосолсон аргаар боловсруулж идэвхжилийг нь сайжруулна. Өөрөөр хэлбэл маркийг өндөр болгоно. Цементийг $4000\text{-}5000 \text{ см}^2/\text{г}$ хувийн гадаргуутай болтол нь нунтаглавал идэвхжил нь нэг шатаар дээшлэх боломжтой. Үүнээс илүү нунтаглавал гарах үр дүн сайн байх ёстой. Гэвч цементийн хувийн гадаргууг $5000 \text{ см}^2/\text{г}$ -ээс дээш гаргахыг тэргүүн зэргийн зорилго болгохгүй. Хувийн гадаргууг $5000 \text{ см}^2/\text{г}$ -ээс цааш гаргавал цементийн ширхгүүд чөлөөт энергитэй болж цэнэгжинэ. Цэнэгжсэнээрээ нунтаглагдагч биет нь цементийн ширхгүүд металл үрэл (шарик)-ийн гадаргууд болон тээрмийн дотор хананд татагдан наалдаж цементэн хуяг (давхарга) үүсгэнэ. Хэрэв нунтаглагч биетийн гадаргууд нунтаг цементээс бүрдсэн зөөлөн үе үүсвэл

нунтаглалт явагдахгүй харин эрчим хүчний үр ашиггүй зардал гарна. Нунтаглалтыг сайжруулдаг нэмэлтийн хамт нунтаглавал сайн үр дүн гарна.

Том жижиг ширхэгтэй дүүргэгчийн хольцын завсар хоорондын зай болон нийт хувийн гадаргуу хамгийн бага байхаар бодож ширхгийн бүрэлдэхүүнийг тохируулбал цементийн орц багасаж болно.

Бетон зуурмаг бэлтгэхдээ суперпластификаторыг олон талын үйлчилгээтэй нэмэлттэй хослуулан хэрэглэх. Үүний үр дүнд усны орц мэдэгдэхүйц багасах учир ус – цементийн харьцааг тогтмол хадгалах зорилгоор цементийн орцыг багасгаж чадна.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны бүтэц, бат бэхийн үзүүлэлт хэвийн хэмжээнд бүрэлдэн тогтоход бэхжих нөхцөл хамгийн чухал байдаг. Бэхжилтийн хамгийн тохиромжтой нөхцөл бол 20-25⁰С температуртай 100%-ийн харьцангуй чийглэгтэй (усан дотор бэхжүүлнэ) орчин байх болно. Цахилгаанаар халаах, уураар жигнэх гэх мэт чийг дулааны боловсруулалтын арга өндөр үзүүлэлттэй бетоны бүтэц бүрэлдэн тогтох, бат бэх чанар бий болоход тийм ч сайн нөлөө өгөхгүй. Зөвхөн бэхжилтийг л хурдасгаж байгаа боловч бүтцийн эвдрэлийг дагуулна.

Чийг дулааны боловсруулалтын үед бетоны гадна талын гадаргуугийн үенд нь өндөр температур үүсэж байхад төвийн хэсэгт температур бага байна. Ингэж бетоны гадаргуугийн үе ба төвийн хэсгийн хооронд температурын зөрүү гарснаар төвөөс гадаргуу руу (температур өндөр байгаа чиглэлд) чийг шилжинэ. Үүний үр дүнд температурын зөрүүтэй холбоотой хэв гажилт мөн чийглэгийн зөрүү болон чийг шилжилттэй холбоотой хэв гажилт зэрэгцэн явагдана. Энэ бүхний үр дүнд бетон агшилтад орно. Хэрэв агшилт явагдаж байгаа бол бетоны дотоод бүтцэд согог эвдрэл үүснэ. Тэр ч битгий хэл бетоны нийт эзлэхүүнд жигд бус агшилт явагдана. Өөрөөр хэлбэл бетоны гадаргуугийн үе агшиж байхад төвийн хэсэг агшилтад орохгүй. Энэ нь бүтцийн эвдрэл үүсэх гол шалтгаан болно. Хэрэв бэхжиж байгаа бетоны гадаргуугийн хэсэг буюу хүрээлэн буй орчны температур ба бетоны төвийн хэсгийн температурын хооронд зөрүү гарах боломжийг бүрэн хааж чадвал сая бүтцийн эвдрэл гарахгүйгээр бетон бэхэжнэ. Үүний тулд цементийн дулаан ялгаралтыг багасгаж орчны чийглэгийг хамгийн өндөр (100%) байх нөхцөл бүрдүүлэх хэрэгтэй юм.

Угсармал бетон, төмөрбетоны үйлдвэрлэлийн практик дээр ч тэр барилгын талбай дээрх цутгамал технологид ч гэсэн бетоныг цутгаж нягтруулсны дараа чийг шилжилт явагдахаас хамгаалах ямар ч арга хэмжээ авахгүй байгаа нь бетоны бүтцэд улмаар бат бэхэд мэдэгдэхүйц муу нөлөө үзүүлж байгаа гэдэгт технологичид онцгой анхаарч холбогдох арга хэмжээ(чийг шилжилт явагдахаас хамгаалах)-г нэн даруй авах хэрэгтэй байдаг.

Эх орны бетоны үйлдвэрлэлийн өнөөгийн хөгжил, хэтийн төлөв

Сэлэнгэ аймгийн Хөтөлд 1997 оноос эхлэн төмөр замын төмөрбетон дэр үйлдвэрлэж эхэлснээр монгол оронд анх удаа 500 маркийн ердийн портландцементээр 600 маркийн бетон үйлдвэрлэдэг болсон байна. 600 маркийн бетон гаргаж авах анхны үндэс нь ус-цементийн харьцааг багасгах арга байсан юм. Энэ шаардлагын үүднээс УНФ маркийн ус багасгагч нэмэлт ашиглаж усны орцыг 15-20%-ар бууруулж аргуун бетон зуурмаг бэлтгэж түүнийгээ доргиур технологитой хослуулан хэрэглэж урьдчилан хүчитгэсэн арматуртай угсармал төмөрбетон бүтээц үйлдвэрлэсэн юм. 600 маркийн бетоны үндсэн түүхий эдээр бутлагдах чанар нь 8-аас бага байх тийм өндөр бат бэхтэй дайрга, угаасан элс, Хөтөлийн 500 маркийн портландцемент, Хятад ард улсад үйлдвэрлэсэн 1570МПа-ийн тасралтын бат бэхтэй өндөр маркийн ган утсан арматур хэрэглэж байна. Төмөрбетон дэрний үйлдвэрлэл жилийн дөрвөн улиралд тасралтгүй ажилладаг нь бетоны бэхжилтийг ердийн даралттай 70-80°C уураар чийг дулааны боловсруулалт хийх технологи дээр суурилсантай холбоотой байна.

Манай орны бетоны үйлдвэрүүд бүтээгдэхүүнээ зориулалтаас нь хамааруулан ихэвчлэн 250-300 маркаар хааяа 400 маркийн бетоноор үйлдвэрлэж байна. Эх орны төмөрбетоны үйлдвэрүүд болон цутгамал барилгын цутгамал бүтээцийн бат бэх 40,0 МПа-аас хэтрэхгүй байгаа нь цементийн марк бага, 42.5 ангиас хэтэрдэггүй хайрга, дайрганы хольц (хайрганы агууламж давамгайлна) хэрэглэж байгаатай холбоотой юм. Нөгөө талаар цутгамал бүтээцийн бүтэц бүрэлдэн тогтох хамгийн чухал үе шат болох бэхжилтийн эхний үеийн арчилгааны технологи зөрчигдөж байгаатай шууд холбоотой байна. Бетоны бат бэх тогтвортой сайжирч чадахгүй байгаа бас нэг шалтгаан бол том дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүн, дүүргэгчийн ширхгийн хэлбэр, чанарын индексэд зөв үнэлгээ өгч стандартын шаардлагын дагуу дүүргэгч бэлтгэж чадахгүй байгаатай холбоотой байна гэж үзэж байна.

Монгол оронд 2000-аад оны эхэн үед барилгын үйлдвэрлэлд анх удаа цутгамал бетоны технологи нэвтэрч эхэлснээр орон сууц, олон нийтийн барилгад газар хөдлөлтийн 8 баллын хүчинд тэсвэртэй байх шаардлагын үүднээс даацын араг ясыг 15-20 см-ийн конусын суулттай 300, 400 маркийн бетон зуурмагаар цутгадаг болсноос хойш керамзит угсармал төмөрбетон орон сууцны үйлдвэрлэл орхигдож ирсэн.

Цутгамал төмөрбетоны үйлдвэрлэлд олон талын үйлчилгээтэй гадаргуугийн идэвхт нэмэлт хэрэглэж эхэлсэн нь барилгын үйлдвэрлэлээс доргиур технологийг үндсэндээ шахаж гаргасан нь нэгэн жигд бүтэцтэй бетон үйлдвэрлэх боломж бүрдэж байгаа боловч бетоны чанар төдий л тогтвортой сайжирч чадахгүй байна. Энэ нь эх орны цементийн

хүрэлцээ хангалтгүй байснаас болж гадаадаас янз бүрийн шинж чанартай өөр өөр цемент оруулан ирж нэг технологиор хэрэглэж байгаа нь бетоны чанар тогтвортой сайжрахад ямар нэг хэмжээгээр саад болж байх магадлал өндөр байна. Яагаад гэвэл гадаадаас оруулж ирж байгаа цементийн шинж чанарыг тодорхойлолгүйгээр түүнийг ашиглах өвөрмөц технологийг урьдчилан боловсруулалгүй шууд хэрэглэж байгаа тохиолдол юм. Өндөр бат бэхтэй, удаан эдэлгээний шаардлага хангасан, тогтвортой шинж чанартай бетон үйлдвэрлэнэ гэвэл зөвхөн орчин үеийн дэвшилтэт төхөөрөмж, технологи хэрэглэснээр хэрэгжих ажил биш харин материал тус бүрийн өвөрмөц шинж чанарыг тогтмол шинжилж, бетоны найрлага, ажил гүйцэтгэх технологийг боловсруулан түүнийгээ хатуу баримтлах зарчим байх ёстой юм.

Бетоны бат бэх, удаан эдэлгээт чанарт түүхий эдийн шинж чанар, түүний дотроос барьцалдагчийн, дүүргэгчийн болон цаг уурын өвөрмөц нөхцөлийн зүгээс үзүүлж байгаа нөлөөлөлд бодитой үнэлэлт өгч цементийн шинж чанарыг сайжруулах, цементийн ангийг дээшлүүлэх, дүүргэгч бэлтгэх эх чулуулаг сонгох, дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүн ямар байвал тохиромжтой байж болох, дүүргэгчийн наалдах, барьцалдах чадварт үнэлгээ өгөх зэрэг чухал асуудлыг шийдвэрлэх шаардлага байна.

Эх орны дүүргэгч бэлтгэдэг үйлдвэрүүдийн бүтээгдэхүүн-дайрга, угаасан элсний ширхгийн бүрэлдэхүүн тохиромжгүй байгаа учир цементийн зарцуулалт шаардлагатай хэмжээнээс илүү орж байна. Энэ нь зөвхөн бүтээгдэхүүний-бетоны үнийг нэмэгдүүлээд зогсохгүй түүний эдэлгээт чанар удаан хугацааны дараа буурах шалтгаан болж байгаад олон эрдэмтэн судлаачид анхаарал хандуулж байна.

Судалгааны ажлын зорилго. Эх орны эрдэс түүхий эдийг ашиглан өндөр үзүүлэлтэй бетон гарган авах оновчтой найрлагыг тогтоож, түүний физик механик шинж чанарт нөлөөлж буй хүчин зүйлүүдийн хамаарлыг тогтоож, өндөр бат бэхтэй бетон гаргаж авах технологи боловсруулж гарган авсан бетоныхоо шинж чанарыг иж бүрэн судлахад судалгааны ажлын зорилго оршино.

Судалгааны ажлын зорилт

1. Ердийн 42.5 ангийн цементийг эрдэс нэмэлтээр идэвхжүүлэх боломжийг тогтоох
2. Эх орны үйлдвэрүүдийн дүүргэгчийн (боржин, базалт, габбро, шохойн чулуу) ширхгийн бүрэлдэхүүний зүгээс бетоны бат бэхэд үзүүлж байгаа нөлөөг судалж, ширхгийн бүрэлдэхүүний тохиромжтой харьцааг тодорхойлох

3. Дүүргэгчийн физик, механик шинж чанар болох нягт, бат бэх, ширхгийн бүрэлдэхүүн, бутлагдах чанар, бохирдолт, зэргийг тодорхойлж түүний зүгээс бетоны чанарт үзүүлэх нөлөөлөлд онолын дүгнэлт өгөх;

4. Дүүргэгч ба цементийн чулууны хоорондын наалдалт, механик барьцалдалгааны бат бэхэд дүүргэгчийн гадаргуугийн төлөв байдал болон эх чулуулгийн нөлөөг судлан тодорхойлсон үр дүн;

Судалгааны ажлын шинэлэг тал

- Цементийг эрдэс нэмэлтээр идэвхжүүлэх боломжийг тодорхойлсон
- Дүүргэгчийн шинж чанар бетоны бүтэц, бат бэх бүрэлдэн тогтоход гүйцэтгэх үүргийг тодорхойлсон үр дүн;
- Бетоны удаан эдэлгээт чанарын хамаарлыг тодорхойлсон
- Эх орны эрдэс түүхий эд ашиглан өндөр бат бэхтэй бетон гарган авах технологи боловсруулсанд оршино.

Судалгааны ажлын ач холбогдол:

Сонгосон дүүргэгчээр бага ангийн цементийн орцоор хамгийн өндөр бат бэхтэй бетон гаргаж авах боломж бүрдүүлэх ширхгийн бүрэлдэхүүн, ус-цементийн харьцаа, арчилгааны технологи дэвшүүлсэн

Дүүргэгчийн хольцыг ширхгийн бүрэлдэхүүний хамгийн тохиромжтой харьцаагаар бэлтгэх технологи дэвшүүлсэн

Энэхүү технологийг хэрэгжүүлснээр 1 шоо метр бетонд орох цементийн зарцуулалтыг 10% хүртэл хэмнэж бүтээгдэхүүний өөрийн өртгийг хямдруулаад зогсохгүй бетон бүтээцийн удаан эдэлгээний баталгааг хангана.

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. БЕТОНЫ БҮТЭЦ БҮРЭЛДЭЛТ

1.1.Бетоны бүтэц, бүтцийн үүсэлтэд нөлөөлөх хүчин зүйлүүд

Бетоны бүтцэд хатуу, шингэн, хийн төлөвтэй биеүд зэрэгцэн оршиж байдаг нэг төрлийн биш бүрэлдэхүүнтэй материал юм. Дүүргэгчийн ширхгүүдийг өөр хооронд нь нааж холбон нэгдмэл нэг бие бүрдүүлж байгаагийн хувьд бетоны бүтэц бүрдүүлэгч үндсэн элемент нь цементийн чулуу юм. Нягт чулуунаас үүссэн том, жижиг ширхэгтэй дүүргэгч үндсэндээ нягт бүтэцтэй бол тэдгээрийн гадаргууг тодорхой зузаан үеэр бүрхэж завсар хоорондын зайг бөглөж хатуурсан цементийн чулуу ямар нэг хэмжээгээр сийрэгжсэн байдаг. Ийм учраас бетоны бүтцийг сийрэгжүүлэгч нь цементийн чулуу мөн. Бетоны бүтэц бүрдүүлэгч элементүүд дотроос хамгийн бага бат бэхтэй нь цементийн чулуу юм.

Бетоны нэгж эзлэхүүнд агуулагдаж байгаа бүрдүүлэгч хэсгүүдийн тархалт, нягтаршил, сийрэгжилт, ширхгүүдийн дундаж диаметр өөр өөр байдаг учраас бетоны физик механик шинж чанар эзлэхүүн бүрд өөр өөр байх магадлалтай юм. Бүтцийн тухай зөв ойлголт авахын тулд бүтцийг бүрдүүлэгч хэсэг тус бүрийн онцлог, бүтэц бүрэлдэн тогтох явцыг нэг бүрчлэн гарган харуулья.

Бетоны макро бүтэц: Макро бүтэц нь энгийн нүдэнд харагдах буюу бага зэрэг томруулахад харагдахуйц бүтэц юм. Энэ нь бетоны нийт эзлэхүүний 70-80% -ийг эзэлдэг том, жижиг ширхэгтэй дүүргэгч, үлдсэн 20-30% -д ноогдох сийрэг бүтэцтэй цементэн чулуунаас бүрдэнэ. Ердийн хүнд бетонд нягт бүтэцтэй уулын чулуулгийг буталж, шигшиж, ангилах замаар гарган авсан дайрга эсвэл байгалийн хүчин зүйлсийн үйлчлэлээр эсвэл өгөршилтөөр бий болсон хайрга хэрэглэдэг учир ихэнх эзлэхүүнийг бүрдүүлэгч хэсэг нягт материал гэж үзэж болно. Харин дүүргэгчийн ширхэглэлүүдийг хооронд нь нааж байгаа цементэн чулуу бүрэлдэхүүний хамгийн бага нягттай, сийрэг хэсэг нь юм.

Бетон зуурмагт орсон цементэн зутангийн хэмжээ уг бетон хольцыг хэвэнд цутгаж нягтруулах боломжийг бүрдүүлж, дүүргэгчийн ширхэглэлүүдийн гадаргууг бүрэн бүрхээд завсар хоорондын зайг бүрэн дүүргэхээр хүрэлцээтэй байвал тохирно. Бетоны хамгийн их сийрэгжилттэй бат бэх султай хэсэг нэгэнт цементэн чулуу байгаа ч түүний сийрэгжилтийг зогсоох ямар ч боломжийг судлаачид одоогоор олоогүй байна.

Бетоны макро бүтэц сийрэгжилттэй болж байгаа нь хэд хэдэн шалтгаантай холбоотой байж болох юм. Үүнд:

Нэгдүгээрт: Бетон зуурмагийг холих явцад түүний хэвлэгдэх чанараас хамаараад эзлэхүүнд нь их бага ямар нэг хэмжээний агаарын бөмбөлөг орсон байдаг. Гэтэл бетоныг хэвлэх явцад агаарын энэ бөмбөлгийг бүрэн зайлуулж чадахгүй учраас нийт эзлэхүүний 1-

3%-д 0.1-5.0 мм хүртэл диаметртэй агаарын орон зай үлдэнэ. Энэ агаарын орон зайг бетон дахь үлдэгдэл нүх сүв гэнэ. Бетон зуурмаг бэлтгэх явцад том, жижиг ширхэгтэй дүүргэгчийн завсар хоорондын зайд (32-45%) агуулагдаж байсан агаарыг бүрэн зайлуулах боломж байдаггүй. Яагаад гэвэл бетон зуурмаг өөрөө хатуу ба шингэн биеийн завсрын шинж чанартай унжрамтгай бөгөөд уян налархай бие юм. Ийм биеийн эзлэхүүнээс агаарын бөмбөлөг тийм ч амархан жингийн ялгааны дор түрэгдэн гарч чадахгүй. Үлдэгдэл агаарыг зайлуулахын тулд механик аргаар нягтруулалт хийж байгаа юм. Хэвийн нягтралттай ердийн бетоны нягт эзлэхүүний жин 2500 кг/м^3 байдаг бол зуурмагийн хэсгийн эзлэхүүний нягт $2200-2250 \text{ кг/м}^3$ байдгаас харахад бетон сийрэг бүтэцтэй байдаг нь тодорхой юм.

Хоёрдугаарт: Хөдөлгөөнтэй бетон зуурмагийг хэвлэсний дараа хөдөлгөөнгүй байлгахад бүтэц бүрдэлтийн эхний шатанд том дүүргэгчийн гадаргууд адсорбцлогдон үүссэн усны зузаан үе жингээрээ том дүүргэгчийн босоо гадаргуугаас доошоо урсаж дүүргэгчийн доогуур усны хуримтлал үүснэ. Энэ усны зарим хэсэг бэхжилтийн явцад орчиндоо байгаа цементийн ширхгүүдэд татагдан урвалд орох боловч ихэнх нь хүрээлэн байгаа орчиндоо ууршин алдагдаж хөндий зай үүсгэн бетоныг сийрэгжүүлнэ.

Гуравдугаарт: Бэхжилтийн эхний шатанд хүрээлэн байгаа орчин хэт хуурайшилттай байснаас бетоны гадаргуу ба хүрээлэн байгаа орчин хоёрын хооронд чийглэгийн ялгаа гарч агшилт үүссэнээс нүдэнд үзэгдэхүйц ан цав хагарал үүснэ.

Дөрөвдүгээрт: Дүүргэгчийн гадаргууд адсорбцлогдсон агаар хольц бэлтгэх явцад бүрэн сарниж чадаагүй бол дүүргэгчийн гадаргуу дээр энэхүү адсорбцологдсон агаарын бөмбөлөг үлдэж улмаар бетоны бүтцийг сийрэгжүүлж чанарт таагүй нөлөө үзүүлнэ. Ялангуяа дүүргэгчийн ширхэглэл нарийсах тутам адсорбцлогдсон агаарын бөмбөлгийн агууламж нэмэгдэх хандлагатай. Энэ нь цементэн чулууны хэсэг сийрэг бүтэцтэй болж бат бэх нь тааруу байдгийн бас нэг шалтгаан мөн. Эдгээр дөрвөн тохиолдлоор үүссэн нүх сүв нийтдээ ердийн нүдээр харахад танигдах учир бетоны макро бүтэц бүрдүүлэгч болно.

Бетоны микро бүтэц: Бетоны бүтэц, бат бэхийг бүрдүүлэгч хамгийн гол элемент болох цементийн чулууны бүтцийг энгийн нүдээр байтугай бага зэрэг томруулсан ч гэсэн таних боломжгүй. Харин электрон микроскопоор хэдэн зуу дахин томруулж байж сая бүтцийг нь таних боломжтой бөгөөд цементийн чулууны бүтцийг бетоны микро бүтэц бүрдүүлэгч гэж авч үзнэ. В.Н.Юнг, Ю.М.Бутт, Т.М.Павленко, И.Н.Ахвердов зэрэг судлаачдын баталж байгаагаар цементийн чулуу нь түүний бүрдүүлэгч эрдсүүдийн усанд уусаж коллоид уусмал үүсгэн улмаар талстжиж хоорондоо нэгдэж үүсгэсэн шинэ нэгдлүүдийн талст, урвалд орж амжаагүй үлдсэн клинкерийн маш нарийн ширхэгтэй

хэсгүүд, шинэ үүслүүдийн талстын хооронд, талст дотор үүссэн ан цав, усны ууршилт ба шилжилтээр үүссэн капилляр, цементийн чулууны агшилтын үр дүн болох микро ан цав зэргээс бүрдэнэ. Цементийн нунтаглалт 2500 см²/г- аас багагүй хувийн гадаргуутай болсон байх ёстой гэж стандартаар хуульчлан заасан байдаг боловч цементийн бүрэлдэхүүнд янз бүрийн ширхэглэлтэй хэсгүүд оршин байх бөгөөд тэдгээр нь бэхжилтийнхээ явцад устай бүрэн гүйцэд урвалд орж шинэ нэгдлүүд үүсгэж чаддаггүй гэж судлаачид тайлбарлаж байна. Хүрээлэн байгаа орчны агаарын чийглэг, температур, ус цементийн харьцаа, бэхэжсэн хугацаа зэрэг олон хүчин зүйлээс шалтгаалан урвалд орж амжаагүй үлдсэн 1-20 мкм-ийн ширхэгтэй клинкерийн хэсгүүд цементийн чулууны бүтэц дотор байх болно гэж дээрх судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байдаг.

Бетон зуурмаг мөн дисперс систем юм. Тэгвэл энэ системийн цементэн зутан дотор дисперслэгдсэн хэсэг нь цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүд болон эрдэс нэмэлт бол дисперслэгч нь ус байгаа юм. Ийм дисперс систем өөрийн гэсэн онцлогийг хадгалдаг. Хэрэв цементэн зутан дээр нарийн ширхэгтэй дүүргэгч (элс) нэмбэл цемент элсэн зуурмаг үүсэж мөн л дисперс систем үүснэ. Энэ тохиолдолд дисперслэгдсэн хэсэг нь нарийн ширхэгтэй дүүргэгч байхад дисперслэгч нь цементэн зутан байх болно. Зуурмагийн шинж чанар нь цементэн зутангийн шинж чанараас эрс өөр байх болно. Түүнчлэн бетон зуурмагийн шинж чанар нь цементэн зутан ба цемент-элсэн зуурмаг гэсэн хоёр өөр дисперс системийн шинж чанараас эрс өөр байх болно. Ийнхүү янз бүрийн ширхэглэлээс бүрдсэн дисперс систем болох бетон зуурмагийн шинж чанар маш нийлмэл юм. Дисперс системийн хатуу хэсгийн ширхэглэл томрох тусам хүндийн жин ихсэж гадаргуугийн таталцлалын хүчнээс их болно. Ингэснээр нэгж эзлэхүүнд байгаа хатуу хэсгүүдийн байрлалын нягт хангалтгүй байна. Өөрөөр хэлбэл хатуу хэсгүүдийн хэмжээ томрох тусам түүний нягт багасна. Жишээлбэл: нэг шоо метр дайрганы асгаасны нягт 1350-1450кг/м³ байдаг бол элснийх 1600кг/м³ хүрдэг. Эндээс ширхэглэл томроход асгаасны нягт багасдаг болохыг харж болно.

Гадаргуугийн таталцлалын хүч үүсэх 2 шалтгаан байна.

Нэгдүгээрт: хатуу хэсгүүдийн гадаргуу хатуу учраас тэр арзгар хэсгээрээ бие биедээ тээглэж чөлөөтэй хөдөлгөөн хийхэд нь механик тээг бий болно. Энэ механик тээгийн үр дүнд үрэлтийн хүч үүснэ.

Хоёрдугаарт: бие биеийнхээ гадаргууг шууд шүргэлцэж байгаа хэсгүүдийн гадаргуугийн молекулууд хоорондоо барьцалдсанаас барьцалдалгааны хүч үүсэж байгаа юм. Түүнчлэн нэгж эзлэхүүнд байгаа жижиг ширхэглэлтэй хатуу хэсгийн байрлалын нягт нь ширхэглэл өөрчлөгдөхөд нэгэн адил өөрчлөгддөг билээ. Үүнийг микроскопын арга, хэт

богино дууны долгион нэвтрүүлэх хурдны аргуудаар судлаачид баталсан байдаг. Жишээлбэл. Оросын эрдэмтэн Ю.М.Баженовын баталж байгаагаар болорлог элсний хувийн гадаргууг $3\text{м}^2/\text{кг}$ -аас $35\text{м}^2/\text{кг}$ болтол нэмэгдүүлэхэд долгион нэвтрэх хурд эрс багассан байна. Тэр ч байтугай дууны долгионы агаарт нэвтрэх хурднаас ч бага байсан байна. Энэ бол ширхэглэл өөрчлөгдөхөд бүтэц өөрчлөгдөнө гэдгийн нэг баталгаа мөн. Харин $30\text{--}50\text{м}^2/\text{кг}$ хувийн гадаргуутай бүдүүвтэр ширхэгтэй хольцын байрлалын нягт хүндийн хүчний үйлчлэлийн дор биеллээ олж байсан. Үүнээс $50\text{м}^2/\text{кг}$ -аас илүү байх дисперс системийн бүтцийн нягтрал нь гадаргуугийн хүчний үйлчлэлээр хангагдана гэсэн ойлголтод хүрч байна.

1.2. Цементийн чулууны бүтэц бүрдэх

Цементийн чулууны бүтэц бүрдэх процессыг эрдэмтэд судлаад дараах хэдэн замаар сийрэгжилт үүсэж болохыг санал нэгтгэй хүлээн зөвшөөрч байна. Үүнд:

Нэгдүгээрт: Цементийн бэхжилтийн явцад үүссэн шинэ коллоид нэгдлийн гель хоорондын ус урвалд орсон эсвэл орчиндоо алдагдсанаас хоосон орон зай үүссэн байж болно. Ингэж үүссэн орон зайг цементийн чулууны гелийн нүх сүв - сийрэгжилт гэнэ. Цементийн чулууны гелийн сийрэгжилтийг 28% орчим байна гэж судлаачид тооцоолсон байдаг.

Хоёрдугаарт: бетоныг хэвлэсний дараа түүний найрлагад орсон цементийн зутан барьцалдаж эхлэн дотоод бүтцийн бат бэхээ олж авч амжаагүй байхад цементийн зутангаас ус ууршиж массын солилцоо явагдсан, чийг шилжилтийн үр дүнд өөр хоорондоо холбоотой маш нарийн капилляр үүссэн байж болно.

Гуравдугаарт: цементийн зутангийн бэхжилтийн явцад үүссэн шинэ нэгдлийн гель талстжих явцад химийн контракцийн процесс явагдаж цементийн чулууны дотоод бүтцэд микро ан цав үүссэн байж болно гэсэн хэдэн хүчин зүйлийг цементийн чулууны бүтцийг сийрэгжүүлэгч хүчин зүйл мөн гэж баталж байна. Цементийн чулууны эзлэхүүнд агуулагдаж байгаа нүх сүвийг оросын судлаач М.М.Сычев, А.Ю.Шейкин, С.Р. Шестоперов зэрэг судлаачид диаметрээр нь 2000А-аас том бол макро, 100-2000А-ийн бол завсрын, 100А-аас нарийн бол микро гэж ангилаад эдгээр нүх сүв бол бетон зуурмаг бэлтгэхэд орсон усны хэмжээ ба бетоны бэхэжсэн нөхцөлтэй шууд холбоотой гэж онцлон зааж байна. Өөрөөр хэлбэл бетоны болон цементийн чулууны макро болон микро бүтцийг тодорхойлогч цорын ганц бүрдүүлэгч бол ус мөн гэдэг дүгнэлт дээр судлаачид санал нэгдэж байна.

Бетоны зуурмаг бэлтгэхэд орсон ус үндсэндээ хоёр үүрэгтэй юм. Үүнд:

Нэгдүгээрт: Бетон хольц бүрдүүлэгч хатуу хэсгүүдийн (том жижиг ширхэгтэй дүүргэгч, цементийн ширхгүүд) гадаргууд адсорбцлогдож усан бүрхүүл үүсгээд тэдгээрийг өөр хооронд нь холдуулах замаар хатуу хэсгүүдийн хоорондын үрэлт, молекулын таталцлалын хүчийг сааруулж бетон зуурмагийг хөдөлгөөнт буюу хэвлэгдэх чанартай болгоно.

Хоёрдугаарт: Цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүдтэй харилцан урвалд орж наах өндөр чадвартай шинэ нэгдлийн гель үүсгэж хугацааны явцад талстжин дүүргэгчийн ширхгүүдийг хооронд нь барьцалдуулж өндөр бат бэхтэй цементийн чулуу болон хувирна.

В.И.Кавалерова, И.Н.Ахвердов, М.М.Сычев зэрэг судлаачид ердийн портландцемент бүрэн гүйцэд бэхжихдээ (гидратацад 100% орохдоо) жингийнхээ 23-25%-тай тэнцэх хэмжээний усыг нэгтгэж авна гэж баталж байна. Гэтэл практик дээр химийн нэмэлтгүй нэг шоо метр бетон хольцонд цементийн бүрэн гидратацад шаардагдах энэ усны хэмжээнээс даруй 2-3 дахин их ус орж байна. Цементийн гидратацын процесс хэдхэн хоногт биш харин температур ба чийглэгийн тохиромжтой нөхцөлд удаан хугацааны туршид үргэлжилдэг химийн процесс мөн. Цаг уурын нэн тохиромжтой нөхцөлд 7 ба 28 хоног бэхэжсэн ердийн портландцемент жингийнхээ 14-15% ба 18-20%-тай тэнцэх хэмжээний усыг нэгтгэж авсан байдгийг Л.В.Никитина монгол цементийн бэхжилтийн процессыг судалсан судалгааныхаа ажлаар баталсан байдаг. Цементтэй урвалд орсон усны хэмжээ бол бетон хольц бэлтгэхэд анх орсон усны дөнгөж 30 гаруйхан хувь болж байна.

Үлдэж байгаа 70 орчим хувийн ус нь цементтэй урвалд ордоггүй учир илүүдэл ус болж хүрээлэн байгаа орчиндоо ууршиж алдагдан эсвэл бетоны бүтэц дотор шингэн төлөв байдалтайгаар (хүрээлэн байгаа орчны харьцангуй чийглэг, температураас хамаарна) хадгалагдан үлдэж бетоны дотоод бүтцэд 10 орчим хувийн сийрэгжилт үүсгэж байна.

Бетоны бэхжилтийн эхний үе шатанд бетоны ил гадаргуу ба хүрээлэн байгаа орчин хоёрын хооронд чийглэг болон температурын ялгаа гарвал чийг шилжих, массын солилцооны процесс зайлшгүй явагдаж үр дүнд нь бүтцийн бат бэхээ олж авч амжаагүй байгаа цементийн зутан, зуурмагийн хэсэг дотор өөр хоорондоо холбоотой капилляр нүх сүв, гадаргуугийн хуурайшилтын ан цав үүсэж бүтцийн эвдрэлд хүргэнэ. Энэ бүхнээс харахад бетоны макро ялангуяа микро бүтцийг бүрэлдэн тогтоход усны үүрэг нэн чухал болох нь харагдаж байна.

Бетон нэг төрлийн биш бүтэцтэй боловч өндөр бат бэхтэй байдгийн учир нь зөвхөн цементийн чулуу ба түүний бат бэх болон бүтэц бүрэлдэн тогтох явцтай холбоотой юм. Гэхдээ цементийн чулууны бат бэхэд цементийн химийн ба эрдсийн бүрэлдэхүүн,

нунтаглалт, хүрээлэн байгаа орчны төлөв байдал, химийн нэмэлт гэх мэт олон хүчин зүйл хүчтэй нөлөө үзүүлж байдаг гэдэгт бүх судлаачид санал нэгтэй байдаг юм. Бетон хольцыг бүрдүүлж байгаа материалуудын эзлэхүүний хувийг авч үзвэл цементийн агууламж тийм ч их биш боловч зуурмаг болон бетоны чанарын олон үзүүлэлтүүдэд үзүүлэх нөлөө маш их байна.

Цементийн чулууны бүтэц бүрэлдэх механизм. Францын нэрт судлаач-химич Ле Шаталье оптикийн арга ба X- туяаны (цацраг) аргаар портландцементийг судлаад цементийг усаар зуурсны дараа түүнийг бүрдүүлэгч үндсэн эрдсүүд усанд уусаж уусалтаар үүссэн уусмал хугацааны явцад талстжих замаар цементийн чулуу үүснэ гэж 1887 онд анх эрдсэн барьцалдах материалын бэхжилтийн онолыг дэвшүүлсэн байдаг. Цемент, ус гэсэн хатуу ба шингэн хоёр биеийн нэг нь уусгагч байхад нөгөө нь уусагч бодис учраас хугацааны явцад уусалтаар үүссэн уусмалын концентрац ханасан уусмалын түвшинд хүрсэн тохиолдолд талст болон хувирна гэсэн хуулийг үндэс болгон Ле Шаталье өөрийн онолоо дэвшүүлсэн байна гэж үзэх боломжтой юм. Харин арай сүүлд Германы судлаач Михаэлис эрдсэн барьцалдах материалыг усаар зуурсны дараа бүрдүүлэгч эрдсийн ширхгүүд задарч коллоид уусмал үүсгэн аажмаар талстажна гэсэн таамаглал дэвшүүлсэн байдаг. Эрдэс барьцалдах материалыг усаар зуурсны дараа хатуу хэсгүүдийн гадаргуугаас эгэл жижиг хэсэг сугаран гарч усан орчинд шилжин очоод гадна талаараа адсорбцын усан бүрхүүлтэй коллоид уусмал үүсгэнэ гэж Т.Михаэлис үзсэнд Ле Шатальегийн жирийн уусмал үүснэ гэсэн таамаглал хоёрын хоорондын ялгаа оршиж байгаа болохоос биш эцсийн дүнд жирийн уусмал ч бай коллоид уусмал ч бай адилхан тэдгээрийн концентрац ханасан уусмалын түвшинд хүрмэгц талст болон хувирна гэж дэвшүүлсэн талстжилтын онол ижил юм. Харин А.А.Байков портландцементийн гидратацын процессыг гүнзгийрүүлэн судлаад цементийн ширхгүүд эхлээд гадаргуугаасаа усанд уусаж задарна. Задралаар үүссэн эгэл жижиг ширхгүүд хүрээлэн байгаа шингэнийхээ орчинд шилжин орж гадаргуудаа усыг адсорбцлон авч адсорбцын усан бүрхүүлтэй коллоид уусмал болж хугацааны явцад коллоид уусмал талстжиж цементийн чулуу болон хувирна гэж Ле Шаталье болон Т.Михаэлис нарын талстжилтын талаар дэвшүүлсэн таамаглалуудыг хүлээн зөвшөөрч нэгтгэн эрдсэн барьцалдах материалын талстжилтын онолыг дэвшүүлсэн юм.

Цементийг бүрдүүлэгч силикат нэгдлүүдийн гадаргуу дээр уусалтын замаар задрал явагдаж хоёр давхар цахилгаан цэнэгтэй үе үүснэ. Жишээлбэл цахиурт нэгдэл гадаргуугаараа устай харилцан үйлчлэлд ороод цахиурын хүчил (SiOH) үүсгэж улмаар задраад устөрөгчийн ион H^+ үүсгэнэ. Харин устөрөгчийн ион (H^+) Кулоны хуулийн дагуу шингэн фазад шилжин орж хатуу хэсгийн гадна талын бүрхүүл үе үүсгэнэ. Нөгөө талаар

цахиур өөрөө гадаргуугийн задралд орж цахиурын ионы (SiO^-) бас нэг цахилгаан үе үүсгэнэ. Ингэж хатуу хэсгийн гадна талаар цахиурын задралаас үүссэн нэг үе, устөрөгчийн ионоос үүссэн хоёр дахь үе гэсэн хоёр давхар цахилгаан үе үүсэж байгаа юм. Устөрөгчийн ион задрал бий болгож байхад OH^- —ийн ион задралыг идэвхжүүлж байдаг. Энэ зарчмаар цемент бүрдүүлэгч эрдсүүдийн бусад ислүүд Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ион болон задрах байдлаар цементийн бэхжих процесс үргэлжилнэ.

1.3. Цементийн бүтэц бүрэлдэн бий болоход эрдсийн нөлөө.

Цемент бүрдүүлэгч эрдсүүдийн дотроос хамгийн бага хэмжээтэй (4-12%) агуулагдаж байдаг гурван кальцитай алюминат (C_3A) бусдаасаа түрүүлж устай урвалд орж бусад эрдсүүдийн гидратацын процесст мэдэгдэхүйц таатай нөлөө үзүүлнэ. C_3A устай харилцан үйлчлэлд орж эхний үед термодинамикийн хувьд тогтворгүй нэгдэл болох C_2AH_8 ба C_4AH_{13} үүсгэж улмаар тогтвортой боловч бат бэхээр төдийл сайнгүй (шахалтын бат бэх 11-12 МПа-с хэтрэхгүй) гидрат нэгдэл C_3AH_6 болон хувирна. Хэрэв орчны температур 80°C буюу үүнээс өндөр байвал C_3A -н гидратацаар шууд тогтвортой C_3AH_6 үүсэж болно. C_3A устай харилцан үйлчлэлд орсны үр дүнд сийрэг бүтэцтэй бат бэхээр муу нэгдэл үүсдэг боловч эхний үед их хэмжээний дулаан ялгаруулснаар (865 Дж/г дулаан ялгарна) бусад эрдсүүдийн гидратацад таатай нөхцөл бүрдүүлж байгаа юм. C_3A устай харилцан үйлчлэлд орох процессыг гөлтгөнийн чулуу нэмэх замаар зохицуулна. Хэрэв гөлтгөнө нэмээгүй байсан бол цемент нэн богино хугацаанд барьцалдах болно. Гөлтгөнө нэмсний үр дүнд этtringит- $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ үүсэж цементийн барьцалдах хугацаа хэсэг хугацааны туршид саатах болно.

Алит- C_3S цементийн найрлагад 60% орчим орох бөгөөд цементийн чулууны үндсэн бат бэхийг хангагч хамгийн гол бүрдүүлэгч мөн. Алит усны үйлчлэлд эхлээд огцом хугацаанд их хэмжээний дулаан ялгаруулж нэн даруй дулаан буурсаар 15-20 мин дотор хамгийн доод утгадаа хүрнэ. Энэ үеийг судлаачид индукцийн өмнөх үе гэж нэрлэсэн байдаг. Энэ үе нэлээд хэдэн цагийн турш бага дулаантай төлөв байдлаа хадгалдаг учир урвал бараг явагдахгүй, цементийн зутангийн уян налархай чанар бүрэн хадгалагдана. Гэхдээ хэдэн цагийн дараа алит-эрдэс гадаргуугаасаа усанд уусаж задраад найрлагаасаа нэг молекул чөлөөт CaO -г ялгаруулж тоберморитын бүлэгт хамаарах (C-S-H) хэлбэрийн $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ гэсэн нам суурьтай ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 3/2 < 1.5$) гидросиликат нэгдэл үүсгэн дулаан ялгаруулна. Дулаан ялгарч байгаа нь задралын үр дүн мөн. Харин түрэгдэн гарсан чөлөөт кальцийн исэл устай нэгдэж шүлт- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ үүсгэнэ. Судлаачдын тодорхойлсноор портландцементийг усаар зуурснаас хойш долоо хоногийн бэхжилтээр үүссэн цементийн чулуунд 18% орчим $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -н талст агуулагдана. Портландцементийн найрлагад орсон

алитын бэхжилтээр 500 Дж/г дулаан ялгаруулж, коллоид хэмжээний бүрэн төгс талсжиж амжаагүй 40 МПа-с дээш бат бэхтэй нам суурьтай гидросиликат нэгдэл (C-S-H) үүснэ гэж судлаачид үздэг. Алитийн бэхжилтээр үүсэж байгаа тоберморитийн бүлгийн нэгдэл (C-S-H) эхний долоо хоногт үндсэндээ үүснэ. Алитийн гидратац хурдан байгааг түүний талст бүтэц дотор хагарлаас үүсэлтэй хоосон орон зай байдаг төдийгүй кальцийн ионы Ca^{2+} координатын тоо 6-с дээш байдагтай холбоотой гэж судлаачид тайлбарлаж байна. Нөгөө талаар алитийн гидратац хурдан байснаар бетон богино хугацаанд бэхжиж өндөр бат бэхтэй болох сайн тал байгаа боловч гидратацын урвал гүйцэд явагдахад саад болох сул талтай байж болно. Яагаад гэвэл цементийн ширхгийн гадаргуугийн алит богино хугацаанд усанд уусаж нягт бүтэцтэй коллоид бүрхүүл үүсгэн талст болон хувирснаар цементийн гүнд диффузийн болон хемосорбцын замын аль алианаар ус нэвчин орж гидратацын процесс цаашид үргэлжлэх боломжгүй болно. Өөрөөр хэлбэл цементийн гидратац удааширч тэр ч байтугай зогсолтод хүргэх магадлалтай юм. Алитийн задралаар үүссэн $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ийн талст том төдийгүй усанд амархан уусдаг, бат бэхээр тааруу учир цементийн болон бетоны удаан эдэлгээт шинж чанарт сайн нөлөө үзүүлж чадахгүй. Гэхдээ ердийн нөхцөлд химийн идэвхтэй цахиуртай нэгдэж тогтвортой бөгөөд өндөр бат бэхтэй шинэ нэгдэл үүсгэж цементийн чулууны бүтцийг нягтруулж бат бэхийг сайжруулна гэж Бутт, Волж, Ларио, Тейлор, зэрэг олон судлаачид батлаад портландцементэн бетоны ус тэсвэрлэлтийг сайжруулах зорилгоор сайтар нунтагласан аморф төлөвийн цахиурлаг нэмэлт хэрэглэхийг зөвлөсөн байдаг. Белитийн гидратацийн процесс алитийн гидратацаас нэлээд удаан явагдаж алитаас ялгарах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - аас харьцангуй бага хэмжээний $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ялгаруулан коллоид төлөвийн (маш жижиг буюу хагас талстажсан гэж нэрлэж болно) талст бүхий нам суурьтай (C-S-H) төрлийн нэгдэл үүсгэнэ. Белитийн гидратацаар 260 Дж/г дулаан ялгарна. Хэдийгээр белитийн гидратацийн процесс эхний долоо хоногт удаан боловч цаашдын хугацаанд түүний гидратац тасралтгүй явагдаж 28 хоногийн дараа гэхэд бараг алитийн хэмжээний бат бэхтэй болно. Белитлэг цементийг зузаан (массив) бетон бүтээц ялангуяа усан техникийн бетонд хэрэглэхийг судлаачид санал болгодог нь түүний бэхжилт удаан, бэхжилтийн үеийн дулаан ялгаралт бага, бэхжилтийн үеийн агшилт бага, агшилтын үеийн ан цав үүсэлттэй холбоотой гардаг дотоод бүтцийн эвдрэл бага байдаг гэх мэт онцлогуудтай холбоотой юм.

Портландцементийн найрлагад бага хэмжээгээр ордог (20% орчим) C_4AF -ийн гидратацаар $\text{C}_4(\text{A},\text{F})\text{H}_{13} + (\text{A},\text{F})\text{H}_3$ гэсэн аморф төлөвийн нэгдэл үүсэж удалгүй тогтвортой төлөвийн $\text{C}_3(\text{A},\text{P})_6$ гэсэн хэлбэрт шилжинэ. C_4AF -ийн гидратац хурдын хувьд C_3A -ийн гидратацыг бодвол удаан, гөлтгөнө нэмсэн тохиолдолд бүүрч удаан болдог онцлогтой юм.

Портландцементийн найрлагад их биш хэмжээгээр ордог C_3A , C_4AF , C_2S зэрэг эрдсүүдийн гидратацад уусмалын найрлагад агуулагдаж байгаа Ca^{2+} болон OH^- ионуудын тооны өөрчлөлт мэдэгдэхүйц нөлөөлнө. Мөн C_4AF -ийн гидратацад орох идэвх нь C_3A -ийн гидратацад шаардагдах SO_4^{2-} ионы тооноос хамаарч болох юм. Нөгөө талаар SO_4^{2-} ион ($C-S-H$) -ийн гадаргуу дээр адсорбцлогдох замаар түүний уусмал дахь агууламж буурна. Хэдийгээр портландцементийг бүрдүүлэгч эрдсүүдийн гидратацын процессыг олон орны эрдэмтэд ул суурьтай судалж зохих үр дүнд хүрч санал нэгдэж байгаа боловч гидратацын механизмын талаар зарим зөрчил байсаар л байна. Ялангуяа цементийн гол бүрдүүлэгч болох C_3S -ийн гидратацын механизмын талын ойлголт тодорхойгүй байна. Хэдийгээр цементийн үндсэн эрдсүүдийн гидратацын процессын зарим механизм бүрэн тайлбарлагдаагүй бүрхэг байгаач гэсэн гидратацын үр дүнд наалдуулах чадвар өндөртэй коллоид уусмал үүсэж улмаар талсжин өндөр бат бэхтэй цементийн чулуу үүсгэнэ гэсэн онол зөв болох нь батлагдсан юм. Тийм учраас орчин үеийн судлаачид бетоны бат бэхийг сайжруулахад цементийн эрдсүүдийн гидратацын механизмыг ямар замаар жолоодвол сайн үр дүнд хүрч болох арга замыг улам нарийсган судалж байна.

1.4. Бүтэц бүрэлдэлтэд нунтаглалтын нөлөө.

Оросын судлаач О.А.Гершберг, Японы судлаач А.М.Neville, D.Breton болон бусад олон судлаачид “ Хэрэв чулууг уусгаж чадвал ямар ч эрдэс чулуулаг барьцалдах материал мөн” гэж онцлон заасан байдаг. Цементийн нунтаглалт хэдий чинээ сайн байна түүний гидратацаар үүссэн цементийн чулууны бат бэх төдий чинээ өндөр байна гэж судлаачид санал нэгддэг юм. Энэ дүгнэлт бол цементийн ширхгүүдийн уусалттай холбон авч үзсэн дүгнэлт мөн. Цементийн ширхгүүд хэдий чинээ бүрэн ууссан байна цементийн чулууны бат бэх төдий чинээ өндөр байна гэж Ю.М.Бутт, А.Е.Шейкин, Ч.Дэндэвдорж, А.М. Neville, Ю.М.Баженов, О.А.Гершберг, W.B.Ledbetter, I.Odler, В.И.Кавалерова зэрэг олон судлаачид санал нэгтэй баталсан байдаг. Эдгээр судлаачдын үзэж байгаагаар цементийн нунтаглалт нарийн болох тутам түүний уусалт сайжирч урвалын үр дүнд үүсэх наах, барьцалдуулах чадвартай шинэ коллоид нэгдлийн хэмжээ нэмэгдэж эцсийн дүнд цементийн чулууны бат бэх өсөж байна. Уусалт сайжирч байна гэдэг бол эгэл хэмжээт хатуу хэсгийн гадаргуугийн адсорбцлох чадвар буюу гадаргуугийн энерги их байгаагийн баталгаа мөн. Адсорбцлох чадвар өссөнөөр цементийн нарийн ширхэгтэй хэсгийн гадаргууд адсорбцлогдсон ус ширхгийн гүнд диффузийн замаар нэвчих боломж төдий чинээ сайжирч уусалт сайжрах болно. Нөгөө талаар нунтаглалт сайжрахын хэрээр нэгж хугацаанд урвалд орох эгэл хэсгийн тоо олон болж үр дүнд нь дулаан ялгаралт нэмэгдэж улмаар бэхжилт хурдсах нь зайлшгүй юм. Хэдийгээр нунтаглалт сайжрах тутам цементийн гидратацын процесс гүйцэд

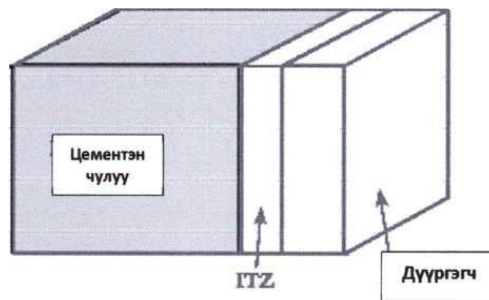
төдийгүй эрчимждэг сайн тал байгаа боловч цементийн чулуу болон бетоны бүтэц, бат бэхэд сөрөг нөлөө дагуулж болохыг судлаачид анхааруулж нунтаглалтыг тодорхой хязгаарт барих шаардлагатай гэж цохон тэмдэглэсэн байдаг. Нунтаглалт хангалтгүй бол цементийн ширхэг бүрэн уусаж шинэ нэгдэл үүсгэж чадахгүй зарим хэсэг урвалд оролгүй үлдэж цементийн гель дотор дүүргэгчийн үүрэг гүйцэтгэнэ гэж тайлбарлаж байна.

1.5 Цементийн чулууны бүтэц бүрэлдэхэд орчны нөлөө

Цемент, ус хоёулаа химийн идэвхтэй бодис мөн учраас цементийн гидратацын процесс аливаа химийн хувирлын хууль ёсоор хүрээлэн байгаа орчныхоо температураас шууд хамааралтай байх болно. Нөгөө талаар цементийн зутанд гадаргуугийн чөлөөт энерги их байдаг нь түүнийг термодинамикийн тогтворгүй систем мөн болохын баталгаа мөн. Ийм учраас цементийн зутанд гаднын ямар нэг хүч (температур, даралт), нөлөө нөлөөлөөгүй байхад цемент, ус хоёрын хооронд аяндаа ямар нэг процесс өөрөөр хэлбэл химийн процесс явагдаж байх болно. Жишээлбэл: физикийн хуулиар цементийн ширхгүүдийн гадаргууд адсорбцлогдсон ус химийн харилцан үйлчлэлд орох, цементийн зутан барьцалдаж эхлэх гэх мэт. Энэ хувирлуудад хүрээлэн байгаа орчны температур, харьцангуй чийглэг шийдвэрлэх үүрэгтэй байдгийг M.Tia, B.Hanna, I.Odler, F.P.Nichols, A.M.Neville, Y.J.Gilkey, D.W.Hobbs, A.E.Шейкин зэрэг олон судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байдаг. Эдгээр судлаачид “Температур нэмэгдэх тутам аливаа химийн урвалын хурд эрчимжинэ” гэсэн хуулийг үндэс болгон цементийн гидратацыг химийн процессын үүднээс авч үзсэн байна. Цементийн зутангийн хүрээлэн байгаа орчны температур (цементийн зутан дахь ус) нэмэгдэхэд цементийн ширхгүүдийн уусалт хурдас ч үүсэх шинэ нэгдлийн хэмжээ нэмэгдэж түүний талстжилт хурдасна гэж судлаачид тайлбарлаж байна. Талстжилт хурдассан бол цементийн чулуу улмаар бетоны бүтэц бүрдэлт хурдан болох нь зайлшгүй үзэгдэл мөн. Гэхдээ хүрээлэн байгаа орчны температур нэмэгдэхэд харьцангуй чийглэг багасвал температурын өсөлттэй хамт бий болдог бат бэхийн өсөлт саар ч харин буурах болно гэж судлаачид B.Hanna, B.I.Кавалерова, Ю.М.Баженов, D.W.Hobbs, X.Ф.Тейлор нар баталж байна.

1.6 Суб микро бүтэц: (мезо) [2-30х]

Бетоны бүтцийг дүүргэгч, цементэн зуурмаг, барьцалдалгааны бүс гэсэн гурван хэсэг бүрдүүлж байна. Цементэн зуурмагийн хэсгийг микро бүтцээр тайлбарлаж байгаа бол суб микро буюу мезо бүтцийг барьцалдалгааны бүсээр тайлбарлах юм. Энэ барьцалдалгааны бүс (Interfacial Transition Zone (ITZ))-ний талаар нэлээд судалсан байдаг. Барьцалдалгааны бүс гэж дүүргэгчийн ширхэглэлийн эргэн тойрон дахь цементэн чулуугаар хүрээлэгдэж буй хэсэг.



1.1-р зураг. Бетоны дотоод бүтцийн загварчлал. ITZ-барьцалдалгааны бүс (субмикробүтэц).

Өөрөөр хэлбэл өөр хоорондоо ялгаатай (цементэн чулуу, дүүргэгч) нэгдлүүдийг холбож байгаа бүсийг барьцалдалгааны бүс гэж нэрлэнэ. Бетоны бэхжилтийн үед гидратацын урвалд ороогүй судлуудын орон зай дүүргэгчийн ширхгийн орчим сул холбоос үүсгэдэг гэж J.P.Olliver тайлбарлаж байна [13-14].

Олонх судалгаануудад барьцалдалгааны бүсийн өвөрмөц бүтэц онцгой анхаарал татдаг төдийгүй энэ бүс бетоны физик- механик болон тээвэрлэх шинж чанарт ихээхэн үүрэгтэй оролцдог. Бетоны үзэж байгаагаар цементэн чулуу барьцалдалгааны бүстэй харьцуулахад нэлээд ялгаатай байна. Зөвхөн нэг жишээ авахад барьцалдалгааны бүсэд хлорын ионы диффузын коэффициент цементэн зуурмагийнхаас 6-12 дахин их байдаг нь барьцалдалгааны бүсийн сийрэгжилт цементэн чулууныхаас их байгаа байдлыг илэрхийлнэ [14]. Ихэнхдээ барьцалдалгааны бүсийн сийрэгжилт их, бат бөх сул байх нь ус цементийн харьцааны өсөлт болон шинээр үүсэж байгаа бетоны нүх сүвний өсөлтөөр тайлбарлагдана. Дүүргэгчийн ширхгийн гадаргууд адсорбцлогдсон агаар бетон зуурмагийг холих явцад бүрэн зайлаагүй, мөн доргиох үед механизмын нөлөөгөөр ус агуулсан нүх сүвнүүд бетоны эзлэхүүнээс бүрэн сарниж амжилгүй дүүргэгчийн гадаргууд шилжин сууснаар барьцалдалгааны бүсний бат бөхийн бууралт явагдана гэж үздэг. Иймд барьцалдалгааны бүсийн сул орон зайг бууруулах нь өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авах нэг чухал хэсэг болно. Судлаачид барьцалдалгааны бүсний сийрэгжилт буюу сул орон зайг бетон зуурмагийн холих технологийг нарийвчлах, уян налархай болон нарийн нунтагласан пуццоланан нэмэлт нэмэх замаар сайжруулж чадсан бөгөөд барьцалдалгааны бүсийн нягтралтыг сайжруулах аргыг 2 төрөл болгон ангилж байна [15].

Нэгдүгээрт: Дүүргэгчийг холихын өмнө түүний гадаргууг химийн урвалж эсвэл полимерээр хучих. Энэ арга бетоны үйлдвэрлэлийн дамжлагыг нэмэгдүүлж урьдчилан боловсруулах ажиллагаанд өндөр өртөг зарцуулахад хүргэдэг тул практик хэрэглээ нь хязгаарлагдмал юм.

Хоёрдугаарт: Цахиурын нунтаг (silica fume), ДЦС-ийн үнс (fly-ash), метакаолин (metakaolin)-аар цементийн хэрэглээг хэсэгчлэн орлуулах. Эдгээр нарийн нунтаг материалууд нь далд усжих болон пуццоланан урвалын нөлөөгөөр барьцалдалгааны бүсний нягтралтыг нэмэгдүүлдэг. Түүнээс гадна эдгээр нарийн ширхэглэлүүд СН талстууд тухайн бүсэд жижиг хэмжээгээр байсан ч олон талт бөөмсийн үе болж ургуулж чаддаг.

Барьцалдалгааны бүсийн шинж чанаруудыг Escadeillas болон Maso нар зуурмагт тодосгогч бодис хийж, электрон зургаар ажиглан судалсан. Эдгээр судлаачид дүүргэгчийн ширхгийн эргэн тойрон барьцалдалгааны бүсээр хэрхэн хүрээлэгддэгийг тоймчлон үзүүлсэн. Энэ ажил нь дүүргэгчийн гадаргууг зөвхөн цементийн ширхэглэлүүд хүрээлж байна уу эсвэл элсний ширхэглэлүүд хамтдаа орон зайг бүрхэж байна уу гэдгийн үнэнийг тогтоосон юм. Харин судлаач Диамонд ба Паррон нар нэлээд эрт судалсан судалгаандаа элсэн зурвас болон барьцалдалгааны бүсийн дундаж зузааныг нэлээд хязгаарлагдмал байдлаар тодорхойлсон [32-33].

Эрдэмтэн судлаач J.P.Ollivier нар бетоны идэвхгүй дүүргэгчийн эргэн тойронд бүрхэгдсэн барьцалдалгааны бүсийн микро бүтэц болон эрдэс нэмэлтийн нөлөөллийг судалжээ. Хамгийн чухал бөгөөд хор хөнөөлгүй хувирлыг шохойлог дүүргэгчийн урвалууд үзүүлсэн. Ер нь цементэн зуурмаг болон дүүргэгч чулууны хоорондын химийн урвалаар барьцалдалгааны бүсийн шинж чанаруудыг тайлбарлагдаж магадгүй хэмээн таамаглаж байгаа ч одоогоор бүрэн тайлбарлаж амжаагүй байна [11-12].

Дүүргэгчийн ширхэглэл ба цементэн зуурмагийн хоорондын барьцалдалгааны бүс нь нүх сүвний микро бүтэц ба усжих процессоор тайлбарлагдана. Энэ хоёр хандлага хоёулаа нийлж микро бүтцийг үүсгэж болно. Дүүргэгчийн ширхгүүдийн усжих урвал ялгаатай явагддаг. Усжих урвал ялгаатай явагдах шалтгаан бол дүүргэгчийн ширхэглэлийн эргэн тойронд цементэн чулуу аль хэр их гадаргуугаар наалдсан байдал, У:Ц харьцаа холбоосны аль хэсэгт өндөр байгаа эсэх, дүүргэгчийн гадаргуугийн байдал болон дүүргэгчийн химийн шинж чанар гидротацид нөлөөлж байгаа эсэхээс шалтгаална.

Сийрэгжилтийн энэ хувьсал нэгдүгээрт идэвхгүй дүүргэгчийн гадаргуугийн эргэн тойронд бий болсон барьцалдалгааны бүсэн дэх усжих урвалаар тодорхойлогдох бол эцэст нь дүүргэгчийн химийн урвалын нөлөөллийг тооцож болно [11].

1.7 Барьцалдалгааны бүсийн гидратац

Farran бол барьцалдалгааны бүсийн талаар судалсан анхдагч судлаач бөгөөд бетон доторх дүүргэгчийн гадаргуугийн өнгөн хэсэгт ялгаатай эрдсүүд бүхий хольц байгааг анх удаа ажигласан юм [20]. Түүний судалгаа цилиндр хэлбэртэй дүүргэгчийн өнгөн талд наасан цементэн зуурмагийн ховхорсон хэсэг дээрх нийлмэл модель дээр үндэслэгдсэн. Энд барьцалдалгааны бүсэн дэх зуурмагт хэвлэлтийн анхны байдлаас эхлэн гидротаци явагдах процессуудын ялгааг авч үзэж тайлбарлах оролдлого байсан. Эхний алхам бол идэвхгүй дүүргэгчийн эргэн тойронд хэвлэгдсэн барьцалдалгааны бүсийн гидратацыг ажиглах явдал байсан бол дараагийн алхам нь цементэн зуурмагтай дүүргэгчийн урвалжих нөлөөллийг харуулах байсан.

Харин Scrivener нар бетонон дээж болон үлгэрүүд дээр зурган анализ ба SEM (scanning electron microscope)-ийг ашиглан тодорхойлоод ижил дүгнэлт хийсэн [22-24]. Цементийн гидратац болон барьцалдалгааны бүсийн онцлог үр дүнг орон зайн хязгаар болон ионы диффузлэгдэх байдлаар харгалзан тодорхойлсон. Дүүргэгчийн ширхэглэлийн эргэн тойронд усаар дүүрсэн том талбай байх боломжтой ба гидратац голдуу Ле-Шатальен механизмын дараа тохиолддог. Дараа нь гидратацын бус нэгдлүүдийн задрал болох бөгөөд нэлээд хөдөлгөөнтэй ионууд гидратацын зурвас руу гүнээсээ гадаргуу руу нүүрдэг. Ердийн портландцемент (OPC)-д Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ болон Ca^{2+} ионууд илүү хурдан диффузлэгддэг. Силикатын ионууд бага хөдөлгөөнтэй байдаг ба силикатын ширхэглэлээс дүүргэгчийн гадаргууд бас удаан диффузлэгддэг.

Энэ ионы диффузийн үзэгдэл нь гидратацын болон гидратацын бус материалын нийлбэрийг дүүргэгчийн завсар хоорондын зайнд харьцуулан харуулдаг юм. Бетон дээжүүд болон нийлмэл үлгэрүүдийн аль алинд хийгдсэн судалгаануудад эдгээр үр дүнгүүд нэлээд өргөнөөр хэвлэгдсэн байдаг [24-27]. Туршилт судалгааны маш дэлгэрэнгүй тайлбарыг Scrivener, Pratt нар тайлагнан харуулсан [26]. Энэ бидэнд гидратацид ороогүй цементийн хэсгийн ойр орчимд гидратацын үед үүсэх CH , C-S-H нь бодож тооцож байснаас илүү хэмжээгээр үүссэн болохыг харуулсан. Ингэж портландууд дахин хуваарилалт явагдах нь тодорхой харагдаж байна. Кальцын ионуудын диффузи нь силикатын ионуудтай харьцуулахад илүү ихээр нэвчиж барьцалдалгааны бүсийн гидратацын туршид нөлөөлдөг байна.

Диффузын процессын өөр нэг жишээ бол $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ харьцааны өөрчлөлт ба нарийвчилсан туршилтаар барьцалдалгааны бүсэд илрүүлсэн болно. Энэ судалгааг Yuan болон Odler нар гурван кальцит силикатын зуурмаг болон байгалийн гантиг хоёрын

хоорондын барьцалдалгааны б үсэд судалсан байдаг [11]. Энэ C:S харьцаа дүүргэгчийн эргэн тойронд 3-аас их байдаг нь гидратацид ороогүй силикатын C:S харьцаа болно. Зуурмагийн эзлэхүүнд, гадаргуугаас ойролцоогоор 12мкм-д C:S харьцаа 3-тай тэнцүү бөгөөд Ca^{2+} , OH^- ионуудыг шилжилтийг судлаачид тайлбарлан харьцуулсан байна. Дүүргэгчийн гадаргуу дахь C-S-H харгалзах хэсгийн C:S харьцаа 3,5-4,0 байхад цементэн зуурмагийн эзлэхүүнд 1,5-2,0 байгаа явдал нь C-S-H бүхий барьцалдалгааны бүсэнд холилдсон байгаа портландитийн маш жижиг кристаллаас шалтгаалсан байх боломжтой.

Концентрацийн мэдээллээс этtringит бол портландитийн маш жижиг эгэл хэсэгтэй адил учраас талсжилт нь маш их хөдөлгөөнтэй ионуудаас гидратацийн эхний хугацаанд туршид аль ч давхаргад явагддаг гэдгийг олж тогтоосон.

1.8 Бетоны бат бэхийн өсөлтөд дүүргэгчийн үзүүлэх нөлөө

Ердийн бетонд том ширхэгтэй дүүргэгчээр химийн идэвхгүй нягт бүтэцтэй чулуулгаас бэлтгэсэн дайрга эсвэл нягт хайргыг, харин нарийн ширхэгтэй дүүргэгчээр нягт бүтэцтэй чулуулгийг буталж шигшиж ангилсан 5.0 мм хүртэлх ширхэглэлтэй чулуу, баяжуулалтын боловсруулалт хийсэн байгалийн элс хэрэглэнэ. Бетонд том ба нарийн ширхэгтэй дүүргэгчийн хольц хэрэглэснээр цементийн зарцуулалт эрс багасах төдийгүй бэхжилтийн явцад үүсэх агшилтын процесс зогсох эсвэл саатах болно. Бетоны эзлэхүүний 70-80%-г эзэлдгийн хувьд дүүргэгч өөрөө бетон дотор бүтэц бүрдүүлэгч араг ясны үүрэг гүйцэтгэнэ. Бетоны бүтэц, бат бэх бүрэлдэн тогтоход дүүргэгчийн гарал үүсэл (эх чулуулгийн үүсэл), чулуулгийн бат бэх, ширхгийн бүрэлдэхүүн, хэврэг хэсгийн болон шаварлаг ба органик хольцын агууламж, дүүргэгчийн ширхгийн гадаргуугийн байдал (текстура) гэх мэт олон хүчин зүйлүүд их бага ямар нэг хэмжээгээр нөлөөлж байх болно гэж В.И.Кавалерова, Ю.М.Баженов, Л.В.Никитина зэрэг судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байдаг.

Ширхгийн бүрэлдэхүүний нөлөө. Бетоны технологид 5-40 мм хүртэлх хөндлөн огтлолтой олон төрлийн ширхэглэл бүхий хольцыг том ширхэгтэй дүүргэгчээр хэрэглэнэ. Ийм дүүргэгчийн хольцын завсар хоорондын зай нь хольцын ширхгийн бүрэлдэхүүнээс хамаарч 40-45% байдаг. Завсар хоорондын энэ их зайг бүрэн дүүргэж хэвлэгдэх чанартай бетон хольц гаргаж авна гэвэл их хэмжээний цементийн зутан шаардагдах болно. Гэтэл цементийн зутан бэхжихдээ агшилтад орж олон тооны ан цав, хагарал үүсгэж бат бэх буурах үндсэн шалтгаан болно. Том ширхэгтэй дүүргэгчийн хольц дээр нарийн ширхэгтэй дүүргэгч нэмбэл түүний ширхгүүд том дүүргэгчийн завсар хоорондын зайг дүүргэж цементийн орцыг багасгана. Том ба нарийн ширхэгтэй дүүргэгчийн хольцоор бэлтгэсэн

бетоны бэхжилтийн үеийн агшилт мэдэгдэхүйц багасаж улмаар бат бэх, удаан эдэлгээт чанар нь сайжирна гэж Х.Ф.Тейлор, И.Н.Ахвэрдов болон бусад судлаачид тайлбарлаж байна.

Нөгөө талаар судлаачид дүүргэгчийн хольцын ширхгийн бүрэлдэхүүнд онцгой анхаарах ёстойг онцлон заасан байдаг. Судлаачид дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүнд онцгой анхаарал хандуулж байгаа нь дараах хоёр шалтгаантай холбоотой байж болох юм. Үүнд:

Нэгдүгээрт: Дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүнээс цементийн орц түүнтэй шууд хамааралтай байдаг бүтээгдэхүүний өөрийн өртөг хамаарна.

Хоёрдугаарт: Бетоны бүтцийг бүрдүүлэгч хатуу хэсгүүдийн дотроос хамгийн бага бат бэхтэй хэсэг нь зуурмагийн хэсэг буюу цементийн чулуу мөн. Хэрэв дүүргэгчийн хольцын ширхгийн бүрэлдэхүүн тохиромжгүй бол түүний ус шаардах чанар өөрчлөгдөж улмаар бетоны бүтэц, бат бэхэд сөрөг нөлөө дагуулна. Өөрөөр хэлбэл усны орц нэмэгдвэл цементийн чулууны бүтэц сийрэгжиж, харин багадвал бетон хольцын хэвлэгдэх чанар муудаж сийрэг бүтэцтэй бетон үүсч үр дүн нь бат бэх болон удаан эдэлгээт чанарын бууралт байх болно гэсэн таамаглалыг судлаачид баримталж байна гэж үзэж болно. Хэрэв том ба нарийн дүүргэгчийн харьцаа хамгийн тохиромжтой болж чадсан бол дүүргэгчийн хольцын асгаасны эзлэхүүний нягт хамгийн их, завсар хоорондын зай хамгийн бага, хувийн гадаргуу буюу ус шаардах чанар мөн хамгийн бага байх болно.

Зарим судлаачид жишээлбэл орос улсын судлаач В.И.Кавалерова, Ю.М.Баженов нар том дүүргэгчийн хольцын ширхэглэл тасралттай байвал тохиромжтой гэж баталж байна. Мөн Х.Ф.Тейлор, Л.В. Никитина зэрэг зарим судлаачид дүүргэгчийн хольц ширхгийн бүрэлдэхүүний хувьд үргэлжилсэн биш харин тасралттай байвал хамгийн тохиромжтой буюу хамгийн нягт бүтэц бий болно гэж үзэж байна. Жишээлбэл: дүүргэгчийн хольц бүрдүүлэгч ширхгүүдийн диаметрийн харьцаа 1:6.5-аас 1.5:7 гэх мэт байвал тохирно гэж үзэж байна. Эндээс харвал дүүргэгчийн ширхэглэл ердөө хоёрхон ширхэглэлээс бүрдсэн байвал зөв байна. Орчин үеийн шигүү арматуртай цутгамал бетоны (газар хөдлөлтийн шаардлагаар арматурын орцыг 1990 оноос өмнөх үеэс хоёр дахин нэмэгдсэн) технологид дайрганы хамгийн том ширхэглэл $\sigma_{max} = 20$ мм байх шаардлагатай учир хоёр дахь ширхэглэлийн диаметрийг 6.5-5 дахин бага байна гэвэл $\sigma_{max} = 20:5 = 4 \rightarrow 20:6.5 = 3$ мм байх шаардлагатай байна. Өөрөөр хэлбэл хоёр дахь ширхэглээр 2.5-5 мм-ийн ширхэгтэй бүдүүн элс хэрэглэх болж байна. Ийм ширхэглэлийн бүрэлдэхүүнтэй дүүргэгчийн хольц

хэрэглэхэд бетон зуурмаг тээвэрлэлт, хадгалалтын үед тийм ч амархан үелж тунаад найрлагын нэг төрлийн чанараа алдахгүй гэж судлаачид үзэж байна.

Дүүргэгчийн хольцыг тасралтгүй ширхэглэлтэй байна гэж үзвэл дүүргэгчийг хоорондоо ойрхон хэмжээтэй нүх бүхий шигшүүрээр ангилж (20 мм-н дайргыг 5-7.5, 7.5-10, 10-12.5 мм, 12.5-15, 15-17.5, 17.5-20 мм) хамгийн том ба хоёр дахь ширхгийг хольж хоёр ширхэгтэй хольцын тохиромжтой харьцааг (асгаасны эзлэхүүний нягт хамгийн их байх тохиолдол) олоод тэр хольцоо гуравдахь ширхэгтэй хольж мөн тохиромжтой харьцааг олох гэх мэт дарааллаар хамгийн бага завсар хоорондын зайтай, хамгийн их асгаасны эзлэхүүний жинтэй хамгийн бага хувийн гадаргуутай дүүргэгчийн хольц гаргаж авна. Ийм ширхэглэлтэй хольцыг тасралтгүй ширхэглэлтэй хольц буюу тохиромжтой ширхгийн бүрэлдэхүүнтэй дүүргэгчийн хольц гэж үзэх болно. Дүүргэгчийн ширхэглэл томрох тутам бетон хольцод хадгалагдаж үлдэх агаарын бөмбөлөг төдий чинээ бага байна. Харин нарийн ширхэгтэй дүүргэгч их бол бетон хольцыг холих явцад гаднаас илүү их агаарыг авч (залгиж) чаддаг төдийгүй залгисан агаараа найдвартай хадгалж чадна. Тийм учраас нарийн ширхэгтэй дүүргэгч их орсон бетон зуурмагийн агаар агууламж хэзээд их байх болно. Энэ нь эцэстээ бетоны бат бэх, удаан эдэлгээт чанарт муу нөлөө авчрах магадлалтай байдаг.

Дүүргэгчийн бат бэхийн нөлөө. Бетоныг шахах хүчний үйлчлэлд оруулбал цементийн чулуугаар хоорондоо гагнагдсан том дүүргэгчийн ширхгүүд гаднын хүчийг өөр дээрээ хүлээж авч тэр хүчээ дараачийнхаа байрлалд байгаа том ширхэгтэй дүүргэгчид завсрынхаа гагнаасны цементийн чулуугаар дамжуулан өгөх болно. Иймд том дүүргэгчийн өөрийн нь бат бэх бетоны бат бэхэд чухал үүрэгтэй болох нь тодорхой байна. Оросын судлаач А.Е.Шейкин, Бутт, В.И. Кавалерова, Ю.М.Баженов болон Шестопер зэрэг судлаачид бетонд хэрэглэх том дүүргэгчийн ширхгийн бат бэх буюу эх чулуулгийн бат бэх нь бетоныхоо бат бэхээс багаар бодоход 1.5-2 дахин илүү байх ёстой гэж онцлон заасан байдаг. Энэ дүгнэлт бол шахах хүчний үйлчлэлд ажиллаж байгаа бетон дахь том дүүргэгч ачааллыг өөр дээрээ хүлээж авдаг болохыг баталж байгаа юм. Өөрөөр хэлбэл ачаалал дор байгаа бетоны дүүргэгч бат бэхийн хувьд цементийн чулуу болон зуурмагийн хэсгээс түрүүлж эвдрэх ёсгүй гэж судлаачид үзэж дүүргэгчийг сонгохдоо түүний бат бэхэд онцгой анхаарах ёстойг сануулдаг юм. Хэрэв дүүргэгч бат бэхийн хувьд хангалттай байсан бол шахах хүчний үйлчлэлд эвдэрч байгаа бетоны эвдрэлийн гадаргуу дээр зуурмагийн хэсэг эвдэрсэн, зуурмагийн хэсгээс дүүргэгч ховхорсон, эсвэл сугарсан байдал ажиглагдах болно. Энэ бол тухайн дүүргэгч бат бэхийн хувьд хангалттай байгааг гэрчилж байгаа юм. Харин дүүргэгчийн гадаргуугаас цементийн чулуу ховхорсон байвал дүүргэгчийн бат бэх

хангалттай боловч дүүргэгч ба цементийн чулууны хоорондын наалдалтын бат бэх хангалтгүй байгааг гэрчилнэ.

Дүүргэгч, цементийн чулууны наалдалтын бат бэх. Ердийн бетонд портландцементийг бүрдүүлэгч эрдсүүд болон тэдгээрийн гидратацаар үүссэн шинэ нэгдлүүдтэй харилцан урвалд ордоггүй тийм химийн идэвхгүй чулуулгийг дүүргэгчээр хэрэглэнэ. Тийм учраас дүүргэгч ба цементийн чулуу хоёрын хооронд зөвхөн наалдалт болон механик барьцалдалгаа үүсэх болно гэж судлаачид тайлбарладаг юм. Хэрэв дүүргэгч гадаргуугаараа цементийн гидратацын бүтээгдэхүүнтэй урвалд ордог байсан бол дүүргэгчийн гадаргуу ба цементийн чулууны хооронд завсрын шинэ үе үүсэх болно. Завсрын ийм үений эрдсийн бүрэлдэхүүн болон бүтэц нь хоёр талынхаа орчноосоо эрс өөр төдийгүй бат бэх нь бага эсвэл өндөр байдаг. Гэхдээ завсрын үе үүсвэл цементийн чулуу ба дүүргэгч хоёрын завсрын үенд заавал эзлэхүүний тэлэлт гарна. Хэрэв дүүргэгчийн эргэн тойронд байгаа цементийн чулуу бат бэхийн хувьд тэр эзлэхүүний тэлэлтээс үүссэн дотоод хүчдэлийг тэсвэрлэж чадахгүй бол дүүргэгчийн эргэн тойронд хагарал, ан цав үүсэж дүүргэгч ба цементийн чулууны хоорондын наалдалтын бат бэх буурах шалтгаан болно. Нэгэнт цементийн чулуу ба дүүргэгч хоёрын наалдалтын бат бэх буурсан бол бетоны бат бэх буурах нь гарцаагүй учраас ердийн бетонд химийн идэвхгүй чулуулгийн гаралтай дүүргэгч хэрэглэх хэрэгтэй гэж судлаачид зөвлөдөг юм. Дүүргэгч гадаргуудаа шавар, тоос, органик хольцоор бохирдсон байвал түүний цементийн чулуутай наалдах чадвар эрс буурна. Ялангуяа дүүргэгч гадаргуудаа шавар, тоосон хуяг хэлбэрийн бүрхүүлтэй байсан бол цементийн чулуутай наалдахгүй. Яагаад гэвэл шавар усанд норхоороо эзлэхүүнээрээ ихсээд хатахдаа агшилтад (эзлэхүүний багасалт) орно. Дүүргэгчийн гадаргууг бүрхэж бохирдуулсан шавар бүрхүүл бетон хольц бэлтгэх явцад гадаргуугаас бүрэн арчигдаж чадахгүй бол усыг адсорбцолж аваад шавар зуурмагийн хөвсгөр бүтэцтэй үе үүснэ. Энэ үе тухайн дүүргэгчийг цементийн зутангаас тусгаарлаж бетоныг бэхжиж өндөр бат бэхтэй болох үед усаа орчиндоо алдаж агшилтад орсны улмаас дүүргэгч нийт гадаргуугаараа эсвэл гадаргуугийнхаа аль нэг хэсгээр цементийн чулуунаас хөндийрч наалдалт байхгүй болно.

Орос улсын судлаач А.Е.Шейкин, Бутт нар угааж тоос, шаварлаг хольцоос нь цэвэрлэсэн хайрга ба цементийн чулуу хоёрын хоорондын наалдалтын бат бэх бетоны бат бэхийн 20-25 хувьтай тэнцүү байж болно гэж дүгнэсэн байдаг. Иймд наалдалтын бат бэх ямар чухал болох нь тодорхой байна. Дүүргэгч ба цементийн чулуу хоёрын хоорондын наалдалтын гадаргуу хэдий чинээ их бол наалдалтын бат бэх төдий чинээ сайн байх ёстой гэж судлаачид тайлбарладаг юм.

Зарим судлаач Бутт, Т.М.Павленко нар 1%-иас их ус шингээлттэй дүүргэгчийн цементийн чулуутай наалдах чадвар нягт буюу ус шингээлт багатай дүүргэгчээс арай илүү байна гэж үздэг. Судлаач тухайн дүүргэгчийн адсорбцлох чадвартай холбоотойгоор энэ дүгнэлтэд хүрсэн болов уу гэж үзэж байна. Бетоны бэхжилтийн явцад зуурмагт орсон ус цементийн эрдсүүдтэй гидратацад орсон, хүрээлэн байгаа орчиндоо ууршин алдагдсан зэрэг шалтгаанаас цементийн чулууны эзлэхүүн дотор гидратацын урвалд орох боломжтой чөлөөт ус байхгүй болж хуурайшсан үед дүүргэгчид шингэсэн ус орчныхоо хуурайшсан цементийн чулуунд татагдан орж гидратацын урвалыг тэтгэж тэгснээрээ цементийн чулууны бат бэхийн өсөлтийг хангагч шинэ нэгдлийн хэмжээг нэмэгдүүлэхийн зэрэгцээ дүүргэгч, цементийн чулуу хоёрын хоорондын наалдалт сайжирна гэж үзэж байна. Ижил ширхэглэлтэй дайрга, хайрга хоёроор ижил найрлагатай бетон хэвлэж ижил нөхцөлд ижил хугацаагаар бэхжүүлж ижил аргаар шахалтад туршихад дайргаар бэлтгэсэн бетоны бат бэх хайрган бетоноосоо багаар бодоход даруй 15-20%-иар илүү өндөр байж болно гэдгийг олон судлаачид санал нэгтэй нотолсоор байна. Бетонд том дүүргэгчээр дайрга хэрэглэхэд бетоны бат бэх мэдэгдэхүйц сайжирч байгаа нь дараах хэдэн шалтгаантай холбоотой болох нь хэдийнээ тогтоогдсон.

Нэгдүгээрт: Хайргатай харьцуулбал хагаралтаас үүссэн наалдалтын шинэ гадаргуу их байна.

Хоёрдугаарт: Том чулууг буталж, шигшиж ангилах замаар дайргыг гаргаж авсан учир гадаргуу нь шавар, тоосоор бохирдоогүй цэвэр төдийгүй чөлөөт энерги ихтэй учир адсорбцлох чадвар өндөр байна.

Гуравдугаарт: Дайрганы гадаргуу арзгар төдийгүй хурц ирмэг булантай учир наалдалтаас гадна механик барьцалдалгаа үүснэ. Гагцхүү хувийн гадаргуу ихтэй учир дайрганы ус шаардах чанар хайрганаас их байдгийг бетоны найрлага сонгохдоо мартаж болохгүйг судлаачид онцлон анхааруулдаг.

Бетоны эвдрэлээр үүссэн гадаргуу дээр цементийн чулуунаас дүүргэгчийн ширхэг ховхорсон, зуурмаг эвдэрсэн байхаас гадна дүүргэгч хагарсан тохиолдол гарч болно. Энэ бол тухайн дүүргэгчийн бат бэх муу байгаа хэрэг биш харин дүүргэгчийн найрлагад амархан хугарч болох нарийхан гонзгой хэсэг болон нимгэн хавтгай хэсэг агуулагдаж байсныг гэрчилж байгаа хэрэг юм. Бетоныг шахалтад туршихад бодит байдал дээрээ бол шахаж байгаа хүчний чиглэлд бетон эзлэхүүнээрээ шахагдан өндрөөсөө багасаж байдаг учир бүрдүүлэгч хэсгүүд (дүүргэгч, цементийн чулуу) бүгд татах хүчний үйлчлэлд орно. Гэтэл чулуун материалын татах хүчинд үзүүлэх бат бэх нь шахалтын бат бэхээсээ даруй 20

орчим дахин бага байдаг. Тийм учраас урт нарийхан гонзгой эсвэл нимгэн хавтгай хэсэг цементийн чулуутай их гадаргуугаар наалдсан (магадгүй механик барьцалдгаа үүссэн ч байхыг үгүйсгэхгүй) учир цементийн чулуу болон зуурмагийн хэсгээс сугарч гарч чадахгүй байхад түүнд гулзайлтын хүчдэл үүсэж хугаралтад хүргэж байгаа юм. Тийм учраас өндөр бат бэхтэй бетонд хэрэглэх дүүргэгчээр зөвхөн найрлагадаа амархан эмтэрч, хугарч болзошгүй хурц үзүүрлэг ирмэг, өнцөггүй, хавтгай болон урт нарийхан гонзгой хэсэг агуулаагүй тийм дайрга сонгон авч хэрэглэхийг судлаачид зөвлөдөг юм. Энэ шаардлага хангасан дайргыг зөвхөн хоёр дахь шатандаа алхан бутлуур хэрэглэсэн тохиолдолд гаргаж авч чаддагийн судлаачид тэмдэглэсэн байдаг.

1.9 Бүтэц бүрэлдэлтэд нэмэлтийн нөлөө

Өнөөгийн бетоны технологид нэмэлтийг бетоны бүтэц, бат бэх, удаан эдэлгээт чанарыг сайжруулах, цементийн барьцалдах болон бэхжих хугацааг тохируулах (хурдасгах эсвэл удаашруулах), усны орц багасгах, эрчим хүч хэмнэх гэх мэт олон зорилгод эрдэс болон химийн нэмэлтийг өргөн хэрэглэж байна. Хүйтэн сэрүүн уур амьсгалтай орнуудад бетоны барьцалдаж эхлэх хугацааг богиносгох зорилгоор хлорт кальцийн давсыг анх 1873 онд бетоны үйлдвэрлэлд хурдасгагч нэмэлтээр хэрэглэж эхэлсэн тухай Н.Kuhl мэдээлсэн байдаг [40]. Хлорт кальцийн давс хэрэглэснээр бетоны барьцалдах болон бэхжих хугацаа хурдсахаас гадна бат бэх сайжирна гэдгийг судлаачид санал нэгтэй хүлээн зөвшөөрдөг боловч нэмэлтийн үйлчлэх механизм дээр санал нэгдэж чадахгүй байна. Хлорт кальцийн давсыг цементийн жингийн 2% хүртэл нэмэхэд цементийн гидратацийн зэрэг, цементийн чулууны бат бэхийн өсөлтөд сайн үр дүн өгөх болно гэж судлаачид Кю Бет нэмэлт , Х.Тейлор , Баженов, баталж байна [41].

1930-д оноос эхлэн бетоны технологид ус багасгагч нэмэлт хэрэглэж бетон хольцын ус шаардах чанарыг 10-15% хүртэл багасгаж чадсанаар зөвхөн бетон хольцын технологийн шинж чанар сайжирсан төдийгүй бэхжиж хатуурсан бетоны шинж чанар тэр дундаас бат бэх, удаан эдэлгээт чанар сайжирсан байна. Ус багасгагч нэмэлт хэрэглэснээр зуурмагийн ус шаардах чанар багасахын зэрэгцээ барьцалдах хугацаа удаашруулах эсвэл хурдасгах гэсэн хосолсон үйлчилгээ илэрнэ. Ус багасгагч нэмэлтээр хэрэглэж байгаа лигносульфонатын найрлагад 30% хүртэл нүүрс ус орно. Ус багасгагч нэмэлт хэрэглэснээр цементийн ширхгүүдийн бөөгнөрсөн хэсэг (кластер) бутарч ширхгүүдийн хоорондын таталцлалын хүч суларч, хатуу хэсгийн гадаргууд олон молекулын адсорбцлогдсон үе үүсэж (хатуу хэсгүүдийн хоорондын харилцан үйлчлэлийн энерги өөрчлөгдөнө) хатуу хэсэгт ус нэвчин орох боломжийг хаасан хамгаалалтын үе бий болсноор зуурмагийн хөдөлгөөнт чанар мэдэгдэхүйц сайжрахын зэрэгцээ цементийн гидратацын хурд саарч

гидратацын бүтээгдэхүүний бүтэц (марфологи) өөрчлөгдөнө гэж судлаач Young тайлбарлаж байна [42]. Энэ бүх өөрчлөлт гарч байгаа нь ус багасгагч нэмэлтийн молекул хатуу хэсгийн гадаргууд адсорбцлогдон очиж тэдгээрийг хооронд нь холдуулсантай холбоотой гэж үзэж байна.

Хэрэв бетоны усны орцыг 10-15% биш үүнээс илүү багасгана гэвэл нэмэлтийн хэмжээг өсгөх зайлшгүй шаардлага гарна. Гэтэл ус багасгагч нэмэлтийн орцыг заасан дээд хязгаараас илүү их нэмбэл зарим нэг таагүй үр дагавар үүснэ гэж судлаачид анхааруулдаг юм. Жишээлбэл бетоны бэхжилтийн үеийн агшилт нэмэгдэх, агаар агууламж эрс нэмэгдэх (15%-ийн дотор нэмсэн тохиолдолд зуурмагийн агаар агууламж 2-3% орчим байдаг), бетоныг хэвлэсний дараа үелж ус тунах, бэхжилтийн процесс удаашрах гэх мэт хүсэн хүлээгээгүй үзэгдэл илэрнэ.

Уламжлалт ус багасгагч нэмэлтээс химийн бүрэлдэхүүнээрээ ялгаатай нэн орчин үеийн нэмэлт болох суперпластификатор хэрэглэвэл усны орцыг 30% хүртэл багасгаж хэвлэх, цутгахад нэн хялбар төдийгүй өндөр бат бэхтэй бетон гаргаж авах боломж бүрдэнэ.

Суперпластификатор хэрэглэсний үр дүнд усны орцыг 30% хүртэл багасгаж нэн хөдөлгөөнтэй бетон хольц бэлтгэж чадсанаар Айжнесбергер бетоны технологиос доргиулах технологийг түрэн гаргаж хугацаа, үйлдвэрлэлийн төхөөрөмж, эрчим хүч хэмнэж байгаа нь сайхан боломж мөн гэж Малхотра.В.М, Маланка нар болон бусад судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байдаг. Суперпластификатортой бетон хольцоор цутгасан бетоны 28 хоногийн дараах бат бэх нэмэлтгүй бетоны бат бэхтэй ижил эсвэл өндөр байх төдийгүй бэхжилтийн эхний хугацаанд бат бэхийн ба харимхайн модулийн өсөлт өндөр байна гэж тэдгээр судлаачид нотолж байна.

Цементийг усаар зуурсны дараа индукцийн үеийн төгсгөлд C3S-н ширхгийн гадаргуу дээр түүний гидратацын үр дүн болох C-S-H -ийн ялтаслаг бүрхүүл болон СН-ийн талст үүсэн байдаг гэж Milestone.N.B электрон микроскопын судалгаагаар тодорхойлжээ. Гидратацийн процессын эхний шатанд үүсэж байгаа C-S-H ба СН-ийн ширхгүүд маш жижиг-коллоид хэмжээтэй төдийгүй хоорондоо зайтай байдаг учир тэдгээрийн гадаргууд ус багасгагч нэмэлт-лигносульфонатын молекул диффузийн замаар нэвтрэн орох боломж нэмэгдэж байгаагийн зэрэгцээ тэдгээр коллоид хэсгийн гадаргуу дээр лигносульфонаттай харилцан урвалд орж шинэ иж бүрдэл нэгдэл үүсэж болно гэж Рамачандрин.В.С дулааны задралын аргаар баталсан байна. Үүний зэрэгцээ нэмэлтээр хэрэглэсэн лигносульфонатын орц нэмэгдэх тутам задралаар үүссэн СН-ийн гадаргуу дээр адсорбцлогдсон лигносульфонатын хэмжээ нэмэгдэнэ. Энэ бол эгэл жижиг хэсгүүдийн задрал, бутрал болон

физик адсорбц ба химийн харилцан үйлчлэлийн үр дүн гэж тайлбарлаж байна. Дулааны задралын аргаар хийсэн судалгааны үр дүнд 800°C -т дулаан шингээсэн нь нэмэлт ба СН хоёрын хооронд урвал явагдаж шинэ гидрат нэгдэл үүссэний баталгаа мөн гэж тайлбарлаж байна. Цементийн гидратацын процессын индукцийн үений дараа C3S-н гидратац маш эрчимтэй явагдаж эхэлснээр түүний гадаргуугаас сугаран гарсан кальцийн ион болон силикатын ион диффузийн замаар шингэн фазад (усан орчин) шилжиж шингэн фазын кальцийн ионы концентрац өсөж үр дүнд нь C3S-н гадна талаар (C-S-H) -ийн бүрхүүл үе үүссэн учир гадагшаа кальцийн болон силикатын ион нэвтрэн гарах боломж хаагдаж болох юм. Энэ тохиолдолд эдгээр ионууд болон нэмэлтийн хооронд урвал явагдаж шинэ гидрат нэгдэл үүсэж болох юм. Үүний үр дүнд шингэн фаз дахь кальцийн ионы агууламж багасаж СН-ийн талстжилт зогсолтод орох (гидратацын процесс зогссон учир кальцийн болон силикатын ион ялгарахгүй) хандлага илэрнэ.

Гюлконатын ион зэрэг анионууд C3S-н гидратацаар үүссэн нэмэх цэнэгтэй (C-S-H) -ийн коллоид хэсгүүдийн гадаргууд адсорбцлогдож C — S — H-ийн ба СН-ийн талст үүсэхэд дэмжлэг үзүүлнэ. Ийнхүү нэмэлт хэрэглэсний үр дүнд гидратац зогсох буюу удааширч байгаа нь нэмэлтийн удаашруулагч нөлөө мөн гэж Todros.M.E онцлон тэмдэглэсэн байдаг [34]. Лигноссульфонатын төрлийн болон бусад усны орц багасгагч нэмэлтийг бетоны технологид хэрэглэснээр цементийн эрдсийн бүрэлдэхүүн, нэмэлтийн өөрийн нь найрлага зэргээс хамаарч барьцалдаж эхлэх хугацааг бага зэрэг удаашруулдаг бол барьцалдаж дуусах хугацааг хангалттай удаашруулж бэхжилтийн эхний шатны бат бэхийн огцом өсөлтийг хязгаарладаг боловч бетон болон барилгын зуурмагийн удаан хугацааны дараах бат бэх нэлээд нэмэгдэх таатай боломж бүрдэнэ. Энэ бол гидратацийн бүтээгдэхүүний талстжилт удааширсантай холбоотой илэрч байгаа процесс мөн. Талстжилт удааширсны үр дүнд гидратац илүү сайн явагдаж шинэ нэгдлийн хэмжээ ихсэж байгаа учир бетоны бат бэх өсөх нөхцөл бүрдэж байна.

Эрдэс нэмэлтийн нөлөө. Эрдэс нэмэлт бол цемент болон портландцементэн бетоны бүтэц, бат бэх, удаан эдэлгээт чанарыг сайжруулах зорилгоор цемент ба бетонд цементийн жингийн 20-40% хүртэл нэмж хэрэглэдэг байгалийн гаралтай нунтаг чулуулгууд эсвэл зарим үйлдвэрийн сайтар нунтаглагдсан хаягдал болох цахиурлаг бүтээгдэхүүн мөн. Эрдэс нэмэлтийн гол бүрдүүлэгч нь байгалийн байдалдаа бага зэргийн эсвэл огт химийн идэвхгүй боловч сайтар нунтагласны дараа чийгийн оролцоотойгоор ердийн нөхцөлд шохойн уусмалтай урвалд орж холбож наах чадвартай шинэ нэгдэл үүсгэдэг цахиурын ба хөнгөн цагааны исэл бүхий материал юм. Ийм материалуудыг ерөнхийд нь пуццолон гэж нэрлэнэ. Цементийн чулуу болон бетоны бүтэц бүрдэн тогтоход эрдэс нэмэлт хоёр үндсэн үүрэг

гүйцэтгэнэ гэж Бутт.Ю.М. болон Тей, Волж, Ли,Ф.Массацци, [] зэрэг судлаачид тайлбарлаж байна [26]. Үүнд;Цементийн гидратацаар үүссэн шинэ нэгдэл болох идэмхий гидрат кальцитай ердийн нөхцөлд урвалд орж өндөр бат бэхтэй, нам суурьтай шинэ нэгдэл үүсгэнэ. Хэрэв пуццолон нэмэлт хэрэглээгүй байсан бол цементийн чулуунд бат бэхээр муухан төдийгүй усанд амархан уусдаг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ийн том талст үүсэж бетон бат бэх болон ус, хүйтэн тэсвэрлэлтэд таагүй нөлөө үзүүлэх байсан.

Хоёрдугаарт: Нарийн ширхэгтэй учраас цементийн болон нарийн дүүргэгчийн завсар хоорондын зайд байрлаж цементийн зарцуулалтыг багасгаж, цементийн чулууны бүтцийг (нягт) сайжруулна. Эрдэс нэмэлтийн нунтаглалт хэдий чинээ сайн байна түүний урвалын идэвх буюу шохой шингээх чадвар өндөр байна. Өөрөөр хэлбэл цементийн чулуу болон бетоны чанарт үзүүлэх эерэг нөлөө нь төдий чинээ өндөр байна.

Гуравдугаарт: Маш сайн нунтагласан хувийн (гадаргуу нь $10000\text{см}^2/\text{гр}$ -аас багагүй) эрдэс нэмэлт хэрэглэхэд цементийн ус шаардах чанар багасаж улмаар цементийн чулууны бүтэц, бат бэх өснө гэж зарим судлаачид баталж байна.

1.10. Хүрээлэн байгаа орчны нөлөөлөл

Бетон зуурмаг бол уян налархай бөгөөд унжрамтгай чанартай хатуу ба шингэний завсрын шинжтэй бие боловч хүрээлэн байгаа орчныхоо нөлөөгөөр аажмаар хатуурч өндөр бат бэхтэй чулуу болон хувирдаг материал мөн. Гэхдээ бетон хольцын хатуу бие болон хувирах үзэгдэл зөвхөн цементийн зутантай холбоотой юм. Цементийн зутангийн хатуурч чулуу болон хувирах процесс нь химийн үзэгдэл учраас бетоны бүтэц бүрэлдэн тогтож улмаар бат бэх бий болох нь хүрээлэн байгаа орчны чийглэг, салхины хүч ба температуртай салшгүй холбоотой явагддаг физик-химийн нийлмэл процесс мөн.

Судлаачдын баталж байгаагаас үзвэл ердийн портландцементийн гидратац зөвхөн нэмэх температуртай нөхцөлд явагдана. Гэхдээ хүрээлэн байгаа орчны чийглэг харьцангуй өндөр байх шаардлагатай байдаг. Яагаад гэвэл цементийн гидратац бол зөвхөн ус байгаа тохиолдолд явагддаг процесс мөн. Хэрэв ус байхгүй бол цементийн гидратац зогсож бетоны бүтэц бүрэлдэн тогтох, бат бэх чанар бий болох процесс зогсох болно. Гэхдээ цементийн зутан дотор хангалттай ус байсан ч гэсэн хүрээлэн байгаа орчин хуурай буюу цементийн зутангаас бага чийглэгтэй байвал цементийн зутангаас ус ууршиж цементийн зутан буюу цементийн чулууны бүтэц дотор өөр хоорондоо холбоотой нүх сүв, суваг үүсгэж бүтцийг сийрэгжүүлнэ. Тийм учраас бетоны бүтэц бүрэлдэн тогтох процессыг хүрээлэн байгаа орчны чийглэг ба температурын нөлөөнөөс салангид авч үзэж болохгүй.

Хүрээлэн байгаа орчны температур өндөр, харьцангуй чийглэг мөн нэгэн адил өндөр бол (бетоноос ус уурших буюу массын солилцоо явагдах боломжгүй) цементийн гидратацийн процесс эрс хурдсах боловч дотоод бүтцийн алдагдал төдийд их гарахгүй. Харин чийглэг буурвал чийг шилжилт эрчимжиж агшилт хүчтэй явагдана. Хангалттай чийглэг багасавч өндөр температуртай орчинд цементийн гидратац хурдсах боловч шинэ нэгдлийн талсжилт хурдсаж дотоод хүчдэл үүсэн дотоод бүтцийн эвдрэл ажиглагдана. Портландцементэн бетоны гидратацын процессыг эрчимжүүлэх зорилгоор ердийн даралттай болон өндөр даралттай уураар дулааны боловсруулалт хийх, цахилгаанаар халаах, хэт ягаан туяа ашиглах, гидратацын дулаан ашиглах гэх мэт олон арга хэрэглэж өнөөдрийг хүрсэн болно. Эдгээр аргуудыг хэрэглэдгийн гол учир нь бетоны бэхжилтийг эхний 8-16 цагийн дотор хурдасгаж 28 хоногийн бат бэхийн 70 орчим хувийг авхуулахад оршино. Ийм арга хэрэглэснээр бетон эхний үеийн бат бэхээ хурдан олж авах боловч 28 хоногийн бат бэх өсөхгүй магадгүй ердийн нөхцөлд бэхжиж олж авдаг бат бэхээ олж авч чадахгүй байж болно гэж Миронов.А.С болон Герш, зэрэг олон судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байдаг. Эдгээр судлаачдын үзэж байгаагаар дулааны боловсруулалтын үр дүнд цементийн уусалт, коллойджилт, талстжилт түргэсэж байгаа боловч талстжилтын үр дүнд үүссэн нягт бүрхүүл гаднаас цементийн урвалд орж амжаагүй байгаа төвийн хэсэгт ус нэвчин орох боломжийг хааж байгаа учир гидратац дутуу явагдаж зогсолтод орсноос болоод бат бэхийн өсөлт байхгүй байна. Нөгөө талаар өндөр температурт богино хугацаанд талстжилт явагдаж байгаа нь цементийн гелийн дотоод бүтцэд ан цав үүсч бат бэх буурах шалтгаан болж байна гэж дүгнэж байна.

Нэгдүгээр бүлгийн дүгнэлт

Судлаачид бетоны бүтэц, механик шинж чанар бүрэлдэн тогтох процессыг дараах хүчин зүйлтэй холбон тайлбарлаж гүнзгий судалгаа хийжээ. Бетоны бүтэц, механик шинж чанар бүрэлдэн тогтох процесс бол барьцалдах материал (цемент) болон ус гэсэн химийн идэвхтэй хоёр бүрдүүлэгчийн харилцан урвалын (химийн үзэгдлүүдийн) үр дүн мөн. Урвал эрчимтэй, гүйцэд явагдаж чадвал бетоны бүтэц, чанар сайн байх болно гэсэн дүгнэлтэд дэлхийн бүх судлаачид санал нэгдэж байна. Химийн урвалын үр дүнд цементийн хими-эрдсийн бүрэлдэхүүн, түүний механик боловсруулалтын түвшин (нунтаглалтын зэрэг), хүрээлэн буй орчны төрөл гэх мэт технологийн шинж чанарын нөлөө чухал байр суурь эзэлнэ гэж үзэж энэ чиглэлд олон талт судалгаа хийгдэж байна. Дүүргэгч бол өндөр нягт, хатуулагтай чулуулаг учир цементийн чулуу болон зуурмагийн хэсгийн бат бэхээс хэзээд илүү байна. Тиймд нягт дүүргэгч бол бетоны бат бэх тодорхойлогч хүчин зүйл биш харин нөлөөлөгч ялангуяа технологийн шинж чанарт нөлөөлөгч хүчин зүйл гэдэг талаас авч үзэн

судалсан байна. Бетоны бат бэх, удаан эдэлгээт чанарыг сайжруулах суурь үндэс бол ус-цементийн харьцааг багасгах арга мөн гэдэгт судлаачид санал нэгдэж олон талт судалгаа явуулсны үр дүнд $У/Ц=0.2$ хүртэл бууруулж, хэвлэгдэх чанарыг эрс сайжруулж (өөрөө тэгширдэг бетон) чадах гадаргуугийн идэвхт нэмэлт гарган авч бетоны технологид шинэ дэвшил-хувьсал гаргалаа. Хугацаа өсөхөд идэвхгүй дүүргэгчийн барьцалдалт өсөх төдийгүй дүүргэгчийн гадаргуугийн орчимд микро бэхжилт өндөр, дүүргэгчүүдийн гадаргуугаас холдох тусам бэхжилт сулардаг. Дүүргэгч ба цементийн чулууны барьцалдалгааны бат бэх, барьцалдалгааны үений бүтэц, хими-эрдсийн бат бэхэд үзүүлэх нөлөөний талаарх судалгаа өнөөг хүртэл гүйцэд шийдэгдээгүй бүрхэг байна.

ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ТҮҮХИЙ ЭД, СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

2.1 Хөтөлийн цементийн физик-механик шинж чанарууд

MNS 974:2008 стандартын 42.5 ангийн портландцементийн шинж чанарын хувьд тогтвортой түвшинд хадгалагдаж чадаж байгаа учир судалгаанд үндсэн барьцалдах материалаар сонгон авч физик-механик чанарын үзүүлэлтийг 2.1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2.1-р хүснэгт

Хөтөлийн цементийн PC42.5 ангийн цементийн физик-механик шинж чанар

Нягт, г/см ³	Асгаасны нягт, г/см ³	Нунтаглалт, см ² /кг	Нунтаглалт шигшүүр дээрх үлдэгдэл, %	3 хоногийн дараах бат бэх,		28 хоногийн дараах бат бэх, МПа		Барьцалдах хугацаа, цагаар	
				шахалт	гулзайлт	шахалт	гулзайлт	Эхлэх	Дуусах
3.15	1.22-1.13	2980	5.4	30.04	6.0	48	7,5	02.15	04.20

Хөтөлийн Цемент – Шохой ХК-ны 42.5 ангийн чулуунирын химийн найрлага

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cr ₂ O ₃	П.п.п	нийлбэр
20.83	5.58	4.18	64.12	2.25	0.86	0.63	0.46	0.012	0.62	99.54

Эрдсийн найрлага

СаОчөлөөт	“п”	Р	шк	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1.19	2.13	1.33	0.991	53.15	19.6	7.5	12.71

Тайлбар: 2020 оны 5-р сарын 18 ны өдрийн шинжилгээний үр дүн

2.2. Дүүргэгч материалуудын физик-механик шинж чанарууд

Том ширхэгтэй дүүргэгчээр Дархан-Уул аймгийн “Түшиг-Уул” ХХК, “Сонголон Хайрхан” ХХК, “Баянгол Карьер” -ийн хүчиллэг найрлагатай боржингийн дайрга гэсэн 3 орд ордын дайргыг, нарийн ширхэгтэй дүүргэгчээр Дарханы “Түшиг-Уул” ХХК, “Сонголон Хайрхан” ХХК-ийн элсийг тус тус ашиглав. Дүүргэгчийн физик механик чанарын үзүүлэлтийг MM82998-2001, MNS2916-2014 стандартын дагуу тодорхойлж 2.2-ээс 2.4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2.2-р хүснэгт

Дайрга /10-20мм/- ны шинж чанарын харьцуулсан үзүүлэлт

д/д	Сорилт хийсэн үзүүлэлт	Хэм жих нэгж	Байвал зохих үзүүлэлт	Сорилтын үр дүн		
				“Карьер”	Түшиг-Уул	Сонголон Хайрхан
1	Чийглэг	%	-	0,4	0,33	0,14
2	Асгасан үеийн эзлэхүүний нягт	кг/м ³	-	1412	1532	1370
3	Нягт	г/см ³	>2,0	2,55	2,6	2,59
4	Бүхэл шаврын агууламж	%	0	0	0	0

5	Тоос, шавар, шорооны хольц	%	<1- 2	0,3	0,05	0,49	
6	Бутрамтгай чанар жингийн хорогдол / харьцуулсан бат бэх /	%	10 хүртэл	6,1	14	13	
		марк	Б-8...Б-24	Б-8-(100 МПа-аас их)	Б-16 (60-80МПа)	Б-12 (80-100МПа)	
7	Нимгэн үзүүрлэг хэлбэртэй хэсэг	%	15-35	22,5	22,7	19,21	
8	Ус шингээлт	%	-	0,65	-	1,2	
Ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт							
шигшүүрийн хэмжээ		мм	25	20	16	10	<5
Карьер							
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	758	4208	3314	1646	74
	хэсгийн	%	7,58	42,08	33,14	16,46	0,74
	нийлбэр	%	7,58	49,66	82,8	99,26	100,0
Түшиг -Уул							
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	1760	5214	2087	861	33
	хэсгийн	%	17,6	52,14	20,87	8,61	0,33
	нийлбэр	%	17,6	69,74	90,61	99,22	99,94
Сонголон Хайрхан							
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г		494,6	3152	3152	92
	хэсгийн	%		46,46	31,52	31,52	0,92
	нийлбэр	%		67,02	98,54	98,54	99,46

2.3-р хүснэгт

Дайрга /5-10мм/- ны шинж чанарын харьцуулсан үзүүлэлт

№	Сорилт хийсэн үзүүлэлт	ХЭМЖИХ НЭГЖ	Байвал зохих үзүүлэлт	Сорилтын үр дүн		
				“Карьер”	Түшиг-Уул	Сонголон Хайрхан
1	Чийглэг	%	-	0,49	0,74	0,2
2	Асгасан үеийн эзлэхүүний нягт	кг/м ³	-	1510	1543	1337
3	Нягт	г/см ³	>2,0	2,58	2,60	2,59
4	Бүхэл шаврын агууламж	%	0	0	0	0
5	Тоос, шавар, шорооны хольц	%	1,0	0,6	0,85	1,0
6	Бутрамтгай чанар жингийн хорогдол (харьцуулсан бат бэх)	%	0-25	7,8	12,0	12,5
		марк	Б-8...Б-24	Б-8 (100МПа-аас их)	Б-12 (60-80МПа)	Б-11 (80-100МПа)
7	Нимгэн үзүүрлэг хэлбэртэй ширхгийн агуулагдах хэмжээ	%	>15	11	14,0	13,2
8	Ус шингээлт	%	-		0,9	2,0
Ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт						
Шигшүүрийн хэмжээ		мм	10 мм-ийн шигшүүр дээрх нийлбэр үлдэц 0-5	5 мм-ийн шигшүүр дээрх нийлбэр үлдэц 95-100	2,5	<2,5

“Карьер”						
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	1607	2554	278	26
	хэсгийн	%	32,14	51,08	5,56	0,52
	нийлбэр	%	32.87	93.92	99.48	100
Түшиг-Уул						
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	1836	29,10	17.2	82
	хэсгийн	%	36.72	58.2	3.44	1.64
	нийлбэр	%	36.72	94.92	98.36	100
Сонголон Хайрхан						
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	1608	3070	248	74
	хэсгийн	%	32.16	61.4	4.96	1,48
	нийлбэр	%	32.16	93,95	98,15	100,0

2.4-р хүснэгт

“Түшиг Уул” ХХК –ийн элс /0-5мм/-ний шинж чанарын үзүүлэлт

д/д	Сорилт хийсэн үзүүлэлт	хэмжих нэгж	Байвал зохих үзүүлэлт	“Карьер”	Түшиг-Уул	Сонголон Хайрхан	
1	Чийглэг	%	-	2.1	2,57	1.52	
2	Нягт	г/см ³	2,0-2,8	2.62	2,61	2.63	
3	Асгасан үеийн эзлэхүүний нягт	кг/м ³	-	1610	1515	1596	
4	Ус шингээлт	%	-	1.2	1,1	1.6	
5	Бүхэл шавар	%	-	0	0	0	
6	Тоосорхог ба шаварлаг хольц	%	<2,0	1.0	16	1.4	
7	Мөхлөгийн агууламж жингийн хувиар, %	10 мм-ээс илүү 5 мм-ээс илүү 0,16 мм-ээс бага	1-р ангилал %	<5	12.7	14.3	6.2
				<20	9.8	11.2	7.6
				<10	0.16	5.1	4.4
8	Ширхэглэлийн модуль, М _к	М _к	>> 3,0 >>3,5	3.4	3,4 /Томсгосон ширхэгтэй элс /	3.0	

Ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт

Шигшүүрийн нүхний хэмжээ	мм	2.5	1.25	0.63мм-ийн шигшүүр дээрх нийлбэр үлдэц >> 65 >> 75	0.315	0.16	0.16>	
Карьер								
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	240,08	222,59	270,54	222,32	42,88	1,59
	хэсгийн	%	24,01	22,26	27,05	22,23	4,29	0,16
	нийлбэр	%	24,01	46,27	73,32	95,55	99,84	100,0
Түшиг-Уул								
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн		139	120	254	396	4,0	51
	хэсгийн		13,9	12,0	25,4	39,6	4,0	5,1
	нийлбэр		13,9	25,9	51,3	90,9	94,9	100
Сонголон-Хайрхан261								
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн		222	144	261	164	165	44
	хэсгийн		22,2	14,4	26,1	16,4	16,5	4,4
	нийлбэр		22,2	36,6	62,7	79,10	95,6	100

Дүүргэгчийн химийн найрлага: Судалгаанд хэрэглэсэн дүүргэгчийн химийн найрлагыг ДаТС Барилгын материал судлалын төвийн лабораторид тодорхойлж агуулагдаж байгаа ислүүдийн агууламжийн хэмжээг 2.5-р хүснэгтээр харуулав.

2.5-р хүснэгт

Судалгаанд сонгож хэрэглэсэн дүүргэгчийн химийн бүрэлдэхүүн

Дүүргэгчийн төрөл	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂
Габбро А1	44,74	14,68	22,61	7,126	1,683	0,235	8,23	0,29
Боржин А2	63,66	3,111	16,14	4,829	3,308	5,752	1,425	0,868
Шохойн чулуу А3	0,739	97,57	0,27	0,168	-	-	1,118	-
Түшиг-Уулын дайрга А4	60,41	4,38	15,95	7,689	2,671	2,959	4,055	1,118
Түшиг-Уул угаасан элс	76,08	1,663	12,68	1,317	3,688	3,625	0,52	0,232

Шинжилгээний үр дүнгээс харахад эрдэс чулуулагд зонхилох 4 ислийн (Al₂O₃, SiO₂, CaO, Fe₂O₃) нийлбэр габброд (А1) - 89.15%, Боржинд (А2)-87.74%, Шохойн чулуунд (А3) - 98.74%, Түшиг - Уулын (Бороо Гоулдын хөрс хуулалтын) (А4) дайрганд 88.74%, Түшиг-Уулын угаасан элсэнд (А5) - 91.74% агуулагдаж байна. Цахиурын ислийн агууламж Түшиг-Уулын угаасан элсэнд хамгийн их, Олон-Овоот, Түшиг-Уулын дайрганд 60,41...63,66% орчим, габброгийн дайрганд 44,74% агуулагдаж байна. Харин кальцийн исэл шохойн чулуунд 97,6%, габброд 14,7%, бусад дүүргэгчид 1,16...4,36% агуулагдаж байна. Хөнгөнцагааны ислийн агууламж габброд 22,61% байхад шохойн чулуунд 0,27% агууламжтай байна.

Тайлбар: 1-талст төлөвийн SiO₂, бага зэргийн бараан өнгийн эрдсээс гадна улаан, улаан шаргал өнгийн хээрийн жонш давамгайлна. 2-CaCO₃, 5SiO₂, Al₂O₃, MgCO₃ зэрэг эрдэс агуулагдана. 3-Талст төлөвийн кварц- SiO₂ болон хээрийн жонш агуулсан бараан, хөх өнгөтэй чулуулаг мөн

Эрдэс нэмэлт: Хольцын урсах чадварыг сайжруулах, эрт үеийн бат бэхийг нэмэгдүүлэх зорилгоор Хятад улсаас худалдааны цахиурын тоосонцор SF хэрэглэв.

2.6-р хүснэгт

Цахиурын тоосонцрын хими найрлага

Исэл %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	Нунтаглалт, см ² /гр	Нягт, гр/см ³
SF	96	0.1	0.6	0.1	0.2	0,52	-	200000	2.2

Химийн нэмэлт: MNS ASTM C494C/494M:2011 Стандартын G- төрөлд хамаарах ба бетон хольцын усны орцыг 25 - 40% багасгаж, хольцын хөдөлгөөнт чанарыг 30-90 минут тогтвортой хадгалах үндсэн үйлчилгээтэй. Sika ViscoCrete 5510 бүтээгдэхүүнийг бетонд хэрэглэснээр нь:

- Бетон хольцын хөдөлгөөнт чанар эрс мэдэгдэнэ
- Бетон хольцын ажиллах чадвар сайжирч, тээвэрлэх хугацаа урттай үед тохиромжтой
- Бетон хольцын өөрөө тархах, нягтрах чадварыг нэмэгдүүлж бетон хольцыг цутгах , нягтруулах ажиллагааг багасгана
- Тусгай зориулалтын өндөр бат бэхтэй бетон үйлдвэрлэхэд тохиромжтой

2.3. Судалгааны ажлын аргачлал

Өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахад дараах хэдэн нөхцөлүүдийг хангах хэрэгтэй. Үүнд: өндөр бат бэх (идэвхжилт)-тэй цемент, ус шингээгдээгүй өндөр бат бэхтэй дүүргэгч сонгох; ус-цементийн харьцааг хамгийн бага түвшинд байлгах шаардлагатай. Бетон зуурмаг бэлтгэхэд орсон усны тал хувь үүнээс ч илүүгүй хэсэг нь (бэхжилтийн явцад арчилгааг технологийн шаардлагын дагуу хийгээгүй бол) орчиндоо ууршиж алдагдсанаас капилляр нүх сүв үүсэж улмаар бетоны бүтэц муудна; цементийн орцыг аль болох бага байлгах. Энэ нь бетоны бүтэц бүрдүүлэгч хатуу хэсгүүдийн дотроос хамгийн бат бэх муутай хэсэг нь цементийн чулуу байдагтай холбоотой юм; бетон зуурмагийн холилтыг маш сайн хийх, нягтруулалтыг гүйцэд зөв хийх (нягтруулалтыг дутуудуулах, хэтрүүлэх тохиолдлын аль алинд бетоны бүтэц алдагдана); усны орц багасгагч нэмэлт, бүтэц сайжруулагч нэмэлт, цементийн гидратацыг идэвхжүүлэгч зэрэг нөлөө үзүүлдэг олон талын үйлчилгээтэй нэмэлтийг суперпластификатортай хослуулан хэрэглэх; бэхжилтийн хамгийн таатай орчныг бүрдүүлэх нь зүйтэй юм.

Бетоны хольцыг урьдчилан тооцсон найрлагын дагуу зуурсны дараа ASTM C1611 тархалт, ASTM C143 температур, ASTM C231 агаар агууламж, ASTM C138 дундаж нягтыг стандартын дагуу тодорхойлно[10-13]. Бетоны шахалтын болон гулзайлтын бат бэхийг турших зорилгоор 150 x 150x150мм хэмжээтэй шоо сорьц бэлтгэж лабораторид 20-21⁰С-ын температурт 24 цаг бэхжүүлсний дараа хэвийг задлан стандарт орчинд арчланаа. Мөн сорьцыг бат бэхээ авч дууссаны дараа буюу 28 хоногийн дараа шахалт гулзайлтын бат бэх, ус шингээлт, хүйтэн тэсвэрлэлт, температурын үйлчлэл даах чанар, ус үл нэвтрүүлэлтийг туршина.

Цементийн шинж чанарыг турших:

Судалгаанд хэрэглэсэн Хөтөл үйлдвэрийн MNS976:2008 стандартын 42.5 ангийн портландцементын физик механикийн болон технологийн шинж чанарыг (нягт, асгаасны эзлэхүүний жин, барьцалдаж эхлэх, дуусах хугацаа, эзлэхүүний өөрчлөлт, нунтаглалт, шахалтын ба гулзайлтын бат бэх, химийн ба эрдсийн найрлага) хэрэглэхийнхээ өмнө MNS976:2008 стандартын дагуу тодорхойлов. Портландцементийн гидратацын зэрэг, бат

бэхийн өсөлтийн хурдыг стандартын (18-23°C, 90%-иас багагүй харьцангуй чийглэгтэй), тасалгааны (18-22°C, 60-70%-харьцангуй чийглэг орчин) ба агаарын хуурай (агаарын температур-26-30°C, агаарын харьцангуй чийглэг 25-30%) гэсэн гурван орчинд 1, 3, 7, 28, хоногийн бэхжилтээр тодорхойлсон. Үүний тулд цементийн чулууны дээжийг тогтмол жинтэй болтол хатаасны дараа 800-850° С -ийн температурт улайсгаж химийн холбоотой усыг нь зайлуулж абсолют хуурай дээж ба тогтмол жинтэй болтол хатаасан хоёр дээжийн жингийн ялгавраар тодорхой хоногуудад цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүдтэй химийн холбоонд орж талст төлөвт шилжсэн усны хэмжээг тодорхойлов. Химийн холбоонд шилжсэн усны жинг хуурай цементийн жинд харьцуулж нэгжийн хувиар илэрхийлээд цементийн гидратацын зэргийг олов.

Дүүргэгчийн шинж чанарыг турших:

Эх орны бетоны үйлдвэрлэлд өргөн хэрэглэж байгаа чулуулгаас бэлтгэсэн габбро, боржин, шохойн чулуу, голын хайрга голын элсийг судалгааны үндсэн объект болгон сонгож авав. Дүүргэгчээр хэрэглэх хайрга, габбро, боржин, шохойн чулууны гаралтай дүүргэгчийн (5-10, 10-20 мм ширхэгтэй) физик-механик чанарын үзүүлэлтийг дүүргэгчийн чанар тодорхойлох MNS2998:2009 стандартын дагуу тодорхойлон судалгаанд хэрэглэх дүүргэгчийг дараах байдлаар бэлтгэв. Үүнд:

1. Дүүргэгчийг угааж шавар, тоосорхог хэсгээс нь бүрэн цэвэрлэх;
2. 1,2, 3, 5%-ийн шавраар бохирдсон дээж бэлтгэх
3. Тунгаах (седиментац) аргаар шаварлаг ба тоосорхог дээж бэлтгэх.

Дүүргэгчийн ширхэглэлийн бүрэлдэхүүний нөлөөллийг судалсан аргачлал

Бетон дахь дүүргэгчийн ширхэглэлийн бүрэлдэхүүнийг судлахын тулд дайргыг 5... 10 мм ба 10...20 мм ширхэглэлээр ангилан бэлтгэж, ийнхүү бэлдсэн дүүргэгч тус бүрээс том ширхэглэлийг ($D_{max}=20\text{мм}$), бага ширхэглэлд ($D_{min}=10\text{мм}$) харьцуулсан харьцаа ($r=D_{max}/D_{min}$) $r=1.5$, $r=1.0$, $r=0.67$ гэсэн жингийн харьцаагаар авч том дүүргэгчийн 2 төрлийн ширхэглэлээс бүрдсэн хольц бэлтгэн В60 ангийн төслийн бат бэхтэй байхаар бетоны найрлага тооцсон. Тооцоот найрлагаар бэлдсэн бетон зуурмагаар 15x15x15см-ийн шоо бэлтгэж стандартын орчинд (харьцангуй чийглэг 90%, температур $20\pm 2^\circ\text{C}$) 7, 28, 56, 90 хоног бэхжүүлэн бат бэх, дундаж нягт, ус шингээлтийг тодорхойлно.

Дүүргэгчийн бохирдолтын нөлөөллийг судалсан аргачлал

Бетоны бат бэхэд шавар, тоосорхог хэсгийн агууламжийн нөлөөг судлахдаа угаагаагүй дүүргэгчтэй нэг найрлага сонгон авч зэрэгцээ туршилт явуулсан.

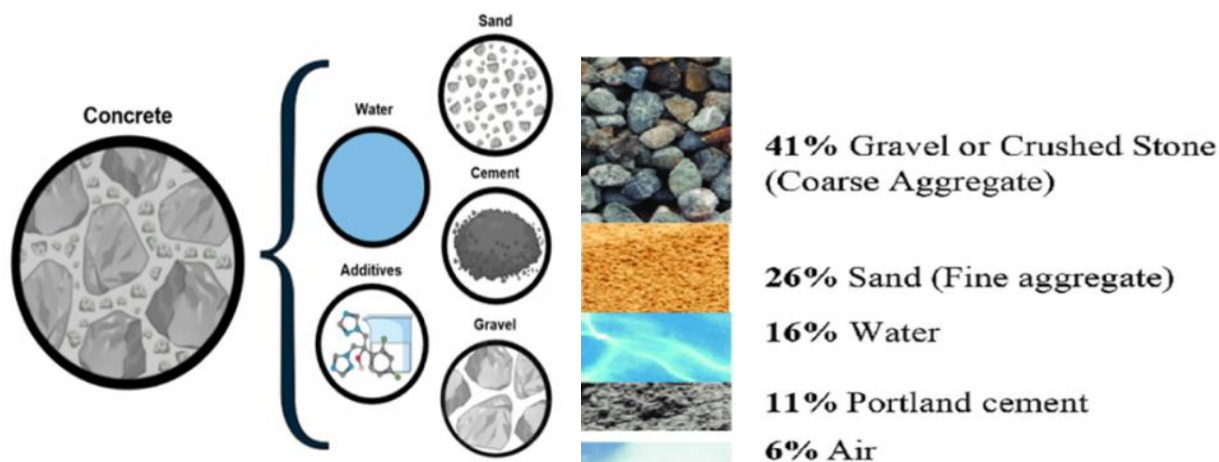
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ӨНДӨР ҮЗҮҮЛЭЛТТЭЙ БЕТОН ХОЛЬЦЫН НАЙРЛАГА ТОГТООХ СУДАЛГАА

3.1 Бетоны найрлагад орох дүүргэгч материалын зохистой найрлагын хэмжээ, ширхгийн бүрэлдэхүүн тодорхойлох судалгаа

Бетон, төмөрбетон бүтээгдэхүүний үйлдвэрлэлийн эрчимтэй хөгжлийг хангах, өндөр барилга, байгууламж зориулсан шинж чанарын үзүүлэлт өндөртэй уг бүтээц, эдлэл үйлдвэрлэхэд дүүргэгч материалын үйлдвэрлэл болон хэрэглээ, чанарт онцгой анхаарах шаардлага тавигдаж байна. Манай оронд ихэнх хүнд бетон бэлтгэхэд том ширхэгтэйд тооцогддог уулын ба голын хайрга, буталсан хайрга, дайрга нарийн ширхэглэлтэйд салхин зөөгдөлтөөр үүссэн тоосорхог, шаварлаг хольц ихтэй уулын элс, цэвэр боловч хэт нарийн ширхэгтэй бетонд тохиромжгүй манхны эдгээр гурван төрлийн элсийг дүүргэгч болгон ашиглаж байна. Иймээс бид голчлон голын хайрга-элсний холимгоос ялгаж бэлтгэсэн тодорхой ширхгийн бүрэлдэхүүнтэй элсийг бетонд хэрэглэдэг билээ.

Бетоны төрөл ба түүний онцлох шинж чанараар хэрэглээг тодорхойлох буюу энэ шинж чанарт ашиглаж байгаа дүүргэгчийн физик – механикийн шинж чанар зарим тохиолдолд химийн найрлага ихээхэн хэмжээгээр нөлөөлдөг. Ердийн бетоны дүүргэгч гэж нэрлэдэг хайрга, дайрга, элсийг орон зайг дүүргэж, өртгийг хямдруулах “идэвхгүй” материал гэж үздэг байсан бол өнөө үед эрдэс, химийн найрлага, шинж чанар, орц хэмжээнээс нь бетон хольц, бетоны найрлага шинж чанар, хэрэглээ ихээхэн хамаардаг идэвхтэй бүрдүүлэгч гэж үздэг болсон.

Том, нарийн ширхэгтэй дүүргэгч материал ойролцоогоор бетоны эзлэхүүний 70, жингийн 80 орчим хувийг эзлэх (3.1-р зураг) тул өртөгт нөлөөтэйгөөс гадна түүний физик-механик шинж чанар, эдэлгээт чанарт шууд нөлөөлдөг.



3.1-р зураг. Хүнд бетоны бүрэлдүүлэгчийн эзлэх ойролцоо хувь

Дүүргэгч нь байгалийн бүтээгдэхүүн учраас эдэлгээнд тэсвэртэй, эвдрэлгүй хэлбэр дүрсээ хадгалах чадвар, шинж чанарын тогтвортой байдал сайн зэрэг нь бетоны барилга техникийн шинж чанарыг сайжруулахад чухал нөлөө үзүүлэхээс гадна өртгийг бууруулахад чухал үүрэгтэй. Бетоны бүрэлдүүлэгч дүүргэгчийн хөшүүн араг, бетоны бат бэхийг нэмэгдүүлэхээс гадна статик ба динамик ачаалалд байгаа бүтээц, элементийн хэв гажилт болон удаан хугацааны туршид үйлчлэх ачааллаас үүсэх харимхай бус хэв гажилтыг бууруулдаг онцлогтой. Цементийн чулуу бэхжих үедээ 1–2 мм/м-ийн агшилтад орох тэр нь харилцан адилгүйгээр дотоод бүтцэд бий болж жигд биш хэв гажилтын дотоод хүчдэл үүсэж улмаар микро заримдаа макро ан цав үүсдэг. Бетонд орсон байгалийн дүүргэгч материал (чулуу) агшилтын хүчдэлийг хүлээн авснаар ердийн бетоны агшилт дан цементийн чулууны бэхжилтийн бүтээгдэхүүнээс 10 –аас 12 дахин бага гэж үздэг.

Бидний судалгааны ажлын зорилго, тавигдах чанарын шаардлагын хүрээнд уулын чулуулгийг буталж ширхэглэлээр ангилсан даргыг ашиглах хэрэгтэй. Ялангуяа өндөр үзүүлэлттэй бетонд газрын гадаргууд ил байж нар, салхины нөлөөгөөр өгөршсөн чулуулгийг бетонд дайрга болгон хэрэглэж болохгүй. Уул уурхайн хөрс хуулалтын болон хоосон чулуулаг, зарим үйлдвэрийн хаягдлыг бетоны дүүргэгчээр ашиглах боломжтой ч манайд энэ талын судалгаа, туршилт, хэрэглээ тодорхой түвшинд хүрээгүй байна.

Дайрганы ширхгийн гадаргуу нь арзгар тул цементэн зуурмагтай сайн барьцалддаг, гүний чулуулаг нь бат бэх сайтай зэрэг нь өндөр бат бэхтэй бетонд илүү тохиромжтой боловч ширхгийн хэлбэр нь шоо, бөмбөлөгт ойролцоо биш нимгэн, гонзгой, үзүүрлэг хэлбэртэй эсвэл газрын өнгөн гадаргуун өгөршсөн чулуулаг байвал харин ч бетоны бат бэхийг бууруулах нэг шалтгаан болдгоос гадна ус шингээлт нэмэгдэж бетоны усны орцыг нэмэгдүүлэх хандлагатай байдаг.

Дүүргэгчээр хэрэглэх чулуулгийн гарал үүсэл, нэр төрөл, эрдэс, химийн найрлага, бат бэх болон гарган авах дүүргэгчийн хэлбэр, хэмжээ, ширхгийн бүрэлдэхүүн, бохирдол зэрэг физик, механик шинж чанараас гадна эдэлгээний шинж чанарт ч тодорхой шаардлага тавьдаг.

Дүүргэгчийн эрдэс, химийн найрлага нь бетон хольц болон бетон түүнд хэрэглэж байгаа бусад бүрдүүлэгчдэд сөрөг нөлөө үзүүлэхгүй байх, бетоныг ашиглах орчны нөхцөлд тэсвэртэй байж эдэлгээний шаардлага хангахад чухал үүрэгтэй. Тиймээс зарим төрлийн чулуулаг, хортой хольц тухайлбал шүлтэд уусдаг талсжаагүй (аморф) SiO_2 , ус болон хүчилд уусдаг сульфатууд, хлорид мөн нүүрсний агууламж, органик хольцыг стандартаар хязгаарладаг. Харин ямар ч стандартад ердийн бетон, барилгын зуурмагт хэрэглэх дүүргэгч

(дайрга, хайрга, элс)–ийн цахиурын оксид (SiO_2)–ийн агууламжийн хэмжээг нормчилсон, хязгаарласан шаардлага байдаггүй.

Бетонд хэрэглэх дүүргэгч материалыг түүний бат бэх (чулуулгийн шахалтын бат бэх, хайрга, дайрганы бутрамтгай чанар, нимгэн үзүүрлэг хэсэг, хэврэг чулуулаг г.м), бохирдол (тоосорхог, шаварлаг ба бүхэл шаврын хольц, органик болон хортой хольц бусад гаднын бохирдол г.м) эдэлгээний шинж чанар (хүйтэн тэсвэрлэлт, сульфат тэсвэрлэлт, элэгдэл, шүлтэд уусалт, цацраг идэвх г.м.) гэсэн үзүүлэлтээр үнэлгээ өгч хэрэглээний хүрээг тодорхойлох нь зохистой байдаг.

Үүнийг үнэлэх үндэсний болон олон улсын стандарт норм дүрмүүд өнөөдөр түгээмэл байгаа ба бид тэдгээрийн заавар, зөвлөмж, турших арга аргачлалыг мөрдлөг болгож хэвших нь хамгийн чухал юм. Тэдгээрээс дурдвал манай үндэсний Хайрга/дайрга/ MNS2998:2009, MNS GOST 8269.1:2016, Элс MNS 2916:201, 4 MNS GOST 8269.1:2016 стандартууд, Олон улсын ISO 19595:2017 “Natural aggregates for concrete”, АНУ-ын ASTM C33-03 “Standard Specification for Concrete Aggregates”, Европын холбооны EN 12620:2010 “Aggregates for concrete”, ОХУ-ын ГОСТ 8267-93 “Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия”, ГОСТ 8736-2014 “Песок для строительных работ. Технические условия” стандартуудад бетонд байгалийн хайрга, буталсан хайрга, дайрга, элс, мөн зохиомлоор болон үйлдвэрлэлийн хаягдлаас гарган авсан дүүргэгчийг хэрэглэхээр тусгасан байдаг ба техникийн үндсэн шаардлагуудын заалт хоорондоо бараг ойролцоо гэж үзэж болно.

Сүүлийн хэдэн жилд хийсэн ихэвчлэн Улаанбаатар хотод хэрэглэж байгаа дайрга, хайрганы нийт 400 гаруй дээжийн шинжилгээний үр дүнгээс харахад бутрамтгай чанар дунджаар 6,25% байгаагийн дотор бутрамтгай чанар 12% -иас их буюу шахалтын бат бэх 800 кгх/см^2 -аас бага 9 дээж байгаа нь нийт дээжийн 2,0% байсан ба эдгээр дээжүүд нь бетонд хэрэглэх боломжийг судлах зорилгоор шинжлүүлсэн дайрганы дээжүүд байна. Дээжүүдийн нимгэн үзүүрлэг хэсэг дунджаар 5,3% ба стандартын шаардлага 15%-иас их гарсан дээжийн тоо 4 байгаа нь нийт дээжийн 1% бөгөөд дайрганы дээжүүд байна. Эндээс харахад бетонд хэрэглэж байгаа хайрга, дайрганы бат бэх шаардлага бүрэн хангаж байна гэж үзэж болохоор байна. Хайрга, дайрганы тоосорхог, шаварлаг хольцын хэмжээ 0-3,0% буюу дунджаар 0,26% ба стандартын шаардлага 1%-иас хэтэрсэн дээжийн тоо 10 буюу нийт дээжийн 2,3%-ийг нь эзэлж байгаа бөгөөд эдгээр дээжүүд голчлон 5-10 мм-ийн дайрга байна. Бүхэл шавар, органик хольцын агууламжаар стандартын шаардлага хангаагүй дээж гараагүй байна. Энэ нь хайрга, дайрганы бохирдол бага байгааг харуулж байна гэсэн судалгааг судлаачид (МУ–ын зөвлөх инженер Б.Лхагваа) гаргасан байдаг. Мөн тэрээр

хайрга, дайргыг ширхэглэлээр бүрэн ялгахгүй байгаагаас хэдийгээр 5–10, 10–20, 20–40 мм-ийн гэж нэрлэж байгаа боловч стандартын шаардлага хангасан ширхэглэлээр ялгасан хайрга, дайрга бараг байхгүй байна. Иймээс ч ихэнх хэрэглэгч нь дундаж буюу 10–20 мм-ийн ширхэглэлтэй хайрга, дайргыг сонгон хэрэглэж 5–10 мм-ийн ширхэглэлтэй хэсгийн хэрэглээ туйлын бага байна. Энэ нь нэг талаасаа ашигт малтмалын нөөцийг бүрэн ашиглахгүй нөгөө талаасаа бетоны цементийн зарцуулалт оновчтой байх, бетон хольцын шинж чанарыг зохистойгоор хангуулах, улмаар бетоны бүтэц бүрдэлт, бат бэхэд нөлөөлөх нэг хүчин зүйл болсоор байгааг анхаарах шаардлагатай тухай тэмдэглэсэн байдаг.

Барилгын чанарт бетоны чанар шийдвэрлэх үүрэгтэй байдаг түүний чанарыг сайжруулж, тогтмолжуулах, одоо ашиглагдаж байгаа бутлан ангилах үйлдвэрүүдийн дүүргэгч материалыг өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахад ашиглах, үйлдвэрлэлийн үед байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөг багасгаж нийлүүлэлтийг нэмэгдүүлэх, хэрэглээг зохистой болгох, чанарыг стандартын шаардлагад хүргэхийн тулд баяжуулах (угаах, ангилах, шигших) зөв буталж, шигшихэд технологийн шинэ шийдэл дэвшил гаргах шаардлагатай.

Шинж чанарын үзүүлэлт өндөртэй буюу 800 МПа –аас багагүй шахалтын бат бэхтэй бетон гарган авах уг судалгааны ажилд урьдчилан угааж баяжуулсан том дүүргэгчээр “Баянгол” ба “Сонголон Хайрхан” карьерын (5–10) ба (10–20) мм-ийн ширхэглэлтэй дайрга, нарийн дүүргэгчээр “Сонголон Хайрхан” ХК–ний элс ийг хэрэглэв.

Баянгол карьерын дайрганы шинж чанараас харахад угааж баяжуулсан тул тоос, бүхэл шаварлаг хэсэг агуулаагүй, гол шинж чанар болох бутрамтгай чанарын жингийн хорогдол 6.1–ээс 12.7%, харьцуулсан бат бэхийн утга Б–8–аас Б–12, нэмгэн үзүүрлэг хэсэг стандарт хэмжээнд байгаа тул уг дүүргэгчийг өндөр үзүүлэлттэй бетонд ашиглах боломжтой гэж үзлээ. Тус ордын карьерын чулуулаг нь уулын гүний габбро төрлийн учраас бүтэц харьцангуй нягт харьцуулсан бат бэхийн утга өндөртэй байна.

“Сонголон Хайрхан” ХХК – ний элсний хувьд ширхгийн модулийн хувьд 2.8 байгаа нь бетонд нарийн ширхэгтэй дүүргэгч болгон авах бүрэн боломжтой боловч 0.16 мм –ийг нэвтэрсэн хэсэг стандарт үзүүлэлтээс бага зэрэг буюу 0.2% - иар илүү байгаа нь тийм ч сөрөг утга биш гэж үзлээ.

Дархан-Уул аймгийн нутгаар дамжин урсдаг Хараа голын сав газраас олборлодог Түшиг – уул компанийн хайргыг бутлах замаар гаргаж авсан дайрга нь цэвэршил сайтай боловч бат бэх чанарын стандарт үзүүлэлтээрээ Баянгол карьерынхаас арай бага байсан тул нэг ижил найрлагаар бетон хольц бэлтгэн харьцуулсан туршилтаар дүүргэгч дайрганы

сонголт хийв. Харин элс хайрганы холимгоос ялгаж гаргаж авсан элсний шинж чанарыг стандарт үзүүлэлттэй харьцуулж авч үзэхэд (3.1-р хүснэгт) өндөр үзүүлэлттэй бетоны нарийн дүүргэгчээр авч хэрэглэх боломжтой гэж үзэв. Үүнийг 3.2-р хүснэгтэд үзүүлсэн 0.14–5.0 мм хүртэл ширхэгтэй элсний туршилтын үр дүн давхар баталж байна.

3.1-р хүснэгт

Элс хайрганы холимог (ПГС)-ийн шинж чанарын үзүүлэлт

д/д	Сорилт хийсэн үзүүлэлт		хэмжих нэгж	Байвал зохих үзүүлэлт	Сорилтын үр дүн	
1	Чийглэг		%	-	1,84	
2	Нягт		г/см ³	2,0-2,8	2,59	
3	Асгасан үеийн эзлэхүүний нягт	Элс	кг/м ³	-	1587	
		Элс хайрган холимог			1698	
4	Ус шингээлт		%	-	0,75	
5	Бүхэл шавар		%	0,5	0	
6	Тоосорхог ба шаварлаг хольц		%	3,0	1,1	
7	Нимгэн үзүүрлэг хэлбэртэй ширхгийн агуулагдах хэмжээ		%	15-35	24,4	
8	Элс хайрган холимгийн Бутрамтгай чанар жингийн хорогдол (харьцуулсан бат бэх)		%	8-24	19,5	
			марк	Б-8...Б-24	Б-24 (40-60 МПа)	
9	Элсний мөхлөгийн агууламж жингийн хувиар, %	10 мм-ээс илүү	2-р ангилал	%	>5	14,85
		5 мм-ээс илүү			>20	25,66
		0,16 мм-ээс бага			<10	2,85
10	Элсний ширхэглэлийн модуль, М _к		М _к	>> 3,0 >>3,5	3,25 /Томсгосон ширхэгтэй элс /	

Элсний ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт

Шигшүүрийн нүхний хэмжээ		мм	2.5	1.25	0.63мм-ийн шигшүүр дээрх нийлбэр үлдэц >> 65 >> 75	0.315	0.16	0.16>
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	950,05	679,21	755,08	856,93	508,29	94,45
	хэсгийн	%	28,22	19,73	20,61	24,65	13,65	3,88
	нийлбэр	%	28,28	46,0	68,41	90,70	98,55	100,0

Элс хайрган холимгийн ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт

Шигшүүрийн нүхний хэмжээ		мм	31	25	20	16	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.16>
Шигшүүр дээрхи үлдэц	хэсгийн	г	125	29	70	135	198	760	985	670	745	825	450	95
	хэсгийн	%	2.68	0.86	1.25	2.95	3.55	14.9	20.4	14.4	15.2	18.0	9.56	2.99
	нийлбэр	%	2.55	3.12	4.08	6.95	12.8	28.5	48.8	60.8	75.9	91.6	99.0	100.0

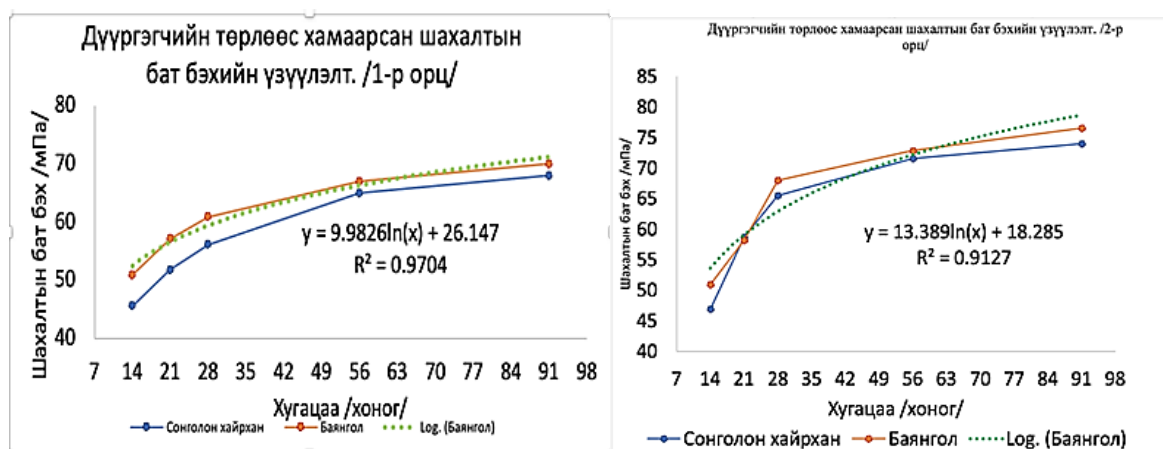
**Түшиг–Уул компанийн 0.14–5.0 мм ширхэгтэй элсний шинж чанарын
туршилтын үр дүн**

д/д	Сорилт хийсэн үзүүлэлт	хэмжих нэгж	Байвал зохих үзүүлэлт	Сорилтын үр дүн	
1	Чийглэг	%	-	2,94	
2	Нягт	г/см ³	2,0-2,8	2,58	
3	Асгасан үеийн эзлэхүүний нягт	кг/м ³	-	1496	
4	Ус шингээлт	%	-	1,18	
5	Бүхэл шавар	%	0,25	0	
6	Тоосорхог ба шаварлаг хольц	%	2,0	0,6	
7	Мөхлөгийн агууламж жингийн хувиар, %	10 мм-ээс илүү	1-р ангидал %	>0,5	0
		5 мм-ээс илүү		>5	9,5
		0,16 мм-ээс бага		<5	0,26
8	Ширхэглэлийн модуль, М _к	М _к	>> 3,0 >>3,5	3,52 /Томгосон ширхэгтэй элс /	

Ширхгийн бүрэлдэхүүний үзүүлэлт

Шигшүүрийн нүхний хэмжээ		мм	2.5	1.25	0.63мм-ийн шигшүүр дээрх нийлбэр үлдэц >> 65 >> 75	0.315	0.16	0.16>
Шигшүүр дээрх үлдэц	хэсгийн	г	250,08	235,59	280,55	235,32	45,78	1,01
	хэсгийн	%	25,15	23,98	28,50	23,31	4,55	0,09
	нийлбэр	%	25,10	48,65	78,02	96,75	99,72	100,0

Бетоны марк өндөржихөд дүүргэгчээр дээд зэргийн нягт бүтэцтэй, жижиг талст бүтэцтэй чулуулгаас бэлтгэсэн дайрга хэрэглэх ба ийм чулуулагт базальт, диорит, габбро зэрэг галт уулын чулуулаг илүү тохиромжтой. Эдгээр чулуулаг нь үндсэндээ цахиурын ислээс тогтох бөгөөд далд талст бүтэцтэй учир бат бэх нь их өндөр байна. Бетонд хэрэглэх дүүргэгчийн бат бэх нь бетоныхоо бат бэхээс багаар бодоход 1.2 дахин их байх шаардлагатай байдаг.



3.2-р зураг. Дүүргэгчийн шахалтын бат бэхийг туршсан үр дүн

Дээр дурдсан 2 ордын дүүргэгчийг ашиглан урьдчилсан байдлаар бетон зуурч бат бэхийн үзүүлэлтийг нь туршив (3.2 дугаар зураг).

Сонголт хийсэн том, жижиг ширхэгтэй дүүргэгч ашиглаж бэлтгэсэн, тодорхой ширхгийн бүрэлдэхүүнтэй дайрга бетон зуурмагийн технологийн шинж чанар болон бетоны бат бэхэд үзүүлэх нөлөөг тогтоох зорилгоор дараах 3.3 дугаар хүснэгтэд үзүүлсэн найрлагаар урьдчилсан байдлаар ердийн буюу харьцангуй шахалтын бат бэх өндөртэй бетон хольцын орцын тооцоо хийж сорьц бэлтгэж (өндөр үзүүлэлттэй бус) шинж чанарыг тодорхойлов.

Энэ зорилгоор Баянголын буталж ангилсан дайрга, Түшиг-Уул ХХК-ний хайрга ашиглаж бэлтгэсэн буталсан дайрга, Сонголон Хайрханы ба Түшиг-Уулын 2.5 – аас дээш ширхгийн модультай элс ашиглан ижил найрлагатай зуурмаг бэлтгэж ижил нөхцөлд бэхжүүлсэн бетоны чанарын үзүүлэлтийг 3.4-р хүснэгтээр үзүүлэв.

3.3-р хүснэгт

Туршилтын бетон зуурмагийн найрлага

Материалын нэр, үзүүлэлт.	Том дүүргэгч-дайргын төрөл	
	Баянгол	Түшиг Уул
	Дүүргэгчийн орц, кг/м ³	
Дайрга	1320	1320
Ус	190	190
Цемент	468	468
Элс	445	445
Ус-цементийн харьцаа	0.40	0.40
Конусын суулт, см	0.4	0.2

Туршилтын бетон зуурмагийн ус-цементийн харьцаа хоорондоо ижил байхад конусын суулт 0.1-0.4 см-ийн хооронд өөрчлөгдөж байгаа нь судалгаанд авсан хоёр карьераас нийлүүлсэн дайрганы ширхгийн бүрэлдэхүүн өөр өөр байсныг гэрчилж байна. Баянголын дайрганы найрлагад 10.0-мм-ийн шигшүүрийг нэвтэрсэн нарийн ширхэгтэй хэсэг үндсэндээ байхгүй байгаа учир түүнийг тасралттай буюу нэг ширхэглэлээс бүрдсэн бүдүүн ширхэгтэй дайрга гэж үзэж болно. Энэ нь түүний ус шаардах чанар бусдаасаа бага байх үндэс болж үүний үр дүнд бетон зуурмагийн конусын суулт 0.2 см болсон байна. Бетоны бат бэхэд шийдвэрлэх үүрэг гүйцэтгэдэг үзүүлэлт бол ус-цементийн харьцаа байдаг учир туршилтын зуурмагийн ус-цементийн харьцааг бүх тохиолдолд ижил байхаар тохируулсан болно. Үүний дүнд бетоны бат бэхэд дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүн болон дүүргэгчийн төрлийн нөлөөнд үнэлгээ өгөх боломж бүрдсэн болно. Туршилтын үр дүнгээс харахад Баянголын дайргаар бэлтгэсэн бетоны конусын суулт бусдаасаа илүү байгаа боловч эзлэхүүний жин 2395-2400 кг/м³ байгаа нь нягт бүтэцтэй бетон болсныг

баталж байна. Өөрөөр хэлбэл дүүргэгчийн хольцын (Баянголын дайрга, угаасан элс) найрлага нэлээд тохиромжтой болсон төдийгүй бетон зуурмагийн хэвлэгдэх чанар сайжирч нягт бүтэцтэй, бусдаасаа илүү бат бэхтэй (28 хоногийн бат бэх 41.0 МПа) бетон гарах үндэс болсон байна гэсэн дүгнэлтэд хүрлээ. Тасралттай ширхгийн бүрэлдэхүүнтэй дүүргэгчийн хольц хэрэглэх нь бетоны бүтэц, бат бэх сайжрах шалтгаан болно гэж үздэг дүгнэлттэй бидний туршилтын үр дүн тохирч байна. Эндээс бетоны бат бэх ба дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүний хооронд хамаарал байх ёстой гэсэн нийт судлаачдын дүгнэлтэй бидний туршилтын үр дүн тохирч байгаа нь харагдаж байна.

3.4-р хүснэгт

Бетоны шинж чанарын үзүүлэлт

д/д	Бэхэжсэн нөхцөл	Бэхэжсэн хоног	Шахалтын бат бэх, МПа.		Дундаж нягт, кг/м ³	
			Баянголын дайрга	Түшиг – Уул	Баянгол	Түшиг – Уул
1	Тасалгаанд	7	23.6	24.7	2318	2397
2		21	34.1	33.7	2353	2376
3		28	39.9	36.7	2378	2351
4	Стандартын	7	28.4	28.9	2403	2386
5		21	36.0	34.6	2400	2370
6		28	41.0	37.5	2395	2327
7	Гадаа агаарт	7	32.5	21.3	2332	2340
8		21	34.1	31.0	2376	2348
9		28	35.0	32.2	2389	2370

Тайлбар: Дүүргэгчийг карьераас нийлүүлсэн ширхгийн бүрэлдэхүүнээр авав.

Бетоны эцсийн шинж чанарт дүүргэгчийн ширхэглэл, түүний гарал үүсэл, ширхэглэлийн зохистой хэмжээ ба харьцаа чухал болохыг бидний эхний сонголт болгож хийсэн харьцангуй өндөр бат бэхтэй бетонд тавьсан туршилт баталж байна. Үүнээс гадна бэхжилтийн орчны нөхцөл, дүүргэгчийн шинж чанарын үзүүлэлт ямар шүтэлцээтэй болохыг тогтоох зорилгоор орчныг өөрчилж туршилт хийсэн үр дүнгийн утгыг 3.5-р хүснэгтээр харуулав.

3.5-р хүснэгт

Стандартын бус орчинд бэхэжсэн бетоны шахалтын бат бэхийн үзүүлэлт.

Бэхэжсэн нөхцөл	Бетоны шахалтын бат бэх, МПа, хоногийн дараа		
	3	7	28
Тасалгааны хуурай	8.8	24.4	38.5
Гадаа агаарт	9.15	23.0	36.1
Байнгын хуурай	16.5	25.3	28.2

Туршилтын үр дүн (3.5-р хүснэгт)–ээс харахад тасалгааны хуурай ба гадна агаарт бэхжүүлсэн бетоны 28 дараах бат бэх өмнөх туршилтын утгатай адилхан гарч байгаа нь туршилт зөв хийгдсэнээс гадна дүүргэгчийн шинж чанарын нөлөөлөл хэвээр хадгалагдаж

байгаа г харууллаа. Мөн байнгын хуурай орчин бетоны бат бэхээ авахад сөрөг болох нь давхар батлагдав.

Баянголын дайргаар хийсэн бетон стандартын нөхцөлд 28 хоногийн дараа 41.0 МПа бат бэхтэй болсон байхад Түшиг – Уул ХХК-ийн дайргаар бэлтгэсэн бетон зуурмагийн конусын суулт харьцангуй бага (0.2 см) байсан боловч 28 хоногийн бат бэх- 37.5 МПа байгаа нь даруй 3.5МПа буюу 8.5%-оор бага байна.

Түшиг–Уулын дайрга ашиглан 40МПа-ийн бат бэхтэй бетон гаргаж авахад тохирохгүй гэсэн дүгнэлт хийж улмаар хийх тохиолдолд дүүргэгч дайрганы ширхгийн бүрэлдэхүүнд нь өөрчлөх, эсвэл ус-цементийн харьцааг багасгах буюу цементийн зарцуулалтыг нэмэх зайлшгүй шаардлага гарна гэж үзэж болно. Ер нь дайрганы найрлагад нарийн ширхэгтэй хэсгүүд 1,9 % орчим агуулагдаж байсан нь зуурмагийн ус шаардах чанар нэмэгдэж үр дүнд нь конусын суулт 0.1-0.3 см болж буурах шалтгаан болжээ. Нөгөө талаар бетон зуурмагийн хэвлэгдэх чанар муудсан учир нягтралт хангалтгүй болж (дундаж нягт 2215-2370кг/м³) бат бэх буурах шалтгаан болсон байна гэсэн дүгнэлтэд хүргэж байна. Цаашид өндөр үзүүлэлттэй буюу С60 ангийн бетон гарган авах судалгааг Баянголын дайрга ашиглан хийхээр төлөвлөлт боловсруулав.

3.2 Дүүргэгч материалын ширхгийн хэлбэр бетоны шинж чанарт үзүүлэх нөлөө

Дайрганы шинж чанар ба онцлог.

Бетоны найрлага буюу түүний иж бүрдэлд (ингредиента) бат бэхийн үзүүлэлт өндөртэй дайрга ашигласнаар бетоны суултыг бууруулж урсалтыг (текучесть) багасган бүтээц элементийн ашиглалтын хугацааг нэмэгдүүлдэг. Дайрганы хувьд ашиглалтын үеийн гол шинж чанарт дараах үзүүлэлтүүдийг хамааруулан авч үздэг. Үүнд:

1. Ширхгийн бүрэлдэхүүнд агуулагдах нимгэн ялтаслаг (Flakiness) хэсгийн хэмжээгээр нь:

- «ердийн 1» - 50% хүртэл;
- «ердийн 2» - 35% хүртэл ;
- «сайжруулсан» - 25% хүртэл;
- «шоо хэлбэртэй» - 15% хүртэл;
- «дугуй бөөрөнхий» - 10% хүртэл.

Дайрганд хавтгай нимгэн хэсгийн агууламж нэмэгдсэнээр (зүү хэлбэртэй ба хавтгай ялтаслаг) бетон доторх хоосон орон зайн хэмжээг нэмэгдүүлж цементийн зутангийн орцыг ихэсгэх шалтгаан болно. Харин «шоо» эсвэл «бөөрөнхий» хэлбэртэй дайрга хэрэглэх нь

бетоны бүтцийг нягт болгож, бат бэхийг дээшлүүлж, материал үйлдвэрлэлийн зардлыг бууруулах ач холбогдолтой нь судалгаагаар тогтоогдсон байдаг.

2. Бетоны жинг түүний доторх эзлэхүүнийг бүрхэх талбайд харьцуулсан харьцаа буюу дайрганы асгаасны нягт нь түүнийг бүрэлдүүлэгч материалыг тээвэрлэх (материалын эзлэхүүнээр) процессыг тооцоолоход мөн бүтээц элемент үйлдвэрлэх бетон хольц бэлтгэхэд зарцуулагдах цементийн зуурмагийн хэмжээг тогтооход чухал үүрэгтэй. Хамгийн гол нь тооцоо хийхдээ хэвлэх үеийн бүх хоосон орон зайг анхаарах хэрэгтэй.

3. Хүйтэн тэсвэрлэлтийн үзүүлэлтээрээ ашиглалтын шинж чанарыг алдахгүй байхаар тогтоосон F400 маркаас дээш шинж чанартай дайргыг өндөр үзүүлэлттэй бетонд ашиглах.

4. Шахалт ба бутлагдах чанараар тогтоосон бат бэхийн үзүүлэлтээр нь:

- Маш сул – M200 хүртэл;
- Сул – M600 хүртэл;
- Дунд – M800 хүртэл;
- Бат бэх – M1200 хүртэл;
- Өндөр бат бэх – M1400 хүртэл.

5. Цацраг идэвхт байдлаас нь хамааруулан өндөр үзүүлэлттэй бетонд ашиглах дайрганы сонголт хийх ба барилгын ихэнх бүтээцийн бетонд II ангиллын харин өндөр шаардлага тавигддаг элементэд цацраг идэвхт бодисын I ангиллын дайрга ашиглана.

Бетон бүтээц ялангуяа өндөр маркийн эдлэл үйлдвэрлэхэд дүүргэгчийн ширхэглэлийн бүрэлдэхүүний хэмжээний харьцаа (10–20 мм гэсэн фракц байсан гэвэл энэ 10 мм–ийн зөрүүтэй хэлбэлзэлд хамаарах ширхэг тус бүрийн агуулагдах хувь), мөхлөгүүдийн гадаргуугийн төлөв байдал (тухайн ордын чулуулгийг үүсгэсэн эрдэс ба түүний хуваагдалтай холбоотой), буталж, ангилсан тоног төхөөрөмжийн сонголт, ажиллах зарчим зэрэг маш олон хүчин зүйлээс хамаардаг тухай судлаачид тэмдэглэсэн байдаг.

Нэг төрлийн ширхэглэлтэй том дүүргэгч хэрэглэсэн тохиолдоод цементийн орц шаардлагатай хэмжээнээс хэзээд их байх болно гэж судлаачдын хийсэн дүгнэлт зөв болохыг дээрх бидний хийсэн судалгааны үр дүн баталж байна. Нөгөө талаар ихэнх карьерууд голын хайрга буталж бүтээгдэхүүн гаргаж авдаг учир хайрга давамгайлсан хайрга-дайрганы хольц байгаагаас бетоны бат бэхийг сайжруулахын тулд цементийн зарцуулалтыг нэмэгдүүлэх буруу арга хэрэглэсээр ирсэн.

Хайрганы ширхгийн гадаргуу мөлгөр байдгаас цементийн чулуутай наалдах гадаргуу бага төдийгүй механик барьцалдалт бий болдоггүй учир бетонд орох цементийн зарцуулалт өсөх, бетоны бат бэх буурах шалтгаан болж байна.

Хэрэв ширхгийн бүрэлдэхүүн тохиромжгүй ялангуяа 20 мм ба үүнээс том ширхэгтэй хэсгийн агууламж өндөртэй дүүргэгчээр бэлтгэсэн бетон хольц хэрэглэхэд цутгах үед үелэл үүсэж тунах замаар нэгэн төрлийн чанараа амархан алдах, хэт том ширхэгтэй хэсэг өндөр (70 – 80%) бол помпоор цутгахад хүндрэлтэй, хүндийн жингийн зөрүүгээс ялгарал үүсэх, шигүү арматуртай бол бетон жигд тархахгүй зэрэг хүндрэл үүсдэг.

Энэ бүхнийг том дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүнийг тохируулаагүйгээс гарч байгаа технологийн болон чанарын томоохон доголдол гэж үздэг.

Бетонд ижил найрлагатай өөр өөр дүүргэгч ашиглан яг адил нөхцөл, хугацаагаар бэхжүүлэхэд бат бэхийн утга ялгаатай гарсныг судлаачид дүүргэгчийн шинж чанар болон түүний гадаргуугийн төлөв байдалтай холбон тайлбарласан байдаг. Энэ нь нэг талаар эвдрэлд орж байгаа бетоны дотоод бүтцэд үүсэж байгаа эвдрэлийн үеийн хүчдэл их бага байгаатай холбоотой байдаг тухай тэмдэглэсэн байдаг. Тухайлбал мөлгөр буюу бөөрөнхий гадаргуутай дүүргэгч ашиглаж зуурсан бетоны бэхжисний дараах эвдрэлд орох үеийн энерги шингээлт (жоуль) бага байдаг бол дайрган дүүргэгчтэй бетоных өндөр гардаг байна. Иймд энерги шингээлт буюу бетоныг эвдрэлд оруулахад зарцуулах ажил дүүргэгчийн гадаргуугаас өөрөөр хэлбэл дүүргэгч, цементийн чулуу хоорондын барьцалдалтын чанартай шууд холбоотойг баталж байна. Дайрганы гадаргуу арзгар, наалдах болон механик барьцалдалгаа үүсэх гадаргуу ихтэй учир дайрган дүүргэгчтэй бетоны бат бэх өндөр байхаас гадна дүүргэгчийн хэлбэр хавтгай ялтас эсвэл нарийн урт зүү хэлбэртэй биш бол илүү сайн бат бэхтэй гардаг.

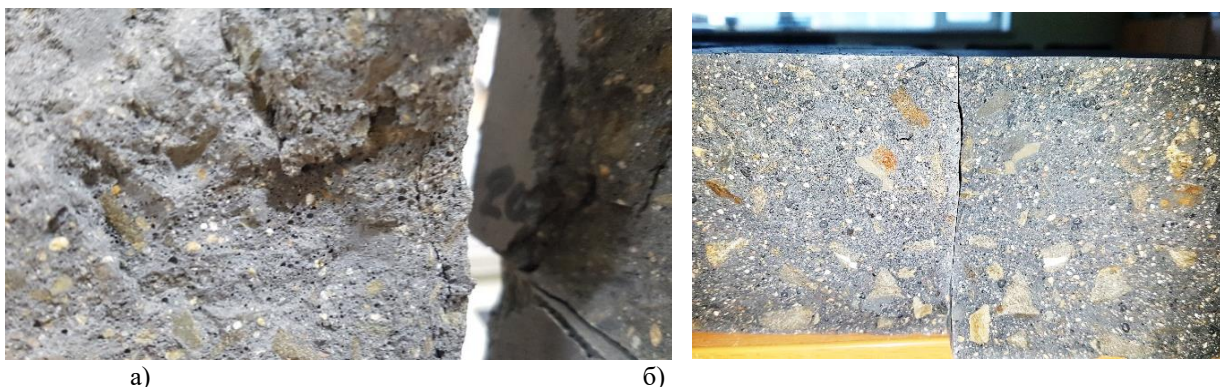
Зарим судлаачдын ажлаас харахад хайрга дүүргэгчтэй бетоны бат бэх ижил найрлагатай боловч дайрган дүүргэгчтэй бетоны бат бэхээс даруй 10 – 20 %-иар бага байна гэж тайлбарладаг бол нэг хэсэг судлаачид бетоны бат бэхэд дүүргэгчийн төрлийн үзүүлэх нөлөөг судлаад ус-цементийн харьцаа 0.40 байх хайрган дүүргэгчтэй бетоны бат бэх ижил ус-цементийн харьцаатай дайрган дүүргэгчтэй бетоноос даруй 36 –аас 38%-иар доогуур байна гэж баталсан байдаг. Бидний судалгааны үр дүнгээс харахад ус-цементийн харьцаа 0.44 байх хайрган дүүргэгчтэй бетоны бат бэх 33.66 МПа байхад Баянгол карьерын дайргаар хийсэн бетоны бат бэх 41.0 МПа болж 7.34 МПа буюу 21.8 хувиар илүү байгаа нь бат бэхэд дүүргэгчийн ширхгийн бүрэлдэхүүн ба гадаргуугийн хэлбэрийн (текстура) байдал чухал үүрэг гүйцэтгэнэ гэсэн бидний дүгнэлт зөв болохыг харуулж байна.

Өмнө өгүүлснээр Баянголын дайрга сонгож лабораторид хийсэн шоо болон гулдмайн сорьц (3.3-р зураг) бэлтгэж стандарт орчинд бэхжүүлсний дараа шахалт ба гулзайлтын бат бэхийг туршсаны дараах эвдрэлийн ерөнхий төрхийг харахад (3.4-р зураг) дүүргэгч, цементийн чулууны хэсгийн эвдрэлүүд эрс ялгаатай байна.



3.3-р зураг. Баянголын дайрган дүүргэгчтэй өндөр марктай сорьцын бэхэжсэний дараах төлөв байдал

Бэхжүүлсэн шоо болон дамнуруу (балок) –ны эвдрэлийн төлөв байдлаас харахад хайрганаас гаргаж авсан дайрган дүүргэгч цементийн чулууны гагнаасаар эвдрэлд орсон байхад (3.4-р зургийн, а), чулуу буталж гаргаж авсан дайргатай бетоны хуваагдал дүүргэгч (3.4-р зургийн, б) – ийн дундуур эвдрэлд орж өндөр бат бэхийг үзүүлсэн байна.



3.4-р зураг. Хайрга бутлах замаар гарга авсан дайрга (а) ба чулуу буталж гаргаж авсан дайрга дүүргэгчтэй (б) бетоны хуваагдлын төлөв байдал

Бетоны чанарын үзүүлэлтэд том дүүргэгчээс гадна нарийн дүүргэгч түүний ширхгийн модуль нөлөөтэй болохыг дараах судалгааны ажлаас харж болно. Түүний бетонд үзүүлэх нөлөөллийг тогтоох зорилгоор ус-цементийн харьцаа болон том дүүргэгчийн орцыг тогтмол хадгалж дүүргэгчийн хольц дахь нарийн дүүргэгчийн хувийн гадаргууг бууруулахад (ширхгийн модулийг нэмэгдүүлэхэд) бетоны бат бэх буурч байгаа нь

ширхгийн модулийг 2.0-3.5 хүртэл өөрчилж хийсэн туршилтын үр дүн харууллаа. Туршилтын үр дүнгээс харахад нарийн дүүргэгчийн ширхгийн модуль нь 2.0 байхад бетоны бат бэх 42.8 МПа байхад нарийн дүүргэгчийн агууламжийг хэвээр үлдээж зөвхөн түүний ширхгийн модулийг 2.5, 2.75, 3.0, 3.5 хүртэл өөрчлөхөд бетоны бат бэх харгалзан 40.24, 38.1, 36.7, 35.7 МПа хүртэл 3.7-15%-иар буурсан байна. Бат бэх буурч байгаа нь нарийн дүүргэгчийн ширхгийн модуль нэмэгдсэнээр (хувийн гадаргуу багасна) түүний ус ус шаардах чанар буурснаас болоод хатуу хэсгийн гадаргууд үүссэн усан бүрхүүл үений зузаан нэмэгдэж ширхгүүдийн хоорондын үрэлтийн болон молекулын таталцлалын хүч буурч хөдөлгөөнт чанар сайжрахад түлхэц болсон байх магадлалтай. Нөгөө талаар ширхэглэл томорсноор завсар хоорондын зай нэмэгдэж үр дүнд нь бетон дахь үлдэгдэл агаарын хэмжээ нэмэгдсэнээр нарийн дүүргэгчийн ширхгийн модуль нэмэгдэхэд бетоны эзлэхүүний нягт буурч байгаагаар нотлогдсон болно. Үүнээс гадна нарийн ширхэгтэй дүүргэгчийн ширхгийн модуль нэмэгдэхэд бетоны нягтралтын зэрэг буурч байгаа нь бат бэх буурах үндсэн шалтгаан болжээ. Өөрөөр хэлбэл бүдүүн ширхэгтэй нарийн дүүргэгч хэрэглэсэн тохиолдолд бетоны бүтэц ямар нэг хэмжээгээр сийрэгжиж, бат бэхэд сөрөг нөлөө дагуулна гэсэн дүгнэлтэд хүргэж байна. Нарийн дүүргэгчийн ширхгийн модуль нэмэгдсэнээр бетон дахь том жижиг ширхэгтэй дүүргэгчийн хольцын завсар хоорондын зайн голчийн хэмжээ нэмэгдэж байна. Тэр зайг бөглөхөд шаардагдах цементийн зутангийн хэмжээ зайлшгүй нэмэгдэнэ гэсэн үг юм. Нүх сүвийг дүүргэж бөглөөд ширхгүүдийг өөр хооронд нь барьцалдуулж бэхэжсэн цементийн чулуу хэмжээний хувьд томорч байгаа учир түүний агшилтын болон химийн контракцийн ан цав, хагарлын тоо олон болж цементийн чулууны бүтэц эвдэрсэнтэй холбоотойгоор бетоны бат бэх буурсан байна.

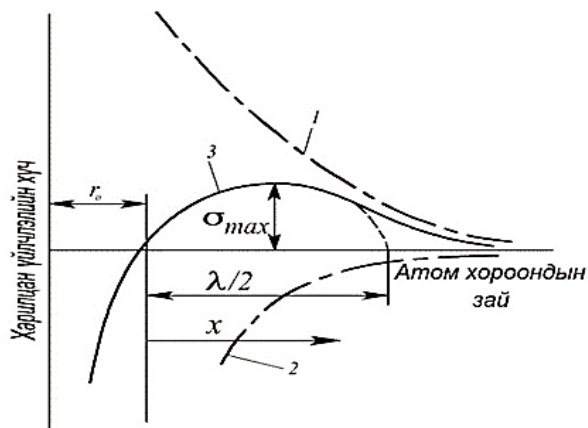
Нарийн ширхэгтэй дүүргэгчийн ширхгийн модуль бетоны чанарт түүний дотор бетон зуурмагийн хэвлэгдэх чанар, бат бэхэд үзүүлэх нөлөөг судалсан үр дүнгээс харахад ус-цементийн харьцаа тогтмол байхад дүүргэгчийн хувийн гадаргуу өсөхөд бат бэх буурах шалтгаан болно гэсэн дүгнэлттэй тохирч байна. Ер нь нарийн ширхэгтэй дүүргэгчийн хувийн гадаргуу нэмэгдэхэд бетоны нягт буурч, бат бэхийн бууралтад шууд нөлөөлдөг гэж үзэж болно.

3.3. Өндөр үзүүлэлттэй бетонд зориулсан дайрга бэлтгэхэд анхаарах онол практик ба технологийн хүчин зүйл

Инженерийн практикт дурын материалын эвдрэл нь бэлдэц, бүтээц элементэд агуулагдаж байсан янз бүрийн хэв гажилт, гэмтлээс хамаарна. Барилгын материалын шинж чанарт, ялангуяа бат бэхийн үзүүлэлтэд түүний бүтэц зохион байгуулалт шийдвэрлэх үүрэгтэй. Бүтэц зохион байгуулалтад талст, шиллэг (аморф) ба хийн (нүх сүв) фазуудын

харилцан үүсэлт, тархалт тэдгээрийн физик-химийн төрөл тоон харьцааг авч үздэг. Дурын барилгын материалын бүтэц бүрэлдэлтийн онцлогийг түүний микро, макро тогтцоор үнэлдэг.

Микро тогтцод талст фазын байдал түүний тархалт, нүх сүв болон шиллэг фазтай яаж үүсэж байрласнаас хамааруулан авч үзнэ. Макро тогтцыг материал доторх нүх сүвний эзлэх хэмжээ эзлэхүүн, тархалт, хэлбэрээр нь тодорхойлно. Фазын найрлага бол талст фазын үүсэлт ба түүний шилэн фазтай хосолж тогтсон тоо хэмжээний харьцаа юм.



3.5-р зураг. Талст торны элементүүд хоорондын харилцан үйлчлэлийн хүчний хамаарал
1-таталцлалын хүч; 2-түлхэлцлэлийн хүч; 3- үүссэн хүч; r_0 - идеаль бүтэцтэй талстын ионы төвүүдийн хоорондох зай; γ_0 - атом хоорондын зай.

Байгалийн чулууг бутлах замаар гаргаж авсан дүүргэгч материал (дайрга) нь талст бүтэцтэй тул түүний шинж чанарыг фазын найрлага, фазын үүсэлт, зохион байгуулалтын онцлогоор нь авч үзнэ. Өөрөөр хэлбэл сонголт хийсэн чулууны бутлагдах байдал (хуваагдал)–ыг төвийн тэнцвэрийн ойролцоох атом, ион, молекулыг барьж байгаа хүчний төлөвөөс нь хамааруулан бутлах тоног төхөөрөмжийн сонголт хийнэ гэсэн үг юм.

Материалын механик шинж чанар талст бүтэцтэй холбоотой болохыг анх Гриффитс дэвшүүлсэн ба (3.5 дугаар зураг) хоёр атомын харилцан үйлчлэлийн хүч нь таталцлал ба түлхэлцлэлийн хүчний нийлбэрээр тодорхойлогдоно. Муруйн налуу бага зайтай байх үед түлхэх хүч нь таталцлалын муруйн утгаас их байдаг. Иймд харилцан үйлчлэлийн муруйн нийлбэр эерэг ба түүний утга, атом хоорондын зай r_0 хэмжээтэй болоход тэгтэй тэнцүү болж хоёр атом тэнцвэрждэг. Атом хоорондын зайг нэмэгдүүлэхийн тулд сунгаж татах хүчдэл зайлшгүй хэрэгтэй болно. Тэгвэл харилцан үйлчлэх хүч энэ хүчдэлтэй тэнцүү гэж тооцвол түүнийг зайн гармоник функц хэлбэрээр бичих боломжтой.

$$\sigma = \sigma_{max} \sin(2\pi x / \lambda)$$

σ_{max} -онолын бат бэх ; $\lambda/2$ -синусоидын долгионы уртын хагас.

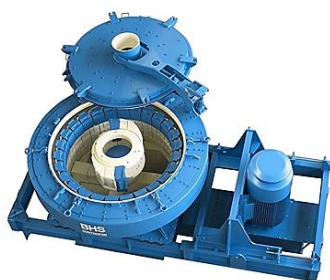
Энэ нь тухайн чулууны хуваагдлаас хамааруулан шахах, үрэх, цохих, нидрэх, хугалах ба доргиулах зэрэг хатуу биетэд үйлчлэх хүчтэй нь уялдуулан тоног төхөөрөмжийн сонголт хийх шаардлагатайг илэрхийлж байна. Барилгын материалын үйлдвэр (бутлан ангилах)–үүд эдгээр хүчний төхөөрөмжийг дангаар нь ба хослуулан ашиглаж үйлдвэрлэл явуулдаг боловч шинжлэх ухааны үндэстэй тооцоо, сонголт тэр бүр хийхгүйгээр гаднын орны зах зээлээс бэлэн үйлдвэр оруулж ашиглаж байгаа нь бэлтгэж байгаа дайрганы хэмжээ, ширхгийн бүрэлдэхүүн, текстур зэрэг шинж чанарууд нь дүүргэгч болгон ашиглахад зарим талаар ялангуяа өндөр үзүүлэлттэй бетон бэлтгэхэд тохирохгүй байгаа болно.

Материалын микро хэв гажилтаас гадна ан цав, бүтцийн жигд биш зэргээс болж макро хэв гажилттай байна. Энэ бүх хэв гажилтууд нь материалын бодит бат бэхийг онолын үзүүлэлттэй харьцуулахад түүнийг эрс бууруулдаг шалтгаан болох ба нэвт хурц ан цав үүсгэх хүчдэлийн концентрацад нөлөөлнө. Ялангуяа бутрамтгай материалд хамгийн их нөлөөлтэй тул үүнийг тооцож үзэх хэрэгтэй.

Дайрга бэлтгэдэг үйлдвэрлэлд ашиглаж байгаа том хэмжээтэй уулын чулуулаг болон хайргыг шахалтын бат бэхийн үзүүлэлтээр МПа өндөр, МПа дунд, МПа бага бат бэхтэй гэж ангилдаг. Бат бэх сайтай материалыг хагалах ба хуваах ажиллагаатай, дундаж бат бэхтэйг хуваах ба цохилтоор үйлчлэх ажиллагаатай, бага бат бэхтэй бол цохилт, хуваах ба нидрэлтийн хүчээр үйлчлэх ажиллагаатай төхөөрөмж (3.6-р зураг) ашиглах нь үр ашигтай.

Бат бэх сайтай хатуулаг өндөртэй магмын гаралтай дүүргэгч чулуу болох боржин чулуу, диабаз, базальт, габбро зэргүүд нь 1600 кгх/см^2 хүртэл, шохойн чулуу ба үүнтэй төстэй чулууны хувьд $300\text{--}600 \text{ кгх/см}^2$ хүчийг даах чадвартай. Одоо манай бутлан ангилах үйлдвэрүүдийн бэлтгэсэн дайрганы ширхгийн бүрэлдэхүүний ерөнхий гадна байдал, тухайн фракц тус бүрд (5–10, 10–20, 20–40 мм г.м) агуулагдах хэмжээ, хэлбэрийг 3.7-р зургаас харж болно.

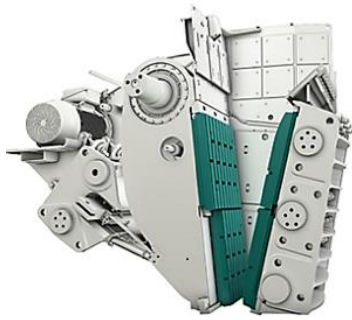
а)



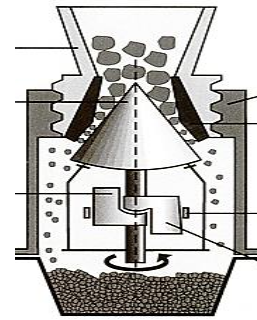
б)



в)



г)



3.6-р зураг. Сүүлийн үед шинээр үйлдвэрлэгдэж байгаа шахах, хагалах, нидрэх ба цохилтын хүчний үйлчлэлээр дайрга бэлтгэх дэвшилтэд бутлах төхөөрөмжүүдийн төрөл
а – төвөөс зугтах хүчний; б - ротор; в - эрүүт; г – шувтан.

Тухайн фракц дотор хэлбэрийн хувьд хамгийн тохиромжтой өөрөөр хэлбэл өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахад тохирох дөрвөлжин шоо (3.7-р зураг, а) байдалтай хэсгийн агууламж 15 орчим хувиас хэтрэхгүй байгаа юм. Зонхилон хавтгай зууван хэлбэртэй хэсэг (3.7-р зураг, б ба в) мөн 5–10 мм-ийн хэмжээтэй фракцад ялтаслаг (3.7-р зураг, г) хэсэг ихсэх хандлага байгаа нь үйлдвэрлэгчид бутлах төхөөрөмжийн сонголт (3.6-р зураг), чулууны бутлагдах чанар хоорондын хамаарлыг нарийн тогтоож хамгийн үр ашигтай ширхгийн агууламж ихтэй дайрга бэлтгэхэд онцгой анхаарах шаардлагатай.



а)



б)



в)



г)

3.7-р зураг. Бутлан ангилах үйлдвэрээс гарсан дайрганы төлөв байдал

Дайрга бэлтгэх үйлдвэрийн төгсгөлийн буюу маш хариуцлагатай дамжлага бол ширхгийн бүрэлдэхүүнээр ангилах (шигших) технологи ажиллагаа байдаг. Дайрганы карьерууд ихэвчлэн инерцийн хүчний, төрөл бүрийн хийцтэй тор (сетка) ашиглан ангилал хийдэг. Ангилал хийх технологи ажиллагаа нь маш нарийн байхаас гадна нэг талаас харахад санамсаргүй үйл ажиллагаа шиг харагддаг. Гэвч энэ нь ийм санамсаргүй биш харин шинжлэх ухааны үндэстэй байдгийг дараах тооцоо, тайлбараас харж болно.

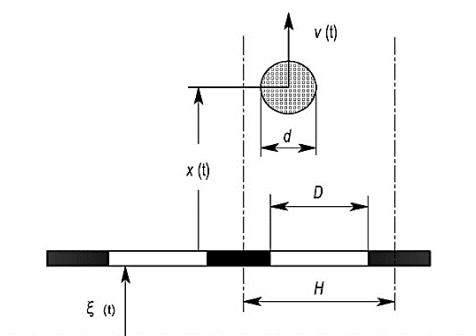
Ялгалт хийх үндсэн зорилго нь холимогт агуулагдаж байгаа ширхэглэлүүд харгалзсан тороор бүрэн нэвтэрч байх ёстой. Энэ нь ширхгүүд торны хавтгайд перпендикуляр чиглэлээр холигдож торны нүхний төвтэй ширхгийн геометр төв давхцаж байвал нөхцөл

биелэгдэх боломжтой. Практикт энэ нөхцөлийг тогтоохдоо зөвхөн бодит туршилтад үндэслэдэг.

Материалын ширхэг шигшүүрийн тороор нэвтрэн гарах загварыг 3.8-р зургаар үзүүлэв. Ширхгийн хэлбэрийг бөмбөрцөг байдалтай d гэсэн голчтой, торны гадаргуугаар v хурдтай хөдөлгөөн хийж байна гэж үзье. Шигшүүрийн торны гадаргуугийн босоо хэлбэлзэл хийх хуулийг дараах байдлаар бичнэ.

$$\xi = A_s \sin(\omega t + \varphi)$$

A_s -амплитуд; ω -тойрогийн давтамж; φ -хэлбэлзлэлийн эхний фаз.



3.8-р зураг. Доргиурт шигшүүрийн торны гадаргуу дээрх ширхэгийн хөдөлгөөний тооцооны бүдүүвч

Координатын системийн дагуух ширхгийн хөдөлгөөний дифференциал тэгшитгэлийг доргиулж байгаа гадаргуутай холбоотойгоор дараах хэлбэрээр бичнэ.

$$v = -g + A_s \omega^2 \sin(\omega t + \varphi)$$

$$x = v$$

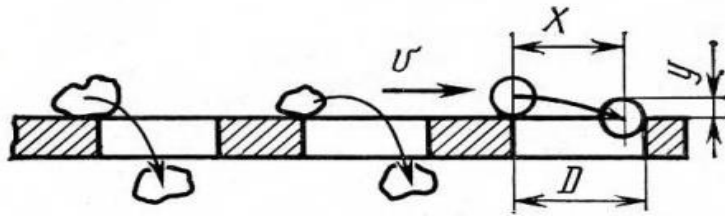
Ширхгийн хөдөлгөөн дээрх хоёр томьёоны $A_s \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) > g$ болсон үед явагдах ба бусад хугацааны эгшинд харьцангуй хөдөлгөөн торны гадаргуу дээр ($x=0$) хийгддэг.

Хэрэв ширхгийн хүндийн хүчний траектор торны нүхээр нэвтрэхдээ парабол хөдөлгөөн хийнэ гэвэл (3.9-р зураг), түүний хугацааны, тэнхлэгийн дагуух босоо шилжилтийг дараах параболын тэгшитгэлээр бичиж болно.

$$y = \frac{gt^2}{2}$$

$y = 0.5d$ ба $x = D - 0.5d = vt$ гэж үзээд утгыг (3.36) томьёогоор бодвол:

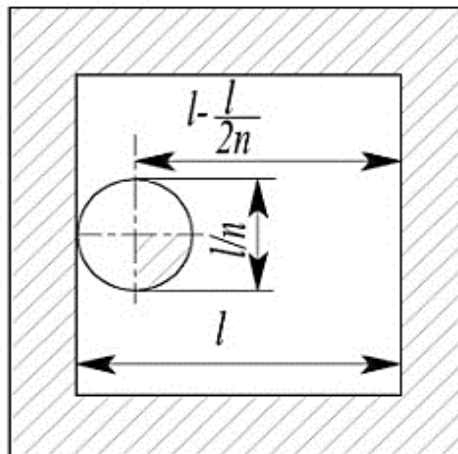
$$v = \frac{(D-0.5d)}{t} = (D - 0.5d) \sqrt{\frac{g}{d}}$$



3.9-р зураг. Ширхэг нүхээр нэвтрэх нөхцөл

Шигшүүрийн нүхээр ширхэг нэвтрэх боломж нь ширхгийн хэмжээ нүхний харьцаа, ширхгийн хөдөлгөөний хурд, ширхэг ба нүхний хөндлөн огтлолын хэлбэр, шигшүүрийн торны утасны зузаан ба түүний амьд хөндлөн огтлолоос хамаарна. Эндээс торны нүхээр ширхэг нэвтрэх магадлалыг тодорхойлж болно. Тэгвэл тэгш өнцөгт торны нүхээр ширхэг торны ханатай шүргэлцэхгүйгээр перпендикуляр чиглэлээр унаж байна гэж үзье (3.10 дугаар зураг). Ийм тохиолдолд ширхгийн торны нүхээр нэвтрэн гарах боломжийг дараах тэнцэтгэл бишээр тодорхойлно.

$$P = \frac{(D-d)}{d} \geq 1 \quad \text{эндээс} \quad D \geq 2d$$



3.10-р зураг. Торны нүхээр нэвтрэх магадлал

Ширхгүүдийг бие биетэй нь уулзуулан тороор нэвтрүүлэхэд шаардлагатай нүхний тоо ба тэгш өнцөгт нүхээр ширхэг нэвтрэн гарах магадлалыг 3.6-р хүснэгтээр үзүүлэв.

3.6-р хүснэгт

Торны нүхээр ширхэг нэвтрэх магадлал

$\frac{d}{D}$	Нүхээр нэвтрэх магадлал P	$P = 1$ үеийн нүхний тоо
0,001	0,998	1
0,01	0,980	2
0,05	0,810	2
0,1	0,360	3

0,4	0,250	4
0,5	0,040	25
0,8	0,0025	400
0,95	0,0001	10^4
0,99	0,000001	10^6

3.10-р хүснэгтийн утгаас харахад $D \geq \frac{d}{0.8}$ байхад ширхгүүд торны нүхээр бодитой нэвтрэх боломжтой байна. Харин $d \geq 0.8D$ үед ширхгүүд торны нүхэнд их ойртох тул нэвтрэх боломж муу болно. Ийм ширхгүүдийг муу ангилагддаг гэж нэрлэдэг. Ийм ширхгүүд түүхий эдийн холимогт их агуулагдаж байвал ялгалтыг бүрэн хэмжээнд хийх боломжгүй болно.

Ялтсан ба урт зууван ширхэглэлийг ялгахад торны нүхний хэмжээг материалын хөдөлгөөний чиглэлийн дагуу урт болгож, ангилах процессыг хялбар болгодог (3.9-р зураг). Энэ тохиолдолд өмнөх $D \geq 2d$ томьёоны нүхээр нэвтрэх боломж нэмэгдэж байгаа нь харагдаж байна.

Материалын тороор нэвтрэх процесст бүрэлдүүлэгчийн ширхгийн найрлага, материалын ширхгийн хэлбэр ба чийглэг, шаварлаг хэсгийн агууламж, тороор нэвтрэх хурд, торны хэлбэр болон зузаан нөлөөлнө. Буталсан дайрганы холимог доторх ялтас хэлбэртэй хэсгүүд хуурай, жин хөнгөнтэй байдаг нь ялгалт хийх үед материалын дээд үенд байрлаж ялгалт явагдахгүйд хүрнэ.

Ширхгүүдэд агуулагдах бөмбөрцөг биш хэлбэртэй хэсгийн агууламжийг коэффициентоор ψ үнэлдэг.

$$\psi = \frac{A_{\text{ш}}}{A_{\text{ч}}}$$

$A_{\text{ш}}$ -бөмбөрцөгийн гадаргуу; $A_{\text{ч}}$ -ширхэгийн эзлэхүүнд байгаа ижил хэмжээтэй хэсгийн гадаргуу.

Хэрэв ширхэг a гэсэн ирмэгтэй шоо хэлбэртэй бол d голчтой бөмбөрцгийн гадаргууг, шооны гадаргууд харьцуулсан харьцаа:

$$\psi = \frac{\pi d^2}{6a^3}$$

Ижил хэмжээтэй ширхгийн эзлэхүүн $a^3 = \frac{\pi d^3}{6}$ бол эндээс $a = d^3 \sqrt{\pi/6}$ болно. Тэгвэл коэффициент $\psi = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} = 0.806$ гарна.

Шигших процессыг нэгж хугацаанд шигшүүрт орж байгаа материалын тоо хэмжээ (Q бүтээл), материал дотор агуулагдаж байсан тухайн ширхэгтэй хэсгүүдээс, шигшүүрээр нэвтэрсэн хэсгийн жинд харьцуулсан харьцаа (E шигшилтийн үр ашиг) гэсэн хоёр үзүүлэлтээр үнэлдэг.

$$E = \frac{c - d}{c} 100\%$$

c -орж байгаа бүтээгдэхүүнд агуулагдах доод ангийн ширхгийн жингийн агууламж; d -мөн, шигшүүрээр нэвтрээгүй хэсэг.

Бодит байдалд шигшигдэж байгаа материалын чийглэг $12\% < W < 40\%$ бол ангилалт бараг явагдахгүй, шигшүүрийн торон дээр ачаалсан материалын ихэнх хэсэг тороор нэвтрэхгүйгээр үлдэхэд хүрнэ. Харин чийглэгийг нэмэгдүүлж $W < 50\%$ болгож нойтноор шигшихэд 100% ангилагддаг.

Хүдрийн бус барилгын материалыг боловсруулж ангилах гурван хувилбар байна.

1. Урьдчилсан ангилалт, үндсэн холимогт агуулагдаж байгаа хэлбэрийн биш болон бутлах шаардлагагүй хэсгийг ялгах;
2. Шалгалтын ангилал, холимогт агуулагдаж байгаа шаардлагагүй хаягдлыг ялгасны дараа, хэрэгцээтэй том хэсгийг дахин бутлалтад оруулах;
3. Эцсийн ангилал, хэрэгцээтэй ширхэглэлээр нь ялгаж бэлтгэх.

Шигшүүрийн ажлын хэсэг болох торыг ган хуудас болон төмөр утсаар хийхээс гадна сүүлийн үед даралтаар шахаж хэвлэсэн резин тороор түгээмэл хийж байна. Ийм резин тор деформацад орж шигшиж байгаа материалд нэмэлт хэлбэлзэл үүсгэдэг тул торны нүхэнд бөглөрөл үүсэхгүй сайн талтай.

Шигшүүрийн торны гадаргуугийн хэлбэр ба хийцээр нь хавтгай, хүрдэт (цилиндр) гэж ангилна. Ажлын гадаргуугийн байрлалаар хэвтээ ба налуу, ажлын гадаргуу нь хөдөлгөөнтэй, хөдөлгөөнгүй шигшүүр гэж ангилна. Хөдөлгөөнгүй хавтгай шигшүүрийг $30 \div 50^\circ$ налуутай байрлуулж материал, гадаргуу хоёрын үрэлтийг багасгадаг. Ийм шигшүүрийг бүдүүн тоймын ялгалт хийхэд хэрэглэх ба хацарт ба конусан бутлуурын тэжээгүүр болгон хэрэглэнэ. Шигшигдэж байгаа материал торны бүх гадаргуутай аль болохоор шүргэлцэж сайн нэвтэрч байхаас гадна нэвтрээгүй ширхгүүд эрчимтэй шилжиж дараагийн орох хэсгүүдэд байраа чөлөөлж байхын тулд механик шигшүүрүүдийг дамжуулгын механизмтай хийж байна.

Иймд бутлан ангилах дайрганы үйлдвэрүүд зөвхөн бутлах төхөөрөмжийг зөв сонгохоос гадна жижиглэгдсэн чулууны ширхгүүдийг ялгах шигшүүрийн тооцоог энд өгүүлсэн аргачлалаар хийж ангилах төхөөрөмжийн сонголт түүний торны хэлбэр хийцэд онцгой анхаарах шаардлагатай.

3.4. Барьцалдах материалд тавигдах шаардлага

Бетоны бүтэц, бат бэх болон бусад физик-механик чанар нь бүрдүүлэгч материалуудын физик-механикийн болон химийн шинж чанар, бетон зуурмагийн найрлага, зуурмаг бэлтгэсэн, тээвэрлэсэн, хэвлэсэн арга, бэхжилтийн үеийн арчилгааны технологи, бэхэжсэн хугацаа гэх мэт олон хүчин зүйлээс хамаарна. Чанарт нөлөөлдөг эдгээр олон хүчин зүйлийг технологийн үе шат бүрд шалгаж тохируулга хийж байвал эцсийн үр дүнд гарах бетоны чанар зураг төсөлд заасан шаардлагыг хангадаг, сайн чанартай бүтээгдэхүүн гарах болно.

Бетоны эцсийн бат бэх, удаан эдэлгээний чанар энэ бүхэнд барьцалдах материалын зүгээс үзүүлэх нөлөө асар их байдаг учир бетонд хэрэглэх барьцалдах материалыг хэрэглэхийнхээ өмнө түүнд стандартаар тавигдах чанарын бүх шаардлагыг шалгана. Мөн тухайн бетоны ирээдүйд ашиглагдах нөхцөлд сонгон авсан цемент чанарын хувьд тохирох эсэхийг заавал шалгана.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны хувьд хэрэглэгдэх цемент нь өндөр бат бэхтэй байх шаардлагатай нь тодорхой юм. Судалгааны ажлын хүрээнд эх орны эрдэс түүхий эдийг ашиглах зорилгоор барилгын талбарт өргөн хэрэглэгддэг ердийн 42.5 ангийн портландцементийг сонгон авч түүнийг идэвхжүүлэх замаар андар үзүүлэлттэй бетонд хэрэглэх боломжийг тогтоож өгөв.

Ердийн 42.5 ангийн портландцементийг эрдэс нэмэлт хэрэглэн идэвхжүүлсэн олон тооны судалгааг гадаадын эрдэмтэн судлаачид хийсэн байдаг. Эдгээр эрдэмтдийн хийсэн судалгаанаас харахад ихэнх тохиолдолд нано хэмжээст эрдэс нэмэлтүүдийг ашигласан байна. Бидний судалгаанд цементийн маркийг нэмэгдүүлэхийн тулд цахиурын тоосонцор болон ДЦС-ын дэгдэмтгийн үнсийг сонгон авч цементийн бат бэхэд хэрхэн нөлөөлж байгааг тогтоов. Судлаачдын хийсэн өмнөх судалгааны дүнд (<https://www.slideshare.net/ankhbilegluvsan/ss-47542571>) ДЦС-ын дэгдэмтгий үнсийг дангаар нь цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулан хийхэд цементийн бат бэх буурахгүй боловч мэдэгдэхүйц өсөлт байхгүй дүүргэгчийн үүргийг гүйцэтгэж байсан тул цахиурын тоосонцор болон дэгдэмтгий үнсийг хослуулах, цахиурын тоосонцрыг дангаар нь хэрэглэх гэсэн 2 чиглэлээр судалгааг явуулсан болно.

Судалгаанд ашигласан түүхий эдийн шинж чанар

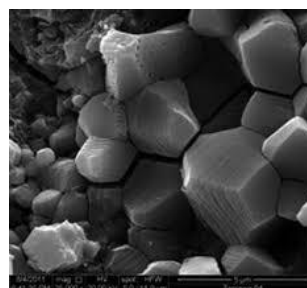
Портландцемент

Цемент нь MNS 0976:2008 техникийн шаардлагыг бүрэн хангасан дотоодын үйлдвэрийн Хөтөл Цемент 42.5ангийн ердийн портландцемент ашигласан. Физик ба химийн шинж чанарыг 3.7-р хүснэгтэд үзүүлэв.

3.7-р хүснэгт

Цементийн хими физик шинж чанар

Анализ	Исэл	Тоо хэмжээ,	Анализ	Үзүүлэлт	хэмжээ
Химийн,%	CaO	59.92	физикийн	Хувийн гадаргуу, см ² /г	3460
	Al ₂ O ₃	5.3		Эзлэхүүн тэлэлт,	-
	Fe ₂ O ₃	3.69		Нягт, г/см ³	3.16
	SiO ₂	21.15		Барьцалдаж эхлэх хугацаа	80мин
	SO ₃	2.72		Барьцалдаж дуусах хугацаа	170мин
	MgO	2.59		Шахалтын бат бэх	МПА
	Na ₂ O	0.45		3 хоног	17.2
	Улайсалтын үеийн жингийн алдагдал	1.85		7 хоног	29.4
	Уусдаггүй үлдэгдэл			28 хоног	43.6



3.11-р зураг. Портландцементийн гадаад ба дотоод морфологи

Цахиурын тоосонцор

Цахиурын тоосонцрын (silica fume) хувьд аморф бүтэцтэй полиморф цахиурын исэл юм. Энэ нь цахиур болон төмөрлөгийн үйлдвэрлэлээс гардаг маш нарийн ширхэглэлтэй хаягдал материал юм. Ширхэглэлийн хэмжээ нь 1 микроноос бага, дундаж диаметр нь 0.1 микроноос буюу цементийн жижиг хэсгүүдтэй харьцуулахад 100 дахин бага хэмжээтэй юм. Үндсэн шинж нь аморф цахиурыг хамгийн багадаа 90% агуулсан байдагт оршино.

Маш цэвэр кварцыг 2000⁰С хүртэл ангижруулахад SiO₂-ийн уур үүсэж, исэлдээд бага температурын мужид конденсацлагдан нарийн ширхэгтэй талст бус бүтэцтэй цахиурын ислийн жижиг хэсгүүдийг үүсгэдэг байна[2-3].

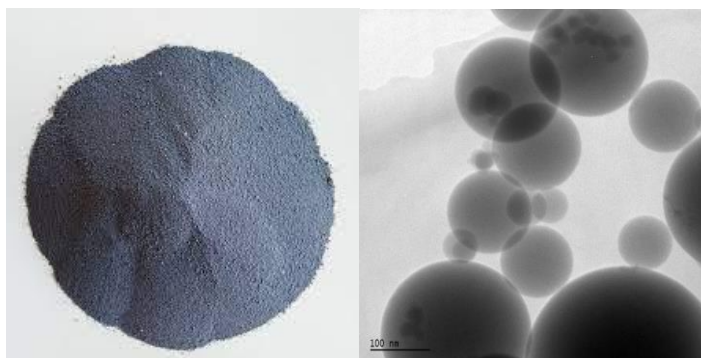
Цахиурын тоосонцрын өөрийнх нь хөгжлийн түүх бол харьцангуй товчхон бөгөөд портландцементэн бетонд анх 1952 онд нэмж туршсан байдаг тухай тэмдэглэгдсэн байдаг боловч хэрэглээ байхгүй байсаар 1970-аад оны эхээр Норвегийн судлаачид үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн байдаг [3-5]. Энэ үеэс эхлэн цахиурын тоосонцор бол цементийн орцыг хэмнээд зогсохгүй мөн шинж чанарыг сайжруулагч эрдэс нэмэлт болох нь танигдаж, энэ талын судалгааны ажил эрчимжжээ.

3.8-р хүснэгт

Цахиурын тоосонцрын физик хими шинж

Анализ	Исэл	Тоо хэмжээ, %	Анализ	Үзүүлэлт	хэмжээ
Химийн, %	CaO	0.62	Физикийн	Нягт	2.32г/см ³
	Al ₂ O ₃	1.47		Өнгө	саарал
	Fe ₂ O ₃	0.84		Эзлэхүүн жин	240кг/м ³
	SiO ₂	92		Хувийн гадаргуу	20000м ² /кг
	SO ₃	0.2			
	MgO	1.08			

Сүүлийн гучаад жилийн турш бетоны шинж чанарыг сайжруулах судалгааны ажлууд маш эрчимтэй хийгдсэний дотор цахиурын тоосонцор болон дэгдэмтгий үнсийг хослуулан хэрэглэх замаар өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авах боломжтойг тогтоожээ. Цахиурын тоосонцрыг цементийн жингийн тодорхой хувьд орлуулан идэвхт эрдэст нэмэлтээр хэрэглэх нь шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмаг болон бэхэжсэн бетоны шинж чанарт эерэг үр дүнг үзүүлдэг болох нь дэлхийн нийтийн анхаарлыг татаж байна. Тухайлбал цахиурын тоосонцрыг нэмж өгснөөр тухайн бетоны ус үл нэвчих чадвар, бат бэхийн үзүүлэлт болон удаан эдэлгээт чанар эрс сайжирдаг байна. Цахиурын тоосонцрын физик химийн шинжийг 3.8-р хүснэгтэд үзүүлэв.



3.12-р зураг. Цахиурын тоосонцрын гадаад ба дотоод морфологи

ДЦС-ын дэгдэмтгий үнс

Анх 1930 онд дэгдэмтгий үнсийг хар зам тавихад эрдэс дүүргэгч материалаар ашигласан байна. 1937 онд “дэгдэмтгий” үнс гэдэг нэр Америкийн Бетоны Институтийн

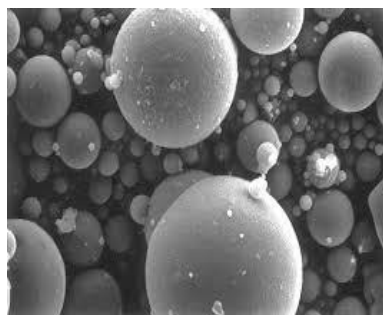
эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд нийтлэгдэж эхэлжээ. ДЦС-ын хаягдал үнс нь өнөөдөр хаягдал биш үйлдвэрлэлийн хоёрдогч түүхий эд гэдгийг дэлхий дахин хүлээн зөвшөөрч байгаа бөгөөд үнсийг олон салбарт ашиглах боломжтойг эрдэмтэн судлаачид тогтоогоод байна.

Манай орны хувьд цахилгаан станцын үнсийг барилгын материалд ашиглах стандарт 2014 онд батлагдсан бөгөөд бетоны найрлагад орох цементийн 20 хувийг нарийн ширхэгт үнсээр орлуулахыг зөвшөөрсөн байдаг хэдий ч бас л хангалттай хэмжээнд үнсийг ашиглаж чадахгүй байгаа түвшинд байна. Уг судалгааны ажилд УБ 4-р цахилгаан станцын дэгдэмтгий үнсийг ашигласан болно (3.9-р хүснэгт).

3.9-р хүснэгт

Дэгдэмтгий үнсний шинж чанар

Исэл (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	Нунтаглалт, см ² /гр	Нягт, гр/см ³
FA	56.26	13.54	10.93	13.96	1.11	2.5	0.42	2740	3,15



3.13-р зураг. Дэгдэмтгий үнсийн гадаад ба дотоод морфологи

Судалгааны ажлын аргачлал

MNS 976:2008 Портландцементийг турших аргачлал стандартын дагуу төлөвлөсөн найрлагаар цементийн гулдмай сорьцыг бэлтгэж 28 хоногийн шахалт болон гулзайлтын бат бэхийг туршив.

3.10-р хүснэгт

Цементийн гулдмай сорьцын орц найрлага

SF	FA	PC	Total
40.5	64.3	345.2	450.0
13.5	64.3	372.2	450.0
40.5	37.3	372.2	450.0
13.5	37.3	399.2	450.0
7.9	50.8	391.3	450.0
46.1	50.8	353.2	450.0
27.0	31.7	391.3	450.0

27.0	69.8	353.2	450.0
27.0	50.8	372.2	450.0
27.0	50.8	372.2	450.0

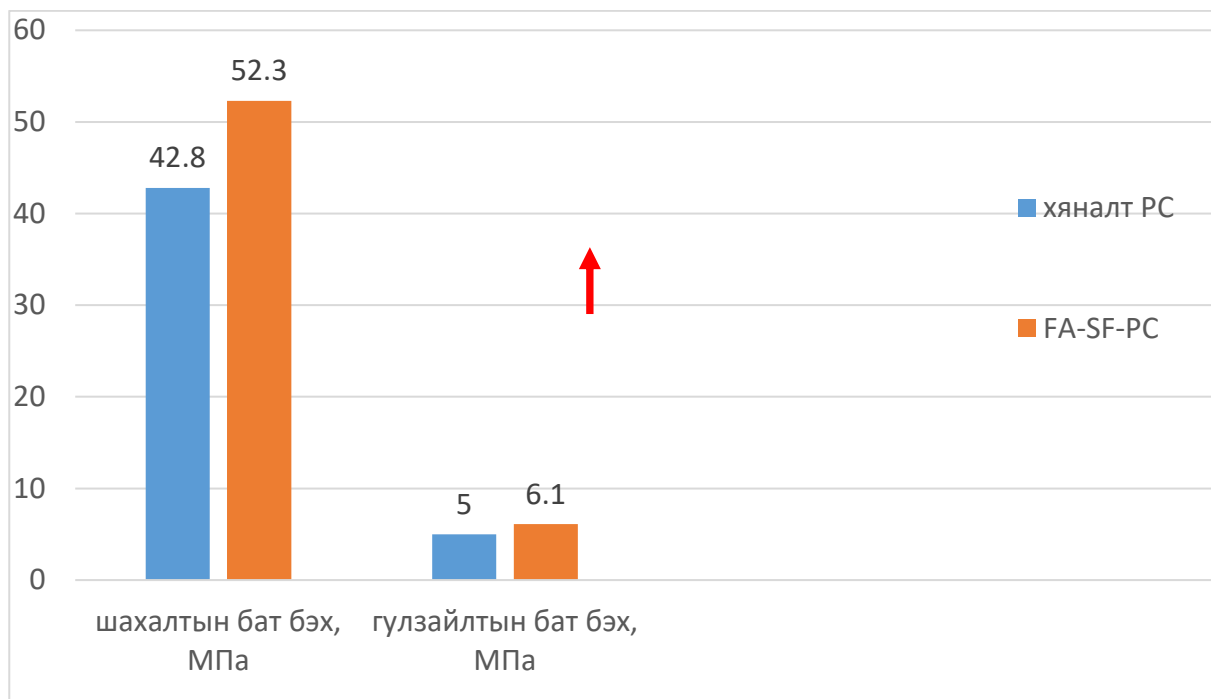
Цахиурын тоосонцор болон дэгдэмтгий үнсийг хослуулан нэмэх замаар цементийн бат бэхийг туршсан дүн.

Цементийн бат бэхийг бат бэхийг нэмэгдүүлэх, цементийн орцыг хэмнэх гэсэн давхар зорилгоор ДЦС-ын үнс ба цахиурын тоосонцрыг хослуулан нэмж шахалтын болон гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлов.

3.11-р хүснэгт

Шахалтын ба гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлсон дүн

Туршилтын дугаар	Сорьцын дугаар	Эвдсэн хүч /кН/	Шахалтын дундаж бат бэх /МПа/ 3 хоног	Шахалтын дундаж бат бэх /МПа/ 28 хоног	Гулзайлтын бат бэх /МПа/	Гулзайлтын дундаж бат бэх /МПа/
1	1	39.43	39.2	52.3 max	6.2	6.1 max
	2	39.97			6.2	
	3	38.25			6.0	
2	4	37.56	37.7	50.3	5.9	5.9
	5	37.56			5.9	
	6	37.95			5.9	
3	7	36.51	38.5	51.4	5.7	6.0
	8	37.03			5.8	
	9	42			6.6	
4	10	31.53	31.3	41.8	4.9	4.9
	11	31.6			4.9	
	12	30.9			4.8	
5	13	30.02	31.9	42.5	4.7	5.0
	14	32.84			5.1	
	15	32.74			5.1	
6	16	38.23	37.1	49.5	6.0	5.8
	17	35.03			5.5	
	18	38.18			6.0	
7	19	33.48	33.7	44.9	5.2	5.3
	20	33.48			5.2	
	21	34.17			5.3	
8	22	31.16	31.6	42.1	4.9	4.9
	23	31.01			4.8	
	24	32.65			5.1	
9	25	31.76	27.6	36.9	5.0	4.3
	26	25.61			4.0	
	27	25.56			4.0	
10	28	30.84	32.1	42.8	4.8	5.0
	29	37.13			5.8	
	30	28.23			4.4	



3.14-р зураг 1-р найрлагын шахалтын ба гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлсон дүн

Туршилтын ажлын дүнд тохиромжтой найрлагыг хамгийн өндөр бат бэх үзүүлж байгаа 9% ДЦС-ын , 14.28% цахиурын тоосонцор SF, 76.72% портландцемент PC гэж тогтоосон бөгөөд бат бэхийн үзүүлэлтийг 18% -иар нэмэгдүүлж чадсан байна.



3.15-р зураг. Туршилтын ажил гүйцэтгэж байгаа нь

Цахиурын тоосонцор нэмэлттэй цементийн бат бэхийг туршсан дүн

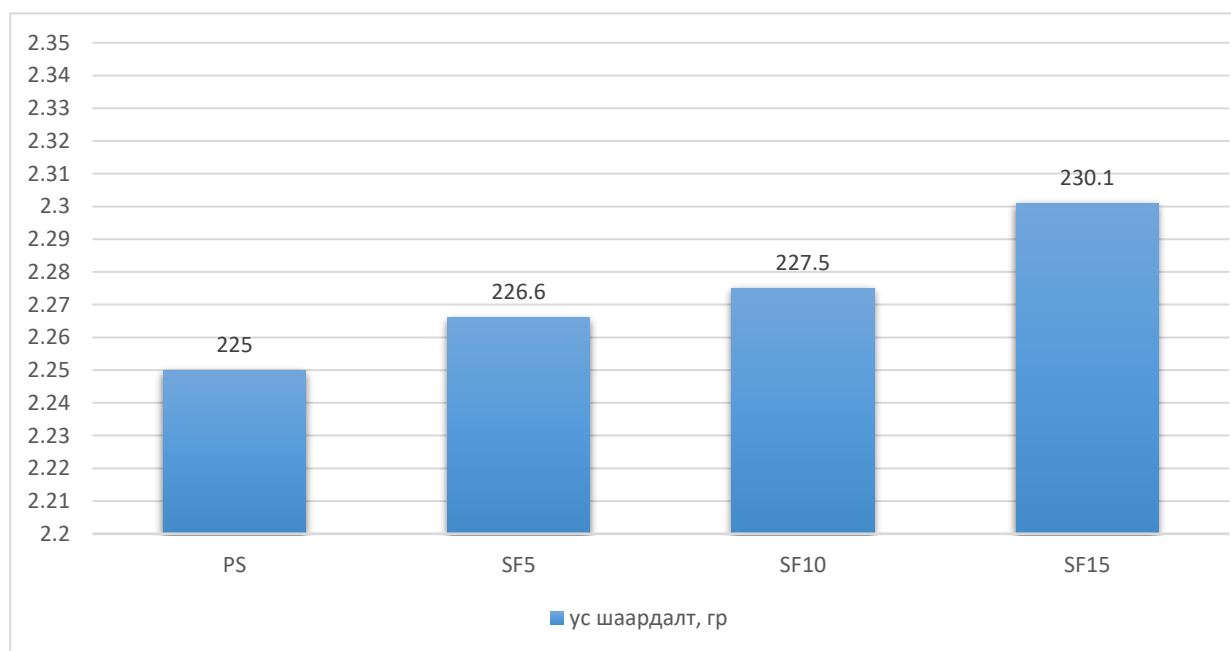
Дагуу гулдмай сорьцыг бэлтгэж, заасны дагуу шахалтын болон гулзайлтын бат бэхийг туршсан болно. Цементийн зуурмагийн найрлагыг 3.12-р хүснэгтэд харуулав.

Цементийн зуурмагийн найрлага

код	Цемент, г	Цахиурын тоосонцор, г	Стандарт элс, г	Ус, г
PC	450	0	1350	225
SF5	427.5	22.5	1350	225
SF10	405	45	1350	225
SF15	382.5	67.5	1350	225

Уг судалгаанд цементийн жингийн 5,10,15%-д цахиурын тоосонцрыг нэмж өгч гулдмай сорьц бэлтгэсэн. Найрлага бүр дээр цементийн зуурмагийн барьцалдах хугацааг тодорхойлж, мөн шахалтын болон гулзайлтын бат бэхийг тодорхойлсон болно.

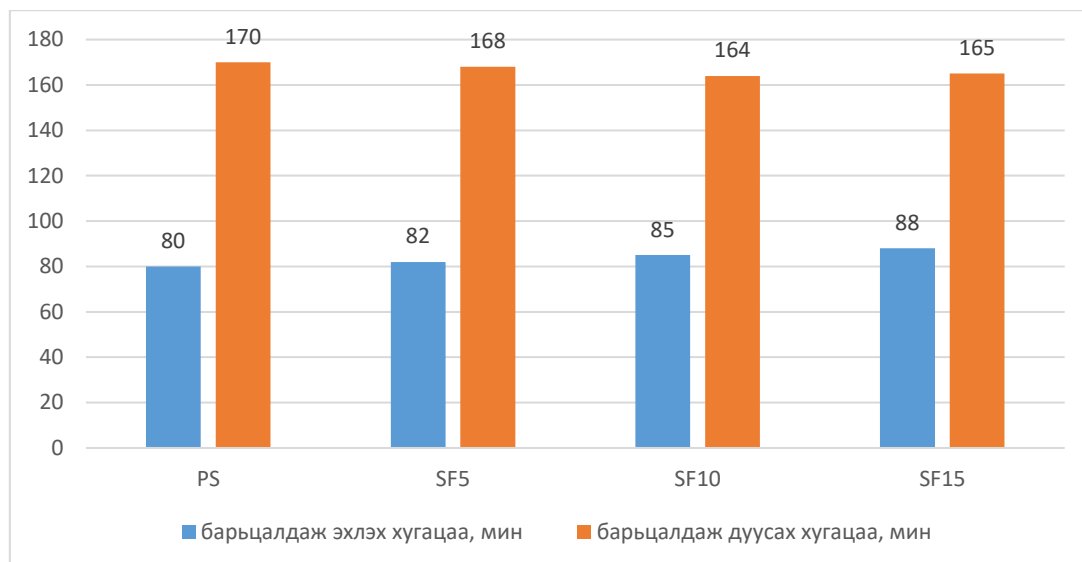
Хэвийн өтгөрлийг тодорхойлсон дүнг 3.16-р зурагт үзүүлсэн бөгөөд цахиурын тоосонцрын хэмжээ нэмэгдэхэд ус шаардалт бага зэрэг өссөн байв.



3.16-р зураг. Цементийн зуурмагийн ус шаардалт

Цахиурын тоосонцрыг 5% байхад 0.65%, 10% болоход 1%, 15%-д хүрэхэд 2%-иар ус шаардалт тус тус нэмэгдсэн байна.

Цементийн зуурмагийн барьцалдах хугацааг тодорхойлсон дүнг 3.17-р зурагт үзүүлэв.

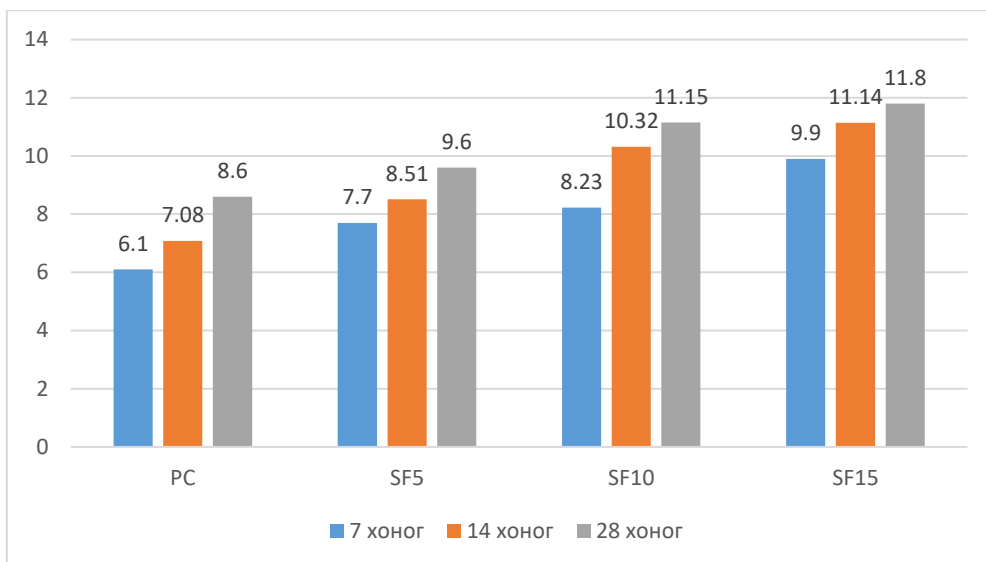


3.17-р зураг. Цементэн зуурмагийн барьцалдаж эхлэх ба дуусах хугацаа

Цементийн зуурмагийн барьцалдаж эхлэх ба дуусах хугацааг тодорхойлсон дүнгээс үзэхэд цахиурын тоосонцрын хэмжээ нэмэгдэх тусам барьцалдаж эхлэх хугацаа нэмэгдэж, харин барьцалдаж дуусах хугацаа багасаж байна.

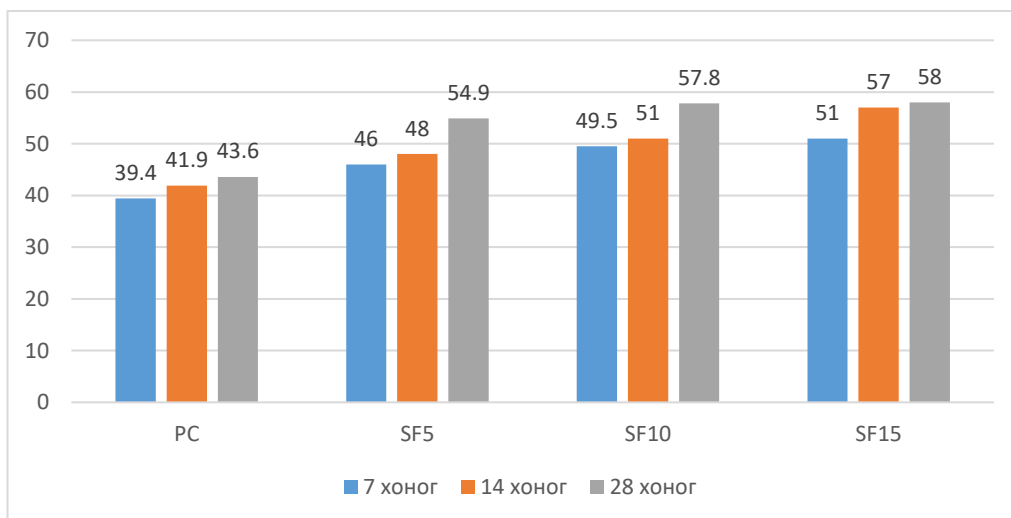
Цементийн бэхжилт устай харилцан үйлчилж эхэлсэн цагаас явагддаг гэж үздэг. Гэхдээ энэ хугацаа нь тодорхой хязгаартай байдаг. Стандартад заасан ёсоор барьцалдаж эхлэх хугацаа нь хамгийн багадаа 1цаг, дуусах хугацаа нь 10 цагаас хэтрэхгүй байх ёстой. Хэрвээ маш хурдан барьцалддаг бол шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмагийг хэвлэх, тээвэрлэх, арчлах зэрэгт процессууд хүндрэлтэй болно. Харин барьцалдах хугацаа удаан байвал бетон төслийн бат бэхдээ хангалттай хүрч чадахгүй байх, хэв хашмалын ажил удаашралтай болох дутагдалтай талтай. Судлаач Celik[4], Simsek [5]цементийн барьцалдах хугацаанд цахиурын тоосонцрын үзүүлэх нөлөөг судалж, 5% хүртэл нэмэхэд ямар нэгэн мэдэгдэхүйц өөрчлөлт байхгүй, харин цахиурын тоосонцрын хэмжээг 10%, 15% хүргэхэд барьцалдаж эхлэх хугацаа удааширч байгааг тогтоосон байна. Цементийн гулзайлтын бат бэхийг 7, 14, 28 хоногууд дээр туршсан дүнг 3.18-р зурагт харуулав.

Гулзайлтын бат бэхийн утга нь бүх найрлага дээр хугацаа өнгөрөх тутам нэмэгдэж байна. Тухайлбал, 28 хоногийн дараа төслийн бат бэхээ бүрэн авсан гэж тооцвол ердийн портландцементийн гулзайлтын бат бэхийн утга нь 8.6МПа байсан бол түүний жингийн 15%-д цахиурын тоосонцрыг нэмж өгөхөд гулзайлтын бат бэхийн утга нь 36% -иар нэмэгдсэн байна.



3.18-р зураг. Цементийн гулзайлтын бат бэхийг туршсан дүн

Шахалтын бат бэхийг туршсан дүнгээс харахад (3.19-р зураг) мөн цахиурын тоосонцрын хэмжээ нэмэгдэх тутам өсч байна. Тухайлбал: цементийн жингийн 5%, 10%, 15%-д цахиурын тоосонцрыг орлуулж өгөхөд шахалтын бат бэхийн утга нь 21%, 24.5%, 24.8%-иар тус тус нэмэгдсэн байна. Туршилтын дүнгээс харахад 10% ба 15% нэмэхэд бат бэхийн өсөлтийн зөрүү бараг байхгүй гэж хэлж болно. Иймд цахиурын тоосонцрыг 10% хүртэл нэмэхэд хангалттай гэж үзэж байна.



3.19-р зураг. Цементийн шахалтын бат бэхийг туршсан дүн

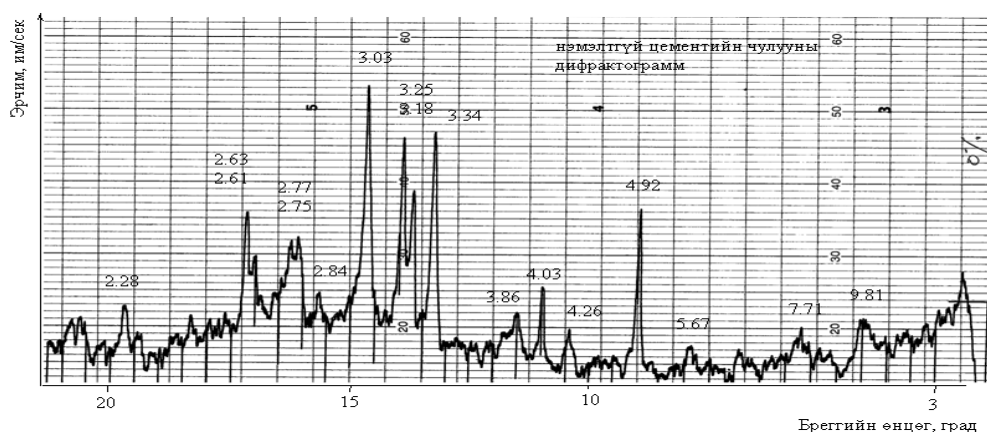
Цахиурын тоосонцрыг нэмж өгснөөр портландцементийн бат бэх нэмэгдэж, барьцалдалтын хүч, сайжирч байна. Цахиурын тоосонцрын хувьд хувийн гадаргуу нь маш өндөр буюу 20000м²/кг, харин цементийн хувийн гадаргууг тодорхойлоход 346м²/кг байна. Хувийн гадаргуу ихтэй цахиурын тоосонцор дахь аморф микро цахиур нь пуццолонжих потенциал ихтэй байгаа нь маш сайн давуу тал болж өгдөг. Микро цахиурын нунтгийн деагломерацийн эрчимд хувийн гадаргуу маш чухал үүрэгтэй. Бат бэхийн өсөлт нь

цахиурын тоосонцрын ба портландцементийн жижиг хэсгүүдийн хооронд пуццолонжих урвал явагдаж байгаатай холбоотой. Тухайлбал, микро цахиур нь цементийн зуурмагийн гидратацийн процессын дүнд үүсэж байгаа кальцийн ислийн гидраттай харилцан үйлчлэлцэж кальцийгидросиликат нэгдлүүдийн хоёрдогч гелийг үүсгэнэ. Микро цахиур нэмсэн тохиолдолд гидратацийн процессын хурд эхэн үед нэлээд хэдэн цагийн турш нэмэгддэг. Энэ нь гидроксил ионууд болон шүлтийн ионууд микро цахиурын гадаргууд нэвчиж байгаатай холбоотой юм. Мөн чөлөөт усны хэмжээ багасаж, бүтэц нягтрах боломжийг бий болгодог байна. Цементийн гидратацийн дүнд C-S-H гель болон Ca(OH)₂ портландит үүсдэг. Портландит чөлөөт хэлбэрээр байх нь цементийн бэхжилтэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Энэ үүссэн чөлөөт портландиттэй микро аморф цахиур харилцан үйлчлэлцэж, пуццолон $SF+CH+H \rightarrow C-S-H^*$ 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. Цахиурын тоосонцрыг портландцементийн жингийн 5, 10, 15%-д орлуулахад бат бэхэд эерэг нөлөө үзүүлж байгааг тогтоолоо. Цахиурын тоосонцрыг портландцементийг орлуулан бетонд хэрэглэх бүрэн боломжтой юм. Гэхдээ хэт нарийн ширхэглэлтэй тул бетонд хэрэглэхдээ хөдөлгөөнт чанарт хяналт хийх нь зүйтэй. Цахиурын тоосонцор 10% байхад шахалтын бат бэхийн өсөлт 57.8 МПа, 15% болоход 58 МПа болж байна. Бат бэхийн өсөлт нь 10 ба 15% дээр мэдэгдэхүйц ялгаа багатай байгаа нь харагдаж байна. Иймд цахиурын тоосонцрыг портландцементийн жингийн 10% хүртэл хэмжээнд орлуулахад боломжтой байгааг тогтоов.

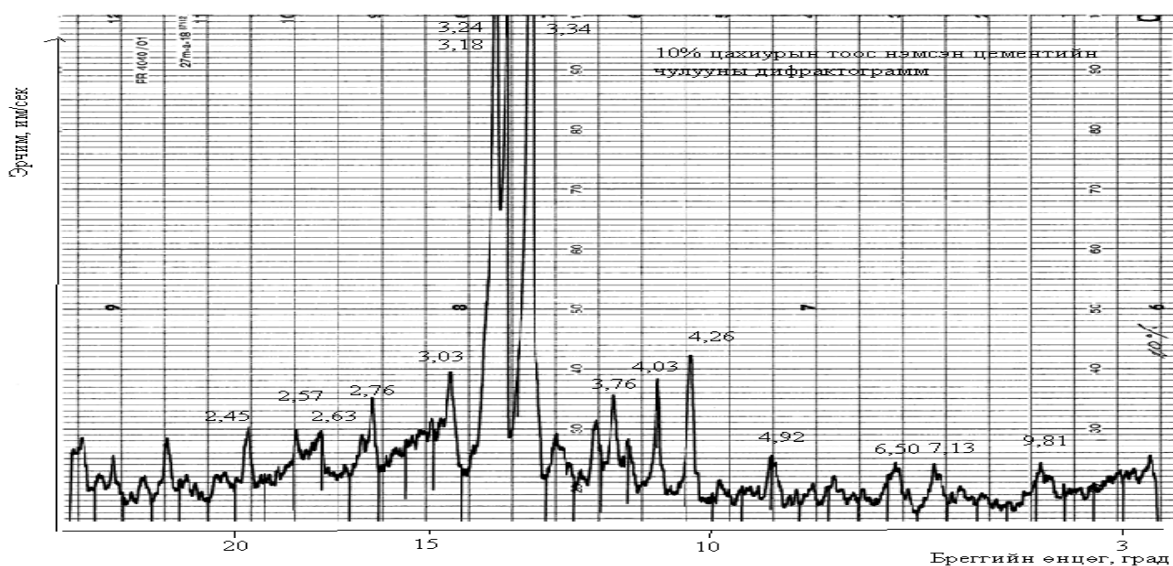
Дотоод бүтцийн судалгаа

Дотоод бүтцийн судалгааг X-Ray болон сканнинг электрон микроскопи дээр явуулав. Бетоны бэхжилт нь цементийн гидратацийн үр дүн байдаг. Иймд цементийн гидратаци явагдсанаас хойш 28 хоногийн дараах сорьцыг шинжилгээнд оруулсан болно. 3.20 дугаар зурагт үзүүлсэн рентген туяаны дифракцийн өгөгдлөөс харахад цементийн бэхжилтийн явцад гидросиликат фазын агууламж нэмэгддэг. 28 хоногийн дараа $(CaO) \cdot x \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot xH_2O$, $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ фазуудын хамгийн их концентраци ба $3CaO_2$ -ийн хамгийн бага концентрацитай байгаа нь ажиглагдав. Өөрөөр хэлбэл нь бага суурьтай гидросиликат кальци $(CaO)x \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$, $3CaO$ үүссэн байгаа бөгөөд энэ нь сканнинг электрон микроскопийн зураг дээр ч мөн баталгаажиг байна. Гидратацийн явцад бага суурьтай гидросиликат фазын концентраци ихэвчлэн нэмэгддэг [15], үүнтэй холбоотойгоор өндөр суурьтай фазын $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ -ийн хэмжээ багасдаг. Энэ нь SiO_2 нано хэсгүүд нь

цемент дэх клинкерийн эрдсүүдтэй урвалд орж, гидросиликат фазын суурилаг чанарыг бууруулж байгаагаар тайлбарлагдана.



3.20-р зураг. 28хоног бэхэжсэний дараах цементийн чулууны рентгенограмм



3.21-р зураг. 28хоног бэхэжсэний дараах цементийн чулууны рентгенограмм

10% нэмэлттэй цементийн чулууны дифрактограмм нь нэмэлтгүй цементийн чулууны дифрактограммаас эрдсийн найрлагын хувьд ялгаа багатай ч гидратацад ороогүй чулуунцрын эрдсийн хэмжээ багасаж харин гидросиликат нэгдлүүдийн талжилт сайжирсан ерөнхий төрх ажиглагдаж байна.

Өндөр үзүүлэлттэй бетонд хэрэглэх цемент нь идэвхжил сайтай, өндөр ангийн цемент байх нь тодорхой юм. Иймд барилгын талбарт өргөн хэрэглэгддэг ердийн 42.5 ангийн портландцементийг зарим нэг эрдэс нэмэлтээр идэвхжүүлэх боломжтойг тогтоов. ДЦС-ын дэгдэмтгий үнс ба цахиурын тоосонцрыг хослуулан хэрэглэхэд бат бэхийг 18%-иар, цахиурын тоосонцрыг дангаар нь нэмж өгөхөд бат бэхийг 25%-иар нэмэгдүүлэх боломжтой болох нь туршилтын дүнд батлагдав. Мөн дотоод бүтцийн зургаас харахад нам суурьтай

кальцийн гидросилидат нэгдлүүдийн хэмжээ ихэссэн байна. Гэхдээ цахиурын тоосонцрыг нэмж өгөхөд портландцементийн ус шаардалт нэмэгдэж байсан тул бетонд хэрэглэх тохиолдолд бетоны хөдөлгөөнт чанарыг хянах зүйтэй юм.

3.5. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны оновчтой найрлагын судалгаа

Өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахын тулд түүнийг бүрдүүлэгч материалуудад чанарын өндөр шаардлага тавигддаг тул энэ тал дээр онцгой анхаарал хандуулж материалын лабораторийн шинжилгээг урьдчилан хийсэн байх шаардлагатай. Найрлага сонгох үндэслэл нь ус-цементийн харьцааны онол юм. Учир нь бетоныг нягт бүтэцтэй том дүүргэгч, нарийн дүүргэгч, цементийн чулуу гэсэн үндсэн 3 хатуу хэсэг бүрдүүлдэг. Энэ 3 хатуу бие дундаас хамгийн бат бэх муутай, сийрэг бүтэцтэй нь цементийн чулуу байдаг. Цементийн чулууг сийрэгжүүлэгч гол хүчин зүйл бол ус юм. Усны орц их байх тусам цементийн чулууны бүтэц сийрэгжиж бат бэх муудна. Ийм учраас бетоны бат бэхийг тодорхойлогч нь ус-цементийн харьцаа гэж үздэг. Юуны өмнө үйлдвэрлэх гэж байгаа барилгын бүтээц эдлэлийнхээ зориулалт, ашиглагдах нөхцөл, бетоны анги, бетон зуурмагийг бэлтгэх, тээвэрлэх, цутгах, арчлах гэх мэт олон хүчин зүйлүүдийг нарийн судалсны дараа ус-цементийн харьцааг сонгох замаар бетоны найрлага сонголтын ажил эхэлнэ. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны хувьд ус цементийн харьцааг 0.3-аас бага байх нь зүйтэй гэж олон эрдэмтэн судлаачид тэмдэглэсэн байдаг.

Цемент: Хөтөл цементийг хэрэглэв (2.1-р хүснэгт).

Дүүргэгч: Судалгааны ажилд том дүүргэгчээр “Баянгол Карьер”-ын (5-10) ба (10-20) мм-ийн ширхэглэлтэй дайрга, нарийн дүүргэгчээр “Сонголон Хайрхан” ХК-ын элсийг хэрэглэв (2.4-р хүснэгт). Өндөр үзүүлэлттэй бетоны хувьд сайн чанарын дүүргэгч хэрэглэх шаардлага тавигддаг тул дүүргэгчийг урьдчилан угааж баяжуулсан болно.

Эрдэс нэмэлт: Өмнөх судалгаанд үндэслэн бетон хольцын урсах чадварыг сайжруулах, эрт үеийн бат бэхийг нэмэгдүүлэх зорилгоор цахиурын тоосонцор SF хэрэглэв(2.6 дугаар хүснэгт).

Химийн нэмэлт: MNS ASTM C494C/494M:2011 Стандартын G- төрөлд хамаарах ба бетон хольцын усны орцыг 25 - 40% багасгаж, хольцын хөдөлгөөнт чанарыг 30-90 минут тогтвортой хадгалах үндсэн үйлчилгээтэй.Sika ViscoCrete 5510 бүтээгдэхүүнийг бетонд хэрэглэснээр нь:

- Бетон хольцын хөдөлгөөнт чанар эрс мэдэгдэнэ
- Бетон хольцын ажиллах чадвар сайжирч, тээвэрлэх хугацаа урттай үед тохиромжтой

- Бетон хольцын өөрөө тархах, нягтрах чадварыг нэмэгдүүлж бетон хольцыг цутгах , нягтруулах ажиллагааг багасгана
- Тусгай зориулалтын өндөр бат бэхтэй бетон үйлдвэрлэхэд тохиромжтой

Өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахад дараах хэдэн нөхцөлүүдийг хангах хэрэгтэй. Үүнд: өндөр бат бэх (идэвхжилт)-тэй цемент, ус шингээгдээгүй өндөр бат бэхтэй дүүргэгч сонгох; ус-цементийн харьцааг хамгийн бага түвшинд байлгах шаардлагатай. Бетон зуурмаг бэлтгэхэд орсон усны тал хувь үүнээс ч илүүгүй хэсэг нь (бэхжилтийн явцад арчилгааг технологийн шаардлагын дагуу хийгээгүй бол) орчиндоо ууршиж алдагдсанаас капилляр нүх сүв үүсэж улмаар бетоны бүтэц муудна; цементийн орцыг аль болох бага байлгах. Энэ нь бетоны бүтэц бүрдүүлэгч хатуу хэсгүүдийн дотроос хамгийн бат бэх муутай хэсэг нь цементийн чулуу байдагтай холбоотой юм; бетон зуурмагийн холилтыг маш сайн хийх, нягтруулалтыг гүйцэд зөв хийх (нягтруулалтыг дутуудуулах, хэтрүүлэх тохиолдлын аль алинд бетоны бүтэц алдагдана); усны орц багасгагч нэмэлт, бүтэц сайжруулагч нэмэлт, цементийн гидратацийг идэвхжүүлэгч зэрэг нөлөө үзүүлдэг олон талын үйлчилгээтэй нэмэлтийг суперпластификатортай хослуулан хэрэглэх; бэхжилтийн хамгийн таатай орчныг бүрдүүлэх нь зүйтэй юм.

Бетон хольцыг урьдчилан тооцсон найрлагын дагуу зуурсны дараа ASTM C1611 тархалт, ASTM C143 температур, ASTM C231 агаар агууламж, ASTM C138 дундаж нягтыг стандартын дагуу тодорхойлно[10-13]. Бетоны шахалтын болон гулзайлтын бат бэхийг турших зорилгоор 150 x 150x150мм хэмжээтэй шоо сорьц бэлтгэж лабораторид 20-210С-ын температурт 24 цаг бэхжүүлсний дараа хэвийг задлан стандарт орчинд арчланаа. Мөн сорьцыг бат бэхээ авч дууссаны дараа буюу 28 хоногийн дараа хүйтэн тэсвэрлэлт, температурын үйлчлэл даах чанар, у с үл нэвтрүүлэлтийг туршина.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны тохиромжтой найрлагыг тодорхойлохын тулд ус цементийн харьцааг аль болох бага байхаар орцыг тооцоолсон болно. Өмнө хийсэн судалгааны ажлын дүнд үндэслэн цахиурыг тоосонцрыг цементийн жингийн 10%-д нэмэх нь тохиромжтой гэж тооцсон (3.12-р хүснэгт) болно[14].

Бетоныг лабораторийн зууруул ашиглан зуурсан бөгөөд эхлээд зууруулын тогоонд цемент, цахиурын тоосонцрыг урьдчилан холиод дараа нь том ба нарийн дүүргэгчийг нэмж 10 минутын турш холино. Дараа нь усандаа нэмэлтээ хийж уусгаад түүнийгээ зууруул руу бага багаар болгоомжтой нэмж өгнө.

Судалгааны ажилд ус-цементийн харьцааг 0.23, 0.25, 0.27, 0.29 гэсэн өөр харьцаатай бетоны зуурмаг зуурч, шинэхэн зуурмагийн температур, тархалт, дундаж нягт, агаар

агууламжийг хэмжсэн бөгөөд бетоныг стандарт очинд 7, 14, 28, 56, 90 хоног бэхжүүлэн шахалтын бат бэх, гулзайлтын бат бэх, ус шингээлт, хүйтэн тэсвэрлэлт, ус үл нэвтрүүлэлт, температурын үйлчлэл даах чадвар зэрэг үзүүлэлтүүдийг туршив.

3.13-р хүснэгт

Бетоны найрлага (кг/м³)

Зуурмаг	Цемент, кг	Том дүүргэгч		Нарийн дүүргэгч Элс, кг	Ус, кг	Уян налархай жуулагч нэмэлт, кг	Цахиурын тоосонцор, кг	Ус цементийн харьцаа
		5-10мм	10-20мм					
1	607	540	390	748	145.3	12.14	60.7	0.23
2	607	540	390	748	151	12.14	60.7	0.25
3	607	540	390	748	163.9	12.14	60.7	0.27
4	607	540	390	748	176	12.14	60.7	0.29
5*	607	540	390	748	176	12.14	60.7	0.29

*Угаагаагүй дүүргэгчтэй бетон

3.5.1. Шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмагийн шинж чанарыг туршсан дүн

Бетон зуурмагаас ASTM C172-ийн дагуу дээж авч, дараах шинж чанаруудыг туршив (3.14-р хүснэгт). Туршилтын дүнгээс харахад ус цементийн харьцаа ихсэхэд бетоны дундаж нягт буурч байна. Энэ нь нүх сүвний хэмжээ ихсэж, бетоны сийрэгжилт үл ялиг нэмэгдэж байгааг харуулж байна. Бетоны тархалтыг ASTM C1611-д заасны дагуу туршсан бөгөөд ус цементийн харьцаа ихсэхэд тархалт нэмэгдэж байна. Тархалтын дүнгээс харахад 630-665 мм, T₅₀ хугацаа нь 3.5-6 секунд байгаа нь өөрөө нягтардаг бетон болох нь батлагдаж байна.

3.14-р хүснэгт

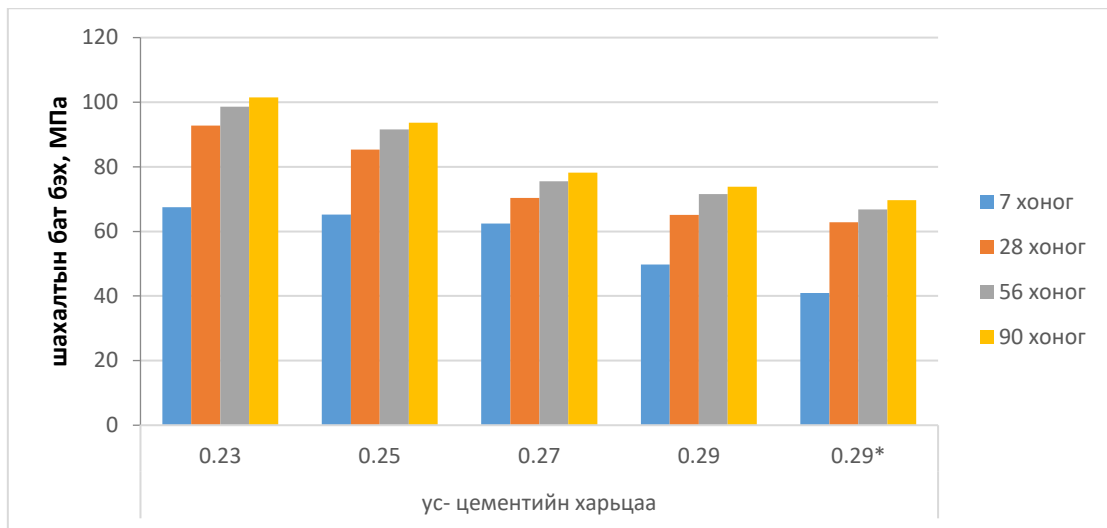
Шинээр бэлтгэсэн бетон зуурмагийн шинж чанарыг туршсан дүн

№	Үзүүлэлтүүд	Хэмжих нэгж	Ус-цементийн харьцаа				
			0.23	0.25	0.27	0.29	0.296
1	Нягт	г/см ³	2474	2320	2283	2209	2180
2	Тархалт	мм	630	643	650	665	655
	T ₅₀	сек	6	5.5	4	3.5	3.6
3	Агаар агууламж	%	3.2	3.2	3	3.3	3.3
4	Бетоны температур	°C	18	18	18	18	17.5

3.5.2. Бэхжсэн бетоны шинж чанарын судалгаа

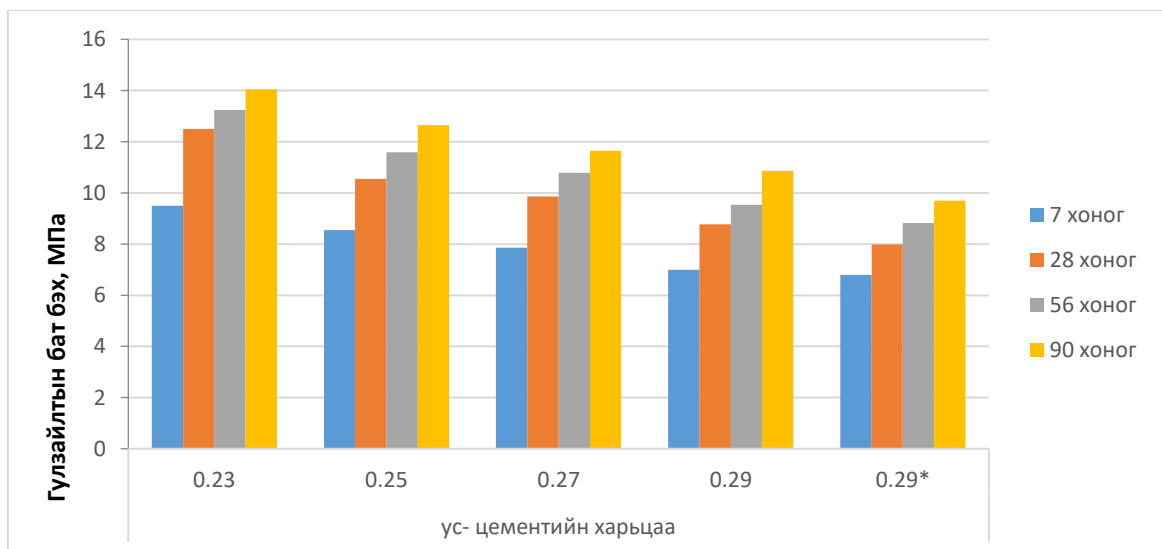
3.5.2.1 Бетоны бат бэхийг туршсан дүн

Сорьцыг 7, 14, 28, 56, 90 хоногийн турш стандарт орчинд арчилж бэхжүүлсний дараа 3 үлгэрийн дундаж үзүүлэлтээр шахалтын болон гулзайлтыг бат бэхийг тодорхойлсон дүнг 3.22-р зурагт үзүүлэв.



3.22-р зураг. Бетоны ус-цементийн харьцаа ба шахалтын бат бэхийн хамаарал

Шахалтын бат бэхийг судалсан дүнгээс харахад ус-цементийн харьцаа ихсэх тутам шахалтын бат бэхийн утга буурч байна. Уг судалгааны ажлын зорилго нь В60 ангийн буюу 80МПа шахалтын бат бэхтэй бетон гарган авах байсны дагуу ус-цементийн харьцаа нь 0.23 болон 0.25 байх үед 28 хоногийн дараах бат бэхийн утга 92.8МПа ба 85МПа гарч байгаа нь тавьсан зорилгоо биелүүлж чадсан байгааг харуулж байна. Бүх сорьц дээр бэхжилтийн 56 хоног хүртэл бетоны бат бэхийн дундаж өсөлт 20% -тай явагдаж байснаа 90 хоног хүрэхэд бэхжилтийн хурд багассан байна. Гэхдээ цахиурын тоосонцор нэмэлттэй ердийн 42.5 ангийн портландцементэн бетон бүх сорьцын бат бэхийн утга нь 55МПа-аас их гарч байгаа нь өндөр бат бэхтэй бетоны ангилалд хамаарагдаж байна. Гулзайлтын бат бэхийг туршсан дүнгээс харахад мөн л дээрх зүй тогтол ажиглагдаж байна (3.23 дугаар зураг). Тухайлбал ус-цементийн харьцаа 0.23 байхад 28 хоногийн гулзайлтын бат бэх 12.5 МПа байсан бол 0.29 болоход 8.75 МПа болж буурч байна.



3.23-р зураг. Бетоны ус-цементийн харьцаа ба гулзайлтын бат бэхийн хамаарал

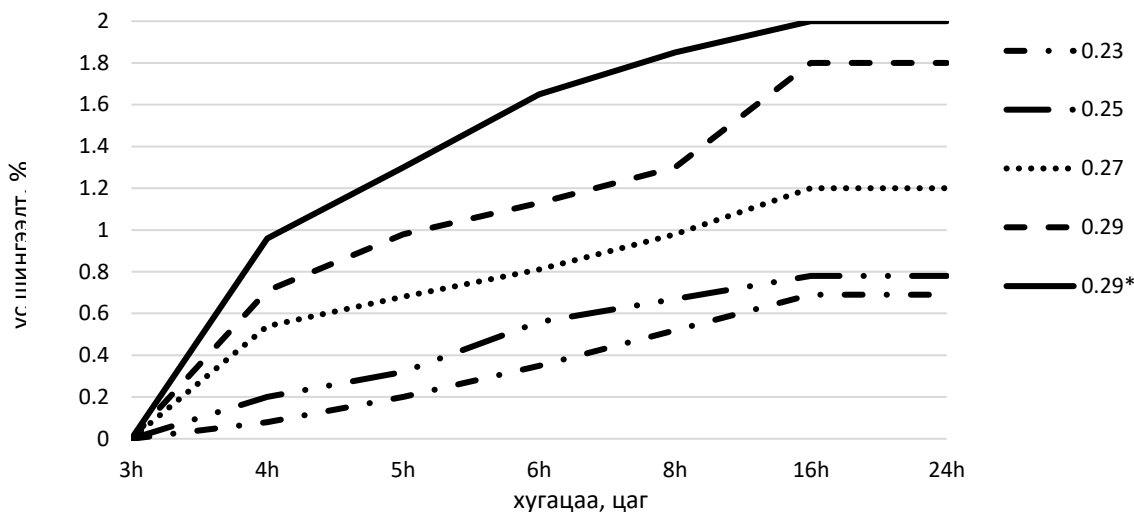
Ус цементийн харьцааны онолоор ус цементийн харьцаа багасах тутам бетоны бат бэх сайжирна. Өөрөөр хэлбэл усны орц багассанаар бетоны бүтэц сайжирдаг. Цахиурын тоосонцор нэмснээр бат бэхийн өсөлт явагдаж байгаагийн учир нь цахиурын тоосонцрын ба портландцементийн жижиг хэсгүүдийн хооронд пуццолонжих урвал явагдаж байгаатай холбоотой. Тухайлбал, микро цахиур нь цементийн зуурмагийн гидратацийн процессийн дүнд үүсэж байгаа кальцийн ислийн гидраттай харилцан үйлчлэлцэж кальцийн гидросиликат нэгдлүүдийн хоёрдогч гелийг үүсгэнэ. Микро цахиур нэмсэн тохиолдолд гидратацийн процессын хурд эхэн үед нэлээд хэдэн цагийн турш нэмэгддэг. Энэ нь гидроксил ионууд болон шүлтийн ионууд микро цахиурын гадаргууд нэвчиж байгаатай холбоотой юм. Мөн чөлөөт усны хэмжээ багасаж, бүтэц нягтрах боломжийг бий болгодог байна[36].

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны шахалтын бат бэхийг туршсан үзүүлэлтийг Стандарт Хэмжил Зүйн Үндэсний төвөөр магадлан итгэмжлэгдсэн 3 лабораторид бетон шоо сорьц өгч баталгаажуулав (Хавсралтад хавсаргав).

3.5.2.2 Бетоны ус шингээлтийг туршсан дүн

Бетоны ус шингээлт нь 2 үе шаттай явагдана. Эхэн үеийн адсорбц нь 6 цагийн турш, дараагийн үе нь 7 хоногийн турш ус шингээлтийг судалдаг. Туршилтын бетон сорьцуудын хувьд ус-цементийн харьцаа нэмэгдэхэд ус шингээлт нэмэгдэж байгааг туршилтын дүнгээс харж болно (3.22-р зураг). Ус-цементийн харьцаа 0.29 байх үед ус шингээлтийн тоон утга хамгийн өндөр утгатай байгаа бөгөөд угаагүй дүүргэгчтэй үед илүү өндөр утгыг үзүүлсэн байна.

Бетон устай шүргэлцэх үеэс эхлэн адсорбцийн процесс явагдаж эхэлдэг. Өндөр үзүүлэлттэй бетон учраас ердийн хүнд бетоной харьцуулахад ус шингээлтийн тоон утга харьцангуй бага утгатай гарч байна. Адсорбцийн эхэн үе шат нь 4 цагаас эхэлж, дараагийн үе шат нь 16 цагийн дараа тогтмолжиж байна. Өөрөөр хэлбэл бетоны ус шингээлт 4 цагийн дараагаас эхлэн явагдаж 16 цагийн дараа дууссан буюу ус шингэхээ больж тогтмолжсон байна. Эндээс уг бетон нягт бүтэцтэй, нүх сүв багатай, сийрэгжилт багатай байгааг гэрчилж байгаа бөгөөд энэ нь ус үл нэвтрүүлэх чадвартай, сульфат, хлорид, шүлтийн ионы үйлчлэлд тэсвэртэй байх боломжийг бүрдүүлдэг байна.



3.24-р зураг. Ус шингээлтийг судалсан үр дүн

3.5.2.3 Бетоны хүйтэн тэсвэрлэлтийг судалсан дүн

Сорьцын хүйтэн тэсвэрлэлтийг тодорхойлохдоо ASTM C666-д заасан аргачлалын дагуу Солонгос Улсад үйлдвэрлэсэн HD-E702-800 маркийн арчилгааны шүүгээнд явуулав. Туршилтыг явуулахдаа 15x15x15см шоо хэлбэртэй сорьцын жингийн хорогдлыг хэмжих замаар хүйтэн тэсвэрлэлтийг тодорхойлсон.



3.25-р зураг Хүйтэн тэсвэрлэлтийг туршиж буй байдал

Туршилтын үр дүнгээс харахад ус-цементийн харьцаа нэмэгдэхэд бетоны нягт багасаж, ус шингээлт нэмэгдэж, нөөц нүх сүв ихсэж байгаа тул хүйтэн тэсвэрлэлтийн цикл буурч байгаа зүй тогтол ажиглагдаж байна (3.15-р хүснэгт).

3.15-р хүснэгт.

Хүйтэн тэсвэрлэлтийг судалсан дүн

Үзүүлэлт	нэгж	Ус-цементийн харьцаа				
		0.23	0.25	0.27	0.29	0.29*
Хөлдөөлт гэсгээлт	Цикл	420	410	390	370	365

Гэхдээ сорьцын хүйтэн гэсвэрлэлт нь 365-420 цикл байгаа нь бетоны бүтэц нягт, нэгэн төрлийн гэдгийг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл цементийн чулууны эзлэхүүнд нөөц нүх сүв, ан цав жигд тархсан төдийгүй нүх сүвний радиус жижиг, нарийн ширхэгтэй байгаа тул хөл д өлтийн үед тэдгээрт ус шахагдан орж, дотоод даралт үүсгэж чадахгүй байгаатай холбоотой юм.

3.5.2.4 Бетоны ус үл нэвтрүүлэлтийг тодорхойлсон дүн

Бетоны ус үл нэвчилтийг тодорхойлох нь бетоны бат бэх ба удаан эдэлгээт чанарыг баталгаажуулах нэг хэмжигдэхүүн юм. Бетоны ус үл нэвчилтийг Хятад улсад үйлдвэрлэсэн НР 4.0 маркийн багажийн дээр явуулсан.

Туршилтын дүнд сорьцын ус үл нэвтрүүлэлтийн утга W 12 – W20 гэсэн утгатай гарч байгаа нь ердийн бетонтой харьцуулахад (W8) өндөр утгатай гарч байгаа тул бетон нягт, жигд бүтэцтэй, өндөр бат бэхтэй бетон болохыг дахин баталж байна (3.16 дугаар хүснэгт). Ус-цементийн харьцаа багасахад ус үл нэвтрүүлэх чадвар нэмэгдэж байна. Тухайлбал: ус цементийн харьцаа 0.23 үед ус үл нэвтрүүлэлт 20 байснаа у/ц 0.29 болоход W12 болж буурч байна.



3.26-р зураг Ус нэвтрүүлэлтийг туршиж буй байдал

3.16-р хүснэгт

Ус үл нэвтрүүлэх чадварыг судалсан дүн судалсан дүн

Үзүүлэлт	нэгж	Ус-цементийн харьцаа				
		0.23	0.25	0.27	0.29	0.29*
Ус үл нэвтрүүлэх чадвар	МПа	2	1.8	1.6	1.4	1.2
	W	20	18	16	14	12

Энэ нь цахиурын тоосонцрыг нэмж өгснөөр гидратацийн бүтээгдэхүүн нэмэгдэж, жижиг хэсгүүдийн завсар хоорондын зай багасаж, бүтэц нягт болсонтой холбоотой юм.

3.5.2.5 Бетоны температурын үйлчлэлийг даах чанарыг судалсан дүн

Орчин үед бетоны барилга техникийн шинж чанарт температурын үйлчлэлийг даах чанарын судалгааг хийж байна. Өөрөөр хэлбэл бетон богино хугацааны температурын үйлчлэлийг шатахгүйгээр тэсвэрлэх чадварыг туршсан болно. Температурын үйлчлэл даах чадварыг тодорхойлохдоо туршилтад 28 хоног бэхжүүлсэн 15x15x15см шоо хэлбэртэй сорьц авч муфель зууханд 200, 400, 600, 800⁰С -д 2 цаг шатаахад бат бэхийн хувьд өөрчлөлт гараагүй тул 4 цаг болгоод, тасалгааны температуртай болтол нь хөргөсний дараа шахалтын бат бэхийг нь тодорхойлсон.



3.27-р зураг Сорьцын температурын үйлчлэлийг туршиж буй байдал

3.17-р хүснэгт

Температурын үйлчлэл даах чанарыг туршсан дүн

Үзүүлэлт	Температур, °C	Ус-цементийн харьцаа				
		0.23	0.25	0.27	0.29	0.29*
Шатаасны дараах үлдэгдэл бат бэх,%	200	110	103	102	100	100
	400	100	100	100	100	100
	600	82	80	76	69	65
	800	56	54	49	46	45

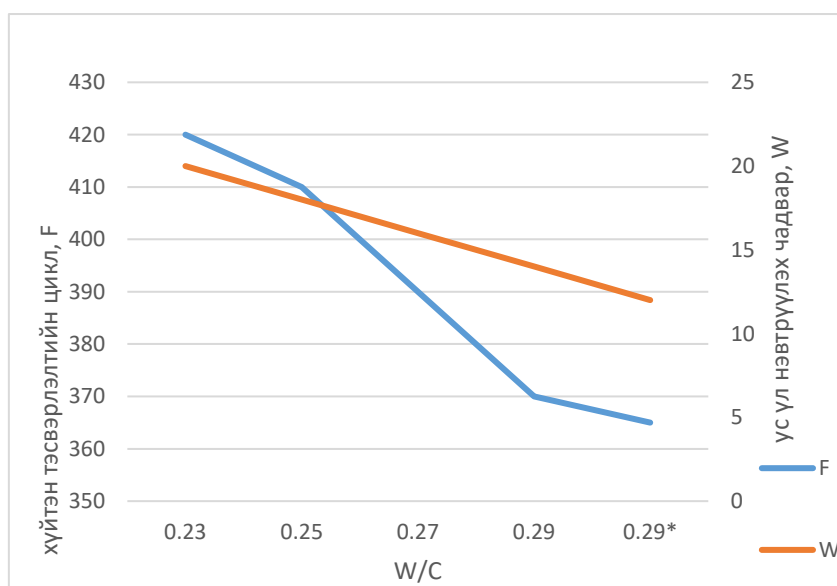
Туршилтын дүнгээс харахад бетон сорьцын хувьд 200⁰С температурын утгад бат бэхийн өсөлт явагдсан байгаа нь энэ температурт бетон сорьцын бэхжилтэд эерэг нөлөө үзүүлсэн буюу дулааны боловсруулалт явагдсан болох нь харагдаж байна. Харин 400⁰С-ийн температур т бат бэхийн хувьд ямар нэгэн өөрчлөлт байхгүй мэт боловч дотоод бүтцэдээ зарим чөлөөт болон химийн холбоотой ус алдагдах нь тодорхой юм. Температурын цаашдын ихсэлтэд 600⁰С-ээс эхлэн химийн холбоотой ус бүрэн алдагдах, дүүргэгч задарч хэв гажилт үүсэх, гидратацийн дүнд үүссэн зарим нэг эрдсүүд задарсны дүнд бат бэх алдагдаж байгаа нь харагдаж байна.

Цементийн гидратацийн дүнд C-S-H гель болон Ca(OH)₂ портландит үүсдэг. Портландит чөлөөт хэлбэрээр байх нь цементийн бэхжилтэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Энэ үүссэн чөлөөт портландиттэй микро аморф цахиур харилцан үйлчлэлцэж, пуццолон SF+CH+N=C-S-H* хоёрдогч C-S-H* гелийг бий болгоно. Хоёрдогч пуццоланик C-S-

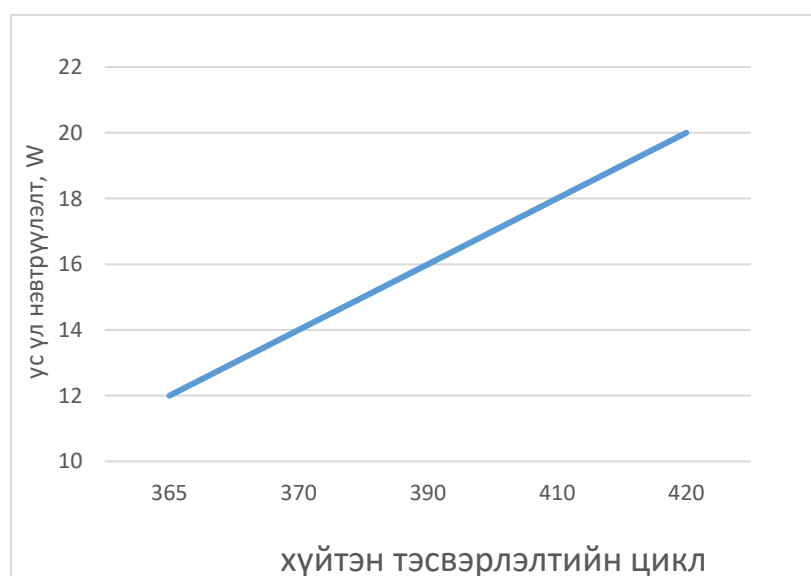
Н * гелъ үүссэнээр матрицын бичил бүтцэд хатуу биетээс хатуу төлөвт холболт сайжирч, бат бэх, удаан эдэлгээт чанар сайжирна.

Бетоны удаан эдэлгээт чанарт тоон үзүүлэлт байдаггүй боловч хэрэглээ ашиглалтын явцад шалгагдах чанарыг илэрхийлдэг.

Хүйтэн тэсвэрлэлт, ус үл нэвтрүүлэх чадвар, температурын үйлчлэл даах чадвар зэрэг хэмжигдэхүүнүүд нь удаан эдэлгээт чанарын үзүүлэлтүүд болж өгдөг. Эдгээр үзүүлэлтүүдийн хоорондох хамаарлын графикийг байгуулж, аль нэг үзүүлэлт нь байхад бусад үзүүлэлтийг график дээрээс тодорхойлох боломжийг судлав.

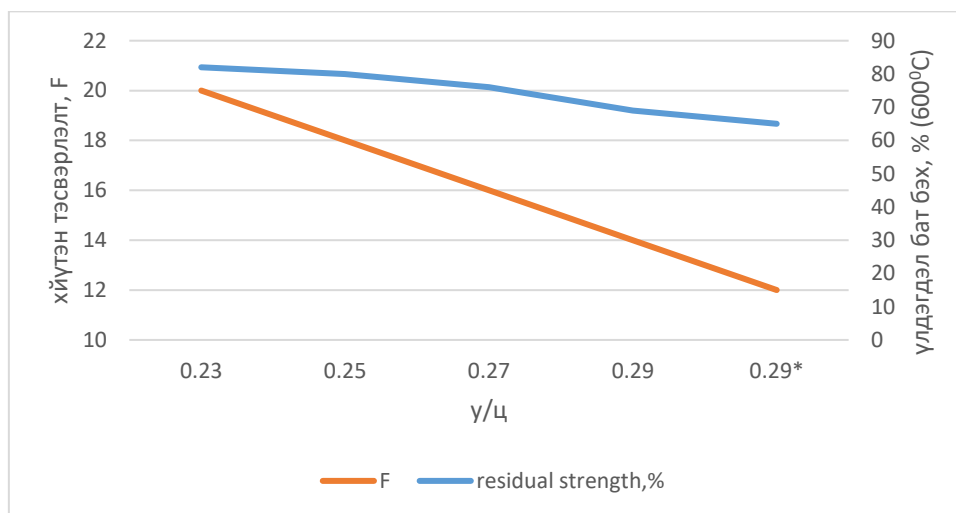


3.28-р зураг. Ус-цементийн харьцаа, хүйтэн тэсвэрлэлт ба ус үл нэвтрүүлэх чадварын хамаарал



3.29-р зураг. Хүйтэн тэсвэрлэлт ба ус үл нэвтрүүлэх чадварын хамаарал

3.29-р зураг дээрээс харахад хүйтэн тэсвэрлэлтийн циклийн тоо нэмэгдэх тусам ус үл нэвтрүүлэлтийн тоон утга мөн нэмэгдэж байна. Эндээс тодорхой хязгаарын дотор ус-цементийн харьцааг өөрчлөхөд хүйтэн тэсвэрлэлтийн цикл болон ус үл нэвтрүүлэлтийн утгыг урьдчилан таамаглах боломжтой юм. Тухайлбал, ус-цементийн харьцаа 0.28 үед хүйтэн тэсвэрлэлт F380 цикл, ус үл нэвтрүүлэлт W13 байна гэсэн тоон үзүүлэлтийг гаргаж болох юм. Түүнчлэн зөвхөн нэг утга нь мэдэгдэж байхад нөгөө утгаа тодорхойлох боломжтой. Гэхдээ энэ талын судалгааг цаашид үргэлжлүүлэн нарийвчлан судалж баталгаажуулах шаардлагатай юм.



3.30-р зураг Хүйтэн тэсвэрлэлт ба үлдэгдэл бат бэхийн хамаарал

Дээрх 2 үзүүлэлт болох хүйтэн тэсвэрлэлт, ус үл нэвтрүүлэлтийн утгаас хамааран температурын үйлчлэл даах чадварыг тодорхойлох боломжтой юм.

3.5.2.6 Бетоны макро бүтцийн судалгааны дүн

Макро бүтцийг бетоныг бүрэн бэхжилтээ авсны дараа буюу 28 хоногийн дараа шахалтын бат бэхийг туршиж эвдэлсний дараах сорьцын хагарлыг нүдэн баримжаагаар харж оношилсон (3.31-р зураг).



3.31-р зураг. Бетоны макро бүтцийн зураг

Хагарлын байдлыг харахад бетон эвдрэхдээ дүүргэгч нь дундуураа хуваагдаж хагарч байгаа учраас бат бэхийн хувьд хангалттай болох нь харагдлаа. Өөрөөр хэлбэл цементийн зутан ба дүүргэгчийн хооронд барьцалдалгааны бүс хангалттай хэмжээнд үүссэн байна.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны найрлагыг тогтоож, түүний физик механик шинж чанар болон удаан эдэлгээт чанарыг үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон дүнг үндэслэн дараах дүгнэлтийг гаргаж байна.

Өндөр бат бэхтэй бетон гарган авахад түүхий эдийн чанарт онцгой анхаарч дүүргэгчийн хувьд тоос шаварлаг хольцыг угааж баяжуулах нь зүйтэй гэдэг нь судалгааны ажлын дүнд тогтоогдож байна. Баяжуулсан дүүргэгч ашиглаж хийсэн бетон зуурмагийн шинж чанарын үзүүлэлтүүд нь баяжуулаагүй дүүргэгчтэй бетоноос эрс өндөр байна.

Цементийн жингийн 10%-д цахиурын тоосонцор, 2%-д Sika “Viscocrete 5510“ уян налархайжуулагч нэмэлтийг нэмж өгснөөр бетоны бат бэхийг нэмэгдүүлж, ус-цементийн харьцааг бууруулсан төдийгүй хөдөлгөөнт чанарыг нэмэгдүүлж чадсан. Бетоны бат бэхийн өсөлтөд цахиурын тоосонцор чухал нөлөө үзүүлсэн бөгөөд үүнийг дараах байдлаар тайлбарлаж байна. Үүнд:

- Цементийн пуццолонжих урвалыг идэвхжүүлж, кальцийн гидросиликат нэгдлүүдийн хоёрдогч гель үүсэлтийг нэмэгдүүлж, гидратацийн хурдыг эрчимжүүлсэн;
- Бетоны завсар хоорондын зайг бөглөж, нүх сүв, сийрэгжилтийг бууруулсан;
- Дүүргэгч ба цементийн зутангийн шилжилтийн гадаргуугийн барьцалдалтыг нэмэгдүүлсэнтэй холбоотой гэж үзэж байна.

Өндөр бат бэхтэй бетоны хувьд ус-цементийн харьцаа нь 0.23-0.25-ийн хооронд байх нь хамгийн тохиромжтой байна. Тухайлбал: У/Ц харьцаа 0.23 байх үед 28 хоногийн дараах шахалтын бат бэх нь 92.8 МПа, 0.25 болоход 85МПа гэсэн утгыг үзүүлж байна. Бетон хольцийн хэвлэгдэх чанарыг конусын тархалтаар тодорхойлоход 630-655 мм гарч байгаа нь доргиулахгүйгээр өөрөө нягтардаг бетоны ангилалд хамаарагдаж байгаа нь тогтоогдов.

Барилга байгууламжид түгээмэл ашиглагдаж байгаа В30 хүртэл ангийн ердийн бетоны температурын үйлчлэл даах чанар 200⁰С байдаг бол уг өндөр бат бэхтэй бетоны хувьд 4000С-д бат бэхийн болон жингийн хорогдол үүсэхгүй байгаа нь нягт бүтэцтэй болохыг харуулж байна. Түүнчлэн уг бетоны хүйтэн тэсвэрлэлт нь 420 цикл, ус үл нэвтрүүлэх чадвар нь W20 маркийг хангаж байгаа нь бетоны бүтэц жигд, нягт, удаан эдэлгээтэй болохыг давхар баталж байна.

Бетоны дотоод бүтцийн XRD -ийн шинжилгээний үр дүнгээс харахад бага суурьтай гидросиликат нэгдлүүдийн үүсэлт нэмэгдэж, өндөр суурьт фазын агууламж буурсан байгаа нь бат бэх нэмэгдэж байгааг гэрчилж байна.

3.5.2.6 Бетоны бэхжилтэд орчны нөлөөг судалсан дүн

Өндөр үзүүлэлттэй бетоны дараах шинж чанарт хадгалалтын буюу арчилгааны зүгээс нөлөө үзүүлнэ. Үүнд: бетоны удаан эдэлгээт чанарын өсөлт, бат бэхийн болон ус нэвтрүүлэхгүй байх чадварын өсөлт, элэгдэл тэсвэрлэлт, эзлэхүүний өөрчлөлт гарах эсэх, олон удаагийн хөлдөлт гэсэлтийг тэсвэрлэх чадвар, мөсжилт болон мөсний хайлалтаас үүсэх сөрөг үр дагаврыг тэсвэрлэх чадвар гэх мэт. Бэхжилтийн эхний үе шат буюу бүтэц болон бат бэх бүрэлдэн тогтох тэр үе шатандаа бетон хөлдөлт гэсэлтийн болон хуурайшилтын зүгээс үүсэх үйлчлэлийг маш хүчтэй мэдэрдэг юм. Энэ онцлог үе шатанд бетоны бэхжүүлэн орчин маш чухал байдаг.

Портландцементэн бетоныг хэвлэснээс хойш хугацаа өнгөрөх тутам цемент ба усны хооронд химийн урвал явагдаж бетоны бат бэх болон удаан эдэлгээт чанар өсөж байх болно.

Бетон зуурмаг бэлтгэхэд орсон бүх ус цементтэй химийн урвалд орж өндөр бат бэхтэй шинэ нэгдэл үүсгэхгүй. Зуурмагт орсон усны зарим хэсэг цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүдтэй урвалд орж байхад зарим хэсэг нь хүрээлэн байгаа орчиндоо уур байдлаар алдагдаж байдаг юм. Өндөр үзүүлэлттэй бетоныг хэвлэснээс хойш эхний гурав хоногт цементийн гидратацийн процесс харьцангуй хурдан явагдана. Харин энэ хугацаанд бетонд орсон усыг алдалгүй хадгалж байх асуудал юу юунаас чухал байх болно. Хэрэв энэ хугацаанд усыг ууршуулаад хүрээлэн байгаа орчинд нь алдвал бетоны бат бэх буурах учир үүнээс урьдчилан сэргийлж, ус ууршихаас найдвартай хамгаалах хэрэгтэй.

Хэрэв бэхжилтийн таатай орчныг тасралтгүй бүрдүүлж чадвал 28 хоногийн дараах бат бэх нь нэг жилийн дараа бараг 50 гаруй хувиар өсөж болох талтайг 2018-2020 онд ДаТС-ийн бетон судлалын лабораторид цахиурын тоосонцортой цемент ашиглаж туршсан үр дүнгээс тодорхой байна. Харин 28 хоног стандартын нөхцөлд бэхжүүлээд цаашид агаарын хуурай нөхцөлд хадгалбал 28 хоногоос хойш 1 сар гаруй хугацаанд бат бэхийн өсөлт ажиглагдаад цаашдын хугацаанд бат бэхийн өсөлт гарахгүй (3.32-р зураг).

Бетоныг хэвлэснээс хойш тасалгааны хуурай нөхцөлд (тасалгааны температур 18-20⁰С, харьцангуй чийглэг φ=60-65%) нэг бүтэн жилийн турш хадгалахад 28 хоногоос хойших нийт хугацаанд бат бэхийн өсөлт гарахгүй байна. Харин стандартын нөхцөлд 28 хоног бэхэжсэн бетоны бат бэхээс даруй 20-25%-иар бага байна. Энэ бол тасалгааны температур нь бетоны бэхжилт хэвийн хурдаар явахад хангалттай төдийгүй тохиромжтой

температур байгаа боловч чийг дутагдаж байгаагаас болоод цементийн гидратацад ус хүрэлцэхгүй болсон учир бат бэхийн өсөлт зогсолтод орж байна.



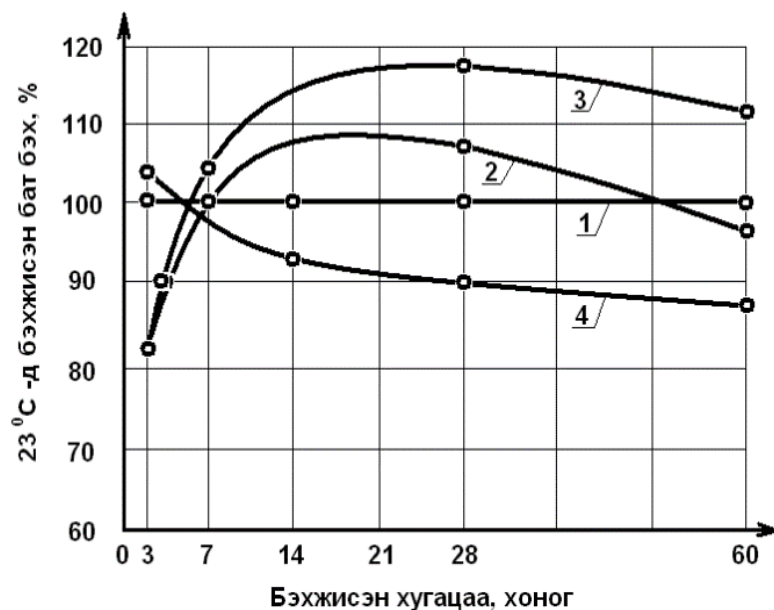
3.32-р зураг. Хүрээлэн байгаа орчны чийглэг нөхцөлөөс бат бэхийн өсөлт хамаарах байдал. (Цахиурын тоосонцор нэмсэн цементээр 2018-2020 онд хийсэн туршилт).

1 - жилийн турш стандартын нөхцөлд бэхжсэн, 2 - 28 хоног стандартын нөхцөлд цаашид агаарт, 3 - 7 хоног стандартын нөхцөлд цаашид агаарт, 4 – Тасалгааны хуурай нөхцөлд 365 хоног хадгалсан.

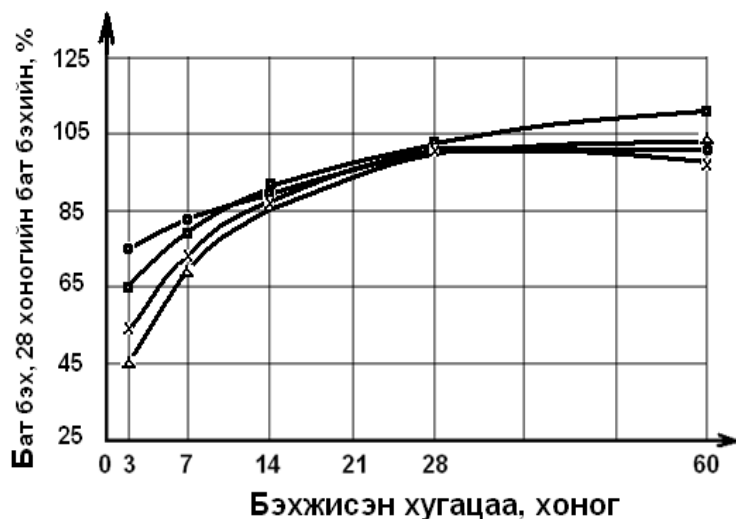
Хүрээлэн байгаа орчны температураас бэхжиж байгаа бетоны бат бэхийн өсөлт хэрхэн хамаарч болохыг 3.33-р зураг дээр үзүүлэв.

Хэвлэсний дараа 16-17⁰С температуртай байсан бетон зуурмагийн температурыг тэр хэмжээнд нь хадгалаад байхад 3 хоногт 28 хоногийнхоо бат бэхийн 40 гаруй хувийг долоо хоногт 70 орчим хувийг авч байна. Харин 20-21⁰С -ийн температуртай бетон зуурмагийг 100С-ийн температуртай орчинд бэхжүүлбэл 7 хоногт 28 хоногийн бат бэхийнхээ 70% орчмыг авч байна. Бетон зуурмагийн эхний температур (хэвлэх үеийн температур) болон бэхжилт явагдах температур өндөр байхад эхний 3-7 хоногийн бат бэх өндөр байгаа боловч 28 хоногийн дараах бат бэх нь туршилт хийсэн бүх температурт бүгд ижил байна (3.33-р зураг).

Хэрэв 20-21⁰С-ийн температуртай бэлэн болсон бетон зуурмагийг тэр температурын нөхцөлд нь хадгалж бэхжүүлсэн 3., 7, 14, 28, 60 хоногийн дараах бат бэхийг 100% гэж үзээд 100С температуртай бэлэн болсон бетон зуурмагийг 210С -т хадгалахад 3 хоногт дээрх нөхцөлийн 85%-ийг 7 хоногт 105%, 28 хоногт 117-118%-ийг тус тус авч байна (3.34-р зураг).



3.33-р зураг. Бат бэхийн өсөлтөд арчилгааны температурын нөлөө.



3.34-р зураг. Бат бэхийн өсөлтөд арчилгааны температурын нөлөө.
 о -31/310С, о -21/210С, х -21/100С, -9/90С. хүртвэрт цутгах үеийн температур, хуваарьт арчилгааны үеийн температур.

Өндөр үзүүлэлтэй бетон зуурмагт орсон цементийн хэмжээ их, ус-цементийн харьцаа бага (ус-цементийн харьцаа 0.3-аас бага) тул өөрийн гэсэн онцлогтой арчилгаа шаардагдана. Бэхжилтийн явцад цемент бүрдүүлэгч эрдсүүд устай харилцан урвалд орсны улмаас бетоны төвийн хэсэг дахь чөлөөт усны агууламж багасаж тэр хэсгийн чийглэг буурна. Хэрэв бетоны төвийн хэсгийн харьцангуй чийглэг 80%-иас доош болж буурвал цементийн гидратац үндсэндээ зогсолтод орно. Үүний уршгаар бетоны гадаргуу хуурайшиж бетоны гадаргууд ан цав үүсэж бат бэх болон удаан эдэлгээт чанар нь муудах болно.

Бетонд чийг дулааны боловсруулалт хийх замаар бат бэхийг богино хугацаанд олгодог. Бетоныг уураар халааж эхлэхдээ температурыг аажим хурдаар өргөнө. Өөрөөр хэлбэл бетоны гадаргуу ба төвийн хэсгийн температурын зөрүү 10°C -ээс хэтэрч болохгүй. Энэ шаардлагын үүднээс авч үзвэл нэг цагт $15-20^{\circ}\text{C}$ -ээр температурыг өргөнө. Портландцементэн бетонд атмосферийн даралттай уураар дулааны боловсруулалт хийхэд $70-80^{\circ}\text{C}$ -ийн температур байхад хангалттай байдаг. Тийм учраас $16-18^{\circ}\text{C}$ температуртай бетоныг уураар боловсруулахын тулд 2-3 цагийн турш температурыг өргөх хэрэгтэй байна. Хэрэв температурыг өгөгдсөн хэмжээнээс илүү хурдан өсгөвөл бетоны гадаргуугийн температур ба төвийн хэсгийн температурын хооронд зөрүү гарснаас болоод гадаргуугийн хагарал үүсэх болно. Гадаргуугийн өндөр температуртай нимгэн үе агшилтад орж байхад төвийн хэсэг агшилтад орохгүй байгаа учир дотоод хүчдэл үүсэж улмаар хагарал гарахад хүргэж байгаа юм. Ийм учраас температурын их зөрүү гарахаас байнга урьдчилан сэргийлж байвал зохино. Бетоны төвийн хэсгийн температур $70-80^{\circ}\text{C}$ хүрснээс хойш бетоны зузаанаас шалтгаалан энэ температурт 4-8 цаг барилт хийнэ. Энэ хугацаанд цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүд үндсэндээ задарч, устай нэгдэж өндөр бат бэхтэй бөгөөд тогтвортой нэгдлүүдийг үүсгэнэ. Өөрөөр хэлбэл цементийн гидратац амжилттай явагдана. Гэхдээ цементийн эрдсүүд бүгд устай бүрэн гүйцэд нэгдэж чадахгүй.

Уураар боловсруулах температурын хэмжээнээс бат бэх хамаарна. Жишээлбэл: $50-52^{\circ}\text{C}$ -ийн температуртай уураар 18 цаг (ердийн температурт барих-5 цаг, температурыг өргөх-3цаг, эцсийн температурт барих-7-8цаг, температурыг бууруулах 2-3 цаг) боловсруулахад 28 хоногийнхоо бат бэхийн 50 гаруйхан хувийг, $60-65^{\circ}\text{C}$ -ийн температурт 60 гаруй хувийг, $75-80^{\circ}\text{C}$ ийн температурт 65-66%-ийн бат бэхийг авч байна. 65°C -ээс дээшх температурт боловсруулснаар бат бэхийн өсөлт тийм ч их биш байдаг нь эндээс тодорхой харагдаж байна.

Судалгаанаас үзэхэд агаарын хуурай нөхцөлд Хөтөл Цемент шохойн үйлдвэрийн 42.5 ангийн портландцементээр хийсэн 60 ангийн бетон 28 хоногийн бат бэхийнхээ 68%-ийг авч байна. Харин цаашид нэг жилийн турш атмосферийн нөхцөлд хадгалахад 60 ангийн бетон 68 МПа хэмжээний бат бэхтэй болж байна. Гэтэл дээрх бетоныг стандартын нөхцөлд нэг жилийн турш хадгалахад 142 МПа болж өссөн байна. Энэ бол монгол орны цаг уурын нөхцөл бетоныг удаан хугацааны туршид бэхжиж өндөр бат бэхтэй болох боломжгүй гэсэн дүгнэлтэд хүргэж байна. Цаг уур хуурайшилт ихтэй байдаг нь ийнхүү бат бэхийн өсөлт бага байх шалтгаан болж байна.

Тогтмол өндөр температурт боловсруулсны дараа 1 цагт $15-20^{\circ}\text{C}$ -ээр температурыг бууруулахыг зөвлөнө. Ийнхүү температурыг аажмаар бууруулдаг нь мөн л температурын

зөрүү гарахаас сэргийлж байгаа хэрэг юм. Температурыг огцом хурдаар бууруулбал бетоны гадаргуугийн нимгэн үенээс ус, чийг нь маш хурдан уурших болно. Уур үүсэлт эрчимтэй явагдаж байгаа бол бетоны гадаргууд эзлэхүүний тэлэлт гарч улмаар хагарал үүсэх нөхцөл бүрдэнэ. Ялангуяа зузаан бетоны температурыг бүүр аажим бууруулах хэрэгтэй байдаг.

Атмосферийн даралттай уураар дулааны боловсруулалт хийсний үр дүнд портландцементэн бетон ердийн нөхцөлд 7 хоногт олж авдаг бат бэхээ 12-14 цагийн дотор олж авч байна. Энэ бол барилга угсралтын ажлыг эрс хурдасгаж байгаа сайн тал байгаа боловч дутагдалтай тал байдаг. Уураар дулааны боловсруулалт хийсэн бетон 28 хоногийн дараа ердийн нөхцөлд бэхжихдээ олж авдаг бат бэхээ олж авч чаддаггүй. Энэ нь уураар боловсруулсан бетоны дотоод бүтцэд болон гадаргуу дээр нь нэлээд тооны ан цав үүссэн байдагтай холбоотой юм. Нөгөө талаар температур өндөр байснаас болоод цементийн ширхгүүдийн гадаргуу дээр урвалын үр дүнд үүссэн шинэ коллоид нэгдлийн бүрхүүл нь талст болон хувирч төвийн хэсэгт ус нэвчиж орох боломжгүй болно. Үүний уршгаар цемент гидратацад орж амжилгүй үлдэж цементийн чулууны дотоод бүтэц дотор идэвхгүй дүүргэгчийн үүрэг гүйцэтгэнэ. Ийнхүү цементийн зарим хэсэг устай нэгдэж холбож наах үүрэгтэй шинэ нэгдэл болон хувирч чадаагүйгээсээ болоод чанар нь дутуу ашиглагдаж байгаа учраас уураар боловсруулсан бетоны бат бэх хэзээ ч ердийн нөхцөлд бэхжсэн бетоны бат бэхэд хүрдэггүйн шалтгаан холбоотой юм.

Портландцементэн бетоныг 80°C -ээс дээш температурт боловсруулах шаардлага байхгүй гэдэг нь дээрх дүгнэлттэй холбоотой юм. Портландцементэн бетоныг 80-90 -ийн температурт дээрх цагийн турш боловсруулалт хийсэн ч гэсэн бетоны бат бэхэд мэдэгдэхүй ахиц гарахгүй. Ийм учраас бетоныг уураар боловсруулах температурыг 80°C -ээс багаар тогтоож байгаа юм. Энэ нь нэг талаасаа цахилгаан эрчим хүч хэмнээд зогсохгүй цементийн гидратацид ч эергээр нөлөөлдөг гэдэг нь судлаачдын судалгааны ажлын дүнд батлагдаж байна.

IV БҮЛЭГ. ӨНДӨР ҮЗҮҮЛЭЛТТЭЙ БЕТОНЫ АРЧИЛГАА

4.1. Арчилгааны мөн чанар

Бетон зуурмагийг өгөгдсөн хэв, хашмалд цутгаж, нягтруулж, өнгөлгөө тэгшилгээ хийж дууссаны дараа зураг төсөлд заасан шинж чанартай бетон гарган авахын тулд байвал зохих температур болон чийглэг нөхцөлийг нийт хугацааны туршид хангалттай хэмжээнд хадгалах зайлшгүй шаардлага гарна. Энэ технологи ажиллагааг бетоны арчилгаа гэж нэрлэдэг юм. Төрөл бүрийн зориулалттай бетоны физикийн болон механик шинж чанар, бүтэц бүрэлдэн тогтох процесс үнэн хэрэг дээрээ бетоныг хэвлэснээс хойших арчилгааны үе шатанд явагдана. Эндээс харахад бетоны найрлагаас гадна бэхжилтийн хугацаанд хийсэн арчилгааны төрөл, арчилгааны чанар зэргээс бетоны чанар хамаардаг болох нь тодорхой байна. Ийм учраас бетоны арчилгааны чанарт онцгой анхаарч нарийн журмын дагуу арчилгааг гүйцэтгэх явдал маш чухал байна. Бетоны найрлага зөв, сайн, холилт, хэвлэлтийн ажиллагаа маш сайн хийгдсэн боловч бэхжилтийн үеийн арчилгааг зохих технологийн дагуу хийж чадаагүй бол бетоны чанар хэзээ ч шаардагдах хэмжээний чанарын үзүүлэлттэй байж чадахгүй.

Бэхжилтийн эхний үе шат буюу бүтэц болон бат бэх бүрэлдэн тогтох тэр үе шатандаа бетон хөлдөлт гэсэлтийн болон хуурайшилтын зүгээс үүсэх үйлчлэлийг маш хүчтэй мэдэрдэг юм. Энэ онцлог үе шатанд бетоны арчилгаа нэн чухал гэдгийг санах хэрэгтэй. Портландцементэн бетоныг хэвлэснээс хойш хугацаа өнгөрөх тутам цемент ба усны хооронд химийн урвал явагдаж бетоны бат бэх болон удаан эдэлгээт чанар өсөж байх болно. Гагцхүү урвал явагдах таатай нөхцөл бүрдүүлэх нь чухал юм. Энэ нөхцөлийг бүрдүүлэх ажиллагааг бетоны арчилгаа гэж нэрлэдэг.

Өндөр үзүүлэлттэй бетоныг хэвлэснээс хойш эхний гурав хоногт цементийн гидратацийн процесс харьцангуй хурдан явагдана. Харин энэ хугацаанд бетонд орсон усыг алдалгүй хадгалж байх асуудал юу юунаас чухал байх болно. Хэрэв энэ хугацаанд усыг ууршуулаад хүрээлэн байгаа орчинд нь алдвал бетоны бат бэх буурах учир үүнээс урьдчилан сэргийлж, ус ууршихаас найдвартай хамгаалах хэрэгтэй.

Бетоны бэхжилтийн явцад хийсэн арчилгаа тохирсон бол янз бүрийн нөхцөлөөс болоод үүсэх дотоод хүчдэл болон үрэлт ба элэгдэл тэсвэрлэлт, хөлдөөлт, гэсгээлтийг тэсвэрлэх чадвар нь хангалттай сайн байх болно. Гэхдээ арчилгааг хийсэн хугацаанаас бат бэхийн өсөлт хамаарна.

Бетоны бат бэхэд болон түүний өсөлтөд арчилгаанд хэрэглэж байгаа арга болон арчилгааны материалын төрөл, арчилгаа хийгдэж байгаа эдлэл бүтээцийн хэлбэр хэмжээ зэргээс арчилгааны эцсийн үр дүн их хэмжээгээр хамаарна.

Бетон зуурмагт орсон цементийн хэмжээ их, ус-цементийн харьцаа бага (ус-цементийн харьцаа 0.3-аас бага) байгаа тохиолдолд өөрийн гэсэн онцлогтой арчилгаа шаардагдана. Хэрэв бетоны төвийн хэсгийн харьцангуй чийглэг 80%-иас доош болж буурвал цементийн гидратац үндсэндээ зогсолтод орно. Үүний уршгаар бетоны гадаргуу хуурайшиж бетоны гадаргууд ан цав үүсэж бат бэх болон удаан эдэлгээт чанар нь муудах болно.

Бетоны гадаргуу дээр нарны цацрагийг өөрөөсөө ойлгох чадвартай цагаан өнгийн холимог цацаж хамгаалалтын үе үүсгэсэн ч гэсэн бетон дахь усыг алдагдалгүй бүрэн хадгалах найдвартай арга болж чадахгүй. Дөнгөж хэвлэгдсэн бетоны гадаргуу дээр усан манан үүсгэх болон чийглэг арчилгаа хийвэл цементийн гидратац сайн явагдаж бат бэх сайжрах боломжтой юм. Ялангуяа ус-цементийн харьцаа багатай (ус-цементийн харьцаа 0.30-с бага) бетон зуурмагийг хэвлэсний дараа гадаргуу дээр нь усан манан үүсгэвэл бэхжилт сайн байхын хажуугаар налархай агшилт хамгийн бага байна.

Бэхжиж байгаа бетоны чийгтэй арчилгааг түр хугацаагаар завсарлавал бэхжилт цаашид үргэлжлэн явагдаж бат бэхийн өсөлт гарах боловч төвийн хэсгийн харьцангуй чийглэг 80%-оос буураад ирэх үед цементийн гидратац болон бэхжилт шууд зогсох болно. Тийм учраас бетоныг хангалттай бат бэх буюу боломжит бат бэхээ бүрэн автал нь чийгтэй буюу нойтон арчилгааг тасралтгүй хийх нь зүйтэй юм. Усны орц багатай бетоны бэхжилтийн явцад арчилгаа хангалтгүй хийгдвэл бетоны дотор татах хүчдэл үүсэж улмаар хагарал гарах нөхцөл бүрдүүлдэг гэдгийг анхаарвал зохино. Хэрэв татах хүчдэл үүсвэл бетоны гадаргууд хагарал үүсэхээс гадна өнцөг булан, ирмэг нь эмтэрч эвдрэлийн шинж илрэх болно. Ийм учраас татах хүчдэлийг тэсвэрлэхэд хангалттай хэмжээний бат бэхтэй болтол нь чийгтэй арчилгааг тасралтгүй хийнэ.

4.2. Арчилгааны аргууд ба арчилгааны материал

Бетон зуурмагийг хэвлэснээс хойш хэвийн хурдаар бэхжиж тооцоот хугацаанд багтаж зураг төсөлд заасан бат бэхээ олж авах боломжийг бүрэн бүрдүүлэхэд л арчилгаа хийж байгаагийн зорилго, ач холбогдол оршиж байгаа юм. Арчилгааны явцад бетоны бүтцийн үүсэлтэд саад учруулах физикийн ба химийн үзэгдлүүд дэс дараатай эсвэл зэрэгцэн явагдана. Эдгээр үзэгдлүүдийн үр дагавар нь бэхжиж байгаа бетоны бүтэц дотор эзлэхүүний тэлэлт үүсгэх эсвэл массын шилжилтээр сийрэгжүүлэх болно. Хэрэв бетоны

бүтэц сийрэгжсэн бол зөвхөн бат бэх буураад зогсохгүй удаан эдэлгээний чанар мөн нэг адил мэдэгдэхүйц буурна. Ийм учраас л бетоны арчилгааг зөв хийх, арчилгааны арга болон арчилгааны материалаа зөв сонгох явдал хамгийн чухал юм.

Дөнгөж хэвлэгдсэн бетонд өөрт нь байгаа чийг ба температурыг алдалгүй хадгалж байх явдал хамгаас чухал байдаг. Бетоны чийглэг ба температурыг хадгалахын тулд дор дурдах гурван аргийн аль нэгийг сонгон авч хэрэгжүүлбэл зохино. Үүнд:

- бетон зуурмагийг хэвлэж дууссаны дараа түүнийг анх бэлтгэхэд орсон усыг нь бэхжилтийн эхний хэдэн хоногт тэр хэвээр нь хадгалах. Үүний тулд дөнгөж хэвлэгдсэн бетоны гадаргууг нар, салхи, хур бороо, цаснаас хамгаалсан нойтон бүтээлгээр битүү хучих, гадаргуу дээр нь ус цацаж усан манан үүсгэх, усны нимгэн бүрхүүл–усан үе үүсгэх. Энэ арга өөрөө бетоныг хүйтний улиралд хөлдөх болон бэхжилт нь удаашрах болон бэхжилт зогсохоос хамгаалдаг байхад зуны халуун, хуурай үед бетоноос ус уурших болон массын шилжилтийн үзэгдлийг бүрэн хязгаарлаж чаддаг байх;
- ус, чийг нэвтрүүлдэггүй бүтээлгээр бүтээж зуурахад орсон усыг нь ууршилтаас хамгаалдаг арга. Дөнгөж хэвлэгдсэн бетоны гадаргууг ус нэвтрүүлдэггүй кардон цаасаар эсвэл ус нэвтрүүлдэггүй нийлэг хальс (полиэтиленэн хальс)-аар битүү хучих, эсвэл бетоны гадаргуу дээр нарны цацрагийг ойлгож зайлуулах онцлогтой тусгай цацаас хийж болно.
- бетоны чийглэгийг байнга нэмэгдүүлдэг эсвэл тогтмол хамгийн дээд хэмжээнд хадгалж чаддаг тийм дулааны эх үүсвэрээр бетоныг халааж эхний үеийн бэхжилтийг нь хурдасгах арга. Усны уураар халаах, цахилгаанаар халаах, бусад халаагуур хэрэглэх гэх мэт.

Арчилгаа хийхэд хэрэглэх материал ялангуяа цементийн төрөл, бетон эдлэл, бүтээцийн хэлбэр, хэмжээ, бетоны зузаан, эдлэл бүтээцүүд барилгын талбай дээр барилгынхаа хэсэгт байрлаж байна уу эсвэл үйлдвэрийн нөхцөлд хэвлэгдэж байна уу гэх мэт нөхцөлүүдийг харгалзан үзэж дээрх аргуудын аль нэгийг сонгож хэрэглэнэ. Арчилгааны технологийг ямар дэс дарааллаар яаж хийж байна, хэдий хугацаагаар арчилгаа хийж байна гэх мэт ажлын аргачлалаас арчилгааны үр дүн хамаарна. Цаг уурын нөхцөл, ажлын шаардлагаас хамаараад бетон бэхжилтийнхээ эхний хугацаанд авсан байвал зохих бат бэхийн хэмжээ нь янз байх болно. Тийм учраас арчилгааны арга болон түүний үргэлжлэх хугацаа мөн нэг адил харилцан адилгүй байх болно.

Зуны халуун саруудад цутгамал технологиор болон барилгын талбай, үйлдвэрийн нөхцөлд (полигон) бетон, төмөрбетон эдлэл үйлдвэрлэж байгаа тохиолдолд нарны энергийг зөв ашиглахын тулд арчилгааны аргыг зөв сонгон авч хэрэгжүүлэх хэрэгтэй.

Хиймэл нуурын арга. Автомашины болон явган зам, талбай, барилгын шал гэх мэт том талбайтай хавтгай, тэгш гадаргуутай бетоны хэвийн бэхжилтийг хангах зориулалттай арчилгаанд хиймэл нуур үүсгэх арга хэрэглэвэл хамгийн сайн үр дүн өгнө. Үүний тулд дөнгөж хэвлэгдсэн зам, явган зам, шал, талбайнхаа захаар эргэн тойронд нь элс болон шороогоор далан хэлбэрийн намхан хашлага хийж түүнийгээ арчилгааныхаа усаар дүүргэнэ. Өөрөөр хэлбэл бэхжилтийн нь таатай нөхцөл бүрдүүлэх зорилгоор тухайн бетоныхоо гадаргуу дээр усны нимгэн үе үүсгэж байгаа хэрэг юм. Ийм арга хэрэглэсний үр дүнд бетоныг хуурайшилтаас найдвартай хамгаалаад температурыг нь жигд барьж хэвийн бэхжилтийг бүрэн хангаж чадна. Ийм усан арчилгаа хийхэд усны температурыг ойролцоогоор 11 хүртэл хөргөсөн байвал бэхжиж байгаа бетонд дулааны дотоод хүчдэл үүсэх аюулаас найдвартай хамгаалж чадах учир дотоод хүчдэлтэй холбоотой үүсэх ан цав ба хагарал гарахгүй байх сайн талтай юм.

Хиймэл нуурын аргаар бетонд арчилгаа хийх үед бетоны гадаргуу дээр янз бүрийн өнгөтэй толбо үүсэж болох юм.

Ус шүрших буюу усан манан үүсгэх арчилгааны арга. Хүрээлэн байгаа орчны агаарын температурыг хөлдөлт үүсэхээс арай дээш байхад болон орчны чийглэг бага байгаа тохиолдолд ус шүршиж манан үүсгэх замаар бетоны хэвийн хурдаар бэхжих нөхцөл бүрдүүлж болдог арчилгааны сайн аргын нэг мөн. Манан үүсгэж бетоныг бэхжүүлэх ажиллагааг хийж дуустал бетоны гадаргууд үүсэх налархай агшилт хамгийн бага байдаг сайн талтай. Энэ нь хүрээлэн байгаа орчны чийглэг хангалттай байгаагаас чийг шилжилт явагдах боломжгүй байгаатай холбоотой юм.

Бетон хангалттай баг бэхээ авч чадаагүй байхад нь ус цацвал цацсан усны урсгалд бетоны гадаргуугийн цементэн зутан угаагдаж болох учир түүнээс урьдчилан сэргийлэх хэрэгтэй. Үүний тулд бетоны гадаргууг эхний үед сайн бүтээж цементэд барьцалдах боломж олгон о .

Гадаргууг резинэн хоолойгоор (шланг) шүршиж усалбал хамгийн тохиромжтой байх болно. Шүрших арга хэрэглэсэн тохиолдолд усны зарцуулалт их байдаг бэрхшээл байгааг анхаарах хэрэгтэй. Энэ шалтгааны улмаас ус шүрших арчилгааг маш нямбай хийхэд анхаарах нь чухал юм. Нэг удаа усаар шүршээд хэсэг хугацаагаар завсарлах хооронд бетоны

гадаргууг хуурайшихаас сэргийлэх хэрэгтэй. Завсарлагааны үед хуурайшилт үүсвэл бетон гадаргууд хагарал гарна.

Нойтон бүтээлгийн арга. Бетонд бэхжилтийн хэвийн нөхцөл бүрдүүлэх арчилгаанд усанд сайн норж усаа сайн хадгалж чаддаг хөвөн цаасан даавуун бүтээлэг, нийлэг болон бусад утсаар нэхэж хийсэн нийтлэг хэрэглээний ус сайн хадгалдаг материалаар бэлтгэсэн бүтээлэг хэрэглэнэ. Бүтээлгийн материал нь усанд сайн нордог, шингэсэн усаа сайн хадгалж байхаас гадна байнгын нойтон чийгтэй нөхцөлд ашиглагдахдаа өмхөрч чанараа алддаггүй, шатдаггүй байх хэрэгтэй. Бүтээлгийн материалаар полиэтиленэн хальс хэрэглэж болно. Бетоныг хэвлэж дуусмагц шууд хийж болдоггүй зарим арчилгааны арга (жишээлбэл: ус цацах, усан манан үүсгэх гэх мэт) хэрэглэж байгаа бол түүнийг хэрэглэж болох хугацааг хүлээх хооронд нойтон бүтээлэг болон полиэтиленэн хальсаар бүтээх аргыг туслах арга байдлаар хэрэглэж болно. Өөрөөр хэлбэл бетоны гадаргууг шүүрсэн усны үйлчлэлд угаагдахааргүй, чанарын алдагдалд орохооргүй тийм хэмжээний бат бэхтэй болтол нь нойтон бүтээлгийн аргыг хэрэглэнэ.

Хавтан, шал, замын хавтан зэргийн нийт гадаргууг зах, ирмэгээр нь зай гарах үгүйгээр нойтон бүтээлгээр сайн бүтээнэ. Бетоны гадаргууг шүршсэн болон конденсацаас үүссэн усны үйлчлэлд гэмтхээргүй хэмжээний бат бэхтэй болтол нойтон бүтээлгээр хучиж арчилгаа хийнэ.

Бетоныг налархай шинж чанараа бүрэн алдаж дуустал өөрөөр хэлбэл цементийг барьцалдаж дуустал нойтон бүтээлгийг хангалттай нойтон болтол нь байн байн усалж байх хэрэгтэй.

Арчилгааны нийт хугацааны туршид бүтээлгийг норгох, хатах гэсэн үзэгдлүүд ээлжлэн явагдах хооронд бетоны гадаргууд хагарал, ан цав гарах аюул байдгийг анхаарах хэрэгтэй.

Барьцалдаж дууссан бетоны гадаргууг нойтон элс, модны нойтон үртсээр битүү хучиж арчилгаа хийхэд ажлын төгсгөлд илүүдэл ажил тийм ч их биш, тийм ч хэцүү ажил биш байх болно. Өөрөөр хэлбэл бага зэргийн цэвэрлэгээний л ажил байх болно. Харин ийм арчилгаа хийсний үр дүнд чанарын бүрэн шаардлага хангасан эдлэл гаргаж авах болно. Модны үртэс бол нойтон арчилгааны сайн материалын нэг мөн боловч зарим мод жишээлбэл: царс модны найрлагад бетоны чанарыг муутгах үйлчилгээтэй хүчил агуулагдана. Түүнийг анхаарвал зохино. Өөрөөр хэлбэл нойтон арчилгаанд хэрэглэж болохгүй. Хүчил үүсвэл цементийн чулууны бүтэц бүрдүүлэгч зарим нэгдлийг задалж цементийн чулууны бүтцийг сийрэгжүүлэх болно. Элс болон модны үртсийг 50 мм-ээс багагүй зузаан үеэр хийж тасралтгүй усалж байх хэрэгтэй. Энэ хоёр материал ус хадгалахдаа сайн учир арчилгааны

үед өөртөө байгаа усаа тийм ч амархан ууршуулж алдахгүйн зэрэгцээ усны зарцуулалт бага байдгаараа ус шүрших арчилгааны аргаас давуу талтай юм.

Тарианы сүрэл, дэрс, хулс шагшуурга гэх мэт ургамлыг бетоны гадаргуу дээр 150 мм-ээс багагүй зузаан үеэр зулж бүтээгээд усалж арчилгаа хийж болно. Гэхдээ эдгээр өвс, ургамал хөнгөн учир салхинд амархан хийсэж алдагдах магадлалтай учир түүнээс урьдчилан сэргийлж дээрээс нь пилонки гэх мэт материалаар хучих хэрэгтэй. Гэхдээ эдгээр ургамлыг нойтон бүтээлгийн үүрэгтэй хэрэглэхэд бетоны гадаргууд толбо үүсэн өнгөө алдах гэх мэт бэрхшээл гарч болохыг анхаарах хэрэгтэй.

Ус нэвтрүүлдэггүй цаасан бүтээлэг. Ус нэвтрүүлдэггүй цаасаар бетоны гадаргууг битүү хучиж түүнээс ус уурших, салхины үйлчлэлээс хамгаалсан арчилгаа хийж болно. Ус нэвтрүүлдэггүй цаасан бүтээлгийг хийхдээ хоёр үе картоны завсарт утсан арматур байрлуулж битүмээр хооронд нь нааж ус нэвтрүүлдэггүй цаасан бүтээлэг бэлтгэнэ. Ийм бүтээлгээр голдуу тэгш гадаргуутай хэвтээ байрлалд хэвлэгдсэн эдлэлийн бетоны арчилгаа хийнэ. Ус нэвтрүүлдэггүй цаасан бүтээлэг хэрэглэж байгаа тохиолдолд бэхжиж байгаа бетоны гадаргууг болон бүтээлгийг байн байн норгох шаардлага байдаггүй сайн талтай юм. Энэ онцлогоороо арчилгааны бусад аргуудаас давуу талтай юм. Бетоны бэхжилтийн явцад төвийн хэсэг ба гадаргуугийн температурын ялгаанаас болоод ууршилтаар үүссэн усны уур ус нэвтрүүлдэггүй бүтээлгийг мөргөөд конденсац болон хувирч бетоны гадаргуу дээр усны нимгэн үе үүсгэж байгаа учир бэхжилтийн хугацаанд бетонд орсон цемент усаар дутагдахгүй учир түүний гидратац сайн явагдахын зэрэгцээ чийг шилжих үзэгдэл, хуурайшилт гарахгүйн улмаас бетоны гадаргуу дээр агшилтын болон бусад шалтгаанаас үүдэн гардаг хагарал, ан цав бараг байхгүй.

Бетоны бэхжилтийн таатай орчин бүрдүүлэхийн тулд ялангуяа ус нэвтрүүлдэггүй бүтээлгийн дулааны алдагдлыг багасгаж цементийн гидратацаар ялгарч байгаа дулааныг тэнд нь хадгалж бетоны бэхжилтийг түргэсгэхэд ашиглах нь зүйтэй юм. Энэ зорилгоор ус нэвтрүүлдэггүй бүтээлгийн хоёр картоны завсарт дулаалгын материал нааж болно. Мөн хэв, хашмалын хажуу ханыг сайн дулаах хэрэгтэй.

Хэвтээ гадаргууг ус нэвтрүүлдэггүй картоноор хучиж арчилгаа хийхдээ картоноо бетоны захаас 15 см орчим илүү гаргаж бүтээгээд түүнийгээ хүнд жинтэй зүйлээр дарж бетоны гадаргуу ба ус нэвтрүүлдэггүй бүтээлэг хоёрын хооронд аль болохоор завсар гаргалгүйгээр хооронд нь сайн наахыг тэргүүн зэргийн зорилго болгох хэрэгтэй. Бетоныг хангалттай бат бэхтэй болтол нь дээрх зорилгоо хэрэгжүүлж түүнийг хадгалах хэрэгтэй. Ус

нэвтрүүлдэггүй бүтээлгийг олон дахин ашиглахын тулд хэрэв цоорч нүх сүв гарсан байвал тэдгээрийг нэн даруй бөглөж засаж байвал зохино.

Бетоны гадаргууг нойтон бүтээлгээр хучиж байн байн норгож байх элс, модны үртэс зэргээр хучаад байнга усалж байх гэх мэт арчилгаа хийж байгаа тохиолдолд дээгүүр нь полиэтиленэн хальсаар давхар битүү хучвал ус ууршиж алдагдахгүй учир байн байн усалж байх шаардлагагүй болж бетоны бэхжилтийн хэвийн нөхцөл бүрдэх болно.

Төрөл бүрийн резинэн материалаар бетоны арчилгааны бүтээлэг хийвэл ашиглалт удаан төдийгүй чийг алдалтыг бүрэн хязгаарлаж чадна.

Бетонд арчилгаа хийхдээ анхаарах хамгийн гол буюу чухал зүйл бол дөнгөж хэвлэгдсэн шинэ бетоны гадаргууг шууд усны үйлчлэлд оруулж болохгүй. Өөрөө хэлбэл тухайн бетоныг барьцалдаж эхний үеийн тодорхой хэмжээний бат бэхээ олж авсны нь дараа усан арчилгаа хийнэ. Нойтон арчилгаатай байгаа бетоны (дам нуруу, багана гэх мэт) арчилгааны хугацаа дуусмагц хэв, хашмалыг нь задалж (салгаж) авч байгаа бол цаашид хэв, хашмалгүйгээр үргэлжлүүлэн бэхжих явцад нь бетоныг төвийн хэсгийнхээ чийгийг алдахаас хамгаалах хэрэгтэй. Хэвийг салгасны дараа бетон ба түүнийг хүрээлэн байгаа агаарын харьцангуй чийглэг хоёрын хооронд чийглэгийн ялгаа гарч цаашид бүтцийн эвдрэл гарах үндсэн нөхцөл бүрдэнэ. Ийм учраас хэв, хашмалыг салгаж авсны дараа ус нэвтрүүлдэггүй материалаар боох, хучих гэх мэт тохирсон арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэх хэрэгтэй. Хэвтээ байрлалтай гадаргуу байгаа бол түүний дээгүүр усан үе байнга хадгалагдаж байх эсвэл тогтмол чийглээд байвал эцсийн үр дүн сайн байх болно. Энэ бол бетоны төвийн хэсгийн чийглэгийг тэр байранд нь хадгалж цементийн гидратацийг цаашид үргэлжлүүлэх л зорилго юм. Түүнээс бус бетоноос ус ууршиж алдагдаад түүний бүтцийг сийрэгжүүлж улмаар бат бэхийг бууруулахаас урьдчилан сэргийлэх зориулалттай арга хэмжээ биш юм.

Хүрээлэн байгаа орчны агаарын харьцангуй чийглэг 80%-иас багагүй байгаад байвал бетоны бэхжилт тасралтгүй үргэлжлэн явагдах болно. Өөрөөр хэлбэл өндөр хэмжээний арчилгаа бараг шаардахгүй гэж үзэж болно. Далайн түвшинд оршдог, далай тэнгэсээр хүрээлэгдсэн, гол, мөрөн, нуур, тэнгис цөөрөм элбэгтэй, ой мод ихтэй нутгуудад агаарын харьцангуй чийглэг хангалттай өндөр байдаг юм. Гэтэл монгол орны эрс тэс уур амьсгалтай цаг уурын нөхцөлд бетоны арчилгаа хамгаас чухал байх ёстой.

Бэхжиж байгаа бетоны гадаргууд цагаан саарал эсвэл цагаан өнгийн гэсэн хоёр төрлийн цацаас хийж хурц нарны шууд үйлчлэлээс хамгаалах болон бетоны өөрийн нь температурыг бууруулах арчилгаа хийдэг туршлага байдаг. Бетон зуурмагийг хэвэнд цутгаж нягтруулж,

тэгшилж өнгөлсний дараа гадаргуу дээр нь цагаан өнгийн хольцыг тусгай төхөөрөмжөөр тоосруулан шүршинэ. Бетоны гадаргуу нойтон байгаа учир цацагдсан цацаас нэн даруй цагаан өнгийн бүрхүүл үүсгэнэ. Халуун нартай, хуурай салхитай өдөр хэвлэсэн бетоны гадаргуугаас чөлөөт ус нь ууршиж алдагдах учир налархай агшилт үүсэж түүний үр дагавар болох хагарал бетоны гадаргууд бий болно. Өөрөөр хэлбэл цаг уурын энэ нөхцөл бол бетоны гадаргуугийн хэсгийн бүтэц бүрэлдэх процесст сөрөг нөлөө үзүүлнэ.

Бетоны бэхжилтийг хэвийн хурдаар явуулахын тулд авч хэрэгжүүлбэл зохих арчилгааны хэлбэрүүдийг авч үзлээ.

Бетоны бэхжилтийг түргэсгэхэд уураар жигнэх (атмосферийн даралттай уураар жигнэх, автоклавт өндөр даралттай уураар боловсруулах), цахилгаанаар халаах, бичил долгионы зуухаар халаах, тосон халаагуураар халаах, хэт улаан туяагаар халаах гэх мэтээр гаднаас нэмэлт дулаан авах аргуудыг хэрэглэнэ.

Нийлэг хальсан бүтээлэг. Бетоны чийгтэй арчилгаанд ус нэвтрүүлдэггүй нийлэг бүтээлэг ялангуяа полиэтиленэн хальсыг өргөн хэрэглэнэ. Яагаад гэвэл хөнгөн, ямар ч хэлбэртэй эдлэлийн арчилгаанд хэрэглэж болдог, бетоны бэхжилтийн явцад түүний гадаргуугаас ус ууршиж алдагдах үзэгдлийг бүр мөсөн зогсооно. Ийм бүтээлэг нарны шууд цацрагийг бүгдийг ойлгож чадахгүй учир бэхжиж байгаа бетон илүү их халах боломжтой бөгөөд төвийн хэсгийн нь ус гадаргуу дээрээ гарч ирээд конденсацад орж байгаа учир бетоны гадаргуу дээр байнгын усан үе үүснэ. Энэ усан үе хүрээлэн байгаа орчиндоо уурших замаар алдагдахгүй учир бетондоо эргээд шингэж цементийн гидратацийг тасралтгүй тэтгэх болно.

Полиэтиленэн бүтээлэг дор бэхэжсэн бетоны гадаргуугийн өнгө хувирах тохиолдол гарна. Энэ бол бетон хлорт кальци агуулж байсныг гэрчилнэ. Ийм учраас арчилгаа дуусаад ган нийвийгээр бетоныхоо гадаргуугаас хусаж цэвэрлэнэ. Зуны халуун нартай үед полиэтиленэн хальс нарны туяа, цацрагийг сайн ойлгодог учир бетоныг хэт халахаас ямар нэг хэмжээгээр хамгаална. Харин өвлийн улиралд хар өнгийн полиэтиленэн хальсаар бетоны гадаргууг хучиж арчлах нь илүү тохиромжтой байх болно. Яагаад гэвэл хар өнгийн хальс нарны туяаг сайн шингээж авдаг учир бетоны гадаргууг халаах дулааны эх үүсвэр болж чадна. Бетоны арчилгаанд 0.1 мм-ийн зузаантай полиэтиленэн хальс хэрэглэхийг зөвлөнө. Полиэтиленэн хальсыг бетоны арчилгааны бусад бүтээлгийн материалтай хослуулан хэрэглэхийг зөвлөнө. Ялангуяа дулаалгын сийрэг бүтэцтэй бүтээлгийн материалын нэг талыг полиэтиленээр хийж болно. Мөн бүтээлгийн материалын дээрээс давхарлаж хучвал чийг алдалт багасаж бетоны бэхжилтэд илүү сайн үр дүн өгөх болно.

Арчилгааны хольцоор хальсан бүрхүүл үүсгэх арчилгаа. Бетоны гадаргуу дээр давирхай, хлорлог резин болон бусад материалаас бүрдсэн хольцыг өндөр даралтаар цацаж хальсан бүрхүүл үүсгэж бетоноос чийг ууршиж алдагдах үзэгдлийг удаашруулах буюу багасгаж болно. Гагцхүү арчилгааны энэ аргыг дөнгөж хэвлэгдсэн бетоны гадаргууд хэрэглэж болохгүй. Харин хэв, хашмалыг салгасны дараа болон эхний үеийн арчилгааны дараа арчилгааг үргэлжлүүлэн хийх тохиолдолд энэ арга нэн тохиромжтой байдаг. Үр дүнгийн хувьд нойтон бүтээлгийн аргаас давуу талтай юм.

Арчилгааны хальсан бүрхүүлийн арга дотроо бүдэг өнгийн, цагаан өнгөтэй гэж хоёр төрөл байдаг. Бүдэг өнгийн хольцоор хийсэн арчилгаа удалгүй өнгөө алдаж болно. Зуны халуун нартай өдрүүдэд цагаан өнгийн хольцоор бэлтгэсэн хольцыг бетоны гадаргуугийн арчилгаанд хэрэглэнэ.

Усны уураар хийх арчилгаа. Өвлийн улиралд бетоны бэхжилт болон цементийн гидратацийг хурдасгах зорилгод уураар халаах аргыг хэрэглэнэ. Уураар халаах арга дотроо хоёр төрөл байдаг: Үүнд: атмосферийн даралттай уураар шууд халаах эсвэл өндөр даралттай уураар автоклавт боловсруулалт хийх гэсэн хоёр арга байдаг.

Уураар халааж бетоны бэхжилтийг хурдасгадаг арчилгааны энэ арга бол уураар халаахын өмнөх үе буюу нэгдүгээр үе шат, температурыг өргөх үе шат, тогтмол өндөр температурын орчинд тодорхой хугацаагаар барих, хөргөх гэсэн дөрвөн үе шатаас бүрдэнэ.

Дөнгөж хэвлэгдсэн бетоныг 18 -ийн температурт нар, салхины шууд үйлчлэлээс найдвартай хамгаалсан байдалд 3-5 цаг (бетон зуурмагийн конусын суулт, усны орцоос хамаарна) хадгалсны дараа халуун уурын үйлчлэлд оруулна. Энэ хугацаанд бетон зуурмаг барьцалдаж эхлээд уурын конденсацаас үүссэн усны үйлчлэлийг даах чадвартай болж чадсан байх ёстой. Хэрэв энэ шаардлага хэрэгжиж чадаагүй байвал бетоны гадаргуугийн хэсгээс цементийн зутан конденсаацийн усаар угаагдах болно. Бетон зуурмагийн найрлагад ус бага орсон бол барьцалдах хугацаа богино байх учир заавал 4-5 цаг хүлээх шаардлага байхгүй. Гэхдээ хэдэн цагийн дараа уураар үйлчилж болохыг лабораторийн нөхцөлд тодорхойлох хэрэгтэй.

Судлаачдын туршилтаар баталсан үр дүн ба үйлдвэрлэлийн практикаас харахад бетоныг хэвлэж дууссанаас хойш 5-аас илүү цагаар ердийн температурын нөхцөлд хадгалах шаардлагагүй байна. Энэ хугацаанд бетон зуурмагийн хэвлэгдэх чанар ямар байснаас үл хамааран уурын ба конденсаацийн үйлчлэлийг бүрэн тэсвэрлэх хэмжээний бат бэхтэй болж чадаж байна гэсэн үг юм. Харин уураар боловсруулахаас өмнө ердийн нөхцөлд хадгалах

хугацааг 5 цагаас цаашид уртасгах тутам уураар боловсруулсны дараах бат бэх нь улам л буурч болно. Энэ нь цементийн гидратац дутуу явагдаж байгаатай холбоотой юм.

Бетоныг уураар халааж эхлэхдээ температурыг аажим хурдаар өргөнө. Өөрөөр хэлбэл бетоны гадаргуу ба төвийн хэсгийн температурын зөрүү 10 -ээс хэтэрч болохгүй. Энэ шаардлагын үүднээс авч үзвэл нэг цагт 15-20 -ээр температурыг өргөнө. Портландцементэн бетонд атмосферийн даралттай уураар дулааны боловсруулалт хийхэд 70-80 -ийн температур байхад хангалттай байдаг. Тийм учраас 16-18 температуртай бетоныг уураар боловсруулахын тулд 4-3 цагийн турш температурыг өргөх хэрэгтэй байна. Хэрэв температурыг өгөгдсөн хэмжээнээс илүү хурдан өсгөвөл бетоны гадаргуугийн температур ба төвийн хэсгийн температурын хооронд зөрүү гарснаас болоод гадаргуугийн хагарал үүсэх болно. Гадаргуугийн өндөр температуртай нимгэн үе агшилтад орж байхад төвийн хэсэг агшилтад орохгүй байгаа учир дотоод хүчдэл үүсэж улмаар хагарал гарахад хүргэж байгаа юм. Ийм учраас температурын их зөрүү гарахаас байнга урьдчилан сэргийлж байвал зохино. Бетоны төвийн хэсгийн температур 70-80 хүрснээс хойш бетоны зузаанаас шалтгаалан энэ температурт 4-8 цаг барилт хийнэ. Энэ хугацаанд цементийг бүрдүүлэгч эрдсүүд үндсэндээ задарч, устай нэгдэж өндөр бат бэхтэй бөгөөд тогтвортой нэгдлүүдийг үүсгэнэ. Өөрөөр хэлбэл цементийн гидратац амжилттай явагдана. Гэхдээ цементийн эрдсүүд бүгд устай бүрэн гүйцэд нэгдэж чадахгүй.

Уураар боловсруулах температурын хэмжээнээс бат бэх хамаарна. Жишээлбэл: 50-52 -ийн температуртай уураар 18 цаг (ердийн температурт барих-5 цаг, температурыг өргөх-3 цаг, эцсийн температурт барих-7-8 цаг, температурыг бууруулах-2-3 цаг) боловсруулахад 28 хоногийнхоо бат бэхийн 50 гаруйхан хувийг, 60-65 -ийн температурт 60 гаруй хувийг, 75-80 -ийн температурт 65-66%-ийн бат бэхийг авч байна. 65-ээс дээших температурт боловсруулснаар бат бэхийн өсөлт тийм ч их биш байдаг нь эндээс тодорхой харагдаж байна.

Тогтмол өндөр температурт боловсруулсны дараа нэг цагт 15-20 -ээр температурыг бууруулахыг зөвлөнө. Ийнхүү температурыг аажмаар бууруулдаг нь мөн л температурын зөрүү гарахаас сэргийлж байгаа хэрэг юм. Температурыг огцом хурдаар бууруулбал бетоны гадаргуугийн нимгэн үенээс ус, чийг нь маш хурдан уурших болно. Уур үүсэлт эрчимтэй явагдаж байгаа бол бетоны гадаргууд эзлэхүүний тэлэлт гарч улмаар хагарал үүсэх нөхцөл бүрдэнэ. Ялангуяа зузаан бетоны температурыг бүүр аажим бууруулах хэрэгтэй байдаг.

Атмосферийн даралттай уураар дулааны боловсруулалт хийсний үр дүнд портландцементэн бетон ердийн нөхцөлд 7 хоногт олж авдаг бат бэхээ 12-14 цагийн дотор

олж авч байна. Энэ бол барилга угсралтын ажлыг эрс хурдасгаж байгаа сайн тал байгаа боловч дутагдалтай тал байдаг. Уураар дулааны боловсруулалт хийсэн бетон 28 хоногийн дараа ердийн нөхцөлд бэхжихдээ олж авдаг бат бэхээ олж авч чаддаггүй. Энэ нь уураар боловсруулсан бетоны дотоод бүтцэд болон гадаргуу дээр нь нэлээд тооны ан цав үүссэн байдагтай холбоотой юм. Нөгөө талаар температур өндөр байснаас болоод цементийн ширхгүүдийн гадаргуу дээр урвалын үр дүнд үүссэн шинэ коллоид нэгдлийн бүрхүүл нь талст болон хувирч төвийн хэсэгт ус нэвчиж орох боломжгүй болно. Үүний уршгаар цемент гидратацад орж амжилгүй үлдэж цементийн чулууны дотоод бүтэц дотор идэвхгүй дүүргэгчийн үүрэг гүйцэтгэнэ. Ийнхүү цементийн зарим хэсэг устай нэгдэж холбож наах үүрэгтэй шинэ нэгдэл болон хувирч чадаагүйгээсээ болоод чанар нь дутуу ашиглагдаж байгаа учраас уураар боловсруулсан бетоны бат бэх хэзээ ч ердийн нөхцөлд бэхэжсэн бетоны бат бэхэд хүрдэггүйн шалтгаан холбоотой юм.

Портландцементэн бетоныг 80-ээс дээш температурт боловсруулах шаардлага байхгүй гэдэг нь дээрх дүгнэлттэй холбоотой юм. Портландцементэн бетоныг 80-90-ийн температурт дээрх цагийн турш боловсруулалт хийсэн ч гэсэн бетоны бат бэхэд мэдэгдэхүй ахиц гарахгүй. Ийм учраас бетоныг уураар боловсруулах температурыг 80-ээс багаар тогтоож байгаа юм. Энэ нь нэг талаасаа цахилгаан эрчим хүч хэмнээд зогсохгүй цементийн гидратацид ч эергээр нөлөөлдөг гэдэг нь судлаачдын судалгааны ажлын дүнд батлагдаж байна.

ЕРӨНХИЙ ДҮГНЭЛТ

1. Хэвлэгдэх чанар сайтай өөрөө нягтардаг В60 болон үүнээс дээш ангийн бетоныг эх орны РС42.5 ангийн портландцемент, стандартын шаардлага хангасан дүүргэгч ашиглан үйлдвэрлэх бүрэн боломжтой. Өндөр үзүүлэлттэй бетон гарган авахад түүний найрлагад орох ердийн портландцементийн жингийн 10-15% - д цахиурын тоосонцор нэмэлтээр авч урвалын идэвхийг нэмэгдүүлэх боломжтой болохыг судалгаагаар тогтоов.
2. Өндөр үзүүлэлттэй бетонд ашиглах дүүргэгчээр магмын гаралтай гүний чулууг ашиглах нь хамгийн зохистой. Шинж чанарын үзүүлэлт өндөртэй бетон бэлтгэхэд ашиглах дүүргэгчийг заавал угааж тоос ба шаварлаг хэсгийн агуулалтгүй болгож, том дүүргэгчийг тухайн чулууны шинж чанараас хамааруулан шинжлэх ухааны үндэстэйгээр бутлан ангилах тоног төхөөрөмжийг сонгож карьерын үйл ажиллагааг явуулах шаардлагатай. Судалгааны дүнд цементийн жингийн 1.8% -д уян налархайжуулагч нэмэлт нэмж, ус-цементийн харьцаа 0.23 үед оновчтой болох нь тогтоогдсон тул том дүүргэгчийн ширхэглэл 5-10мм, 10-20 мм байх нь зохимжтой.
3. Бетоны арчилгааг зөв хийснээр бетоны бэхжилтийг зохистой явуулж шинж чанарын үзүүлэлтийг сайжруулах боломжтой. Бетоны сонгосон найрлага, технологийг хэрэглэн үйлдвэрлэсэн эдлэлийг 850С-ын температур, 95%-ийн харьцангуй чийгшилтэй орчинд 18 цагийн турш уураар бэхжүүлсэн нөхцөлд 72 цагийн дараа ашиглалтад шилжүүлэх боломжтой. Оновчтой найрлага бүхий бетоныг 20-220С-ын температуртай агаарын хуурай орчинд 28 хоногийн турш бэхжүүлэхэд шахалтын бат бэх, хүйтэн тэсвэрлэлт, агшилт зэрэг нь В60 ангийн бетоны шаардлагыг бүрэн хангаж байна.
4. Өндөр үзүүлэлттэй бетоны удаан эдэлгээт чанарын хэмжигдэхүүн болох хүйтэн тэсвэрлэлт ба ус үл нэвтрүүлэлтийн хоорондын зүй тогтлыг тогтоов.

Ном зүй

1. N. N.M.Azme, "Ultra-high performnace concrete: From fundamental to applications," Construction Materials, vol. 9, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00197>
2. Markssuel Teixeira Marvila 1 , Afonso Rangel Garcez de Azevedo 2,* , Paulo R. de Matos 3,4 , Sergio Neves Monteiro 5 and Carlos Maurício Fontes Vieira 1 “Materials for Production of High and Ultra-High Performance Concrete: Review and Perspective of Possible Novel Materials”
3. Esteban Camacho “Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties” Ph.D. Thesis December 2013
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34790/Camacho%20%20Dosage%20optimization%20and%20bolted%20connections%20for%20UHPFRC%20ties.pdf?sequence=1>
4. Report on High-Strength concrete. ACI363R-10
5. “EN 206:2016 Concrete: Specification, performance, production and conformity”. 2016
6. JSCE guidelines for concrete No16 Standard specification for concrete structures 2007 “Materials and construction”
7. ГОСТ 25192—2012 Concretes. Classification and general technical requirements
8. A.Kmita, “A new generation of concrete in civil engineering” J. mater. Process. Technol., vol 106, no. 1-3, pp.80-86. 2000, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00642-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00642-7)
9. A. Neville and P.-C. Aïtcin, "High performance concrete—An overview", Mater. Struct., 2006.
10. Юнг.В.Н, Физическая своества тяжёлого бетона. Москва, 1981.
11. Бутт.Ю.М, "Технология цемента и других вяжущих материалов". Москва: Стройздат, 1976.
12. Ахвердов.И.Н., "Основы физики бетона," 1981.
13. Сычев.М.М. Бутт.Ю.М., "Химическая технология вяжущих материалов," 1980.
14. Шейкин.А.Ю, Структура и свойства цементных бетонов. Москва, 1979.
15. Шестоперов.С.Р, Технология бетона., 1964.
16. Кавалерова.В.И. Боженков.П.И, Нефелиновые цементы. Москва, 1966.
17. Ахвердов.И.Н, Основы физики бетона. Москва, 1992.
18. Сычёв.М.М, "Некоторые вопросы механизма гидратации цементов," Цемент №8, 1981.

19. Никитина.Л.В. Ларионова.З.М., "Фазовый состав микроструктуры и прочность цементного камня и бетона," 1977.
20. Баженов.Ю.М, Технология бетона. Москва, 2004.
21. Миронов.С.А, Теория и методы зимнего бетонирования.
22. Тейлор.Х.Ф.У, Химия цемента. Москва, 1969.
23. Шейкин А.Е., Прочность цементного камня., 1940.
24. Бутт, Технология фортланд цемент.
25. Божонов, Технология бетона. Москва, 1975.
26. Павленко Т.М., Дехта Т.Н Сторожу Н.А, "Можности при вакуумировании бетонных смесей в монолитных конструкциях зданий и сооружений," Стойтельство, материалведение, машиностроение, pp. 511-521, 2015.
27. Ахвэрдов.И.Н, "Высокий прочный бетон," 1961.
28. Гершберг.О.А, Технология бетонных и железобетонных изделий. Москва, 1971.
29. Neville.А.М, Properties of Concrete. Malaysia: Monotype Times, 1998.
30. Ч.Дэндэвдорж, "Галт уулын шаарган цементийн шинж чанар, түүгээр хийсэн бетоны судалгаа," Улаанбаатар, 1996.
32. Ledbetter.W.B, "Synthetic aggregates from clay and shale ; a recommended criteria for evaluation," Highw. Res, record, No430 pp, pp. 159-177, 1964.
33. Tai.M, Bloomquist.D Soongswang.P, "Factors affecting the strength and permeability of concrete made with porous limestone.," ACI Material Journal No4, pp. 400-6, 1991.
34. Nichols.F.P , "Manufactured sand and crushed stone in Portland cement concrete," Concrete International, 4, pp. 56-63, 1982.
35. Gilkey.H.J, "Water cement ratio versus strength another look," American Concrete Institute. Part2-58, pp. 1851-78, 1961.
36. Hobbs.D.W., "Workability and mixing ," in International RILAM Workshop, London, 1994.
37. Hobbs.D.W., "Strength and deformation properties of plain concrete subject to combined stress," Cement concrete, London Nov.1970.

38. Kaplan.M.F Jones.R, "The effects of coarse aggregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure," 1957.
39. Krokosky.E.M, "Strength vs structure: a study for hydraulic cement," Materials and Structures-3, pp. 313-23, Paris, Sept.-Oct.1970.
40. Stock.A.Hannant.D.J and Williams.R.I.L,"The effects of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of," Mag Concr. ReS.,31, pp. 225-34,1979.
41. Батцагаан.Б, Бетоны физик, механик шинж чанар. Улаанбаатар: Эдмон ХХК, 2014.
42. Clifton.J.R, Inge.J.B Кнав.Л, "Effects of maximum void size and aggregate characteristics on the strength of mortar," Cement and Concrete Research, 13 No-3, pp. 383-90, 1983.
43. L.C Tasong W.A, "Aggregate-Cement cemental interaction," Cement Concrete, USA 1998-04-07.
44. Кинг.Т.М Франклин. Р.Е, "Relations between compressive and indirect-tensile strengths of concrete," Road. Res. Lab. Rep. LR412,32, p. 32, Crowthorne, Berks., 1971.
45. Ч.Дэндэвдорж, Бетон судлал. УБ, 2012.
46. J.C.Maso, B.Bourdette J.P.Ollivier , interfacial Transition Zone in Concrete. New York: Elsevier Science inc, 1995
47. Huiseng Shi, Lindlin Xu, Guang Ye, Geert De Schutter Kai Wi, "Microstructural characterization of ITZ in blended cement concretes and its relation to transport properties," 2015.
48. J.P.Ollivier, G.Ballivy D. Breton, Interfaces in cementitious composites.: CRC Press, 1992, pp. 279-288.
49. O.Bonen,"Calcium Hydroxide Deposition in the Near interfacial Zone in Plain Concrete," J.Am. Ceram. Soc 77, pp. 193-196, 1994.
50. M.D. Cohen, D.P. Bentz, K.A. Snyder,EJ. Garboczi D.N. Winslow, "Percolation and pore structure in mortars and concrete," Cement and Concrete Research Vol24, pp. 1403-1602, 1994.
51. L.H.Jiang,"The interfacial zone and bond strength between aggregates and cement pastes incorporating high volumes of fly ash," Cem. Concr. Compos. 21, pp. 313-316, 1999.
52. L. Lam, C.S. Poon, F.P. Zhou Y.L. Wong, "Properties of fly ash-modified cement mortar-aggregate interfaces," Cem. Concr. Res. 30, pp. 1905-1913, 1999.

53. J.J.Beaudoin, C.Jolicoeur, M. Page G. Xu, "The effect of a polynaphthalene sulfonate superplasticizer on the contribution of the interfacial transition zone to the electrical resistivity of mortars containing silica and limestone fine aggregate," *Cer. Concr. Res.* 30, pp. 683-691, 2000.
54. Z.H.Shui, W.Chen, C.H. Shen P. Duan, "Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete," *Constr.Build. Mater.* 44, pp. 1-6, 2013.
55. S.Mindess, J.Lovell S. Diamond, "In Liaisons pates de Cement Materiaix Associes," *Proc. colloque RILEM Toulouse*, p. C42, 1982.
56. R.Javelas, J.S.Maso , B.Perrin J.Farran, "In liaison the contact the contact dans les materiaux compasites unilizes en genie civil," *Proc. colloque RILEM Toulouse*, pp. 60-76, 1972.
57. P.L Scrivener K.L.Pratt, in *In proceedings of the 8th international Congress of the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro III*, 1986.
58. A.M.Neville, "Properties of concrete" fourth edition. London, 1998.
59. Karen L. Scrivener, "The interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete ," *Interface science* 12, pp. 411-421, 2004.