

Бүтээлийн эмхэтгэл хянан магадалсан:

Зөвлөлийн дарга:

ХШУС-ийн Математикийн тэнхимийн профессор Доктор (Sc.D) профессор, Академич
Д.Цэдэнбаяр

Нарийн бичгийн дарга:

ШУТИС-ийн ЭШТХ-ийн албаны дарга, доктор /Ph.D/ Ц.Цоггэрэл

Зөвлөлийн гишүүд:

ДТҮЭХ-ийн захирал, доктор (Sc.D) профессор, Академич Х.Энхжаргал

ГУУС-ийн Геологийн тэнхимийн профессор, доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Батхишиг

ЭХИС-ийн Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга, доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Үлэмж

МХТС-ийн Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга, доктор (Ph.D), дэд профессор Х.Загарзүсэм

МИТС-ийн Механик инженерчлэлийн тэнхимийн профессор, доктор (Ph.D) Х.Батбаяр

БАС-ийн Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн тэнхимийн дэд профессор, доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Лхагвадулам

ГХС-ийн Англи хэл судлалын тэнхимийн эрхлэгч, доктор (Ph.D), дэд профессор Ч.Золзаяа

МС-ийн Бизнесийн удирдлага тэнхимийн профессор, доктор (Ph.D), дэд профессор О.Тамир

АТС-ийн профессор, доктор (Sc.D), профессор Т.Уранчимэг

НХС-ийн Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга, доктор (Ph.D), дэд профессор Л.Амартүвшин

ХХҮДС-ийн Хүнсний инженерчлэлийн тэнхимийн эрхлэгч, доктор (Ph.D), дэд профессор

Э.Энхцэцэг

ХХҮДС-ийн Хөнгөн үйлдвэрлэлийн технологи, инженерчлэлийн тэнхимийн профессор, доктор (Ph.D), дэд профессор Р.Мядагмаа

ДаТС-ийн Технологийн тэнхимийн профессор, доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Оюунбилэг

УУХ-ийн Техник технологийн салбарын төсөл судалгааны ажлын зөвлөх, эрдэм шинжилгээний ажилтан, доктор (Ph.D), профессор Б.Пүрэвтогтох

ОМССХ-ийн Ойн бүтээгдэхүүн, модлог судлалын салбарын эрхлэгч, доктор (Ph.D) Э.Тогтохбаяр

ХҮСХХ-ийн Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга, доктор (Ph.D) С.Цэрэндулам

Эмхэтгэсэн: Ж.Батбаяр

Хуудасны хэмжээ: А4

Бодит хэвлэлийн хуудас:

Үсгийн гарнитур: Times New Roman

ЖЭЙН ЖЭЙКОБСЫН ОНОЛЫН ХҮРЭЭНД УЛААНБААТАР ХОТЫН УРБАН ВАЙТАЛИТИЙГ ҮНЭЛЭХ НЬ

Баяраагийн АРИУНЖАРГАЛАН¹, Юү СОК-ЁОН²

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Барилга архитектурын сургууль, Хот төлөвлөлтийн тэнхим

²Солонгос Улс, Сөүл, Сөүлийн их сургууль, Хотын инженерчлэлийн тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: ariunjargalan@must.edu.mn

Хураангуй: Урбан вайталити нь хотын нийгэм, эдийн засгийн идэвх, өдөр тутмын үйл ажиллагаа, тогтвортой хөгжлийг илэрхийлэх чухал ойлголт бөгөөд сүүлийн үеийн хот судлалд уг ойлголтыг хотын орон зайн бүтэц хүний үйл ажиллагаа, харилцан үйлчлэлийг хэрхэн дэмжиж байгаагаар тайлбарлах хандлага давамгайлж байна. Жэйн Жэйкобс урбан вайталитиг нягтрал, газар ашиглалтын холимог байдал, блокийн бүтэц, барилгын насжилтын олон янз байдал, хүртээмж, орон зайн тасралтыг хянах зэрэг биет нөхцөлүүдийн харилцан үйлчлэлээр бүрэлдэн бий болдог гэж үзсэн. Энэхүү судалгааны зорилго нь Жэйн Жэйкобсын урбан вайталити онолын хүрээг Улаанбаатар хотын орон зайн бүтэц болон өгөгдлийн нөхцөлд нийцүүлэн дахин зохион байгуулж, хотын доторх ялгаатай хэв шинжүүдийн хооронд вайталити хэрхэн тархаж, бүрэлдэж байгааг эмпирик байдлаар тодорхойлоход оршино. Судалгаанд Улаанбаатар хотын зургаан дүүргийг хамруулж, хотын орон зайг зуун метрийн торон нэгж болгон хуваан GIS-д суурилсан орон зайн шинжилгээ хийв. Жэйкобсын зургаан нөхцөлийг төлөөлөх хувьсагчдыг стандартчилж, урбан вайталитийн нийлмэл индексийг боловсруулан кластер шинжилгээгээр хотын орон зайн хэв шинжүүдийг ангилсан. Үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотод урбан вайталитийн нөхцөлүүд жигд бус тархаж, социалист үеийн төлөвлөлтийн өв болон зах зээлд суурилсан хөгжлийн логик давхцан хотын идэвхтэй байдлыг ялгаатай байдлаар бүрдүүлж байгааг харууллаа.

Түлхүүр үг: Урбан вайталити, орон зайн бүтэц, GIS шинжилгээ

I. УДИРТГАЛ

Урбан вайталити (Urban Vitality) нь хотын эрүүл байдал, эрч хүч, тогтвортой хөгжлийн түвшнийг үнэлэх чухал үзүүлэлт болон судалгаанд өргөн хэрэглэгдэж байна. [1] [2]. Сүүлийн үеийн хот төлөвлөлт, хот судлалын судалгаанд урбан вайталитийг зөвхөн хүн амын нягтрал эсвэл эдийн засгийн үзүүлэлтээр хэмжихээс илүүтэй, хотын орон зайн бүтэц нь хүний үйл ажиллагаа, харилцан үйлчлэлийг хэрхэн үүсгэж, тогтвортой хадгалж, дэмжиж чаддагаараа тодорхойлогдох цогц ойлголт хэмээн авч үзэх хандлага давамгайлж байна. [3] [4] [10] Жэйн Жэйкобс [3] нь идэвхжил өндөртэй хотыг хүмүүс уулзалдаж, харилцан ажиглаж, үйлчилдэг өдөр тутмын гудамжны амьдрал тасралтгүй өрнөдөг орон зай хэмээн тодорхойлсон бол, Маас [4] урбан вайталитийг явган хөдөлгөөн болон олон төрлийн эдийн засгийн боломжуудын харилцан уялдаанаас үүдэх синерги нөлөөгөөр тодорхойлсон байна.

Үүний дараа урбан вайталитийн ойлголт нь эдийн засаг, нийгэм, соёл, экологийн хэмжээстүүдийг хамрах байдлаар өргөжин хөгжсөн бөгөөд [1] [5], газар ашиглалтын холимог байдал, хотын хэлбэрийн төрөлжилт, гудамжны идэвхтэй үйл ажиллагаа, дүр төрхийн танигдах чанар (imageability), цаг хугацааны олон янз байдал зэрэг нь урбан вайталитийг дэмжих гол хүчин зүйлс хэмээн давтан дурдагдаж ирсэн байна. [3] [6] [7]. Эдгээр шинж чанар нь оршин суугчдын сэтгэл ханамж, нийгмийн уялдаа холбоо, хүртээмжтэй байдалтай нягт уялдаатай бөгөөд урбан вайталити нь хот бодит байдал дээр хэр зэрэг амьд, эрчимтэй ажиллаж байгааг илтгэх бодит үр дүнгийн үзүүлэлт болж өгдөг [2] [5].

Уг онолын хэлэлцүүлэг нь сүүлийн хэдэн арван жилд хотжилтын огцом өөрчлөлтийг туулсан Улаанбаатар хотын бодит нөхцөлд онцгой ач холбогдолтой юм. Тус хотод бага нягтралтай, албан бус байдлаар бүрэлдэн тогтсон гэр хорооллын бүсүүдийн өргөн тархалт, инженерийн болон нийгмийн дэд бүтцийн дутагдал, жилийн дөрвөн улиралд үргэлжилдэг агаарын бохирдол, эрс тэс уур амьсгалын нөхцөл, мөн хотын төв ба захын бүсүүдийн хоорондын орон зайн тэнцвэргүй хөгжил зэрэг асуудлууд зэрэгцэн илэрч байна [8]. Ийм нөхцөлд бүрэлдсэн Улаанбаатар хотын орон зайн бүтэц нь ерөнхийдөө социализмын үед төлөвшсөн уураг хотын төвийн бүс, 1990 оноос хойш зах зээлийн хөгжлийн нөлөөгөөр тэлэн бий болсон олон давхар орон сууцны бүс мөн хотын ихэнх хэсгийг хамарсан гэр хорооллын суурьшлын бүс гэсэн гурван үндсэн хэлбэрт хуваагдана [9].

Эдгээрээс гэр хорооллын бүс нь гудамж замын сүлжээ хангалтгүй, хэт уртаар сунасан байрласан суурьшлын бүтэцтэй, нягтрал багатай, мөн нэг төрлийн газар ашиглалт давамгайлсан онцлогтой. Тус бүсэд албан ёсны өмчийн газартай хэдий ч зөвшөөрөлгүй баригдсан амины орон сууц (байшин, гэр) зонхилж, худалдаа болон нийтийн үйлчилгээний хүрэлцээ сул, инженерийн дэд бүтцийн хангалтгүй байдал ажиглагддаг. Ийм нөхцөлийн улмаас уг бүс нь урбан вайталити болон оршин суухад тохиромжтой байдлын хувьд ихэвчлэн доогуур үнэлэгддэг [8]. Харин хотын төв болон өндөр давхар орон сууц давамгайлсан бүсүүд нь харьцангуй өндөр нягтрал, олон төрлийн хотын үйл ажиллагаа, мөн өргөн хүрээний хөдөлгөөний эрчим өдөр тутамд идэвхтэй явагддаг онцлогтой. Гэвч сүүлийн жилүүдэд нэг чиг

үүрэг давамгайлсан өндөр нягтралтай орон сууцны хөгжүүлэлт, мөн Туул гол, төмөр зам, үйлдвэрийн бүсүүдээс үүдэлтэй хотын орон зайн тасралт нь зарим бүс нутагт урбан вайталитийг сулруулах хүчин зүйл болж байгааг онцолж байна.

Нөгөөтээгүүр, урбан вайталитийг хүн амын нягтрал, худалдаа үйлчилгээний төвлөрөл, явган хөдөлгөөний хэмжээ, газар ашиглалтын холимог байдал, гар утасны өгөгдөлд суурилсан үйл ажиллагааны түвшин зэрэг олон үзүүлэлтээр хэмжих оролдлогууд хийгдэж ирсэн. Эдгээр судалгаа нь тодорхой зан төлөв, эсвэл тусгай биет элементүүдэд төвлөрөх, мөн их өгөгдөлд суурилсан индикаторуудыг ашиглах замаар урбан вайталитийн зарим талыг нарийвчлан илрүүлэх боломж олгосон боловч, хотын орон зайн бүтцийн нөхцөлүүд хэрхэн харилцан уялдан нэгдэж урбан вайталитийг бүрдүүлдэг талаар цогц тайлбар өгөхөд хязгаарлагдмал хэвээр байсаар ирсэн.

Иймээс энэхүү судалгаа нь урбан вайталитийг үйл ажиллагааны шууд үр дүн бус, харин орон зайн бүтцийн нөхцөлүүдийн нэгдэл хэмээн авч үзсэн Жейн Жэйкобсын онолын хандлагад тулгуурлан судалгааны хүрээг тодорхойлж байна. Жэйкобс (Jane Jacobs, 1961) урбан вайталити нь нягтрал, барилгын ашиглалтын холимог байдал, блокийн бүтэц, барилгын насжилтын олон янз байдал, хүртээмж, мөн орон зайн тасралтыг хянах нөхцөлүүд зэрэг олон төрлийн физик хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн үр дүнд бүрэлдэн бий болдог хэмээн үзсэн. Уг онолын хүрээг Delclòs-Alió болон Miralles-Guasch [7] нар GIS-д суурилсан орон зайн хувьсагчдаар урбан вайталитийг “хөдөлгөөний эрч”-ээр илэрхийлэхээс илүүтэй, орон зайн нөхцөлүүдийн түвшнийг үнэлэх аналитик хүрээ болгон хөгжүүлсэн байна.

Улаанбаатар хот нь социалист төлөвлөлттэй хотын бүтэц, эрчимтэй орон сууцны хөгжил, албан бус суурьшлын бүсүүд зэрэгцэн оршдог барууны бус, нягтрал багатай (пост-социалист, гибрид) хот тул барууны өндөр нягт хотуудыг суурь болгосон уламжлалт урбан вайталитийн индексүүдийг шууд хэрэглэхэд хүндрэлтэй. Ийм нөхцөлд Жэйкобсын нөхцөлд суурилсан хандлага нь өөр өөр орон сууцны хэв шинжүүдийн хооронд урбан вайталити хэрхэн бүрэлдэж байгааг харьцуулан тайлбарлах нийтлэг аналитик хэллэгийг бүрдүүлж өгдөг.

Иймд энэхүү судалгааны зорилго нь Жэйкобсын урбан вайталитийн онолыг Улаанбаатар хотын орон зайн бүтэц болон өгөгдлийн нөхцөлд нийцүүлэн дахин зохион байгуулж хэрэглэх замаар, хотын доторх ялгаатай орон сууцны хэв шинжүүдийн хооронд урбан вайталити орон зайн тархалт болон бүрэлдэх механизмыг эмпирик байдлаар тодорхойлох, цаашлаад хотын дахин төлөвлөлт болон хорооллын түвшний төлөвлөлтөд ашиглах оношлох шинжилгээний хүрээг санал болгоход оршино.

II. ОНОЛЫН СУДАЛГАА

1. Нэр томъёоны тодорхойлолт

Урбан вайталити (Urban Vitality): Хотын орон зайн бүтэц, газар ашиглалт, биет орчны нөхцөлүүд харилцан уялдан үйлчилснээр хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаа, харилцан үйлчлэл тасралтгүй өрнөх боломжийг бүрдүүлж, хадгалж, дэмжих хотын чадавхыг илэрхийлэх ойлголт юм.

2. Жэйн Жэйкобсын урбан вайталитийн онолын хүрээ

Жэйн Жэйкобс [3] урбан вайталитийг хүний үйл ажиллагаа болон хотын орон зайн хэлбэр хоорондын динамик харилцан үйлчлэл хэмээн ойлгож, идэвхтэй гудамжны амьдрал нь барилгажсан орчны биет олон янз байдлаас үүдэн бий болдог хэмээн онцолсон байдаг. Түүний “Америкийн хотуудын үхэл ба амьдрал” (The Death and Life of Great American Cities) бүтээлд хотын гудамжны амьдралыг өдрийн турш тасралтгүй, аюулгүй, амьд байлгахын тулд хотын орчинд хангагдах ёстой цогц нөхцөлүүдийг дэвшүүлсэн. Түүний санал болгосон зургаан нөхцөлөөс бүрдэх энэхүү онолын хүрээ нь өнөөдөр ч микро түвшний урбан вайталитийг үнэлэхэд хамгийн тогтвортой, эмпирик байдлаар баталгаажсан онолын суурийн нэг хэмээн үнэлэгддэг. Үүнд:

Нэгдүгээрт, өдрийн өөр өөр цагт өөр өөр зорилготой хүмүүс ижил бүс нутгийг зорин ирж, ашиглах боломжийг бүрдүүлэхүйц холимог газар ашиглалт шаардлагатай. Холимог газар ашиглалт нь үйл ажиллагааны хэмнэлийг давхцуулан бий болгож, явган зорчигчдын тасралтгүй үргэлжлэх нөхцөлийг бүрдүүлдэг бөгөөд эдийн засаг, нийгмийн харилцан үйлчлэлийн боломжийг нэмэгдүүлдэг.

Хоёрдугаарт, ойр ойрхон уулзвар бүхий жижиг хэмжээний блокийн бүтэц нь хөдөлгөөний маршрутыг олон төрөлтэй болгож, явган явах зайг богиносгон, гудамжны буланд харилцах боломжийг нэмэгдүүлдэг тул зайлшгүй шаардлагатай. Ийм хүний хэмжээтэй блокийн бүтэц нь жам хяналт бэхжих, нийгмийн уялдаа холбоог нэмэгдүүлэх, явган хөдөлгөөний урсгалыг илүү нарийвчлах ач холбогдолтой.

Гуравдугаарт, Жэйкобс нэг бүс дотор насжилт, хэмжээ, байдал нь харилцан адилгүй барилгууд хамт оршихын ач холбогдлыг онцолсон. Барилгын шинж чанарын олон янз байдал нь түрээсийн түвшин болон эдийн засгийн үйл ажиллагааны хүрээг тэлж, төрөл бүрийн бизнес, нийгэм-эдийн засгийн бүлгүүд зэрэгцэн орших боломжийг бүрдүүлдэг. Ийм олон төрлийн байдал нь ялгаатай байдлыг үүсгэдэг жигд, том хэмжээтэй хөгжүүлэлтээс өөр, уян хатан, тогтвортой хотын эдийн засгийн экосистемийг бүрдүүлдэг.

Дөрөвдүгээрт, гудамжны амьдралыг хадгалахын тулд тодорхой түвшний хүн амын төвлөрөл болон барилгын нягтрал шаардлагатай. Гэсэн хэдий ч Жэйкобс нягтрал дангаараа хангалтгүй бөгөөд зөвхөн холимог газар ашиглалт, жижиг блокийн бүтэц, барилгын ижил бус найрлагатай хослох үед л үр дүнтэй ажилладаг хэмээн үзсэн.

Эдгээр үндсэн нөхцөлөөс гадна Жэйкобс урбан вайталитид нөлөөлөх хоёр нэмэлт нөхцөлийг дэвшүүлсэн. Нэгдүгээр нэмэлт нөхцөл нь цэцэрлэгт хүрээлэн, нийтийн тээврийн буудал, төрөл бүрийн өдөр тутмын үйлчилгээ бүхий нийтийн байгууламж, тээврийн системд хүрэх хангалттай хүртээмж юм. Хүртээмж нь нийтийн орон зайг тасралтгүй ашиглагдах нөхцөлийг бүрдүүлж, орчны нийгмийн уялдаа холбоог бэхжүүлдэг.

Хоёрдугаар нэмэлт нөхцөл нь хил хязгаарын хоосон зай(border vacuum)-г хянах асуудал юм. Энэ нь төмөр замын зурвас, хурдны зам, үйлдвэрийн бүс, томоохон кампус зэрэг явган хөдөлгөөнийг тасалдуулж, ашиглалт багатай, идэвхгүй хил зааг үүсгэдэг том хэмжээний нэг чиг үүрэгт орон зайнуудыг хэлнэ. Жэйкобс ийм хил хязгаарын хоосон зайг зохицуулахгүй орхивол гудамжны амьдралын залгамж чанар алдагдаж, тухайн бүс нутгийн урбан вайталити сулрахад хүрнэ гэж үзсэн.

Барселона [7], Сөүл [6] зэрэг олон хотыг хамарсан эмпирик судалгаанууд Жэйкобсын дэвшүүлсэн нөхцөлүүд нь орчин үеийн урбан вайталитийг тайлбарлахад өнөөдөр ч боломжтой хэвээр байгааг харуулж байна. Түүний онолын хүрээ нь хурдтай өөрчлөгдөж буй хотын орчинд баригдсан орчны орон зайн зохион байгуулалт нь микро түвшний явган хөдөлгөөн, газар ашиглалтын олон янз байдал, орон зайн харилцан үйлчлэлийн хэв шинжийг хэрхэн бүрдүүлж байгааг шинжлэхэд одоо ч хүчтэй аналитик хэрэгсэл хэвээр байна.

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

1. Судалгааны хамрах хүрээ

Энэхүү судалгаа нь Жэйн Жэйкобсын урбан вайталитийн онолын хүрээг Улаанбаатар хотод хэрэгжүүлж, хотын төвийн хэмжээнд илрэх орон зайн хэв шинжийг шинжилнэ. Судалгааны хамрах нутаг нь хотын голлох үйл ажиллагаа төвлөрсөн төвийн зургаан дүүргээс бүрдэнэ. Үүнд Сүхбаатар, Чингэлтэй, Хан-Уул, Баянгол, Баянзүрх, Сонгинохайрхан дүүрэг багтана.

Эдгээр дүүргийг сонгохдоо зөвхөн захиргааны хил хязгаарыг баримтлаагүй бөгөөд хотын үйл ажиллагааны бодит тархалт, хөдөлгөөний хэв шинж, худалдаа болон бизнесийн үйл ажиллагаа, боловсролын болон нийтийн үйлчилгээний гол байгууламжуудын байршил зэрэг функциональ хотын төвийг тодорхойлох хүчин зүйлсийг цогцоор нь харгалзан үзсэн болно.

СУДАЛГААНД АШИГЛАСАН НӨХЦӨЛ, ХУВЬСАГЧИД БОЛОН ӨГӨГДЛИЙН ЭХ СУРВАЛЖ

1-Р ХҮСНЭГТ

Нөхцөл	Товч тайлбар	Хувьсагч	Нэгж	Эх сурвалж
Суурь	Төвлөрөл Тодорхой хотын орон зайг идэвхтэй гэж	Хүн амын нягтрал	хороо	Үндэсний статистикийн мэдээлэл
		Өрхийн нягтрал		

Нөхцөл	Товч тайлбар	Хувьсагч	Нэгж	Эх сурвалж
Туслах	Үзэх үндсэн нөхцөл нь хүн ам, орон сууц, барилгын нягт төвлөрөл юм.	Барилгын нягтрал	Барилга	Ebarilga.mn
	Харилцах боломж (Contact opportunity) Гудамжны сүлжээний бүтэц нь явган хөдөлгөөн болон нийгмийн боломжит харилцааг дэмжих боломжийг бүрдүүлэх ёстой.	Замын уртын нягтрал Уулзварын нягтрал	Зам, гудамжны GIS өгөгдөл	Улаанбаатар хотын зам тээвэр төлөвлөлийн газар
	Хуучин барилгын хэрэгцээ (Need for aged buildings) Хуучин болон шинэ барилгуудын холимог байдал нь функциональ олон янз байдал, өргөн хүрээний нийгэм-эдийн засгийн үйл ажиллагааг дэмжинэ.	Барилгын дундаж нас Барилгын насны стандарт хазайлт	Барилга	Ebarilga.mn
Туслах	Хүртээмж (Accessibility) Хот нь өдөр тутмын хотын үйл ажиллагааг дэмжих хангалттай нийтийн тээврийн хүртээмжтэй байх шаардлагатай.	Нийтийн тээвэр (автобусны буудал) хүртэлх зай	Нийтийн тээврийн буудлын GIS өгөгдөл	Ebarilga.mn
	Хил хязгаарын хоосон зайгаас зай (Distance from border vacuums) Том хэмжээний нэг чиг үүрэгт газар, дэд бүтэц болон физик саад нь орон зайн залгамж чанарыг тасалдуулж, гудамжны идэвхийг сулруулдаг.	Газрын нэгж (parcel)	Нэгж кадастр	Egazar.mn

2. Хувьсагч ба шинжилгээний нэгж

Энэхүү судалгаанд Жэйн Жэйкобсын нөхцөлд суурилсан урбан вайталитийн ойлголтыг Улаанбаатар хотын ялгаатай хотын бүтэцтэй

уялдуулан хэрэглэхийн тулд, шинжилгээний байршлыг 100 м × 100 м хэмжээтэй тороор (grid) хуваав. Энэхүү торон нэгж нь урбан вайталитийг хувь хүний зан үйл эсвэл үйл ажиллагааны хэмжээний үр дүн гэж бус, харин нягтрал, олон янз байдал, харилцах боломж, барилгын насжилт, хүртээмж, орон зайн тасралт зэрэг орон зайн бүтцийн нөхцөлүүдийн нэгдэл хэлбэрээр авч үзэх судалгааны зорилгод нийцнэ гэж үзсэн.

Улаанбаатар хот нь өндөр нягтралтай олон давхар орон сууцны бүсүүд, төлөвлөгөөтэйгөөр бүрэлдэн тогтсон хуучин хотын төв, мөн өргөн хүрээг хамарсан бага нягтралтай, албан бус гэр хорооллын бүсүүд зэрэгцэн оршдог, орон зайн хувьд хүчтэй ялгарал бүхий хот юм. Ийм хотын бүтцийн нөхцөлд хэт нарийвчилсан шинжилгээний нэгж ашиглах нь бага нягтралтай бүсүүдэд утга бүхий орон зайн хэв шинжийг илрүүлэхэд хүндрэл учруулах, эсвэл орон нутгийн түвшний хэлбэлзлийг хэт ихээр өсгөх эрсдэлтэй. Харин эсрэгээрээ хэт том орон зайн нэгж сонгох нь өөр өөр орон сууцны хэв шинжүүдийн хооронд орших урбан вайталитийн нөхцөлийн ялгааг бүдгэрүүлэх аюултай.

Иймээс энэхүү судалгаанд 100 м-ийн торон нэгж нь хорооллын дотоод түвшинд урбан вайталитийн нөхцөлүүд хэрхэн тархаж, хоорондоо хослон илэрч байгааг харьцуулан тайлбарлахад тохиромжтой, дунд түвшний шинжилгээний нэгж гэж үзэв. Энэхүү торон нарийвчлал нь Улаанбаатар хотын ялгаатай орон сууцны хэв шинжүүдийн хооронд хотын идэвхжилийн бүрэлдэх механизмыг орон зайн бүтцийн нөхцөлийн түвшинд эмпирик байдлаар харьцуулахад шинжилгээний тогтвортой байдал болон тайлбарлах боломжийг зэрэг хангаж өгдөг.

1) Нягтрал (Concentration)

Эхний нөхцөл нь хотын үйл ажиллагаа тасралтгүй үргэлжлэхэд шаардагдах суурь нягтралын түвшнийг илэрхийлнэ. Энэхүү судалгаа нь Барселона хотын жишиг судалгааны нэгэн адил баригдсан орчны нягтралыг барилгын нягтрал (building coverage ratio) болон нийт талбайн харьцаа (floor area ratio)-аар хэмжихийг зорьсон боловч, судалгааны хамрах бүсийн кадастр болон барилгын өгөгдлийн бүтцийн хязгаарлалтаас шалтгаалан эдгээр үзүүлэлтийг тогтвортой хэрэглэх боломж хязгаарлагдмал байсан. Иймд энэхүү судалгаанд барилгын бодит орон зайн тархалт болон газар ашиглалтын шинжийг илүү шууд илэрхийлэх барилгын нягтрал (building density)-ыг орлуулах үзүүлэлт болгон ашиглав.

Хүн амын нягтралыг Үндэсний статистикийн хороо (National Statistics Office)-ны хорооны түвшний хүн амын статистик мэдээлэлд тулгуурлан тооцсон бол, өрхийн нягтралыг мөн хороонд бүртгэлтэй өрхийн тооны орон зайн тархалтад үндэслэн үнэлэв. Барилгын нягтралыг кадастрын өгөгдлийн сангаас авсан барилгын полигон мэдээллийг ашиглан, тус бүрийн торон нэгж доторх барилгын ул талбайн эзлэх хувийг тооцоолох замаар тодорхойлов.

2) Олон янз байдал (Diversity)

Хоёр дахь нөхцөл нь нэгэн ижил хотын орон зайд дор хаяж хоёр ба түүнээс дээш анхдагч барилгын

ашиглалт хамт орших ёстой гэсэн Жэйн Жэйкобсын үндсэн санааг тусгана. Энэхүү судалгаанд торон нэгж бүр дэх орон сууц, худалдаа, үйлчилгээ, төрийн болон бусад барилгын ашиглалтын эзлэх хувийн тархалтад үндэслэн барилгын ашиглалтын холимог индекс (Building-Use Mix Index, BUM)-ийг тооцоолов.

Мөн орон сууц болон орон сууцны бус ашиглалтын хоорондын бүтцийн тэнцвэрийг илэрхийлэх зорилгоор орон сууц–орон сууцны бус ашиглалтын харьцаа (RNR)-г тооцоолсон боловч орон сууцны бус ашиглалт маш бага торон нэгжүүдэд уг үзүүлэлтийн утга тогтворгүй байсан. Иймээс орлуулах байдлаар нийт ашиглалтын бүтцэд орон сууц эзлэх хувийг илэрхийлэх орон сууцны эзлэх хувь (Residential Share, RS) үзүүлэлтийг ашиглав. Улмаар BUM болон RS үзүүлэлтүүдийг тус бүр стандартчилж (z-score), барилгын ашиглалтын олон янз байдлын индекс (Diversity Score) болгон нэгтгэн тооцоолов.

3) Харилцах боломж (Contact Opportunity)

Гурав дахь нөхцөл нь явган хөдөлгөөн болон нийгмийн харилцаанд нөлөөлөх гудамжны сүлжээний бүтцийн шинжийг тусгана. Гудамжны сүлжээний бүтцийг замын уртын нягтрал болон уулзварын нягтрал гэсэн хоёр үзүүлэлтээр хэмжсэн бөгөөд эдгээр нь хөдөлгөөний явцад хүмүүс хоорондоо тааралдах боломжийг илэрхийлэх бүтцийн харилцах боломж (structural opportunity for contact)-ын төлөөлөл гэж тайлбарлагдана.

Энэхүү судалгаанд харилцааны давтамж, чанар бус, харин харилцаа үүсэх боломж бүрдэх орон зайн нөхцөлд анхаарсан тул гудамжны өргөн, замын огтлолын хэлбэр зэрэг үзүүлэлтүүдийг шинжилгээний хувьсагчаас хасав. Гудамжны сүлжээний шинжилгээнд зориулан нэвт гарсан замаар бүрэлдсэн блокийн бүтцийг үндэслэн шинжилгээний блокийг байгуулж, тухайн блокийн түвшинд гудамжны үзүүлэлтүүдийг тооцоолсон болно.

4) Хуучин барилгын хэрэгцээ (Need for Aged Buildings)

Энэхүү бүрэлдэхүүн хэсэг нь торон нэгж бүр дэх барилгын насжилтын ялгаатай байдлыг илрүүлэх зорилготой. Үүний тулд торон нэгж бүрд багтах барилгуудын дундаж баригдсан он болон баригдсан онуудын стандарт хазайлтыг тооцоолж, хотын нийт тархалтыг суурь болгон стандартчилсан (z-score). Дундаж баригдсан он нь утга ихсэх тусам шинэ барилгыг илэрхийлэх тул, хуучин барилгын оролцоо өндөр тусгагдахын үүднээс тухайн үзүүлэлтийн тэмдгийг урвуулан хэрэглэв. Эцэст нь стандартчилсан хоёр үзүүлэлтийг тэнцүү жинтэйгээр нэгтгэн хуучин барилгын хэрэгцээний индекс (Need for Aged Buildings Score, NABS)-ийг бүрдүүлэв.

5) Хүртээмж (Accessibility)

Хүртээмжийг оршин суугчид өдөр тутмын хөдөлгөөнд ашиглах нийтийн тээвэрт хэр хялбар хүрч чадаж байгааг илэрхийлэх үзүүлэлтээр үнэлэв. Нийтийн тээврийн хүртээмжийг торон нэгж бүрээс хамгийн ойрын автобусны буудал хүртэлх зайгаар

хэмжсэн. Улаанбаатар хотод метроны систем байхгүй тул энэхүү судалгаанд ашигласан хүртээмжийн хувьсагч нь хотын автобус төвтэй нийтийн тээврийг тусгасан.

б) Хил хязгаарын тасралтаас зай (Distance from Border Vacuums)

Сүүлийн нөхцөл нь урбан вайталитийг сулруулах хүчин зүйл хэмээн Жэйн Жэйкобсын анхааруулсан хил хязгаарын тасралт (border vacuum) хэмээх ойлголтыг тусгана. Энэхүү судалгаанд хотын орон зайн залгамж чанарыг алдагдуулж, явган хөдөлгөөн болон өдөр тутмын хотын үйл ажиллагааг бууруулдаг том хэмжээний нэг чиг үүрэгт орон зайнууд болон биет саадуудыг хил хязгаарын тасралтын элементүүд гэж тодорхойлов.

Үүнд төмөр зам болон төмөр замын зурвас, гол магистрал болон хурдны зам, үйлдвэр, аж үйлдвэрийн бүсүүд зэрэг тээвэр, аж үйлдвэрийн байгууламжуудыг хамруулсан бөгөөд үүнээс гадна Туул гол, Сэлбэ гол, гүүрэн замын байгууламжууд, мөн 15 градусаас дээш налуутай уул, толгодын газар зүйн хэлбэр зэрэг байгалийн болон топографийн саадуудыг шинжилгээнд оруулав. Эдгээр элемент нь гудамжны сүлжээний физик болон үйл ажиллагааны залгамж чанарыг сулруулж, явган хүртээмжийг хязгаарлах шинжтэй тул торон нэгж бүрээс хамгийн ойрын хил хязгаарын тасралтын элемент хүртэлх зайг тооцоолж, стандартчилсны үндсэн дээр хил хязгаарын тасралтын индекс (Border Vacuums Score, BVS) болгон ашиглав.

3. Өгөгдөл боловсруулах ба тооцоолол

Энэхүү судалгаанд өгөгдөл боловсруулах болон үзүүлэлтүүдийг тооцоолох үйл явцыг Delclòs-Alió болон Miralles-Guasch [7] нарын дэвшүүлсэн урбан вайталитийн шинжилгээний арга зүйг суурь болгов. Тухайн судалгаанд хэрэглэсэн хувьсагчийг стандартчилах арга, нөхцөл тус бүрийн оноо тооцоолох логикийг Улаанбаатар хотын хотын бүтэц болон ашиглах боломжтой өгөгдлийн нөхцөлд нийцүүлэн тохируулан ашигласан.

Шинжилгээний хамрах хүрээг Улаанбаатар хотын хотын бүтцийг төлөөлөх 6 дүүрэг болгон тогтоов. Шинжилгээнд ашигласан бүх анхдагч өгөгдлийг алдаатай болон дутуу утгуудын хувьд урьдчилан шалгаж, цэвэршүүлсний дараа орон зайн нарийвчлалын уялдааг хангах зорилгоор 100 × 100 м хэмжээтэй торон нэгж (grid cell) болгон дахин зохион байгуулсан. Энэхүү торон нарийвчлал нь өндөр нягтралтай орон сууцны бүс болон бага нягтралтай, албан бус гэр хорооллын бүсүүд зэрэгцэн оршдог Улаанбаатар хотын орон зайн ялгаатай бүтцийг харьцуулан тайлбарлахад тохиромжтой шинжилгээний нэгж гэж үзэв.

Ихэнх хувьсагчдыг торон нэгж бүрд хамрагдсан анхдагч өгөгдлийн дундаж утга эсвэл нийлбэр утгад үндэслэн тооцоолсон. Хүн амын нягтрал (Population Density, PD) болон өрхийн нягтрал (Housing Density, HD)-ыг Үндэсний статистикийн хорооноос гаргасан хорооны түвшний хүн ам, бүртгэлтэй өрхийн статистикийг орон зайн хувьд хуваарилж, торон

нэгжид шилжүүлэн ашиглав. Барилгын нягтрал (Building Density, BD)-ыг хотын өгөгдлийн сангаас авсан барилгын полигон мэдээлэлд үндэслэн, торон нэгж бүр доторх барилгын шалны талбайн эзлэх хувиар тодорхойлов.

Нягтралын нөхцөл нь хүн ам, өрх, баригдсан орчны суурь нягтралын түвшнийг илэрхийлэх зорилгоор дээрх гурван хувьсагчийг ашигласан. Эдгээр хувьсагчдыг хотын нийт тархалтыг суурь болгон стандартчилж (z-score), ижил жинтэйгээр нэгтгэн нягтралын оноо (Concentration Score, CS)-г тооцоолов.

Олон янз байдлын нөхцөл нь ижил торон нэгж доторх барилгын ашиглалтын холимог байдлыг илэрхийлэх зорилгоор барилгын ашиглалтын холимог индекс (Building-Use Mix Index, BUM) болон орон сууцны эзлэх хувь (Residential Share, RS)-ийг ашигласан. Орон сууцны бус ашиглалтын эзлэх хувь маш бага торон нэгжүүдэд RNR үзүүлэлт тогтворгүй болох асуудлыг харгалзан, энэхүү судалгаанд RNR-ийн оронд RS-ийг хэрэглэв. BUM болон RS-ийг тус бүр стандартчилсны дараа ижил жинтэйгээр нэгтгэн олон янз байдлын оноо (Diversity Score, DS)-г тооцоолов.

Харилцах боломжийн нөхцөл нь явган хөдөлгөөний явцад нийгмийн харилцаа үүсэх боломжийг илэрхийлэх бүтцийн нөхцөл гэж үзэж, гудамжны сүлжээний хэлбэр зүйн шинжүүдэд тулгуурлан тооцоолсон. Хоёр хувьсагчийг стандартчилсны дараа ижил жинтэйгээр нэгтгэн харилцах боломжийн оноо (Contact Opportunity Score, COS)-г гаргав.

Хуучин барилгын хэрэгцээ нь барилгын насжилтын түвшин болон түүний ялгаатай байдлыг зэрэг тусгах зорилгоор хоёр хувьсагчийг ашигласан. Барилгын дундаж баригдсан он нь утга ихсэх тусам шинэ барилгыг илэрхийлдэг тул, хуучин барилгын эзлэх хувь өндөр байх үед оноо өсөхөөр стандартчилах явцад тэмдгийг урвуулан хэрэглэв. Дараа нь хоёр хувьсагчийг ижил жинтэйгээр нэгтгэн NABS оноог тооцоолов.

Хүртээмжийг Улаанбаатар хотын автобус төвтэй нийтийн тээврийн тогтолцоог харгалзан, торон нэгж бүрээс хамгийн ойрын автобусны буудал хүртэлх Евклидийн зай (Distance to Public Transport, DPT)-аар тодорхойлов.

Хил хязгаарын тасралтын нөхцөлийг газрын мэдээллийн сан бүртгэгдсэн газар ашиглалтын ангилал болон OpenStreetMap-д суурилсан орон зайн өгөгдлийг ашиглан бүрдүүлэв. Төмөр зам болон төмөр замын зурвас, гол магистрал зам, аж үйлдвэр-үйлдвэрлэлийн зориулалтын газар, томоохон нийтийн байгууламж, гол мөрөн, гүүрэн замын байгууламж, мөн 15 градусаас дээш налуутай уул, толгодын газар зүйн хэлбэрүүдийг хил хязгаарын тасралтын элементүүд гэж тодорхойлсон. Торон нэгж бүрээс хамгийн ойрын хил хязгаарын тасралтын элемент хүртэлх зайг тооцоолж, уг зайг стандартчилсны үндсэн дээр хил хязгаарын тасралтын оноо (Border Vacuums Score, BVS)-г гаргав.

$$CS=zPD(1/3)+zHD(1/3)+zBD(1/3) \quad (1)$$

$$DS=zBUM(1/2)+zRS(1/2) \quad (2)$$

$$COS=(-1)(zBUM)(1/2)+(-1)(zSW)(1/2) \quad (3)$$

$$NABS=(-1)(zMA)(1/2)+(zSDA)(1/2) \quad (4)$$

$$AS=(-1)(zDPT) \quad (5)$$

$$DBVS=zDBV \quad (6)$$

Эцэст нь, Delclòs-Alió болон Miralles-Guasch [7] нарын санал болгосон жинлэлтийн бүтцийг ашиглан зургаан нөхцөлийн оноог нэгтгэн урбан вайталитийн индекс (JANE Index)-ийг тооцоолов. Үүнд нягтрал, олон янз байдал, харилцах боломж, хуучин барилгын хэрэгцээ гэсэн дөрвөн үзүүлэлтийг суурь нөхцөл хэмээн үзэж ижил жинтэйгээр нэгтгэсэн бол, хүртээмж болон хил хязгаарын тасралтыг дагалдах нөхцөл гэж ангилан харьцангуй бага жин оноов.

$$JANE=CS(1/5)+DS(1/5)+COS(1/5)+NABS(1/5)+AS(1/10)+BVS(1/10) \quad (7)$$

Урбан вайталитийн индекс (JANE Index)-ийн орон зайн тархалтыг илүү системтэй тайлбарлахын тулд, энэхүү судалгаанд Delclòs-Alió болон Miralles-Guasch [7] нарын журмыг даган кластер шинжилгээ (clustering analysis) хийв. Кластер шинжилгээний зорилго нь орон зайн хувьд тасралтгүй бүсүүдийг тодорхойлоход бус, харин статистикийн хувьд ялгагдах урбан вайталитийн түвшний хэв шинжүүдийг илрүүлэхэд оршино.

Үүний тулд ESRI ArcGIS Pro программын Multivariate Clustering хэрэгслийг ашиглаж, кластерын алгоритмаар K-дундаж (K-means) аргыг хэрэглэв. 100 × 100 м хэмжээтэй торон нэгж бүрийг нэг шинжилгээний объект гэж тодорхойлж, тухайн торон нэгжийн JANE Index-ийн утгыг кластерын үндсэн хувьсагчаар ашигласан. Хувьсагч хоорондын хамаарал болон давхардсан нөлөөг харгалзан, кластер шинжилгээнд дан ганц нийлмэл индекс болох JANE Index-ийг ашиглав.

Кластерын тоог лавлагаа судалгаатай харьцуулах боломжийг хангах үүднээс дөрвөн кластер (k = 4) болгон урьдчилан тогтоов. Автомат кластерын тоо үнэлэх горимд илүү олон кластер (30) санал болгосон боловч, энэхүү судалгаанд онолын тайлбарлах боломж болон харьцуулсан судалгааны тууштай байдлыг харгалзан кластерын тоог тогтмол байлгасан. Кластер шинжилгээний явцад объектуудыг кластер хоорондын дотоод хэлбэлзлийг хамгийн бага байлгах чиглэлд давтан дахин хуваарилсан.

Энэхүү кластер шинжилгээнд орон зайн ойролцоо байдал буюу залгамж чанарыг харгалзах орон зайн хязгаарлалтын нөхцөлийг ашиглаагүй. Ингэснээр кластерын үр дүн нь орон зайн хэлбэрээс илүүтэйгээр урбан вайталитийн түвшний статистик ялгааг илэрхийлэхэд чиглэсэн.

Кластер шинжилгээний үр дүнд Улаанбаатар хотын орон зайг вайталити өндөр (High vitality),

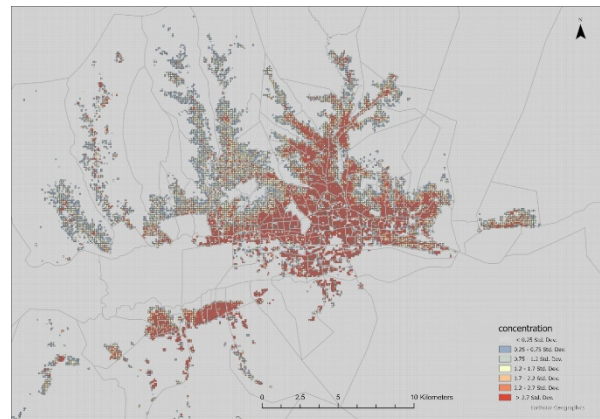
вайталити дундаж (Moderate vitality), вайталити бага (Low vitality), идэвхгүй (Non-vital) гэсэн дөрвөн төрлийн урбан вайталитийн хэв шинжид ангилж тодорхойлов. Энд "идэвхгүй" хэв шинж нь хотын үйл ажиллагаа огт байхгүйг илэрхийлэхгүй бөгөөд харин Жэйн Жэйкобсын дэвшүүлсэн урбан вайталитийн нөхцөлүүд хамгийн доогуур түвшинд илэрч буй орон зайн төрлийг зааж байна.

IV. ҮР ДҮН

1. Нягтрал ба олон янз байдал

Улаанбаатар хотын нягтралын (concentration) орон зайн тархалт нь хот даяар жигд бус, харин хүн ам, өрхийн тоо болон барилгын нягтрал давхцан илэрдэг тодорхой хотын тэнхлэгүүдийн дагуу шугаман хэлбэрээр төвлөрсөн хэв шинжтэй байна. Ялангуяа зүүн-баруун чиглэлийн Энхтайвангийн өргөн чөлөө болон умард-өмнөд чиглэлийн гол магистрал замуудын дагуу нягтрал хамгийн өндөр илэрч, хуучин хотын төв болон зарим шинэ суурьшлын бүсүүд эдгээр тээврийн тэнхлэгүүдтэй нягт уялдан илэрч байна.

Нөгөө талаас хотын төвд байрлаж байгаа хэдий ч томоохон үйлдвэрийн бүсүүд болон төмөр зам дагуух нэг чиг үүрэг давамгайлсан орон зайд нягтрал харьцангуй бага байна. Мөн төмөр замыг зааг болгон хотын өмнөд хэсэгт нягтрал өндөр, харин хойшлох тусам аажмаар буурах хандлага ажиглагдсан нь төмөр зам, Нарны зам, үйлдвэрийн бүс зэрэг том хэмжээний дэд бүтцүүд хотын орон зайд физик болон



функциональ зааг үүсгэж байгааг илэрхийлж байна.

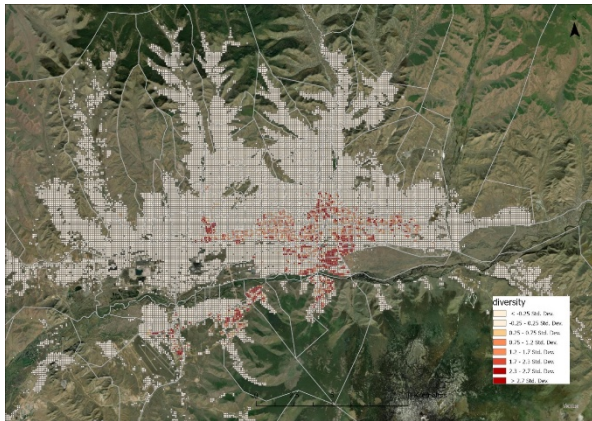
1-р зураг. Төвлөрөлийн байдал

Барилгын ашиглалтын олон янз байдлын орон зайн тархалт нь нягтралтай харьцуулахад илүү микро хэмжээний, тасархай хэв шинжээр илэрч байна. Харьцангуй өндөр олон янз байдал хотын төв болон худалдаа, үйлчилгээ төвлөрсөн бүсүүдэд ажиглагдсан бол, гэр хорооллын бүсүүдэд нэг зориулалтын суурьшлын бүтэц давамгайлж ашиглалтын олон янз байдал харьцангуй бага байна.

2000 оноос хойших орон сууцны бүтээн байгуулалтын хүрээнд бий болсон зарим шинэ орон сууцны бүсүүдэд орон сууц болон худалдаа, үйлчилгээ хосолсон барилгын ашиглалт илэрч, ашиглалтын бүтэц тодорхой хэмжээнд олон янз болж

байгааг харуулж байна. Гэвч эдгээр холимог ашиглалт нь ихэвчлэн барилгын түвшинд төвлөрч байгаа бөгөөд гудамжны орон зай болон орчны зохион байгуулалттай бүрэн уялдсан идэвхтэй гудамжны орчныг бүрдүүлж байгаа эсэхийг энэхүү судалгаанд шууд хэмжээгүй. Гэсэн хэдий ч хотын орчны ажиглалтаас харахад зарим шинэ орон сууцны бүсүүдэд холимог ашиглалт барилгын түвшинд илэрч байгаа боловч гудамжны орчны идэвхжилтэй бүрэн уялдахгүй байх хандлага ажиглагддаг.

Шинжилгээний үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотод нягтрал ба барилгын ашиглалтын олон янз байдал заавал ижил орон зайд давхцахгүй, өөрөөр хэлбэл хоёр үзүүлэлтийн хооронд тодорхой хэмжээнд салалт (decoupling) ажиглагдаж байна. Зарим өндөр нягтралтай орон сууцны бүсүүдэд хүн ам болон барилгын нягтрал өндөр боловч барилгын ашиглалт орон сууцанд төвлөрсөн хэвээр байгаа тул ашиглалтын олон янз байдлын түвшин харьцангуй бага байна. Харин зарим цэг барилгын ашиглалтын олон янз байдал өндөр илэрч байгаа боловч эдгээр нь хотын нягтралын үндсэн тэнхлэгүүдтэй холбогдсон



тасралтгүй нягтралын бүтцийг бүрдүүлж чадахгүй байна.

2-р зураг. Олон янз байдлын тархалт

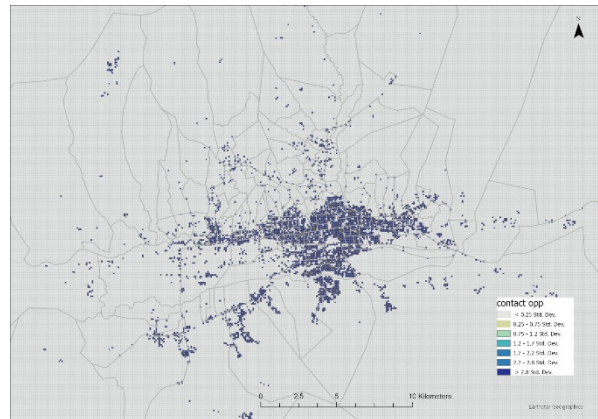
Энэхүү үр дүн нь нягтрал болон ашиглалтын олон янз байдал дангаараа урбан вайталитийг бүрдүүлэх хангалттай нөхцөл биш бөгөөд эдгээр нь гудамжны сүлжээ, нийтийн орон зай болон өдөр тутмын хөдөлгөөний бүтэцтэй хэрхэн уялдаж байгаагаас ихээхэн хамаардаг болохыг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл Улаанбаатар хотод нягтрал болон олон янз байдал орон зайн хувьд зэрэгцэн орших хэдий ч тэдгээрийн функциональ уялдаа сул байх тохиолдол нэлээд түгээмэл байна.

Эдгээр орон зайн хэв шинж нь социализмын үеийн төлөвлөгөөт хотын бүтэц болон 2000 оноос хойших зах зээлд суурилсан хөгжлийн логик давхцан бүрэлдсэн хотын хөгжлийн явцтай холбоотой. Социализмын үед бий болсон орон сууцны хорооллууд өндөр нягтралтай байсан боловч функциональ олон янз байдал хязгаарлагдмал байв. Харин сүүлийн үеийн холимог хөгжлийн хэлбэр нь барилгын түвшинд ашиглалтын холимогийг нэмэгдүүлсэн ч хотын орон зайн бүтцийн түвшинд бүрэн уялдсан идэвхтэй хотын орчныг бүрдүүлэхэд хангалттай хэмжээнд хөгжөөгүй хэвээр байна.

2. Харилцах боломж ба хуучин барилгын хэрэгцээ

Жэйн Жэйкобсын урбан вайталитийн онолд жижиг блок, өндөр уулзварын нягтрал бүхий гудамжны сүлжээ нь хөдөлгөөний маршрутын олон янз байдлыг нэмэгдүүлж, хүмүүсийн өдөр тутмын харилцаа үүсэх боломжийг дэмждэг гэж үздэг. Энэхүү нөхцөлийг илэрхийлэх харилцах боломж (COS) нь Улаанбаатар хотын төв хэсгүүдэд 1.7-2.2 стандарт хазайлтаас дээш, зарим торон нэгжид 2.8 стандарт хазайлтаас давсан өндөр утгаар илэрч байна. Энэ нь хотын дундаж түвшнээс ойролцоогоор 2-3 дахин өндөр үзүүлэлт бөгөөд хуучин хотын төв болон гол магистрал замуудын дагуу уулзварын нягтрал өндөр, хөдөлгөөний маршрутын сонголт олон бүхий гудамжны сүлжээний бүтэц давамгайлж байгааг илэрхийлж байна. Ийм бүтэц нь явган хөдөлгөөнд суурилсан нийгмийн харилцаа үүсэх боломж хотын төв хэсгүүдэд илүү хүчтэй бүрдэж байгааг харуулж байна.

Харин гэр хороолол зэрэг нэг зориулалтын суурьшлын бүсүүдэд COS нь 0.25 стандарт хазайлтаас доош, эсвэл 0.25-0.75 стандарт хазайлтын мужид төвлөрч байна. Энэ нь хотын төвийн бүсүүдтэй харьцуулахад ойролцоогоор 3-8 дахин бага түвшний харилцах боломжийн бүтцийн нөхцөл бүрдэж байгааг илэрхийлж байна. Ийм ялгаа нь гудамжны сүлжээний бүтэц харьцангуй энгийн, замын холболт сул байдалтай холбоотой бөгөөд хөдөлгөөний маршрутын олон янз байдал хязгаарлагдсанаас явган зорчих явцад харилцаа үүсэх боломж буурч байгааг харуулж байна.



3-р зураг. Харилцах байдал

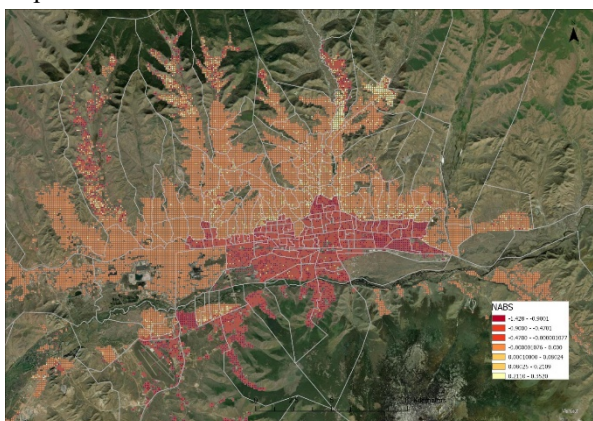
Жэйкобс урбан вайталитийг дэмжих нэг нөхцөл нь өөр өөр цаг үед баригдсан барилгууд нэг орон зайд зэрэгцэн орших явдал гэж үзсэн. Энэхүү нөхцөлийг илэрхийлэх хуучин барилгын хэрэгцээ (NABS)-ийн шинжилгээний үр дүнд Улаанбаатар хотын төв хэсгүүдэд 0.08-0.21, зарим бүсэд 0.21-0.35 хүртэл өссөн утга илэрч, хотын дундаж түвшнээс давсан байна. Энэ нь социализмын үед бий болсон хуучин барилгажилтын дээр сүүлийн үеийн шинэ барилгажилт давхарлан явагдаж, өөр өөр цаг үед баригдсан барилгууд нэг орон зайд зэрэгцэн оршиж байгааг илэрхийлж байна.

Ийм бүтэц нь Жэйкобсын онолд дурдсанчлан барилгын насжилтын ялгаанаас үүдэн түрээсийн

түвшин болон эдийн засгийн үйл ажиллагааны боломжууд ялгаатай орших нөхцөлийг бүрдүүлдэг. Өөрөөр хэлбэл хуучин барилгууд нь харьцангуй бага өртөгтэй орон зайг бий болгож, жижиг бизнес болон төрөл бүрийн үйлчилгээ байрших боломжийг олгодог бол шинэ барилгууд нь илүү өндөр өртөгтэй түрээсийн ашиглалт бүхий үйл ажиллагааг татах хандлагатай байдаг. Ийм ялгаатай орчны хослол нь хотын орчинд үйл ажиллагааны олон янз байдлыг хадгалах боломжийг нэмэгдүүлдэг.

Хуучин хотын төвтэй залгаа гэр хорооллын бүсүүдэд NABS ихэвчлэн 0.00-0.08 орчим дундаж түвшинд хадгалагдсан бол хотын төвөөс алслагдсан зарим гэр хороололд 0.08-аас дээш утга илэрсэн байна. Энэ нь тухайн бүсүүдэд уламжлалт хашаа байшин бүхий сууцны орон зай дунд орон сууц, үйлчилгээний зориулалттай барилгууд шинээр нэмэгдэж эхэлснийг илэрхийлж байна. Өөрөөр хэлбэл нэг төрлийн суурьшлын бүтэц давамгайлж байсан орон зайд өөр өөр цаг үед баригдсан барилгууд нэмэгдэж, барилгын насжилтын ялгаа тодорхой хэмжээнд үүсэж байгааг харуулж байна.

Харин зарим захын гэр хороололд NABS-ийн утга бага хэвээр байгаа нь барилгын бүтэц харьцангуй нэгэн төрлийн хэвээр хадгалагдаж, хөгжлийн үйл ажиллагаа хязгаарлагдмал түвшинд байгааг илэрхийлж байна.



4-р зураг. Хуучин барилгын хэрэгцээ

3. Хүртээмж ба хил хязгаарын тасралтаас зай

Хүртээмжийг Улаанбаатар хотын автобус төвтэй нийтийн тээврийн тогтолцоог харгалзан, торон нэгж бүрээс хамгийн ойрын автобусны буудал хүртэлх Евклидийн зай (Distance to Public Transport, DPT)-д үндэслэн тооцоолж, стандартчилсны үндсэн дээр хүртээмжийн оноо (AS) болгон илэрхийлэв.

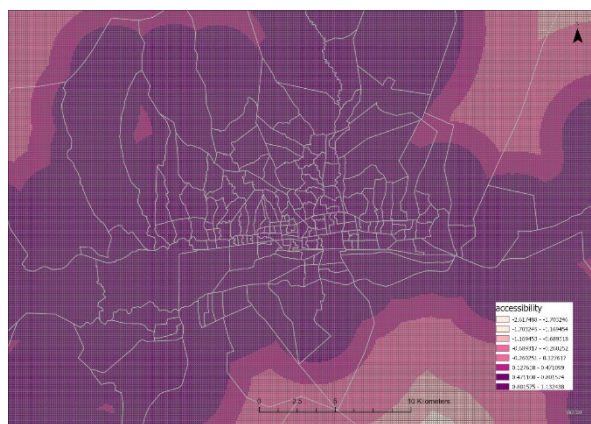
Шинжилгээний үр дүнд гол магистрал замуудын дагуу барилгажилт төвлөрсөн бүсүүдэд AS 0.47-оос дээш, зарим хэсэгт 0.80-аас давсан утгаар илэрч, харьцангуй өндөр хүртээмжтэй байгааг харуулж байна. Энэ нь автобусны буудлууд ихэвчлэн магистрал замын дагуу байрладаг хотын нийтийн тээврийн зохион байгуулалттай холбоотой бөгөөд өмнөх шинжилгээнд илэрсэн нягтрал болон гудамжны холболтын хэв шинжтэй давхцаж байна. Өөрөөр хэлбэл хүн ам болон барилгажилт гол магистрал тэнхлэгүүдийн дагуу төвлөрөхийн

зэрэгцээ гудамжны сүлжээний холболт сайн, нийтийн тээврийн хүртээмж өндөр бүсүүд эдгээр тэнхлэгүүдтэй давхцан илэрч байна.

Харин хотын төвийн магистрал тэнхлэгүүдээс алсрах тусам гудамжны сүлжээ нарийсаж, холболт багасах хандлага ажиглагдаж байна. Үүний үр дүнд орон сууцны захын бүсүүд болон гэр хороололд AS - 0.69-өөс доош, зарим тохиолдолд -1.17-оос доош утгаар илэрч, нийтийн тээврийн хүртээмж буурч байгаа нь харагдаж байна. Ялангуяа хотын хойд хэсэгт уулын рельефийн нөлөөгөөр гудамжны сүлжээ тасалдсан бүтэцтэй болж, хүртээмж буурах хандлага илүү тод ажиглагдаж байна.



5-р зураг. Хүртээмжийн байдал



6-р зураг. Хязгаарлагдмал байдал

Жэйн Жэйкобсын хотын онолд том хэмжээний дэд бүтэц, байгалийн саад, эсвэл нэг чиг үүрэг давамгайлсан орон зай нь хотын өдөр тутмын хөдөлгөөний урсгалыг тасалдуулж, “border vacuum” буюу орон зайн идэвхжил сул бүсүүдийг үүсгэдэг гэж тайлбарладаг. Энэхүү нөхцөлийг илэрхийлэх хил хязгаарын тасралтаас зай (BVS)-ийг торон нэгж бүрээс уулын рельеф, гол мөрөн зэрэг том хэмжээний орон зайн саад элементүүд хүртэлх зайд үндэслэн тооцоолсон.

Шинжилгээний үр дүнд хотын төвийн зарим бүсүүдэд BVS 0.75 стандарт хазайлтаас дээш, зарим хэсэгт 1.7 стандарт хазайлтаас давсан утгаар илэрч, орон зайн томоохон саад элементүүдээс харьцангуй хол байрласан хотын тасралтгүй бүтэц илэрч байна.

Харин BVS хамгийн бага утга Богд уултай залгаа бүсүүд болон хотын захын гэр хорооллын хэсгүүдэд илэрсэн нь уулын рельеф хотын орон зайн бүтцийг физик байдлаар хязгаарлаж байгааг харуулж байна. Ялангуяа уулын бэл болон хотын захын бүсүүдэд гудамжны сүлжээ тасалдсан бүтэцтэй болж, хотын орон зайн үргэлжилсэн байдал буурч байгаа нь ажиглагдаж байна.

Эдгээр үр дүн нь Улаанбаатар хотын орон зайн бүтцэд байгалийн рельеф, ялангуяа уулын нөлөө чухал үүрэгтэй байгааг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл BVS нь урбан вайталитийг шууд бий болгох хүчин зүйл гэхээсээ илүүтэйгээр хотын орон зайн бүтэц хэр зэрэг тасралтгүй үргэлжилж байгааг илэрхийлэх орчны нөхцөл үзүүлэлт юм.

4. Улаанбаатар хотын Жэйн Жэйкобсын урбан вайталити

Урбан вайталитийн төрлүүдийг тодорхойлохын тулд энэхүү судалгаанд 100 × 100 м торон нэгж бүрийг шинжилгээний объект болгон авч, нягтрал (Concentration), барилгын ашиглалтын олон янз байдал (Diversity), харилцах боломж (Contact Opportunity), хуучин барилгын хэрэгцээ (Need for Aged Buildings), хүртээмж (Accessibility), хил хязгаарын тасралт (Border Vacuums) зэрэг урбан вайталитийг бүрдүүлэгч үзүүлэлтүүдийг нэгтгэн кластер шинжилгээ хийв.

Эхний шатанд автомат кластерын алгоритм хэрэглэсний үр дүнд ойролцоогоор 30 хэв шинж илэрсэн боловч, ийм олон кластер нь орон зайн утга тайлбарлахад хэт олон тул эцсийн ангиллыг дөрвөн кластер болгон нэгтгэсэн.

[1] Хотын вайталити кластерын статистик утга

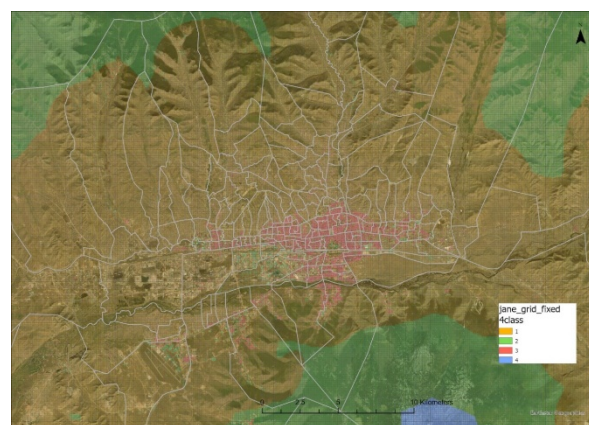
2-р ХҮСНЭГТ

Кластер	Төрөл	Давтамж	Дундаж JANE	Стандарт хазайлт	Хамгийн бага	Хамгийн их
1	вайталити дундаж	158,777	0.117	0.127	0.004	1.321
2	вайталити бага	129,836	-0.107	0.077	-0.273	0.005
3	вайталити өндөр	2,460	2.526	1.131	1.322	9.833
4	вайталити бага захын шилжилтийн	37,238	-0.437	0.151	-0.946	-0.273

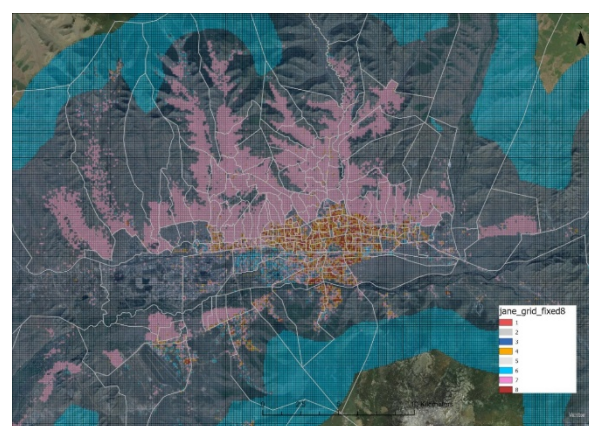
Кластер шинжилгээний үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотын урбан вайталити орон зайн хувьд жигд тархсан бус, харин хотын төвд төвлөрсөн цөм бүтэцтэй илэрч байна. Хамгийн өндөр урбан вайталити бүхий кластер нь хотын төвийн хэсгүүдэд төвлөрсөн бөгөөд эдгээр бүсэд барилгын ашиглалтын олон янз байдал, гудамжны сүлжээний холболт, харилцах боломж зэрэг үзүүлэлтүүд харьцангуй өндөр байна. Харин хотын зах руу шилжих тусам эдгээр нөхцөл аажмаар буурч, урбан вайталити харьцангуй сул илэрч байна. Энэ нь Улаанбаатар хотын орон зайн бүтэц нь төвөөс зах руу чиглэсэн градиент бүхий хэв шинжтэй байгааг харуулж байна.

Кластер 1 (вайталити дундаж) нь хот даяар хамгийн өргөн тархсан бөгөөд дундаж түвшнээс дээш амьдрах чадвартай, өдөр тутмын хотын үйл ажиллагаа явагддаг бүсүүдийг илэрхийлнэ. Кластер 2 (вайталити бага) нь ихэвчлэн хотын захын орон сууцны бүсүүд, нэг зориулалтын үйлдвэрийн бүсүүд болон төмөр замын орчимд тархаж, нягтрал болон функцийн холимог байдал хязгаарлагдмал байгаагаас илэрхийлнэ.

Үүний эсрэгээр кластер 3 нь хуучин хотын төвийг тойрсон цөөн тооны торон нэгжид төвлөрч, хамгийн өндөр JANE Index-тэй буюу хотын хамгийн идэвхтэй хэсгээр илэрсэн. Энэ бүсэд нягтрал, барилгын ашиглалтын олон янз байдал, харилцах боломж зэрэг нөхцөлүүд нэгэн зэрэг өндөр түвшинд бүрэлдэж байна. Харин кластер 4 нь хотын захын болон хөгжлийн дарамт багатай бүсүүдэд тархаж, нягтрал болон функцийн холимог аль аль нь сул тул хамгийн доогуур амьдрах чадварыг илэрхийлнэ.



6-р зураг. 4 бүлэгт хуваагдсан байдал



7-р зураг. 8 бүлэгт хуваагдсан байдал

Нийт дүнгээр эдгээр үр дүн нь хотын идэвхжилт нь зөвхөн нягтралын хэмжээнээс бус, харин тухайн нягтрал ямар функцийн бүтэц, ямар гудамжны сүлжээний орчинд бүрэлдэж байгаагаас хамааран эрс ялгаатай болохыг харуулж байна. Нэмэлт кластерын шинжилгээнүүдээр (8 кластер шинжилгээ) зарим нарийн ялгаа илэрсэн боловч, хотын төвд төвлөрсөн өндөр идэвхтэй бүсийн орон зайн хүрээ үндсэндээ өөрчлөгдөөгүй. Энэ нь Улаанбаатар урбан

вайталитийн орон зайн бүтэц харьцангуй тогтвортой төв-захын ялгаралтай байгааг илэрхийлж байна.

Иймээс энэхүү судалгаанд хотын бүтцийн тайлбар хийхэд илүү ойлгомжтой түвшинд дөрвөн кластерын ангиллыг сонгон, хотын идэвхийг үзүүлэлтүүдийн харилцан уялдаа болон орон зайн нөхцөлтэй холбон тайлбарлав.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны зорилго нь Жэйн Жэйкобсын урбан вайталитийн онолын хүрээнд Улаанбаатар хотын орон зайн бүтцийг шинжилж, урбан вайталити үүсэх боломжтой нөхцөлүүд хотын орон зайд хэрхэн тархаж байгааг тодорхойлох явдал байв. Үүний тулд 100×100 м торон нэгжид тулгуурлан нягтрал, барилгын ашиглалтын олон янз байдал, харилцах боломж, хуучин барилгын хэрэгцээ, хүртээмж, хил хязгаарын тасралт зэрэг зургаан үзүүлэлтийг стандартчилж, урбан вайталитийн нийлмэл индекс боловсруулан кластер шинжилгээ хийлээ.

Шинжилгээний үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотын урбан вайталити орон зайн хувьд жигд тархсан бус, харин хотын төвд төвлөрсөн, зах руу шилжих тусам аажмаар буурах бүтэцтэй илэрч байна. Хамгийн өндөр урбан вайталити бүхий кластер нь хотын төвийн хэсгүүдэд төвлөрч, барилга ашиглалтын олон янз байдал, гудамжны сүлжээний холболт, харилцах боломж зэрэг үзүүлэлтүүд харьцангуй өндөр илэрсэн бол хотын захын бүсүүдэд эдгээр нөхцөлүүд харьцангуй сул илэрч байна.

Мөн кластерын ялгааг зөвхөн нягтралаар тайлбарлах боломжгүй бөгөөд, барилга ашиглалтын олон янз байдал, гудамжны сүлжээний бүтэц, барилгын насжилтын ялгаа зэрэг нөхцөлүүдийн нийлмэл нөлөө урбан вайталитийг бүрдүүлж байгааг харуулж байна. Энэ нь Жэйн Жэйкобсын хотын амьдралын идэвхжил нь нэг үзүүлэлтээр бус, олон орон зайн нөхцөлүүдийн харилцан уялдаагаар бүрэлддэг гэсэн онолын тайлбартай нийцэж байна.

Гэсэн хэдий ч энэхүү судалгаанд ашигласан үзүүлэлтүүд нь гудамжны сүлжээний бүтэц болон орон зайн физик нөхцөлд тулгуурласан тул, бодитоор өрнөх нийгмийн харилцааны чанар, давтамжийг шууд илэрхийлэх боломжгүй юм. Иймээс

боловсруулсан урбан вайталитийн индексийг Улаанбаатар хотод урбан вайталити үүсэх боломжтой орон зайн бүтцийн нөхцөлүүдийг илрүүлэх шинжилгээний хэрэгсэл гэж үзэх нь зүйтэй.

Энэхүү судалгааны үр дүн нь Улаанбаатар хотын орон зайн бүтцийг урбан вайталитийн үүднээс ойлгох суурь үндэс болохоос гадна, цаашид хотын дахин төлөвлөлтийн явцад орон зайг идэвхжүүлэх нөхцөлүүдийг харгалзан үзэх шаардлагатайг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Ling, Z., Zheng, X., Chen, Y., Qian, Q., Zheng, Z., Meng, X., Kuang, J., Chen, J., Yang, N., Shi, X. The nonlinear relationship and synergistic effects between built environment and urban vitality at the neighborhood scale: A case study of Guangzhou's central urban area. *Remote Sensing*, 2024.
- [2] Gao, S., Ge, X., Li, H., Zhou, H. Analysis of urban vitality and its driving factors in Zhengzhou's main urban area based on multi-source data and XGBoost. *Ecological Indicators*, 179, 114187, 2025.
- [3] Jacobs, J. *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Random House, 1961.
- [4] Maas, P. R. *Towards a Theory of Urban Vitality*. Master's thesis, School of Community and Regional Planning, Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1984.
- [5] Mouratidis, K., Delclòs-Alió, X. Urban vitality versus urban livability: Does vibrancy matter for neighborhood satisfaction and neighborhood happiness? *Cities*, 168, 106473, 2026.
- [6] Sung, H., Lee, S. Residential built environment and walking activity: Empirical evidence of Jane Jacobs' urban vitality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 318–329, 2015.
- [7] Delclòs-Alió, X., Miralles-Guasch, C. Looking at Barcelona through Jane Jacobs' eyes: Mapping the basic conditions for urban vitality in a Mediterranean conurbation. *Land Use Policy*, 75, 505–517, 2018.
- [8] Uyanga, M., Yoo, S.-Y. A study on the characteristics of regional disparity by the classification of urban areas in Ulaanbaatar, Mongolia. *Urban Design*, vol. 25, no. 4, pp. 123–142, 2024.
- [9] Ariunjargalan, B. *The characteristics of housing reconstruction projects classified with the urban areas in Ulaanbaatar, Mongolia*. PhD dissertation, University of Seoul, 2023.
- [10] Yue, W., Chen, Y., Zhang, Q., Liu, Y. Spatial explicit assessment of urban vitality using multi-source data: A case of Shanghai, China. *Sustainability*, 2019.

УЛААНБААТАР ХОТЫН МЕТРОНЫ ТӨСӨЛД УЧИРЧ БОЛОХ ТОМООХОН ЭРСДЭЛИЙН ШИНЖИЛГЭЭ

Жанчивын АЗЖАРГАЛ¹

¹Монгол Улс, УБ хот, ШУТИС, Механик инженер тээврийн сургууль, Тээвэр логистикийн тэнхим

Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: azjargal@must.edu.mn¹

Хураангуй: Монгол Улсын нийслэл Улаанбаатар (УБ) хотын оршин суугчдын тоо эрчимтэй нэмэгдэж, 1.5 сая даваад байна. Нэг саяас дээш хүн амтай хотод метроны шугам байгуулах нь эдийн засаг, нийгмийн олон талын үр ашигтай байдаг болохыг олон улсын судалгаа харуулдаг. Түүнчлэн УБ хотын автозамын сүлжээг өргөтгөж, шинэ зам байгуулж байгаа боловч автомашины тоо хэт ихсэж, автомашины түгжрэл УБ хотын хамгийн том асуудлын нэг болсон тул метроны шугам байгуулж, их багтаамжийн нийтийн тээврийг хөгжүүлэх шаардлага тулгарч байна. УБ метро төсөл сүүлийн жилүүдэд амжилттай хэрэгжих нөхцөл боломж бүрдсэн. Энэхүү судалгааны ажлаар бусад улс орны метроны шугамд тохиолдож байсан осол, аюул, эрсдэлийг харьцуулан судалж, УБ метро төсөл хэрэгжих үед тулгарч болох томоохон эрсдэлийн шинжилгээ хийж, тэдгээрийг бууруулах, урьдчилан сэргийлэх арга замуудыг тодорхойлсон.

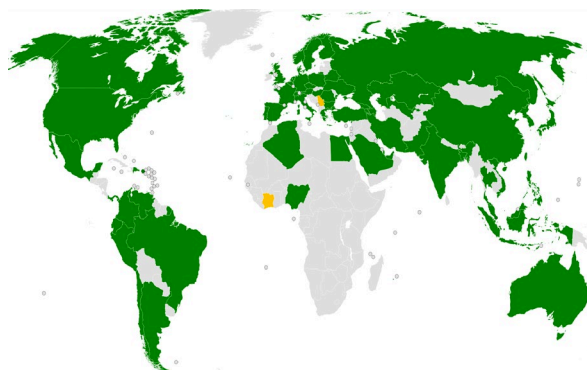
Түлхүүр үг: Гал түймэр, усны үер, магадлал, сөрөг үр дагавар, осол, аюул, сүйрэл

I. УДИРТГАЛ

Дэлхий нийтийн хэмжээнд их багтаамжийн тээврийн хэрэгслийн олон төрлийг ашиглаж хотын нийтийн тээврийн асуудлаа шийдвэрлэж байна. 2025 оны байдлаар дэлхийн ихэнх лсад метроны систем ашиглаж байгааг 1-р зурагт дүрсэлсэн байна [1]. Эндээс харахад Африкийн ядуу буурай цөөхөн улс болон Монгол Улс метроны систем байгуулж чадаагүй орхигдож үлдсэн байгааг тодорхой харж болно. Дэлхийн хэмжээнд нийт 229 хотод метроны систем ашиглаж байгаагаас БНХАУ-ын Бээжин хотод 891.1 км, Шанхай хотод 889.9 км, Гуанжоу хотод 779.9 км, Чэнду хотод 716.4 км урт метроны шугам ашиглаж байгаа нь дэлхийд хамгийн том метроны шугамд тооцогдож байна. Түүнчлэн ОХУ-ын Москва хотод 535.5 км, АНУ-ын Нью-Йорк хотод 443.7 км, БНСУ-ын Сөүл хотод 391.8 км, Энэтхэгийн Дели хотод 353.7 км, Испаний Мадрид хотод 296.4 км, Францын Парис хотод 245.6 км урттай метроны шугам ашиглаж байна [2]. Дотоодын нийт бүтээгдэхүүн болон ядуурал, ажилгүйдлийн түвшингээр манай улсаас доогуур болон ойролцоо түвшинд байдаг зарим улс метроны шугам амжилттай бүтээн байгуулж чадсан олон тохиолдол байна. Тухайлбал; 2022 онд Бангладеш улсын Дхака хотод 16 өртөөтэй 20.1 км урттай метроны шугам, 2023 онд Эквадор улсын Кюито хотод 15 өртөөтэй 22.6 км урттай метроны шугам, 2024 онд Вьетнамын ХоШиМин хотод 14 өртөөтэй 19.7 км урттай метро ашиглалтад орсон байна.

Манай улсын хувьд метроны бүтээн байгуулалтын ажил олон жилийн өмнөөс яригдаж байна. Сүүлийн жилүүдэд Монгол улсын засгийн газар, УБ хотын захиргаанаас энэ төсөлд ихээхэн анхаарал хандуулж “УБ метро” төсөл хэрэгжиж боломж бүрдсэн. Тус төслийг амжилттай хэрэгжүүлэхийн тулд цаашид учирч болох

эрсдэлийн шинжилгээ хийж, тэдгээрийг бууруулах арга замуудыг тодорхойлох, эрсдэлээс урьдчилан сэргийлэх зайлшгүй шаардлагатай.



1-р зураг. Метроны шугамтай улс орнууд [1]

Ногоон өнгө- Метроны шугамтай улсууд, Шар өнгө- Метроны шугам баригдаж буй улс, Саарал өнгө- Метроны шугамгүй улсууд

УБ метро төсөл ашиглалтад орсноор иргэдийн зорчих хугацаа багасах, цаг хэмнэх, автомашины түгжрэл, агаарын бохирдол буурах, шинэ ажлын байр бий болох, хотын амьдралын цоо шинэ хэв маяг, бизнесийн орон зай үүсэх, үр ашигтай, аюулгүй, найдвартай нийтийн тээврийн бие даасан систем хөгжих зэрэг нийгэм, эдийн засгийн олон талын ач холбогдолтой. УБ метро төслийг амжилттай хэрэгжүүлэхийн тулд үндсэн үйл ажиллагаанд саад болох, төслийг тасалдуулах, сунжрах улмаар зогсооход хүргэж болзошгүй томоохон эрсдэлт хүчин зүйлс, аюулыг нэгтгэн судалж, тэдгээрийг бууруулах арга замуудыг тодорхойлно. 2025 оны 03-р сард УБ метро төслийн Техник эдийн засгийн үндэслэл (ТЭЗҮ) батлагдсан. Энэхүү ТЭЗҮ-ийн 9.1-р бүлэгт төслийн эрсдэлийн шинжилгээ хийсэн боловч цөөн хуудаст багтааж, хэт ерөнхий байдлаар дурдаж, эрсдэл бүрийг нарийвчилж судлаагүй,

эрсдэлийг бууруулах инженерчлэлийн гол арга замуудыг орхигдуулсан байна [3]. Энэхүү судалгааны ажлаар бусад улсын метроны шугамд тохиолдож байсан эрсдэл, аюул, осол, тэдгээрийн шалтгаан, сөрөг үр дагавар, хариу арга хэмжээг харьцуулан судалж, манай улсын цаг агаар, эдийн засаг, нийгэм, улс төрийн онцлог байдалтай уялдуулан, УБ метро төслийн төлөвлөлт, барилга угсралтын үе шат болон ашиглалтын үед тулгарч болох томоохон эрсдэл, тэдгээрийг бууруулах арга замуудыг тодорхойлсон.

II. ТӨМӨР ЗАМЫН ТЭЭВРИЙН ЭРСДЭЛИЙН ШИНЖИЛГЭЭ ХИЙХ АРГА ЗҮЙ

2024 онд манай улсад нийт 712 үйлдвэрлэлийн ослын тохиолдол бүртгэгдсэн. Үүнээс 87 хүн нас барсан нь 2023 оны дүн мэдээтэй харьцуулахад 49%-иар өссөн харамсалтай мэдээлэл байна. Нийт осолд өртөгсдийн 71.6 хувь нь эрэгтэйчүүд байна. Дийлэнх осол үйлдвэрлэлийн салбар, уул уурхай, батлан хамгаалах салбар, барилга, тээвэр болон агуулахын үйл ажиллагааны чиглэлээр ажилладаг хүмүүс үйлдвэрлэлийн осолд хамгийн их өртдөг болох нь тогтоогдсон. Нийт хүн амын нас баралтын дотор осол, гэмтлийн улмаас нас барсан тохиолдлын эзлэх хувийн жин байнга өсөн нэмэгдэж байна. Сүүлийн жилүүдийн судалгааны дүнгээс үзэхэд манай улсад 100 мянган хүн ам тутамд 2880 осол, гэмтлийн тохиолдол ногдож, өртөгсдийн ихэнх хувийг залуучууд эзэлж байна. Хөдөө орон нутгаас ирж байгаа эмнэлгийн яаралтай дуудлагын 40 орчим хувийг осол, гэмтлийн дуудлага эзэлж байна.

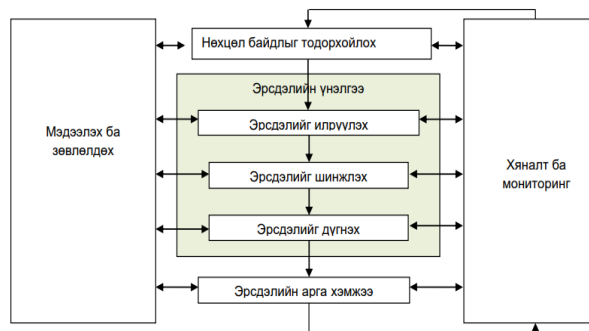
Эрсдэл нь аюул учрах магадлал болон түүний сөрөг үр дагаварын хослолоор тодорхойлогдоно. Өөрөөр хэлбэл эрсдэл нь аюулаас үүдэн гарах хохирол болон түүний сөрөг үр дагавар юм. Эрсдэлийн шинжилгээ хийхдээ тодорхойлсон эрсдэлтэй үзэгдлийн түвшин, үр дагавар, хор уршиг ба үүсэх магадлалыг тодорхойлж, хамгийн өндөр эрсдэлийг тооцоолно. УБ метро төслийн эрсдэлийн менежмент, үнэлгээ хийхэд "Монгол улсын хөдөлмөрийн тухай хууль", "Хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл ахуйн тухай хууль", Зам, тээврийн хөгжлийн сайдын 2020 оны А/154-р тушаалаар баталсан "Төмөр замын тээвэр дэх осол, гологдлыг судлан бүртгэх журам", Монгол улсын хөдөлмөрийн сайдын 2015 оны А/295-р тушаалаар баталсан "Ажлын байрны эрсдэлийн үнэлгээ хийх аргачилсан зөвлөмж", Монгол улсын засгийн газрын 2015 оны 269-р тогтоолоор баталсан "Үйлдвэрлэлийн осол, хурц хордлогыг судлан бүртгэх дүрэм" зэрэг хууль, дүрэм, журам болон Монгол улсын үндэсний "MNS ISO31000 Эрсдэлийн менежмент-Удирдамж", "MNS ISO31010 Эрсдэлийн менежмент-Эрсдэлийн үнэлгээний арга" зэрэг стандартыг ашиглана [4-10]. Төслийн эрсдэлийн үнэлгээ, шинжилгээ хийх нь дараах ач холбогдолтой:

- УБ метро төсөлд үүсэж болох аливаа болзошгүй эрсдэл, аюулыг олж илрүүлэх

- Эрсдэлийг үнэлэх, хяналт тогтоох замаар осол, гэмтэл, өмчийн хохирол гарахаас урьдчилан сэргийлэх
- Эрсдэл бүрд тохирсон хамгийн тохиромжтой арга хэмжээ төлөвлөж эрсдэлийг бууруулах
- Ижил төстэй бусад метроны шугамын ашиглалтын үед тохиолдож буй эрсдэлийг харьцуулах, алдааг давтахгүй байх
- Урьдчилан тодорхойлсон шалгуур ашиглан эрсдэлийг зөвшөөрч болох хэмжээнд дүгнэлт гаргахад мэдээллээр хангах
- УБ метроны үйлчилгээ, амьдралын мөчлөгийг уртасгах

Монгол Улсын үндэсний MNS ISO31000 болон "MNS ISO31010 стандартад зааснаар УБ метро төслийн эрсдэлийн үнэлгээ хийнэ [9, 10]. Энэ нь эрсдэлийн менежментийн үйл явцын үндсэн хэсэг болох бөгөөд дараах дэс дарааллын дагуу гүйцэтгэнэ (Зураг 2).

- 1) Эрсдэлийн нөхцөл байдлыг тодорхойлох
- 2) Эрсдэлийг илрүүлж, үнэлэх, эрэмбэлэх
- 3) Эрсдэлийн шинжилгээ хийх, дүгнэх
- 4) Эрсдэлийн хариу арга хэмжээ авах, эрсдэлийг бууруулах
- 5) Эрсдэлийг хянах, мониторинг хийх, хуваарилах
- 6) Эрсдэлийн талаар мэдээлэх, оролцогч талууд харилцан зөвлөлдөх
- 7) Эрсдэлийн менежментийг байнга сайжруулах



2-р зураг. Эрсдэлийн менежментийн дэс дараалал, зохион байгуулалт

Эрсдэл дангаараа тохиолдохгүй, хавсарга байдалтай илэрдэг тул эрсдэл хоорондын харилцаа, хамаарлыг тооцож үзэх шаардлагатай. Зарим эрсдэл өөр бусад үйл явц, нөхцөлтэй холбогдож томоохон эрсдэл үүсгэж болох тул эрсдэлийн үнэлгээний матриц (RAM-Risk Assessment Matrix) ашиглана (Хүснэгт 1). Энэ хэсэгт эрсдэл үүсэх магадлал болон сөрөг үр дагаварын тоон утгын үржвэрээр эрсдэлийн түвшнийг 1-25 хүртэл оноогоор тодорхойлно.

Эрсдэлийн үнэлгээний матриц

1-Р ХҮСНЭГТ

Тохиолдох магадлал	5 Маш өндөр	11	16	20	23	25
	4 Өндөр	7	12	17	21	24
	3 Болзошгүй	4	8	13	18	22
	2 Бага	2	5	9	14	19
	1 Ховор	1	3	6	10	15
		1 Маш бага	2 Бага	3 Дунд	4 Их	5 Ноцтой
Үр дагавар						
Эрсдэлийн үнэлгээ	Бага 1-6	Дунд 7-10	Өндөр 11-19	Маш өндөр 20-25		

III. УБ МЕТРОНЫ СИСТЕМИЙН ЭРСДЭЛ, ТЭДГЭЭРИЙГ БУУРУУЛАХ БОЛОМЖ

УБ метроны төслийн боломжит эрсдэлүүдийг урьдчилан тооцож, тухайн эрсдэл үүсэх магадлал, эрсдэлээс үүсэх сөрөг нөлөө, үр дагавар болон бууруулах арга замуудыг тодорхойлох шаардлагатай. УБ метро төсөл хэрэгжих үед тохиолдож болох эрсдэлүүдийг дараах 2 бүлэгт хувааж болно.

- 1). УБ метроны төлөвлөлт, барилга угсралтын үе шатанд үүсэж болох эрсдэл
- 2). УБ метро ашиглалтанд орсны дараа гарч болох эрсдэл

УБ метро ашиглалтад орох хүртэл буюу УБ метроны төлөвлөлт, барилга угсралтын үе шатанд дараах төрлийн эрсдэлүүд гарах боломжтой (Зураг 3):

- Санхүү, эдийн засаг, хөрөнгө оруулалт, нөөцийн хомсдолын эрсдэл
- Төрийн зохицуулалт, газар чөлөөлөлт, улс төрийн шийдвэртэй холбоотой эрсдэл
- Хууль, эрх зүйн орчны эрсдэл
- Метроны хонгил, барилга, байгууламжид осол, гал гарах, хөрсний ус нэвчих, үерт автах, газар хөдлөх эрсдэл



3-р зураг. УБ метроны төлөвлөлт, барилга угсралтын үе шатанд гарч болох эрсдэлүүд

Азийн хөгжлийн банкны гаргасан судалгаагаар Монгол улсын бодит дотоодын нийт бүтээгдэхүүний өсөлт 2026 онд 5.7% байх төлөвтэй байна. Энэ нь урьдчилсан таамгаас бага үзүүлэлт болох бөгөөд манай улсын эдийн засгийн шинэ нөхцөл байдалд эрсдэл үүсгэх хүчин зүйл болно. Гадны хөрөнгө оруулагч, бизнес эрхлэгчдийн хувьд тогтвортой,

урьдчилан таамаглах боломжтой орчин чухал байдаг. Гэтэл манай улсад сүүлийн үед улс төрийн маргаан, төсвийн тодорхойгүй байдал нь эдийн засгийн итгэл үнэмшилд сөргөөр нөлөөлж хөрөнгө оруулагчдын итгэлийг алдаж байна. Тиймээс гадаад өрийн хэмжээ нэмэгдэх, хөрөнгө оруулагчдын итгэл алдрах, төсөл хэрэгжих боломжгүй болох зэрэг томоохон эрсдэл байгааг тооцох, урьдчилан сэргийлэх нь зүйтэй.

Манай улсад хотын төмөр замын тээврийн бие даасан хууль, дүрэм, журам байхгүй тул УБ метроны төсөл хэрэгжих үед үйл ажиллагааны зохицуулалт саатах, маргаан, үл ойлголцол, тодорхой бус байдал үүсэх, осол, сүйрэл гарах, хариуцлагын тогтолцоо алдагдах зэрэг ихээхэн хүндрэл бэрхшээл тулгарна. БНСУ-ын метроны системд 3000 гаруй стандарт мөрддөг бол манай улсын төмөр замын салбарт ердөө 175 стандарт ашиглаж байгаа нь манай улсад энэ салбарт шинээр боловсруулж багтах шаардлагатай маш олон стандарт дутагдаж байгааг харуулж байна.

УБ метроны шугам ашиглалтад орсны дараа дараах түгээмэл эрсдэлүүд гарч болно (Зураг 4):

- Үйлчилгээний тариф, зардал хэтрэх, зорчигчдын тоо бага байх, санхүү, эдийн засгийн эрсдэл
- Метроны системд гал гарах, үерт автах, газар хөдлөх зэрэг онцгой нөхцөл байдал үүсэх эрсдэл
- Хотын төмөр замын тээврийн систем, метроны ашиглалтын хууль, эрх зүйн зохицуулалт дутагдах эрсдэл
- Метроны системд цахилгаан тасрах, доголдох, галт тэрэгний замд барилга, байгууламжийн зарим хэсэг нурж унах, бартаа, саад үүсэх, өртөөний болон зорчигчийн вагоны дотор агаарын чанар муудах, бохирдох, түүхий эд материал дутагдах, техник тоног төхөөрөмж эвдрэх, зэрэг метроны дэд бүтэц, өртөөнд үүсэх эрсдэл
- Метроны мэргэжилтэй боловсон хүчин, хүний нөөц дутагдах, галт тэрэгний урдуур хүн орж гэмтэх, нас барах, террорист халдлага гарах, зорчигчийн бие гэнэт муудах, ухаан алдах зэрэг зорчигч болон ажилтны эрүүл ахуй, аюулгүй байдалтай холбоотой эрсдэл
- Метроны хөдлөх бүрэлдэхүүн эвдрэх, тоормос ажиллахгүй болох, галт тэрэгний хурд хэтрэх, жолоодлогогүй болох, галт тэрэг замаас гарах, өөр хоорондоо мөргөлдөх, сэлбэг хэрэгсэл дутагдах зэрэг метроны хөдлөх бүрэлдэхүүнтэй холбоотой эрсдэл



4-р зураг. УБ метроны шугам ашиглалтад орсны дараа гарч болох эрсдэлүүд

Дэлхийн эдийн засгийн чуулганаас гаргасан “Дэлхийн эрсдэлийн тайлан 2024”-д Монгол Улсын хувьд чадварлаг хүний нөөцийн хомсдол, ядуурал ба тэгш бус байдал болон эрс тэс цаг агаарын үзэгдлээс гарах эрсдэл хамгийн өндөр байгааг тогтоосон [12]. Хөдөлмөрийн зах зээлийн эрэлтийн барометрийн судалгаагаар 2021 онд судалгаанд хамрагдсан нийт аж ахуйн нэгж байгууллагын 15.9% шаардлагатай мэргэжилтэй ажилтан олдоогүйн улмаас төлөвлөсөн ажилтнаа авч чадаагүй буюу ажиллах хүчний хомсдолд өртсөн бол 2022 онд энэ үзүүлэлт 23.6% болж нэмэгдсэн байна. Ур чадвартай ажиллах хүч дутагдсан тохиолдолд гадны орноос ажиллах хүчийг өндөр зардлаар оруулж ирэх шаардлага үүсдэг. Энэ нь нийгэмд тогторгүй байдал үүсгэх өндөр эрсдэлтэй бөгөөд ажиллах хүчний хомсдолыг улам бүр нэмэгдүүлж байдаг. Тиймээс УБ төсөл хэрэгжих шатанд төмөр замын мэргэжлийн сургуулиудтай нягт хамтарч ажиллах, богино хугацааны мэргэжил дээшлүүлэх сургалтыг хамтарч зохион байгуулах, шаталсан сургалтын нэгдсэн тогтолцоог бүрдүүлэх зэргээр эрсдэлийг бууруулах арга замуудыг хэрэгжүүлнэ.

Зам, тээврийн хөгжлийн сайдын 2020 оны А/154-р тушаалаар баталсан “Төмөр замын тээвэр дэх осол, гологдлыг судлан бүртгэх журам”-д зааснаар дараах тохиолдолд осол гарсан гэж тооцно [6].

- Галт тэрэг өөр галт тэрэг, хөдлөх бүрэлдэхүүнтэй мөргөлдсөн
 - Галт тэрэгний бүрэлдэхүүн замаас гарсан
 - Хөдлөх бүрэлдэхүүн замаас гарсны улмаас хүний амь нас хохироогүй бөгөөд хөдлөх бүрэлдэхүүн их засварт орхоор эвдэрсэн
- Дараах нөхцөл байдал үүсвэл төмөр замын хөдлөх бүрэлдэхүүний гологдолд тооцно.
- Хөдлөх бүрэлдэхүүн мөргөлдсөн, замаас гарсан

- Хөдлөх бүрэлдэхүүн өөрөө хөдөлсөн
 - Хөдлөх бүрэлдэхүүний хос дугуйн гол, голын хүзүү буюу дугуй, хажуу арал, нумын дээд дам нуруу, ноён нуруу хугарсан, тасарсан, хагарсан
 - Галт тэргэнд эд юмс дайрагдсан
 - Системийн эрчим хүч тасалдсан
 - Суурь бүтцийн бүрэн бүтэн байдал алдагдсан, усанд автсан, гал түймэр гарсан
 - Дохио буруу дохиолсон
 - Галт тэрэгний авто угсраа тасарсан, салсан
 - Хос дугуй, гүүшин, татах цахилгаан хөдөлгүүр гацсан, хос дугуйн гадаргууд зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их чирэг, шаваас гарсан
- БНХАУ-ын Технологийн их сургуулийн эрдэмтэн Heng Yu нарын судалгаанд 1969-2016 оны хооронд олон улсын хэмжээнд метроны шугамд гарсан галын 42 тохиолдлын талаарх мэдээллийг нэгтгэсэн байна [13]. Эдгээрээс галын улмаас их хэмжээний хохирол учирч, хүний амь нас хохирсон томоохон ослыг Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

МЕТРОНЫ ШУГАМД ГАРСАН ГАЛЫН ТОХИОЛДОЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

	Огноо	Улс, хот	Гал гарсан шалтгаан	Хүний тоо	
				Нас барсан	Гэмтсэн
1	1969.1.11	БНХАУ, Бээжин	Зүтгүүрийн цахилгааны гэмтэл	6	200
2	1979.09	АНУ, Филадельф	Трансформаторын гэмтэл	0	178
3	1982.03	АНУ, Нью-Йорк	Зүтгүүрийн цахилгаан хэрэгслийн эвдрэл	0	86
4	1987.1.18	Англи, Лондон	Техникийн эвдрэл	32	100
5	1991.04.16	Герман, Цюрих	Цахилгаан шугамын богино холболт	0	58
6	1995.1.028	Азербайжан, Баку	Цахилгаан шугамын гэмтэл	289	270
7	1995.04.28	БНСУ, Дэгү	Хийн хоолойн гэмтэл	13	230
8	2003.02.18	БНСУ, Дэгү	Амиа хорлох халдлага	192	148

Метроны цахилгааны шугам, тоног төхөөрөмжийн гэмтлээс болж гал үүсэх болон зорчигчийн вагонд санаатай гал тавих, террорист халдлага болох нь метроны шугамд гал гарах хамгийн том шалтгаан болдог. Метроны хонгил, өртөө, галт тэрэгт олон төрлийн цахилгаан хэрэгсэл, цахилгаан дамжуулах шугам суурилуулсан байдаг тул эдгээр хэсэгт богино холболт үүсэх, хэт их ачаалал гарах, цахилгаан хэрэгсэл эвдрэх нь гал түймрийн гамшигт хүргэдэг байна. Ихэнх метроны шугамд зорчигчид вагонд суухаас өмнө аюулгүй байдлын шалгалт хийдэггүй. Тиймээс бензин зэрэг шатамхай бодисыг метроны шугамд чөлөөтэй

нэвтрүүлэх боломж гарч санаатай гал гаргах нөхцөл бүрдэж байна. УБ метроны шугамд цахилгааны гэмтэл үүсэх бүх нөхцөл боломжийг урьдчилан судалж, аль болох зорчигчдыг метроны өртөөнд нэвтрэхээс өмнө гар тээш, ачааны аюулгүй байдлын шалгалт хийдэг болох нь метроны шугамд гал үүсэхээс урьдчилан сэргийлж чадна. БНСУ-ын Дэгү хотын метроны шугамд гал гарах үед зорчигчийн вагоны сандлыг галд өртөмхий материалаар үйлдвэрлэсэн байсан нь галыг улам ихээр гарах шалтгаан болсон нь тогтоогдсон байна (Зураг 5). Тиймээс УБ метроны хөдлөх бүрэлдэхүүнд тавих аюулгүй байдлын шаардлагад зорчигчийн вагоны суудал, дотор ханыг гал дэмжихгүй материалаар үйлдвэрлэсэн байх шаардлага тавих нь зүйтэй юм.



5-р зураг. БНСУ-ын Дэгү хотын метроны шугамд гарсан гал түймэр, 2003 оны 2 сарын 18

Террорист халдлагын гол зорилго нь засгийн газар, олон нийтийг заналхийлж, нийгэмд айдас хүйдэс, дарамт үүсгэх явдал байдаг бөгөөд бөмбөг дэлбэлэх, галт зэвсэг хэрэглэж аллага үйлдэх, барьцаалах зэрэг хүчирхийллийг ашигладаг. Метроны шугам газар доор битүү орчинд байдаг бөгөөд гадагшаа гарах хэдхэн гарцтай, хүн ихээр цуглардаг онцлогтой тул террорист халдлагад хамгийн тохиромжтой газар болдог байна. 2004 онд Испани улсын Мадрид хотын метроны шугамд бөмбөг дэлбэрч 192 хүн нас барж, 2050 хүн бэртэж байсан бол 2006 онд Энэтхэг улсын Бомбэй хотын метроны 7 шугамд нэгэн зэрэг террорист дэлбэрэлт болж 209 хүн нас барж, 700 гаруй хүн шархадсан байна (Зураг 6). Түүнчлэн ОХУ-ын Москва хотын метроны шугамд 1977, 1998, 1999, 2003, 2004, 2010 онд удаа дараагийн террорист халдлага болж олон хүний аминд хүрч байсан. УБ метроны шугамд хяналтын камерыг олноор суурилуулах, эзэнгүй орхигдсон ачаа тээшийг шуурхай илрүүлж зохих арга хэмжээ авах, метроны өртөөнд хогийн сав байрлуулахгүй байх, зорчигчдын орох, гарах замд металл илрүүлэгчийг байнга ажиллуулах зэрэг урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авах боломжтой.



6-р зураг. Энэтхэгийн Мумбай хотын метроны шугамд болсон террорист халдлага

Хөгжиж буй улс орнуудын хувьд хотжилт хурдацтай явагдаж, барилгажилт эрчимтэй нэмэгдэж байгаагаас болж үерийн усны урсац өөрчлөгдөх, хаагдах, ус зайлуулах шугам бөглөрөх зэрэг асуудлаас болж метроны шугам үерт өртөх магадлал эрс нэмэгдэж байна. Метроны шугам газар доор байрладаг тул үерийн ус өртөөний орц, хаалгаар хялбар нэвтэрч доош урсах боломжтой. 2001 онд Тайваны Тайпей хотод, 2004 онд АНУ-ын Нью Йорк хотод, 2014 онд БНСУ-ын Пусан хотод их хэмжээний үер болж метроны шугам усанд автаж байсан [13]. БНХАУ-ын Бээжин, Гуанжоу, Вухан зэрэг олон хотод богино хугацаанд их хэмжээний бороо орсны улмаас үер бууж метроны шугамд нэвтэрч олон хүний аминд хүрсэн байдаг. Тухайлбал, 2021 оны 7-р сарын 20-нд БНХАУ-ын Жэнжоугийн метро хүчтэй аадар борооны улмаас усанд автаж, 14 хүн нас барж, 5 хүн гэмтсэн байна (Зураг 7). Гэсэн хэдий ч эрэн хайх, аврах ажиллагааны үеэр галт тэргэнүүдийг хар давуугаар хучсан тул нас баралтын тоо эргэлзээтэй үлдсэн байдаг.



7-р зураг. БНХАУ-ын Жэнжоугийн метронд болсон үерийн гамшиг

УБ хотын хувьд хур тунадасны хэмжээг олон жилийн дунджаар авч үзвэл нэг жилд 273.2 мм байдаг нь өндөр үзүүлэлт [11]. Гэвч 1967 онд УБ хотод 400 мм, 2023 онд 291 мм буюу олон жилийн дунджаас их хэмжээний хур тунадас унаж байсан. 1966 онд УБ хотод их хэмжээний бороо орж үйлдвэр комбинатын газар үерт автаж цахилгаан станцууд бүгд зогсож байсан бол 1982 оны зун УБ хотын ихэнх хэсэг нэлэнхийдээ үерт автсан байна. Түүнчлэн 2016 онд богино хугацаанд орсон аадар

борооны улмаас УБ хотын Баянзүрх дүүрэг үерийн усанд автаж байсан тохиолдол бий. Үер, усны эрсдэлээс сэргийлж орчин үед метроны өртөөний орц, гарцанд хамгаалалтын хаалга суурилуулах, ус зайлуулах дэд станцуудыг метроны шугам бүрд төлөвлөх зэрэг түгээмэл арга хэрэглэж байна (Зураг 8).



8-р зураг. Метроны үерийн усны хамгаалалтын хаалга

Дүгнэлт

- 1). Манай улсад метро, хотын төмөр замын тээврийн бие даасан хууль, дүрэм, журам байхгүй тул УБ метроны төсөл хэрэгжих үед үйл ажиллагааны зохицуулалт саатах, маргаан гарах, үл ойлголцол, тодорхой бус байдал үүсэх, осол, сүйрэл гарах, асуудал гарсан үед эзэнгүйдэх, хариуцлагын тогтолцоо алдагдах зэрэг томоохон эрсдэл үүсэхээр байна. Тиймээс “УБ хотын төмөр замын тээврийн тухай хууль”-ийг санаачлан боловсруулж батлуулах шаардлагатай.
- 2). Бусад улс орны метроны шугамд тохиолдож байгаа хамгийн том эрсдэл нь гал түймрийн аюул байна. Метроны шугам нь газар доор байрлах бөгөөд цөөн орц, гарцтай тул гал гарах үед утаа зайлуулах, зорчигчдыг нүүлгэн шилжүүлэхэд ихээхэн хүндрэл, бэрхшээл тулгарч, богино хугацаанд олон хүний амь нас эрсдэх аюултай. УБ метроны шугамд гал унтраах хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжийг олноор байрлуулах, утаа сорж зайлуулах насосны дэд станцыг өртөө бүрд байрлуулах, цахилгаан шугамын аюулгүй

байдлыг бүрэн хангах, хэвийн ажиллагааг тогтмол хянах, зорчигчийн вагоны дотор хана, суудлын материалыг гал дэмжихгүй материалаар үйлдвэрлэсэн байх зэрэг эрсдэл бууруулах арга хэмжээг авах боломжтой.

- 3). УБ хотын хур тунадасны олон жилийн дундаж 273.2 мм байдаг боловч дэлхийн дулаарал, цаг уурын өөрчлөлтийн улмаас ойрын жилүүдэд УБ хотод хүчтэй аадар бороо орж, үер буух давтамж ихсэж байна. Тиймээс УБ метроны шугамд үерийн ус нэвтэрч орох бүх боломжийг хаах, урьдчилан сайтар тооцоолох, үерийн ус зайлуулах, метроны орц, гарцын үерийн усны хаалт, хамгаалалтыг хийх зэрэг инженерийн байгууламжийг найдвартай төлөвлөх шаардлагатай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [11] World Metro systems, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Metro_systems.svg
- [12] List of metro systems, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_metro_systems
- [13] Нийслэлийн засаг даргын тамгын газар, Нийслэл Улаанбаатар хотод их багтаамжийн нийтийн тээврийн хэрэгсэл “Метро”-г барьж байгуулах төслийн техник, эдийн засгийн үндэслэл, 2025
- [14] Монгол улсын хөдөлмөрийн тухай хууль
- [15] Хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл ахуйн тухай хууль
- [16] Төмөр замын тээвэр дэх осол, гологдлыг судлан бүртгэх журам
- [17] Ажлын байрны эрсдэлийн үнэлгээ хийх аргачилсан зөвлөмж
- [18] Үйлдвэрлэлийн осол, хурц хордлогыг судлан бүртгэх дүрэм
- [19] MNS ISO31000, Эрсдэлийн менежмент-Удирдамж'
- [20] MNS ISO31010, Эрсдэлийн менежмент-Эрсдэлийн үнэлгээний арга
- [21] Уур амьсгалын үйлчилгээний систем, Сар, жилийн нийлбэр хур тунадас, <http://climate-service.mn/climateservice/index.php?menuitem=2&product=3>
- [22] Global risk report 2024, <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/digest/>
- [23] Heng Yu et.al, Analysis of natural and man-made accidents happened in subway stations and trains: based on statistics of accident cases, <https://doi.org/10.1051/mateconf /201927201031, 2019>

БАЯЖУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН ФЛОТАЦИЙН ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ЦАХИЛГААН ХӨТЛҮҮРТ УХААЛАГ ХЯНАЛТ НЭВТРҮҮЛЭХ БОЛОМЖИЙГ СУДЛАХ НЬ

Яндагсүрэнгийн ДОРЖСҮРЭН¹, Зоригоогийн МӨНХЖИН², Бөөрөнхийн ТЭМҮҮЖИН², OMAR Jaldin², PAULO Cigrano³

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Эрдэс боловсруулалт, инженерчлэлийн тэнхим

²Монгол Улс, Өмнөговь аймаг, Оюу Толгой ХХК

³Australia, Brisbane, Rio Tinto Group

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: dorjsuren@must.edu.mn¹

Хураангуй: Баяжуулах үйлдвэрийн флотацийн хэсэгт нийт 64 ширхэг флотацийн төхөөрөмж ажиллах ба тус бүр нь 186 кВт чадалтай цахилгаан хөдөлгүүр болон хутгагчаар тоноглогдсон байдаг. Энэ төхөөрөмж нь флотацийн процессын тогтвортой ажиллагаанд чухал үүрэгтэй бөгөөд метал авалтад шууд нөлөөлдөг. Тус төхөөрөмжийн хамгийн хурдан элэгддэг бөгөөд байнгын засвар үйлчилгээ шаарддаг хэсгүүд нь цахилгаан хөдөлгүүр, хутгагч (agitator) зэрэг хөдлөх эд ангиуд юм. Уг эд ангиудын засварт реактив засварын аргыг хэрэглэж байсан ба халалт доргио зэрэг хяналтын параметруудийг хүний оролцоотойгоор, гар аргаар хэмжиж байв. Ингэснээр төлөвлөгөөт бус сул зогсолт, тоног төхөөрөмжийн эвдрэл гэмтэл цөөнгүй бүртгэгдэж байсан бөгөөд энэ нь засварын зардал нэмэгдэх, үйлдвэрлэлийн үр ашиг буурах шалтгаан болж байв. Энэхүү судалгааг флотацийн танкийн цахилгаан хөдөлгүүрт wireless real-time monitoring систем нэвтрүүлэх боломжийг тодорхойлох, түүний үр ашгийг тооцох зорилгоор хийв. Шинэ систем нь хөдөлгүүрийн температур, доргио зэрэг оношилгооны гол параметруудийг тасралтгүй хянаж, өгөгдлийг төв серверт дамжуулах замаар эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх, засвар үйлчилгээний төлөвлөлтийг оновчтой болгох, найдвартай ажиллагааг хангах нөхцөлийг бүрдүүлнэ. Тус хяналтын төхөөрөмжийг нэвтрүүлэхээс өмнө төхөөрөмжүүдийн эвдрэлээс үүдэлтэй нийт сул зогсолт сүүлийн 12 жилийн байдлаар 1137.8 цаг байгаа ба түүний 70 % [1] мэдээллийг урьдчилан авч чадаагүйтэй холбоотой юм. Wireless real-time monitoring технологи ашигласнаар хөдөлгүүр болон хутгагч руу нэмэлт кабель татахгүйгээр хяналт тавих боломжтой тул мэдрэгчийн суурилуулалт, засварын ажиллагаа хялбаршина. Real-time хяналт нь оператор, инженерүүдийг шуурхай мэдээллээр ханган, шийдвэр гаргалтыг оновчтой болгох боломжийг бүрдүүлнэ.

Түлхүүр үг: *Wireless monitoring system, хөдөлгүүр, хутгагч (agitator), доргионы хяналт, температурын хяналт.*

I. УДИРТГАЛ

Баяжуулах үйлдвэрийн флотацийн процесс нь нарийн хяналт, найдвартай ажиллагаа шаарддаг, эрчим хүч өндөр зарцуулттай технологийн дамжлага юм. Тухайлбал, Оюу Толгойн баяжуулах үйлдвэрийн флотацийн хэсэгт нийт 64 ширхэг хөвүүлэн баяжуулах төхөөрөмж ажиллаж, тус бүр нь 186 кВт чадалтай цахилгаан хөдөлгүүр болон хутгагчаар тоноглогдсон байдаг. Эдгээр төхөөрөмжийн цахилгаан хөдөлгүүрүүд нь метал авалтад шууд нөлөөлдөг, байнгын засвар, үйлчилгээ шаарддаг төхөөрөмж юм.

Сүүлийн 12 жилийн (2013-2025) хугацаанд флотацийн цахилгаан хөдөлгүүртэй холбоотойгоор (цахилгаан хөдөлгүүр болон хутгагч) нийт 10109 тооны засвар үйлчилгээ бүртгэгдэж, 191780.8 цагийн сул зогсолт үүссэн байна [2]. Үүний 13.1%-ийг PM01 кодтой хуваарт төлөвлөгөөт зогсолт, 86.3%-ийг PM02 кодтой нэмэлт төлөвлөгөөт зогсолт, ойролцоогоор 0.6%-ийг PM03 кодтой эвдрэлээс шалтгаалсан төлөвлөгөөт бус зогсолт тус тус эзэлсэн байна. Хэдийгээр PM03 засварын (сул зогсолт) эзлэх хувь харьцангуй бага хэдий ч энэ нь 1137.8 цагийн зогсолт болох ба энэ нь үйлдвэрийн бүтээмжид ихээхэн сөрөг нөлөө үзүүлэх юм. Учир нь PM03 кодтой эвдрэлийн тоо 112 байх ба түүний нийт хугацаа 1137.8 цаг байгааг задлаж үзвэл, нэг эвдрэлд ногдох дундаж сул зогсолт 10.2 цаг байна. Энэ нь

бусад ангиллуудтай харьцуулахад өндөр үзүүлэлт бөгөөд эвдрэл бүрийн ард ихээхэн сөрөг үр дагавар байгааг илэрхийлж байна. Ийнхүү засварын дундаж хугацаа их байгаа нь оношилгоо хангалтгүй, урьдчилан сэргийлэх боломжгүй байсныг илтгэж байна.

Механик доголдол, доргио, халалттай холбоотой эвдрэлүүдийн 70% нь real-time мониторинг нэвтрүүлээгүй буюу predictive maintenance байхгүйтэй холбоотой болохыг нэр бүхий судалгааны хүрээлэн болон судлаачид тогтоосон байдаг [1], [3]. Тус мэдээлэлд үндэслэвэл, дунджаар PM03 ангиллын эвдрэлүүдийн 70% нь оношилгооны мэдээлэл хангалтгүйтэй холбоотой гэж үзэж болно. Өөрөөр хэлбэл 112 эвдрэлийн 78 эвдрэл нь real-time мониторинг байхгүй, урьдчилан сэргийлэх боломж байгаагүйтэй холбоотой юм.

Одоогийн байдлаар үйлдвэрт халалт, доргио зэрэг параметруудийг гар аргаар, хүний оролцоотойгоор хэмждэг. Энэ нь реактив засвар давамгайлах, төлөвлөгөөт бус эвдрэл нэмэгдэх, засварын зардал өсөх зэрэгт нөлөө үзүүлж байна [4], [5].

Ийм учир real-time wireless monitoring системийг нэвтрүүлэх нь үр дүнтэй юм. Уг технологи нь хөдөлгүүр болон хутгагчийн температур, доргио зэрэг оношилгооны гол параметруудийг тасралтгүй хянаж, өгөгдлийг төв серверт дамжуулах замаар эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх, засварын

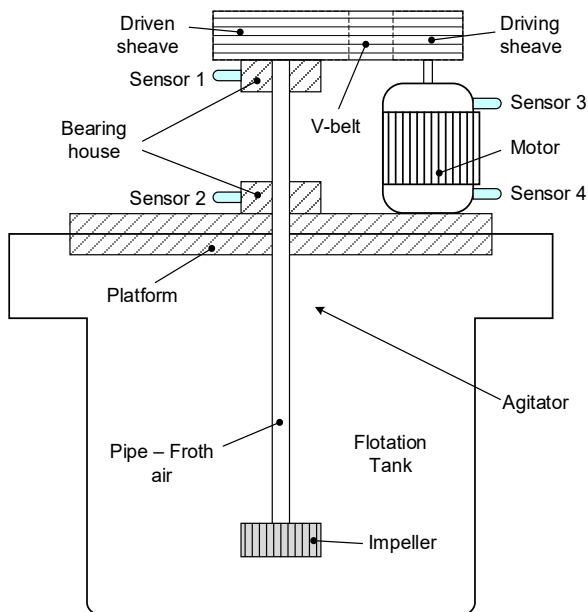
төлөвлөлтийг оновчтой болгох, найдвартай ажиллагааг хангах боломжийг бүрдүүлнэ. Wireless хяналтын систем нь нэмэлт кабель татах шаардлагагүй тул мэдрэгчийн суурилуулалт, засварын ажиллагаа хялбаршиж, оператор, инженерүүдийг шуурхай мэдээллээр хангах, шийдвэр гаргалтыг оновчтой болгох нөхцөлийг бүрдүүлнэ [6].

Мөн энэхүү ухаалаг wireless хяналтын системийг зөвхөн флотацийн төхөөрөмжөөс гадна бутлуур (1000 кВт), туузан конвейерүүд (7 x 710 кВт, CVB001 & CVB002), бөөрөнцөгт тээрмүүд (10 x 5700 кВт), дайрган бутлуурууд (3 x 746 кВт) зэрэг үйлдвэрийн бусад чухал тоноглолууд дээр нэвтрүүлэхээр зорьж байна.

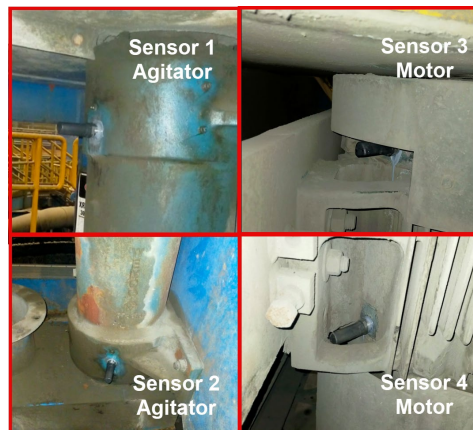
II. СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Энэхүү судалгаанд 2013 оны 4 сарын 5-аас 2025 оны 11 сарын 3 хүртэлх хугацаанд бүртгэгдсэн эвдрэл, сул зогсолтын мэдээллийг авч үзсэн болно [2]. Өгөгдөлд РМ кодоор ангилсан эвдрэлийн тоо, сул зогсолтын үргэлжлэх хугацаа, засварын шалтгаан зэрэг үзүүлэлтүүд багтсан бөгөөд эдгээрийг задлан шинжилж, оношилгооны мэдээлэл хангалтгүй байснаас үүдэлтэй эвдрэлүүдийн хувь хэмжээг тооцсон.

Угсралтын ажлыг дараах зургийн дагуу гүйцэтгэж, мэдрэгчүүдийг цахилгаан хөдөлгүүрийн болон хутгагчийн (agitator) хөтлөх тал (drive end) ба үл хөтлөх талд (non-drive end) тус тус суурилуулсан.



1-р зураг. Флотацийн төхөөрөмжийн ерөнхий бүтэц болон мэдрэгч суурилуулах байршил.



2-р зураг. Бодит төхөөрөмж дээр мэдрэгчүүдийг суурилуулсан байдал.

Суурилуулсан мэдрэгчүүд нь доргионы хурд болон температур зэрэг параметруудийг тасралтгүй хэмжиж, өгөгдлийг трансмиттерээр дамжуулан төв серверт илгээдэг. Энэхүү real-time өгөгдөл нь эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх, засварын төлөвлөлтийг оновчтой болгох, хяналтын системийн найдвартай ажиллагааг хангах үндсэн суурь болно [7], [8], [9].



3-р зураг. Мэдрэгчээс мэдээлэл хүлээн авч, төв серверт илгээх трансмиттер.

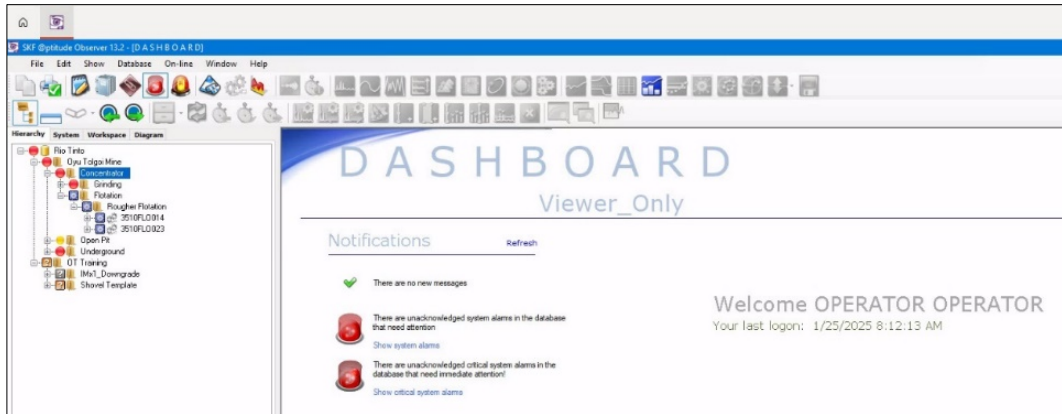
III. ҮР ДҮН

Wireless real-time monitoring системийг флотацийн цахилгаан хөтлүүрт амжилттай суурилуулж, мэдрэгчүүдийг хөтлөх болон үл хөтлөх талд байрлуулан доргионы хурд, температур зэрэг параметруудийг тасралтгүй хянаж эхлээд байна. Системийн өгөгдөл дамжуулалт тогтмолжиж, хяналтын платформоор дамжуулан бүх өгөгдлийг цаг алдалгүй, онлайн горимоор хянах боломж бүрдсэн.

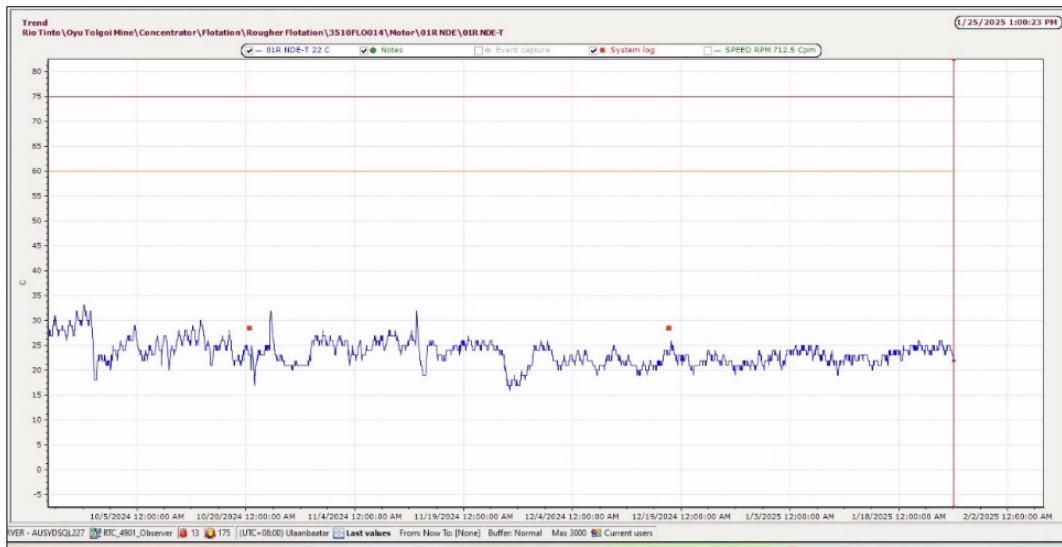
Эхний байдлаар:

- Хүний оролцоо буурч, гар аргаар хэмжилт хийх шаардлага арилсан.
- Оношилгооны өгөгдөл real-time байдлаар хяналтын серверт дамжуулагдаж, эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх боломж нэмэгдсэн.

Хяналтын системийн график, өгөгдөл цуглуулсан байдлыг дараах зургуудаар харуулав.



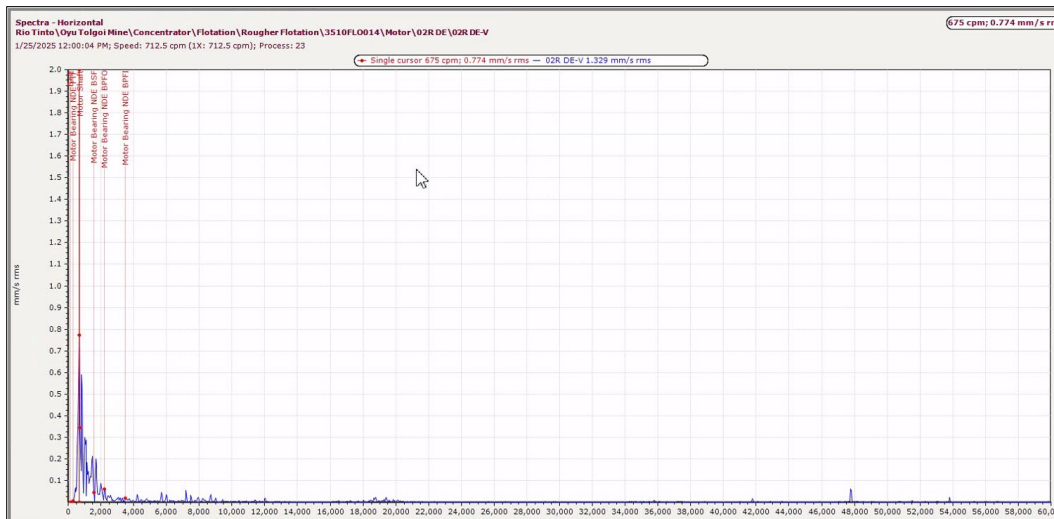
4-р зураг. SKF wireless condition monitoring system-ийн хяналтын дэлгэц.



5-р зураг. Флотацийн цахилгаан хөтлүүрийн температурын real-time хяналтын утга.



6-р зураг. Флотацийн цахилгаан хөтлүүрийн доргионы real-time хяналтын утга.



7-р зураг. Флотацийн цахилгаан хөтлүүрийн доргионы real-time spectre анализ.

Case Study – May 24: Rougher Flotation Electric Motor Lubrication Fault

The Problem: Deficient Lubrication

On May 24, the Flotation FLO-014 agitator experienced a 3x increase in electric motor bearing vibration levels after a refurbished motor was installed, triggering alarms. Investigation revealed the refurbished motor's bearings were insufficiently greased, leading to metal-to-metal contact and elevated vibration readings. If the issue was not identified on time using the Smart Plant online monitoring systems, the motor would have failed catastrophically in couple of days generating production losses and increasing maintenance costs.

The Solution: Lubricated Bearings

The bearing was lubricated, effectively reducing vibration levels to acceptable limits. This action prevented unplanned downtime and safeguarded the electric motor and other components from secondary damage. The motor repairer was informed of the issue and instructed to improve their lubrication practices and acceptance testing.

Savings:

4 Hours
Downtime Avoided

8-р зураг. Флотацийн цахилгаан хөтлүүрт доргионы real-time хяналтыг хэрэгжүүлсэн үед гарсан хэмнэлт.

Энэхүү хяналтын системийг үр дүнтэй ашигласнаар засварын төлөвлөлт нарийсч, сул зогсолтын эрсдэл буурч, PM03 кодтой эвдрэлүүдийн хяналт сайжирч, эвдрэл тус бүрт ногдох хугацаа буурах зэрэг үр дүн гарах хүлээлттэй байна.

Тухайлбал Рио Тинто группын зөвлөх Пауло Сиприаногийн (Paulo Cirgiano) гаргасан тайланд доргионы real-time хяналтыг нэвтрүүлж, тосолгооны хугацааг оновчилсноор 4 цагийн төлөвлөгөөт бус зогсолтоос урьдчилан сэргийлсэн [10] гэсэн үр дүн гарсан ба цаашид үүнтэй төстэй олон эерэг үзүүлэлтүүд гарах төлөвтэй байна. Энэ нь зөвхөн флотацийн машин дээр гарсан бодит хэмнэлт бөгөөд цаашид бусад төхөөрөмжид нэвтрүүлсэнээр энэ хэмнэлт илүү нэмэгдэх боломжтой.

IV. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны хүрээнд флотацийн танкийн цахилгаан хөтлүүрт wireless real-time monitoring системийг туршилтаар суурилуулж, мэдрэгчүүдийг

хөдөлгүүрийн хөтлөх болон үл хөтлөх талд байрлуулан доргионы хурд, температур зэрэг параметруудийг онлайн горимоор хянаж эхлээд байна. Эхний үр дүн гарч, хяналтын өгөгдөл тогтмол цуглуулагдаж байгаа бөгөөд параметруудийг графикаар дүрслэн хянах боломж бүрдсэн. Энэ нь системийн суурилуулалт амжилттай хийгдсэн, өгөгдөл дамжуулалт тогтвортой явагдаж байгааг харуулж байна.

Real-time хяналтын систем нь флотацийн төхөөрөмжийн доголдлыг урьдчилан илрүүлэх, засварын төлөвлөлтийг оновчтой болгох боломжтойг харуулж байгаа ба цаашид бүх флотацийн хөтлүүрүүд дээр тус системийг өргөтгөн суурилуулах төсөл хэрэгжиж байна.

Түүнчлэн конвейер, бутлуур, бөөрөнцөгт тээрэм гэх зэрэг бусад тоног төхөөрөмжүүдэд энэхүү ухаалаг хяналтыг нэвтрүүлж үйлдвэрийн тасралтгүй ажиллагааны түвшинг нэмэгдүүлэн, бүтээмжийг өсгөхөөр ажиллаж байна. Бидний (Пауло

Сиприаногийн тайлан) тооцооноор ухаалаг хяналтыг нэвтрүүлснээр үйлдвэрийн хэмжээнд цаашид 748 цагийн сул зогсолтыг бууруулах боломжтой ба уг үр дүнд хүрэх зорилгоор 2802 ширхэг мэдрэгчийг нэмэлтээр суурилуулахаар төлөвлөж байна [10].

Мөн уг хяналтын системийг хиймэл оюун ухааны алгоритмтай холбож, эвдрэл, гэмтлийг урьдчилан таамаглах боломжийг бүрдүүлэхээр ажиллаж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Флотацийн цахилгаан хөтлүүрт wireless real-time monitoring системийг суурилуулснаар хяналтын өгөгдлийг тасралтгүй, онлайн горимоор хүлээн авч, эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх, засварын төлөвлөлтийг оновчтой болгох боломж бүрдсэн. Судалгааны эхний үр дүнгээр хүний оролцоо буурч, параметруудийг графикаар хянах боломжтой болсон нь системийн үр нөлөөг харуулж байна. Ялангуяа оношилгооны мэдээлэл хангалтгүй байснаас үүдэлтэй РМ03 кодтой эвдрэлүүдийн тоо 60% орчим буурах боломжтой юм.

Энэхүү хяналтын систем нь зөвхөн хяналт төдийгүй, инженерийн шийдвэр гаргалт, засварын стратеги, найдвартай ажиллагааны үзүүлэлтэд чухал эерэг нөлөө үзүүлэх ба цаашид уг системийг бүх хөтлүүрт өргөтгөн нэвтрүүлэх, хиймэл оюун ухааны алгоритмтай холбож гэмтлийг урьдчилан таамаглах боломжийг бүрдүүлэхээр ажиллаж байгаа нь үйлдвэрлэлийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх, засварын зардлыг бууруулах, эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэхэд чиглэсэн чухал алхам юм.

Цаашид уг ухаалаг хяналтыг уурхай даяар нэвтрүүлэх ба үр дүнд нь төлөвлөгөөт бус сул зогсолт 748 цагаар буурах боломжтой гэсэн тооцооллыг гаргаад байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] “Predictive Maintenance: Taking pro-active measures based on advanced data analytics to predict and avoid machine failure,” Analytics institute. [Online]. Available: https://www.beekeeper.io/wp-content/uploads/2024/10/Deloitte_Predictive-Maintenance_PositionPaper.pdf
- [2] SAP system. Rio Tinto.
- [3] C. Hagedorn, J. Huegle, and R. Schlosser, “Understanding unforeseen production downtimes in manufacturing processes using log data-driven causal reasoning,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 33, no. 7, pp. 2027–2043, Oct. 2022, doi: 10.1007/s10845-022-01952-x.
- [4] Theodor D. Popescu, Dorel Aiordachioaie, and Anisia Culea-Florescu, “Basic tools for vibration analysis with applications to predictive maintenance of rotating machines: an overview,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. Volume 118, pp. 2883–2899, 2022.
- [5] Mohamed Er-Ratby, Abdessamad Kobi, Youssef Sadraoui, and Moulay Saddik Kadiri, “The Impact of Predictive Maintenance on the Performance of Industrial Enterprises,” vol. 6, Jan. 2025.
- [6] “SKF web.” [Online]. Available: <https://www.skf.com/group/products/condition-monitoring-systems>
- [7] R. Shah, V. Mittal, and M. Lotwin, “Recent Advances in Vibration Analysis for Predictive Maintenance of Modern Automotive Powertrains,” *Vibration*, vol. 8, no. 4, p. 68, Nov. 2025, doi: 10.3390/vibration8040068.
- [8] Muhammad Bin Irfan, Umair Ahmed, and Taha Siddiqui, “Predictive Maintenance Strategies for Oil and Gas Facilities Using AI-Based Vibration Monitoring,” *Proc. Int. Field Explor. Dev. Conf. 2023*, pp. 305–312, Mar. 2024.
- [9] Imane El Boughardini, Meriem Hayani Mechkouri, and Kamal Reklaoui, “A Predictive Maintenance System Based on Vibration Analysis for Rotating Machinery Using Wireless Sensor Network (WSN),” *Int. Conf. Adv. Intell. Syst. Sustain. Dev.*, pp. 93–106, June 2023.
- [10] C. Paulo, Case study -May 24.

ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТИЙН ЗОХИЦУУЛАЛТАД СУУРИЛСАН СИНХРОН ХӨДӨЛГҮҮРИЙН СЭРГЭЭЛТИЙН АВТОМАТ УДИРДЛАГЫН ШИНЭЧЛЭЛ

Чойдоржийн ОТГОНЧИМЭГ¹, Пүрвээгийн АРИУНБОЛОР²

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрдэнэт цогцолбор дээд сургууль, Эрчим хүчний тэнхим

²Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургуул, Эрдэс боловсруулалт инженерчлэлийн тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: otgonchimeg@erdenetis.edu.mn¹

Хураангуй: Энэхүү өгүүлэлд баяжуулах үйлдвэрийн тээрмийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат тохируулгын системийг микропроцессорын реленд суурилуулан шинэчилсэн судалгааны үр дүнг танилцуулсан. Уламжлалт сэргээлтийн тохируулгын систем нь олон тусдаа хамгаалалтын төхөөрөмжөөс бүрдэж, операторын гараар тохируулга хийх шаардлагатай байдгаас цахилгаан шугамын хүчдэлийн хэлбэлзэл болон ачааллын өөрчлөлтийн үед хөдөлгүүр хэт сэргээлттэй ажиллах нөхцөл үүсдэг байв. Эдгээр салангид хамгаалалтын үүргүүдийг нэг микропроцессорт реленд нэгтгэж, чадлын коэффициентийн хэмжилтэд тулгуурласан автомат тохируулгын шийдлийг боловсруулан туршилтаар баталгаажуулсан. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд уг систем нь хөдөлгүүрийн ачааллын нөхцөлөөс үл хамааран чадлын коэффициентийг тогтвортой түвшинд барьж, сэргээлтийн гүйдлийг 10 секунд дотор автоматаар тохируулж байгааг нотолсон. Шинэчлэлийн үр дүнд хөдөлгүүрийн дулааны ачаалал буурч, механик дамжуулгын зангилаанд үүсэх нэмэлт хүчдэл болон огцом өөрчлөлт багассанаар тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах, засвар үйлчилгээний давтамжийг бууруулах нөхцөл бүрдсэн. Түүнчлэн чадлын коэффициентийг оновчтой түвшинд барьснаар цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний үр ашг дээшилж, тодорхой хэмжээний хэмнэлт бий болсон. Иймээс реленд суурилсан сэргээлтийн автомат тохируулгын энэхүү систем нь үйлдвэрийн синхрон хөтлүүрийн найдвартай ажиллагааг сайжруулах, үр ашигтай шийдэл болохыг судалгааны үр дүн харуулж байна.

Түлхүүр үг: гүйдлийн автомат тохируулга, удирдлагын реле, хуурмаг чадал, микропроцессорын реле, сэргээлтийн V хамаарамж

I. УДИРТГАЛ

Синхрон хөдөлгүүр нь олон төрлийн үйлдвэрлэлийн технологийн процесст өргөн хэрэглэгддэг, чухал ач холбогдол бүхий цахилгаан хөтлүүрийн төхөөрөмж юм. Стандарт асинхрон хөдөлгүүртэй харьцуулахад синхрон хөдөлгүүр нь илүү нийлмэл автомат удирдлага, засвар үйлчилгээ шаарддаг боловч тогтмол хурдыг өндөр нарийвчлалтай хадгалдаг онцлогтой. Мөн бага эргэлтийн хурдтай, их ачаалалтай ажиллах үед шаардлагатай их эргүүлэх моментыг тогтвортой гаргах чадвартай. Иймээс уул уурхай, металлургийн салбарын бутлуур, нунтаглагч тээрэм, насос, компрессор, агааржуулагч зэрэг өндөр ачаалалтай тоног төхөөрөмжийн үндсэн хөтлүүр болгон өргөн ашиглагддаг [1].

Синхрон хөдөлгүүрүүд нь дээр дурдсан үйлдвэрлэлийн хэрэглээнд үндсэн хөтлүүр болгон өргөн ашиглагдах боломжийг бүрдүүлдэг олон талын чухал давуу шинж чанартай [2]. Үүнд:

- Синхрон хурдны өргөн хүрээнд үйлдвэрлэж, ашиглах боломжтой бөгөөд энэ явцад цахилгаан-механик энерги хувиргах өндөр үр ашгийг тогтвортой хадгалдаг. Энэ нь төрөлжсөн үйлдвэрлэл, өндөр хүчин чадал шаарддаг тоног төхөөрөмжид синхрон хөдөлгүүрийг илүүд үзэх гол хүчин зүйл болдог.
- Агааран завсрын хэмжээ их байх нь системийн механик дасан зохицох чадварыг нэмэгдүүлдэг тул хөдөлгүүрийг ачаалалд шууд холбож ашиглах

боломжтой ба суурилуулалтын олон төрлийн хувилбарыг, түүний дотор босоо чиглэлд суурилуулах боломжийг хангаж, уян хатан шийдлүүдийг бүрдүүлдэг.

- Авсаархан хийцтэй байх нь суурилуулалтыг хялбаршуулж, хуучин хөдөлгүүрүүдийг шинэчилж солих боломжтой байдаг нь томоохон үйлдвэрлэлийн үйлдвэрүүдэд шинэчлэл, орчин үеийн шаардлагад нийцүүлэхэд чухал давуу тал болдог.
- Синхрон хөдөлгүүр нь хэвийн ажиллагааны үед нэгж чадлын коэффициенттэй ($\cos \varphi = 1$) ажилладаг хэдий ч сэргээлтийн ороомгийг хэт сэргээх замаар хөдөлгүүрийг түрүүлэх чадлын коэффициенттэй (түрүүлэх) горимд ажиллуулах боломжтой. Ингэснээр хөдөлгүүр нь механик ажил гүйцэтгэхийн зэрэгцээ цахилгаан системд хуурмаг чадал нийлүүлж, хүчдэлийн зохицуулалтад дэмжлэг үзүүлэх бөгөөд цахилгаан дамжуулах шугамын нэвтрүүлэх чадварыг нэмэгдүүлэх давхар үүргийг гүйцэтгэнэ.

Эдгээр онцлог нь синхрон хөдөлгүүрийг зөвхөн механик хөтлүүр төдийгүй цахилгаан системийн хуурмаг чадал хангамж, хүчдэлийн тогтвортой байдалд чухал үүрэгтэй төхөөрөмж болгон ашигладаг. Мөн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат удирдлагаар эрчим хүчийг хэмнэх боломжтой.

Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийг уламжлалт байдлаар гараар тохируулдаг нь ачааллын

өөрчлөлт болон хүчдэлийн хэлбэлзлийн үед чадлын коэффициент тогтворгүй болох, хөдөлгүүр хэт сэргээлттэй ажиллах эрсдэлийг үүсгэдэг. Иймд синхрон хөдөлгүүрийн ажиллагааг тогтвортой, үр ашигтай байлгахын тулд сэргээлтийн автомат удирдлагын системийг боловсронгуй болгох шаардлага үүсэж байна. Иймээс энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь уул уурхайн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийг микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентийн зохицуулалттай автомат удирдлагын систем болгон шинэчлэх, түүний ажиллагааг туршилтаар судлахад оршино. Үүний тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд:

- Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийн ажиллагааны онцлогийг судлах,
- Чадлын коэффициент ба сэргээлтийн гүйдлийн хамаарлыг тодорхойлох,
- Микропроцессорт релед суурилсан сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн бүтцийг боловсруулах,
- Шинэчлэгдсэн системийг үйлдвэрийн нөхцөлд туршин үр дүнг үнэлэх.

Энэ судалгааны шинэлэг тал нь уул уурхайн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн удирдлагын системд микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентын гэдрэг холбоотой автомат тохируулгын шийдлийг нэвтрүүлж, түүний ажиллагааг үйлдвэрийн бодит нөхцөлд туршиж баталгаажуулсанд оршино.

II. СЭРГЭЭЛТИЙН АВТОМАТ ТОХИРУУЛГА

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт ба тохируулгын систем нь олон төрлийн схемтэй, ашиглах олон хувилбартай байдаг. Уламжлалт байдлаар статорын хамгаалалт, сэргээлтийн хэлхээний хамгаалалт, мөн сэргээлтийн удирдлага нь бие даасан системүүд байдаг. Эдгээр анхны схемийн ихэнх нь статорын хамгаалалтад зориулсан цахилгаан-механик эсвэл микропроцессорт суурилсан реленүүдээс бүрддэг байсан ба асинхрон хөдөлгүүрт хэрэглэгддэг хамгаалалтын шийдлээс ялгаагүй, статорын хамгаалалтын ижил зарчмыг баримталдаг [3]. Харин сэргээлтийн ороомог болон роторыг хамгаалах, мөн сэргээлтийн удирдлагыг хэвийн явуулахын тулд тусдаа цахилгаан механик болон/эсвэл хатуу төлөвт (solid-state) реленүүдийг хугацааны реленүүдтэй хослуулан ашиглах, эсвэл эдгээр функцийг нэгтгэн микропроцессорт суурилсан реле ашигладаг.

Энгийн сэргээлтийн тэжээлийн систем нь хувьсах трансформатор ба шулуутгагч гүүрээс бүрдэж, тохируулгын хувьсах хүчдэлийг тогтмол гүйдлийн түвшинд хувиргаж, сэргээлтэд шаардлагатай гүйдлийг өгдөг. Орчин үеийн системүүд нь ихэвчлэн SCR (тиристор) технологид суурилсан, гаралтын үзүүлэлтүүдийг нарийн зохицуулах чадвартай нэг микропроцессорт суурилсан нэгдсэн төхөөрөмж хэлбэртэй болсон. Үүний үр дүнд уламжлалт шийдлүүдэд шаардлагатай

байсан наад зах нь гурван тусдаа төхөөрөмжийг нэг тохируулгын төхөөрөмж болгон ашиглаж байна.

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт ба сэргээлтийн удирдлагын систем нь технологийн хөгжлийн үр дүнд уламжлалт олон тусдаа төхөөрөмжөөс микропроцессорт реле бүхий нэгдсэн шийдэл болж хөгжсөн. Ингэснээр хамгаалалт, тохируулгын функцийг нэг төхөөрөмжид төвлөрүүлж, суурилуулалтын эзлэх зай багасах, найдвартай ажиллагаа дээшлэх, засвар үйлчилгээний зардал буурах боломж бүрдсэн.

Орчин үеийн реле хамгаалалтын технологи нь олон төрлийн хамгаалалт, удирдлага, хяналт, логик функцуудыг нэгтгэсэн дэвшилтэт төхөөрөмжүүд болж хөгжсөн. Синхрон хөдөлгүүрийн орчин үеийн реле хамгаалалт нь уламжлалт статорын хамгаалалт, эхлэх дараалал, талбайн сэргээлтийн удирдлага, роторын тор ба талбайн хамгаалалтыг нэгтгэн гүйцэтгэдэг. Өмнө нь эдгээр функц хэрэгжүүлэхэд хоёр тусдаа төхөөрөмж шаарддаг байсан бол одоо нэг микропроцессорт суурилсан реле дотор нэгтгэн хэрэгжүүлэх боломж бүрдсэн. Иймд синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн удирдлага болон хамгаалалтын функцийг нэгтгэсэн нэгдсэн систем болж хөгжсөн.

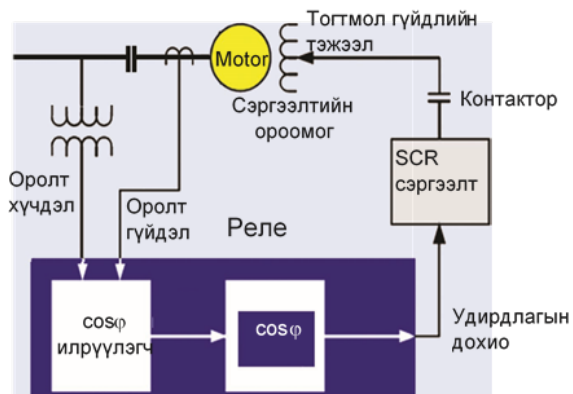
Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлт нь ихэвчлэн хамгаалалт ба тохируулгын системээс бие даасан автомат удирдлагатай ажилладаг. Энэ сэргээлтийн тохируулгын системд SCR (Silicon Controlled Rectifier) буюу силикон удирдлагатай шулуутгагч, мөн уламжлалт хамгаалалтын реле системийг ашигласаар байна. Зарим реле нь сэргээлтийн тохируулгын системтэй интерфэйсээр холбогдож, сэргээлтийн гаралтыг нарийн зохицуулах боломжийг олгодог. Ингэснээр хуучин сэргээлтийн системийн схемийг хялбаршуулж, шинэ суурилуулалт болон тогтмол гүйдлийн тэжээлийн төхөөрөмж болгон нарийсгах боломж бүрддэг.

Реле ашиглан сэргээлтийн автомат тохируулгын нэгтгэсэн системийн боловсруулалтыг авч үзв.

III. СЭРГЭЭЛТИЙН АВТОМАТ ТОХИРУУЛГЫН СИСТЕМ

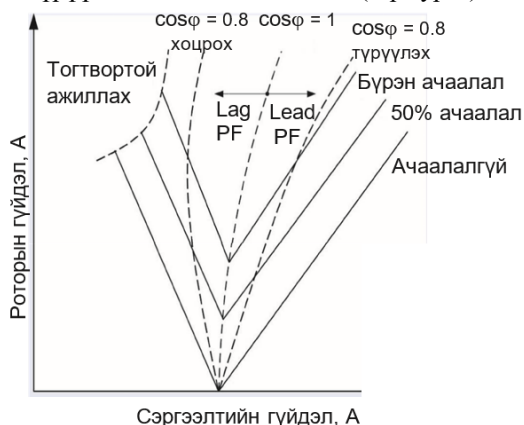
A. Оршил

Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат тохируулгын систем нь реле хамгаалалт ашиглан боловсруулсан (1-р зураг). Энэ системийг СХСАТ систем гэж товчилсон нэрээр нь нэрлэсэн. Уг системд SCR-тэй шууд хамааралтай сэргээлт нь гаралтын гүйдлийн түвшнийг зохицуулахад зориулагдсан хамгаалалтын реле нь сэргээлтийн тохируулгын хэлхээнд битүү системийн гэдрэг холбоосны дохио дамжуулснаар сэргээлтийн гаралтыг зохих хэмжээнд тохируулан өөрчилдөг. Реле хамгаалалтын тохируулгын блок нь хөдөлгүүрийн чадлын коэффициентын хэмжилтийн үндсэн дээр ажилладаг.



1-р зураг. Реле хамгаалалтын сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн бүтцийн схем

Синхрон хөдөлгүүрийн нэг давуу тал нь чадлын коэффициентыг цахилгаан системийн шаардлагад нийцүүлэн тохируулах боломжтой. Хөдөлгүүрийн чадлын коэффициент нь сэргээлтийн гүйдэл болон статорын ачааллын хоорондын хамаарлаар тодорхойлогдоно. Сэргээлтийн ороомгоор тухайн ачаалалд шаардлагатай хэмжээнээс илүү гүйдэл өгвөл хөдөлгүүр хэт сэргээгдэж, түрүүлэх чадлын коэффициенттой, харин бага буюу хангалтгүй гүйдэл өгвөл хөдөлгүүр дутуу сэргээгдэж, хоцрох чадлын коэффициенттой ажиллана. Ихэнх тохиолдолд оновчтой чадлын коэффициент нь нэгж (1) эсвэл бага зэрэг түрүүлэх байх нь зохимжтой (2-р зураг).



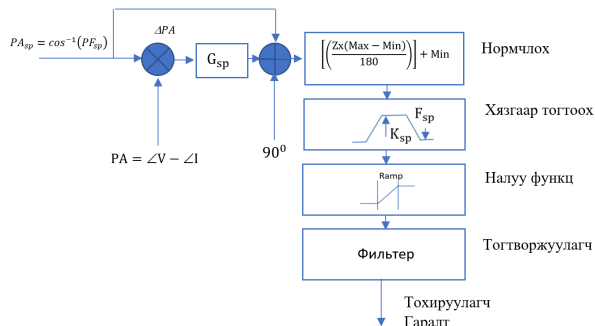
2-р зураг. V хэлбэрийн муруй

Харин хэт хоцрох чадлын коэффициент нь хөдөлгүүрийн тогтворгүй ажиллагааг үүсгэж, туйл алдагдах (pole slipping) эрсдэлтэй бөгөөд улмаар механик гэмтэлд хүргэж болзошгүй. Энэ нь хөдөлгүүрийн шинж чанараас хамаарах бөгөөд төрөл бүрийн ачааллын түвшинд өгөгдөх тогтмол статорын сэргээлтийн ба роторын хэлхээний гүйдлүүдийн хооронд хамаарлаар илэрхийлэгддэг ба энэ хамаарал V хэлбэрийн муруй байдаг ба чадлын коэффициентийн төлөвийг харуулдаг. Эдгээр V хэлбэрийн муруй нь сэргээлтийн ороомгийн гүйдлийг тохируулах замаар хөдөлгүүрийн чадлын коэффициентийг таамаглах боломжтой байдлаар зохицуулдаг.

В. Блок схем

Хамгаалалтын реле нь чадлын коэффициент (PF)-д суурилсан сэргээлтийг зохицуулдаг. Үүнийг

цаашид энэ судалгааны ажилд сэргээлтийн автомат тохируулгын систем гэж нэрлэн авч үзсэн. Иймд чадлын коэффициентээр тохируулагдах сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн блок диаграммыг 3-р зурагт үзүүлэв.



3-р зураг. Сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн блок диаграмм

Энд PA_{sp} – даалгаврын өгөгдөл, G_{sp} – өсгөлтийн коэффициент, PA – гүйдэл, хүчдлийн хоорондох өнцөг, K_{sp} – гаралтын хамгийн их утгын хязгаар, F_{sp} – гаралтын хамгийн бага утгын хязгаар.

Энэ автомат тохируулгын систем нь дараах үндсэн блокуудтай. Үүнд:

- Тохируулагчийн гаралт: Релений сэргээлтийн дохионы төрлийг заана. Жишээлбэл: 4–20 мА эсвэл тогтмол 0–10 V.
- Гаралтын хамгийн бага утгын хязгаар: Системийн гаралтын доод хязгаар утга бөгөөд сэргээлтийн гүйдэл огцом буурах үед чадлын коэффициент тогтворгүй болохоос хамгаалдаг. Хэрэв энэ доод хязгаарыг давбал чадлын коэффициент нь түрүүлэх (leading) төлөвт шилжинэ. Ачаалал чадлын коэффициент нь хоцорвол (lagging) сэргээлтийн гүйдэл доод хязгаараас дээш нэмэгдүүлж эхэлнэ.
- Тохируулагчийн хамгийн их гаралтын хязгаар: Энэ нь сэргээлтийн удирдлагын оролт тохирох хамгийн их сэргээлтийн гүйдлийг хязгаарлана.
- Даалгаврын өгөгдөл: Хэмжигдсэн хүчдэл болон шугамын гүйдлийн дохионуудаас тооцоолон барихыг хүссэн чадлын коэффициент юм.
- Өсгөлтийн коэффициент: Автомат удирдлагын битүү системийн дамжуулах функцийг коэффициент ба өсгөх эсвэл бууруулах өөрчлөлтийн хэмжээг тодорхойлдог.
- Өсгөлтийн хугацаа: Автомат удирдлагын системийн нэг давталт бүрд гаралтын дохиог аажмаар нэмэх эсвэл бууруулахад шаардагдах нийт хугацаа юм.
- Тогтворжуулагч: Системийн гаралтын тогворжуулахад шаардагдах дундаж хугацаа юм.

IV. СИСТЕМИЙН АЖИЛЛАГААНЫ ХАРЬЦУУЛАЛТ

Тээрмийн гол нь синхрон хөдөлгүүрийн голтой холбогдон ажилладаг. Тээрэм нь их ачаалал, их инерцтэй тул хөдөлгүүрийг асаахад тээрмийг синхрон хөдөлгүүрийн голтой нь холболгүй, салангид байдлаар асаах нь зүйтэй болно. Хөдөлгүүр нэрлэсэн хурдаа хүрсний дараа тээрмийг агааран муфтаар (air clutch)-оор синхрончлон залгана. Хөдөлгүүр нь араат дамжуургыг эргүүлж, тээрэм эргэлтээ эхлүүлнэ. Үүний дараа клинкер материалыг тээрэм рүү өгч хүдрийн чулуулгийн тээрэмдэлт эхэлдэг (4-р зураг).



4-р зураг. Тээрмийн холболтын схем

Агааран муфт нь синхрон хөдөлгүүрийн цохилтот ачааллыг бууруулж, синхрон горим алдагдахаас хамгаалах бөгөөд шахсан агаараар механизмаас агаараар удирдан зөөлөн залгаж/салгах зориулалттай.

Тээрэм нь маш их инерцийн моменттой ачаалал тул хөдөлгүүрийг тээрэмтэй шууд механикаар холбон асаах үед асалтын гүйдэл огцом ихсэх, хөдөлгүүр богино хугацаанд шаардлагатай хурданд хүрч чадахгүй байх, синхрончлогдохгүй болох, мөн дамжуулгын зангилаанд механик цохилт үүсэх зэрэг ноцтой эрсдэлүүд илэрдэг. Иймээс хөдөлгүүрийг эхлүүлэхдээ тээрэмээс салангид горимоор асааж, нэрлэсэн хурданд хүргэн синхрончлогдсоны дараа air clutch-ийн тусламжтайгаар тээрмийг аажмаар, жигд залгах технологийн дарааллыг ашигладаг.

Агааран холбоосонд үрэлтийн дискүүд, поршен болон агаарын камер байрлах ба шахсан агаар оруулах үед поршен тэнхлэгийн дагуу шилжин, үрэлтийн дискүүдийг хооронд нь шахсанаар эргэлтийн момент жигд дамжиж голууд залгагдана. Харин агаарыг суллахад дискүүд салж, эргэлтийн дамжуулалт тасарч голууд салангид байдалд шилжинэ. Ийм ажиллагааны зарчим нь ачааллыг цохилтгүй, хяналттай залгах боломжийг бүрдүүлж, хөдөлгүүрийг их инерцийн динамик нөлөөллөөс хамгаалах, синхрончлох горимыг найдвартай хангах, мөн механик элэгдэл, доргилтыг бууруулах давуу талтай. Иймд air clutch буюу агаарын муфт нь тээрмийн синхрон хөдөлгүүрийн хөтлүүрийн системийн зайлшгүй шаардлагатай бүрэлдэхүүн хэсэг юм.

1. Одоогийн системийн ажиллагаа

Анх ашиглалтад орсноос хойш одоо байгаа сэргээлтийн систем болон хамгаалалт, удирдлагын төхөөрөмжүүдийг өмнө нь нэг удаа шинэчилсэн.

Одоогийн сэргээлтийн тэжээл нь тиристорт суурилсан авсаархан тогтмол гүйдлийн хувиргагч

бөгөөд урд талдаа энгийн операторын самбартай ба операторын самбараар даалгаврын өгөгдлийг өөрчилж сэргээлтийг гараар тохируулахаас гадна туслах төхөөрөмжөөс ирэх дохиогоор автоматаар тохируулга хийх боломжтой.

Одоо ашиглагдаж байгаа хамгаалалт ба удирдлагын төхөөрөмжүүд нь микропроцессорт суурилсан реле боловч бие биеэсээ хамааралгүй ажилладаг байв. Зүүн талд статорын хамгаалалтын реле, баруун талд эхлүүлэх дарааллын удирдлага болон синхрончлол алдагдах (pull-out)-аас хамгаалах хамгаалалт байрладаг ба сэргээлтийн төхөөрөмж нь хажуугийн шүүгээнд байрладаг. Синхрон хөдөлгүүр хэвийн ажиллаж байх үед роторын соронзон орон болон статорын эргэлдэх соронзон орон хоорондоо тогтмол өнцгийн зөрүүтэй, чадлын өнцөг δ -гаар "цоожлогдсон" мэт уялдан хамт эргэлддэг. Харин ачаалал огцом ихсэх, сэргээлт багасах, эсвэл тэжээлийн хүчдэл унах гэх мэт нөхцөлд энэ өнцөг огцом өсөж, критик утгаас давмагц ротор нь статорын соронзон орноос тасарч синхрончлолоо алдахад хөдөлгүүр асинхрон горимд шилжин их гүйдэл авч, хэт халалт болон механик ноцтой гэмтэл үүсэх өндөр эрсдэл бий болдог бөгөөд энэ үзэгдлийг pull-out буюу синхрончлол алдагдах гэж нэрлэдэг. синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт нь чадлын өнцөг δ , чадлын коэффициент PF, гүйдэл, хүчдэл, мөн сэргээлтийн түвшнийг тасралтгүй хянаж, синхрончлолоос гарах нөхцөлийн урьдчилан тодорхойлон хөдөлгүүрийг салгах (trip) эсвэл аюулгүй горимд шилжүүлэх үйлдлийг гүйцэтгэдэг. Ялангуяа ган бөмбөлөгтэй тээрмийн синхрон хөтлүүрийн хувьд энэ хамгаалалт маш чухал ач холбогдолтой. Тээрэм асар их инерцтэй тул ачаалалтай үед сэргээлт багасах эсвэл ачаалал огцом нэмэгдэхэд синхрончлол алдагдах магадлал маш өндөр байдаг. Иймээс синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт нь синхрон хөдөлгүүр синхрончлол алдагдалтыг зогсоох үндсэн хамгаалалт юм.

Хэдийгээр одоогийн хамгаалалт, удирдлага нь сэргээлтийн тохируулгыг операторын самбараар гараар хийдэг. Шаардлагатай үед талбайн ажилтнууд шүүгээг онгойлгож сэргээлтийн төхөөрөмжид хүрч тохируулга хийдэг тул төхөөрөмжид аюулгүй хүрэх, дахин тохируулах талаар мэдлэг шаарддаг. Тохируулга хийх чадвартай ажилтан байнга бэлэн байх боломжгүй. Иймээс байгууламжийн инженерүүд богино хугацааны цахилгаан тасалдлын үед нөөц байдлаар ашиглах үүднээс хөдөлгүүрийг ихэвчлэн хэт сэргээлттэй төлөвт урьдчилан тохируулсан байв.

Ердийн нөхцөлд зогсоохоос өмнө клинкер болон тээрэмдэгдсэн хүдрийг тээрэмээс бүрэн цэвэрлэдэг. Харин процесс гэнэтийн байдлаар зогсвол тээрэм дотор материал үлдэж, хөдөлгүүрийг ачаалалтай хэвээр байлгах шаардлагатай болдог. Ийм нөхцөлд процессыг дахин эхлүүлэх нь хүндрэлтэй.

Хамгийн хүнд нөхцөлийн хувилбар нь бүрэн ачаалалтай тээрмийг тооцож төлөвлөхийг шаарддаг. Энэ үед хөдөлгүүр урт хугацаанд, илүү хүнд нөхцөлд

хурд авна. Мөн ачааллыг даахын зэрэгцээ синхрончлогдохын тулд бүрэн сэргээлт шаардана.

Синхрон хөдөлгүүр нь ерөнхийдөө бага зэрэг хэт сэргээлттэй ажиллахаар тооцоологдсон байдаг ч удаан хугацаанд хэт их хэт сэргээлттэй ажиллах нь роторын соронзон орны ороомог болон статорын ороомогт нэмэлт халалт үүсгэдэг. Удаан хугацаанд өндөр температуртай ажиллах нь хөдөлгүүрийн ерөнхий элэгдэл, ашиглалтын хугацааг багасгадаг.

2. Системийн удирдлагын шинэчлэл

Одоогийн сэргээлтийн системд тус тусдаа хэрэгжиж байсан олон реле хамгаалалтыг нэг микропроцессорт релед нэгтгэж, сэргээлтийн автомат системийг шинэчилсэн. Энэхүү шинэчлэлийн гол агуулга нь микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентын зохицуулалтаар сэргээлтийг автоматаар удирдах шийдэл юм [4].

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт, удирдлагын систем нь статорын хамгаалалт, роторын хамгаалалт, эхлүүлэх дарааллын удирдлага, синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт, чадлын коэффициентын автомат тохируулга өндөр түвшний интеграцчилсан шийдэл юм. Уг реле нь гурван фазын гүйдэл, хүчдэлийн бүрэн хэмжилтэд тулгуурлан статорын хэт гүйдэл, гүйдлийн тэнцвэргүй байдал, хэт ба бага хүчдэл, чадлын параметрийн хяналт зэрэг хамгаалалтыг гүйцэтгэхийн зэрэгцээ сэргээлтийн гүйдэл, хүчдэлийн удирдлага, роторын халалт, сэргээлтийн алдагдлын хяналт, роторын хамгаалалтыг хэрэгжүүлдэг. Мөн чадлын өнцөг, чадлын коэффициент, гүйдэл, хүчдэл болон сэргээлтийн түвшнийг тасралтгүй хянах замаар синхрончлол алдагдахаас өмнө таслах хамгаалалтуудтай.

Систем нь эхлүүлэх дарааллыг логигоор удирдаж, синхрончлох нөхцөлийг автоматаар шалган зөвшөөрөхийн зэрэгцээ чадлын коэффициентийн тохируулагчийн функцээр гурван фазын хэмжилтээс чадлын коэффициентийг тооцоолж, гэдэрэг холбоосны гаралтаар сэргээлтийн гаралтыг автоматаар тохируулан хөдөлгүүрийн ачааллаас үл хамааран оновчтой чадлын коэффициентийг тохируулдаг. Энэхүү тохируулга нь бүрэн автомат горимоор ажиллаж, гар тохируулга шаарддаггүй. Релений дэлгэц дээр гурван фазын гүйдэл, хүчдэл, сэргээлтийн гүйдэл ба хүчдэл, идэвхт, реактив, бүрэн чадал, чадлын коэффициент болон фазын диаграммыг харуулдаг тул ажиллагааг хянах, ашиглалтад оруулах үеийн нарийвчилсан дүн шинжилгээг хөнгөвчилдөг.

Өмнө нь статорын хамгаалалтын реле болон эхлүүлэх, синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалтын реле тусдаа ажиллаж байсан бол энэ шинэчлэлээр бүх үүргийг нэг микропроцесссын реленд төвлөрүүлснээр самбарын эзлэх зай багасаж, дохио дамжуулалт хялбар болж, засвар үйлчилгээ багасаж, системийн найдвартай ажиллагаа нэмэгдсэн. Тохиргооны бүтэц болон программ хангамж нь өмнөх төхөөрөмжтэй төстэй тул хуучин тохиргоог шинэ системд хөрвүүлэхэд хялбар болсон. Мөн гурван фазын хэмжилтэд тулгуурласан

удирдлагын үед фазын дарааллын зөв байх нь чадлын коэффициентийн тохируулга болон синхрончлох удирдлагад чухал нөлөөтэй болох нь ашиглалтад оруулалтын явцад тодорхой харагдсан.

Иймд дараах байдлаар эдгээр давуу талыг нэгтгэв. Үүнд:

- Ашиглахад хялбар байдал: Бүх хэмжигдэж буй параметруудийг харуулах том суурилуулсан дэлгэцтэй тул ажиллагааны харагдах байдал, хяналт сайжирсан.
- Төхөөрөмжийн нэгтгэл: Ижил түвшний хамгаалалтын функцүүдийг хадгалсан хэдий ч төхөөрөмжийн тоо цөөрч, эзлэх зай багасаж, засвар үйлчилгээний хэрэгцээ буурсан.
- Төхөөрөмжийн танил байдал: Физик хэмжээс бага зэрэг өөрчлөгдсөнөөс шалтгаалан самбарт тодорхой засвар өөрчлөлт шаардлагатай болсон ч дохио дамжуулалт болон релений ерөнхий зохион байгуулалт ижил төстэй. Релений тохиргооны бүтэц болон программ хангамж бараг өөрчлөгдөөгүй тул өмнөх тохиргоог шинэ системд шилжүүлэхэд харьцангуй хялбар байсан.
- Сэргээлтийн автомат удирдлага: Релений чадлын коэффициентын тохируулагчийн удирдлагын функцийг тохируулж, түүний гэдэрэг холбоосны гаралтыг одоо байгаа сэргээлттэй холбон, хөдөлгүүрийн ачааллаас үл хамааран оновчтой чадлын коэффициентийг тогтмол барихын тулд сэргээлтийн гаралтыг автоматаар тохируулдаг болгосон. Энэхүү зохицуулалт нь бүрэн автомат ажиллагаатай бөгөөд гар оролцоо шаарддаггүй.

3. Шинэчлэгдсэн системийн үр дүн

Шинэчлэгдсэн сэргээлтийн системийн хамгаалалтын функцүүд нь зөв ажиллаж байгааг баталгаажуулсны дараа сэргээлтийг автомат горимд шилжүүлж, реле дээр суурилсан чадлын коэффициентийн тохируулагчийн гэдэрэг холбоосны дохиогоор сэргээлтийн гаралтыг удирддаг болгосон. Тээрмээс салангид, ачаалалгүй үед гар удирдлагын болон автомат чадлын коэффициентийн удирдлагын горимд авсан хэмжилтийн үр дүнгүүд бараг ижил байсан. Учир нь ачаалалгүй үед синхрон хөдөлгүүр маш бага зэрэгт шаарддаг бөгөөд бодитоор хэрэгтэй сэргээлтийн дохионы түвшин релений тохируулсан гаралтын доод хязгаараас бага байв. Релений чадлын коэффициентийн тохируулагчийн гаралтын хамгийн бага утгын хязгаарлалт нь 2 В гэж тохируулагдсан тул гэдэрэг холбоосны дохио энэ утгаас доош буурах боломжгүй. Үүний улмаас сэргээлт шаардлагатай хэмжээнээс ялимгүй илүү өгөгдөж, хөдөлгүүр үндсэндээ түрүүлэх чадлын коэффициентийн төлөвт хэвээр ажилласан.

Дараа нь тээрмийг агааран муфт залгаж ачаалал өгөхөд чадлын коэффициентийн тохируулагчийн автомат удирдлага идэвхжмэгц реле сэргээлтийг 10 секундийн дотор автоматаар тохируулж, зорилтот $\cos \varphi = 1$ (түрүүлэх) утад хүргэсэн. Фазын

диаграммаар идэвхт чадал давамгай, бага хэмжээний реактив бүрэлдэхүүнтэй байгааг баталгаажуулсан.

Чадлын коэффициентийн тохируулагчийн ажиллагааг шалгахын тулд зорилтот утгыг 0.99 lag болгон өөрчлөхөд сэргээлтийн хүчдэл, гүйдэл буурч, хөдөлгүүр хуурмаг чадал багасаж бага сэргээлттэй ажилласан. Харин $\cos \varphi = 0.93$ (түрүүлэх) болгож тохируулахад сэргээлт нэмэгдэж, хөдөлгүүр хуурмаг чадал нэмэгдэж хэт сэргээлттэй байгааг фазын диаграммууд харуулсан. Эдгээр туршилт нь гар удирдлагаас реле дээр суурилсан чадлын коэффициентийн автомат тохируулагч руу шилжилт амжилттай хэрэгжсэнийг баталсан.

Ачаалалтай горимд чадлын коэффициентийн тохируулагчийг нарийвчлан тохируулснаар гүйцэтгэлийг оновчтой болгосон. Зорилтот чадлын коэффициентийн тохируулагчийг 0.98 (түрүүлэх) болгож, хуурмаг чадлыг сүлжээнд нийлүүлэх нөхцөлийг бүрдүүлсэн. Дамжуулгын коэффициентийг хөдөлгүүрийн ажиллагаанд тааруулан 3 болгож, гаралтын савлагааг тогтворжуулсан. Хамгийн дээд хязгаарыг 10В хэвээр үлдээж, доод хязгаарыг 4 В болгон өөрчилснөөр ачаалал нэмэгдэхэд тохируулагч хурдан хариу үйлдэл үзүүлэх боломжтой болсон. Налуу функцийн өсөлтийн хугацааг 1 секунд, тогтворжуулах шүүлтүүрийг 5 цикл болгож тохируулснаар хурдан бөгөөд тогтвортой байх тохиргоог хангасан.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаанд уул уурхайн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат тохируулгын системийг микропроцессорт релед суурилуулан шинэчилж, чадлын коэффициентийн гэдрэг холбоостой автомат тохируулгын систем болгон шинэчлэв. Шинэчлэгдсэн систем нь хөдөлгүүрийн ачааллын өөрчлөлт болон хүчдэлийн хэлбэлзлийн үед сэргээлтийн гүйдлийг автоматаар тохируулж, чадлын коэффициентийг тогтмол түвшинд хадгалах боломжтой болохыг туршилтаар баталлаа.

Сэргээлтийн автомат тохируулгын системийг шинэчилснээр хөдөлгүүрийн хэт сэргээлтээс үүдэх нэмэлт халалт буурч, механик дамжуулгын ачаалал багассан бөгөөд тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах нөхцөл бүрдсэн. Мөн гараар тохируулах ажиллагаанаас шалтгаалсан алдаа арилж, сул зогсолт буурснаар үйлдвэрийн найдвартай ажиллагаа болон цахилгаан эрчим хүчний үр ашиг дээшилсэн. Иймд реле хамгаалалттай сэргээлтийн автомат тохируулгын систем нь синхрон хөдөлгүүрийн ажиллагааг сайжруулах өндөр үр ашигтай шийдэл болохыг энэхүү судалгаа харууллаа.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, Н ОМ ЗҮЙ

- [1] C. Crites, R. Muziol, and K. Apfelbeck, “Lessons Learned Commissioning A Relay-Based Synchronous Motor Excitation Control System: A Case Study,” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 31, no. 4, pp. 37–46, 2025, doi:10.1109/MIAS.2025.3559775.
- [2] WEG group, *SPECIFICATION GUIDE ELECTRIC MOTORS*, vol. 1. 2023, pp. 1–68. [Online]. Available: www.weg.net
- [3] B.Venkataraman *et al.*, “Fundamentals Of A Motor Thermal Model And Its Applications In Motor Protection,” in *2005 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Florida, USA: IEEE ; IEEE Operations Center [distributor], Jun. 2005, p. 299.
- [4] Интеллектуальные машины ООО, “МБВ006-User Manual,” in *1*, Inmash, Новосибирская, 2006, pp. 1–53.

ГРАФЫН ОНОЛД СУУРИЛСАН ДУЛААНЫ ХАНГАМЖИЙН СҮЛЖЭЭНИЙ ТОПОЛОГИЙН ЗАГВАРЧЛАЛ БА ГИДРАВЛИК ГОРИМЫН ТООЦООЛОЛ

Халзангийн ЦОЛМОН¹, Сэрээтэрийн БАТМӨНХ², Хангайн ЭНХБАЯР³

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулаан хангамж автоматжуулалтын тэнхим

²Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны цахилгаан станцын тэнхим

³Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль, Математикийн тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: kh.solmon@must.edu.mn¹

Хураангуй: Энэхүү судалгааны ажлаар Улаанбаатар хотын төвлөрсөн дулааны хангамжийн сүлжээний топологийн загварчлал болон гидравлик горимын тооцооллыг хавтгайн графын онолын хүрээнд гүйцэтгэсэн. Сүлжээг чиглэлтэй граф $G = (V, E)$ хэлбэрээр илэрхийлж, холбоосын матриц болон хүрээний матриц байгуулан Кирхгофын хуулиудад суурилсан тэгшитгэлийн системийг тооцоолов. Хан-Уул дүүргийн дулааны сүлжээний жишээн дээр Hardy-Cross давталтын аргаар 3GDH (110/70°C) ба 4GDH (65/35°C) горимын гидравлик тооцоолол хийж, сүлжээний оновчлолын хувилбаруудыг харьцуулсан. Тооцооллын үр дүнд тусдаа шугамын хувилбар нь насосны нийт чадлыг 44.1%-иар бууруулж, 4GDH шилжилтэд бүрэн нийцтэй болохыг тогтоосон.

Түлхүүр үг: графын онол, хавтгайн граф, холбоосын матриц, гидравлик тооцоолол, Hardy-Cross, дулааны хангамжийн сүлжээ

I. УДИРТГАЛ

Улаанбаатар хот нь дэлхийн хамгийн хүйтэн нийслэлүүдийн нэг бөгөөд өвлийн гадна агаарын температур -40°C хүртэл буурдаг. Хотын 60 гаруй хувийн хүн амыг хангадаг төвлөрсөн дулааны хангамжийн систем (ТДХС) нь 370 км шугам хоолой, 15,000 гаруй хэрэглэгчтэй нарийн төвөгтэй сүлжээ юм. Одоогийн систем нь 2-р үеийн технологид хамаарах 130/70°C горимтой, дулааны алдагдал $\sim 17\%$ байгаа нь олон улсын стандарт 6–9%-аас нэлээд өндөр бөгөөд хоолойн 25%-иас дээш хэсэг хуучирсан байна. Уламжлалт гидравлик тооцооны аргууд (Hardy-Cross, эквивалент эсэргүүцлийн арга) нь ийм томоохон сүлжээнд тооцооллын хурд, нарийвчлал, топологийн илэрхийллийн хувьд хязгаарлагдмал байдаг. Todini, Pilati (1988) нарын боловсруулсан Глобал градиент алгоритм (ГГА) нь сүлжээний топологийг холбоосын матрицаар илэрхийлж, Ньютон-Рафсоны аргаар бүх тэгшитгэлийг зэрэг шийддэг учир том сүлжээнд илүү үр дүнтэй [2]. Lund нар (2014) 4-р үеийн дулааны хангамжийн системийн (4GDH) үзэл баримтлалыг томъёолж, өгөх усны температурыг $50-70^{\circ}\text{C}$ хүртэл бууруулснаар дамжуулалтын алдагдлыг ~ 2 дахин бууруулах боломжтойг харуулсан [3]. Гэвч ΔT буурахад зарцуулалтын хурд нэмэгдэж, даралтын алдагдал ~ 2.8 дахин өсдөг тул Улаанбаатарын нөхцөлд шууд шилжих нь гидравлик хүндрэлтэй. Иймээс энэхүү судалгаанд хавтгайн графын онол дээр суурилсан гидравлик горимын тооцооллыг Улаанбаатар хотын ТДХС-д хэрэглэж, одоогийн горимыг загварчлахын зэрэгцээ бага температурын горимд шат дараалан шилжих боломж, түүний гидравлик нөлөөллийг тооцоолохыг зорилгоо. Хан-Уул дүүрэг нь нийт дулааны ачааллын 29.0% (830.6 Гкал/цаг)-ийг эзэлж, эх үүсвэрээс алслагдсан, өндөршлийн зөрүүтэй

нөхцөлтэй тул тооцооны жишээ болгон сонгож зураг 1-д үзүүлэв.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

A. Графын онолын үндсэн ойлголт

Граф $G = (V, E)$ нь зангилааны олонлог V болон ирмэгийн олонлог E -ээс бүрддэг математик бүтэц юм. Дулааны хангамжийн сүлжээнд зангилаа нь эх үүсвэр (ДЦС, ДС), салаалалтын цэг, хэрэглэгч (дулааны дэд станц) болох бөгөөд ирмэг нь шугам хоолойг илэрхийлнэ. Чиглэлтэй графын (directed graph) хувьд ирмэг бүрд дулаан зөөгч шингэний урсгалын чиглэлийг тогтооно.

B. Сүлжээний топологийн матриц загварчлал

Холбоосын матриц A нь $n \times m$ хэмжээтэй матриц бөгөөд n — зангилааны тоо, m — ирмэгийн тоог илэрхийлэх ба зангилаа ба ирмэгийн хоорондын холбоосыг тодорхойлно: $A_{ij} = +1$ бол ирмэг j зангилаа i -ээс гарна; -1 бол ирмэг j зангилаа i -д орно; 0 бол холбогдоогүй байна.

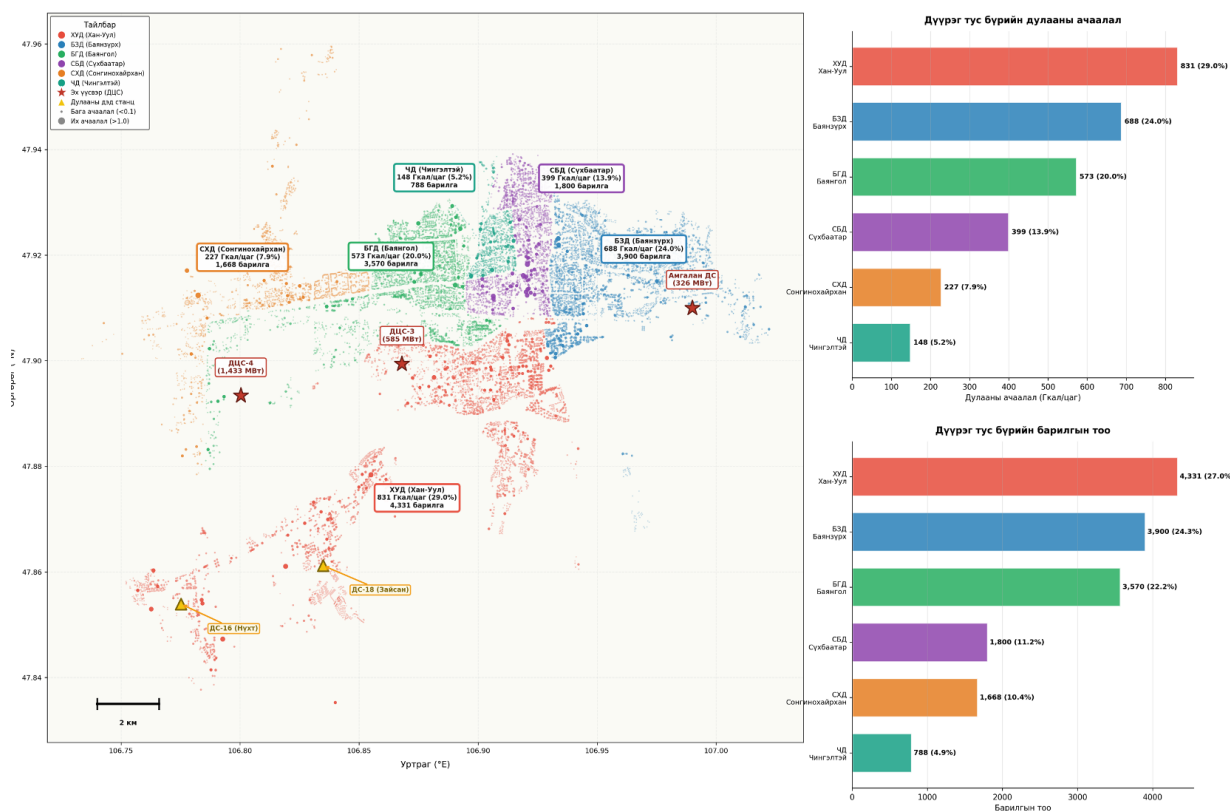
Хүрээний матриц B нь $l \times m$ хэмжээтэй бөгөөд бие даасан хүрээний тоо $l = m - n + 1$ байна. Дулааны сүлжээний гидравлик тэнцвэрийн нөхцөлийг Кирхгофын хоёр хуулиар илэрхийлнэ. Кирхгофын I хууль зангилааны тэнцвэртэй нөхцөлийг тодорхойлох бол II хууль хүрээний тэнцвэртэй нөхцөлийг тус тус илэрхийлнэ.

$$A \cdot q = Q \quad (1)$$

Энд: q — ирмэг дэх шугамын зарцуулалтын вектор (m^3/c), Q — зангилаан дах хэрэглэгчийн зарцуултын вектор,

$$B \cdot \Delta P = 0 \quad (2)$$

ΔP — ирмэг дэх даралтын уналтын вектор.



Зураг 1. Улаанбаатар хотын дулааны ачаалалын тархалт, дүүргүүдийн дулааны ачаалалын хуваарилалт

Хоолой тус бүрийн даралтын уналтыг Дарси-Вейсбахийн тэгшитгэл (3) аар тодорхойлно.

$$\Delta P_j = S_j \cdot Q_j \cdot |Q_j|, \quad (3)$$

$S_j = 8 \cdot \lambda_j \cdot L_j / (\pi^2 \cdot d_j^5 \cdot \rho)$ тодорхойлно.

Энд S_j — j -р шугмын гидравлик эсэргүүцэл, λ_j — Дарсийн үрэлтийн коэффициент, L_j — хоолойн урт, d_j — дотоод диаметр, ρ — усны нягт.

Гадна агаарын температур -40°C , маш хүйтэн уур амьсгалын нөхцөлд буцах усны температур $40-50^\circ\text{C}$, өгөх усны температур $130-150^\circ\text{C}$ байдаг нь усны физик шинж чанарт нөлөөлдөг.

C. Огтлолцсон шугам ба хуурмаг зангилаа

Бодит дулааны сүлжээнд шугам хоолойнууд газар доогуур олон цэгт огтлолцон өнгөрдөг. Графын онолоор бол ийм граф нь хавтгайн бус болно. Үүнийг хавтгайн сүлжээ болгохын тулд огтлолцох цэг бүрд хуурмаг зангилаа нэмэх явдал юм. Хуурмаг зангилаа нь хэрэглэгчийн зарцуулалт $q = 0$, даралтын уналт $\Delta P = 0$ байна.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

A. Судалгааны объект

Судалгааны объект нь Улаанбаатар хотын ТДХС бөгөөд 6 дүүрэг, 134 бүсийг хамарсан нийт 2,865.5 Гкал/цаг дулааны ачаалалтай сүлжээ юм. Гидравлик тооцооллыг тодорхой болгох үүднээс Хан-Уул дүүргийн дулааны сүлжээг жишээ болгон сонгосон. Тус дүүрэг нь хотын өмнөд хэсэгт байрлах, 9 дулааны дэд дүүргээр 958.3 МВт ачааллыг хангах

бөгөөд ДЦС-4 (60%) ба ДЦС-3 (40%) эх үүсвэрүүдээс хангагдах нөхцөлөөр тооцоолов.

B. Хан-Уул дүүргийн дулааны дэд дүүргүүд

Хан-Уул дүүрэгт 9 дулааны дэд станц байрлах бөгөөд ДС-18 нь Зайсан бүсэд $h=1,400$ м болон ДС-16 нь Нүхт бүсэд $h=1,380$ м байгаа нь эх үүсвэрээс хамгийн их өндөршлийн зөрүүтэй, алс байрлалтай зангилаанууд юм.

ХАН-УУЛ ДҮҮРГИЙН ДУЛААНЫ ДЭД СТАНЦУУДЫН МЭДЭЭЛЭЛ
I-P ХҮСНЭГТ

ДС	Q, МВт	Барилга	Өргөрөг, °N	Уртраг, °E	h, м	Δh, м
ДС-5	115.5	584	47.8898	106.8675	1,340	0
ДС-9	66.2	425	47.8897	106.9056	1,340	0
ДС-10	118.1	900	47.9110	106.8597	1,343	3
ДС-13	105.0	403	47.9032	106.9017	1,342	2
ДС-20	82.1	455	47.8954	106.8886	1,340	0
ДС-2	113.8	468	47.8965	106.9163	1,341	1
ДС-21	110.9	743	47.8820	106.9235	1,360	20
ДС-18	132.7	780	47.8612	106.8349	1,400	50
ДС-16	114.0	482	47.8539	106.7752	1,380	30

Нийт ачаалал: 958.3 МВт, Нийт барилга: 5,240

С. Тооцооллын арга зүй

Тооцооллыг дараах дарааллаар гүйцэтгэв.

1. Сүлжээг чиглэлтэй граф $G = (V, E)$ хэлбэрээр загварчилж, зангилааны координат, хоолойн ург (WGS84, 1.15 муруйлтын коэффициенттэй)-ыг тодорхойлов.

2. Графын хавтгайн эсэхийг Куратовскийн теоремоор шалгаж, огтлолцсон шугамд виртуал зангилаа нэмэв.

3. Холбоосын матриц $A (n \times m)$ болон хүрээний матриц $B (l \times m)$ байгуулав.

4. Хоолойн диаметрыг зорилот хурдаас тодорхойлж, магистраль: 2.0 м/с, салаа: 1.5 м/с байх,

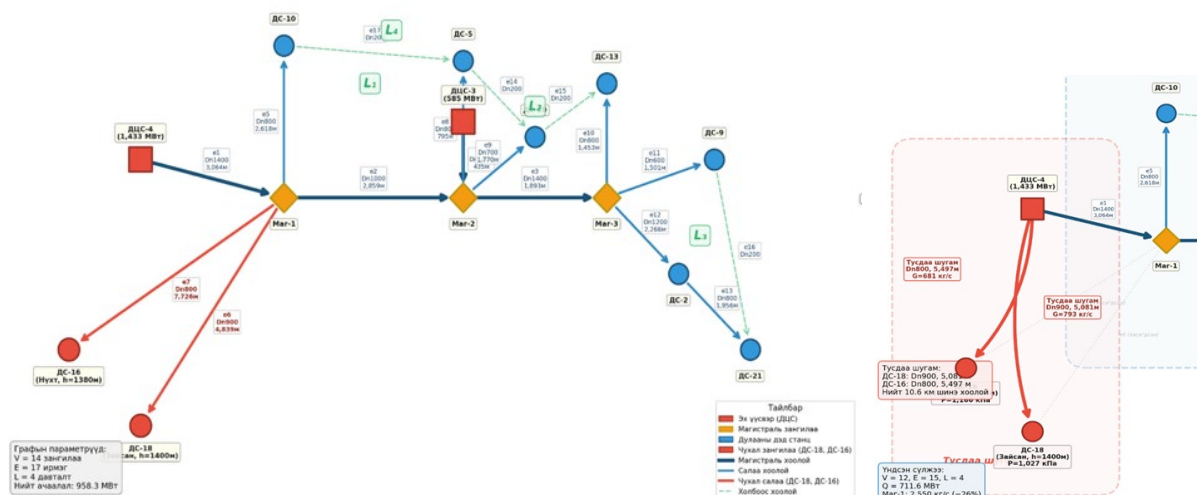
Colebrook-White тэгшитгэлээр үрэлтийн коэффициент λ -г давтан тооцоолов.

5. Hardy-Cross давталтын аргаар зарцуулалтын тэнцвэрт утгыг олж ($\max|\Delta G| < 0.01$ кг/с, 8 давталт), BFS алгоритмаар зангилааны даралтыг тооцоолов.

3.4. Харьцуулсан хувилбарууд

Хувилбар А: Нийт 9 дулааны дэд дүүргийг нэг магистраль сүлжээгээр хангах, графын параметрууд: $V = 14$ зангилаа, $E = 17$ хоолой, $L = 4$ давталт байна.

Хувилбар А-ийн сүлжээний графын топологийг Зураг 2-т үзүүлэв. Эх үүсвэрүүд (ДЦС-4, ДЦС-3), магистраль зангилаанууд (Маг-1, Маг-2, Маг-3), болон 9 дулааны дэд станцын хоорондох холболтыг чиглэлтэй графын ирмэгүүдээр дүрсэлсэн бөгөөд 4 тусдаа давталтыг (L_1-L_4) тодорхойлсон.



Зураг 2. Хувилбар А: Нэгдсэн сүлжээний графын топологи ($V = 14, E = 17, L = 4$), Хувилбар Б: Тусдаа шугамтай сүлжээний графын топологи (Үндсэн: $V = 12, E = 15, L = 4$ + Тусдаа: 2 шугам)

Хувилбар Б (Тусдаа шугам): ДС-18 ба ДС-16-ийг ДЦС-4-өөс шууд тусдаа хоолойгоор хангана. Үндсэн сүлжээ: $V = 12, E = 15, L = 4$. Тусдаа шугам: ДЦС-4→ДС-18 (5,081 м), ДЦС-4→ДС-16 (5,497 м).

Хувилбар Б-ийн тусдаа шугамтай сүлжээний графын топологийг Зураг 3-т үзүүлэв. ДС-18 ба ДС-16-ыг ДЦС-4-өөс шууд тусдаа хоолойгоор хангаснаар үндсэн магистраль сүлжээний зарцуулалт 26%-иар буурч, даралтын тархалт сайжирсан байдлыг харуулав.

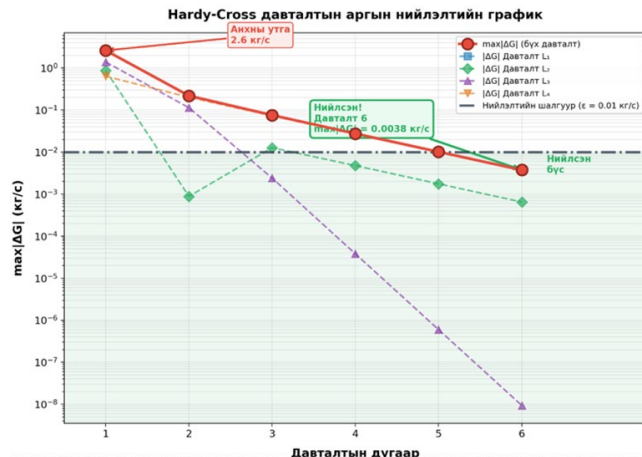
III. ТООЦООЛЫН ҮР ДҮН

А. Хувилбар А: Нэгдсэн сүлжээ ($3GDH, 110/70^\circ C$)

Hardy-Cross давталтын арга 8 удаа хийгдэж нийлсэн ($\max|\Delta G| < 0.01$ кг/с). Хоолойн гидравлик параметруудийг 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

$\max|\Delta G|$ утга экспоненциал хурдтай буурч, 4 давталт бүрийн (L_1-L_4) залруулга ялгаатай хурдтай нийлж байгааг логарифм масштабтаар харуулсан бөгөөд шугаман масштабтаар давталт бүрийн тоон утгыг тод дүрсэлсэн Hardy-Cross давталтын аргын нийлэлтийн

динамикийг Зураг 4-д үзүүлэв.



Зураг 3. Hardy-Cross давталтын аргын нийлэлтийн график ($\max|\Delta G| < 0.01$ кг/с)

Анхны давталтаас ДС-18 ба ДС-16-ийг үндсэн сүлжээнээс салгаснаар Маг-1 зарцуулалт $3,434 \rightarrow 2,550$ кг/с буюу -26% -иар буурч байна.

Хоолойн гидравлик параметрууд - хувилбар А

2-Р ХҮСНЭГТ.

Хувилбар А	L, м	Dn, мм	v, м/с	R, Па/м	ΔP, кПа
e1	3,064	1400	2.32	37.5	114.9
e2	2,859	1000	1.65	28.6	81.8
e3	1,893	1400	1.59	17.7	33.4
e4	435	1400	1.55	16.7	7.3
e5	2,618	800	1.48	30.4	79.5
e6	4,839	900	1.30	20.1	97.5
e7	7,726	800	1.41	27.5	212.5
e8	795	800	1.44	28.4	22.6
e9	1,770	700	1.32	28.5	50.4
e10	1,453	800	1.28	22.5	32.8
e11	1,501	600	1.49	43.7	65.6
e12	2,266	1200	1.23	12.7	28.8
e13	1,956	800	1.35	25.3	49.6

Үндсэн сүлжээний P_{min} = 1,262 кПа (ДС-21) болж, +345 кПа-аар сайжирсан. Тусдаа шугамаар холбогдох ДС-18-ийн даралт 1,027 кПа (+110 кПа), ДС-16-ийн даралт 1,166 кПа (+176 кПа) болсон.

В. Хувилбаруудын нэгтгэсэн харьцуулалт ба 4GDH шилжилтийн үнэлгээ

Хувилбаруудын харьцуулалт ба 4GDH нийцтэй байдал

3-Р ХҮСНЭГТ.

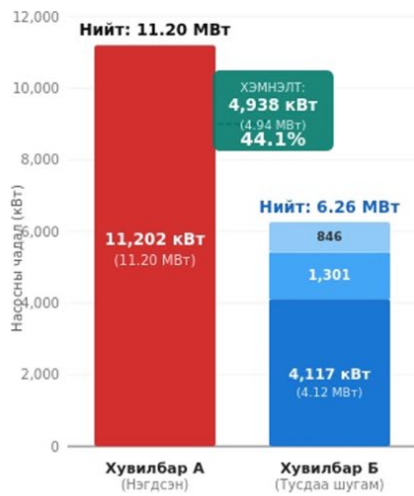
Параметр	А: Суурь	Б: Тусдаа	Зөрүү
Ерөнхий параметрууд			
Нийт дулааны ачаалал	958.3 МВт		
Р _{эх} (эх үүсвэр)	1,600 кПа		
Нийт зарцуулалт	5,723 кг/с	5,723 кг/с	—
Маг-1 зарцуулалт	3,434 кг/с	2,550 кг/с	-26%
v _{max}	2.32 м/с	1.73 м/с	-25%

Үндсэн сүлжээний насос			
P _{min}	917 кПа	1,262 кПа	+345 кПа
H насос	1,503 кПа	744 кПа	-759 кПа
G нийт	5,723 кг/с	4,250 кг/с	-26%
N_{насос}	11,202 кВт	4,117 кВт	-7,085 кВт
ДС-18 тусдаа (Зайсан, Δh=50 м)			
P (Зайсан)	—	1,027 кПа	+110 кПа
H насос	—	1,261 кПа	—
G	—	793 кг/с	—
N насос	—	1,301 кВт	—
ДС-16 тусдаа (Нүхт, Δh=30 м)			
P (Нүхт)	—	1,166 кПа	+176 кПа
H насос	—	954 кПа	—
G	—	681 кг/с	—
N насос	—	846 кВт	—
НИЙТ ДҮН			
НИЙТ НАСОС	11,202 кВт	6,264 кВт	-4,938 кВт
(МВт)	11.20 МВт	6.26 МВт	-4.94 МВт
ХЭМНЭЛТ	4,938 кВт (4.94 МВт)	▼ 44.1%	
4GDH (65/35°C) нийцтэй байдал			
v _{max} (4GDH)	3.10 м/с	2.30 м/с	—
v ≤ 3.0 м/с	Алдаатай	Нийцтэй	—
4GDH бэлэн эсэх	Үгүй	Тийм	—

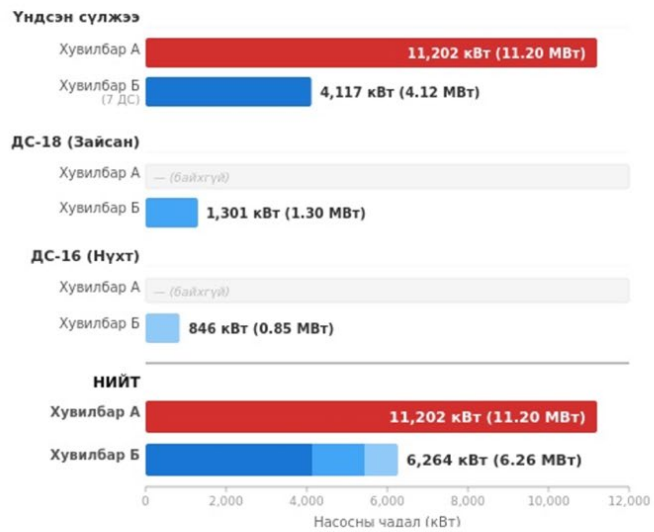
Тусдаа шугамын хувилбар нь 5-р хүснэгтэд үзүүлснээр нийт насосны чадлыг **4.94 МВт-аар**, хувиар илэрхийлвэл **44.1%-иар** бууруулсан. Энэ нь жилийн дулааны улиралд ойролцоогоор ~20.2 ГВтц цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлттэй тэнцэнэ.

Хувилбаруудын насосны чадлын бүрэлдэхүүн задаргаа болон харьцуулалтыг Зураг 6-д графикаар дэлгэрэнгүй үзүүлэв. Зураг 6(a)-д босоо баганан диаграммаар нийт чадлын ялгааг, 6(b)-д хэвтээ баганан диаграммаар насос тус бүрийн чадлыг харьцуулсан. Хувилбар Б-д гурван бие даасан насосны нийт чадал 6,264 кВт болж Хувилбар А-ийн 11,202 кВт-аас 4,938 кВт (44.1%) бага: үндсэн сүлжээ 4,117 кВт (65.7%), ДС-18 тусдаа 1,301 кВт (20.8%), ДС-16 тусдаа 846 кВт (13.5%). Энэхүү хэмнэлтийн гол шалтгаан нь P_{min} 917 кПа-аас 1,262 кПа болж +345 кПа-аар сайжирсантай шууд холбоотой юм. 5-р хүснэгтийн 4GDH нийцтэй байдлын шинжилгээнээс харахад, Хувилбар А нь 4GDH горимд e1 хоолойн хурд 3.10 м/с хүрч зөвшөөрөгдөх 3.0 м/с хязгаарыг давж байна.

(a) Насосны чадлын бүрэлдэхүүн



(b) Насос тус бүрийн харьцуулалт



■ Хувилбар А — Нэгдсэн сүлжээ (9 ДС) ■ Хувилбар Б — Үндсэн сүлжээ (7 ДС) ■ ДС-18 тусдаа насос ■ ДС-16 тусдаа насос

Зураг 4. Хувилбар А ба Б-ийн насосны чадлын харьцуулсан диаграмм: (a) Насосны чадлын бүрэлдэхүүн задаргаа, (b) Насос тус бүрийн харьцуулалт

Харин Хувилбар Б нь 4GDH шилжилтэд ямар нэг хоолой шинэчлэлгүйгээр бүрэн нийцтэй байгаа нь Маг-1-ийн ачаалал 26%-иар буурсантай шууд холбоотой.

ДУГНЭЛТ

- Улаанбаатар хотын 6 дүүрэг, 134 бүсийг хамарсан нийт 2,865.5 Гкал/цаг дулааны ачаалалтай төвлөрсөн дулааны хангамжийн сүлжээний топологийг хавтгайн графын онолоор загварчилж, холбоосын матриц болон хүрээний матриц байгуулан Кирхгофын хуулиудад суурилсан тэгшитгэлийн системийг тодорхойлов.
- Хан-Уул дүүргийн сүлжээний ($V = 14$, $E = 17$, $L = 4$) жишээн дээр Hardy-Cross давталтын аргаар 3GDH (110/70°C) горимын гидравлик тооцоолол хийж, ДС-18 (Зайсан) болон ДС-16 (Нүхт) дэд станцуудын өндөршлийн зөрүү (50 м, 30 м) ба алсын зай нь сүлжээний $P_{min} = 917$ кПа болгож, насосны чадлын шаардлагыг тодорхойлж байгааг тогтоов.
- Шугмын оновчлолын хувилбар (ДС-18, ДС-16-ийг ДЦС-4-өөс шууд хангах) нь нийт насосны чадлыг 11.20 МВт-аас 6.26 МВт болгож 44.1% (4.94 МВт) хэмнэлт үзүүлсэн бөгөөд даралтын тархалтыг мэдэгдэхүйц сайжруулсан.
- Хувилбар А ба Б-ийн бүх хоолойн 4GDH горимын хурдны харьцуулалтыг зураг 4-д дэлгэрэнгүй үзүүлэв. 4GDH горимд зарцуулалт 1.33 дахин нэмэгдэхэд Хувилбар А-д $e1$ хоолойн хурд $v = 3.04$ м/с хүрч 3.0 м/с хязгаарыг давж байхад, Хувилбар Б-ийн $v_{max} = 2.16$ м/с нь хоолой шинэчлэхгүйгээр 4GDH-д бүрэн нийцтэй байна.

5. 4GDH (65/35°C) горимд шилжих үнэлгээгээр тусдаа шугамын хувилбар нь ямар нэг хоолой шинэчлэлгүйгээр бүрэн нийцтэй ($v_{max} = 2.30$ м/с ≤ 3.0 м/с) болохыг харуулсан нь ирээдүйн 4GDH хэрэгжилтийн суурь нөхцөлийг хангаж байна.

6. Сийрэг матрицын алгоритм ашиглаж MATLAB програм хангамж дээр 16,000 гаруй хэрэглэгчтэй том хэмжээний сүлжээний тооцооллыг бага хугацаанд гүйцэтгэх боломжтой болсон нь энэхүү загварчлалын аргын масштабтай чанарыг баталж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R. et al. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11.
- Todini, E., & Pilati, S. (1988). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. *Computer Applications in Water Supply*, 1, 1-20.
- Cross, H. (1936). Analysis of flow in networks of conduits or conductors. *University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin*, 286.
- Diestel, R. (2017). *Graph Theory* (5th ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Studentlitteratur AB, Lund.
- Dalla Rosa, A., Li, H., & Svendsen, S. (2011). Method for optimal design of pipes for low-energy district heating. *Energy*, 36(5), 2407-2418.
- Hagberg, A.A., Schult, D.A., & Swart, P.J. (2008). Exploring network structure using NetworkX. *Proc. 7th Python in Science Conference*, 11-15.
- Шарапов, В.И., & Ротов, П.В. (2007). Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. Ульяновск: УлГТУ.
- Ионин, А.А. (2010). Теплоснабжение: учебник для вузов. Москва: Стройиздат.