

Мазаалай хиймэл дагуулын газрын станцын хөгжүүлэлт зарим үр дүн

У.Төгөлдөр¹, Т.Ариунболд¹, М.Ананд¹, Э.Өсөхбаяр¹, Д.Амартүвшин², Т.Төртогтох¹,
М.Алтансүх¹, Т.Бэгзсүрэн¹, Д.Улам-Оргих¹, Д.Эрдэнэбаатар^{1,*}

¹ Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим, Нано хиймэл дагуул хөгжүүлэлтийн лаборатори

² Төмөр Замын Дээд Сургууль

Энэ ажлаар Монгол улсын анхны хиймэл дагуул "мазаалай"-н Монгол Улсын Их Сургууль дээр байрлах газрын станцын бүтэц, хиймэл дагуулаас мэдээлэл татаж авсан үр дүн, газрын станцын одоогийн үйл ажиллагааны талаар өгүүлнэ. МУИС-ийн газрын станц нь 2017 онд BIRDS-1 хиймэл дагуулын төсөл болон мазаалай хиймэл дагуулын сансрын орчин дахь үйл ажиллагааг хянах, удирдах зорилгоор байгуулагдсан. Тус газрын станц нь маш өндөр давтамж (Very High Frequency-VHF) давтамжийн 144MHz-148MHz – ийн зурвас, хэт өндөр давтамжийн (Ultra High Frequency-UHF) 430MHz-438MHz–н зурвасуудад хиймэл дагуултай холбогдон ажиллаж байна. Мөн “Мазаалай” хиймэл дагуулаас гадна NOAA цаг уурын хиймэл дагуулаас мэдээлэл татаж авах, BIRDS-2, BIRDS-3 төслийн хиймэл дагуулууд зэрэг сонирхогчийн радио давтамжийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл, дохио хүлээн авах, зураг авах команд илгээх зэрэг үйл ажиллагаа явуулж байна.

Түлхүүр үг: BIRDS төсөл, газрын станц, кубсат хиймэл дагуул

ОРШИЛ

Монгол улсын анхны хиймэл дагуул Мазаалайг BIRDS буюу Joint Multi Nation Birds (JGMNG) төслийн хүрээнд Япон улсын Кюүшүгийн Технологийн Институтэд монгол инженер, судлаачид хийж бүтээсэн. Уг хиймэл дагуул нь 2017 оны 6-р сарын 3-нд SpaceX компанийн Falcon 9 пуужингаар сансарт хөөрөн, SpaceX Dragon C106 сансрын хөлгөөр Олон Улсын сансрын станцад хүргэгдсэн. Улмаар 2017 оны 7-р сарын 7-нд Олон Улсын Сансрын станцаас Японы Кибо модулийн тусламжтай задгай сансарт гаран ажиллаж эхэлсэн.

Хиймэл дагуулын үндсэн даалгаврууд нь хиймэл дагуулын найдвартай ажиллагааг хангахад шаардлагатай шинжлэх ухааны туршилт гүйцэтгэхээр төлөвлөгдсөн [1].



Зураг 1. Мазаалай хиймэл дагуулыг ОУ-н сансрын станцад хүргэсэн SpaceX компанийн цойлуур болон сансрын хөлгүүд.

Хиймэл дагуулын холбооны систем нь хиймэл дагуул болон газрын хооронд мэдээлэл дамжуулах үүрэгтэй үндсэн систем юм. Хиймэл дагуулын холбооны систем нь хиймэл дагуул буюу сансрын сегмент, газрын станц гэсэн үндсэн хоёр хэсгээс бүтнэ. Хиймэл дагуулын газрын станц нь хиймэл дагуулын үйл ажиллагааг хянах, үндсэн үүрэгтэй. Үүнээс гадна хиймэл дагуулын сансрын орчинд цуглуулсан мэдээлэл, радио дохио (beacon) хүлээн авах, хиймэл дагуулд үндсэн болон туслах даалгавруудтай холбоотой ямар нэгэн үйлдэл хийх командыг илгээх үүрэгтэй.



Зураг 2. Мазаалай хиймэл дагуул ОУ-н сансрын станцаас задгай сансарт гарч байна.

Монгол Улсын Их Сургуулийн газрын станц нь 2017 оны 5-р сард ашиглалтад орсон. Үүнээс хойш олон улсын BIRDS төслийн газрын

* Electronic address: erdenebaatar.d@num.edu.mn

станцын сүлжээний гишүүний хувиар BIRDS-1, BIRDS-2, BIRDS-3 төслийн хиймэл дагуулууд, зарим тохиолдолд NOAA цаг уурын хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл татаж авах, команд илгээх зэрэг үйл ажиллагаа явуулдаг.

Япон улсын Кюүшүгийн Технологийн Институтийн удирдлага дор хэрэгжиж буй BIRDS төслийн үндсэн даалгавруудын нэг нь төсөлд хамтран оролцож буй их сургуулиудад хиймэл дагуулын газрын станц байгуулан олон улсын газрын станцын сүлжээ үүсгэх байв. BIRDS-1 төслийн хүрээнд Япон, Тайланд, Монгол, Тайвань, Бангладеш, Нигери болон Гана улсууд нэгдэн уг газрын станцын сүлжээг үүсгэж байсан. Одоогоор уг газрын станцын сүлжээнд дээрх улсуудаас гадна Бутан, Филиппин, Малайз, Непаль, Шри Ланка, Парагвай, Коста Рика, Аргентин улсууд багтаж байгаа бөгөөд цаашид ч гишүүнд улсууд нэмэгдэх төлөвтэй байна. Зураг 3-д BIRDS төслийн газрын станцын сүлжээний гишүүн орнуудыг харууллаа.



Зураг 3. Шувууд төслийн газрын станцын сүлжээ [2].



Зураг 4. Шувуунд 3 төслийн хүрээнд зохион байгуулагдсан хиймэл дагуул руу команд илгээх уралдаанд МУИС-ийн газрын станц амжилттай команд илгээн дэд байрт шалгарсан.

Энэхүү газрын станцын сүлжээ нь хиймэл дагуултай газрын станцаас холбогдон ажиллах хугацаа, хиймэл дагуулаас татан авах мэдээллийг ихэсгэх, үр ашигтай байдлыг нэмэгдүүлэх зэрэг давуу талуудтай. Мөн гишүүн орнууд хиймэл дагуулаас татан авсан мэдээллүүдээ интернет сүлжээний тусламжтайгаар өөр хоорондоо солилцон ашиглах боломжтой [3].

МУИС-ийн газрын станц нь дээрх газрын станцын сүлжээний гишүүний хувьд үйл ажиллагаанд тогтмол оролцон үүргээ амжилттай биелүүлж байна. Мөн Кюүшүгийн Технологийн Институт болон BIRDS төслийн зүгээс гишүүн улсуудыг идэвхижүүлэх, хамтын ажиллагааг өргөжүүлэхээр зорилгоор жил бүр сургалт, уулзалт, уралдаант үйл ажиллагаануудыг зохион байгуулсаар байна. Зураг 4-д BIRDS 3 төслийн хүрээнд хиймэл дагуулууд руу команд илгээх уралдаанд МУИС-ийн газрын станцын хүртсэн шагналыг үзүүлээ.

АРГА ЗҮЙ

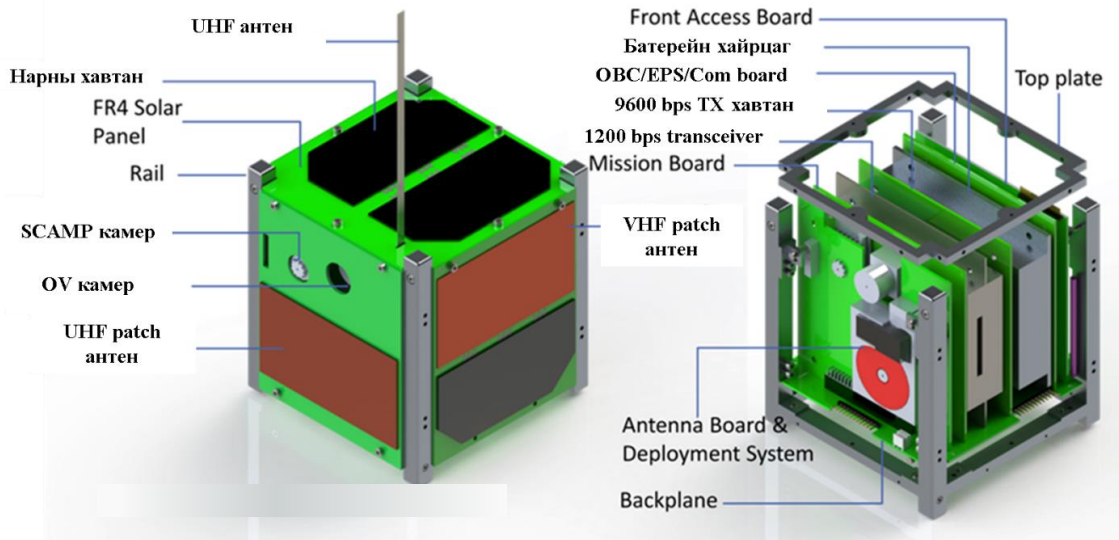
Энэ хэсэгт Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц, хиймэл дагуулаас хүлээн авах мэдээллийн бүтэц, формат, газрын станцын тоног төхөөрөмж, програм хангамжуудын талаар өгүүлнэ.

Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц, дэд системүүдийн тухай

Мазаалай хиймэл дагуулын гадаад болон дотоод бүтцийг Зураг 5-д үзүүлээ. Даалгаврын хавтанг хиймэл дагуулын үндсэн даалгавруудад суурилан загварчилсан бөгөөд хиймэл дагуулын сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны төлөв байдлыг хянах зорилгоор хэд хэдэн төрлийн мэдрэгчийг бараг хавтан бүр дээр байрлуулсан. Урд гаднаас хандах хавтан - Front Access Board (FAB) болон ар гаднаас хандах хавтан (RAB) нь хиймэл дагуулын төв процессорын систем болон даалгаврын хавтан дээрх удирдлагын PIC микроконтроллеруудыг програмчлах боломжийг олгоно. Төв процессорын систем нь бүх тооцоолох) үйлдлийг гүйцэтгэх үүрэгтэй дэд систем юм. Бусад хиймэл дагуултай холбогдох, газрын станцаас команд хүлээн авах, хүлээн авсан командыг тайлах, бусад дэд системүүд рүү команд илгээх, хиймэл дагуулаас газрын станц руу илгээх хиймэл дагуулын биеийн байдлын мэдээлэл болон үндсэн даалгавруудын өгөгдөл,

мэдээллийг цуглуулах, боловсруулах, форматад оруулах зэрэг үйлдлүүд нь төв процессорын системийн тусламжтай хийгддэг. Иймээс хиймэл дагуулын төв процессорын системийн

үйл ажиллагааны хэвийн байдал, температурын өөрчлөлтийг хянах зорилгоор температурын мэдрэгчийг уг хавтан дээр суурилуулсан.



Зураг 5. Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц [5].

Холбооны системийн хавтан нь газрын станцаас хүлээн команд хүлээн авах, газрын станц руу мэдээлэл дамжуулах үүрэгтэй UHF болон VHF давтамжийн зурвасын радио дамжуулагчуудаас бүтнэ. Холбооны систем нь хиймэл дагуул болон газрын станцын хооронд холбоо тогтоох үндсэн систем юм. Иймээс уг хавтангийн ажиллагаа, температурын өөрчлөлтийг ажиглах зорилгоор мэдрэгчүүд байрлуулсан.

Даалгаврын хавтан нь мазаалай хиймэл дагуулын үндсэн даалгаврын электроник элемент, олон тооны интеграцчилагдсан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг агуулсан хиймэл дагуулын чухал хавтан юм. Мазаалай хиймэл дагуул нь камер, хиймэл дагуулын байршлыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох POS (Determination of Satellite Precise Location), Атмосферийн нягт хэмжих (ATM), сонирхогчийн радио долгионоор дуу цацах (Digi-singer), хиймэл дагуулын хагас дамжуулагч төхөөрөмжүүд сансрын цацрагийн нөлөөгөөр эвдрэх үзэгдлийг судлах (Single Event Latchup) гэсэн үндсэн даалгавруудтай байсан [4]. Уг хавтан дээрх температурын өөрчлөлт нь хавтангийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг гэмтээх, хиймэл дагуулын даалгавруудын гүйцэтгэлд нөлөөлж болзошгүй тул хавтангийн температурын өөрчлөлтийг хянах шаардлагатай байдаг.

Хиймэл дагуулын биеийн байдлын талаарх мэдээлэл, түүний бүтэц

Хаускийпинг мэдээлэл бол хиймэл сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны мэдээлэл юм. Энэхүү мэдээллээс төв процессорын системийн гүйдэл, хүчдэлийн утга, дэд систем, хавтангуудын ажиллаж байх үеийн температур, батарейн дэлхийн сүүдэр болон наран талд ажиллах байх үеийн хүчдэлийн түвшин зэрэг мэдээллийг авч болно. Мөн газрын станц дээр хүлээн авсан эдгээр мэдээлэл дээр суурилан сансарын орчин байгаа хиймэл дагуулын ажиллагаа хэвийн байгаа эсэхийг тодорхойлдог. Мазаалайн хиймэл дагуулын хаускийпинг мэдээлэл хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт JG6YJQ болон тухайн агшин дахь хиймэл дагуулын ажиллагааны төлөв байдлыг агуулсан 16 тэмдэгтийн урттай морз кодоос бүтнэ. Хаускийпинг мэдээллийг газрын станц 20 секунд орчим хугацаанд хүлээн авах бөгөөд дараагийн 90 секунд хугацаанд газрын станцаас хиймэл дагуул руу үндсэн даалгавруудыг гүйцэтгэх команд илгээх, хүлээн авах зарчмаар ажилладаг.

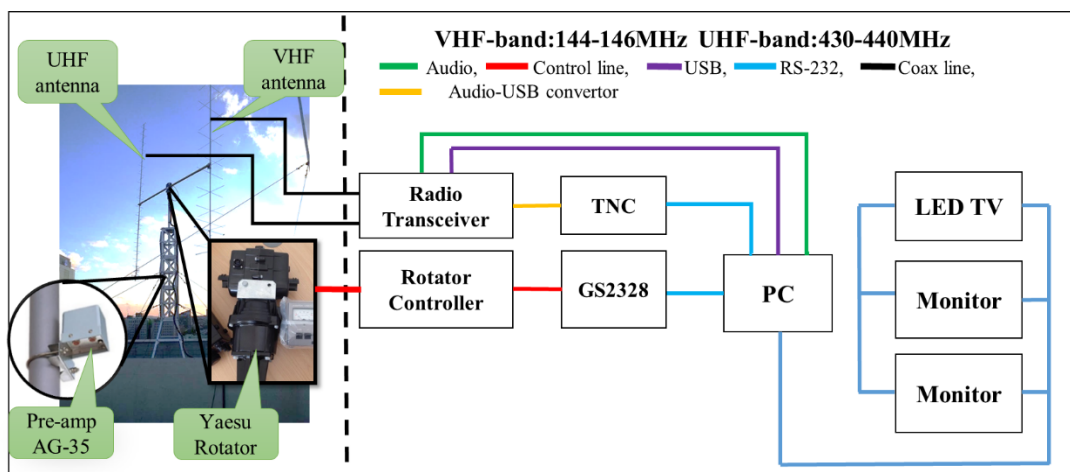
ГАЗРЫН СТАНЦЫН БҮТЭЦ, ПРОГРАМ ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД

Газрын станцын үйл ажиллагаанд дараах програм, тоног төхөөрөмжүүдийг ашиглаж

байна. Зураг 6-д МУИС-ийн газрын станцын ерөнхий бүтэц, бүдүүвч зургийг үзүүллээ. Газрын станц нь хяналтын өрөөнд байрлах удирдлагын тоног төхөөрөмжүүд болон МУИС-ийн номын сангийн дээвэр дээр байрлах VHF/UHF антенууд, чиглүүлэгч төхөөрөмжүүдээс бүтнэ.

Хяналтын өрөөнд хиймэл дагуулуудыг хянах, хиймэл дагуултай харилцан ажиллах зорилгоор

ашиглаж буй 2 компьютер, мөн оюутнуудад хэрхэн хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авч, удирдан ажиллаж байгааг харуулах зорилгоор ашиглаж буй 32 инчийн дэлгэц бий. Антенны чиглүүлэгчийг GS-2328 төхөөрөмжийн тусламжтай автоматаар удирдана. Уг төхөөрөмж нь газрын станцын удирдлагын програмууд суулгасан компьютерт USB интерфэйсээр холбогдон ажиллана.



Зураг 6. МУИС-ийн газрын станцын блок схем.

ТЕХНИК ХАНГАМЖ

Антен. Одоогоор 144МГц – 148МГц давтамжийн зурвасын 2MCP22 загварын VHF антенн болон 436CP42UG загварын 430МГц – 438МГц давтамжийн зурваст ажиллах боломжтой UHF антеннуудыг ашиглаж байна. Мөн газрын станцын цаашдын үйл ажиллагаанаас хамааран өөр төрлийн антеннуудыг нэмэлтээр ашиглах боломжтой. Хүснэгт 1-ээс дээрх антеннуудын техникийн үзүүлэлтүүдийг харна уу.

Хүснэгт 1. Антенны техник үзүүлэлтүүд.

Антенны төрөл	UHF антен	VHF антен
Голын урт	5.75м	5.67м
Тэжээгдэх төрөл	Нугалмал диполь	Нугалмал диполь
Чадал	1000Вт	1500Вт
Өсгөлт	14.39дБ	18.9дБ

Чиглүүлэгч. Газрын станцад суурилуулсан VHF/UHF яги антенууд нь чиглэлтэй антенны төрөлд багтдаг. Чиглэлтэй антенны хувьд хиймэл дагуулын хөдөлгөөний дагуу хиймэл дагуулыг алдалгүй дагахын тулд антенны чиглүүлэгч

төхөөрөмжийг ашигладаг. Манай газрын станц одоогоор Yaesu-5500 загварын чиглүүлэгч төхөөрөмжийг ашиглаж байна. Зураг 7-д чиглүүлэгч төхөөрөмж болон антенныг үзүүллээ. Энэхүү чиглүүлэгч төхөөрөмж нь азимут болон элевац тэнхлэгийн дагуу эргэдэг. Хүснэгт 2-оос чиглүүлэгч төхөөрөмжийн техникийн үзүүлэлтийг үзнэ үү. Чиглүүлэгч төхөөрөмжийг суурилуулах болон тохиргоо хийхдээ хойд зүгийг төхөөрөмжийн анхны байрлал байхаар тохируулсан.



Зураг 7. Газрын станцын чиглүүлэгч болон антен.

Хүснэгт 2. Чиглүүлэгчийн техник үзүүлэлтүүд[6].

Хүчдэл	Шаардлага	110 – 120VAC / 200 – 240VAC
	Мотор	24 VAC
Ажиллагааны хугацаа	Эргэлтийн хугацаа (@60Hz)	Элевац (180°) ~ 67 секунд Азимут (360°) ~ 58 секунд
	Continues operation time (max)	5 минут
Момент	Эргэлт	Элевац: 14 kg-m Азимут: 6 kg-m
	Зогсоох	Элевац: 40 kg-m Азимут: 40 kg-m
Хүлцэл	Босоо ачаалал	200 кг
	Чиглэх нарийвчлал	~4%
Хэмжээ	Диаметр	32 – 43мм
	Роторын масс	9кг
	Удирдлагын масс	3кг

Terminal Node Controller (TNC). TNC (Зураг 8) нь микроконтроллер, модем, EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory) болон AX25 протоколыг агуулсан програм хангамжаас бүтнэ. TNC нь радио дамжуулагчтай холбогдох бөгөөд хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохиог тайлан газрын станцын операторт харуулахад чухал үүрэгтэй төхөөрөмж юм. МУИС-ийн газрын станц Kantronics-KPC-912+ загварын TNC төхөөрөмжийг ашиглаж байна.



Зураг 8. Kantronics Terminal Node Controller.

Радио дамжуулагч. МУИС-ийн газрын станцад ашиглаж буй ICOMM9100 төхөөрөмж (Зураг 9) нь газрын станцын холбооны гол төхөөрөмж юм.



Зураг 9. ICOM9100 радио дамжуулагч.

Хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах, хиймэл дагуул руу команд илгээх үеийн давтамжууд нь хяналтын програм болох SATPC32-г ашиглан синхрончлох бөгөөд програмын тохиргоон дээр суурилан давтамжийн өөрчлөлтийг автоматаар даган өөрчлөгддөг давуу талтай. Газрын

станцын UHF/VHF антenuуд радио дамжуулагчид шууд холбогдоно. Мөн HF, VHF, UHF давтамжийн зурваст ажиллахаас гадна SSB (Single Side Band), CW, FM зэрэг горимд ажилладаг[6]. Хүснэгт 3-д радио хүлээн авагчийн давтамжийн хамрах хүрээ болон чадлын үзүүлэлтүүдийг үзүүлээ.

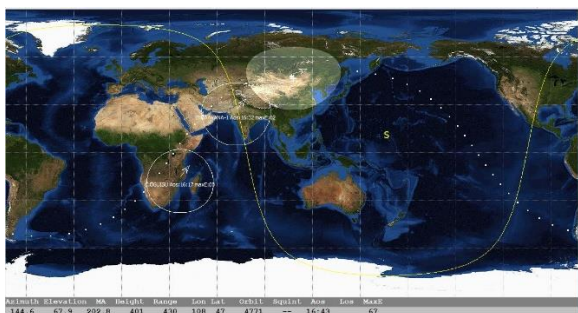
Хүснэгт 3. Радио дамжуулагчийн техник.

	Хүлээн авагч	Дамжуулагч
Ажиллах давтамж	0.03 – 60 МГц	21 – 21.45 МГц
	136 – 174 МГц	24.89 – 24.99 МГц
	420 – 480 МГц	28 – 29.7 МГц
	1240 – 1320 МГц	50 – 54 МГц
		144 – 148 МГц
		430 – 450 МГц
		1240 – 1300 МГц
Чадал	13.8±15%VDC	13.8±15%VDC
	4.5A (max)	20A (max)

Програм хангамж. SAT32PC нь хиймэл дагуулын байршлыг тооцоолж операторуудад харуулах үүрэгтэй програм юм. Уг програм USB интерфэйсээр чиглүүлэгчийн удирдлагын төхөөрөмж болох GS-232B-тэй холбогдон элевац, азимут өгөгдлийн дагуу чиглүүлэгчийг автоматаар хянах, удирдах интерфэйсийн үүрэг гүйцэтгэнэ. Нэгэнт хиймэл дагуулыг хянах програм болон интерфэйсийн тохиргоог хийсэн бол SATPC32 хиймэл дагуулын харгалзах элевац болон азимут өгөгдлөө автоматаар шинэчлэн антены чиглүүлэгчийг удирдаж, хиймэл дагуулын газрын станцын дээгүүр өнгөрөх хугацааг тооцоолох боломжийг олгоно. CW Get програм нь хиймэл дагуулаас хүлээн авсан CW дохиог текст рүү хөрвүүлэх үүрэгтэй. Компьютерийн дууны карт болон радио хүлээн авагч байхад л уг програмаар CW дохиог хөрвүүлэн унших боломжтой. CW Skimmer програм нь хиймэл дагуулаас хүлээн авсан CW дохиог тайлан уншихад ашигладаг програм юм. CW Get програмаас ялгаатай нь програмын текст болон морзийг дохиог нэгэн зэрэг харах боломжтой.

Газрын станцын програм хангамж. Кюүшүгийн Технологийн Институтээс BIRDS төслийн хүрээнд хөөрсөн хиймэл дагуулуудаас хүлээн авсан CW дохионд дүн шинжилгээ хийх газрын станцын програмыг хөгжүүлсээр ирсэн. CW дохио нь тухайн хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт, бүртгэлийн дугаар, сансрын

орчин дахь хиймэл дагуулын төлөв байдал зэрэг мэдээллийг агуулсан тэмдэгтүүдээс бүтнэ. Эдгээр хүлээн авсан тэмдэгтүүдээ хөрвүүлэн газрын станцын програмд оруулснаар хиймэл дагуулын нарны зайн хавтангуудын төлөв байдал батарейн хүчдэл, гүйдэл, температур зэрэг сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны төлөв байдлуудыг мэдэж болно.



Зураг 10. Газрын станцын програм хангамж.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү өгүүллийн үр дүнг хиймэл дагуулаас хүлээн авсан 16 тэмдэгтийн урттай housekeeping data болон BIRDS төслийн газрын станцын програмыг ашиглан боловсруулсан.

Газрын станцын оператор нь газрын станцын техник хангамж, програм хангамжтай харьцахдаа тусгай операторын лицензтэй байх хэрэгтэй. Мөн газрын станцын төхөөрөмж, програм хангамжуудыг ажиллуулахын тулд тодорхой асааж, унтраах дараалал, дүрмүүдийг баримтлах хэрэгтэй. Учир нь тоног төхөөрөмжүүд, програм хангамжууд хоорондоо харилцан уялдаа, холбоотой байдаг. Хиймэл дагуултай холбогдон ажиллах, хиймэл дагуулуудыг хянах, хүлээн авсан мэдээллүүдийг тайлан уншихад өмнө дурдсан програм хангамжуудыг компьютерт суулгасан. Мөн газрын станцын програм хангамжийн тохиргоог хийхдээ TNC болон радио дамжуулагчийн портуудын тохиргоог сайн шалгах хэрэгтэй. Учир нь тус тохиргоо нь хиймэл дагуулыг хянах явцад SATPC32 програм болон радио дамжуулагчийн хооронд холболт тогтооход чухал үүрэгтэй.

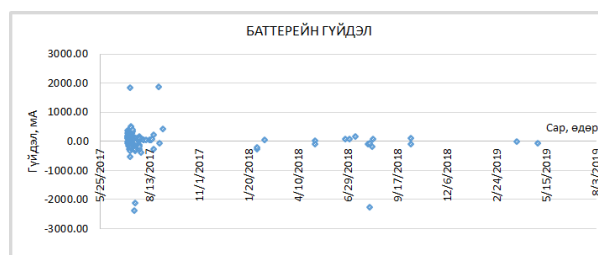
Мазаалай хиймэл дагуул нь сансарт 1 жил 10 сар орчим хугацаанд ажилласан. Зураг 10-д хиймэл дагуул газрын станцын дээгүүр өнгөрч байхад газрын станцын хяналтын програм хангамжид хэрхэн харагдах байдлыг үзүүлээ. Газрын зураг дээрх жижиг тойрог нь

хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах боломжтой хүрээг харуулж байна. Хиймэл дагуул хөдөлж байх үед газрын станцын антенныг энэ програмаар тооцоолсон азимут ба элевац өнцгийн дагуу эргүүлдэг. Зураг 12 – Зураг 15-д дээрх хугацаанд МУИС-ийн газрын станцад мазаалай хиймэл дагуулаас хүлээн авсан хиймэл дагуулын үйл ажиллагааны төлөв байдлыг үзүүлээ. Зураг 15 а, б-д 2019 онд өгөгдөл байхгүй байгаа нь хаускийпинг өгөгдлийн холбооны систем, төв процессорын системийн температурын мэдээллийн бит МУИС-ийн газрын станцад татаж авахад алдаатай ирж байсантай холбоотой.

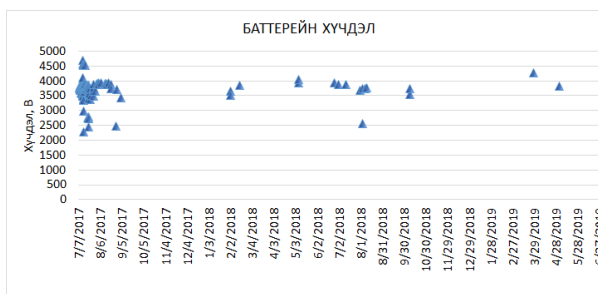


Зураг 11. Хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохио.

Зураг 11-д хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохиог CW Skimmer програм хангамжийн тусламжтай Морз үсэг рүү хөрвүүлсэн байдлыг үзүүлээ. JG6YJQ нь хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт бол BIRDMM нь мазаалай хиймэл дагуулын олон улсад бүртгүүлсэн нэршлийг илэрхийлж байна. Зураг 11-н доод хэсэгт хиймэл дагуулын хаускийпинг мэдээлэл буюу үйл ажиллагааны төлөв байдлыг илэрхийлсэн мэдээллийг харуулж байна.

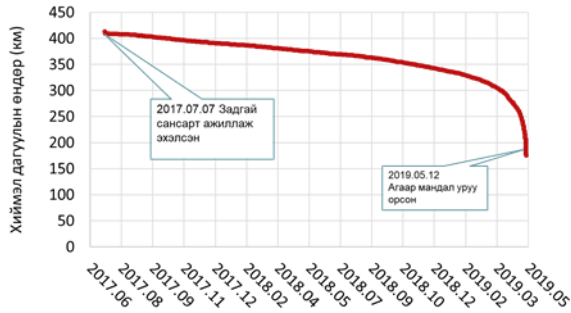


Зураг 12. Батарейн гүйдлийн үзүүлэлт.



Зураг 13. Батарейн хүчдэлийн үзүүлэлт.

Зураг 12-13-д үзүүлсэнчлэн хиймэл дагуулын батарейн хүчдэл, гүйдлийн түвшин болон чадал зарцуулалтаас харахад хиймэл дагуул цэнэглэгдэх цэнэгээ алдах байдлаар ажиллаж байсныг харж болно. Учир нь хиймэл дагуул цэнэглэгдэж байх үед баттерейны гүйдэл эерэг утгатай, цэнэг алдаж байх үед сөрөг утгатай байна.

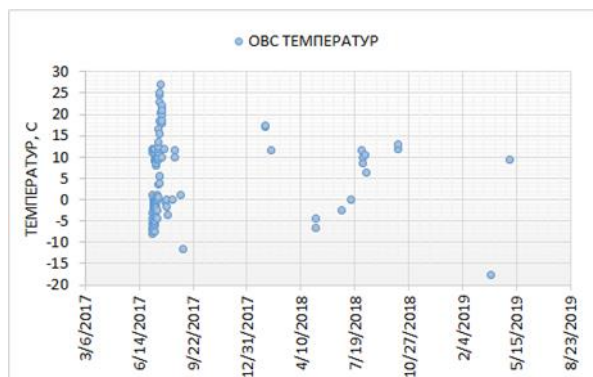


Зураг 14. Хиймэл дагуулын өндрийн өөрчлөлт.

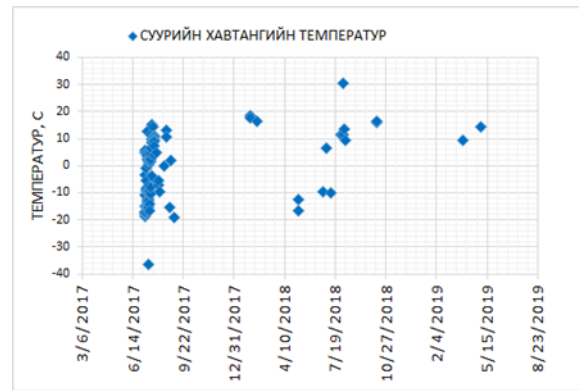
Зураг 14-д хиймэл дагуулын газрын гадаргаас дээш өндөр хугацаан хэрхэн өөрчлөгдсөн байдлыг үзүүлээ. Мазаалай хиймэл дагуул 2019 оны 5 сарын 12-нд дэлхийн агаар мандал руу орсноор хиймэл дагуулын үйл ажиллагаа зогссон.



Зураг 15. (a) Холбооны системийн хавтангийн радио дамжуулагчийн температур.



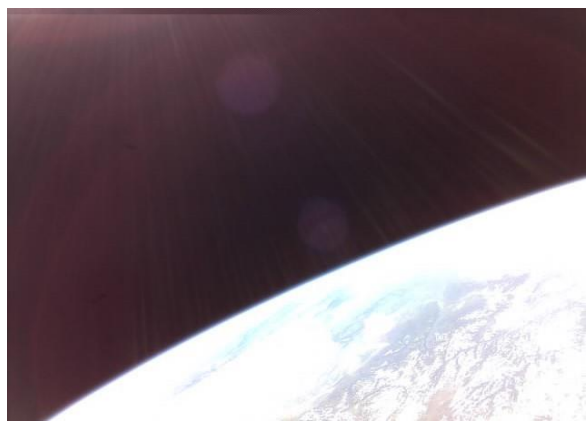
Зураг 15. (b) Төв процессорын системийн температур.



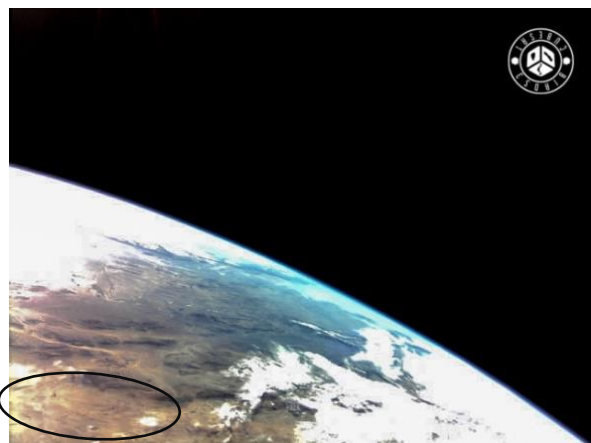
Зураг 15 (c) Суурийн хавтан хавтангийн температур.

Зураг 15-д хиймэл дагуулын дэд системүүд тэдгээрийн хавтангуудын (батерей, төв процессорын систем, холбоо болон backplane хавтан) сансрын орчин дахь температурын өөрчлөлтийг үзүүлээ. Дээрх графикуудаас харахад хавтангуудын температур хоорондоо бага зэргийн зөрүүтэй байгааг ажиглаж болно. Мөн backplane хавтангийн температур бусад хавтангуудын температураас 10°C-ээр бага байна. Сансрын орчинд дулаан шилжилт зөвхөн цацаргалтаар явагдана. Мөн куб буюу жижиг оврын хиймэл дагуулын хувьд гадаргуугийн 6 талын 3 тал нь нарны шууд тусгалын чиглэлд харах боломжтой бөгөөд үлдсэн 3 тал нь дэлхий рүү чиглэсэн сүүдэр талд орно. Иймээс сүүдэр талд байгаа хавтангуудын температур бусад хавтангаас бага байх боломжтой.

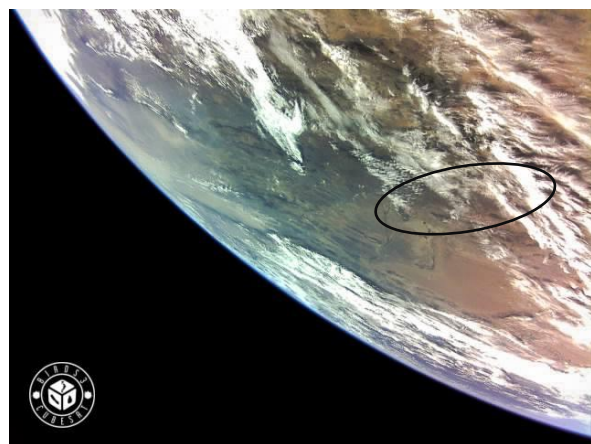
Газрын станцын одоогийн үйл ажиллагаа. Хэдийгээр Мазаалай хиймэл дагуулын үйл ажиллагаа дууссан хэдий ч МУИС-ийн газрын станц нь BIRDS төслийн газрын станцын сүлжээний гишүүн учир тус төслийн 2, 3 дахь үеийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл хүлээн авах, хиймэл дагуулууд руу команд илгээх зэрэг үйл ажиллагааг явуулсаар байна. Зурагт 16 –д МУИС-ийн газрын станцаас BIRDS 3 төслийн Япон, Непаль, Шри Ланка улсын хиймэл дагуулууд руу зураг авах команд илгээн авсан зургуудыг харууллаа. Зураг 16 (a) –д дэлхийн зураг буусан байна. Мөн нарны цацрагийг уг зургаас харж болно. Зураг 16 (b) –д Монголын өмнөд хэсэг, говийн бүсийн зургийг байна. Зураг 16 (c) –д Монгол улс, нийслэл Улаанбаатар орчмын зураг буусан байна.



Зураг 16 (а) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.



Зураг 16 (б) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.



Зураг 16 (с) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү ажлаар Монгол улсын анхны хиймэл дагуул Мазаалай, түүний бүтэц, дэд системүүд, хиймэл дагуулын газрын станц, мазаалай хиймэл дагуулын ажиллагааны төлөв байдал, үр дүнг танилцууллаа. Монгол Улсын Их Сургууль, Кюүшүгийн Технологийн Институт

болон бусад улсууд хамтран оролцсон BIRDS 1 төслийн үр дүнд Монгол улс өөрийн сансрын орон зайтай боллоо. Үүнээс гадна сансар судлал, сансрын технологи, инженерчлэлийн суурь боловсон хүчин бэлтгэх үндэс тавигдсан.

МУИС-ийн газрын станцын үйл ажиллагааны хувьд мазаалай хиймэл дагуулаас гадна BIRDS 2,3 төслийн хиймэл дагуулууд, NOAA цаг уурын хиймэл дагуул зэрэг бусад VHF/UHF сонирхогчийн радио давтамжийн зурвасыг ашигладаг хиймэл дагуулуудтай холбогдон ажиллах боломжтой.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг “Инженер Технологийн Дээд Боловсрол” төслийн хүрээнд МУИС-ийн “Сансрын инженерчлэлийн програм, түүний хэрэглээ” төслийн баг гүйцэтгэв. Мөн Кюүшүгийн Технологийн Институт, BIRDS төслийн баг, JSPS Core-to-core хөтөлбөр, Asia-Africa Science Platform –н хамт олон талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Д.Улам-Оргих, Р.Цолмон, П.Түвшинтөр, Д.Эрдэнэбаатар, Т.Төртогтох, Д.Амартүвшин, Т.Бэгзсүрэн, Mengu Cho, “Монгол Улсын Анхны Хиймэл Дагуул: Боломж, Ирээдүй”, МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №23 (455), х136-139, 2016.
- [2] G.Maeda, “BIRDS Project Newsletter”, Issue №41, 2019.
- [3] Mengu Cho, George Maeda, Sangkyun Kim, Hirokazu Masui болон BIRDS төслийн баг, “Lessons Learned from BIRDS-I Constellation Mission” in 4th IAA Conference on University Satellite Missions & CubeSat Workshop, Ром, Итали, 2017.
- [4] Mengu Cho, Apiwat Jirawattanaphol, Naomi Kurahara, “Global network operations of CubeSats constellation” in 1st IAA Latin American symposium on small satellites, 2017.
- [5] G.Maeda, T.Taiwo, M.Cho, “BIRDS Project Newsletter”, Issue №2, 2016.
- [6] Y.M.C. Ltd, “Instruction manual G-5500”, 2015.