

## Монгол Улсад Тохиромжтой Судалгааны Реактор Сонгох Асуудал

С.Одмаа, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, С.Даваа

*МУИС, Цөмийн судалгааны төв*

Монгол улсын өнөөгийн болон хэтийн эрчим хүчний хэрэгцээг цөмийн эх үүсвэрээр хангаж болох асуудал төрийн бодлогод тусгагдсан билээ. Иймд ирээдүйн цөмийн байгууламжид ажиллах Монгол инженер, залуусыг дотооддоо тасралтгүй бэлтгэн гаргахад гол тулгуур бааз нь өөрсдийн гэсэн судалгааны реактортой болох асуудал юм. Энэхүү өгүүлэлд судалгааны реакторын төрлүүдийг дурдан, түүнийг ашиглан хийгдэх ойрын болон алсын ирээдүйн судалгааны чиглэлүүдийг нарийвчлан гаргаснаар Монголд тохиромжтой судалгааны реакторын боломжит сонголтыг хийв.

**Түлхүүр үгс:** Судалгааны реактор, ард нийтийн хүлээн зөвшөөрөл, судалгааны реакторын хэрэглээ

### I. ОРШИЛ

Монгол улсад сүүлийн жилүүдэд цацраг идэвхт ашигт малтмал болох ураны ордын хайгуул, шинжилгээний ажил эрчимтэй хөгжиж байна. Монгол улсын засгийн газрын бодлогод ойрын ирээдүйд энергийн хэрэгцээ хангах нэг эх үүсвэр бол цөмийн энерги байна гэж тусгажээ. Түүнчлэн 2009 оны 6-р сард Улсын Их Хурлаар Цөмийн энергийн хуулийг хэлэлцэн баталж, хэрэгжүүлж байгаа билээ. 2000 оны байдлаар Монгол улсын ураны баталгаатай нөөцийг 63000 тонн гэж тогтоосон байдаг ба энэ нь дэлхийн ураны нөөцийн 2.8% байхад манай орны нүүрсний нөөц нь дэлхийн 0.9%-ийг эзэлдэг байна. Өнөөгийн байдлаар Монголын эрчим хүчний дийлэнх хэрэгцээг нүүрсээр ажилладаг цахилгаан станцаар хангаж байгаа бөгөөд энэ нь агаарын бохирдлын гол шалтгаан байсаар байна. Дулааны цахилгаан станцууд одоогийн хүчин чадлаараа 2012 оны энергийн хэрэгцээг хангах боломжгүй, цаашилбал төвийн халаалтын системд энергийн хомсдол үүсэх нь тооцоогоор тодорхой болсон. Иймд Монголын ирээдүйд цэвэр энергийн системийг хөгжүүлэхийн тулд цөмийн энергийг хэрэглэх шаардлага урган гарч ирж байна.

Монгол улсад цөмийн энергийг ашиглахын тулд хангалттай тооны үндэсний боловсон хүчинтэй байх шаардлагатай. Эдгээр цөмийн мэргэшсэн инженерүүдийг бүгдийг нь гадаадын өндөр хөгжилтэй орнуудад сургаж, боловсрол эзэмшүүлэх, түүнчлэн дадлагажуулж, ажлын туршлагатай болгох нь боломжгүй асуудал билээ. Энэ асуудлыг шийдэх гол арга зам нь цөмийн инженерийн боловсон хүчнээ дотооддоо сургаж, дадлагажуулах явдал юм. Үүний тулд Монгол улс өөрийн гэсэн сургалт судалгааны реактортой болж үүнийгээ сургалт, дадлагажуулалтын гол бааз болгон амжилттай ашиглах хэрэгтэй байна.

Судалгааны реакторыг сургалт дадлагажуулалтаас гадна Монголын анагаах ухаанд нэн хэрэгцээтэй богино болон дунд настай цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэх, геологийн болон орчны дээжинд элементийн анализ хийх цаашилбал материал судлалын боломжит судалгааг явуулах зэрэг олон чиглэлээр ашиглах боломжтой.

Нөгөө талаас, судалгааны реакторыг Монгол эрдэмтэн, судлаачид, инженерүүд амжилттай ажиллуулж чадаж байвал цаашдаа цөмийн эрчим хүчний програм хэрэгжүүлэхэд гол үзүүлэлт болох олон нийтийн хүлээн зөвшөөрөл авахад ч чухал

нөлөөтэй. Ард түмний олонхи нь цөмийн эрчим хүчний хэрэглээний талаар зөв мэдлэг багатай бөгөөд ялангуяа Чернобылын ослоос хойш цөмийн эрчим хүчний станцын талаар ихээхэн болгоомжлолтой ханддаг болсон. Иймд цөмийн эрчим хүчний програм хэрэгжүүлэхийн өмнө сургалт, судалгааны реакторын судалгаа хийж, үйл ажиллагааг нь эхлүүлэх хэрэгтэй болоод байна. Ингэснээр дотооддоо цөмийн мэргэжилтнүүд тасралтгүй бэлтгэгдэж, дадлагажих үндэс суурь болж, ирээдүйд цөмийн эрчим хүч нь энергийн нэг эх үүсвэр байж болох нь батлагдаж, Монголчууд бид өөрсдөө цөмийн станц, төхөөрөмжийг амжилттай ажиллуулж чадна гэдэгтээ итгэл төгсбайж чадна. Түүнчлэн нийт ард түмэн цөмийн энергийн талаар зөв ойлголт, мэдлэгтэй болж, үүний хамтаар тэд дотоодын мэргэжилтэн инженерүүд ийм төрлийн судалгааны болон эрчим хүчний реакторыг амжилттай ажиллуулж чадахыг ойлгож, олон нийтийн итгэлийг олж авахад дөхөм болох болно.

## II. СУДАЛГААНЫ РЕАКТОР, ТҮҮНИЙ ТӨРӨЛ

Судалгааны реактор нь эрчим хүчний реактораас хийцийн хувьд энгийн, нам температурт ажилладаг бөгөөд тиймдээ ч харьцангуйгаар бага түлш хэрэглэж, хаягдал ч бага гаргана. Нөгөө талаас 20% хүртэл баяжуулсан түлш хэрэглэдэг. Эрчим хүчний реакторт хүнд цөмийн хуваагдлын дүнд ялгарах дулааныг ашигладаг байхад судалгааны реакторт уг хуваагдлын дүнд үүсэх нейтонуудыг ашигладаг. Судалгааны реакторын голомт дотор чадлын нягт маш өндөр байх шаардлагатай тул үүнд нийцсэн онцгой дизайнтай байдгаараа эрчим хүчний реактораас ялгаатай. Гэхдээ эрчим хүчний реакторын адил голомтонд хөргөлт, нейтроныг удаашруулах удаашруулагч байна. Судалгааны реакторын гол үүрэг нь нейтроныг тасралтгүй үйлдвэрлэх бөгөөд

ихэнх судалгааны реакторууд голомтоос гадагш нейтонуудыг алдахгүйн тулд ойлгогч материалаар хүрээлүүлсэн байдаг.

Судалгааны реакторыг үндсэндээ сургалт судалгаа болон бусад зорилгоор нейтроны үүсгүүр болгож ашигладаг. Үүний хэрэглээний муж нь нейтроны багцыг ашиглан хийгдэх судалгаа (нано бүтэц, биомембран, Li батерей г.м), цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэх (эмнэлгийн, үйлдвэрийн зориулалттай), цөмийн цацрагаар шарлагын нөлөөний судалгаа, хагас дамжуулагч үйлдвэрлэх, нейтрон идэвхжилийн судалгаа (орчны судалгаа, хөрсний анализ, хүнсний анализ, маш цэвэр элементийн анализ) зэрэг маш өргөн хүрээг хамардаг. Цаашилбал цөмийн үйлдвэр, халуун цөмийн нэгдэх урвалын судалгаа, орчны судалгаа шинжилгээ, дэвшилтэт шинэ материалыг хөгжүүлэх, эм эмнэлгийн бодисын загвар дизайн, хорт хавдрын эмчилгээ, оношлогоо, цөмийн анагаах ухаан, археологи, хөдөө аж ахуй зэрэг шинжлэх ухааны маш олон салбарт судалгааны реакторыг ашиглах боломжтой. Ерөнхийдөө судалгааны реакторыг ашиглах зорилгоос нь хамаараад маш олон янзын дизайн бий. Эдгээрийн ажиллагааны горим, үйлдвэрлэх энерги нь өөр өөр байх ба тогтвортой юмуу импульсэн горимд ажилладаг.

Судалгааны реакторын хамгийн түгээмэл тархсан нэг төрөл нь усан сан төрлийн реактор. Ийм төрөлд түлшний элементүүдийн багцыг агуулсан реакторын голомт нь томхон усан сан дотор байдаг. Түлшний элементүүдийн багцад хяналтын саваанууд, мөн туршлагын шарлагад зориулсан хоосон сувгууд ч байна. Түлшний элемент бүр босоо хайрцганд байх хэд хэдэн түлшний хавтангаас тогтдог. Түлшний хавтангууд нь гадуураа хөнгөн цагаан бүрээсээр бүрэгдсэн байдаг. Голомыг хүрээлэн буй ус нь нейтроны удаашруулагч ч болно, реакторыг хөргөх үүрэг ч гүйцэтгэнэ. Ерөнхийдөө графит

Хүснэгт 1. Судалгааны реакторын хэрэглээний чиглэлийн хялбарчилсан жагсаалт [1]

Чадлын түвшин		30 кВт	250 кВт	1 МВт	2 МВт	≥10 МВт
Сургалт&дадлагажуулалт		++	++	++	++	++
НИА		+	+	++	++	++
Изотоп үйлдвэрлэл		+	+	++	++	++
Геохронологийн судалгаа	Ag/Ag			+	+	++
	Хуваагдлын мөр			+	++	++
Нейтроны радиограф <sup>2</sup>			++	++	++	++
Материалын бүтцийн судалгаа <sup>2</sup>				+	++	++
Трансмутац	Цахиурт донор суулгах			+	+	++
	Материал шарах			+	++	++
	Үнэт чулууны өнгө хувиргах			+	++	++
Нейтрон шингээж эмчилгээ хийх <sup>1 or 2</sup>			+	++	++	++
Шалгах	Багаж&Тохируулга	+	++	++	++	++
	Цөмийн түлш <sup>3</sup>					++
Агшин зуурын гамма-НИА <sup>2</sup>				+	++	++
Позитроны үүсгүүр <sup>2</sup>				+	++	++

Тайлбар:

- +           Заримдаа боломжтой
- ++          Бүрэн боломжтой
- 1           Дулаан орчин шаарддаг
- 2           Багцын хоолой шаарддаг
- 3           Шарлагын онцгой төхөөрөмж шаарддаг

юмуу бериллийг нейтроны ойлгогч болгон ашигладаг. Усан саны хананд нейтроны багцад хүрэх багаж хэрэгслүүдийг суурилуулсан байна.

Танк төрлийн судалгааны реактор нь усан сантай төстэй бөгөөд усан саныхыг бодвол танкны хөргүүр ус нь илүү идэвхтэй горимд ажилладаг.

Өргөн тархсан дараагийн нэг төрөл нь ТРИГА төрлийн реакторууд болно. Реакторын голомтонд хөнгөн цагаан бүрээсээр бүрэгдсэн цилиндр хэлбэрийн түлшний элементүүд байх ба түлш нь уран болон цирконийн гидридээс тогтдог. Түлш дэх гидрид нь өөрөө удаашруулагчийн үүрэг гүйцэтгэдэг. Реакторын голомт нь усан санд байх бөгөөд графит юмуу бериллийг ойлгогч болгон ашигладаг. Ийм төрлийн реактор нь секундээс бага хугацаанд чадлын маш өндөр түвшинд (25 МВт) импульсэн горимоор аюулгүй

ажиллаж чаддаг. ТРИГА реакторын түлш нь температурын маш хүчтэй сөрөг коэффициенттэй ба чадал огцом өсөхөд гидрид удаашруулагчийн сөрөг реактивитийн нөлөөгөөр реактор огцом унтардаг тул төрөлхийн аюулгүй шинж чанартай болно.

Бусад төрлийн дизайн нь хүнд ус юмуу графитан удаашруулагчтай байдаг. Удаашруулагч шаарддаггүй цөөн тооны хурдан реакторууд байх ба уран болон плутонийн холимогийг түлш болгон ашигладаг. Үүнээс гадна танканд агуулагдах шингэн байдалтай ураны давсны уусмал бүхий голомттой нэгэн төрлийн реакторууд ч мөн бий.

Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлагаас гаргасан техникийн материалд судалгааны реакторын хэрэглээний чиглэлийн талаар дэлгэрэнгүй өгүүлсэн байх [1] ба хэрэглээний чиглэлийг чадлаас

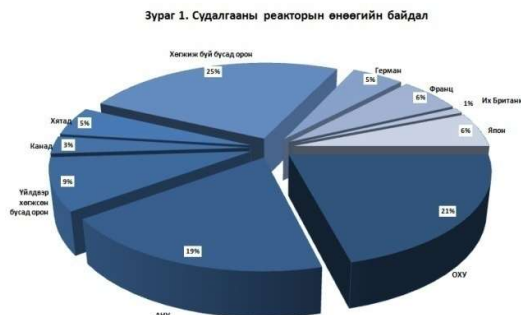
нь хамааруулан хялбарчлан ойлгогдохуйц харуулсныг хүснэгт 1-д үзүүлэв. Хүснэгтийг харвал хэрэглэгч нь өөрийн судалгааны реактор дээр ямар төрлийн судалгаа явуулах хүсэлтэй байгаагаа тодорхойлсны дараа ямар чадлын реактор сонгохоо тодорхойлж чадах болно. Мөн дээрх техникийн материалд реакторын дулааны чадал нь түүний үйлдвэрлэх нейтроны дундаж урсгалтай ямар хамааралтай байдгийг таамгаар харуулсан байдаг (хүснэгт 2).

Хэрэв бидний судалгааны ажилд хир хэмжээний нейтроны урсгал хэрэгтэй вэ гэдгээ тодорхойлчихоод үүнийг реакторын чадалд хувиргаж чадна.

### III. ДЭЛХИЙ ДЭЭРХ СУДАЛГААНЫ РЕАКТОРЫН ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ

Өнөөгийн байдлаар дэлхийн 56 оронд 100МВт хүртэл чадалтай 250 гаруй судалгааны реактор амжилттай ажиллаж байгаагийн дийлэнх нь Орос, Хятад, АНУ, Япон, Франц, Герман зэрэг өндөр

хөгжилтэй оронд байгааг 1-р зурагт харуулав [2]. Эдгээрийн нейтроны гаралт нь хэрэглээнээс хамаараад янз бүрийн үзүүлэлттэй байдаг.



Хүснэгт 2. Реакторын дулааны чадал ба нейтроны дундаж урсгалын хамаарал [1]

250 кВт	1 МВт	2 МВт	10 МВт	20 МВт
$1 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{14}$

Хүснэгт 3. Зарим орны судалгааны реакторуудын үзүүлэлтүүд

Улс, байгууллага	Вьетнам, Далат институт	Малайз, MINT	Япон, ЯАЭА	Индонез, Батан институт	ОХУ, Курчатов институт	АНУ, Гэгээн Охио Их сургууль	Турк, Истанбулын техникийн их сургууль
Судалгааны реакторын төрөл	Усан сан	ТРИГА Марк II	ТРИГА АСРР	ТРИГА Марк II	Танк ВВР	Усан сан	ТРИГА Марк II
$P_{th}$ , кВт	500	1000	300	100	300	500	250
Түлш	U-Al хайлш	UZrH	UZrH	UZrH	-	-	UZrH
Ураны нягт, г/см <sup>3</sup>	1.4	-	7.1	5.99	-	3.5	0.524
$\Phi_{th}^{max}$ , н/см <sup>2</sup> с	2.10E+13	2.00E+13	1.90E+12	1.20E+12	3.0E+12	1.50E+13	8.10E+12
$\Phi_f^{max}$ , н/см <sup>2</sup> с	6.00E+12	1.90E+13	6.30E+12	2.40E+12	-	1.00E+13	1.80E+12
Удаашруула- гч	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, ZrH	H <sub>2</sub> O, ZrH	H <sub>2</sub> O, ZrH	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, ZrH
Хөргүүр	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
Хөргөх арга	Байгалийн конвекц	Байгалийн конвекц	Байгалийн конвекц	Байгалийн конвекц	Байгалийн н конвекц& даралтат ус	Байгалийн конвекц	Байгалийн конвекц
Хэрэглээний талбар	Цөмийн өгөгдөл хэмжих, Нейтроны радиограф , Изотоп үйлдвэрлэ л	Изотоп үйлдвэрлэ л, НИА	Түлшний чанарын судалгаа	Материал болон түлшний чанарын судалгаа	Дээж шарах	Сургалт, дадлагажу улалт	Нейтроны радиограф, гаммаграф

Эдгээр 250 гаруй судалгааны реактораас дэлхийн 17 оронд 14МВт хүртэл чадлын 40 ТРИГА реактор амжилттай ажиллаж байна. Цаашилбал 100-500 кВт чадалтай 30 реактор ажиллаж байгаагийн 20 нь ТРИГА төрлийн реактор байна. Эндээс 1000кВт хүртэл чадлын ТРИГА төрлийн реактор нь дэлхийд маш өргөн тархсан реактор болох нь

Нөгөө талаас усан сан төрлийн реакторын дизайнд 2 гол давуу тал байдаг: дизайн харьцангуй энгийн, үндсэн хөргүүрийн систем нь ердийн даралтанд оршдог. Ийм төрлийн реактор нь өндөр температур, их даралтанд тохиромжгүй.

харагдаж байна. Яагаад энэ төрлийн реактор ийм түгээмэл байгаагийн шалтгаан нь энэ реактор бол инженерийн талаасаа аюулгүй гэхээсээ илүүтэйгээр “төрөлхийн аюулгүй” ангилалд багтдаг цорын ганц реактор юм Учир нь түүний UZrH түлшний онцгой шинж чанарт гол асуудал оршино.

Хүснэгт 3-т дэлхийн зарим оронд амжилттай ажиллуулж байгаа бага чадлын судалгааны реакторын үзүүлэлт болон хэрэглээний мужийг харьцуулан харуулав. Мөн хөгжиж байгаа зарим орны цөмийн эрчим хүчний хөтөлбөрийг 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

## Хүснэгт 4. Хөгжиж байгаа зарим орны цөмийн эрчим хүчний хөтөлбөр

Улс	Судалгааны реактор: төрөл, хүчин чадал, барьсан он	АЦС-ын реакторын төрөл, хүчин чадал, ашиглалтад оруулсан он	Барьж байгаа ба төлөвлөсөн АЦС: төрөл, хүчин чадал	- Суурилагдсан цахилгаан эрчим хүч, гол эх үүсвэр. - ЦЭХ-ийн эзлэх хувь, цаашдын төлөвлөгөө
Бразил	- 1984. IPEN/MB-01, 100W (Бразил) - IPEN/IEA-R1, 5MWt. - LABGENE, 48 MWt (Бразил) барьж буй 2014. - RMB, 20MWt, төлөвлөсөн.	PWR 640 MW (АНУ) PWR 1350 MW (Герман)	Барьж буй: PWR 1350 MW (Арева, Зименс) 2015. Төлөвлөсөн: 4x1000 MW, 2030, газраа шийдсэн.	2005 байдлаар: Ус -77.1%. Цөм -2.2%.
Мексик	- TRIGA-III	- PWR 1990, 1995 онд барьсан, нийт 5 блоктой 2 ЦЦС, =2027 MWe.	Боломжтой газраа тогтоосон. 2 ЦЦС-ийн чадлыг 15% нэмнэ.	1310 MWetnet. ЦЭХ 5% байгаа. 2024 онд 35% цэвэр түлш хэрэглэнэ.
Пакистан	- 1965. PARR-I, Pool, 10 MBt - 1989. PARR-II, MNSR, 30кВт	- 1972: CANDU 137MWe, - 2000: PWR 325 MWe, China	- 340 MWe, CNNC 2005-2011 барьж буй. - 2030 онд 8,800 MW төлөвлөсөн, PWR сонирхдог.	2030: Total 162,590 MWe, ЦЭХ: 8800 MWe =5.4% болно.
Өмнөд Африк	Safari I: 20 MW	- 1984, 1986 онд 2 блок 1800 MWe, 6%.	Gen-IV: 165 MWe	Одоо: нүүрс – 90%. 42 Gwe, хэрэгцээнээс илүү гардаг. 2030: 6 PWR АЦС барих ба ЦЭХ 14%болно.
Алжир	1989: NUR, 1MW (Argenitin). 1992: 15 MW, ES-Salam (China)	- ЦЭХ хууль мөд өргөн барина. - Газраа сонгож байгаа. - Цахилгаан, ус цэвэршүүлэх. - 2022 оноос барина.		8000 MW.
Бангладеш	3 MW.	- ТЭЗҮ 1986 онд хийсэн, сайжруулах байх. - Байрлалын тайлан гаргаж ОУАЭА-аар үнэлгээ хийлгэсэн.		5,719 MW. Хий -81.7 %
Египт	-1961: RR №1, - 1998: RR №2.	1964, 1974, 1985 онуудад тендэр зарласан боловч 3 удаа тасалдсан. - 1000 MWe + ус цэнгэгшүүлэх. - ТЭЗҮ дуусаад тендэр зарлана.		Одоо: 22.5 GW. ШАМ -87%. 2020: 35 GW болно.
Индонези	1964: TRIGAII, 250 kW (2MW, 2000) 1979: 100 kW, 1987: 30 kW.	- 2020: 2000 MW, - 2025: 2000 MW. - 3 газар олсон, сонгоно.		2025 онд 4% болно.
Ливи	- 10 MW RR - 100 MW критик	- 1981-1983 онд реактор ажиллуулж эхэлсэн, 1986 онд цөмийн хөтөлбөр		- 6,039MWe. - Хий 100%.

	төхөөрөмж	зогссон. - Хуулийн төсөл өргөн барина. - Газрын үнэлгээ хийнэ.	
Малайз	- 1MW	2008 онд төрийн бодлого. - 2 GW,2017 барьж эхэлнэ.	2021 онд ашиглаж эхэлнэ.
Морокко	TRIGA	- ТЭЗҮ, газар сонголт: 1984-1994 хийж,2003-2005 сайжруулсан. -2006-2010: Тендерийн бэлтгэл ажил. - ЦЭХ хууль мөд батлагдана. - 2020 онд анхны 1000 MW ашиглах. - Төслийн баг: 2003-2005 онд 6 хүн, 2008 оноос 13 болсон.	2010: 6150 Mwe. ДЦС – 65%, Ус – 33%. 2020: ЦЭХ – 7%.
Нигери	2004: 30 kW. 1.7 МэВ тандэм хурдасгагч.	- 2006 онд ЦЭХ хүчтэй яригдсан. - Газар сонгож буй, 2013 оноос барьж эхлээд 2019 онд дуусгана.	6,000 MW
Тайланд	TRR-1/M1, TRIGA Mark II, 2 MBt	- 2020 онд ЦЭХ ашиглаж эхэлнэ. - 2020, 2021: 2x1000 MW, 2030 онд 5 болгоно. - Өөрийн үнэлгээний тайлан, Readness тайланг ЗГ-т оруулсан.	2030 онд: ЦЭХ=11%. Хий: 68%→39%, Импорт: 5%→19%

#### IV. МОНГОЛД АШИГЛАХАД ТОХИРОМЖТОЙ СУДАЛГААНЫ РЕАКТОРЫН ХЭРЭГЦЭЭ

Монголд судалгааны реакторыг хэрэглэх дараах хэдэн салбар байх боломжтой: нейтрон идэхжилийн анализ (НИА), цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэл, материалын судалгаа мөн сургалт дадлагажуулалт.

Монгол улс нүүрс, зэс, уран болон бусад ашигт малтмал, минералын маш их нөөцтэй орон. Тиймдээ ч Монголын засгийн газар байгалийн баялагаа ашиглахыг тэргүүлэх бодлогоо болгоод байгаа билээ.

Сүүлийн жилүүдэд манай оронд геологийн болон уул уурхайн бүтээгдэхүүнд бага агуулгатай орших ч эдийн засгийн хувьд ашигтай байх газрын ховор элементүүд, завсрын металл (Эрдэнэт, Оюу толгойн орд, Багануур, Тавантолгойн нүүрсний орд газар, Мардай мэтийн ураны хүдрийн орд), цаашилбал үйлдвэрийн хог хаягдлийн судалгаа эрчимтэй хийгдэж байгаа. Эдгээр судалгааг хийхэд үр дүнтэй, хурдан хугацаанд хийгдэх нэг арга нь НИА байх болно. Түүнчлэн ойрын хугацаанд орчны

бохирдлыг (хүнд металаар бохирдох, агаар, ус, хөрсний бохирдол) тодорхойлох, хөдөө аж ахуйн (бордоо, хүнсний бүтээгдэхүүн), биологийн (хүн амьтны эд эс дэх микроэлементүүд) цаашилбал археологийн дээжинд анализ хийхэд судалгааны реактор ашиглан НИА хийх нь маш чухал байна. Хэтдээ, биологийн салбарт, цэвэр материал дэх микро элементүүдийг тодорхойлох, чанарын баталгаа өгөх, стандарт материалын хийх, шүүхийн дээжинд анализ хийх, цаашилбал бай элементийн химийн төлвийг тогтоохын тулд молекул идэвхжилийн анализ хийх зэрэгт НИА-ийг ашиглах боломжтой.

Судалгааны реактор ашиглан НИА хийх хэд хэдэн хэрэгцээ байна. Жилд ойролцоогоор 2000-2500 гадны хэрэглэгчидийн анализ, дотоодын хэрэглэгчидийн 1000 орчим анализыг судалгааны реактораар гүйцэтгэж чадна. НИА-аар богино болон дунд зэргийн настай цацраг идэвхт изотопууд үйлдвэрлэх шаардлагатай болно. Нэг удаадаа шарагдах дээжийн тоо нь урсгалын монитор, хяналтын дээжийг багтаагаад 20 орчим байх болно. Дээжний хэмжээ 500 мг-аас 3 г хүртэл байх боломжтой.

Манай улс 1982 оноос оношлогоо, эмчилгээндээ дунд зэргийн настай цацраг идэвхт изотоп хэрэглэж иржээ. Эдгээрийг голдуу Хятад улсаас импортлон оруулж ирдэг. Тухайлбал  $^{131}\text{I}$ -ийг бамбай булчирхайн оношлогоо, эмчилгээнд,  $^{125}\text{I}$ -ийг бөөрний өвчний оношлогоонд,  $^{188}\text{Re}$ -ийг элэгний хорт хавдрын эмчилгээний туршилтанд,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ийг элэгний хорт хавдрын оношлогоонд хэрэглэж байна.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$  изотопуудыг дотооддоо үйлдвэрлэх хэрэгтэй байна. Сүүлийн жилүүдэд манай хүмүүс дунд уушиг, элэг, зүрх, бөөрний өвчлөл ихэсч байгаа тул эдгээрийг оношилж, эмчлэхэд хэрэгтэй цацраг идэвхт изотопуудыг эх орондоо үйлдвэрлэн гаргах шаардлага урган гарч байна. Үүнээс гадна эмнэлгийн зориулалтын бусад богино болон дунд зэргийн настай цацраг идэвхт изотопуудыг судалгааны реактор ашиглан үйлдвэрлэх хэрэгтэй. Алсдаа,  $^{75}\text{Se}$ -ийг биологийн судалгаанд (уургийн судалгаа),  $^{65}\text{Zn}$  ба  $^{54}\text{Mn}$ -ийг уурхайн хаягдал усанд хүнд металлын компонентийн шинж байдлыг таамаглахад,  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  -ийг үйлдвэрийн зорилгоор үйлдвэрлэх шаардлагатай.

Цөмийн янз бүрийн цацраг, бөөмийн багцаар байгалийн чулууг шаран бүтцийн өөрчлөлт оруулан судлах нь бас нэгэн сонирхолтой судлагдахуун юм. Ирээдүйд эдийн засгийн хувьд ашигтай оролдлого байж болох талтай.

Дээр дурдсан нөхцөл байдлаас үүдэн цөмийн инженерчлэлийн чиглэлээр суралцах сонирхолтой оюутны тоо ойрын ирээдүйд нэмэгдэх хандлагатай байна. Хэдийгээр оюутан залуусаа гадаадын өндөр хөгжилтэй орнуудад илгээн цөмийн инженерчлэлийн чиглэлээр сурган мэргэжилтнүүд бэлтгэж авах боломжтой ч энэ нь цөөн тооны оюутнаар л хязгаарлагдана. Иймд манай ахмад цөмийн физикч, технологчид, хуримтлуулсан туршлага чадвартаа

тулгуурлан цөмийн инженерчлэлийн мэргэжлийг эх орондоо эзэмшүүлэх шаардлага гарч ирж байна. Тэгэхээр чадвартай сайн мэргэжилтэн бэлтгэх, оюутнуудыг дадлагажуулж туршлага суулгахын тулд Монгол улсын их сургуулийн Цөмийн судалгааны төв өөрийн гэсэн сургалт судалгааны реактортой болох шаардлагатай юм.

Уг судалгааны реакторын хэрэглээ, үйл ажиллагаа нь олон нийтэд нээлттэй байж, дээр дурдсан олон төрлийн судалгаа явуулах ач холбогдол ард түмэнд ойлгомжтой болно. Ингэснээрээ манай орны эрдэмтэд, инженерүүд цөмийн байгууламжийг амжилттай ашиглаж, ажиллуулах, чадвар байгаад олон нийт итгэж, үнэмшил төрөх болно. Энэ нь цаашдаа Монгол орон энхийн зориулалтаар цөмийн энергийг хэрэглэж хэрэгцээт эрчим хүчээ хангах чадвартайг баталгаажуулж өгнө.

## V. МОНГОЛД ТОХИРОМЖТОЙ СУДАЛГААНЫ РЕАКТОРЫН БОЛОМЖИТ СОНГОЛТ

Монголд тохиромжтой судалгааны реакторыг сонгохдоо дараах хэд хэдэн категорийг авч үзэх болно:

- Ойрын ирээдүйн болон хэтийн хэрэгцээ
- Аюулгүй байдлын үзүүлэлт
- Бусад орны туршлага
- Эдийн засгийн үзүүлэлт

Судалгааны реакторын хэрэгцээ нь богино болон дунд зэргийн настай эмнэлгийн изотоп үйлдвэрлэх, геологийн болон орчны дээжид идэвхжилийн анализ хийх, материалын судалгаа явуулах, сургалтанд ашиглах зэрэг болно.

Судалгааны реакторын батлагдаж туршигдсан дизайн, түүний аюулгүй байдлын давуу талууд, реакторын байгууламж дотор ашигласан түлшээ түр зуур ашиглахтай



холбоотойгоор орчинд аюул гэмтэл учирч болох эсэх, түлшний тээвэрлэлтийн аюулгүй байдал, хаягдлын эцсийн хадгалалт, булшлалтын асуудлыг ч анхааралтай авч үзэх хэрэгтэй. Аюулгүй байдлын талаас авч үзвэл ТРИГА төрлийн реактор “төрөлхийн аюулгүй” ангилалд ордог, цаашилбал тээвэрлэлтийн явцад түлшний бүрэн бүтэн байдалд аюул учрах нь бага юм.

1000 кВт хүртэл чадлын хүрээнд дэлхийн олон оронд амжилттай ажиллаж байгаа реактор нь ТРИГА төрлийнх байгаа болно.

500 кВт хүртэлх чадлын реактор нь шахуургаар шахагдах усаар бус байгалийн хөргөлт ашигладаг тул эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй.

Ингээд дээр дурдсан сонголтын шаардлага хангах судалгааны реактор нь 300-500 кВт-ийн чадалтай,  $10^{12-13}$  н/см<sup>2</sup>с нейтроны урсгалтай ТРИГА төрлийн реактор байх боломжтой юм. Монголд тохиромжтой судалгааны реакторын зарим үзүүлэлтийг 5–р хүснэгтэд харуулав.

Хүснэгт 5. Монголд тохиромжтой судалгааны реакторын зарим үзүүлэлт

	Үзүүлэлт
Реакторын төрөл	ТРИГА
Чадал	300-500 кВт
Нейтроны урсгал	$10^{12}-10^{13}$ н/см <sup>2</sup> с
Шарлагын сувгийн тоо	Дор хаяж 4, босоо болон хэвтээ чиглэлд нэмэх боломжтой
Хөргөх арга	Байгалийн конвекц
Удаашруулагч, хөргүүр	Хөнгөн ус
Ойлгогч	Бал чулуу
Түлш	UZrH

Түлшний баяжуулалт	<20%
--------------------	------

## VI. ДҮГНЭЛТ

1. Монгол улс цөмийн эх үүсвэрийг ирээдүйн эрчим хүчний нэг байхаар төрийн бодлогодоо тусгасны дагуу хангалттай тооны цөмийн инженер, мэргэжилтнүүдийг дотооддоо бэлтгэх шаардлагатай.
2. Дотооддоо тасралтгүйгээр цөмийн инженер, мэргэжилтнүүдийг бэлтгэхэд гол бааз нь судалгааны реактортай байх явдал юм.
3. Дэлхийд амжилттай ажиллаж байгаа 500 кВт хүртэл чадлын судалгааны реакторууд дотроос ТРИГА төрлийнх нь ихэнх хувийг эзэлж байна.
4. ТРИГА төрлийн реактор нь “төрөлхийн аюулгүй” ангилалд ордог, тээвэрлэлтийн явцад түлшний бүрэн бүтэн байдалд аюул учрах нь бага.
5. Байгалийн конвекцээр ажиллах ердийн усаар хөргөлттэй, бал чулуун ойлгогч бүхий 300-500 кВт чадалтай,  $10^{12}-10^{13}$  н/см<sup>2</sup>с нейтроны урсгалтай ТРИГА реактор нь Монголд тохиромжтой боломжит сонголт болно.

## АШИГЛАСАН НОМСЭТГҮҮЛ

1. IAEA-TECDOC-1234. The applications of research reactors. IAEA. VIENNA. 2001
2. <http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR-> Nuclear Research Reactors in the World, IAEA, VIENNA, 2010