

Цөмийн шинжлэх ухаан, технологийн үндэсний хүрээлэнгийн цацрагийн тунгийн хэмжилт

Ц.Золбадрал^{а*}, Т.Мөнх-Эрдэнэ^а, Н.Батцоож^а Ж.Батмягмар^а, Г.Хүүхэнхүү^а

^а Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн шинжлэх ухаан, технологийн үндэсний хүрээлэн,
Улаанбаатар 13330

Энэхүү судалгааны ажлаар Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн Шинжлэх Ухаан, Технологийн Үндэсний Хүрээлэн (ЦШУТҮХ)-ийн дотоод орчны цацрагийн аюулгүй байдлыг цогцоор нь үнэлэх зорилгоор иж бүрэн хэмжилт, шинжилгээ хийлээ. Хэмжилтийн үр дүнд тус төвийн ердийн ажлын болон нийтийн эзэмшлийн 17 талбайн гамма цацрагийн тунгийн чадлын дундаж утга 0.171 ± 0.003 мкЗв/цаг бөгөөд энэ нь байгалийн цацрагийн дэвсгэр түвшинтэй дүйцэж байна. Эдгээр хэсэгт нейтрон цацраг илрээгүй болно. Харин нейтрон үүсгүүр хадгалах өрөөнд хийсэн хэмжилтээр тунгийн чадал контейнерийн гадаргуу дээр гамма цацрагийн тунгийн чадал 16.63 ± 0.42 мкЗв/ц, нейтрон цацрагийн тунгийн чадал 17.10 ± 0.02 мкЗв/ц байна. Ажилтнуудын ажлын байрны онцлогт тулгуурласан гурван загварчлал ашиглан тооцоолоход, хамгийн их өртөлттэй байж болох судлаачийн жилийн эффектив тун 0.376 ± 0.017 мЗв-ээс хэтрэхгүй байгаа нь Монгол Улсын цацрагтай ажиллагсад зөвшөөрөгдөх хязгаар болох 20 мЗв-ийн ердөө 1.9%-тай тэнцэж байна. Түүнчлэн, үүсгүүр хадгалах өрөөний хамгаалалтын системийн (контейнер, хана, хаалга) гамма цацрагийн эрчмийг сулруулах итгэлцүүрийг 97 ± 3 байна. Энэхүү судалгааны үр дүн нь ЦШУТҮХ-ийн орчин нь ажилтан, судлаач, оюутнуудад бүрэн аюулгүй бөгөөд үндэсний стандартад бүрэн нийцэж буйг нарийвчилсан тоон үзүүлэлтээр харуулна.

Түлхүүр үг: Цацрагийн хяналт, гамма цацрагийн тун, нейтрон цацрагийн тун, жилийн эффектив тун, сулралын итгэлцүүр, цацрагийн аюулгүй байдал.

1 УДИРТГАЛ

Цөмийн шинжлэх ухаан, технологийн хэрэглээ эрчимжихийн хэрээр эрдэм шинжилгээ, сургалтын байгууллагууд дахь цацрагийн аюулгүй байдлын соёлыг төлөвшүүлэх, ажлын байрны цацрагийн орчныг тасралтгүй хянах нь нэн чухал асуудал болж байна. Цацрагийн аюулгүй байдлын суурь зарчим болох буюу боломжит хамгийн бага түвшинг хангахын тулд байгууллагууд өөрсдийн үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй цацрагийн өртөлтийг тогтмол хэмжиж, эрсдэлийг үнэлж байх шаардлагатай [1,2]. Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн Шинжлэх Ухаан, Технологийн Үндэсний Хүрээлэн (ЦШУТҮХ) нь цөмийн технологийн чиглэлээр судалгаа, сургалт явуулдаг үндэсний

тэргүүлэх байгууллагын хувьд цацраг идэвхт үүсгүүр ашигладаг. Иймд энэхүү судалгааг дараах зорилтуудын хүрээнд хийж гүйцэтгэв:

ЦШУТҮХ -ийн ердийн ажлын болон нийтийн эзэмшлийн талбайн нейтрон ба гамма цацрагийн түвшинг тоон хэлбэрээр тодорхойлох.

- Нейтрон үүсгүүр хадгалах өрөөний дотор болон гадна орчны цацрагийн түвшний ялгааг үнэлэх.
- Ажилтнуудын ажлын байрны онцлогт тулгуурлан жилийн эффектив тунг загварчлан тооцоолж, үндэсний нормтой харьцуулах.

* e-шуудан: ts_zolbadral@num.edu.mn

- с. Үүсгүүрийн хамгаалалтын системийн үр ашгийг тоон үзүүлэлтээр баталгаажуулах.

Хэмжилтийг дараах цэгүүд болон барилгын нийт өрөөнүүдэд гүйцэтгэв. ЦШУТҮХ-ийн барилгын 1-р давхарт хичээлийн танхим, сургалт судалгааны лабораториуд болон харуулын өрөө, бойлерийн өрөө байрладаг. (Зураг 1). 2-р давхарт хичээлийн танхим болон ажилтнуудын өрөө байрлана (Зураг 2).

2 СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

2.1 Хэмжилтийн төхөөрөмж

Хэмжилтийг ЦШУТҮХ-ийн хоёр давхар барилгын 17 өрөө болон үүсгүүр хадгалах өрөөний гурван цэгт гүйцэтгэв. Хэмжилтэд нейтрон болон гамма цацрагийг нэгэн зэрэг, өндөр нарийвчлалтай хэмжих чадвартай “Search Alarm Dosimeter DKS-02PN CADMIUM” төхөөрөмжийг ашигласан. Хэмжилтийн цэг бүрд шалны гадаргуугаас 1 метрийн өндөрт дозиметрийг байршуулж, заалт тогтворжсоны дараа утгыг тэмдэглэв.

2.2 Харьцуулах стандарт

Хэмжилтийн үр дүнг Монгол Улсын Цөмийн Энергийн Комиссын 2015 онд баталсан “Цацрагийн аюулгүйн норм”-ын шаардлагатай харьцуулан үнэлсэн [3]. Уг нормд зааснаар

энгийн хүн амын хувьд жилийн эффектив тунгийн зөвшөөрөгдөх хязгаар 1 мЗв, харин цацрагтай ажиллагчдын хувьд 20 мЗв-ээс хэтрэхгүй байхаар тогтоосон байдаг.

2.3 Тооцоолол ба шинжилгээний аргачлал

Хэмжилтийн үр дүнд статистик боловсруулалт, эрсдэлийн үнэлгээ хийхдээ дараах томъёоллыг ашиглав.

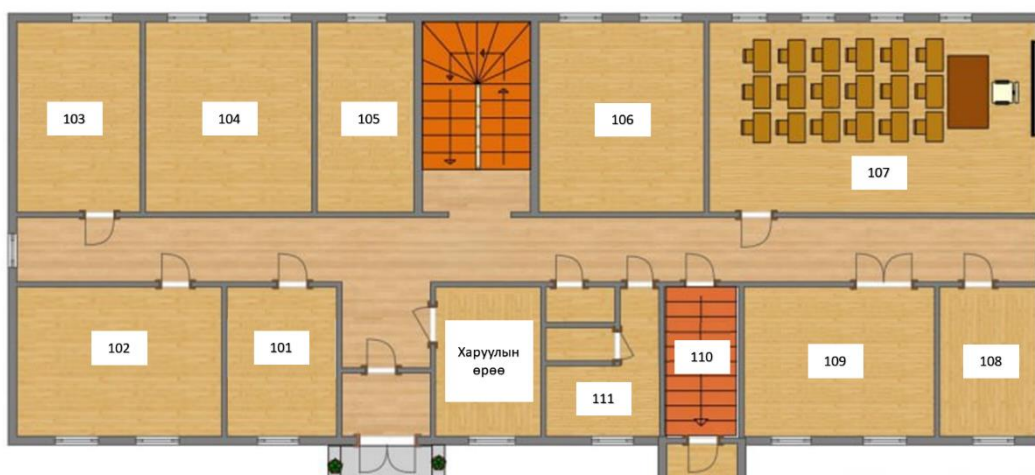
Арифметик дундаж: Хэмжилтийн утгуудын төвийн хандлагыг тодорхойлоход ашигласан. Энэ нь өгөгдлийн ерөнхий түвшинг илэрхийлнэ. Тэгшитгэл 3) -ээр тодорхойлно.

$$\bar{x} = (1/n) \cdot \sum x_i \quad (1)$$

Үүнд: \bar{x} -арифметик дундаж, x_i - i дэх хэмжилтийн утга, n - нийт хэмжилтийн тоо.

Түүврийн стандарт хазайлт: Хэмжилтүүдийн тархалтыг (хэмжилтийн алдааг) үнэлэхэд ашигласан. Энэ нь хэмжилтүүд дундаж утгаасаа хэр зэрэг тархсаныг илэрхийлэх бөгөөд үр дүнгийн тогтвортой, найдвартай байдлын хэмжүүр болдог. Тэгшитгэл (2)-оор тодорхойлно.

$$\sigma = \sqrt{[\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]} \quad (2)$$



Зураг 1. ЦШУТҮХ-ийн 1 давхрын бүдүүвч зураг



Зураг 2.ЦШУТҮХ-ийн 2 давхрын бүдүүвч зураг.

Хүснэгт 3. Ажлын байршлаас хамаарсан жилийн эффектив тунгийн загварчлал

	Ажлын байршил ба цагийн хуваарилалт (Тун, мкЗв/ц)	Жилийн эффектив тун (мЗв/жил)
Судлаач	80% Лабораторид (0.19), 20% Оффист (0.18)	0.376 ± 0.017
Захиргааны ажилтан	90% Оффист (0.16), 10% Нийтийн орчинд (0.17)	0.322 ± 0.036
Оюутан	50% Хичээлийн танхимд (0.17), 50% Номын санд (0.17)	0.170 ± 0.011

Жилийн эффектив тун: Ажилтны янз бүрийн орчинд өнгөрүүлсэн цаг хугацаа, тухайн орчны цацрагийн түвшинд үндэслэн жилийн нийт өртөлтийг тооцоолоход ашигласан.

Энэ нь хүний биед үзүүлэх цацрагийн эрсдэлийг үнэлэх стандарт хэмжигдэхүүн болно. Үүнийг тэгшитгэл 3 -аар тодорхойлдог.

$$E = [\sum(H_i \cdot t_i)] / 1000 \quad (3)$$

Үүнд: E - жилийн эффектив тун (мЗв/жил), H_i - i дэх орчны тунгийн чадал (мкЗв/ц), t_i - i дэх орчинд ажилласан жилийн нийт хугацаа (цаг эсвэл жил).

Сулралын итгэлцүүр: Хамгаалалтын системийн цацрагийг хэр зэрэг бууруулж буй үр ашгийг тооцоолоход ашигласан бөгөөд тэгшитгэл 4-өөр тодорхойлдог.

$$AF = \frac{I_0}{I} \quad (4)$$

Үүнд: AF-сулралын итгэлцүүр (хэмжээсгүй), I_0 -хамгаалалтын дотор тал дахь (үүсгүүрт ойр) цацрагийн тунгийн чадал, I - хамгаалалтын гадна тал дахь цацрагийн тунгийн чадал.

3 ҮР ДҮН

3.1 Хэмжилтийн нэгдсэн дүн

Судалгаанд хамрагдсан нийт цэгийн хэмжилтийн нэгдсэн дүнг Хүснэгт 1-д нэгтгэн харуулав. Эндээс харахад 1-р ба 2-р давхрын нийт 17 өрөөнд нейтрон цацрагийн тун илрээгүй бөгөөд гамма цацрагийн тунгийн чадал 0.15-0.19 мкЗв/ц хооронд хэлбэлзэж байна. Харин үүсгүүр хадгалах өрөөнд цацрагийн түвшин эрс нэмэгдэж, контейнерийн гадаргуу дээр хамгийн их утгандаа хүрсэн нь тодорхой харагдаж байна

3.2 Ажилтнуудын өртөлтийн нарийвчилсан үнэлгээ

Ажилтнуудын ажлын онцлогоос хамааран гурван загвар боловсруулж жилийн эффектив тунг тооцоолов. Судлаачийн хувьд хамгийн их буюу 0.376 мЗв/жил гэсэн үр дүн гарсан нь тэдний ажлын цагийн ихэнх хэсэг нь лабораторид (харьцангуй өндөр түвшинтэй) өнгөрдөгтэй холбоотой.

Гэсэн хэдий ч энэ утга нь хүртэл аюулгүйн нормоос маш доогуур байна.

Хүснэгт 1. ЦШУТҮХ-ийн өрөөнүүд ба үүсгүүрийн орчны хэмжилтийн нэгдсэн дүн

Байршил	Өрөөний дугаар	Нейтрон цацрагийн тунгийн чадал (мкЗв/ц)	Гамма цацрагийн тунгийн чадал (мкЗв/ц)
Давхар-1	101	Хийгдээгүй	0.18 ± 0.01
	103		0.16 ± 0.02
	104		0.15 ± 0.02
	105		0.16 ± 0.01
	106		0.19 ± 0.01
	107		0.17 ± 0.01
	109		0.18 ± 0.01
	110		0.18 ± 0.02
Давхар-2	201		0.15 ± 0.01
	202		0.19 ± 0.01
	203		0.15 ± 0.01
	204		0.17 ± 0.02
	205		0.18 ± 0.01
	206		0.16 ± 0.02
	207		0.18 ± 0.01
	208		0.17 ± 0.01
Үүсгүүр хадгалах өрөө	Хаалга		0.56 ± 0.05
	Булан	3.80 ± 0.01	3.60 ± 0.17
	Контейнерийн гадаргуй	17.10 ± 0.02	16.63 ± 0.42

Хүснэгт 2. Гамма цацрагийн тунгийн чадлын хэмжилтийн нэгдсэн статистик үзүүлэлт (n=17)

Статистик Үзүүлэлт	Утга (мкЗв/ц)
Дундаж	0.171 ± 0.003
Стандарт хазайлт	0.014
Медиан	0.170 ± 0.01
Хамгийн бага утга	0.150 ± 0.02
Хамгийн их утга	0.190 ± 0.01

3.3 Үүсгүүрийн хамгаалалтын үр ашгийн тооцоолол ба сулралын итгэлцүүр

Хамгаалалтын системийн үр ашгийг тоон хэлбэрээр илэрхийлэх зорилгоор сулралын итгэлцүүрийг (Attenuation Factor, AF) тооцоолов. Энэ нь хамгаалалтгүй үеийн цацрагийн тунгийн чадалыг (I_0) хамгаалалттай үеийн цацрагийн тунгийн чадал (I)-д харьцуулсан харьцаа юм.

Тооцоолох аргачлал:

а) *Хамгаалалтгүй үеийн утга (I_0):* Цацрагийн үүсгүүрийн хамгийн ойрын, хамгийн их утгыг сонгоно. Энэ нь контейнерийн

гадаргуу дээрх гамма цацрагийн тунгийн чадлын хэмжилтийн утгаар тодорхойлогдоно:

$$I_0 = 16.63 \pm 0.42 \text{ мкЗв/ц}$$

б) *Хамгаалалттай үеийн утга (I):* Хамгаалалтын системийн (контейнер, хана, хаалга) гаднах ердийн орчны цацрагийн эрчмийг сонгоно. Энэ нь судалгаанд тодорхойлсон 17 өрөөний дундаж утга:

$$I = 0.171 \pm 0.003 \text{ мкЗв/ц}$$

с) *Сулралын итгэлцүүр (AF):*

$$AF = I_0 / I = 16.63 / 0.171 \approx 97.25$$

Иймд, хамгаалалтын сулралын итгэлцүүр нь 97 ± 3 байна. Энэ нь хамгаалалтын систем гамма цацрагийн эрчмийг 97 дахин бууруулж байгааг илтгэнэ.

4 ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

4.1 Ердийн орчны цацрагийн түвшний шинж чанар:

Судалгаагаар ердийн орчны цацрагийн түвшин маш бага, жигд, тогтвортой байгаа нь тогтоогдлоо. Энэ нь тухайн цацрагийн эх үүсвэр нь ЦШУТҮХ-ийн үйл ажиллагаанд ашиглагдаж буй үүсгүүрүүд бус, харин хүрээлэн буй орчны байгалийн цацрагийн дэвгэр түвшин (барилгын материал, сансрын туяа гэх мэт) болохыг харуулж байна [4].

Ажилтнуудын өртөлтийн эрсдэлийн үнэлгээ:

Хамгийн их өртөлттэй байж болох судлаачийн жилийн эффектив тун (0.376 мЗв) нь цацрагтай ажиллагсад зөвшөөрөгдөх хязгаар болох 20 мЗв -ийн ердөө 1.9% -тай тэнцэж байна. Энэ нь ЦШУТҮХ-ийн ажилтнуудын мэргэжлийн үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй цацрагийн эрсдэл маш бага түвшинд байгааг баталж байна.

Инженерчлэлийн хяналтын үр ашгийн баталгаажуулалт:

Нейтрон цацраг зөвхөн үүсгүүрийн өрөөнд илэрсэн нь хамгаалалтын систем нейтроныг

бүрэн тусгаарлаж чадаж буйг харуулна. Мөн гамма цацрагийн сулралын итгэлцүүр 97 ± 3 байгаа нь хамгаалалтын инженерчлэлийн шийдэл (зузаан бетон хана, тусгай зориулалтын контейнер) нь олон улсын стандартад нийцсэн, өндөр үр дүнтэй хэрэгжиж буйн тоон баталгаа юм.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны үр дүнд үндэслэн

- ЦШУТҮХ-ийн дотоод орчны цацрагийн түвшин нь жигд, тогтвортой бөгөөд байгалийн цацрагийн фонгийн түвшинд байна.
- Нейтрон үүсгүүр нь зориулалтын өрөөнд найдвартай тусгаарлагдсан бөгөөд ердийн орчинд нэмэлт өртөлт үүсгэхгүй байна.
- Ажилтнуудын жилийн эффектив тун нь үндэсний нормоос доогуур байгаа тул мэргэжлийн өртөлтийн эрсдэл маш бага байна.
- Цацрагийн үүсгүүрийн хадгалалт, хамгаалалтын инженерчлэлийн хяналт нь 97 ± 3 гэсэн сулралын итгэлцүүрээр батлагдсан өндөр үр дүнтэй хэрэгжиж байна.

Зөвлөмж

Энэхүү судалгааны үр дүнд тулгуурлан дараах зөвлөмжийг дэвшүүлж байна.

Тогтмол хяналт-шинжилгээ: Дотоод орчны цацрагийн хяналт-шинжилгээг тодорхой давтамжтайгаар (жишээлбэл, жилд нэг удаа)

хийж, үр дүнг баримтжуулж байх нь аюулгүй байдлыг тасралтгүй хангахад чухал ач холбогдолтой. *Аюулгүй ажиллагааны соёлыг бэхжүүлэх:* Судалгааны үр дүнг ажилтан, судлаач, оюутнуудад танилцуулж, цацрагийн аюулгүй ажиллагааны сургалтын материал болгон ашиглах нь ALARA зарчмыг хэвшүүлэхэд тустай.

Шинэ үүсгүүр, тоног төхөөрөмж: Ирээдүйд шинээр цацрагийн үүсгүүр болон тоног төхөөрөмж суурилуулах тохиолдолд энэхүү судалгааг суурь мэдээлэл болгон ашиглаж, нөлөөллийн үнэлгээг дахин хийж байхыг зөвлөж байна.

Ишлэл

[1] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna.

[2] International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

[3] Цөмийн Энергийн Комисс (2015). Цацрагийн аюулгүйн норм. Улаанбаатар, Монгол Улс.

[4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly. New York: United Nations.

Abstract

This study conducted comprehensive measurements and analyses to evaluate the indoor radiation safety of the National Institute for Nuclear Science and Technology (NINST) of the National University of Mongolia. The average gamma dose rate measured in 17 normal working and public areas of the center was $0.171 \pm 0.003 \mu\text{Sv/h}$, which is comparable to the natural background radiation level. No neutron radiation was detected in these areas. However, measurements in the neutron source storage room showed higher values. On the surface of the container, the gamma dose rate was $16.63 \pm 0.42 \mu\text{Sv/h}$, and the neutron dose rate was $17.10 \pm 0.02 \mu\text{Sv/h}$. Using three exposure models based on staff working conditions, the maximum possible annual effective dose for a researcher was estimated to be no more than $0.376 \pm 0.017 \text{ mSv}$. This corresponds to only 1.9% of the national occupational dose limit of 20 mSv per year. In addition, the shielding system of the storage room (container, walls, and door) was found to reduce gamma radiation intensity by 97 ± 3 . These results clearly show that the environment of the NINST is safe for staff, researchers, and students, and fully complies with national radiation safety standards.