

Физик технологийн хүрээлэнгийн ажлын байран дахь ^{222}Rn цацраг идэвхийн агууламж

Б.Хонгор, Б.Хансэцэн, Б.Даваасүрэн, Т.Бадамхатан

ШУА-ийн Физик, технологийн хүрээлэн, Цацрагийн биофизикийн лаборатори

Байгалийн цацрагаас хүн амын жилд авч буй цацрагийн шарлагын тунгийн 52%-ийг радоны шарлага эзэлдэг. Радон нь цацраг идэвхт альфа бөөм ялгаруулдаг ба амьсгалын замаар дамжин уушгины хорт хавдар үүсгэх том хүчин зүйл болдог. Энэхүү судалгааны ажлаар Физик Технологийн хүрээлэнгийн ажлын байрны радоны агууламж, жилд авах эффектив тунг тооцоолов. Хэмжилтийг давхар бүрээс нэг өрөөг сонгож, нэмэлтээр зоорийн давхрын ажилчдын хувцас солих өрөө, бодис хадгалах агуулах, коридорт 72 цагийн хугацаатайгаар хэмжилт хийв. Дээрх хугацаанд бүртгэн авсан радоны эзэлхүүнт идэвхийн дундаж утгыг тооцон гаргахад 1 давхарт 58 Бк/м^3 , 2 давхарт 67 Бк/м^3 , 3 давхарт 102 Бк/м^3 , зоорийн давхрын коридор 243 Бк/м^3 , зоорийн давхрын агуулах 89 Бк/м^3 , зоорийн давхарт байрлах хувцас солих өрөө 499 Бк/м^3 байв. Радоны эзэлхүүнт идэвхээс жилд авах эффектив тунг тооцоолоход зоорийн давхрын хувцас солих өрөө, коридороос бусад өрөө нь Цацрагийн аюулгүй норм үндэсний стандарт, Олон улсын цацрагаас хамгаалах комиссын стандартын дагуу аюулгүйн түвшинд байсан. Харин зоорийн давхарт радоны агууламж илүү өндөр байгаа нь агаарын солилцоо муу, хөрстэй шууд хүрэлцэх, шал, хананы хагарлаар радон хий дамжин орж ирэх, гадна дотно агаарын даралтын зөрүүгээр радон хий зоорийн давхарт сорогдон орж ирэх зэрэгтэй холбоотой. Иймд аливаа барилгын зоорийн давхарт байрлаж байнга оршин суух нь хавдар тусах эрсдэлийг бий болгож байдаг.

I. ОРШИЛ

Байгалийн цацрагаас хүн амын жилд авч буй цацрагийн шарлагын тунгийн 52%-ийг радоны шарлага эзэлдэг [1,2]. Байгалийн бүх төрлийн чулуулагт 1-3% -д уран агуулагддаг [3]. Радоны изотопууд (^{220}Rn , ^{222}Rn) нь байгалийн цацраг идэвхт элементийн гол төлөөлөл бол уран, тори бүлгийн элементийн задралын дүнд үүсдэг. Радон нь цацраг идэвхт инертийн хий бөгөөд үнэрлэх, харах боломжгүй учир илрүүлэх тусгай тоног төхөөрөмж шаарддаг. Хөрсний агаарын найрлагад агуулагдах радон нь байшингийн дулаан агаар, бага даралттай агаар руу суурийн хагарлаар сорогдон дамжиж байшинд ордог. Хөрсний агаарын радоны агууламж $10000 - 100000 \text{ Бк/м}^3$ хооронд байдаг [4].

1988 онд Хавдар Судлалын Олон Улсын Агентлагаас (ХСОУА) радоныг хүнд хорт хавдар үүсгэгч бодисын ангилалд оруулсан байдаг [5]. Радон нь тогтворгүй изотоп тул

богино хугацаанд задарч (~ 3.82 өдөр) ^{218}Po , ^{214}Pb изотопт шилжих ба задралын дүнд биологийн өндөр идэвхтэй альфа бөөм үүсгэдэг. Ихэнх радон амьсгалын замаар нэвтэрч хагас задралд орохоосоо өмнө амьсгалаар буцаж гадагшилдаг. Гэсэн хэдий ч радоны задралын дүнд үүсэх бүтээгдэхүүнүүд нь уушгины эдэд наалдаж альфа бөөмийг ялгаруулснаар дотоод шарлагад өртдөг. Альфа бөөм нь эсийн ДНХ-д молекулын түвшинд гэмтэл учруулах чадвартай, ионжуулагч цацраг учир ДНХ -ийн бүтцийг эвдэлж эрүүл эсийг хавдрын эс болгох мутацийн гол шалтгаануудын нэг болдог.

Манай орны хувьд Цацрагийн аюулгүй норм үндэсний стандартаар орон байрны агаар дахь радоны зөвшөөрөгдөх хэмжээ хуучин байранд 200 Бк/м^3 , шинээр баригдах байранд 100 Бк/м^3 байдаг [6]. Харин Олон Улсын Цацрагаас Хамгаалах Коммисын (ОУЦХК) өрөө, тасалгааны радоны хийн түвшин 300 Бк/м^3 байх стандарттай байдаг [7]. Энэхүү судалгааны ажлаар Улаанбаатар

хотын Баянзүрх дүүргийн 13 дугаар хороонд байрлах Шинжлэх ухааны академи, Физик технологийн хүрээлэнгийн ажлын байрны радоны (^{222}Rn) цацраг идэвхийн агууламжийг тодорхойлж, ажлын байрны цацрагийн аюулгүйн байдал, цацрагаас жилд авах эфферектив тун хэмжээг тогтоолоо.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Энэ судалгааг Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академи, Физик Технологийн Хүрээлэнгийн барилгад хийв. ФТХ-ийн 1, 2, 3 давхар болон зоорийн өрөө тус бүрээс 1 өрөөг санамсаргүй байдлаар сонгон радоны агууламжийг хэмжиж, ОУЦХК-ын 137-р нийллийн дагуу радоны шарлагаар жилд авах эфферектив тунг тооцоолов.

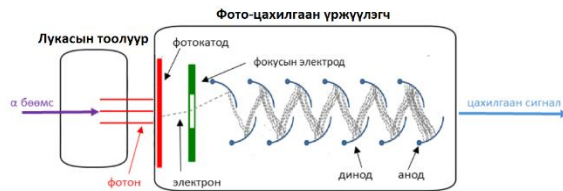
Тоног төхөөрөмж

Өрөө бүр дэх радоны эзлэхүүнт идэвхийг Radon Scout Professional (SARAD) зөөврийн дозиметрээр хэмжсэн (зураг 1).



Зураг 1. Герман улсад үйлдвэрлэсэн Radon Scout Professional (SARAD) төхөөрөмж.

Энэхүү төхөөрөмж нь радоны задралын үед ялгардаг α бөөмсийг илрүүлэхдээ Лукасын мэдрэгч болон цахиурын фото-цахилгаан үржүүлэгчийг ашигладаг. Дозиметр нь диффузийн аргаар дээжийг агаараас сорж авдаг. α бөөмс нь Лукасын мэдрэгчид хүрэхэд гэрэл үүсгэдэг бөгөөд энэ нь фото-цахилгаан үржүүлэгчээр өсгөгдөн, тодорхой хугацаанд тоолох механизмаар ажилладаг (Зураг 2). Radon Scout Professional төхөөрөмж нь өндөр мэдрэмжтэй ($3.3 \text{ cpm}/(\text{кБк}/\text{м}^3)$), авсаархан хэмжээтэй, температур, чийгшил тодорхойлох, бусад цацраг туяа, механик цохилт доргилтоос үл хамааран хэмжих чадвартай.



Зураг 2. Radon scout professional багажны ажиллах үндсэн зарчим.

Төхөөрөмж байрлуулалт ба хэмжилт

Хэмжилт хийх өрөөг барилгын давхар бүрээс 1 өрөө, зоорийн давхарт байрлах агуулах, ажилчдын хувцас солих өрөө, коридор тус бүрийг 72 цагийн хугацаатайгаар 2024.07.01–2024.09.20 хооронд хэмжилт хийсэн. Төхөөрөмжийг байрлуулахдаа амьсгалын бүсэд тааруулан 1.0–1.5 метрийн өндөрт, багажны хэмжилтийн интервалыг 30 минут тутамд радоны эзлэхүүнт идэвхийг хэмжиж байхаар тохируулсан.

Хэмжилтийн өгөгдлийг SARAD-ийн Radon Vision 6.7 программ хангамжаар боловсруулав.

Жилийн эфферектив тунгийн тооцоо

Ажилтанд ирэх жилийн дундаж эфферектив тунг дараах томъёогоор тооцсон [8]:

$$\text{ЖЭТ} = \text{C} \cdot \text{X} \cdot \text{ТХК} \quad (1)$$

Үүнд:

ЖЭТ -Жилийн эфферектив тун (мЗв/жил),

C -Радоны концентраци (Бк/м³),

X -Ажлын цаг (2000 цаг/жил [8]),

ТХК -Тун хувиргах коэффициент (6.7 нЗв/(Бк·ц·м³)[8]).

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

ФТХ-ийн ажлын байрны давхар бүрд нэг өрөөг сонгон авч, нэмэлтээр зоорийн давхарт байрлах агуулах, коридор, ажилчдын өрөөнд 72 цагийн хугацаатайгаар радоны хэмжилтийг

гүйцэтгэв. Хэмжилтийн үр дүнг График 1-т үзүүлэв.

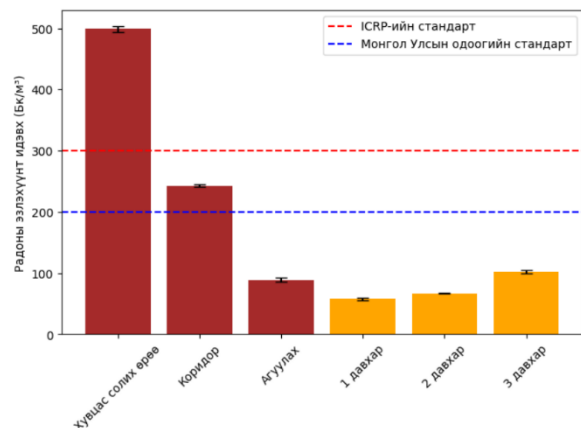


График 1. ФТХ-ийн өрөөнүүдийн радоны агууламж. Улаанаар зоорийн давхрын өрөөг, шараар барилгын бусад давхруудад байрлах өрөөг дүрслэв.

Физик технологийн хүрээлэнгийн ажлын байр нь 1961 онд ашиглалтад орсон учир хуучин байрны стандартыг баримталсан. График 1-ээс харахад 1-3 давхрын радоны агууламж стандартын дагуу хэвийн түвшинд байсан. Харин зоорийн давхрын хувцас солих өрөө болон коридорт стандартаас их агууламжтай байсан. Эдгээр байршлуудад радоны агууламж өндөр байгаа шалтгаан нь агааржуулалтын систем муу, хана шалны цууралттай, зарим газраа цэвэр бохир усны газар доорх төвийн системийн хоолойтой холбогдсон байдал нь газрын хөрснөөс радоны хий гарч ирэх үндэслэл болж байна. Коридорыг хувцас солих өрөөтэй харьцуулахад радоны эзлэхүүнт идэвх бага байгаа нь хоёр талдаа нэвт гарсан хаалгатай учир илүү агаарын солилцоонд орж байна. Харин хувцас солих өрөө нь цонхгүй учраас зөвхөн хаалга нээлттэй үед агаарын солилцоо явагдаж, бусад үед радон хуримтлагдаж байгаа нь харагдаж байна. Зоорийн давхарт байрлах агуулахын өрөө нь том цонхтой, цонхны зай завсар ихтэй учир агаарын

солилцоо хангалттай явагдаж радоны агууламж илүү бага байх шалтгаан болсон.

Хүснэгт 1. Радоны дундаж эзлэхүүнт идэвх болон жилд авах эффектив тун.

Өрөө	Радоны эзлэхүүнт идэвх (Бк/м³)	Жилийн эффектив тун (мЗв/жил)
1 давхар	58	0.78
2 давхар	67	0.9
3 давхар	102	1.37
Хувцас солих өрөө	499	6.87
Коридор	243	3.26
Агуулах	89	1.19

Ф.Эрис нарын судлаачдын ажилд 150 жилийн настай хуучин барилгын зоорийн давхарт радоны агууламж агааржуулалттай үед 330 Бк/м³, агааржуулалтгүй үед 1000 Бк/м³ илэрч байжээ. Эндээс радоны концентрац өндөр байх нь тухайн өрөөнд цонх, агааржуулалт байхгүйтэй холбоотой. Харин 15, 25, 150 жилийн настай барилгуудын нэгдүгээр давхрын өрөөнд радоны агууламж 53, 69, 86 Бк/м³ байсан [9]. Эдгээр судлаачдын үр дүнтэй харьцуулахад зоорийн давхрын радоны эзлэхүүнт идэвх өндөр байгаа нь хөрсөнд агуулагдаж буй радон барилгын суурины хагарлаар дамжин барилгын зоорийн давхарт нэвчиж, агааржуулалтгүй өрөөнд илүү их хуримтлагдаж байгааг баталж байна.

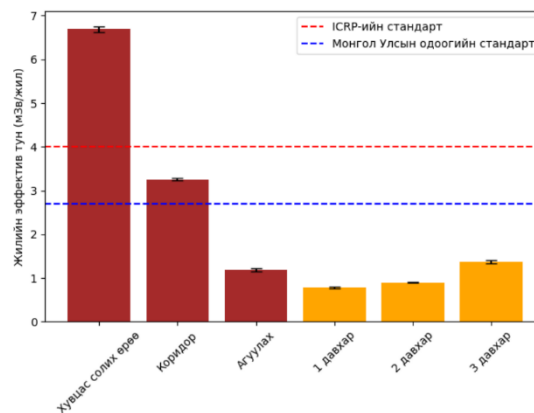


График 2. ФТХ-ийн өрөөнүүдийн жилийн дундаж эффектив тун. Улаанаар зоорийн давхрын өрөөг, шараар барилгын бусад давхруудад байрлах өрөөг дүрслэв.

ФТХ-ийн ажлын байранд жилд авах тунг тооцоолсон үр дүнг график 2-г харуулав. Радоны эзлэхүүнт идэвхээс жилд авах эффектив тунг тооцоолоход (Хүснэгт 1) зоорийн давхрын хувцас солих өрөө, коридороос бусад өрөө нь Цацрагийн аюулгүй норм үндэсний стандарт, Олон улсын цацрагаас хамгаалах комиссын стандартын дагуу аюулгүйн түвшинд байна. Харин зоорийн давхрын өрөөнүүдэд радоны агууламж илүү өндөр байгаа нь дээрх стандартын хэмжээг давсан тул цаашид ажилчдын эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлнө гэж үзэж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ судалгаагаар ФТХ-ийн ажлын байрны радоны эзлэхүүнт идэвх 1 давхарт 58 Бк/м^3 , 2 давхарт 67 Бк/м^3 , 3 давхарт 102 Бк/м^3 , зоорийн давхрын коридор 243 Бк/м^3 , зоорийн давхрын агуулах 89 Бк/м^3 , зоорийн давхарт байрлах хувцас солих өрөө 499 Бк/м^3 байсан. Зоорийн давхрын хувцас солих өрөө, коридороос бусад өрөө нь Олон Улсын Цацрагаас Хамгаалах комисс болон Монгол Улсын Цацрагийн аюулгүй норм үндэсний стандартуудаар аюулгүйн түвшинд байна. Харин зоорийн давхрын хувцас солих өрөө болон коридорт стандартын түвшинээс өндөр байгаа тул цаашид удаан хугацаагаар байрлах нь хавдар тусах эрсдлийг бий болгож байна.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1]. UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Annex B: Exposures from Natural Radiation Sources, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York, (2000);

[2]. World Cancer Research Fund, Worldwide cancer data, 2018: <https://www.wcrf.org/dietandcancer/cancer-trends/worldwide-cancer-data>

[3]. Michaela Kreuzer and James McLaughlin. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Chapter 7: Radon. 2010.

[4]. Makelainen I, et al. Correlations between radon concentration and indoor gamma dose rate, soil permeability and dwelling substructure and ventilation. *Science of the Total Environment*. 2001;272:283–289.

[5]. Man-made mineral fibres and radon. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1988. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 43).

[6]. Цацрагийн хамгаалалт, аюулгүй ажилгааны үндсэн дүрэм, Цацрагийн аюулгүйн норм, 2016.

[7]. Lecomte J-F, Solomon S, Takala J, et al. ICRP Publication 126: Radiological Protection against Radon Exposure. *Annals of the ICRP*. 2014;43(3):5-73.

[8]. ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. *Ann. ICRP* 46(3/4), 2017.

[9]. Erees, F.S., Yener, G. Radon Levels in New and Old Buildings. In: Baumstark-Khan, C., Kozubek, S., Horneck, G. (eds) *Fundamentals for the Assessment of Risks from Environmental Radiation*. NATO Science Series, vol 55. Springer, Dordrecht. (1999).

Radon (^{222}Rn) Radioactivity Level at the Institute of Physics and Technology Workplace

Khongor B, Khansetsen B, Davaasuren B and Badamkhatan T

*Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Science,
Peace Ave-54B, Ulaanbaatar 13330, Mongolia*

Abstract

Approximately 52% of the annual radiation dose received by the population from natural radiation sources is attributed to radon exposure. Radon emits radioactive alpha particles and is a significant factor in causing lung cancer through inhalation. In this study, radon concentrations in the building of the Institute of Physics and Technology were measured and used to calculate the effective annual dose received by its employees. Measurements were conducted over 72 hours, selecting one room per floor, with additional measurements in the basement's changing room, storage room, and corridor. The average radon activity concentrations evaluated within this time frame were as follows: 58 Bq/m³ on the 1st floor, 67 Bq/m³ on the 2nd floor, 102 Bq/m³ on the 3rd floor, 243 Bq/m³ in the basement corridor, 89 Bq/m³ in the basement storage room, and 499 Bq/m³ in the basement changing room. When calculating the effective annual dose based on the radon activity concentrations, all rooms except the basement corridor and changing room were within safe levels according to the National Radiation Safety Norms and the standards of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). The elevated radon concentration in the basement is connected to poor air exchange, direct contact with soil, radon gas seeping through cracks in the floor and walls, and differences in indoor and outdoor air pressure drawing radon into the underground floor. Therefore, residing or working continuously in the basement of the building may increase the risk of developing cancer.

Keyword: Indoor radon.