

Эмнэлгийн рентген төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын тооцоолол

Ц. Ганзул^{a,b*}, М. Одсүрэн^b, Д. Болортуяа^a

^aМонгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Физикийн судалгааны төв
^bМонгол Улсын Их Сургууль, Инженер Технологийн сургууль, Хими
биологийн инженерчлэлийн тэнхим

Энэ ажлаар “Реха мед” эмнэлгийн дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын тооцооллыг хийв. АНУ-ын “Цацрагийн Хамгаалалт, Хэмжилзүйн Үндэсний Зөвлөл” буюу NCRP №147 тайланд зөвлөсөн аргуудаар цацрагийн хамгаалалтын тооцооллыг хийхэд дунджаар 2мм зузаантай хар тугалга шаардлагатай гэж гарсан. Рентген төхөөрөмж байрлаж буй өрөөний хананд 2мм зузаантай хар тугалган материал байршуулж төхөөрөмж ажиллаж байх үеийн орчны агаарын керма тунг хэмжихэд хяналтгүй бүсийн тунгийн хязгаар болох 0.5 мЗв/цаг утгаас хэтрээгүй байв.

Түлхүүр үгс: Цацрагийн хамгаалалт, рентген төхөөрөмж, агаарын керма тунг

Мэргэжлийн индекс (PACS number): 28.41.Qb, 87.53.Bn

I. УДИРТГАЛ

Монгол Улсад 2022 оны байдлаар нийт 1816 эрчим хүчний бус цөмийн технологийн багаж төхөөрөмжийг судалгаа шинжилгээ, аж үйлдвэр, эрүүл мэндийн салбарт ашиглаж байна. Эдгээр цөмийн технологийн багаж төхөөрөмжийн 1071-ийг эрүүл мэндийн салбарт эмчилгээ, оношилгооны зориулалтаар ашиглаж байгаагаас 529 нь рентген төхөөрөмж байна [1]. Рентген цацрагийг ашиглан биеийн араг яс, дотоод цуллаг эрхтний зураг авдаг ба үүнийг рентген оношилгоо гэж дэлхий дахинаа нэрлэдэг. Рентген оношилгоог энгийн рентген зураг, маммографи (хөхний зураг), компьютер томографи гэж ерөнхийд нь 3 ангилан авч үздэг [2].

Цацрагийн үүсгүүр бүхий тоног төхөөрөмж ашиглан рентген оношилгоо хийж гүйцэтгэх үед тухайн орчинд эмч, техникч болон үйлчлүүлэгчдийг “шаардлагагүй” цацрагт өртүүлэхгүй байх ёстой. Иймд дэлхий нийтээр түгээмэл ашигладаг рентген цацраг үүсгэдэг багаж төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын тооцоолол хийх шаардлага зүй ёсоор тавигддаг. Энэ ажлаар бид “Реха мед” эмнэлгийн дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмж байрлаж буй өрөөний цацрагийн хамгаалалтын тооцооллыг

хийн, рентген төхөөрөмж ажиллах байх үеийн орчны агаарын керма тунг хэмжинэ.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Цацрагийн хамгаалалтын тооцоололд орчны агаарын керма тунг зөвшөөрөгдөх хязгаарт байлгах хамгаалалтын материалын зузааныг тооцох шаардлагатай байдаг [3]. NCRP-ын №147 тайланд тусгагдсан эмнэлгийн дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын аргуудад үндэслэн тооцооллыг гүйцэтгэхэд T, U, P факторуудыг ашиглана.

T фактор: T (өртөлтийн фактор) нь рентген төхөөрөмжийн ажиллаж байх үед тухайн орчинд хүн (эмнэлгийн ажилчид) ажиллах дундаж хугацаанаас хамаарсан хэмжигдэхүүн. Тухайлбал, T факторын утга ажлын болон удирдлагын өрөөнд $T=1$ байх бол амрах өрөөнд $T=1/5$, нийтийн угаалгын өрөө, агуулах зэрэгт $T=1/20$ байдаг [4].

U фактор: U (ашиглалтын фактор)-ын утга нь төхөөрөмжийн төрөл болон хамгаалалтын материалын байрлалаас хамаарна. Цээжний детектор байрлуулсан энгийн рентген төхөөрөмжийн хананы хувьд ашиглалтын фактор $U=1$ байх бол шалны хувьд $U=0.89$ байна.

P фактор: *P* (тунгийн хязгаар) нь цацрагийн хамгаалалтыг төлөвлөх, үнэлэхэд ашигладаг агаарын керма тун юм. *P* факторын утга хяналттай бүсэд 0.1 мГр/7хоног (100 мЗв/7 хоног) байдаг бол хяналтгүй бүсэд 0.02 мГр/7хоног (20 мЗв/7 хоног) байна.

Энэ тохиолдолд дээрх факторуудад харгалзах утгуудыг $P=0.1\text{мГр}/7\text{хоног}$, $T=1$, $U=1$ гэж үзэв.

2.1 Хамгаалалтын материалын зузааныг цацрагийн сулралаар тооцоолох арга

Тухайн орчинд хамгаалалтын материалтай $K(x)$, материалгүй $K(0)$ үеийн агаарын керма тунгийн харьцаагаар цацрагийн сулрал $B(x)$ тодорхойлогдоно. Хамгаалалтын материалгүй үеийн агаарын керма тун $K(0)$:

$$K(0) = \frac{K^1 U N}{d^2}, \tag{1}$$

байна. Энд: *d*- цацрагийн үүсгүүр болон хамгаалалтын материал хоорондох зай (2м), K^1 - хамгаалалтын материалгүй нөхцөлд 1 м зайд байрлах үйлчлүүлэгч (хүн)-д ноогдох агаарын анхдагч керма тун (2.3 мГр/хүн) [3], *N*-7 хоногт үйлчлүүлэх хүний тоо, *U*- ашиглалтын фактор.

$K(0)$ үед $B(x)$:

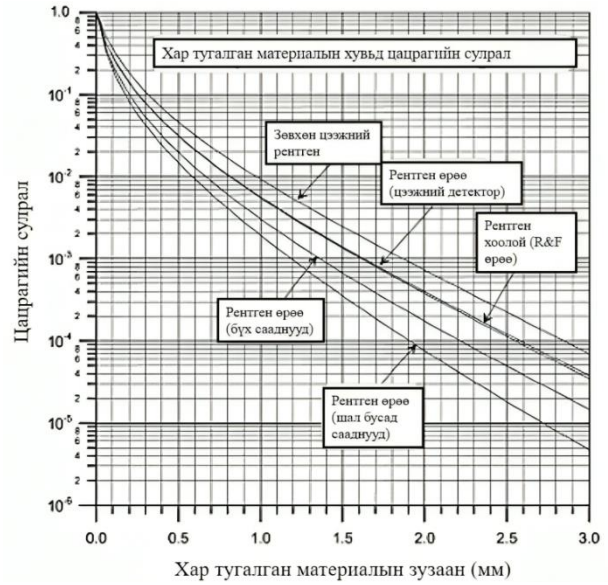
$$B(x) = \left(\frac{P}{T}\right) \frac{d^2}{K^1 U N}, \tag{2}$$

гэж илэрхийлэгдэнэ. Энд: *T*- өртөлтийн фактор, *P*- тунгийн хязгаар (мГр/7хоног).

(1) ба (2)-р тэгшитгэлээс $B(x)$ -ийг олбол

$$B(x) = \frac{P/T}{K_p(0)}, \tag{3}$$

болно. Хар тугалган хамгаалалтын материалын зузаан, цацрагийн сулралаас хамаарсан муруйг 1-р зурагт үзүүлсэн ба уг муруйг ашиглан (2)-р тэгшитгэлийн цацрагийн сулралд харгалзах хамгаалалтын материалын зузааныг тооцоолно.



Зураг 1. Хар тугалган материал дахь рентген цацрагийн сулрал

Судлаач Диксон, Симпкин нар рентген хоолойноос гарч буй анхдагч цацрагийн эрчим хүний бие, рентген төхөөрөмжийн ор, цээжний детекторт сулардаг болохыг тогтоосон байдаг [5] ба энэхүү сулралыг хамгаалалтын материалуудын зузаанаар илэрхийлсэн утгыг 1-р хүснэгт үзүүлэв [3]. Хамгаалалтын материалын зузааныг 1-р зураг дахь муруйнаас авах ба уг утгад анхдагч цацрагийн сулралыг хамгаалалтын материалын зузаанаар илэрхийлсэн утгыг хасаж тооцохыг зөвлөдөг. Тодруулбал, 1-р зургаас цээжний детектор байрласан хананы цацрагийн сулралд хар тугалган материалын зузааныг 2мм гэж олбол хүснэгт 1 дэх харгалзах утгыг тооцвол $2 \cdot 0.85=1.15\text{мм}$ шаардлагатай гэсэн болно.

Хүснэгт 1. Хамгаалалтын материалын зузаанаар илэрхийлэгдсэн анхдагч цацрагийн сулрал

Байршил	Хамгаалалтын материалын зузаан (мм)		
	Хар тугалга	Бетон	Төмөр
Цээжний детектор бүхий хана	0.85	72	7
Рентген төхөөрөмжийн ор	0.3	30	2

2.2 Хамгаалалтын материалын зузааныг тохируулгын параметруудийг ашиглан тооцоолох арга

Рентген хоолойн хүчдэлээс хамаарсан тохируулгын параметруудийг ашиглан хамгаалалтын материалын зузааныг дараах байдлаар олно

$$x = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left[\frac{\left(\frac{NTUK^1}{Pd^2} \right)^\gamma + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right]. \quad (4)$$

Энд: α, β, γ нь рентген хоолойн хүчдэлээс хамаарсан тохируулгын параметрууд бөгөөд эдгээрийн утгыг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв [3].

Хүснэгт 2. Хар тугалган материалын хувьд рентген хоолойн хүчдэлээс хамаарсан тохируулгын параметрууд

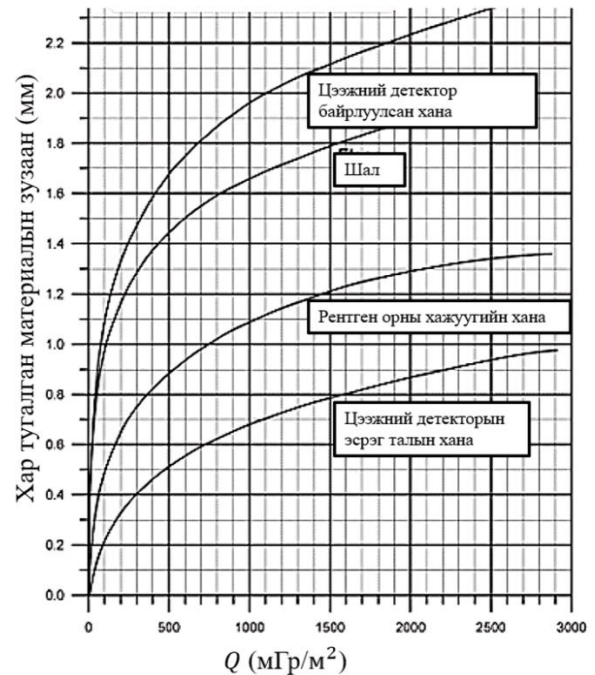
Рентген хоолойн хүчдэл (кВ)	Рb		
	α (мм ⁻¹)	β (мм ⁻¹)	γ (мм)
100	2.500	0.1707	0.7557
120	2.246	8.950	0.5873
150	1.757	5.177	0.3156

2.3 Хамгаалалтын материалын зузааныг тооцоолох уламжлалт арга

Уламжлалт арга нь түгээмэл хэрэглэгддэг, энгийн арга юм. Дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн 7 хоногийн ажлын ачааллын нийт тун Q нь 7 хоногийн нийт үйлчлүүлэгчдийн тоо, өртөлтийн факторын үржвэрийг 7 хоногийн тунгийн хязгаар, зайн квадратын үржвэрт харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдоно:

$$Q = \frac{NT}{Pd^2}. \quad (5)$$

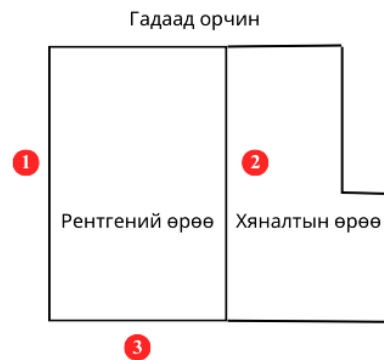
Цацрагийн хамгаалалтын саадын өөр өөр байршилд Q-ээс хамаарсан хамгаалалтын материалын зузааныг хар тугалганы хувьд тодорхойлсон муруйг зураг 2-т харуулав.



Зураг 2. Хар тугалган материал дахь хамгаалалтын материалын зузааны муруй

2.4 Хэмжилтийн арга зүй

Бид “Реха Мед” эмнэлгийн дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн өрөөний гадна талд газраас 1м өндөрт гурван өөр байршилд орчны агаарын керма тунгийн хэмжилт хийж гүйцэтгэв. Хэмжилт авсан байршлуудыг зураг 3-т харуулав. Хэмжилтэд Цөмийн Энергийн Комиссын “Дозиметрийн тохируулга, баталгаажуулалтын лаборатори”-д баталгаажуулалт хийгдсэн Герман улсад үйлдвэрлэгдсэн, 0.9% хэмжилтийн эргэлзээ бүхий identiFINDER детекторыг ашигласан (Зураг 4).



Зураг 3. Реха Мед эмнэлгийн рентген төхөөрөмжийн өрөөний зохион байгуулалт болон хэмжилтийн байршил



Зураг 4. identiFINDER детектор

III. ҮР ДҮН

Цацрагийн хамгаалалтын тооцооллыг дээр дурдсан 3 аргаар хийж гүйцэтгэв.

Хамгаалалтын материалын зузааныг тооцоолсон үр дүн:

(1), (3) ба (4) тэгшитгэлүүд болон (1), (2)-р зургуудыг ашиглан хамгаалалтын материалын зузааныг тооцсон утгыг хүснэгт 3-т нэгтгэн үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Тооцоолсон хамгаалалтын материалын зузаан

Цацрагийн хамгаалалтын тооцооллын аргууд	Хар тугалга (мм)
2.1 Цацрагийн сулралаар	1.8 ^a
2.2 Тохируулгын параметрууд ашиглан	2.1
2.3 Уламжлалт арга	1.9
Тайлбар: а- Зураг 1-т үзүүлсэн муруйнаас авсан утгаас анхдагч цацрагийн сулралыг хамгаалалтын материалын зузаанаар илэрхийлсэн хүснэгт 1-ийн утгыг хасаж тооцов.	

Хүснэгт 3-аас үзэхэд “Реха Мед” эмнэлгийн дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын тооцооллыг NCRP-ын 147-р тайланд зөвлөсөн гурван аргын дагуу хийхэд үр дүнгүүд 7-8% мужид хоорондоо тохиров.

Хэмжилтийн үр дүн

2мм зузаантай хар тугалган материал өрөөний хананд байрлуулж рентген төхөөрөмж ажиллаж байх үеийн орчны агаарын керма тунг зураг 3-т үзүүлсэн гурван өөр байршилд хэмжин үр дүнг хүснэгт 4-т харуулав.

Хүснэгт 4. Хэмжилтийн үр дүн (3 өөр байршилд хэмжигдсэн тунг)

Байршлын дугаар	Хэмжилтийн утга (мкЗв/цаг)
1	0.09
2	0.10
3	0.10

Рентген төхөөрөмж долоо хоногт 40 цаг ажиллаж дүрс зураг авдаг гэж үзвэл тунгийн хязгаар нь хяналттай бүсэд 2.5 мкЗв/цаг, хяналтгүй бүсэд 0.5 мкЗв/цаг юм. 4-р хүснэгтээс үзэхэд хэмжилтийн үр дүнгүүд дээр дурдсан тунгийн хязгаараас бага утга үзүүлж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Дүрс оношилгооны рентген төхөөрөмжийн цацрагийн хамгаалалтын тооцооллын үр дүнгээс үзэхэд дунджаар 2мм зузаантай хар тугалган материалаар цацрагийн хамгаалалт хийх шаардлагатай. Рентген төхөөрөмж байрлаж буй өрөөний хананд 2мм зузаантай хар тугалган материал байршуулж төхөөрөмж ажиллаж байх үеийн орчны агаарын керма тунг хэмжихэд 3-р хэмжилтийн цэгт хяналтгүй бүсийн тунгийн хязгаар болох 0.5 мЗв/цаг утгаас, 1,2-р хэмжилтийн цэгийн хувьд хяналттай бүсийн тунгийн хязгаар 2.5 мЗв/цаг утгаас тус тус хэтрээгүй байв.

V. ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд туслалцаа үзүүлсэн “RCM Mongolia” болон “Реха Мед” эмнэлгийн хамт олонд болон үнэтэй зөвлөгөө өгч, хэлэлцүүлэг өрнүүлсэн МУГБ проф С. Даваад талархсанаа илэрхийлж байна.

VI. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] ЦӨМИЙН ЭНЕРГИЙН КОМИССЫН АЖЛЫН АЛБА, Цөмийн Технологи, Инновацийн Талаарх Үндэсний Болон Олон Улсын Мэдээлэл, 2023.

- [2] Д. М. Д. Гончигсүрэн, *Радиологийн Үндэс*, Зургаа дахь хэвлэл, Улаанбаатар Хот, 2016.
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements., *Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*, 2004.
- [4] Ж. Мөнхсайхан, Ц. Золбадрал, and С. Одмаа, *ПЭТ-КТ Төхөөрөмжийн Цацрагийн Хамгаалалтын Тооцоо*, 2024.
- [5] R. L. Dixon and D. J. Simpkin', *Primary Shielding Barriers For Diagnostic X-Ray Facilities: A New Model*, 1998.