

# Өндөр температурын хийн реакторын голомт дахь шатан шингээгч материалын хэлбэрийн нөлөө

Т.Жамъянсүрэн<sup>1\*</sup>, С.Одмаа<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улсын их сургууль

<sup>2</sup> Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Монгол улсын их сургууль

Энэ ажилд 20%-ийн баяжуулалттай ураны исэл ( $UO_2$ ) бүхий TRISO түлштэй, 100 МВт-ийн дулааны чадалтай, 850оС температурт ажиллах, төвдөө ойлгогчтой, өндөр температурын хийн реакторын голомтод адил эзлэхүүнтэй эсвэл адил гадаргуун талбайтай бөөрөнхий болон цилиндр хэлбэртэй шатан шингээгч материал (ШШМ) бүхий бөмбөлөг бөөмсийг нэмж оруулан голомтын нейтроник шинж чанарт нөлөөлөх нөлөөг судлав. Уг тооцоололд Японы Атомын Энергийн Агентлагийн хөгжүүлсэн Монте Карло аргаар тооцоолдог MVP/GMVP:2.0 компьютерийн кодыг, JENDL-4.0 цөмийн өгөгдлийн сангийн хамт ашиглав. Тооцооллын үр дүнгээс харвал, цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомтын тохиолдолд нейтроник үзүүлэлтүүд илт сайжирсан ба реактор ажиллаж эхлэх үеийн илүүдэл реактивитиг илүү сайн дарж, ажиллах хугацаа уртасч, түлшийг илүү үр дүнтэй шатааж байна.

## I. ОРШИЛ

Цөмийн эрчим хүчний реакторын голомтод явагдаж байгаа цөмийн гинжин урвал нь тухайн реактор ажиллах хугацаанд тогтвортой байх ёстой. Энгийнээр тайлбарлавал, реакторын голомт дэх нейтроны тоог байнга хянаж, аюулгүй, тогтвортой ажиллуулах шаардлагатай. Үүний тулд нейтроныг шингээх хөндлөн огтлол өндөртэй материалыг агуулсан удирдлагын саваа болон шатан шингээгч материалыг ихэвчлэн ашигладаг [1].

Бидний өмнөх судалгааны ажлуудад 100 МВт дулааны чадалтай Өндөр Температурын Хийн Реакторын (ӨТХР) голомтод ажиллаж эхлэх үед үүссэн их хэмжээний илүүдэл нейтроныг (реактивити) багасгахын тулд бөөрөнхий хэлбэртэй “шатан шингээгч материал” (ШШМ)-ыг ашигласан. Энд хоёр өөр материалын бөөмсийг зэрэг ашиглах нь илүү үр дүнтэй учраас  $B_4C$  болон  $Gd_2O_3$  бүхий ШШМ бөөмсийг түлшний үүрийн графит матрицад нэгэн жигд агуулгатайгаар нэмж өгөх замаар хугацааны эхэн үеийн реактивитийг дарж, реакторын ажиллах хугацааны турш реактивити болон чадлын түгэлтийг амжилттайгаар жигдрүүлсэн [2,3].

Энэ ажлын зорилго нь нэг төрлийн ШШМ ( $B_4C$ )-ыг сонгон авч геометр хэлбэрийг өөрчлөн цилиндр хэлбэртэй болгоход ӨТХР-ын

голомтын нейтроник үзүүлэлтэд хэрхэн нөлөөлөхийг судалж, үр дүнг авч хэлэлцэх юм.

## II. ТООЦООЛЛЫН ГЕОМЕТР

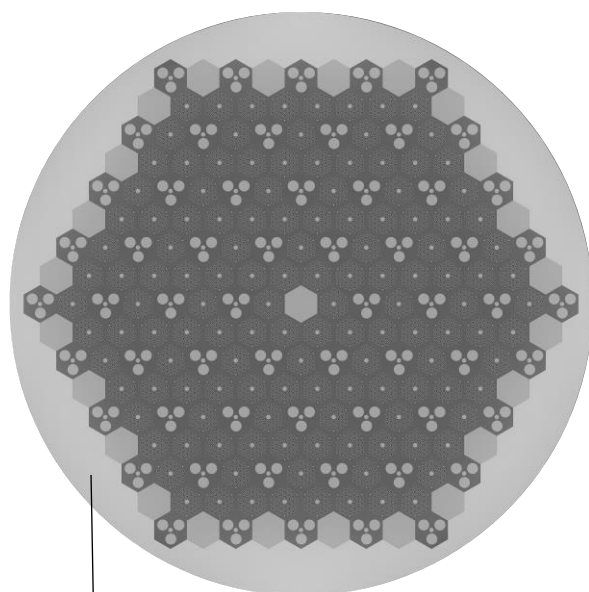
Энэхүү ажилд өмнөх ажилд ашигласан  $B_4C$  бүхий бөөрөнхий ШШМ-ын бөөмсийн нийт эзлэхүүнийг түлшний нийт эзлэхүүнд харьцуулсан харьцаа ( $V_{ШШМ}/V_{Түлш}$ )-ийг өөрчлөхгүйгээр (1) гадаргуугийн талбай эсвэл (2) эзлэхүүн нь адил байхаар цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийг түлшний матрицад нэмж оруулан нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэв.

Графит матрицад шигтгэж буй TRISO түлшний болон ШШМ-ын бөөмсийг ялгаж тооцоолоход MVP/GMVP:II [4] -ын статистик геометр загварыг ашигладаг ба энэ загвараар голомтод санамсаргүй түгсэн, өөр өөр материалын бөөмсийг нэгэн зэрэг тооцож болдог. Ялгаатай гурван өөр хэлбэр, хэмжээтэй ШШМ-ын бөөмс бүхий реактор бүрийн голомт дахь нийт түлшний эвлүүлгийн тоо, нэг түлшний эвлүүлэг дэх түлшний эзлэхүүн болон түлшний баяжуулалт, ШШМ-ын эзлэхүүний харьцаа зэрэг параметрууд адил. Харин уг голомтод ачаалсан ШШМ-ын бөөмсийн геометр хэлбэр, гадаргуун талбай болон эзлэхүүний хувьд ялгаатай байна. Голомтын дизайны үндсэн үзүүлэлт болон ШШМ-ын геометр хэмжээсийг Хүснэгт 1-д өгөв.

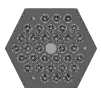
\* Electronic address: t.jamiyansuren@num.edu.mn

Хүснэгт 1. Голомтын дизайны болон ШШМ-ын үзүүлэлтүүд.

Реакторын дулааны чадал, МВт		100		
Түлшний эвлүүлгийн тоо		1452		
Түлшний баяжуулалт, wt%		20%		
Радиус, см	Өндөр, см	Нэг бөөмийн гадаргуун талбай, см <sup>2</sup>	Нэг бөөмийн эзлэхүүн, см <sup>3</sup>	Түлшний үүр дэх ШШМ-ын эзлэх хувь
<b>Бөөрөнхий</b>				
0.01	-	1.26E-03	4.19E-06	5.7
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай/</b>				
0.01	0.01	1.26E-03	3.14E-06	7.6
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй/</b>				
0.011	0.011	1.52E-03	4.19E-06	5.7



Байнгийн ойлгогч



Түлшний эвлүүлэг



Удирдлагын саваа

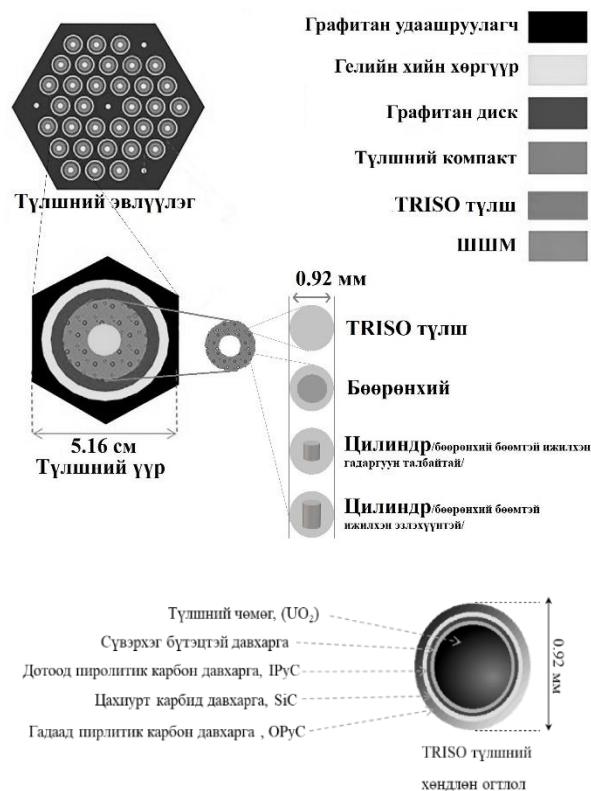


Сольдог ойлгогч

Зураг 1. Голомтын хөндлөн зүсэлт.

Төвдөө ойлгогчин блоктой, 100 МВт дулааны чадалтай, ӨТХР-ын голомтын дизайн нь нийт 11 давхаргаас бүрдэх ба давхарга тус бүр төвийн нэг ойлгогч, 132 түлшний эвлүүлэг, түүнийг тойрсон сольдог ойлгогчин блокоос бүрдэнэ. Нэг түлшний эвлүүлгийн блок нь 33 түлшний саваатай ба түлшний саваа бүр нь <sup>235</sup>U-ыг 20wt%

хүртэл баяжуулсан ураны исэл (UO<sub>2</sub>) агуулсан TRISO түлшнээс гадна, 90%wt хүртэл баяжуулсан <sup>10</sup>B изотоптой В<sub>4</sub>С бүхий бөөрөнхий эсвэл цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийг агуулсан. Голомтын дизайны хөндлөн зүсмэгийг Зураг 1-д, түлшний эвлүүлэг, TRISO бөөм түлш болон ШШМ-ын бөөмийн хөндлөн зүсмэгийг Зураг 2-д үзүүлэв.



Зураг 2. Түлшний эвлүүлэг, ШШМ-ын өөр өөр дизайн ба TRISO түлшний хөндлөн зүсмэг.

### III. НЕЙТРОНИК АНАЛИЗ

Энэхүү ажилд тасралтгүй энергитэй нейтроны харилцан үйлчлэлийг Монте Карло аргаар тооцоолдог MVP/GMVP:2.0 [4] болон MVPBURN [5] кодоор голомтын нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэсэн. Тооцоололд JENDL-4.0 [6] цөмийн өгөгдлийн санг ашиглав. Энэ кодоор реакторын голомт дахь эффектив нейтрон үржүүлэх фактор ( $k_{eff}$ )-ыг тооцоолохдоо голомтод үүссэн нейтронуудын харилцан үйлчлэлцэх процессийн санамсаргүй үзэгдлийг магадлалын аргаар үнэлж тооцоолсон. Нейтроник тооцооллыг реакторын голомтод үүссэн нэг нейтрон 20000 ялгаатай харилцан үйлчлэл хийнэ гэж үзээд нийтдээ хуваагдлын 100 нейтроны санамсаргүй

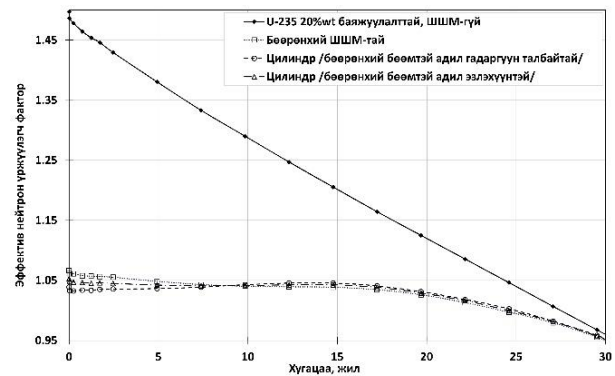
харилцан үйлчлэлийг авч үзсэн ба үр дүнгийн статистик нарийвчлалыг сайжруулахын тулд эхний 20 нейтроны харилцан үйлчлэлийг тооцоогүй болно.

Өмнөх ажлуудад [2,3] реактор ажиллаж эхлэх үеийн илүүдэл реактивитийг бууруулж, ажиллагааны турш реактивитийн өөрчлөлт болон чадлын түгэлтийг жигд болгохын тулд бөөрөнхий хэлбэртэй, хоёр өөр төрлийн ШШМ-ын ( $B_4C$  болон  $Gd_2O_3$ ) бөөмсийг ашигласан. Энэ ажилд ялгаатай хэмжээ, хэлбэртэй, нэг төрлийн ( $B_4C$ ) ШШМ-ын бөөмс бүхий голомтын дизайныг хийн, нейтроник анализыг гүйцэтгэн үр дүнд нөлөөлөх нөлөөллийг авч үзэв. Гадаргуугийн талбай эсвэл эзлэхүүнээрээ адил байх бөөрөнхий ба цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ийн бөөмс агуулсан голомтын нейтроник анализын үр дүнг Хүснэгт 2 болон Зураг 3-д өгөв.

Хүснэгт 2. Ялгаатай хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн ӨТХР-ын голомтын нейтроник анализын үр дүн.

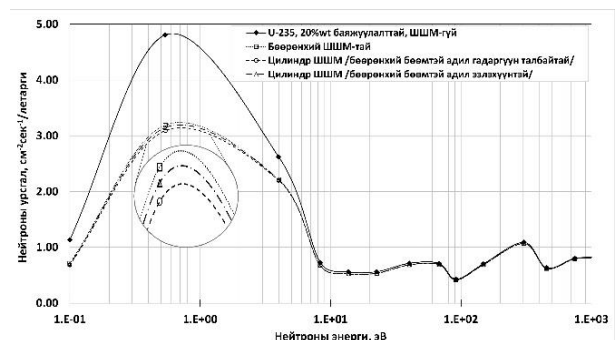
$K_{эфф,0}$ (алдаа %)	ХИУ $\Delta k/k$ (%)	$t_{голомт}$ (жил)	$V_{түлш,t}$ (ГВт*хоног/ тн)
<b><math>^{235}U</math>, 20%wt баяжуулалттай, ШШМ-гүй</b>			
1.4977 (0.02)	33.23	26.4	106.0
<b>Бөөрөнхий ШШМ-тай</b>			
1.0666 (0.0460)	6.24	24.2	98.3
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай/ ШШМ-тай</b>			
1.0389 (0.0451)	4.36	25.0	101.5
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй/ ШШМ-тай</b>			
1.0527 (0.0472)	5.01	24.6	99.9
Тайлбар:			
$K_{эфф,0}$	Реактор ажиллаж эхлэх үеийн $K_{эфф}$		
алдаа	статистик хазайлт		
ХИУ $\Delta k/k$	Реактивитийн хамгийн их утга		
$t_{голомт}$	Голомт дэх түлшний нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа		
$V_{түлш,t}$	Нэг циклийн төгсгөлд түлшний шаталт		

Ялгаатай хэлбэр, хэмжээтэй ШШМ-ын бөөмсийг агуулсан голомтын нейтроник тооцооллын дүнгээс харвал бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ агуулсан голомтын дизайны хувьд реактор ажиллаж эхлэх үеийн эффектив нейтрон үржүүлэх фактор ( $K_{эфф,0}$ ) болон реактивитийн хамгийн их утга нь цилиндр хэлбэрийн ШШМ агуулсан үр дүнтэй харьцуулахад их гарсан боловч голомтын нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа болон түлшний шаталтын хэмжээ бага байна.



Зураг 3. ӨТХР-ын голомтын нейтрон үржүүлэх эффектив факторын өөрчлөлтөд ялгаатай хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн нөлөө.

Өөрөөр хэлбэл, цилиндр хэлбэрийн ШШМ-ын бөөмс хэрэглэхэд голомтын нейтроник үзүүлэлтүүд сайжирсан байна. Үүний шалтгааныг тайлбарлахын тулд реакторын ажиллагааны эхэн үед ялгаатай хэлбэр, хэмжээтэй ШШМ-ын бөөмсийг агуулсан реакторын голомт даяарх нейтроны спектр (Зураг 4), хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцааг (Зураг 5) авч үзье.

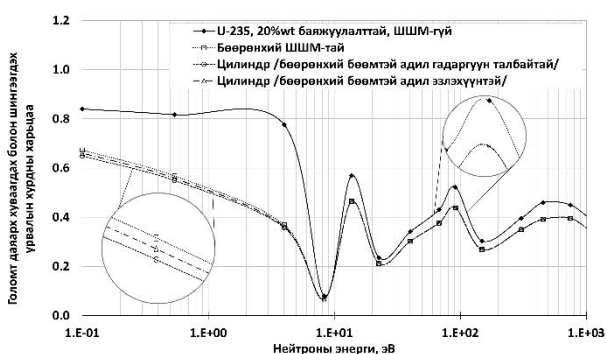


Зураг 4. Реактор ажиллаж эхлэх үеийн голомт даяарх нейтроны спектрт ялгаатай хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн нөлөө.

Зураг 4 дэх реактор ажиллаж эхлэх үеийн реакторын голомт даяарх нейтроны спектрээс харахад, бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ-ын

бөөмсийг агуулсан голомтын хувьд 0.1 эВ – 5 эВ энергитэй нейтроны урсгал нь цилиндр ШШМ-тай тохиолдлынхоос арай өндөр байна.

Харин зураг 5-аас харахад нейтроны 0.1 эВ – 6 эВ энергитэй мужид цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийг ашигласан голомтуудад нейтроныг шингээх ( $= (n,f)+(n,\alpha)+(n,\gamma)+(n,2n)+(n,p)+\dots$ ) урвалд харгалзах хуваагдлын хувь нь бөөрөнхий ШШМ-ын бөөмсийг ашигласан голомтынхоос бага байна. Өөрөөр хэлбэл, реактор ажиллаж эхлэх үед бөөрөнхий ШШМ-тай голомтод нейтрон шингээгдээд хуваагдал явагдах нь цилиндр ШШМ-тэй голомтуудаас илүү магадлалтай байна.

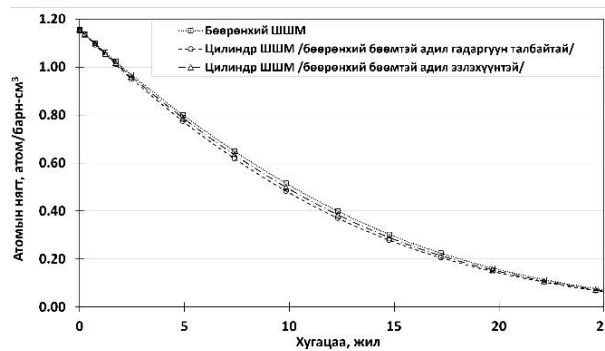


Зураг 5. Реактор ажиллаж эхлэх үеийн голомт даяарх хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцаа.

Хүснэгт 1-д харуулсанчлан, ШШМ-ын бөөмс нь голомтод ялгаатай хэмжээгээр буюу цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай) тохиолдолд түлшний үүрийн эзлэхүүний 7.6% бол бөөрөнхий болон цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй) хэлбэртэй тохиолдлуудад түлшний үүрийн эзлэхүүний 5.7% эзэлж байхаар тооцсон. Үүнийг ашиглан нэг түлшний үүрэнд байх ШШМ-ын бөөмсийн тоо, тэдгээрийн гадаргуугийн нийт талбай болон эзлэхүүнийг тооцож Хүснэгт 3-т өгөв. Адил гадаргуугийн талбайтай бөөрөнхий болон цилиндр бөөмийн эзлэхүүн ялгаатай байх учраас түлшний үүрэнд цаашилбал голомтод байх нийт бөөмсийн тоо нь ялгаатай болно. Харин адил эзлэхүүнтэй бөөрөнхий болон цилиндр бөөм ашиглах үед түлшний үүр дэх нийт бөөмийн тоо нь адилхан боловч нэгж бөөмийн гадаргуун талбай өөр учраас харилцан үйлчлэлцэх нийт гадаргуун талбай ялгаатай байна. Хүснэгт 3-аас харвал бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомтын хувьд түлшний үүрэнд

байгаа бөөмсийн тоо болон нийт гадаргуун талбай нь цилиндр тохиолдлуудтай харьцуулахад бага байна. Иймд бөөрөнхий ШШМ-ын бөөмс бүхий голомтод үүссэн нейтрон ШШМ-д шингээгдэх урвал харьцангуй цөөн, харин хуваагдагч цөмтэй харилцан үйлчилцэж хуваагдал явуулах тул хурд харьцангуй өндөр байна. Энэ нь уг реакторын ажиллаж эхлэх үеийн  $K_{эф.0}$ -ийн утга цилиндр ШШМ-тэй голомтын тохиолдлуудаас өндөр байх нөхцөл болж байна.

Зураг 6-д эдгээр голомтын ШШМ-ын бөөмс дэх  $^{10}B$  изотопын атомын нягтын өөрчлөлтийг харуулав. Зураг 6-аас харвал бөөрөнхий ШШМ-тай голомтын  $B_4C$  бөөмсд нейтроны шингээлт бага явагдсан тул энэ голомт дэх  $^{10}B$  изотопын зарцуулагдсан хувь хэмжээ болон зарцуулагдах хурд нь цилиндр хэлбэрийн ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомтынхтой харьцуулахад бага байна.



Зураг 6. Реактор ажиллаж байх хугацааны туршид  $^{10}B$ -ийн атомын нягтын өөрчлөлтөд ялгаатай хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн нөлөө.

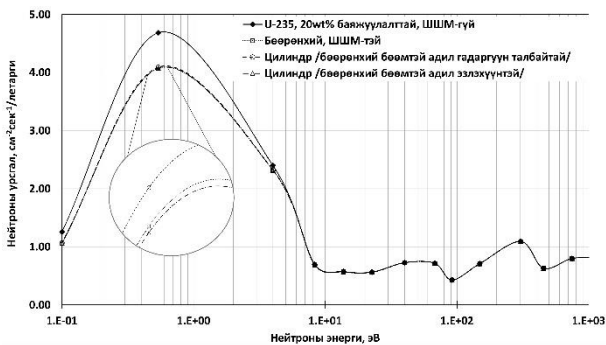
Хүснэгт 3. Түлшний үүр дэх ШШМ-ын хэмжээ.

Түлшний үүр дэх ШШМ-ын нийт эзлэхүүн, см <sup>3</sup>	Нийт бөөмсийн тоо	Нийт гадаргуун талбай, см <sup>2</sup>
<b>Бөөрөнхий ШШМ</b>		
<b>14.08</b>	3360800	4.22E+03
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай/ ШШМ</b>		
<b>18.77</b>	5974755	7.50E+03
<b>Цилиндр /бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй/ ШШМ</b>		
<b>14.08</b>	3360800	5.12E+03

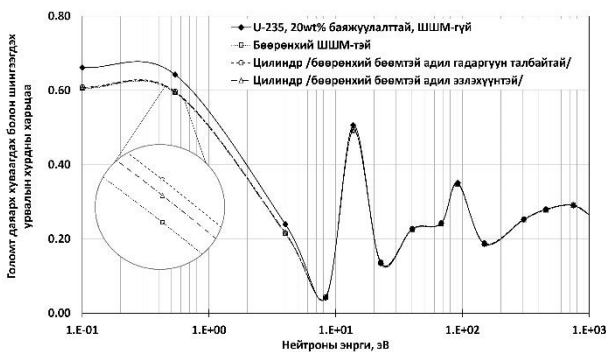
Ингэснээр дараагийн хуваагдлыг явуулах учиртай дулааны энергитэй нейтронуудыг бөөрөнхий ШШМ харьцангуй бага шингээж,

харин хуваагдагч изотопд шингээгдэж хуваагдал явуулснаар илүү олон нейтрон үүсгэсэн тул Зураг 4-д харуулснаар удаан нейтроны урсгал арай их байж, мөн Хүснэгт 2 ба Зураг 3-т харуулснаар  $k_{эфф,0}$  их гарсан байна. Түүнчлэн, цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмстэй үед тэдний эзлэхүүн болон гадаргуугийн нийт талбай нь арай их байх тул бөөрөнхий тохиолдолтой харьцуулахад  $^{10}\text{B}$  изотоп арай их хурдаар зарцуулагдсан байна. Цилиндр хэлбэрийн ШШМ-тай тохиолдлуудаас, бөөрөнхий хэлбэртэй, адил нэгж гадаргуугийн талбайтай үед нийт бөөмсийн тоо олон байж, эзлэхүүн болон гадаргуугийн нийт талбай их байгаа тул  $^{10}\text{B}$  изотопын зарцуулагдсан хувь хэмжээ болон зарцуулагдах хурд нь их байна. Тиймээс энэ тохиолдолд удаан нейтроны урсгал болон реактор ажиллаж эхлэх үеийн  $k_{эфф,0}$  бусад тохиолдолтой харьцуулахад бага байна.

Одоо реактор ажиллаж дуусах үеийн голомт даяарх нейтроны спектр (Зураг 7), хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцааг (Зураг 8) авч үзье.



Зураг 7. Реактор ажиллаж дуусах үеийн голомт даяарх нейтроны спектрт ялгаатай хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн нөлөө.



Зураг 8. Реактор ажиллаж дуусах үеийн голомт даяарх хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцаа.

Зураг 7-оос харахад реактор ажиллаж дуусах үеийн голомт даяарх нейтроны спектр нь цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай) хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомтын хувьд 0.1 эВ – 5 эВ энергитэй мужид нейтроны урсгал нь бөөрөнхий болон цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй) ШШМ-тай голомтуудынхаас үл ялиг өндөр байна. Харин Зураг 8-аас харахад нейтроны 0.1 эВ – 6 эВ энергитэй мужид цилиндр хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийг ашигласан голомтуудад нейтроныг шингээх болон хуваагдах урвалын хурдны харьцаа нь бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ-тай бөөмс агуулсан голомтынхоос мөн их байна. Энэ нь цилиндр голомтуудын хувьд ШШМ-тай бөөмсийн тоо болон эзлэхүүн, гадаргуун талбайн хэмжээ нь бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ агуулсан голомтынхоос их учраас хугацааны эхэн үед нейтронтой илүү их харилцан үйлчлэл хийж шатан хорогдсоноор хугацаа өнгөрөх тусам голомтод байх нийт ШШМ-ын хэмжээ буурсан нь Зураг 6-аас харагдаж байна. Тиймээс голомтод байх цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай) хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсийн хэмжээ буурснаас хамаарч илүү олон хуваагдал явагдсан тул Зураг 7 болон Зураг 8-д харуулснаар цилиндр голомтын нейтроны урсгал, хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцаа үл ялиг их байж, Зураг 3-т харуулснаар  $k_{эфф}$  ихэсч, бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ агуулсан голомтынхоос реакторын ажиллах хугацаа 0.8 жил, түлшний шаталтын хэмжээ 3.2 ГВт·хоног/тн ихэссэн байна.

Реактор ажиллах хугацааны туршид голомт дахь  $^{235}\text{U}$  изотопын хэмжээ хугацаа өнгөрөх тусам буурах ба реактор ажиллаж эхлэх үед 20% баяжуулалттай  $^{235}\text{U}$  изотопын атомын нягтыг 0.05166 (атом/барн-см<sup>3</sup>) буюу үүнийг 100% гэж үзвэл хугацаа өнгөрөх тусам түлш шатсанаар нэгж эзлэхүүнд байх хуваагдагч изотопын атомын тоо буурах ба Хүснэгт 4-т ШШМ-гүй, ШШМ-тай голомт дэх  $^{235}\text{U}$  изотопын атомын нягтын өөрчлөлтийг харьцуулав.

Хүснэгт 4-өөс харахад бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмс ашигласан голомтын хувьд эхний таван жилийн хугацаанд  $^{235}\text{U}$  изотопын зарцуулагдаад үлдсэн хэмжээ нь цилиндр ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомттой

харьцуулахад арай бага байгаа бол үүнээс хойших хугацааны туршид цилиндр хэлбэртэй ШШМ-тай бөөмс агуулсан голомтуудад их байна.

Хүснэгт 4.  $^{235}\text{U}$  изотопын атомын нягт.

Хугацаа, жил				
0	5	10	15	20
Атомын нягт, атом/барн-см <sup>3</sup>				
<b><math>^{235}\text{U}</math> 20%wt баяжуулалттай, ШШМ-гүй</b>				
0.05166	0.045277	0.03935	0.03379	0.02856
100%	87.64%	76.18%	65.41%	55.28%
<b>Бөөрөнхий ШШМ-тай</b>				
0.05166	0.045253	0.039429	0.03405	0.02905
100%	87.599%	76.32%	65.92%	56.23%
<b>Цилиндр /бөөрөнхийтэй ижилхэн гадаргуун талбайтай/</b>				
0.05166	0.045252	0.039443	0.03409	0.02909
100%	87.597%	76.35%	65.99%	56.32%
<b>Цилиндр /бөөрөнхийтэй ижилхэн эзлэхүүнтэй/</b>				
0.05166	0.045253	0.039432	0.03407	0.02907
100%	87.598%	76.33%	65.94%	56.27%

Үүний шалтгаан нь түлшний үүрэнд байгаа бөөрөнхий ШШМ-ын бөөмсийн тоо болон гадаргуун талбайн хэмжээ нь цилиндр ШШМ-ын бөөмс агуулсан голомтуудтай харьцуулахад бага байгаатай холбоотой. Үүнээс гадна реактор ажиллаж эхэлснээс хойш эхний 10-н жил хүртэлх хугацаанд ШШМ-ын зарцуулагдах хурд нь бөөмсийн тоо болон гадаргуун талбайн (Хүснэгт 3) хэмжээнээс хамаарч байсан учраас реактор ажиллаж эхлэх үеийн нейтроны спектр (Зураг 4), хуваагдах болон шингээгдэх урвалын хурдны харьцаа (Зураг 5) их гарсан. Үүнээс хойших хугацааны туршид бөөрөнхий хэлбэртэй ШШМ-тай бөөмс агуулсан голомт болон цилиндр хэлбэртэй ШШМ-тай бөөмс агуулсан голомтууд дахь атомын нягтын зөрүү (Зураг 6) ихэссэн ба цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил гадаргуун талбайтай) хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмс эхэндээ их хурдтай хорогдсноор шатан шингээх хурд буурсан. Тиймээс реактор ажиллаж дуусах үеийн нейтроник үзүүлэлтүүд бусад голомтуудаас харьцангуй их гарсан боловч  $^{235}\text{U}$  изотопын зарцуулагдсан хэмжээ нь бөөрөнхий болон цилиндр (бөөрөнхий бөөмтэй адил эзлэхүүнтэй) голомтуудтай харьцуулахад бага байгаа нь Хүснэгт 4-т харуулсан  $^{235}\text{U}$  изотопын атомын нягтын өөрчлөлтөөс харагдаж байна.

ӨТХР-ын хувьд дээр дурдсанчлан голомтуудын ихэнх үзүүлэлтүүд адилхан ба гол

ялгаа нь гурван өөр хэлбэр, хэмжээтэй ШШМ-ын бөөмс юм. Тиймээс реакторын голомт даяарх нейтроны спектр болон урвалын хурдны харьцаа нь ШШМ-ын бөөмсийн хэлбэр, хэмжээнээс хамаарч өөрчлөгдсөн ба үүний үр дүнд реакторын нийт ажиллах хугацаа болон түлшний шаталтын хэмжээ голомт тус бүрд ялгаатай байна.

## ДҮГНЭЛТ

1. Энэ ажилд бөөрөнхий болон цилиндр хэлбэртэй нэг төрлийн, шатан шингээгч материал (В<sub>4</sub>С) агуулсан 100 МВт дулааны чадалтай, төвдөө ойлгогчтой, ӨТХР-ын голомтын критик байдлын болон түлшний шаталтын тооцооллыг гүйцэтгэв.
2. Цилиндр хэлбэртэй, ШШМ-тай бөөмсүүд нь бөмбөрцөг хэлбэртэй ШШМ-ын бөөмсүүдтэй харьцуулахад реакторын ажиллах хугацааны эхэн үед үүссэн илүүдэл реактивитиг сайн дарж, реакторын нийт ажиллах хугацаа болон түлшний шаталт ихэсч байна.
3. Бөөрөнхий хэлбэртэй харьцуулахад адил гадаргуун талбайтай, ялгаатай эзлэхүүнтэй цилиндр хэлбэрийн ШШМ хэрэглэхэд голомтын нейтроник үзүүлэлтүүд сайжирч байгаа нь ШШМ-ын бөөмсийн тоо болон нийт гадаргуун талбайн хэмжээ, эзлэхүүн ихэссэнтэй холбоотой байна.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлын бүх тооцооллыг МУИС-ийн Цөмийн Физикийн Судалгааны Төвд байрлах МИНАТО-СЕРВЕР дээр хийж гүйцэтгэв. Мөн энэхүү ажил нь “Монголд тохиромжтой дэвшилтэт цөмийн реакторын харьцуулсан судалгаа” сэдэвт төслийн хүрээнд хийгдсэн бөгөөд санхүүжүүлсэн БШУЯ, Шинжлэх ухаан, технологийн санд талархал илэрхийлье.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] John.R. Lamarsh, Anthony J. Baratta. Introduction to Nuclear Engineering. Third edition. 2001
- [2] С. Одмаа, Т. Жамъянсүрэн, Н. Норов. Задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай, төвдөө ойлгогчтой, өндөр температурын хийн хөргөлттэй реакторын

- голомтын дизайны судалгаа. МУИС, Физик.25(478) 2017, 34-40.
- [3] Т. Жамъянсүрэн, С. Одмаа. Жигд бус голомттой, цагираган өндөр температурын хийн хөргөлттэй реакторын нейтроник анализ. МУИС, Физик.27(495) 2018, 44-50
- [4] Nagaya Y et al. MVP/GMVP II: general-purpose Monte Carlo code for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods. JAERI-1348. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute; 2005.
- [5] Okumura K et al. MVP-BURN user's manual. Japan: Atomic Energy Agency; 2005.
- [6] Go. Chiba, Keisuke Okumura, Kazuteru Sugino, Yasunobu Nagaya, Kenji Yokoyama, Teruhiko Kugo, Makoto Ishikawa and Shigeaki Okajima. JENDL-4.0 Benchmarking for Fission Reactor Applications. Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 48, No 2. p.172-182.