

# Цөмийн өгөгдлийн JENDL-3.3 болон JENDL-4.0 санг ашигласан үр дүнгийн харьцуулалт

Т.Жамъянсүрэн<sup>a</sup>, С. Одмаа<sup>a,b,\*</sup>

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

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

Судалгааны ажлаар Дорнод аймагт байрлах Улааны полиметаллын ордын цөөн дээжид нейтрон идэвхжлийн болон рентгенфлуоресценцийн шинжилгээгээр үндсэн элементээс гадна ховор шорооны, мөн үнэт металл тодорхойлох зорилго тавин ажиллав. Нейтрон идэвхжлийн шинжилгээний туршилт хэмжилтийг ОХУ-д байрлах ЦШНИ-ийн Цөмийн урвалын лабораторийн электроны хурдасгуур МТ-25 микротрон, гамма спектрометрийн системийг ашиглан хийсэн ба рентгенфлуоресценцийн шинжилгээг МУИС-ийн ЦФСТ – ийн рентген спектрометр дээр хийж гүйцэтгэв. Хэмжилтээр полиметаллын хүдрийн дээжид үндсэн элементээс гадна Sc, Y, La, Ce, Eu, Nd зэрэг ховор шорооны элемент, алт 0.05 – 1 ppm, уран 200 – 500 ppm, тори 10 – 90 ppm агуулгатай гарсан нь сонирхол татахуйц үр дүн юм. Судалгааг цааш үргэлжлүүлэн шинжилгээний бусад аргаар элементийн агуулгыг нарийвчлан тогтоох, бүтээгдэхүүний өртгийг нэмэгдүүлэх боломжтой харагдав. Энэхүү судалгааны ажлыг “Цөмийн цацрагийн хэрэглээ” сэдэвт ажлын хүрээнд хийж гүйцэтгэв.

## I. ОРШИЛ

Бид өмнөх судалгааны ажлууддаа реакторыг амжилттай унтраасны дараа голомтонд хуримтлагдсан хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн задралаас үүсэх дулааныг идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай, голомтын төвдөө нэг блокон ойлгогчтой, 100 МВт дулааны чадалтай, 850°C температурт ажиллах, призм төрлийн өндөр температурын хийн хөргөлттэй реакторын (ӨТХР) дизайныг хийж, критик байдлын болон түлшний шаталтын тооцооллыг гүйцэтгэсэн [1-3]. Эдгээр нейтроник тооцооллыг Японы Атомын энергийн Агентлагаас хөгжүүлсэн нейтроны тасралтгүй энергийн мужид болох шилжилтийг Монте Карло аргаар тооцоолдог MVP2.0 [4] болон MVP-BURN [5] компьютерийн кодуудыг, цөмийн урвалын өгөгдлийн сан JENDL-3.3 [6]-ийн хамт ашиглан хийсэн. Бид тооцооллын үр дүнгээ Одмаа, Обара нар [7]-ын гүйцэтгэсэн ажлынхтай харьцуулсан ба уг ажилд JENDL4.0 [8] өгөгдлийн санг ашигласан байдаг. Манай төв энэ сангийн шинэ хувилбарыг хараахан авч амжаагүй байсан тул хуучин (JENDL3.3) санг ашиглан тооцооллоо гүйцэтгэсэн.

Энэ удаа өмнөх [1-3] ажилд авч үзсэн 100 МВт-ийн ӨТХР-ийн голомтын дизайны нейтроник тооцооллыг JENDL-4.0 санг ашиглан гүйцэтгэж, үр дүнг харьцуулав.

## II. ТООЦООЛЛЫН АРГА ЗҮЙ

Төвдөө ойлгогчтой, призм төрлийн, ӨТХР-ийн голомтыг түлшний эвлүүлгийн, удирдлагын савааны, ойлгогчийн гэсэн гурван өөр дизайнтай, зургаан өнцөгт призмэн блокууд бүрдүүлэх ба эдгээрийг давхарлан өрж цилиндр хэлбэр үүсгэнэ. Өмнөх ажлуудад [1-3] призм төрлийн 100 МВт-ийн дулааны чадалтай, 2.49 м голомтын эффектив радиустай, 6.38 м өндөртэй, төвийн ойлгогчийн радиус 0.18 м, голомтын дундаж чадлын нягт 0.82 Вт/см<sup>3</sup> байх, 20% баяжуулсан UO<sub>2</sub> бүхий TRISO түлш ашигласан ӨТХР-ийн голомтын нейтроник тооцооллыг JENDL-3.3 өгөгдлийн санг ашиглан гүйцэтгэсэн. Энэхүү ажилд дээрх реакторын голомтын параметр болон ажиллах нөхцлийг өөрчлөхгүйгээр JENDL-4.0 санг ашиглан нейтроник тооцооллыг дахин гүйцэтгэсэн. Тооцоололд бүх удирдлагын савааг голомтоос гарган, үүсэх орон зайг гелийн хийгээр дүүргэсэн тохиолдолд гүйцэтгэсэн. MVP2.0 кодоор реакторын голомт дэх нейтрон үржүүлэгч эффектив фактор ( $k_{эфф}$ )-ыг тооцоолохдоо голомт дотор үүссэн нейтонуудын санамсаргүй алхалтуудыг тооцоолохын тулд тэдний мөрийн уртыг үнэлэх, мөргөлдөөний нягтыг үнэлэх, болон аналог үнэлэгч гэсэн үндсэн гурван факторыг тооцон үзэж хамгийн их магадлалтай утгаар тооцдог [4]. Монте Карло арга нь голомтод үүссэн

\* Electronic address: odmaa@seas.num.edu.mn

нейтроноор үүсэх харилцан үйлчлэлийн процессуудын санамсаргүй үзэгдлийг үнэлдэг тул тооцооллыг хамгийн оновчтой болгох нөхцлийг бодлого тус бүрт тогтоох шаардлагатай байдаг. Манай голомтын тооцооллын хувьд реакторт үүссэн нэг нейтрон 50000 ялгаатай харилцан үйлчлэл (түүхийн тоо=50000) хийнэ, нийтдээ хуваагдлын 100 нейтрон (хуваагдлын нейтроны тоо=100)-ийн санамсаргүй харилцан үйлчлэлийг авч үзэхээр тооцооллыг гүйцэтгэсэн. Статистик боловсруулалтын үр дүнг сайжруулахын тулд эхний 20 нейтроны харилцан үйлчлэлийг тооцоогүй болно. Манай голомтын тооцооллын хувьд реакторт үүссэн нэг нейтрон 100000 ялгаатай харилцан үйлчлэл (түүхийн тоо=100000) хийнэ, нийтдээ хуваагдлын 100 нейтрон (хуваагдлын нейтроны тоо=100)-ийн санамсаргүй харилцан үйлчлэлийг авч үзэхээр тооцооллыг гүйцэтгэсэн. Статистик боловсруулалтын үр дүнг сайжруулахын тулд эхний 20 нейтроны харилцан үйлчлэлийг тооцоогүй болно.

### III. ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

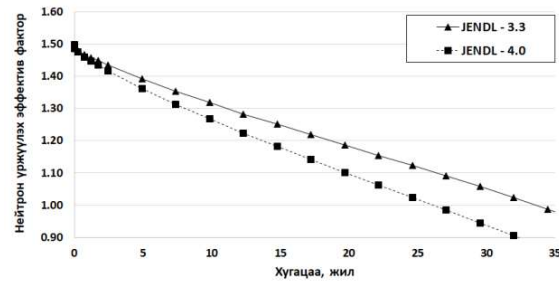
Тооцооллын үр дүнг Хүснэгт 1 болон Зураг 1-д харьцуулан харуулав. Үр дүнгээс харахад JENDL-4.0 урвалын сангийн өгөгдлийг ашиглахад реактор ажиллаж эхлэх үеийн  $k_{эф}$  утга нь 0.03% илүү, реактивити 0.01-ээр буурсан байна, харин голомтын нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа болон түлшний шаталт багассан байна.

Хүснэгт 1. ӨТХР-ийн голомтын нейтроник анализын үр дүн цөмийн өгөгдлийн сангаас хамаарах нь.

| Цөмийн өгөгдлийн сан | $k_{эф,0}$ (алдаа %) | ХИУ $\Delta k/k$ (%) | $t_{голомт}$ (жил) | $V_{түлш,t}$ (ГВт*хоног/тн) |
|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|
| JENDL-3.3            | 1.4972 (0.01)        | 33.21                | 33.6               | 135.0                       |
| JENDL-4.0            | 1.4974 (0.01)        | 33.22                | 26.4               | 106.0                       |

Тайлбар:

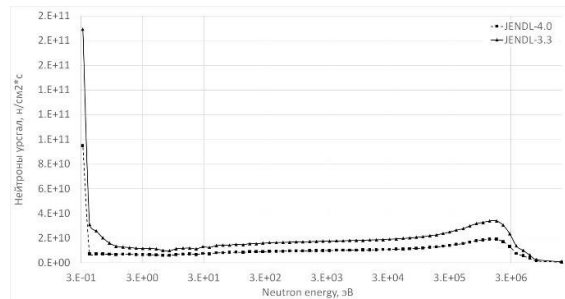
|                  |  |
|------------------|--|
| $k_{эф,0}$ алдаа | Реактор ажиллаж эхлэх үеийн $k_{эф}$ статистик хазайлт |
| ХИУ $\Delta k/k$ | Реактивитийн хамгийн их утга                           |
| $t_{голомт}$     | Голомт дэх түлшний нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа       |
| $V_{түлш,t}$     | Нэг циклийн төгсгөлд түлшний шаталт                    |



Зураг 1. Цөмийн өгөгдлийн сангаас хамаарч нейтрон үржүүлэх эффектив фактор нь голомтын ажиллах хугацаанаас өөрчлөгдөх нь.

Цөмийн урвалын өгөгдлийн сангаас хамааран нейтроник үзүүлэлтүүд өөрчлөгдөж байгааг тайлбарлая.

JENDL 4.0 санд түлш шатсанаар голомтод үүсэх голлох болон минор актиноидууд, хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн хөндлөн огтлолыг шинээр үнэлсэн, мөн 30 хуваагдлын болон 39 хүнд масстай изотопын урвалын огтлол шинээр нэмэгдэж орж ирсэн [8, 9]. Зураг 2-т голомт даяарх нейтроны урсгалыг JENDL-3.3, -4.0 өгөгдлийн санг ашиглан тооцоолсон үр дүнг харуулав.

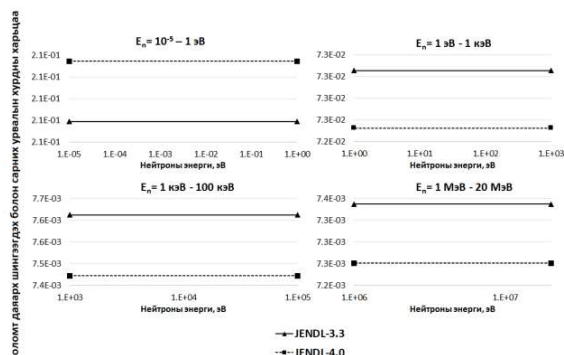


Зураг 2. Голомт даяарх нейтроны урсгал цөмийн урвалын өгөгдлийн сангаас хамаарах нь.

Зураг 2-оос харахад дээр өгүүлсэнчлэн JENDL 4.0 санд нейтрон шингээгч олон изотопыг шинээр тооцсон учраас нейтроны урсгал нейтроны энергийн бүх мужид багассан байна. Одоо хоёр өгөгдлийн санд авч үзсэн зарим изотопуудад явагдах голомт даяарх цөмийн урвалын хурдыг авч үзье.

Реактор ажиллаж эхлэх үед голомт дэх бүх цөмд нейтрон шингээгдэх (шингээгдэх = хуваагдал (n,f) + залгих (n,γ)) болон сарних урвалын хурдны харьцааг нейтроны энергийн дөрвөн мужид Зураг 3-д харуулав. Зургаас харахад реактор ажиллаж эхлэх үед цөмийн өгөгдлийн сан JENDL-4.0 дэх изотопуудад дулааны нейтрон шингээгдэх болон сарних урвалын хурдны харьцаа JENDL-3.3-ээс харьцангуй их, бусад нейтроны тохиолдол эсрэгээрээ байна.

ӨТХР нь дулааны реактор учраас Хүснэгт 1-д харуулснаар нейтрон үржүүлэх эффектив фактор нь JENDL-4.0 санг ашиглан тооцоолоход 0.03% илүү гарч байна.



Зураг 3. Реактор ажиллаж эхлэх үеийн цөмийн өгөгдлийн урвалын сангуудаас хамаарсан голомт даяар нейтрон шингээгдэх болон сарних урвалын хурдуудын харьцаа.

Реактор ажиллаж эхлэх үед голомт дахь ураны гол изотопуудын хуваагдах болон залгих (n,γ) урвалын хурдны харьцааг JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулан тооцсон үр дүнг Хүснэгт 2-т харуулав. Хүснэгтээс харахад JENDL 4.0 санд U<sup>235</sup>-ийн хуваагдах урвалын хурдууд бүх энергийн мужид, харин залгих урвалын хурд нь бага энергийн мужид JENLD 3.3-ийнхтэй адил, U<sup>238</sup>-ийн хувьд бүх энергийн мужид (1-20 МэВ-ээс бусад) хуваагдах урвалын хурд ихэсч, залгих урвалын хурд адил байна.

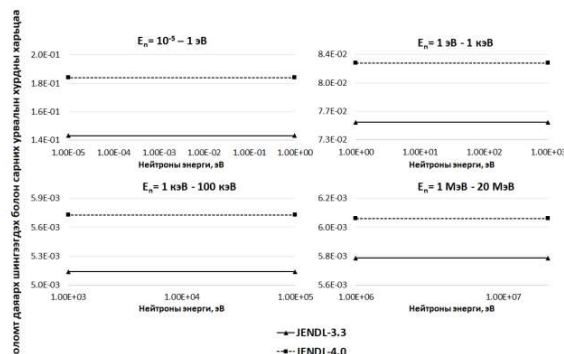
Цөмийн урвалын өгөгдлийн дээрх хоёр санд U<sup>235</sup> хуваагдагч цөмийн хуваагдах болон залгих урвалын огтлол адилхан, харин JENDL 4.0 санд авч үзсэнээр U<sup>238</sup> хуваагдахуйц цөмийн залгих урвалын огтлол багасч, хуваагдах урвалын огтлол ихэссэн байсан [8]. Иймд Зураг 4-д харуулснаар JENDL 4.0 санд бага энергийн мужид шингээгдэх буюу хуваагдах урвал илүү явагдсан тул Хүснэгт 1-д үзүүлсэн реактор ажиллаж эхлэх үеийн нейтрон үржүүлэгч эффектив факторын утга бага зэргийн өндөр гарсан байна.

Хүснэгт 2. Реактор ажиллаж эхлэх үед U<sup>235</sup>, U<sup>238</sup>-ийн хуваагдах урвалын хурд (R<sub>f</sub>) болон залгих (n,γ) урвалын хурдыг (R<sub>c</sub>) JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулсан үр дүн.

| Нейтроны энергийн муж   | Реактор ажиллаж эхлэх үед                           |                  |   |                  |
|-------------------------|---|------------------|---|------------------|
|                         | R <sub>f</sub> (JENDL3.3)/R <sub>f</sub> (JENDL4.0) |                  | R <sub>c</sub> (JENDL3.3)/R <sub>c</sub> (JENDL4.0) |                  |
|                         | U <sup>235</sup>                                    | U <sup>238</sup> | U <sup>235</sup>                                    | U <sup>238</sup> |
| 10 <sup>-5</sup> – 1 эВ | 1.00  | 0.70             | 1.00  | 1.01             |
| 1 эВ – 1 кэВ            | 1.00  | 0.76             | 1.01  | 1.00             |

|                 |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|
| 1 кэВ – 100 кэВ | 1.00 | 0.55 | 1.14 | 1.00 |
| 100 кэВ -1 МэВ  | 1.00 | 0.98 | 0.98 | 0.99 |
| 1 МэВ – 20 МэВ  | 1.01 | 1.00 | 1.05 | 0.99 |

Реактор ажиллаж дуусах үед голомт дэх бүх цөмд нейтрон шингээгдэх болон сарних урвалын хурдны харьцааг нейтроны энергийн дөрвөн мужид Зураг 5-д харуулав.



Зураг 5. Реактор ажиллаж дуусах үеийн цөмийн өгөгдлийн урвалын сангуудаас хамаарсан голомт даяар нейтрон шингээгдэх болон сарних урвалын хурдуудын харьцаа.

Зургаас харахад JENDL3.3 сангай харьцуулахад JENLD4.0 сан дэх изотопуудад энергийн бүх мужийн нейтронүүд арай их шингээгдэж байна. Реактор ажиллаж дуусах үед голомт дахь ураны изотопуудын хуваагдах болон залгих (n,γ) урвалын хурдны харьцааг JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулан тооцсон үр дүнг Хүснэгт 3-д харуулав.

Хүснэгт 3. Реактор ажиллаж дуусах үед U<sup>235</sup>, U<sup>238</sup>-ийн хуваагдах урвалын хурд (R<sub>f</sub>) болон залгих (n,γ) урвалын хурдыг (R<sub>c</sub>) JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулсан үр дүн.

| Нейтроны энергийн муж   | Реактор ажиллаж дуусах үед                          |                  |   |                  |
|-------------------------|---|------------------|---|------------------|
|                         | R <sub>f</sub> (JENDL3.3)/R <sub>f</sub> (JENDL4.0) |                  | R <sub>c</sub> (JENDL3.3)/R <sub>c</sub> (JENDL4.0) |                  |
|                         | U <sup>235</sup>                                    | U <sup>238</sup> | U <sup>235</sup>                                    | U <sup>238</sup> |
| 10 <sup>-5</sup> – 1 эВ | 0.93  | 0.94             | 0.93  | 1.36             |
| 1 эВ – 1 кэВ            | 0.71  | 0.76             | 0.72  | 1.03             |
| 1 кэВ – 100 кэВ         | 0.70  | 0.54             | 0.79  | 0.99             |
| 100 кэВ -1 МэВ          | 0.70  | 0.96             | 0.72  | 0.97             |
| 1 МэВ – 20 МэВ          | 0.70  | 0.99             | 0.73  | 0.98             |

Хүснэгт 3-ийг харвал JENDL4.0 санг ашиглахад нейтроны энергийн бүх мужид U<sup>235</sup> изотопын хуваагдах болон залгих урвалын хурд ихэсч, U<sup>238</sup> изотопын хувьд нейтроны энергийн бүх мужид хуваагдах энергийн хурд ихэсч, харин бага энергийн мужид залгих урвалын хурд буурсан байна. Энэ нь реактор ажиллаж эхлэх үеийнхээс (Хүснэгт 2) өөр байгаа нь түлш шатсанаар голомтод нейтроноор хуваагдах болон залгих

огтлол өндөртэй голлох болон минор актиноидууд, хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд байдаг. JENDL 4.0-д JENLD 3.3-ийг бодвол 69-оор олон изотопууд нейтрон шингээж байгаа тул ураны хоёр изотопд шингээгдэж урвал явуулах нейтроны хэмжээ цөөрснөөр харгалзах урвалын хурд багассан байна.

Реактор ажиллаж дуусах үед голомт дахь минор актиноидын изотопуудын хуваагдах болон залгих ( $n, \gamma$ ) урвалын хурдны харьцааг, харин зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүний залгих урвалын хурдны харьцааг JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулан тооцсон үр дүнг Хүснэгт 4, 5-д харуулав.

*Хүснэгт 4. Реактор ажиллаж дуусах үед минор актиноидуудын хуваагдах урвалын хурд ( $R_f$ ) болон залгих ( $n, \gamma$ ) урвалын хурдыг ( $R_c$ ) JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулсан үр дүн.*

| Нейтроны энергийн муж   | $R_f(\text{JENDL3.3})/R_f(\text{JENDL4.0})$ |                   |                   |                   | $R_c(\text{JENDL3.3})/R_c(\text{JENDL4.0})$ |                   |                   |                   |
|-------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
|                         | Pu <sup>239</sup>                           | Np <sup>237</sup> | Am <sup>241</sup> | Cm <sup>242</sup> | Pu <sup>239</sup>                           | Np <sup>237</sup> | Am <sup>241</sup> | Cm <sup>242</sup> |
| 10 <sup>-5</sup> – 1 эВ | 1.14  | 1.85              | 1.64              | 2.05              | 1.14  | 1.78              | 1.36              | 1.52              |
| 1 эВ – 1 кэВ            | 0.88  | 1.45              | 1.17              | 1.16              | 0.89  | 1.38              | 1.08              | 1.13              |
| 1 кэВ – 100 кэВ         | 0.86  | 1.71              | 1.09              | 1.36              | 0.89  | 1.52              | 1.24              | 0.82              |
| 100 кэВ – 1 МэВ         | 0.84  | 1.41              | 1.11              | 1.42              | 0.89  | 1.37              | 1.13              | 0.74              |
| 1 МэВ – 20 МэВ          | 0.85  | 1.44              | 1.13              | 1.39              | 0.84  | 1.32              | 1.50              | 0.91              |

Реактор ажиллаж дуусах үед үүссэн минор актиноидуудын атомын нягтын харьцааг Хүснэгт 5-д харуулав.

*Хүснэгт 5. Реактор ажиллаж дуусах үед минор актиноидуудын атомын нягт (атом/барн-см) JENDL-3.3 ба -4.0 сангаас хамаарах нь.*

| Минор актиноид | JENDL-3.3 | JENDL-4.0 | JENDL-3.3/JENDL-4.0 |
|----------------|-----------|-----------|---------------------|
| Np237          | 4.04E-03  | 2.88E-03  | 1.41                |
| Pu239          | 1.09E-02  | 1.31E-02  | 0.83                |
| Am214          | 1.08E-03  | 9.86E-04  | 1.09                |
| Cm-242         | 1.03E-04  | 1.03E-04  | 1.00                |

Хүснэгт 4-д минор актиноидуудын (Pu<sup>239</sup>-оос бусад) хуваагдах урвалын хурд нь нейтроны энергийн бүх мужид JENDL 4.0 санг ашигласан тохиолдолд буурсны шалтгаан бол уг санд эдгээрийн хуваагдах урвалын огтлол багассан [8], мөн Зураг 1-д үзүүлснээр нейтроны урсгал буурсан, Хүснэгт 5-д харуулснаар атомын нягт цөөрсөнтэй холбоотой. Харин JENDL 4.0 санд минор актиноидын залгих урвалын огтлол их ч, Зураг 1-д харуулсан нейтроны урсгал болон Хүснэгт 5 дэх атомын нягт буурсан учраас

Хүснэгт 4-д харуулснаар залгих урвалын хурд нь багассан байна.

Реактор ажиллаж дуусах үед голомт дахь зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн залгих ( $n, \gamma$ ) урвалын хурдны харьцааг JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулан тооцсон үр дүнг Хүснэгт 6-д, атомын нягтын харьцааг Хүснэгт 7-д харуулав.

*Хүснэгт 6. Реактор ажиллаж дуусах үед зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн залгих ( $n, \gamma$ ) урвалын хурдыг ( $R_c$ ) JENDL-3.3 ба -4.0 санг ашиглан нейтроны энергийн мужаас хамааруулсан үр дүн.*

| Нейтроны энергийн муж   | $R_c(\text{JENDL3.3})/R_c(\text{JENDL4.0})$ |                  |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------|---|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                         | Zr <sup>95</sup>                            | I <sup>135</sup> | Xe <sup>135</sup> | Sm <sup>149</sup> | Eu <sup>155</sup> | Gd <sup>157</sup> |
| 10 <sup>-5</sup> – 1 эВ | 1.33  | 1.32             | 1.29              | 1.05              | 1.80              | 1.40              |
| 1 эВ – 1 кэВ            | 0.99  | 1.03             | 0.97              | 0.76              | 1.54              | 0.87              |
| 1 кэВ – 100 кэВ         | 0.99  | 1.00             | 1.87              | 0.82              | 1.52              | 0.92              |
| 100 кэВ – 1 МэВ         | 1.15  | 0.99             | 2.26              | 0.78              | 1.66              | 0.91              |
| 1 МэВ – 20 МэВ          | 0.93  | 1.00             | 3.09              | 0.67              | 2.90              | 1.01              |

*Хүснэгт 7. Реактор ажиллаж дуусах үед зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн атомын нягт (атом/барн-см) JENDL-3.3 ба -4.0 сангаас хамаарах нь.*

| Хуваагдлын бүтээгдэхүүн | JENDL-3.3 | JENDL-4.0 | JENDL-3.3/JENDL-4.0 |
|-------------------------|-----------|-----------|---------------------|
| Zr-95                   | 1.08E-04  | 1.13E-04  | 0.96                |
| I-135                   | 5.13E-07  | 5.21E-07  | 0.99                |
| Xe-135                  | 5.98E-07  | 6.44E-07  | 0.93                |
| Sm-149                  | 1.58E-05  | 2.17E-05  | 0.73                |
| Eu-155                  | 4.50E-05  | 3.13E-05  | 1.44                |
| Gd-157                  | 8.67E-07  | 9.49E-07  | 0.91                |

Хүснэгт 6-д үзүүлсэн зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүний залгих урвалын хурд нь JENDL 4.0 санг ашигласан тохиолдолд буурсны шалтгаан бол хэдийгээр уг санд эдгээрийн залгих урвалын огтлол бараг өөрчлөгдөөгүй [8] ба Хүснэгт 5-д харуулснаар атомын нягт ихэссэн ч, Зураг 1-д үзүүлснээр голомт даяарх нейтроны урсгал хоёр эрэмбээр буурсантай холбоотой юм. Иймд JENDL4.0 санд нейтрон шингээгч изотоп олныг нэмж оруулснаар голомт даяар нейтроны урсгал багассан (Зураг 1) тул U<sup>235</sup>-ийн хуваагдах хурд буурснаар (Хүснэгт 3) JENDL 3.3 санг ашигласантай харьцуулбал шаталт 29 ГВт\*хоног/тн-оор, голомтын ажиллах хугацаа ойролцоогоор 7 жилээр богиносход хүргэж байна.

**ДҮГНЭЛТ**

1. Энэ ажилд 100 МВт чадлын, төвдөө нэг ойлгогчин блоктой, цагираган хийцтэй, призмэн ОТХР-ийн голомтын нейтроник тооцоолол болон түлшний шаталтын цөмийн урвалын өгөгдлийн JENDL -3.3, -4.0 санг ашиглан гүйцэтгэв.
2. JENDL 4.0 санд нейтроныг шингээгч 69 изотопыг шинээр тооцож авч үзсэнээр голомт даяарх нейтроны урсгал буурсныг харуулав.
3. JENDL 4.0 санг ашиглахад нейтроны бага энергийн мужид шингээгдэх (хуваагдах+залгих) урвалын хурд ихэссэн тул реактор ажиллаж эхлэх үед нейтрон үржүүлэх эффектив фактор 0.03%-иар ихэссэн болохыг тогтоов.
4. Харин реактор ажиллаж дуусах үед JENDL 4.0 санг ашиглахад нейтроны энергийн бүх мужид шингээгдэх урвалын хурд ихэссэн ч,  $U^{235}$ -ийн хуваагдах урвалын хурд буурсан тул голомтын ажиллах хугацаа болон түлшний шаталт 29 ГВт\*хоног/тн-оор буурсаныг олов.

**НОМ ЗҮЙ**

- [1] Т.Жамъянсүрэн, С.Одмаа, Н.Норов, Б.Мөнхбат. Бага чадлын өндөр температурын хийн реакторын голомтын дизайны судалгаа. Залуу судлаачдын эрдэм шинжилгээний бага хурал. Байгалийн ухааны салбар. 2016.10.29. Хүрэлтогоот-2016 эрдэм шинжилгээний хурлын эмхтгэл. Улаанбаатар. хх24-28.
- [2] S.Odmaa, T.Jamyansuren, O.Toru, N.Norov and B.Munkhbat. Design parameters in an annular, prismatic HTGR for passive decay heat removal. *Annals of Nuclear Energy*, 111 (2018) 441-448.
- [3] 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
- [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] K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, O. Iwamoto, J. Katakura, T. Fukahori, S. Chiba, A. Hasegawa, T. Murata, H. Matsunobu, T. Ohsawa, Y. Nakajima, T. Yoshida, A. Zukeran, M. Kawai, M. Baba, M. Ishikawa, T. Asami, T. Watanabe, Y. Watanabe, M. Igashiri, N. Yamamuro, H. Kitazawa, N. Yamano and H. Takano: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3," *J. Nucl. Sci. Technol.* 39, 1125(2002)
- [7] S.Odmaa and T.Obara. Neutronic and thermo-hydraulic analyses of a small, long-life HTGR for passive decay-heat removal. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 52, Issue 12, 2015, pp1519-1529. <http://dx.doi.org/10.1080/00223131.2015.1017546>
- [8] K. Shibata, O6 Iwamoto, T. Nakagawa, N. Iwamoto, A. Ichihara, S. Kunieda, S. Chiba, K. Furutaka, N. Otuka, T. Ohsawa, T. Murata, H. Matsunobu, A. Zukeran, S. Kamada, and J. Katakura: "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," *J. Nucl. Sci. Technol.* 48(1), 1-30(2011).
- [9] 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.