



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ

ИНЖЕНЕР, ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ

ХҮРЭЭЛЭН БУЙ ОРЧИН, ОЙН ИНЖЕНЕРЧЛЭЛИЙН ТЭНХИМ

## **ДАХИН БОЛОВСРУУЛСАН РЕТ ХУВАНЦРЫН БАЙГАЛЬ ОРЧИНД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ ТОДОРХОЙЛОХ АЖЛЫН ЭЦСИЙН ТАЙЛАН**

Захиалагч: М-Си-Эс Кока-Кола ХХК

Санхүүжүүлэгч: М-Си-Эс Кока-Кола ХХК

Гүйцэтгэгч : МУИС, ИТС, ХБООИТ

Улаанбаатар хот

2026

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
ИНЖЕНЕР, ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ  
ХҮРЭЭЛЭН БУЙ ОРЧИН, ОЙН ИНЖЕНЕРЧЛЭЛИЙН ТЭНХИМ

**ДАХИН БОЛОВСРУУЛСАН РЕТ ХУВАНЦРЫН  
БАЙГАЛЬ ОРЧИНД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ  
ТОДОРХОЙЛОХ АЖЛЫН ЭЦСИЙН ТАЙЛАН**

|                 |                                                                                                   |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Захиалагч:      | М-Си-Эс Кока-Кола ХХК                                                                             |
| Санхүүжүүлэгч:  | М-Си-Эс Кока-Кола ХХК                                                                             |
| Гүйцэтгэгч :    | МУИС, ИТС, ХБООИТ                                                                                 |
| Үндсэн судлаач: | Т.Энхдөл, Ph.D<br>Ц.Соёл-Эрдэнэ, Ph.D<br>С.Мишгээл, MSc<br>Б.Ариунсанаа, Ph.D<br>Д.Батсүрэн, Ph.D |

Улаанбаатар хот

2026

## ГАРЧИГ

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Товчилсон үгийн жагсаалт .....                                            | 4  |
| Хүснэгтийн жагсаалт .....                                                 | 5  |
| Зургийн жагсаалт .....                                                    | 5  |
| 1. Оршил .....                                                            | 6  |
| 1.1 Хуванцар үйлдвэрлэл ба хүрээлэн буй орчинд учруулах ачаалал .....     | 6  |
| 1.2 Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ (LCA).....                                | 8  |
| PET савны хувьд LCA яагаад зайлшгүй шаардлагатай вэ? .....                | 8  |
| 1.3 Анхдагч PET үйлдвэрлэл.....                                           | 9  |
| 1.4 Механик дахин боловсруулалт ба хүрээлэн буй орчны нөлөө .....         | 10 |
| 1.5 Системийн өргөтгөл буюу “зайлсхийсэн ачаалал”-ын математик загварчлал | 11 |
| PET-ийн жишээ .....                                                       | 12 |
| 1.6 Монгол дахь хуванцар хаягдлын нөхцөл байдал .....                     | 12 |
| 2. Судалгааны зорилго .....                                               | 14 |
| 3. Материалын түвшний харьцуулалт ба хамрах хүрээ .....                   | 15 |
| 3.1 Хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийг тооцоолох арга зүй .....         | 16 |
| 3.2 Хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийн харьцуулсан үр дүн.....          | 17 |
| 3.3 Дүгнэлт.....                                                          | 20 |
| 4. Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ ба хамрах хүрээ .....                      | 20 |
| 4.1 Амьдралын мөчлөгийн тооллого.....                                     | 22 |
| 4.2 Амьдралын мөчлөгийн нөлөөллийн үнэлгээ ба тайлбар .....               | 23 |
| 4.3 Дүгнэлт.....                                                          | 27 |
| 5. Зөвлөмж .....                                                          | 28 |
| Ашигласан ном зохиол .....                                                | 29 |

**Товчилсон үгийн жагсаалт**

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| ХХЯ             | Хүлэмжийн хийн ялгарал       |
| CO <sub>2</sub> | Нүүрсхүчлийн хий             |
| PE              | Полиэтилен                   |
| PP              | Полипропилен                 |
| PVC             | Поливинил хлорид             |
| PS              | Полистирол                   |
| PET             | Полиэтилен терефталат        |
| PTA             | Терефталийн хүчил            |
| EG              | Этилен гликоль               |
| LCA             | Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ  |
| EOL             | Ашиглалтын төгсгөлийн үе     |
| rPET            | Дахин боловсруулсан PET      |
| LCI             | Амьдралын мөчлөгийн тооллого |
| GWP             | Дэлхийн дулаарлын потенциал  |

## Хүснэгтийн жагсаалт

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Хүснэгт 1. Хуванцар үйлдвэрлэлийн гол үзүүлэлт .....                                          | 6  |
| Хүснэгт 2. Хуванцар хог хаягдлаас хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх боломжит сөрөг нөлөөллүүд. .... | 7  |
| Хүснэгт 3. Анхдагч PET үйлдвэрлэлд зарцуулагдах оролтууд .....                                | 10 |
| Хүснэгт 4. Механик дахин боловсруулалтын хүрээлэн буй орчны үзүүлэлт .....                    | 10 |
| Хүснэгт 5. Хуванцар хаягдлын өнөөгийн нөхцөл байдал.....                                      | 14 |
| Хүснэгт 6. Тооцоололд ашигласан ХХ-ийн ЯК-үүд ба зарим авч үзсэн тоонууд....                  | 17 |
| Хүснэгт 7. vPET ба rPET харьцуулалт .....                                                     | 18 |
| Хүснэгт 8. 1.05 кг CO <sub>2e</sub> ялгарахаас сэргийлснээр хэмнэж буй зүйлс.....             | 19 |
| Хүснэгт 9. Хувилбаруудын тодорхойлолт .....                                                   | 22 |
| Хүснэгт 10. LCA-д ашигласан гол харьцаа .....                                                 | 23 |
| Хүснэгт 11. Тооцоололд ашигласан ялгарлын коэффициентүүд .....                                | 24 |
| Хүснэгт 12. Хувилбаруудын харьцуулсан ХХЯ, кг CO <sub>2eq</sub> / кг PET .....                | 26 |

## Зургийн жагсаалт

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Зураг 1. PET савлагааг дахин боловсруулах ерөнхий схем (ТМЛ ХХК-ийн жишээн дээр).....                                         | 13 |
| Зураг 2. vPET болон rPET-ийн cradle-to-preform хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийн харьцуулалтын системийн хил хязгаар ..... | 16 |
| Зураг 3. ХХЯ-ын эрчимжил .....                                                                                                | 18 |
| Зураг 4. LCA хийх системийн хил хязгаар .....                                                                                 | 21 |
| Зураг 5. LCA хийх хувилбаруудын ерөнхий зураглал .....                                                                        | 21 |
| Зураг 6. Хувилбаруудын бодит ХХЯ .....                                                                                        | 24 |
| Зураг 7. PET савны амьдралын мөчлөг дэх ХХЯ, хувилбар бүрээр .....                                                            | 25 |
| Зураг 8. Системийн өргөтгөл зайлсхийсэн ХХЯ .....                                                                             | 26 |
| Зураг 9. Нийт системийн ХХЯ, амьдралын мөчлөг бүрээр .....                                                                    | 27 |

## 1. Оршил

### 1.1 Хуванцар үйлдвэрлэл ба хүрээлэн буй орчинд учруулах ачаалал

Сүүлийн хагас зуунд хуванцар материалын үйлдвэрлэл огцом өсөлттэйгөөр нэмэгдсэн бөгөөд 1950 онд ойролцоогоор 2 сая тонн байсан бол 2024 он гэхэд жилд бараг 430.9 сая тоннд хүрсэн байна (Plastics Europe, 2025; Haixin Jiao et al., 2024). Хуванцрын түүхий эдийн үндсэн эх үүсвэр нь нефть (ойролцоогоор 98%) тул уг салбар нь хүлэмжийн хийн ялгарал (ХХЯ) болон уур амьсгалын өөрчлөлттэй шууд хамааралтай (Haixin Jiao et al., 2024; Sarah L.N and Corinne D.S., 2024).

Уурын крекинг болон полимержуулалтын процесс нь дангаараа дэлхийн CO<sub>2</sub> ялгаралд ихээхэн хувь нэмэр оруулдаг. Нийт хуванцар үйлдвэрлэл болон хэрэглээ нь дэлхийн нийт хүлэмжийн хийн ялгарлын ойролцоогоор 3.4%-ийг бүрдүүлдэг гэж үздэг.

Хуванцар полимерууд дундаас полиэтилен (PE), полипропилен (PP), поливинил хлорид (PVC), полистирол (PS), болон полиэтилен терефталат (PET) нь үйлдвэрлэлийн хэмжээгээр давамгайлдаг. Эдгээрээс PET нь хөнгөн жинтэй, тунгалаг, бат бөх, хий ба чийг нэвтрүүлэх чадвар багатай шинж чанараараа ундаа, шингэн хүнсний сав баглаа боодлын салбарт онцгой ач холбогдолтой полимер юм (Jenna R.J, 2023).

#### Хүснэгт 1. Хуванцар үйлдвэрлэлийн гол үзүүлэлт

| Үзүүлэлт                                                          | Утга        |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| Жилийн хуванцар үйлдвэрлэл                                        | ~390–400 Мт |
| Нефтийн эзлэх хувь                                                | ~98%        |
| Сав баглаа боодолд ашиглах хувь                                   | ~44%        |
| Жилд ялгарах хуванцрын хаягдал                                    | ~240 Мт     |
| Дэлхийн хуванцрын механик дахин боловсруулалтын эзлэх дундаж хувь | ~9%         |
| Хуванцар үйлдвэрлэлийн дэлхийн ХХЯ-д оруулах хувь нэмэр           | ~3.4%       |

Нийт хуванцар үйлдвэрлэлийн ойролцоогоор 44%-ийг сав баглаа боодлын хэрэглээ эзэлдэг бөгөөд энэ нь хуванцар эдийн засгийн хамгийн хурдан хаягддаг, байгаль орчинд хамгийн ил харагддаг хэсэг юм (Jenna R.J, 2023). Хэдийгээр хуванцар материал нь нийгэм-эдийн засгийн тодорхой ашиг тусыг бий болгодог ч тэдгээрийн түүхий эдийн үндсэн эх үүсвэр нь нефть (~98%) хэвээр байгаа нь үйлдвэрлэлийн

системд их хэмжээний анхдагч эрчим хүчний хэрэглээ болон хүлэмжийн хийн ялгарал (ХХЯ)-ыг бий болгож байна.

Полиэтилен терефталат (PET) нь жин-бат бөхийн харьцаа өндөр, тунгалаг шинж чанартай, хий болон чийг нэвтрүүлэх чадвар багатай зэрэг давуу талуудынхаа улмаас дэлхийн ундааны сав баглаа боодлын салбарт гол байр суурь эзэлдэг. Гэвч PET үйлдвэрлэл нь терефталтийн хүчил (terephthalic acid, PTA) болон этилен гликоль (ethylene glycol, EG)-ийн эрчим хүч их шаардсан нийлэгжилт, улмаар полимержуулалт болон хатуу төлөвийн боловсруулалт (solid-state processing) зэрэг үе шатуудаас бүрддэг. Эдгээр үйлдвэрлэлийн үе шатууд нь уур амьсгалын өөрчлөлт, байгалийн нөөц шавхагдах, усны нөөцийн хэрэглээнд мэдэгдэхүйц хувь нэмэр оруулна (Jenna R.J, 2023).

## Хүснэгт 2. Хуванцар хог хаягдлаас хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх боломжит сөрөг нөлөөллүүд

| № | Сөрөг нөлөөлөл                   | Тайлбар                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Задрах хугацаа урт               | Хуванцар 100–500 жил задардаг тул газар хөрсийг удаан хугацаанд бохирдуулна. Хогийн цэгт байгаа хуванцар хаягдал нь удаан хугацааны физик, химийн болон биологийн урвалын процессыг туулсан бөгөөд энэ нь айл өрх, үйлдвэрээс цуглуулсан хуванцар хаягдлаас өөр шинж чанартай болно (Zhou et al., 2014). |
| 2 | Хөрс, ус бохирдуулах             | Задрах явцад химийн бодис ялгарч хөрс, газрын доорх усанд нэвтрэх эрсдэлтэй                                                                                                                                                                                                                              |
| 3 | Бичил хуванцар үүсэх             | Хуванцар бичил болон нано хэсгүүд болж бутарч, амьд организм, шингэн хүнсний сүлжээнд орж болзошгүй. ОХУ хийгдсэн судалгаануудад гадаргуун усанд агуулагдах зонхилох бичил хуванцар нь PET байгааг харуулж байна (Frank et al., 2022; Moore et al., 2022; P. Yang et al., 2025).                         |
| 4 | Ургамал, амьтан, шувуунд аюултай | Амьтад залгиж гэмтэх, үхэх эрсдэлтэй. Лабораторийн туршилтаар PET микропластикууд нь ургамлын ризосферийн бүсэд Pb, Cd, Zn -ийн хамгийн том хуримтлуулагч болон зөөвөрлөгч байна (Abbasi et al., 2020).                                                                                                  |
| 5 | Нөөцийн үр ашиггүй хэрэглээ      | Дахин боловсруулах боломжтой материалыг булшилснаар байгалийн нөөц хомсдолыг нэмэгдүүлнэ.                                                                                                                                                                                                                |
| 6 | Агаарын бохирдол                 | Хогийн цэг дээр санаатай болон санамсаргүй байдлаас үүдэн гал гаргаж, хуванцар шатсанаар агаарын бохирдол нэмэгдэнэ.                                                                                                                                                                                     |

Иймээс PET материалын тойрог эргэлтийг нэмэгдүүлэх нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг сааруулах стратеги болон тойрог эдийн засгийн бодлогын хүрээнд тэргүүлэх ач холбогдол бүхий зорилт болоод байна.

## 1.2 Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ (LCA)

Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ (Life Cycle Assessment, LCA) нь бүтээгдэхүүний системийн байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг түүхий эдийн олборлолтоос эхлэн үйлдвэрлэл, түгээлт, хэрэглээ, ашиглалтын төгсгөл (end-of-life, EOL) хүртэлх бүх үе шатанд иж бүрнээр нь тооцоолон үнэлэх олон улсын стандартчилсан арга зүй юм (ISO14040/14044, 2006). LCA нь дараах дөрвөн харилцан уялдаатай, давталттай (iterative) үе шаттайгаар хэрэгждэг. Үүнд:

1. Зорилго ба хамрах хүрээг тодорхойлох (Goal and Scope Definition)
2. Амьдралын мөчлөгийн тооллого (Life Cycle Inventory, LCI)
3. Нөлөөллийн үнэлгээ (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
4. Тайлбар, дүгнэлт (Interpretation)

LCA нь харьцуулах боломжтой өөр өөр системүүдийг ижил функциональ нэгж (functional unit), ижил системийн хил хязгаар (system boundary), ижил нөлөөллийн ангилал (impact characterization)-ын хүрээнд уялдаа бүхий, системчлэн үнэлэхэд оршино (Sarah L.N and Corinne D.S., 2024).

### PET савны хувьд LCA яагаад зайлшгүй шаардлагатай вэ?

PET сав баглаа, боодлын системд LCA аргачлал нь дараах шалтгааны улмаас чухал ач холбогдолтой. Үүнд:

1. PET сав баглаа, боодлын амьдралын мөчлөгийн “халуун цэг” нь ихэнхдээ сав үлээлгэх, сав баглаа боодлын үйл ажиллагаанд бус, харин анхдагч давирхайн үйлдвэрлэлийн дээд урсгал үе шатанд буюу мономер нийлэгжилт (PTA + EG) болон полимержуулалтын шат уруу чиглэдэг.

Иймээс анхдагч PET-ийг дахин боловсруулсан PET (rPET)-ээр орлуулах стратеги нь нийт нөлөөллийн үр дүнд зонхилох өөрчлөлт авчрах боломжтой. Үүнтэй холбоотойгоор сав баглаа боодлын LCA судалгаанууд дахин боловсруулсан агууламж (recycled content) болон тойрог эргэлтийн (circularity) хөшүүргүүдэд онцгой анхаарал хандуулдаг.

2. Дахин боловсруулалт нь олон үйл ажиллагаат тул арга зүйн сорилтыг бий болгодог. Дахин боловсруулсан материал нь нэг талаас бүтээгдэхүүний гаралт, нөгөө талаас хог хаягдлын менежментийн үйлчилгээ гэж үзэгдэх

боломжтой бөгөөд цаашлаад өөр систем дэх анхдагч үйлдвэрлэлийг орлох үүрэг гүйцэтгэж болно.

ISO 14044 стандарт нь олон үйл ажиллагаат байдлыг шийдвэрлэх шаталсан зарчмыг тогтоосон байдаг бөгөөд (ISO14040/14044, 2006):

- Боломжтой тохиолдолд хуваарилалтаас (allocation) зайлсхийх,
- Шаардлагатай бол уялдаа бүхий, тогтвортой дүрэм ашиглах,
- Системийн өргөтгөл (system expansion) буюу орлуулалтын (substitution) аргыг хэрэглэхийг зөвлөдөг.

Cut-off, allocation, substitution аргуудын сонголт нь үр дүнд эрс өөрчлөлт оруулдаг, ялангуяа нээлттэй мөчлөгийн (open-loop) PET урсгалд (жишээ нь, bottle-to-fiber) энэ ялгаа илүү мэдэгдэхүйц байдаг.

3. Цахилгаан болон дулааны хэрэглээ нь анхдагч полимер үйлдвэрлэл болон механик дахин боловсруулалтын аль алинд шийдвэрлэх хүчин зүйл болдог.

Иймээс тухайн орон нутгийн эрчим хүчний бүтэц бага нүүрстөрөгчийн сүлжээтэй эсэхээс хамааран дүгнэлтүүд өөрчлөгдөж болно. Энэ нь нүүрс давамгайлсан эрчим хүчний системтэй орнуудад, тухайлбал манай улсын эрчим хүчний салбарт, онцгой ач холбогдолтой асуудал юм.

Өөрөөр хэлбэл, PET-ийн LCA үр дүн нь зөвхөн технологиос бус, тухайн улсын эрчим хүчний бүтэц, бодлогын орчин, дахин боловсруулалтын дэд бүтцээс ихээхэн хамаардаг системийн шинжтэй үнэлгээ юм.

### 1.3 Анхдагч PET үйлдвэрлэл

Полиэтилен терефталат (PET)-ийн үйлдвэрлэл нь нефтийн өндөр температурт явагдах полимержуулалтын процессууд, мөн их хэмжээний эрчим хүч шаардсан цэвэршүүлэх системүүдийн улмаас нөөцийн өндөр эрчимжилттэй үйлдвэрлэлд тооцогддог (Haixin Jiao et al., 2024).

Анхдагч PET нь этилен гликоль болон терефталтийн хүчлээс нийлэгждэг. Этилен гликоль нь нефть эсвэл байгалийн хийн гаралтай, харин терефталтийн хүчил нь түүхий нефтийн гаралтай тул PET үйлдвэрлэл нь нефтийн болон нүүрстөрөгчийн ялгаралттай шууд хамааралтай байдаг (Jenna R.J, 2023; Franklin Associates, 2023).

Амьдралын мөчлөгийн тооллогын (Life Cycle Inventory, LCI) мэдээллийн сангууд болон ундааны сав баглаа боодлын LCA судалгааны үр дүнгээс харахад 1 кг савны

зориулалттай анхдагч PET давирхай (bottle-grade PET resin) үйлдвэрлэхэд их хэмжээний (Jenna R.J, 2023):

- түүхий нефтийн эквивалент (crude oil equivalents),
- эрчим хүч (цахилгаан ба дулаан),
- усны нөөц шаардлагатай байдаг нь тогтоогдсон.

Иймээс анхдагч PET үйлдвэрлэл нь байгалийн нөөцийн шавхагдал, уур амьсгалын өөрчлөлт, болон усны хэрэглээний дарамтыг бий болгодог өндөр нөөцийн ачаалалтай үйлдвэрлэлийн систем.

### Хүснэгт 3. Анхдагч PET үйлдвэрлэлд зарцуулагдах оролтууд

| Нөөц/үзүүлэлтүүд                  | 1 кг PET үйлдвэрлэлд шаардагдах | Нэгж                    | Ишлэл                                                         |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Нефттэй адилтгасан чулуужсан нөөц | 1.9 – 2.3                       | кг Г.ТОС <sub>ЭКВ</sub> | (Franklin Associates, 2023; Sarah L.N and Corinne D.S., 2024) |
| Анхдагч эрчим хүчний хэрэглээ     | 75 – 85                         | MJ                      | (Franklin Associates, 2023)                                   |
| Эрчим хүч (нийт энерги)           | 2.0 – 2.5                       | kWh                     | PlasticsEurope (2022)                                         |
| Усны хэрэглээ                     | 60 – 100                        | литр                    | (Franklin Associates, 2023)                                   |
| ХХЯ (cradle-to-resin)             | 2.5 – 3.5                       | кг CO <sub>2</sub> -eq  | (Franklin Associates, 2023)                                   |
| Уур/дулааны энерги                | ~40 – 50                        | МЖ                      | PlasticsEurope (2022)                                         |

#### 1.4 Механик дахин боловсруулалт ба хүрээлэн буй орчны нөлөө

PET-ийн механик дахин боловсруулалт нь дараах үндсэн үе шатуудаас бүрдэнэ: цуглуулалт, ангилалт, угаалт, бутлах (grinding), экструдердэх (extrusion), үрэлжүүлэх (pelletization). Өндөр чанарын түүхий эд (feedstock)-г ашиглаж байгаа нөхцөлд дахин боловсруулсан PET (rPET) нь хаалттай мөчлөгийн (closed-loop) хэрэглээнд анхдагч давирхайг орлох боломжтой. Судалгааны эмперик үр дүнгүүдээс харахад механик дахин боловсруулалт нь анхдагч PET үйлдвэрлэлтэй харьцуулбал эрчим хүчний хэрэглээг 50–70%, хүлэмжийн хийн ялгарал (ХХЯ)-ыг 40–60% бууруулах боломжтой гэж тогтоосон байдаг (Sarah L.N and Corinne D.S., 2024).

#### Хүснэгт 4. Механик дахин боловсруулалтын хүрээлэн буй орчны үзүүлэлт

| Үзүүлэлт | rPET |
|----------|------|
|----------|------|

|                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Эрчим хүчний хэрэгцээ | 20 – 30 МЖ/кг                       |
| Усны хэрэглээ         | 5 – 20 л/кг                         |
| ХХЯ                   | 0.8 – 1.5 кг CO <sub>2</sub> -eq/кг |

Иймээс rPET-ээр орлуулах нь нефтийн нөөцийн хэрэглээг ойролцоогоор 60–70%, эрчим хүчний хэрэглээг 50–70%, хүлэмжийн хийн ялгарлыг 40–60% бууруулах боломжтой (Franklin Associates, 2023).

Гэвч эдгээр бууралтын хэмжээ нь дараах хувьсагч хүчин зүйлсээс ихээхэн хамаарна. Үүнд:

- Цуглуулалтын үр ашиг
- Бохирдлын түвшин
- Угаалтын гарц
- Цахилгаан эрчим хүчний нүүрстөрөгчийн эрчимжилт
- Орлуулалтын харьцаа

Мөн нээлттэй мөчлөгийн (open-loop) дахин боловсруулалт, тухайлбал PET-ийг шилэн утас (fiber) болгон хувиргах тохиолдолд бүтээгдэхүүний орлуулалтын ялгаанаас шалтгаалан загварчлал илүү төвөгтэй болдог.

## 1.5 Системийн өргөтгөл буюу “зайлсхийсэн ачаалал”-ын математик загварчлал

Дахин боловсруулалтын системийг LCA-аар үнэлэхэд системийн өргөтгөл (system expansion) болон хуваарилалтын (allocation) аргыг ашиглах нь үнэн зөв харьцуулалт хийхэд чухал ач холбогдолтой.

Бүтээгдэхүүнийг дахин боловсруулах үед:

- дахин боловсруулалтын процесс нь хам бүтээгдэхүүн (co-products) үүсгэж болно,
- эсвэл анхдагч материалын үйлдвэрлэлийг орлох (displace) боломжтой.

“Давхар тооцох”-оос зайлсхийхийн тулд LCA-д ихэвчлэн системийн өргөтгөл эсвэл зайлсхийсэн ачаалал (avoided burden)-ын аргыг ашигладаг. Энэ аргачлалын дагуу дахин боловсруулсан бүтээгдэхүүнд анхдагч материалын үйлдвэрлэлээс зайлсхийсэн нөлөөллийн “кредит” (environmental credit) олгодог (ISO14040/14044, 2006).

## **PET-ийн жишээ**

Хэрэв дахин боловсруулсан PET үрэл нь ижил хэмжээний анхдагч PET давирхайг орлож байвал системийн хил хязгаарыг өргөтгөн, анхдагч түүхий эдийн олборлолт болон үйлдвэрлэлийн нөлөөллийг “зайлсхийсэн” гэж үзэж дахин боловсруулалтын системд эерэг кредит тооцдог. Энэ нь ялангуяа дараах хүрээлэн буй орчны нөлөөлөлд чухал байна:

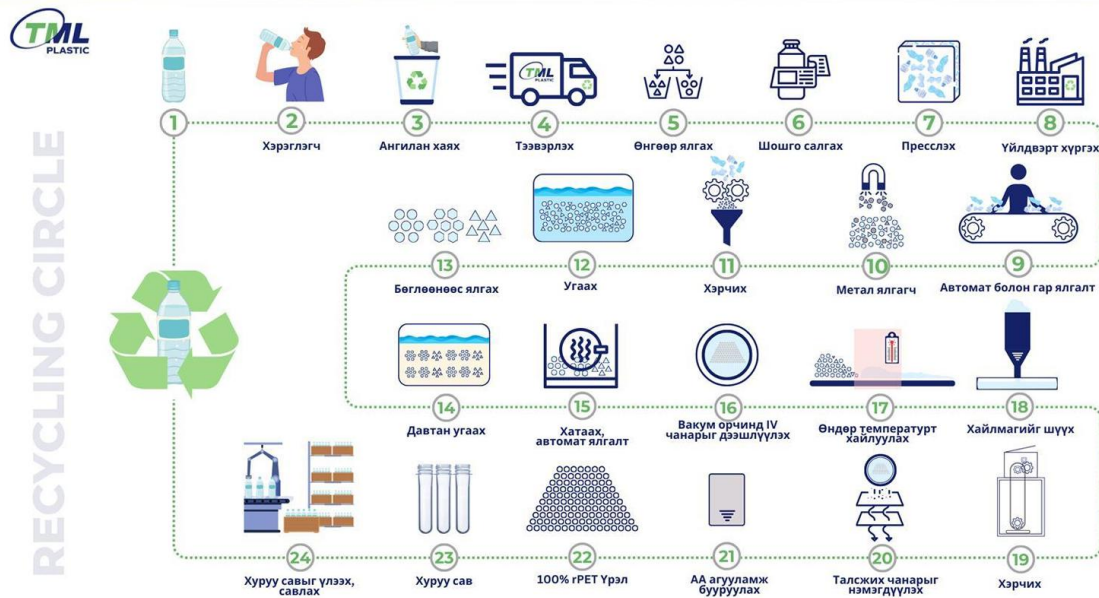
- Дэлхийн дулаарал (Global Warming Potential, GWP)
- Чулуужсан нөөцийн шавхагдал (Fossil Resource Depletion)

### **1.6 Монгол дахь хуванцар хаягдлын нөхцөл байдал**

Монгол Улсад хатуу хог хаягдлын менежмент болон хуванцар дахин боловсруулалтын салбарт тулгамдсан олон асуудал бий бөгөөд энэ нь PET сав баглаа боодлын системийн байгаль орчны гүйцэтгэлд шууд нөлөөлдөг.

2024 оны байдлаар Монгол Улсын нийт хатуу хог хаягдлын хэмжээ ойролцоогоор 2.9 сая тонн гэж тооцогдсон бөгөөд үүнээс Улаанбаатар хот дангаараа 1.5 сая тонныг бүрдүүлж байна (Ministry of Construction and Urban Development, 2024). Гэвч улсын хэмжээнд албан ёсны дахин боловсруулалтын дэд бүтэц хангалтгүй хэвээр байгаа нь PET сав зэрэг өндөр үнэ цэнтэй материалыг бүрэн цуглуулах боломж муу хэвээр байна.

Хэдийгээр хуванцар материал нь өндөр дахин боловсруулах боломжтой ч улсын хэмжээнд нийт хуванцар хаягдлын 10%-ас бага хувийг дахин боловсруулж байна. Нэг хүнд ногдох хуванцар хаягдлын хэмжээ ойролцоогоор 137.6 кг/жил байгаа нь Монгол Улсыг дэлхийн хэмжээнд нэг хүнд ногдох хуванцар хаягдлын хэмжээгээр дээгүүрт оруулж байна (People in need, 2025).



**Зураг 1. PET савлагааг дахин боловсруулах ерөнхий схем (ТМЛ ХХК-ийн жишээн дээр)**

PET хуванцрыг дахин боловсруулах ТМЛ ХХК-ийн үйлдвэрийн схемээс харахад нийт 24 алхамт бүхий үйл ажиллагаагаар rPET савлагааг үйлдвэрлэж байна. Манай улсын хувьд дахин боловсруулалтын түвшин бага байгаа нь дараах системийн асуудлуудтай холбоотой:

- Цуглуулалтын үр ашиг сул
- Ангилалтын систем хангалтгүй
- Боловсруулах хүчин чадал хязгаарлагдмал
- Улаанбаатараас гадна бүс нутагт хог хаягдлын менежмент сул

Хатуу хог хаягдлын урсгалд хуванцар нь ойролцоогоор 22.5%-ийг эзэлдэг нь хот суурин газрын хог хаягдлын бүтцэд хуванцар материалыг дахин боловсруулах шаардлагатайг харуулж байна. Улаанбаатар хотод жилд нийт 44,420 тонн хуванцар боловсруулах хүчин чадалтай хэд хэдэн үйлдвэр ажиллаж байгаа боловч энэ нь үүсэж буй хог хаягдлын хэмжээтэй харьцуулахад хангалтгүй юм (Unubold B., 2024). Нийт хатуу хог хаягдлын зөвхөн 8.9% нь дахин боловсруулагдаж, ангилагдсан хуванцар хаягдлын ойролцоогоор 6% нь механик дахин боловсруулалтад орж байна (MIRIM, 2022). Улаанбаатар хотын хог хаягдлыг менежментийг сайжруулах стратеги төлөвлөгөө 2017-2023-д тусгаснаар хог хаягдлыг цуглуулах зардал 13,85 тэрбум/жил байна (Ulaanbaatar city project team, 2017).

## Хүснэгт 5. Хуванцар хаягдлын өнөөгийн нөхцөл байдал

| Үзүүлэлт                                  | Улсын хэмжээнд                                                       | Улаанбаатар хот                                                      |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Нийт ахуйн хог хаягдал (жил)              | ~2.9 сая тонн (Ministry of Construction and Urban Development, 2024) | ~1.5 сая тонн (Ministry of Construction and Urban Development, 2024) |
| Хуванцар хаягдлын эзлэх хувь              | ~22.5% (Үндэсний статистикийн хороо, 2024)                           | -                                                                    |
| Улсын хэмжээний дахин боловсруулах хувь   | <10% (People in need, 2025)                                          | ~8.9% нийт, ~6% ангилсан хуванцар (MIRIM, 2022)                      |
| Нэг хүнд ноогдох хуванцар хаягдлын хэмжээ | ~137.6 кг/хүн/жил (People in need, 2025)                             |                                                                      |
| Албан дахин боловсруулах чадамж           |                                                                      | ~44,420 т/жил (Unubold B., 2024)                                     |

Эдгээр үзүүлэлтүүд нь хуванцар хаягдал үүсэлт болон үр ашигтай сэргээн ашиглалтын хооронд асар их зөрүү байгааг харуулж байна. Үүний улмаас ихэнх хуванцар хаягдал нь булшлагдах эсвэл албан бус хэлбэрээр боловсруулагдаж байгаа нь PET сав баглаа боодлын амьдралын мөчлөгийн байгаль орчны гүйцэтгэлийг доройтуулж байна.

Монгол Улсын эрчим хүчний салбар нүүрсэнд суурилсан бүтэцтэй хэвээр байгаа нь PET-ийн анхдагч үйлдвэрлэл болон дахин боловсруулалтын LCA үр дүнд онцгой нөлөө үзүүлэх стратегийн хүчин зүйл болж байна. Иймээс PET-ийн тойрог эргэлтийг сайжруулах бодлого нь зөвхөн технологийн бус, эрчим хүч, дэд бүтэц, бодлогын уялдаа бүхий системийн шинэчлэл шаардсан асуудал юм.

Эдгээр статистик үзүүлэлтүүд нь ялангуяа хуванцар хаягдлын урсгалд томоохон хувийг эзэлдэг PET ундааны сав баглаа боодлын хувьд дахин боловсруулалтын системийг сайжруулах, тойрог эдийн засгийн бодлого, арга хэмжээг эрчимжүүлэх зайлшгүй шаардлагатайг тодорхой харуулж байна.

## 2. Судалгааны зорилго

М-Си-Эс Кока-Кола ХХК -ийн дахин боловсруулсан PET савлагаа худалдаанд нэвтрүүлэх гэж байгаатай холбоотойгоор байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг тоон хэмжүүрээр тодорхойлоход оршино (MCS-Coca-Cola-МУИС, 2026).

Судалгааны ажлын зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг дэвшүүлж ажилласан:

- **Материалын түвшний харьцуулалт хийх:** Түүхий эдээс преформ үйлдвэрлэх хүртэлх үе шатанд (cradle-to-preform) virgin PET (vPET) болон recycled PET (rPET)-ийн хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийг ( $\text{kgCO}_2\text{e/kgPET}$ ) харьцуулах
- **Амьдралын мөчлөгийн хувилбарын үнэлгээ хийх:** PET савлагааны амьдралын мөчлөгийн хүрээнд ландфилл болон дахин боловсруулалтын хувилбаруудыг харьцуулан үнэлэх

### 3. Материалын түвшний харьцуулалт ба хамрах хүрээ

Энэхүү судалгаанд vPET болон rPET материалын түүхий эдээс преформ үйлдвэрлэл хүртэлх (cradle-to-preform) үе шатанд үүсэх хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийг тооцоолсон.

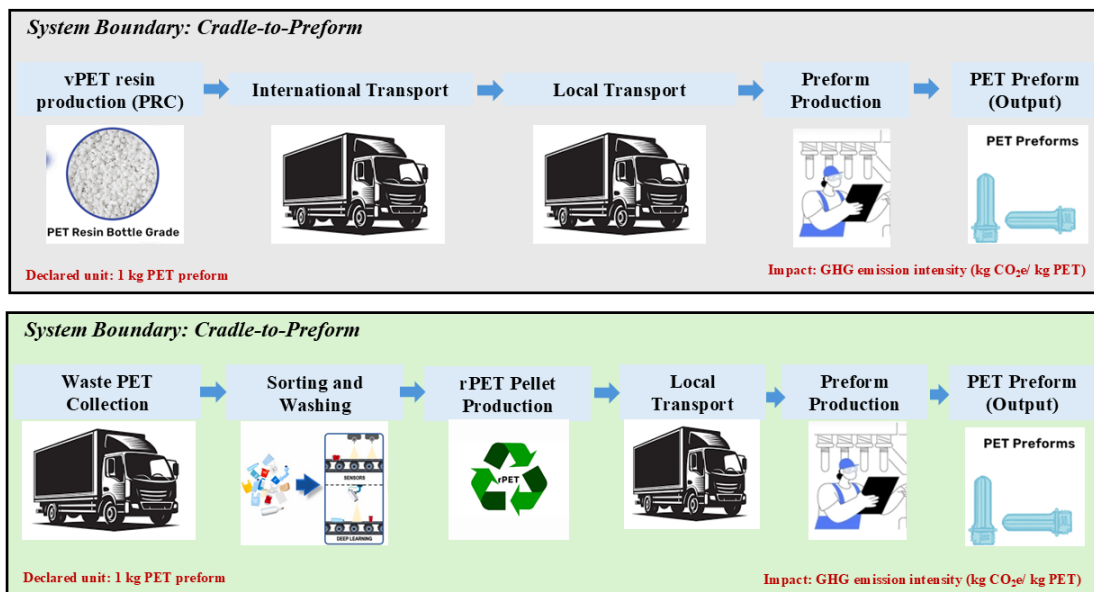
Судалгааны хамрах хүрээ, хил хязгаарыг түүхий эдийн олборлолтоос эхлэн преформ үйлдвэрлэх хүртэлх үе шат (cradle-to-preform) байдлаар тодорхойлсон.

#### **vPET хувилбар:**

- Түүхий эд (нефть) олборлолт ба боловсруулалт
- vPET давирхай үйлдвэрлэл
- Олон улсын тээвэр -авто тээвэр (Хятадаас үйлдвэрийн агуулах)
- Дотоод тээвэр (агуулахаас бүтээгдэхүүний үйлдвэр)
- Преформ үйлдвэрлэл

#### **rPET хувилбар:**

- Хаягдал PET савлагааны цуглуулалт
- Ангилан ялгалт, угаалт
- Дахин боловсруулах (rPET pellet үйлдвэрлэл)
- Тээвэр (дахин боловсруулах үйлдвэр → агуулах → үйлдвэр)
- Преформ үйлдвэрлэл



## Зураг 2. vPET болон rPET-ийн cradle-to-preform хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийн харьцуулалтын системийн хил хязгаар

Энэхүү системийн харьцуулах нэг нь 1кг PET преформ үйлдвэрлэхэд ялгарах XX юм.

### 3.1 Хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийг тооцоолох арга зүй

Энэхүү судалгаанд vPET болон rPET материалын түүхий эдээс преформ үйлдвэрлэл хүртэлх (cradle-to-preform) үе шатанд үүсэх хүлэмжийн хийн ялгарлын (ХХЯ) эрчимжилтийг харьцуулан үнэлэв. Судалгаа нь бүрэн амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ (Life Cycle Assessment, LCA) биш бөгөөд материалын түвшний ялгарлын эрчимжилтийг тодорхойлох зорилготой.

Судалгааны харьцуулах нэгж нь 1 кг PET преформ бөгөөд үр дүнг кг CO<sub>2</sub>e/кг PET нэгжээр илэрхийлнэ.

Тооцооллыг үндсэн томьёо:

$$\text{ХХЯ} = \sum (\text{АӨ}_i \times \text{ЯК}_i)$$

Энд, АӨ- үйл ажиллагаануудын анхдагч өгөгдөл

ЯК- ялгарлын коэффициент (кг CO<sub>2</sub>e/нэгж)

Нийт ялгарлыг тухайн материалын нийт жинд хувааж ялгарлын эрчимжилтийг тодорхойлсон.

$$XXЯ_{\text{эрчим.}} = \frac{\text{нийт } CO_{2e}}{PET - \text{ийн масс}}$$

#### Хүснэгт 6. Тооцоололд ашигласан ХХ-ийн ЯК-үүд ба зарим авч үзсэн тоонууд

| Үзүүлэлт                                 | Тоон утга                                                          | Ишлэл                 |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Эрчим хүчний ялгарлын коэф.              | 0.68 кг CO <sub>2eq</sub> /kWh                                     | (IPCC, 2006)          |
| Дизель түлшний ялгарлын коэф.            | 2.69 кг CO <sub>2eq</sub> /л                                       | (IPCC, 2006)          |
| Нүүрсний ялгарлын коэф.                  | 2.42 кг CO <sub>2eq</sub> /кг                                      | (IPCC, 2006)          |
| Анхдагч PET үйлдвэрлэлийн ялгарлын коэф. | 2.5 кг CO <sub>2eq</sub> /кг                                       | (PlasticEurope, 2018) |
| ОУ-ын тээвэрт                            | Нэг удаагийн даац 22 тн, ачааны машин 100км-т 32 л түлш хэрэглэнэ. | (Noga, 2025)          |

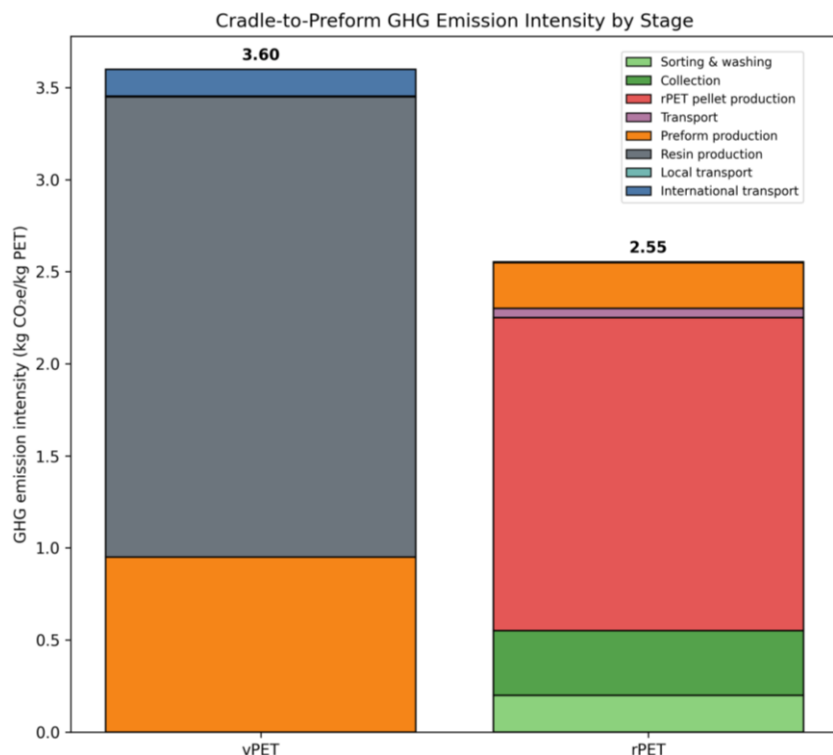
Энэхүү тооцоололд авч үзэж буй процесс, тэдгээрийн анхдагч өгөгдлөөс хамаарч тооцооллын үр дүн өөрчлөгдөх боломжтой.

### 3.2 Хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилтийн харьцуулсан үр дүн

vPET болон rPET үрлээс преформ хийхэд ХХЯ-ын эрчимжлийг тооцоолж үр дүнг дор нэгтгэв (Зураг 3). Анхдагч PET үрэл ашиглан преформ үйлдвэрлэхэд 3.60 кг CO<sub>2eq</sub> ялгарч байгаа бол rPET ашигласан үед 2.55 кг CO<sub>2eq</sub> ялгарч байна.

Энэхүү судалгааны үр дүнгээс харахад virgin PET (vPET) болон recycled PET (rPET)-ийн түүхий эдээс преформ үйлдвэрлэл хүртэлх (cradle-to-preform) хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжилт нь үе шат бүрд харилцан адилгүй хувь нэмэртэй байна.

vPET хувилбарт нийт ялгарлын дийлэнх хэсгийг анхдагч түүхий эдээс PET давирхай үйлдвэрлэх шат бүрдүүлж байгаа нь тодорхой харагдаж байна. Энэ нь нефтийн гаралтай түүхий эдийн олборлолт, химийн боловсруулалтын өндөр эрчим хүчний хэрэглээтэй холбоотой бөгөөд нийт ялгарлын хамгийн том эх үүсвэр болж байна. Харин олон улсын болон дотоод тээврийн ялгарлын хувь хэмжээ харьцангуй бага байгаа нь тээвэр нь нийт системд хоёрдогч нөлөөтэйг илтгэнэ. Преформ үйлдвэрлэлийн шат мөн тодорхой хувь нэмэртэй боловч давирхайн үйлдвэрлэлтэй харьцуулахад бага байна.



**Зураг 3. ХХЯ-ын эрчимжил**

гРЕТ хувилбарт ялгарлын бүтэц өөр шинж чанартай байна. Анхдагч түүхий эдийн олборлолт байхгүй тул нийт ялгарлын түвшин буурч байгаа хэдий ч дахин боловсруулах (гРЕТ pellet үйлдвэрлэл) шат нь хамгийн их ялгарлыг үүсгэж байна. Ялангуяа нүүрс болон цахилгаанд суурилсан эрчим хүчний хэрэглээ нь гРЕТ-ийн ялгарлын гол эх үүсвэр болж байна. Энэ нь дахин боловсруулах процесс нь бага энерги шаарддаг гэж ерөнхийд нь үздэг ойлголтоос ялгаатайгаар, манай орны эрчим хүчний эх үүсвэрээс ихээхэн хамааралтайг харуулж байна.

Хаягдал РЕТ савлагааны цуглуулалт, ангилан ялгалт, угаалтын үе шат нь нийт ялгарлын бага хувийг эзэлж байгаа нь эдгээр процессуудын эрчим хүчний хэрэглээ харьцангуй бага байгааг илтгэнэ. Түүнчлэн тээврийн шатны ялгарлын хувь хэмжээ гРЕТ хувилбарт мөн бага хэвээр байгаа нь системийн нийт ялгарлыг тодорхойлох гол хүчин зүйл нь тээвэр биш харин материал боловсруулах технологи болохыг харуулж байна.

**Хүснэгт 7. vPET ба гРЕТ харьцуулалт**

| Үзүүлэлт  | vPET             | гРЕТ        | Харьцуулалт                     |
|-----------|------------------|-------------|---------------------------------|
| Түүхий эд | Нефтийн гаралтай | Хаягдал РЕТ | гРЕТ нь анхдагч нөөц ашиглахгүй |

|                              |                              |                                       |                                           |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Үйлдвэрлэлийн үндсэн шат     | Давирхай үйлдвэрлэл          | Дахин боловсруулалт                   | Процессын төрөл өөр                       |
| Гол ялгарлын эх үүсвэр       | Үрэл үйлдвэрлэл              | Дахин боловсруулалтын үеийн эрчим хүч | Аль аль нь эрчим хүчний өндөр хэрэглээтэй |
| Нийт ХХ-н ялгарлын эрчимжилт | 3.60 кг CO <sub>2</sub> e/кг | 2.55 кг CO <sub>2</sub> e/кг          | гPET бага                                 |
| Ялгаа                        | –                            | –                                     | 1.05 кг CO <sub>2</sub> e/кг-аар бага     |
| Хувийн бууралт               | –                            | –                                     | ≈ 29% буурсан                             |
| Тээврийн нөлөө               | Бага                         | Бага                                  | Хоёуланд нь бага нөлөөтэй                 |
| Давуу тал                    | Тогтвортой чанар             | Байгальд ээлтэй                       | гPET илүү давуу                           |
| Сул тал                      | Өндөр ялгаруулалт            | Эрчим хүчнээс хамааралтай             | гPET-д эрчим хүч чухал                    |

Хоёр хувилбарыг харьцуулахад гPET нь нийт хүлэмжийн хийн ялгарлын хувьд vPET-ээс бага байгаа нь анхдагч түүхий эдийн олборлолтыг орлуулах давуу талтай холбоотой. Гэсэн хэдий ч гPET-ийн ялгарлыг цаашид бууруулахад дахин боловсруулах үйлдвэрийн эрчим хүчний эх үүсвэрийг сайжруулах (жишээлбэл, сэргээгдэх эрчим хүч ашиглах) нь хамгийн үр дүнтэй арга хэмжээ болох нь энэхүү судалгаанаас харагдаж байна.

Нийт ялгарахаас сэргийлж буй ХХ-г энгийн жишээгээр төлөөлүүлэн авч үзэж хүснэгтэд нэгтгэв.

#### Хүснэгт 8. 1.05 кг CO<sub>2</sub>e ялгарахаас сэргийлснээр хэмнэж буй зүйлс

| № | Жишээ          | Дүйцэх хэмжээ   | Товч тайлбар                                                                  | Эх үүсвэр            |
|---|----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1 | Модны шингээлт | ≈ 18 хоног      | 1 мод жилд ~22 кг CO <sub>2</sub> шингээнэ → $1.05/22 = 0.048$ жил ≈ 18 хоног | IPCC, EPA            |
| 2 | Нүүрс түлэх    | ≈ 0.43 кг нүүрс | 1 кг нүүрс ≈ 2.42 кг CO <sub>2</sub> → $1.05/2.42 = 0.43$ кг                  | IPCC emission factor |

|    |                             |              |                                                                                                                                          |                            |
|----|-----------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 3  | Машин унах                  | ≈ 5–6 км     | 1 км ≈ 0.192 кг CO <sub>2</sub> → 1.05/0.192 ≈ 5.5 км                                                                                    | US EPA (passenger vehicle) |
| 4  | Утас цэнэглэх               | ≈ 300 удаа   | 1 цэнэг ≈ 0.0035 кг CO <sub>2</sub> → 1.05/0.0035 ≈ 300                                                                                  | IEA, device energy use     |
| 5  | Интернэт ашиглах            | ≈ 120 цаг    | 1 цаг ≈ 0.008–0.01 кг CO <sub>2</sub> → 1.05/0.009 ≈ 117 цаг                                                                             | IEA, Shift Project         |
| 6  | Айлын цахилгаан             | ≈ 1–2 өдөр   | 1 өрх ≈ 2–3 кг CO <sub>2</sub> /өдөр → 1.05 ≈ хагас–1 өдөр                                                                               | IEA household estimate     |
| 7  | Түгжрэл (машин сул ажиллах) | ≈ 1–2 цаг    | 1 цаг сул ажиллах ≈ 0.6–1 кг CO <sub>2</sub> → 1.05 ≈ 1–2 цаг                                                                            | US DOE                     |
| 8  | Мал аж ахуй (үхэр)          | ≈ 2–3 цаг    | 1 үхэр ~100 кг CH <sub>4</sub> /жил → CO <sub>2</sub> e ≈ 2.7 т/жил → өдөрт ~7 кг → 1.05 ≈ 0.15 өдөр (~2–3 цаг) (дунджаар хялбаршуулсан) | FAO, IPCC                  |
| 9  | Хог булшлах                 | ≈ 4–5 кг хог | 1 кг MSW ≈ 0.2–0.3 кг CO <sub>2</sub> e → 1.05/0.25 ≈ 4 кг                                                                               | IPCC waste model           |
| 11 | PET сав                     | ≈ 40 ширхэг  | 1 сав ≈ 25 г → 1.05×0.025 = 0.026 кг CO <sub>2</sub> /сав → ~40                                                                          | LCA PET studies            |
| 12 | Нислэг                      | ≈ 1 минут    | 1 цаг нислэг ≈ 90–120 кг CO <sub>2</sub> → минутад ~1.5–2 кг → 1.05 ≈ ~0.5–1 мин (ойролцоолол)                                           | ICAO                       |

Эдгээр дүйцүүлэлдүүт нь олон улсын нийтлэг ялгарлын коэффициент болон дундаж утгуудад үндэслэсэн ойролцоолол бөгөөд бодит нөхцөл, байршил, технологиос хамааран өөрчлөгдөх боломжтой.

### 3.3 Дүгнэлт

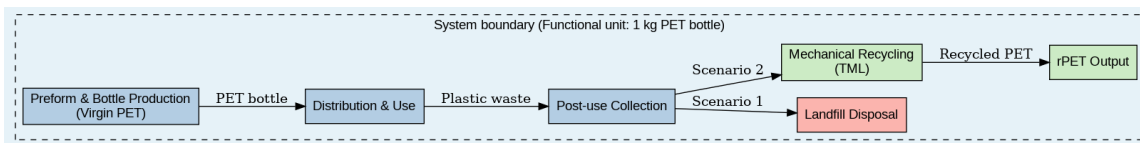
Хүлэмжийн хийн ялгарлын эрчимжлийг материалаас хамааруулан судлахад дараах дүгнэлтэд хүрлээ. Үүнд:

- vPET үрэл ашиглан преформ үйлдвэрлэхэд 3.60 кг ХХЯ/кг vPET бол rPET ашиглан үйлдвэрлэх үед 2.55 кг ХХЯ байна. ХХЯ-г даруй 29%-ар бууруулж байна.
- vPET -ийн хувьд байгалийн нөөцийг олборлон боловсруулахтай холбоотой ялгарал өндөр байсан бол rPET -ийн хувьд дахин боловсруулах үеийн эрчим хүч болон нүүрсний хэрэглээнээс үүдэлтэй ялгарал өндөр байсан. Тиймээс дахин боловсруулалтыг эрчим хүчний хэмнэлттэй системээр сайжруулах эсвэл сэргээгдэх болон бусад бага ялгарал бүхий технологийг нэвтрүүлэх нь ялгарлын хэмжээг илүү ихээр бууруулах боломжтой.

## 4. Амьдралын мөчлөгийн үнэлгээ ба хамрах хүрээ

Судалгааны ажлын хамрах хүрээ нь түүхий эдээс хуруу сав хүртэлх үе шатыг хамрах бөгөөд судалгаанд vPET болон rPET хуванцар савны хүлэмжийн хийн

ялгаруулалтыг харьцуулан үнэлэх ба дахин боловсруулсан савлагаанд шилжсэнээр байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг тодорхойлох юм. Судалгааны үр дүнг  $\text{gCO}_2\text{eq/gPET}$  хуванцар гэдгээр илэрхийлнэ (MCS-Coca-Cola-МУИС, 2026).



Зураг 4. LCA хийх системийн хил хязгаар

Энэхүү судалгаагаар анхдагч PET савлагааг хэрэглэгчид очсоны дараа ландфиллд булшлах (S1) болон үүнийг дахин боловсруулах (S2) үед ялгарах ХХЯ-г харьцуулж дүгнэлт өгсөн.



Зураг 5. LCA хийх хувилбаруудын ерөнхий зураглал

Энэхүү судалгаанд PET савны амьдралын мөчлөгийг функциональ нэгж болох 1 кг PET сав-д нормчилж, хоёр хувилбар: ландфиллд булшлах хувилбар, Дахин боловсруулалтын хувилбарыг харьцуулсан.

Системийн хил нь дараах үе шатуудыг хамарна:

- Хятадаас PET преформ (эсвэл сав) импортлох
- Сав үлээлт, ундаа савлах

- Түгээлт, борлуулалт
- Хэрэглээ
- Цуглуулалт, тээвэрлэлт
- Эцсийн шат (ландфилл эсвэл дахин боловсруулалт)

### Хүснэгт 9. Хувилбаруудын тодорхойлолт

| Мөчлөг                                                      | Хувилбар 1 (S1)<br>– Ландфилл | Хувилбар 2 (S2) – Дахин<br>боловсруулалт                   |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Преформын үйлдвэрлэл                                        | +                             | +                                                          |
| Монгол уруу тээвэрлэх,<br>дизель хөдөлгүүрт ачааны<br>машин | +                             | +                                                          |
| Үлээлгийн шат                                               | +                             | +                                                          |
| Ус/ундаагаар дүүргэж савлах                                 | +                             | +                                                          |
| Хэрэглэгчид түгээх                                          | +                             | +                                                          |
| Хэрэглэгчийн дараа цуглуулах                                | +                             | +                                                          |
| Амьдралын эцсийн<br>боловсруулалт (EOL)                     | Ландфилл                      | Механик дахин<br>боловсруулалт (ялтас →<br>үрэл)           |
| Дахин боловсруулалтын үр<br>ашиг                            | -                             | 75.5% (үрэл/орц)                                           |
| кг PET-д ноогдох үрэл                                       | -                             | 0.4981                                                     |
| Орлуулах кредит                                             | -                             | Системийг өргөтгөж,<br>анхдагч PET-г оруулалтыг<br>тооцсон |
| Функцийн нэгж                                               | 1 кг PET сав                  | 1 кг PET сав                                               |

#### 4.1 Амьдралын мөчлөгийн тооллого

Амьдралын мөчлөгийн тооллого (LCI) шатанд функциональ нэгж (1 кг PET сав)-д ногдох бүх материал, эрчим хүчний урсгалыг тооцсон.

Бүх урсгалыг дараах томъёогоор нормчилсон:

$$1 \text{ кг} - \text{д ногдох хэмжээ} = \frac{\text{Жилийн нийт хэмжээ}}{\text{Нийт үйлдвэрлэсэн PET (кг)}}$$

М-Си-Эс Кока-кола болон ТМЛ дахин боловсруулах үйлдвэрээс авсан анхдагч өгөгдлийг хавсралт 1-д нэгтгэв.

Өгөгдөлд суурилан, үйлдвэрлэлийн үр ашиг, дахин боловсруулалтын үр ашгийг тооцоололд ашигласан.

$$\eta_{\text{үйлд}} = \frac{\text{Үйлд} - \text{сэн } PET \text{ сав}}{\text{Худ. авсан } PET_{pref}} = \frac{7402.61 \text{ т}}{7582.92 \text{ т}} = 0.976$$

Дахин боловсруулалтын үр ашиг:

$$\eta_{\text{дах.болв}} = \frac{rPET}{\text{дах. бол} - \text{т орсон } PET} = \frac{3687.6 \text{ т}}{4883.5 \text{ т}} = 0.755$$

LCA-д ашигласан гол харьцаануудыг Хүснэгт 6-д нэгтгэн харуулав.

#### Хүснэгт 10. LCA-д ашигласан гол харьцаа

| Үзүүлэлт                                          | Томьёо                                                                    | Утга   |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| Үйлдвэрлэлийн үр ашиг                             | $\eta_{\text{үйлд.х}} = \frac{M_{\text{үйлд.х}}}{M_{\text{худ.ав}}}$      | 0.9762 |
| Ялтас хүртэлх дахин боловсруулалтын үр ашиг       | $\eta_{\text{ялтас}} = \frac{M_{\text{ялтас}}}{M_{\text{дах.бол-т орц}}}$ | 0.7708 |
| Үрэл хүртэлх дахин боловсруулалтын үр ашиг        | $\eta_{\text{үрэл}} = \frac{M_{\text{үрэл}}}{M_{\text{дах.бол-т орц}}}$   | 0.7551 |
| 1кг PET-д ногдох үрэл (кг/кг)                     | $\frac{M_{\text{үрэл}}}{M_{\text{үйлд}}}$                                 | 0.4981 |
| Дахин боловсруулалтын хэмжээ (анхны бүтээгдэхүүн) | $RR_{feed} = \frac{M_{\text{дах.бол-орц}}}{M_{\text{үйлд.х}}}$            | 0.6597 |

## 4.2 Амьдралын мөчлөгийн нөлөөллийн үнэлгээ ба тайлбар

Амьдралын мөчлөгийн нөлөөллийн үнэлгээ (LCIA) шатанд амьдралын мөчлөгийн бүртгэл (LCI)-д тооцогдсон материал, эрчим хүчний урсгалуудыг хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх нөлөөллийн ангилалд хөрвүүлэн тооцсон.

Энэхүү судалгаанд дараах нөлөөллийн ангиллыг үнэлэв:

- Дэлхийн дулаарлын потенциал (GWP):  $\text{кг } CO_2eq / \text{кг } PET$

Нөлөөллийг дараах ерөнхий томьёогоор тооцсон:

$$XXY = \sum Y_{йл. a_i} \times EF_i$$

Энд,  $a_i$ - тухайн шатанд хэрэглэсэн материал, түлш, эрчим хүч

$EF_i$ - тухайн урсгалын нэгж ялгарлын коэффициент ( $кг CO_2eq / нэгж$ )

### Хүснэгт 11. Тооцоололд ашигласан ялгарлын коэффициентууд

| Үзүүлэлт                                 | Тоон утга              | Ишлэл                 |
|------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Эрчим хүчний ялгарлын коэф.              | 0.68 $кг CO_2eq / kWh$ | (IPCC, 2006)          |
| Дизель түлшний ялгарлын коэф.            | 2.69 $кг CO_2eq / л$   | (IPCC, 2006)          |
| Нүүрсний ялгарлын коэф.                  | 2.42 $кг CO_2eq / кг$  | (IPCC, 2006)          |
| Анхдагч PET үйлдвэрлэлийн ялгарлын коэф. | 2.5 $кг CO_2eq / кг$   | (PlasticEurope, 2018) |

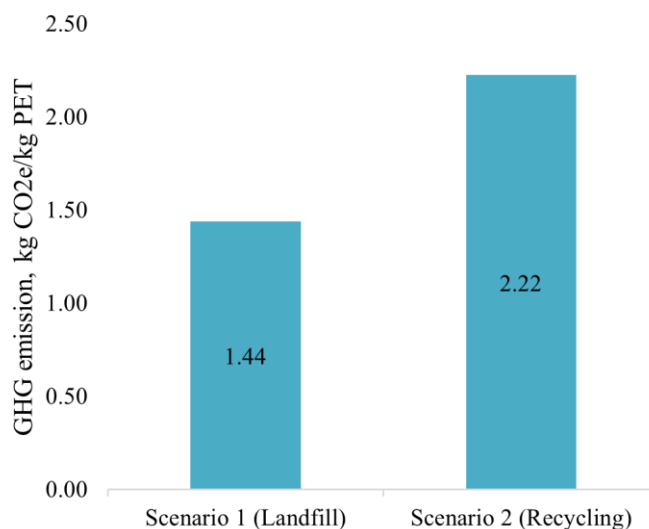
Хувилбар 1 (S1) -д бүх үйл ажиллагаанаас ялгарах ХХЯ-г нэгтгэн:

$$ХХЯ_{S1} = 1.44 \text{ кг } CO_2eq / \text{кг PET}$$

PET нь инерт материал тул ландфиллд метан ( $CH_4$ ) үүсэхгүй гэж үзсэн. Иймээс нөлөөллийн ихэнх хэсэг нь үйлдвэрлэлийн шатны цахилгаан, тээврийн дизель түлш зэрэг эх үүсвэрээс үүдэлтэй байна.

Хувилбар 2 (S2) -д бүх үйл ажиллагаанаас ялгарах ХХЯ-г нэгтгэн:

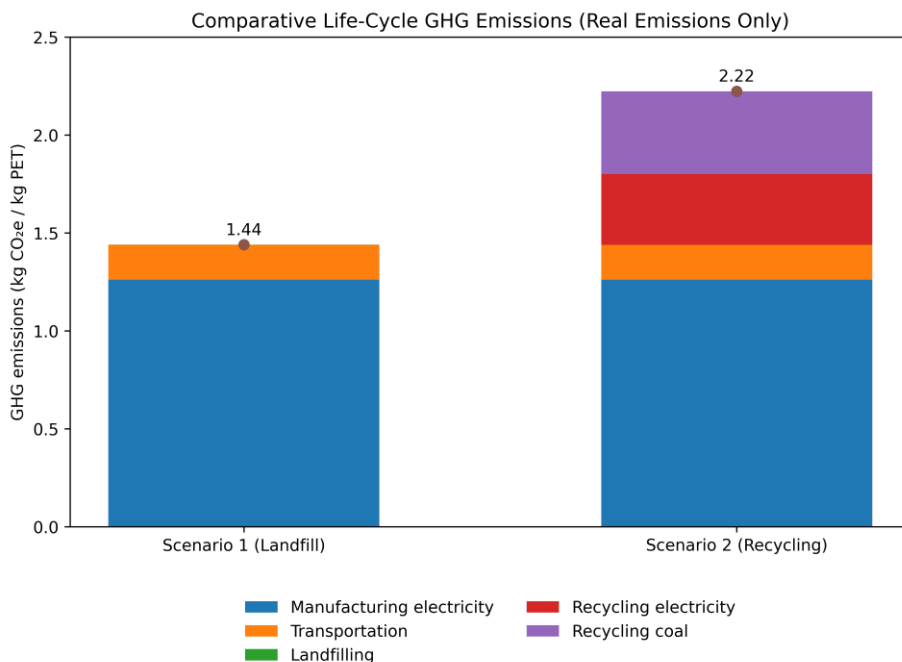
$$ХХЯ_{S2\_бодит} = 2.224 \text{ кг } CO_2eq / \text{кг PET}$$



Зураг 6. Хувилбаруудын бодит ХХЯ

Дахин боловсруулах хувилбар нь бодит нөхцөлд ХХЯ-аар ландфиллд булшлахаас өндөр байна. Учир нь дахин боловсруулалтад эрчим хүч, нүүрсний хэрэглээний улмаас ХХЯ суурь нөхцөлтэй харьцуулахад өндөр гарна.

РЕТ хуванцрын амьдралын мөчлөг дэх үе шатаар ХХЯ-г Зураг 4-т нэгтгэн харуулав.



### Зураг 7. РЕТ савны амьдралын мөчлөг дэх ХХЯ, хувилбар бүрээр

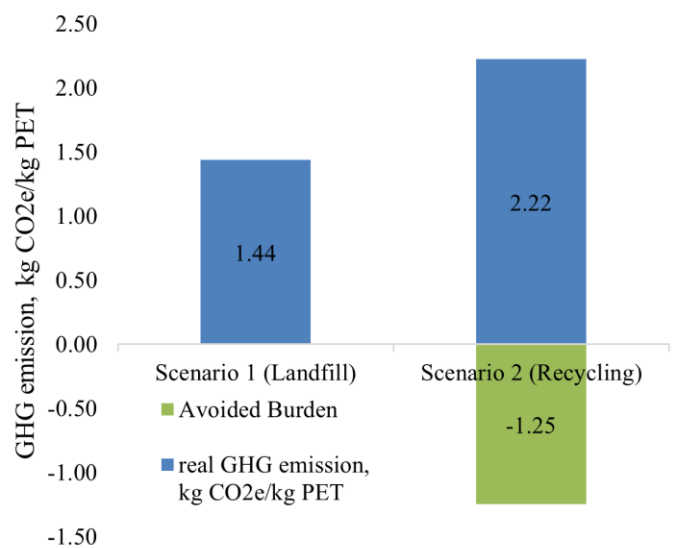
Зургаас харахад хувилбар тус бүрийн бодит ХХЯ нь дахин боловсруулах үйл явцад илүү байна. Энэ нь дахин боловсруулалтын өндөр эрчим хүчний хэрэглээ болон нүүрсний хэрэглээнээс улбаатай ялгарал юм. Мөн анх үйлдвэрлэсэн бүтээгдэхүүний хэмжээтэй харьцуулахад дахин боловсруулалтаас гарч буй үрлийн хэмжээ бага байгаа нь мөн ялгаралтад нөлөөлж байна.

Тийм учраас дахин боловсруулах системийн хувьд анхдагч РЕТ-г үйлдвэрлэхээс зайлсхийх ХХЯ-г тооцох зайлшгүй шаардлагатай.

Системийн өргөтгөл буюу зайлсхийсэн ХХЯ нь:

$$\text{ХХЯ}_{\text{зайлсхийсэн}} = \frac{M_{\text{үрэл}}}{M_{\text{үйлд}}} \times \text{ХХЯ}_{S2\_бодит} = -1.245 \text{ кг CO}_2eq / \text{кг РЕТ}$$

Хувилбар 2-ын нийт ХХЯ нь  $\text{ХХЯ}_{S2} = 0.978 \text{ кг CO}_2eq / \text{кг РЕТ}$



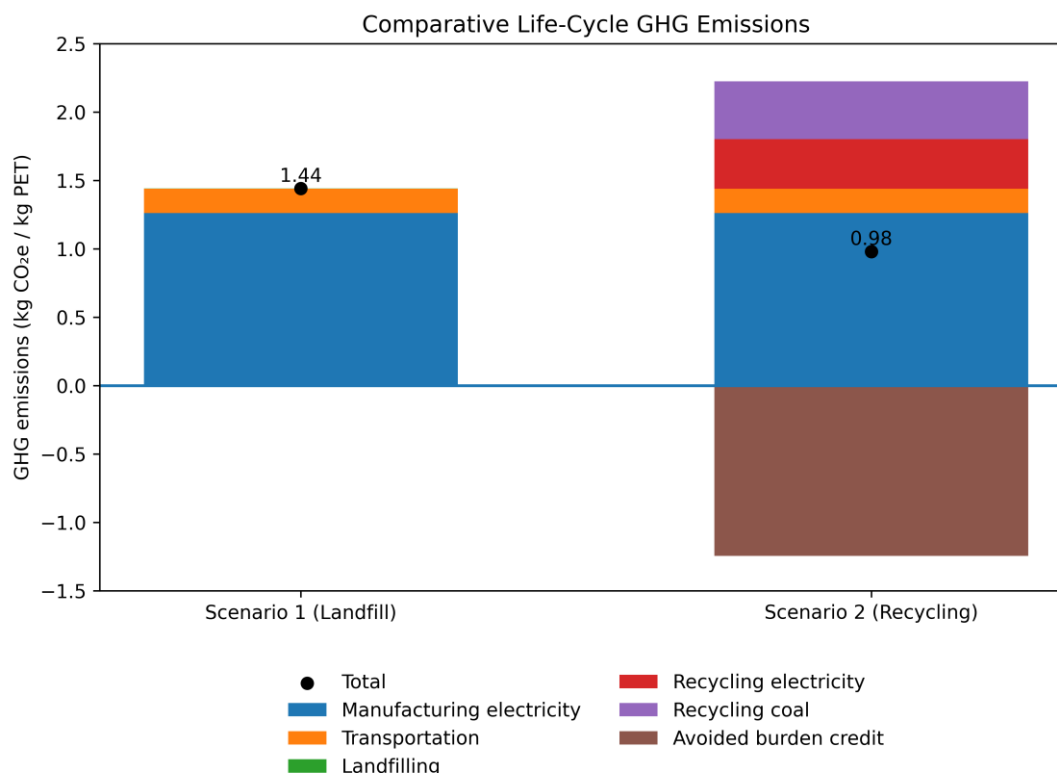
**Зураг 8. Системийн өргөтгөл зайлсхийсэн ХХЯ**

Дахин боловсруулалт хийснээр нефтийн түүхий эд олборлон PET хуванцар үйлдвэрлэлээс ялгарах 1.25 кг CO<sub>2</sub>eq / кг PET-аар зайлсхийх боломжтой байна.

**Хүснэгт 12. Хувилбаруудын харьцуулсан ХХЯ, кг CO<sub>2</sub>eq / кг PET**

| Хувилбар                 | Шууд ялгарал | Зайлсхийсэн ХХЯ | Нийт ХХЯ |
|--------------------------|--------------|-----------------|----------|
| S1 – Ландфилл            | 1.440        | 0               | 1.440    |
| S2 – Дахин боловсруулалт | 2.224        | -1.245          | 0.978    |

Дахин боловсруулалтыг нэвтрүүлснээр системийн хувьд 0.462 кг CO<sub>2</sub>eq / кг PET-ээр бууруулах боломжтой байна. Өөрөөр хэлбэл, хувилбар 1-ийн ХХЯ-г 32.1%-иар бууруулж байна.



### Зураг 9. Нийт системийн ХХЯ, амьдралын мөчлөг бүрээр

Системийг өргөтгөн анхдагч хуванцрыг үйлдвэрлэхээс ялгарах ХХ-ээс зайлсхийж буй үзүүлэлтийг оруулж ирснээс дахин боловсруулалтад агаар мандалд ялгарах ХХЯ-г 32.1%-ар бууруулж мөн 1.9-2.3 кг нефть буюу байгалийн нөөцийг боловсруулахаас зайлсхийж байна.

### 4.3 Дүгнэлт

PET савалгааг дахин боловсруулалтад оруулснаар байгаль орчинд нөлөөлөх нөлөөллийг тодорхойлох судалгааны ажлын дүнд дараах дүгнэлтэд хүрлээ. Үүнд:

- Хувилбар 1 буюу ланdfиллд булшлах үед 1.44 кг  $CO_2eq$  / кг PET хүлэмжийн хий ялгаруулж хүрээлэн буй орчинд нөлөөлж байна.
- Хувилбар 2 буюу дахин боловсруулан ашиглавал системийг өргөтгөн анхдагч хуванцрын үйлдвэрлэлээс ялгарах ялгарлаас зайлсхийснээр 0.98 кг  $CO_2eq$  / кг PET хүлэмжийн хий ялгаруулж орчинд нөлөөлнө. Дахин боловсруулалтыг хийснээр ХХЯ-г 0.462 кг  $CO_2eq$ /кг PET-р, 32.1%-р бууруулж байна.
- Мөн байгалийн шавхагдах нөөц болох нефтийг 1.9-2.3 кг -ийг олборлож боловсруулахгүй байх, түүнийг боловсруулж PET үйлдвэрлэхэд шаардлагатай эрчим хүч, ус зэрэг нөөцийг хэмнэх нөхцөлийг бүрдүүлж байна.

## 5. Зөвлөмж

Дахин боловсруулалтаас ялгарах ХХЯ-г бууруулахын тулд дараах зөвлөмжийг өгч байна. Үүнд:

- **Дахин боловсруулалтын гарц, үр ашгийг нэмэгдүүлэх:** ангилан ялгалтыг сайжруулах, угаалтын технологийг шинэчлэх, экструдер болон хөвсгөр нунтаг ялтасны хаягдлыг багасгах арга хэмжээ буюу үйлдвэрийн горимын тохиргоог нарийн сайн хянаж, оновчтой нөхцөлийг тогтоох хэрэгтэй.
- **PET савлагааг үйлдвэрлэх болон дахин боловсруулахад цахилгаан эрчим хүч, дулаан үйлдвэрлэлд нүүрстөрөгчийн бага эрчимжилтэй технологи руу шилжих:** үлээлт, савлалт, дахин боловсруулалтын үеийн цахилгаан, дулааны эх үүсвэрийг шинэчлэх хэрэгтэй. Нарны цахилгаан үүсгүүр суурилуулах, эрчим хүчний хэмнэлттэй тоног төхөөрөмж ашиглах болон эрчим хүчний хяналтын системийг нэвтрүүлэх зэрэг арга хэмжээг авч болно.
- **Тээвэр, логистикийн үйл ажиллагааны ялгарлыг бууруулах:** бараа түгээх болон цуглуулгын оновчлолоор туулах замын хэмжээг бууруулснаар түлшний зарцуулалт буурна. Тээврийн хэрэгслийн стандартыг нэмэгдүүлэх, цахилгаан ачааны машин турших зэрэг арга хэмжээнүүдийг авч хэрэгжүүлэх боломжтой.
- **Үйлдвэрлэсэн PET савыг бүрэн цуглуулах үр ашгийг нэмэгдүүлэх:** олон нийт рүү чиглэсэн үйл ажиллагааг явуулж цэвэрхэн, дахин боловсруулалтад орох шаардлагыг хангасан дахивар бүтээгдэхүүн цуглуулахад албан болон албан бус оролцогчдыг татан оролцуулахад анхаарч ажиллах хэрэгтэй.

## Ашигласан ном зохиол

- Franklin Associates. (2023). *Life cycle assessment of predominant U.S. beverage container systems for carbonated soft drinks and domestic still water*. NAPCOR.
- Haixin Jiao et al. (2024). A critical review on plastic waste life cycle assessment and management: Challenges, research gaps, and future perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 271(115942), 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.115942>
- IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Vol.2-Energy*.
- ISO14040/14044. (2006). ISO 14040/14044:2006 Environmental management-life cycle assessment-principles and framework, requirements and guidelines. International Standard Organization.
- Jenna R.J, I. W.-F. (2023, June 16). The impacts of plastics's life cycle. *One earth*, 6, 600-606. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.015>
- MCS-Coca-Cola-МУИС. (2026, 01 06). Ажил гүйцэтгэх гэрээ. Улаанбаатар.
- Ministry of Construction and Urban Development, G. о. (2024, August 06). Solid waste management in Mongolia: Construction and Energy sector's waste recycling case. *Solid waste management in Mongolia: Construction and Energy sector's waste recycling case*. Ulaanbaatar, Mongolia .
- MIRIM. (2022). *Монгол улс дахь дахин боловсруулсан хуванцар бүтээгдэхүүний зах зээлийн судалгаа* . Улаанбаатар : EU-Switch Asia-SPRIM project.
- People in need. (2025, March 27). *From waste to Wealth: Empowering small businesses to lead Mongolia's Green and Circular Transition* . Retrieved from People in need : <https://www.peopleinneed.net/from-waste-to-wealth-empowering-smes-to-lead-mongolias-green-and-circular-transition-12465gp>
- PlasticEurope. (2018). *Eco-profiles and Environmental product declarations of the european plastics manufacturers: polyethylene terephthalate (PET)*.
- Plastics Europe. (2025). *Plastics the fast facts 2025*.
- Sarah L.N and Corinne D.S. (2024). Recommendations for life-cycle assessment of recyclable plastics in circular economy. *Chemical Science*, 9397-9407. doi:DOI: 10.1039/d4sc01340arsc.li/chemical-science
- Unubold B. (2024, April 15). *Ulaanbaatar's potential: Recycling 44420 tons of plastic annually* . Retrieved from Montsame: <https://montsame.mn/en/read/341800>
- Үндэсний статистикийн хороо. (2024). *Хатуу хог хаягдлын данс 2020-2023*. Улаанбаатар.

