

---

# ХУВАНЦАР ХОГ ХАЯГДЛЫГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛСАН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ДҮН ШИНЖИЛГЭЭ, ТУРШИЛТ

---

СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ХУРААНГУЙ ТАЙЛАН  
ЦУВРАЛ 1.

Гүйцэтгэгч: Л.САРАНТУЯА, Доктор

Захиалагч: МОНГОЛЫН БАЙГАЛЬ ОРЧИН  
АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ТӨВ ТББ

Санхүүжүүлэгч: КАРИТАС ЧЕХ РЕПАБЛИК

## ХУВАНЦАР ГЭЖ ЮУ ВЭ?

Хуванцар нь бидний өдөр тутмын амьдралд хамгийн өргөн хэрэглэгддэг материалуудын нэг юм. Технологийн хөгжил болон хотжилтын хэт хурдацтай өсөлтөөс шалтгаалан хуванцар хог хаягдал асар их хэмжээнд хүрч байна. Тэдгээр хуванцруудын ихэнх хэсгийг полиэтилентерефталат (polyethylene terephthalate PET) нэгдлийг ашиглаж хийсэн усны сав, хоолны сав болон нэг удаагийн хэрэглээтэй уут зэрэг эзэлж байна. Харин эдгээр хуванцар хаягдал нь хүрээлэн буй орчинд маш их хэмжээгээр хаягддаг ба тэдгээр нь удаан задралд ордог буюу хэдэн арван жилээс хэдэн зуун жил огт задрахгүй үлддэг зэргээс болж сүүлийн жилүүдэд хамгийн тулгамдсан хүрээлэн буй орчны асуудлуудын нэг болоод байна.

Хуванцар хог хаягдлын асуудлыг шийдэх 4 үндсэн арга байдаг. Үүнд: Булах; Шатаах; Био задрал; Дахин боловсруулах зэрэг аргууд ордог.

Ихэнхдээ хуванцар хог хаягдлыг газар булах эсвэл шатаах аргуудыг сонгодог боловч энэ арга нь маш том хэмжээний талбай шаардагдах, хортой хийг ялгаруулж агаарын бохирдлыг нэмэгдүүлэх, бусад ахуйн хэрэглээний хог хаягдлуудтай нэгдэж химийн хортой бодис үүсгэх, хөрсөнд нэвчиж гүний усыг бохирдуулах зэрэг байгаль орчин, хүний эрүүл мэндэд маш олон сөрөг үр дагаврыг авчирдаг.

Тодорхой системчлэгдээгүй хог хаягдлын менежменттэй, хотожсон бүс нутгийн хувьд хуванцар хаягдал нь томоохон асуудал үүсгэж байгаа учраас дээрх аргуудтай харьцуулахад бага энерги зарцуулдаг, байгаль орчинд ээлтэй арга нь **дахин боловсруулах арга юм**.

Түүний нэг жишээ нь хаягдал хуванцрыг ашиглан бетон блок гарган авах судалгаа юм. Дахин боловсруулсан хуванцар хаягдлыг бетон дээр нэмэхэд ямар нэгэн шинж чанарт нь өөрчлөлт үзүүлдэггүйгээрээ давуу талтай. Хаягдал материалуудыг дүүргэгч болон холбогчоор ашиглах нь олон давуу талтай боловч бүх хуванцар хаягдлууд тохиромжтой байдаггүй. Тиймээс инженерүүд хуванцрыг хольц хэлбэрээр ашиглах нь элбэг.

Хэд хэдэн төрлийн хуванцар хаягдлыг бетон блок үйлдвэрлэлийн салбарт дүүргэгчээр ашиглаж болдог. **Expanded polystyrene (EPS)** дээр суурилсан хаягдлууд, өндөр нягттай полиэтилен (high-density polyethylene HDPE), полиэтилентерефталат (polyethylene terephthalate PET)-аар хийгдсэн хаягдал савнууд, полипропилен болон полиэтилен уутнууд нь бетон үйлдвэрлэлд өргөнөөр ашиглагддаг. Бага нягттай полиэтилен (low-density polyethylene LDPE) нь химийн урвалд тэсвэртэй бөгөөд илүү өргөн хүрээний хэрэглээтэй. LDPE нь хайлах температур багатай, шатамхай, дулаанд тэсвэргүй боловч маш сайн холбогч шинж чанартай байдаг.

Монгол улс жилд дунджаар 330 тэрбум орчим төгрөгийг зөвхөн хүнсний хуванцар, сав баглаа боодол, ус ундаа, жүүс, шар айрагны савны үйлдвэрлэлд зарцуулж байна. Нийтдээ 20000 орчим тонн хуванцар савны хог хаягдал үүсдэгээс дөнгөж 30% буюу 6000 орчим тонныг цуглуулж дахин боловсруулж экспортод бэлтгэн гаргаж байна. Цуглуулах савны хэмжээ ийм байгаа ч өнөөдрийг хүртэл технологид тулгуурласан дахин боловсруулах үйлдвэрийн түүхий эд татан төвлөрүүлэх дэд бүтэц байхгүй, зах зээлийн энэ орон зай хоосон хэвээр байна.

## ХУВАНЦАР МАТЕРИАЛЫН ФИЗИК, ХИМИЙН ШИНЖ ЧАНАР

Судалгааны голлох үр дүн болох хуванцар бүрийн физик болон химийн шинж чанарыг тодорхойлсон үр дүнгүүд нь цуврал болон дэлгэрэнгүй бичигдэх учраас энэхүү хураангуй тайланд хялбаршуулан хүснэгтээр орууллаа.

	01 PET Polyethylene terephthalate	02 HDPE High-density polyethylene	03 PVC Polyvinyl chloride	04 LDPE Low-density polyethylene	05 PP Polypropylene	06 PS Polystyrene	07 OTHER Бусад хуванцарууд
ШИНЖ ЧАНАР	Тунгалаг, хүнд хуванцар	Ихэвчлэн цагаан эсвэл өнгөтэй хуванцар	Хатуу уян чанаргүй хуванцар	Зөөлөн, уян хатан хуванцар	Хатуу, уян хатан хуванцар	Хатуу, уян хатан хуванцар	Бусад бүх төрлийн хуванцар мөн нелон акриллууд
ХЭРЭГЛЭЭ	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ундааны савнууд</li> <li>✓ Шуудай</li> <li>✓ Олс</li> <li>✓ Хивс, дроз</li> <li>✓ Хувцас</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Сүүний сав</li> <li>✓ Майноны сав</li> <li>✓ Шингэн саван</li> <li>✓ Шампуунь</li> <li>✓ Хүүхдийн тоглоом</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Хүнсний бус сав</li> <li>✓ Сангийн хоолой</li> <li>✓ Цонх</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Сүүний уут</li> <li>✓ Зөөлөн соусны сав</li> <li>✓ Хүнсний уут</li> <li>✓ Бүх төрлийн скоч</li> <li>✓ Хүлэмжний гялгар уут</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Тарагны сав</li> <li>✓ Масло, Маргаринь сав</li> <li>✓ Хоол хүнс хадгалах сав</li> <li>✓ Цэвэр усны хоолой</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Нэг удаагийн хоолны сав</li> <li>✓ Баглаа боодлын хөвсөнцөр зөөлөвч</li> <li>✓ Нэг удаагийн халбага сэрээ</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CD DVD MiniD</li> <li>✓ Нярайн үгж</li> <li>✓ Машины хэсгүүд</li> <li>✓ Цэвэр усны сав 20л</li> <li>✓ Электрон барааны хэсгүүд</li> </ul>
ДАХИН БОЛОВСРУУЛАЛТ	 Энэ төрлийн хуванцарыг дахин боловсруулж хувцас үйлдвэрлэлд түлхүү ашигладаг бол сүүлийн үеийн технологиор дахин боловсруулсан PET нийг хүнсэнд эргүүлэн ашиглаж байна	 Энэ хуванцар нь дэлхий дээр хамгийн түгээмэл ашиглагддаг хуванцар юм. Дахин боловсруулсан HDPE үндсэн шинж чанарын алдагдал бага учраас хүнс эрүүл ахуйн салбараас бусад бүх салбарт дахин ашиглах боломжтой.	 Энэ төрлийн хуванцар нь ихэвчлэн барилгын салбарт ашигладаг. Мөн эмийн савалгаанд ашигладаг. Дахин боловсруулхад шинж чанар нь алдагддаг учраас эргүүлээд анхны байдлаар нь ашиглах боломжгүй.	 Ихэнх гялгар утгууд энэ төрлийн хуванцарт хамаарна. HDPE г бодход нягт бага. Дахинболовсруулах үед шинж чанар нь алдагддаг хатуурдаг учраас дахин анхны байдлаар ашиглах боломжгүй.	 Ихэнх гялгар утгууд энэ төрлийн хуванцарт хамаарна. HDPE г бодход нягт бага. Дахинболовсруулах үед шинж чанар нь алдагддаг хатуурдаг учраас дахин анхны байдлаар ашиглах боломжгүй.	 Нэг удаагийн хоолны сав халбага сэрээ хөвсөнцөрийн үндсэн түүхий эд болдог энэ хуванцар нь дахин боловсруулхад шинж чанар нь бүрэн өөрчлөгддөг учраас анхны байдлаар ашиглах боломжгүй.	 Энэ ангилалд түгээмэл биш олон төрлийн шинж чанар бүхий хуванцарууд хамаарадаг учраас ангилан ялгаж дахин боловсруулхад хүндрэлтэй. Нийг хуванцар бүтээгдэхүүний 5-10 хувийг л эзэлдэг.

Зураг 1. Хуванцар материалын ангилал

### Хүснэгт 1. Хуванцар материалын химийн шинж чанар

Химийн шинж чанар						
	PET	HDPE	LDPE	PP	PS	PVC
Усанд уусах чанар	Уусахгүй	Уусахгүй	Уусахгүй	Уусахгүй	Уусахгүй	Уусахгүй
Уусгагч бодис	o-chloro-phenol	Benzene, toluene, tetralin	Benzene, toluene, tetralin	Tetralin, xylene, decalin	Acetone	Acetone, Methyl Ethyl Ketone
Спирт тэсвэрлэх шинж чанар	Сайн	Сайн	Сайн	Сайн	Дунд зэрэг	Дунд зэрэг
Алифатик нүүрсустөрөгч тэсвэрлэх	Сайн	Дунд зэрэг	Дунд зэрэг	Дунд зэрэг	Муу	Дунд зэрэг
Органик тос тэсвэрлэх	Сайн	Сайн	Сайн	Сайн	Муу	Сайн
Сулруулсан шүлтийг тэсвэрлэх	Дунд зэрэг	Сайн	Сайн	Сайн	Дунд зэрэг	Сайн
Сулруулсан хүчлийг тэсвэрлэх	Сайн	Сайн	Сайн	Сайн	Дунд зэрэг	Сайн
UV гэрэл тэсвэрлэх	Муу	Муу	Муу	Муу	Муу	Муу

### Хүснэгт 2. Хуванцар материалын физик шинж чанар

Физик шинж чанар							
	PET	HDPE	LDPE	PP	PS	PVC	Нэгж
Молекул бүтэц	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>	
Мономерийн молекул масс	192	28.1	28.1	42.08	104.1	62.5	гр/моль
Дундаж масс (полимер)	10-50	200-500	30-50	250	150-400	30-80	кг/моль
Нягт	1.41	0.94-9.8	0.91-0.925	0.855-0.946	1.04	1.38	гр/см <sup>3</sup>
Хайлах температур	265	127	115	130-171	240	100-260	°C
Хугарлын илтгэгч	1.575	1.49	1.49	1.49	1.6	1.5	
Шахалтын хүч	172	21-35	10	33.1	34	52	МПа
Усны шингээлт	0.3	<0.05	<0.01	0.03	1.9-5	0.04-0.4	%
Дулаан дамжуулал	0.14	0.51	0.34	0.2	0.033	0.2	Ватт/мК
Хөлдөлт эсэргүүцэх	-50	-70	-50	-20			°C
Өнгө	Тунгалаг	Тунгалаг	Тунгалаг	Тунгалаг	Тунгалаг, Цагаан	Цагаан	

## ХУВАНЦАР МАТЕРИАЛУУДЫН ХҮРЭЭЛЭН БҮЙ ОРЧИНД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛЛИЙН СУДАЛГАА

### Хуванцар материалын задрал явагдах нөхцөл

Хуванцар материалууд нь байгаль дээр оршин байдаг органик полимер нэгдлүүд болох торго, целлюлоз, коллаген, энзим болон ДНХ-тэй яг ижил химийн холбооноос тогтдог. Байгаль дээрх полимер болон синтетик хуванцруудын химийн холбоонууд ижил байдаг учир тэдгээрийн задрал болон түүнээс үүсэх бүтээгдэхүүнүүд хүртэл хоорондоо ижил байдаг. Дээр дурдсан полимерууд эхлээд жижиг хэмжээтэй партикл буюу бөөм болж задрах ба цаашдаа молекулын түвшинд задарч хамгийн сүүлд эцсийн бүтээгдэхүүн болох  $CO_2$  болон ус болж задардаг. Байгаль дээрх хуванцрууд нь хүчилтөрөгч, температурын өөрчлөлт болон био-задралын нөлөөллөөр задарч эхэлдэг.

Тухайн хуванцрын төрөл зүйлээс хамаарч хүрээлэн буй орчинд задрах хурд нь харилцан адилгүй байдаг. Жишээ нь нефтийн гаралтай хуванцруудын далайн усанд задрах хугацаа нь хогийн цэг дээрх хуванцруудаас илүү удаан явагддаг. Учир нь далайн усанд агуулагдах хүчилтөрөгчийн агууламж болон температур бага байдаг учир илүү удаан задардаг. Харин далайн усанд хаягдсан HDPE болон LDPE-ийн задралын дундаж хугацаа нь хогийн цэг дээр байгаагаас илүү хурдан явагдаж байгаа нь зарим судалгаануудын статистик үр дүнгээс ажиглагдсан. Далайн усан дахь хүчилтөрөгчийн концентраци болон температур нь хуурай газрынхаас бага учир задрах хурд удаан ч далайд түсч байгаа нарны UV гэрлийн хэмжээ хогийн цэг дээр задарч байгаа хуванцартай харьцуулахад илүү их байдгаас шалтгаалан задрал хурдан явагдах боломжтой юм.

Бидний судалгааны үр дүнгээс харахад хуурай газарт байгаа хуванцар дээр туссан нарны гэрлийн нөлөөгөөр тухайн хуванцрын температур аажмаар нэмэгдэж орчны болон агаарын температураас өндөр температурт хүрсэн тохиолдолд задралын хурд нэмэгдэж байна.

Зарим хогийн цэг болон үйлдвэрийн хаягдал хуванцруудын температур 90-1000C-д хүрч хангалттай хэмжээний дулаан болон хүчилтөрөгч, чийгийн агууламжтай болсон тохиолдолд тухайн хуванцрууд дээр дулааны исэлдэлт болон гидролизын урвал явагдаж байна.

Хогийн цэг дээрх хуванцрууд дээр бактери, хаг, мөөгөнцөр зэрэг биологийн биетүүд үүсдэг бөгөөд удаан хугацааны турш хуримтлагдсан шороо тоосонд дарагдсаны улмаас түүн дээр тусах нарны гэрлийн эрчмийг бууруулж байна. Харин усан орчинд байгаа хуванцрууд дээрх биологийн биетүүд тухайн хуванцрын нягтыг нэмэгдүүлж усанд живүүлдэг (PET, PVC, PLA эдгээр хуванцрууд нь усанд хөвдөггүй) ба ингэснээр

тухайн хуванцрууд дээр тусах гэрлийн эрчмийг бууруулдаг. Гэхдээ хуванцар хаягдлууд нь усанд живэх, буцаж хөвөх процесс хэдэн удаа явагдаж байгаагаас хамаарч тухайн хуванцруудын задрах урвалын хурд шууд хамаарна. Тухайн хуванцруудын гадаргуу дээр биологийн биет үүссэнээс болж живсний дараа тусах гэрлийн эрчим буурч хуванцар дээр тогтсон биологийн биет салж тухайн хуванцар дахин усны гадаргуу дээр буцаж гарч ирдэг. Хамгийн сонирхолтой нь нефтийн гаралтай хуванцруудын гэрлийн задралын хугацаа нь био-задралаар задардаг хуванцруудтай түн төстэй байв. Бид өргөн хэрэглээний хуванцруудын хагас задралын хугацааг тодорхойлсон туршилтын үр дүнг доорх хүснэгтэд харуулав.

### Хүснэгт 3. Өргөн хэрэглэгддэг хуванцруудын хагас задралын хугацаа

Хувийн гадаргуугийн задрах хурд (µм жил-1)							Хагас задралын хугацаа (жил)			
Төрөл	Хэрэглээ	Дундаж зузаан (µм)	Газарт	UV гэрэлд	Усан орчинд	Усан орчинд UV гэрэлд	Газарт	UV гэрэлд	Усан орчинд	Усан орчинд UV гэрэлд
PET	Усны сав	500	0	-	-	110	>2500	-	-	2.3
HDPE	Пластик уут	500	1.1	1.3	4.3	9.5	250	190	58	26
PVC	Хоолой	10000	0	-	-	-	>2500	-	-	-
LDPE	Кофены аяга	100	11	22	15	10	4.6	2.3	3.4	5
PP	Соруул	800	-	0.5	7.5	4.6	-	780	53	87
PS	Тусгаарлагч	20000	0	-	-	-	>2500	-	-	-
Бусад	Холимог	100	270	320	16	180	0.18	0.15	3.1	0.2

1. **Polyethylene terephthalate - PET(E):** Энэхүү хуванцар нь бидний амьдралд хамгийн өргөн хэрэглэгддэг хуванцар материал ба бусад хуванцруудтай харьцуулахад гэрлийн задрал болон исэлдэлтийн тусламжтайгаар илүү хурдан задардаг. Гал тогооны хэрэгсэл болон жимсний тор болон цэвэр усны савыг PET-ээр хийдэг ба байгаль дээр хаягдсан PET нь 450 жилийн дараа задарна.
2. **High-density polyethylene - HDPE:** Полиэтиленээр хийдэг 2 төрлийн хуванцруудыг хооронд нь харьцуулахад HDPE нь LDPE-ээс илүү төвөгтэй химийн бүтэцтэй байдаг. Бидний өргөн хэрэглэдэг хүнсний уут нь хогийн цэг дээр ойролцоогоор 450 жилийг зарцуулж байж задрах боломжтой.

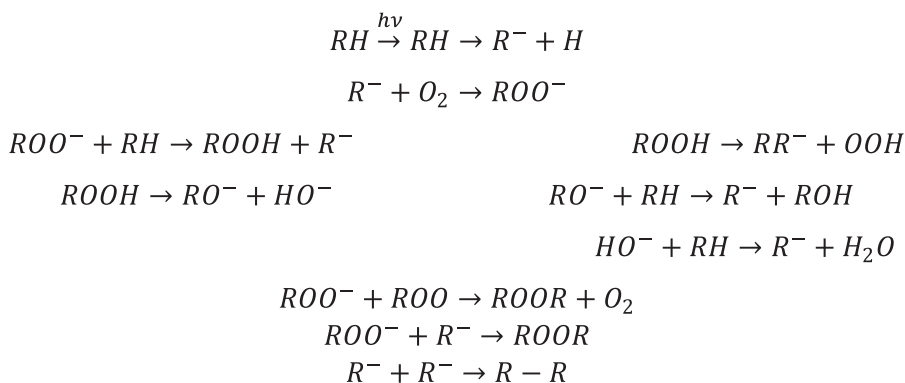
3. **Polyvinyl chloride- PVC:** Энэ төрлийн хуванцрууд харьцангуй тогтвортой ба химийн задрал болон исэлдэлтэд бага ордог. PVC хуванцрыг задлахын тулд тодорхой төрлийн мөөгөнцөр болон дулааны задралыг ашиглах хэрэгтэй ба задралын хугацаа нь 450 жилээс ч илүү удаан явагдана.
4. **Low-density polyethylene- LDPE:** LDPE нь полиэтиленээр хийгддэг ч гэсэн био-задралаар задлахад илүү төвөгтэй. Кофены аяганд ашигладаг LDPE-ийг бүрэн задлахад ойролцоогоор 2-20 жил шаардагдана.
5. **Polypropylene- PP:** Полипропиленийг хүчил болон шүлтээр үйлчилж уусгах боломжгүй боловч исэлдүүлэх боломжтой. Харин энэ төрлийн хуванцруудыг цардуултай хольсноор PP хуванцрыг бактерийн тусламжтай задалж болдог. Нэг удаагийн соруул болгон ашигладаг PP бүрэн задрах хүртэл 200-450 жил шаардагдах бол харин чипсний уутанд ашигладаг хөнгөн цагаантай хольсон PP байгаль дээр 1 сая жилээс ч удаан хугацаагаар задралгүй үлдэнэ.
6. **Polystyrene- PS:** Энэ төрлийн хуванцруудыг хүчил болон шүлтээр үйлчилж задлах боломжгүй ба зөвхөн тодорхой төрлийн бактерийн тусламжтайгаар задлах боломжтой. Хөөсөнцөр материалд ашигладаг PS полимер нь био-задралаар бүрэн задарч дуусах хүртэл 500-аас 1 сая жил хүртэлх хугацааг зарцуулана.
7. **Бусад:** Дээрх төрөлд орохгүй буюу холимог хуванцруудын задрах хугацаа агуулж байгаа полимерийн шинж чанараас хамаарч харилцан адилгүй байна.

### Хэт ягаан туяа (UV)-ны гэрлийн үйлчлэлээр явагдах задрал

Нарны гэрлээс ялгарах хэт ягаан туяа нь ихэнх полимер нэгдлүүдийн химийн холбоог задлаж молекул массыг багасгах радикал гинжин урвалыг үүсгэдэг фото-исэлдэлтийн процессыг эхлүүлэхэд зайлшгүй шаардлагатай байдаг. Гэрлээр үйлчилж фото-исэлдэлтээс болж үүссэн хэлхээнийхээ төгсгөлдөө хүчилтөрөгчтэй функциональ бүлэг агуулсан жижиг гинжин хэлхээнүүд нь тухайн хуванцруудын гадаргууд биологийн биет наалдах боломжийг нэмэгдүүлснээр микро организм болон минералжуулалтад илүү их өртөмтгий болдог. Иймээс бид фото-исэлдэлт болон био-задралыг хамтад нь ашиглаж полиэтиленийн задралын хурдыг судалсан.

Карбонил бүлэгтэй полиэтиленийг 60 цагийн турш хэт ягаан туяагаар шарж фото-исэлдэлт явуулсны дараагаар микро организмаар үйлчилж фото-исэлдэлт нь био-задралын хурдад хэрхэн нөлөөлж байгааг судаллаа. Доорх тэгшитгэлээр хуванцрын фото-исэлдэлтээр задрах урвалын механизмыг харууллаа.





**Карбоксил бүлэг (ROOH)** — Хуванцарт Фото-исэлдэлт эхлэх үед хамгийн эхлээд ROOH буюу карбоксил бүлэг үүсдэг. Карбоксил бүлэг үүссэний дараагаар маш олон төрлийн шинэ радикалууд үүсч задрах хурдыг нэмэгдүүлэнэ.

**Металлын ионууд** — Полимер нэгдлүүдийн задрах хурдыг нэмэгдүүлэхийн тулд металлын ионуудыг фото-исэлдэх урвалын катализатороор ашиглана. Полиэтиленийг задлахын тулд металлын ионыг гэрлийн тусламжтайгаар өдөөж полимер нэгдлийн хэлхээнд исэлдэн ангижрах урвал явуулж чөлөөт радикал үүсгэнэ.

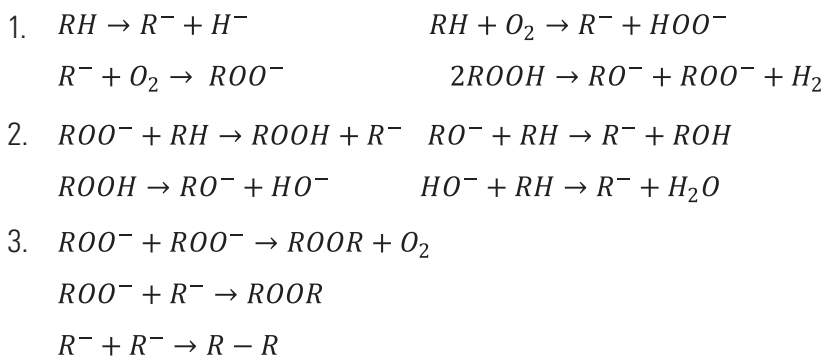
**Карбонил бүлэг** — Хэрвээ тухайн полимер нэгдлийн хэлхээ карбонил бүлэг агуулж байгаа тохиолдолд гэрлийн тусламжтайгаар хэд хэдэн норришын урвал явагдаж  $\alpha$  гинжин задрал,  $\alpha$ - $\beta$  гинжин задрал болон  $\beta$  үстөрөгч шилжих урвалууд явагдаж эхэлнэ.

## Дулааны задрал

Хуванцар материалыг агаарт буюу хүчилтөрөгчтэй орчинд халаах үед полиолефиний исэлдэн задрах хурдыг нэмэгдүүлдэг. Дулааны исэлдэлтээр үүсгэсэн хүчилтөрөгч агуулсан хажуугийн бүлэг нь тухайн хуванцрын гадаргууг илүү гидрофил шинж чанартай болгодог учир дулааны исэлдэлтийн дараа тухайн гадаргууд микро организм тогтох боломжийг нэмэгдүүлдэг. Ингэснээр дахин био-задралд оруулах болон задралын хурдыг нэмэгдүүлэх боломж нь ихэсдэг.

LDPE, HDPE, PP зэрэг хуванцруудыг эхлээд 80°C-д 10 өдрийн турш дулаанаар үйлчилж дараагаар хөрсөнд 2 сарын турш био-задралд оруулсан ба ингэхэд задралын хурд нь харгалзан 6.3, 1.8 болон 0.1 мкм/жил байснаас 12, 4.5 болон 2.7 мкм/жил болж өссөн байна. Мөн усан орчинд дулаанаар үйлчилсэн болон үйлчлээгүй үед LDPE болон HDPE хуванцруудыг 2 сарын турш задралын хугацааг тодорхойлсон. Дулаанаар үйлчилсэн хуванцар материалууд дээрх бактерийн өсөлт нэмэгдсэн ба мөн түүнийгээ

дагаад дулаанаар үйлчилсэн LDPE болон HDPE-ийн жингийн алдагдал 10 болон 1%-аас 17 болон 5.5% хүртэл ихэссэн байгаа нь илүү хурдан задарч байгааг харуулж байна. Доорх тэгшитгэлээр хуванцрын дулааны исэлдэлтээр задрах урвалын механизмыг харуулав.



Эхний тэгшитгэлд харуулсанаар урвалын эхэнд дулаан болон хүчилтөрөгчийн нөлөөгөөр чөлөөт радикал R· үүснэ.

Хоёрдугаар тэгшитгэлд харуулсанаар урвалын эхэнд үүссэн R· радикал хүчилтөрөгч болон бусад хэлхээтэй харилцан үйлчилж пероксид болон карбоксил бүлэг үүсгэх ба тэдгээр нь дахин урвалд орж илүү их чөлөөт радикал үүсгэж байна.

Урвалын төгсгөлд буюу 3-р тэгшитгэлд харуулсанаар чөлөөт радикалууд бие биетэйгээ урвалд орж задрал зогсож байна.

### Чийгшлээс шалтгаалан явагдах задрал

Өндөр чийгийн агууламжтай орчинд полиэфир гидролизын урвалд орж задрах хурдыг нэмэгдүүлдэг. Жишээ нь PET-ээр хийгдсэн түршилтаар хуванцар савны гинжин хэлхээний задрал 60°C-д харьцангуй чийгшил 100% байх үед 45% байх үеээс 5 дахин илүү хурдан задарч байгаа үр дүн үзүүлээ. Харин орчны температур 80°C болон түүнээс их үед дулааны-исэлдэлтээр задрах хурд нь гидролизд орж задрах хурднаас хэтэрхий их байдаг учир чийгийн хэмжээ задрах хурдад нөлөөлсөнгүй. Мөн түүнчлэн чийгийн хэмжээ нэмэгдэх тусам PLA хуванцрын фото-задралын хурд болон PE, PP, PVC зэрэг хуванцар материалуудын гидроксил бүлгийн концентрацийг нэмэгдүүлж задрах хурдыг улам нэмэгдүүлж байгаа зүй тогтол ажиглагдав.

### Микро хуванцруудын хоруу чанарын судалгаа

Өмнө нь олон нийтийн дунд хуванцар сав баглаа боодлын хор хөнөөл, эрүүл мэндэд үзүүлэх сөрөг нөлөөг огт тооцоолдоггүй байсан бөгөөд тухайн полимерийг хийх явцад

ашигласан тогтворжуулагч болон нэмэлт мономерийн бүтэц шинж чанар цаашлаад микро хэмжээтэй жижиг хэсгүүдээс болж хүний эрүүл мэндэд үүсч болох эрсдэлийг олж тодорхойлох шаардлага тулгараад байна.

Хуванцар материалд агуулагдаж буй нэмэлт бодисууд нь хүний биед хорт хавдар үүсгэх болон дотоод шүүрлийн эмгэг үүсгэдэг. Эдгээр нэмэлт бодисуудад хүний бие махбодь хуванцар материалыг хэрэглэж байх үедээ хоол боловсруулах замаар, арьсаараа хүрэх болон амьсгалын замаар өртөж байна.

Гол усанд хаягдсан хуванцруудаас үүссэн микро хэмжээтэй хуванцруудыг загас болон бусад төрлийн амьтад идсэнээр тэдгээрийн хоол боловсруулах эрхтэн системд хуримтлагдаж цаашлаад үхэлд хүргэх аюултай.

Мөн микро хуванцраар бохирдсон далай гаралтай бүтээгдэхүүнийг хэрэглэх нь хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлж байна.

Доорх хүснэгтээр микро болон нано хэмжээст хуванцрын хэмжээнээс хамаарч хөхтөн амьтны биед хэрхэн нэвтэрч байгааг харууллаа.

#### **Хүснэгт 4. Микро болон нано хэмжээтэй хуванцрын хэмжээнээс хамаарч хөхтөн амьтны биед нөлөөлөх**

<b>1 нм-5000 мкм хэмжээтэй хуванцрууд</b>	
0.1-5000 мкм микро хуванцрууд	1-100 (0.01-0.1 мкм) нм нано хуванцрууд
>150мкм үед нэвчихгүй	
<150 мкм үед тунгалгийн булчирхайд нэвчинэ	Бүх эрхтэн тогтолцоонд нэвчиж цусны урсгалд саад учруулана.
110 мкм судсанд нэвчинэ	
<20 мкм үед бүх эрхтэн системд нэвчинэ	

Хүний бамбай булчирхай нь 150мкм-ээс бага хэмжээтэй хуванцрын 0.3 хүртэлх хувийг шингээж авдаг бол харин 110 мкм-ээс бага хэмжээтэй хуванцрууд нь хураагуур судсанд нэвчиж чадна.

Харин тухайн хуванцрын хэмжээ 20мкм-ээс жижиг болсон тохиолдолд дотоод эрхтэн системд нэвчиж эхэлнэ. Үүнээс гадна нийт нано хуванцрын 7% нь хучуур эдийн эсүүдээр дамжиж, элэг, дэлүү, зүрх, нөхөн үржихүйн эрхтэн, тархи зэрэг бүх эрхтэнд нэвчиж эмгэг үүсгэдэг нь тогтоогдсон байна.

Эс болон бичил биет амьтдын биед микро хуванцрууд фагоцитоз ба эндоцитозоор дамжин нэвтэрдэг. Нарийн гэдэсний хучуур эд дэх макрофагууд нь фагоцитозоор 0.5

µм-ээс их хэмжээтэй хуванцруудыг шингээдэг бол харин honeycomb хэлбэртэй эсүүд эндоцитозоор 5 µм хуванцруудыг өөртөө шингээдэг. Микро хуванцрууд (бөөмийн хэмжээ: 0.1-ээс 150 µм хооронд) хөхтөн амьтадын цусны эргэлтийн системээр дамжин тунгалгийн системд нэвтэрдэг болохыг олж тогтоосон байдаг. Жишээлбэл хулгана дээр хийсэн судалгаагаар полистирол (PS)-ийн микро хуванцар тухайн хулганы тодорхой эдүүдэд хэрхэн тархаж хуримтлагдаж байгаа болон тэдгээрт хэрхэн эмгэг үүсгэж байгааг судалсан судалгаа ч байдаг. Тухайн судалгаагаар микро хуванцрууд элэг, бөөр (нефротоксик), гэдэс (ходоодны эмгэг) зэрэг эрхтэнд хуримтлагдсан болохыг олж илрүүлсэн.

Мөн тухайн микро хуванцрын хэмжээнээс хамаарч эд, эрхтэнд хуримтлагдах хурд болон тархалтад шууд нөлөөлж байгаа судалгаа ч байдаг. Биохимийн биомаркер болон бодисын солилцоог нь хэмжиж авснаар микро хуванцрууд нь тухайн хулганы исэлдэлтийн стресс болон энергийн солилцоо, бодисын солилцоо болон мэдрэлийн эмгэг зэргийг үүсгэж байсан байна. Үүнээс микро хуванцар нь амьд организмд исэлдэлтийн стресс үүсгэж чөлөөт радикал үүсгэдэг. Микро хуванцрын хэмжээ болон бүрдүүлж байгаа мономероос нь хамаарч хүний биед үзүүлэх сөрөг нөлөө нь харилцан адилгүй байдаг. Харьцангуй том хэмжээтэй нано хуванцрууд илүү их хэмжээний эрсдэл үүсгэдэг болох нь тогтоогдсон.

Ойролцоогоор 10µм хэмжээтэй полистирол хуванцар нь хүний тархины эсд исэлдэлтийн стресс үүсгэж байгааг лабораторийн туршилтаар олж тогтоосон судалгаа байдаг. Цаашлаад микро хуванцраас болж хорт хавдар үүсэх болон эд эсийн гэмтэл, үхжилт болон фиброз үүсгэж байна.

Микро хуванцруудын гадаргуугийн талбай нь маш өндөр байдаг учир хоол боловсруулах замд үрэвсэл үүсгэдэг. Гэдэсний үрэвсэлт өвчтэй өвчтөнүүдийн бүдүүн гэдэсний эдийн салст бүрхүүлд микро хуванцрын нэвчилт энгийн хүнийхээс 0.45% хүртэл нэмэгддэг болохыг судалгаагаар тогтоосон байна.

Хүрээлэн буй орчинд агуулагдаж буй ( $\leq 1$  мг/л) нано хуванцрууд нь амьд организмуудад генийн эмгэг үзүүлэх магадлалыг 24%-иар нэмэгдүүлдэг ба хэмжээ нь жижиг болох тусам нөлөөлөл ихсэнэ.

Усан орчинд байгаа нано хуванцрын хоруу чанар нь тухайн хуванцрыг бүрдүүлж байгаа мономер болон хэлбэр, морфологи, хугацаа, концентрациас үл хамаарч хоруу чанар нь өндөр байдаг бол харин тухайн хуванцрын хэмжээ болон нано хуванцарт өртөж байгаа амьтны төрөл зүйл болон амьдралын хэв маягаас нь шууд хамаардаг.

Мөн цэцгийн үрийг хэд хэдэн төрлийн микро хуванцраар бохирдуулж ургах чадвар болон нахиалах хугацааг нь харьцуулж үзэхэд микро хуванцраар бохирдсон үр цэвэр үртэй харьцуулахад оройтож нахиалсан ба нахиалсаны дараа ч ургалт нь цэвэр

үрнээс ургаж байгаа цэцэгнээс удааширсан байгаа нь микро хуванцрын бохирдол нь хүрээлэн буй орчин дахь ургамлын ургалтад сөргөөр нөлөөлж байгааг харуулж байна.

### Хуванцар бүтээгдэхүүнд агуулагдах нэмэлт бодисууд

Хуванцраар төрөл бүрийн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэхийн тулд шинж чанарыг сайжруулах, тогтворжуулах зэрэг хэд хэдэн төрлийн химийн бодисуудыг нэмэлтээр хийж өгдөг. Доорх хүснэгтэд хуванцар бүтээгдэхүүнийг үйлдвэрлэх явцад нэмдэг бодисууд хэрхэн шинж чанарт нөлөөлөхийг харууллаа.

#### Хүснэгт 5. Хуванцрыг үйлдвэрлэхэд ордог нэмэлт бодисууд

Хуванцрын шинж чанарыг сайжруулах	Үйлдвэрлэлийн процессыг хялбар болгох	Хэрэглэх хугацааг уртасгах
Дүүргэгч	Дулаан тогтворжуулагч	Исэлдэлтийг бууруулах
Хуванцаржуулагч	Хүчилд тэсвэртэй болгох	UV гэрлээс хамгаалах
Өнгөний пигментүүд	Гадаргууг гөлгөр болгох	Галд тэсвэртэй болгох
		Нянгийн эсрэг үйлчлэх

**Галд тэсвэртэй болгох бодисууд** Дээр дурдсан нэмэлтүүдээс хүрээлэн буй орчин, хүний биед хамгийн сөрөг нөлөөтэй бодис нь галд тэсвэртэй болгох нэгдлүүд байдаг. Галд тэсвэртэй болгох бодисуудыг хуванцар болон бусад олон төрлийн полимер нэгдэлд гал авалзах болон шатахаас сэргийлж нэмэлтээр хийдэг. Энэхүү нэмэлт бодис нь электрон төхөөрөмжөөс эхлээд тусгаарлагч хөвөн материал зэрэг өргөн хүрээнд хэрэглэгддэг. Харин энэ дундаас хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг нь сурьма (Sb) нэгдлийг бромжуулсан гал эсэргүүцэгчид буюу brominated flame retardants (BFRs) байдаг ба жишээ нь polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), decabromodiphenylethane; tetrabromobisphenol A (ТВВРА) зэрэг бодисууд багтдаг бол түүний дараагаар фосфатжуулсан галд тэсвэртэй бодисууд ордог үүнд: Tris(2-chloroethyl) phosphate (ТСЕР) болон Tris(2-chlorisopropyl) phosphate (ТССР) багтана. Мөн түүнчлэн богино, дунд болон урт хэлхээтэй хлоржуулсан парафин (СССР/МССР/ЛССР), борын хүчил, гексабромциклогексан (hexabromocyclohexane) (НВСД), болон Dechloranes 602, Dechlorane 603, Dechlorane 604, Dechlorane Plus зэрэг дехлораны төрлийн бодисууд ч ашиглагддаг. Галд тэсвэртэй болгох PBDE нь гидрофобик шинж чанартай химийн нэгдэл ба худалдаанд 3 төрлийн химийн бүтэцтэй зарагддаг үүнд: пента-BDE, окта-BDE, дека-BDE зэрэг багтана. Эдгээр бромжуулсан гал эсэргүүцэгчид нь хүрээлэн буй орчинд түгээмэл тааралддаг ба хоруу чанар өндөр, тогтвортой, биологийн биет дотор

хуримтлагддаг учир хүний эрүүл мэндэд аюул учруулах өндөр эрсдэлтэй химийн нэгдлүүд байдаг.

2009 онд Стокгольмын конвенцийн А хавсралтаар тетра-гепта-BDEs болон гексабромобифенил (HBB) нэгдлийг дахин боловсруулахыг хориглосон бол харин 2017 онд дека-BDE-ийг хэд хэдэн хориглосон заалттайгаар ашиглах зөвшөөрөл олгосон байна.

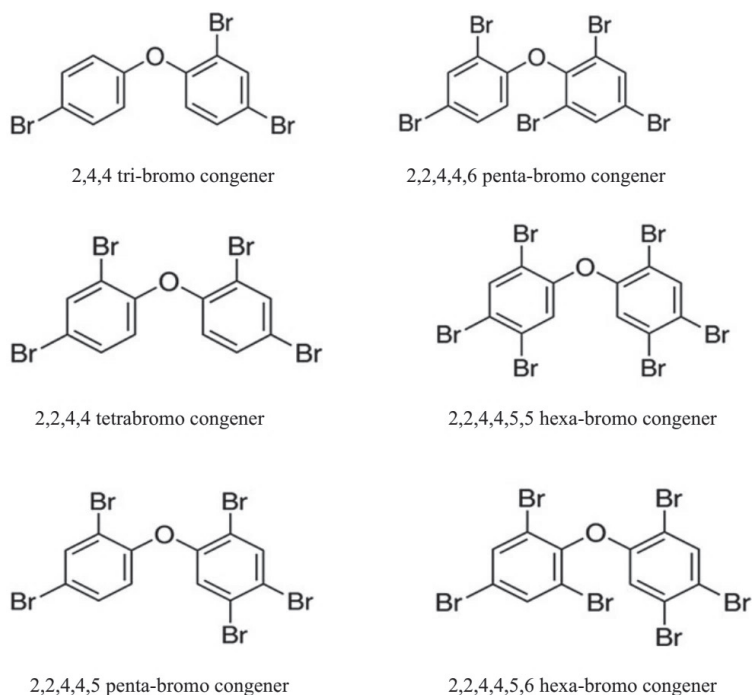
2013 онд HBCD-ийг дээр дурдсан конвенцийн А хавсралтад заасны дагуу голчлон хэрэглэдэг полистирол (EPS) болон шахмал полистирол (XPS)-д тусгай заалтын дагуу хэрэглэхээс бусад хэрэглээг хориглох шийд гарсан байна. Харин сүүлийн жилүүдэд хүрээлэн буй орчин болон амьд организм, бидний идэж буй хоол хүнс, биед ихээр агуулагдах болсон шинээр гарч ирж буй бромжуулсан гал эсэргүүцэгч бодисууд болох 1,2-bis (2,4,6-tribromophenoxy) ethane (BTBPE), decabromodiphenylethane (DBDPE) and hexabromobenzene (HBBz) зэрэг нэгдлүүд илүү хоруу чанартай болж эхэлж байна. Эдгээр гал эсэргүүцэгч бодисууд тухайн хуванцар болон полимер нэгдэлтэй химийн холбоогоор холбогддоггүй учир амархан салж орчиндоо тархдаг. Үүнээс зөвхөн ТВВРА тухайн полимертойгоо холбогддог. ТВВРА-г бисфенол А-аас гаргаж авдаг ба дэлхий нийт хуванцар материалд хэрэглэж байгаа BFR нэгдлийн 60%-ийг дангаараа эзэлдэг. Эдгээр гал эсэргүүцэгч нэмэлтийг бүх төрлийн хуванцар материалд хэрэглээнээс нь хамаарч хэрэглэдэг байна.

1970-2004 оны хооронд насанд хүрсэн хүний цусанд агуулагдах бромжуулсан гал эсэргүүцэх бодисын хэмжээ 2-5 жилийн хугацаанд 2 дахин ихэссэн байсан. Мөн түүнчлэн бага насны хүүхдүүд шалан дээр удаан хугацаагаар тоглодог учир бохир гар болон амаараа BFR нэгдлийг насанд хүрсэн хүнээс илүү их хэмжээгээр биедээ нэвтрүүлдэг болохыг олж тогтоосон. Гал эсэргүүцэгч нэгдлүүд нь тухайн нэмэлтээр орж байгаа материалтай сайн холбогддоггүй учир амархан орчинд тархдаг ба ингэснээр мэдрэлийн эмгэг, дааврын гажуудал болон хавдар үүсгэгч болдог. Эдгээр хуванцар материалын нэмэлт бодисын хамгийн аюултай болгодог шалтгаан нь эдгээр бодис хүний биед задрахгүйгээр их хэмжээгээр хуримтлагддаг ба ингэснээр урт хугацаанд BFR бодисын хэмжээ нэмэгдэх тусам архаг өвчтэй болдог.

Харин эмэгтэйчүүдийн бие физиологи болон хэрэглэж байгаа бүтээгдэхүүн түүнд агуулагдаж байгаа бромжуулсан гал эсэргүүцэгчийн агууламжаас хамаарч биед гарах сөрөг нөлөө харилцан адилгүй байдаг ч эрэгтэйчүүдтэй харьцуулахад илүү өртөмтгий байдаг байна. Жишээ нь 2016 онд хийгдсэн судалгаагаар хүрээлэн буй орчинд байгаа BFR нэмэлт бодисын нөлөөнөөс болж эмэгтэйчүүд эрэгтэйчүүдтэй харьцуулахад илүү ихээр бамбай булчирхайн өвчнөөр өвчилж байсан байна. Мөн цэвэршилтийн дараах эмэгтэйчүүдийн бие харьцангуй бага хэмжээний эстроген даавар ялгаруулдаг учир PBDE-д илүү өртөмтгий байдаг. Энэхүү судалгаа нь эмзэг бүлгийн буюу бага орлоготой

болон жирэмсэн, илүүдэл жинтэй эмэгтэйчүүдийн хүрээнд хийгдсэн ба тэдгээрийн амьдрах орчин нь эдгээр гал эсэргүүцэгч бодисын хоруу чанарыг улам нэмэгдүүлж байж болзошгүй гэдгийг судалгаагаар харуулсан.

Худалдаанд байгаа ихэнх PBDE нэмэлтүүд нь хэд хэдэн бромжуулсан гал эсэргүүцэгчийн холимогоос тогтох бөгөөд жишээ нь Америкт үйлдвэрлэдэг полиуретаны хөөсөнцөрт гэхэд tetra, penta, hexaBDE-ын төрлийн холимог нэгдэл ордог. PBDE-г европын холбоо 2003 онд хэрэглэхийг бүрэн хориглосон бол харин америкт penta болон octa-PBDE-г үйлдвэрлэхийг зогсоосон. Тэгсэн хэдий ч азийн орнуудад үйлдвэрлэгдсэн PBDE нэмэлтүүдийг америк болон европт хэрэглэсээр л байна. Зураг 25-д түгээмэл хэрэглэдэг PBDE нэмэлтийн химийн холбооны бүтцийг харууллаа.



Зураг 2. Түгээмэл хэрэглэгддэг PBDE-ийн төрлүүд.

**Polybrominated diphenyl ethers (PBDE's)** 1970-аад оны үед polybrominated bi-phenyls-ийн оронд Polybrominated diphenyl-ийг өргөн хэрэглээний бүтээгдэхүүнүүдэд хэрэглэж эхэлсэн. PBDE-г өргөн хэрэглэдэг электрон болон гэр ахуйн тавилгуудыг бүрдүүлж байгаа материалтай химийн холбоогоор холбогддоггүй ба үүнээс нь болж тухайн орчиндоо их хэмжээгээр ялгардаг.

PBDE нь тухайн материалыг үйлдвэрлэх болон урт хугацаанд хэрэглэх, устгалд оруулах үед их хэмжээгээр ялгарч хүрээлэн буй орчныг бохирдуулдаг. Судлаачдын олж тогтоосноор энэ төрлийн гал эсэргүүцэгч бодиснууд дөнгөж төрж буй нярайн дутуу төрөх болон мэдрэлийн системийн хөгжилд сөргөөр нөлөөлөх хамгийн гол шалтгаануудын нэг болохыг олж тогтоожээ. Үндэсний хор судлалын холбооноос (National Toxicology Program) амьтдын бие дээр явуулсан туршилтаар хэд хэдэн төрлийн PBDE хорт хавдар үүсгэж байгааг олж тогтоосон. Өнөө үед PBDE-ийн үйлдвэрлэлийг хориглосон хэдий ч хүрээлэн буй орчинд агуулагдах PBDE-ийн агууламж огт буурахгүй байсаар байна. Эдгээр галд тэсвэртэй бодисууд хүний дотоод шүүрлийн булчирхай, дархлааны системд сөргөөр нөлөөлдгөөс гадна хүүхдийн оюуны хөгжилд ч мөн сөргөөр нөлөөлдөг байна.

**Hexabromocyclododecane (HBCD)** Энэ төрлийн галд тэсвэртэй бодис нь ихэвчлэн барилгын материалд ашигладаг полистирений хөөсөнцөр материалд ашиглагддаг. HBCD агуулсан бүтээгдэхүүнээс их хэмжээгээр тухайн галд тэсвэртэй бодис ялгарч агаарт байх жижиг тоосонцорт наалдаж цаашлаад хүний биед нэвтэрдэг. Зарим нэг хүнсний бүтээгдэхүүнд бага хэмжээний HBCD буюу галд тэсвэртэй бодис илэрдэг ба эдгээр бохирдсон хоол хүнсийг идсэнээр тархины эмгэг болон дархлааны систем, дотоод шүүрлийн булчирхайд сөргөөр нөлөөлдөг нь судалгаагаар тогтоогдсон.

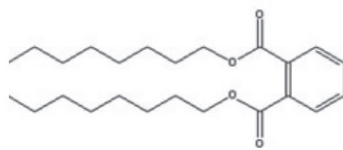
**Дүүргэгч материал** Дүүргэгч материалууд нь маш жижиг ширхэгийн хэмжээтэй нунтаг бодис байх ба тэдгээрийг тодорхой материалуудын (хуванцар, композит болон цемент) зуурмагт хийж тодорхой нэг шинж чанарыг сайжруулах болон тухайн хуванцар бүтээгдэхүүний үнийг багасгадаг. Дүүргэгч материалыг хамгийн өргөн хэрэглэдэг 2 салбар нь хуванцар болон резин бүтээгдэхүүнүүд байдаг. Дэлхий даяар жилд хуванцар, цаас, каучук болон будгийн үйлдвэрлэлд 53 сая тонн дүүргэгч материалыг ашигладаг болох нь тогтоогдсон байна. Тэдгээрээс хамгийн түгээмэл ашиглагддаг дүүргэгч материалыг дурдвал кальцийн карбонат, каолин, тальк болон карбон блэк, шилэн утас, керамик дүүргэгч гэх мэт материалууд байдаг.

Дүүргэгч материал нь тухайн нэмэлтээр орж буй материалын өнгө, тунгалаг шинж чанар болон хамгийн гол нь дулаан тэсвэрлэлт, уян харимхайн хүч, бат бэх шинж чанарт шууд нөлөөлдөг. Жишээ нь полипропилен хуванцарт нэмэлтээр тальк нэмж өгдөг. Термо хуванцар буюу PET, EPS, HDPE, LDPE, PE, PP, PS, PVC гэх мэт полимеруудад нэмэлтээр керамик дүүргэгч хийж дулаан тэсвэрлэх шинж чанарыг нь сайжруулдаг. Хуванцар материалын дүүргэгч нь ихэвчлэн органик бус материал байдаг учир бусад нэмэлт материалуудтай харьцуулахад илүү хор нөлөө багатай.

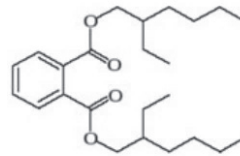
**Хуванцаржуулагч** Хуванцаржуулагч бодисууд нь ихэвчлэн бага молекул масстай шингэн бодисууд байдаг бөгөөд тэдгээрийг хуванцартай хольж тухайн полимер нэгдлийн уян харимхай шинж чанар болон суналт агшилтыг сайжруулдаг.



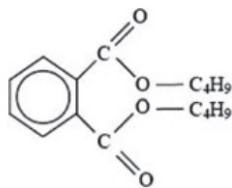
Жишээлбэл, хуванцаржуулсан PVC-г эмнэлгийн хоолой, цус хадгалах уут, автомашины суудлын бүрээс, шүршүүрийн хөшиг, дээвэр болон бусад өргөн хэрэглээний бүтээгдэхүүнд ашигладаг бөгөөд зөөлөн, уян хатан шинж чанартай болгодог. Ингэж хуванцаржуулагч нэмэлт ашигласан PVC нь анхны төлөвөөсөө илүү уян хатан механик шинж чанартай болдог. Хуванцаржуулагдсан PVC-ийн жингийн фракцын маш өндөр хувийг фталат эзэлдэг байна. Зөөлрүүлсэн PVC-ийн жингийн 60-70%-ийг фталат эзэлдэг. Хуванцаржуулагчийн молекулууд нь полимер матрицад үүссаны дараагаар макро молекулын гинжтэй ковалент холбоо үүсгэдэггүй ба харин зуурмаг дотор чөлөөтэй шилжих боломжтой байдаг. Хуванцаржуулагчид тухайн хуванцар дотор хэрхэн харилцан үйлчилдэг нь тодорхойгүй байгаа ч тохиромжтой хуванцаржуулагч ашигласан тохиолдолд тухайн полимерийн гинжин хэлхээтэй холбогдож чөлөөт эзлэхүүн үүсэгж илүү уян хатан шинж чанартай болгодог. Энэхүү механизмыг тухайн хуванцар болон хуванцаржуулагдсан полимерын шилэн шилжилтийн температур бүүрч байгаагаас харж болох ба энэхүү температурын бууралт нь тухайн хуванцар дотор үүссэн хоосон зайтай холбоотой. Гэсэн хэдий ч энэ нь хуванцаржуулагч нэмэлт хэрхэн бусад полимерт нөлөөлж байгааг тайлбарлахад хангалттай биш юм.



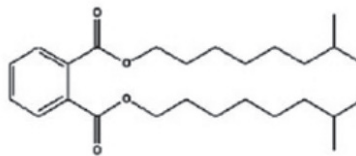
Di-n-octyl phthalate



Bis(2-ethylhexyl) phthalate



Butyl benzyl phthalate



Diisononyl phthalate

Зурагт 3. PVC-д ашиглагддаг фталат хуванцаржуулагчид.

Өнөөгийн байдлаар дэлхий дээрх нийт хуванцруудын ашиглаж байгаа нэмэлтийн тал хувийг фталат дангаараа эзэлдэг байна. Нэг жилд зарцуулагдаж байгаа нийт 6 сая тонн хуванцаржуулагчийн 94%-ийг дангаараа PVC-г хуванцаржуулахад ашигладаг ба үүнээс Di(2-ethyl hexyl) phthalate хамгийн өргөн хэрэглэгддэг бөгөөд

түүний химийн холбооны бүтцийг Зураг 26-д харууллаа. Далайн усанд хаягдаж буй PVC -д Butyl benzyl phthalate болон Diisononyl phthalate зэрэг хуванцаржуулагчид өндөр агууламжтай агуулагддаг ба үүнээс болж далайн амьтадын хоол боловсруулах системд хуванцаржуулагчид их хэмжээгээр хуримтлагдаж байна.

Бисфенол А буюу ВРА-г мөн адил полимер нэгдлийг хуванцаржуулахад ашигладаг ба дааврын тэнцвэрийг алдагдуулах эрсдэл үүсгэдэг. Энэхүү ВРА нэгдэл нь дотоод шүүрлийн булчирхайн үйл ажиллагааг алдагдуулдаг ба үүнээс болж түрүү булчирхайн хорт хавдар, таргалалт болон нөхөн үржихүйн эмгэг зэрэг 80 гаруй өвчин үүсгэгч болдог.

Харин цэвэр усны саванд ашигладаг PE, PET болон HDPE зэрэг хуванцрууд нь хуванцаржуулагчид тэр тусмаа фталатыг ашигладаггүй ба хэрэв ашигласан тохиолдолд маш бага хэмжээгээр агуулагддаг. Энэ төрлийн хуванцарт ихэвчлэн өнгө оруулагч нэмэлтийг л ашиглах нь аюулгүй юм.

**Дулааны тогтворжуулагч** Дулааны тогтворжуулагчид нь тухайн полимер нэгдлийг хоол хадгалах болон боловсруулах процессын үед өндөр температурт задрахаас нь сэргийлдэг. Тодорхой хэд хэдэн полимер (PVC, PVDC, vinyl chloride холимог полимер)-уудын хэрэглээнд тохируулж анхны төлөвийг хадгалахын тулд нэмэлтээр дулааны тогтворжуулагчийг нэмдэг. Гэсэн хэдий ч PVC-ээс бусад төрлийн хуванцрууд болох LDPE, Polyamine зэрэг хуванцрууд өндөр температурд ч дулааны тогтворжуулагчгүйгээр эхнийхээ төлвийг хадгалж тогтвортой байдаг. PVC болон тодорхой хэд хэдэн төрлийн полимерийг тогтворжуулахад 3 төрлийн тогтворжуулагч ашигладаг үүнд: металл давсны холимог, цагаан тугалга болон хар тугалгын нэгдлүүдийг ашигладаг. Эдгээр дулааны тогтворжуулагчид нь хоруу чанар өндөртэй байдаг.

**Хар тугалгын тогтворжуулагч** Бүх төрлийн хар тугалга агуулсан нэгдлүүд байгаль орчинд маш хортой байдаг. Хар тугалга хүний биед цус харвалт, оюуны удаашрал, цусны даралт ихсэх болон үр зулбуулах зэрэг сөрөг нөлөөтэй. Дэлхий даяар хар тугалгаар бохирдсон ундны усны асуудал өнөө үед тулгарч буй хамгийн том асуудал болж байна. Хэрэв хар тугалгаар бохирдсон хүнсийг хэрэглэсэн тохиолдолд эд эрхтэн болон ясанд хуримтлагдаж олон тооны өвчин үүсэх шалтгаан болдог.

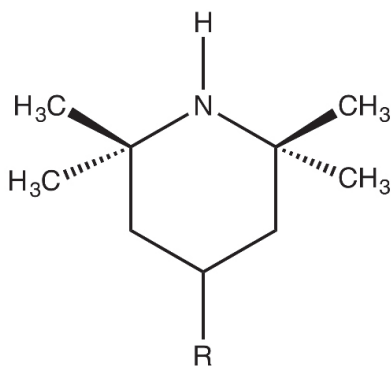
**Металл давсны холимог** Уян харимхай чанартай болон хагас хатууруулсан PVC хуванцарт Ba/Cd-ын давсны холимогийг түгээмэл ашигладаг байсан боловч хэт өндөр хоруу чанартай байсан учир өөр төрлийн аюулгүй дулааны тогтворжуулагчаар сольсон. Учир нь түгээмэл ашигладаг байсан Cd-ын комплекс давсны нэгдэл нь хүний биед хуримтлагддаг хамгийн хортой 10 хүрээлэн буй орчны бохирдолын нэг юм. Энэхүү металл давснаас болж бөөрний дутагдал, цусны улаан эсийн дутагдалд хүргэдэг ба нэгэнт хүний биед нэвтэрсэн тохиолдолд 30 жилийн турш хадгалагдаж

үлддэг. Цаашлаад кадми амьсгалын замаар хүний биед нэвтэрсэн үед үхлийн аюулд ч хүргэдэг.

**Цагаан тугалгын тогтворжуулагч** Энэ төрлийн тогтворжуулагчид голчлон mono-butyltin (MBT), dibutyltin (DBT) болон tributyltin (TBT) зэрэг нэгдлүүд багтдаг. Мөн түүнчлэн dimethyltin (DMT) нь PVC хуванцраас ялгарч үндны усыг бохирдуулж байгаа бас нэг төрлийн тогтворжуулагч юм. Цагаан тугалгаар тогтворжуулсан хуванцрын хэрэглээ нэмэгдэх тусам энэ төрлийн нэгдлүүд хүний төв мэдрэлийн систем, дархлааны систем болон элэг зэрэг эрхтэн тогтолцоонд сөрөг нөлөөтэй байж магадгүй гэсэн таамаг дэвшүүлж байна.

**Хэт ягаан туяа тогтворжуулагч** Термо хуванцрын үйлдвэрлэлд дулааны болон дулааны исэлдэлтийн эсрэг тогтворжуулагчид өндөр ач холбогдолтой ба хэрэв эдгээр тогтворжуулагчийг ашиглахгүй тохиолдолд үйлдвэрийн боловсруулалтын шатанд тухайн хуванцар шууд задралд орох эрсдэлтэй. Хуванцар материалыг үйлдвэрлэлийн процесс болон хэрэглэх үед задрахаас нь сэргийлж буй хэт ягаан туяаны тогтворжуулагч болон дулааны тогтворжуулагчид нь тухайн полимерийн нийт жингийн 1 орчим хувь буюу харьцангуй бага хэмжээгээр ордог. Тийм ч учраас энэ төрлийн нэмэлтүүдийн хоруу чанар харьцангуй бага байдаг. Гэсэн хэдий ч тухайн тогтворжуулагчийн хоруу чанар хуванцар материалаас хэр зэрэг нэвчих, уусмалд шингэх болон концентраци зэрэг шинж чанараас нь шууд хамаарна.

Хэрвээ тухайн тогтворжуулагч нь дотоод шүүрлийн эрхтэн тогтолцоон эмгэг үүсгэдэг endocrine-disrupting chemicals (EDC) бол бага хэмжээний концентрацитай байсан ч хүний биед сөрөг нөлөө үзүүлж болно. Дулааны тогтворжуулагчаас ялгаатай нь хэт ягаан туяаны тогтворжуулагч нь зөвхөн гадаад орчны нөлөөллөөс хамгаалахын тулд ашигладаг.



Зураг 4. Hindered amine хэт ягаан туяаны тогтворжуулагчийн химийн холбооны бүтэц

Хамгийн өргөн хүрээнд ашигладаг hindered amine light stabilizer (HALS) нь хуванцарт маш бага хэмжээгээр буюу жингийн 0.1-0.5% агуулагддаг ба тухайн материалаас тийм ч амар нэвчиж гардаггүй (ялгардаггүй). Харин зарим хуванцарт агуулагдах тогтворжуулагчийн хэмжээ хэт өндөр байх үед хүрээлэн буй орчин болон хүний биед сөрөг нөлөө үзүүлж эхэлдэг. Жишээ нь: Benzophenones-ийг өнгөгүй тунгалаг хуванцар материалд түгээмэл хэрэглэдэг хэт ягаан туяаны тогтворжуулагч ба хулгана дээр хийсэн туршилтаар тодорхой нэг төрлийн benzophenones хавдар үүсгэх эрсдэлтэй болохыг судалгаагаар олж тогтоосон. Benzotriazoles болон hindered amines зэрэг тогтворжуулагчдыг термо хуванцруудад хэрэглэдэг ба хүрээлэн буй орчинд түгээмэл илэрдэг боловч одоогоор дотоод шүүрлийн эрхтэн тогтолцоог гэмтээх аль эсвэл амьд организмд аюул учруулсан тохиолдол байхгүй байна. Ялангуяа Hindered amine light stabilizers (HALSs) нь хоруу чанар багатай бөгөөд өртөг хямд учир бараг бүх төрлийн хуванцар болон органик полимер нэгдэлд хэт ягаан туяаны тогтворжуулагч болгон ашиглаж байна.

**Метанал хуванцар (Формальдегид)** Метанал хуванцар (Формальдегид) фенол болон карбамид болон меламина зэрэг нэгдэлтэй урвалд орж термостат хуванцрыг үүсгэдэг. Эдгээр процесс конденсацын полимержих урвалын дагуу явагддаг.

**Фенол-метанал хуванцар** Энэхүү хуванцар нь маш том 3 хэмжээст молекул бүтэц үүсгэдэг учир фенол-метаналын зуурмагыг хайлуулж дахин өөр хэлбэрт оруулах боломжгүй зуурмаг үүсгэдэг. Өндөр температурт халаах үед задарч хар тортог үүсгэдэг ба мөн түүнчлэн ихэнх төрлийн уусгагчид уусдаггүй, урвалд ордоггүй. Үүнээс гадна энэ төрлийн хуванцрууд маш сайн дулаан болон цахилгаан эсэргүүцдэг тусгаарладаг учир барилгийн материалд тусгаардагч мөн автомашины тормоз хийдэг. Мөн түүнчлэн модны үртэстэй хольж хавтан болон дулаан тусгаарлагч зэргийг хийдэг.

**Карбамид метанал хуванцар** Карбамид метанал хуванцруудыг цаас болон модны үртэс зэрэг дүүргэгч материалтай хамт ашигладаг. Фенол-метаналтай харьцуулахад өнгөгүй тунгалаг боловч ус болон дулаанд харьцангуй тогтворгүй. Эдгээр материалыг төрөл бүрийн дүүргэгчид болон хүчиллэг хатууруулагч бодистой хольсоны дараагаар модон хавтанд холбогч цавуугаар ашигладаг. Мөн цаашлаад энэ төрлийн хуванцрыг хэвэнд оруулж разетка болон уртасгагч, нойлын суултуур, болон гал тогооны хэрэгсэл хийдэг. Дэлхийн хэд хэдэн оронд карбид-амидаас ялгарах метаналын хийг бууруулахын тулд хориг тавьсан ба үүнээс шалтгаалж энэ төрлийн хуванцрын хэрэглээ хязгаарлагдмал байна.

**Меламина-метанал хуванцар** Энэ төрлийн хуванцар нунтгийг өндөр даралтын доор хайлуулж болдог ба ихэвчлэн хатуу гадаргууг бүрэх ламинат болгож ашигладаг. Жишээ нь гал тогооны ширээ зэргийг өртөг хямд фенол-метанал хуванцраар хийгээд түүний гадаргууг меламина-метаналаар бүрдэг. Мөн түүнчлэн хуванцар аяга тавгийг

энэ төрлийн материалаар хийж болдог. Карбамид-метанал хуванцартай адил шинж чанартай учир хэрэглээ нь мөн адил ойролцоо байдаг. Судлаачдын олж тогтоосноор формальдегид болон бусад төрлийн химийн бодисууд хоол хүнсний сав баглаа боодолд түгээмэл агуулагдаж байгааг илрүүлсэн ба хадгалалтын хугацаанаас хамаарч тухайн химийн бодисууд аажмаар хүнсний бүтээгдэхүүнд нэвчиж байна. Судлаачдын харж байгаагаар нийт дээжний 25%-ийг шинжилгээнд оруулсан үр дүнгээс хүнсэнд агуулагдах формальдегидын хэмжээ маш ноцтой хэмжээнд байгааг тодорхойлсон.

Бидний эрүүл мэндийг аюулд оруулж байгаа бүтээгдэхүүнд бидний өдөр тутам хэрэглэдэг өглөөний цай, лаазалсан бүтээгдэхүүн, хөлдөөсөн ногоо, болон мах зэрэг орсон байна. Ус болон ундаа, хоол хүнсэнд ашигладаг хуванцрыг гаргаж авахад формальдегидыг ашигладаггүй ч ус болон хийжүүлсэн усанд завсарын урвалаар дайвар бүтээгдэхүүн болж нэвчиж ордог. Мөн цаашлаад хүний биед хорт хавдар үүсгэдэг гэх формальдегид нь бидний идэж буй байгалийн гаралтай хоол хүнсэнд тогтмол агуулагдаж байдаг. Формальдегид нь түгээмэл ашиглагддаг PЕТ хуванцарт маш бага хэмжээгээр байдаг боловч меламина-формальдегидаар хийсэн гал тогооны хэрэгслүүдээс нэвчиж орох боломжтой байна. Формальдегидыг дэлхий нийтээр өргөн хүрээнд ашигладаг боловч хоруу чанар өндөртэй бөгөөд тогтворгүй шинж чанараас нь шалтгаалан хүний эрүүл мэндэд хортой нэгдэл гэж үздэг. НҮБ-ын хор судлалын төвөөс формальдегидыг хорт хавдар үүсгэгч гэж тодорхойлсон. Формальдегидыг хортой бодис ангилалд оруулж байгаа гол шалтгаан нь формальдегид дээр суурилсан бүтээгдэхүүнүүдийг дулааны болон химийн задрал мөн цаашлаад шатаалтаар задлах үед үүсч буй утаа тортогт маш олон төрлийн хортой органик нэгдлүүд ялгардаг ба эдгээр бодист удаан хугацаанд өртсөн хүмүүст үзүүлж буй сөрөг нөлөөнөөс болсон. Түүнчлэн энэ төрлийн материалыг барилгын салбарт өргөнөөр хэрэглэх болсон бөгөөд формальдегидын агаарт агуулагдах хэмжээ эрчимтэй нэмэгдэж байна. Агаар дахь формальдегидын хэмжээ 0.1ppm-ээс ихсэх үед хүний нүд загатнах, салст бүрхүүл гэмтэх зэрэг сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Мөн цаашлаад их хэмжээний формальдегидыг амьсгалах үед толгой өвдөх, хоолой халуу дүүгэх, амьсгал давчдах, бронхитын шинж тэмдгийг өдөөж өгдөг байна. Формальдегидын хордлогод орсноор мэдрэлийн эс дахин сэргэхгүйгээр ч гэмтэх эрсдэлтэй. 1988 онд Канадын судлаачдын олж тогтоосноор карбамид-метаналаар хийсэн дулаан тусгаарлагчийн агаарт агуулагдах хэмжээ 0.046ppm-ээс ч бага байх үед нүд болон хамар загатнах хуурайших зэрэг сөрөг нөлөө үзүүлж байсан бол харин 2009 оны судалгаанд бага насны хүүхдийн бронхит формальдегидээс болж ихэсч байгааг олж тогтоосон.

Формальдегидын тархалтад өртсөн үед хүний нүд хамар болон амьсгалын дээд замын салст бүрхэвчийг цочмог гэмтээдэг. Хоол боловсруулах эрхтэн тогтолцоонд нэвтэрсэн үед мөн адил дотор эрхтэнд ноцтой гэмтэл учруулна. Яг одоогоор формальдегид хэрхэн хүний биед сөргөөр нөлөөлж байгаа механизм тодорхой биш

байгаа ч формальдегид хүний биеийн эсийн хана болон эдийн шингэн, уураг, ДНХ-ын молекултай харилцан үйлчилж эсийг үхүүлдэг болохыг судлаачид тогтоосон байдаг.

Урт хугацаанд олон давтамжтайгаар формальдегидад өртсөн тохиолдолд хорт хавдар тусах аль эсвэл хэт мэдрэг болох магадлалтай. Хэт мэдрэг болсон хүмүүст цаашдаа бронхит үүсдэг. Урт хугацаанд маш бага хэмжээний формальдегидын хордлогод орсон хүмүүс хэт эмзэг болохгүй байж болох ч цаашдаа архаг уушгины өвчин тусах магадлал нь ихэсдэг. Үүнээс гадна толгой өвдөх, сэтгэл гутрал, сэтгэл санааны өөрчлөлт, нойргүйдэл, цочимтгой болох, анхаарал сулрах, ой санамжаа алдах, тэнцвэрээ алдах зэрэг төв мэдрэлийн тогтолцоотой эмгэгүүд удаан хугацаагаар формальдегидид өртсөнөөс болж үүсдэг.

## ТЭМДЭГЛЭЛ

Blank lined area for notes or conclusions.

