

Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн судалгааны нэгтгэсэн дүн

Барнасан Пүрэвсүрэн*, Ядамсүрэн Даваажав, Жаргалсайхан Намхайноров,
Санжаа Батбилэг

Шинжлэх ухааны академийн Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар, Монгол улс
*bpurevsuren.icct@gmail.com

Хураангуй. Судалгааны үндсэн объектоор Нарийн сухайтын коксждог нүүрс, Баянтээгийн чулуун нүүрс, Багануурын хүрэн нүүрс, Дундговийн Хөөтийн занар, Баянэрхтийн битумт элс, нарс модны үртэс, самрын яс, малын яс, техникийн зориулалттай сүүний ээдэмцэр, нийлэг гаралтай полимер хаягдал полиэтилен тус тус сонгон авч тэдгээрийн техникийн үндсэн үзүүлэлтүүд ба органик элементийн бүрэлдэхүүнийг тодорхойлж нэгтгэн үнэлэлт өгч, тэдгээрийн халуун тэсвэрлэлтийн индексүүд ($T_{25\%}$ ба $T_{25\%}$)-ийг тодорхойлж харьцуулан дүгнэв. Пиролизийн судалгааг 200-700 °C явуулж зохимжтой халаалтын температурыг тогтоон, пиролизийн хатуу үлдэгдэл ба давирхайг гарган авч хатуу үлдэгдлийн техникийн үзүүлэлтүүд ба давирхайн химийн найрлагыг тодорхойлов. Мөн давирхай тус бүрийг фракцлан нэрж, хөнгөн, дунд, хүнд фракцууд ба нэрлэгийн хатуу үлдэгдэл, хийн бүтээгдэхүүний гарцыг тодорхойлов. Давирхайнуудын азотын хэмжээг тодорхойлон харьцуулан дүгнэж, тэдгээрээс ээдэмцрийн давирхайн азотын хэмжээ хамгийн их -12.1%, малын ясных дунд зэрэг 7.1%, бусад бүх давирхайнуудынх 2.0 %-аас бага байгааг тогтоов. Мөн хамгийн их азотын найрлагатай ээдэмцрийн давирхай эпоксидын полимерийг хамгийн өндөр буюу 95%-ын зэрэгтэйгээр хатууруулж байгааг анх удаа тогтоож, түүний эпоксидын полимерийн макромолекулуудыг хооронд нь холбон орон зайн торлосон бүтэц үүсгэн хатууруулж, органик уусгагчдад уусдаггүй төлөв байдалд шилжүүлж байгаа урвалын механизмыг анх удаа дэвшүүлэн тайлбарлав.

Түлхүүр үг: пиролиз, органик хаягдлууд, халуун тэсвэрлэлтийн индекс, эпоксидын полимер, хатууруулагч.

ОРШИЛ

Органик түүхий эдүүдийг үйлдвэрийн аргаар боловсруулахад өргөн ашигладаг үндсэн аргын нэг нь пиролиз [1-2]-ийн буюу агааргүй орчинд халууны аргаар задалж боловсруулах процесс бөгөөд энэ технологиор хатуу, шингэн ба хийн гэсэн 3 үндсэн бүтээгдэхүүн гарган авдаг. Өөрөөр хэлбэл органик түүхий эдүүдийн халууны задралын аргаар гарган авсан задралын бүтээгдэхүүн болох халуун уур-хийн хольцыг хөргөх аргаар нефть төстэй шингэн давирхай ба задралын ус мөн хөргөхөд шингэрээгүй хийн хольц гарган авдаг. Агааргүй орчинд халааж халууны задрал явуулсны дараа үлдсэн нүүрсжсэн хатуу үлдэгдэл нь пиролизийн үндсэн бүтээгдэхүүн бөгөөд түүнийг утаагүй түлш, идэвхжүүлсэн нүүрсэн шингээгч, шүүгч материал гарган авдаг үндсэн түүхий эд болгон ашигладаг. Пиролизийн үндсэн бүтээгдэхүүний нэг нь түүхий нефть төстэй шингэн давирхай бөгөөд түүнийг нефть боловсруулах аргаар боловсруулж түлш, шатахуун үйлдвэрлэдэг ба мөн химийн аж үйлдвэрийн цогцолбор түүхий эд болгон боловсруулж төрөл бүрийн алифатик ба ароматик органик нэгдлүүд, органик хүчил ба сууриуд, фенолт нэгдлүүд зэрэг олон янзын химийн нэгдлүүдийг гарган авч ашиглаж ирсэн 100 гаруй жилийн урт хугацааны түүхэн хөгжилтэй билээ [1]. Органик түүхий эдийн пиролизийн судалгаанд хамгийн өргөн хэрэглэдэг орчин үеийн судалгааны арга нь термогравиметрийн шинжилгээний арга юм [3-4].

Монгол орон төрөл бүрийн байгалийн эрдсийн ба органик гаралтай түүхий эдүүдийн нэн их баялагтай, тухайлбал, нүүрс [5]-ний баялгаараа дэлхийд эхний аравт жагсдаг бөгөөд бид 20 гаруй ордын нүүрсийг сүүлийн 30 гаруй жилийн туршилт судалгааны үндсэн объект болгон судалснаас пиролиз [6-7]-ийн судалгааны объект болгон сонгож авсан органик түүхий эдүүдэд юуны өмнө манай орны үндсэн баялаг болсон 3 янзын нүүрс, түүний дотор сайн чанарын КЖ маркийн коксждог нүүрсний төлөөлөл болгож Нарийн сухайт [8-10]-ын коксждог битумт нүүрс, шилжилтийн битумлэг чулуун нүүрсний төлөөлөл болгож Баянтээг [11-13]-ийн нүүрсийг, исэлдсэн В2 маркийн хүрэн нүүрсний төлөөлөл болгож Багануур [14-15]-ын нүүрсийг сонгож авлаа.

Харин манай оронд маш их байдаг байгалийн занарын ордуудын төлөөлөл болгож бидний хамгийн их судалсан Дундговийн Хөөт [16-17]-ийн занар, мөн битумт элсний төлөөлөл болгож Баянэрхт [18]-ийн битумт элсийг тус тус сонгож авлаа.

Манай оронд маш ихээр хаягддаг органик гаралтай материалуудын төлөөлөл болгож модны төрлүүдээс хамгийн их органик бодисуудыг агуулсан нарс модны үртэс [19-20], самрын яс [21-22], амьтны гаралтай органик хаягдал материалуудын төлөөлөл болгож малын яс [23-25], хүнсэнд хэрэглэх боломжгүй

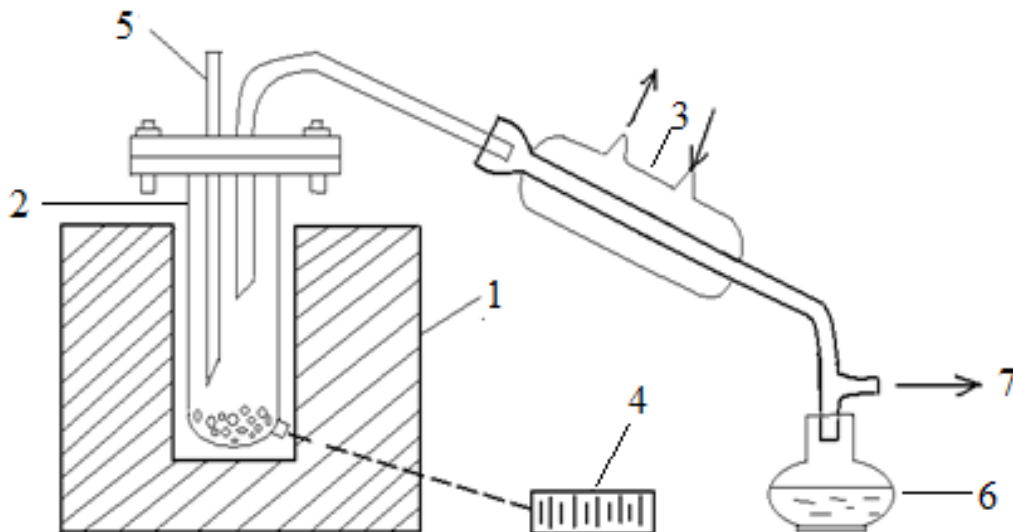
техникийн зориулалттай сүүний ээдэмцэр [26-30], нийлэг гаралтай полимерийн хаягдлуудын төлөөлөл болгож үйлдвэрлэгддэг хэмжээ ба хаягдлын хэмжээгээрээ хамгийн дээгүүрт ордог полиэтилен [31-33]-ийн хаягдал полимерийг тус тус сонгон авсан юм.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ БА АРГА ЗҮЙ

Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн судалгааны объектоор сонгож авсан 10 түүхий эдээс тус бүрд нь 0.2 мм хэмжээтэй аналитик дээж бэлтгэн тус бүрийнх нь техник үзүүлэлтүүдийг холбогдох стандарт аргуудаар, тухайлбал, чийг-УСТ656-79, дэгдэмхий бодисын гарц-УСТ654-79, үнслэг-УСТ652-79, илчлэг-УСТ669-87, хүхрийн агуулгыг УСТ895-79 стандартын дагуу тодорхойлов [34].

Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн цуврал туршилтуудыг кварцын шилэн реторттой лабораторийн пиролизийн төхөөрөмж дээр явуулав. Тэдгээрээс дээжийг хацарт бутлуураар бутлан 0.2 мм хүртэлх ширхэгтэй болгож, пиролизийн шилэн ретортод ойролцоогоор 1 г хийж ретортоо таглана. Цахилгаан зуухан дотор шилэн ретортоо хийгээд тодорхой хурдтайгаар халаан туршилтуудыг явуулав. Реторт доторх температурыг хром-алюмел термopapaар хянаж пиролизийн эцсийн температурыг 200–800 °C-ийн хооронд, халаалтын хурдыг дунджаар 20 °C/мин-аар сонгож туршилтуудыг явуулсан. Пиролизийн бүтээгдэхүүнүүд болох хатуу үлдэгдэл, давирхай, задралын усыг жингийн аргаар, хийг жингийн зөрөөгөөр тодорхойллоо. Пиролизийн хатуу үлдэгдэл бүрийн техник үзүүлэлтүүдийг дээр дурдсан аналитик дээжийн адилаар холбогдох стандарт аргуудаар тодорхойлов. Нүүрсний битумын агуулгыг УСТ 393-89 стандарт аргаар тодорхойлсон.

Органик түүхий эд бүрийг тус бүрд нь 1.5-3.0 мм хэмжээтэй дээж бэлтгэн өөрсдийн зохион бүтээсэн лабораторийн томруулсан ган ретортод (1-р зураг) агааргүй орчинд 600-700°C хүртэл, 20°C/мин хурдтайгаар халааж пиролизийн хий, шингэн, хатуу бүтээгдэхүүнээр ялган авав.



1-р зураг. Пиролизийн ретортын бүдүүвч

1-Халаагч цахилгаан зуух; 2-Реторт; 3-Лабораторийн шилэн хөргөгч; 4-Миливольтметр; 5-Термометр; 6-Давирхай хүлээн авах шилэн сав; 7-Шингэрээгүй хийн гарц.

Реторт нь агаарын хөргөлттэй төмөр хоолой, усан хөргөлттэй лабораторийн шилэн конденсатор, шингэн бүтээгдэхүүний конденсат (давирхай ба пиролизийн ус) цуглуулах савтай холбогдсон. Пиролизийн үр дүнд үүссэн уурын болон хийн бүтээгдэхүүнийг усан хөргөлттэй конденсатороор дамжуулан хүлээн авагчийн колбонд цуглуулсан. Ус давирхай, хатуу үлдэгдлийн гарцыг тэдгээрийн жинг ашиглан тооцоолсон. Хийн бүтээгдэхүүний гарцыг жингийн алдагдлаас нь тооцсон.

Пиролизийн дүнд үүссэн давирхайг уснаас салгаж, усгүй CaCl_2 -оор хатаасан. Давирхайг суурийн, хүчиллэг, саармаг гэсэн дэд фракцуудад хуваасан. Саармаг тос дахь бие даасан нүүрсустөрөгч болон гетероатомт нэгдлүүдийн найрлагыг Agilent 6890A (FID) төхөөрөмж дээр хийн хроматограф-масс спектрометрээр (GC-MS) тодорхойлсон.

Термогравиметрийн шинжилгээг Японы HITACHI TG/DTA7300 маркийн багаж ашиглан гүйцэтгэв. Туршилтыг 120 минутын хугацаанд 10°C/мин хурдтайгаар 25-1150°C хүртэлх температурт аргоны орчинд тасралтгүй явуулав.

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Пиролизоор боловсруулахаар сонгож авсан дээжийн техникийн үзүүлэлтүүдийг лабораторийн нөхцөлд тодорхойлж 1-р хүснэгтэд харьцуулан үзүүлэв. 1-р хүснэгтээс үзэхэд чийгийн хувьд ерөнхийдөө

багавтар, харилцан адилгүй байна. Харин үнслэгийн хувьд үндсэн органик түүхий эдүүдээс Хөөтийн занар, Баянэрхтийн битумт элс, амьтны гаралтай хаягдал түүхий эдүүдээс малын яс зэрэгт хамгийн их байна.

1-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн техникийн үзүүлэлтүүд

№	Органик түүхий эдүүд	Техникийн үндсэн үзүүлэлтүүд, %				
		W ^a , %	Үнслэг, %, A ^d	Дэгдэмхий бодис, % V ^{daf}	Органик хэсэг, %	Илчлэг, ккал/кг
1.	Нарийн сухайтын нүүрс	1.00	5.80	33.90	94.20	7998.0
2.	Баянтээгийн нүүрс	3.34	12.17	47.61	87.83	7311.0
3.	Багануурын нүүрс	11.04	14.96	46.78	85.04	6232.8
4.	Хөөтийн занар	2.09	78.45	94.82	21.55	919.54
5.	Баян эрхэтийн битумт элс	0.87	75.49	23.05	24.51	
6.	Нарс модны үртэс	5.20	0.60	90.30	99.40	5623.2
7.	Самрын яс	9.97	0.69	75.90	99.31	4912.0
8.	Ээдэмцэр	7.72	5.95	78.00	94.05	5499.9
9.	Малын яс	5.68	67.17	86.06	32.83	3604.0
10.	Полипропилен	1.40	4.20	62.80	95.80	-

Харин үнслэг хамгийн бага түүхий эдүүдэд мэдээж хэрэг нарс модны үртэс, самрын яс, ээдэмцэр, нийлэг хаягдал полимер болох полиэтилен орж байна. Гурван янзын нүүрсний хувьд үнслэгийн хэмжээ нь дунд зэрэгт орж байна. Харин органик түүхий эдүүдийг халууны задралын үндсэн арга болох пиролизийн аргаар агааргүй орчинд битүү задлан боловсруулахад органик түүхий эдүүдийн хамгийн чухал техникийн чанарын үзүүлэлтийн нэг болох дэгдэмхий бодисуудын гарцын үзүүлэлт хамгийн чухал байдаг. Өөрөөр хэлбэл, пиролизийн аргын үндсэн зорилго нь органик түүхий эдүүдийг битүү орчинд халааж аль болохоор их хэмжээний халуун задралын бүтээгдэхүүнүүд болох давирхай, давирхайн ус, хийн бүтээгдэхүүнүүдийг гарган авах юм. Тухайлбал, энэ үзүүлэлт нь эдгээр органик түүхий эдүүдийн органик массыг бүрдүүлж байгаа органик биополимер нь хир зэрэг халуунд тэсвэртэй, өөрөөр хэлбэл, хир зэрэг амархан задардаг болохыг илэрхийлдэг үзүүлэлт юм. 1-р хүснэгтээс үзэхэд халуун тэсвэрлэх чанар хамгийн бага нь нарсны үртэс, Хөөтийн занарынх хамгийн өндөр байна. Үүний дараа дэгдэмхий бодисуудын гарцаараа харьцангуй их түүхий эдүүдэд малын яс, ээдэмцэр, хаягдал полиэтилен орж байгаа бол органик масс нь харьцангуй халуун тэсвэрлэх чанар өндөртэй дэгдэмхий бодисуудын гарц багатай түүхий эдүүдэд 3 янзын нүүрс ба битумт элс орж байна.

1-р хүснэгтэд үзүүлсэн илчлэгийн хэмжээгээр Нарийн сухайтын нүүрс хамгийн өндөр байна. Харин Баянтээгийн нүүрснийх Нарийн сухайтын нүүрснийхээс арай бага, Багануурын нүүрснийх хамгийн бага байна. Илч үүсгэх чадвараараа хамгийн бага үзүүлэлттэй түүхий эд нь Хөөтийн занар байгаа ба тэрээр бусдаасаа илүү өгөршсөн чулуулаг түүхий эд юм.

Мөн органик түүхий эдүүдийн элементүүд (C, H, N, O)-ийн найрлагыг тодорхойлж дүнг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн элементийн бүрэлдэхүүн

No	Органик түүхий эдүүд	Органик элементийн бүрэлдэхүүн, %				
		C, %	H, %	N, %	O+S*, %	H/C
1.	Нарийн сухайтын нүүрс	84.85	4.53	0.90	9.80	0.053
2.	Баянтээгийн нүүрс	78.23	5.60	1.55	14.13	0.072
3.	Багануурын нүүрс	70.50	5.70	0.30	22.99	0.081
4.	Хөөтийн занар	65.29	13.14	2.64	18.97	0.202
5.	Баян эрхэтийн битумт элс	78.14	13.44	1.07	7.12	0.182
6.	Нарс модны үртэс	50.10	5.20	0.30	44.40	0.104
7.	Самрын яс	55.57	5.85	1.69	36.89	0.105
8.	Ээдэмцэр	52.49	7.14	15.75	13.57	0.136
9.	Малын яс	32.91	8.00	8.56	50.53	0.243
10.	Хаягдал полимер (полипропилен)	82.55	13.95	-	3.50	0.17

*жингийн ялгаагаар

Нүүрстөрөгчийн хэмжээгээр хамгийн өндөр агуулгатай нь Нарийн сухайтын нүүрс, цэвэр нийлэг органик полимер болох полиэтилен, сайн чанарын чулуун нүүрс болох Баянтээгийн нүүрс, Баянэрхтийн битумт элс зэрэг түүхий эдүүд орж байгаа бол хамгийн бага агуулгатай нь малын яс байна. Хөөтийн занарын хувьд нүүрстөрөгчийн хэмжээгээрээ нүүрсний түүхий эдүүдээс нэлээд бага байгаа нь илүү ихээр өгөршиж чулуужсан түүхий эд бөгөөд мөн Баянэрхтийн битумт элсний хувьд нүүрстөрөгчийн хэмжээ бага байгаа нь органик массын найрлагадаа бусад элементүүд илүү агуулсан мөн тодорхой хэмжээний элсэрхэг

чулуулагтай холилдон оршдогоороо онцлог бөгөөд иймд нүүрстөрөгчийн хэмжээгээрээ харьцангуй бага байна.

Органик түүхий эдийн халуун тэсвэрлэх чанарыг тодорхойлоход термогравиметрийн шинжилгээний аргыг ашигладаг ба энэ нь пиролизийн үед тухайн халаалтын сонгосон температурт органик массын хэдэн хувь нь задарч байгааг үзүүлсэн тоон утга бөгөөд ТГ муруйнаас тодорхойлсон утгуудыг нэгтгэн 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

3-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн халуун тэсвэрлэх чанарыг термогравиметрийн аргаар тодорхойлсон дүн

№	Органик түүхий эдүүдийн нэр	Халуун тэсвэрлэлтийн индексүүд, °C	
		T _{5%}	T _{25%}
1	Нарийн сухайтын нүүрс	447	738
2	Баянтээгийн нүүрс	359	542
3	Багануурын нүүрс	129	538
4	Хөөтийн занар	445	525
5	Баянэрхтийн битумт элс	388	478
6.	Нарс модны үртэс	84	311
7.	Малын яс	161	444
8.	Самрын яс	72	295
9.	Ээдэмцэр	101	299
10.	Полиэтилен	403	436

Туршилтад хамрагдсан органик түүхий эдүүдийн хувьд хамгийн их халуун тэсвэрлэх чанартай нь Нарийн сухайтын нүүрс болон Хөөтийн занар байна. Хамгийн бага халуун тэсвэрлэх чанартай органик түүхий эдүүдэд Багануурын чанар муутай хүрэн нүүрс, Нарс модны үртэс, самрын яс, ээдэмцэр, малын яс зэрэг орж байна. Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн бүтээгдэхүүнүүдийн гарцыг тодорхойлж үр дүнг 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

4-р хүснэгт. Пиролизийн бүтээгдэхүүний гарцыг халаалтын температураас хамааруулсан дүн

№	Органик түүхий эд	Температур, °C	Пиролизийн бүтээгдэхүүний гарц, %			
			Хатуу үлдэгдэл	Давирхай	Пиролизийн ус	Хий
1	Нарийн сухайтын нүүрс	200	99.25	-	0.25	0.5
		300	97.86	0.3	1.09	0.75
		400	95.32	0.73	2.47	1.48
		500	92.98	1.05	3.5	2.47
		600	88.53	2.4	4	5.07
		700	83.79	3.66	6.5	6.05
2	Баянтээгийн нүүрс	200	95.72	0.1	0.16	4.02
		300	94.07	1.71	0.29	3.93
		400	69.72	12.03	4.27	13.98
		500	66.75	14.57	5.46	13.22
		600	63.86	13.16	3.41	19.57
		700	61.85	10.17	2.08	25.9
3	Багануурын нүүрс	200	90.00	1.45	3.10	5.05
		300	89.30	4.20	3.70	2.80
		400	79.60	1.40	11.90	7.10
		500	76.80	2.80	4.30	16.10
		600	67.20	2.50	6.80	23.20
		700	67.20	5.80	6.20	20.80
4	Хөөтийн занар	800	63.70	1.70	6.60	28.80
		200	98.69	-	0.94	0.36
		300	97.25	0.51	0.62	1.61
		400	96.17	0.91	2.11	0.79
		500	90.57	2.55	2.50	1.32
		600	89.99	3.93	0.72	5.35

		650	86.85	4.07	1,62	7.44
5	Нарс модны үртэс	200	-	-	-	-
		300	37.74	16.28	22.28	23.70
		400	27.30	20.55	28.10	23.03
		500	27.50	21.40	29.40	21.70
		600	27.90	21.46	29.43	21.21
		700	25.45	21.58	29.50	23.52
6	Малын яс	200	93.20	1.30	2.98	2.52
		300	83.02	2.63	7.53	6.82
		400	75.12	4.84	13.10	6.94
		500	70.86	6.55	13.27	9.32
		600	69.71	7.21	12.57	10.51
		700	68.60	7.30	12.10	12.00
7	Самрын яс	200	93	0.56	1.68	4.76
		300	42.85	4.66	14.01	38.48
		400	33.35	7.71	23.16	35.78
		500	29.98	13.09	33.29	23.64
		600	26.75	10.32	30.98	31.95
		700	26.57	8.16	24.49	40.78
		800	23.54	6.90	20.73	48.83
8.	Ээдэмцэр	200	86.44	0.62	0.67	11.68
		300	59.71	8.76	4.97	26.35
		400	57.30	10.24	5.79	26.47
		500	23.78	31.60	17.56	26.97
		600	21.14	36.85	20.57	21.17
		700	20.61	36.22	20.06	23.11
9	Полипропилен	700	1.00	83.50	-	15.50
10	Баянэрхтийн битумт элс	650	86.20	3.10		10.70
		700	88.90	4.20		6.90

4-р хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлсэн халаалтын янз бүрийн температурт тодорхойлсон пиролизийн бүтээгдэхүүний гарцаас харахад 200-400 °C-ын температурын үед хатуу бүтээгдэхүүний гарц хамгийн их, давирхайн гарц бага байгаа нь органик массын халууны задрал дөнгөж эхэлж байгаатай холбоотой. Халаалтын температурыг цаашид өсгөхөд давирхайн гарц өсөж, ойролцоогоор 700 °C-ын үед оргилдоо хүрээд 800 °C-аас эхлээд буурч байгаа нь ажиглагдаж байна. Иймд органик түүхий эд бүрийн пиролизийн задралын хамгийн зохимжтой халаалтын температурын хязгаар нь 600-800 °C байна. Энэ температурын хязгаарт түүхий эдийн халуун тэсвэрлэх чанартай холбоотойгоор бага зэрэг хэлбэлзэх боломжтой.

Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн задралаар үүссэн уур-хийн бүтээгдэхүүнийг хөргөхөд давирхай ба пиролизийн ус нь шингэн бүтээгдэхүүний 2 үе үүсдэг ба шингэрээгүй хэсэг нь хийн бүтээгдэхүүнийг үүсгэдэг. Пиролизийн хатуу үлдэгдэл ба давирхай нь чухал бүтээгдэхүүнүүд бөгөөд хатуу үлдэгдлээр утаагүй түлш, шингэгч ба шүүгч материал үйлдвэрлэдэг үнэт түүхий эд юм. Давирхай нь алифатик ба ароматик нэгдлүүдийг агуулсан органик бодисуудыг гарган авдаг түүхий эд болгон ашиглаж ирсэн.

4-р хүснэгтэд үзүүлсэн дүнд үндэслэн 20°C мин⁻¹ хурдтайгаар халааж халаалтын температурыг 600-700 °C болтол халаан тус температурт 80 минутын турш барьж пиролизийн бүтээгдэхүүний гарцыг тодорхойлон 5-р хүснэгтэд үзүүлэв.

5-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн бүтээгдэхүүний гарц

No	Органик түүхий эдүүд	Пиролизийн бүтээгдэхүүний гарц, %			
		Хатуу үлдэгдэл	Давирхай	Пиролизийн ус	Хий ба алдагдал
1.	Нарийн сухайтын нүүрс	83.79	3.66	6.50	6.05
2.	Баянтээгийн нүүрс	66.75	14.57	5.46	13.22
3.	Багануурын нүүрс	67.20	5.80	6.20	20.80
4.	Хөөтийн занар	73.45	15.62	3.93	6.99
5.	Баян эрхэтийн битумт элс	32.14	60.01	-	7.84
6.	Нарс модны үртэс	27.20	21.46	20.04	31.30
7.	Самрын яс	29.98	13.09	33.29	20.84
8.	Ээдэмцэр	28.33	37.38	13.23	20.84

9.	Малын яс	70.00	4.92	7.60	17.47
10.	Хаягдал полимер (полипропилен)	1.04	83.48	-	15.92

5-р хүснэгтээс үзэхэд Нарийн сухайтын пиролизийн хатуу бүтээгдэхүүний гарц хамгийн их байгаа ба энэ нь 3-р хүснэгтэд үзүүлсэн хамгийн их халуун тэсвэрлэх чанарыг баталсан үзүүлэлт юм. Дараа нь Баянтээгийн чулуун нүүрс, Багануурын хүрэн нүүрс, Хөөтийн занар, малын яс зэргийн хатуу бүтээгдэхүүний гарц харьцангуй их 66- 70% байгаа бол Баянэрхтийн битумт элс, нарс модны үртэс, самрын яс, ээдэмцэр зэрэг органик түүхий эдүүдийнх харьцангуй бага 27-32% байна. Харин нийлэг полиэтилений пиролизийн хатуу үлдэгдэл хамгийн бага буюу 1% байна. Баянэрхтийн битумт элс ба ээдэмцрийн шингэн бүтээгдэхүүний гарц харьцангуй их 37-60% байгаа бол Баянтээгийн чулуун нүүрс, Хөөтийн занар, Нарс модны үртэс ба самрын ясных харьцангуй бага 14-21% байна. Пиролизийн хатуу үлдэгдлийн техникийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлж 6-р хүснэгтэд харууллаа.

6-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн хатуу бүтээгдэхүүний техник үзүүлэлтүүд

№	Органик түүхий эдүүдийн нэрс	Техник үзүүлэлтүүд			
		W ^a , %	Y _{nc} , % A ^d	Дэгдэмхий бодисын гарц, %, V ^{daf}	Илчлэг, Q ^{daf} , kcal/kg
1	Нарийн сухайтын нүүрс	2.5	11.5	2.8	8156.00
2	Баянтээгийн нүүрс	0.72	16.23	9.47	8039.92
3	Бага нуурын нүүрс	0.84	12.8	8.79	7884.18
4	Хөөтийн занар	0.034	93.70	26.12	-
5	Баянэрхтийн битумт элс	0.065	97.47	49.54	-
6	Нарс модны үртэс	0.56	1.6	4.6	8165.00
7	Малын яс	2.80	87.30	9.05	560.33
8	Самрын яс	0.79	5.73	17.29	8738.00
9	Ээдэмцэр	4.12	20.46	18.75	6997.84
10	Полипропилен	-	-	-	-

Органик түүхий эдийн органик масс нь задралд орсон учраас пиролизийн дараах үлдэгдэлд эзлэх эрдэс хэсгийн хэмжээ ихэсдэг. Тухайлбал, Хөөтийн занар, Баянэрхтийн битумт элс ба малын яс зэргээс үүссэн хатуу үлдэгдэл дэх үнслэгийн хэмжээ хамгийн их байна. Харин органик түүхий эдүүдийн хатуу үлдэгдлийн илч үүсгэх чадвар тухайн түүхий эдийнхээ илч үүсгэх чадвараас эрс нэмэгдсэн байдаг ерөнхий зүй тогтол юм.

Давирхайн химийн найрлагыг үндсэн органик бүлэг нэгдлүүдээр тодорхойлж 7-р хүснэгтэд үзүүлэв.

7-р хүснэгт. Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхайны химийн бүрэлдэхүүн, %

№	Органик түүхий эдүүд	Пиролизийн давирхайн химийн найрлага, %							
		Чөлөөт нүүрсустөрөгч.	Органик сууриуд	Органик хүчлүүд	Фенолууд	Асфалтэйн	Парафинууд	Саармаг тоснууд	Завсрын туналас
1.	Нарийн сухайтын нүүрс	2.60	1.00	5.50	3.50	2.40	-	85.00	
2.	Баянтээгийн нүүрс	16.50	2.40	1.80	12.10	10.05	-	56.80	
3.	Багануурын нүүрс	16.10	2.50	1.70	11.90	16.10	-	51.70	
4.	Хөөтийн занар	0.32	3.67	0.59	0.64	3.71	3.89	21.56	65.71
5.	Малын яс	4.32	.	18.62	0.67	20.52	-	-	55.88
6.	Нарс модны үртэс	9.37	8.79	1.69	20.67	3.93	2.67	6.38	46.50
7.	Самрын яс	5.40	0.10	0.70	1.70	2.60	-	89.50	-
8.	Ээдэмцэр	4.52	38.00	0.64	7.75	0.97	1.30	16.20	30.10

Юуны өмнө Баянэрхтийн битумт элс ба хаягдал полиэтилений пиролизийн давирхайны химийн найрлагыг тодорхойлох боломж олдоогүй болохыг тэмдэглэж байна.

7-р хүснэгтэд үзүүлсэн органик түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхайн химийн найрлагаас харахад 3 янзын нүүрс ба самрын ясны давирхайнд саармаг тоснуудын хэмжээ хамгийн их, ээдэмцэр ба Хөөтийн занарын давирхайнд дунд зэрэг, харин Нарс модны давирхайнд хамгийн бага хэмжээтэй байна. Нийт давирхайнуудад чөлөөт нүүрстөрөгчид, органик хүчлүүд, органик сууриуд, фенолт нэгдлүүд, асфальтейнууд ба парафинуудын хэмжээ харьцангуй бага агуулгатай байгаа ба харин зөвхөн ээдэмцрийн давирхайн органик сууриудын хэмжээ хамгийн их байгаагаараа маш онцлог бөгөөд энэ нь 1-р хүснэгтэд дурдсанчлан азотын агуулга хамгийн их байсантай холбоотой юм.

Давирхайг фракцлан нэрж, фракц бүрийн гарцыг нь тодорхойлж дүнг органик түүхий эд бүрээр нэгтгэн 8-р хүснэгтэд үзүүлэв.

8-р хүснэгт. Давирхайг янз бүрийн буцлах температурын хязгаарт фракцлан нэрсэн дүн

№	Түүхий эдийн нэр	Буцлах температурын хязгаар, °C	Фракцын гарц, %	Фракцын төлөв байдал
1	Нарийн сухайтын нүүрс	180 °C хүртэл	1.70	Хөнгөн (шингэн)
		180-230	2.00	Дунд ((шингэн)
		230-250	4.20	Дунд ((шингэн)
		250-280	5.00	Дунд (шингэн)
		280-320	7.10	Хүнд (шингэн)
		320<	6.5	хүнд (шингэн)
		Хатуу үлдэгдэл	73.50	Хатуу
		Хий ба алдагдал	0,00	Хий
2	Баянтээгийн нүүрс	180 °C хүртэл	11.58	Хөнгөн (шингэн)
		180-230	13.24	Дунд (шингэн)10)
		230-250	5.84	Дунд (шингэн)
		250-280	8.79	Дунд (шингэн)
		280-320	7.67	Хүнд (шингэн)
		320<	51.02	Хатуу
		Хий ба алдагдал	1.86	Хий
3	Багануурын нүүрс	180 °C хүртэл	0.81	Хөнгөн (шингэн)
		180-220	33.06	Дунд (шингэн)
		220-250	48.72	Хүнд (шингэн)
		Хий ба алдагдал	17.41	Хий
4	Хөөтийн занар	180 °C хүртэл	14.20	Хөнгөн (шингэн)
		180-280	28.40	Дунд (шингэн)
		280-320	4.90	Хүнд (шингэн)
		320<	36.80	Хатуу
		Хий ба алдагдал	15.70	Хий
5	Нарс модны үртэс	150 –хүртэл	31.70	Хөнгөн (шингэн)
		150-200	7.10	Дунд (шингэн)
		200-250	20.10	Хүнд (шингэн)
		250<	37.50	Хатуу
		Хий ба алдагдал	3.60	Хий
6	Малын яс	210-хүртэл	29.00	Хөнгөн (шингэн)
		210-320	27.56	Дунд (шингэн)
		320-380	7.23	Хүнд (шингэн)
		380 <	27.73	Хатуу
		Хий ба алдагдал	8.48	Хий
7	Самрын яс	180-хүртэл	10.38	Хөнгөн (шингэн)
		180-250	32.99	Дунд (шингэн)
		250-280	21.32	Хүнд (шингэн)
		280<	35.39	Хатуу
8	Ээдэмцэр	150-хүртэл	10.50	Хөнгөн (шингэн)
		150-200	22.70	Хөнгөн (шингэн)
		200-250	34.00	Дунд (шингэн)
		250-300	5.70	Хүнд (шингэн)
		300<	17.70	Хатуу

		Хий ба алдагдал	9.40	Хий
9	Полипропилени	30-100	14.60	Хөнгөн (шингэн)
		100-150	32.70	Хөнгөн (шингэн)
		150-200	17.03	Хөнгөн (шингэн)
		200-300	15.06	Дунд (шингэн)
		300-350	12.00	Дунд (шингэн)
		350<	8.70	Хүнд (шингэн)
10	Баянэрхтийн битумт элс	200-хүртэл	19,50	Хөнгөн (шингэн)
		200 -350	52,20	Дунд (шингэн)
		350 -450	19,86	Хүнд (шингэн)
		Ус	4,46	Шингэн ус
		Үлдэгдэл	3,98	Хатуу

Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхай нь ерийн нөхцөлд түүхий нефть төстэй өтгөн шингэн бөгөөд нефть боловсруулах аргаар боловсруулж, бензиний (хөнгөн), дизелийн (дунд), битумын (хүнд)-ын фракцууд ба нэрлэгийн үлдэгдэл (ерийн нөхцөлд хатуу) зэрэг тус бүрдээ ач холбогдолтой бензин, шатахуун, тослох материал, замын битум болгон ашиглах бүрэн боломжтой бүтээгдэхүүнүүд болгон ашигладаг. Органик түүхий эд бүрийн давирхайны төлөв байдал, химийн найрлага, шинж чанаруудаас хамааран нэрлэгийн фракцуудын тоо ба хэмжээ харилцан адилгүй байгаа нь 8-р хүснэгтээс харагдаж байна. Тухайлбал Нарийн сухайтын битумт сайн чанарын нүүрсний давирхайн нэрлэгээр 1 хөнгөн, 3 дунд, 2 хүнд фракц, 1 нэрлэгийн үлдэгдэл хатуу фракц ба хийн бүтээгдэхүүн үүссэн байгаагаараа бусдаасаа онцлог байна.

Бусад органик түүхий эдүүдийн тухайлбал Хөөтийн занар, Баянэрхтийн битумт элс, Нарс модны үртэс, малын яс, самрын яс зэргийн давирхайнуудын нэрлэгийн фракцуудын хувьд тус бүрд нь 1 хөнгөн, дунд ба хүнд фракцууд, нэрлэгийн үлдэгдэлтэй байна. Мэдээж хэрэг давирхай бүрийн найрлага, шинж чанараас хамаарч харилцан адилгүй гарцтай байгаа ба фракцуудын тоогоороо бусад төрлийн давирхайнуудаас ялгаатай байна. Эдгээрээс зөвхөн ээдэмцрийн давирхайнаас 2 хөнгөн фракц үүссэнээрээ бусад нүүрсний биш давирхайнуудаас ялгаатай байгаа ба энэ нь түүний эрдэс багатай цэвэр органик уургаас үүссэнтэй холбоотой.

Органик түүхий эдүүдийн давирхайн найрлагад байгаа азотын хэмжээг нь тодорхойлж, эпоксидийн полимерийг хатууруулах чадвартай эсэхийг судлах зорилт тавин ажилласан ба урд судалж байгаагүй органик химийн шинжлэх ухаанд анх удаа туршигдан хийгдэж байгаагаараа онцлог бөгөөд үүгээрээ органик химийн шинжлэх ухаанд оруулж байгаа хувь нэмэр юм.

Ингээд органик түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхайн азотын хэмжээг тодорхойлсон дүнг 9-р хүснэгтэд үзүүлэв.

9-р хүснэгт. Түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхайн эпоксидын полимерийг хатууруулах чадварыг туршсан дүн

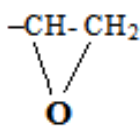
№	Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн шингэн бүтээгдэхүүн (давирхай)	Азотын хэмжээ, %	Давирхайн Эпоксидын полимерийг хатууруулах чадвар, %
1.	Нарийн сухайтын нүүрсний давирхай	< 2.0	үгүй
2.	Баянтээгийн нүүрсний давирхай	< 2.0	үгүй
3.	Бага нуурын нүүрсний пиролизийн давирхай	< 2.0	үгүй
4.	Хөөтийн занарын пиролизийн давирхай	< 2.0	үгүй
5.	Нарс модны үртэсний давирхай	< 2.0	үгүй
6.	Полипропилений давирхай	0	үгүй
7.	Баян эрхтийн битумт элсний давирхай	0	үгүй
8.	Самрын ясны давирхай	< 2.0	үгүй
9.	Малын ясны давирхай	7.6	18.78
10.	Ээдэмцрийн давирхай	12.1	95.00

9-р хүснэгтэд үзүүлсэн органик түүхий эдүүдийн пиролизийн давирхай дахь азотын хэмжээнээс үзэхэд сүүний ээдэмцрийн давирхайнд хамгийн их ба малын ясны давирхайнд ээдэмцрийн давирхайныхаас арай бага байгаа ба бусад бүх органик түүхий эдүүдийн давирхайд азотын хэмжээ маш бага, заримд нь огт байхгүй байгаагаараа хоорондоо эрс ялгаатай байна. Ээдэмцэр бол азот агуулсан аминхүчлүүдийн биополимер буюу полипептид учраас түүний халууны задралаар үүссэн давирхайнд азотын хэмжээ их, тухайлбал, 7-р хүснэгтэд үзүүлснээр органик сууриудын хэмжээ бусад давирхайнуудынхаас онцгой их буюу 38.0 %, мөн фенолт нэгдлүүдийн хэмжээ бас харьцангуй их 7.75 % байгаагаар холбоотой. Малын яс мөн биополимерийн төрлийн гаралтай боловч ээдэмцэртэй

харьцуулахад найрлагад нь кальц, фосфор илүү их оролцсон зарим нэг эрдсүүд илүү байх боломжтойгоороо онцлог бөгөөд азотын хэмжээгээрээ ээдэмцрийн давирхайнаас харьцангуй бага байна. Нүүрс, занар, битумт элс, мод, самрын яс зэрэг нь байгалийн гаралтай органик түүхий эдүүд учраас мал амьтны гаралтай уураг буюу биополимеруудаас найрлага бүтцээрээ эрс ялгаатай учраас азотын хэмжээгээрээ маш бага байна. Нийлэг полимерийн төлөөлөл болох полиэтилений найрлагад азот байхгүй. Харин ясны давирхай нь ээдэмцрийн давирхайнаас бага азоттой учраас хатуурлын зэрэг нь бага байгаа учир эпоксидын полимерийн хатууруулагчаар хэрэглэх боломж бага байгааг тогтоов [37].

Энэхүү судалгааны үр дүнгээс үндэслэн ээдэмцрийн давирхайг сонгон авч түүний найрлагад байгаа азот бүхий органик нэгдлүүдийн тусламжтайгаар үйлдвэрийн эпоксидын полимерийн гинжин хэлхээнд байгаа эпокси бүлгүүдтэй хэрхэн урвалд орж түүний макромолекулуудыг хооронд нь холбон орон зайн торлосон бүтэц үүсгэж хатуурах урвалд орсноор уг эпоксидын полимер уусах чанараа алдаж хатуурч байгаа урвалын механизмыг органик химийн шинжлэх ухаанд анх удаа тайлбарлан үзүүлэв.

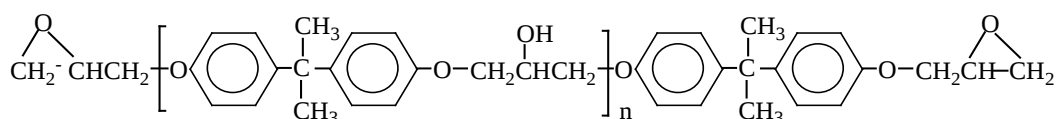
Эпоксидын полимер нь ацетон, хлорформ гээд бусад органик уусгагчдад бүрэн уусдаг ба гинжин хэлхээнийхээ 2 төгсгөлд эпокси бүлэгтэй ба гинжин хэлхээнийхээ дагуу гидроксильн бүлгүүдтэй.



эпокси бүлэг

Эдгээр эпокси бүлгүүдийнхээ тусламжтайгаар эпоксидын полимерийн үйлдвэрийн хатууруулагчид болох амины эсвэл ангидридын төрлийн хатууруулагч ашиглан хатууруулсны дараа уусдаг байсан уусгагчдаа уусахгүй болдог бөгөөд үүнийг нь эпоксидын полимерийн хатуурах чадвар гэж нэрлэдэг. 9-р хүснэгтэд үзүүлсэн дүнгээс үзэхэд ээдэмцрийн давирхай нь эпоксидын полимерийг хамгийн өндөр зэргээр буюу 95% хатууруулж байгаа нь үйлдвэрийн жинхэнэ хатууруулагчидтай адил хэмжээнд хатууруулж байгаагаараа маш чухал бөгөөд онцлог томоохон үр дүн юм [38].

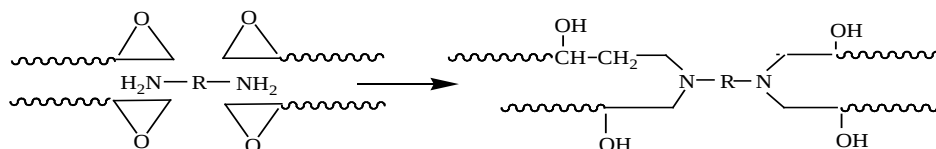
Органик түүхий эдүүдийн пиролизийн судалгааны дүнд гарган авсан нефть төстэй шингэн бүтээгдэхүүн болох давирхайнуудаас ээдэмцрийн пиролизоор гарган авсан давирхайг энд онцлон судалгааны шинэ үр дүнгүүдээс дурдвал, давирхайн химийн бүрэлдэхүүнийг хэмжээгээр хуваарилах хроматографийн аргаар түүний найрлагад байгаа 60 гаруй химийн нэгдлүүдийг таньж тодорхойлон, эл давирхай нь олон найрлагат олон функциональ бүлэгт амины, иминий, нитро, нитрилийн, гидроксильн бүлгүүдийг агуулсан ароматик ба алифатик нэгдлүүдийн нийлмэл хольц болохыг тогтоож [39], түүнийг ямар нэгэн өөр боловсруулалтгүйгээр эпоксидын полимерийн хатууруулагчаар хэрэглэх бүрэн боломжтойг судлан тогтоосон нь хаана ч хийгдэж байгаагүй шинэ үр дүн юм. Тухайлбал дараах томъёо бүхий эпоксидын полимерийг



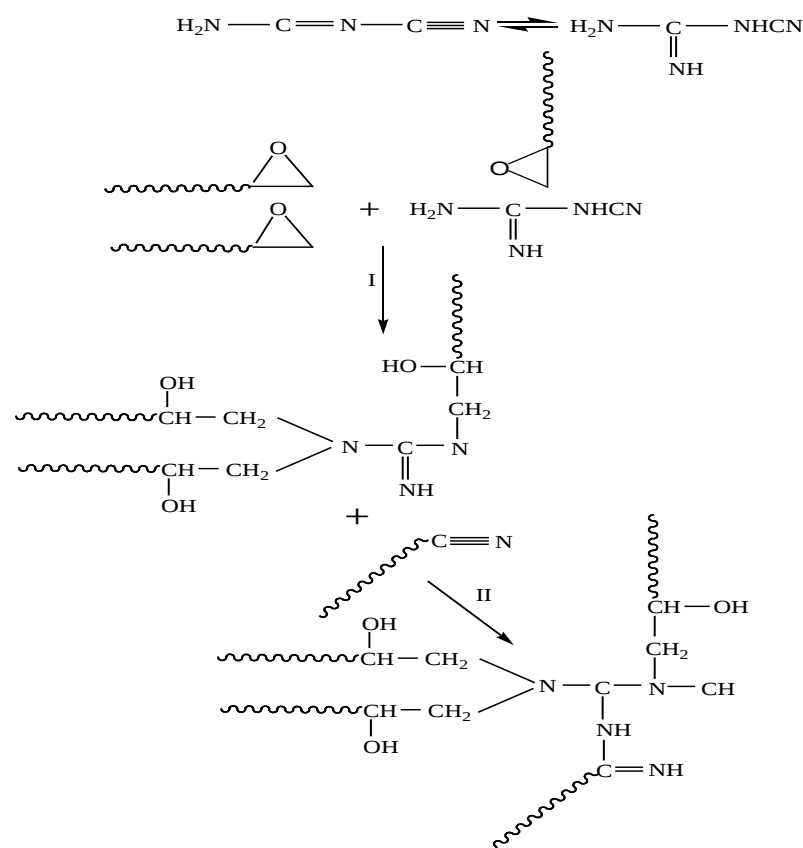
энэхүү давирхайгаар 120°C-ийн халуун нөхцөлд хатууруулж 95%-ийн хатуурлын зэрэг бүхий хатуу хуванцар гарган авсан нь эпоксидын полимерийн уламжлалт хатууруулагчид болох хоёр атомт спиртүүд, ди ба три аминуудыг бүрэн орлох боломжтойг анх удаа тогтоож эпоксидын полимерийг ээдэмцрийн пиролизийн давирхайгаар хатууруулах дараах урвалын механизмуудыг анхлан дэвшүүлж байна.

Үүнд:

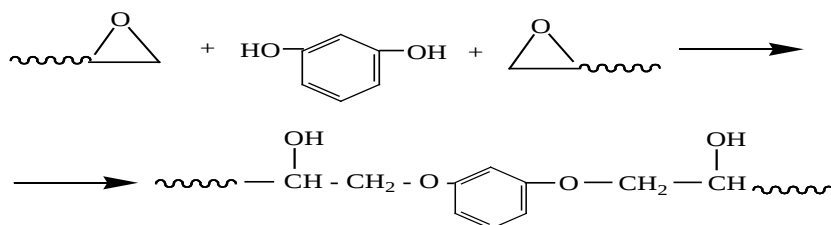
1. Ээдэмцрийн давирхайн найрлагад байгаа аминуудын тусламжтайгаар явагдаж байгаа хатууруулах урвал:



2. Ээдэмцрийн давирхайн найрлагад байгаа нитрилийн нэгдлүүдийн тусламжтайгаар явагдаж байгаа хатууруулах урвал:



3. Ээдэмцрийн давирхайн найрлагад байгаа ароматик фенолт нэгдлүүдийн тусламжтайгаар явагдаж байгаа хатууруулах урвал:



Ингэж эпоксидын полимерийг ээдэмцрийн давирхай [40]-гаар түүнийг ямар нэг нэмэлт боловсруулалтгүйгээр яг байгаа чигээр нь сонгон авч хатууруулсны дүнд орон зайн торлосон бүтэц бүхий шинэ төрлийн цутгамал хуванцар бүтээгдэхүүн, цавууны наалт ба лак, будгийн бүрхүүл болгон ашиглах өргөн боломжийг нээж байгаагаараа энэхүү ажлын практик ач холбогдлыг харуулж байна.

ДҮГНЭЛТ

1. Судалгааны үндсэн объектоор манай орны 3 янзын нүүрс, түүний дотор сайн чанарын нүүрсний төлөөлөл болох Нарийн сухайтын коксждог битумт нүүрс, шилжилтийн битумлэг чулуун нүүрсний төлөөлөл болох Баянтээгийн нүүрс, хүрэн нүүрсний төлөөлөл болох Багануурын нүүрс, шатдаг занарын төлөөлөл болгон Дундговийн Хөөтийн занар, мөн битумт элсний төлөөлөл болох Баянэрхтийн битумт элс, мөн манай оронд ихээр хаягддаг органик гаралтай материалуудын төлөөлөл болох нарс модны үртэс, самрын яс, амьтны гаралтай органик хаягдал материалуудын төлөөлөл болох малын яс, хүнсэнд хэрэглэх боломжгүй техникийн зориулалттай сүүний ээдэмцэр, нийлэг гаралтай полимер хаягдлуудын төлөөлөл хаягдал полиэтиленийг тус тус сонгон авч тэдгээрийн техникийн үндсэн үзүүлэлтүүд ба органик элементийн бүрэлдэхүүнийг тодорхойлж үнэлэлт өгөв.

2. Сонгож авсан 10 төрлийн органик түүхий эд тус бүрийн халуун тэсвэрлэх чанарыг термогравиметрийн аргаар судалж үндсэн үзүүлэлт болох халуун тэсвэрлэлтийн индексүүд ($T_{25\%}$ ба $T_{25\%}$)-ийг тус бүрд тодорхойлж харьцуулан дүгнэв.

3. Пиролизийн судалгааг 200-700 °C явуулж, давирхайн гарц хамгийн их байх зохимжтой халаалтын температурыг 600-700 °C болохыг тогтоож, пиролизийн хатуу үлдэгдлийн техникийн үзүүлэлтүүд ба давирхайн химийн найрлагыг тодорхойлов. Давирхайн азотын хэмжээг тодорхойлоход, ээдэмцрийн давирхайн 12.1 % буюу хамгийн их азоттой, малын яс дунд зэрэг -7.1%, бусад бүх давирхайнууд 2 %-иас бага азот агуулж байгааг тогтоов.

4. Органик түүхий эд бүрийн пиролизийн давирхайг эпоксидын полимерийн хатууруулагч болгон туршсан дүнгээс үзэхэд азотын хэмжээ хамгийн ихтэй ээдэмцрийн давирхай хамгийн өндөр зэрэг буюу 95%-иар эпоксидын полимерийг хатууруулж байгааг тогтоов.

5. Ээдэмцрийн давирхай нь эпоксидын полимерийн зориулалтын хатууруулагчид болох амины ба ангидридын төрлийн хатууруулагчидтай адил хэмжээгээр эпоксидын полимер (ацетон, хлорформ зэрэг органик уусгагчдад бүрэн уусдаг)-ийг хатууруулж дурдсан органик уусгагчдад уусдаггүй байдалд шилжүүлж байгаа нь үйлдвэрлэлийн хатууруулагчийг орлуулан хэрэглэх бүрэн боломжтой, шинэ төрлийн хатууруулагч болохыг баталж байгаа ба түүний эпоксидын полимерийн макромолекулуудыг хооронд нь холбон хатууруулж органик уусгагчдад уусдаггүй төлөв байдалд шилжүүлж байгаа урвалын механизмыг анх удаа дэвшүүлэн тайлбарлав.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ (REFERENCES)

- [1] Trevor J.Morgan and Rafael Kandiyoti. Pyrolysis of coals and biomass: Analysis of thermal breakdown and it's products, Chemical Reviews, 2014, 114, 1547-1607. <https://doi.org/10.1021/cr400194p>
- [2] В.И.Алехин. Пиролиз бурых углей, Сибирское отделение "Недра", Новосибирск, 1973.
- [3] Contributors Harvey E.Bair et al. Thermal Characterization of Polymers. Academic Press, New York, 1981
- [4] Thermal Analysis (edited by Bernhard Miller), Proceedings of the Seventh International Conference on Thermal Analysis. Vol.II, A Wiley Heysen Publication, John Wiley&Sons, New York, 1982
- [5] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав, Р.Эрдэнэчимэг Монгол орны зарим томоохон ордын нүүрсний судалгаа, Монограф, "Тоонот принт" хэвлэлийн газар, 2010 он, х.
- [6] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав. Органик түүхий эдүүдийн пиролизын судалгаа, Монограф, "Тоонот принт" хэвлэлийн газар, 2006, 196 х
- [7] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав, Б.Авид, Органик түүхий эдийн пиролизын судалгаа, Монгол улсын шинжлэх ухаан 108 боть цувралын Органик Химийн 82-р боть, 2009, 7-82
- [8] А.Ариунаа, Д.Отгончулуун, Р.Эрдэнэчимэг, Б.Пүрэвсүрэн, Ж.Дугаржав, Нарийн сухайтын ордын нүүрсний баяжигдах шинж чанарын судалгаа, ШУТИС-ийн Материалын технологийн сургуулийн Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл, 2014, 4/151, 154-160
- [9] B.Purevsuren, A.Ariunaa, S.Jargalmaа, B.Batulzii, B.Avid, Characterization of Nariin sukhait coal and it's pyrolysis products, Proceedings Volume 001, 2019 of First International Conferece of Applied Sciences and Engineering (FICASE) 2019, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, 5-6 April 2019, 25-40
- [10] Г. Цацрал, А.Ариунаа, Д.Отгончулуун, Р.Эрдэнэчимэг, Б.Пүрэвсүрэн, Ж.Дугаржав. Нарийн сухайтын ордын нүүрсний халуун задралын хатуу, шингэн бүтээгдэхүүний судалгаа, Шатах ашигт малтмалын хими, боловсруулалт ба экологийн асуудлууд эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл, ШУТИС-ийн Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль, 2015, 6-12.
- [11] Б.Пүрэвсүрэн, С.Батбилэг, Л.И.Кузнецова, Д.Батхишиг, Г.Намхайноров, М.Баттсетсег, Г.Нарангерел, П.Н.Кузнецов, Свойство угля месторождения Баянтиг Монголии и продуктов полукоксования, Химия твёрдого топлива (УДК 662.73 :552), 2019, 2, 3-9. <https://doi.org/10.1134/S0023117719020105>
- [12] Ж.Намхайноров, Я.Даваажав, Б.Пүрэвсүрэн, С.Батбилэг, Д.Батхишиг, Ц.Дулмаа "Баянтээгийн ордын нүүрсний пиролизын давирхайн судалгааны дүнгээс". ШУТИС-ийн Материалын технологийн сургуулийн Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл, №4/151, 2014, 5-9.
- [13] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав, Д.Батхишиг. Баянтээгийн ордын нүүрсний шингэрүүлэлтийн судалгаа, ХХТХ-ийн Эрдэм шинжилгээний бүтээл № 2, 2015 он, 23-26
- [14] Б.Пүрэвсүрэн, Ж.Нарангэрэл, Д.Балжир. Багануурын хүрэн нүүрсийг өндөр хурдтай пиролизын аргаар судалсан дүн.ШУА-ийн мэдээ,1999 2, 32-37
- [15] A. Ariunaa, D. Otgonchuluun, B. Purevsuren, Ya. Davaajav. Property of upgraded solid and liquid products from Baganuur lignite by thermal reaction with solvent, Proceedings of the MAS, Uaanbaatar, 2018, 58 (04), 39-47. <https://doi.org/10.5564/pmas.v58i4.1048>
- [16] B.Avid, B.Purevsuren. Chemical composition of organic matter of the Mongolian Khoot oil shale, Oil shale, 2001, 18, 1, 18-23. <https://doi.org/10.3176/oil.2001.1.03>
- [17] B.Avid, B.Purevsuren, J.Dugarjav. Pyrolysis and thermogravimetical investigation of the Mongolian Khoot oil shale.Oil shale, 2000, 17 (3), 241-251. <https://doi.org/10.3176/oil.2000.3.05>
- [18] Ж.Намхайноров, Битумт элс, шатдаг занарын химийн найрлага, халууны задралын харьцуулсан судалгаа, Химийн ухааны боловсролын доктор (Ph.D)-ын диссертац, 2023-6 -23 -нд хамгаалсан.
- [19] Д.Отгончулуун, Б.Батэлзий, Б.Пүрэвсүрэн, Ж.Нарангэрэл, Нарс модны пиролизын бүтээгдэхүүн, шинж чанарын судалгаа, ХХТХ-ийн Эрдэм шинжилгээний бүтээл № 4, 2017 он, х.33-36.

- [20] B.Purevsuren, D.Otgonchuluun, A.Ariunaa, J.Narangerel, S.Jargalmaа, Pyrolysis of pine wood and characterization of obtained solid and liquid products, Mongolian Journal of Chemistry, 19 (45), 2018, 24-31. <https://doi.org/10.5564/mjc.v19i45.1086>
- [21] S.Batbileg, B.Purevsuren, D.Batkhisig, M.Battsetseg, A.Ankhtuya, Characterization of the pyrolytic products of pine nut shell, International Journal of Chemistry, 2019, 11(2), 37 -49. <https://doi.org/10.5539/ijc.v11n2p37>
- [22] С.Батбилэг, Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав, Ж.Нарангэрэл. Самрын ясны пиролизын давирхайн судалгаа, ХХТХ-ийн Эрдэм шинжилгээний бүтээл, 2015, 2, 92-97. <https://doi.org/10.5564/pmas.v52i2.359>
- [23] Б.Пүрэвсүрэн, Т.Гэрэлмаа, С.Энхтуул, Я.Даваажав. Ясны пиролизын судалгааны дүнгээс. ШУА-ийн мэдээ, 2001, 1, 13-19.
- [24] B.Purevsuren, B.Avid, T.Gerelmaa, Ya.Davaajav T.J, Morgan, A.Herod, R.Kandiyoti. The characterization of tar from pyrolysis of animal bones, Fuel, 2004, 83, 799-805. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2003.10.011>
- [25] B.Purevsuren, B.Avid, J.Narangerel, T.Gerelmaa, Ya.Davaajav. Investigation on the pyrolysis products from animal bone, Journal of materials science, 2004, 39, 737-740. <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000011545.51724.ad>
- [26] Б.Пүрэвсүрэн, Д.Батхисиг, Я.Даваажав. Эдэмцрийн пиролизын судалгаа, гарган авсан хатуу ба шингэн бүтээгдэхүүний шинж чанар, ач холбогдол, Химийн нийгэмлэгийн бүтээл 2014 оны № 9, х.9-19.
- [27] B.Purevsuren, Ya.Davaajav. Investigation on pyrolysis of casein, Proceedings of the MAS, Uaambaatar, 2001, 2, 6-12
- [28] B.Purevsuren and Ya.Davaajav. Thermal analysis of casein, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2001, 65, 147-152. <https://doi.org/10.1023/A:1011532819792>
- [29] B.Purevsuren, Ya.Davaajav. Investigation on pyrolysis of casein, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2001, 66, 743-748. <https://doi.org/10.1023/A:1013135920477>
- [30] B.Purevsuren, B.Avid, B.Tesche, Ya.Davaajav. A biochar from casein and its properties, Journal of Material Science, 2003, 38(11), 2347-2351, <https://doi.org/10.1023/A:1023980429410>
- [31] Б.Хонгорзул, Б.Пүрэвсүрэн. Полимери хаягдлын пиролизын судалгаа, ШУТИС-ийн Материалын Технологийн Сургуулийн эрдэм шинжилгээний бичиг, 2004, 7(69), 87-92
- [32] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав, Б.Хонгорзул. Хаягдал полимерийн пиролизын судалгааны дүн, Химийн нийгэмлэгийн бүтээл, 2007, 2, 134-144.
- [33] B.Purevsuren, Ya.Davaajav, F.Karaca, T.J.Morgan, A.George, A.A.Herod, R.Kandiyoti, Pyrolysis of waste polypropylene and characterization of the tar, European Journal of Mass Spectrometry, 2009; 15(1), 23-33. <https://doi.org/10.1255/ejms.975>
- [34] Я.Даваажав, Б.Пүрэвсүрэн, С.Батбилэг, Ж.Намхайноров. Нүүрсний химийн задлан шинжилгээ, Ном, "Тоонот принт" хэвлэлийн газар, 2013 он, 198 х
- [35] Б.Пуревсурен, Синтез на епоксидни олигомери с повишена термоустойчивост, Кандидатска (Ph.D) диссертация (Болгар хэл дээр), 1987г., София. ШУТСангийн улсын бүртгэлийн дугаар 3135. Байгалийн шинжлэх ухаан, жагсаалтын дугаар 653.
- [36] Б.Пүрэвсүрэн, С.Жаргалмаа, Я.Даваажав, Б.Батэлзий, Б.Авид. Зарим ордын нүүрсний халуун тэсвэрлэх чанарын судалгаа, ШУА-ийн мэдээ, 2015, 1 (213), 22-30.
- [37] B.Purevsuren, Ya.Davaajav, J.Namkhainorov, Z.I.Glavcheva-Laleva. Pyrolysis of animal bone, characterization of the obtaining char and tar, crosslinking of epoxy resin., Bulgarian Chemical Communications, 2017, 49 (1), 34 - 39
- [38] B.Purevsuren, Ya.Davaajav, V.Genadiev, H.Kotsev, I.Glavchev. Investigation of the liquid tar product from pyrolysis of yak-milk casein and its application in curing of epoxy resin, Bulgarian Chemical Communications, 2013, 45 (2) 157-160
- [39] Б.Пүрэвсүрэн. Шинэ нийлэг полимерийн синтез ба биополимерийн химийн модификац, молекулын бүтэц байгууламж, шинж чанар ач холбогдол. Эрдмийн ундраа академичдын лекц I боть, Улаанбаатар, 2012, 108-151.
- [40] Б.Пүрэвсүрэн, Я.Даваажав "Эпоксидын полимерийн шинэ төрлийн хатууруулагч" Шинэ бүтээлийн патент № 4312,

The results of investigation on pyrolysis of organic raw materials

Barnasan Purevsuren*, Yadamsuren Davaajav, Jargalsaikhan Namkhainorov, Sanjaa Batbileg

Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia.

**bpurevsuren.icct@gmail.com*

Abstract

Over the past decade, our research has systematically investigated the pyrolysis behavior of a wide range of organic feedstocks, including coals of different ranks, oil shale, bituminous sand, wood waste, animal bone, cedar shell, polyethylene waste, and milk casein. The study aimed to elucidate the thermal decomposition mechanisms and characterize the resulting solid, liquid, and gaseous products.

Prior to pyrolysis, the physicochemical properties, elemental compositions, and thermal stability of each feedstock were determined. Thermal degradation behavior, including the temperatures corresponding to 5% and 25% mass loss ($T_5\%$ and $T_{25\%}$), was evaluated using thermogravimetric analysis (TGA). Pyrolysis experiments were performed in a laboratory-scale quartz tube reactor using 1 g samples (<0.2 mm particle size) over a range of reaction temperatures. The yields of char, tar, pyrolytic water, and non-condensable gases were quantified and compared among different feedstocks.

The resulting chars were characterized by proximate analysis and adsorption measurements using iodine and methylene blue as probe molecules. Selected chars were further converted into activated carbons to evaluate their adsorption performance. Pyrolysis tars were separated from the aqueous phase and distilled under atmospheric pressure to determine the yields of light, middle, and heavy oil fractions, together with bitumen-like residues.

Keywords: organic raw materials; pyrolysis; organic wastes; thermal stability indices; epoxy resin; curing of epoxy resin; curing agent.

© Author (s), 2025



Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the

source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>