



## ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛ

## Тавантолгойн болон Багануурын нүүрсний пиролизын хийн метанжуулалтын томруулсан туршилт

Б. Нямсүрэн\*, Х. Барсболд, Б. Буян-Өлзий, Т. Баасанжаргал, Б. Энхсаруул

Шинжлэх Ухааны Сургууль, МУИС, Улаанбаатар 14200, Монгол улс.

\*E-mail: bbnyamsuren@gmail.com

Хүлээн авсан: 26.08.2020

Хянасан: 28.10.2020

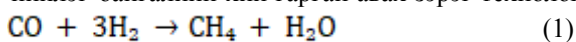
Хэвлэлтэнд авсан: 02.11.2020

**Хураангуй:** Энэхүү судалгааны ажлаар Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрс болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизоос үүссэн хийг метанжуулах томруулсан (бэнч) хэмжээний туршилтыг хийж гүйцэтгэв. Метанжуулалтын томруулсан төхөөрөмж нь хүхэргүйжүүлэгч, конденсатор, чийг шингээгч болон хөдөлгөөнгүй үет реактор бүхий урвалын систем байхаар зохион бүтээсэн. Нүүрсний пиролизын хийг кварцтай хольж Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторын гурван үеэр нэвтрүүлж, дулаан дамжуулалтын усгүй шийдлийг хэрэглэсэн. Метанжуулалтын томруулсан туршилтыг 250°C болон 350°C температурыудад, 3 бар даралтанд, 4500 мл/мин түүхий эдийн урсгал хурдтай нөхцөлд хийж гүйцэтгэв. Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийг метанжуулахад бүтээгдэхүүн хий дэх метаны агуулга 3.20%-иас 34.4% хүрч 10 дахин ихсэж, харин Багануурын нүүрсний хийнээс үүссэн метаны агуулга 9.60%-иас 29.4% болж 3 дахин ихэслээ. Хэдийгээр метанжуулах процессын температур харьцангуй нам байсан боловч Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийн метанжуулалтын дүнд үүссэн метан хийн агуулга нь Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийтэй харьцуулахад 5.01%-иар их байлаа.

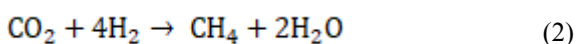
**Түлхүүр үг:** Пиролизын хий, CO/CO<sub>2</sub> хийн устөрөгжүүлэлт, никель катализатор, бэнч төхөөрөмж

## ОРШИЛ

Монгол улс нүүрсний баялаг нөөцтэй бөгөөд нийт 15 сав газарт 300 гаруй орд илрэлүүдэд 173 тэрбум тонн геологийн таамаг нөөцтэй юм [1]. Харин түүхий нүүрсийг боловсруулан хүрээлэн буй орчинд ээлтэй, улс орны эдийн засагт үр ашигтайгаар хэрэглээнд бүрэн нэвтрүүлж чадахгүй байна. Тухайлбал манай улсын хэмжээнд нийт олборлосон нүүрсний ихэнх хувийг түүхийгээр нь экспортолдог. Үлдсэн экспортын бус, хямд нүүрсийг үр дүнтэй ашиглахын тулд гүн боловсруулж нийлэг байгалийн хийд хувиргах нь нүүрсийг ашиглах хамгийн үр дүнтэй шийдэл юм. Манай улс байгалийн хийн нөөц илрэл байхгүй хэдий ч нүүрсний боловсруулалтаар нийлэг байгалийн хий гарган авах бүрэн боломжтой. Түүхий нүүрсний шаталтаас үүсэх CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> болон SO<sub>x</sub> зэрэг хорт нэгдлүүд нь агаар мандалд цацагдаж, дэлхийн дулаарлыг нэмэгдүүлж, цаг уурын өөрчлөлтөд сөрөг нөлөө үзүүлсээр байна. Эдгээр хорт нэгдлийн хэмжээг бууруулахын тулд аж үйлдвэрийн түүхий эд болгон ашиглах, CO болон CO<sub>2</sub> хийг катализаторын оролцоотой устөрөгжүүлж нийлэг байгалийн хий гарган авах зэрэг технологийн



$$\Delta H^\circ_{298} = -206.1 \text{ кЖ/моль}$$



$$\Delta H^\circ_{298} = -164.7 \text{ кДж/моль}$$

судалгаанууд олон улсын хэмжээнд эрчимтэй явагдаж байна [2-5]. CO болон CO<sub>2</sub> хийнээс метан гарган авах устөрөгжүүлэлтийн урвал нь дулаан ялгаруулж явагддаг [3,5].

Метанжуулах процесс нь 180-600°C температурт, 1-20 атм даралтанд Ru, Ir, Rh, Ni, Co, Os, Pt, Fe, Mo, Pd болон Ag зэрэг металл катализаторын оролцоотой H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> хийн хооронд явагддаг [4]. Харин нүүрсний пиролизын холимог хий дэх нүүрстөрөгчийн ислийг метанжуулах судалгааны ажлууд харьцангуй цөөн байдаг. Ялангуяа Монгол орны экспортын бус хаягдал нүүрсний пиролизын хийнээс метан гарган авах судалгааны ажил өмнө нь хийгдэж байгаагүй. Энэхүү судалгааны ажлаар Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийнээс нийлэг байгалийн хий гарган авах метанжуулалтын туршилтыг томруулсан хэмжээнд хийж гүйцэтгэн, нүүрсний дээжүүдийн метанжуулалтын идэвхийг харьцуулан судлах зорилго тавин ажиллалаа.

## СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

**Нүүрсний шинж чанар тодорхойлох:** Энэхүү туршилт судалгаанд Өмнөговь аймгийн Цогтцэций сумын нутагт орших “ЭТТ” ХК-ийн Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрс (Уурхайн хөрс хуулалтаас үүссэн, одоогоор хаягдал болж буй овоолго нүүрс) болон “Багануур” ХК-ийн Багануурын ордын уулын IV-р амны 2А үндсэн давхаргын

нүүрсний дээжүүдийг сонгон авч, зарим шинж чанарыг харьцуулан судлан пиролизын томруулсан хэмжээний туршилтын түүхий эд болгон хэрэглэсэн. Судалгааны дээжүүдийн чийг, үнслэг болон дэгдэмхийн агуулга зэрэг техникийн шинж чанарыг жингийн аргаар тодорхойлсон. Мөн нүүрсэнд агуулагдах голлох элементүүдийн агуулгыг EA3000 элементийн шинжилгээний багажаар, хүхрийн агуулгыг SDS-616 маркийн багажаар шинжилсэн.

**Нүүрсний пиролизын томруулсан хэмжээний туршилт:** Нүүрснээс нийлэг хий гарган авах туршилтыг “Мегаүүд” ХХК-ийн нүүрсний пиролизын АББАТ төхөөрөмжийг ашиглан хийж гүйцэтгэсэн. Нүүрсийг түүхий эдийн бункерээр дамжуулан 750°C температур хүртэл урьдчилан 2 цаг халаасан реакторт оруулан пиролизын процессыг явуулсан. Нүүрсний пиролизын бүтээгдэхүүн хий нь нүүрсийг бункерээс реакторт оруулснаас хойш 3 минутын дараа гарч эхлэх бөгөөд хийн агуулгыг YL 6100 хийн хроматографийн багажаар хэмжсэн. Цашид пиролизын хийг компрессороор дамжуулан метанжуулалтын бэнч төхөөрөмж рүү тасралтгүй нэвтрүүлж, метанжуулах процессын түүхий эд болгон хэрэглэсэн.

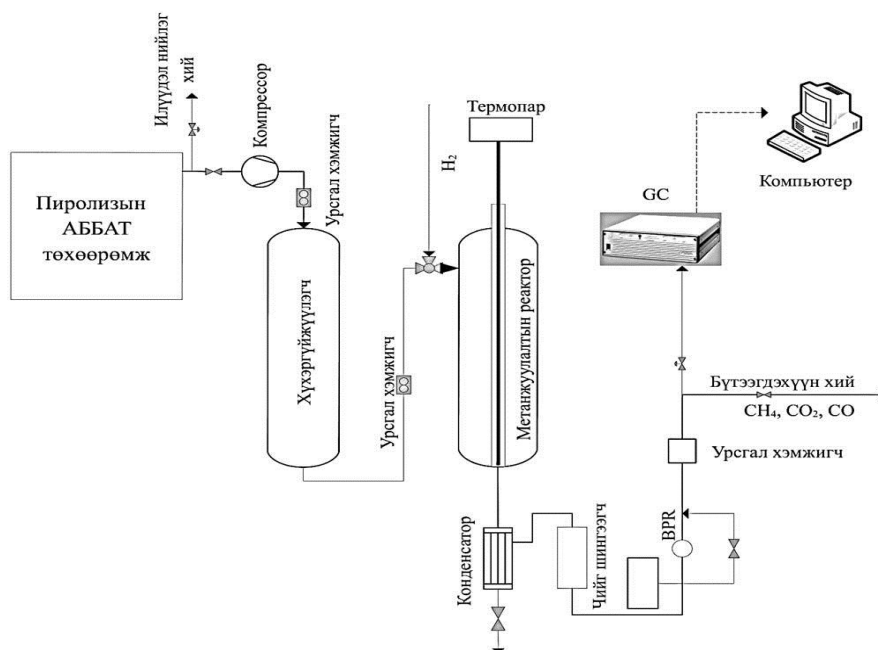
**Пиролизын хийн метанжуулалтын томруулсан хэмжээний туршилт:** Метанжуулалтын төхөөрөмжинд худалдааны никель катализаторыг кварцтай холин 3 үе болгон реакторт байрлуулах ба тэдгээр үе тус бүрийг кварцан хөвөнгөөр тусгаарлан нүүрсний пиролизоос үүсэх хийн холимогийг нэвтрүүлнэ. Метанжуулалтын урвалын үед ялгарч буй дулааны нөлөөгөөр катализаторын дээд үеийн хэсэгт хэт халалт үүсч, катализатор бөөгнөрснөөр идэвхээ алддаг. Үүнээс сэргийлэхийн тулд катализаторыг 3 үе тус бүрт ялгаатай концентрацтай байхаар тооцон кварцтай хольж, реакторт байрлуулсан. Катализатор болон кварцын нийт хэмжээ 270 см<sup>3</sup>, нэг үеийн өндөр нь 19 см, мөн кварцан хөвөн тусгаарлагч нь 1 см зузаантай байхаар тооцсон (*Хүснэгт 1*).

Худалдааны катализаторын никелийн бодит агуулгыг iCAP6500 ICP-OES индукцын холбоост плазмын оптик эмульсийн спектрометрийн багажаар хэмжсэн бөгөөд талст бүтцийн XRD шинжилгээг вакуум орчинд Cu анодтой, 0.154 нм долгионы уртад, 30 мV, 40 кВ-д 2θ өнцгийн 10.0°-80.0° мужид

хийж гүйцэтгэсэн. Бид метанжуулалтын томруулсан хэмжээний туршилтанд хэрэглэх хүхэргүйжүүлэгч, конденсатор болон чийг шингээгч бүхий төхөөрөмжийг *Зураг 1*-д үзүүлсний дагуу загварчлан зохион бүтээсэн [6-9]. Түүхий нүүрсийг пиролизын төхөөрөмжинд дулааны задралд оруулж, үүссэн бүтээгдэхүүн болох пиролизын холимог хийн илүүдэл хэсгийг метанжуулалтын реактор руу орохоос өмнө хий зайлуулагчаар гаргана. Урвалд шаардлагатай хэсгийг компрессороор реактор руу шахна. Метанжуулах процессын түүхий эд нь пиролизын төхөөрөмжөөс даралтгүй гардаг бөгөөд метанжуулах урвал нь 3 барын даралтанд явагдах тул хий шахах компрессор шаардлагатай. Пиролизын хийг метанжуулах реакторт оруулахаас өмнө 4500 мл/мин эзлэхүүн хурдтай байхаархийн урсгал хурд хэмжигчээр тохируулж, төмрийн оксидоор хөдөлгөөнгүй үе үүсгэсэн хүхэргүйжүүлэгчээр дамжуулан хүхэрт нэгдлээс нь салгана. Дараа нь пиролизын хийг туузан халаагуураар дамжуулж урьдчилан халаана. Метанжуулах урвалын өмнөх худалдааны катализатор нь ангижирсан төлөвт байсан боловч хадгалалтын дүнд гадаргуу исэлдсэн байх тул 110°C температурт, 500 мл/мин аргон хийн урсгалд хатаасны дараа 400°C температурт, 500 мл/мин устөрөгч хийн урсгалд ангижруулан гадаргууг металл никель (Ni<sup>2+</sup>→Ni<sup>0</sup>) хэлбэрт шилжүүлнэ. Катализаторыг ангижруулж, тасалгааны температур хүртэл хөргөсний дараа пиролизын хийг кварцтай хольж бэлтгэсэн катализаторын хөдөлгөөнгүй 3 үе бүхий метанжуулах реактор дундуур нэвтрүүлнэ. Реактор дотор гарах хийн даралт тохируулагч (BPR-Back Pressure Regulator) төхөөрөмжөөр 3 бар-ын даралтыг үүсгэнэ. Метанжуулах урвалаас үүсэх ус нь силикагель бүхий конденсатор болон чийг шингээгчид баригдана. Нийт үүссэн бүтээгдэхүүн хийн хэмжээг урсгал хэмжигчээр хянах бөгөөд хийн найрлагыг хийн хроматографийн багажаар шинжилнэ. Тавантолгойн ордын исэлдсэн болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийг метанжуулах томруулсан хэмжээний туршилтыг 250°C болон 350°C температурыудад, 3 бар даралтанд, 4500 мл/мин түүхий эдийн урсгал хурдтай, худалдааны Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторын 3 үе дундуур нэвтрүүлж хийж

*Хүснэгт 1. Катализатор болон кварцын холимогийн харьцаа*

Катализатор болон кварцын үе	Холих харьцаа	Кварцын хэмжээ, см <sup>3</sup>	Катализаторын хэмжээ, см <sup>3</sup>
I	20:1	85.7	4.28
II	10:1	81.8	8.18
III	5:1	75.0	15.0
Нийт			270



Зураг 1. Метанжуулалтын томруулсан төхөөрөмжийн ерөнхий бүдүүвч

гүйцэтгэсэн. Метанжуулах урвалын зуухны температур болон реактор доторх температурыг температурын тохируулагчаар хянана. Метанжуулалтын дүнд үүсэх метаны сонгомол чанар, метаны гарц болон CO хийн хувирлын зэргийг дараах томъёогоор тооцоолно [3]. CH<sub>4</sub> сонгомол чанар нь бүтээгдэхүүн хийн холимог дахь метан хийн эзлэх хувийг илэрхийлнэ.

$$CH_{4(сонгомол\ чанар),\%} = \frac{CH_{4,жин\%}}{CH_{4,жин\%} + CO_{2,жин\%} + H_{2,жин\%}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$CO_{(хувирлын\ зэрэг),\%} = \frac{CO_{(оролт),жин\%} - CO_{(гаралт),жин\%}}{CO_{(оролт),жин\%}} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$CH_{4(гарц),\%} = \frac{CO_{хувирлын\ зэрэг} \cdot CH_{4сонгомол\ чанар}}{100\%} \quad (5)$$

### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

#### Дээжийн техник шинж чанар тодорхойлсон дүн:

Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний техник, химийн шинжилгээний үр дүнг харьцуулан үзүүлээ. Судалгааны дээжүүдийн техник, химийн шинжилгээний үр дүнгээс харахад Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрс нь Багануурын үндсэн давхаргын нүүрсстэй харьцуулахад чийг,

үнслэг болон илчлэг өндөртэй харин дэгдэмхий бодисын агуулга бага байв.

Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрс нь Багануурын ордынүндсэн давхаргын нүүрсстэй харьцуулахад нүүрстөрөгч, устөрөгч болон азотын агуулга өндөр, харин хүчилтөрөгчийн агуулга 4.78% -иар бага байв. Мөн Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсэнд агуулагдах хүхрийн агуулга нь 1.5%-иас бага байна. Иймд эдгээр нүүрс нь хүхэр багатай нүүрсний төрөлд хамаарагдаж байна [1].

#### Нүүрсний хийн метанжуулалтын томруулсан туршилтын дүн:

Худалдааны Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторын шинж чанар тодорхойлсон дүн:

Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний хийн метанжуулалтын томруулсан туршилтанд Хятад улсын “Ляонин Хайтай” компанийн Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторыг хэрэглэсэн. Худалдааны катализатор дахь никелийн номиналь агуулга нь 18.0% байсан бөгөөд никелийн бодит агуулгыг индукцын холбоост плазмын оптик эмальсийн спектрометрийн багажаар тодорхойлоход 15.24% байлаа. Худалдааны Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализатор дахь никелийн бодит агуулга нь тооцсон утгаасаа үл ялиг бага байсан. Метанжуулах томруулсан туршилтанд

Хүснэгт 2. Тавантолгойн исэлдсэн болон Багануурын үндсэн давхаргын нүүрсний техник, химийн шинжилгээний дүн

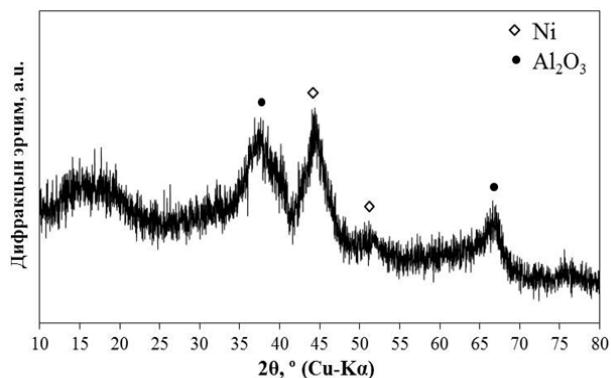
Нүүрсний дээж	Дотоод чийг	Үнслэг	Дэгдэмхий бодисын гарц	Илчлэг
	% (а.х)		% (х.γ)	
Тавантолгой	11.7	20.7	32.4	5699
Багануур	5.20	7.52	41.6	5597

а.х – агаарын хуурай жин, х – хуурай жин, х.γ – хуурай үнсгүй жин

**Хүснэгт 3.** Тавантолгойн исэлдсэн болон Багануурын үндсэн давхаргын нүүрсний элементийн шинжилгээний дүн

Нүүрсний дээж	C	H	N	S	O*
	% (х.ү)				
Тавантолгой	80.9	6.86	1.92	0.40	9.92
Багануур	78.5	4.75	0.82	1.23	14.7

\* Дээжинд агуулагдах О-ийн хэмжээг нийт элементүүдийн нийлбэрийн ялгавраар тооцов.



**Зураг 2.** Метанжуулалтын өмнөх никель катализаторын XRD шинжилгээний дүн

хэрэглэсэн никель катализаторын талст бүтцийн шинжилгээний үр дүнг Зураг 2-г харуулав. Метанжуулах туршилтын өмнө устөрөгч хийгээр ангижруулаагүй худалдааны никель катализаторт Ni-ийн пикүүд нь 2θ өнцгийн 44.5°, 51.7° угтуудад, мөн зөөгч биет болох Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ийн пикүүд нь 2θ өнцгийн 37.7° болон 66.3° угтуудад тус тус илэрсэн. Энэхүү шинжилгээний дүнгээс харахад худалдааны никель катализатор нь урьдчилан ангижруулж бэлтгэсэн катализатор байсан. Гэвч никелийн бүхэллэг хэлбэр (bulk) нь зөвхөн XRD-д илэрч байгаа тул, хадгалалтын дүнд катализаторын исэлдсэн гадаргууг ангижруулан бэлдэх шаардлагатай.

**Нүүрсний хийн катализаторт метанжуулалтын туршилтын дүн:** Тавантолгойн ордын исэлдсэн болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын дүнд үүссэн холимог хийн найрлагыг хийн хроматографийн багажаар тодорхойлсон дүнг Хүснэгт 4-д харьцуулан үзүүлэв. Хийн хроматографын багажинд метанжуулах процессын үндсэн түүхий эд болох H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> болон бүтээгдэхүүн CH<sub>4</sub> хийн холимгийг ашиглан хийн найрлага тодорхойлох тохируулгыг хийсэн. Харин бусад (азот, хүчилтөрөгч, C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> ханасан болон ханаагүй нүүрс-устөрөгчид) хийн агуулгыг нийлбэрийн ялгавраар тооцож харуулав (Хүснэгт 5).

**Хүснэгт 4.** Тавантолгойн ордын исэлдсэн болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний хийн метанжуулалтын урвалын идэвх

Метанжуулалтын түүхий эд	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
	хувирлын зэрэг, %	сонгомол чанар, %	сонгомол чанар, %
Тавантолгойн нүүрсний хий	94.23	64.54	54.23
Багануурын нүүрсний хий	92.84	55.15	30.96

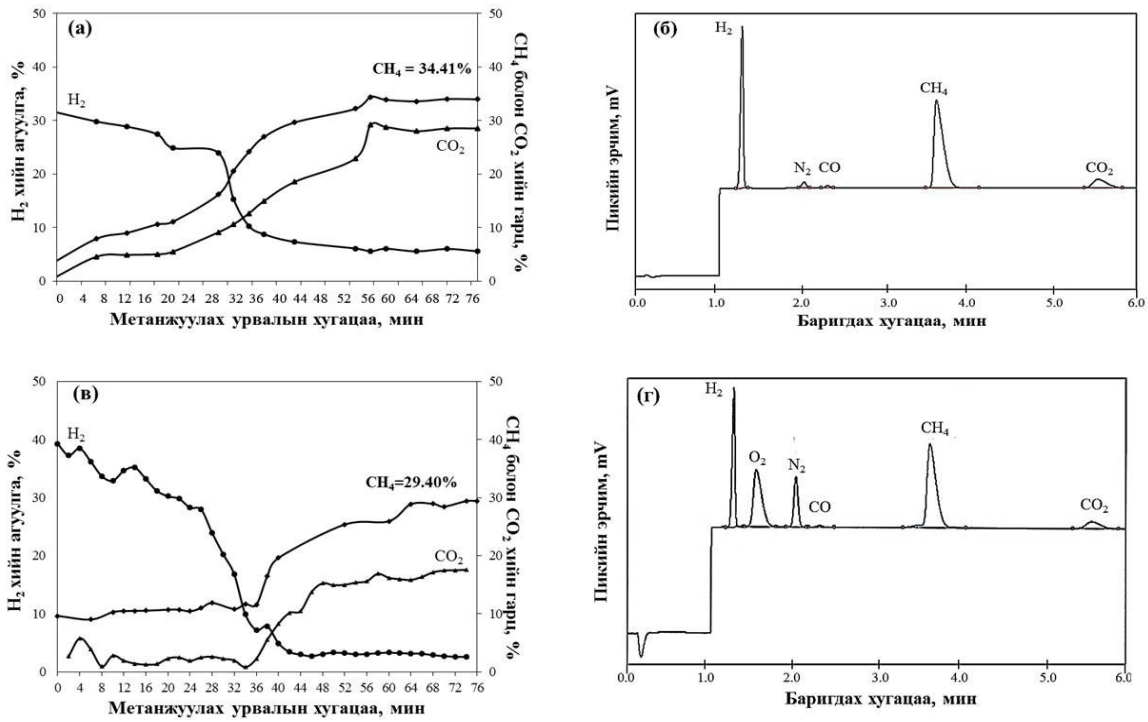
Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизоос үүссэн хийн холимог дахь H<sub>2</sub>/CO хийн эзлэхүүний харьцаа 2.66, харин Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хий дэх H<sub>2</sub>/CO хийн харьцаа 1.51 буюу устөрөгч дутмаг хийн холимог үүссэн. Цаашид нүүрсний пиролизоос үүссэн холимог хийг метанжуулалтын томруулсан туршилтанд үндсэн түүхий эд болгон хэрэглэсэн. Тавантолгойн ордын исэлдсэн болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийг метанжуулах томруулсан туршилтыг Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализатор хэрэглэн, 3 барын дарлаланд, 4500 мл/мин түүхий эдийн урсгал хурдтай нөхцөлд хийж гүйцэтгэсэн. Метанжуулалтын түүхий эд болох Багануурын нүүрсний пиролизын хийд H<sub>2</sub>/CO хийн молийн харьцаа 1.51 болон Тавантолгойн нүүрсний пиролизын хийд 2.66 байсан учир метанжих урвал нь устөрөгчийн хэмжээнд захирагдан явагдсан байна. Учир нь CO хийн устөрөгжүүлэлтийн урвал (1)-д 1 моль CO хий нь 3 моль H<sub>2</sub> хийтэй урвалд орох шаардлагатай юм.

Харин Хүснэгт 5-д үзүүлсэн дүнгээс харахад нүүрсний пиролизоос үүссэн H<sub>2</sub>/CO хийн молийн харьцаа бага байгаа тул пиролизын хийн холимогт агуулагдаж буй CO хий нь бүрэн метанжих урвалд орж чадаагүй гэж үзсэн.

Нүүрсний пиролизоос үүссэн хийг метанжуулах урвалын идэвхийн дүнгээс харахад Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний хий нь Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний хийтэй харьцуулахад CO хийн хувирлын зэрэг 1.39%-иар, CH<sub>4</sub> сонгомол чанар 9.39%-иар тус бүр их буюу метанжуулалтын идэвх өндөр байсан. CH<sub>4</sub> сонгомол чанарыг (3) томъёогоор тооцоолсон бөгөөд энэхүү үзүүлэлт нь метанжуулах процессын дүнд үүссэн бүтээгдэхүүн дэх метаны эзлэх хувийг илэрхийлнэ. Нүүрсний пиролизын хийн метанжуулалтын томруулсан туршилтын дүнд

**Хүснэгт 5.** Тавантолгойн исэлдсэн болон Багануурын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын томруулсан туршилтын дүн

Пиролизын түүхий эд	Пиролизын хийн агуулга, % эзлэхүүн					H <sub>2</sub> :CO
	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Бусад	
Тавантолгойн нүүрс	31.7	11.9	0.29	3.20	52.9	2.66
Багануурын нүүрс	39.2	25.9	6.12	9.60	19.1	1.51



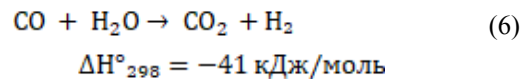
Зураг 3. (а, б) Тавантолгойн ордын исэлдсэн, (в, г) Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийн метанжуулалтын туршилтын дүн

үүссэн хийн агуулгыг хийн хроматографийн багажаар тодорхойлсон дүнг Зураг 3-д үзүүлээ.

Метанжуулалтын томруулсан туршилтын дүнгээс харахад Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хий дэх  $\text{CH}_4$  хийн агуулга 3.20%-иас 34.4% хүрч өссөн бол Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийд  $\text{CH}_4$  хийн агуулга 9.60%-иас 29.4% хүрч нэмэгдсэн. Мөн үндсэн урвалаас гадна ус-хийн шилжилтийн урвал зэрэгцэн явагдсаны улмаас  $\text{CO}_2$  хий үүссэн. Цаашид үйлдвэрлэлийн нөхцөлд метанжуулалтын туршилтын бүтээгдэхүүн хийн илчлэгийг нэмэгдүүлэхийн тулд үүссэн  $\text{CO}_2$  хий болон бусад дагалдах бүтээгдэхүүнийг хийн цэвэрлэгээний гүн хөргөлт, мембран шүүлтүүрийн аргуудаар салгаж, метан хийн агуулгыг ихэсгэх боломжтой.

Метанжуулалтын томруулсан туршилтын үр дүнгээс харахад Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрс нь Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрстэй харьцуулахад нам температурт метанжуулалтын дүнд үүсэх метан хийн агуулга нь

5.01%-иар их байсан. Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийд  $\text{CO}_2$  хийн агуулга 0.29% байсан бол метанжуулалтын урвалаар 29.1% болж нэмэгдсэн. Харин Багануурын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийд 6.12%  $\text{CO}_2$  хий агуулагдаж байсан бол метанжуулалтын дараа 19.9% болж өссөн. Энэхүү  $\text{CO}_2$  хийн өсөлт нь метанжуулах урвалын бүтээгдэхүүнд урвалаас үүсэх устай зэрэгцэн нүүрстөрөгчийн дан исэл урвалд орж нүүрстөрөгчийн давхар исэл болон устөрөгчийг



үүсгэх ус-хийн шилжилтийн урвал явагдсантай холбоотой юм [4].

Нүүрсний пиролизын хийн метанжуулах урвалын дараах худалдааны никель катализаторын 3 үеийн талст бүтцийн шинжилгээгээр катализаторын гадаргуу дээр кокс болон NiO-ийн пик илрээгүй бөгөөд катализаторыг цаашид дахин сэргээж

Хүснэгт 6. Метанжуулалтын томруулсан туршилтын харьцуулсан үр дүн

Хийн нэр	Тавантолгойн нүүрсний пиролизын хий		Багануурын нүүрсний пиролизын хий	
	Метанжуулалтын өмнө	Метанжуулалтын дараа	Метанжуулалтын өмнө	Метанжуулалтын дараа
Агуулга, % эзлэхүүн				
CO	11.9	1.50	25.9	1.79
CO <sub>2</sub>	0.29	29.1	6.12	19.9
CH <sub>4</sub>	3.20	34.4	9.60	29.4

метанжуулах урвалд хэрэглэх боломжтой болохыг тогтоов.

### ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын болон Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын процессоос үүссэн хийн холимгийг метанжуулах томруулсан хэмжээний туршилтыг 250°C болон 350°C температурыудад, 3 бар даралтанд, 4500 мл/мин түүхий эдийн урсгал хурдтай нөхцөлд хийж гүйцэтгэлээ.

Метанжуулалтын томруулсан туршилтын бэнч хэмжээний хүхэргүйжүүлэгч, конденсатор ба чийг шингээгч бүхий хөдөлгөөнгүй үет систем реакторыг загварчилан зохион бүтээж, 3 өөр концентрацтай никель катализаторын үеэр дамжуулан дулаан дамжуулалтын усгүй шийдлийг хэрэглэв.

Тавантолгойн ордын исэлдсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийг метанжуулахад метан хийн агуулга 3.20%-иас 34.4% буюу 10 дахин ихсэж, харин Багануурын ордын үндсэн давхаргын нүүрсний пиролизын хийн метаны агуулга 9.60%-иас 29.4% болж 3 дахин ихэссэн.

Метанжуулах урвалын бүтээгдэхүүн хий дэх CO<sub>2</sub> хийн агуулга ихэссэн нь нүүрсний пиролизын хийг метанжуулах үндсэн урвалаас гадна ус-хийн шилжилтийн урвал зэрэгцэн явагдсантай холбоотой байв.

### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Ж. Нарангэрэл. (2011) *Нүүрсний хими технологийн үндэс*, Адмон ХХК, УБ. х. 18-20.
2. T. Daniel, M. Hesham, A. Udo, M. Andreas. (2017) Methanation of CO<sub>2</sub> on Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in a Structured

Fixed-Bed Reactor-A Scale-Up Study. *Catalysts*. 7. p.152-167.

3. C. Guo, Y. Wu, H. Qin, J. Zhang. (2014) CO methanation over ZrO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supported Ni catalysts: A comprehensive study. *Fuel Processing Technology*. 124. p.61-69.
4. L.C. Loc, N.M. Huan, N.A. Gaidai, H.S. Thoang, Agafonov et al. (2012) Kinetics of carbon monoxide methanation on nickel catalysts. *Kinetics and Catalysis*. 53. p.384-394.
5. J. Kopyscinski, T.J. Schildhauer, S.M.A. Biollaz. (2010) Production of synthetic natural gas (SNG) from coal and dry biomass-A technology review from 1950 to 2009. *Fuel*. 89. p.1763-1783.
6. В. Buyan-Ulzii, O. Daariimaa, С. Munkhdelger, G. Oyunbileg, В. Enkhsaruul. (2018) Effect of nickel precursor and catalyst activation temperature on methanation performance. *Mongolian Journal of Chemistry*. 19(45). p.12-18.
7. Х. Барсболд, Б. Буян-Өлзий, Б. Энхсаруул. (2018) Нүүрстөрөгчийн ислийн метанжуулалт: Катализаторын бэлтгэх аргын нөлөө. *Монголын Химийн Нийгэмлэгийн бүтээл*. 13. х.50-62.
8. Б. Буян-Өлзий, Б. Энхсаруул. (2018) Нүүрстөрөгчийн дан ислийн метанжуулалт: Катализаторын идэвхижүүлэгчийн судалгаа. *Шатах ашигт малтмалын хими, боловсруулалт ба экологийн асуудлууд*, ШУТИС ХШУС, Улаанбаатар хот. х. 21-29.
9. В. Battulga, Т. Bold, Е. Vyambajav. (2020) Effect of Fe and Co promoters on CO methanation activity of nickel catalyst prepared by impregnation - coprecipitation method. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 18(5-6):20200076.

## Bench-scale methanation of pyrolysis gases of Tavantolgoi and Baganuur coals

B. Nyamsuren\*, Kh. Barsbold, B. Buyan-Ulzii, T. Baasanjargal, B. Enkhsaruul

*School of Arts & Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14200, Mongolia.*

\*E-mail: bbyamsuren@gmail.com

---

Received: 26.08.2020

Revised: 28.10.2020

Accepted: 02.11.2020

---

**Abstract:** Bench-scale methanation experiments were performed using the mixture gases evolved in pyrolysis of Tavantolgoi weathered coal and of Baganuur thermal coal. The methanation reactor was composed of the parts of feed gas desulfurization, fixed bed main reactor, condenser and dryer of product gases. The preliminary desulfurized feed gas passed through the fixed bed methanation reactor with the three layers of Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst mixed with different amounts of quartz in order to avoid from overheating in upper level of the catalyst. Methanation experiments of pyrolysis gases were performed at temperatures of 250°C and 350°C, in a pressure of 3 bar with a GHSV of 9000 h<sup>-1</sup>. In methanation of pyrolysis gas from the Tavantolgoi weathered coal, CH<sub>4</sub> content was increased 10 times from 3.20% to 34.4% at 250°C, however CH<sub>4</sub> content was increased 3 times from 9.60% to 29.4% during the methanation of Baganuur coal pyrolysis gas at 350°C.

**Keywords:** *Pyrolysis gas, CO/CO<sub>2</sub> hydrogenation, nickel-based catalyst, bench-scale*

---

© The Author(s). 2020 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided 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.

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i8.1472>