



## ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛ

 Гал унтраагч шинэчилсэн бэлдмэлийн найрлага, түүний  
 физик шинж чанарын судалгаа
Т. Аззаяа<sup>1\*</sup>, Г. Бурмаа<sup>1</sup>, С. Алэн<sup>1</sup>, В. Батсайхан<sup>2</sup><sup>1</sup>Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс.<sup>2</sup>Онцгой байдлын ерөнхий газар, Үндэсний аврах бригад, Улаанбаатар 18170, Монгол улс.

\*E-mail: azzayat@mas.ac.mn

Хүлээн авсан: 29.11.2020

Хянасан: 28.12.2020

Хэвлэлтэнд авсан: 08.01.2021

**Хураангуй:** Ус, хөөс, хуурай нунтаг, нүүрс хүчлийн хий ба химийн шингэн бодис зэргийг галын төрлөөс хамааруулан гал унтраагчаар ашигладаг. Галын ABC ангилалд цаас, мод, будаг, шатахуун, тос, тосолгооны материал, шатамхай хий зэргээс үүдэлтэй гал хамаарна. Энэхүү ажлаар импортын гал унтраагч бодисын найрлагыг шинэчлэн тогтоох судалгааг органик ба органик бус химийн бодисуудын харьцаанаас хамааруулан явуулж, тэдгээрийн гал унтраах идэвхийг ABC ангиллын галд туршив. Үндсэн бүрдэл болох аммонийн дигидрофосфат ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )-ыг 50%,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ба бусад бүрэлдэхүүн бодисуудын нийлбэрийг мөн 50%-иар тооцоолон авсан. Бэлдмэл 1-ийн гал унтраах идэвх нь бусад бэлдмэлүүдийн идэвхээс өндөр байв. Бэлдмэлийн термографийн судалгаагаар  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын их хэмжээний дулаан шингээн полимержих, ус ялгаруулах процесс DTA-ийн муруйд эндо эффект хэлбэрээр илэрсэн ба температурын дээд утгад жингийн алдагдал 74%-д хүрч, 26% нь  $\text{P}_2\text{O}_5$  хэлбэрээр үлдсэн. Гал унтраагч нунтгийн физик шинж чанарын гол үзүүлэлтүүд болох чийг, хувийн жин, ус үл нэвтрүүлэх чадвар, ширхэглэлийн хэмжээг тодорхойлсон ба эдгээр үзүүлэлтүүд нь стандартын шаардлагуудыг хангасан байна.

**Түлхүүр үг:** Гал унтраагч нунтаг, идэвх, аммонийн дигидрофосфат, DTA/TG, физик үзүүлэлт

## ОРШИЛ

Хүн амын өсөлт, хот суурин газрууд олшрохын зэрэгцээ том болон бага оврын үйлдвэр, аж ахуйн нэгжүүд бий болж, барилга байгууламж, сургууль, цэцэрлэг, үзвэр үйлчилгээний газар, шатахуун түгээх станц зэрэг олон нийтийн газрууд нэмэгдэн ард иргэдийн аж амьдралын хэв маяг өөрчлөгдөж байгаа өнөө үед ахуйд гал түймэр гарах явдал нилээд тохиолдох болов. Мөн түүнчлэн зөвхөн Улаанбаатар хотод л гэхэд 350.0 мянга гаруй авто машин замын хөдөлгөөнд оролцож байгаа нь машинд гал гарах тохиолдлыг ихэсгэх магадлалтай юм. ОБЕГ-аас гаргасан статистик мэдээнээс үзвэл 2020 он гарсаар улсын хэмжээнд нийт 3061 удаагийн ахуйн гал түймэр бүртгэгджээ. Гал түймэр гарах гол шалтгааны дийлэнх буюу 90 гаруй хувийг айл өрхүүдэд ашиглагдаж байгаа пийшин, зуухны гэмтэл, хэт галлагаа, ил задгай асгасан цогтой үнс нурам, хараа хяналтгүй орхисон бага насны хүүхэд, зориулалтын бус цахилгааны утасны ашиглалт, цахилгаан хэлхээний хэт ачаалал зэрэг хувь хүмүүсийн санамсар болгоомжгүй байдал эзэлж байна [1].

Ахуйн, үйлдвэрлэлийн ба ой хээрийн түймэр унтраахад ашигладаг төрөл бүрийн гал унтраагчид байдаг. Хэвлэлийн материалд дурдсанаар одоогоор дэлхий дахинд ус, хөөс, хуурай нунтаг, нүүрс хүчлийн хий ба химийн шингэн бодис зэрэг 5

төрлийн гал унтраагчийг хэрэглэж байна [2]. Эдгээр гал унтраагчид нь бүгд химийн нэгдэл ба тэдгээрийн холимгоос бүрдсэн байдаг. Галын төрлөөс хамааруулан дээр дурдсан гал унтраагчдыг ашиглана. Гал гарах шалтгаан болсон эх үүсвэрийг үндэслэн галыг 6 ангилдаг ба шатамхай материал болох цаас, мод зэргээс үүдэлтэй галыг А ангиллын; будаг, шатахуун, тос, тосолгооны материалаас үүссэн галыг В; метан, бутан, пропан мэтийн шатамхай хийгээр үүссэн галыг С; лити, натри, кали зэрэг шатамхай металаас үүссэн галыг D; цахилгаан тоног төхөөрөмж, богино холбооноос үүдэлтэй гал; мөн тос хайлуулах төхөөрөмжөөс гарсан галыг F ангиллын гэнэ [3].

Хуурай нунтаг гал унтраагчийн найрлаганд бром-хлор-дифторметан ( $\text{CF}_2\text{ClBr}$ -Halon 1211) болон бромтрифторметан ( $\text{CF}_3\text{Br}$ -Halon 1301) зэрэг озоны давхарга болон дэлхийн дулааралд хүчтэй нөлөө үзүүлэгч бодисууд багтдаг байсан бөгөөд тэдгээрийг 1993 оны Монтреалын протоколоор гал унтраагчийн найрлаганд оруулахыг хориглосон байна [4]. Иймд түүнийг орлохуйц бусад химийн нунтаг бодисууд болох шүлтгийн металлын ба фосфатын давсууд, магнийн гидроксидыг гал унтраагчийн найрлаганд ашиглах боломжийг эрэлхийлсэн судалгааны ажлууд судлаачдын анхаарлыг ихэд татах болов [5,6]. Нунтаг гал

унтраагч нь бусад төрлийн гал унтраагчидтай харьцуулахад богино хугацаанд гал унтраадаг, хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөлөл бага, удаан хугацааны хадгалалт даах чадвартай гэх мэт давуу талуудтай.

Сүүлийн жилүүдэд түлхүү ашиглагдах болсон химийн нунтаг гал унтраагчдын үндсэн бүрэлдэхүүн нь аммонийн дигидрофосфат ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) ба аммонийн сульфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) юм [7,8]. Энэ төрлийн гал унтраагчдыг тэдгээрийн галын гинжин урвалын чөлөөт ионыг таслах шинж чанарт үндэслэн ABC ангиллын галыг унтраахад тохиромжтой гэж үздэг.  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  ба  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  нь галыг агаар дахь хүчилтөрөгчөөс тусгаарлан бүрхэн авч, агааргүйжүүлэх өндөр чадавхтай байдаг.

Манай улс гал унтраагч бодисыг зөвхөн импортлон оруулдаг ба түүний найрлага, бүтэц, шинж чанар, гал унтраах химийн механизм зэргийг системтэйгээр судалсан судалгаа хараахан хийгдээгүй байна. Бодисын найрлагыг шинэчлэх замаар эдийн засгийн ач холбогдол бүхий гал унтраагч нунтаг бэлдмэл гарган авах технологи боловсруулж, гарган авсан бүтээгдэхүүний гал унтраах механизмыг шинжлэх ухааны үүднээс тайлбарлах нь энэхүү ажлын шинэлэг тал болно. Иймд бид энэхүү судалгаагаар импортын гал унтраагч бодисын найрлагыг шинэчлэн тогтоож, гал унтраах идэвхийг турших, сонгосон найрлага бүхий бэлдмэлийн зарим физик үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох зорилго тавин ажиллав.

### СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Уг судалгаанд БНХАУ-ын Алладин компаний 97-99%-ийн цэвэршил бүхий органик (силика гель, метилгидрополисилоксан) ба органик бус (аммонийн дигидрофосфат ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), аммонийн сульфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), кальцийн фосфат ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) бодисуудыг хэрэглэв.

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ийг 47-80%,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ийг 15-45%, бусад органик болон органик бус бодисыг 1-5% хүртэлх агууламжтай байхаар янз бүрийн хэмжээгээр тооцоолон авч, DX30B маркийн лабораторийн нунтаглагчаар нунтаглан стандарт шаардлагын дагуу нэгэн жигд болтол хольсон. Нунтаг бэлдмэлийн болон цэвэр давснуудын термографийн

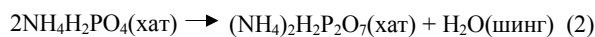
шинжилгээг халаалтын хурдыг  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ -аар тохируулж, HITACHI TG/DTA7300 маркийн багажаар хийв. Нунтгийн ширхэглэлийн туршилтыг 0.074-3мм-ийн хэмжээ бүхий JS14S маркийн автомат шигшүүрээр 1420 эрг/мин хурдтай тохируулан явуулж, үр дүнг 1-р томъёогоор тооцоолсон.

$$\text{Ширхэглэлийн хэмжээ (\%)} = \frac{\text{Жин (шигшүүрээс гарсан)}}{\text{Жин (нийт дээж)}} \times 100\% \quad (1)$$

Нунтгийн ус үл нэвтрүүлэх чадвар, хувийн жин болон чийгний агууламж зэрэг физик үзүүлэлтүүдийг ISO7202:2018(E) [9] аргын дагуу хийж гүйцэтгэв. Түүнчлэн янз бүрийн харьцаагаар хольж бэлтгэсэн 4 төрлийн нунтаг бэлдмэлийн дээжний гал унтраах идэвхийг гал унтраах мэргэжлийн байгууллагын бааз суурийг ашиглан ABC ангиллын гал дээр туршив.

### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

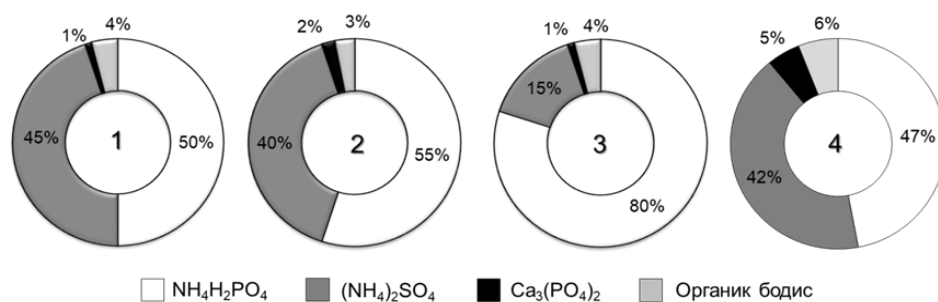
**Нунтаг бэлдмэлийн найрлага тогтоох:** ABC төрлийн нунтаг гал унтраагч бодисын үндсэн найрлаганд  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ийн давсууд орох ба эдгээр нь цахилгаан дамжуулдаггүй учир энэ төрлийн нунтгийг цахилгаанаас үүдэлтэй гал унтраахад ашиглаж болдог.  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  нь цагаан өнгийн талст бодис, усанд сайн харин этанолд бага зэрэг уусдаг шинж чанартай. Ихэвчлэн бордоо болон гал унтраагч бодисын үйлдвэрлэлд ашигладаг байна. Түүний хайлах урвал дараах байдлаар явагдана. Үүнд [10]:



$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  нь ромбо хэлбэрийн өнгөгүй бодис бөгөөд усанд хялбархан уусдаг шинж чанартай. Уг бодисын фазын хувирал дараах урвалын дагуу явагдана [11]:



ABC төрлийн гал унтраагч нунтаг бэлдмэлийн найрлагыг тогтоох горимын судалгаанд химийн цэвэр органик бус болон органик бодис ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , метилгидрополисилоксан, силика гель)-уудыг ашиглан 4 төрлийн бэлдмэлийн орц найрлагыг дараах харьцаагаар урьдчилан тооцоолж гаргасан.



Зураг 1. ABC төрлийн гал унтраагч нунтаг бэлдмэлийн найрлага

**Хүснэгт 1.** Бэлдмэлүүдийн гал унтраах идэвхийн үзүүлэлт

Гал унтраах идэвхийн үзүүлэлт	Бэлдмэл-1	Бэлдмэл-2	Бэлдмэл-3	Бэлдмэл-4	Стандарт шаардлага [9]
Зарцуулагдах хэмжээ (кг/м <sup>2</sup> )	0.4	0.4	0.4	0.4	0.48
Хугацаа (сек)	5.3	16.1	7	10.5	5-8

Үүнд үндсэн бүрдэл  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын агууламжийг  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ба бусад хольц бодисуудын нийлбэртэй харьцуулсан хуурай жингийн харьцааг 50:50 (Бэлдмэл 1); 55:45 (Бэлдмэл 2); 80:20 (Бэлдмэл 3); 47:53 (Бэлдмэл 4)-аар авав (Зураг 1). Уг бэлдмэлүүд нь маш нарийн ширхэглэл бүхий нэгэн төрлийн болтол нунтагласан, цагаан өнгөтэй, үнэргүй, тус бүрийг 200г-аар бэлтгэсэн хуурай бүтээгдэхүүн болно. Энэхүү нунтаг бэлдмэлүүдэд  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  болон  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  нь гал унтраах үндсэн үүрэгтэй бол харин бусад бүрдлүүд нь нунтгийг чийгшилтээс хамгаалах, гадаргууг нордоггүй болгох, бөөгнөрөл үүсэхгүй байх, цацахад жигд тархах (урсамтгай чадвар) чадварт нөлөөлөх үүрэгтэй оролцдог. Тогтоосон харьцаанд үндэслэн бодисуудыг хольж, 0.074, 0.088, 0.105, 0.149мм-ийн хэмжээт шигшүүрээр шигшин бэлдмэлүүдийн ширхэглэлийн хэмжээг тооцоолоход бэлдмэл тус бүрийн ширхэглэлийн 80-90% нь 0.074мм-ийн хэмжээтэй байсан нь гал унтраагч нунтаг бодисын ширхэглэлийн хэмжээнд тавигддаг стандарт хэмжээ (<90% нь 0.074мм болон түүнээс бага хэмжээтэй байх)-ний шаардлагыг хангасан байна. Нунтаг бэлдмэлүүдийн галд үйлчлэх идэвхийг ABC ангиллын  $0.5\text{м}^2$  талбай бүхий галд 200г хэмжээтэйгээр тус бүр 1 удаа үйлчлэхэд  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ийг 50%-иар агуулсан Бэлдмэл 1 нь бусад бэлдмэлүүдээс харьцангуй өндөр идэвхтэй, галыг богино хугацаанд буюу 5.3 секундэд унтраасан. Хуурай нунтгийн гал унтраах идэвх тодорхой хэмжээний галд зарцуулагдах нунтгийн хэмжээгээр тодорхойлогддог ба тус бэлдмэлүүдийн нэгж талбай бүхий галд зарцуулагдаж буй хэмжээ нь стандарт хэмжээ ( $0.48\text{кг}/\text{м}^2$ )-д байгаа нь бэлдмэлүүдийг гал унтраах идэвхтэй гэдгийг харуулж байна. Хүснэгт 1-ээс үзэхэд бэлдмэлүүдийн гал унтраах идэвх Бэлдмэл 1>Бэлдмэл 3>Бэлдмэл 4>Бэлдмэл 2 гэж эрэмбэлэгдэж байгаа нь гал унтраах идэвх орц найрлагаас гадна гал унтраах техник хэрэгсэл, бэлдмэлийг галын голомтонд оруулах аргачлалаас шууд хамааралтай байна. Иймд энэхүү туршилтын дүнд Бэлдмэл 1-ийг дараагийн шатны туршилтанд сонгов.

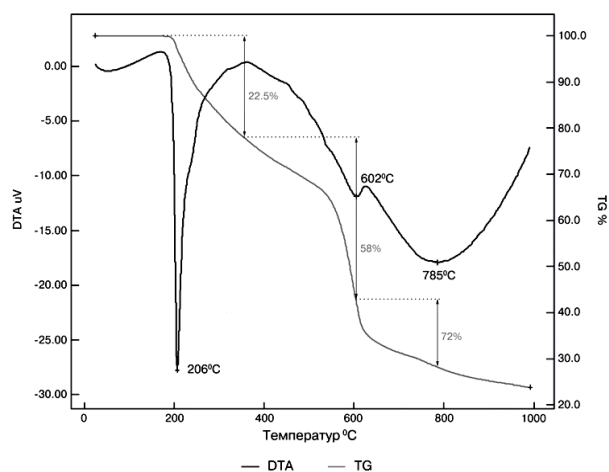
**Бэлдмэл 1-ийн бүрдэл бодисуудын термографийн шинжилгээ:** Бэлдмэлд агуулагдах үндсэн бүрдэл бодисын дулааны задралын температурыг тогтоох зайлшгүй шаардлагатай байдаг. Иймд бид Бэлдмэл 1 болон түүний найрлаганд орж

буй  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ууд, түүнчлэн хуурай нунтгийн найрлага дахь бодисуудын хайлах температур, фазын хувирлыг харьцуулан судлах зорилгоор импортын гал унтраагч нунтгийн термографийн шинжилгээг тус тус хийсэн.

**DTA-Аммонийн дигидрофосфат.**  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын DTA муруй дээр  $206^\circ\text{C}$ ,  $602^\circ\text{C}$  ба  $785^\circ\text{C}$ -д минимум бүхий 3 эндоэффект илэрсэн бөгөөд эдгээр эндоэффектийг жингийн алдагдал тодорхой хувиар дагалдаж байгааг TG муруй харуулж байна (Зураг 2).  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  нь  $190^\circ\text{C}$ -ын температурт хайлан шингэрч их хэмжээний дулаан шингээж буйг  $206^\circ\text{C}$ -д минимум бүхий эндо эффект илэрхийлнэ. Дулаан шингээлт  $360^\circ\text{C}$  хүртэл үргэлжилж,  $190\text{-}360^\circ\text{C}$ -ын температурын мужид 22.5%-ийн жингийн алдагдал гарсан ба энэхүү температурын мужид 260 жоуль/г дулаан шингээгддэг. Уг мужид урвалын тэгшитгэл (2)-ын дагуу ус ялгарах ба фосфат анион полимержих (полимержилтийн эхний шат:

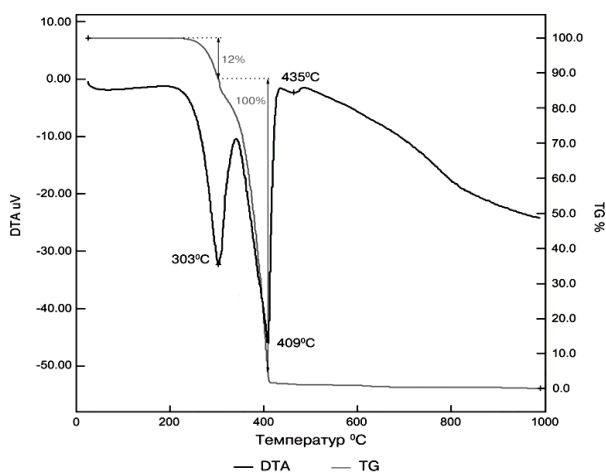
$2(\text{HO})_2\text{PO}^- \rightarrow (\text{OH})\text{PO}-\text{O}-\text{PO}(\text{OH})_2^-$ ) процесс явагдана. Полимер нэгдэл  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  хайлж, их хэмжээний дулаан шингээн ус ялгаруулснаар галын эрчимийг бууруулан унтраах үйлчлэлтэй.  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын DTA муруй дээрх  $602^\circ\text{C}$  ба  $785^\circ\text{C}$ -д минимум бүхий эндо эффектүүдэд харгалзах дулаан шингээлт бага, химийн хувирлын эрчим суларч, эцсийн дүнд анхдагч жингийн ~24% орчим нь  $\text{P}_2\text{O}_5$  хэлбэрээр үлдсэн байгааг шинжилгээний дүн харуулж байна.

**DTA-Аммонийн сульфат.**  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ийн DTA муруй дээр  $303^\circ\text{C}$ ,  $409^\circ\text{C}$  ба  $435^\circ\text{C}$ -д минимум бүхий 3 эндо эффект илрэв (Зураг 3). Температурын  $194\text{-}340^\circ\text{C}$  муж дахь  $303^\circ\text{C}$ -д минимум бүхий эндо



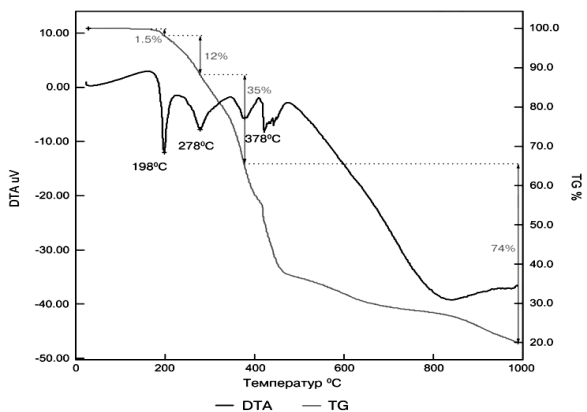
**Зураг 2** Аммонийн дигидрофосфатын DTA, TG-ын муруй

эффект нь дулаан шингээх замаар явагдаж буй фазын хувирал (урвалын тэгшитгэл 3)-ын дагуу аммонийн сульфат→аммонийн гидросульфат)-ыг харуулж байна. Фазын хувирлыг 12 орчим хувийн жингийн алдагдал дагалджээ. Температурын 340-435°C муж дахь 409°C-д минимумтай эндо эффект нь их хэмжээний дулаан шингээн аммиак, ус ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3$ ) ялгаруулан хатуу үлдэгдэлгүй задарсан. Жингийн 100%-ийн алдагдал нь 409°C-д минимум бүхий эндо эффекттэй давхацсан нь (Зураг 3) задрал бүрэн явагдсаныг нотолж байна. Фазын хувирал болон бүрэн задралыг цаг хугацаа, жингийн алдагдал зэрэг үзүүлэлт (барэг нэг зэрэг явагдах тул)-ээр зааглан тогтоох



Зураг 3. Аммонийн сульфатын DTA, TG-ын муруй

боломжгүй байгааг DTA, TG муруйнууд харуулав. DTA-Бэлдмэл-1. Бэлдмэл 1-ийн гол бүрдэл болох дээрх 2 давсны дулаан шингээх замаар гал унтраах идэвх нь харилцан сөрөг нөлөөлөлгүй байх магадлал ажиглагдаж байна. Үүнийг тодруулах зорилгоор Бэлдмэл 1-ийн термограммыг Зураг 4-т үзүүлэв. Бэлдмэлийн DTA муруй дээр 198°C, 278°C ба 378°C-д минимум бүхий эндо эффектүүд илэрсэн. Бэлдмэлийн TG муруй нь  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын муруй (Зураг 2)-тай илүү төстэй ба 1000°C хүртэл халаахад жингийн 74% нь алдагдаж, үлдсэн 20 гаруй хувь нь  $\text{P}_2\text{O}_5$  хэлбэрээр үлдсэн байна.

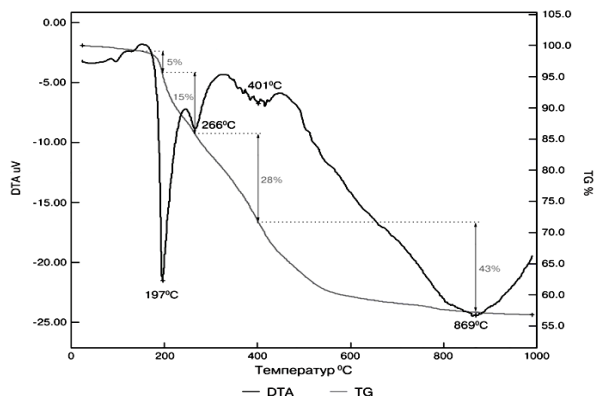


Зураг 4. Бэлдмэл 1-ийн DTA, TG-ын муруй

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын их хэмжээний дулаан шингээн полимержих, ус ялгаруулах процесс нь бэлдмэлийн DTA муруй дээр 198°C-д минимумтэй эндо эффект хэлбэрээр илэрсэн. Харин бэлдмэлийн DTA муруй дээрх 278°C ба 378°C-д минимум бүхий эндо эффектүүд нь түүний найрлага дахь аммонийн сульфатын фазын хувирал ба задралыг харуулна. Тайваний эрдэмтэд гал унтраагч нунтгийн  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  ба  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ийн дулааны эффектийг дифференциал сканнинг калориметрийн аргаар судалж,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ийн задрал 200°C-аас эхлэн дулаан шингээх буюу эндотермийн урвалаар,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ын задрал 230, 360°C-т 2 үе шаттайгаар задардгийг тогтоосон [11] бөгөөд энэхүү үр дүнтэй тус судалгааны дүн нийцэж байна. Бэлдмэлийн гал унтраах механизм нь түүний бүрэлдэхүүн дэх аммонийн давснуудын дулаан шингээх ба ус, аммиак ялгаруулах идэвхт чанарт үндэслэсэн байгааг термографийн шинжилгээ харуулав. Цаашид агаарын орчинд, температурын 0-600°C-ын мужид термографийн судалгааг явуулан үр дүнг энд үзүүлсэнтэй харьцуулах замаар бэлдмэлүүдийн гал унтраах идэвх, механизмыг гүнзгийрүүлэн судлах шаардлагатай.

DTA-Импортын хуурай нунтаг. БНХАУ-д үйлдвэрлэсэн НГУ-4 АВСЕ нэрийн импортын хуурай нунтгийн DTA муруй дээр 197°C, 266°C, 401°C ба 869°C-д минимум бүхий эндо эффектүүд илэрсэн (Зураг 5). Бэлдмэл 1-ийн DTA муруйн адилаар  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын задрал 197°C-д минимум бүхий эндо эффект хэлбэрээр илэрсэн бол 266°C ба 401°C-д минимум бүхий эндо эффектүүд импортын нунтгийн найрлага дахь аммонийн сульфатын фазын хувирлыг харуулж байна. Харин нунтгийн TG муруйнаас харахад 1000°C хүртэл халаахад 43 хувь орчим нь задралд ороогүй ба энэ нь уг хуурай нунтагт өөр бусад задралд ордоггүй нэгдлүүд агуулагдаж байгааг илтгэнэ.

Аммонийн дигидрофосфатын гал унтраах механизм: Нунтгийн гал унтраах механизм нь тухайн нунтаг гал унтраагчийн ширхэглэлийн



Зураг 5. Импортын гал унтраагч нунтгийн DTA, TG-ын муруй

хэмжээ, микро бүтэц, хайлах шинж чанар гэх мэт хүчин зүйлүүдээс ихээхэн шалтгаалдаг ба гал унтраах үед физик, химийн процессууд хослон явагддаг онцлогтой. Гал унтраах механизм нь химийн үйлчлэл, дулаан шингээлт, агааргүйжүүлэлт гэсэн 3 хэсгээс тогтдог.

**Химийн үйлчлэл:** Галын гидроксил ( $\cdot\text{OH}$ )-ийн болон устөрөгч ( $\text{H}\cdot$ )-ийн чөлөөт радикалууд нь шаталтын гинжин урвалд голлох үүрэгтэй оролцдог. Аммонийн дигидрофосфатын химийн үйлчлэл нь галын голомт руу нунтгийг шүршихэд  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{H}\cdot$ -ийн радикалууд уг бодист шингээгдэн, эрч нь суларч шаталтын гинжин урвалыг таслах зарчимд үндэслэгдэнэ. Өөрөөр хэлбэл шаталтын гинжин урвал (1)  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{H}\cdot$ -ийн радикалууд  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -тай урвалд орох, (2) агаарын урсгал радикалуудын эрчийг сулруулах гэсэн 2 шатны процессын дүнд тасарч, улмаар гал унтардаг байна. Түүнээс гадна нунтгийг шүрших хурд тухайн савалгаан дахь даралтнаас шууд хамаардаг. Даралтын хэмжээ их байх тусам шүрших хурд их байна. Шүрших хурд ихсэхэд  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын нунтаг галын голомт руу маш хурдан хүрэлцэн улмаар урвалд орж буй радикалуудын эрчийг эрчимтэй сулруулдаг. Шаталтын үед үүсч буй радикалуудын тоо тодорхой хэмжээтэй байх ба радикалуудын концентраци нь тэдгээрийн тооноос бага тохиолдолд гал унтарна [12].

**Дулаан шингээлт:** Халалтын үед  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  задрахад эндотерм процесс явагдан дулаан шингээж, ус ялгаруулснаар галын температур огцом буурдаг (Урвал 1 ба Зураг 2). Тухайн гал унтраагч нунтгийн ширхэглэлийн хэмжээ бага байх тусам түүний гадаргуугийн талбай ихэсдэг. Гадаргуугийн талбай ихтэй бодис дулааныг маш хурдан өөртөө шингээх чадвартай байдаг тул гал унтраахад нэлээд үр дүнтэй юм.

**Агааргүйжүүлэлт:**  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ийн полимержилтын бүтээгдэхүүн болох диаммонийн дигидродифосфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) нь галын гадаргууг бүрхэн авч, галын агаартай харилцан үйлчлэх үйлчлэлийг сулруулдаг.  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  ба азотын холимог нунтгийг гал руу шүрших үед “хар цонх” гэж нэрлэгддэг мананцар хана үүснэ [13,14]. Энэхүү мананцар хана нь шатах урвалын дүнд үүсч буй халуун тархалтыг зогсоохоос гадна хүчилтөрөгчийн хангамжийг хязгаарлаж өгдөг.  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ийн полимержилтоор

ус ялгарч хүчилтөрөгчийн концентрацийг бууруулна. Өөрөөр хэлбэл шаталтын голомтод ус хий байдлаар оршиж, агаар болон галын хийтэй холилдог. Ингэснээр шаталтын хүчилтөрөгчийн болон галын уурын харьцангуй концентраци багасч гал хүчилтөрөгчийн дутагдалд орон эрчим нь буурч унтарна.

**Бэлдмэл 1 ба импортын хуурай нунтгийн физик үзүүлэлтүүд:** Бэлдмэл 1-ийн зарим физик үзүүлэлтүүдийг импортын хуурай нунтагтай харьцуулан судлав.

**Ширхэглэлийн хэмжээ:** Бэлдмэл 1 болон харьцуулагч нунтгийг  $-0.074-0.149$  мм-ийн хэмжээст шигшүүрээр 20 минутын турш шигшин, ширхэглэлийн хэмжээг 1-р томъёогоор тооцоолоход  $\leq 0.074$  мм-ийн ангийн ширхэглэл 93%, 65%-ийг тус тус эзэлж байв (Хүснэгт 2). Энэ нь гал унтраагч нунтаг бэлдмэлийн стандартад тавигддаг шаардлагыг бүрэн хангаж байгаагаас гадна нунтаг бэлдмэлийн найрлага дахь  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  ба  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ын задралыг идэвхжүүлэхэд нөлөөлөх юм. Учир нь нунтгийн ширхэглэлийн хэмжээ бага байх тусам түүний галд үйлчлэх үйлчлэл идэвхжиж, дулааныг их хэмжээгээр шингээх чадвартай болдог.

**Ус үл нэвчүүлэх чадвар:** Нунтаг бэлдмэлүүдийн ус үл нэвчүүлэх чадварын туршилтыг ISO7202:2018(E) аргын дагуу хийж гүйцэтгэхэд нунтгуудийн гадаргуу дахь усны жижиг дуслууд дээжинд бүрэн шингээгүй, гадаргууд ус нэвчсэн шинж тэмдэггүй байсан нь бэлдмэлд агуулагдаж буй органик бодистой холбоотой юм. Гал унтраагч нунтгийн ус үл нэвчүүлэх чадварт органик бодисын концентраци ихээхэн нөлөөлөхөөс гадна ус чийгнээс хамгаалах гол үүргийг гүйцэтгэдэг. Туршилтын дүнд Бэлдмэл 1 болон харьцуулагч нунтгийн ус үл нэвчүүлэх чадвар нь усны дуслууд бэлдмэлд бүрэн шингэхгүй байна гэж заасан стандартын шаардлагад нийцэж байна (Хүснэгт 2).

**Чийгний агууламж.** Бэлдмэл 1-ийн найрлаганд ус нэвчүүлэхээс сэргийлэх зорилготой органик бодис буюу метилгидрополисилоксаныг тодорхой концентрацитайгаар нэмсэн бөгөөд энэ нь өөрөө шингэн хэлбэрт оршдог бодис болно. Иймд бид бэлдмэлийн чийгийг ISO7202:2018(E) аргын дагуу тодорхойлоход нийт чийгийн хэмжээ 0.25% байсан нь нунтаг бэлдмэлийн стандарт шаардлагыг бүрэн хангаж байгааг харуулж байна (Хүснэгт 2).

**Хүснэгт 2.** Бэлдмэл-1 ба импортын хуурай нунтгийн физик үзүүлэлтүүдийн харьцуулалт

Дээж	Чийг	Ус үл нэвчүүлэх чадвар	Ширхэглэл		
			Хувийн жин г/см <sup>3</sup>	мм	Эзлэх %
Бэлдмэл-1	<0.25	Нэвчихгүй	0.96	-0.074	93
Импортын хуурай нунтаг	<0.25	Нэвчихгүй	0.90	-0.074	65

Хувийн жин. Хуурай нунтгийн хувийн жин нь гал унтраах идэвхт ихээхэн нөлөөтэй байх бөгөөд энэхүү үзүүлэлтийг ISO7202:2018(E) аргын дагуу тодорхойлоход Бэлдмэл 1 нь  $0.96 \text{ г/см}^3$  хэмжээтэй, харин харьцуулагч нунтгийн нягт  $0.90 \text{ г/см}^3$  байсан нь стандартын шаардлагад нийцэж байна.

### ДҮГНЭЛТ

Гал унтраагч бодисын найрлаганд ордог химийн цэвэр органик болон органик бус бодис, урвалжууд ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , метилгидрополисилоксан)-ыг ашиглан гал унтраах 4 төрлийн бэлдмэлийн орц найрлагыг тогтоон, тэдгээрийн галд үйлчлэх идэвхийг ABC ангиллын гал дээр туршиход Бэлдмэл 1-ийн идэвх харьцангуй өндөр байж, галыг 5.3 секундэд буюу стандартад заагдсан хугацаанд унтраав. Бэлдмэл 1-ийн ДТА муруй дээр  $198^\circ\text{C}$ -д минимумтэй илэрсэн эндо эффект нь  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ -ын их хэмжээний дулаан шингээн полимержих, ус ялгаруулах процессыг илтгэхийн сацуу жингийн алдагдал дагалдан явагдаж, температурын дээд утгад 26 орчим хувийн  $\text{P}_2\text{O}_5$  задралд оролгүй үлдсэн байна. Сонгосон бэлдмэлийн чийгний агууламж, хувийн жин, ширхэглэлийн хэмжээ, ус үл нэвчүүлэх чадвар зэрэг физик үзүүлэлтүүдийг тодорхойлоход гал унтраах нунтгийн стандарт шаардлагыг хангаж байна. Цаашид энэхүү нунтаг бэлдмэлийн урсамтгай чадвар, цахилгаан дамжуулах чадварыг нарийвчлан тодорхойлох, мөн шүршилтийн хурдыг тодорхойлогч гол хүчин зүйл болох даралтаас хамааруулан судлах судалгааг гүнзгийрүүлэн явуулах шаардлагатай.

### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Ахуйн гал түймрийн аюулаас урьдчилан сэргийлье, <https://nema.gov.mn/n/85259>, 2020.12.14.
2. L. Zhigang, K.K. Andrew, D. Carpenter. (2007) A study of portable water mist fire extinguishers used for extinguishment of multiple fire types. *Fire Safety Journal*. 42. p. 25-42.
3. L.H. Ferguson and C.A. Janicak. Fundamental of fire protection for the safety professionals: Fire Extinguishment. Government Institutes, USA. 2005.

4. L. Hai Qiang, Z. Ruo Wen, L. Siu Ming, H. Yua, Z. You Ran. (2018) Fire extinguishing efficiency of magnesium hydroxide powders under different particle sizes. *Procedia Engineering* 211. p. 447-455.
5. J.D. Bichall. (1970) On the mechanism of flame inhibition by alkali metal salts. *Combustion and Flame* 14. p. 85-95.
6. M. Krasnyansky. (2006) Remote extinguishing of large fires with powder aerosols. *Fire and Materials* 30. 2006. p. 371-382.
7. M.A. Kokkala. (1986) Extinguishment of compartment fires using portable chemical extinguishers and water. *Fire Safety Journal*. 11. p. 201-209.
8. G. Fischer, J.T. Leonard. (1995) Effectiveness of Fire Extinguishing Powders Based on Small Scale Suppression Test, Naval Research Laboratory NRL/MR/6180-95- 7778.
9. ISO 7202:2018 (E), Fire protection-Fire extinguishing media-Powder, ISO standard
10. A. Pardo, J. Romero, E. Ortiz. (2017) High-temperature behavior of ammonium dihydrogen phosphate. *IOP Conf. Series: Journal of Physics*. p. 935
11. S.H. Chung, C.C.Chang, L.J. Horn, W.C. Shiuan. (2014) The assessment of fire suppression capability for the ammonium dihydrogen phosphate dry powder of commercial fire extinguishers. *Procedia Engineering* 84. p. 485-490.
12. M. Short, J. Buckmaster, S. Kochevets. (2001) Edge Flames and Sublimit Hydrogen Combustion, *Combustion and Flame* 125. p. 893-905.
13. K.Q. Kuang, W.K. Chow, X.M. Ni, D.L. Yang, W.R. Zeng et al. (2011) Fire suppressing performance of superfine potassium bicarbonate powder. *Fire and Materials* 35, p. 353-366.
14. J.M. Bennett. (2005) "Black window" Thermal adsorptivity-enhanced dry chemical powder-Recent evaluations in various fire protection applications. Halon Options Technical Working Conference (HOTWC), National Institute of Standards and Technology, p. 1-14.

## Chemical composition of the renewed fire extinguishing powder and its physical characteristics

T. Azzaya<sup>1\*</sup>, G. Burmaa<sup>1</sup>, S. Alen<sup>1</sup>, V. Batsaikhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia.*

<sup>2</sup>*National rescue brigade, National emergency management agency, Ulaanbaatar 18170, Mongolia.*

\*E-mail: azzayat@mas.ac.mn

---

Received: 29.11.2020

Revised: 28.12.2020

Accepted: 08.01.2021

---

**Abstract:** Water, foam, dry powder, carbon dioxide and liquid chemicals are used as fire extinguishers depending on the fire types. The fire classification of ABC type includes fires caused by paper, wood, dye, fuel, oil, lubricants and flammable gases. In this work, the investigation of the procedure for re-determining the composition of prepared fire extinguishers was carried out depending on the ratio of organic and inorganic substances, and their fire extinguishing activity was tested. The Sample-1 contains about 50% of ammonium dihydrophosphate ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) which is taking into account the main component and the sum of ammonium sulphate ( $\text{NH}_4\text{SO}_4$ ) and other inorganic and organic components by 50%. As a result of fire extinction tests, its fire extinguishing activity was higher than that of other Samples included different ratios of substances. Based on the thermogravimetric analysis of the Sample-1, the polymerization and water release process of  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  was detected as endothermic effect. The weight loss was occurred by 74% and 26% remained as  $\text{P}_2\text{O}_5$  when temperature reached to highest degree. Some physical parameters such as moisture content, water repellence, density and particle size were analyzed according to ISO standard method and all these important parameters showed that it can meet the requirements for fire extinguishing powder standards.

**Keywords:** *Fire extinguishing powder, activity, ammonium dihydrogen phosphate, DTA/TG, physical data*

---

© 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.v0i8.1481>