

# Агаарын тоосонцорын олон улсын ур чадварын сорилтын шинжилгээнд оролцсон дүн

Н.Отгонпүрэв\*, Д.Болортуяа, Д.Шагжжамба, П.Зузаан

Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улс, Улаанбаатар 13330, Энхтайвны өргөн чөлөө -122

Бид энэ ажлаар агаарын бохирдлын судалгаа хийдэг лабораториудын дунд ОУАЭА-аас зохион байгуулсан ур чадварын сорилтод оролцож, Цөмийн физикийн судалгааны төвийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометр ашиглан элементийн анализ хийж, бусад орны лабораториудын үр дүнтэй харьцуулан үзүүлэв.

## ОРШИЛ

Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлаг (ОУАЭА)-аас өөрийн гишүүн орнуудын рентген-анализын шинжилгээний лабораториудын дунд ур чадварыг шалгах, шинжилгээний ажлын чанар, аналитик арга зүй, үр дүнг сайжруулах, харилцан туршлага солилцох зорилгоор сорил хэмжилтийг 2002 оноос эхлэн хоёр жил тутамд зохион байгуулж ирсэн бөгөөд МУИС-ийн ЦФСТ-ийн рентген анализын лабораторийн хувьд PTXRFIAEA10 “Элсэрхэг хөрсний дээжинд үндсэн болон дагалдах элемент тодорхойлох”, PTXRFIAEA13 “Шаварлаг хөрсний дээжинд үндсэн болон дагалдах элемент тодорхойлох” ур чадварын сорил хэмжилтэнд тус тус оролцож байсан [1,2]. Олон улсын болон дотоодын сорил хэмжилтэд оролцсоноор өөрийн лабораторийн үйл ажиллагааны аргазүйн чанарыг баталгаажуулах, алдаа дутагдлаа үнэлэх, бусад лабораториудтай туршлага солилцох зэрэг олон талын ач холбогдолтой юм [3].

PTXRFIAEA14 ур чадварын сорил нь 2018 онд агаарын бохирдлын судалгаа явуулдаг аналитик лабораториудын дунд агаарын тоосонцрын фильтр дэх элементийн агуулгыг тодорхойлох зорилгоор зохион байгуулагдсан [4].

Бид энэхүү сорилд оролцон туршилт судалгааг МУИС-ийн ЦФСТ-ийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн SPECTRO-XEPOS спектрометр ашиглан хийж, шинжилгээний үр дүнг сорилтын нэгдсэн утгатай харьцуулан энэхүү ажилд нэгтгэн үзүүлээ.

## СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ, ТУРШИЛТ

Судалгаанд ашигласан багаж төхөөрөмж, аргазүй, хэмжилтийн нөхцөлийн талаар авч үзэв. Судалгааны дээж: УЧС-ын дээжээр Цөмийн шинжлэх ухаан болон тоног төхөөрөмжийн лабораторид (NSIL) бэлтгэсэн, агаарын тоосонцрын дээжийг ирүүлсэн. Энэхүү дээж нь хот орчмын агаарын тоосонцрыг 47 мм диаметртэй поликарбонат фильтр дээр цуглуулсан дээж юм. Уг фильтрээ Петрийн аяганд хийж, оролцогч 59 орны лабораториудад хүргүүлсэн. Оролцогч тус бүрд нэг үл мэдэгдэх фильтр болон нэг бланк фильтр хүргүүлсэн. Фильтерүүдийн жингийн хувьд ялимгүй ялгаатай учир оролцогчдод нийт жин болон Петрийн аяга дээрх нийт талбайн мэдээллийн хамт ирүүлсэн болно. Элемент тус бүрийн хувьд зөвхөн нэг аналитик аргаар тооцоолсон үр дүнг илгээнэ. Үр дүн бүрийн стандарт хазайлт болон стандарт эргэлзээг дагалдуулна. Хэдэн ч элементийн үр дүнг тооцоолон илгээх боломжтой.

Хэмжилтийн төхөөрөмж: Судалгаанд агаарын тоосонцрын дээжид хэмжилт хийх зориулалттай вакуум системтэй найман төрлийн туйлширсан болон хоёрдогч бай, 5.9 кэВ энергид 155 эВ ялгах чадвартай Si-Drift (SDD) детектор, Пелтье хөргөлттэй, Pd анодтой рентген хоолой бүхий Герман улсын Аметек компанийн өндөр мэдрэх чадвартай, энергиэр ялгах SPECTRO XEPOS рентген-флуоресценцийн спектрометрийг ашигласан. Энэхүү систем нь вакуум нөхцөлд Мо (40кВ, 0.88 мА), Со (35кВ, 0.90 мА), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (49.5кВ, 0.7мА), НОРГ (17.5кВ, 2мА) байнуудыг

\* Electronic address: otgonpurev.n@gmail.com

сонгон хэрэглэж 0.03-3.4 ppm (1-100 нгр/см<sup>3</sup>) бүртгэх доод хязгаартайгаар Na-аас U хүртэлх элементүүдийг тодорхойлох боломжтой. Түүнчлэн Лукас-Тус, Прайс(Lukas-Tooth, Price)-ийн тэгшитгэлийн болон тулгуур параметрийн аргаар тоон анализ хийх X-labPro ED-XRF програм хангамжтай.

Гадаад стандартын шууд арга: Стандарт дээжүүдийн өгөгдөлийг ашиглан дээжинд байгаа сонирхсон элемент бүрийн хувьд харьцуулах дээж дэх тухайн элементийн хэмжигдсэн эрчим болон агуулгын хамаарал нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$I_i = aC_i + b \quad (1)$$

Энд:  $C_i$  – дээж ба стандартын  $i$ -элементийн агуулга,  $I_i$  -дээж ба стандартын  $i$ -элементийн спектрийн шугамын эрчим.

Уг шулууны тогтмол коэффициент  $a$ ,  $b$ -г стандарт дээжийн тусламжтайгаар олсны дараа тухайн дээж дэх элементийн агуулгыг

$$C_a = \frac{I_i - b}{a} \quad (2)$$

томъёогоор тооцоолно.

Лукас-Тус, Прайс (Lukas-Tooth, Price)-ийн тэгшитгэлийн арга:

$$C_i = r_0 + I_i[r_i + r_{ii}I_i + r_{ij}I_j + r_{ik}I_k + \dots] \quad (3)$$

$C_i$  бол  $i$  –р элементийн агуулга,  $j, k$  нь  $i$  элементийн шугамд нөлөөлөх элементүүдийг илэрхийлнэ.  $I_i$  нь тодорхойлох  $i$ -р элементийн эрчим,  $r$  бол матрицийн нөлөөг тооцож туршлагаар олсон тогтмол коэффициент.

$\sum \Delta_i^2$  –ийн утга хамгийн бага байхаар  $r_0, r_i, r_{ii}, r_{ij}, \dots$  утгуудыг сонгох нь чухал бөгөөд энэхүү утгыг стандарт дээжүүд ашиглан дараах аргаар тодорхойлдог.

$$\Delta_i = \frac{C_i - C_{ix}}{I_i} \quad (4)$$

Тэгшитгэлийн давуу тал нь үл мэдэгдэх дээжийн агуулгыг тодорхойлоход олон удаагын давтан хэмжилт шаардагдахгүй учраас дээжинд анализ хийхэд түргэн шуурхай, элементийн агуулгыг тодорхойлох энгийн тооцоонд өргөн хэрэглэгддэг алгоритм юм.

Хэмжилт, боловсруулалт: Агаарын тоосонцрын сорилын болон харьцуулах стандарт дээжийг дээрх рентген спектрометрээр тус бүр гурван удаа 300 сек хугацаагаар хэмжиж, спектрийг AXIL программаар боловсруулж, үр дүнг тооцоолов. Сорил хэмжилтэнд ирүүлсэн агаарын тоосонцрын дээжинд чанарын болон

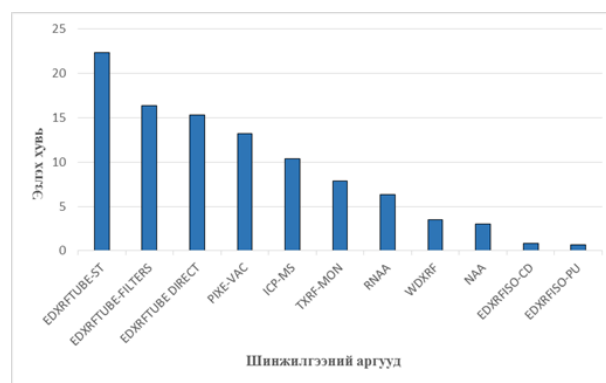
тоон анализ хийж Na-аас Cl хүртэлх элементийг HOPG байгаар, K-аас Cr хүртэлх элементийг Co байгаар, Mn-аас Zn хүртэлх элементийг Mo байгаар хэмжсэн хэмжилтээр тус бүр тодорхойлов. Агаарын тоосонцрын сорилтын дээжинд Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn зэрэг элементийн агуулгыг Лукас-Тус, Прайсийн математик модель (3-р тэгшитгэл) болон гадаад стандартын харьцангуй аргуудыг [5] ашиглан тодорхойлж хүргүүлсэн.

## ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү ур чадварын сорил нь 2018 онд ОУАЭА-аас агаарын бохирдлын судалгаа явуулдаг аналитик лабораториудын дунд зохион байгуулагдсан. Нийт 59 орны лабораторид хүргүүлснээс 43 нь оролцож, нийт 568 дан үр дүнгээр 45 элемент нэгдлийг тодорхойлсон байна.

Оролцогч лабораториуд нь өөрсдийн батлагдсан шинжилгээний аргазүйгээр ур чадварын сорилд оролцсон. Манай лаборатори нь ур чадварын сорилд оролцсон 43 лабораторийн нэг юм.

Оролцогчдын ашигласан шинжилгээний аргуудыг нэгтгэвэл багажит шинжилгээний аргыг зонхилон ашигласан байна. Нийт хэмжигдсэн үзүүлэлтүүдийн 22.36% нь энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометр (EDXRF), 3.5% нь долгионы уртаар ялгах спектрометр (WDXRF), 13% нь бөөмөөр өдөөгдсөн рентген цацаргалтын (PIXE), 9% нейтрон идэвхжилийн анализ (NAA), 10% индукцийн холбоост плазм масс спектрометрийн арга (ICP-MS) гэх мэт багажит шинжилгээний арга ашиглан шинжилгээг гүйцэтгэсэн байна.



Зураг 1. Оролцогчдын ашигласан шинжилгээний аргууд.

ЦФСТ-д хийсэн рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний дүнг PTXRFIAEA14 сорилт хэмжилтийн дээжинд хийсэн элементийн анализын тогтоосон утгатай харьцуулан хүснэгт 1-д үзүүлэв. Стандарт дээжийн өгөгдөлөөс хамааран зэс, цайр, натри зэрэг элементүүд ур

чадварын сорилтын дээжийн тогтоосон утгаас бага зэрэг зөрүүтэй гарсан. Бусад элементийн агуулга алдааны мужид тохирч байгаа нь харагдаж байна.

Хүснэгт 1. ОУАЭА-ын ур чадварын сорилтын агаарын тоосонцрын дээжинд хийсэн элементийн анализын дүн.

Д/д	Элемент	УЧС-ын дээжийн стандарт утга	ЦФСТ, РФШ-ээр тодорхойлсон утга	Нэгж
1	Na	3360±158	2105±316	мг/кг
2	Mg	1.083±0.043	1.308±0.196	%
3	Al	3.410±0.113	3.894±0.584	%
4	Si	10.610±0.297	10.559±1.58	%
5	S	2930±141	2887±433	мг/кг
6	K	0.979±0.039	1.031±0.103	%
7	Ca	2.00±0.16	2.30±0.23	%
8	Ti	2600±127	2688±268	мг/кг
9	Cr	412±26.63	427±42.6	мг/кг
10	Mn	558±34.453	512±51.2	мг/кг
11	Fe	5.080±0.159	5.139±0.513	%
12	Ni	243±17.006	242±24.1	мг/кг

## ДҮГНЭЛТ

PTXRFIAEA14: (Determination of elemental composition of a Urban Dust Loaded on Air Filter) сорил хэмжилтэд ирсэн агаарын тоосонцрын дээжид рентген-флуоресценцийн анализын аргаар агаарын тоосонцрын үүсгүүр тодорхойлдог үндсэн элементүүд болох Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni зэрэг 14 элементийн үр дүнг тооцоолж оролцсон.

Бидний шинжилгээний үр дүн нь энэхүү ур чадварын сорилтын дээжийн тогтоосон утгын z онооны шалгуураар тооцоход “хангалттай” үнэлэгдсэн нь бидний боловсруулсан аргын үнэмшлийг баталгаажуулав.

Энэхүү ур чадварын сорилтын дүнд үндэслэн агаарын тоосонцрын дээжид элементийн агуулгыг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн анализын аргачлалдаа зохих засвар оруулаад байна.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Worldwide Open Proficiency Test for Analytical Laboratories PTXRFIAEA 10 Determination of Major, Minor and Trace Elements in a Sandy Soil, Austria, December 2013.
- [2] Worldwide Open Proficiency Test for X-ray Fluorescence Laboratories PTXRFIAEA 13 Determination of Major, Minor and Trace

Elements in a Clay sample, Austria, November 2017.

- [3] Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Н.Отгонпүрэв. “Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн” МУИС. ЭШБ ФИЗИК №23 (455), pp.48-51.2015.
- [4] Worldwide Open Proficiency Test for Analytical Laboratories involved in Air Pollution Studies PTXRFIAEA14 Determination of elemental composition of a Urban Dust Loaded on Air Filter, Austria, August 2018.
- [5] Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцорын (PM) бохирдолын төлөв байдлын судалгаа. Цөмийн цацрагийн хэрэглээ, Шинжлэх ухааны суурь судалгааны сэдэвт ажлын тайлан Улаанбаатар, 2014-2016.
- [6] П.Зузаан, С.Даваа, Д.Болортуяа “Рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний онол, аргазүйн судалгаа” Улаанбаатар, 2012.
- [7] D.Shagjamba, S.Lodoysamba, G.Gerelmaa and P.Zuzaan “Some Review for Identification of Air Pollution Sources of Ulaanbaatar City using EDXRF Analysis” The 4th International Conference of X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, Mongolia, pp.33, 8-12 June 2015.

- [8] Ур чадварын сорилтын хөтөлбөрийн тайлан- Геологийн төв лаборатори.
- [9] [www.pt-nsil.com](http://www.pt-nsil.com).
- [10] International Organization for standardization, Conformity assessment-General requirements for proficiency testing, ISO/IEC/DIS 17043:2008, ISO, Geneva, 2008.
- [11] Thompson, M.Wood, R., “The international harmonized protocol for the proficiency testing of (chemical) analytical laboratories”, Journal-Association of official Analytical Chemists.76, pp.926-940, 1993.