

ARTICLES

ГАДААД БОЛОН ДОТООД ОРЧНЫ НАРИЙН ШИРХЭГЛЭГТ
(PM_{2.5}) ТООСОНЦРЫН СУДАЛГААНЫ ЗАРИМ ДҮНЧ. Бямбацэрэн¹, Н. Мичидмаа¹, Ч. Сономдагва^{1*}, Yutaka Matsumi²¹ Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, ХШУИС, МУИС, Монгол улс² Сансар-Дэлхий, Хүрээлэн буй орчин судлалын хүрээлэн, Нагояа их сургууль, Япон улс

Хүлээн авсан: 2018.03.05; Хянасан: 2018.03.27; Хэвлэгдсэн: 2018.03.29

ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд гадаад болон дотоод орчны агаарын тоосонцрыг ижил цаг хугацаанд, ижил цэгт, гадаад орчны агаарын бохирдлын голомт цэгийн ойролцоо гэр хороолол, орон сууцны хорооллын зааг орчмын айл болон олны хөлийн газар болох их сургуульд хэмжиж үр дүн гарган авсан. Японы Нагояа их сургууль, Panasonic корпорацийн хамтран бүтээсэн хэмжилтийн багажийг ашиглан 24 цагийн турш 10 секундийн давтамжтайгаар хэмжиж нийт $n=3,119,500$ мэдээнд анализ хийсэн.

Монгол улсын нийслэл Улаанбаатар хот нь сүүлийн жилүүдэд өвлийн улиралд агаарын бохирдлоор дэлхийд тэргүүлж байгаа бөгөөд энэхүү бохирдлын дийлэнх хувийг нарийн ширхэглэгт тоосонцор эзэлдэг. Нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь хүний эрүүл мэндэд маш их сөрөг нөлөөтэй бөгөөд хүмүүс амьдралынхаа 90 орчим хувийг дотоод орчинд өнгөрүүлдэг тул гадаад болон дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрыг тасралтгүй хэмжин үр дүн гарган авах чухал шаардлагатай юм. Иймд бид дээрх 2 цэгийг сонгон авч гадаад болон дотоод орчинд шууд хэмжин зарим нэг статистик боловсруулалт хийн үр дүн гарган авлаа. Энэхүү судалгааны үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотын агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж 10 дугаар сараар эхлэн агаарын чанарын стандарт утгаас давж эхлэж байгаа бөгөөд 12 болон 1 дүгээр саруудад бохирдлын оргил үедээ хүрч байна. Мөн хэмжилт хийж буй цэгүүдийн орчны шинж чанараас шалтгаалж дотоод орчны бохирдол гадаад орчны бохирдлоос хүчтэй болон сул хамаарч байна. Дийлэнх өдрүүдийн хэмжилтэд шөнийн 00:00 цагаас 04:00 цаг хүртэл бохирдол өндөр түвшинд байж 05:00 цагаас бууран өглөөний 07:00-09:00 цагийн орчимд өсч, 10:00 цагаас эхлэн буурч өдрийн турш бохирдол бага түвшинд байгаа нь ажиглагдаж байгаа бөгөөд оройны 18 цагаас эхлэн бохирдол нэмэгдэн маргааш өдрийн 02:00 хүртэл нарийн ширхэглэгт тоосонцрын бохирдол тухайн хоногийн оргил үедээ хүрч байна.

Түлхүүр үгс: Гадаад болон дотоод орчин; тоосонцор; агаарын чанар; агаарын чанарын индекс;

ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд Монгол орны тулгамдсан асуудлуудын нэг болоод хэмжээнд хүрээлэн буй орчны бохирдол байгаа бөгөөд Улаанбаатар хот болон

*corresponding author: ch_sonomdagva@num.edu.mn

The Author(s). 2018 Open access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://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.

бусад томоохон хот суурин газрын орчны бохирдол ихсэх хандлага улам бүр тод ажиглагдаж байна [1]. 2017 оны байдлаар Улаанбаатар хот нь агаарын бохирдлоор Хятад, Энэтхэг зэрэг улсуудын аж үйлдвэр хөгжсөн томоохон хотуудаас давж дэлхийд тэргүүлж байна [2]. 2016 оны байдлаар Улаанбаатар хотод Монгол улсын нийт хүн амын 46,1% буюу 1,4 сая хүн суурьшиж байгаа бөгөөд Улаанбаатар хотын агаарын чанарын өөрчлөлт нь хүрээлэн буй орчны олон асуудлыг үүсгэж байна. Эрүүл мэндийн статистикийн мэдээгээр Улаанбаатар хотод амьсгалын эрхтний өвчлөл жилээс жилд нэмэгдэж нийт өвчлөлийн 23.4-24.4% эзэлж байгаа бөгөөд агаарын бохирдол ихтэй газар өвчлөлийн хувь нэмэгдэж байна. Улаанбаатар хотын агаар дахь тоос, хүхэрлэг хий, азотын давхар исэл, нүүрстөрөгчийн дутуу ислийн агууламж хүүхдийн амьсгалын эрхтний өвчлөл, тухайлбал хүүхдийн гуурсан хоолойн цочмог болон архаг үрэвсэл, уушгины үрэвслийн нэг шалтгаан болж байна [3, 4]. Гадаад болон дотоод орчны агаарын бохирдол нь амьсгалын замын болон бусад эрхтэн тогтолцооны өвчлөлд нөлөөлж, улмаар нас баралтанд хүргэдэг байна [5]. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын судалгаагаар 9 нас баралт тутмын нэг нь агаарын бохирдлоос шалтгаалдаг бөгөөд жилд дунджаар 3 сая хүн гадаад орчны бохирдлоос үүдэн нас барж байна [6]. Ryan W Allen ба бусад судлаачид “An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar” судалгаандаа агаарын бохирдлын улмаас Улаанбаатар хотод жилд ойролцоогоор 623 хүн нас бардаг статистик баримт байдаг гэж үзжээ [7]. Хүмүүс өөрийн амьдралын 90 орчим хувийг дотоод орчинд өнгөрүүлдэг учраас дотоод орчны агаарын чанарыг үнэлэх шаардлагатай [8]. Дотоод орчны агааржуулалт муу байснаар бохирдуулагчид хуримтлагдан зарим тохиолдолд гадаад орчны бохирдлоос давах үе байдаг. Улаанбаатар хотын гэр хорооллын айлууд гэр сууцаа халаах,

хоолоо бэлтгэх зориулалтаар мод, нүүрсийг их хэмжээгээр шатаасны улмаас хотын агаарт нарийн ширхэгт тоосонцор ($PM_{2.5}$) их хэмжээгээр ялгарч, энэ нь ялгарч буй нийт тоосонцрын бохирдлын 60%-ийн эх үүсвэр болж байна. Түүнчлэн дулааны цахилгаан станц, нам даралтын уурын зуух, автомашин зэрэг бусад зүйлс ч агаарт тоосонцрын бохирдлыг үүсгэж байна [5]. А.Энхжаргал ба бусад судлаачид 2008 онд Улаанбаатар хотын хэмжээнд дотоод орчны агаарын чанар дахь тоосонцрын агууламжийг жингийн аргаар, элементийн задлан шинжилгээг бөөмсөөр өдөөх, рентгенофлюороресценцийн (PIXE) аргаар тус тус статистик боловсруулалтыг хийж $PM_{2.5}$ болон PM_{10} нь бие биедээ шууд хамааралтай PM_{10} -ын үүсэлд $PM_{2.5}$ -ын агууламж 32.0 хувиар нөлөөлдөг болох нь регрессийн шугаман хамаарлын тэгшитгэлээр ($p=0.001$) батлагдсан байна. Мөн $PM_{2.5}$ -н агууламжид 3 хүчин зүйл нөлөөлж байгаа бөгөөд $PM_{2.5}$ -д агуулагдах ихэнх элемент нь хүний үйл ажиллагаатай холбоотой эх үүсвэрээс гаралтай байна. PM_{10} , $PM_{2.5}$ -н дундаж агууламж хэрэглэж байгаа түлш болон амьдарч буй сууцны төрлөөс үл хамааран хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөлөл үзүүлэх хэмжээнд хүрсэн байна гэж үзжээ [9]. Бид энэхүү судалгааг гадаад орчны агаарын бохирдол, дотоод орчинд шууд нөлөөлөх магадлалтай гэж таамаглан хийж гүйцэтгэлээ.

Гадаад болон дотоод орчин дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцор ($PM_{2.5}$)-н хэмжээг тодорхойлох, харилцан хамаарлыг гаргах, хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг тодорхойлох зорилготой бөгөөд энэхүү зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд:

1. Гадаад болон дотоод орчинд агуулагдах нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламжийг тодорхойлох
2. Гадаад болон дотоод орчны $PM_{2.5}$ -н харилцан хамаарлыг тодорхойлох, сарын болон хоногийн явцыг судлах

3. Судалгаанд хамрагдсан өдрүүдээс сонгон авч агаарын чанарын

индексээр илэрхийлэх зэрэг болно.

МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Судалгааны талбай нь Улаанбаатар хотын төв хэсэг болох МУИС-ийн шинэ номын санд байрлах судалгааны лаборатори болон МУИС-аас хойд зүгт 1

км-т, орон сууцны хороолол-гэр хорооллын заагт байрлах Монгол 3-р сургуулийн зүүн хойд талын орон сууцны хороололд PM_{2.5} sensor-г тус тус суурилуулсан (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны багаж суурилуулсан газруудын байршил

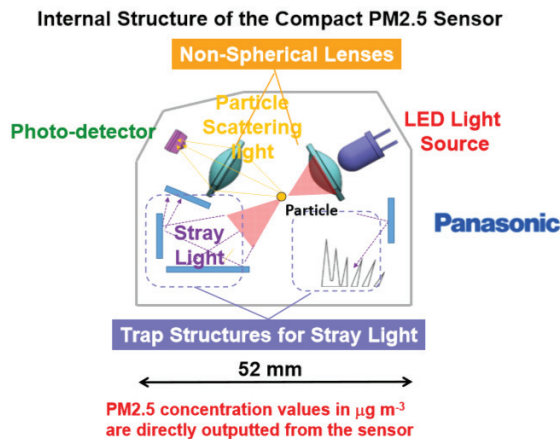
Хүснэгт 1. Судалгааны талбайн үндсэн нөхцөл

Үзүүлэлт	Айл	МУИС-н номын сан
Байшингийн насжилт	31	1
Цонхны хэлбэр	Вакум	Вакум
Дулааны систем	Төвийн дулаан	Төвийн дулаан
Шалны хэлбэр	Паркет	Плита
Хүний тоо	4	10
Хоол хийдэг эсэх	Тийм	Үгүй
Тамхи татдаг эсэх	Үгүй	Үгүй

Судалгааг аналитик судалгааны аргаар хийж гүйцэтгэв. Дотоод орчны агаарын чанарт нөлөөлж буй зарим хүчин зүйлсийг тодруулахын тулд асуумж судалгааны аргыг ашигласан. Аналитик судалгааг 2017 оны 10 дугаар сарын 11-ээс Монгол Улсын Их Сургуулийн номын санд байрлах Хүрээлэн буй орчны инженерчлэлийн лабораторийн гадна болон дотор орчинд,

2018 оны 02 сарын 02-ны өдрөөс Сүхбаатар дүүргийн ерөнхий боловсролын 3-р сургуулийн ойролцоох орон сууцны айлын гадаад болон дотоод орчинд $PM_{2.5}$ sensor-г байрлуулан шууд хэмжилтийн аргаар хэмжилт хийсэн. Нийт гадаад орчны хэмжилтийн $n=1,878,500$, дотоод орчны $n=1,239,000$ мэдээ ашиглан үр дүн гарган авсан.

Судалгааны багаж төхөөрөмж, давталт



Зураг 2. $PM_{2.5}$ sensor-н дотоод бүтэц

Энэхүү багажийг Panasonic корпораци, Японы Нагоя их сургуулийн хамтарсан баг зохион бүтээсэн бөгөөд $52\text{мм} \times 45\text{мм} \times 22\text{мм}$ -ийн хэмжээтэй, $PM_{2.5}$ -н агууламжийг гэрлийн тархалтын эрчмийг хуваарилах замаар тодорхойлон, нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламжийг $\text{мкг}/\text{м}^3$ -р шууд илэрхийлдэг [10].

Үр дүнгийн статистик боловсруулалт: Агаар дахь $PM_{2.5}$ -н хэмжилтийн мэдээг Microsoft Office Excel, Stata программыг

ашиглан статистик боловсруулалт хийж агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын сарын болон хоногийн явцын хамгийн дээд болон доод утгууд, дундаж, голч утгууд, стандарт хазайлт, хамаарал, вариаци, вариацийн коэффициент дескриптив үзүүлэлтүүдийг тодорхойлж, мөн шугаман регрессийн шинжилгээгээр харгалзах үзүүлэлтүүдэд үнэлж гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хамаарлыг илэрхийллээ.

ҮР ДҮН

Гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын бохирдлын хамаарал, орон сууц болон их сургуулийн орчны бохирдлын ялгааг сарын болон хоногийн явцаар харууллаа. Судалгааны ажлыг Монгол улсын их сургуулийн номын

сан болон Монгол 3-р сургуулийн хойд талын гэр хороолол, орон сууцны хороололд гадаад болон дотоод орчинд хэмжилтийг 24 цагийн турш 10 секундын давтамжтайгаар хэмжиж үр дүнг гарган авлаа. Судалгааны өдрүүдээс бохирдол ихтэй, болон дундаж

бохирдолтой өдрүүдийг сонгон авч боловсруулалт хийлээ.

Доорх хүснэгтээс харахад 2017 оны 10 дугаар сарын хэмжилтийн дундаж утга МУИС-ийн номын сангийн гадна орчинд 40 ± 12 мкг/м³, дотоод орчинд 40 ± 10 мкг/м³, 11-р сард гадаад орчинд 71 ± 23 мкг/м³, дотоод орчинд 41 ± 22 мкг/м³ болж нэмэгдсэн байна. 12-р сард МУИС-ийн гадаад орчинд сарын дунджаар 109 ± 121 мкг/м³, дотоод орчинд 69 ± 42 мкг/м³, 3-р сургууль орчимд

182 ± 169 мкг/м³ байгаа бол 2018 оны 1-р сард МУИС-ийн гадаад орчинд 96 ± 45 мкг/м³, дотоод орчинд 76 ± 38 мкг/м³ байгаа бол 3-р сургууль орчимд 294 ± 191 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 2-10 дахин, МУИС орчмоос 2-5 дахин өндөр үзүүлэлттэй байна. Харин 2018 оны 2-р сард 3-р сургууль орчим гадаад орчинд 158 ± 86 мкг/м³, дотоод орчинд 33 ± 14 мкг/м³ буюу гадаад орчин нь дотоод орчноос 5-7 дахин өндөр агууламжтай байна.

Хүснэгт 2. Гадаад болон дотоод орчны дундаж $PM_{2.5}$

Байршил		10-р сар	11-р сар	12-р сар	1-р сар	2-р сар
МУИС-ийн номын сан	Гадаад орчин	40 ± 12	71 ± 23	109 ± 121	96 ± 45	94 ± 46
	Дотоод орчин	42 ± 10	41 ± 22	69 ± 42	76 ± 38	78 ± 41
3 дугаар сургууль	Гадаад орчин	-	-	182 ± 169	294 ± 191	158 ± 86
	Дотоод орчин	-	-	-	-	33 ± 14



График 1. Гадаад болон дотоод орчны $PM_{2.5}$

Дээрх график-д МУИС-ийн номын санд хэмжсэн нийт хугацааны хэмжилтийн мэдээг харуулсан ба гадаад ба дотоод орчны орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцортой ($R_{xy}=0.838$) эерэг хүчтэй хамааралтай гэж гарсан. Судалгааны эхэн

үе буюу 10 дугаар сарын дунд үед $PM_{2.5}$ -ын хоногийн дундаж агууламж 100 мкг/м³ ээс дээшгүй, агаарын чанарын стандартаас 2 дахин их агууламжтай байсан бол 10 дугаар сарын сүүл үеэс огцом өгсөж 1 дүгээр сарын сүүл хүртэл өндөр бохирдолтой буюу зарим тохиолдолд 750 мкг/м³ хүрсэн байна.

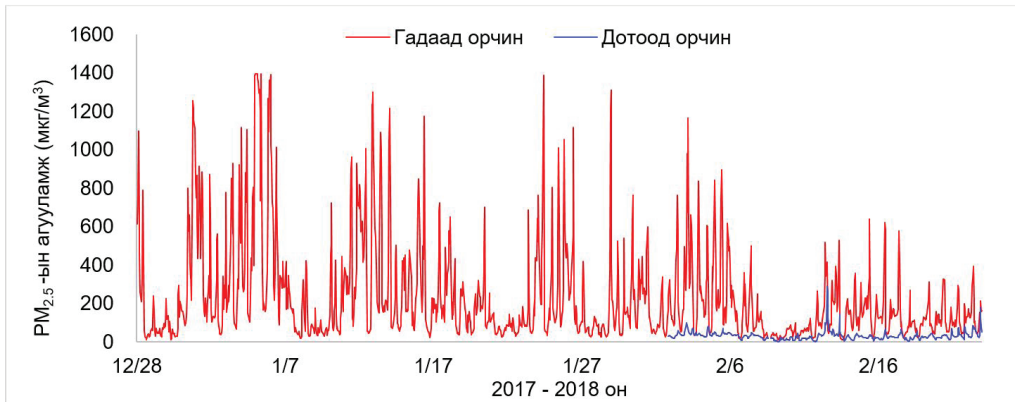


График 2. Гадаад болон дотоод орчны $PM_{2.5}$ (3-р сургууль)

Дээрх графикд 3-р сургуулийн орчимд байрлах айлд хэмжсэн нийт хэмжилтийн мэдээг харуулсан ба гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцортой

($R_{xy}=0.3642$) эерэг сул хамааралтай байна. 12 дугаар сарын сүүл үеэс 2 дугаар сарын эхэн үе хүртэл гадаад орчны $PM_{2.5}$ нь $PM_{2.5}$ sensor-н хэмжих дээд утгад хүрсэн тохиолдол олон байна.

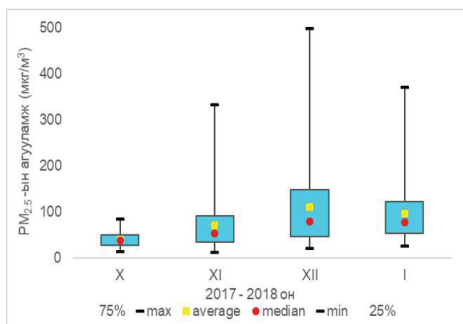


График 3. Гадаад орчны $PM_{2.5}$

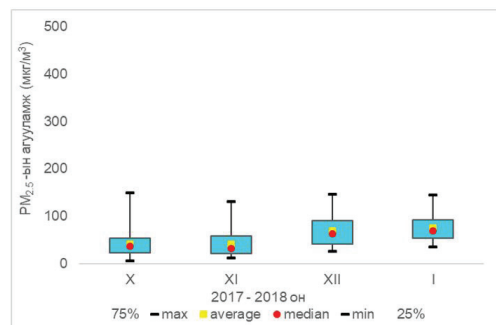


График 4. Дотоод орчны $PM_{2.5}$

График 3-т МУИС-ийн номын санд хэмжсэн гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг илэрхийлэв. $PM_{2.5}$ -н агууламжийг дескриптив үзүүлэлтүүд болох хамгийн дээд утга (max), арифметик дундаж (average), геометр дундаж буюу голч (median), хамгийн доод утга (min)-ыг сар бүрээр тодорхойллоо. Гадаад орчны $PM_{2.5}$ нь 10-р сард харьцангуй хэлбэлзэл багатай буюу тогтвортой байгаа бол 11-01 сар хүртэл хэлбэлзэл өндөртэй байна. Мөн 12 дугаар сард хамгийн өндөр буюу 499 мкг/м^3 байгаа бөгөөд, агаарын чанарын

стандартаас 10 дахин их агууламжтай байсан байна.

График 4-т МУИС-ийн номын санд хэмжсэн дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт утгыг илэрхийлэв. $PM_{2.5}$ -н агууламжийг дескриптив үзүүлэлтүүд болох хамгийн дээд утга (max), арифметик дундаж (average), геометр дундаж буюу голч (median), хамгийн доод утга (min)-ыг сар бүрээр тодорхойллоо. Дотоод орчны $PM_{2.5}$ нь аль ч сард хамгийн дээд утгууд нь ойролцоо агууламжтай (150 мкг/м^3) байгааг дээрх графикаас харж болно.

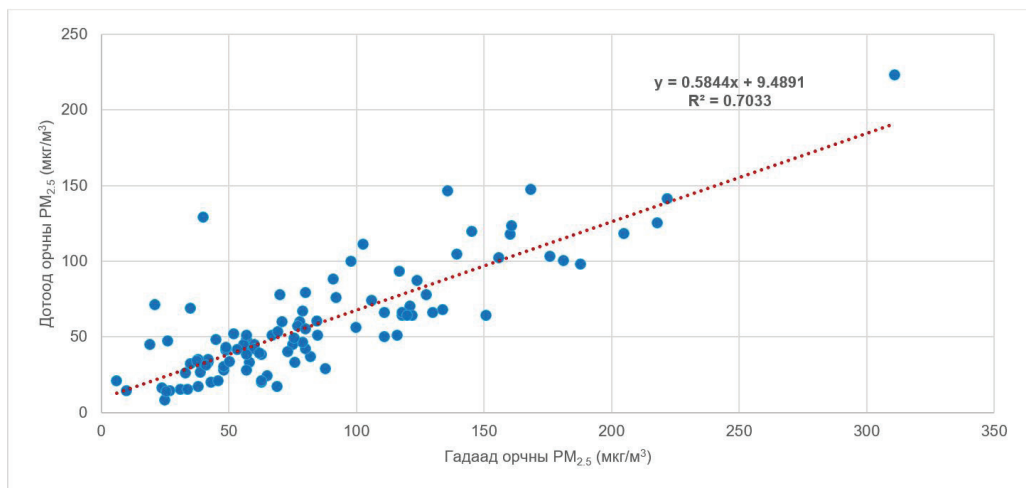


График 5. МУИС-ийн номын сангийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын урт хугацааны мэдээний хамаарал

График 5-д МУИС-ийн номын сангийн гадаад болон дотоод орчинд хэмжсэн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын урт хугацааны буюу 10 дугаар сарын 11-ээс 01 дүгээр сарын 25-ны хэмжилтийн мэдээнд

регрессийн тэгшитгэл бодоход гадаад болон дотоод орчны $PM_{2.5}$ нь эерэг хүчтэй хамааралтай ($R^2=0.7033$) байна.

Доорх графикуудад нийт хэмжилгээс зарим өдрүүдийг сонгон харууллаа.

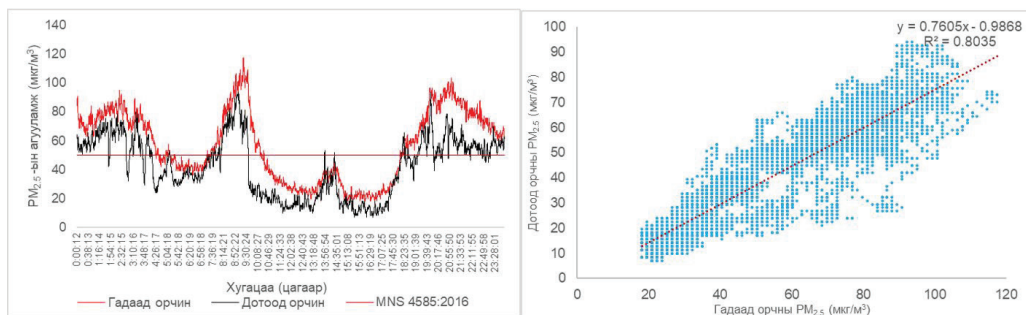


График 6. 10 дугаар сарын 18-ны өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилтийн утга

График 6-гаас харахад 2017 оны 10 дугаар сарын 18-ны байдлаар шөнийн 00:00 цагт $61.1 \text{ мкг}/\text{м}^3$ буюу агаарын чанарын стандартаас 1.2 дахин өндөр байсан бөгөөд 04:00 цаг хүртэл аажмаар өсч, 04:30 цагаас эхлэн аажмаар буурч агаарын чанарын стандарт хэмжээнээс бага болж байгаа бөгөөд өглөөний 07:00 цагаас буюу галлагааны цагаас эхлэн нэмэгдэж 09:30 цагаас тухайн өдрийн дээд хэмжээнд буюу $115 \text{ мкг}/\text{м}^3$ хүрсэн байна. Гадаад орчны

нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж $57 \text{ мкг}/\text{м}^3$ агаарын чанарын стандартаас 1.1 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд багтаж байна. Харин дотоод орчны $PM_{2.5}$ -ын хоногийн дундаж агууламж $42 \text{ мкг}/\text{м}^3$, агаарын чанарын стандартаас даваагүй, агаарын чанарын индексээр “цэвэр” гэсэн ангилалд багтаж байна. Тухайн өдөр агаарын температур 11° -аас -2° хооронд байсан ба салхины хурд өдрийн дунджаар

5 м/с, шөнийн дунджаар 3 м/с байсан байна.

Энэхүү графикт 10 дугаар сарын 18-ны өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгуудыг шугаман регрессийн

тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны $PM_{2.5}$ -н агууламж гадаад орчноос эерэг хүчтэй ($R^2=0.803$) хамааралтай байна.

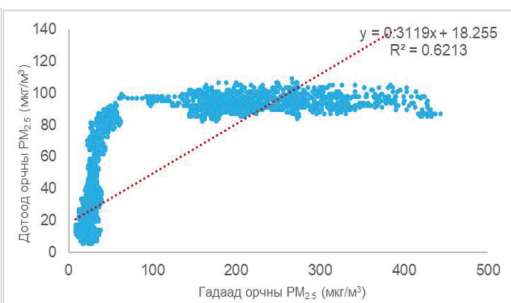
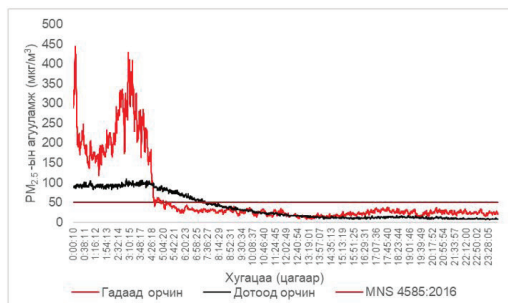


График 7. 11 дүгээр сарын 27-ны өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилтийн утга

График 7-оос харахад 2017 оны 11 дүгээр сарын 27-ны байдлаар шөнийн 00:00 цагт 444 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 8,9 дахин өндөр байсан бөгөөд 04:00 цаг орчмоос эхлэн харьцангуй тогтворжиж оройн 23:00 цаг гэхэд 23 мкг/м³ болтлоо буурсан байна. Гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж 63 мкг/м³, агаарын чанарын стандартаас 1,3 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд багтаж байна. Харин дотоод орчны $PM_{2.5}$ -ын хоногийн дундаж агууламж 38 мкг/м³,

агаарын чанарын стандартаас даваагүй, агаарын чанарын индексээр “цэвэр” ангилалд хамаарч байна. Тухайн өдөр агаарын температур (-8°)- (-15°) хооронд байсан ба салхины хурд өдрийн дунджаар 9 м/с, шөнийн дунджаар 2 м/с байсан байна.

Энэхүү графикт 11 дүгээр сарын 27-ны өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг логарифм тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Энэхүү тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны $PM_{2.5}$ -ын агууламж гадаад орчноос эерэг хүчтэй ($R^2=0.7579$) хамааралтай байна.

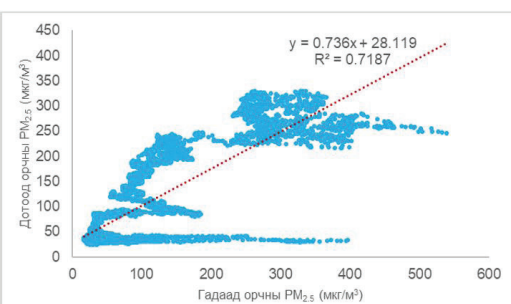


График 8. 12 дугаар сарын 26-ны өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилтийн утга

График 8-аас харахад 2017 оны 12 дугаар сарын 26-ны байдлаар гадаад орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь шөнийн 01:00 цагийн үед хоногийн хамгийн дээд утга болох 539 мкг/м³ хүрч

агаарын чанарын стандартаас 11 дахин өндөр, агаарын чанарын индексээр маш их бохирдолтой ангилалд хамрагдаж байсан бөгөөд шөнийн 04:00 цагийн үед 100 мкг/м³ болтол буурч агаарын чанарын стандартаас

2 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд багтаж байна. Дотоод орчны хувьд шөнийн 00:00 цагт хоногийн хамгийн өндөр утга болох 329 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 7 дахин их, агаарын чанарын индексээр дунд зэргийн бохирдолтой ангиллаас аажмаар буурч өглөөний 08:00 цагт 98 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 2 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд багтаж байна. Гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж 98 мкг/м³, агаарын чанарын стандартаас 2 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд

багтаж байна. Харин дотоод орчны PM_{2.5}-ын хоногийн дундаж агууламж 100 мкг/м³, агаарын чанарын стандартаас 2 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд хамаарч байна. Тухайн өдөр агаарын температур -10°-аас -21° хооронд байсан ба салхины хурд өдрийн дунджаар 7м/с, шөнийн дунджаар 5м/с байсан байна.

Энэхүү графикт 12 дугаар сарын 26-ны өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг шугаман регрессийн тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны PM_{2.5}-н агууламж гадаад орчноос эерэг хүчтэй (R²=0.718) хамааралтай байна.

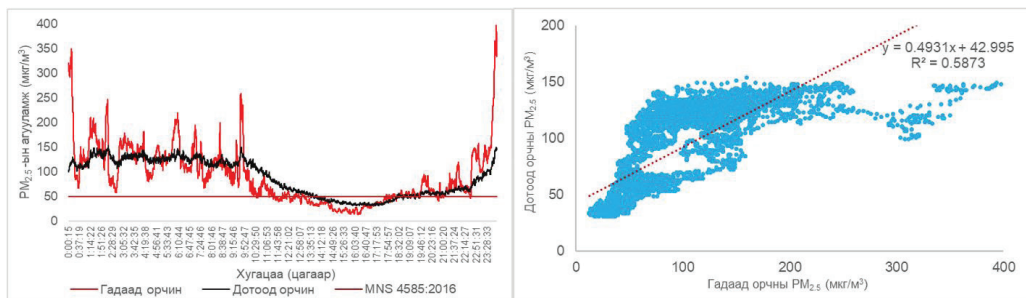


График 9. 1 дүгээр сарын 24-ний өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилтийн утга

График 9-өөс харахад 2018 оны 1 дүгээр сарын 24-ний байдлаар гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь 350 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 7 дахин их, агаарын чанарын индексээр дунд зэргийн бохирдолтой гэсэн ангиллаас огцом өөрчлөлттэйгөөр өглөөний 10:00 цаг хүртэл үргэлжилсэн бөгөөд оройн 16:00 цагийн үед 14 мкг/м³ агаарын чанарын стандартаас даваагүй, агаарын чанарын индексээр “цэвэр” ангилалд багтаж байна. Гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж 91 мкг/м³, агаарын чанарын стандартаас 1.8 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд багтаж байна. Харин

дотоод орчны PM_{2.5}-ын хоногийн дундаж агууламж 88 мкг/м³, агаарын чанарын стандартаас 1.8 дахин их, агаарын чанарын индексээр “хэвийн” ангилалд хамаарч байна. Тухайн өдөр агаарын температур -21°-аас -32° хооронд байсан ба салхины хурд өдрийн дунджаар 6м/с, шөнийн дунджаар 2м/с байсан байна.

Энэхүү графикт 1 дүгээр сарын 24-ний өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг шугаман регрессийн тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны PM_{2.5}-н агууламж гадаад орчноос эерэг дундаж (R²=0.587) хамааралтай байна.

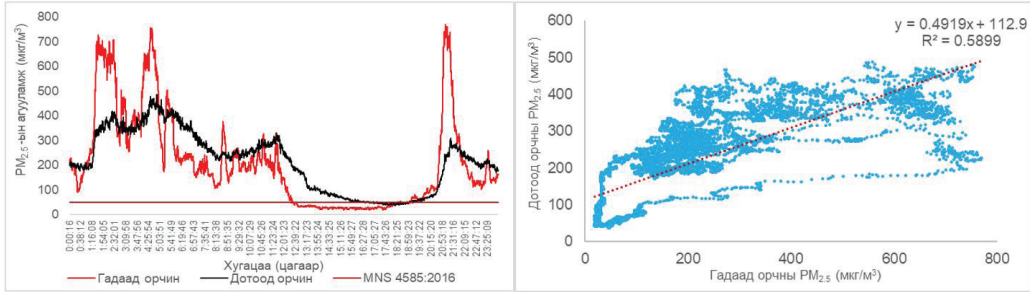


График 10. 2 дугаар сарын 03 (Номын сан)-ны өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилт

График 10-аас харахад МУИС-ийн номын санд 2018 оны 2 дугаар сарын 03-ны байдлаар хэмжсэн гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж 210 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 4.2 дахин их, агаарын чанарын индексээр бага зэргийн бохирдолттой ангилалд, дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж 216 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 4.3 дахин их, агаарын чанарын индексээр бага зэргийн бохирдолттой ангилалд багтаж

байна. Гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь өдрийн 13:00 цагаас оройн 20:00 цаг орчимд огцом буурч бусад цагуудад өндөр үзүүлэлттэй байна.

Энэхүү графикт 2 дугаар сарын 03-ны өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг шугаман регрессийн тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны PM_{2.5}-н агууламж гадаад орчноос эерэг дундаж (R²=0.589) хамаарал ажиглагдлаа.

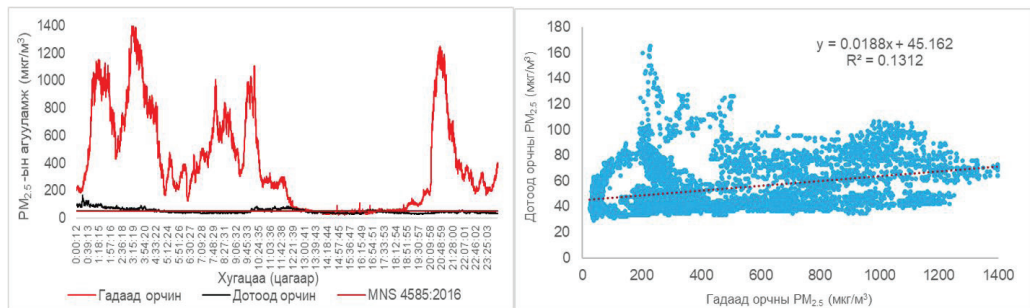


График 11. 2 дугаар сарын 03 (3 дугаар сургууль)-ны өдрийн нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хэмжилтийн утга

График 11-ээс харахад орон сууцанд 2018 оны 2 дугаар сарын 03-ны байдлаар хэмжсэн гадаад орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын хоногийн дундаж агууламж 394 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 7.8 дахин их, агаарын чанарын индексээр дунд зэргийн бохирдолттой ангилалд, дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж 52 мкг/м³ буюу агаарын чанарын стандартаас 1.04 дахин

их, агаарын чанарын индексээр хэвийн ангилалд багтаж байна.

Энэхүү графикт 2 дугаар сарын 03-ны өдрийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын нийт хэмжилтийн утгыг шугаман регрессийн тэгшитгэлээр илэрхийлэв. Тэгшитгэлээс харахад дотоод орчны PM_{2.5}-н агууламж гадаад орчноос эерэг сул (R²=0.131) хамаарал ажиглагдлаа.

Агаарын чанарын индексийн үнэлгээ

Дэлхийн өндөр хөгжилтэй орнууд агаарын бохирдлыг Агаарын чанарын индекс (АЧИ)-ээр тодорхойлж, тухайн бүс нутгийн иргэдийн эрүүл мэндэд хэрхэн нөлөөлж болох талаар мэдээлэл хүргэдэг байна.

Байгаль орчин аялал жуулчлалын сайд 2011 оны 3 дугаар сарын 01-ний өдрийн А-53 тоот тушаалаар “Агаарын чанарыг индексээр үнэлэх, мэдээлэх ерөнхий журам”-ыг нэгдүгээр хавсралтаар, “Агаарын чанарын индексийн мэдээг хэвлэл мэдээллийн хэрэгслээр мэдээлэх аргачлал”-ыг хоёрдугаар хавсралтаар, “Агаар дахь бохирдуулах бодисын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөл, эрүүл мэндийн зөвлөгөө өгөх аргачлал”-ыг гуравдугаар хавсралтаар тус тус баталсан байна. Агаарын чанарын индекс гэж хот

суурин газрын хүрээлэн буй орчны агаар дахь бохирдуулах бодисын тухайн үеийн агууламжийг түүний стандартад заагдсан хүлцэх хэм хэмжээнд харьцуулсан тоон үзүүлэлтийг хэлнэ. Агаарын чанарын индексийг агаар дахь түгээмэл тархалттай дараах 5 үндсэн бохирдуулах бодисоор тооцно. Үүнд: хүхрийн давхар исэл (SO₂), азотын давхар исэл (NO₂), 10 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор (PM₁₀) болон 2.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор (PM_{2.5}), нүүрстөрөгчийн дутуу исэл (CO), озон (O₃) орно [11, 12].

Агаарын чанарын индексийн ангилал ба үнэлгээ: Агаарын чанарын индексийг 0-500 хүртэл тоон үзүүлэлтээр тооцож 6 бүлэгт ангилсан бөгөөд ангилал тус бүрт харгалзах агаарын чанарын түвшин ба хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг харуулав.

Индексийн тоон үзүүлэлт	Агаарын чанар
0-50	Цэвэр
51-100	Хэвийн
101-250	Бага зэргийн бохирдолтой
251-400	Дунд зэргийн бохирдолтой
401-500	Их бохирдолтой
501+	Маш их бохирдолтой

Агаарын чанарыг индексийн тоон үзүүлэлтээр 0-50 бол “цэвэр” ногоон өнгөөр, 51-100 бол “хэвийн” шар өнгөөр, 101-250 бол “бага зэргийн бохирдолтой” улбар шар өнгөөр, 251-400 бол “дунд

зэргийн бохирдолтой” ягаан өнгөөр, 401-500 бол “их бохирдолтой” хүрэн өнгөөр, 501-ээс дээш бол “маш их бохирдолтой” улаан өнгөөр тэмдэглэв.

Хүснэгт 3. Агаарын чанарыг индексээр үзүүлсэн нь

		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
10.18	Гадаад орчин	62	60	37	41	64	19	19	21	17	54	59	55
	Дотоод орчин	76	77	50	46	87	39	27	29	25	65	89	72
11.27	Гадаад орчин	198	270	77	30	28	23	14	17	27	24	25	24
	Дотоод орчин	92	92	85	57	35	23	15	11	12	12	10	9

12.26	Гадаад орчин	319	247	121	96	100	36	33	26	27	39	65	68
	Дотоод орчин	287	237	186	121	88	70	48	37	32	29	29	40
1.24	Гадаад орчин	160	134	129	124	120	62	45	26	32	57	68	134
	Дотоод орчин	123	130	127	127	120	96	59	40	35	41	59	89
02.03 МУИС	Гадаад орчин	329	446	474	206	194	211	49	26	27	57	343	156
	Дотоод орчин	244	362	415	322	241	279	162	75	49	51	183	211
02.03 Айл	Гадаад орчин	342	829	900	295	607	536	170	43	40	62	483	425
	Дотоод орчин	91	79	63	44	40	54	68	42	42	44	38	45

Сонгож авсан өдрүүдээс 10 дугаар сард индексээр үзүүлсэн үзүүлэлтээр цэвэр болон хэвийн үзүүлэлттэй байсан бол 11 дүгээр сард шөнийн цагт “бага зэргийн бохирдолттой” болон “дунд зэргийн бохирдолттой” ангилалд, өдрийн цагт “хэвийн”, “цэвэр” ангилалд багтсан байна. 12 дугаар сард мөн шөнийн цагаас өглөө хүртэл “бага зэргийн бохирдолттой” болон “дунд зэргийн бохирдолттой” гэсэн ангилалд, өдрийн цагт “цэвэр”, “хэвийн” гэсэн ангилалд хамрагдаж байна. 1 сард шөнийн болон өглөөн цагуудад “бага зэргийн бохирдолттой” ангилалд байсан бол өдрийн цагуудад “цэвэр” хэвийн ангилалд багтаж байна.

МУИС-ийн номын санд хэмжсэн хэмжилтүүдээс сонгож авсан өдрүүдийг агаарын чанарын индексээр илэрхийлэхэд 43% нь цэвэр, 25% нь хэвийн, 22% нь бага зэргийн бохирдолттой, 7% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 3% нь их

бохирдолттой байна. Дотоод орчны хувьд 40% нь цэвэр, 30% нь хэвийн, 22% нь бага зэргийн бохирдолттой, 7% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 1% нь их бохирдолттой байна.

2018 оны 2 дугаар сарын 03-ны өдөр МУИС-ийн номын сангийн гадаад орчинд 25% нь цэвэр, 8% нь хэвийн 33% нь бага зэргийн бохирдолттой, 17% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 17% нь их бохирдолттой, дотоод орчинд 8% нь цэвэр, 17% нь хэвийн, 42% нь бага зэргийн бохирдолттой, 25% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 8% нь их бохирдолттой байна. Харин Монгол 3 дугаар сургууль орчимд гадаад орчинд хэмжсэн хэмжилтийн 17% нь цэвэр, 8% нь хэвийн, 8% бага, 17% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 17% нь их бохирдолттой, 33% нь маш их бохирдолттой байна. Дотоод орчинд хэмжсэн хэмжилтийн 58% нь цэвэр, 42% нь хэвийн ангилалд багтаж байна.

ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

МУИС-ийн номын сан болон Монгол 3 дугаар сургууль орчмын хэмжилтийн мэдээтэй индексээр илэрхийлэн харьцууллаа. Тухайлбал: 2018 оны 2 дугаар сарын 03-ны өдрийн хэмжилтийн өдөр МУИС-ийн номын сангийн гадаад орчинд 25% нь цэвэр, 8% нь хэвийн 33% нь бага

зэргийн бохирдолттой, 17% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 17% нь их бохирдолттой, дотоод орчинд 8% нь цэвэр, 17% нь хэвийн, 42% нь бага зэргийн бохирдолттой, 25% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 8% нь их бохирдолттой байна. Харин Монгол 3 дугаар сургууль орчимд гадаад орчинд

хэмжсэн хэмжилтийн 17% нь цэвэр, 8% нь хэвийн, 8% бага, 17% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 17% нь их бохирдолттой, 33% нь маш их бохирдолттой байна. Дотоод орчинд хэмжсэн хэмжилтийн 58% нь цэвэр, 42% нь хэвийн ангилалд багтаж байна. Агаарын чанарын индексээр сонгож авсан нийт өдрүүдийг илэрхийлэхэд гадаад орчны хувьд 39% нь цэвэр, 22% нь хэвийн, 19% нь бага зэргийн бохирдолттой, 8% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 6% нь их бохирдолттой, 6% нь маш их бохирдолттой, харин дотоод орчны хувьд 43% нь цэвэр, 31% нь хэвийн, 18% нь бага зэргийн бохирдолттой, 6% нь дунд зэргийн бохирдолттой, 2% нь ангилалд хамрагдаж байна.

Судалгааны үр дүнгээс харахад цонх нээх нь гадаад орчноос нарийн ширхэглэгт тоосонцор дотоод орчинд нэвтрэх үндэс болж байна. Мөн цонхны төрөл болон эвдрэлээс шалтгаалж дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж дотоод орчинд ялгаатай байдлыг үүсгэж байна. Цонхны чанар сайн, цонх нээхгүй тохиолдолд дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь гадаад орчноос эерэг сул хамааралтай байх боломжтой.

Манай улсад хавар намрын улиралд байр, орон сууц, хичээлийн байрны

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаанд МУИС-ийн номын сан болон Монгол 3 дугаар сургууль орчмын орон сууцны айлд 2017 оны 10 дугаар сараас 2018 оны 2 дугаар сар хүртэлх хугацаанд хэмжсэн гадаад болон дотоод орчны агаарын нарийн ширхэглэгт тоосонцрын мэдээг ашиглан үр дүн гарган авсан. Энэхүү үр дүнд үндэслэн дараах дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

Гадаад болон дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь хэмжилтийн цэгийн байршил, гадаад дотоод нөхцөл зэрэг хүчин зүйлсээс шалтгаалж харилцан адилгүй байна. Жишээлбэл 3

халаалтыг тогтсон нэг өдөр өгч, нэг өдөр хаадаг ба тухайн үеийн цаг агаарын төлвийг харгалздаггүй ба халаалт ирсэн үед халаалтын тохируулаггүй байр, орон сууцанд цонх нээж сэрүүцэх нь түгээмэл. Энэ тохиолдолд гадаад орчны бохирдол дотоод орчинд ихээр нөлөөлж, дотоод орчны бохирдол ихсэх шалтгаан болж байна.

Грек улсын Тессалоникийн Аристотель их сургуулийн танхимд хийсэн судалгаагаар дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж 67 ± 32 мкг/м³ байсан байна [13]. Энэ нь Монгол улсын их сургуулийн номын сангийн дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж (76 ± 38 мкг/м³)-тай ойролцоо байна.

Өвлийн улиралд орон сууцны айлын дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрыг хоногийн 24 цаг хэмжсэн дундаж утга нь 52 мкг/м³ байна. Энэхүү дүн нь судлаач Б. Буянтушиг нарын [5] гүйцэтгэсэн “Дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэгт тоосонцрыг тодорхойлсон дүн” судалгааны дүнтэй (45.74 мкг/м³) ойролцоо байгаа нь орон сууцны айл өрхүүдийн дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцрын агууламж төсөөтэй байна.

дугаар сургууль орчимд гадаад орчинд хэд хэдэн өдөр багажийн хэмжих дээд хязгаарт (1400 мкг/м³) хүрч байсан бол МУИС-ийн номын сан орчимд дээд тал нь 500 мкг/м³ хүрсэн байна. Харин дотоод орчны хувьд МУИС-ийн номын санд хэлбэлзэл өндөртэй буюу хүмүүсийн хөдөлгөөн, хийж буй бусад хэмжилт судалгаа зэргээс шалтгаалж зарим тохиолдолд өндөр байгаа бол 3 дугаар сургууль орчимд нэгэн жигд бага хэмжээтэй байна.

Хэмжилтийн мэдээнээс харахад МУИС-ийн номын сангийн дотоод орчны агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь

гадаад орчны $PM_{2.5}$ -аас хүчтэй хамааран өөрчлөгдөж байгаа бөгөөд зарим тохиолдолд хүний үйл ажиллагаанаас хамааран өсч, буурч байна. МУИС-ийн номын сангийн гадаад болон дотоод орчны нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь хоорондоо эерэг хүчтэй ($r=0.83$) хамааралтай байна. Монгол 3-р сургуулийн орчим орон сууцны айлд хэмжсэн 24 цагийн гадаад болон дотоод орчны хэмжилтийн дүнгээс харахад дотоод орчны $PM_{2.5}$ гадаад орчны $PM_{2.5}$ -аас эерэг сул ($r=0.3$) хамааралтай байгаа нь тухайн барилгын цонхны шинж чанараас хамаарч байх талтай.

Судалгааны үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хотод агаар дахь нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь 10 дугаар сараас

эхэлж агаарын чанарын стандартаас давсан үзүүлэлттэй байгаа ба 12 болон 1 дүгээр сард оргил үедээ хүрч байна.

Талархал: Энэхүү судалгааны ажил нь БСШУСЯам, ШУТСангийн санхүүжилттэй SSA_028/2016 тоот дугаартай суурь судалгааны төслийн санхүүжилтээр хийгдсэн ба судалгааны багаж төхөөрөмжийг Япон улсын Нагояа Их Сургуулийн олон улсын хамтарсан судалгааны ажлыг дэмжих хөтөлбөрийн хүрээнд хэрэгжиж буй “Development of $PM_{2.5}$ instruments and observation in Mongolia and Japan” төслөөс хангагдсан тул эдгээр байгууллага, хөтөлбөрт талархсанаа илэрхийлье.

НОМ ЗҮЙ

1. “Монгол орны байгаль орчны төлөв байдлын тайлан 2013-2014”. 2015.
2. “Агаарын бохирдлыг бууруулах үндэсний чуулган” эмхэтгэл. 2017.
3. Б. Бурмаа ба бусад., “Агаарын бохирдлоор ялгаатай хот, суурингийн хүүхдийн зүрх судасны үйл ажиллагааны байдал, үнэлгээ”, Монголын ангаан ухаан. 2001(3): 116.
4. Saijaa, N. “Assessment of impact of use of fuel efficient stoves on indoor air quality and health.” Ministry of Health: WHO Ulaanbaatar, Mongolia (2000).
5. Б. Буянтүшиг, ба Г. Энхжаргал, Орон сууцны дотоод орчны агаарт гарийн ширхэгт тоосонцрын бохирдлыг судалсан дүнгээс. 2017.
6. Organization WH. Air pollution 2016.
7. Allen, Ryan W., et al. “An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar, Mongolia.” Air Quality, Atmosphere & Health 6.1 (2013): 137-150.
8. Seppänen, Olli, William J. Fisk, and Q. H. Lei. “Ventilation and performance in office work.” Indoor air 16.1 (2006): 28-36.
9. А.Энхжаргал ба бусад., “Дотоод орчны агаарын чанарыг туршилтаар судалсан дүн”. Монголын анагаах ухаан 2008, 2(144): 35-40.
10. Nakayama, Tomoki, et al. “Development and evaluation of a palm-sized optical $PM_{2.5}$ sensor.” Aerosol Science and Technology 52.1 (2018): 2-12.
11. Стандартчлал, хэмжилзүйн үндэсний төв, Агаарын чанар. Техникийн ерөнхий шаардлага 2016.
12. БОАЖС-ын А-53 тоот тушаал., “Агаарын чанарыг индексээр үнэлэх, мэдээллэх ерөнхий журам”-ын нэгдүгээр хавсралт. 2011.
13. Gemenetzi, Panagiotis, et al. “Mass concentration and elemental composition of indoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} in University rooms in Thessaloniki, northern Greece.” Atmospheric Environment 40.17 (2006): 3195-3206.

THE SOME RESULTS OF STUDY ON OUTDOOR AND INDOOR AMBIENT PM_{2.5}

Byambatseren Ch¹, Michidmaa N¹, Sonomdagva Ch^{1}, Yutaka Matsumi²*

¹ *Department of Environmental and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Science, NUM, Mongolia*

² *Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*
**corresponding author e-mail: ch_sonomdagva@num.edu.mn*

Abstract: In this study, PM_{2.5} pollution of indoor and outdoor ambience has been measured on a household which is located between the Ger area and the residential district at simultaneous duration and point. In order to analyze, we used n = 3,119,500 data which was measured at each 10 second during 24 hours period. The instrument that was used to study, created by Nagoya University and Panasonic Corporation. In recent years, the capital of Ulaanbaatar, Mongolia, is leading the air pollution during the winter in the world, and the majority of this pollution is comprised of PM_{2.5}. Fine particles are very harmful to human health, and people spend approximately 90% of their lives in the indoor ambient. Thus, it is important to measure continuously the amount of indoor and outdoor PM_{2.5}, so we have selected two points and indicated some statistical analysis on indoor and outdoor ambient. The results of this study indicate the PM_{2.5} concentrations of air in Ulaanbaatar are higher than the air quality standard in October and peak in the December and January. Also, due to the feature of the sites being measured, pollution of indoor ambient was demonstrated strong or weak level, which is depended on outdoor ambient pollution. The measurements of the majority days were a high level of pollution from at 00:00 to 04:00 pm, however, it was decreased at 5:00 pm, but it started to increase around 07:00 to 09:00 in the morning, and it decreased from 10:00 am to low level of the pollution whole day. At 18 o'clock in the evening, the pollution was increasing and at the peak of the day, the fine particle pollution up to 02:00 on the next day.

Key words: *Outdoor and indoor air ambient; fine particle (PM_{2.5}); air quality; air quality index;*