

Улаанбаатар хотын автозамын дагуух тоосонцорын бөөмийн хэмжээ, түүний тархалтын судалгаа

Г.Оюунгэрэл¹, Г.Батдэмбэрэл², Ш.Чадрабал², П.Мөнхбаатар², П.Алтанцог³

¹Боловсролын Их Сургууль, Физик Технологийн Сургууль

²Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Материал Судлалын Салбар,

Хатуу биеийн физик, нанотехнологийн профессорын баг

Улаанбаатар хотын автозамын дагуух бөөмсийн дундаж диаметр (1.1 ± 3) -ээс (2.5 ± 3) мкм, бөөмийн хувийн гадаргуугийн талбай (Sv) $2.38 \times 10^{-14} \text{ м}^2/\text{см}^3$, бөөмийн хэмжээсийн тархалтын муж $74 \text{ нм} < 4.0 \text{ мкм}$ гэж тус тодорхойлов. Бөөмүүд $790 \text{ нм} < 3.8 \text{ мкм}$ мужид 0.02 -оос 8.15 (q_3lg) хүртэл нягттайгаар гаусс тэгш хэмтэйгээр түгсэн байна. Хэмжилтийн явцад 74 нм-ээс бага хэмжээтэй бөөм бүртгэгдээгүй. Дээжүүдийн хувьд бөөмүүд $74 < 100$ нм мужид эзэлхүүний 0.02% -ийг хэт нарийн бөөм буюу нанобөөм, $100 < 2.4$ мкм мужид дунджаар эзэлхүүний 83.73% -ийг нарийн ширхэгтэй бөөм (PM_{2.5}), $2.4 < 4.0$ мкм мужид эзэлхүүний 16.25% -ийг том хэмжээт бөөм (PM₁₀) тус тус эзэлж байв. Автомашины дагуух тоосонцорын дээжүүдэд PM_{2.5} бөөмүүдийн агууламж өндөр хувьтай байна.

Түлхүүр үг: тоосонцорын бөөм, бөөмийн хэмжээ, бөөмийн тархалт, суспенз, PCCS, Nanophox

1. ОРШИЛ

Тоосонцорт утаа, манан, тоос шороо зэрэг агаар дахь жигнэгдэх бөөмс ордог. Утааны бөөмүүд хүрээлэн буй орчин, уур амьсгалын нэгдмэл чанар, хүмүүсийн эрүүл мэндэд чухал үүрэгтэй. Өнөөдрийн байдлаар утаанаас гаралтай нанобөөмүүдийн физик, химийн шинж чанарын тухай ойлголт маргаантай байгаа болно [1].

Агаар мандал дахь нанобөөмийн тухай шинжлэх ухаан харьцангуй шинэ бөгөөд тэдгээр бөөмсийн хортой физик, химийн шинж чанарууд муу судлагдсан. Тухайлбал, Улаанбаатар хотын агаар мандлын орчин, ялангуяа, өвөл, хаврын улиралд дулааны цахилгаан станц, гэр хороолол, автомашины яндангаас гарах утаанаас болж хүмүүсийн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлж, байгаль орчин маш ихээр бохирдож байна. Иймд тус ажлыг нэн даруй гүйцэтгэх үндэслэл бүрэн байгаа болно.

Мөн элэгдэл эвдрэлд орсон газраас боссон тоос, шороо, хуучирсан машин их нөлөөлдөг.

УБ хотын агаар SO₂ зэрэг агаарын бохирдлын түвшингээр олон улсын стандартаас өндөр байгаа боловч, тоосжилт (PM: particulate matter) нь Улаанбаатар хотын бохирдлын хамгийн гол асуудал болж байна. Агаарын тоосжилтын хувьд Улаанбаатар хот нь дэлхийн хамгийн бохирдсон хотын нэгд тооцогдож байна [2].

Агаарын бохирдлыг судлах гол ажлын нэг бол агаарыг бохирдуулагч бөөмсийн хэмжээ, түүний хэмжээний тархалт, нягт, бөөмийн хэлбэр, морфологи, элементийн

найрлага зэргийг системтэй судлах явдал бөгөөд тэр нь улмаар агаарын бохирдлыг бууруулах хөтөлбөрүүдийг ач холбогдлоор нь эрэмблэх, мөн үр дүнг нь дүгнэхэд чухал шаардлагатай.

Үүнтэй холбогдуулж энэхүү ажлын зорилго нь өвлийн улиралд Улаанбаатар хотын зарим автозамын дагуух цасанд хуримтлагдсан тоосонцор ба автомашинаас гаралтай бөөмсийн хэмжээ ба түүний тархалтыг 1нм-ээс 10μм-ийн мужид судлах юм.

2. ТУРШИЛТ

Судалгааны дээжүүдийг Улаанбаатар хотын автозамын дагуух дараахь 12 цэгүүдээс бэлдсэн. Үүнд: сансрын шатахууны клонк (1#), офицерын ордны дэргэдэх Петровисийн шатахууны клонк (2#), баруун дөрвөн замын дэргэдэх “Гранд Плаза” цогцолборын урд талын зам (3#), 120 мянгат (4#), яармаг (5#), сансрын хүч спорт хороо (6#), сэлбийн гол (7#), 32-ийн тойрог (8#), 28-р сургууль (9#), нисэх (10#), толгойт (11#), дэнжийн 1000(12#).

Ялангуяа өвлийн улиралд агаарын бохирдлын хэмжээ хэт ихсэж, хүний бие организмд сөрөг нөлөө үзүүлэх болсон учраас дээжүүдийг 2011 оны 01 сарын 25 нд дээрх цэгүүдээс бэлдсэн.

Судалгааны 12 дээжүүдийг автозамын дагуух цаснаас гарган авсан. Тодорхой хэмжээгээр авсан цас хайлахдаа хар өнгийн суспензийн дээж болон хувирч байсан нь бидний судалгааны ажлыг ихээхэн хөнгөвчилж өгсөн. Учир нь автозамын дагуух бөөмсийг

цуглуулахын тулд түүнийг тусгай төхөөрөмжөөр соруулах шаардлагагүй болсон. Гарган авсан суспензийн дээж дахь том хэсгүүдийг 39мкм-ийн шүүлтүүрээр дахин шүүсэн. Дараа нь түүнээс 20мл-ийг таслан авч 80мл нэрсэн усанд хийж шингэрсэн 100мл-ийн суспензийн дээжийг гарган авсан.

Хэмжилтэнд зориулж бөөмийн тунах процессоос зайлсхийхийн тулд суспензийн дээжийг титан хэт авианы хошуу (Ultrasonic Cell Disruptor KS-900F)-гаар 15 минутийн туршид хутгаж нэгэн төрлийн тархалттай, тундасжаагүй суспензийг бэлтгэсэн (үүсгүүр 230В/50Гц, 20кГц; хэт авианы импульс 30%, далайц нь 50%). Детекторын тоолох хурдыг 100-2000кcps хооронд байлгахар триггерийн нөхцлийг сонгож тухайн дээжийг бас 10мл+40мл байхаар дахин шингэрүүлдэг. Суспензийн дээжүүдийг бэлтгэх явц дахь рН-ийн хэмжээ 7.60~8.20 хооронд хэлбэлзэж байв. Иймэрхүү маягаар судалгааны бүх дээжүүдийг адилхан гарган авсан. NANOPHOX-ийн хэмжилтэнд зориулсан суспензийн дээжийг 12.5мм өргөнтэй, 12.5мм-ийн гүнтэй, 36мм-ийн өндөртэй, 50мкл-2.000мкл хүртэл дүүргэх

эзлэхүүн бүхий нэг удаагийн тунгалаг пластик уветт (Eppendorf UVette®, Sympatec Item No.NZ0020) саванд хийж бэлдсэн. Дээж бүхий уветтийг 632.8нм долгионы урттай HeNe-лазерийн цацрагийн замд ортогональ байхаар термостатийн тохируулга бүхий цэвэр устай саванд хийж төхөөрөмж дотор байрлуулдаг. Термостат бүхий савыг 0.22мкм шүүлтүүрээр шүүсэн усаар өндрийн ¼ байхаар дүүргэдэг. Эцсийн байдлаар гарган авсан суспензийн дээж дахь бөөмсийн диаметр, түүний тархалтыг Фотоны хөндлөн корреляцийн спектроскоп (NANOPHOX(NX0061), (ХБНГУ, Симпатец компани)-оор NNLS горимд гүйцэтгэсэн. Хэмжилтийн үр дүнг боловсруулахад WINDOX 5 програмыг ашигласан.

III. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

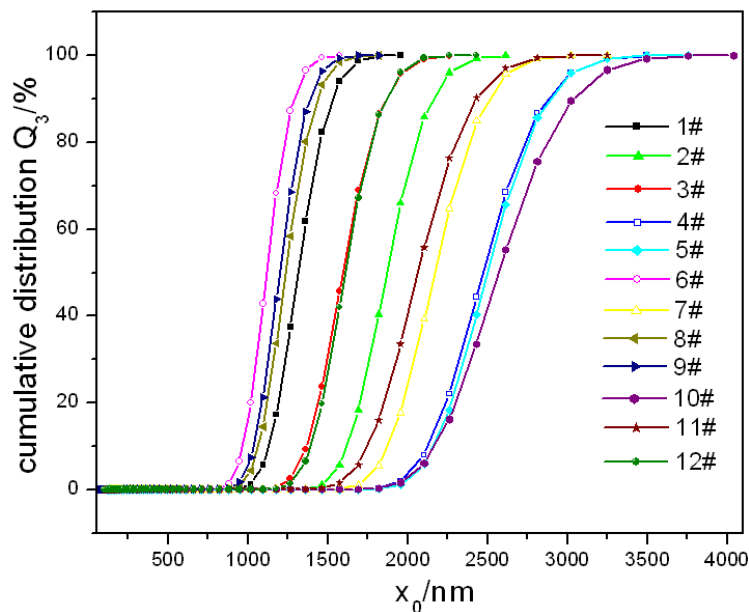
NANOPHOX багажаар хэмжсэн дээжүүд дахь бөөмсийн кумулятив тархалтын тоон утгуудыг 1-р хүснэгтэд эмхэтгэн харуулав.

Дээж→	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	1-р хүснэгт		
										10#	11#	12#
$x_0, \text{нм} \downarrow$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$	$Q_3/\%$
74.82									0.01			
80.45						0.01			0.01			
86.50						0.01		0.01	0.01			
93.00						0.01		0.01	0.02			
100.00						0.01		0.01	0.02			0.01
107.52	0.01	0.01	0.01			0.02		0.02	0.03		0.01	0.01
115.61	0.01	0.01	0.01		0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01
124.30	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.01	0.02	0.02
133.65	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.04	0.06	0.02	0.03	0.02
143.71	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	0.08	0.02	0.04	0.03
154.52	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.05	0.09	0.03	0.04	0.03
166.14	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.06	0.10	0.03	0.05	0.04
178.64	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.03	0.07	0.11	0.04	0.06	0.05
192.07	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06	0.04	0.08	0.13	0.04	0.07	0.05
206.52	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.07	0.04	0.09	0.14	0.05	0.08	0.06
222.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.06	0.07	0.05	0.10	0.15	0.06	0.09	0.07
238.76	0.06	0.07	0.07	0.04	0.07	0.08	0.05	0.11	0.17	0.07	0.10	0.07
256.71	0.06	0.07	0.07	0.04	0.07	0.08	0.05	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
276.02	0.06	0.07	0.07	0.04	0.07	0.08	0.05	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
296.78	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.05	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
319.11	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
343.11	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
368.92	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
396.67	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
426.50	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
458.58	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
493.08	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
530.16	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
570.04	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
612.92	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
659.02	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
708.59	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
761.89	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
819.19	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.17	0.06	0.12	0.18	0.07	0.11	0.08
880.81	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	1.35	0.06	0.16	0.34	0.07	0.11	0.08
947.06	0.17	0.07	0.07	0.05	0.07	6.56	0.06	0.88	1.79	0.07	0.11	0.08
1018.30	1.25	0.07	0.07	0.05	0.07	20.07	0.06	4.41	7.48	0.07	0.11	0.08
1094.89	5.73	0.07	0.08	0.05	0.07	42.83	0.06	14.56	21.35	0.07	0.11	0.08
1177.24	17.31	0.07	0.45	0.05	0.07	68.29	0.06	33.75	43.84	0.07	0.11	0.19

1265.79	37.52	0.07	2.54	0.05	0.07	87.28	0.06	58.43	68.56	0.07	0.11	1.42
1361.00	61.89	0.12	9.27	0.05	0.07	96.62	0.06	80.19	87.05	0.07	0.11	6.60
1463.37	82.31	1.10	23.80	0.05	0.07	99.53	0.06	93.27	96.38	0.07	0.31	19.82
1573.44	94.12	5.74	45.69	0.05	0.07	100.00	0.11	98.54	99.43	0.07	1.52	42.03
1691.79	98.75	18.34	68.99	0.05	0.07		1.07	99.86	99.99	0.08	5.76	67.14
1819.04	99.88	40.42	86.53	0.28	0.14		5.54	100.00	100.00	0.33	15.97	86.33
1955.86	100.00	66.09	95.82	1.94	1.16		17.72			1.64	33.59	96.15
2102.98		85.96	99.17	8.00	5.85		39.29			6.02	55.80	99.39
2261.16		96.12	99.93	22.09	18.40		64.78			16.21	76.33	99.99
2431.23		99.42	100.00	44.33	40.27		84.99			33.53	90.23	100.00
2614.10		100.00		68.54	65.71		95.66			55.27	97.05	
2810.73				86.74	85.58		99.29			75.53	99.42	
3022.14				96.12	95.91		99.98			89.54	99.95	
3249.46				99.32	99.35		100.00			96.67	100.00	
3493.87				99.97	99.99					99.27		
3756.67				100.00	100.00					99.92		
4039.24										100.00		

Тайлбар: x_0 -бөөмийн диаметр, Q_3 %-эзэлхүүний процентийн хувь.

1-р хүснэгт дэх утгуудыг ашиглан бөөмийн хэмжээ, эзэлхүүний тархалтын хамаарлын графикийг байгуулан 1-р зураг дээр үзүүлэв.



1-р зураг. Бөөмийн хэмжээний кумулятив тархалт

Дээжүүдийн бөөмийн дундаж диаметр, түүний тархалтын өргөн, бөөмийн хувийн гадаргуугийн талбай (S_v), бөөмийн гадаргуугийн дундаж диаметр (SMD), бөөмийн эзэлхүүний дундаж диаметр (VMD) зэргийг 2-р хүснэгтэд эмхэтгэн үзүүлэв.

2-р хүснэгт

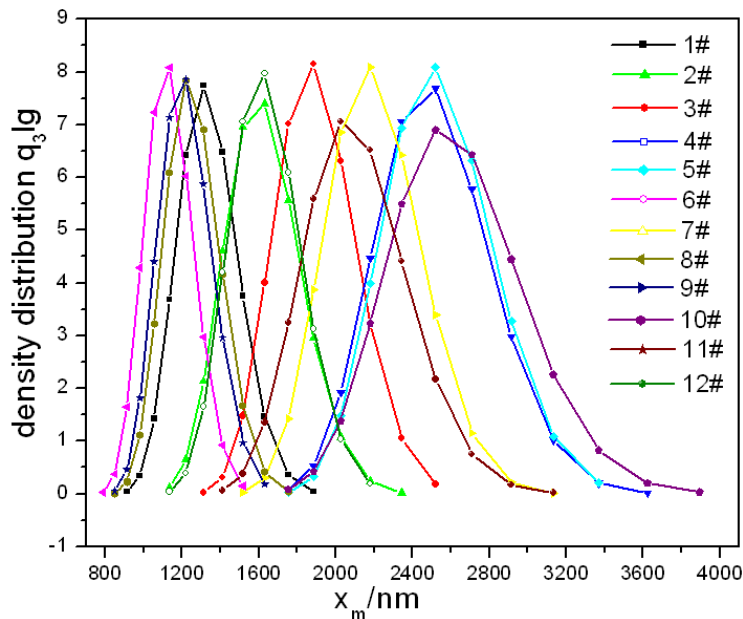
Дээж	Бөөмийн дундаж диаметр, x_{50} , мкм	Бөөмийн хэмжээсийн тархалтын муж	Бөөмийн хувийн гадаргуугийн талбай, S_v [$м^2/см^3$]	SMD, мкм	VMD, мкм
1#	1.3 ± 5	107 нм ÷ 1.9 мкм	4.62	1.20	1.30
2#	1.8 ± 5	107 нм ÷ 2.6 мкм	3.52	1.84	1.87
3#	1.5 ± 5	107 нм ÷ 2.4 мкм	3.81	1.50	1.60
4#	2.4 ± 4	124 нм ÷ 3.7 мкм	2.46	2.44	2.48
5#	2.5 ± 3	115 нм ÷ 3.7 мкм	2.44	2.40	2.50
6#	1.1 ± 3	80 нм ÷ 1.5 мкм	5.43	1.10	1.14
7#	2.1 ± 3	115 нм ÷ 3.2 мкм	2.80	2.14	2.18
8#	1.2 ± 3	86 нм ÷ 1.8 мкм	4.93	1.21	1.24
9#	1.1 ± 3	74 нм ÷ 1.8 мкм	5.10	1.10	1.20
10#	2.5 ± 3	115 нм ÷ 4.0 мкм	2.38	2.52	2.59
11#	2.0 ± 5	107 нм ÷ 3.2 мкм	2.97	2.02	2.08
12#	1.6 ± 4	100 нм ÷ 2.4 мкм	3.78	1.50	1.60

Дээжүүд дэх бөөмсийн нягтын тархалтын NANOPHOX багажаар хэмжсэн утгыг 3-р хүснэгтэд эмхэтгэн харуулав.

Дээж→	3-р хүснэгт											
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#
$x_m, nm \downarrow$	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}	q_{3lg}
790.02						0.03						
849.44						0.37		0.01	0.05			
913.33	0.04					1.65		0.23	0.46			
982.03	0.34					4.29		1.12	1.81			
1055.90	1.42					7.23		3.22	4.40			
1135.32	3.68		0.12			8.08		6.09	7.14			0.04
1220.71	6.42		0.66			6.03		7.84	7.85			0.39
1312.53	7.74	0.02	2.14			2.97		6.91	5.87			1.65
1411.26	6.48	0.31	4.61			0.92		4.16	2.96		0.06	4.20
1517.41	3.75	1.47	6.95			0.15	0.02	1.67	0.97		0.38	7.05
1631.54	1.47	4.00	7.40				0.30	0.42	0.18		1.35	7.97
1754.26	0.36	7.01	5.57	0.07	0.02		1.42	0.05		0.08	3.24	6.09
1886.21	0.04	8.15	2.95	0.53	0.33		3.87			0.42	5.59	3.12
2028.09		6.31	1.07	1.92	1.49		6.85			1.39	7.05	1.03
2180.63		3.23	0.24	4.47	3.99		8.09			3.24	6.52	0.19
2344.65		1.05	0.02	7.06	6.94		6.42			5.50	4.41	
2521.01		0.18		7.68	8.08		3.39			6.90	2.17	
2710.63				5.78	6.31		1.15			6.43	0.75	
2914.52				2.98	3.28		0.22			4.45	0.17	
3133.74				1.02	1.09		0.01			2.26	0.02	
3369.45				0.20	0.20					0.83		
3622.89				0.01						0.20		
3895.39										0.03		

Тайлбар: x_m -бөөмийн диаметр, q_{3lg} -бөөмийн нягт

Бөөмийн хэмжээ ба нягтын хамаарлыг 2-р зураг дээр үзүүлэв.



2-р зураг. Бөөмийн нягтын тархалт

1 ба 2-р хүснэгтээс харахад автозамын дагуух бөөмсийн дундаж диаметр (1.1 ± 3) -ээс (2.5 ± 3) мкм, бөөмийн хэмжээний тархалтын муж 74 нм-4.0 мкм, бөөмийн хувийн гадаргуугийн талбай $(S_v) 2.38 \pm 5.43 [m^2/cm^3]$, бөөмийн гадаргуугийн дундаж диаметр (SMD) 1.10-2.52 мкм, бөөмийн эзэлхүүний дундаж диаметр (VMD) 1.14-2.59 мкм зэрэг утгуудтай байна. Хэмжилтийн явцад 74 нм-ээс бага

хэмжээтэй бөөм бүртгэгдээгүй болно. Энэ нь агаар мандлын хэт-нарийн бөөмүүд (нанобөөм) ойролцоогоор 100 нм-ээс бага диаметртэй бөгөөд өндөр ба нам температурын үүсгүүрүүдээс үүсээд шууд агаар мандал руу дэгддэг ба харин буцаад тунах үзэгдэл бараг явагдаггүйтэй холбоотой байж болох юм. Эндээс бөөмийн дундаж диаметр, түүний тархалтын муж буурахаар бөөмийн хувийн

гадаргуугийн талбай ихсэж, SMD ба VMD багасах зүй тогтол ажиглагдаж байна.

2-р хүснэгтээс үзэхэд бөөмүүд 790нмч3.8мкм мужид 0.02-оос 8.15(q_3lg) хүртэл нягттайгаар гаусс тэгш хэмтэйгээр түгсэн байна (2-р зураг).

1-р зургаас нийт дээжүүдийн хувьд бөөмүүд 74ч100 нм мужид эзэлхүүний 0.02%-ийг хэт нарийн бөөм буюу нанобөөм, 100нмч2.4мкм мужид дунджаар эзэлхүүний 83.73%-ийг нарийн ширхэгтэй бөөм (PM2.5), 2.4ч4.0мкм мужид эзэлхүүний 100%-ийг том хэмжээт бөөм (PM10) тус тус эзэлж байна. Эндээс автомашины дагуух тоосонцорын дээжүүдэд PM2.5, PM10 бөөмүүдийн агууламж өндөр хувьтай байдаг нь ажиглагдаж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

1. Автозамын дагуух бөөмсийн дундаж диаметр(1.1 ± 3)-ээс (2.5 ± 3)мкм, бөөмийн хувийн гадаргуугийн талбай (Sv) $2.38ч5.43[m^2/cm^3]$, бөөмийн хэмжээсийн тархалтын муж 74нмч4.0мкм гэж тодорхойлов.
2. Хэмжилтийн явцад 74нм-ээс бага хэмжээтэй бөөм бүртгэгдээгүй болно.
3. Бөөмийн дундаж диаметр, түүний тархалтын муж буурахаар бөөмийн хувийн

гадаргуугийн талбай ихсэж, SMD ба VMD багасах зүй тогтол ажиглагдаж байна.

4. Бөөмүүд 790нмч3.8мкм мужид 0.02-оос 8.15(q_3lg) хүртэл нягттайгаар гаусс тэгш хэмтэйгээр түгсэн байна.
5. Дээжүүдийн хувьд бөөмүүд 74ч100 нм мужид эзэлхүүний 0.02%-ийг хэт нарийн бөөм буюу нанобөөм, 100нмч2.4мкм мужид дунджаар эзэлхүүний 83.73%-ийг нарийн ширхэгтэй бөөм (PM2.5), 2.4ч4.0мкм мужид эзэлхүүний 100%-ийг том хэмжээт бөөм (PM10) тус тус эзэлж байна.
6. Автомашины дагуух тоосонцорын дээжүүдэд PM2.5 бөөмүүдийн агууламж өндөр хувьтай байна.

АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ

1. NSF Workshop Report on “Emerging Issues on Nanoparticles Aerosol Science and Technology (NAST)”, University of California, Los Angeles, June 27-28, 2003.
2. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол. Дэлхийн банк, Хэлэлцүүлгийн баримт бичиг. 2009 оны 12 сар.
3. Nanophox Operating Instructions. © 2008, Sympatec GmbH, System-Partikel-Technik, Am Pulverhuas 1, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland.