

# Өндөр нягтшилтай, нимгэн цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц

Д.Номин-Эрдэнэ\*, Э.Билгүүн, Б.Ганбат†

\* † Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим,  
Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль,  
Монгол Улсын Их Сургууль

\* nomin-erdene@seas.num.edu.mn † ganbat@seas.num.edu.mn

**Хураангуй**— Тусгай зориулалтын нүдний шилгүйгээр гурван хэмжээст дүрсийг хардаг Цэгэн гэрэл үүсгэгч буюу Point Light Source (цаашид PLS гэх) дэлгэцийг томоор хийхэд цуглуулагч линзээс шалтгаалж нүсэр том, зузаан болдог бөгөөд хоёр Цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог нягтшил бага гэсэн дутагдалтай. Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь томоор хийж болох өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийг лабораторийн орчинд хийх юм. Нэмэлтээр элементал линз бүрийн ард  $3 \times 3$  гэрэл үүсгэгч, линз матриц, хаалт ашиглан цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайг багасган нимгэн дэлгэцтэй нэмэлт гэрлийн үүсгүүрийг өөр өөр өнцгөөр тусгахгүй болсон. Туршилтын үр дүнгээс харахад бидний дэвшүүлж буй шинэ арга нь цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайг 3 дахин багасгаж чадсанаар нягтшилыг 3 дахин ихэсгэж байна.

**Түлхүүр үг**— *Integral Imaging display, 3-D display, Point Light Source display*

## I. ОРШИЛ

Гурван хэмжээстээр (3-D) хардаг олон төрлийн дэлгэцийн технологиуд байдаг [1-4]. Эдгээрээс нийлмэл дүрсийн [1, 4] технологийн нэг төрөл болох PLS дэлгэц нь дэлгэцэнд гарах дүрсийг харахдаа, хэрэглэгч тусгай зориулалтын нүдний шилгүйгээр хардаг, өнгөт, хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн дагуу 3-D-ээр хардаг, хэрэглэгчийн байрлалаас хамаарахгүй гэх мэт олон давуу талтай боловч харагдах өнцөг бага [5-8], гүний хэмжээ бага [9,10], нэг цэгийн хэмжээ том буюу нягтшил бага зэрэг дутагдалтай [11, 12]. PLS дэлгэцийн нягтшил нь хоёр цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог. Уг дэлгэцийн урд суугаа хэрэглэгчийн нүдэнд 3-D дүрс нь өндөр нягтшилтай буюу цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зай бага байх тусмаа илүү тод хардаг. Уламжлалт PLS дэлгэцийн нягтшил бага байгаагаас энгийн хэрэглээнд нэвтэрч чадахгүй байна. Yunhee Kim нар цахилгаанаар Pinhole массивыг (олон жижиг нүхтэй хаалт) X, Y тэнхлэг дагуу хөдөлгөн нягтшилийг 3 дахин ихэсгэсэн боловч механик хөдөлгөөн хийдэг, байрлал бүрт элементал зургаа өөрчилдөг дутагдалтай [13]. Jae-Hyeung Park нар уламжлалт PLS дэлгэцийн цуглуулагч линз болон линз матриц хоёрын хооронд линз матриц нэмж байрлуулан дэлгэцийн нягтшилыг сайжруулдаг боловч өртөг өндөртэй, зузаан дэлгэц болдог сул талтай [14]. Энэхүү илтгэлд PLS дэлгэцийн цуглуулагч линзийн оронд линз матриц, нэмэлтээр гэрэл үүсгэгч, хаалт байрлуулсанаар дэлгэц нимгэрч, нягтшилыг 3

дахин ихэсгэх бидний шинэ аргыг танилцуулна. Хоёрдугаар бүлэгт уламжлалт аргаар тодорхойлсон нягтшилын талаар, гуравдугаар бүлэгт бидний дэвшүүлж буй PLS дэлгэцийн нягтшилыг ихэсгэх аргын талаар, дөрөвдүгээр бүлэгт лабораторийн орчинд угсарсан өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн туршилтын үр дүнгийн талаар, тавдугаар бүлэгт дүгнэлтийг танилцуулна.

## II. УЛАМЖЛАЛТ PLS ДЭЛГЭЦИЙН БҮТЭЦ ТҮҮНИЙ НЯГТШИЛ

Нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн нэг төрөл болох PLS дэлгэцийн бүтцийг Зураг 1-д үзүүлэв. Уг дэлгэц нь гэрэл үүсгэгч, цуглуулагч линз, линз матриц, хоёр хэмжээст тунгалаг Spatial Light Modulator (цаашид SLM гэх) дэлгэцээс бүрдэнэ.

Цуглуулагч линзийн фокусын урт  $f_1$ -д байгаа гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацраг цуглуулагч линзээр нэвтэрч цуглуулагч линзийн оптик гол тэнхлэгтэй параллель цацрагууд болж тархана. Эдгээр параллель цацрагууд линз матрицаар нэвтэрч линз матрицаас  $f$  зайд буюу линз матрицын фокусын цэг дээр цугларна. Тиймээс линз матрицын жижиг линз (цаашид элементал гэх) бүрийн ард цугларах бөгөөд энэ нь элементал линз болгоны ард нэг гэрэл үүсгэгч байгаа мэтээр харагдана. Эдгээрийг цэгэн гэрэл үүсгэгч гэж нэрлэдэг. Линз матрицын фокусын уртаас хоёр дахин их буюу  $2 \cdot f$  зайд SLM дэлгэц байрлах бөгөөд уг дэлгэцэнд элементал дүрсийг үзүүлнэ.

Ингэж байрлуулсанаар PLS дэлгэцийн зузаан нь  $l_{d,con}$  хэмжээгээр тодорхойлогдох ба гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагыг параллель болгох үүрэгтэй цуглуулагч линз нь томрох тусмаа фокусын урт ихэсч дэлгэц зузаан, нүсэр болдог сул талтай. Цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд SLM дэлгэцээр нэвтрэхдээ элементал зургаар модульцлагдаж 3-D дүрсийг үүсгэнэ. Зураг 1-д үзүүлсэнээр нийлмэл цэг нь SLM дэлгэцээр модульцлагдсан “Elemental Image” (EI)-үүдийн хөндлөн огтлолцол дээр үүсдэг. Жишээ нь, Зураг 1-д үзүүлсэнээр гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд линз матрицын элементал линз  $L_4, L_5, L_6, L_7, L_8, L_9$  тус бүрээр нэвтэрч  $EI_{4,1}, EI_{5,1}, EI_{6,1}, EI_{7,1}, EI_{8,1}, EI_{9,1}$  элементал цэгүүдээр нэвтрээд нэг цэгт огтлолцох бөгөөд Z, Y тэнхлэгийн  $z_1, y_1$  зайд нийлмэл  $P_1$  цэг үүснэ.

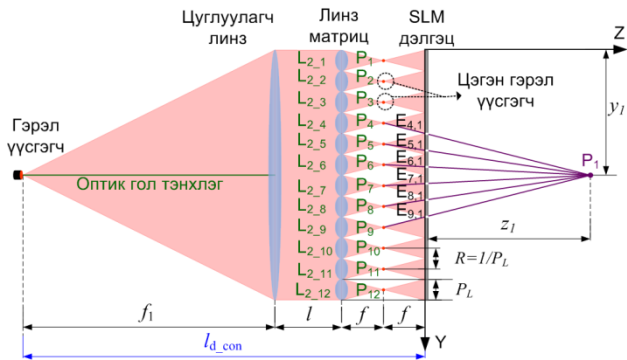
Цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд цааш тархахдаа хоорондоо давхцахгүй байрлал болох линз матрицын фокусын урт  $f$ -тай тэнцүү зайд SLM дэлгэцийг байрлуулдаг ба энэ нь линз матрицыг

бүрдүүлж буй элементал линзийн хэмжээтэй тэнцүү байна.

Уг дэлгэцийн нягтшилыг өмнөх ажлуудад [11, 12] элементал линзийн хэмжээн урвуугаар буюу дараах томъёогоор тодорхойлсон байдаг.

$$R = \left( \frac{1}{P_L} \right). \quad (1)$$

Үүнд:  $P_L$  – линз матрицыг бүрдүүлж буй нэг элементал линзийн хэмжээ (мм – ээр хэмжигдэнэ).



Зураг 1. PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт, түүний нягтшилын тооцоолол.

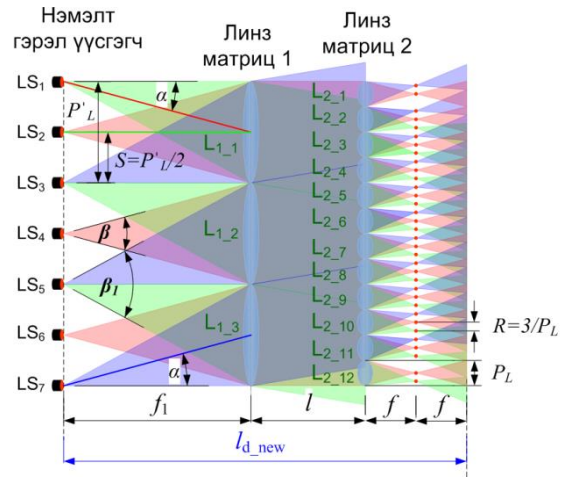
Зураг 1-д үзүүлсэнээр PLS дэлгэцийн нягтшил нь хоёр цэгэн гэрэл үүсгэгчийн хоорондох зайгаар тодорхойлогддог. Томъёо (1)-ээс линз матрицийн элементал линзийн хэмжээ бага байх тусмаа PLS дэлгэцийн нягтшил ихэснэ гэдэг нь харагдаж байна. Уг томъёогоор PLS дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ буюу дэлгэцэнд ашиглаж буй линз матрицийн элементал линзийн хэмжээ 1 мм гэвэл нягтшил нь урвуугаар тодорхойлогдож  $1/1 \text{ мм} = 1$  болно. Энгийн хоёр хэмжээст LCD дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ нь дунджаар 0.25 мм байгаа ба нягтшил нь  $1/0.25 \text{ мм} = 4$  болоод байна. Үүнээс PLS дэлгэцийн нягтшил бага байгаа нь энгийн хэрэглээнд маш бага хэмжээ ба 3-D дүрсийг бүдэг харна гэсэн үг. Тиймээс бид нягтшилыг ихэсгэх өөрсдийн шинэ арга буюу нэмэлт гэрэл үүсгэгч, хаалт, линз матриц ашигласан аргыг санал болгож байна.

### III. ӨНДӨР НЯГТШИЛТАЙ, НИМГЭН PLS ДЭЛГЭЦИЙН АРГА

#### A. Нягтшил ихэсгэх арга ба сул талууд

Зураг 2-д PLS дэлгэцийн нягтшилыг ихэсгэх аргыг үзүүлсэн байна. Тус арга нь нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийг линз матриц 1-ийн ард гэрэл үүсгэгчид хоорондоо  $S (P'_L/2)$  зайд буюу линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн гол болон захад байрлуулна. Тухайн зай нь линз матриц 1-ийн элементал линзийн хэмжээнээс 2 дахин бага байна. Жишээ нь, Зураг 2-ийн нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3$ -г линз матриц 1-ийн ард байрлуулахдаа элементал линз  $L_{1,1}$ -ийн голд нь гэрэл үүсгэгч  $LS_2$ -г, хоёр захад нь гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_3$ -г байрлуулна. Нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ээс цацарсан цацрагууд линз матриц 1-ийн элементал линз бүрээр нэвтрэн оптик гол тэнхлэг дагуу параллель цацраг

болон линз матриц 2-ыг нэвтрэн гарна. Линз матриц 2-ын элементал линз бүрээр нэвтрэн гарсан цацрагууд түүний ард цугалж цэгэн гэрэл үүсгэгч болно. Эдгээр цэгэн гэрэл үүсгэгчдийн хоорондох зай нь  $P_L/3$  буюу Зураг 2-д үзүүлсэнээр линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээнээс 3 дахин бага байна.



Зураг 2. Нягтшил ихэсгэх аргын геометр байгуулалт.

Энэ нь Зураг 1-д үзүүлсэн уламжлалт PLS дэлгэцийн цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайнаас 3 дахин бага байгаагаас нягтшил 3 дахин ихэснэ. Үүнээс нягтшил нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$R = \left( \frac{3}{P_L} \right). \quad (2)$$

Зураг 2-ийн гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийн тусгалын өнцөг  $\alpha$ , линз матриц 1-ийн фокусын урт  $f_1$  нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$\alpha = \arctan \left( \frac{P_L}{3 \cdot f} \right). \quad (3)$$

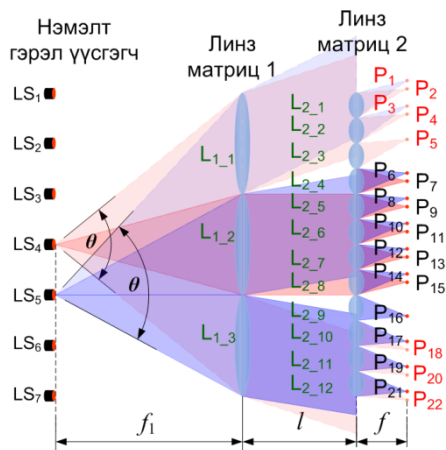
Үүнд:  $f$  – Линз матриц 1-ийн фокусын урт (мм – ээр хэмжигдэнэ). Уг өнцгийг ашиглаад нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$  нь линз матриц 1-ийн хөрш хоёр элементал линзийн хооронд байна гээд фокусын уртыг олбол:

$$f_1 = \left( \frac{P'_L}{\tan \alpha} \right). \quad (4)$$

Үүнд:  $P'_L$  – линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээ (мм – ээр хэмжигдэнэ). Зураг 1-ийн нэг гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцэнд Зураг 3-д үзүүлсэнээр  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$  гэсэн хоорондоо  $S (P'_L/2)$  зайтай нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг нэмж байрлуулсанаар PLS дэлгэцийн нягтшилыг 3 дахин сайжруулах боловч бодит амьдрал дээр гэрэл үүсгэгч  $LS_4$ -ийг  $\beta$  өнцгөөр, гэрэл үүсгэгч  $LS_5$ -ийг  $\beta_1$  өнцгөөр тус тус цацруулах боломжгүй юм. Өөрөөр хэлбэл Зураг 2-д үзүүлсэнээр гэрэл нь  $\beta, \beta_1$  өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -г олох хэцүү байдаг сул талтай. Ихэнх тохиолдолд ижил өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч олдоц ихтэй, өргөн ашиглагддаг.

Жишээ нь, Зураг 3-д гэрэл үүсгэгч  $LS_4, LS_5$ -г асааж, бусад гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_6, LS_7$ -г

унтраалттай буюу гэрэл үүсгэгч  $LS_4, LS_5$ -ийн гэрэл нь ижил өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч ашигласан гэж үзье. Үүнээс Зураг 3-д гэрэл үүсгэгч  $LS_4, LS_5$ -ийн гэрэл адил  $\theta$  өнцгөөр цацарна. Гэрэл үүсгэгч  $LS_4$ -өөс цацарсан гэрэл линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}, L_{1,3}$ -ээр цуглуулагдаж хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгч болох  $P_2, P_4, P_5, P_{18}, P_{20}, P_{22}$ -ыг үүсгэнэ. Гэрэл үүсгэгч  $LS_5$ -аас цацарсан гэрэл линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}$ -ээр цуглуулагдаж хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгч болох  $P_1, P_3$ -ыг үүсгэнэ.



Зураг 3. Хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт.

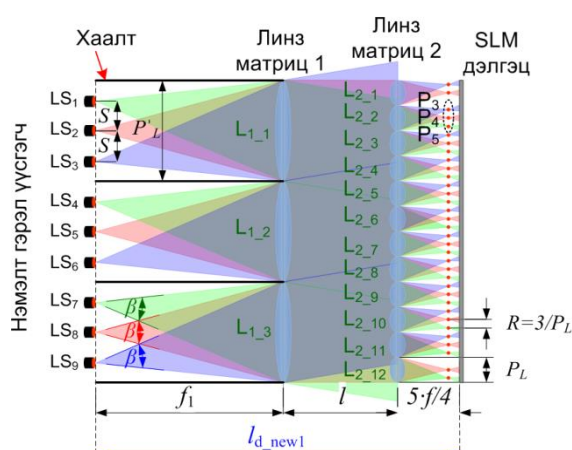
Зураг 2-д үзүүлсэн PLS дэлгэц нь нягтшилийг сайжруулж байгаа боловч Зураг 3-д үзүүлсэн шиг хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэдэг дутагдалтай талтай. Хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэхгүйн тулд нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7$ -ийн гэрлийг хоорондоо ялгаатай өнцгөөр цацруулах шаардлагатай юм.

*В. Дэвшүүлж буй өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн арга*

Зураг 4-д бидний дэвшүүлж буй аргын PLS дэлгэцийг хажуу талаас нь харуулсан байна. Тус шийдлийн PLS дэлгэц нь нэмэлтээр  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$  гэрэл үүсгэгч буюу линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн ард  $3 \times 3$  ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч, хаалт буюу чиглүүлэгч, дурын үзүүлэлттэй 2 ширхэг линз матриц, SLM дэлгэцээс бүрдэнэ. Линз матриц 1 нь нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан гэрлийн цацрагыг элементал линз бүрийнхээ оптик гол тэнхлэг дагуу параллель чиглэлтэй цацраг болгох үүрэгтэй. Линз матриц 2 нь цэгэн гэрэл үүсгэгчийг үүсгэх үүрэгтэй. Жишээ нь, Зураг 4-д гэрэл үүсгэгч  $LS_1$ -ээс гарсан цацрагууд, гэрэл үүсгэгч  $LS_2$ -оос гарсан цацрагууд, гэрэл үүсгэгч  $LS_3$ -аас гарсан цацрагууд линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}$ -ээр нэвтрээд гэрэл үүсгэгч бүрийн тусгалын өнцөг дагуу параллель цацрагууд болон цааш тархана. Тус цацрагууд линз матриц 2-ын  $L_{2,2} \dots$  гэх мэт элементал линз бүрээр цуглуулагдаж  $P_3, P_4, P_5 \dots$  гэх мэт цэгэн гэрэл үүсгэгчийг үүсгэнэ. Хаалт нь Зураг 3-д үзүүлсэн шиг гэрэл үүсгэгч  $LS_4$ -ийн гэрлийн цацрагыг линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}, L_{1,3}$ -аар нэвтрүүлэхгүй, Зураг 2-д үзүүлсэн шиг Томъёо 3-аар тодорхойлогддог  $f_1$  фокусын урттай линз матриц 1-ийг

заавал ашиглахгүй болгох үүрэгтэй. Мөн хаалт нь линз матриц 1-ийн элементал линз бүрийн ард байрлах гэрэл үүсгэгчийн гэрлийн цацрагыг чиглүүлэх үүрэгтэй. Өөрөөр хэлбэл хаалт ашигласнаар хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсэхгүй бөгөөд дурын гэрэл үүсгэгчийг ашиглах боломжтой юм.

Тус шийдэлд хаалтыг нэмж байрлуулсанаар дээр дурьдсан Томъёо 3-аар тодорхойлогдсон фокусын  $f_1$  урттай линз матриц 1 байх албагүй болж, дурын хоёр ширхэг линз матриц ашиглах боломжтой болсон.



Зураг 4. Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн геометр байгуулалт, түүний нягтшилын тооцоолол.

Зураг 4-д тус шийдлийн дэлгэцийн линз матриц 1-ийн элементал линзийн ард байрлах нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2$  хоорондын зайг дараах томъёогоор илэрхийлнэ.

$$s = \left( \frac{P_L \cdot f_1}{3 \cdot f} \right). \tag{5}$$

Үүнд:  $f_1$  – линз матриц 2-ын фокусын урт (мм – ээр хэмжигдэнэ). Зураг 4-өөс харахад нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3$ -аас цацрах параллель цацрагууд линз матриц 2-оор нэвтрээд фокусын урт  $f$ -д цугларч цааш цацрахдаа  $f/4$  зайд давхцахгүй байна. Иймээс Зураг 4-д үзүүлсэнээр SLM дэлгэцийг линз матриц 2-оос  $5 \cdot f/4$  зайд байрлуулна. Үүнээс бидний дэвшүүлж буй шинэ аргаар PLS дэлгэц нь илүү нимгэрч  $l_{d\_new1}$  зайтай болж, өөр өөр өнцгөөр цацардаг гэрэл үүсгэгч шаардлагагүй, дурын 2 линз матриц ашиглах боломжтой бөгөөд хямд өртөгтэй, өндөр нягтшилтай, томоор хийж болох зэрэг давуу талуудтай болсон.

IV. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилтанд ашигласан элементүүдийн параметруудийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Бид Зураг 4-д үзүүлсэн тус шийдлийн дэлгэцээ нэмэлт гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3$ -тэй, линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}$ -тэй, линз матриц 2-той хэсгийн туршилт хийсэн. Лабораторийн орчинд угсарсан PLS дэлгэцийг Зураг 5-д үзүүлсэн байна.

Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийг угсрахдаа эхлээд линз матриц 1-ийн элементал линз  $L_{1,1}$ -ийн фокусын урт  $f_1$ -д  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_5, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$  гэсэн  $3 \times 3$  нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг байрлуулан

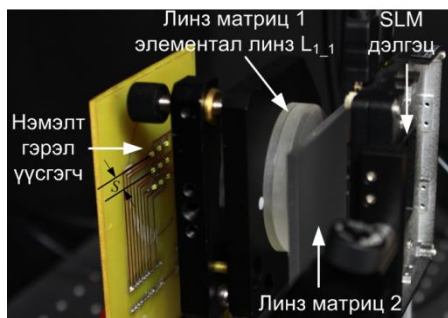
голын гэрэл үүсгэгч  $LS_5$ -ийг асаагаад оптик гол тэнхлэгтэй параллель цацраг болж буйг туршсан. Дараа нь линз матриц 1-ийн ард линз матриц 2-ийг байрлуулсан.

Линз матриц 2-ын фокусын урт  $f$ -д сарниулагч байрлуулан эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 6(а)-д үзүүлсэн байна. Энэ нь уламжлалт нэг гэрэл үүсгэгчтэй PLS дэлгэцийн цэгэн гэрлийн туршилт ба цэгэн гэрэл хоорондын зай нь  $P_L = 1$  мм байна.

Хүснэгт 1 Туршилтын параметрууд

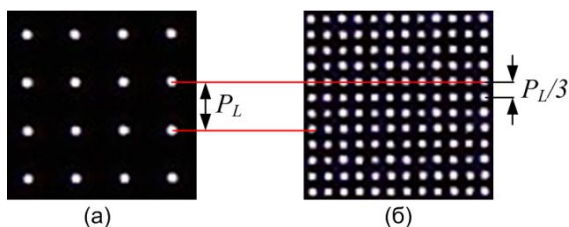
	Зориулалт	Үзүүлэлт
1	Гэрэл үүсгэгч буюу Surface-Mount Device Light-Emitting Diode (SMD LED)-ний хэмжээ	1.25 мм (Б) × 2 мм (Х)
2	Линз матриц 1-ийн элементал линзийн тоо	1 (Б) × 1 (Х)
3	Линз матриц 1-ийн хэмжээ	50.8 мм (Б) × 50.8 мм (Х)
4	Линз матриц 1-ийн фокусын урт	61.8 мм
5	Линз матриц 2-ын элементал линзийн тоо	50 (Б) × 50 (Х)
6	Линз матриц 2-ын хэмжээ	1 мм (Б) × 1 мм (Х)
7	Линз матриц 2-ын фокусын урт	3.3 мм
8	Линз матриц 2-аас SLM дэлгэц хүртэлх зай	4.125 мм
9	SLM дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ	0.036 мм
10	SLM дэлгэцийн цэгийн тоо	768 (Б) × 1024 (Х)
11	SLM дэлгэцийн хэмжээ	27 мм (Б) × 36 мм (Х)

Энэ хэмжээ нь линз матриц 2-ийн элементал линзийн хэмжээ юм.



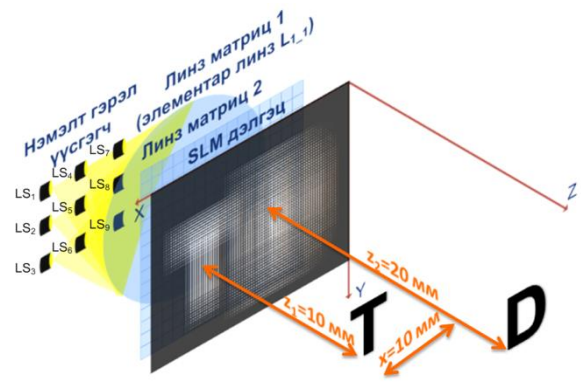
Зураг 5. Лабораторийн орчинд угсарсан өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэц.

Тухайн тохируулсан байрлалыг өөрчлөхгүйгээр бусад гэрэл үүсгэгч  $LS_1, LS_2, LS_3, LS_4, LS_6, LS_7, LS_8, LS_9$ -ийг асааж эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 6(б)-д үзүүлсэн байна. Үүнээс бидний дэвшүүлж буй арга нь цэгэн гэрэл үүсгэгч хоорондын зайг 3 дахин багасгаж байна.



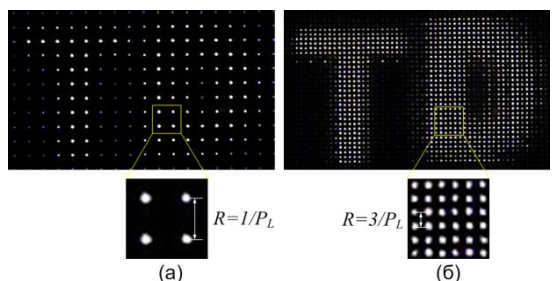
Зураг 6. Цэгэн гэрэл үүсгэгчийн туршилт. (а) нэг гэрэл үүсгэгчтэй уламжлалт арга, (б) нэмэлт гэрэл үүсгэгчтэй шинэ арга.

Линз матриц 2-оос нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцахгүй байрлал болох Хүснэгт 1-ийн үзүүлэлтээр  $5 \cdot f/4 = 4.125$  мм зайд SLM дэлгэцийг байрлуулах ёстой. Туршилтаар линз матриц 2-оос 4.1 мм зайд сарниулагчыг байрлуулахад нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцахгүй байсан. Түүнээс хол зайд сарниулагчыг байрлуулахад нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд хоорондоо давхцсан.



Зураг 7. Өндөр нягтшилтай, нимгэн PLS дэлгэцийн туршилтын геометр байгуулалт.

Тиймээс бид линз матриц 2-оос 4.1 мм зайд SLM дэлгэцээ байрлуулан Зураг 7-д үзүүлсэнээр SLM дэлгэцээ  $Z$  тэнхлэг дагуу 10 мм, 20 мм зайд, хоорондоо 10 мм зайтай "Т", "D" гэсэн 3-D дүрс үүсгэхээр элементал зургийг үүсгэсэн. Зураг 7-д үзүүлсэн шиг элементал зургаа SLM дэлгэцдээ гаргаад, үүссэн 3-D дүрсээ эгц урдаас нь камераар авсныг Зураг 8-д үзүүлсэн байна. Зураг 8(а)-д  $LS_5$  гэрэл үүсгэгчийг асаасан үеийн 3-D дүрсийн зургийг үзүүлсэн байна. Энэ нь уламжлалт PLS дэлгэцийн туршилт ба бидний ашигласан линз матриц 2-ын элементал линзийн хэмжээ 1 мм гээд нягтшил нь 1 байна.



Зураг 8. PLS дэлгэцийн туршилт (а) уламжлалт арга, (б) бидний дэвшүүлж буй арга.

Зураг 8(б)-д бидний дэвшүүлж буй аргын туршилт ба PLS дэлгэцийн нягтшил нь 3 болсон ба уламжлалт PLS дэлгэцийн нягтшилийг 3 дахин ихэсгэж байна.

## ДҮГНЭЛТ

Бидний дэвшүүлж буй аргад гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагыг параллель болгох үүрэгтэй, фокусын урт ихтэй, том хэмжээтэй цуглуулагч линзийн оронд линз матриц ашигласнаар дэлгэц нимгэрч, томоор хийх боломжтой болсон. Нэмэлт гэрэл үүсгэгчийг линз матриц 1-ийн ард хоорондоо  $S=P'L/f/3\cdot f$  зайтайгаар байрлуулсанаар линз матриц 2 ын элементал линз бүр нь хоорондоо  $P_L/3$  зайтай, 3 ширхэг цэгэн гэрэл үүсгэж байгаа бөгөөд нягтшилийг 3 дахин ихэсгэсэж байна. Бидний дэвшүүлж буй аргад дурын үзүүлэлттэй 2 ширхэг линз матриц ашиглах боломжтой гэсэн боловч туршилт хийхдээ Монголд худалдаалагдаж буй хамгийн жижиг хэмжээтэй гэрлэн диодыг (SMD LED) гэрэл үүсгэгч болгон ашигласан ба үүний хэмжээ нь бидэнд байгаа 2 ширхэг линз матрицаар туршилт хийхэд тохиромжгүй байсан тул линз матриц 1-ийн зөвхөн нэг элементал линзийн хувьд туршилт хийсэн. Энэ туршилт нь тус шийдлийн дэлгэцийг томоор хийхэд үр дүн нь адилхан юм. Хаалт нь хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсгэхгүй байх үүрэгтэй ба линз матриц 1-ийн хувьд зөвхөн нэг элементал линз ашигласан учир хүсээгүй цэгэн гэрэл үүсэхгүй болж хаалтгүй туршилт хийсэн. Бид  $3 \times 3$  ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан нягтшилийг 3 дахин ихэсгэдэг шинэ аргаар туршилт хийсэн ба энэ мэтчилэн  $n \times n$  ширхэг нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан нягтшилийг  $n$  дахин ихэсгэх боломжтой юм.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] T.-C. Poon, *Digital Holography and Three-Dimensional Display*. New York: Springer, 2006.
- [2] M. M. Halle, "Autostereoscopic displays and computer graphics," *Computer Graphic, ACM Siggraph*, vol. 31, no. 2, pp 58–62, 1997.
- [3] Knut Langhans, Daniel Bezecny, Dennis Homann, Detlef Bahr, Carsten Vogt, Christian Blohm, Karl-Heinz Scharschmidt, "New portable FELIX 3D display," *Proc. SPIE 3296*, pp. 204, 1998.
- [4] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," *Comptes-Rendus Academie des Sciences*, vol. 146, pp. 446, 1908.
- [5] J. -H. Park, J. Kim, J.- P. Bae, Y. Kim, and B. Lee, "Viewing Angle Enhancement of Three-Dimension/TwoDimension Convertible Integral Imaging Display Using Double Collimated or Noncollimated Illumination," *Jpn. J. Appl. Phys*, vol. 44, pp. 991-994, 2005. J.-H. Park, S. -W. Min, S. Jung, and B. Lee, "Analysis of viewing parameters for two display methods based on integral photography," *Appl. Opt.*, vol. 40, pp. 5217-5232, 2001.
- [6] S. -W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," *Appl. Opt.*, vol. 42, pp. 4186-4195, 2003.
- [7] H. Choi, J.-H. Park, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, "Wide-viewing-angle 3D/2D convertible display system using two display devices and a lens array," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 8424-8432, 2005.
- [8] J.-H. Park, H.-R. Kim, Y. Kim, J. Kim, J. Hong, S.-D. Lee, and B. Lee, "Depth-enhanced three-dimensional-two-dimensional convertible display based on modified integral imaging," *Opt. Lett.*, vol. 29, pp. 2734-2736, 2004.
- [9] H. Choi, S.-W. Cho, J. Kim, and B. Lee, "A thin 3D-2D convertible integral imaging system using a pinhole array on a polarizer," *Opt. Express*, vol. 14, pp. 5183-5190, 2006.
- [10] Ashraful Alam, Ganbat Baasantseren, Munkh-Uchral Erdenebat, Nam Kim S, and Jae-Hyeung Park "Resolution Enhancement of Integral Imaging Three-Dimensional Display Using Multi-Directional Elemental Images," *Journal of the Society for Information Display*, vol. 20(4), pp. 175–234, 2012.
- [11] H. Choi, S. -W. Min, S. Jung, J. -H. Park, and B. Lee, "Multipleviewing-zone integral imaging using a dynamic barrier array for threedimensional displays," *Appl. Opt.*, vol. 11, pp. 927-932. 2003.
- [12] Yunhee Kim, Joohwan Kim, Jin-Mo Kang, Jae-Hyun Jung, Heejin Choi, and Byoungho Lee, "Point light source integral imaging with improved resolution and viewing angle by the use of electrically movable pinhole array," *Opt. Express*, vol. 15, pp. 18253-18267, 2007.
- [13] Jae-Hyeung Park, Joohwan Kim, Yunhee Kim and Byoungho Lee, "Resolution-enhanced three-dimension / two-dimension convertible display based on integral imaging," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 1875-1884, 2005.