

Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэх арга

Д. Номин-Эрдэнэ, Б. Ганбат*

Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим
Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль
Монгол Улсын Их Сургууль
Улаанбаатар, Монгол
*ganbatb@gmail.com

Хураангуй— Нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн нэг төрөл Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг тодорхойлохдоо линз матрицын фокусын зай болон линзийн хэмжээ хоёроос хамаарна гэж үздэг. Гэвч туршилт хийхэд энэ харагдах өнцгийн хэмжээ бага байдаг. Бидний энэ ажлын зориго нь цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэх юм. Нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг 3 дахин ихэсгэх боломжтой гэсэн шинэ аргыг дэвшүүлж байна. Уг нэмэлт үүсгэгчид нь нэг элементар линзийн цуглуулах цацргийн өнцгийг ихэсгэнэ. Тооцооллын үр дүнгээс цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн уламжлалт аргаар тодорхойлсон харагдах өнцөг нь хамгийн их харагдах өнцгийг илэрхийлдэг ба бидний дэвшүүлж буй аргаар харагдах өнцгийн хэмжээ ихэссэн.

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

I. ОРШИЛ

Нийлмэл дүрсэн дэлгэц нь тусгай зориулалтын шил ашигладаггүй, өнгөт, хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн дагуу 3D-ээр харах, хэрэглэгчийн байрлалаас үл хамаардаг гэх мэт олон давуу талтай боловч харагдах өнцөг бага, нэг цэгийн хэмжээ том зэрэг дутагдалтай талтай [1, 2]. 3D дэлгэцийн зургийг тодорхой мужид 3D-ээр харах бөгөөд уг мужийг өнцгөөр илэрхийлснийг харагдах өнцөг гэдэг. Жишээ нь хоёр хэмжээст LCD дэлгэцийн харагдах өнцөг бараг 175 градус болоод байна. Энэхүү өгүүлэлд нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн нэг төрөл цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэх бидний шинэ аргыг танилцуулна. Уламжлалт аргаар тодорхойлсон цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцөг нь энгийн хэрэглээнд маш бага хэмжээтэй байдаг. Өмнөх судалгааны ажлуудад харагдах өнцөг нь линзийн хэмжээ болон линз матрицын фокусын зайнаас хамаарна гэж үзэж байсан [3, 4, 5]. Нийлмэл дүрсийн дэлгэцэд Sung-Wook Min гэх мэт бүгд давхар дэлгэцийн систем ашиглаж [6], Dong-Hak Shin гэх мэт бүгд муруй дэлгэц ашигласан нийлмэл дүрсийн дэлгэцэд том линз нэмж [7], Heejin Choi гэх мэт бүгд dynamic barrier ашиглаж [8], Jae-Hyeung Park гэх мэт бүгд элементар линз сэлгэх маск ашиглаж [9], Sungyong Jung гэх мэт бүгд туйлшруулагч нэмж харагдах өнцгийг ихэсгэж байсан [10]. Энэ өгүүлэлд бид цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэх шинэ аргыг танилцуулна. Өгүүллийн 2-р бүлэгт уламжлалт аргаар

тодорхойлсон харагдах өнцгийн талаар, 3-р бүлэгт бидний дэвшүүлж буй цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэсэн талаар, 3-р бүлэгт тооцооллын үр дүн, 4-р бүлэгт дүгнэлтийг танилцуулна.

II. ЦЭГЭН ГЭРЭЛ ҮҮСГЭГЧ ДЭЛГЭЦИЙН ХАРАГДАХ ӨНЦГИЙН УЛАМЖЛАЛТ АРГА

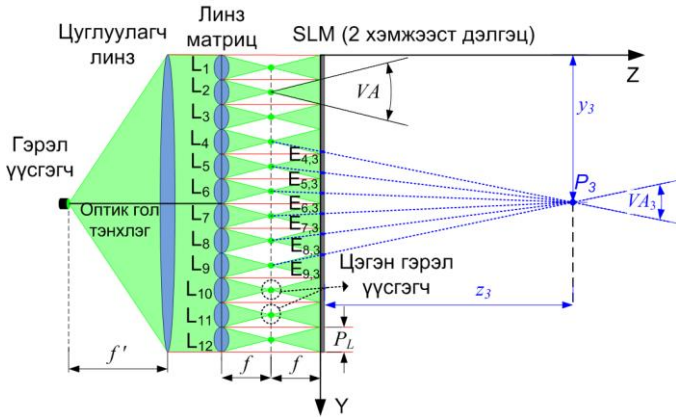
Нийлмэл дүрсэн дэлгэцийн нэг төрөл болох Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн бүтцийг Зураг 1-д үзүүлэв. Уг дэлгэц нь гэрэл үүсгэгч, цуглуулагч линз, линз матриц, хоёр хэмжээст тунгалаг дэлгэцээс бүрдэнэ. Цуглуулагч линзийн фокусын цэг дээр байгаа гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацраг цуглуулагч линзээр нэвтэрч линзийн оптик гол тэнхлэгтэй параллель цацрагууд болж тархана. Эдгээр параллель цацрагууд линз матрицаар нэвтэрч линз матрицаас f зайд буюу линзийн фокусын цэг дээр цуглана. Линз матрицын жижиг линз болгоны ард цугларах бөгөөд энэ нь линз болгоны ард нэг гэрлийн үүсгэгч байгаа юм шигээр харагдана. Эдгээрийг цэгэн гэрэл үүсгэгч гэж нэрлэдэг. Линз матрицын фокусын уртын зайнаас хоёр дахин их буюу $2 \cdot f$ зайд Тунгалаг хоёр хэмжээст дэлгэц байрлах бөгөөд уг дэлгэцэд элементар дүрсийг үзүүлнэ. Цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд Тунгалаг хоёр хэмжээст дэлгэцээр нэвтрэхдээ элементар дүрс дагуу модуляцлагдаж 3D дүрсийг үүсгэнэ. Зураг 1-д үзүүлснээр нийлмэл цэг нь 2 хэмжээст SLM дэлгэцээр модуляцлагдсан “Elemental Image” (EI)-үүдийн хөндлөн огтлолцол дээр үүсдэг. Жишээ нь, Нийлмэл P_3 цэг нь $EI_{4,3}$, $EI_{5,3}$, $EI_{6,3}$, $EI_{7,3}$, $EI_{8,3}$, $EI_{9,3}$ гэсэн зургаан цэгүүд нь линз матрицын нэг жижиг линз L_4 , L_5 , L_6 , L_7 , L_8 , L_9 гэсэн зургаан линз тус бүрээр цуглуулагдсан цэгэн гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагуудаар 2 хэмжээст дэлгэцээр модуляцлагдаж үүссэн байна. Учир нь EI-ийн хэмжээ нь линз матрицыг бүрдүүлж буй нэг жижиг линзийн хэмжээтэй тэнцүү байна.

Уг дэлгэцийн харагдах өнцгийг элементар линзийн (линз матрицын нэг жижиг линз) хэмжээ болон түүний фокусын зайгаар буюу дараах томъёогоор тодорхойлсон байдаг.

$$VA = 2 \cdot \arctan \left(\frac{P_L}{2 \cdot f} \right) \quad (1)$$

Үүнд:

P_L – Линз матрицыг бүрдүүлж буй нэг элементар линзийн хэмжээ (мм – ээр хэмжигдэнэ). f – Элементар линзийн фокусын зай (мм – ээр хэмжигдэнэ).



Зураг 1. Цэгэн гэрэл үүсгэгч нийлмэл 3D дүрсийн дэлгэцийн геометр байгуулалт, түүний харагдах өнцгийн тооцоолол.

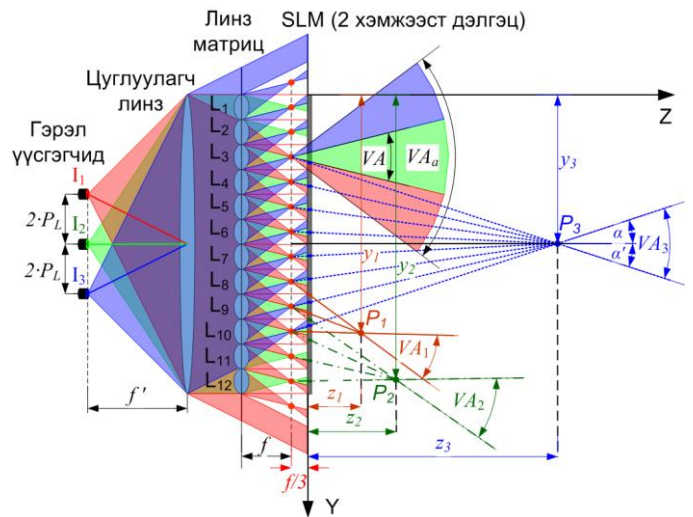
Зураг 1-д үзүүлснээр нэг элементар линзийн цуглуулах цацрагийн хэмжээгээр харагдах өнцөг VA тодорхойлсон байдаг. Томъёо (1) – д уламжлалт аргаар цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийн тооцооллыг үзүүлсэн байна. Уг томъёог ашиглаж элементар линзийн хэмжээ нь 1 мм, фокусын урт 3.3 мм линз матриц дээр харагдах өнцгийг бодвол 17.2° байна. Энэ нь энгийн хэрэглээнд маш бага хэмжээ ба цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн хамгийн их харагдах өнцгийн хэмжээг илэрхийлсэн байдаг. Зураг 1-д үзүүлснээр нийлмэл цэг P_3 -ийн харагдах өнцөг VA_3 болон цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцөг VA -ээс бага байгааг харж болно. Харагдах өнцөг VA_3 нь нийлмэл цэг P_3 -ийг үүсгэж буй $EI_{4,3}$, $EI_{9,3}$ болох захын цацрагуудын хоорондох өнцгөөр тодорхойлогдоно. Тиймээс бид энэхүү харагдах өнцгийг ихэсгэх өөрсдийн шинэ арга буюу нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашигласан аргыг санал болгож байна.

III. Цэгэн гэрлийн үүсгэгчтэй дэлгэцийн харагдах өнцгийг ихэсгэх арга

Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцөг нь нэг линзийн цуглуулах цацрагийн хэмжээгээр тодорхойлогддог учир бид энэ цацрагийн хэмжээг ихэсгэхийн тулд нэмэлт гэрэл үүсгэгчдийг ашигласан. Зураг 2-т үзүүлснээр өөр өөр зайд байгаа нэмэлт гэрэл үүсгэгчээс гарсан гэрлийн цацрагууд цуглуулагч линзээр нэвтрээд туссан гол чиглэлтэйгээ параллель цацрагууд болж тархана. Өөр өөр чиглэлд тархаж байгаа параллель цацрагууд линз матрицаар нэвтрээд элементар линз болгоны ард цуглах бөгөөд энэ цуглаж байгаа цацрагуудын өнцөг нь нэг гэрлийн үүсгэгчтэй байснаас их болох бөгөөд энэ ихэссэн өнцгийн хэмжээгээр харагдах өнцөг ихэснэ. Бид тунгалаг SLM дэлгэц дээр тусаж байгаа цацрагийн хэмжээ элементар линзийн хэмжээтэй тэнцүү байна гэдэг нөхцөлийн дагуу хоёр хэмжээст дэлгэцийг линз матрицаас $f+f/3$ хэмжээнд байрлуулсан. Нэмэлт гэрэл үүсгэгчдийн хоорондын зайг $2 \cdot P_L$ хэмжээнд харагдах өнцгийг бодвол,

$$VA_a = 2 \cdot \arctan\left(\frac{3 \cdot P_L}{2 \cdot f}\right) \quad (2)$$

Зураг 2-т бидний шинэ аргаар тодорхойлж буй дэлгэцийн I_1, I_2, I_3 гэрэл үүсгэгчдийн хоорондын зайг $2 \cdot P_L$ хэмжээтэй байхад өнцөг 3 дахин ихсэж байгааг үзүүлэв. Томъёо (2)-ыг ашиглаж нэг линзийн хэмжээ нь 1 мм, фокусын урт 3.3 мм линз матриц ашигласан цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг бодвол 48.8° байна. Гэрэл үүсгэгчдийн хоорондох зай $2 \cdot P_L$ байхад өөр өөр чиглэлээр туссан цацрагууд элементар линз болгоны төв дээр буюу фокусын цэг f дээр цуглана. Өөрөөр хэлбэл нэг цэгэн гэрэл үүсгэгч нь гурван үүсгэгчээс гурван өөр чиглэлээр ирж байгаа цацрагаар үүснэ. Жишээ нь: элементар Линз 3 фокусын цэг дээр үүсэж байгаа цэгэн гэрэл үүсгэгчийг тайлбарлах юм бол: I_1 үүсгэгчээс гарсан цацрагууд Линз 2-оор цуглуулагдаж, I_2 гэрэл үүсгэгчээс гарсан цацрагууд Линз 3-аар цуглуулагдаж, I_3 үүсгэгчээс гарсан цацрагууд Линз 4-өөр цуглуулагдаж байгааг Зураг 2-т үзүүлэв. Нэмэлт линзүүд болох Линз 2 болон 4-өөр цуглуулдаг байгаа цацрагууд харагдах өнцгийг ихэсгэнэ.



Зураг 2. Нэмэлт гэрэл үүсгэгчтэй нийлмэл 3D дүрсийн дэлгэцийн бүтэц, гэрэл үүсгэгчдийн хоорондын зайг $2 \cdot P_L$ байрлалд байршуулсан үеийн харагдах өнцгийн тооцоолол.

Энэ мэтчилэн нэмэлт гэрэл үүсгэгчдийн хоорондын зайг өөрчлөн харагдах өнцгийг ихэсгэх боловч Зураг 2-т үзүүлснээр дурын байрлалд байх нийлмэл P_1, P_2, P_3 цэгүүдийн VA_1, VA_2, VA_3 харагдах өнцгүүд өөр хоорондоо ялгаатай байгааг харж болно. Зураг 2-т үзүүлснээр z_3 нь нийлмэл цэг P_3 -аас SLM дэлгэц хүртэлх зайтай тэнцүү байна. j', j – үүд нь линз L_3 болон L_{10} -ийн индексийг харгалзан илэрхийлнэ. Нийлмэл цэгийн харагдах өнцгийг томъёогоор илэрхийлбэл,

$$VA = \alpha + \alpha' = \arctan\left(\frac{y - (j - 0.5) \cdot P_L}{z + \frac{f}{3}}\right) + \arctan\left(\frac{(j' - 0.5) \cdot P_L - y}{z + \frac{f}{3}}\right) \quad (3)$$

Томьёо (3)-д харагдах өнцөг нь у тэнхлэг дагуух зай, z тэнхлэг дагуух зай буюу SLM дэлгэцээс нийлмэл дүрс хүртэлх зай, линз матрицын нэг жижиг линзийн хэмжээ түүний фокусын зайнаас хамаарч байна. Бид Томьёо (3)-г ашиглаж цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн үзүүлэх нийлмэл 3D цэг болгоны харагдах өнцгийг олж болно. Өөрөөр хэлбэл нийлмэл 3D цэгийн байрлал нь 3 хэмжээснээс хамаарах учраас эзлэхүүн доторх бүх цэгүүдийн өнцгийг тодорхойлох боломжтой болж байна. Дараагийн хэсэгт нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашигласан цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг хэрхэн тооцоолсон талаар өгүүлэх болно.

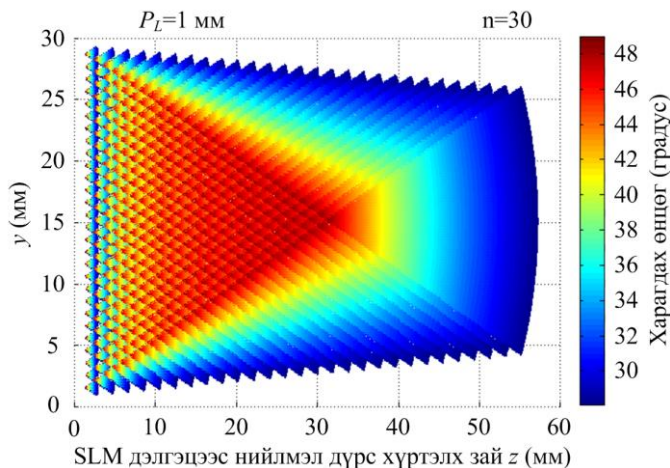
IV. ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

Тооцооллын параметруудийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц нь тодорхой эзлэхүүн дотор 3D цэгүүдийг дүрсэлдэг бөгөөд энэ нь манай системийн хувьд z тэнхлэгийн дагуух SLM дэлгэцээс 60 мм зай, у тэнхлэгийн дагуух 30 мм зай хооронд байна. Эзлэхүүний хэмжээ 30×60 мм². Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц бол гурван хэмжээст эзлэхүүнтэй дэлгэц боловч бид харагдах өнцөг нь x=0 yz хавтгай дээр тодорхойлсон. Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц нь тэгш хэмтэй дэлгэц учраас y=0 xz хавтгай болон x=0 yz хавтгай дээр тооцоолсон үр дүн адилхан.

ХҮСНЭГТ 1. ТООЦООЛЛЫН ПАРАМЕТРУУД

	Зориулалт	Үзүүлэлт
1	Линзүүдийн тоо	30 (Б) x 30 (Х)
2	Линзийн хэмжээ	1 мм (Б) x 1 мм (Х)
3	Линз матрицын фокусын зай	3.3 мм
4	2 хэмжээст дэлгэцээс линз матриц хүртэлх зай	4.4 мм

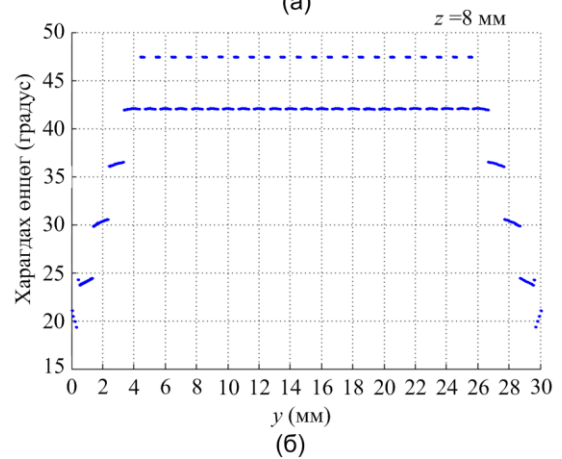
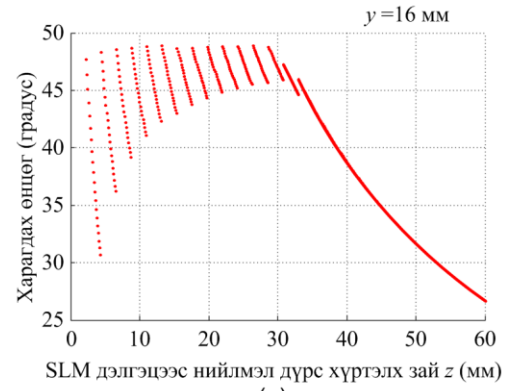
Зураг 3-д нэмэлт гэрэл үүсгэгчтэй цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг 300×600 нийлмэл цэг дээр бодсоныг үзүүлэв.



Зураг 3. Нийлмэл 3D цэгийн у тэнхлэг дагуух зай, SLM дэлгэцээс нийлмэл дүрс хүртэлх зайнаас хамаарсан харагдах өнцгийн тооцоолол.

Зураг 3-д хэрэв нийлмэл цэг нь 2 хэмжээст SLM дэлгэцтэй ойртох тусам харагдах өнцөг нь ихсэж байна. Энэ нь ижил

суурьтай гурвалжны өндөр ихсэх тусам оройн өнцөг ихэсдэгтэй адилхан юм. Тооцооллын үр дүнгээс хамгийн их харагдах өнцөг 48.8° нь уламжлалт аргаас 3 дахин их юм. Тиймээс бидний арга цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийг 3 дахин ихэсгэнэ. Тооцооллын үр дүнгээс харагдах өнцөг нь огцом өөрчлөгдөж байгаа зарим нэг сонирхолтой хавтгайгаар зүсэж үр дүнг Зураг 4-д үзүүлэв. Зураг 4(а)-д Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн у тэнхлэг дагуух 16 мм зайд, z тэнхлэг дагуух 0 мм-ээс 60 мм зайд харагдах өнцгийн тооцооллыг үзүүлсэн байна.



Зураг 4. (а) у тэнхлэг дагуух 16 мм зайд, z тэнхлэг дагуух 0-60 мм зайн (б) z тэнхлэг дагуух 8 мм зайд, у тэнхлэг дагуух 0-30 мм зайн харагдах өнцгийн тооцоолол

Бид z тэнхлэг дагуу 8 мм зайд, у тэнхлэгийн дагуу 0 мм-ээс 30 мм зайн харагдах өнцгийн тооцооллын үр дүнг Зураг 4(б)-д үзүүлэв. Нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашигласан цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн хамгийн бага харагдах өнцөг Зураг 4(б)-д үзүүлснээр 19° үүний учир нь линз матрицын захад байрлах нийлмэл цэгүүдийн EI-үүдийн тоо багассантай холбоотой.

V. Дүгнэлт

Бид нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашиглан цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах өнцгийн хэмжээг 3 дахин ихэсгэсэн. Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн 3D-ээр үзүүлэх нийлмэл цэг тус бүрийн харагдах өнцөг өөр өөр байсан ба SLM дэлгэцээс 0 мм-ээс 60 мм, у тэнхлэг дагуух 0 мм-ээс 30 мм-д 30×60 мм² эзлэхүүнд харагдах өнцгийг тодорхойлсон. Тооцооллын үр дүнд нийлмэл цэгүүдийн

харагдах өнцгүүд нь өөр өөр бөгөөд у, z тэнхлэгийн байрлалаас, элементар линзийн хэмжээ түүний фокусын зайнаас хамаарч байна. Тооцооллын үр дүнгээс харвал уламжлалт аргаар харагдах өнцөг нь 17.2° байхад нэмэлт гэрлийн үүсгэгч ашигласан бидний шинэ аргаар хамгийн их харагдах өнцөг нь 48.8° байсан. Үүнээс цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцэд нэмэлт гэрэл үүсгэгч ашигласнаар нэг гэрэл үүсгэгчтэй байх үеийн харагдах өнцөг нь 3 дахин ихэсч байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," *Comptes-Rendus Academie des Sciences*, vol. 146, 1908, pp. 446.
- [2] A. Stern and B. Javidi, "Three dimensional Sensing, Visualization, and Processing using Integral Imaging," *Proceedings of IEEE Journal, special issue on 3-D technologies for imaging and display*, vol. 94, 2006, pp. 591-607.
- [3] B. Lee, J. -H. Park, and S.- W. Min, "Three-dimensional display and information processing based on integral imaging," in *Digital Holography and Three-Dimensional Display*, T.-C. Poon, eds. (Springer, New York, USA, 2006).
- [4] 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
- [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.
- [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] D. -H. Shin, B. Lee, and E. -S. Kim, " Multidirectional curved integral imaging with large depth by additional use of a large-aperture lens, " *Appl. Opt.*, vol. 45, pp. 7375-7381. 2006
- [8] H. Choi, S. -W. Min, S. Jung, J. -H. Park, and B. Lee, " Multiple-viewing-zone integral imaging using a dynamic barrier array for three-dimensional displays, " *Appl. Opt.*, vol. 11, pp. 927-932. 2003
- [9] J. -H. Park, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, " Viewing-angle-enhanced integral imaging by elemental image resizing and elemental lens switching" *Appl. Opt.*, vol. 41, pp. 6875- 6883, 2002.
- [10] S. Jung, J. -H. Park, H. Choi, and B. Lee, " Wide-viewing integral three-dimensional imaging by use of orthogonal polarization switching" *Appl. Opt.*, vol. 42, pp. 2513- 2520, 2003.