

# Нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэцийн дүрсийн НЭГ ЦЭГИЙН ХЭМЖЭЭГ ТООЦООЛОХ

Б.Сүхнаран, Э.Билгүүн, Б.Ганбат  
Электроник, Холбооны инженерчлэлийн тэнхим  
Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн сургууль  
Монгол Улсын Их Сургууль  
Улаанбаатар хот, Монгол улс  
[Sukhnaran1118@gmail.com](mailto:Sukhnaran1118@gmail.com), [ganbat@seas.num.edu.mn](mailto:ganbat@seas.num.edu.mn)

**Хураангуй**—Нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэцийн дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь линз матрицнаас нийлмэл цэг хүртэлх зайнаас хамаарахгүй гэж үздэг. Гэвч бодит тооцооллын үр дүнгээс үзэхэд нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь линз матрицнаас 3D(Three Dimension) цэг хүртэлх зайнаас хамаарч өөрчлөгддөг. Тиймээс энэ судалгааны ажлаар нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг гүний хязгаараас нь хамааруулж хэрхэн тооцохыг танилцуулна. Шинэ аргаар нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээний өөрчлөлтийг тооцохдоо гурван хэмжээст цэгийг үүсгэж байгаа хамгийн захын цацрагуудаар тодорхойлно. Тооцооллын үр дүнгээс уламжлалт аргаар тооцоолсон нийлмэл 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь голын хавтгайгаас өмнөд болон хойд хавтгайруугаа ижил өөрчлөлттэй байсан бол бидний дэвшүүлж буй аргаар тооцоход харилцан адилгүй байна.

*Түлхүүр үг*—Integral Image Display, 3D Display

## I. ОРШИЛ

Нийлмэл гурван хэмжээст дүрсийн технологи нь 3D дэлгэцийн арга бөгөөд линз матриц ашиглан тусгай зориулалтын шилгүйгээр гурван хэмжээст дүрсийг харуулна. Анх 1908 онд Физикийн салбарын Нобелийн шагналт Gabriel Lippmann [1] дэвшүүлсэн. Энэ арга нь Integral photography буюу гэрэл зургийн арга байсан бөгөөд тухайн дүрсийн зургийг авч гэрэл зургийн хальсан дээр 2D-ээр буулгах замаар харуулдаг байсан. Тэр нь орчин үед нийлмэл 3D дүрс гэдэг нэртэй болсон. Гурван хэмжээст дэлгэцийн технологиуд нь Стереоскоп дэгэц[2], Авто-стереоскоп дэлгэц[3], Холографи дэлгэц[4, 5], Нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэц[6, 7] зэрэг юм. Эдгээрээс нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэцийн технологи нь тусгай зориулалтын шил ашигладаггүй, байгалийн бүх өнгө болон хөдөлгөөнт зургийг харуулах, олон хүн нэг зэрэг харах, 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[8].

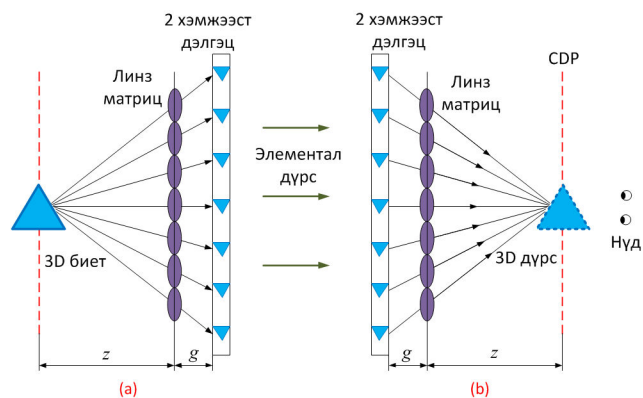
Нийлмэл 3D дэлгэцийн дүрсийн гүний хэмжээ нь линз матрицнаас дүрс хүртэлх зай, дүрсийн нэг

цэгийн хэмжээ болон линзний өндөрөөс хамаардаг. Нийлмэл 3D дүрсийн гүнийг уламжлалт аргаар тооцохдоо дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг өмнөд хавтгай RDP (Rear Depth Plane), хойд хавтгай FDP (Front Depth Plane) дээр ижил байдаг гэж үздэг байсан. Гэвч тооцоолж үзэхэд энэ нь өөр өөр байдаг. 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь Голын хавтгай CDP (Central Depth Plane) дээр хамгийн жижиг байх ба хойд хавтгайба өмнөд хавтгайруугаа томорсон байдаг. Иймд линзээс дүрс хүртэлх зайнаас хамаарч 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг энэ судалгааны ажилд танилцуулна.

## II. НИЙЛМЭЛ ГУРВАН ХЭМЖЭЭСТ ДЭЛГЭЦ

Нийлмэл 3D дэлгэц нь цуглуулагч линзээс бүрдсэн линз матриц, 2 хэмжээст дэлгэцээс бүрдэж байгааг Зураг 1-д үзүүлэв.

Зураг 1-д үзүүлсэн голын хавтгай CDP нь “Gauss lens’ law” –аар тодорхойлогдох бөгөөд дараах



Зураг 1: Нийлмэл дүрсийн технологийн зарчим

томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{z} = \frac{1}{f}$$

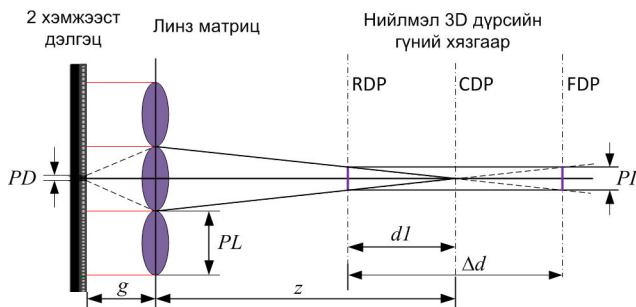
Энд:

$g$ -линз матрицнаас Elemental image үүсэж буй 2D дэлгэц хүртэлх зай,  $z$ - линз матрицнаас 3D дүрс хүртэлх зай,  $f$ - цуглуулагч линзний фокусын зай

Эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийн утгын дагуу Elemental Image-ийг үүсгэнэ. Зураг 1(а)-д үзүүлснээр 3D биетийг хэрхэн 2D зурган матриц буюу Элементал дүрсхэлбэрт буулгах зарчимыг харуулсан байна. Ингэхдээ тооцооллын болон оптикийн гэсэн 2 аргыг ашигладаг. Линз матриц нь ижил хэмжээтэй цуглуулагч линзүүдээс тогтоно. Линз тус бүрийг нь Элементал линз гэнэ. Орчин үеийн 3D дэлгэцүүд нь зөвхөн хэвтээ тэнхлэгийн дагуу 3D –ээр харуулдаг бол нийлмэл дүрсийн технологи нь хэвтээ болон босоо тэнхлэгийн дагуу 3D –ээр харуулгаараа бусад технологиудаас давуу талуудтай. Нийлмэл 3D дүрсийн технологи нь 3D биетээ линз матриц ашиглан оптикийн аргаар эсвэл хийсвэрээр линз матриц байгаа мэтээр тооцооллын аргаар Elemental image-ээ үүсгэх бөгөөд 3 хавтгайн хувьд тухайлбал нийлмэл дүрсийн хавтгай, линз матриц, 2 хэмжээст дэлгэц гэсэн 3 хавтгай дээр тооцоолол хийнэ. Дараа нь Зураг 1(б)-д үзүүлснээр линз матриц ашиглан тухайн үүсгэсэн Элементал дүрсээс нийлмэл 3D дүрсийг харах юм. Нийлмэл 3D дүрсийг харахдаа хоёр хэмжээст дэлгэц, линз матриц, сонгон авсан гурван хэмжээст биетийн Elemental Image-ыг дэлгэцэн дээр үүсгэсэн тохиолдолд 3D дүрсийг шилгүйгээр харах боломжтой. Ингэхдээ дэлгэцнээс линз хүртэлх зай, линзнээс нийлмэл дүрс хүртэлх зай, фокусын зай зэргийг өгөгдсөн утгын дагуу зөв тохируулах хэрэгтэй.

### III. Нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэцийн дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг тооцоолох

Уламжлалт аргаар нийлмэл 3D дүрсийн гүний хэмжээнээс нэг цэгийн хэмжээг нь хамааруулж



Зураг 2: Нийлмэл гурван хэмжээст дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг уламжлалт аргаар тооцоолох

тооцохдоо хойд хавтгай RDP ба өмнөд хавтгай FDP – н дээр дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ “ $P_I$ ” ижилхэн байдаг гэж үздэг. Нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг уламжлалт аргаар тооцоолохыг Зураг 2-д үзүүлэв.

Зураг 2-оос нийлмэл 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$P_I = \frac{2 * *}{\Delta}$$

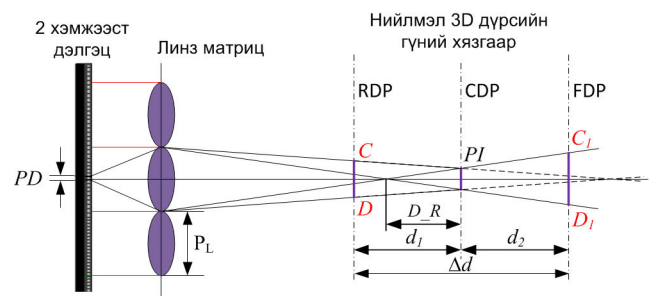
2

Хамгийн сайн нягтаршилтай цэг голын хавтгай CDP дээр үүсдэг бөгөөд энэ зайг нийлмэл 3D дүрсийн гүн гэж нэрлэдэг. Зураг 2-оос нийлмэл 3D дэлгэцийн дүрсийн гүнийг дараах томъёогоор тооцно.

Энд:

$P_L$  - Линз матрицыг бүрдүүлж буй нэг элементар линзний хэмжээ (мм-ээр хэмжигдэнэ).  $P_I$  – 3D Дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ. (мм-ээр хэмжигдэнэ). Нийлмэл 3D дүрс маань CDP-ээс холдох тусам хэмжээ нь өөрчлөгдөж эхлэнэ. Өөрөөр хэлбэл Z тэнхлэгийн дагуух линз матрицнаас 3D дүрс хүртэлх зайгаар төсөөлж ойлгож болно.

Шинэ аргаар нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг тооцоолохдоо линз матрицнаас гурван хэмжээст дүрс хүртэлх зайнаас хамааруулж тооцоолно. Ингэхдээ уламжлалт аргаар нийлмэл 3D дүрсийн гүнийг тооцсон томъёог ашиглан хойд хавтгай RDP-ээс өмнөд хавтгай FDP-ийн хооронд нийлмэл 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ хэрхэн өөрчлөгдхийг Зураг 3-д үзүүлэв.



Зураг 3: Нийлмэл гурван хэмжээст дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг зайнаас хамааруулж тооцоолох

Дээрх зурагаас харахад голын хавтгай CDP –ээс хойд хавтгай RDP хүртэлх болон өмнөд хавтгай FDP хүртэлх зайнаас хамаарсан нэг цэгийн хэмжээний өөрчлөлтүүд нь линзний 2 захын өөр өөр цацрагуудаар байгуулагдах нь харагдаж байна. Мөн дээр дурьдсанчлан голын хавтгай дээр хамгийн бага нэг цэгийн хэмжээтэй буюу хамгийн нягтаршил сайтай дүрс үүсэх нь ажиглагдана. Голын хавтгайгаас хойд хавтгай хүртэлх зайнаас хамаарсан нэг цэгийн хэмжээний өөрчлөлтийг дараах томъёогоор гаргана.

\*

4

Томъёо (4)-ын  $d_1$ -ийн утгыг өөрчилж голын хавтгайгаас хойд хавтгай хүртэлх дурын зайд нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг тооцож болно. Голын хавтгайгаас өмнөд хавтгай хүртэлх зайнаас хамаарсан нэг цэгийн хэмжээний өөрчлөлтийг дараах ерөнхий томъёогоор гаргана.

$$P_I = \frac{2 * *}{\Delta}$$

5

Дээрх томъёоны  $d_2$ -ын утгыг өөрчилж голын хавтгайгаас өмнөд хавтгай хүртэлх дурын зайд нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг тооцож болно. Өмнөд хавтгай дээрх нэг цэгийн хэмжээг олохдоо төсөөтэй гуралжины харьцаагаар (Гауссын аргаар) тодорхойлдог. Ингэж тодорхойлохын тулд элементар линзний захын цацрагуудын огтлолцолыг хаана үүсч байгааг олох хэрэгтэй. Линзний захын цацрагуудын огтлолцол болох  $D_R$ -ыг голын

хавтгайгаас хэдэн мм зайд үүсэхийг дараах томьёогоор олно.

$$- \frac{*}{*}$$

6

#### IV. ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

Нийлмэл гурван хэмжээст дэлгэцийн дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг гүний хязгаараас нь хамааруулж тооцохдоо Хүснэгт 1-д өгөгдсөн параметруудийн дагуу тооцоолсон.

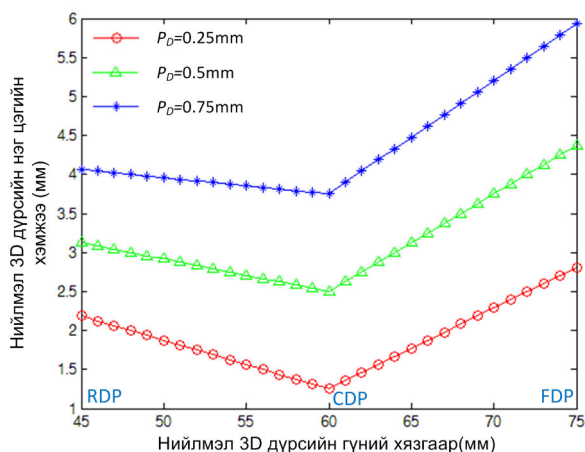
ХҮСНЭГТ 1. ТООЦООЛЛЫН ПАРАМЕТРУУД.

| № | Зориулалт                                    | Үзүүлэлт          |
|---|----------------------------------------------|-------------------|
| 1 | Линзүүдийн тоо                               | 15 (X) x 15 (Б)   |
| 2 | Линзийн хэмжээ                               | 5мм (X) x 5мм (Б) |
| 3 | Фокусын зай                                  | 10мм              |
| 4 | Линз матрицаас 2 хэмжээст дэлгэц хүртэлх зай | 12мм              |

MatLab програм дээр Томьёо (4),(5) –аар нийлмэл 3D цэгийн хэмжээ нь гүн буюу линз матрицаас 3D цэг хүртэлх зайнаас хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг графикаар харуулъя. Ингэхдээ 2 хэмжээст дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ  $P_D$ , 2 хэмжээст дэлгэцээс линз матриц хүртэлх зай  $g$ , линз матриц үүсгэж буй нэг элементар линзний хэмжээ  $P_L$  зэргийг тус бүр гурван тохиолдолд өөрчилж хамаарлын графикыг байгуулвал:

Нийлмэл 3D цэгийн хэмжээ нь линз матрицаас 3D цэг хүртэлх зайнаас хамаарахад нь 2D дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээний өөрчлөлт хэрхэн нөлөөлөхийг судалъя. Ингэхийн тулд 2D дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ  $P_D=0.25\text{мм}$ ,  $P_D=0.5\text{мм}$ ,  $P_D=0.75\text{мм}$  гэсэн тохиолдлуудад хамаарлын графикыг байгуулсныг Зураг 4-д үзүүлэв.

Зураг 4-с харахад 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь 2D дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ  $P_D=0.25\text{мм}$

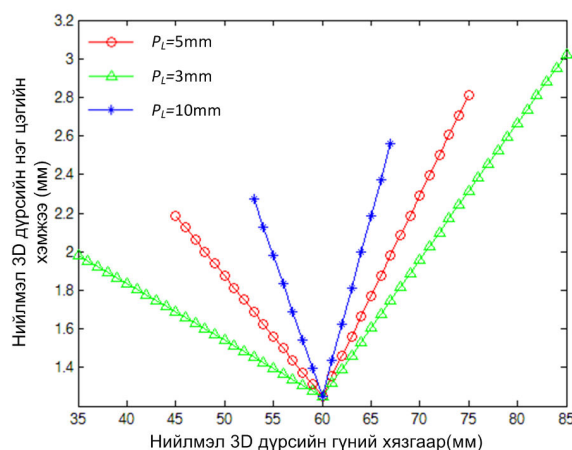


Зураг 4: Нийлмэл гурван хэмжээст дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ гүний хязгаараас хамаарсан хамаарал, 2 хэмжээст дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээнээс хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөх

үед CDP дээр 1.25мм, RDP дээр 2.1875мм буюу өөрчлөлт нь 0.9375мм, FDP дээр 2.8125мм буюу өөрчлөлт нь 1.5625мм байна.  $P_D=0.5\text{мм}$  үед CDP дээр 2.5мм, RDP дээр 3.125мм буюу өөрчлөлт нь 0.625мм, FDP дээр 4.3750мм буюу өөрчлөлт нь 1.8750мм байна.  $P_D=0.75\text{мм}$  үед CDP дээр 3.75мм, RDP дээр

4.0625мм буюу өөрчлөлт нь 0.3125мм, FDP дээр 5.9375мм буюу өөрчлөлт нь 2.1875мм байна. Эндээс 2D дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээ томроход 3D цэгийн хэмжээний өөрчлөлт нь CDP-ээс RDP-ны хооронд багасах ба эсрэгээрээ CDP-ээс FDP-ны хооронд ихэсэж байна. Мөн 3D дүрс хүртэлх зай болон гүн нь 2D дэлгэцийн нэг цэгийн хэмжээнээс хамаарахгүй байна.

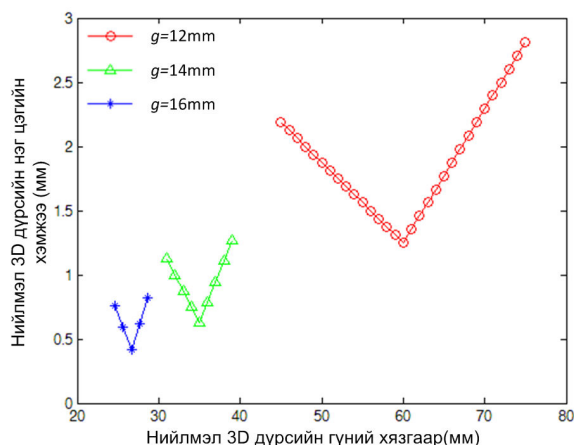
Нийлмэл 3D цэгийн хэмжээ нь линз матрицаас 3D цэг хүртэлх зайнаас хамаарахад элементар линзний хэмжээ хэрхэн нөлөөлөхийг судалъя. Ингэхийн тулд линз матриц үүсгэж буй нэг элементар линзний хэмжээ  $P_L=3\text{мм}$ ,  $P_L=5\text{мм}$ ,  $P_L=10\text{мм}$  гэсэн тохиолдлуудад графикыг байгуулсныг Зураг 5-д үзүүлэв.



Зураг 5: Элементар линзний хэмжээнээс хамаарах өөрчлөлт

Зураг 5-с харахад 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь элементар линзний хэмжээ  $P_L=3\text{мм}$  үед CDP дээр 1.25мм, RDP дээр 1.9792мм буюу өөрчлөлт нь 0.7292мм, FDP дээр 3.0208мм буюу өөрчлөлт нь 1.7708мм, гүн нь 50мм байна.  $P_L=5\text{мм}$  үед CDP дээр 1.25мм, RDP дээр 2.1875мм буюу өөрчлөлт нь 0.9375мм, FDP дээр 2.8125мм буюу өөрчлөлт нь 1.5625мм, гүн нь 30мм байна.  $P_L=10\text{мм}$  үед CDP дээр 1.25мм, RDP дээр 2.2708мм буюу өөрчлөлт нь 1.0208мм, FDP дээр 2.5625мм буюу өөрчлөлт нь 1.3125мм, гүн нь 15мм байна. Эндээс элементар линзний хэмжээ томроход 3D цэгийн хэмжээний өөрчлөлт нь CDP-ээс RDP-ны хооронд ихэсэх ба эсрэгээрээ CDP-ээс FDP-ны хооронд багасаж байна. CDP хүртэлх зай болон CDP дээрх 3D цэгийн хэмжээ нь элементар линзний хэмжээнээс хамаарахгүй, элементар линзний хэмжээ томроход нийлмэл 3D дүрсийн гүний хэмжээ багасаж байна.

Нийлмэл 3D цэгийн хэмжээ нь гүн буюу линз матрицаас 3D цэг хүртэлх зайнаас хамаарахад 2D дэлгэцээс линз матриц хүртэлх зайны өөрчлөлт хэрхэн нөлөөлөхийг судалъя. Ингэхийн тулд  $g=12\text{мм}$ ,  $g=14\text{мм}$ ,  $g=16\text{мм}$  гэсэн тохиолдлуудад графикыг Зураг 6-д үзүүлэв.



Зураг 6: 2 хэмжээст дэлгэцээс линз матриц хүртэлх зайнаас хамаарсан өөрчлөлт

Зураг 5-с харахад 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь 2D дэлгэцнээс линз матриц хүртэлх зай  $g=12\text{мм}$  үед CDP дээр  $1.25\text{мм}$ , RDP дээр  $2.1875\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $0.9375\text{мм}$  FDP дээр  $2.8125\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $1.5625\text{мм}$ , гүн нь  $30\text{мм}$ , CDP хүртэлх зай нь  $60\text{мм}$  байна.  $g=14\text{мм}$  үед CDP дээр  $0.625\text{мм}$ , RDP дээр  $1.125\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $0.5\text{мм}$ , FDP дээр  $1.2679\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $0.6429\text{мм}$ , гүн нь  $8.75\text{мм}$ , CDP хүртэлх зай нь  $35\text{мм}$  байна.  $g=16\text{мм}$  үед CDP дээр  $0.4167\text{мм}$ , RDP дээр  $0.7604\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $0.03437\text{мм}$ , FDP дээр  $0.8229\text{мм}$  буюу өөрчлөлт нь  $0.4062\text{мм}$ , гүн нь  $2,22\text{мм}$ , CDP хүртэлх зай нь  $26,667\text{мм}$  байна. Эндээс элементар линзний хэмжээ томроход 3D цэгийн хэмжээний өөрчлөлт нь CDP-ээс RDP болон CDP-ээс FDP-ны хооронд багасаж байна. Мөн CDP хүртэлх зай болон CDP дээрх 3D цэгийн хэмжээ, 3D дүрсийн гүн нь багасаж байна. Эдгээр нь линзнээс 2D дэлгэц хүртэлх зайнаас урвуу хамааралтай байна.

## V. Дүгнэлт

Нийлмэл цэг нь линз матрицаар нэвтэрсэн цацрагуудын нийлбэрээр үүсдэг. Иймд нийлмэл цэг үүсгэж буй цацрагуудын захын цацрагуудаар гурван хэмжээст дүрсийн нэг цэгийн хэмжээг нийлмэл дүрс үүсэх хязгаараас хамаарч хэрхэн өөрчлөгдхийг гоморхойлсон. Уламжлалт аргаар нийлмэл дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь өмнөд болон хойд хавтгай дээрээ ижил байсан бол шинэ аргаар тооцсон гооцооллын үр дүнгээс харахад нийлмэл 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ нь голын хавтгайгаас өмнөд болон хойд хавтгайруугаа харилцан адилгүй өөрчлөлттэй байна. Энэ өөрчлөлтийг ерөнхий томьёо гарган MatLab програм дээр тооцуулж графикуудыг гаргасан. Ингэхдээ 2D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ  $P_D$ , элементар линзний хэмжээ  $P_L$ , болон 2D дэлгэцнээс линз матриц хүртэлх зай  $g$ -с хэрхэн хамаарахыг тус бүр гурван тохиолдлыг авч судалж, 3D цэгийн хэмжээ гүнний хэмжээнээс хэрхэн хамаарахыг харьцуулсан графикуудыг гаргасан.

## НОМЗҮЙ

- [1] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446, 1908.
- [2] J. L. Ferguson, S. D. Robinson, C. W. McLaughlin, B. Brown, A. Abileah, T. E. Baker, and P. J. Green, "An innovative beamsplitter-based stereoscopic/3D display design," Proc. SPIE 5664, pp. 488–494, 2005.
- [3] N. A. Dodgson, "Autostereoscopic 3D displays," Computer 38(8), pp. 31–36, 2005.
- [4] B. P. Ketchel, C. A. Heid, G. L. Wood, M. J. Miller, A. G. Mott, R. J. Anderson, and G. J. Salamo, "Threedimensional color holographic display," Appl. Opt. 38(29), pp. 6159–6166, 1999.
- [5] T. Mishina, and M. Okui, "Reconstruction of three-dimensional images of real objects by electronic holography," in Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2008).
- [6] G. Lippmann, "La Photographie Integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446, 1908.
- [7] 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, 94, 591–607, 2006
- [8] Д.Номин-Эрдэнэ, Б.Ганбат, "Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн харагдах онцгийг ихэсгэх арга", Proceeding of MMT 2015, МУИС ХШУИС, 58-61, 2015