

EXPERT
KNOW-HOW디포커스 트래킹을 이용한
가상 스튜디오 실재감 증대 연구 ①

+ 강태선 MBC 제작기술국

가상스튜디오 제작기술은 짧지 않은 역사를 가지고 있다. 실시간 그래픽의 발전으로 시각 효과는 많은 개선이 있으나 서로 다른 환경에서 획득된 영상의 합성이라는 근본적인 차이로 인하여 실재감에서 한계를 드러내고 있다. 가상스튜디오는 카메라 트래킹이라는 기술로 카메라의 움직임 정보를 알아내고 실시간 그래픽과 연동하여 크로마키로 합성하는 구조를 가지고 있는데 영상을 획득하는 카메라 렌즈의 광학적 특성이 어느 정도 그래픽에 사실적으로 적용되는 가는 실재감 판단의 중요한 기준이다. 종래에는 3차원 그래픽의 이상적인 핀홀 카메라로 모델링되는 가상 카메라에 시점, 방향, 화각의 3가지 파라미터를 적용하여 실제 카메라와 연동되도록 하였다. 실제 카메라는 위 3가지 특성 외에도 조리개 수치에 따른 광량변화, 심도에 따른 초점 흐림, 렌즈의 가장자리 왜곡 현상(distortion)과 같은 광학적 특성이 있다[1]. TV 줌 렌즈의 특성상 연속적으로 화각을 바꾸고 포커스를 조정하면서 포커스가 맞는 지점과 초점이 흐려지는 디포커스 영역이 있는데 이 특성을 측정하고 이에 적응적으로 연동하여 실시간 그래픽의 초점이 흐려지는 효과를 구현함으로써 단순한 카메라 트래킹의 한계를 넘어 실시간 그래픽과 카메라 영상이 하나의 통합된 환경에서 촬영되어 동일한 공간에 실재하는 것과 같은 실재감을 줄 수 있도록 연구하였다.

본 기고는 카메라의 디포커스 특성의 도출을 위해 디포커스 파라미터를 제안하였고 제안된 차트를 스튜디오 환경에서 촬영하고 이를 영상처리하여 디포커스 파라미터 값을 구하였다. 이를 DB(DataBase)화하여 각종 유의미한 렌즈의 특성을 도출하였다. 도출된 특성을 본 스튜디오에서 사용 중인 가상 세트 소프트웨어에 적응적으로 구현하여 그래픽의 디포커스 기능을 지능적으로 컨트롤하는 Defcon(Defocus controller)이라는 프로그램을 개발하였다. 또한 실시간 그래픽의 OpenGL Shader 기능을 사용하여 가우시안 블러링을 구현하는 셰이더를 제작하고 Defcon에서 이 셰이더 기능을 컨트롤하여 렌즈로부터 초점을 맞춘 거리와 심도 그리고 포커스인 영역을 벗어난 거리에 따라 블러링의 정도를 트래킹하였다. 드라마 세트를 가상 세트로 제작하고 드라마용 연출 샷을 촬영하여 실제 세트를 활용한 영상과 가상 세트 영상을 주관 평가하고 분석하였다.

디포커스 파라미터 제안 및 측정방법

디포커스 파라미터 두 가지를 다음과 같이 제안하고 정의하였다.

[그림 1]은 Ldf(Length defocus factor)를 정의한다. Ldf는 포커스를 조정함으로 물체의 길이가 커지거나 작아지는 비율을 말한다. 백분율로 표시하며 본래 길이를 L, 디포커스로 변화된 길이를 L'라 하면

$$Ldf = \left(\frac{L'}{L} \right) \times 100 \quad (1)$$

으로 하였다. 이 파라미터는 포커스를 조정함으로 화각이 변하는 현상을 설명할 때 유용하다.

[그림 2]는 Bdf(Border defocus factor)를 정의한다.

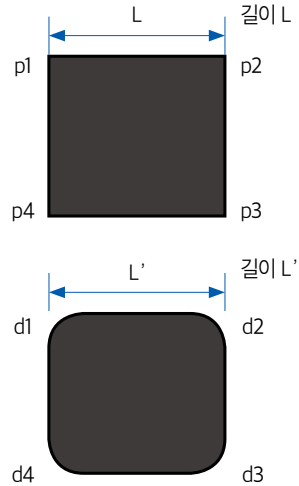


그림 1. 디포커스 파라미터 Ldf의 정의

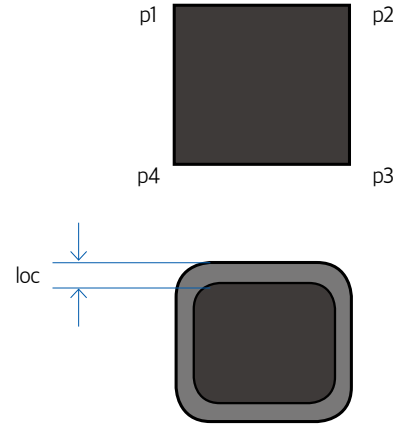


그림 2. 디포커스 파라미터 Bdf의 정의

디포커싱되어 경계면이 흐려지는 길이를 착란선(loc:line of confusion)이라고 정의한다. 착란선은 착란원(circle of confusion)에서 유도한 개념으로 점이 연속으로 이어진 선이 흐려져서 두께로 인식되는 정도를 나타낸다. 이 착란선이 CCD에서 차지하는 길이를 구하고 포커스 인을 정의하는 허용 착란원과의 비율을 구하여 이것을 Bdf 값이라고 정의한다. loc의 값은 디스플레이하는 모니터의 크기에 따라 달라진다. 2/3' HD CCD의 diagonal을 Φ 라하고 이 CCD에서 차지하는 loc를 CCDloc, 허용 착란원을 σ , m인치 모니터에서 측정된 착란선을 loc라 하면 비례식을 적용하여

$$Bdf = \frac{CCDloc}{6} = loc \times K \quad (2)$$

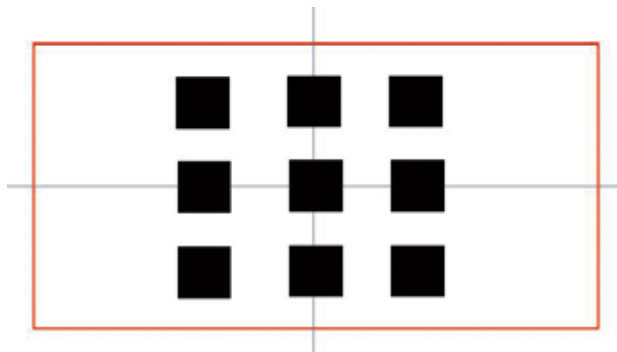


그림 3. 디포커스 파라미터 측정 차트

가 되며 K는 모니터 길이에 따른 상수로 $K = \frac{\Phi}{6} \times \frac{1}{m}$ 가 된다. 단위는 mm로 통일하여 계산한다. 거리와 줌값, 포커스 값에 따른 위 파라미터의 변화를 측정하기 위하여 적절한 차트와 측정 환경이 필요하며 차트는 [그림 3]과 같이 설계하였다. 명암의 대조를 위해 흰색 바탕에 블랙 사각형을 다수 배치하였다. 흰색 바탕에 불필요한 검은색이 노출되지 않고 조명의 변화가 없도록 스튜디오중앙에 차트를 놓고 카메라의 위치를 바꾸며 거리를 조정하였다. 거리는 레이저를 이용한 거리 측정 장비를 사용하고 거리의 시작점은 영상이 맺히는 CCD의

위치를 기준으로 정한다. 줌과 포커스 값은 카메라 뷰 화인더에 표시된 값을 사용하였다. 줌은 0(줌아웃) ~ 99(줌인)의 범위를 가지고 포커스는 1(니어) ~ 255(파)의 범위를 가진다.

측정 과정은 영상 촬영 그리고 스틸 영상 캡처와 전 처리(규격대로 폴더에 저장 및 파일이름 지정) 과정 후 영상처리 프로그램인 Paramtor(parameter extractor)를 구동하여 컴퓨터 비전 방법으로 디포커스 파라미터를 구한다.

촬영 과정은 다음과 같다.

- 1) 최초거리 2미터에 차트를 위치시킨다. (렌즈의 MOD를 고려하여 정함)
- 2) 초기 줌값을 99로 조정함. (최대 줌인한 상태)
- 3) 사각형이 중앙에 오도록 약간의 팬 틸트 등을 조정하고 고정시킨다.
- 4) 포커스가 맞는 기준 영상을 구하기 위해 포커스를 움직인다. 맞으면 이때 줌값 포커스값 그리고 녹화기의 TC(TimeCode)를 기록한다.
- 5) 포커스 값을 10단계(25부터 25씩 증가하고 마지막은 255)로 바꾸고 그때의 TC를 기록하며 이때 줌값도 약간 변하므로 줌값도 기록한다.
- 6) 줌값을 10단계(99에서 10씩 감소)로 조정하고 3)~5)번 과정을 반복한다. 줌이 10이 될 때까지 반복한다.
- 7) 거리를 1미터 증가하고 9미터까지 2)~6)번 과정을 반복한다.

사용된 렌즈는 후지논의 방송용 스탠다드 렌즈로 규격은 HA27x6.5 1:1.5/6.5-180 이다. 영상처리 프로그램인 Paramtor는 개발도구로 C#용 Visual Studio 2010과 컴퓨터 비전 라이브러리 OpenCV 2.4.6.0을 사용하고 edge 추출은 Canny detector를 사용하였다. edge에서 line segment 추출하는 알고리즘은 Hough Transform을 사용하였다. 디포커스 파라미터 값을 거리, 줌, 포커스 값에 따라 계산하여 .json file로 저장하고 디포커스 컨트롤러(Defcon : defocus controller)에서 그 json 파일을 읽어서 디포커스 특성을 분석한다.

카메라 영상의 디포커스 파라미터 분석

분석할 현상은 다음과 같다. 첫째, 포커스의 변화에 대한 줌의 변화 특성. 둘째, 피사체의 거리에 비례한 Ldf와 Bdf의 특성. 셋째, 포커스에 비례한 Ldf와 Bdf의 특성 등으로 요약된다. [그림 4]는 5미터 거리에 대하여 줌을 기준 단계(20, 40, 60, 80)로 맞추고 포커스인 시킨 뒤 포커스를 변화시키면서 줌의 변화량을 측정한 결과이다. 일반적으로 포커스를 움직이면 줌도 바뀌는데 줌이 많이 들어갔을 때 포커스를 움직이면 줌의 변화량이 많다는 것을 알 수 있다. 즉 화각의 변화율은 광각보다는 협각에서 그 정도가 심하다는 것을 알 수 있다. [1]. 거리의 변화에 따라서 그 변화량이 비례해서 커진다고는 할 수 없다. 포커스의 변화에 따른 줌의 변화량의 특성은 뚜렷한 비선형성을 보인다고 볼 수 없다. 디포커스 특성 중 피사체의 거리에 비례한 Ldf와 Bdf의 특성을 고찰하기 위하여 줌 단계 40과 60에 대하여 분석하였다. 2미터를 기준으로 포커스를 맞춘 줌과 포커스 값에 해당하는 각 거리(3~9미터)에서의 Ldf를 보간한 결과는 [그림 5]와 같다.

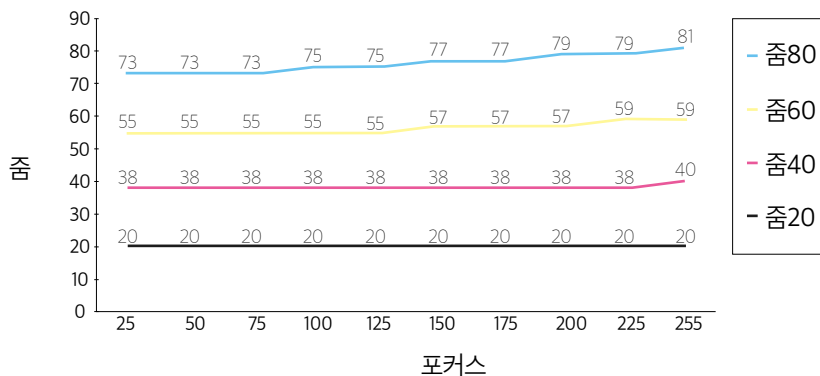


그림 4. 5미터 거리 포커스와 줌 변화

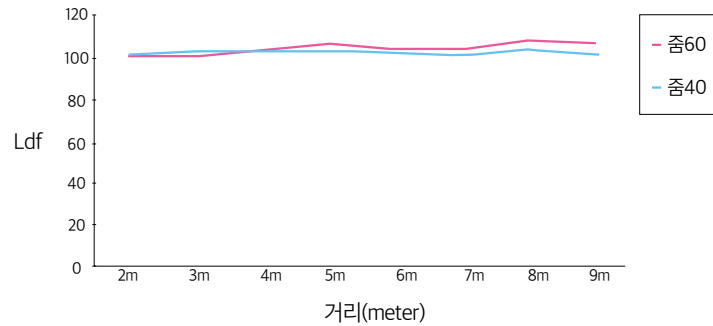


그림 5. 거리와 Ldf와의 관계

같은 과정으로 2미터를 기준으로 포커스를 맞춘 줌과 포커스에 해당하는 각 거리(3~9미터)에서의 Bdf를 보간한 결과는 [그림 6]과 같다. 거리에 따라 Ldf와 Bdf는 비슷한 특성을 보여주는데 포커스를 맞춘 시점에서 거리가 멀어질수록 디포커스는 증가하다가 약간의 요동이 있는 것으로 보이나 측정 오차 등을 추론하여 보면 어느 정도 선형적으로 증가하다가 포화 상태에 근접하는 것으로 볼 수 있다. 증가하는 양은 줌인을 많이 들어갔을 경우 커짐을 알 수 있다. 포커스와 Bdf의 관계는 [그림 7]에 나타내었다. 포커스 인 되는 위치를 중심으로 거의 대칭적으로 변화한다.

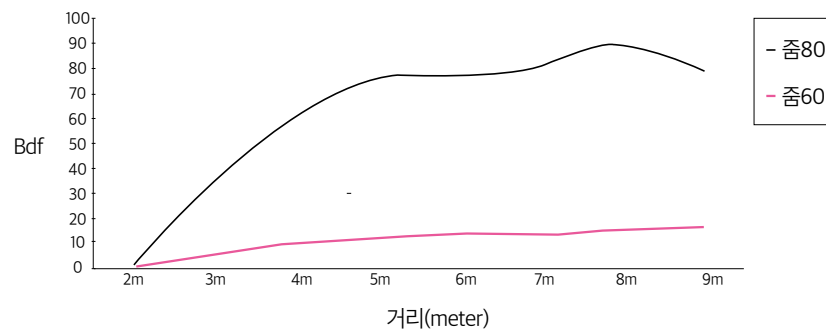


그림 6. 거리와 Bdf와의 관계

처음에는 감소하다가 포커스인에서 0이 되고 포커스인 을 벗어나면 다시 증가한다. 역시 줌인을 많이 들어갈수록 Bdf의 변화폭이 커짐을 알 수 있다. 실제 영상과 그래픽 영상의 디포커스 매칭을 위해서는 구축된 DB를 실시간 분석하여 포커스인 된 지점으로부터 그래픽 오브젝트 간의 거리를 계산하고 획득한 줌 값으로부터 적절한 디포커스 값을 구하여 해당 오브젝트의 블러링을 적용하는 알고리즘이 필요하다. 이때 실제 영상의 디포커스 정도를 나타내는 파라미터인 Bdf와 그래픽의 블러링의 정도를 나타내는 변수와의 적절한 매칭이 필요하다.

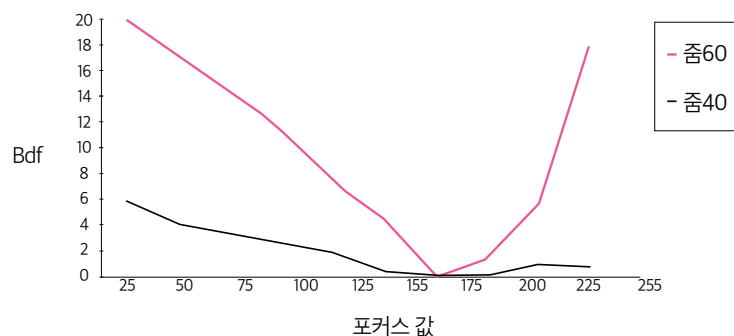


그림 7. 포커스와 Bdf와의 관계(거리 4미터)

포커스에서 거리와 심도 구하기

포커스 값에서 초점을 맞춘 물리적 거리를 구하는 실험을 하였다. 포커스 값과 거리의 관계는 렌즈마다 상이하여 실험으로 측정하여 도표를 작성하고 정확한 값은 수식을 사용하여 보정하였다. [그림 8]은 카메라 렌즈의 DOF 구성이다. 초점이 맞아 보이는 영역은 distance - range1부터 distance + range2까지로 초점 맞춘 거리는 이 사이의 어느 지점에 위치하며 실험으로 이 영역의 처음과 끝을 측정하고 적절한 관계식을 사용하여 정확한 거리를 계산한다.

그러면 포커스 값과 거리의 테이블을 구할 수 있

고 특정한 포커스 값에 해당하는 거리는 적절한 보간으로 계산한다.

포커스가 맞았는지 판단하는 공인된 포커스 차트를 사용하고 WFM(waveform monitor) 장비를 사용하여 포커스가 맞는 영역을 구한다.

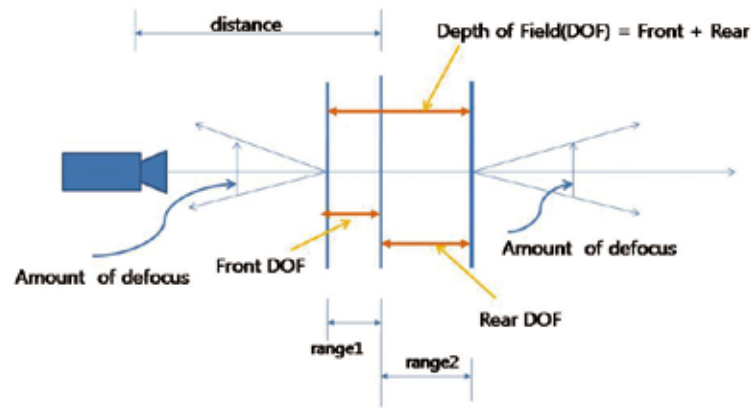


그림 8. 카메라 렌즈 DOF 구성

측정 과정은 다음과 같다.

- 1) 초기 1.5미터에 포커스 차트를 위치함.
- 2) 심도를 알게 유지하기 위해 차트가 잘 보이도록 적절히 줌인한다.
- 3) 포커스를 니어(0)에서 천천히 변화하면서 포커스 아웃된 상태에서 포커스가 인이 되는 값을 측정하고 다시 천천히 증가하면서 포커스 인 상태에서 포커스 아웃되기 시작하는 값을 측정한다.
- 4) 카메라와의 거리를 1미터 증가시키며 2~3)과정을 반복한다. [그림 9]는 포커스 인 차트와 측정 모습이다. WFM에서 모니터할 비디오 라인을 중앙 점 바로 위 정도로 잡고 모니터 하면서 가장 레벨이 높으면 포커스가 맞은 때이다.



그림 9. 포커스 차트와 측정 모습

[표 1]은 측정한 도표이다. 이 도표에서 포커스를 맞춘 거리를 구하는 방법을 다음과 같이 구상하였다. 포커스 니어에서 변화시킬 때 포커스 아웃에서 인으로 바뀔 때의 포커스값을 F_{start} , 포커스인에서 아웃으로 바뀔 때의 포커스값을 F_{end} 라 한다. 포커스만 변화시킬 때도 약간 줌이 변하며 F_{start} 일 때의 줌값을 Z_{start} , F_{end} 일 때의 줌값을 Z_{end} 라 한다. 그리고 렌즈의 내장 줌 인코더 출력을 Z_{in} , 포커스 인코더 출력을 F_{in} 이라고 정의한다. 이 값은 인코더에 따라 다르며 후지는 렌즈의 내부 인코더 규격에 따르면 최대 줌 아웃일 때는 $Z_{in} = 0$,

최대 줌인일 때 $Z_{endMax} = 8260$, 포커스 니어 일 때 $F_{enMax} = 11830$, 포커스 파 일 때 $F_{enMin} = 0$ 이다. 카메라 뷰파인더에 표시되는 줌과 포커스 값을 각각 Z_v , F_v 라 하면 최대 줌아웃일 때 $Z_{vMin} = 0$, 최대 줌인 일 때 $Z_{vMax} = 99$, 포커스 니어 일 때 $F_{vMin} = 0$, 포커스 파 일 때 $F_{vMax} = 255$ 가 된다.

거리(meter)	Zstart/Zend	Fstart	Fend
1.5	58/58	70	80
2.5	78/78	163	165
3.5	78/78	190	193
4.5	86/86	208	210
5.5	90/90	218	220
6.5	90/90	226	227
7.5	90/90	231	234
8.5	99/99	234	235
9.5	99/99	238	239
10.5	99/99	240	241
11.5	99/99	241	242
12.5	99/99	243	244

표 1. 포커스와 거리 측정 데이터 시트

정의된 값을 사용하여 F_{en} 에서 거리를 구하는 순서를 설명한다.

1) Z_{start} 와 Z_{end} 의 중간값인 Z_{middle} 을 구하고 Z_{middle} 에 해당하는 Z_{en} 을 식 (5)으로 구한다.

$$Z_{middle} = \frac{(Z_{start} + Z_{end})}{2} \quad (3)$$

$$Z_{en} = Z_{enMin} + (Z_{enMax} - Z_{enMin}) \times \frac{Z_{middle} - Z_{vMin}}{Z_{vMax} - Z_{vMin}} \quad (4)$$

$$Z_{en} = Z_{enMax} \times \frac{Z_{middle}}{99} \quad (5)$$

2) 캘리브레이션 커브에서 Z_{en} 에 대한 수직 화각인 F_{ovv} (Field of view vertical)를 계산한다. 캘리브레이션 커브는 포커스 범위에 따라 약간씩 다른 Z_{en} 과 F_{ovv} 의 특성을 가진다. 포커스의 4개 범위(정규화 했을 때 0~0.25 0.25~0.5 0.5~0.75 0.75~1.0)에서 줌과 F_{ovv} 의 특성을 렌즈 캘리브레이션 과정에서 측정한다. 정확한 값을 위해서는 근접한 두 개의 포커스 구간에서 보간하여 얻은 F_{ovv} 를 포커스 범위로 또 보간하는 복잡한 계산이 필요하다. [그림 10]은 줌과 F_{ovv} 의 특성 커브의 예이며 렌즈 캘리브레이션 과정에서 얻어진다. [그림 10]의 (a)는 포커스가 0일 때 (b)는 포커스가 0.25일 경우의 줌과 F_{ovv} 의 특성 커브이며 포커스가 0.1 이라면 (a)로 보간한 값과 (b)로 보간한 값을 포커스로 다시 한 번 보간하여 구한다. 다른 방법은 F_{ovv} 를 가상 세트 소프트웨어가 계산한 값에서 얻어 오는 것이다.

3) F_{ovv} 에서 focal length를 식 (6)과 같이 구한다. Y' 는 2/3" CCD일 경우 수직 크기로 5.39mm 이다.

$$focal\ length = \frac{Y'}{2 \times \tan\left(\frac{F_{ovv}}{2}\right)} \quad (6)$$

4) 전방심도를 후방심도로 나눈 DOFratio(Depth of field ratio)를 구한다.

l = 거리 $k = \sigma * Fno$ 라 하고 (σ 는 허용착란원으로 2/3" HD일 경우 0.01mm, Fno는 4.5 고정 사용)

캐논의 심도 공식을 사용하면 식 (7)와 같이 구해진다.

$$DOFratio = \frac{\text{전방심도 } d2}{\text{후방심도 } d1} = \frac{focallength^2 - K \times l}{focallength^2 + K \times l} \quad (7)$$

5) 초점이 맞는 정확한 포커스 값을 Fexact라 하면 식 (8)으로 구해진다.

$$F_{exact} = F_{start} + DOFratio \times (F_{end} - F_{start}) \quad (8)$$

다음 Fexact를 Fen으로 바꾸어 테이블을 만든다.

$$Fen = FenMax + (FenMax - FenMin) \times \frac{Fv - FvMin}{FvMax - FvMin}$$

$$Fen = FenMax + (FenMax - FenMin) \times \frac{Fv}{255} \quad (9)$$

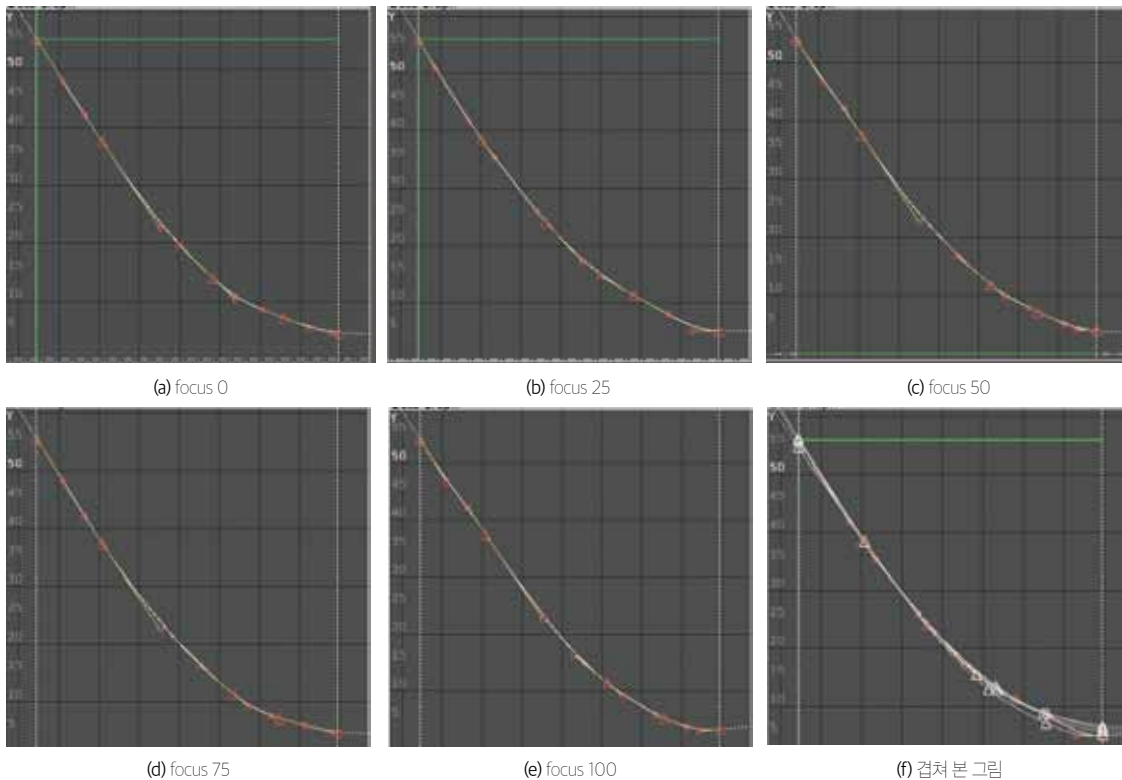


그림 10. 줌(X축)과 Fovv(Y축) 특성 커브의 예

이렇게 Fen과 거리의 테이블을 구하였다. 이 거리는 줌의 영향을 고려하지 않은 값으로 약간의 차이가 있을 수 있다. 만들어진 테이블에서 실시간으로 입력되는 포커스 인코더 값 즉, Fen에서 테이블 값들을 보간하여 실시간으로 거리를 계산한다. 계산된 값은 다시 오프셋과

스케일 팩터로 세밀하게 보정된다. [표 2]는 최종적으로 구한 거리와 포커스 인코더 값과의 도표이다. 거리와 Fen의 특성은 [그림 11]과 같다.

거리	Fen
1.5	8119
2.5	4175
3.5	2876
4.5	2087
5.5	1623
6.5	1298
7.5	974
8.5	927
9.5	742
10.5	649
11.5	603

표 2. 거리와 Fen 값과의 도표

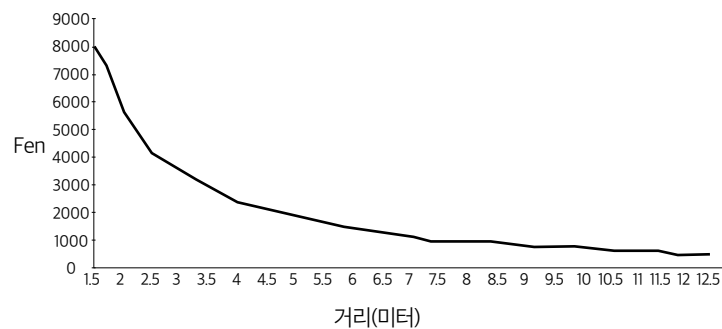


그림 11. 거리와 Fen(focus encoder 값)과의 특성

위에서 구한 거리와 Fovw를 이용하여 focal length를 계산하고 공식에 따라 전후방 심도를 구한다. 거리를 l 이라 하면

$$focal\ length = \frac{Y'}{2 \times \tan\left(\frac{Fovv}{2}\right)} \quad (10)$$

여기서 $Y' = 5.39\text{ mm}$ 이고

$$\text{후방심도 } d1 = \frac{6 \times Fno \times l^2}{f^2 - 6 \times Fno \times l} \quad \text{전방심도 } d2 = \frac{6 \times Fno \times l^2}{f^2 + 6 \times Fno \times l}$$

여기서 $\sigma = 0.01$ $Fno = 4.5$ $f = focal\ length$ 이다.

이번 호에서는 가상스튜디오에서의 실재감 향상을 위해 카메라의 디포커스 특성과 파라미터 및 분석, 포커스에서 거리와 심도 구하기에 대해 알아보았다. 다음 호에서는 내용을 이어 그래픽의 블러링을 이용한 디포커스 효과 구현 및 디포커스 컨트롤러와 실험 결과로 가상세트와 실제 세트와의 실재감 결과 분석 등을 다루고자 한다. 📺

* < 참고문헌 >

[1] 남승진, 오주현, 박성춘 "실시간 가상 이미징 시스템", 한국방송공학회 2002년 학술대회, 2002.