



## 버추얼 프로덕션에서 스크린 모아레 현상을 통제하기 위한 LED 패턴 제거기법\*

조 두 희\*\*

중앙대학교 첨단영상대학원 박사후 연구원

하 동 환\*\*\*

중앙대학교 예술공학대학 교수

### I. 서론

#### 1. 연구배경 및 목적

최근 대형 LED 스크린을 이용하여 영상을 촬영하는 버추얼 프로덕션이 늘어나고 있다. 버추얼 프로덕션은 게임엔진, 시각화, 모션 캡처, 가상 카메라, LED 스크린과 같은 최신 기술을 병렬적으로 연결하여 실시간으로 실사 이미지와 가상 이미지를 합성하는 제작 방식으로, 그린 스크린을 이용하여 합성하는 방식과 비교했을 때, 즉각적, 반복적, 순환적, 창의적인 작업이 가능하다.<sup>1)</sup> 특히 LED 스크린의 사용은 높은 휘도와 직접적인 조명효과, 배우들의 연기몰입 증가 등 많은 장점이 있다. 그러나 이러한 장점과 달리 높은 가격과 촬영과정에서 발생할 수 있는 모아레 moiré 현상 등이 단점으로 지적되고 있다. 모아레 현상은 두 개 이상의 주기적인 패턴 periodic

\* 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2021년 문화콘텐츠 R&D 전문인력 양성(문화기술 선도대학원) 사업으로 수행되었음 (과제명 : 버추얼 프로덕션 기반 콘텐츠 제작 기술 R&D 전문인력 양성, 과제번호 : R2021040044, 기여율: 100%)

\*\* 제1저자, 중앙대학교 첨단영상 대학원 디지털과학사건연구실 박사후 연구원

\*\*\* 교신저자, 중앙대학교 예술공학대학 교수

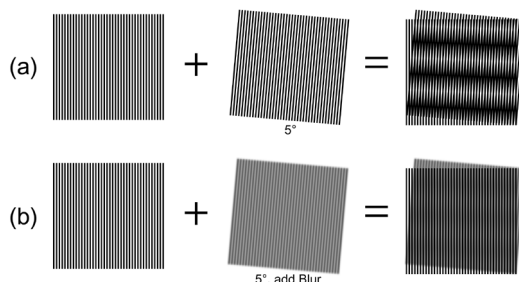
1) D. H. Lee, "Virtual Production and Intensified Visual Effects : Focusing on the Case Analysis of The Mandalorian Serie," Journal of Digital Contents Society Vol. 23, No. 7, pp. 1191-1203, Jul. 2022.

pattern이 만들어 내는 간섭무늬 interference fringe를 지칭하며<sup>2)</sup> LED 스크린의 해상도를 극단적으로 높여 발생 빈도를 줄일 수 있지만 큰 비용을 지출해야 하는 문제가 따른다. 또한, 아무리 높은 해상도의 LED 스크린을 준비하더라도 광기학적 optical geometry적 촬영조건이 일치할 경우 발생하기 마련이다. 기존에는 이러한 문제들이 발생할 때 ‘카메라 각도 변경’, ‘초점 거리 변경’, ‘조리개 변경’ 등의 광학적 변수들을 조정하여 회피해 왔다. 이것은 간섭무늬를 이루는 두 개의 패턴 중 LED 스크린을 흐리게 하여 패턴으로 인식할 수 없게 하므로 이들이 겹쳐서 발생하는 모아레 현상을 방지하는 방법이다. 이 과정에서 모아레 현상 발생 판단은 카메라감독의 눈에 의존하며 촬영과정에서 인식하지 못한 부분은 ‘포스트 프로덕션 편집’ 과정에 의존하여 해결하기도 한다. 그러나 이러한 광학적 변수들은 모두 수치화할 수 있으며 계산을 통하여 촬영 준비단계부터 예상, 회피할 수 있다.

본 연구에서 LED 스크린의 흐림 정도를 패턴으로 인식할 수 없도록 조절하는 방법을 제시하고 이를 통하여 모아레 현상을 통제하고자 한다.

## 2. 연구배경 및 방법

버추얼 프로덕션의 LED 스크린에서 발생하는 모아레 현상은 카메라 센서의 패턴과 LED 스크린의 패턴이 겹쳐져서 발생한다. 본 연구는 LED 스크린의 패턴을 광학적으로 흐리게 만들어 모아레 현상을 방지하려 한다. 이것은 [그림 1]의 간단한 실험을 통하여 설명할 수 있다. 그림의 (b)는 (a)와 달리 ‘흐림효과’가 더해진 패턴을 겹친 결과를 보여주며, 모아레 현상이 크게 감소한 것을 볼 수 있다. 이처럼 두 패턴 중 하나를 흐리게 만들면 모아레 현상 방지 효과를 기대할 수 있다.



<그림 1> Reducing Moiré Phenomenon due to Application of Blur.

2) Y. C. Park, "The Principle and Applications of Moire Phenomenon," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 6, June 2000.

LED 스크린의 흐림 정도는 초점심도 depth of field와 밀접한 관련이 있으며 대부분 이 범위를 벗어나 흐려짐이 더해져야 방지할 수 있다. 그러므로 초점을 맞추는 피사체의 위치와 조리개에 의한 심도 범위가 LED 패턴을 제거하기 위한 주요 변수로 작용한다. 또한, 렌즈의 초점거리, 조리개, LED 스크린 해상도, 카메라와 LED 스크린의 거리, 카메라와 배우의 거리, 허용착란원, 등 많은 변수가 영향을 미친다. 이러한 변수들은 모두 수치화할 수 있으며 상관관계를 분석하여 수식으로 만들 수 있다. 다음 [표 1]은 본 연구에서 제시하려는 수식에 사용하는 변수들과 각각의 약어 등을 설명한다.

변 수	약 어	내 용
초점거리(Focal Length)	FL	렌즈 고유의 초점거리
조리개 구경(F number)	F	렌즈 제 2주점의 구경 변화 단계
허용착란원(Circle of Confusion)	CoC	초점이 맞다고 판정하는 착란원의 크기(0.03mm)
피사체 거리(Subject Distance)	SD	카메라와 피사체의 거리
LED 스크린 거리(LED Wall Distance)	LWD	카메라와 LED 스크린의 거리
LED 간격(LED_Pitch)	LED_P	LED 스크린에서 소자 간의 간격
센서의 세로 크기(Sensor Vertical Size)	senVS	카메라 센서의 세로 크기
과초점거리(Hyperfocal Distance)	HD	렌즈의 심도가 최대한 넓게 할 수 있는 초점거리
원거리_심도영역(Far_Depth of field)	F_dof	피사체 기준 뒤쪽 심도범위
LED 벽에 대한 착란원 (LED Wall Circule of Confusion)	LW_CoC	카메라 초점이 피사체에 맞았을 때 LED 스크린에 해당하는 착란원 크기
LED 1개의 확산 비율 (Sensor LED Pirch Ratio_CoC)	senLPR_CoC	센서에서 LED 1개의 착란원이 확산하는 비율
LED 패턴 판독 결과(Final Result)	FR	판독 결과 : 1 이하 허용, 1 이상 불가 판정

<표 1> Variables and Abbreviations to Remove the Moiré Phenomenon.

본 연구에서는 이 변수들이 어떻게 ‘LED 스크린의 흐림정도’에 영향을 미치며 서로 간에 관계식을 만드는 과정에 대하여 설명하고 이를 응용하여 모아레 현상을 예측할 수 있도록 만든다. 또한, 이 수식들을 바탕으로 LED 스크린에서 테스트 촬영을 진행하고 적용 가능성을 증명한다. 본문에서 일관된 기술을 위하여 주된 변수를 ‘조리개 변화’로 한정하여 설명한다.

## II. 본론

### 1. LED 스크린 착란원의 크기 계산

버추얼 프로덕션의 LED 스크린은 피사체 뒤쪽에 위치하며 LED 패턴을 보이지 않게 하도록 피사체로부터 멀리 띄워야 한다. 그 거리는 초점심도 범위를 벗어나 LED 소자들이 서로 구분되지 않을 정도로 초점이 흐려질 만큼 멀어져야 한다. 이것은 거리뿐만 아니라 조리개, 렌즈의 초점거리, LED 스크린 해상도, 등에도 영향을 받는다.

가. ‘원거리\_초점심도’(F\_dof) 계산

초점을 결정하는 가장 중요한 요소는 렌즈가 만들어 내는 착란원의 크기이다. 일반적으로 풀프레임 카메라는 0.025mm ~ 0.03mm의 착란원 크기를 기준으로 초점이 맞는 영역을 결정하며 이를 벗어나는 영역은 초점이 맞지 않는다고 평가한다. 그러므로 초점이 맞는 피사체의 착란원은 0.03mm 이하의 크기로 센서에 기록된다. 이러한 현상은 [식 1]과 [식 2],[식 3]으로 정리할 수 있다. [식 1]은 렌즈의 ‘과초점거리’(HD)를 계산하는 방법으로 렌즈의 심도를 최대한 넓게 만들 수 있는 피사체의 초점거리를 계산한다. 예를 들어, 초점거리 50mm 렌즈에 풀프레임 센서(CoC = 0.03mm), 조리개 F4를 설정한 카메라의 과초점거리는 약 20.88m 로 계산된다.

이 값을 [식 2],[식 3]에 적용하여 특정 ‘피사체의 거리’(SD)를 기준으로 초점심도를 구할 수 있다. [식 2]는 피사체를 기준으로 카메라와 ‘원거리\_심도영역’(F\_dof), [식 3]은 ‘근거리\_심도영역’(N\_dof)이 계산된다. 예를 들어, 2m 전방의 피사체에 초점을 맞추고 촬영한 경우 [식 2]를 통해 계산된 결과는 약 2.2065이며 피사체를 기준으로 뒤쪽으로 2.2065m까지 초점이 맞다고 할 수 있다. 이것은 2.2065m 뒤에 위치하는 LED 스크린과 같은 피사체는 0.03mm보다 큰 착란원으로 센서에 기록된다고 할 수 있다.

$$\text{Hyperfocal Distance(HD)} = \frac{\text{Focal Length(FL)}^2}{\text{F number(F)} \times \text{Circle of Confusion(CoC)}} \quad \text{<식 1>}$$

$$\text{Far Depth of field}(F_{\text{dof}}) = \text{Subject Distance}(SD) \times \frac{HD - FL}{HD - SD} \quad \text{<식 2>}$$

$$\text{Near Depth of field}(N_{\text{dof}}) = \text{Subject Distance}(SD) \times \frac{HD - FL}{HD + SD - 2 \times FL} \quad \text{<식 3>}$$

나. 'LED 스크린의 착란원 크기'(LW\_CoC) 계산

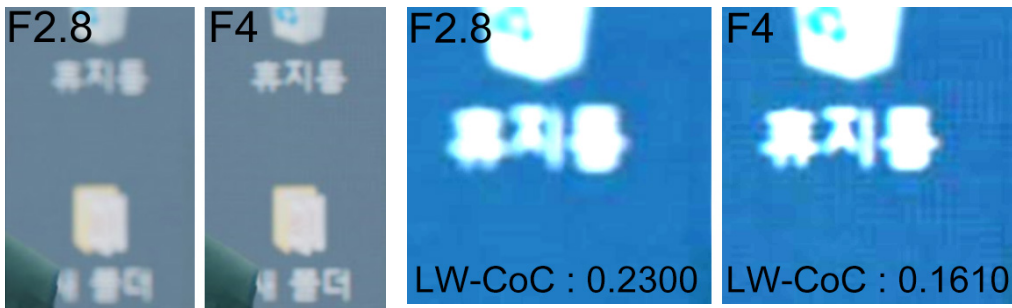
피사체 뒤에 있는 LED 스크린은 초점심도에서 벗어나 0.03mm 이상의 착란원을 가지며 정확한 크기는 [식 4]로 구할 수 있다. 이것은 [식 2]의 '먼 쪽 심도거리'(F\_dof)를 'LED 스크린의 거리'(LWD)로 하고 상수인 '착란원'(CoC)값을 미지수로 하여 역으로 계산하면 'LED 스크린의 착란원 크기'(LW\_CoC)를 얻는다. 앞서 설명한 예시에 적용하면 4m 뒤에 있는 LED 스크린의 착란원은 0.16mm로 커지게 된다.

$$\text{LED wall\_Circle of Confusion}(LW\_CoC) = \frac{FL^2 / HD}{F} \quad \text{<식 4>}$$

## 2. 렌즈별 LED 스크린에 대한 착란원 효과

가. 50mm 렌즈를 이용한 착란원 크기조절 효과

LED 스크린 패턴을 흐려지게 하기 위하여 조리개를 이용한 착란원 크기조절 실험을 진행하였다. [그림 2]는 50mm 렌즈를 이용하여 조리개 F2.8, F4로 LED 스크린을 촬영한 결과이며 [그림 3]는 [그림 2]의 특정 부분을 확대, 명암 대비를 조절하여 두 차이를 증폭해서 보여주고 있다. [그림 2]의 좌측 아래에 초점이 맞는 피사체가 보이며 뒤에 LED 스크린이 조리개의 수치에 따라 초점이 맞지 않고 있는 것을 알 수 있다. [그림 3] 우측, F4로 촬영한 결과는 LED 패턴이 남아있는 문제를 확인할 수 있으며 모아레 현상으로 이어질 가능성이 있다. 그러므로 F2.8로 촬영한 영상이 적절한 크기의 착란원이라고 판단할 수 있다. 이 촬영과정을 앞서 제시한 수식을 이용하여 계산하면 F2.8에 해당하는 착란원의 크기는 약 0.2300, F4는 0.1610으로 계산된다.

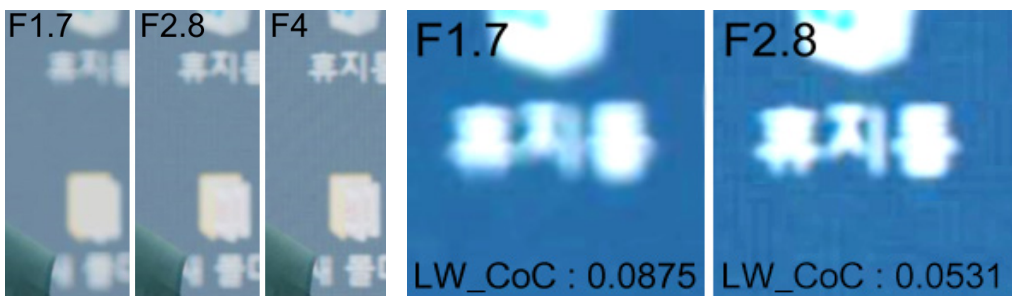


&lt;그림 2&gt; 50mm Lens Results.

&lt;그림 3&gt; Add Contrast Adjustment (Effect Amplification).

나. 24mm 렌즈를 이용한 착란원 크기조절 효과와 렌즈별 차이

앞서 50mm 렌즈로 촬영한 결과에서 LED 스크린의 착란원이 0.2300일 때 모아레가 방지된다고 판단하였다. 그러나 렌즈를 바꾸어 촬영할 경우 LED 스크린을 위한 착란원의 크기가 다르다는 것을 확인하였다. [그림 4], [그림 5]는 24mm 렌즈로 촬영한 결과에 대한 조리개별 효과 비교이다. LED 패턴을 발견할 수 없는 적절한 조리개는 F1.7이며 착란원의 크기는 0.0875로 계산된다. 이 수치는 50mm 렌즈의 0.2300과 큰 차이를 보인다. 그러므로 착란원 크기가 절대적인 지표가 될 수 없으며 렌즈에 따라 적절한 크기를 구해야 한다.



&lt;그림 4&gt; 24mm Lens Results.

&lt;그림 5&gt; Add Contrast Adjustment (Effect Amplification).

### 3. 렌즈별로 다른 LED 스크린의 착란원

가. '센서\_LED 1개의 확산 비율'(senLPR\_CoC) 계산

렌즈별 초점거리의 차이는 화면에 표현할 수 있는 LED 소자의 양을 결정한다. 같

은 거리에 있는 LED 스크린에 대하여 망원계열 렌즈는 광각계열보다 더 적은 양의 LED 소자가 촬영된다. 그러므로 센서에 표현되는 착란원의 크기를 광각렌즈의 그것보다 크게 키워야 모아레 현상을 방지할 수 있다. [식 5]는 이것을 계산하는 식으로 ‘LED 간격’(LED\_P), ‘센서 세로 크기’(senVS) 등의 변수를 추가로 사용한다. 또한 [식 6]을 통해 ‘센서\_LED 소자 1개의 확산 비율’(senLPR\_CoC)을 계산하여 렌즈의 초점거리와 상관없이 일정한 수치로 비교한다.

$$\text{senLCS} = \frac{\text{senVS}}{\text{senVS} \times \text{LWD} / \text{FL} / \text{LED P}} + \text{LW\_CoC} \quad \text{<식 5>}$$

$$\text{senLPR\_CoC} = \text{senLCS} / \text{senVS} / \text{senVS} \times \text{LWD} / \text{FL} / \text{LED\_P} \times 100 \quad \text{<식 6>}$$

#### 나. 허용치 설정과 렌즈별 결과계산

앞서 제시한 계산 과정을 통해 렌즈의 초점거리와 상관없이 LED 소자의 확산 비율을 구할 수 있게 되었다. 확산 비율 senLPR\_CoC 값이 수치가 클수록 초점이 흐려지며 약 590%를 기준으로 모아레 현상을 유발하는 LED 패턴이 가장 안정적으로 사라지는 지점임을 확인하였다. [표 2]는 4가지 렌즈의 ‘LED 패턴 판독 결과’(FR)로 조리개를 제외한 모든 조건을 같게 하였다. 590%를 기준으로 이보다 높으면 1 이하, ‘Acceptable’로 표기하고, 낮으면 1 이상, ‘NG’로 표기했다.

렌즈(FL)	조리개(F)	LW_CoC(mm)	senLCS(mm)	senLPR_CoC(%)	FR(≤1.0)	
24mm	F1.7	0.0876	0.1032	661.5	0.89	Acceptable
	F2.8	0.05319	0.06879	440.9	1.34	NG
35mm	F2.8	0.11296	0.13571	596.5	0.99	Acceptable
	F4	0.07907	0.10182	447.6	1.32	NG
50mm	F4	0.16107	0.19357	595.6	0.99	Acceptable
	F5.6	0.11505	0.14755	454	1.3	NG
70mm	F5.6	0.22493	0.27043	594.4	0.99	Acceptable
	F8	0.15745	0.20295	446.1	1.32	NG

#### □ 공통 변수

- LED 간격(LED\_P) : P2.6
- 센서 세로 길이(senVS) : 14.25mm (\*\*Camera : BlackMagic URSA Mini Pro 12K)
- 피사체 거리(SD) : 2m
- LED 스크린 거리(LWD) : 4m
- 허용착란원(CoC) : 0.03mm

<표 2> FR calculation and analysis results reflecting 590% allowance.



#### 4. 효과검증을 위한 테스트 촬영.

##### 가. 테스트 촬영 세트 구성

계산식을 실제 적용해 보기 위하여 테스트 환경을 구성하였다. 스튜디오에 P2.6 LED 스크린과 조명, 마네킹, 등을 설치하고 테스트 촬영을 진행하였다. [그림 6]은 테스트를 위하여 준비한 스튜디오 구성을 보여준다.

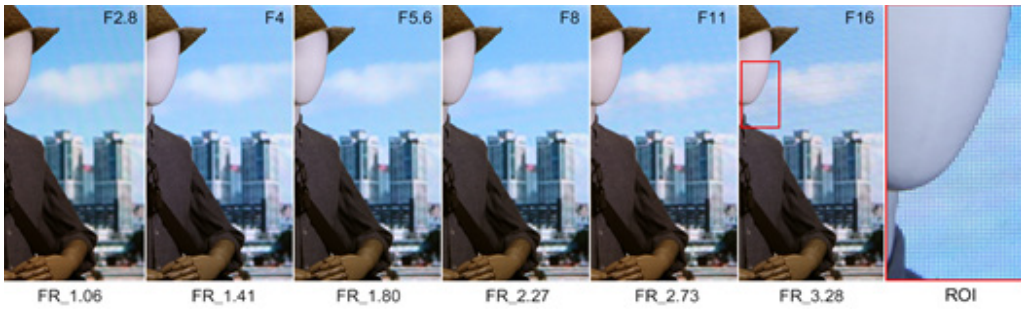


<그림 6> Configure LED Screen Test Set.

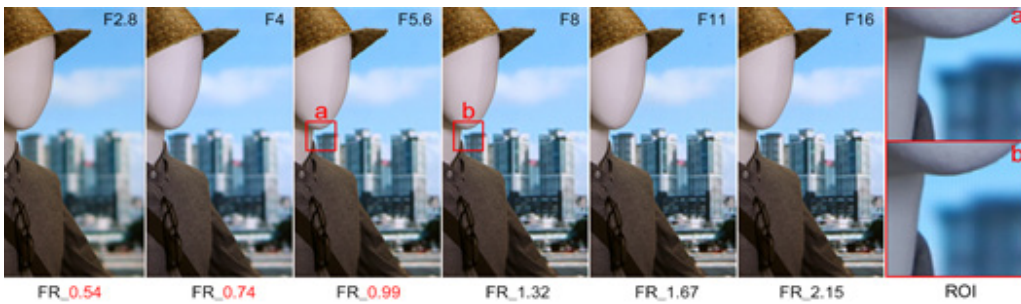
##### 나. 피사체 거리 변화에 대한 조리개 조절 테스트

카메라와 피사체의 거리를 4.8m, 3.5m, 2.2m, 1.1m로 변화시키고 각각의 지점마다 카메라 조리개를 F2.8에서 F16까지 변화시키며 촬영하였다. 카메라와 LED 스크린의 거리는 7m로 고정하고 렌즈는 70mm를 사용하였다. 다음 [그림 7], [그림 8], [그림 9], [그림 10]은 피사체의 거리별, 조리개별 촬영결과이며 FR값을 계산하여 표기하였다. 또한, 우측에 분석을 위해 중요한 부분(ROI : Reason of Important)을 확대해서 표시하였다.

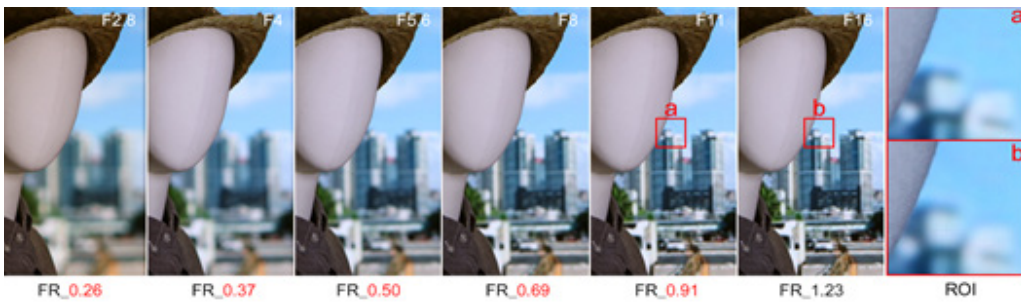




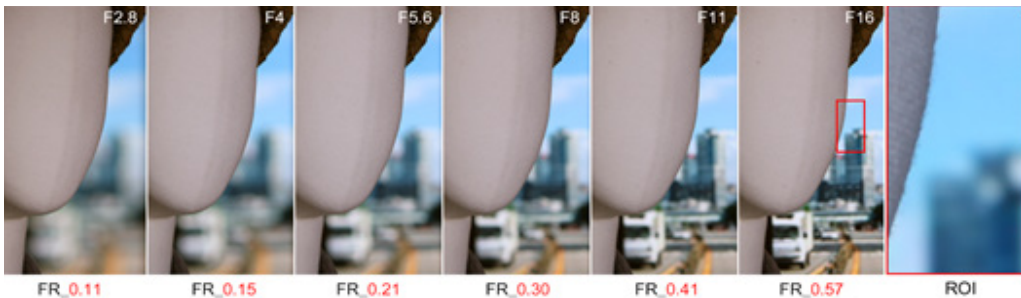
<그림 7> LED screen distance 7m, subject distance 4.8m



<그림 8> LED screen distance 7m, subject distance 3.5m



<그림 9> LED screen distance 7m, subject distance 2.2m



<그림 10> LED screen distance 7m, subject distance 1.1m

[그림 7], 피사체 거리 4.8m에서는 모든 조리개 촬영결과의 FR값이 1 이상으로 계산되었고 스크린 패턴은 확연히 식별할 수 있다. 반면, [그림 10], 피사체 거리 1.1m

에서는 모두 1 이하로 계산되었으며 패턴은 찾을 수 없다. [그림 8], [그림 9]에서는 특정 조리개 크기를 기점으로 패턴 발생을 확인할 수 있으며 우측에 확대된 ROI a, b 비교를 통하여 패턴 발생 시점이 FR값 1을 기준 한다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과로 앞서 제시한 수식들이 예상대로 동작하는 것을 확인할 수 있으며 LED 스크린 패턴으로 발생하는 모아레 현상을 예측할 수 있게 되었다.

### III. 결론

대형 LED 스크린을 활용하는 버추얼 프로덕션 영상제작은 고가의 장비들과 여러 가지 첨단 기술이 집약되는 이유로 기존의 프로덕션들이 쉽게 시작할 수 없었다. 그러나 영화 <만달로리안> 등 성공한 프로젝트들의 등장으로 LED 스크린의 효과, 장점들이 주목받게 되었고 국내에서도 크고, 작은 버추얼 프로덕션들이 생겨나 저변이 확대되기 시작했다. 저자가 속한 연구실에서도 LED 스크린을 준비하여 관련 연구, 교육 프로그램 개발, 영상 콘텐츠제작 등을 하고 있으나 아직 관련 정보가 부족하여 크고, 작은 어려움이 있다. 모아레 현상에 관한 문제는 그중 한 가지이다. 이러한 문제는 조리개 개방 등의 단순한 방법으로 회피할 수 있지만, 콘텐츠제작의 디테일이 정교해지고 구체적인 촬영계획이 요구될수록 준비단계에서 모아레 현상을 예측할 수 있어야 한다.

본 연구는 촬영 이전에 광학적 단서들을 분석하여 모아레 현상이 일어날 가능성을 찾아내는 것이 목적이다. 이를 위하여 분석할 수 있는 계산식을 제시하여 ‘센서\_LED 1개의 착란원 확산 비율’을 구했으며, ‘허용범위 590%’를 적용하여 모아레 현상을 계산할 수 있는 FR값을 구하였다. 또한, 이 계산 결과를 실제 LED 스크린 촬영결과와 비교하여 효과를 검증하였다. 차후 과제는 ‘영상 압축률’과 ‘센서 해상도’ 등을 고려하여 계산식을 개선하고, 허용범위 590% 근거에 관한 연구를 진행할 계획이다.

## 참고 문헌

### <논문>

- A. Wood, "Intangible spaces: Three-dimensional technology in Hugo and IMAX in The Dark Knight," The International Journal of Research Into New Media Technologies, Vol 21, Issue 2, pp. 169-181, 2015.
- D. H. Lee, "Virtual Production and Intensified Visual Effects : Focusing on the Case Analysis of The Mandalorian Serie," Journal of Digital Contents Society Vol. 23, No. 7, pp. 1191-1203, Jul. 2022.
- D. H. LEE, "Research on Production Technology Trends Using Virtual Production Technology: Focusing on Visual Special Effects Movies," Journal of the Moving Image Technology Associon of Korea, Vol. 31, pp. 61-78, December 2019.
- M. Sawicki and J. Moody, Filming the Fantastic with Virtual Technology: Filmmaking on the Digital Backlot, New York : Routledge, 2020.
- M. You, "Concept of Virtual Production and Analysis of Overseas Production Cases," The Korean Journal of animation, Vol. 17, No. 1, pp. 98-118, March 2021.
- S. Prince, Digital Visual Effects in Cinema: The Seduction of Reality, New Brunswick, N.J : Rutgers University, 2011.
- Y. C. Park, "The Principle and Applications of Moire Phenomenon," Journal of Korean Sorciety of Precision Engineering, Vol. 17, No. 6, June 2000.

---

투고일자: 2022년 10월 18일

심사일자: 2022년 11월 2일

게재확정일자: 2022년 12월 7일

## Abstract

## LED Pattern Removal Techniques for Controlling Screen Moiré Phenomenon in Virtual Production

Cho, Do Hee

Researcher, Graduate School of Advanced Imaging Science, Chung-Ang University

Har, Dong-Hwan

Professor, College of Art&Technology, Chung-Ang University

The purpose of this study is to find the possibility of moiré phenomenon by analyzing optical cues before photographing in LED-based virtual production. The Moiré phenomenon is the interference fringe created by the periodic pattern of the camera sensor and the LED screen. Therefore, this phenomenon can be avoided by blurring LED Screen patterns through optical adjustment. To this end, the analysisable optical variables were set as 'Focus Length', 'F number', 'Circle of Confusion', 'Subject Distance', 'LED Screen Distance', 'LED Pitch', and 'Sensor Vertical Size of Camera'. In addition, a calculation formula was created to obtain the diffusion ratio of LEDs on the sensor surface. Based on the diffusion ratio of 590%, it was set as the reference point for the moiré phenomenon. Since this comes out differently for each lens and distance, an FR value that can be easily distinguished based on 1 was presented. Finally, this calculation formula was applied to real LED screen photography to verify its effectiveness.

**Key Words** : Virtual Production, XR Studio, LED Screen, LED Pattern, Screen Moiré

www.kci.go.kr