

## 4K 초고속 카메라 촬영기술의 워크플로우에 관한 연구

김상일\*, 박성철\*, 김정호\*, 권순철\*\*, 이승현\*\*\*

### 요약

4K 초고속 카메라 촬영은 해상도 및 셔터스피드 증가로 인해 빠른 피사체의 영상을 모션 블러 없이 Full HD 4배 해상도로 촬영이 가능하다. 그러나 해당 촬영은 데이터 량의 증가와 광량, 포커스 등 여러 가지 제약사항이 뒤따른다. 증가된 셔터스피드로 인해 광량 부족 현상을 가져올 수 있어 조리개를 개방하여 촬영하는 경우가 많아 초점 조절에 제약이 따른다. 또한 증가된 해상도와 프레임레이트로 인해 저장 공간의 한계가 뒤따르기 때문에 촬영 기록에 제한이 따르고 있다. 따라서 본 연구는 4K 초고속 카메라(Phantom Flex 4K) 제작 사례를 통해 위와 같은 한계점들에 대해 분석하고, 이를 극복하기 위한 효율적인 워크플로우를 디자인 하였다.

키워드 : 4K, 초고속카메라, UHD

## A Study on the Workflow of Cinematography with 4K High Speed Camera

Sang-il Kim\*, Sung-chul Park\*, Jung-ho Kim\*, Soon-chul Kwon\*\*, Seung-hyun Lee\*\*\*

### Abstract

4K high speed camera shooting enables shooting of fast subjects in Full HD 4 times resolution without motion blur due to increase in resolution and shutter speed. However, this shooting incurs several limitations including focus, intensity of radiation and increase in data quantity. As lack of intensity of radiation may occur due to increased shutter speed, it is shoot by opening aperture and limitation in focusing follows. In addition, there is limitation in shooting records since it has restriction in storage due to increased resolution and frame rate. In this regard, this study aims to analyze the limitations shown above through production case of 4K high speed camera (Phantom Flex 4K) and to design effective workflow to overcome this.

Keywords : 4K, High Speed Camera, UHD

## 1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Seung-hyun Lee

접수일:2014년 05월 27일, 수정일:2014년 06월 25일

완료일:2014년 06월 29일

\* 광운대학교 박사과정

\*\* 광운대학교 교수

\*\*\* 광운대학교 교수

Tel: +82-2-912-6683, Fax: +82-2-910-8932

email: shlee@kw.ac.kr

■ 이 논문은 2014년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

최근 3DTV를 넘어 UHD-TV가 각광을 받고 있으며, 이에 따른 4K 영상제작이 활성화 되고 있다. UHD-TV는 초고화질 TV 라고 불리며 HDTV 보다 4배에서 16배 이상의 해상도를 가지고 뛰어난 화질을 가지는 방송기술이다[1]. UHD 방송 제작 장비와 UHD-TV 출시 그리고 UHD 방송 정책으로 현재 UHD 방송은 현실화 되고 있으나 정작 UHD 방송을 위한 콘텐츠 제작현실은 그렇지 못하다. 따라서 다양한 분야의 UHD 콘텐츠를 확보하기 위해서는 초고속 촬영과 같은 특수 촬영 기술 접목이 필요한 시점이다[2][3].

일반적으로 고속카메라는 인간의 눈으로 보기

에 빠른 현상의 물체를 촬영 하는데 사용 된다. 프레임레이트는 일반적으로 초당 촬영 기록하는 값이며, 셔터스피드는 센서에 기록 되어지는 노출시간이다. 고속카메라에서는 프레임레이트가 증가하면서 셔터스피드 또한 증가하여, 빠른 물체의 촬영에도 모션 블러 영상을 줄일 수 있다 [4][5]. 그러나 고속 촬영은 셔터스피드가 빠르면 센서에 노출되는 값이 적어 광량 부족이 될 수 있으며, 4K 영상에 프레임 레이트의 증가로 데이터 량이 증가로 촬영시간 및 저장에 제약이 따른다[6].

본 논문에서는 Phantom Flex 4K 초고속 카메라를 이용한 영상 제작을 통해 효율적인 워크플로우 디자인에 목적을 두었다. 4K 영상의 1,000 프레임 초고속 실내외 촬영을 통해 제작 현장에서 발생하는 문제점, 개선점 등을 분석하여 워크플로우를 디자인 한다. 이러한 연구과정을 통해 UHD TV 방송시대의 수준 높은 콘텐츠를 준비하고, 방송 제작 환경 변화에 따른 새로운 방송환경에 적합한 제작방식과 기술변화에 대한 이해의 폭을 넓히고자 한다.

## 2. 4K 초고속 카메라

### 2.1 UHD TV

HDTV와 3DTV로 넘어오며 고품질, 고화질을 기본으로 현장감을 제공하는 방송 서비스의 요구 사항이 증대되고 있다. 가정에서도 영화관처럼 더 크고 선명한 화질의 영상 필요성에 따라 디스플레이 장치의 대형화와 해상도가 지속적으로 발전하고 있다. 최근 주목받고 있는 차세대 방송서비스인 UHD TV는 Full HDTV보다 4배 이상의 고화질 콘텐츠를 제공하고 있다. 이와 함께 다채널 음질을 제공함으로써 가정에서도 영화관 수준의 현장감을 경험할 수 있게 되었다 [1][7].

현재 전 세계적으로 HDTV(High Definition Television)의 방송 화질을 대체할 수 있는 UHD TV(Ultra High Definition Television) 대한 연구 및 시험 방송들이 진행 중에 있다. 국내에서도 UHD TV 전환을 위한 단계별 로드맵을 발표하고 상용화를 위한 지원정책을 수행하고 있으며 이미 지상파, 케이블TV, 위성방송 등 각

플랫폼 별로 시험방송을 마친 상태이다. 또한 4K 전송을 위한 HEVC 차세대 압축코덱이 등장하였으며, 4K 해상도를 지원하는 카메라 및 여러 상용 장비들이 등장하고 있다[7].

2012년 5월 30일 국제전기통신연합 ITU(International Telecommunication Union)에서는 UHD TV의 여러 파라미터 기준을 <표 1>과 같이 제시하였다. 화질은 기존의 HDTV보다 4배(3840×2160)에서 16배(7680×4320)까지 높은 화소와 10, 12 비트의 컬러 영상 포맷을 정의하였다. 또한 프로그레시브 주사 방식과 함께 최대 120Hz의 높은 프레임 레이트를 규정하였으며, 색상 정보도 4:2:2 이상으로 채택하여 큰 화면에서도 섬세하고 자연스러운 영상 표현이 가능하게 하였다[1].

<표 1> UHD TV의 파라미터

| Parameter                            | Value  |                |
|--------------------------------------|--|----------------|
| Picture aspect ratio                 | 16:9   |                |
| Pixel count<br>Horizontal × vertical | 7680 ×<br>4320   | 3840 ×<br>2160 |
| Sampling lattice                     | Orthogonal   |                |
| Pixel aspect ratio                   | 1:1 (square pixels)                                      |                |
| Frame frequency(Hz)                  | 120, 60, 60/1.001, 50, 30,<br>30/1.001, 25, 24, 24/1.001 |                |
| Scan mode                            | Progressive  |                |

<Table 1> Parameters of UHD TV

### 2.2 초고속촬영

영국의 사진작가 Edward Muybridge는 고속 촬영의 역사를 열었다. 그는 1873년 말경 움직임을 스틸카메라로 연속 촬영을 했다. 그 당시 모든 말이 달리는 동안 말의 다리가 쌍으로 나란히 움직이는 줄 알았다. 그러나 Muybridge는 고속촬영 기술을 이용하여 동시에 네 다리가 땅에서 떨어지는 것을 촬영했는데 이것이 눈으로 볼 수 없는 현상을 고속 촬영한 첫 시발이었다[8]. 이후 고속 촬영은 국방, 산업에서의 각종 실험, 스포츠, 예술사진 등에 응용되고 있다[9-11].

초고속 촬영은 피사체의 면적, 피사체의 속도, 촬영속도, 카메라분해능, 촬영 기록시간, 트리거 방법 및 동기화, 조명 등에 촬영 영향을 받는다. 촬영속도는 고속카메라에서 가장 중요한 요소 중 하나로 초당 최대 해상도에서 몇 장의 영상을 촬영하는 할 수 있는 가이고, PPS(pictures per second)로 표시한다[6][12].

이미지 센서의 광량에 영향을 주는 것은 렌즈의 F-number, 촬영속도, 노출시간, 빛의 세기, 측정 피사체의 반사정도, 센서의 감도 및 센서의 SNR(신호대잡음비, Signal-to-Noise Ratio) 등이다. 특히 노출시간은 촬영대상체의 속도와 방향, 실제 촬영대상체 크기와 센서의 확대비, 촬영 속도와 관련하여 얼마나 선명하고 밝게 촬영할 것인가에 의해 결정하게 된다. 전자 셔터는 센서가 빛에 노출되는 시간을 제어한다. 만약 빠른 대상물체를 촬영하려면 노출 값을 줄여 모션 블러 현상 없이 촬영해야 한다. 식 2.1은 모션 블러 없이 촬영이 가능한 노출시간 결정 식이다. 모션 블러란 피사체의 한 부분이 한 픽셀 초과 기록이 되면 블러 현상이 발행된다. 따라서 카메라 화각을 피사체 이동속도로 나누어 주고 이를 다시 수평 해상도 즉 픽셀로 나누어 주면 블러가 없는 최대 노출시간이 나온다. 결국 셔터스피드를 이보다 짧게 하는 경우 모션 블러 없는 영상 획득이 가능하다[6].

$$exposure = \frac{FOV}{velocity \times horizontal\ pixels} \tag{2.1}$$

또한 감도가 좋은 카메라는 적은 광량으로도 좋은 영상을 얻을 수 있다. 고속촬영을 할 때는 광량을 많이 필요로 하게 되는데, 물리적인 제약으로 인하여 피사체에 조명을 조사하기 힘든 경우, 카메라가 갖고 있는 좋은 감도 요소가 매우 중요한 항목이 된다[12-14].

조명은 고속촬영에서 중요한 요소 중의 하나이며, 광원은 균일도, 강도, 색온도, 플리커의 양, 광원의 크기, 조사각의 변화 등을 고려하여 선택해야 한다. 특히 촬영간 노출 값의 변화가 없어야 하기 때문에 플리커가 없는 조명이 요구된다. 일반적으로 사용되는 광원의 종류는 텅스텐(백열램프, 3,200K) 및 HMI(halogen-metal-iodide)

가 사용된다. 조명의 광량은 셔터스피드가 올라갈수록 더 많이 요구되며 초당 1,000 프레임으로 촬영 할 경우에는 1㎡ 당 100,000 룩스 이상의 광량이 있어야 한다. 이런 환경을 만들기 위해서는 많은 조명기구가 필요하며 많은 기구들이 사용되므로 광원의 면적 당 균일도는 세심한 조정이 되어야 하는 고도의 기술이 필요하다.

### 2.3 Phantom Flex 4K

Phantom Flex 4K는 초당 1,000장까지 고속촬영이 가능한 카메라로 4096×2304에 초당 900장까지 제공하고, 4096×2160에서는 초당 1,000장까지 촬영할 수 있다. 1920×1080 해상도에서는 초당 2,000장까지 촬영이 가능하다. 또한 Flex4K는 4K 해상도에 super-35mm 필드 깊이를 제공한다. 10메가 픽셀 센서로 인상적인 다이내믹 레인지와 저 노이즈로 복잡한 디테일을 캡처한다. 이는 우수한 화질과 낮은 광량 성능이 가능하다는 의미이다. 뛰어난 온도 제어와 진보적인 외형디자인으로 매우 안정된 이미지를 가진 빠른 촬영능력을 제공한다. 촬영이 들어가기 전에 기본적인 캡처와 기록 매개변수를 셋업하고, 관련 버튼을 눌러 촬영속도와 노출시간 같은 일상적으로 조정되는 매개변수들을 계속하여 접속할 수가 있다. 또한 싱크 사운드 촬영속도와 타임코드를 지원한다. <표 2>는 Phantom Flex 4K 스펙을 보여준다[12].

<표 2> Phantom Flex 4K 스펙

| Parameter             | Value                       |
|-----------------------|-----------------------------|
| Sensor                | Cmos/ Super35               |
| Resolution            | 4096×2304                   |
| Max Fps@4K            | 1000 fps                    |
| 4K Raw Implementation | 12bit liner<br>10bit packed |
| Weight                | 6.3Kg                       |
| Recording Media       | 6.3Kg                       |

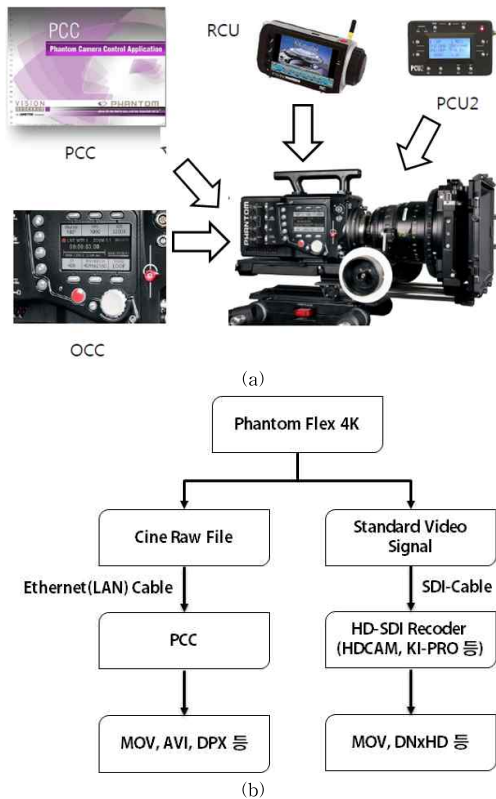
<Table 2> Parameters of Phantom Flex 4K

## 3. 4K 초고속 카메라 촬영 워크플로우

### 3.1 Phantom Flex 4K 환경 구성

일반적인 촬영 환경 구성과 달리 Phantom Flex 4K는 별도의 환경구성 과정이 필요하다. Phantom Flex 4K는 PCC(Phantom Camera Control) S/W를 사용하여 팬텀 초고속 카메라의 모든 기능을 제어하는 소프트웨어로서 촬영속도, 해상도, 셔터스피드 등의 세부적인 환경을 조절한다. 이후 카메라에 저장된 Cine Source Image의 Raw File을 이더넷(ethernet) 케이블을 이용하여 다운로드 한다. (그림 1)은 Phantom Flex 4K 구성 세트와 이미지 출력 워크플로우를 보여준다.

(그림 1) Phantom Flex 4K 환경구성 (a) 카메라 구성품 (b) 이미지 출력 워크플로우

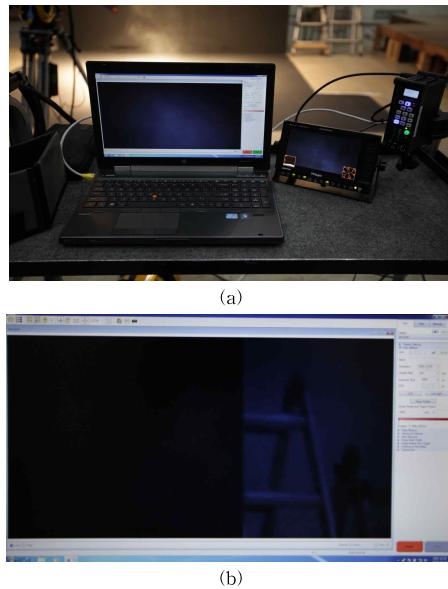


(Figure 1) Setting of Phantom Flex 4K (a) Components of camera (b) Workflow of image export

Phantom Flex 4K의 이미지 포맷은 Cine Raw File과 Standard Video Signal로 변환하여 출력이 가능하다. Cine Raw File로 출력하는 경

우 고속촬영 된 파일을 노트북으로 직접 Cine Raw File 형태로 다운로드 한다. PCC 소프트웨어를 이용하여 사용자가 원하는 파일 형식으로 변환한다. Standard Video Signal인 경우 고속촬영 된 영상 원본을 카메라와 연결된 HD-SDI 단자를 통하여 원하는 비디오 형식으로 출력한다. HD-SDI 레코더(HDCAM, Ki-Pro)에 저장하여 HD 테이프나 MOV, DNxHD 파일 형태로 레코딩 한다. (그림 2)는 PCC를 이용한 환경 구성을 보여준다. PCC를 통해 클립별 촬영 구간에 대해 촬영 직후 확인이 가능하며, 이후 저장할 촬영 구간을 선정하고 나머지 구간은 삭제한다.

(그림 2) 팬텀 카메라 콘트롤 소프트웨어



(Figure 2) Phantom Camera Control S/W

### 3.2 제한점 분석

Phantom Flex 4K 촬영간 다음의 3가지 제한점들이 제시되었다. 1) 데이터 저장용량으로 인해 촬영 저장의 한계, 2) 광량부족으로 인한 화이트 노이즈 발생, 3) 광량 부족 시 조리개 개방으로 심도가 얕아지는 현상으로 피사체의 초점 조절의 어려움이 따른다.

첫 번째, Phantom Flex 4K 경우 4K 해상도와 1,000 프레임까지 가능한 프레임수로 인해 레코딩 시간의 제약의 따른다. <표 3>은 최대 해

상도 및 프레임 세팅 값에 따른 레코딩 가능 시간을 보여준다. 예를 들어 4K로 1,000 프레임 촬영할 경우 64 GB 기준 4.9초 촬영이 가능하다.

<표 3> Phantom Flex 4K 레코딩 시간 기준표

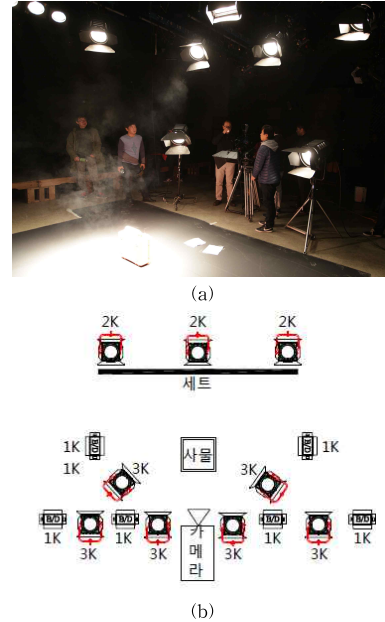
| Maximum Record Times<br>* recording times vary based on memory size, frame rate and resolution |                 |             |                          |
|--|-----------------|-------------|--------------------------|
| Resolution   | Frame           | 64GB RAM    | 2TB CineMag IV R/S Mode* |
| 4096×2304 (max res)  | 940 (max loop)  | 4.8 seconds | -                        |
| 4096×2160 (4K std)   | 1000 (max loop) | 4.9 seconds | -                        |
| 4096×2160  | 125             | 38 seconds  | 20 minutes               |
| 4096×2160  | 24              | 3 minutes   | 100 minutes              |
| 1920×1080 (16×9)   | 2000 (max loop) | 9.8 seconds | -                        |
| 1920×1080  | 250             | 78 seconds  | 20 minutes               |
| 1920×1080  | 24              | 13 minutes  | 200 minutes              |

\* Frame rates and duration to 2TB CineMag IV are estimates

<Table 3> Reference standard of recording time of Phantom Flex 4K

두 번째, 초고속 촬영의 경우 늘 제한되는 것이 광량의 부족이다. (그림 3)은 실내외 촬영의 조명 배치도 및 환경을 보여주며, <표 4>는 광량에 따른 설정 값을 보여준다. 실내 촬영의 경우 충분한 조명으로 광량 조절이 가능하나 피사체에 과도한 열의 노출로 인해 제한이 따른다. 실내촬영의 경우 SPOT 2KW 3대(BACK용), SPOT 3KW 6대(KEY용), BROAD 1KW 6대(FILL겸 BASE)를 배치하였다. 실외 촬영의 경우 부가적인 조명 세팅 없이 자연광을 이용하였다. <표 4>와 같이 피사체의 속도와 광량 조건에 따라 적정 프레임수를 적용하였다. 대체로 광량 부족으로 인한 조리개의 최대 개방과 동시에 촬영 프레임 수의 제한이 따르는 것을 볼 수 있다.

(그림 3) 실내외 환경에서의 조명 세팅 (a) 실내촬영 환경 (b) 실외 조명 레이아웃



(Figure 3) Lighting setting of interior environment (a) environment of lighting (b) layout

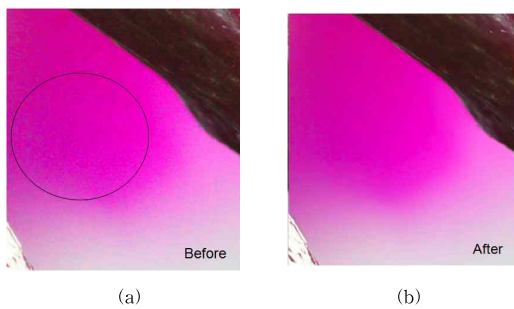
<표 4> 실내외 환경에서의 노출량에 따른 카메라 세팅값

|                      |     |             |
|----------------------|-----|-------------|
| 실내촬영<br>100,000 LUX  | 색온도 | 3100        |
|                      | 셔터  | 356         |
|                      | 프레임 | 1000        |
|                      | 해상도 | 4096 * 2160 |
|                      | EI  | 250         |
|                      | 조리개 | 5.6         |
| 실외촬영I<br>43,000 LUX  | 색온도 | 6400        |
|                      | 셔터  | 346         |
|                      | 프레임 | 300         |
|                      | 해상도 | 4096 * 2160 |
|                      | EI  | 250         |
|                      | 조리개 | 2.8         |
| 실외촬영II<br>87,000 LUX | 색온도 | 5850        |
|                      | 셔터  | 346         |
|                      | 프레임 | 500         |
|                      | 해상도 | 4096 * 2160 |
|                      | EI  | 250         |
|                      | 조리개 | 4           |

<Table 4> Camera setting values according to exposure value of interior and exterior environment

세 번째, 영상 센서 CMOS와 압축변환과정에서 생기는 노이즈들이 80인치 이상이 되는 대형 4K 모니터로 영상 관찰시 노이즈 발생 영역이 쉽게 발견되어진다. 따라서 노이즈 리덕션 작업을 통해 노이즈 발생 영역을 최소화 시킨다. 노이즈 발생영역, 주 컬러 확인하고 노이즈 축소세팅 및 렌더링을 한다. 그레인(grain) 제거와 일치하는 최적 값을 확인하여 샤프니스(sharpness) 필터를 추가, 디테일 보완 단계를 거쳐 진행한다. (그림 4)는 화이트 노이즈 장면(a) 노이즈 리덕션 장면(b)을 보여준다.

(그림 4) 노이즈 리덕션 (a) 적용 전 (b) 적용 후



(Figure 4) Noise reduction (a) before (b) after

### 3.3 제한점 분석을 통한 Phantom Flex 4K 촬영 워크플로우

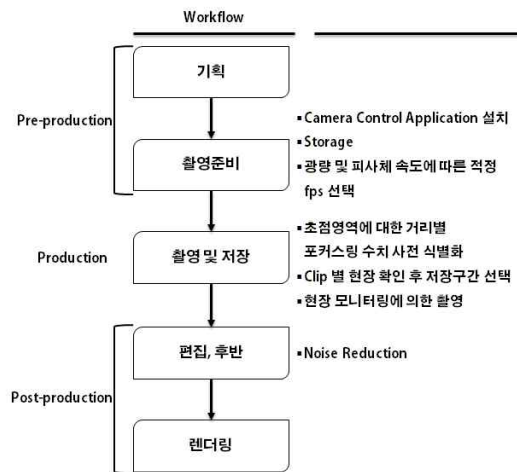
4K 초고속 촬영의 제한점 분석을 통해 아래 그림과 같이 효율적인 워크플로우를 제시 하였다. 데이터 저장 용량의 한계로 사전 계획이 잘 되어야 하며, 기획 단계를 거쳐 촬영 준비단계에서는 카메라 콘트롤 어플리케이션 설치 후 충분한 스토리지를 확보한다. 적정 프레임레이트 선택으로 과도한 초고속 촬영을 지양한다. 적정 프레임레이트 선택을 위해서는 사전 피사체의 속도 정보를 습득하고, 식 2.1과 같이 모션 블러 없이 촬영이 가능한 노출시간 결정하여, 이에 근접한 프레임레이트를 적용한다.

조명 콘트롤이 힘든 실외 촬영의 경우 조리개 개방으로 심도가 낮아져 초점영역 부족 현상을 가져온다. 따라서 피사체의 거리정보를 사전 파악하여 포커스 링 사전식별 작업이 필요하다. 즉 대부분 빠른 피사체이므로 초점 영역에 대한 사전 검토가 필요하다.

관련 장비 및 세팅 값들의 선정이 되면 촬영 단계에서는 현장 클립을 잘 선택해야 한다. 정확한 사전 기획에 따라 촬영이 진행 되어야 하며, 현장에서 불필요한 클립 및 구간을 삭제하여 최소한의 필요 부분 선정하여 효율적인 데이터 저장을 한다. 4K를 지원하지 않은 현장 모니터링을 통해 필요 클립들을 선정할 경우 실제 4K 디스플레이시 포커스가 맞지 않는 등 문제가 되는 경우들이 많다. 따라서 현장에서의 4K 모니터의 사용으로 적정 클립들의 선정이 요구된다.

편집 및 후반 작업 단계에서의 주의점은 ISO 증가와 4K 모니터로 영상 관찰시 기존 Full-HD에 비해 노이즈 발생이 더욱 많이 보여지게 된다. 4K의 경우, 칼라 그레이드(color grade)가 최종 결과물에서 약간의 변화를 가져오기 때문에 색보정은 노이즈 리덕션 이후에 작업한다. 노이즈 리덕션은 픽셀을 매끄럽게 하고 색의 디테일을 유지하는 작업으로 GenArts Sapphire, Assimilate SCRATCH와 같은 프로그램을 사용한다. 따라서 후반작업에서 노이즈 리덕션 작업이 요구되며, 이후 색보정을 거쳐 렌더링을 통한 최종 결과물을 획득한다. (그림 5)는 제안된 Phantom Flex 4K 초고속 촬영 워크플로우를 보여준다.

(그림 5) Phantom Flex 4K 초고속 촬영 워크플로우



(Figure 5) Workflow of Cinematography with 4K High Speed Camera

## 4. 결 론

최근 UHD TV가 보급되면서 4K 콘텐츠 제작의 붐이 일어나고 있으며, 질 좋은 콘텐츠 제작을 위해 다양한 기법들이 적용되고 있다. 본 논문은 국내에서 처음 시도된 초고속 촬영을 접목한 4K 콘텐츠 제작 사례를 통해 효율적인 워크플로우를 디자인 하였다. 프리프로덕션-프로덕션-포스트프로덕션 단계별 제한점들을 분석하고, 이에 대한 제한점 극복 방안을 제안하였다.

제작 현장의 문제점들을 다음과 같이 정리해 볼 수 있겠다. 데이터 저장용량으로 인해 촬영 저장의 한계, 광량부족으로 인한 노이즈 발생, 그리고 광량 부족 시 조리개 개방으로 심도가 알아지는 현상으로 피사체의 초점 조절의 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위한 제시된 효율적인 워크플로우는 피사체 속도에 의한 적정 fps 선정, 피사체의 빠른 움직임으로 가변하는 초점 영역에 대한 사진 포커스링 식별, 현장 모니터에 의한 C/P 별 저장 구간 선정, 화이트 노이즈 리덕션이 항목으로 제시 되었다. 해당 논문은 질 좋은 UHD 4K 콘텐츠 제작에 초고속 촬영 기법의 적용에 가이드라인을 제시 할 수 있을 것이라 판단된다.

## References

- [1] A. Hamacher, Soon-chul Kwon, and Seung-hyun Lee, "Production changes of UHD TV contents," Korea Society Broadcast Engineers Magazine, Vol.18, No. 2, pp.92-99, 2013.
- [2] G.M Park, Y.J Lee, K.J Lee, S.J Ahn, D.S Jun, J.S Choi, and J.W Kim, "Consideration Factors for UHD TV Technology and Service Development," Proc. Korea Society Broadcast Engineers, No.11, pp.1-3, 2001.
- [3] A. Hamacher, Sung-jin Lee, Yong-jung Kim, and Seung-hyun Lee, "A Study of Game Display Environment for UHD TV," Journal of Korean Society For Computer Game, Vol. 26, No. 2, pp.205-210. June 2013.
- [4] Renken, H., Bolik, T., Eigenbrod, C., and Koenig, J., "Application of a digital high-speed camera system for combustion research by using UV laser diagnostics under microgravity at Bremen drop tower," Progress in Biomedical Optics and Imaging, No.2869, pp. 283-288, 1996.
- [5] Haight, J. S., Peters, B. R., Kalin, D. A., "Application of an ultra-high-speed framing camera to aero-optic investigations", Progress in Biomedical Optics and Imaging, No.1968, pp.841-849, 1993.
- [6] Using High-Speed Cameras for Sports Analysis: [http://www.lambdaphoto.co.uk/pdfs/SportsAnalysisWhitePaper\\_LAMBDA.pdf](http://www.lambdaphoto.co.uk/pdfs/SportsAnalysisWhitePaper_LAMBDA.pdf)
- [7] Kiening, H., "4K and Beyond: Comparing Digital Camera Performance", SMPTE MOTION IMAGING JOURNAL, Vol.120, No.4, pp.60-67, 2011.
- [8] Arthur P. Shimamura, "Muybridge in Motion: Travel in Art, Psychology, and Neurology", History of Photography, Vol.26, No.4, pp. 341-350, 2002.
- [9] Young Ho Son, Yong In Yun, Jung Beom Lee, "A Study on The Improve Colors Reproduction of High Speed Camera," AURA, Vol.17, pp. 18-25, 2007.
- [10] Edge, K. A., Xiao, S., Burrows, C. R., and Shu, J. J., "Flow Visualisation of Cavitation in a Reciprocating Plunger Pump Using High-Speed Cinematography", Vol.2. pp.1101-1106, 1994.
- [11] Eisfeld, F., "3D high-speed cinematography and its problems", Progress in Biomedical Optics and Imaging, Vol.3516, No.1, 1998.
- [12] Phantom Flex 4K : <http://www.visionresearch.com/>
- [13] Clark, C. and Stump, D., "The Status of Cinematography Today", SMPTE MOTION IMAGING JOURNAL, Vol.120, No.6, pp.39-44, 2011.
- [14] Park, Sung-Dae and Han, Soo-Whan, "A Study on Tapeless HD Format Editing -Focus on video editing using PMW-EX3 and Avid Media Composer-",



Journal of Digital Contents Society, Vol.10, No.3, pp. 461-468, 2009.



### 김 상 일

2014년 : 광운대학교 대학원 (문화 콘텐츠학석사)  
현재 : 광운대학교 대학원 (홀로그래피3D콘텐츠박사과정)

1984년~1991년: (주)MBC  
1991년~1998년: (주)SBS  
1998년~2014년: (주)SBS A&T  
2011년~현재 : (주)SBS A&T 실감방송TF 총괄  
관심분야 : S3D, UHD, 초고속 콘텐츠 제작 등



### 박 성 철

2014년 : 광운대학교 대학원 (문화 콘텐츠학 석사)  
현재 : 광운대학교 대학원 (홀로그래피3D콘텐츠 박사과정)

1989년~ 1997년: (주)코오롱  
1997년~ 2000년: 한교인터내셔널 대표  
2000년~ 현재 : (주)한교아이씨 대표이사  
관심분야 : 홀로그래피, PET FILM 등



### 김 정 호

2013년 : 경운대학교 산업정보 대학원 (이학석사)  
~ 현재 : 광운대학교 대학원 (플라즈마바이오 박사과정)

관심분야 : Optometry, 3D display human factor Holography



### 권 순 철

2008년 : 광운대학교 정보콘텐츠대학원 (공학석사-디지털콘텐츠)  
2012년 : 광운대학교 대학원 (공학 박사-정보디스플레이)

2013년~현재 : 광운대학교 교수  
관심분야 : Stereoscopic, Holography



### 이 승 현

1993년 : 광운대학교 대학원 (공학 석사-전자공학과)  
1993년 : 광운대학교 대학원 (공학 박사-전자공학과)

1993년~현재 : 광운대학교 교수  
1994년~현재 : ISU(International Stereoscopic Union) 한국대표  
관심분야 : 패턴인식, 광정보처리, 3D 디스플레이, 디지털홀로그래피