

# 스테레오 카메라 영상처리 기술 및 동향

서자원·김창익 (한국과학기술원)

## I. 서론

보편적으로 새로운 영상기술 및 서비스가 활성화되기 위해서는 기반 인프라 구축과 풍부한 콘텐츠 개발이 우선 해결 과제다. 그러나, 성숙되지 못한 콘텐츠 환경하에서 대규모로 진행되는 인프라 및 마케팅 투자가 쉽게 결정될 수 있는 문제가 아니고, 인프라가 제대로 구축되지 않은 상황에서 사용시기가 불분명한 콘텐츠를 개발한다는 것 또한 동기부여가 충분치 못하다. 불과 몇 년 전까지만 해도 3D 시장이 그러한 상황이었다. 그런데, 근래 들어 TV 제조업체들이 포화된 평판 TV 시장에서 3D TV를 영업상 돌파구로 삼기 시작하면서 관련 시장이 활기를 찾고 있다. 이와 더불어 몇몇 유명세를 탔던 3D 영화들이 제작되면서 3D 상영관 수도 늘어나게 되었고, 자연스레 영화나 TV용 3D 콘텐츠에 대한 관심과 개발도 늘어나고 있는 추세다.

3D 콘텐츠는 크게 애니메이션과 같이 그래픽 기술을 통해 렌더링한 영상물과, 스테레오 카메라를 통해 촬영한 실사 영상물로 구분될 수 있다. 실사 영상물 관점에서 볼 때, 콘텐츠 수가 단기간에 많아지기 위해서는 휴대폰, DSC (Digital Still Camera)와 같은 저가형 스테레오 휴대단말 제품들의 출시가 많아져서 일반 사용자들에 의한 영상물 생성이 활성화되어야 한다. 고가의 스테레오 촬영장비로 제작되는 전문 영상물의 편수는 극히 제한적인 것이기 때문이다. 그러나, 최근에 출시된 스테레오 카메라 제품들을 보면 아직 고가이고, 그 수가 많지 않다. 더욱이, 향후 보급형 제품들이 출시 되었을 때, 자칫 소비자들의 눈 높이에 미치지 못할 경우 3D 시장 활성화에 좋지 않은 영향을 미칠 수도 있다. 따라서, 본 고에서는 보급형 스테레오 카메라를 대상으로 한 스테레오 영상 구현에 필요한 기술, 고려사항 그리고 관련 분야 업계 동향을 다루고자 한다.

II에서는 3D 시청 피로도에 영향을 주는 요소들에 대해 기존 발표된 자료들을 통해 정리해보고, III에서는 피로도 측면에서 스테레오 영상처리에서 중점적으로 다뤄야 할 방법론, 마지막으로 IV에서는 스테레오 영상 보정기술, 개발 동향을 출시된 제품 위주로 정리하였다.

## II. 3D 피로도 (Human Fatigue) 분석

스테레오 카메라로 촬영된 3D 콘텐츠는 양안 입체시를 통해 입체감 있는 영상을 제공하는 대신 3D 피로도를 유발해서 일부 시청자들은 어지러움 증, 구토 등 신체적 거부반응을 나타내기도 한다. 이러한 부작용은 주로 양안의 Convergence와 Accommodation 부정합이 주요 원인이기 때문에, 스테레오 카메라 영상처리에 있어 가장 중요하게 고려되어야 할 사항은 적절한 양안 시차유지와 좌우 영상의 유사도를 최대한 렌더링된 이미지 수준으로 구현하는 것이다.

피로감이 적은 스테레오 영상을 제작하기 위해서는 피로도 유무 또는 그 정도를 판단할 측정기준이 필요하다. 그러나, 표준화되고 정량화된 피로도 측정 방법론이 없는 상황에서 가능성 있는 임의 인자들의 중요도를 파악하기 위해서는 불특정 다수의 테스트 대상자들을 통한 주관적 위험요소 평가가 효과적이다. [1]~[3]의 논문에서 정리된 결과와 필자의 경험적 정보들을 바탕으로 스테레오 카메라 즉, 영상수집 단계에서 피로도에 영향을 주는 중요 요소들을 요약해보면 다음과 같다.

### 1. Camera mismatch

[1]에서는 두 이미지간 수직방향 Shift가 피로도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 제시하고 있으나, 실제 회전 및 기타

Distortion에 의한 영향도 적지 않다. 시청자가 주시하는 이미지 영역과 시청시간에 따라 결코 무시할 수 없는 결과를 나타내기 때문이다. 예를 들어, 두 카메라가 기구적인 영향으로 다소 상하 또는 좌우로 수렴 또는 발산되어 있을 경우에 Keystone Effect가 나타나는데, 이미지 전체적으로 같은 거리의 피사체에 대해 수평 및 수직방향으로 다른 시차를 발생시켜 시청자가 이미지의 어떤 영역을 주시하는가에 따라 그 피로도가 달라지게 된다.

### 2. Image mismatch

좌우 이미지간 상대적인 색감, Blur, 밝기 차이 등이 주요 이미지 불일치 요소라고 할 수 있다. 근본적으로 스테레오 구조에서 두 대의 카메라는 각기 다른 광학계, 이미지센서로 구성되어 있기 때문에 별도의 보정 작업이 없다면 다소 상이한 이미지를 얻을 수 밖에 없다. 예를 들면, <그림 1>과 같이 국부적으로 이미지의 포화 정도가 다르거나, 전체적인 색감 차이가 발생하는 경우를 들 수 있다. 특히, 한 쪽 이미지에서만 포화되거나 어둡게 촬영된 영역이 존재하면, 부분적으로 양안시를 생성하지 못해 피로도가 더 증가하게 된다.



(a)



(b)

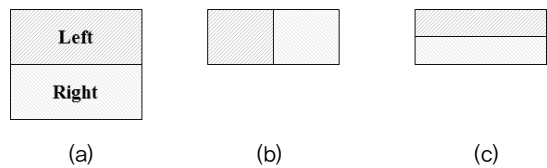
<그림 1> 스테레오 카메라 좌우 밝기 차에 의한 국부적 포화 현상 발생. (a) 밝기 차가 없는 경우, (b) 밝기 차가 있는 경우

### 3. 과도한 시차

두 카메라간 거리 즉, ICD (Inter-Camera Distance)가 너무 과도하거나 피사체가 근거리로 접근할수록 이미지간 시차는 점차 커지게 되면서 양안으로 스테레오 이미지를 합성하기 어려운 단계에 이르게 된다.

### 4. 프레임 Sync.

스테레오 카메라에서 촬영된 영상은 <그림 2>와 같은 출력 영상 Format에 맞게 인코딩 되고난 뒤 디스플레이 장치로 전송된다. 그런데, 좌우 영상의 동기화가 제대로 수행되지 않게 되면 움직이는 피사체를 촬영하게 될 경우 임의의 이미지 프레임 안에서 과도한 시차가 발생할 가능성이 있고, 심하게는 이미지의 일부가 한쪽 영상에서는 존재하지 않게 되는 구간이 발생하여 스테레오 합성이 이루어지지 않을 수도 있다. 이러한 장면들이 계속될 경우 역시 피로도를 유발할 수 있다.



<그림 2> 스테레오 영상 Format 예. (a) Full frame Packing, (b) Side by Side (Horizontally half frame), (c) Top and Bottom (Vertically half frame)

## Ⅲ. 스테레오 카메라 영상 보정

효과적인 스테레오 카메라 영상 보정을 위해서는 II에서 살펴본 바와 같이 중요하다고 판단된 3D 피로도 영향요소들을 최대한 완화시키는 것이 가장 우선적으로 풀어야 할 과제이며, 상용 카메라에 주로 쓰이는 ISP (Image Signal Processing) 파이프라인에 대한 이해를 바탕으로 그 중요도와 구현방안을 검토해야 한다. 따라서, 각 항목별 구현 이슈와 개발방향은 다음과 같이 정리될 수 있다.

### 1. Camera mismatch

사실 스테레오 카메라에서 두 카메라간의 기구적 불일치를 줄이기란 그리 쉽지 않은 문제다. 일단, 렌즈 광학계의 상대적 차이로 인한 초점거리, FOV (Field of View) 차이가 있고, 렌즈 광학계의 중심을 기준으로 센서위치의 절대적 차이는 수직 및 수평방향으로 이미지 중심의 변위를 발생시킨다. 또한, 두 카메라의 마운팅 위치 차이는 앞서 살펴본 렌즈와 센서간 변위 차보다 훨씬 더 큰 오차 요소가 될 수도 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 하드웨어 및 소프트웨어적 보정기술을 동시에 필요로 한다. 다시 말해, 두 카메라간 배치를 최대한 유사하게 구현할 수 있는 정밀한 실장 기술과 이로써도 보상되지 못한 오차는 소프트웨어적 보정을 해야만 한다. 그러나, 하드웨어적 실장오차를 정량화하여 측

정하는 것 자체가 다소 어려운 작업이기 때문에 소프트웨어적 보정에 대한 요구가 더 큰 것이 사실이다. 소프트웨어적 보정 방법은 일반적으로 다음과 같은 단계로 이루어진다.

### 가. 픽셀단위 오차 정보 수집

먼저, 스테레오 보정 알고리즘에 의한 두 이미지간 Pixel 보정 값을 찾는 것이다. 일반적으로는 [4]에서 제시된 보정 방법을 통해 보정정보를 알아낼 수 있다. 간략하게 그 과정을 소개하면, 일단 스테레오 카메라가 기구적으로 고정된 상태에서 체스보드와 같은 테스트용 차트를 동시에 촬영하고, 특징점(체스보드 차트에서는 코너점)을 추출한 후 각 카메라의 내부 파라미터 (초점거리, 주점), 왜곡 파라미터 (Radial, Tangential distortion)를 구한다. 그 후, 카메라간 회전행렬 및 이동벡터를 구하고, 스테레오 카메라 Baseline과 평행하게 각 이미지를 행정렬 시켜서 조정을 마무리한다. 그 결과로 좌우 이미지간 픽셀단위 상대적 오차 정보를 계산할 수 있다.



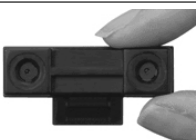
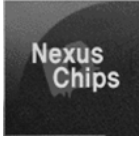


### 나. 실시간 보정

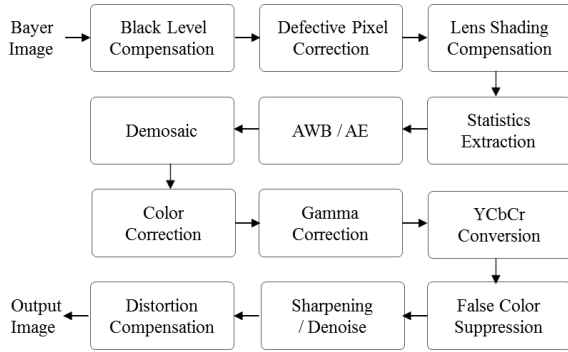
위에서 계산된 오차 정보는 실제 좌우 영상을 보정하는데 직접적으로 사용된다. 그러나, 동영상의 경우 픽셀단위 보정을 실시간으로 (일반적으로 30fps 이상) 해야 하는 스테레오 보정 연산은 그 연산량이 CPU만으로 처리하기에 역부족이다. 따라서, 이 연산만을 전용으로 수행하기 위한 IP를 하드웨어로 구현하기도 하며 (<표 1> “스테레오 영상 보정 칩셋” 참조), 영상 데이터의 병렬성 (Data Parallelism)을 활용하여 GPGPU (General-Purpose Graphics Processing Units)와 같은 범용 그래픽 가속기를 이용하면 연산속도를 획기적으로 높일 수도 있다.

## 2. Image mismatch

이미지 불일치 문제는 앞에서 살펴본 바와 같이 그 중요도는 높지만, ISP 동작 알고리즘을 살펴보면, 불일치 정도가 그렇게 크지 않음을 알 수 있다. <그림 3>은 일반적인 ISP 파이

<표 1> 스테레오 카메라 관련 출시 및 개발 제품

구분	이미지	제조사	비고
스테레오 카메라 / 캠코더	 Real 3D W3	Fujifilm	1. 3D HD Movies and Still Photo 2. Individual Shutter 3D Shooting 3. Interval 3D Shooting 4. Parallax control
	 HDC-SDT750	Panasonic	1. Bundled 3D conversion lens 2. Manually ICD controllable
스테레오 카메라 모듈		Sharp	1. 720p HD video recording 2. Color and Brightness synchronizing 3. Timing synchronizing
스테레오 영상 보정 칩셋	 NXSC301	Nexuschips	1. Stereo input mux 2. 1080p HD recording 3. Rectification and color balancing 4. Auto convergence 5. 3D Formatter
	 MA1133	Movidius	1. Stereo input mux 2. 720p HD video recording 3. Rectification and color balancing 4. Auto convergence control 5. 3D Formatter
	 ECT315H	ECT	1. Stereo input mux 2. 1080p FHD recording 3. Rectification and color balancing 4. Auto convergence 5. 3D Formatter



〈그림 3〉 일반적인 ISP (Image Signal Processing) 파이프라인 블록도

프라인의 구성을 나타내며 이를 바탕으로 이미지 불일치 측면을 다음과 같이 검토해 볼 수 있다.

### 가. 색감 차이

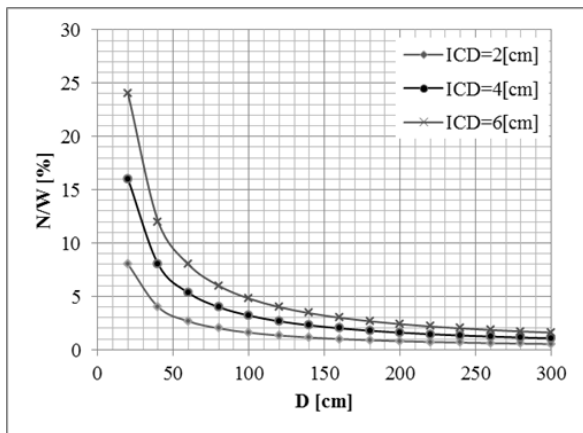
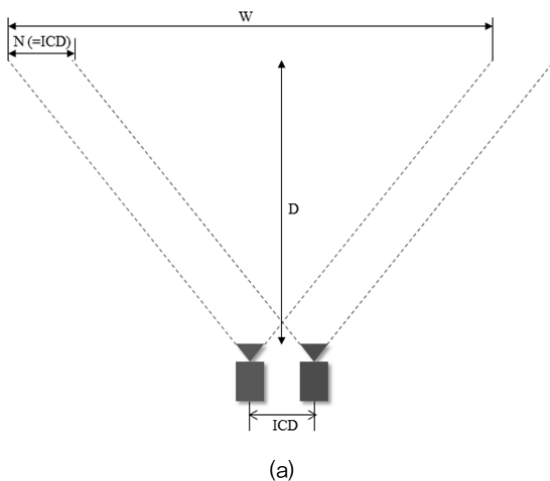
ISP 과정 전체적으로 두 카메라의 최종 이미지 색감에 영향을 줄 수 있는 요소로는 이미지 센서의 서로 다른 RGB 평균 Sensitivity가 있고, ISP 파이프라인에서는 Lens shading, AWB (Auto White Balance), CC (Color Correction) 블록 등이 있다. 일반적인 AWB 알고리즘은 이미지 전체를 기준으로 RGB Statistics를 추출하여 Gray World Assumption 등 고유의 알고리즘을 통해 White balancing을 하게 된다. 만약, Lens shading이 다른 두 카메라를 서로 보상하지 않으면 이미지 주변부의 Statistics 정보가 상이하여 서로 다른 White balance 결과를 나타낼 것이고, 마찬가지로 센서의 Sensitivity가 다른 경우에도 같은 결과를 초래한다. 그러나, 다행히도 일반적인 카메라 모듈 제조업체에서는 양산과정에서 각 카메라 별로 센서 Sensitivity와 Lens shading에 관한 보정을 실시하고 있으며, 그 정보를 ISP 파이프라인 튜닝에 활용한다.

따라서, 수집된 두 정보는 카메라간 색감차를 줄이는데 결정적인 역할을 한다고 할 수 있다. 두 카메라간 White balance가 일치한다면 CC는 같은 파라미터를 사용할 경우 같은 결과값을 내줄 것이므로 큰 문제가 되지 않을 것이다.

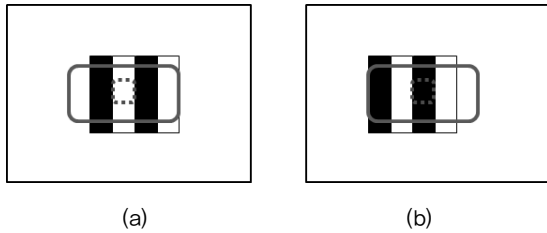
색감차를 카메라 기구적인 측면에서 살펴보면, 두 카메라간 거리, 즉 ICD와 피사체 거리를 고려해서 생각해 볼 수 있다. 〈그림 4〉는 피사체 거리에 따른 스테레오 이미지만 비공통 영역의 비율을 나타낸다. ICD를 달리 하였을 때 다소 차이는 있지만, 기본적으로 원거리 배경의 경우에는 시차가 거의 없기 때문에 일반 Scene에서 스테레오 구조로 인한 이미지 Statistics 차이는 크지 않다.

### 나. 밝기 차이

AWB가 완료되고 나면, ISP는 AE (Auto Exposure)를 수행한다. 일반적인 측광방식은 RGB Statistics를 수집한 후 영역별로 임의의 가중치를 부여해 가중 합을 구하고, 그 값이 목표 밝기에 도달할 때까지 센서의 노출과 이득을 변화시켜 이미지 밝기를 조절하는 방식이다. 가중치 부여방식은 이미지 중심부로부터 비교적 넓은 영역에 높은 값을 부여하는 Center 측광, 이미지 중심부로부터 아주 좁은 영역에 높은 값을 부여하는 Spot 측광, 이미지 전체적으로 균등하게 영역을 나누어 영역별로 다른 값을 부여하는 Matrix 측광 등이 있다. AWB와 달리 AE는 두 카메라간 ICD에 영향을 받을 가능성이 다소 있는데, Matrix 측광 < Center 측광에 < Spot 측광의 순으로 그 영향도가 크다. 알려진 바와 같이 스테레오 카메라로 근거리 피사체를 촬영할 경우, 피사체의 수평 시차는 점점 커진다. 따라서, 중심부 좁은 영역을 대상으로 측광을 수행하는 Spot 측광의 경우에는 촬영거리가 짧아질수록 두 카메라의 Spot영역이 〈그림 5〉와 같이 다른 영역을 Targeting할 가능



〈그림 4〉 스테레오 Geometry에 의한 스테레오 영상의 밝기 및 색감차 영향. (a) 스테레오 카메라 Geometry, (b) 피사체 거리(D) vs. 비공통 영역의 비율(N/W)



〈그림 5〉 측광방식에 따른 측광 영역. (a) 좌측 이미지, (b) 우측 이미지 (실선: Center 측광, 점선: Spot 측광)

성이 높다. 그러나, 촬영 횡수 측면에서 볼 때, 역광이나 사용자의 의도적 촬영을 제외하고 Spot 측광이 자주 사용되지는 않고, 대부분 Center 측광, Matrix 측광에 의한 측광을 하기 때문에 아주 작은 물체를 근접 촬영하지 않는 이상, 색감차와 마찬가지로 큰 차이를 보이지는 않는다.

#### 다. Blur 차이

[1]에서 언급된 바와 같이 주관적 테스트 결과, Blur차이는 색감이나 밝기 차에 비해 피로도에 큰 영향을 주지는 않는다. 다소 관점의 차이는 있지만, [2]에서는 양안 이미지의 압축률을 달리 하면서 피로도 테스트를 하였는데, 원본이미지에 비해 과도하게 압축하지 않는다면 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 더욱이, 렌즈가 작은 휴대단말용 카메라 모듈은 비교적 넓은 DOF (Depth of Field)를 보이기 때문에 양안 이미지간 Blur차이는 AF가 오동작을 하지 않는 이상 역시 큰 차이가 없다.

### 3. 과도한 시차

이미지에 존재하는 물체들의 시차는 ICD에 의존하는 값으로서, ICD가 커질수록 시차는 증가하게 되어 입체감이 뚜렷하지만, 스테레오 영상을 시청하는 동안 피로도가 급격하게 증가하게 된다. 따라서, 이러한 Trade-off 관계를 감안해 스테레오 카메라의 근거리 촬영한계를 결정하고 그 이하의 피사체는 촬영하지 않도록 주의시켜야 하는데, 사람마다 느끼는 3D 피로도가 서로 다르기 때문에 최대한 보수적으로 결정할 필요가 있다. 즉, 근거리 촬영한계 목표사양에 따라 스테레오 카메라의 ICD를 결정함으로써 과도한 시차로 인한 피로도는 어느 정도 회피 가능하다고 할 수 있다.

### 4. 프레임 Sync.

두 카메라간 타이밍 동기화는 앞서 언급하였듯이 반드시 해결해야 할 문제 중 하나다. 해결책으로는 이미지 센서의 하

드웨어 신호 라인을 통해 각 카메라의 프레임 출력 타이밍을 일치시킨 뒤 ISP에 입력되도록 하는 방법과 일단 동기화 되지 않은 카메라 출력을 수신한 후, ISP 입력단에 Buffer를 두어 동기화 하는 방법이 있다. 후자의 경우, Frame Buffer를 구현하기 위한 하드웨어적 비용이 발생하므로 전자와 같이 이미지센서 출력 타이밍을 조절하는 방법이 더 간단하고 효율적이다.

## IV. 스테레오 카메라 및 영상 보정기술 개발 동향

최근 비교적 컴팩트 하게 제작된 스테레오 카메라를 비롯하여 스테레오 카메라모듈, III에서 살펴본 보정기능을 하는 칩셋 등 스테레오 실사영상 처리를 위한 제품들이 출시되었거나 개발 중인데 관련 제품들은 표 1에 정리하였다.

Fujifilm의 Real 3D W3는 W1의 후속 작으로 720p 스테레오 동영상 촬영이 가능하고, Interval 3D shooting, Parallax control 등의 기능이 있으며, 부가적으로 스테레오 카메라를 이용해 다른 Effect (ISO, 화각 등)를 부여한 두 장의 사진을 얻을 수 있다는 장점도 있다.

Panasonic의 3D 캠코더 HDC-SDT750은 캠코더의 앞부분에 3D 컨버터 렌즈를 장착해 촬영하는 방식으로 좌우 이미지를 각각 960 x 1080 해상도로 촬영 가능하다. 여전히 2D 카메라가 주도권을 쥐고 있는 카메라 시장에서 3D 전용 카메라 제품을 출시하기 보다는 컨버터 렌즈를 활용해 2D, 3D 겸용 컨셉으로 출시한 제품으로서 초기 시장 대응에 적합한 방식이라고 볼 수 있다.

스테레오 카메라 모듈은 주로 핸드폰과 같은 소형 휴대단말에 적용 가능한 제품으로서 Sharp를 포함해 아직까지 시장에 출시된 제품은 많지 않다. Sharp의 스테레오 카메라 모듈은 모듈 내부에 색감, 밝기, 타이밍 동기화, 광축 보상 처리가 가능한 칩셋이 내장되어 있어 기존 카메라 모듈을 장착해 왔던 다양한 시스템에 바로 장착 가능한 Solution이 될 수 있다.

마지막으로, 스테레오 영상 보정 칩셋은 카메라 모듈 업체에서 스테레오 영상 처리 기술 없이도 스테레오 카메라를 제작하고자 할 때 관심을 가져 볼 만 하다. 앞서 살펴본 스테레오 영상 보정 기술을 포함한 3D Creator는 물론이고, 휴대 단말에 보편적으로 채용될 것으로 예상되는 무안경식 디스플레이 즉, Barrier 또는 Lenticular 방식의 디스플레이용 출력신호를 생성하는 3D Formatter 기능도 포함한다. 단, 카메라 모듈 업체 및 칩셋 업체간 제품화 구현 방안에 대한 구체적인 사전 협의가 필수적이다.

## V. 결론

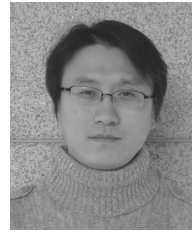
3D TV와 영화로부터 시작된 근래 3D 산업은 어느덧 시장 형성 단계에 와 있다. 이렇게 형성된 시장이 성숙되기 위해서는 다양하고 만족스러운 콘텐츠 공급이 지속적으로 이루어질 때 가속화 될 것이다. 스테레오 카메라로 획득한 3D 영상이 그 동안 2D 평면 TV에 익숙해져 있는 소비자들에게 만족스러운 UX (User Experience)를 제공하기 위해서는 무엇보다 3D 영상을 보면 어지럽다는 고정관념을 심어주어서는 안 된다. 영상 출력장치 개발도 이러한 부분들을 지속적으로 고민 하면서 발전시키겠지만, 근본적으로 입력 영상이 만족스럽지 못한 경우 출력장치에서의 보완은 한계가 있다. 결론적으로, 카메라를 통한 스테레오 영상 생성시점 즉, 이미지 수집, 처리단계에서 기구, 하드웨어, 소프트웨어 분야에 대한 지속적인 관심과 개발이 필요한 시기라고 할 수 있겠다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다 (NIPA-2011-(C1090-1011-0003)).

## 참고문헌

- [1] Frank L. Kooi and Marcel Lucassen, "Visual comfort of binocular and 3-D displays", Human Vision and Electronics Imaging VI, SPIE, 2001.
- [2] Pieter Seuntings, Lydia Meesters and Wijnand IJsselstein, "Perceptual evaluation of JPEG coded stereoscopic images", SPIE IS&T Electronic Imaging, 2003.
- [3] Lew B. Stelmach, Wa James Tam, Filippo Speranza, Ron Renaud and Taali Martin, "Improving the Visual Comfort of Stereoscopic Images", SPIE IS&T Electronic Imaging, 2003.
- [4] Richard Hartley and Andrew Zisserman, "Multiple View Geometry", Cambridge University Press 2nd Edition.



서 자 원

1998년 2월 고려대학교 재료공학과 학사.  
2003년 8월 한국정보통신대학교 전자공학과 석사.  
2003년 8월~현재 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원.  
2011년 2월~현재 한국과학기술원 박사과정.  
<관심분야> 3D 영상처리



김 창 익

1989년 2월 연세대학교 전기공학과 학사.  
1991년 2월 포항공과대학교 전기전자공학과 석사.  
2000년 12월 위싱턴주립대학교 전기공학과 박사.  
1991년 1월~1997년 7월 주)SKC 중앙연구소 선임연구원.  
2000년 12월~2005년 1월 Epson Palo Alto Lab. 책임연구원.  
2005년 2월~2009년 2월 한국정보통신대학교 조교수/부교수.  
2009년 12월~2010년 12월 HP Labs, Palo Alto, 방문연구원.  
2009년 3월~현재 한국과학기술원 부교수.  
<관심분야> 3D 영상처리, 의료영상, 영상이해