

# 카메라의 패러다임 전환: Part I. 계산 사진학의 태동

정규만

대구대학교 정보통신공학부

kyuman.jeong@gmail.com

## Paradigm Shift of Camera: Part I. Computational Photography

Kyuman Jeong

School of Computer Communication Engineering, Daegu University

### 요 약

21세기 들어 디지털 카메라가 널리 보급되면서 사진을 이용하거나 사진을 위한 많은 연구들이 컴퓨터 그래픽스 커뮤니티에 소개되고 있다. 이러한 연구들은 계산 사진학이라고 불리고 있는데, 이 논문에서는 계산 사진학이 수 천년 사진학의 역사에서 어떤 흐름을 거쳐 발생했는지 설명한다. 또한 사진학의 역사를 패러다임의 전환으로 나누고, 계산 사진학이 어떠한 패러다임 전환의 결과물인지 설명한다. 이를 통해 계산 사진학의 향후 연구 방향을 제시하려 한다.

### Abstract

From the beginning of 21st century, digital cameras became popular. In computer graphics community, much research has been done using photographs taken by digital cameras. This kind of research is categorized as computational photography. The purpose of this paper is to explain the appearance of computational photography in the history of photography. Moreover, the history of photography is explained as a series of paradigm shifts. Based on the analysis, future research directions of computational photography will be given.

**키워드:** 계산 사진학, 패러다임 전환, 컴퓨터 그래픽스

**Keywords:** Computational Photography, Paradigm Shift, Computer Graphics

## 1. 서론

디지털 카메라가 대중화되기 시작한지 채 10년도 지나지 않은 요즘, 디지털 카메라는 우리 생활의 필수품으로 자리 잡았다. 심지어 디지털 카메라가 장착되지 않은 휴대폰을 찾는 것이 거의 불가능하므로, 거의 모든 사람이 디지털 카메라를 가지고 있다고 봐도 무방하다. 이처럼 디지털 카메라

의 보급으로 인해 컴퓨터 그래픽스 커뮤니티의 연구에도 많은 변화가 생겼다. 90년대 이후 점차 비중을 잃어가던 이차원 이미지 기반의 연구들이 다시 활성화되고 있는 것이다. 디지털 카메라의 결과물이 이차원 이미지가기 때문에 이를 이용하는 연구와 이를 생성하기 위한 연구 등이 점차 늘어나고 있다. 이러한 연구들은 계산 사진학이라고 불리고 있는데, 이 논문에서는 계산 사진학이 수 천년 사진학의 역사에서 어떤 흐름을 거쳐 발생했는지 설명한다. 또한 사진

학의 역사를 페러다임의 전환으로 나누고, 계산 사진학이 어떠한 페러다임 전환의 결과물인지 설명한다. 이를 통해 계산 사진학의 향후 연구 방향을 제시하려 한다.

## 2. 사진학(카메라)의 역사

카메라의 역사[31,32,33]를 말할 때 빼놓을 수 없는 것이 바로 카메라의 시초라고 할 수 있는 카메라 옵스큐라(camera obscura)이다. 이는 라틴어로 “어두운 방”이라는 의미를 갖는데, 수 십 세기에 걸쳐 그림을 그릴 때 사생(寫生)의 도구로 이용되었던 도구이다. 그림 1에서 그 구조를 볼 수 있는데, 핀홀 카메라의 특성을 이용했음을 알 수 있다. 기원전 3세기 아리스토텔레스의 저서에 그 원리가 언급되어 있을 정도로 오랜 역사를 가지고 있는 도구이지만 우리가 지금 생각하는 사진을 남기기 위한 도구가 아니라 그림을 더욱 사실적으로 그릴 수 있는 도구로 사용되었다. 이는 15세기 레오나르도 다빈치와 16세기의 이태리 과학자 포르타(Porta) 등에 의해 더욱 널리 알려지게 되었는데, 이때의 화가들은 카메라 옵스큐라가 사실적인 그림을 생성하는데 도움이 될 뿐 아니라 원근감을 잘 표현하는데 도움이 된다는 사실에 주목하고 있었다. 17세기에 들어서면서 카메라 옵스큐라는 휴대할 수 있을만큼 소형화되었다. 독일의 요한 찬(Johann Zahn)에 의해 소형화에 성공하였으나 여전히 사진을 담는 카메라와는 거리가 멀었으며, 단순히 그림을 그리는 도구에 불과했다.

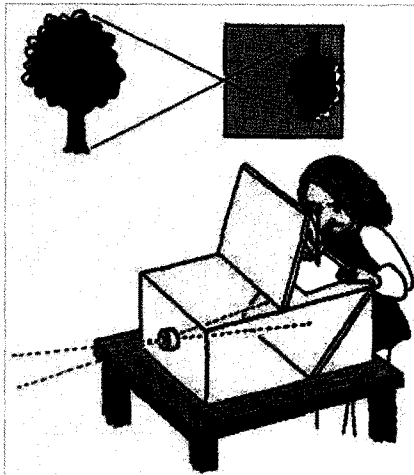


그림 1 카메라 옵스큐라의 개념도

### 2.1 아날로그 사진학

수 십 세기에 걸쳐 천천히 발전을 해오던 카메라 기술은 19 세기에 이르러 과학, 특히 화학의 발전에 힘입어 페러다임의 전환을 경험하게 된다. 감광 재료를 이용하여 실제의 상을 영구적으로 기록하는 “사진”이라는 개념으로 발전하게 된 것이다.

상을 기록하기 위한 목적으로 제작된 최초의 카메라는 다게레오타입(daguerreotype) 카메라이다. 이 카메라는 프랑스의 다게레(Louis-Jacques-Mande Daguerre)가 개발한 초창기 사진술이며, 얇은 은막으로 코팅된 구리판의 표면을 요오드화은의 감광막을 만들고 이를 빛에 노출시켜 상을 만들어내는 기법으로 은판사진법이라고도 한다. 1839년에 발표된 다게레오타입 기법은 그 당시로는 아주 획기적인 사진 기법이었다.



그림 2 7억 4천만원에 팔린 다게레오타입 카메라(2007년 5월 26일자 westlicht.com 보도 자료에서 발췌)

다게레오타입이 발표되고 채 3주도 지나지 않아 영국에서 칼로타입(calotype)이라는 기법이 탈보트(William Henry Fox Talbot)에 의해 발명되었다. 칼로타입은 그리스어로 “아름다운 그림”이라는 의미를 갖는데, 상이 맺힐 때까지 감광지가 빛에 노출되어야 했던 기존의 방법을 개선하여 짧은 시간의 노출만으로도 상을 맺히게 할 수 있는 기법이다. 칼로타입의 보급을 위해 최초의 인화소를 설립할 정도로 상업적으로도 중요한 의미를 갖는 기법이라고 할 수 있다. 1840년대는 다게레오타입과 칼로타입 두 가지 기법이 서로 경쟁하던 시절이었다.

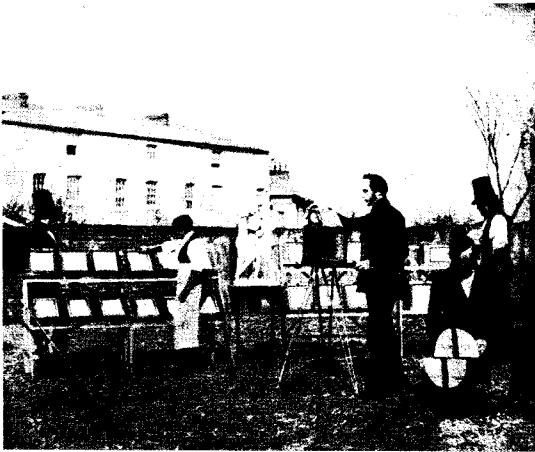


그림 3 탈보트의 사진 작업 광경

그 이후 스테레오 카메라, 리플렉스 카메라 등으로 발전을 거듭하던 카메라 기술은 1900년대에 들어 지금 우리가 알고 있는 카메라와 같은 형태의 제품을 선보이게 된다. 그 중 가장 먼저 나온 것이 독일인 바르낙이 설계한 “라이카”이다. 라이카는 아직도 살아남아 제품을 생산하고 있고 사진 동호인들 사이에서도 많은 매니아를 거느린 메이커이다. 1925년 첫 선을 보인 라이카는 휴대성과 실용성 등에서 성능을 인정받아 첫 해에만 1천대 이상이 팔렸을만큼 상업적으로도 성공을 거두었다.

그 이후에도 롤라이를 비롯해 많은 메이커들이 카메라의 발전에 큰 공헌을 하여 지금의 카메라 구조가 탄생하게 된 것이다. 아날로그 카메라는 렌즈를 통해 들어온 빛을 이용해 필름을 감광시키고 이를 인화하여 최종 사진을 얻는 기본적인 과정을 바탕으로 하게 된다. 따라서 아날로그 카메라는 광학기계라는 인식이 뿌리내리게 된다.

## 2.2 디지털 사진학

카메라의 역사에서 빠질 수 없는 것이 바로 필름이다. 필름은 상을 기록하는 저장 장치로써 사진에서 가장 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 우리가 알고 있는 필름의 효시라면 영국인 찰스 베네트가 1878년 개발한 젤라틴 바닥의 감광판이다. 이 기법은 사진학의 한 획을 긋는 기술로써, 이 기법의 개발로 인해 사진의 대중화가 실현될 수 있었다. 이 기술을 실제 상업화에 적용한 사람은 미국인 조지 이스트만인데, 1990년대까지 카메라의 대명사로 여겨지던 코닥을 창업한 사람이다. 베네트의 기술이 젤라틴 유체를 이용해서 마른 상태에서도 감도를 유지한다는 점을 이용해 롤필름을 개발하였고 이를 양산에 성공하여 큰 성공을 거두게 된다. 그 당시 코닥의 광고 문구였던 “You press the button, we do the rest”를 통해 그 당시로는 얼마나 큰 변화였

는지를 예상할 수 있다.

그림 4 코닥 카메라의 광고 문구

카메라 옵스큐라에서 시작한 카메라의 역사에서 가장 큰 전기를 마련한 것은 필름의 발전이라고 해도 과언이 아니다. 사람들은 상을 얻기 위해 카메라를 개발했고 그 상이 저장되는 곳이 바로 필름이기 때문이다. 하지만 1980년대 들어서면서 아날로그 시대의 핵심 요소라고 할 수 있는 필름의 위상이 흔들리는 사건이 발생한다. 바로 디지털 카메라의 출현이다.

개인용 컴퓨터도 보급되기 이전인 1981년, 일본의 소니는 필름 대신 CCD를 이용한 휴대용 디지털 카메라를 출시한다. Magnetic Video Camera의 앞자를 따서 마비카라는 이름을 붙였다. 이름에서도 알 수 있듯이, 비디오의 아날로그 신호를 3.5인치 플로피 디스크에 자기 방식으로 저장해주는 비디오 카메라와 같은 원리로 작동한다. 따라서 지금 우리가 사용하는 디지털 카메라와는 방식 자체가 다르지만, 디지털 방식이라는 의미에서 디지털 카메라의 시초라고 보고 있다. 이후 늘어나는 데이터의 크기를 처리하기 위해 플로피 디스크 대신 미니 CD-R을 기록장치로 하는 CD 마비카도 출시했다. 하지만 메모리 가격의 하락으로 인해 마비카는 시장에서 외면을 받게 된다.



그림 5 왼쪽: 디지털 카메라의 시초인 마비카, 오른쪽: CD-R 마비카(소니 홈페이지에서 발췌)

필름이 아니어도 사진을 찍을 수 있다는 발상의 전환이 이루어진 이후, 가장 큰 관심사는 바로 필름을 대체할 이미지 센서의 개발이었다. 필름을 이미지 센서와 교체하면 이미지를 얻을 수 있기 때문에, 초창기 디지털 카메라는 외관상으로는 기존의 필름 카메라와 동일한 구조를 갖는 경우가 많았다. 심지어 필름 카메라를 디지털 카메라로 전환할 수 있는 형태(이런 방식을 디지털 백 형식이라고 함)도 출시되었다. 디지털 카메라의 핵심 부품이라 할 수 있는 이미지 센서는 CMOS와 CCD 두 가지 방식이 주로 사용되고 있다. 반도체 기술의 발전과 함께 90년대 말부터 지금까지 약 20년은 화소수(resolution) 경쟁의 시대였다고 해도 과언이 아니다. 불과 5년 전만 해도 300만 화소가 높은 화소수로 인식되었으나 지금은 휴대폰 카메라조차 천만화소가 출시되는 것이 현실이다. 아직도 화소수 경쟁은 현재 진행형이고 반도체 기술의 발전과 함께 더욱 심화될 것으로 예상된다.

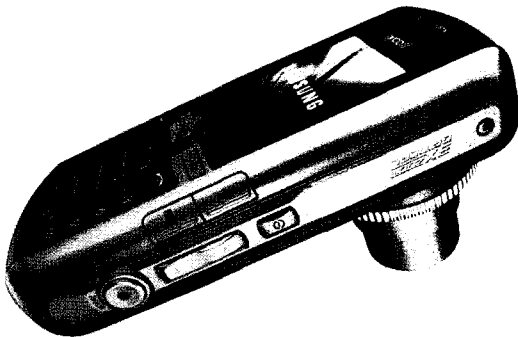


그림 6 세계 최초의 천만화소 카메라폰 SCH-B600(2006년 출시, 삼성전자 홈페이지에서 발췌)

일반 사용자들은 느끼지 못하지만 아날로그에서 디지털로 전환되면서 중요한 요소로 대두된 것이 바로 이미지 프로세서이다. 이미지 프로세서는 센서에서 들어온 신호를 디지털 형태로 변환시켜주는 역할을 하는 디지털 카메라의 두뇌라고 할 수 있다. 이 프로세서의 성능에 따라 최종 결과물인 사진의 질이 달라지기 때문에 베이커별로 더 좋은 이미지 프로세서를 만들기 위해 경쟁을 해왔다. 대표적으로 캐논의 DIGIC, 소니의 BIONZ 등을 들 수 있다.

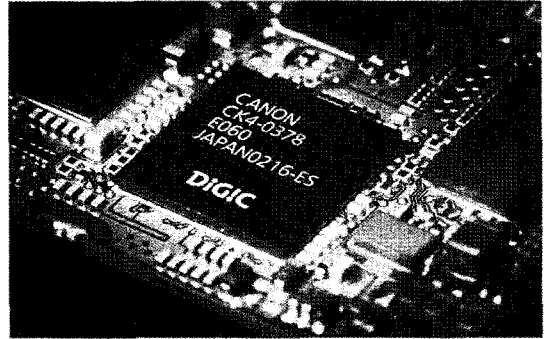


그림 7 캐논의 DIGIC 이미지 프로세서(캐논 홈페이지에서 발췌)

### 2.3 계산 사진학

현재 사용되는 일안반사식 카메라(SLR 카메라, 줄여서 SLR이라고 함)의 구조를 살펴보면 다음 그림 8과 같다. 여기 사용된 기본 구조는 카메라 옵스큐라와 같다. 아날로그 카메라로 넘어오면서 옵스큐라의 바늘 구멍이 렌즈로 대체되었고, 옵스큐라의 그림판이 필름으로 대체되었다. 디지털 카메라로 넘어오면서 필름이 이미지 센서로 대체되고, 현상 과정은 이미지 프로세서가 대신하고 있을 뿐이다. 수 천년간 이어져온 카메라 옵스큐라의 틀에서 벗어나지 못하고 있다.

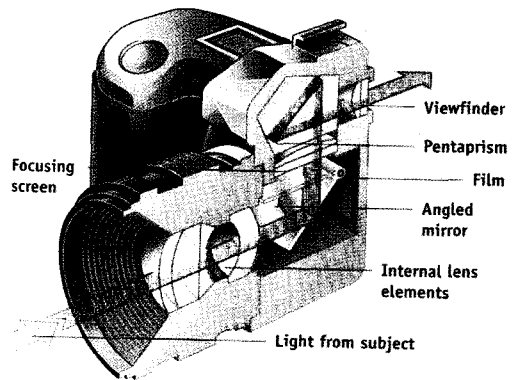
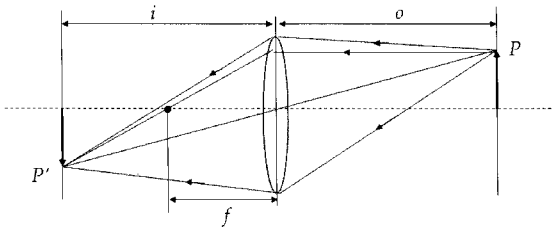


그림 8 SLR(일안 반사식) 카메라의 구조.

사진이라는 단어를 백과 사전(두산 백과 사전에서 발췌)에서 찾으면 다음과 같은 정의를 가지고 있다.

사진 [寫眞, photography] 가시광선·자외선·적외선·膨선·전자선 등의 작용에 의해서 감광층(感光層: 건판이나 필름) 위에 물체의 반영구적인 영상(影像)을 만들어내는 것.

카메라 옵스큐라에서 아날로그 시대를 거쳐 디지털 카메라 시대에 이르기까지 변하지 않는 명제는 바로 “카메라는 사진을 찍는 기계”라는 것이다. 정의에 따르면 사람이 볼 수 있는 것을 기록하는 것이 사진이지만, 카메라는 광학기계가므로 렌즈 공식(그림 9 참조)으로 시작되는 광학의 한계를 벗어날 수 없다. 따라서 사람이 보는 것과 사진에서 보여지는 것은 같지 않으며, 이를 극복하기 위해 지금까지도 많은 연구가 이루어져왔다.



Lens Formula: 
$$\frac{1}{i} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f}$$

그림 9 광학의 기초가 되는 렌즈 공식

2000년대 중반부터 이러한 카메라의 한계를 극복하기 위한 연구 결과물이 본격적으로 발표되기 시작했고, 이런 분야를 계산 사진학(Computational Photography)[2-30]이라고 명명되었다. Wikipedia[1]에 의하면 현재까지 나와 있는 계산 사진학의 여러 가지 기법들을 다음과 같이 네 가지 분류로 나눌 수 있다. (각각에 대한 설명은 이 논문의 범주를 벗어 나므로 자세한 내용은 Wikipedia[1]를 참조할 것.)

- 1 Computational illumination
- 2 Computational optics
- 3 Computational processing
- 4 Computational sensors

본 논문에서는 한 가지 예를 통해 계산 사진학을 소개하려 한다. 전통적인 사진학의 기법에서는 거리 정보를 얻기 위해서는 스테레오 기법을 이용하거나 range scanner와 같은 장비를 사용해야 한다. 거리 정보를 얻을 수만 있다면 많은 후처리가 가능하므로 거리 정보는 컴퓨터 비전과 영상 처리 분야에서 아주 중요한 정보이다. 스테레오 기법이나 특수

장비를 이용하지 않으면서 거리 정보를 얻기 위해 Jeong 등 [Jeong08]은 한 지점에서 서로 다른 조리개값을 가지는 두 장의 사진(그림 10의 (a)와 (b) 참조)을 찍고, 이를 이용해 거리 정보(그림 10의 (c) 참조)를 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 일단 거리 정보가 얻어지면 그림 11에서 볼 수 있듯이 조리개값을 마음대로 조정하여 피사계심도를 자유자재로 바꿀 수 있다.

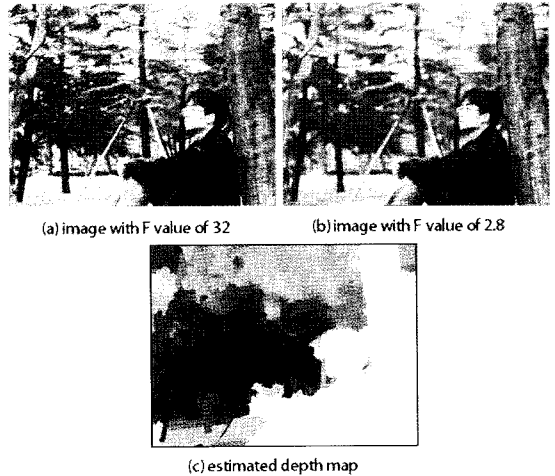


그림 10 (a) 조리개값 F32의 입력 이미지. (b) 조리개값 F 2.8의 입력 이미지. (c) 두 장의 입력 이미지로부터 계산된 거리 정보. (Jeong 등[14]에서 발췌)



그림 11 조리개값을 F1.8 (a)과 F1.0 (b)로 세팅하여 계산된 결과 이미지. 사용된 카메라의 렌즈는 F2.8이 최대 개방 조리개이므로 F1.8과 F1.0은 실제로는 얻을 수 없다. (Jeong 등[14]에서 발췌)

Jeong 등[14]이 하드웨어의 변경 없이 소프트웨어 알고리즘에만 의존하여 거리 정보를 계산한 반면, Levin 등[4]은 그림 12에서 볼 수 있듯이 조리개 위에 특수한 필터를 장착하여 거리 정보를 계산하는 하드웨어 기반의 기법을 제시하였다. 그림 14는 계산된 거리 정보를 이용한 digital refocusing의 예를 보여주고 있다.

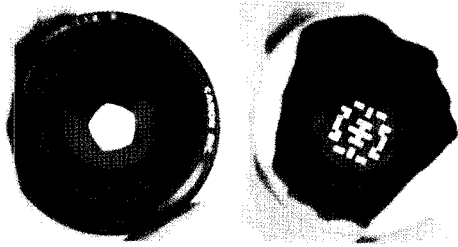


그림 12 왼쪽: 시판되는 캐논 50mm F1.8 렌즈의 조리개 모습. 오른쪽: 기존의 조리개 위에 특수 필터가 장착된 모습. 이를 이용해 물체의 거리 정보를 얻을 수 있다. (Levin 등[4]에서 발췌)

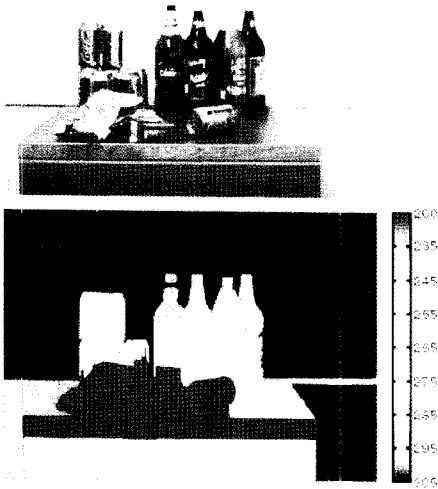


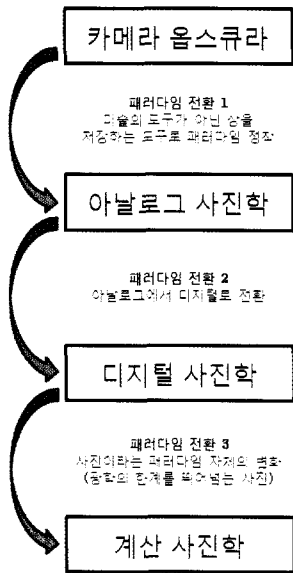
그림 13 위: 논문에서 제시된 렌즈를 이용해 찍은 입력 이미지. 아래: 계산된 거리 정보. (Levin 등[4]에서 발췌)



그림 14 계산된 거리 정보를 이용하여 원하는 위치에 포커스가 맞도록 조작한 결과 이미지. (Levin 등[4]에서 발췌)

### 3. 결론 및 향후 연구 방향

다음 그림에서 볼 수 있듯이, 카메라(또는 사진학)는 지금까지 두 번의 패러다임 전환을 거쳤고, 이제 세 번째 패러다임 전환을 겪고 있다. 그리고 그 패러다임 전환의 중심에는 계산 사진학이 자리잡고 있다. 본 논문에서는 단순히 계산 사진학을 소개하는 것을 목표로 하고 있지 않다. 카메라와 사진학의 역사를 소개하고 그 흐름 속에서 어떤 패러다임의 전환이 있었는지 설명하고, 계산 사진학이 어떤 위치에 있는지를 설명하는데 목적이 있다.



계산 사진학의 대가인 Raskar는 다음과 같은 정의[24]를 내리고 있다.

Computational photography combines plentiful computing, digital sensors, modern optics, actuators, and smart lights to escape the limitations of traditional cameras, enables novel imaging applications and simplifies many computer vision tasks.

계산 사진학은 기존 카메라의 한계를 극복하기 위한 학문으로써, 하드웨어(sensor, actuator 등)를 이용하는 방법과 소프트웨어(광학, 컴퓨터 비전 등) 위주의 알고리즘으로 나누어볼 수 있다. 대학에서 컴퓨터 그래픽스 이론을 연구하는 사람들의 입장에서 볼 때는 하드웨어보다는 소프트웨어를 연구하는 것이 효과적이라고 생각한다. 하드웨어는 시스템을 구축하는데 많은 비용이 들어가고, 하드웨어에 대한 이해에 많은 시간이 소요되지만 소프트웨어 위주의 방법은 적은 비용으로 결과물을 빨리 확인할 수 있기 때문이다.

## 참고 문헌

[1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Computational\\_photography](http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_photography)  
 [2] A. Agarwala, M. Dontcheva, M. Agrawala, S. Drucker, A. Colburn, B. Curless, D. Salesin, and M. Cohen, "Interactive digital photomontage," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 23, no. 3, pp. 294-302, 2004.  
 [3] A. Levin, P. Sand, T. S. Cho, F. Durand, and W. T. Freeman, "Motion-Invariant Photography," *ACM Transactions on Graphics*, 2008.

[4] A. Levin, R. Fergus, F. Durand, and B. Freeman, "Image and Depth from a Conventional Camera with a Coded Aperture," *ACM Transactions on Graphics*, 2007.  
 [5] A. Gooch, S. C. Olsen, J. Tumblin, B. Gooch, "Color2Gray: saliency-preserving color removal," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 24, no. 3, pp. 634-639, 2005.  
 [6] A. Hengel, A. Dick, T. Thormahlen, B. Ward, and P. Torr, "Video-trace: Rapid interactive scene modelling from video," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 26, No. 3, pp. 86-90, 2007.  
 [7] A. Veeraraghavan, R. Raskar, A. Agrawal, A. Mohan, and J. Tumblin, "Dappled Photography: Mask Enhanced Cameras for Heterodyned Light Fields and Coded Aperture Refocusing," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, 2007.  
 [8] E. Eisemann, F. Durand, "Flash Photography Enhancement via Intrinsic Relighting," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 23, no. 3, pp. 673-678, 2004.  
 [9] G. Petschnigg, R. Szeliski, M. Agrawala, M. Cohen, H. Hoppe, and K. Toyama, "Digital Photography with Flash and No-flash Image pairs," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 23, no. 3, pp. 664-672, 2004.  
 [10] J. Kopf, M. Uyttendaele, O. Deussen, and M. Cohen, "Capturing and Viewing Gigapixel Images," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 26, no. 3, 2007.  
 [11] I. Sun, J. Jia, C. K. Tang, and H. Y. Shum, "Poisson Matting," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 315-321, 2004.  
 [12] J. Wang, M. Agrawala, and M. Cohen, "Soft Scissors : An Interactive Tool for Realtime High Quality Matting," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 25, no. 3, 2008.  
 [13] J. Wang, P. Bhat, A. Colburn, M. Agrawala, and M. Cohen, "Interactive Video Cutout," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, 2005.  
 [14] K. Jeong, D. Kim, S. Y. Park, S. Lee, "Digital Shallow Depth-of-Field Adapter for Photographs," *The Visual Computer*, vol. 24, no. 4, pp. 281-294, 2008.  
 [15] L. Yuan J. Sun, L. Quan, and H. Y. Shum, "Image deblurring with blurred/noisy image pairs," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 26, no. 3, 2007.

- [16] M. Levoy, B. Chen, V. Vaish, M. Horowitz, I. McDowall, and M. Bolas, "Synthetic Aperture Confocal Imaging," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 23, no. 3, pp. 825-834, 2004.
- [17] M. McGuire, W. Matusik, H. Pfister, J. Hughes, and F. Durand, "Defocus video matting," In *Proc. of SIGGRAPH*, vol. 24, no. 3, pp. 567-576, 2005.
- [18] M. Rubinsteing, A. Shamir, and S. Avidan, "Improved seam carving for video retargeting," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 27, no. 3, 2008.
- [19] N. Snavely, S. M. Seitz, and R. Szeliski, "Photo tourism: exploring photo collections in 3D," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 25, no. 3, pp. 835-846 (2006).
- [20] P. Sen, B. Chen, G. Garg, S. Marschner, M. Horowitz, M. Levoy, and H. Lensch, "Dual Photography," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 24, no. 3, 2005, pp. 745-755, 2005.
- [21] Q. Shan, J. Jia, and A. Agarwala, "High-quality motion deblurring from a single image," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 27, no. 3, pp. 1-10, 2008.
- [22] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. Roweis, and W. Freeman, "Removing Camera Shake from a Single Image," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 24, no. 3, pp. 787-794, 2006.
- [23] R. Ng, "Fourier Slice Photography," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 24, no. 3, pp. 735-744, 2005.
- [24] R. Raskar, "Computational Photography: Epsilon to Coded Photography," *ETVC2008, LNCS 5416*, pp. 283-253, 2009.
- [25] R. Raskar, A. Agrawal, and J. Tumblin, "Coded Exposure Photography: Motion Deblurring using Fluttered Shutter," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 25, no. 3, pp. 795-804, 2006.
- [26] S. Cho, Y. Matsushita, and S. Lee, "Removing Non-Uniform Motion Blur from Images," In *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2007.
- [27] W. Freeman, T. Jones, and E. Pasztor, "Example-based super-resolution," *IEEE Computer Graphics and applications*, vol. 22, no. 2, pp. 55-65, 2002.
- [28] W. Masselus, P. Peers, P. Dutré, and Y. D. Willems, "Relighting with 4D Incident Light Fields," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 22, no. 3, pp. 613-620, 2003.
- [29] Y. J. Zheng, C. Kambhampettu, J. Y. Yu, T. Bauer, and K. Steiner, "FuzzyMatte: A computationally efficient scheme for interactive matting," In *CVPR08*, 2008.
- [30] Y. S. Wang, C. L. Tai, O. Sorkine, and T. Y. Lee, "Optimized Scale-and-Stretch for Image Resizing," *ACM Transactions on Graphics (In Proc. of SIGGRAPH)*, vol. 27, no. 5, 2008.
- [31] 보먼트 뉴홀 지음, 정진국 번역, "사진의 역사," 열화당, 2003.
- [32] 페트르 타우스크 지음, 하종희 번역, "0세기 사진사," 눈빛출판사, 1995.
- [33] 바바라 런던 지음, 최창호 번역, "사진학 강의," 포토페이스, 2004.

## 〈저자소개〉

### 정규만

- 1998년 2월 KAIST 전산학과 (학사)
- 2000년 2월 POSTECH 컴퓨터공학과 (석사)
- 2007년 2월 POSTECH 컴퓨터공학과 (박사)
- 2004년 3월 ~ 2005년 3월 미국 미시건대학교 교환연구원
- 2007년 3월 ~ 2007년 4월 POSTECH 컴퓨터공학과 박사후 연구원
- 2007년 5월 ~ 2009년 2월 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 대구대학교 정보통신공학부 교수
- <관심분야> 비사실적 렌더링, 계산 사진학, 컴퓨터 게임 등

