



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩 士 學 位 論 文

指導教授 高 鎮 煥

천체관측영상을 위한 자동초점 알고리즘 비교

Comparison of Auto Focusing Algorithms for  
Astro Photographical Image

慶尙大學校 航空宇宙特性化大學院

機 械 航 空 工 學 部

李 미 르

2016. 2.

碩 士 學 位 論 文

指導教授 高 鎮 煥

천체관측영상을 위한 자동초점 알고리즘 비교

Comparison of Auto Focusing Algorithms for  
Astro Photographical Image

이 論文을 工學 碩士  
學位請求論文으로 提出함

慶尙大學校 航空宇宙特性化大學院

機 械 航 空 工 學 部

李 미 르

2016. 2.

李미르의

碩士學位論文을 認准함

審 查 委 員

委員長

委 員

委 員

慶尙大學校 航空宇宙特性化大學院

2016. 2.

## 목 차

목 차 .....	i
표 목 차 .....	iii
그림목차 .....	iv
기호설명 .....	vi
Abstract .....	v
 I. 서 론 .....	 1
1. 연구배경 .....	1
2. 관련 연구 동향 .....	2
3. 연구 목적 및 방법 .....	3
 II. 관 련 이 론 .....	 4
1. 능동 초점판단 .....	4
1) 초음파를 이용한 초점판단 .....	4
2) 적외선을 이용한 초점판단 .....	4
2. 수동 초점판단 .....	5
1) 이중상 합치 방식 .....	5
2) 위상차 검출방식 .....	6
3) 대비 검출 방식 .....	8
3. Fourier Transform .....	8
4. 2차원 Discrete Fourier Transform .....	9
5. 2차원 Discrete Cosine Transform .....	10
6. Wavelet .....	12
1) Haar wavelet .....	12
7. Point Spread Function .....	15
1) Mask .....	15
 III. 시 물 레 이 션 .....	 17
1. 2차원 Discrete Cosine Transform .....	20
2. Wavelet .....	24

3. Mask.....	28
IV. 검 증.....	31
V. 결 론.....	33
참 고 문 헌.....	34
감 사 의 글.....	36



## 표 목 차

표 1.	20
표 2.	20
표 3.	21
표 4.	21
표 5.	22
표 6.	22
표 7.	23
표 8.	24
표 9.	24
표 10.	25
표 11.	25
표 12.	26
표 13.	26
표 14.	27
표 15.	29
표 16.	30
표 17.	30
표 18.	32

## 그림 목 차

그림 1.	4
그림 2.	5
그림 3.	5
그림 4.	6
그림 5.	6
그림 6.	7
그림 7.	7
그림 8.	8
그림 9.	9
그림 10.	10
그림 11.	10
그림 12.	11
그림 13.	11
그림 14.	13
그림 15.	13
그림 16.	13
그림 17.	13
그림 18.	14
그림 19.	14
그림 20.	14
그림 21.	14
그림 22.	15
그림 23.	16
그림 24.	18
그림 25.	18
그림 26.	18
그림 27.	19
그림 28.	19
그림 29.	19
그림 30.	19



그림 31.	.....	20
그림 32.	.....	21
그림 33.	.....	22
그림 34.	.....	23
그림 35.	.....	24
그림 36.	.....	25
그림 37.	.....	26
그림 38.	.....	27
그림 39.	.....	28
그림 40.	.....	28
그림 41.	.....	28
그림 42.	.....	28
그림 43.	.....	29
그림 44.	.....	29
그림 45.	.....	31
그림 46.	.....	31
그림 47.	.....	32
그림 48.	.....	32
그림 49.	.....	32
그림 50.	.....	32

## 기호 설명

### 약어

AF	Auto Focus
FT	Fourier Transform
DFT	Discrete Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
DCT	Discrete Cosine Transform
DWT	Discrete Wavelet Transform
PSF	Point Spread Function
LPF	Low Pass Filter
HPF	High Pass Filter

## Abstract

# Comparison of Auto Focusing Algorithms for Astro Photographical Image

Mir Yi

Department of Aerospace Engineering

Graduate School, Gyeongsang National Univ.

Directed By Professor Jin Hwan Kho

In this paper, we compare auto focusing algorithms for astro photographical image and suggest the most appropriate algorithm. There are already exist a number of auto focusing algorithms for video equipments, but astro photographical image has different features from the normal images. Therefore some auto focusing algorithm can't use for astro photographical image and inefficient so we compared the passive, active and postprocessing algorithms to find the most effective and fast algorithm. Finally we made approximated hardware to apply the most reasonable algorithm and compare the results, to verify The applicability of this approach.

# I. 서 론

## 1. 연구배경

광학 영상을 획득하여 디지털화된 이미지를 저장하는 전자장치는 지속적으로 발달하고 있다. 일반적인 이미지의 품질에는 화소, 명도, 채도, 초점이 있다. 화소는 기기자체의 성능에 의존하며 명도의 경우 화소의 에너지 평균값이 높고 낮음을 통해 카메라가 받아들이는 명도를 판단할 수 있다. 채도는 일반적으로 왜곡이 적으며 천체 이미지에 있어서는 채도 차이가 약화되고 반면에 노출시간을 늘려 이미지를 얻기 때문에 장시간 노출에 따른 초점 불일치의 영향이 매우 커지게 되어 더욱 중요하다. 그러나 초점의 경우 인간의 육안으로는 쉽게 판단이 가능하지만 컴퓨터가 판단하기에는 그저 화소 값이 다른 이미지일 뿐이다. 그러므로 컴퓨터가 판단할 수 있는 초점판단 기준이 필요하며 본 논문이 제안하는 방법은 이미지를 주파수 도메인에서 분석하여 초점의 정확도를 판단하고자 한다.

주파수 도메인으로 변환하면 인접화소 간 화소값의 변화량이 적다면 저주파 성분의 에너지가 커지고 인접화소 간 화소값의 변화량이 크다면 고주파 성분이 커진다. 일반적으로 초점이 맞지 않아 이미지가 흐릴 때에는 인접화소 간 차이가 크지 않으므로 저주파 에너지가 커지게 된다. 이를 통해 저주파 대역의 에너지량과 고주파 대역의 에너지량을 비교하여 초점 판단 기준을 세울 수 있다.

주파수 도메인으로 변환하는 방법으로는 2차원 Fourier 변환, 2차원 DCT 변환, Wavelet을 이용하여 이미지를 변환하는 방식들이 있다. 본 논문에서는 주파수 대역별 에너지량을 비교하여 초점의 정확도를 판단하고 초점판단에 있어 우수한 방법을 제안한다.

## 2. 관련 연구 동향

디지털 카메라가 발전하게 되면서 성능이 향상되며 영상의 품질이 향상되게 되고 동시에 난이도도 올라가게 되었다. DSLR의 경우 많은 옵션을 조정하여야 좋은 품질을 얻을 수 있다. 보편적인 사용을 위해 다양한 옵션을 자동으로 조정하여 주지만 초점은 촬영자가 찍고 싶은 피사체가 주관적이다보니 자동초점을 제안하기 어려웠으므로 초기에는 수동(手動)초점을 권장하였다. 좀 더 쉽고 편리한 영상 촬영을 위해 초음파나 적외선을 이용하여 중심이 되는 피사체 카메라의 거리를 측정하고 측정된 거리에 따라 초점값을 판단하고 조정하는 자동초점(AF) 기술이 연구를 통해 제안되었다. 거리를 측정하는 방법으로는 초음파를 이용한 방법[1]과 적외선을 이용한 방법이 있다. 초음파를 사용한 방법은 초음파를 방사한 후 반향을 감지하여 시간을 계산하여 초점을 제안한다. 적외선의 경우 진행하고 반사되어 돌아온 적외선의 에너지 감소정도를 이용하는 방법, 삼각측량을 이용한 방법, 반사되어 돌아오는 시간을 고려한 방법이 있다. 이러한 거리 측정방식은 천체와 촬영기기의 거리문제로 적용할 수 없으며 또 다른 방식으로 얻어진 영상을 분광시켜 얻어진 영상의 위상차를 검출하는 방식[3], 영상의 대비(contrast)를 이용한 방식, 이중상 합치방식이 있다. 그러나 이러한 방식은 얻어진 영상을 획득할 때에 분광해서 획득하여 광량이 적고 흑색부분이 많은 천체영상에 적용시 영상의 에너지가 약하거나 차이점을 찾지 못해 사용하기 어렵다. 이렇듯이 자동초점 기술은 스마트폰과 디지털카메라의 보급으로 지속적으로 연구되어 왔다. 그러나 광량이 많은 낮에 촬영하고 거리가 가까운 곳에서 영상을 획득하는 인물사진과 풍경을 위한 연구가 주를 이루었으며 광량이 적은 밤에 매우 먼 거리의 대상을 촬영하는 천체영상을 위한 자동초점은 연구가 미진한 실정이다.

### 3. 연구 목적 및 방법

국내 연구가 미진한 천체영상의 초점판단과 그를 통한 초점조정 방법을 제안하기 위하여 본 연구를 시작하게 되었다. 일반적인 AF기술들이 적용 가능한지를 확인하고 적용 가능한 방법들을 비교 및 조합하여 어떠한 방법이 자동초점에 유리한지 확인하였다. 초점판단의 우수성을 판단하는 기준으로는 원 영상과 초점이 맞지 않는 영상에 대하여 얼마나 민감하게 그 차이를 세밀하게 측정 및 표현 가능한지로 성능의 우열을 나타내었다. 사용한 프로그램으로는 Visual C 와 MATLAB을 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며 추가적으로 Opne CV 와 Uvi Wave 라이브러리를 사용하여 영상처리 및 비교 분석을 하였다.

## II. 관련 이론

### 1. 능동 초점 판단

#### 1) 초음파를 이용한 초점판단

그림1과 같이 영상관측기기에서 초음파를 방사하여 반사되어 돌아오는 데에 걸리는 시간을 계산하여 거리를 측정한다. 공기 중에서 음속은 해발 0m인 곳을 기준으로 약 340m/sec 이므로 이를 이용하여 반영한다. 반사를 이용하기 때문에 비닐이나 유리같이 영상촬영에는 방해되지 않는 물질에도 반응하며 최대 사용 거리에 제약이 있다.

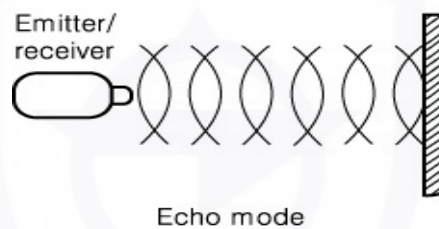


그림 1 초음파를 이용한 방법의  
도시

#### 2) 적외선을 이용한 초점판단

그림2와 같이 영상관측기기에서 적외선을 방사하여 반사되어 돌아오는 적외선을 감지하여 삼각측량, 에너지 감소율, 시간을 고려하여 거리를 측정하고 초점값을 제안한다. 적외선센서의 경우 온도에 민감하여 야간촬영시에는 이점이 있으나 초음파와 마찬가지로 반사를 이용하므로 거리에 제약을 지닌다.

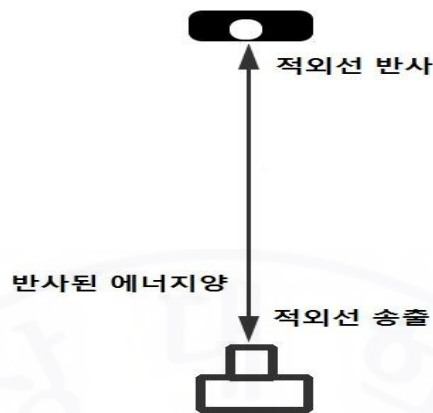


그림 2 적외선을 이용한 방법의 도시

## 2. 수동 초점 판단

### 1) 이중상 합치 방식

이중상 합치방식은 그림3과 같이 두 개의 렌즈와 센서를 통해 영상을 획득하고 두 개의 렌즈의 거리  $D$ 와 렌즈와 센서의 거리  $f$ 를 알고 있으므로 영상이 맺히는  $\delta$ 값을 반영하여 피사체와의 거리  $d$ 를 산출해 낼 수 있다. 그러나 이중상 합치방식은 90mm이상의 망원렌즈 사용시에 성능이 떨어지는 문제가 존재한다.

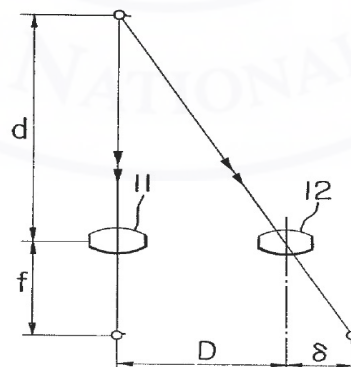


그림 3 이중상 합치 방법의 도시



## 2) 위상차 검출 방식

위상차 검출 방식은 분광을 통해 영상을 두 개 혹은 그 이상으로 나누어진 영상이 각각 렌즈의 어디에 맺히는가를 통해서 초점값을 판단하고 초점을 조정한다. 그림 4 는 영상을 두 개로 분광하는 방법을 도시화 한 것으로 그림 5 가 분광 후 초점이 맞는 상황을 나타낸 것이다. 그림 6과 그림 7은 초점이 정확하지 않은 경우를 나타낸 것으로 상이 센서의 중앙이 아닌 각각 상부와 하부, 하부와 상부에 맺히게 되어 이를 이용해 초점을 조정한다. 그러나 위상차 검출 방식은 푸른 하늘이나 바다, 단색벽과 같이 대비가 적은 대상에는 낮은 성능을 보인다. 이러한 문제를 해결하기 위해 보조광을 사용하여 광량을 높이는데 천체영상의 특징상 해결할 수가 없다.

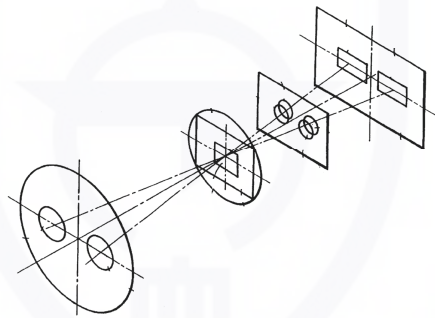


그림 4 위상차 검출방법의 도식

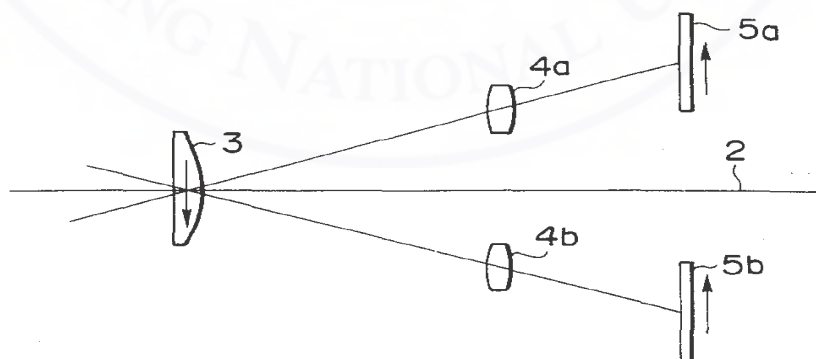


그림 5 위상차 검출방식에서 초점이 맞을 경우

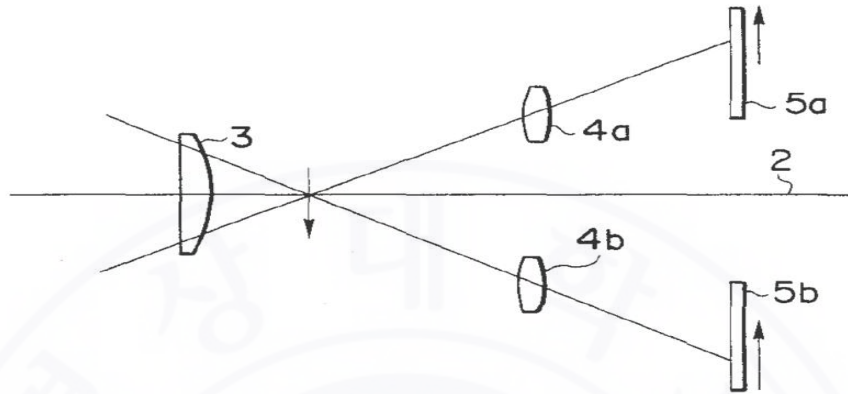


그림 6 위상차 검출방식에서 초점이 맞지 않을 경우1

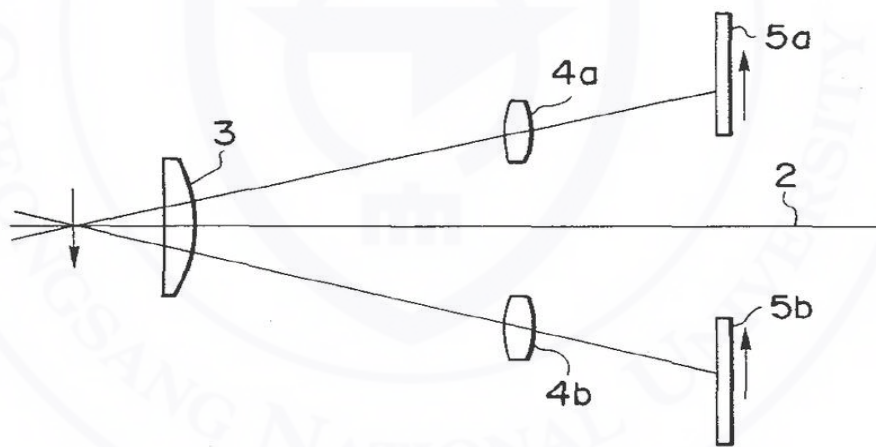


그림 7 위상차 검출방식에서 초점이 맞지 않을 경우2

### 3) 대비 검출 방식

대비 검출 방식은 그림8과 같이 렌즈를 더친 영상의 대비가 최대가 되는 지점을 계산하여 초점을 제안한다. 그러나 앞서 언급한 위상차 검출 방식에서 언급하였 다시피 천체영상의 경우 대비가 낮은 영상이며 보조광을 이용할 수도 없다.

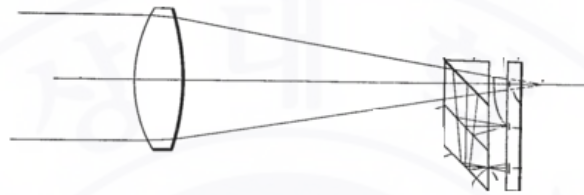


그림 8 대비검출 방법의 도식

## 3. Fourier Transform

푸리에 변환은 임의의 주기함수를 삼각함수들의 합으로 표현할 수 있는 푸리에 급수 이론에 기반하여 주기적인 삼각함수를 이용해 시간축의 데이터를 주파수의 데이터로 나타낼 수 있다. 이렇게 주파수축에서 나타낼 경우 압축, 복원, 처리 등에 이점을 가지게 되며 그 수식은 식(1) 와 같다.

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \left[ \cos \left\{ 2\pi \left( \frac{ux}{N} \right) \right\} - j \sin \left\{ 2\pi \left( \frac{ux}{N} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

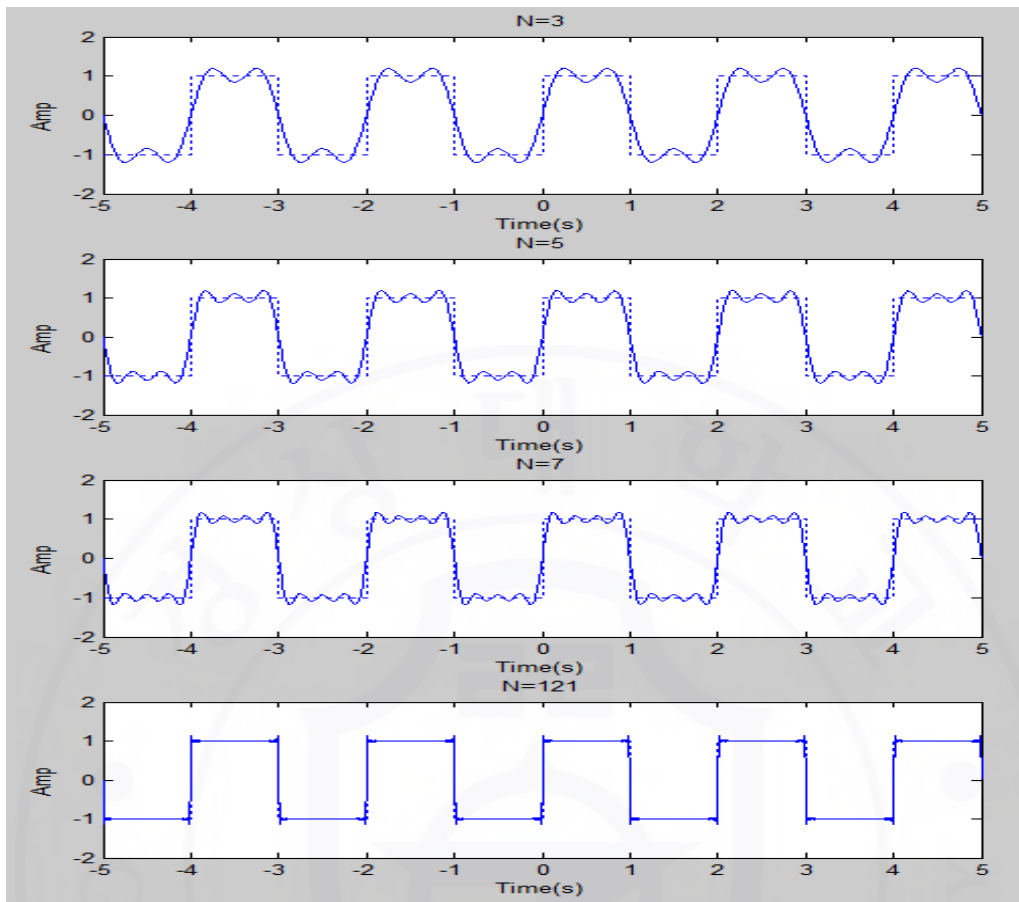


그림 9 구형파를 삼각함수의 합으로 표현한 그래프

그림9 처럼 삼각함수의 합으로 다른 주기함수를 나타낼 수 있다. 여기서 더 많은 개수의 삼각함수를 사용할수록 표현이 더 정확해진다. 그러나 구형파에서 아무리 삼각함수의 개수를 늘려도 상승엣지와 하강엣지에서 깁스효과라는 부정확성이 일어난다.

#### 4. 2차원 Discrete Fourier Transform

앞서 언급한 Fourier 변환을 유한성을 지니는 이산(Discrete)성질과 2차원 이미지의 변환을 위해 2차원 개념의 DFT로 적용하여 변환한다. 그 결과는 그림10, 그림11과 같다.

2D-Discrete Fourier Transform은 식(2)과 같다.

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \left[ \cos \left\{ 2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right\} - j \sin \left\{ 2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

여기서  $u$ 와  $v$ 는 각각 2D-DFT결과의  $x$ ,  $y$ 좌표를 의미하며  $M$ 과  $N$ 은 원영상의  $x$ ,  $y$ 좌표를 의미한다.

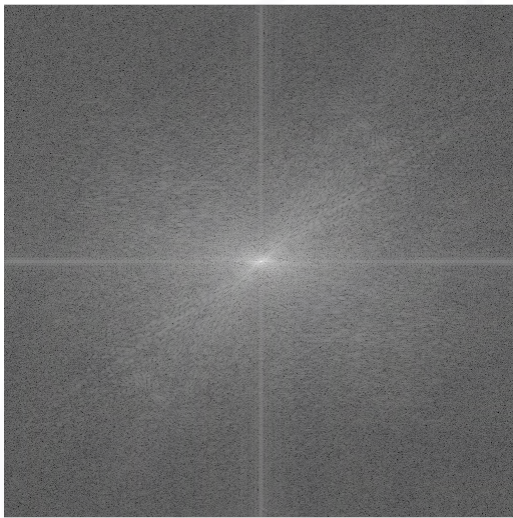


그림 10 초점이 맞는 영상의 2차원  
FFT결과를 log 스케일로 도시

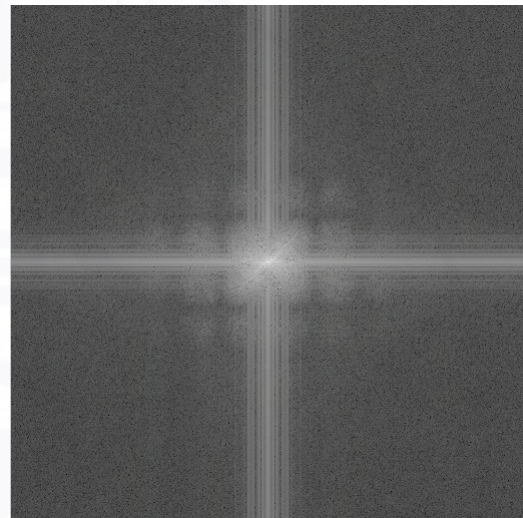


그림 11 초점이 맞지 않는 영상을  
2차원FFT 처리 후 log 스케일로 도시

## 5. 2차원 Discrete Cosine Transform

2D-DCT는 Fourier 변환과 유사한 방식으로 사용되는 DCT[14]의 2차원 변환으로 DFT와는 다르게 복소수를 연산하지 않는다. 즉 코사인 함수만을 이용하여 연산한다. 영상처리 분야에 있어서 허수부(imaginary part)는 다루지 않으므로 영상처리를 효과적으로 진행하게 된다. 그 결과로 얻게 되는 배열은 2D-FFT에서의 FFT Shift를 필요로 하지 않는다. 그 결과는 그림12, 그림13과 같다.

2차원 Discrete Cosine Transform의 계산식은 식(3)와 같고 그 역변환은 식(4)와 같다.



$$F(u,v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u)C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \quad (3)$$

$$C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & k=0 \\ 1 & k>0 \end{cases}$$

$$f(x,y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v)F(u,v) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right) \quad (4)$$

단,  $u = 0, 1, 2, 3, \dots, M-1$ ,  $v = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$

$$C(u) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ for } u=0, C(u) = 1 \text{ for } u>0$$

$$C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ for } v=0, C(v) = 1 \text{ for } v>0$$

여기서  $M$ 과  $N$ 은 각각 영상의  $X$ 축 과  $Y$ 축 화소주소를 나타내고  $f(x,y)$ 는 각 화소의 값을 나타낸다.



그림 12 초점이 맞는 영상의 DCT 처리 후 영상

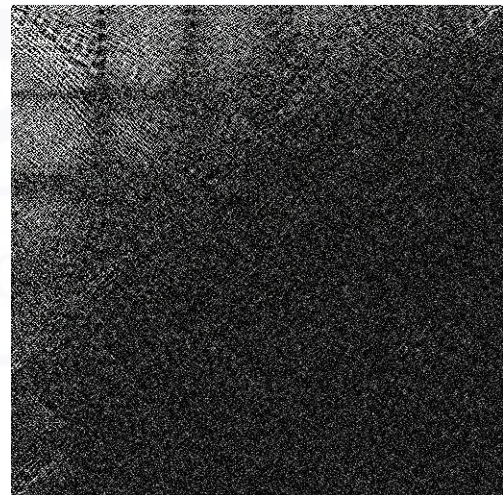


그림 13 초점이 맞지 않는 영상의 DCT 처리 후 영상

## 6. Wavelet

Wavelet이란 DFT나 DCT와는 다른 기저함수를 사용하는 방법으로 앞서 언급하였다시피 DFT는 코사인과 사인함수로 분해하며 DCT는 코사인함수로 분해한다. 그러나 이러한 방식은 영상의 주기성을 가정하여 시행하는 것으로 영상의 가장자리에 만곡(Bent)이 있다는 가정이 필요하다. 이러한 가정에서 불필요한 데이터가 생기고 이를 보완하는 방법 중 하나가 Wavelet이다. Wavelet은 여러종류가 있으며 몇 가지 기저함수 파형을 그림14, 그림15, 그림16, 그림17에 나타내었다.

### 1) Haar wavelet

Wavelet중 가장 단순화된 Wavelet으로 형태가 간결하여 이해가 쉬운것이 장점이다. Haar함수는 다음의 식 (5)과 같이 정의되는 불연속의 완전 정규 직교함수로 데이터 압축에 사용된다.

$$\begin{aligned}
 \phi_0(t) &= 1 \\
 \phi_1(t) &= \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} < t \leq 1 \end{cases} \\
 &\vdots \\
 \phi_{2^p+g}(t) &= \begin{cases} \sqrt{2^p}, & \frac{g}{2} \leq t < \frac{(g+1)}{2} \\ -\sqrt{2^p} \frac{(g+1)}{2^p} \leq t < \frac{(g+1)}{2^p} \\ 0, & \text{그외} \end{cases} \quad (5)
 \end{aligned}$$

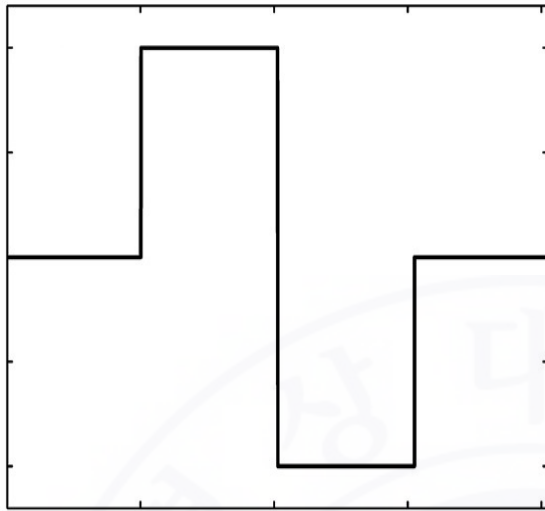


그림 14 Haar Wavelet의 형태

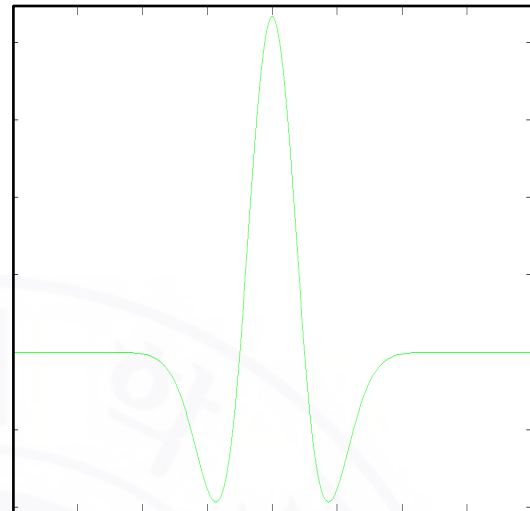


그림 15 Morlet Wavelet의 형태

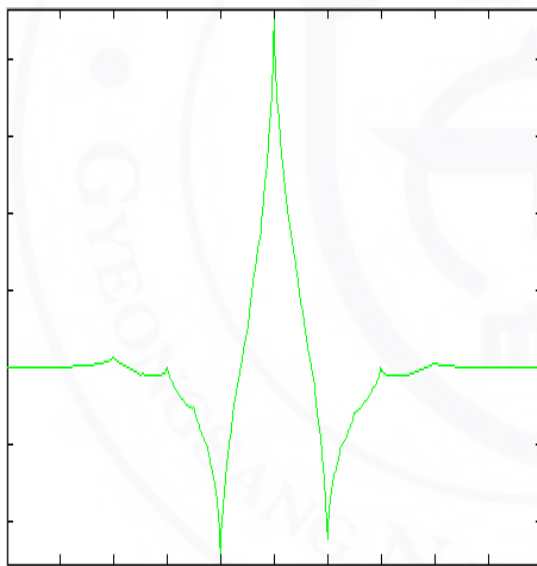


그림 16 Coiflets Wavelet의 형태

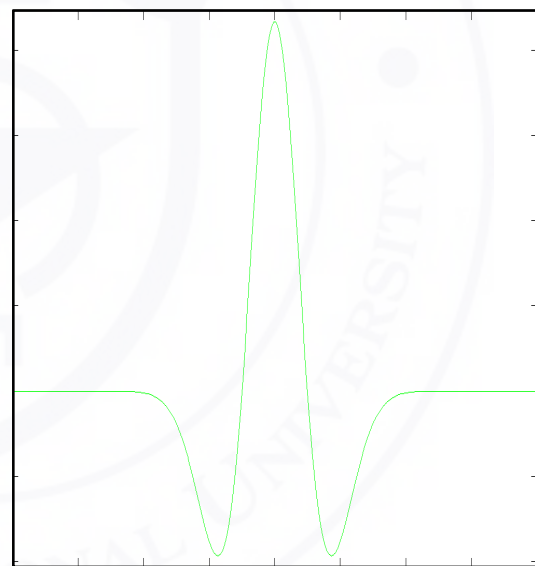


그림 17 Mexican hat Wavelet의 형태



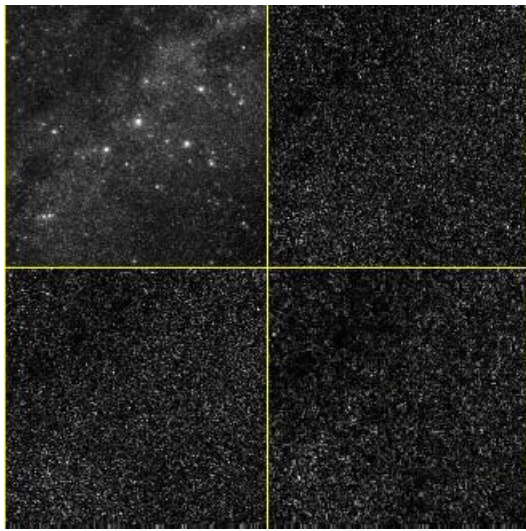


그림 18 초점이 맞는 카시오페이아자리  
영상의 1차 Wavelet

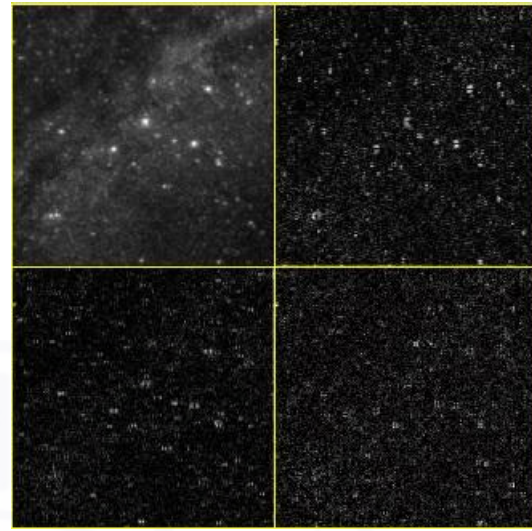


그림 19 초점이 맞지 않는  
카시오페이아자리 영상의 1차 Wavelet

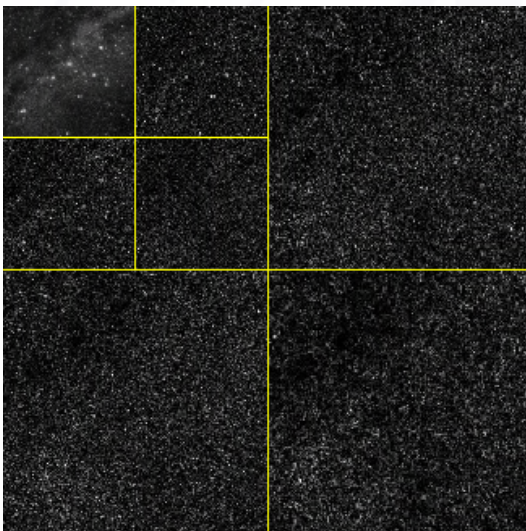


그림 20 초점이 맞는 카시오페이아자리 영  
상의 2차 Wavelet

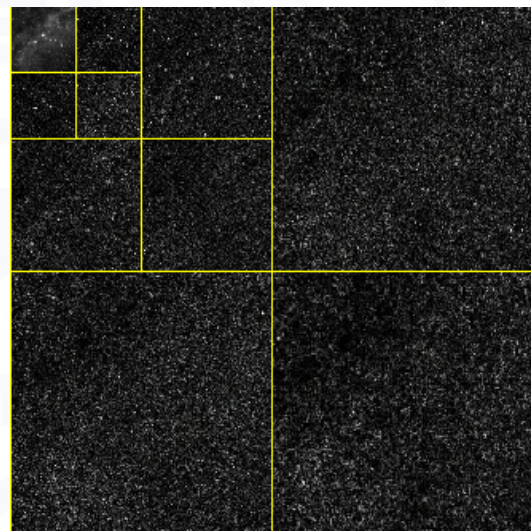


그림 21 초점이 맞는 카시오페이아자리  
영상의 3차 Wavelet

Wavelet의 차수(Scale)이 증가하면 압축률이 상승하며 오차율도 변경되나 오차율은 적어 필터링 이후 에너지양의 변화에 큰 영향을 끼치지 못하였으며 연산회수의 증가로 1차만 고려하였다. Wavelet의 종류를 바꾸면 결과값이 바뀌긴 하였으나 1%미만의 변화로 Haar Wavelet의 결과를 사용하여 작성하였다.

그림 18, 그림19, 그림20 그림21은 Haar Wavelet의 차수를 바꿔가며 카시오페이아자리 영상을 변환한 결과이다.

## 7. Point Spread Function

Point Spread Function은 점 확산함수로 가중치 연산을 통해 마스크 연산과 같은 방식을 정한다. 촬영을 하여 획득한 영상으로부터 엣지정보를 추출하여 엣지 영상으로 변환한 뒤 엣지영상의 중심화소로부터 인접화소의 변화에 따라 어떤 점 확산 함수를 사용할지 결정한다. 일반적인 영상은 비등방성이므로 다양한 데이터베이스를 갖추어야하며 적절한 함수를 적용하기 위해 많은 데이터를 가지다 보니 속도보다는 품질에 중점을 두어 후처리 복원용으로 사용된다. 그러나 천체 영상의 경우 은하가 아니라면 그림22와 같이 등방성형태를 띄므로 간결한 데이터만으로도 초점판단에 사용할 수 있으므로 초점판단을 위하여 적용하고자 하였다.

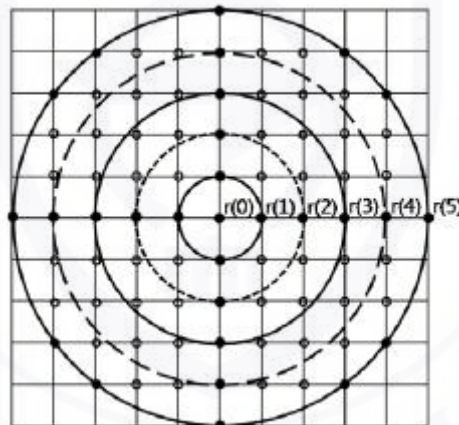


그림 22 점 확산 함수의 형태

그림 XX에서 중심점으로부터 같은 거리의 값들이 모두 동일한 값을 가진다면 등방성, 같은 거리에 있으나 다른값을 가진다면 비등방성이 된다.

### 1) Mask

점 확산 함수를 적용하기 전 영상의 특성을 수치적으로 보기위하여 그림23 과

같이 N by N 정방 행렬을 만들어 행렬화된 영상의 행렬에 가중치를 둔다. 이때 N은 홀수이다. 가중치 값에 따라서 High Pass Filter나 Low Pass Filter의 역할을 할 수도 있으며 행렬의 크기와 Mask행렬 값과 계수를 조절하여 다양한 Mask를 만들 수 있다.

2	4	5	4	2
4	9	12	9	4
5	12	15	12	5
4	9	12	9	4
2	4	5	4	2

그림 23 5X5 Mask의 예

### III. 시뮬레이션

시뮬레이션은 Matlab을 이용해 진행되었으며 사용된 이미지는 일반적인 이미지의 표본으로 OpenCV Logo 이미지를 그레이스케일로 변환한 뒤 512X512 사이즈로 생성한 것과 천체이미지를 점의 형태로 근사화시킨 512X512 사이즈의 그레이 이미지와 실제 카시오페이아자리를 촬영한 512X512 그레이 이미지를 사용하였다. 초점이 맞지 않는 이미지는 마스크를 이용한 블러링을 통해 생성하였고 마스크의 크기는 11X11을 사용하였다.

해당 이미지들을 주파수 도메인으로 변환시키고 전체 에너지 평균값과 하위 대역의 정도를 변화시키며 에너지를 제거하여 나머지 성분의 에너지 평균 및 총 에너지양을 비교해 하위대역에 얼마나 많은 에너지가 있었는지를 파악하였다. 하위 대역에 많은 에너지가 존재할수록 초점이 맞지 않는 영상이므로 그 에너지 변화량의 차이를 통해 초점차이의 민감성을 판단한다.

2차원 FFT의 경우 저주파대역은 이미지의 중심 부분에서부터 십자형 축을 기준으로 해서 에너지가 모이게 되며 DCT의 경우에는 좌측 상단을 중심으로 해서 모이게 된다. Haar Wavelet의 경우 변환과정에서 필터링 값과 스케일 레벨을 수정하였다.

그러므로 2차원 DFT는 그림24와 같이 중심 부분에 2차원 DCT는 좌측 상단 부분에 데이터를 필터링해 전체 에너지를 구하고 원본이미지와 초점이 맞지 않는 즉, 블러 이미지와의 에너지양을 비교하여 흐린 정도의 검출 성능을 비교한다. Wavelet은 필터링 후 남은 에너지양을 비교하였다.

그림25, 그림27, 그림29는 초점이 맞는영상, 그림26, 그림28, 그림30은 초점이 맞지않는 영상으로 본영상들을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.



그림 24 2D-DFT에 사용되는 High Pass  
Filter의 예



그림 25 Open CV Logo

그림 26 초점이 맞지 않는 로고이미지





그림 27 근사화 된 별 이미지

그림 28 초점이 맞지 않는 근사화 된 별의 이미지



그림 29 카시오페이아 자리를 촬영한 이미지

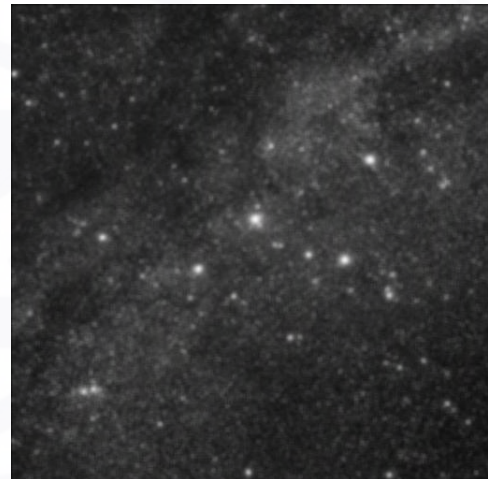


그림 30 초점이 맞지 않는 카시오페이아 이미지

## 1. 2차원 Discrete Cosine Transform

우선 2차원 DCT의 결과를 아래 표에 나타내었다. 초점이 맞는 원본 영상과 맞지 않는 영상이 필터링 후에 어떤 차이를 보이는지를 기록하여 영상의 특성에 따른 방법의 효율성을 보고자 하였다.

표 1 로고

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	185268	119609.02	91763.24	70605.63	53950.04	36164.31
에너지비율	100%	64.56%	49.53%	38.11%	29.12%	19.52%
에너지감소율	0%	35.44%	50.47%	61.89%	70.88%	78.46%

표 2 로고 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	139873	58183.49	37408	59634.92	48091.36	37819.43
에너지비율	100%	41.6%	26.74%	6.44%	5.19%	4.08%
에너지감소율	0%	81.96%	73.26%	93.56%	94.81%	95.92%

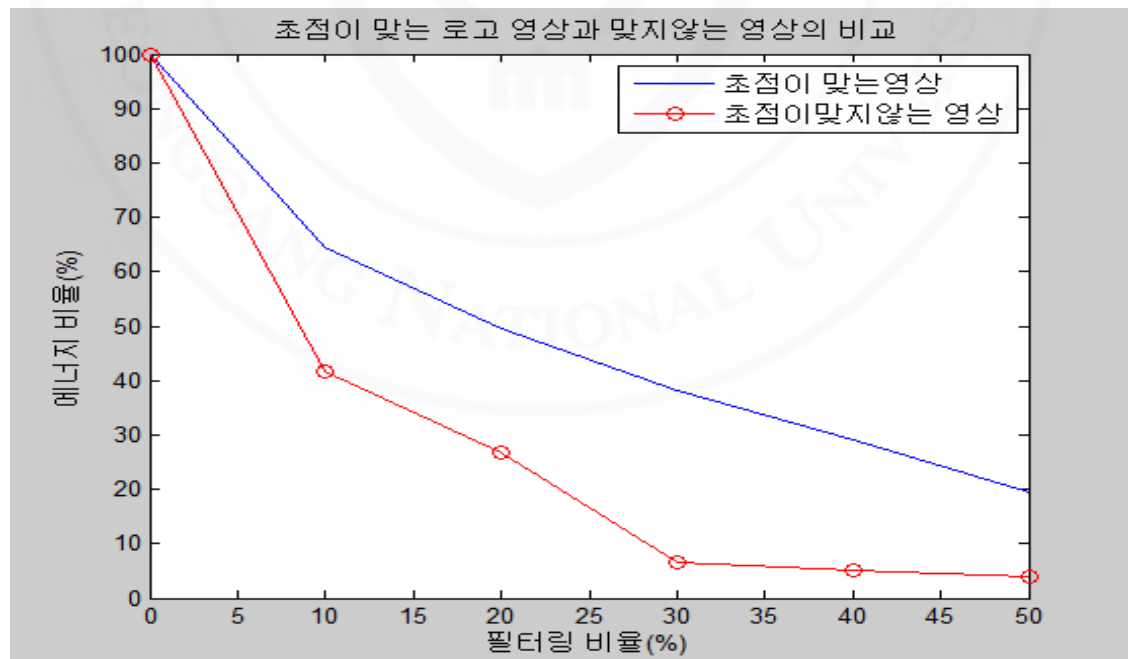


그림 31 표1과 표2의 데이터를 그래프로 표현

표 3 별의 근사화

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	603371.19	375115.04	219554.29	154680.54	97509.07	67041.93
에너지비율	100%	62.17%	36.39%	25.64%	16.16%	11.11%
에너지감소율	0%	37.83%	63.61%	74.36%	83.84%	88.89%

표 4 별의 근사화 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	289062.94	81842.32	32926.65	24171.17	19607.62	16031.32
에너지비율	100%	28.31%	11.39%	8.36%	6.78%	5.55%
에너지감소율	0%	71.69%	88.61%	91.64%	93.22%	94.45%

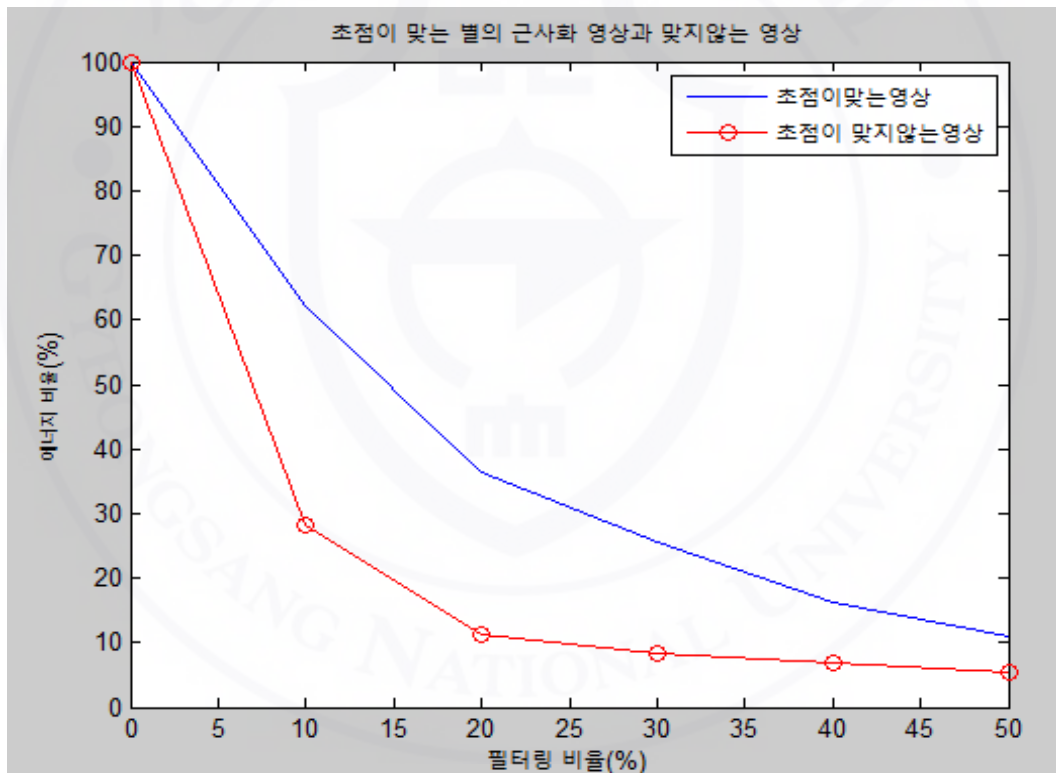


그림 32 표3과 표4의 데이터를 그래프로 표현

표3, 표4, 그림32를통해 별의 근사화 영상에서는 10% 대역에서 가장 큰 에너지 감소를 보였으며 다음으로 20%, 그 이후로는 이미 많은 데이터가 필터링 되어 에너지 차이가 크지 않음을 확인할 수 있다.



표 5 카시오페이아 원본

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	3989416.77	3740328.02	3468908.73	2750858.57	2750858.57	2291116.02
에너지비율	100%	93.76%	86.95%	78.77%	68.95%	57.43%
에너지감소율	0%	6.24%	13.05%	21.23%	31.05%	42.57%

표 6 카시오페이아 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	851057.57	610841.58	409772.38	278198.61	223060.57	177859.96
에너지비율	100%	71.77%	48.15%	32.69%	26.21%	20.9%
에너지감소율	0%	28.23%	51.85%	67.31%	73.79%	79.1%

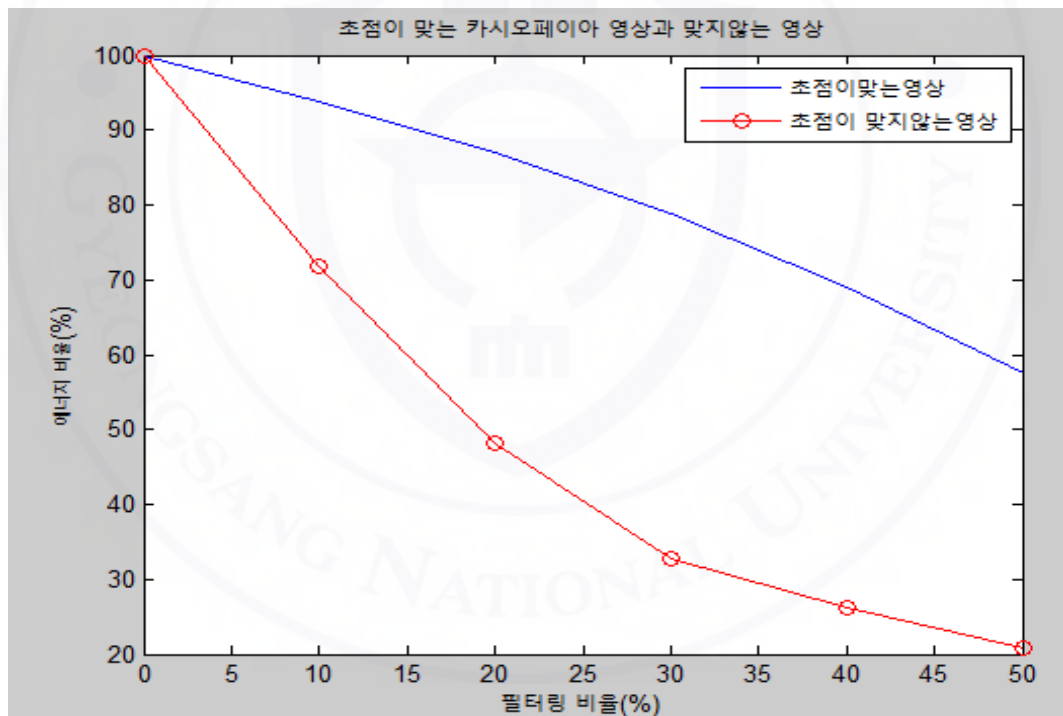


그림 33 표5와 표6의 데이터를 그래프로 표현

표5, 표6, 그림35를 통해 카시오페이아 이미지에서는 전체적으로 큰 에너지 차이를 보였으며 그중에서 30%대역을 필터링 하였을 때 가장 큰 변화율을 보였다.

표 7 DCT 결과표

에너지 변화율	10%	20%	30%	40%	50%
로고	22.96%	22.79%	31.67%	23.93%	15.44%
근사	33.86%	25%	17.28%	9.38%	5.56%
카시오페이아	21.99%	38.8%	46.08%	42.74%	36.53%

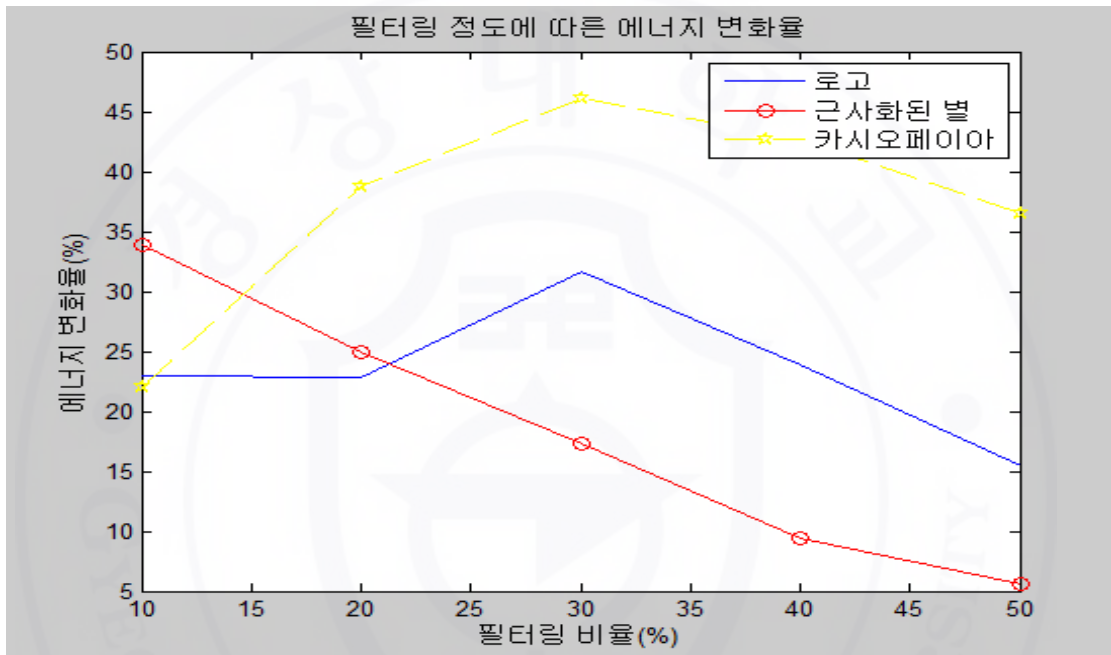


그림 34 표7의 데이터를 그래프로 표현

각 영상별 결과를 표7 그림34에 나타내었으며 이를통래 로고이미지, 별의 근사화 이미지, 카시오페이아 이미지를 2D-DCT후 필터링 하였을 때 에너지 변화율을 보면 로고 이미지와 카시오페이아 이미지의 경우 30%대역을 필터링하는 것이 각각 약31%와 46%로 점의 근사화 이미지는 10%대역에서 필터링하는 것이 약 34%로 가장 민감하게 반응하였다.

## 2. Wavelet

Wavelet은 주파수축 결과값이 없기 때문 필터링 전의 이미지와 필터링후의 이미지의 에너지를 대등하게 비교할 수 없다. 따라서 계수에 따른 최종 화소 에너지만을 기록하였다.

표 8 로고

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	49550347	31003652	25964381	22174275	1615838	11763252
에너지비	100	62.6	52.4	44.8	32.6	23.8

표 9 로고 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	49568643	20942751	14711973	10285493	4793783	4317428
에너지비	100	42.3	29.7	20.8	9.7	8.7

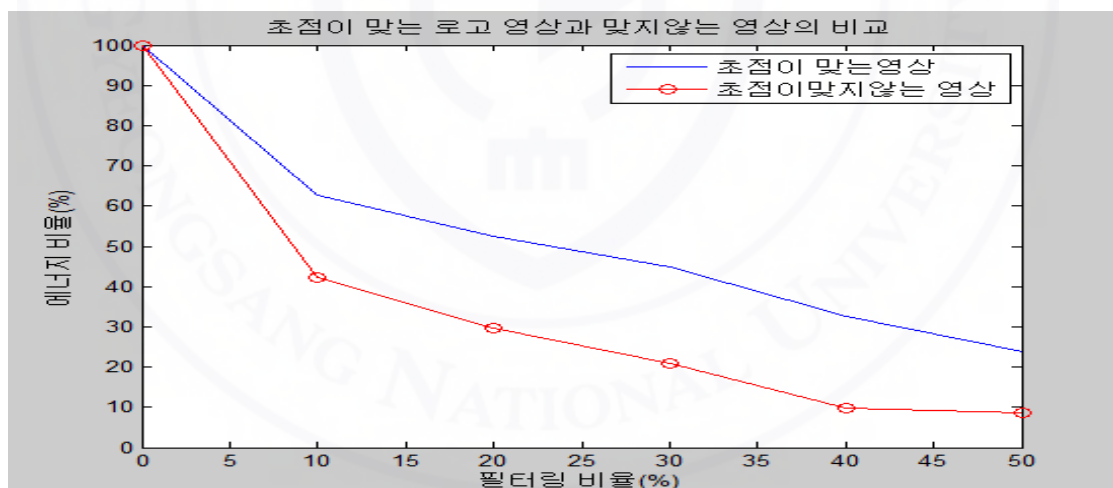


그림 35 표8과 표9의 데이터를 그래프로 표현

표8, 표9 그림35를 통해 Wavelet을 이용한 로고 이미지의 경우 20%대역을 필터링하는 것이 약 30% 에너지감소율을 보이며 가장 큰 차이를 보였으며 그 뒤로 30%, 40%가 각각 약 28%, 26%감소를 보였다.

표 10 별의 근사화

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	66782105	45505326	25811283	19146429	12094239	10190949
에너지비	100	68.1	38.7	28.7	18.1	15.2

표 11 별의 근사화 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	66776833	26517080	11786111	6588870	4981551	34523622
에너지비	100	39.7	17.7	9.87	7.5	5.2

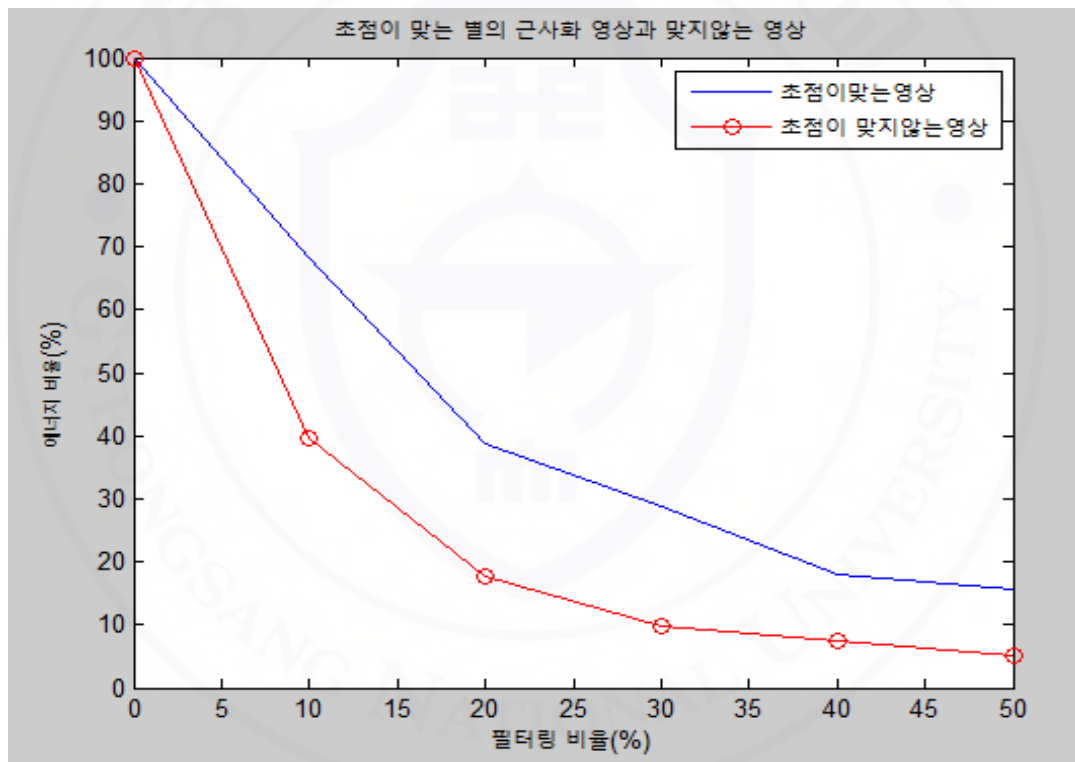


그림 36 표10과 표11의 데이터를 그래프로 표현

Wavelet을 이용하여 별의 근사화 이미지를 처리하였을 때 결과는 그림36과 같으며 10%대역을 필터링하는 것이 약28%의 감소율을 보이며 가장 큰 차이를 보였다. 그 뒤로 20%, 30% 가 각각 약 21% 와 19% 감소율을 보였다.

표 12 카시오페이아

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	13517743	11395457	10070718	8840603	8381000	6921084
에너지비	100	84.3	74.5	65.4	62	51.2

표 13 카시오페이아 블러

	원본	10%	20%	30%	40%	50%
원에너지양	13468269	9697153	5926038	5037132	4848576	4161695
에너지비	100	72	44.1	37.4	36	30.9

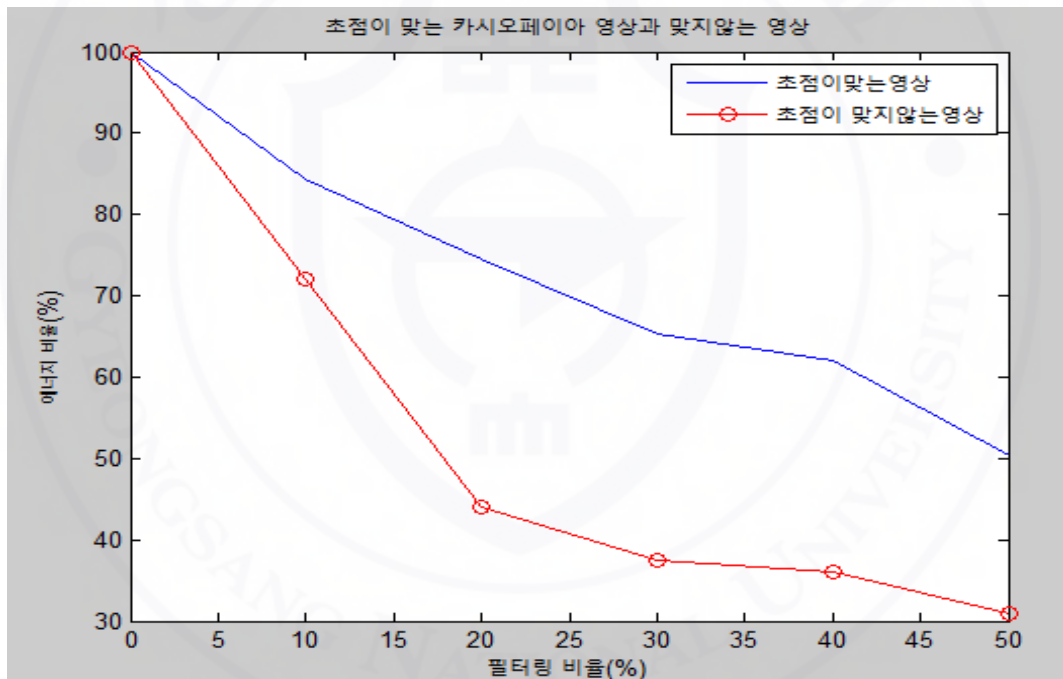


그림 37 표12와 표13의 데이터를 그래프로 표현

Wavelet을 이용하여 카시오페이아 이미지를 필터링하였을 때의 결과는 그림37과 같으며 30%대역에서 약 24%의 감소율을 보이며 그 차가 가장 컸으며 그 뒤로 40%와 20%가 각각 22.9%, 22.7%의 차이를 보였다.

표 14 Wavelet의 결과표

에너지 변화율	10%	20%	30%	40%	50%
카시오페이아	12.3%	<b>30.4%</b>	28%	26%	20.3%
근사	<b>28.4%</b>	21%	18.83%	10.6%	10%
로고	20.3%	22.7%	<b>24%</b>	22.9%	15.1%

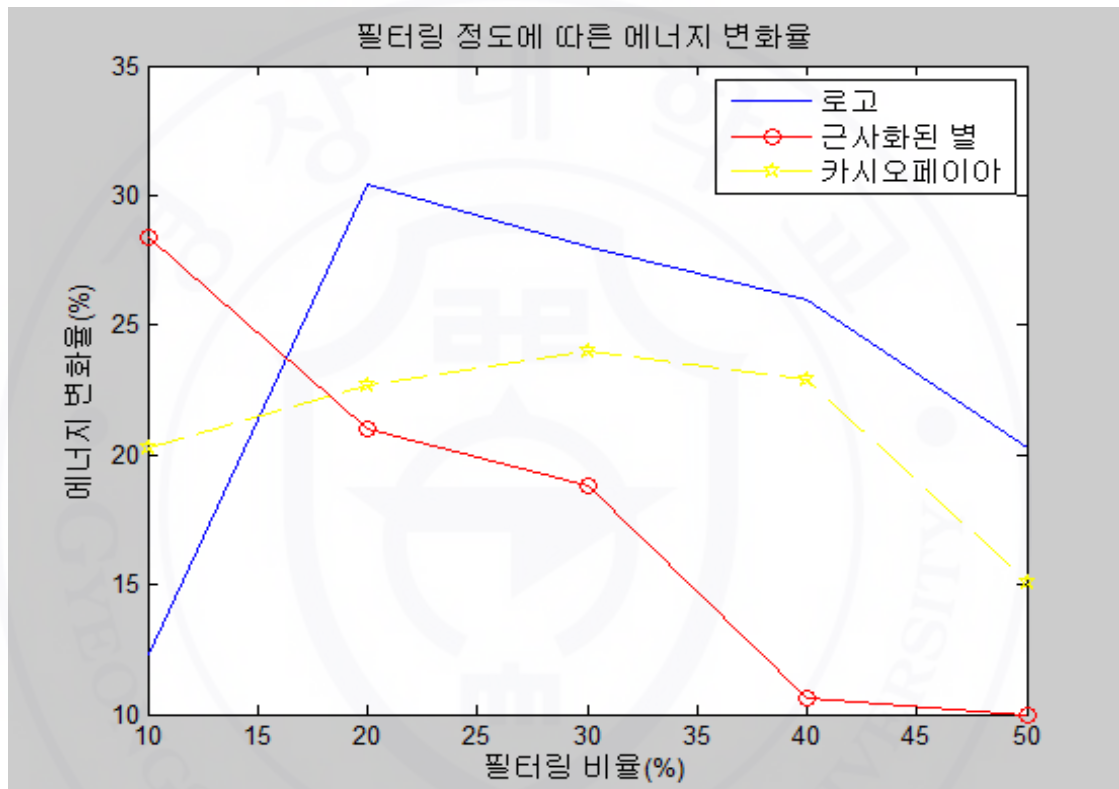


그림 38 표14의 데이터를 그래프로 표현

Wavelet을 통해 로고 이미지, 근사화된 별의 이미지, 카시오페이아 이미지를 필터링하였을 때의 결과는 표14, 그림38과 같으며 로고 이미지의 경우 20%대역을 별의 근사화 이미지는 10%대역을 카시오페이아 이미지는 30% 대역을 필터링하는 것이 가장 큰 차이를 보였으나 2D-DCT와 비교하였을 때에 에너지감소량이 2D-DCT에 비해 작으므로 2D-DCT를 이용한 필터링이 더 양호한 성능을 보인다 할 수 있다.

### 3. Mask

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

그림 39 3X3 Mask\_1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

그림 40 3X3 Mask 2

-1	-4	-6	-4	-1
-2	-8	-12	-8	-4
0	0	0	0	0
2	8	12	8	4
1	2	6	4	1

그림 41 5X5 Mask 1

1	2	0	-2	-1
4	8	0	-8	-4
6	12	0	-12	-6
4	8	0	-8	-4
1	2	0	-2	-1

그림 42 5X5 Mask 2

-1	-4	-6	-10	-6	-4	-1
-2	-8	-12	-20	-12	-8	-2
-4	-14	-20	-32	-20	-14	-4
0	0	0	0	0	0	0
4	14	20	32	20	14	4
2	8	12	20	12	8	2
1	4	6	10	6	4	1

그림 43 7X7 Mask 1

1	2	4	0	-4	-2	-1
4	8	14	0	-14	-8	-4
6	12	20	0	-20	-12	-6
10	20	32	0	-32	-20	-10
6	12	20	0	-20	-12	-6
4	8	14	0	-14	-8	-4
1	2	4	0	-4	-2	-1

그림 44 7X7 Mask 2

Mask를 이용한 시뮬레이션은 3X3, 5X5, 7X7Mask를 이용하였으며 그 형태는 그림39부터 그림44까지와 같다. 여기에 분모계수를 적용하였다. Mask는 X축과 Y축 각각에 적용하기 위해 한 번에 두 개의 Mask가 쌍으로 사용된다.

표 15 로고이미지에 Mask를 적용한 결과

로고	원본	블러	비율
<b>5X5_120</b>	<b>374390</b>	<b>365024</b>	<b>97.4983</b>
3x3_12	49538078	49575185	99.9252
5X5_12	1836466	2771878	150.9354
7X7_12	18006485	19268064	107.0062
7X7_120	3207929	3257542	101.5466

로고 이미지에 Mask를 적용시켰을 때 에 전체적으로 적은 변화율을 보였다. Mask의 크기와 계수를 조절하여 적용해 보았을 때 Mask크기와 계수와는 독립적으로 에너지변화율이 오히려 늘기도 하였으며 그나마 나온 것은 5X5에 120의 분모를 가지는 Mask였다.



표 16 별을 근사화한 영상에 Mask를 적용한 결과

별의 근사화	원본	블러	비율
<b>5X5_120</b>	<b>152664</b>	<b>149497</b>	<b>97.9255</b>
3X3_12	66781871	66776797	99.9924
5X5_12	586240	636972	108.6538
7X7_12	22568978	22593762	100.1098
7X7_120	2897370	2882531	99.4878

별을 근사화한 영상에 적용하였을 때에도 일부에서 불규칙적인 에너지 변화를 보였으며 마찬가지로 5X5Mask에 120의 분모를 계수로 하는 Mask가 가장 안정적인 결과를 보였다.

표 17 카시오페이아 이미지에 Mask를 적용한 결과

카시오페이아	원본	블러	비율
5X5_120	825815	373357	45.2107
3X3_12	13536193	13481935	99.5991
<b>5X5_12</b>	<b>8484753</b>	<b>3737884</b>	<b>44.0541</b>
7X7_12	22254657	16148742	72.5634
7X7_120	3207711	1920036	59.8569

카시오페이아 이미지에 Mask를 적용하였을 때에는 5X5 Mask에 12와 120의 분모를 가지는 계수를 적용하였을 때에 가장 유효한 결과를 보였으며 오작동이 있지는 않았다. 에너지 변화율도 두드러졌으나 계수의 증감에 따라 선형적이지 못한 변화는 특정 이미지마다 가장 효과적인 Mask를 찾아야 된다는 것이 문제이다. 전체적으로 5X5마스크에 120의 분모를 가지는 처리가 가장 적절하나 가장 효율적이라 할 수는 없다.

## IV. 검 증

비교한 알고리즘중 DCT를 이용한 알고리즘이 실제 적용가능한지를 확인하고자 하드웨어를 통해 검증을 진행하였다. 완벽한 실제 하드웨어를 구현할 수는 없어 캐논사의 D40 DRLS과 500mm 초점거리의 천체망원경통을 결합하여 근사화된 조건에서 검증을 하였다.



그림 45 구현한 하드웨어 사진 1



그림 46 구현한 하드웨어 사진 2

구현한 하드웨어로 그림47 부터 그림50까지의 영상을 획득하여 에너지 변화를 보았을 때에 그 변화율은 표18 과 같다.

이를 통해 근사화된 구현 환경에서 알고리즘이 적용가능 함을 확인하였다.

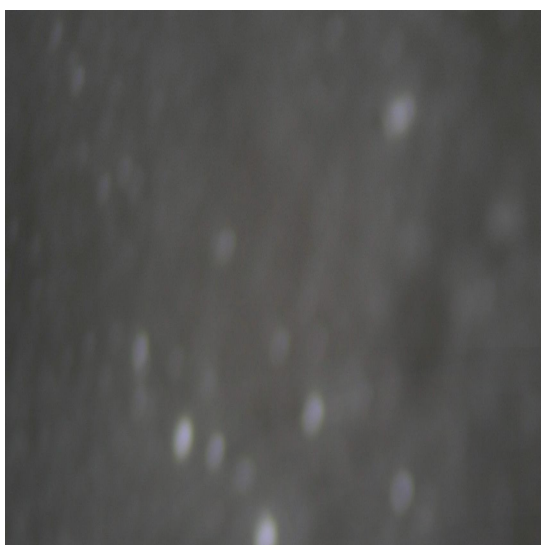


그림 47 하드웨어로 얻은 영상 1

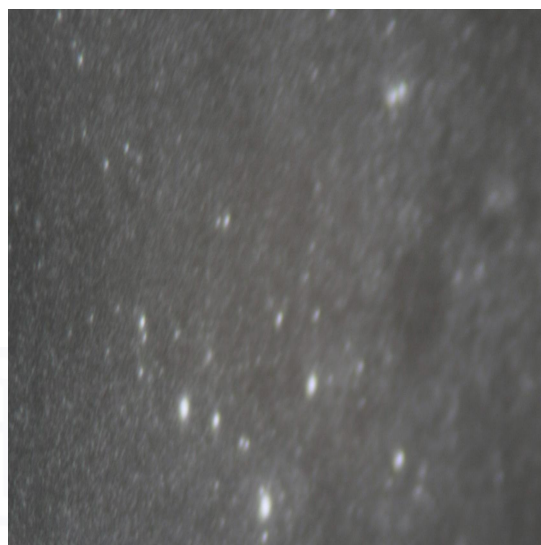


그림 48 하드웨어로 얻은 영상 2

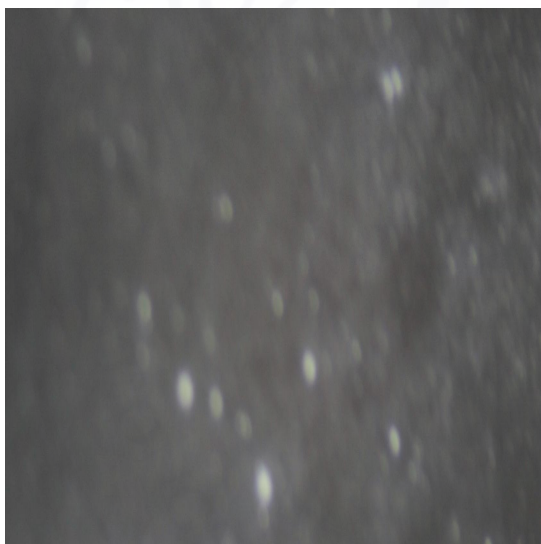


그림 49 하드웨어로 얻은 영상 3

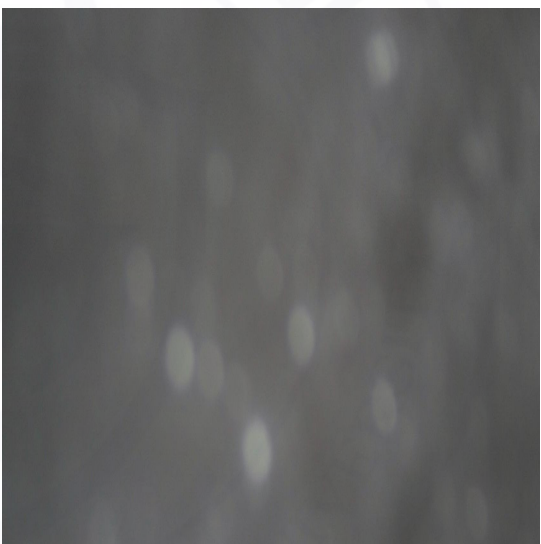


그림 50 하드웨어로 얻은 영상 4

표 18 하드웨어를 구현하여 얻은 영상의 에너지 변화

	그림47	그림48	그림49	그림50
에너지양	657901	690240	673429	667501

표18에서 나타난바와 같이 초점 거리를 지속적으로 증가시켰을 때에 에너지가 그림48 에서 최대치를 보이며 초점 값을 더 증가시키면 에너지가 점차 감소하므로 이전 초점값을 제안한다.

## V. 결 론

천체영상에서 품질에 큰 영향을 주는 초점을 판단하기 위해 기존의 알고리즘들은 비교, 분석하였다. 주파수 축에서의 접근을 위해 주파수 변환방법으로 Fourier 변환, Fourier변환의 허수 연산을 제거한 2D-DCT, 여기에 기저함수를 정현파가 아닌 파형을 이용한 Wavelet을 이용하였다 Wavelet은 향상된 데이터 압축을 위해 고안된 방식으로 데이터 압축률은 2D-DCT보다 높지만 초점 판단 기준으로 사용하기에는 적합하지 않았다. 점 확산 함수를 이용한 처리과정 중 영상 품질 판단기준으로 이용되던 Mask를 이용한 방법에서는 Mask가 이미지에 따라서 다른 효율과 결과를 보이기 때문에 보편적으로 사용하는 데는 어려움이 따를 것으로 판단되었다. 따라서 디지털 영상처리를 통한 초점 판단 기준으로는 2차원 DCT, Wavelet, Mask 3가지 중 2D-DCT가 가장 적합하다는 결론을 얻었으며 천체영상을 위한 자동초점 판단 방법으로 2D-DCT를 이용한 초점 판단이 적절하다 할 수 있다. 또한 하드웨어 구현과 근사화된 조건 설정을 통하여 DCT를 이용하였을 때 에너지변화를 비교하여 초점판단이 가능함과 이를 통한 초점판단 방식이 정상 동작함을 확인할 수 있으므로 천체영상을 위한 초점판단 알고리즘으로는 2D-DCT를 이용함이 가장 적절하다는 결론을 얻을 수 있다.

## 참고문헌

- [1]문창수, 도용태, 초음파 카메라의 초점화를 이용한 거리측정 시스템 설계, 2004년도 정보 및 제어 학술대회 논문집, 2004.11, 595-597page
- [2]이승용, 휴대폰 카메라를 위한 트레이닝 기반의 자동 초점 방법, 고려대학교 메카트로닉스 공학과 학위논문, 2011
- [3]유종기, 이미지 위상차를 이용한 지능형 자동차용 중장거리 센서, 계명대학교 지능형자동차공학과 학위논문, 2011
- [4] A contrast-based focusing criterium, Pattern Recognition, 1996., Proceedings of the 13th International Conference on (Vol.1), 1996, Aug, 805-809page
- [5]유윤중, 이정수, 신정호, 백준기, 점 확산 함수 데이터 베이스를 이용한 실시간 디지털 자동초점, 전자공학회 논문지 SP편 제43권 제5호, 2006,09, 1-11page
- [6]김동균, 박영욱, 이진희, 백준기, 디지털 자동 초점을 위한 등방성 점확산 함수 추정, 전자공학회 논문지 제46권 SP편 1호, 2009,01, 7-13page
- [7] 고광현, 국중갑, 최우석, 조남익, 컬러채널 간 유사도 측정을 통한 디지털 카메라의 자동초점 기법, 2010년도 한국방송공학회 하계 학술대회, 2010,07, 401-404page
- [8] 한형석, 김주현, 이성희, 변영균, 이상호, 고성제, 웨이브렛 변환을 이용한 자동 초점 조절 알고리즘, 한국통신학회 학술 발표회 논문집 제15권 1호 1996.1, 261-265page
- [9] 박봉길, 김세훈, 김윤수, 박상희, 일차원 웨이브렛 변환을 이용한 광학기기의 자동 초점 조절에 관한 연구, 대한전기학회 1997년도 추계학술대회 논문집, 1997.11, 603-605page
- [10] 최덕규, 권기홍, 안상호, 송규익, DCT를 이용한 자동초점 검출, 대한전자공학회 학술대회 논문집 (신호처리합동) 제5권 1호, 1992.1 241-244page
- [11] 김충원, 전정희, MATLAB을 이용한 디지털 영상처리, 홍릉과학출판사

- [12] 이상용, 이산 코사인 변환 계수의 에너지 비를 사용한 디지털 카메라용 초점 값 연산자, 대한전자공학회 제 45권 SP편 제6호, 2008 11, 88-94page
- [13] Yoshida, Y. Shinohara, S. Ikeda, H. Tada, K. Yoshida, H. Nishide, K, Sumi, M. Control of Lens Position in Auto-Focus Cameras Using Semiconductor Laser Range Finder, IEEE 1991 Pages: 395 - 398 vol.1
- [14] Ahmed, N. Natarajan, T. Rao, K.R. Discrete Cosine Transform, Volume: C-23, Issue 1, 1974, Pages: 90 - 93,



## 감사의글

연구나 취직보다 단순히 좀 더 배워 보고 싶다는 안일한 생각에도 흔쾌히 제  
자로 받아주시고 제가 있는 장애애도 싫은 내색하지 않아 주셨던 은사 고진환  
교수님께 감사의 인사를 드립니다. 지도교수님은 아니셨지만 늘 응원해주셨던 정  
상배교수님, 김영일교수님, 이건기교수님, 한석봉교수님, 임동민교수님 연구도 교  
육도 놓치지 않는 열정을 보여주신 이왕상교수님, 알차고 생각을 많이 할 수 있  
는 수업을 해주신 윤희권 박사님, 명노신교수님 한분 한분께 감사의말씀을 드리  
고 싶습니다. 함께 했던 시간은 짧았지만 좋은 말씀해주신 류병주 선배님, 이제  
훈선배님, 짧은 영어실력에도 답답해하지않고 조언해주신 판관선배님, 나태해지  
지 않고 늘 자신을 다잡게 해주신 김형욱선배님 건강문제로 폐만 끼침에 참아주  
고 받아주었던 강격목, 설경은군에게는 죄송하고 감사합니다. 비록 같은 연구실  
사람은 아니었지만 늘 도움을 주셨던 이윤성님, 중학생부터 학부까지 인연으로  
늘 버팀목이 되어준 한경석님 한분한분 소중한 인연이었으며 그 인연에 감사를  
드립니다. 비록 2년간 그 성과는 미약하였으나 시간이 지나서 돌이켜보았을 때  
미소짓게 될 것이라 믿어 의심치 않습니다.

마지막으로 세계 어딘가에 더 학식이 높으신 교수님은 계실지언정 저에게 있어  
고진환 교수님이상의 교수님은 없을 것이라 믿게 될정도로 훌륭하신 저의캡틴  
고진환 교수님께 진심으로 다시 한 번 감사의 말씀을 드립니다. 감사합니다.