



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](#)

공학석사 학위논문

Dark Channel Prior와 HSI 색공간 기반 가중치를 이용한  
단일 영상 안개 제거 기법

A Single Image Defogging Method Using Dark Channel Prior and  
Weight Based on HSI Color Space



2015년 8월

한국해양대학교 해사산업대학원

전기·전자·제어공학과

강 군 호

본 논문을 강군호의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 조석제 (인)

위원 김종화 (인)

위원 하윤수 (인)

2015년 7월 23일

한국해양대학교 해사산업대학원

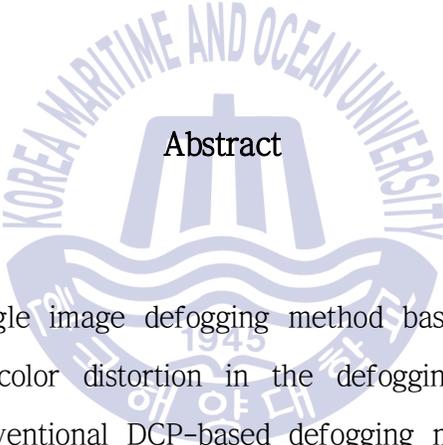
# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 안개 모델링을 이용한 안개 제거 방법 .....	4
2.1 안개 모델링 .....	4
2.2 지역적 대비 향상 방법 .....	5
2.3 DCP를 이용한 방법 .....	11
제 3 장 제안한 안개 제거 방법 .....	17
3.1 안개값 추정 .....	17
3.2 채도 보정 가중치 .....	20
3.3 안개 제거를 위한 비용 함수 .....	24
3.3.1 DCP 비용함수 항 .....	24
3.3.2 히스토그램 균등화 비용함수 항 .....	24
3.3.3 색상 가중치 .....	24
3.4 전달량 정제 .....	26
제 4 장 실험 및 고찰 .....	29
제 5 장 결 론 .....	35
참고 문헌 .....	36

# A Single Image Defogging Method Using Dark Channel Prior and Weight Based on HSI Color Space

Goon-Ho Kang

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering,  
Graduate School of Maritime Industry



## Abstract

In this paper, a single image defogging method based on dark channel is proposed to prevent color distortion in the defogging image. One of the drawbacks of the conventional DCP-based defogging methods is low-contrast quality for the defogging image. Various enhancement skills can be applied to the defogging image in order to get the fidelity and to improve the drawback referred above, while they can cause some problems such as a color distortion or a saturation distortion.

In order to solve these problems, in this paper, a histogram information with DCP on transmission estimation regions and a hue weight are used in cost function. The local histogram information can reduce the low-contrast problem on the defogging image, and the hue weight in HSI color space can

control the ratio of cost function between DCP cost term and a histogram cost term. And also, a saturation weight in HSI applied to the original fog image is used in order to prevent the saturation distortion. The validity of the proposed method is assured by way of experimental results for several fog images and it is concluded that the proposed algorithm is more efficient than the conventional defogging algorithms.



## 제 1 장 서 론

최근 선박 및 해상 감시와 방제용 지능형 무인 시스템 구축에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 관련 시스템의 컴퓨터 시각 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 컴퓨터 시각은 카메라로 입력된 시각정보를 분석하여 물체 인식 및 장면을 이해하는 기술이다. 이러한 기술이 해양 분야에 적용되어 제 기능을 수행하기 위해서는 영상의 모호함을 증가시켜 컴퓨터 시각 기술의 성능을 저하시키는 안개(fog)와 같은 탁한 매질(turbid medium)의 영향을 극복하는 것이 관건이다[1-5].

안개는 대기 중 수증기가 뭉쳐서 형성된 입자들에 의해 발생된다. 이 입자들은 빛을 산란시키는 특성을 갖기 때문에 장면의 대비(contrast)를 축소시키고 채도(saturation)을 감소시키는 등 본래 장면의 정보를 왜곡시키기 때문에 컴퓨터 시각이 적용되는 과정에서 반드시 제거되어야 한다. 안개를 포함한 영상에서 안개를 걷어내는 과정을 안개 제거(defogging 또는 haze removal)라고 하며, 영상 복원(image restoration)의 한 분야로 분류되어 관련 연구들이 진행되어 오고 있다[2-5].

안개 제거는 안개 모델링(haze modeling)의 사용 여부에 따라 크게 두 부류로 나눌 수 있다. 안개 모델링 과정없이 안개를 제거하는 대표적 방법에는 MSR(Multi-Scale Retinex)[3]와 CLAHE(Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization)[4]이 있다. 이 방법들은 복잡한 모델링 과정 없이 영상을 여러 영역으로 나눈 후 대비 확장 기법을 통하여 영상의 가시성을 높인다. 이러한 방법들은 비교적 간단한 방법으로 대비가 낮은 안개 영상의 명확성(fidelity)을 증가시킬 수 있다는 장점이 있으나 지역적인 대비 분포에 따라 개별적으로 처리되기 때문에 결과 영상에서 지역간의 부조화와 색상 왜곡이 발생하기 쉽다.

안개 모델링을 이용한 기법은 영상을 광학적으로 모델링하여 관련된 파라미터를 계산하여 영상을 복원한다. 이 방법은 화소의 깊이(depth) 정보나 이와 밀

접한 관련이 있는 화소의 전달량(transmission)을 추정하는 과정을 거친다. Schechner [5]등은 동일한 장면을 여러 개의 다른 편광 필터를 이용해 촬영하여 안개 영역과 안개의 양을 제거하는 방법을 제안하였고, Narasimhan과 Nayar는 동일한 장면의 영상을 다른 기상 상태에서 얻어 안개를 추정하고 제거하는 방법을 제안하였다[6-9]. Kopf[10]는 촬영하는 카메라의 내장 GPS를 이용하여 영상의 깊이 정보를 추정하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법들은 영상이 두 장 이상 필요하거나, 사전에 획득한 깊이 등 추가적인 정보가 필요하다.

최근 안개가 포함된 영상 한 장에 대한 처리로 안개를 제거하는 단일 영상 기법에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. Tan[11]은 인접한 화소들의 깊이값이 비슷하고, 안개 영역에서 밝기 차이의 합이 안개 없는 영역보다 적다는 가정을 이용하여 안개 영역을 찾아내는 방법을 제안하였고, Fattal[12]은 안개 영상에서 반사율을 추정하여 안개를 제거하는 방법을 제안하였다. Kim[13]은 안개 모델링에서 전달량을 대비 항상 비용 함수 최적화로 얻는 방법을 제안하였다. He 등[14]이 제안한 DCP(Dark Channel Prior)를 이용한 방법은 안개가 없는 영역에 포함된 화소의 RGB값 중 최소 채널값(dark channel)이 안개 영역에 비해 매우 작은 값을 갖는다는 점을 이용하여, 안개 모델링에서의 안개값(airlight)과 전달량을 추정한 후 안개 없는 영상을 계산해내는 방식이다. DCP는 다양한 형태의 안개 영상에서 좋은 성능을 보인다고 알려져 있으나, 결과 영상이 저대비로 나타나고, 물체의 경계 부근에서 안개 제거 성능이 떨어짐에 따라 뿌옇게 보이는 후광 현상(halo artifact)이 발생하기 쉽다. 그리고 무채색 물체에 대해 전달량이 적게 추정되기 쉽고 그에 따른 채도 왜곡이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 DCP에서 발생하는 저대비 문제, 후광 현상 및 채도 왜곡을 방지하기 위해 히스토그램 처리를 혼합하는 방법과 HSI 색공간에서 색상차 가중치와 채도 보정 가중치를 적용하는 안개 제거 기법을 제안한다. 안개 영상의 주어진 윈도우 영역에서 DCP와 히스토그램 균등화를 결합한 비용 함수를 색상 왜곡을 최소화하는 방향으로 최적화할 수 있도록 색상 가중치를 이용하여 비용 함수를 조절하며 전달량을 추정한다. 그리고 무채색 물체가 안개로 오인되거나

안개값과 무채색 물체의 색이 비슷할 때 발생하기 쉬운 채도 왜곡을 방지하기 위해 채도 보정 가중치를 안개 영상에 곱해주는 방법을 사용한다. 제안한 방법은 색상 가중치를 포함한 비용함수를 통해 안개 제거 영상의 저대비 문제, 색상 왜곡 및 후광 현상을 해결하였고, 채도 가중치를 이용하여 채도의 왜곡을 줄일 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 안개 모델링과 이와 관련된 안개 제거 방법에 대해 살펴보고, 제 3 장에서는 제안하는 안개 제거 기법에 대해 기술한다. 제 4 장에서 제안한 방법의 결과를 기존의 방법들의 결과와 비교하고 성능을 고찰하고, 제 5 장에서 전체 내용에 대해 결론을 내린다.



## 제 2 장 안개 모델링을 이용한 안개 제거 방법

### 2.1 안개 모델링

안개 모델링을 이용한 안개 제거는 안개 영상과 안개 제거 영상간의 광학적 관계를 이용하여 안개를 배제한 영상을 얻는 과정을 말한다. 안개를 포함한 영상  $I(x)$ 은 안개 모델을 이용하여 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다[14].

$$I(x) = J(x)t(x) + A\{1-t(x)\} \quad (2.1)$$

여기서  $J(x)$ 은 안개가 제거된 영상이고,  $t(x)$ 는 물체의 색이 산란되지 않고 카메라에 획득된 정도를 나타내는 전달량이다. 그리고  $A$ 는 안개의 색을 나타내는 안개값이다. 여기서 전달량  $t(x)$ 는 식 (2.2)와 같이 화소의 깊이 정보에 대한 지수감소함수 형태로 표현된다[10,14].

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2.2)$$

여기서  $\beta$ 는 산란 계수(scattering coefficient)이고  $d(x)$ 는 화소위치  $x$ 의 깊이를 나타낸다. 안개 모델링 상에서 안개 영역은 안개값  $A$ 가 크게 반영되기 때문에 안개의 색이 더 강하게 나타나게 된다. 그리고 먼 물체일수록 깊이가 크기 때문에 안개에 의해 산란되는 정도도 커서 카메라까지 전달되는 정보가 감소한다.

안개 제거 알고리즘은 식 (2.1)에서 획득한 영상  $I(x)$ 의 안개값  $A$ 와 각 화소의 전달량  $t(x)$ 를 추정하여 안개의 영향을 제거한 영상  $J(x)$ 를 얻는 과정이라고 할 수 있다. 이에 대한 표현은 식 (2.1)을 안개 제거 영상  $J(x)$ 에 대해 정리

하여 얻을 수 있고, 특히 컬러 영상의 경우 색공간 성분별로 식을 적용하여 채널별 안개 제거 영상을 얻는다. 임의의 색공간에 대한 안개 제거 영상  $J_c(x)$ 이 는 식 (2.3)과 같다[14].

$$J_c(x) = \frac{I_c(x) - A_c}{t_c(x)} + A_c \text{ when } c \in \{r, g, b\} \quad (2.3)$$

안개 모델링의 원리는 그림 2.1과 같다. 우측의 소나무를 담은 원래 장면  $J$ 는 안개가 끼었을 경우 안개를 구성하는 대기 중 성분에 의해 산란되는 등의 이유로 온전히 전달되지 못하고 안개가 포함된 채로 카메라나 사람의 눈에 도달하게 된다. 이는 대기 중에 산란된 빛의 양  $A\{1-t(x)\}$ 과 물체로부터 반사된 빛의 도달하는 양  $J(x)t(x)$ 으로 표현된다.

위와 같은 안개 모델링을 이용한 예는 그림 2.2와 같다. 안개를 포함한 영상인 그림 2.2 (a)에 안개 모델링을 적용하여 전달량과 대기값을 추정된 후 안개가 제거된 영상은 그림 2.2 (b)와 같다. 이 때 그림 2.2 (a)는 안개 모델링에서  $I(x)$ 에 해당하고, 그림 2.2. (b)는  $J(x)$ 에 해당한다.

단일 영상 안개 제거 방법 중 안개 모델링을 이용하는 방법의 처리 순서는 그림 2.3과 같다. 획득한 안개 영상에서 안개값을 추정된 후 화소별 전달량을 계산하여 전달량 맵을 얻는다. 이 때 얻은 전달량 맵을 조밀하게 얻기 위해 안개 영역과 경계 정보를 일치시키는 과정을 거치게 되고 이를 토대로 안개 제거 영상을 결과로 얻는다.

## 2.2 지역적 대비 향상 방법

지역적 대비 향상을 이용하는 안개 제거 방법은 별도의 안개 모델링 없이 대비 향상을 수행하는 방법과 안개 모델링을 적용하는 방법으로 나뉜다. 전자는 안개 영상에 직접적으로 대비 향상을 적용하여 저대비 특성을 띄는 안개 영역

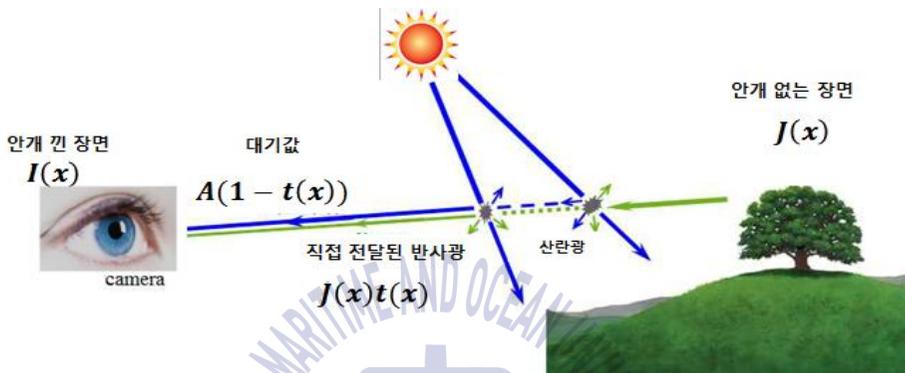


그림 2.1. 안개 모델링

Fig. 2.1. Haze modelling



(a) (b)

그림 2.2. 안개 제거의 예

(a) 입력 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Fig. 2.2. An example about defogging

(a) Input fog image (b) defogging image

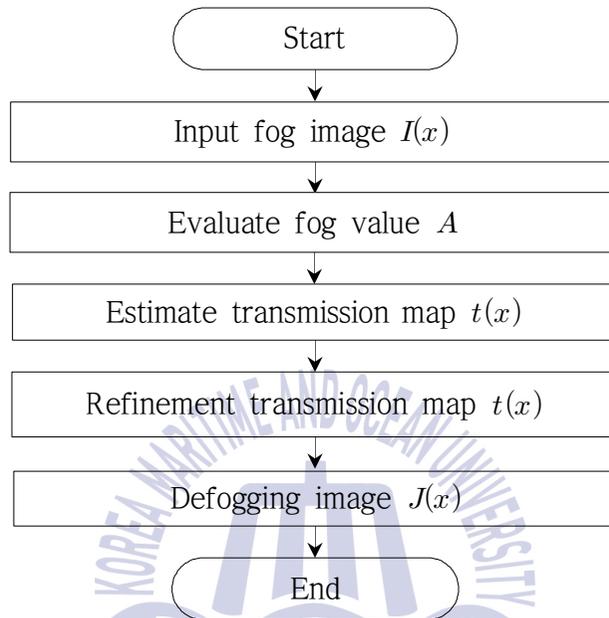


그림 2.3. 안개 모델링을 이용하는 안개 제거 방법의 순서도

Fig. 2.3. A flowgraph about defogging method using haze modeling

의 가시성을 향상시키는 방법이고, 후자는 대비 분포의 통계적 파라미터들로 구성된 비용함수를 정의하여 최적화시킴으로서 전달량을 얻는 방법이다.

대비 향상을 이용한 방법에는 Multi-Scale Retinex(MSR)을 이용하는 방법과 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization(CLAHE)를 이용하는 방법 등이 있다. Tan은 안개 영상에서 안개가 많은 영상은 그렇지 않은 영상에 비해 기울기(gradient)가 크다는 특성과 물체의 깊이 정보는 인접 화소에서 비슷하다는 특성을 이용하여 MRF(Markov Random Field) 모델을 만들었다. 대비의 차이를 반영하는 데이터 항과 안개 값의 차이를 반영하는 연속성 항으로 구성된 비용함수를 최적화하는 관점에서 접근했으며, 최적화는 graph-cut을 이용하였다.

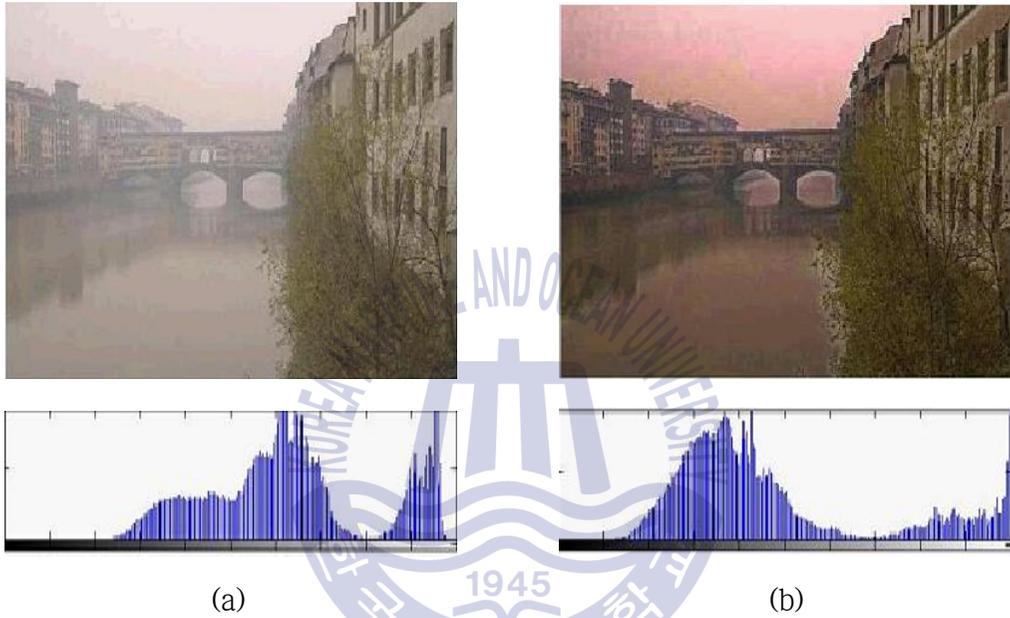
Kim은 영상의 히스토그램 분포 특성과 그에 따른 표준 편차를 안개 모델링에 적용하였다. 안개 영상에서 안개 영역은 저대비 특성을 띄고, 안개가 없는 영역은 상대적으로 고대비 특성을 가진다. 이러한 특성에 따라 고대비 영역에서 히스토그램 분포가 균등해지는 동시에 표준 편차 값이 커진다는 통계적 특성을 이용하여 비용함수를 정의한 후 최적화하는 방법을 사용하였다. 안개 영상과 안개 제거 영상의 휘도 분포를 히스토그램을 그림 2.4에 보였다. 안개 유무에 따른 히스토그램을 비교해보면 안개 영상의 히스토그램인 그림 2.4의 (a)의 대비가 안개 제거 영상의 히스토그램 분포보다 좁은 것을 알 수 있다.

안개 영상의 전달량  $t$ 에 대한 비용함수  $f_{\text{cost}}(t)$ 는 식 (2.4)와 같다.

$$f_{\text{cost}}(t) = f_{\text{uniform}}(t) - f_{\sigma}(t) \quad (2.4)$$

여기서  $f_{\text{uniform}}(t)$ 는 전달량  $t$ 에 대한 지역적인 히스토그램의 균등화 정도를 비용함수로 정의한 것이며, 이를 풀면 식 (2.5)와 같다.

$$f_{\text{uniform}}(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{L-1} \left( \frac{1}{L} - \frac{h_i(t)}{N} \right)^2} \quad (2.5)$$



(a) (b)

그림 2.4 대비 특성에 대한 히스토그램

(a) 입력 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Fig. 2.4 Histogram according to contrast characteristic each image

(a) Input fog image (b) defogging image

이 때  $N$ 은 해당영역의 크기, 즉 화소수이고  $L$ 은 최대명암도로서 보통 256이다.  $h_i(t)$ 는 전달량  $t$ 에 대해 명암도  $i$ 에 해당하는 히스토그램의 bin값이다.  $f_\sigma(t)$ 는 전달량  $t$ 에 대한 해당영역의 명암도 분포에 대한 표준편차를 비용함수로 정의한 것이며 이는 식 (2.6)과 같다.

$$f_\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (J_{i,Y} - \overline{J_Y})^2} \quad (2.6)$$

비용함수  $f_{\text{cost}}(t)$ 는 해당영역의 대비가 클수록  $f_{\text{uniform}}(t)$ 가 작아지고  $f_\sigma(t)$ 는 반대로 커지기 때문에, 작은 값에 수렴한다. 다시 말해 비용함수  $f_{\text{cost}}(t)$ 를 최소화하는 전달량  $t$ 를 찾는 것이 안개 제거 과정의 목표이다.

대비 향상 방법을 실제 안개 영상에 적용한 예가 그림 2.5와 같다. 깊이 정보가 크다고 여겨지는 건물 전체는 안개의 영향을 받았고 비교적 깊이 정보가 작은 화단의 나무들은 선명하게 보인다. 이 방법의 결과는 그림 2.5 (b)와 같다. 결과 영상의 대비는 기존 안개 영상에 비해 향상되었으나 같은 건물의 벽돌색의 채도가 일관적이지 못하다. 이와 같이 대비 향상 방법은 영상의 시각적 개선에 초점을 맞춰서 향상을 시키는 개념에 가깝기 때문에 컬러 영상에서 채널 별 대비를 향상시키는 과정에서 색이 왜곡되는 문제를 안고 있다.

## 2.3 DCP를 이용한 방법

DCP(Dark Channel Prior)는 안개가 없는 환경에서 획득한 영상의 화소들을  $r$ ,  $g$ ,  $b$ 로 나누어 분석해보면 안개 없는 영역의 화소에서 최소한 한 채널은 0에 수렴한다는 통계적 특성을 이용한다. 이러한 특성은 안개가 보통 무채색을 띠는 다소 밝은 회색이라는 사실과 관련성이 크다.

화소  $x$ 가 중심인 임의의 영역  $\Omega(x)$ 의 최소 채널값  $P_{\text{dark}}(x)$ 는 식 (2.7)과 같다.



(a) (b)

그림 2.5 대비 향상 방법을 이용한 안개 제거 영상

(a) 입력 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Fig. 2.5 An example about defogging using contrast enhancement

(a) Input fog image (b) defogging image

$$P_{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (P_c(y))) \quad (2.7)$$

여기서  $y$ 는 중심화소  $x$ 의 주변영역  $\Omega(x)$ 에 포함된 화소이고  $P_c(y)$ 는 화소  $y$ 의 해당 채널값이다.

안개 없는 영역의 최소 채널값, 즉  $P_{dark}(x)$ 는 식 (2.8)와 같이 0에 수렴한다.

$$P_{dark}(x) \simeq 0 \quad (2.8)$$

일정한 영역  $\Omega(x)$ 가 정해지고 안개가 포함된 장면  $I(x)$ 을 획득했다면 전역적 안개값  $A$ 은 0이 아닌 다른 값을 갖는다. 따라서 전달량  $t(x)$ 는 식(2.3)에 식 (2.8)을 대입하여 식(2.9)를 얻을 수 있다.

$$t(x) = 1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I_c(y)}{A_c})) \quad (2.9)$$

일반적으로 안개의 영향이 없는 영역은 안개 영역에 비해 고대비 특성을 가지기 때문에  $r, g, b$  중 최대값과 최소값의 차이가 대체로 크다. 이 점을 토대로 안개 영상의 최소 채널값과 안개값을 구한다. 이 때 사전에 지정된 크기의  $M \times M$  윈도우를 이용하며, 윈도우 내에 있는 화소들의  $r, g, b$  성분들 중 최소값을 윈도우가 있는 영역의 최소 채널값으로 정한다.

최소 채널값을 이용하여 안개값도 추정할 수 있다. 빛의 산란에 의해 안개가 많은 지역과 안개가 적은 지역의 임의의 화소들을 비교하면 대체로 안개가 많은 지역의 화소값이 높고, 저대비 특성을 지닌다. 따라서 안개 영역의 최소 채널값은 상대적으로 높다. 이러한 성질을 이용하면 한 영역의 안개값은 그 영역에서 구한 최소 채널값 중 높은 값에 근접하다는 사실을 알 수 있다. 일반적으로 안개값을 결정할 때는 해당 윈도우 영역의 최소 채널값 중 상위 1%의 밝기

를 가지는 화소값을 안개값으로 정한다. 그리고 전달량  $t(x)$ 은 식 (2.10)과 같이 별도의 가중치가 적용된 형태를 가진다.

$$t(x) = 1 - w \cdot \min_{c \in \{r, g, b\}} \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) \quad (2.10)$$

여기서 가중치  $w$ 는 0.95로 설정하는 경우가 많다고 알려져 있다.

식 (2.10)을 이용하여 안개 영상의 모든 화소 위치에서 전달량이 구해지면 전달량 맵을 얻는다. 이 때 일반적으로 정방형 윈도우를 적용하기 때문에 각진 형태를 가지기 때문에 원영상의 경계 정보를 반영하지 못한다. 이로 인해 경계 화소 주변이 정확하게 복원되지 못하고 안개도 확실히 제거되지 않아서 부영계 보이게 되는데 이러한 현상을 후광 현상이라 한다. 일반적으로 DCP를 이용하여 안개를 제거할 때 이러한 문제를 해결하기 위해 soft matting 기법을 통해 원영상의 경계 화소를 일치시키는 과정을 거친다.

DCP를 이용한 안개 제거의 예는 그림 2.6과 같다. 화단에 있는 식물들의 색이 잘 보존되었고 안개의 영향을 받은 건물 영역도 처리가 잘 되었다. 반면 전체적으로 대비가 다소 떨어져서 덜 선명해 보이는 것을 확인할 수 있다.

대비 향상 방법과 DCP를 이용한 방법으로 얻은 결과를 비교하기 위해 그림 2.7에 두 결과 영상을 보였다. 전체적인 대비는 대비 향상 방법의 결과가 조금 더 좋아보인다. 반면 DCP를 이용하여 얻은 결과는 대비 향상으로 얻은 영상보다 색이 자연스럽지만 전체적으로 대비가 다소 떨어져서 덜 선명해 보이는 것을 확인할 수 있다.



(a) (b)  
그림 2.6. DCP를 이용한 안개 제거 영상  
(a) 입력 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Fig. 2.6. An example about defogging using DCP  
(a) Input fog image (b) defogging image



(a)

(b)

그림 2.7. 대비 향상 방법과 DCP를 이용한 방법의 결과

(a) 대비 향상 방법 (b) DCP

Fig. 2.7. Result images about contrast enhancement method and DCP

(a) contrast enhancement (b) DCP

## 제 3 장 제안한 안개 제거 방법

제안하는 안개 제거 방법은 DCP를 이용하여 추정된 안개값과 전달량을 기반으로 색상 왜곡을 최소화하기 위해 색상 가중치가 포함된 DCP와 히스토그램 균등화 정도를 정량화한 비용 함수를 설계하여 전달량을 얻고, 채도 보정 가중치를 곱해줌으로써 무채색 영역에서의 채도 왜곡을 방지한다. DCP를 이용해 안개값을 추정할 때 나타나기 쉬운 후광 효과를 제거하기 위해 양방향 필터를 이용하여 영상의 경계 정보를 충분히 반영한 전달량 맵을 얻고자 한다.

제안한 방법의 순서도는 그림 3.1과 같다. 안개 영상 획득 후  $M \times M$  크기의 윈도우를 정의하여 DCP에 따른 안개값과 기준 전달량을 추정한다. 이를 토대로 처리 전후 채도비를 계산하여 채도 가중치를 구하고 안개 영상에 적용한다. 그 다음 DCP 비용항과 히스토그램 균등화에 대한 비용항을 각각 계산하고, 동시에 색상 가중치를 계산하여 비용함수에 적용한다. 비용 함수 최적화로 얻어진 전달량 맵은 양방향 필터를 이용하여 정제한 후 이를 기반으로 최종 안개 제거 영상을 결과로 도출한다.

### 3.1 안개값 추정

주어진 윈도우 영역의 안개값 추정을 위해 최소 채널값을 찾는다. 최소 채널값의 상위 1% 밝기에 해당하는 화소의 밝기를 그 영역의 안개값  $A$ 로 지정한다. 가장 밝은 화소 대신 상위 1%의 제한을 두는 이유는 안개 아닌 흰색 물체의 색이 안개값으로 선정되는 것을 방지하기 위함이다. 안개 영상에서 안개값을 계산하는 예는 그림 3.2와 같다. 중앙상단에 위치한  $15 \times 15$  크기의 윈도우 영역은 안개 영역이고 각 화소별  $r, g, b$  성분들 중 최소 채널값을 찾은 후 상위 1%에 해당하는 값이 162라고 하면, 이는 이 영역의 안개값이다.

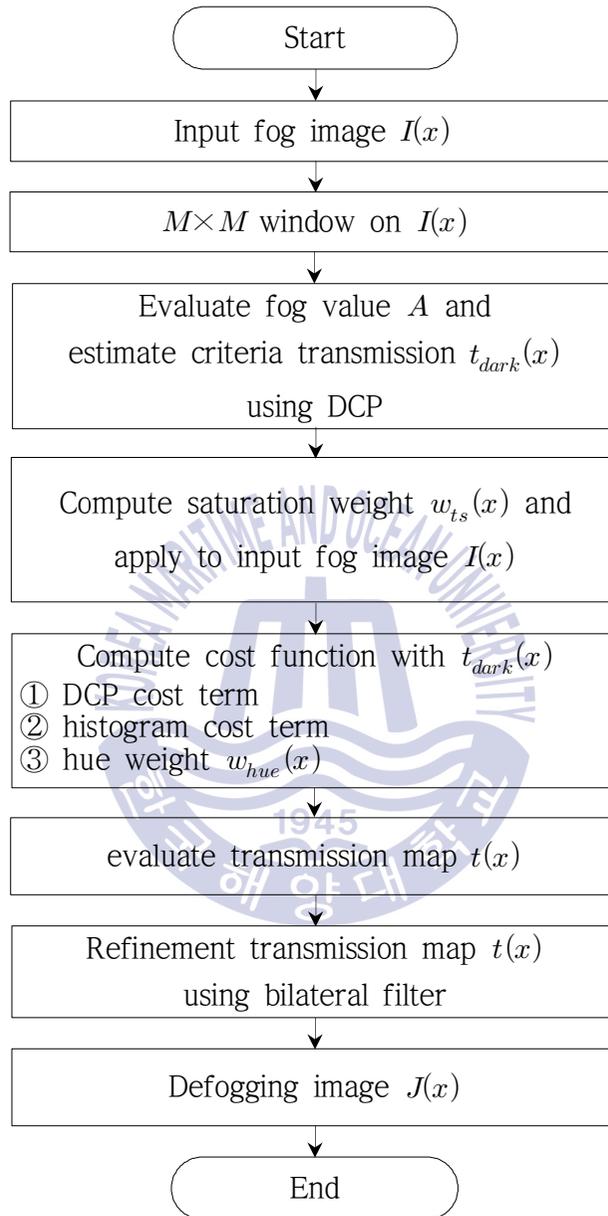


그림 3.1. 제안한 안개 제거 기법 순서도

Fig. 3.1. A flowgraph of proposed defogging method

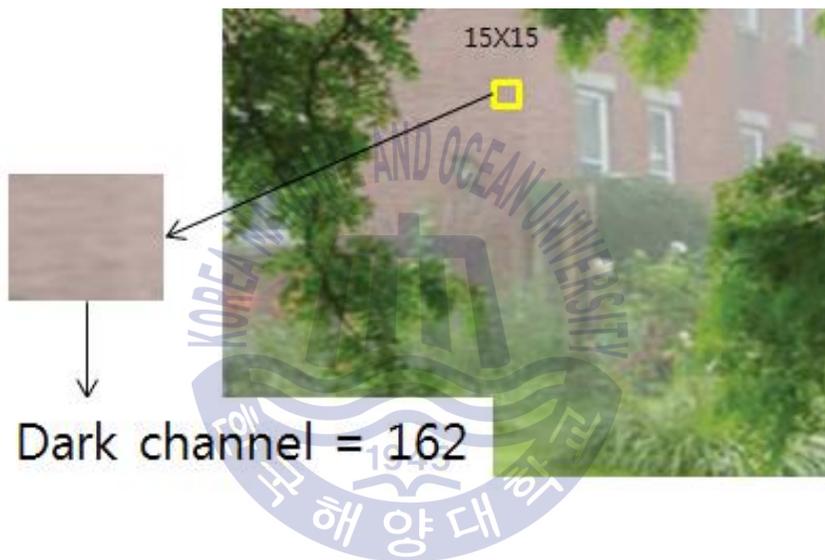


그림 3.2. DCP를 이용한 특정 영역의 안개값 추정

Fig. 3.2. Estimating Airlight value of particular region using DCP

### 3.2 채도 보정 가중치

채도 보정 가중치는 주어진 윈도우 영역의 안개값과 안개 영상과의 관계를 이용해 계산한다. 안개 영상에 DCP를 적용하는 과정에서 무채색의 물체 영역이 안개 영역으로 판단되는 경우가 있다. 해당 영역에 안개가 없더라도 물체가 무채색이라면 계산 과정에서 최소 채널값이 다소 높게 나타나기 때문이다. 이러한 현상은 무채색 물체 영역에 비슷한 밝기의 안개가 분포되어 있는 경우에도 발생한다. 이와 같은 경우에 적은 전달량으로 인해 안개 제거 과정에서 무채색 물체에 색상이 입혀져 있는 등의 문제가 발생한다.

이러한 특성은 그림 3.3을 통해 확인할 수 있다. 해당 영역의 안개값이 100이라고 했을 때, 전달량이 0.5이상 범위, 즉 전달량이 클 때는 화소값의 변화에 상관없이 채도비가 1에 수렴한다. 이는 안개 제거 전후 채도의 왜곡이 없다는 의미이다. 반면 안개값과 화소값의 차이가 적어질수록 낮은 전달량에서 채도비가 기하급수적으로 늘어나는 것을 볼 수 있다. 이는 그만큼 채도가 왜곡될 여지가 크다는 의미이다. 특히 안개값보다 화소값이 작을 때 채도비가 더 커지는데 이 경우에는 실제로 안개 영상에서는 안개색만 나타나는, 즉 원래 물체색이 온전히 전달되지 못하는 경우를 말한다. 따라서 이를 보정해 줄 가중치가 필요하다. 제안한 방법은 채도 보정 가중치를 안개 제거 전 영상에 적용한다.

안개 영상  $I_f$ 와 안개 제거 영상  $I_d$ 의 채도는 HSI 색공간의 채도 변환식에 의해 각각 식 (3.1)과 식 (3.2)와 같다.

$$Sat_f = 1 - \frac{\min(r_f, g_f, b_f)}{I_f} \quad (3.1)$$

$$Sat_d = 1 - \frac{\min(r_d, g_d, b_d)}{I_d} \quad (3.2)$$

채도비  $R_{sat}$ 는 식 (3.3)과 같다.

$$R_{sat} = \frac{Sat_f}{Sat_d} \quad (3.3)$$

DCP처리 전후 영상의 최소 채널값, 즉 처리여부와 관계없이 최소값을 가지는 채널과 그 값이 같다는 성질을 이용하면 식 (3.3)은 식 (3.4)와 같이 안개 영상과 안개값에 관한 식으로 표현된다.

$$R_{sat} = \frac{Sat_f}{Sat_d} = \frac{I_f(x)}{I_f(x) - \{1 - t(x)\}A} \quad (3.4)$$

화소값과 안개값의 차이가 적을 때 전달량을 낮게 보정해주는 가중치  $w_{ts}(x)$ 는 식 (3.5)와 같다.

$$w_{ts}(x) = \exp\left(\frac{-(I_f(x) - A)^2}{2\sigma^2}\right) + 1 \quad \text{if } (I_f(x) - A) < T \quad (3.5)$$

제안한 채도 보정 가중치의 효과는 그림 3.4를 통해 확인할 수 있다. 그림 3.4의 (a)와 같이 안개 영역에 무채색 건물이 겹쳐져 있을 경우, 기존의 DCP를 적용할 경우 안개와 무채색 건물색의 차이가 적기 때문에 그림 3.4의 (b)와 같이 건물의 색이 왜곡되어 나타난다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안한 방법은 식 (3.5)의 조건에 맞는, 즉 안개값과 물체의 색이 유사한 화소에 대해 채도 가중치를 적용하여 처리함으로써 그림 3.4의 (c)처럼 색이 왜곡이 적은 안개 제거 영상을 얻을 수 있다.

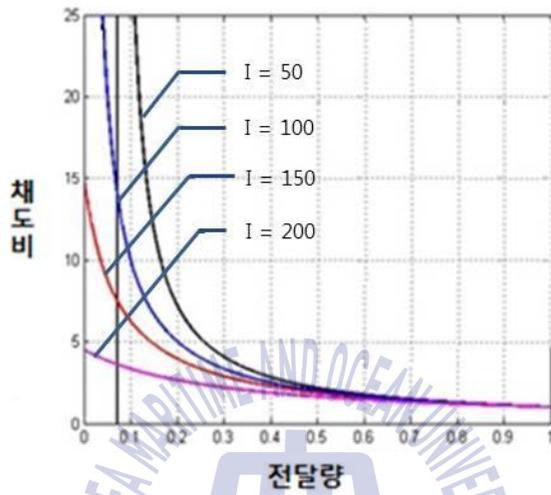


그림 3.3. 전달량에 따른 채도비 그래프(A=100)

Fig. 3.3. A graph about saturation ratio according to transmission value



(a)



(b)



(c)

그림 3.4. 채도 가중치에 따른 안개 제거 결과

(a) 안개 영상 (b) 안개 제거 영상 (c) 가중치가 적용된 안개 제거 영상

Fig. 3.4. A comparison about different defogging image according to saturation weight

(a) fog image (b) defogging image (c) defogging image using saturation weight

### 3.3 안개 제거를 위한 비용함수

#### 3.3.1 DCP 비용함수 항

주어진 윈도우 영역의 DCP 비용함수 항  $S_{DCP}(t)$ 는 식 (3.6)과 같다.

$$S_{DCP}(t) = \frac{1}{3M^2} \left\| \sum_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \sum_{x=1}^{M^2} \{J_{dark}(x) - J(t(x))\} \right] \right\| \quad (3.6)$$

여기서  $J_{dark}(x)$ 는 크기  $M \times M$  윈도우에서 DCP를 이용해 얻은 기준 전달량에 의한 안개 제거 영상이고  $J(t(x))$ 는 최적화 과정에서 얻는 특정 전달량  $t(x)$ 에 대한 안개 제거 결과이다. 이는 현재 추정된 전달량에 의해 얻어진 안개 제거 결과와 순수 DCP로 얻어진 안개 제거 결과와의 절대차합(SAD)로 나타난다.

#### 3.3.2 히스토그램 균등화 비용함수 항

히스토그램 균등화 비용함수 항  $S_{HE}(t)$ 는 식 (3.7)와 같다.

$$S_{HE}(t) = \left\| \frac{1}{(M \times M)} \sum_{i=0}^{L-1} \left( \frac{1}{L} - \frac{h_i(t)}{(M \times M)} \right) \right\| \quad (3.7)$$

이 때  $M \times M$ 은 해당영역의 크기, 즉 화소수이고  $L$ 은 최대명암도로서 보통 256이다.  $h_i(t)$ 는 전달량  $t$ 에 대해 명암도  $i$ 에 해당하는 히스토그램의 bin값이다. 히스토그램 균등화 항도 DCP 항과 같이 절대차합으로 나타난다.

#### 3.3.3 색상 가중치

제안한 방법의 비용함수의 주요 항은 앞서 설명한 DCP 비용함수 항과 히스토그램 균등화 비용함수 항이다. 여기에 안개 제거 과정에서 색상이 왜곡되는

것을 방지하기 위해 먼저 전달량에 대한 색상 함수를 식 (3.8)과 같이 계산한다.

$$F_{hue}(t) = \left\| \frac{1}{(M \times M)} \sum_{x=1}^{M \times M} g_{hue}(H(J_{dark}) - H(J(t(x)))) \right\| \quad (3.8)$$

이 때  $M \times M$ 은 해당영역의 크기, 색상 함수  $H(J_{dark})$ 는 DCP로 얻은 안개 제거 영상의 특정 화소에 대한 색상값이고  $H(J(t(x)))$ 는 특정 전달량  $t(x)$ 에 대한 안개 제거 영상의 특정 화소에 대한 색상값을 나타낸다.  $g_{hue}$ 는 HSI에서 hue가  $360^\circ$  주기로 반복되기 때문에 식 (3.9)과 같이 나타낸다[15].

$$g_{hue}(x) = \begin{cases} x, & x < 180^\circ \\ 360^\circ - x, & o.w. \end{cases} \quad (3.9)$$

마지막으로 색상 함수  $F_{hue}(t)$ 를 이용하여 색상 가중치  $\omega_{hue}$ 를 식 (3.10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_{hue} = \exp\left(-\frac{F_{hue}(t)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.10)$$

순수 DCP로 얻은 안개 제거 영상과 특정 전달량에 의한 색상차가 커질수록  $F_{hue}(t)$ 가 커진다. 이 때 색상 가중치  $\omega_{hue}$ 의 값은 반대로 작아지므로 처리 과정에서 색상 왜곡이 발생했을 때 비용함수에 반영해주는 용도로 사용할 수 있다. 한편 색상 왜곡은 DCP보다 대비 향상 방법에서 많이 발생하므로 색상차가 클 경우 두 비용함수 항이 각각 독립적으로 서로 다른 전달량을 계산했다면 히스토그램 균등화 비용함수 항의 비용을 높여줌으로써 DCP로 얻은 전달량이 우수하도록 하는 역할을 맡을 수 있다. 따라서 최종적으로 계산하는 총비용함수

$S_{total}(t)$ 은 식 (3.11)과 같이 나타낼 수 있다.

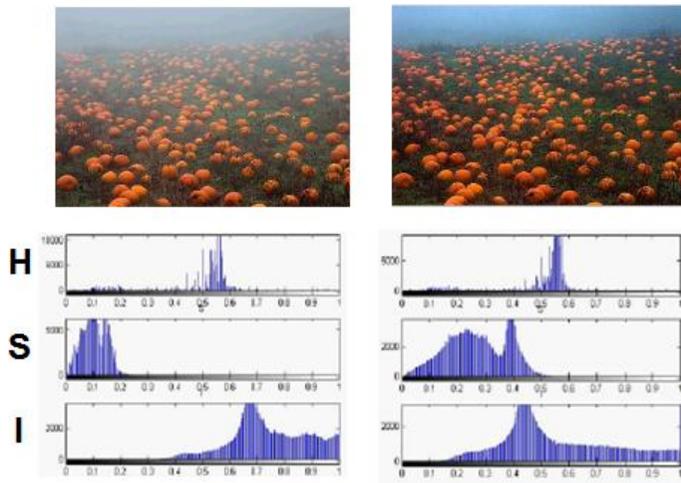
$$S_{total}(t) = \omega_{hue} S_{HE}(t) + (1 - \omega_{hue}) S_{DCP}(t) \quad (3.11)$$

색상 가중치 적용에 대한 근거는 그림 3.5를 통해 확인할 수 있다. 그림 3.5의 (a)의 좌우상단 영상은 각각 안개 제거 전후 영상이고 바로 아래 그래프는 각 영상들을 HSI 차원 분포로 표시한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 안개 제거 전후 S와 I차원의 분포는 눈에 띄게 변한데 비해 H차원의 분포는 거의 변하지 않았다. 이러한 현상은 그림 3.5의 (b)에서도 볼 수 있다. 두 영상은 모두 DCP로 처리하였다. 이는 본 논문에서 제안하는 기준 전달량을 DCP를 이용하여 얻은 후 색상 가중치를 계산하는 방법이 타당함을 증명해준다.

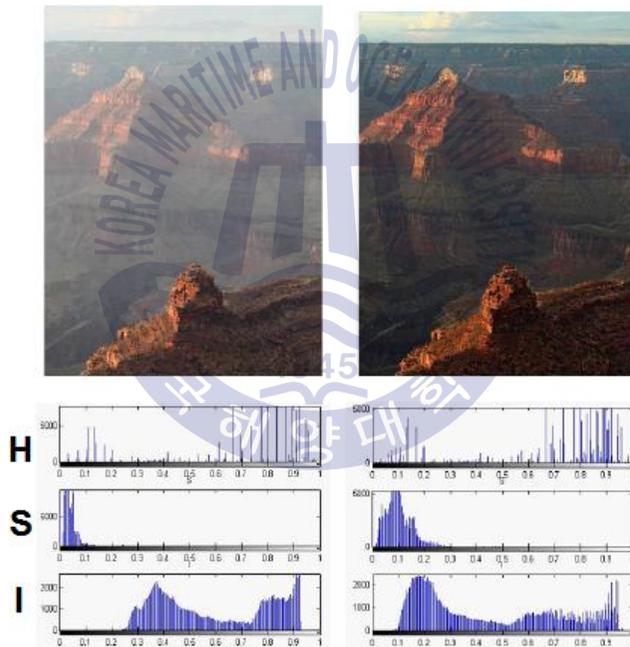
### 3.4 전달량 정제

제안한 방법은 정방형의 윈도우 상에서 동일한 안개값과 전달량을 추정하기 때문에 본래 영상의 경계와 전달량 맵이 일치하지 않는 등 전달량 맵이 조밀하지 못하다. 전달량 정제과정이 없이는 안개 제거 영상의 블록화와 후광 효과가 발생하기 때문에 정확한 안개 제거를 위해서는 정제과정이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 전달량 맵에 양방향 필터를 적용하여 전달량을 정제하였다[16].

양방향 필터를 이용하여 정제한 전달량 맵을 그림 3.6에 보였다. 그림 3.6의 (a)와 같은 안개 영상에  $15 \times 15$  크기의 윈도우를 이용하여 안개값과 전달량을 구한 영상은 그림 3.6의 (b)와 같다. 윈도우의 영향으로 블록화된 것을 알 수 있다. 이 전달량 맵에 양방향 필터를 적용하여 얻은 정제된 전달량 맵은 그림 3.6의 (c)와 같다. 양방향 필터는 전달량 정보와 안개 영상의 기울기 정보를 참조하여 처리하므로 그림과 같이 경계선 영역이 조밀하게 표현된다.



(a)



(b)

그림 3.5. 안개 영상과 안개 제거 영상에 대한 HSI 성분별 히스토그램

(a) 영상 1 (b) 영상 2

Fig. 3.5. Histograms about HSI components of fog images and defog images

(a) image set 1 (b) image set 2



(a)



(b)

(c)

그림 3.6. 안개 영상과 전달량 맵

(a) 안개 영상

(b) 정제 전 전달량 맵 (c) 정제 후 전달량 맵

Fig. 3.6. A fog image and transmission maps

(a) fog image (b) transmission map before refinement

(c) transmission map after refinement

## 제 4 장 실험 및 고찰

제안한 방법의 성능을 확인하기 위해 여러 장의 안개 영상에 대해 실험하였다. 비교 대상이 되는 방법은 지역적 대비 향상 기법과 DCP 기법이다. 평가 방법은 현재까지 안개 제거 성능을 객관적으로 평가할 수 있는 공인된 정량적인 척도가 없기 때문에 다른 연구에서 수행한대로 정성적인 분석을 시도하였다. 실험에 적용된 각종 파라미터들은 표 4.1과 같다.

표 4.1 제안한 방법의 실험 조건

Table 4.1: Experiment conditions about proposed method

item	value
원도우 크기	13×13
$\sigma$ of $\omega_{ts}(x)$	9
양방향 필터 크기	20×20
양방향 필터 $\sigma_s, \sigma_r$	15, 100
양방향 필터 $K_s$	2.5

제안한 방법과 He의 DCP방법, Kim의 방법으로 얻은 안개 제거 영상을 그림 4.1에 나타내었다. 이 영상은 전체적으로 깊이가 크고, 영상 상단으로 갈수록 안개가 짙어진다. 기존 DCP와 제안한 방법의 결과를 비교해보면 영상 상단, 특히 좌측 상단의 건물 주변의 안개 제거 여부에서 차이가 발생했다. 제안한 방법은 채도 보정 가중치를 적용했기 때문에 기존 DCP가 제거하지 못하는 전달량이 적은 영역의 안개를 잘 제거할 수 있었고 히스토그램 균등화 항을 적용하기 때문에 기존 DCP보다 대비도 향상되는 결과를 보였다. 대비 향상 기법과 비교했을 때도 색상 왜곡이 적음을 확인할 수 있었다.

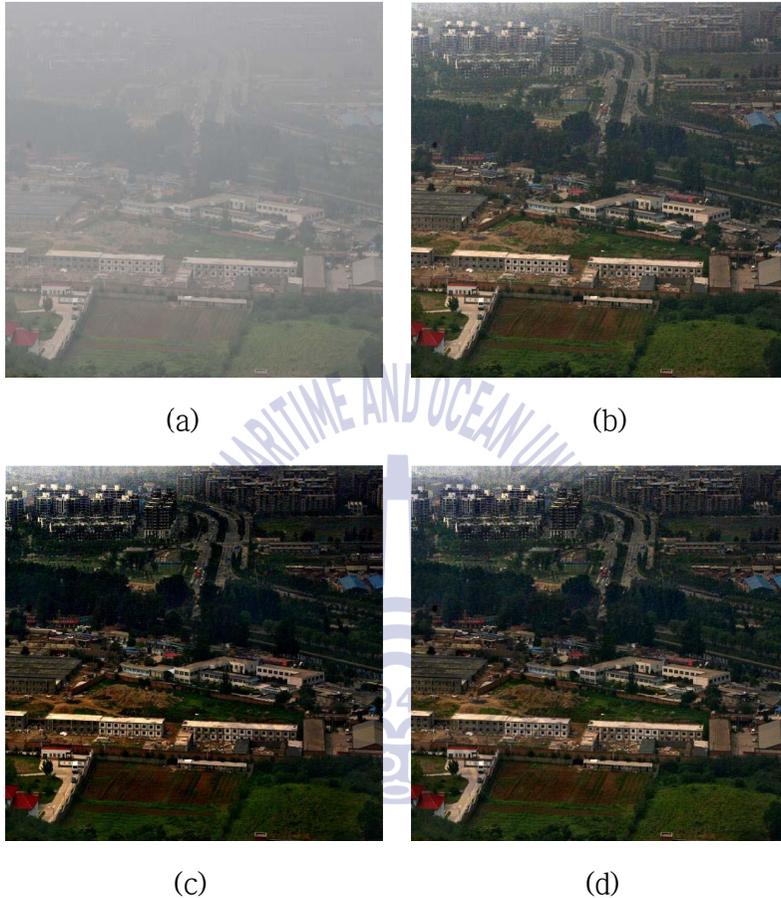


그림 4.1. 안개 영상과 실험 결과 영상

(a) 안개 영상 (b) DCP (c) 대비향상 (d) 제안한 방법

Fig. 4.1. Fog image and Result images

(a) fog image (b) DCP (c) contrast enhancement (d) proposed method

두 번째 실험 영상은 그림 4.2와 같다. 첫 번째 영상과 특징이 유사하나 영상 상단의 깊이가 급격히 증가하기 때문에 이에 따른 전달량이 급감한다. 제안한 방법을 제외한 두 방법은 영상 상단에서 얻어진 적은 전달량으로 인해 과포화 되는 경향이 있다. 특히 그림 4.2의 (b)의 중앙 영역에서 약한 후광현상이 보인다. 그림 4.2의 (c)에서는 후광현상이 보이지 않으나 밭의 색상이 과하게 짙어서 조밀함이 떨어졌다. 그림 4.2의 (d) 영상에서 상단의 과포화가 방지된 것은 제안한 방법의 채도 보정 가중치로 인한 것이라 판단된다.

세 번째 실험 영상은 그림 4.3과 같다. 영상 중앙으로 갈수록 깊이가 깊어지고 전달량이 감소하는 것으로 보인다. 그림 4.3의 (b)에서 보이듯이, DCP 처리 결과 무채색 영역에서 채도의 왜곡이 심하고, 나뭇가지 경계선 부근에서 후광 현상이 뚜렷이 나타난다. 대비 향상 기법으로 처리했을 때 왜곡이 비교적 적음을 그림 4.3의 (c)을 통해 알 수 있으나 전체적으로 푸른빛이 보이고 이전 실험에서도 보였듯이 전반적으로 어둡다. 제안한 방법으로 처리한 영상은 그림 4.3의 (d)에 보였다. 좌측 보도의 무채색 특성이 보전되었고, DCP보다 나뭇가지의 표현이 자연스럽다. 그리고 원영상과 비교했을 때, 다른 방법에 비해 원영상에서 전달된 색상정보를 대부분 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

네 번째 실험 영상은 그림 4.4와 같다. 화면 상단의 노을 부분이 해무로 추정되는 탁한 매질과 겹쳐있다. DCP의 처리 결과는 그림 4.4의 (b)와 같다. 노을 부근에서 후광현상이 발생하였고 전체적으로 명확성이 떨어진다. 대비확장기법은 노을의 색을 진하게 복원하면서 주변 건물 색에 영향을 많이 줬다 제안한 방법의 결과가 그림 4.4의 (d)이다. 노을 부근의 안개를 확실히 걷어내지 못했으나 기존의 방법에 비해 비교적 자연스럽게 처리하였고 노을색이 건물로 번지지도 않았다. 그리고 DCP에서 보였던 후광현상이 크게 개선되었음을 확인할 수 있다.

실험을 통해 제안한 방법은 DCP와 대비향상 기법의 장점을 선택적으로 잘 반영하여 안개를 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

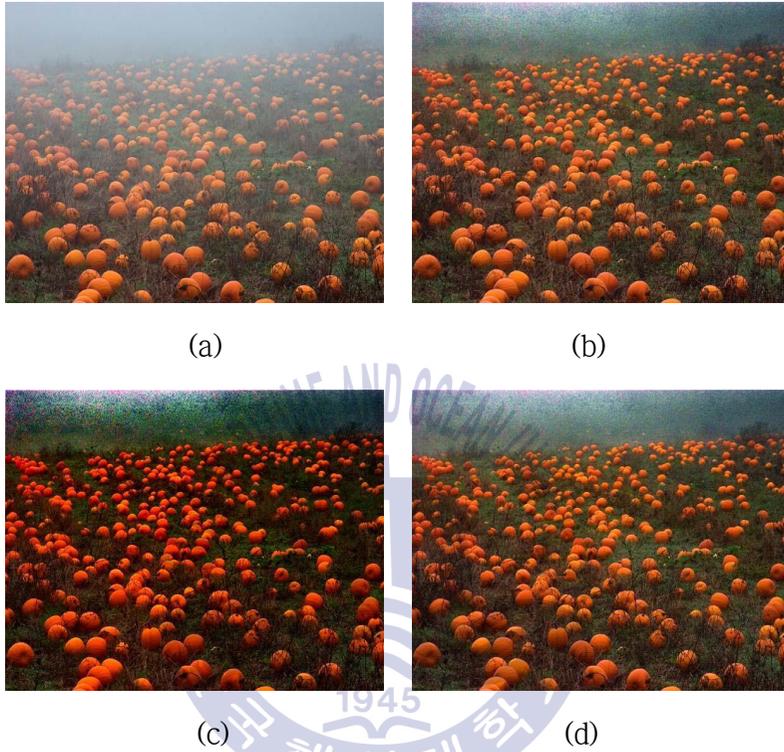


그림 4.2. 안개 영상과 실험 결과 영상

(a) 안개 영상 (b) DCP (c) 대비향상 (d) 제안한 방법

Fig. 4.2. Fog image and Result images

(a) fog image (b) DCP (c) contrast enhancement (d) proposed method



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4.3. 안개 영상과 실험 결과 영상

(a) 안개 영상 (b) DCP (c) 대비향상 (d) 제안한 방법

Fig. 4.3. Fog image and Result images

(a) fog image (b) DCP (c) contrast enhancement (d) proposed method



(a)



(b)



(c)



(d)

**그림 4.4. 안개 영상과 실험 결과 영상**

(a) 안개 영상 (b) DCP (c) 대비향상 (d) 제안한 방법

**Fig. 4.4.** Fog image and Result images

(a) fog image (b) DCP (c) contrast enhancement (d) proposed method

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 DCP에서 발생하는 저대비 문제와 후광 현상을 방지하기 위해 안개 영상의 영역별 처리 과정에서 DCP와 히스토그램 균등화를 결합한 비용함수를 최적화시키는 방법을 제안하였다. 그리고 안개 제거 과정에서 발생하는 색상의 왜곡을 줄이기 위해 HSI 색공간에서 색상 가중치를 계산하여 DCP와 히스토그램 균등화의 비중을 조절하였다. 더불어 기존 DCP 처리 과정에서 무채색 물체와 안개색이 유사할 때 채도가 왜곡되는 것을 방지하기 위해 DCP 처리 전후 영상의 채도비를 이용하여 채도 보정 가중치를 적용하였다.

제안한 방법은 색상 가중치를 포함한 비용함수를 통해 기존 DCP에서 발생하는 저대비 문제, 색상 왜곡 및 후광 현상을 해결하였고, 대비확장기법의 결과보다 조밀함이 뛰어난 안개 제거 영상을 만들 수 있었다.

제안한 방법은 색상차를 가중치로 이용함으로써 장점이 극명한 DCP와 대비향상방법의 장점을 선택적으로 취할 수 있음을 실험을 통해 확인하였고, 기존의 DCP가 처리하지 못하는 전달량이 적은 영역의 안개를 채도 보정 가중치를 통해 개선할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 그리고 영상의 특성에 따라 DCP와 대비향상방법 중 좋은 성능을 내는 방법 이상의 성능을 보이는 것을 실험을 통해 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] E. R. Davies, *Machine Vision, Third Edition : Theory, Algorithms, Practicalities(Signal Processing and its Applications)*, Morgan Kaufmann, 2005.
- [2] K. Gibson, D. Vo, and T. Nguyen, “An investigation of dehazing effects on image and video coding,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 2, pp. 662-673, 2012.
- [3] Z. Rahman, D. Jobson, and G. Woodell, “Multi-scale retinex for color image enhancement,” *IEEE Proceeding International conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 1003-1006, 1996.
- [4] G. Yadav, S. Maheshwari, and A. Agarwal, “Contrast limited adaptive histogram equalization based enhancement for real time video system,” 2014 International Conference on Communications and Informatics Advances in Computing(ICACCI), pp. 2392-2397, 2014.
- [5] Y.Y. Schechner, S. G. Narasimhan, and S. K. Nayar, “Instant dehazing of images using polarization,” in *Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1984-1991, 2001.
- [6] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar. “Chromatic framework for vision in bad weather,” in *Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer vision and Pattern Recognition*, pp. 598-605, June 2000.
- [7] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar. “Contrast restoration of weather degraded images,,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* vol. 25, no. 6, pp. 713-724, June 2003.
- [8] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, “Interactive (de)weathering of an image using physical models,” in *Workshop on Color and Photometric*

Methods in Computer Vision, 2003.

- [9] S. K. Nayar and S. G. Narasimhan, “Vision in bad weather,” in Proc. of IEEE International conference on Computer Vision, pp. 820–827, 1999.
- [10] J. Kopf, B. Neubert, B. Chen, M. Cohen, D. Cohen-Or, O. Deussen, M. Uyttendaele, and D. Lischinski, “Deep photo: Model-based photograph enhancement and viewing,” ACM Transactions on Graphics, vol. 27, no. 5, pp. 1–10, 2008.
- [11] Robby T. Tan, “Visibility in bad weather from a single image,” in Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1–8, 2008.
- [12] R. Fattal, “Single image dehazing,” ACM Transactions on Graphics, vol. 27, no. 3, pp. 1–9, 2008.
- [13] Jin-Hwan Kim, Jae-young Sim and Chang-Su Kim, “Single image dehazing based on contrast enhancement,” in Proc. of the IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing, 2011.
- [14] K. He, J. Sun, and X. Tang, “Single image haze removal using dark channel prior,” in Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1956–1963, 2009.
- [15] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Third Edition, Prentice Hall, 2007.
- [16] K. He, J. Sun, and X. Tang, “Guided image filtering,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 35, no. 6, pp. 1397–1409. 2012.