

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 44(1), 33-39(2016)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.1.33>

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 근적외선(NIR) 영상의 특성 분석 및 안개제거

유제택\*, 나성웅\*\*

## Analysis and dehazing of near-infrared images

Jae Taeg Yu\* and Sung Woong Ra\*\*

Agency for Defense Development\*, Chungnam National University\*\*

## ABSTRACT

Color image dehazing techniques have been extensively studied, and especially the dark channel prior (DCP)-based method has been widely used. Near infrared (NIR) image based applications are also widespread; however, NIR image-specific dehazing techniques have not attracted great interest. In this paper, the characteristics of NIR images are analyzed and compared with the color images' characteristics. The conventional color image dehazing method is also applied to NIR images to understand its effectiveness on different frequency-band signals. Furthermore, we modify the DCP method considering the characteristics of NIR images and show that our proposed method results in improved dehazed NIR images.

## 초 록

칼라 영상의 안개제거 기술이 다양하게 연구되어 왔으며 이 중 칼라 안개 영상의 특성을 토대로 도출한 Dark Channel Prior(DCP) 모델을 이용한 방법이 가장 활발하게 이용되고 있다. 한편 근적외선 영상을 이용한 응용이 널리 사용되고 있으며 근적외선 영상에 존재하는 안개를 제거할 필요가 있음에도 불구하고 기존에 근적외선 영상을 대상으로 하는 안개 제거 기술이 제안되지 않았다. 본 논문에서는 칼라 영상과 근적외선 영상을 안개 제거 측면에서 비교 분석을 수행하며 적외선 영상에 기존의 칼라 안개 제거 알고리즘 기법을 적용했을 때 나타나는 결과를 분석한다. 또한 근적외선 영상에서의 특징에 맞게 기존 칼라 안개 제거 기법을 수정한 기법을 제안하고 그 결과를 분석한다.

**Key Words** : Dark channel prior(DCP), Near-infrared(근적외선), Image dehazing(안개제거)

## 1. 서 론

객체추적·객체인식 등의 컴퓨터 비전 응용 프로그램은 실외에서 많이 이용된다. 하지만 실외에서 촬영한 영상은 안개, 먼지 등의 다양한 외

부 요인에 의해 실제 영상이 가지고 있는 밝기나 색상 정보 등이 왜곡될 수 있다. 예를 들어, 원격 감시 시스템이나 차량에 탑재된 카메라에서 취득된 영상이 안개로 인하여 가시성 및 화질이 크게 저하되는 현상이 빈번하게 발생한다. 따라서 안

† Received : August 10, 2015      Revised : December 21, 2015      Accepted : December 30, 2015

\* Corresponding author, E-mail : [Uncle0421@hanmail.net](mailto:Uncle0421@hanmail.net)

개 영상으로부터 안개를 제거하는 기술은 컴퓨터 비전에서 매우 중요한 문제로 지속적으로 연구되어 왔다[1-4]. 기존 안개 제거 연구는 크게 화질 개선에 기반한 기술[1]과 안개 모델에 기반한 영상 복원 기술[2-4]로 나눌 수 있다. 안개를 제거하기 위해서는 안개가 어느 정도의 세기로 영상 내부에 분포되어 있는지 알아야하며 이를 용이하게 구하기 위한 여러 개의 카메라를 이용한 기술도 제안되었다[5]. 하지만 여러 카메라를 이용하는 기술은 적용에 한계가 있기에 한 개의 안개 영상만을 이용하는 안개 제거 기술이 더 활발하게 연구되고 있다[1-4].

기존 안개 제거 기술은 대부분의 컴퓨터 비전 이용에 사용하는 칼라 영상을 대상으로 개발되었다. 대부분의 알고리즘은 색상 정보를 바탕으로 하여 안개의 짙은 정도 (haze density)를 예측한다. 대표적으로 He등[3]이 제안한 dark channel prior (DCP) 알고리즘은 깨끗한 영상에서 일정 영역의 RGB 신호의 최소값이 0에 가까운 값을 가진다는 특성을 이용한다. 마찬가지로 RGB 신호의 히스토그램을 이용하여 영상의 화질을 개선한 방법도 있다[5]. 한편, 근적외선 영상을 이용한 안개 제거 기술 연구도 진행되고 있다[6-7]. Feng은 칼라영상에서 안개제거를 효과적으로 하기 위해 근적외선 영상을 이용하였다[6]. 근적외선 영상에는 안개가 존재하지 않는다는 가정 하에 근적외선 영상의 정보를 칼라 영상에 활용하는 방식으로 칼라 영상의 안개를 제거하였다.

본 논문에서는 근적외선 영상에서의 특징을 칼라 영상의 특징과 비교 분석하며 기존에 칼라 영상을 위하여 개발된 안개 제거 기술이 근적외선 영상에도 잘 동작하는지 여부를 확인한다. 또한 근적외선 영상에 맞게 기존 기법을 수정한 경우에 대한 결과를 분석한다.

## II. 본 론

### 2.1 근적외선 영상의 특성

#### 2.1.1 근적외선 영상

사람의 눈으로 느낄 수 있는 파장대역은 주로 380nm에서 700nm이다. 근적외선은 일반적으로 700-1100nm 대역의 가시광보다 조금 큰 파장대역을 일컫는다. 일반적인 디지털 카메라의 이미지 센서는 1100nm까지 감광 특성을 가지고 있기 때문에 근적외선 영역까지 촬영이 가능하다. 그러나 일반적으로 근적외선 대역이 섞이게 되면 칼라 영상의 화질의 화질이 저하될 수 있으므로

CCD 또는 CMOS를 사용하는 디지털 카메라에서 전면 hot mirror라고 불리는 IR Cut-Off filter를 장착한다. 이는 가시광선 영역만 통과시키고 근적외선 영역은 차단하기 위한 것이다. 그렇기 때문에 디지털 카메라를 이용하여 근적외선 영상을 얻기 위하여 본 연구에서는 센서 전면 부착된 hot mirror를 제거하고 가시광선 영역을 막아주는 필터를 장착하였다[8].

#### 2.1.2 디지털 카메라를 활용한 근적외선 영상

Figure 1과 같이 두 대의 동일한 카메라를 이용하여 칼라영상과 근적외선영상을 획득하였다. 좌측의 카메라는 IR cut-off filter를 분리하고 Fig. 1(b)의 필터를 장착하였다. 이 필터는 가시광선 영역은 차단하고 해당 파장대역부터 빛을 통과시켜 주는 역할을 하는 적외선 필터이다. 해당 카메라로 영상을 촬영한 결과는 Fig. 2를 통해 확인할 수 있다. Fig. 2(a)는 칼라영상, Fig. 2(b)는 950nm 필터를 사용하여 얻은 근적외선 결과이다.

촬영에 사용된 950nm의 근적외선 필터는 가시광선보다 긴 파장대역을 받아들이기 때문에 빛의 산란에 적게 영향을 받는다. Fig. 2를 보면, 칼라 영상에서는 잘 보이지 않던 구름들이 근적외선 영상에서는 보이며 나무들의 경우 밝게 보인다. 근적외선 영상에서는 하늘영역에서 뚜렷한 대조를 이루며 식물의 경우 가시광선과 근적외선에서 초목 반사정도가 다르기에 두 영상에서 큰 차이를 보이게 된다.



Fig. 1. (a) The Camera for NIR and RGB image (b) NIR filter(720nm, 850nm, 950nm)



Fig. 2. RGB and NIR image to use camera (a) RGB image (b) NIR image

### 2.1.3 파장 스펙트럼에 따른 근적외선 영상

적외선은 전자기파중의 하나로 파장의 길이에 따라 근적외선, 중간적외선 원적외선으로 나뉜다. 일반적으로 근적외선은 700nm에서 1500nm사이의 파장대역을 가진다. Fig. 3은 각각 파장이 720nm, 850nm, 950nm 일 때의 근적외선 영상을 나타낸다. Fig. 3의 (a)의 칼라영상에서 볼 수 있듯이 영상 내에 안개가 존재한다. 하지만 (b)-(d)를 보면 칼라영상에서는 보이지 않았던 부분이 비교적 잘 보이는 것을 알 수 있다. 이처럼 근적외선 영상은 특정 파장 이상을 받아들이기 때문에 안개 등을 통과시켜 칼라 영상에 비해 좋은 영상을 얻을 수 있다고 알려져 있다. 가시광선보다 긴 파장대역을 받아들여 빛의 산란이 적기 때문에 안개 같은 입자에서 더 잘 보이는 효과를 가진다[9]. 이와 같은 근적외선의 특징을 이용하여 안개제거를 한 연구가 있다[7]. 이는 안개가 있는 환경에서도 근적외선 영상은 깨끗한 정보만 가지고 있다는 전제를 둔다. 하지만 짙은 안개의 경우 근적외선에서도 정확한 정보를 얻을 수 없다. 다음 Fig. 3의 좌측 영상을 보면 (a)에서 안개가 조금 존재할 경우 근적외선 영상에서는 깨끗한 영상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 하지만 우측 영상의 경우 안개가 비교적 짙을 때 근적외선 영상에도 안개가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 파장 대에 따른 영상을 보면, 높은 파장대 일수록 조금 더 안개가 적게 존재한다는 사실을 확인할 수 있다.

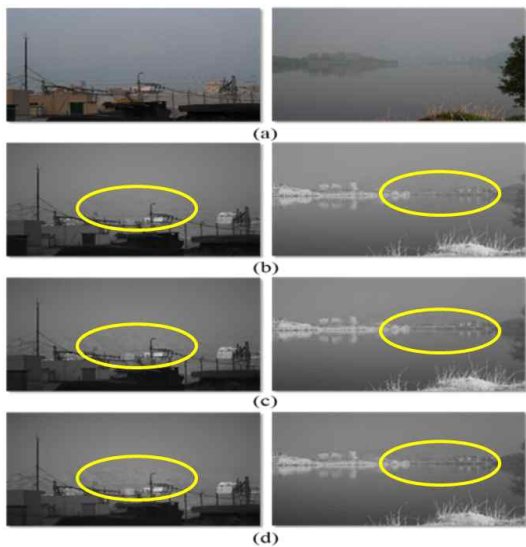


Fig. 3. NIR image for wavelength. (a) RGB image (b)720nm (c)850nm (d)950nm

## 2.2 칼라 영상에 기반한 기존의 안개 제거 연구

### 2.2.1 안개 영상 물리모델

Koschmieder[4] 에 따르면 안개에 따른 영상의 열화 모델은 식 1로 표현된다.

$$x) = J(x)\exp(-\beta d(x)) + A(1 - \exp(-\beta d(x))). \quad (1)$$

식 1에서  $J(x)$ 는 안개가 없는 원 영상 (haze-free image),  $A$ 는 대기광 (atmospheric light),  $\beta$ 는 안개 상수,  $d(x)$ 는 깊이 영상 (depth image)을 나타낸다. 즉 영상에서 깊이 값이 큰 영역일수록 안개의 영향력이 커지므로  $J(x)$  값이  $A$ 와 유사한 값을 갖게 되고, 반대의 경우  $J(x)$  값이  $J(x)$ 와 유사한 값을 갖게 된다.  $t(x) = \exp(-\beta d(x))$ 로 정의할 경우, 안개를 제거한 영상  $J(x)$ 은 식 2와 같이 얻을 수 있다.

$$x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A. \quad (2)$$

즉, 안개를 포함한 입력영상  $I(x)$ 로부터 예측한  $t(x)$  와  $A$ 를 통하여 안개를 제거한 영상  $J(x)$ 를 복원할 수 있다[3].

### 2.2.2 Dark Channel Prior(DCP)를 이용한 안개 제거 기법

앞 절에서 설명한 안개 물리모델을 기반으로 안개를 제거하는 다양한 기술들이 있다. 그중에서 DCP를 이용하는 알고리즘이 대표적이다[3]. 식 1에서 RGB 세 개의 채널의 블록에 대하여 최소값 연산을 취하면 식 3과 같은 결과를 얻게 된다.

$$\begin{aligned} \min_{\Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) \\ = t(x) \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) + (1 - \tilde{t}(x)). \end{aligned} \quad (3)$$

이 때,  $(x)$ 는  $x$ 를 중심으로 하는 블록 내의 픽셀들을 나타낸다. DCP 기법은 안개를 포함하지 않은 영상들로부터 얻은 통계적인 특성을 활용한다. 여러 영상들로부터, 안개가 없는 칼라영상에서 블록 내부의 RGB 값 중 적어도 하나 이상은 0에 가까운 값을 가진다. He 는 대략 5,000개의 dark channel을 관찰하여 Fig. 4와 같이 dark channel은 0에 가까운 값을 가진다는 사실을 활용하였다.

또한  $\tilde{t}(x)$ 는 블록 내부의 전달량 값을 상수로 근사화한 결과를 나타내었다. 식 3에서

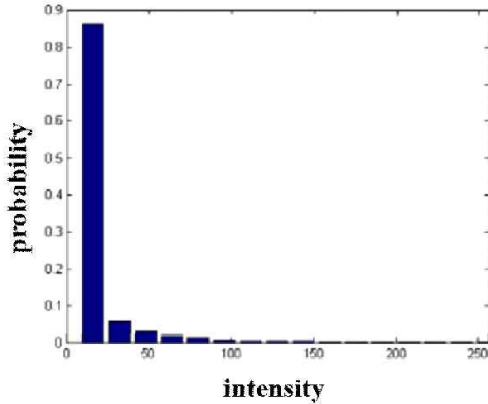


Fig. 4. Probability distribution of dark channel in RGB image[3]

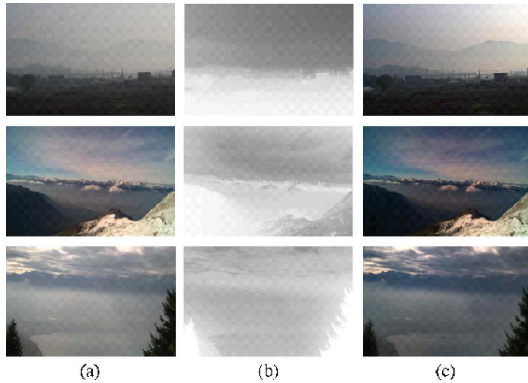


Fig. 5. Result image with DCP method[3] (a)RGB ihaze mage (b)Transmission map with DCP[3] method, result with guided filter[11] (c)dehazing for image(a)

$\min_{\Omega(x)} \min_c \frac{J^c(y)}{A^c} \approx 0$  이라 하면  $t(x)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left( \min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (4)$$

A는 dark channel ( $= \min_{y \in \Omega(x)} \left( \min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right)$ )가 최소가 되는 위치의 밝기 값을 이용하여 예측한다. 예측된  $\tilde{t}(x)$ 와 A를 이용하여 식 2와 같이 안개 제거 영상  $J(x)$ 을 복원할 수 있다.

이때  $\tilde{t}(x)$ 가 블록 내부 화소의 최소값을 이용하여 생성되었기 때문에,  $\tilde{t}(x)$ 의 해상도(apparent resolution)가 patch의 크기에 따라

block artifact 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 식 4의 결과에 soft matting[10] 혹은 guided image filter[11] 등의 후처리를 하여 사용된다.

Figure 5는 앞서 간단히 소개한 DCP 기법을 통해 안개를 제거한 결과를 보여준다. 안개를 포함한 칼라 영상(a)으로부터 전달맵(b)을 구하여 최종적으로 안개를 제거한 영상(c)을 복원하였다.

## 2.3 근적외선 영상의 안개제거

### 2.3.1 근적외선 영상의 분석

앞 절에서 설명했듯이, He[3]는 안개를 포함하지 않은 칼라 영상의 특징을 활용하여 안개 제거 알고리즘을 제안하였다. 마찬가지로, 칼라 영상이 아닌 근적외선 영상에서 동일한 접근 방식을 시도해 볼 수 있다. 안개가 없는 깨끗한 근적외선 영상으로부터 관찰을 하기 위해 RGB-NIR Scene Data[12] 영상들을 이용하였다. 해당 database에는 country, mountain, field, urban, water 등 다양한 477 개의 scene이 있으며 그 중에서 안개를 포함하지 않는 영상 182개를 이용하여 특성 분석을 수행하였다.

RGB영상과 달리 근적외선 영상은 1개의 채널로 표현이 된다. 그러므로 블록 내에 RGB 최소값이 아닌,  $\min_{\Omega(x)} y$  을 이용하였다. 모든 영상은 최대 가로 길이는 500으로 맞추었으며,  $\Omega = 15$  로 block 연산을 수행하였다. Fig. 7로부터 칼라 영상과는 다르게 근적외선 영상의 경우 블록 내의 최소값들이 0이 아닌 0보다 약간 큰 값 근방에서 큰 빈도수를 갖는 것을 확인할 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 근적외선 영상의 경우 빛의 산란의 영향을 적게 받기 때문에 일반적



Fig. 6. Haze-free NIR image[12]



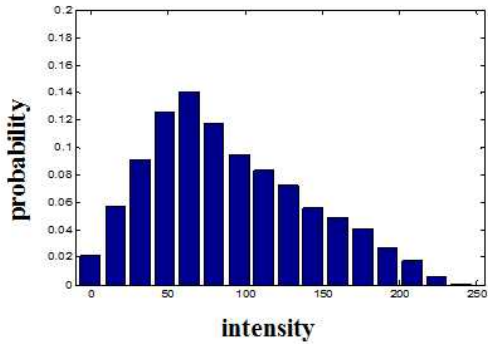


Fig. 7. Probability distribution for minimum value in NIR image local patch

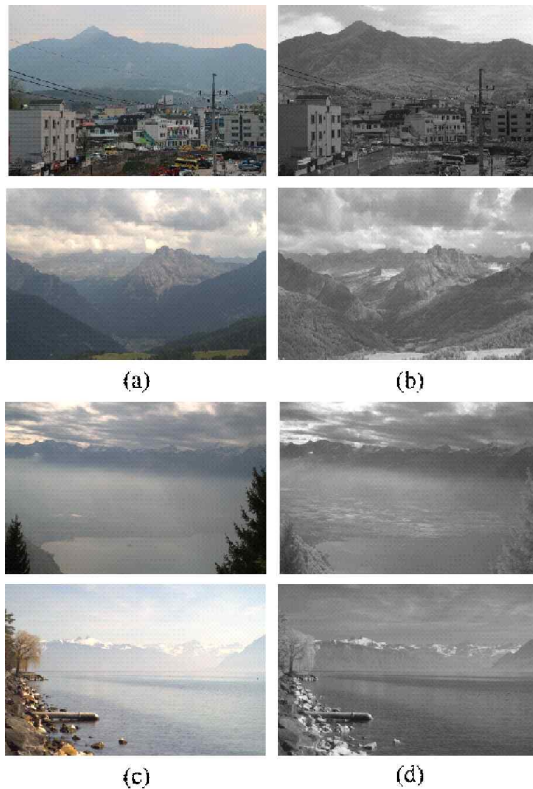


Fig. 8. RGB and NIR image with haze. (a)RGB image with low haze, (b)NIR image (c) RGB image with dark haze, (d) NIR image

인 칼라 영상보다 안개의 영향을 적게 받는다.

Figure 8(a)는 비교적 적은 안개가 낀 칼라영상이고 Fig. 8(b)는 근적외선 영상을 나타낸다. 같은 환경에서 동시에 찍힌 모습이지만, (b)가 안개의 영향을 적게 받음을 확인할 수 있다. 반면

Fig. 8(c)와 (d)는 짙은 안개 환경에서 촬영된 칼라와 근적외선 영상이다. 짙은 안개를 포함한 영상의 경우 근적외선 영상에서도 안개가 존재함을 확인할 수 있다. 이 경우 보다 깨끗한 영상을 얻기 위해 안개 제거 기술을 적용할 필요가 있다.

### 2.3.2 근적외선 영상의 안개제거

Pan[13]은 원거리에서 촬영된 칼라 영상의 안개를 제거하기 위하여 DCP 기법을 개선하는 기술을 제안하였다. 안개를 포함하지 않는 원거리 칼라 영상의 dark channel의 확률 분포의 특성을 이용하여 변형된 안개제거 모델을 도출하였다. 기존 칼라 영상에서와는 달리, 원거리 영상에서는 dark channel 값은 0을 중심으로 몰려있는 분포를 갖지 않고 특정 위치만큼 이동된 특성(위치 오차 C 값은 실험 영상을 통해 27로 결정)을 갖는다는 것을 확인하였다. 이 위치 오차를 반영하기 위하여 아래와 같은 식을 도출하였다.

$$\begin{aligned} & \min_{\Omega(x)} \min_{c \in r, g, b} {}^c(y) - Ct(x) \quad (5) \\ & = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in r, g, b} (\max(J(y) - C, 0)^c) \\ & + A_0(1 - \tilde{t}(x))) \end{aligned}$$

식 5에서  $\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c (\max(J(y) - C, 0)^c)) \approx 0$  라는 것을 이용하여 원거리 영상에 맞는 전달맵을 구하였다.

위 기술은 칼라 영상을 대상으로 개발된 기술이기는 하지만, 안개 영상이 갖는 특성이 다를 때 DCP 기법을 어떻게 보정하여 적용할 수 있는지에 대한 것을 다루고 있으므로, 적외선 영상의 안개 제거에 효과적으로 활용할 수 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 안개를 포함하지 않은 근적외선 영상에서 block 내의 최소값은 Fig. 7과 같은 분포를 보인다. 그러므로  $\min_{\Omega(x)} y$  이 상수 K(=70) 일 때 분포가 최대 값을 갖는 것을 이용하여 Pan[13]의 기술을 아래와 같이 적용할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) - K\tilde{t}(x) = \quad (6) \\ & \min_{y \in \Omega(x)} ((\max(J(y) - K, 0))) + A(1 - \tilde{t}(x)) \end{aligned}$$

안개가 없는 근적외선 영상에서 블록 내의 값은 최소 70에 가까운 값을 가질 확률이 크기 때문에,  $\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c (\max(J(y) - 70, 0)^c)) \approx 0$  라고 가정을 할 수 있다. 따라서 식 6으로 부터 다음과 같은 전달맵(transmission map)을 구할 수 있다.

Figure 9(b) 와 Fig. 9(d)는 DCP 방법으로 획득

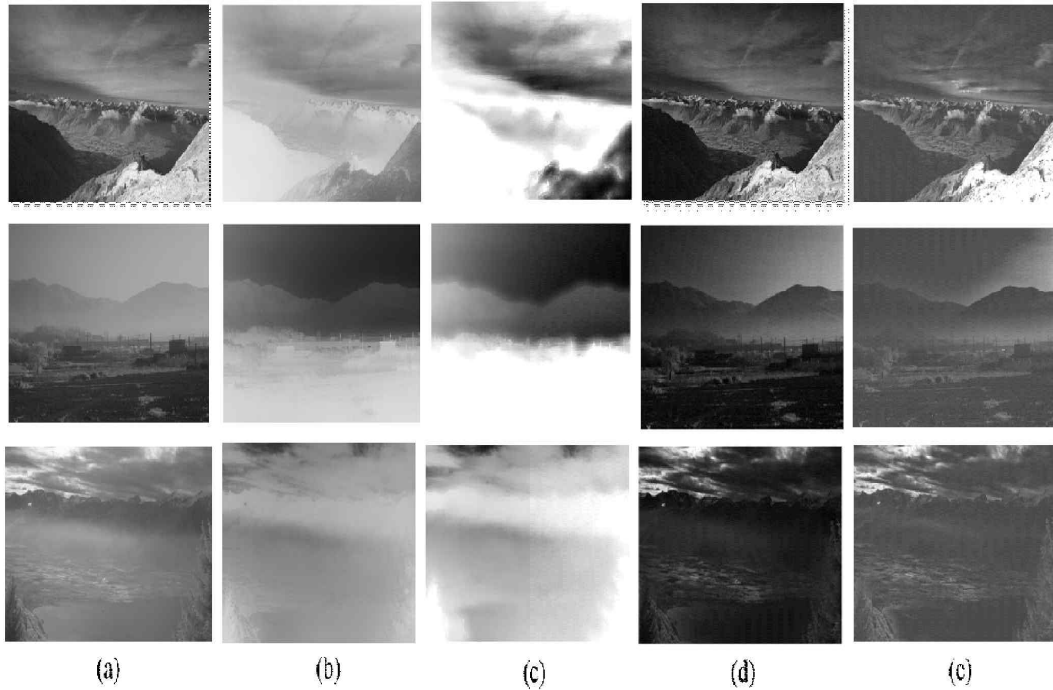


Fig. 9. Dehazing result of NIR image. (a) NIR haze image (b) Transmission map with DCP[3] method, result with guided filter[11] (c) Transmission map to use NIR attribute (d) Dehazing result with DCP method (e) Dehazing result to use NIR attribute

$$I(x) = \frac{A - \min_{\Omega(x)} I(y)}{-70} \quad (7)$$

특한 전달맵과 안개제거 영상을 나타내며 Fig. 9(c)는 식 7을 이용하여 얻은 전달맵, Fig. 9(e)는 식 2를 이용하여 복원한 영상을 나타낸다. 이 때, A는 DCP 방법을 적외선 영상에 맞게 변환하여 구하였다. 기존 칼라 영상의 특성이 반영된 식으로부터 얻은 결과보다, 근적외선 영상의 특성을 활용한 기법을 적용할 때 복원한 영상의 화질이 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 특히 두 방식의 전달맵 예측 결과를 비교해보면, 식 7을 사용하여 생성한 방식이 실제로 가까운 물체 부근에서 큰 전달 값을 갖는 것으로 정확하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. DCP 방법으로 얻은 전달맵에서는 가까운 물체에서 전달 값을 잘못 측정하여 복원영상에서 원래 영상을 지나치게 어둡게 왜곡시키는 것을 확인할 수 있다. 적외선 영상의 경우 세계적으로도 정량적인 평가에 활용할 수 있는 데이터베이스가 부족하고 적절한 성능 평가기준이 없기 때문에, 본 연구에서는 정성적인 성능 평가를 수행하였으나 적외선 영상의 안개 제거 성능평가 방식에 대한 후

속 연구를 진행할 예정이다. 적용된 방식은 위치 오차에 의하여 확률 분포가 이동된 것을 가정하고 있기 때문에, 실제 Fig. 7과 같은 분포를 정확하게 설명하고 있다고 하기는 힘들다. 후속 연구를 통하여 적외선 영상이 갖는 분포를 더 정확하게 모델링하는, 안개 제거 기법을 개발할 필요가 있다고 판단한다.

### III. 결 론

본 논문에서는 기존 칼라 영상의 안개제거 기술을 간단히 소개하였고, 근적외선 영상의 특성 분석을 통해 근적외선에 적합한 안개 제거 기술을 제안하였다. 근적외선 영상에서 생성한 dark channel이 기존 칼라 영상에서 도출된 dark channel과 다른 특성을 갖는다는 것을 확인하였다. Dark channel 특성의 차이를 모델링하였고, 이를 기반으로 분포에 존재하는 오차를 보정하는 안개 제거 기술을 적용하였다. 제안하는 기술을 통하여 적외선 안개 영상의 전달량 측정의 정확도가 높아지는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 안개 제거 결과가 개선되는 것을 확인하였다.

## References

- 1) S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, "Contrast restoration of weather degraded images, " *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 25, no. 6, pp. 713-724, June 2003.
- 2) R. R. Tan, "Vision in bad weather, " in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision*, pp. 820-827, Kerkyra, Greece, September 1999.
- 3) K. He, J. Sun and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior, " in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1956-1963, Miami, USA, June 2009.
- 4) R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image, " in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, Anchorage, USA, June 2008.
- 5) H. Yang and J Wang, "Color image contrast enhancement by co-occurrence histogram equalization and dark channel prior," in *Proc. CISP , 2010 3rd International Congress on. IEEE*, pp.659-663, Oct, 2010.
- 6) C. Feng, S. Zhuo, X. Zhang, L. Shen and S.Susstrunck, "Near-infrared guided color image dehazing," in *Proc. of IEEE Conf. on Image Processing(ICIP)*, pp. 2363-2367, Sept 2013.
- 7) L. Schaul, C. Fredembach and S. Susstrunck, "Color image dehazing using the near-infrared," in *Proc. of IEEE Conf. on Image Processing(ICIP)* Nov 2009.
- 8) <http://ivrgwww.epfl.ch/research/topics/nir.html>
- 9) K. Mangold, J. A. Shaw and M. Vollmer, "The physics of near-infrared photography," *European Journal of Physics* vol. 34, no. 6, pp.51-71. 2013.
- 10) A. Levin, D. Lischinsky and Y. Weiss, "A closed-form solution to natural image matting," *IEEE trans. on Pattern Anal & Machine Intell.* vol.30, no.2 pp.228-242, 2008.
- 11) K. He, J. Sun and X. Tang, "Guided image filtering," *IEEE trans. on Pattern Anal & Machine Intell.* vol.35, no.6 ,pp.1397-1409, 2013.
- 12) [http://ivrl.epfl.ch/supplementary\\_material/cvpr11/](http://ivrl.epfl.ch/supplementary_material/cvpr11/)
- 13) X. Pan, F Xie and J. Yin, "Haze Removal for a Single Remote Sensing," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 22, no.10, pp.1806-1810. 2015.