

## 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 지능형 레인 센싱 알고리즘 개발

### Development of Intelligent Rain Sensing Algorithm for Vision-based Smart Wiper System

이 경 창, 김 만 호, 이 석\*  
(Kyung Chang Lee, Man Ho Kim, and Suk Lee)

**Abstract :** A windshield wiper system plays a key part in assurance of driver's safety at rainfall. However, because quantity of rain and snow vary irregularly according to time and velocity of automotive, a driver changes speed and operation period of a wiper from time to time in order to secure enough visual field in the traditional windshield wiper system. Because a manual operation of wiper distracts driver's sensitivity and causes inadvertent driving, this is becoming direct cause of traffic accident. Therefore, this paper presents the basic architecture of vision-based smart wiper system and the rain sensing algorithm that regulate speed and interval of wiper automatically according to quantity of rain or snow. Also, this paper introduces the fuzzy wiper control algorithm based on human's expertise, and evaluates performance of suggested algorithm in the simulator model. Especially the vision sensor can measure wider area relatively than the optical rain sensor, hence, this grasps rainfall state more exactly in case disturbance occurs.

**Keywords :** smart wiper system, intelligent vehicle, rain sensing algorithm, wiper control, vision sensor, fuzzy control

#### I. 서론

최근 들어, 승용차, 산업용 차량, 군사용 차량 분야에서 지능화 차량(intelligent vehicle)에 대한 관심이 급속히 증대되어 가고 있다. 이러한, 지능화 차량을 구현하기 위해서는 차량의 위치나 속도와 같은 차량의 상태 정보와 차량 외부의 환경 정보를 실시간으로 인식할 수 있어야 할 뿐만 아니라, 이러한 차량 정보를 바탕으로 차량을 반자동 또는 자동으로 제어할 수 있어야 한다. 이러한 이유로, 지능화 차량에서는 운전자의 편의성을 위하여 차량의 일부를 제어하는 운전자 보조 시스템(driver assistance system)이나 운전자의 안전을 위하여 차량 정보를 제공하고 위험 상황을 경고하는 충돌 경고 시스템(collision warning system) 등과 같은 다양한 지능형 센싱 및 제어(intelligent sensing and control) 알고리즘이 요구된다[1][2].

이러한 운전자의 안전성과 편의성에 영향을 미치는 차량 부품 중에서, 윈드쉴드는 차량 운전 시 운전자의 안전을 위한 시야 확보에 가장 많은 영향을 미치는 부분이다. 즉, 운전자의 시야를 방해하는 비나 눈이 오는 우천시에, 윈드쉴드 와이퍼 시스템(windshield wiper system)은 운전자의 안전성을 보장하는 데 있어 매우 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나, 비나 눈의 양은 시간과 차량의 속도에 따라 불규칙적으로 변하기 때문에, 전통적인 와이퍼 시스템의 경우, 충분한 시야를 확보하기 위해서는 와이퍼의 속도와 작동 주기를 수시로 변화시켜야 한다. 이러한 와이퍼 제어를 위한 조절은 운전자의 신경을 분산시키고, 부주의한 운전을 유발시켜, 교통 사고의 직접적인 원인이 되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 비나 눈의 양에 따라 자동으로 와이퍼의 속도와 작동 주기를 조절하여주는 지능형 스마트 와이퍼 시스템(intelligent smart wiper system)에 대한 연구 개발이 진행되어 왔다[3][4]. 특히, 스마트 와이퍼 시스템이 정상적으로 동작하기 위해서는 시간과 차량의 속도에 따라 변하는 비의 양이나 속도 등과 같은 경우 상태가 정확하게 측정되어야 한다. 이러한 목적을 만족시키기 위하여, 대다수의 지능형 스마트 와이퍼 시스템에서는 주로 광학식 레인 센서(optical rain sensor)가 사용되고 있다[3]. 일반적으로, 광학식 레인 센서는 비의 양을 감지하기 위하여, 매질에 따른 빛의 반사율이 다르다는 점을 이용한다. 즉, 맑은 윈드쉴드인 경우의 빛의 반사 각도와 젖은 윈드쉴드인 경우의 반사 각도가 다르기 때문에, 특정 지점에 들어오는 빛의 양은 달라진다는 원리를 이용하여 레인을 감지한다. 이러한 원리에 입각하여, 스마트 와이퍼 시스템에서는 LED 가 빛을 방출하고 나서, 포토 다이오드가 윈드쉴드 표면의 빗물에 의해 반사되어 돌아오는 빛의 양을 측정하고, 측정된 빛의 양에 따라 비의 양을 계산하는 알고리즘을 이용하고 있다.

그러나, 광학식 레인 센서의 경우, 외부의 광원으로 인한 간섭 현상이 크다는 단점이 있어 부정확한 성능을 가지고 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 적외선 LED 의 내부 광원만을 통과시키고 외부 광원은 차단시키는 필터를 윈드쉴드에 부착하는 방법을 사용한다. 그러나, 필터를 사용하게 되면 윈드쉴드 교체 시 일반 윈드쉴드가 아닌 필터 브라켓이 부착된 윈드쉴드만을 사용해야 하기 때문에, 교체시 비용이 추가된다는 단점이 발생한다. 또한, 광학식 레인 센서는 매우 작은 영역을 대상으로 비의 양을 의미하는 수분 레벨(rain)과 비가 센싱 영역에 얼마나 자주 묻는가를 나타내는 강도(intensity)만을 측정할 수 있기 때문에, 윈드쉴드의 극부적인 영역에만 비가 묻어 있거나 비가 흘러 내리는 경우와 같은 외란에 대하여 정확한 측정이 어렵다는 단점이 존재한다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 7. 2., 채택확정 : 2004. 5. 18.

이경창, 김만호, 이석 : 부산대학교 기계공학부

(gclee@pnu.edu/kmh@pnu.edu/slee@pnu.edu)

※ 이 논문은 2003년도 Brain Busan 21 사업에 의하여 지원되었음.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 보다 넓은 윈드셸드 영역을 측정할 수 있는 비전 센서를 이용한 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템(vision-based smart wiper system)의 개념에 대하여 제안한다. 여기에서, 비전 센서는 광학식 레인 센서에 비하여 상대적으로 넓은 영역을 측정할 수 있기 때문에, 수분 레벨뿐만 아니라, 비의 분포도(distribution)를 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 방법은 외란이 발생하는 경우에도 보다 정확하게 강우 상태를 파악할 수 있도록 할 것이다.

또한 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 기본 구조와 비전 센서를 이용한 레인 센싱 알고리즘을 제안한다. 특히, 본 논문에서는 주간과 야간을 구분하여, 효과적인 레인 센싱이 이루어질 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 뿐만 아니라, 본 논문에서는 비의 양에 따라 효과적으로 와이퍼를 제어할 수 있는 퍼지 제어에 기반한 지능형 와이퍼 제어 알고리즘을 개발하였다. 마지막으로, 본 논문에서는 실험실 수준에서의 시뮬레이터를 구현하고, 모사된 강우 상태에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다.

본 논문은 서론을 포함하여 6장으로 구성되어 있다. 2장에서는 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 기본 구조에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 레인 센싱 알고리즘에 대하여 설명하였다. 4장에서는 퍼지 제어를 이용한 지능형 와이퍼 제어 알고리즘에 대하여 설명하였으며, 5장에서는 시뮬레이터를 구현하고, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 마지막으로, 6장에서는 결론과 향후 과제를 제시하였다.

**II. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 구조**

현재 차량에 적용되고 있는 강우 상태의 측정 방법으로는 윈드셸드의 안쪽에 광학식 레인 센서가 부착되는 접촉식 방법이 주를 이루고 있다. 그러나, 이러한 센싱 방법은 상대적으로 폭 1cm 이하의 좁은 영역에서 수분 레벨과 강도만을 측정할 수 있다는 한계 때문에, 국부적인 외란에 의하여 불규칙하게 변하는 강우 상태를 정확하게 파악하기가 어렵다는 단점이 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 그림 1 과 같은 비접촉식 센싱 방법인 비전 센서에 기반한 지능형 스마트 와이퍼 시스템에 대하여 제안한다. 그림에서, 스마트 와이퍼 시스템은 와이퍼 모터, 와이퍼 스위치, 퍼지 제

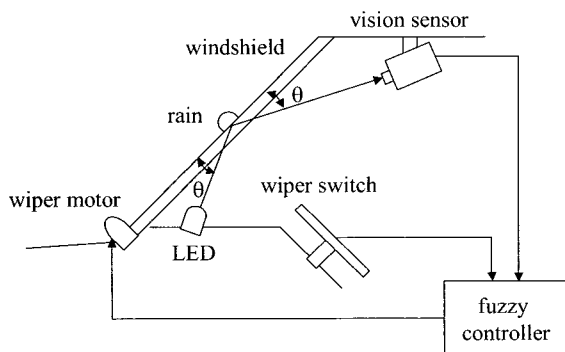


그림 1. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 구조.  
Fig. 1. Schematic diagram of vision-based smart wiper system.

어기, 비전 센서, LED 등으로 구성되어 있다. 여기에서, 와이퍼 스위치는 스마트 와이퍼 시스템을 작동시키는 기능을 수행하도록 하였다. 다음으로, 퍼지 제어기는 비전 센서로부터 비의 영상을 입력받아 수분 레벨과 분포도를 계산하는 레인 센싱 알고리즘과 연관된 결과를 이용하여 와이퍼 속도와 작동 주기를 계산하는 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘으로 구성되어 있다.

마지막으로, 비전 센서는 운전자의 눈이 바라보는 위치의 윈드셸드를 인식하도록 자동차의 천정 부위에 설치되어 있으며, LED 는 센싱 영역으로 빛을 직사할 수 있도록 윈드셸드와 접해 있는 계기판(dashboard) 상단에 설치되어 있다.

특히, 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템에서 인식할 대상은 빗방울이기 때문에, 차량 외부의 배경을 무시하고, 빗방울만 추출될 수 있어야 한다. 이를 위하여, 비전 센서의 초점을 획득하고자 하는 빗방울에 맞추고, 초점이 맞추어진 사물만을 선명하게 나타낼 수 있는 Low DOF(depth of field)를 사용하여, 윈드셸드 바깥의 외부 배경은 흐리게 하고 초점이 맞추어진 빗방울만 선명하게 인식하였다.

또한, 검사 대상 물체로부터 관측하고 싶은 부위만을 정확하게 포착하기 위하여 고휘도(high intensity) LED 조명을 그림 1과 같은 구조로 사용하였다. 즉, 윈드셸드에 묻어 있는 빗방울에 반사되어 돌아오는 LED 의 광원을 비전 센서가 받아들일 수 있도록 LED 와 비전 센서를 윈드셸드에 대하여  $\theta$  의 각도로 설치하였다.

마지막으로, 주간에 차량 외부의 태양광이나, 야간의 신호등이나 가로등과 같은 도로 조명, 반대 차선의 전조등, 앞 차량의 정지등이 비전 센서의 외란으로 작용할 수 있다. 이러한 외란은 그림 1 과 같이 윈드셸드를 비추는 비전 센서를  $\theta$  각도만큼 수평에서 아래 쪽으로 응시하게 함으로써, 외부 광원의 영향을 최소화할 수 있다. 그러나, 이러한 방법에 의하여 외부의 태양광이나 도로 조명의 영향은 무시될 수 있지만, 야간에 주행 중인 차량의 정지등과 반대 차선에 주행 중인 차량의 전조등은 피하기가 어려운 편이다. 따라서, 정지등이나 전조등이 강한 영향을 미치는 야간의 경우에는 이러한 광원의 영향을 해결할 수 있는 영상 처리 알고리즘이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 주간과 야간으로 나누어 영상 처리 알고리즘을 개발하였다.

**III. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 레인 센싱 알고리즘**

비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 레인 센싱 알고리즘은 그림 2와 같다. 특히, 본 연구에서는 야간에서도 효과적으로 강우 상태를 인식할 수 있도록 주간과 야간으로 나누어 레인 센싱 알고리즘을 개발하였다. 그림 2에서, 와이퍼 스위치가 켜지게 되면, 와이퍼가 1회 동작하고 나서, 비전 센서를 통하여 윈드셸드의 영상을 획득하게 된다. 그리고 나서, 미동의 상태가 켜져 있는지를 검사하여 주간 운행(미동이 꺼진 상태)상태인지 야간 운행(미동이 켜진 상태) 상태인지를 검사한다. 다음으로, 획득된 영상을 이용하여 주간과 야간에 따른 영상 처리 알고리즘을 수행하고, 수분 레벨과 분포도를 계산한다. 마지막으로, 계산된 결과를 입력으로 하여 지능형

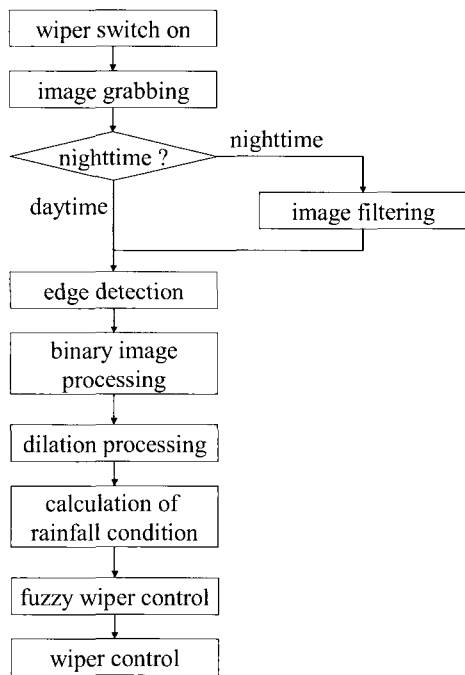


그림 2. 레인 센싱 알고리즘의 흐름도.  
Fig. 2. Flowchart of rain sensing algorithm.

퍼지 와이퍼 제어 알고리즘이 수행되어, 그 결과에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기가 조절된다.

1. 주간 영상 처리 알고리즘

윈드쉴드에 묻어 있는 빗방울은 물이라는 특징에 의하여 고정된 형상을 가지고 있지 않기 때문에, 윈드쉴드로부터 빗방울의 영상만을 검출해 내기는 매우 어려운 문제이다. 그러나, 빗방울의 경계선을 효과적으로 검출해 낼 수만 있다면, 빗방울의 대략적인 크기와 분포도를 알 수가 있다.

이를 위하여, 본 논문에서는 연산 속도가 빠른 Sobel 마스크[5]를 사용하여 빗방울의 경계선을 검출하였다. 그림 3(a)는 본 연구를 위하여 실험실 수준에서 제작된 시뮬레이터에서 촬영된 빗방울 영상을 나타내고 있다. 이 영상에 Sobel 마스크를 적용하고 나서, 에지를 추출한 결과를 나타내면 그림 3(b)와 같다. 그림에서, Sobel 마스크에 의한 연산 결과, 빗방울의 경계선이 비교적 부드럽고 선명하게 검출됨을 확인할 수 있다.

그러나, Sobel 마스크를 통하여 인식된 경계선에는 윈드쉴드 바깥 배경 영상의 희미한 경계선까지 포함되어 있다. 이러한 배경은 Low DOF에 의하여 희미하게 처리되었기 때문에, 그림 3(b)에 매우 희미한 형태로 나타남을 관찰할 수 있다. 이러한 배경의 미세한 경계선을 제거하기 위하여, 본 논문에서는 식 1과 같이 단일 임계값(single threshold) T를 이용하였다[6]. 여기에서, T 값으로는 125가 사용되었다.

$$F(x,y) = \begin{cases} high(255) & \text{if } f(x,y) \geq T \\ low(0) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

그림 3(c)는 그림 3(b)의 그레이 영상을 단일 임계값을 이용하여 이진 영상 처리를 수행한 결과를 나타내고 있다. 그

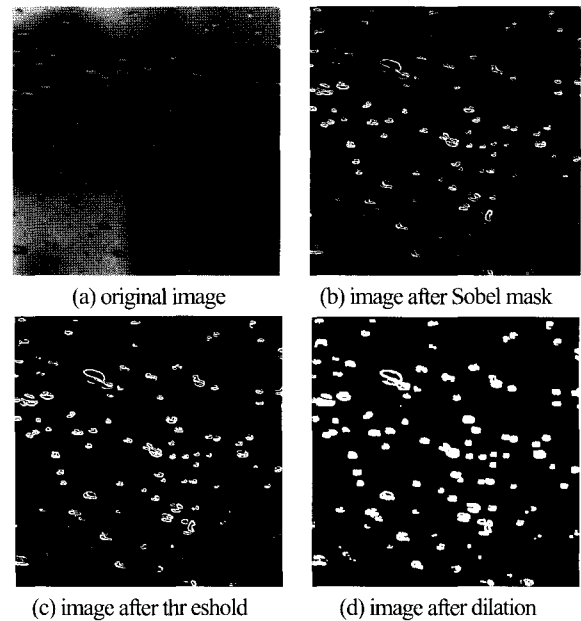


그림 3. 주간 영상의 처리 결과.  
Fig. 3. Result of image processing of daytime.

림에서, 이진 영상 처리의 결과 낮은 그레이 값을 가졌던 배경의 경계선이 완전히 제거되었음을 확인할 수 있다.

다음 단계로, 빗방울을 더욱 부각시키기 위하여, 팽창(dilation) 연산을 적용하였다[5]. 일반적으로, 팽창 연산은 물체의 가장 바깥 화소(pixel)를 확장하는 기능을 수행하기 때문에, 팽창 연산의 결과로 물체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다. 본 논문에서는 연산 속도를 고려하여, 모든 픽셀의 값이 0인 3x3 팽창 마스크를 사용하였다[7]. 그림 3(d)는 이진 영상 처리를 거친 그림 3(c)에 팽창 연산을 적용한 결과를 나타내고 있다. 그림 3(c)와 비교하여 볼 때, 흐트러져 있는 빗방울의 경계선이 팽창 연산에 의하여 확연하게 부각되어 있음을 알 수 있다.

2. 야간 영상 처리 알고리즘

외란 요소 중에서 주간에 발생하는 차량 외부의 태양광이나, 야간에 발생하는 신호등, 가로등과 같은 도로 조명은 그림 1에서 설명한 바와 같이 비전 센서의 위치를 조절함으로써 해결이 가능하다. 그러나, 야간에 발생하는 주행 중인 차량의 정지등과 반대 차선에 주행 중인 차량의 전조등의 외란 요소는 영상에 포착될 경우에 빗방울로 인식될 수 있으므로, 제거되도록 영상 처리 알고리즘이 수정되어야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 빛이 확산되는 성질을 이용하였다. 일반적으로, 영상에서 고주파 요소들은 상대적으로 날카로운 특징 성분을 갖는 데 비하여, 저주파 요소들은 흐릿한 특징 성분을 가진다. 즉, 윈드쉴드에 묻어 있는 빗방울에 반사되어 들어오는 LED 광원은 선명하기 때문에 고주파 성분을 가지게 될 것이며, 반대로 Low DOF에 의하여 초점이 흐릿해진 외부 광원들은 저주파 성분을 가지게 될 것이다. 따라서, 이러한 저주파 성분을 고주파 성분으로부터 추출하여 제거한다면, 외부의 광원에 의한 외란을 제거할 수 있다.

영상에서 저주파 요소를 제거하여 위하여, 본 논문에서는

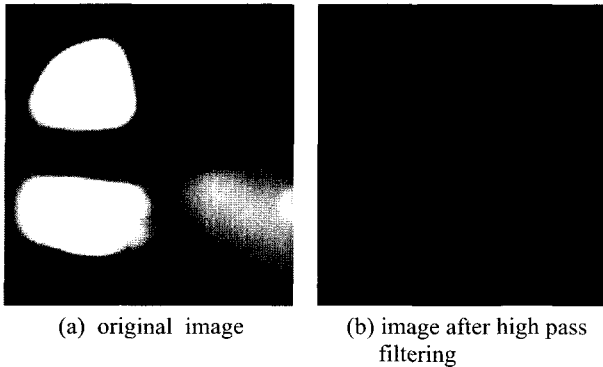


그림 4. 야간 영상의 고역 통과 필터 처리 결과.  
Fig. 4. Result of high pass filtering of nighttime image.

식 2와 같이 원점에서 차단 주파수(cutoff frequency) 거리에 위치한 차단 주파수 궤적을 가지는 n 차의 버터워스 고역 통과 필터(Butterworth high pass filter)를 사용하였다[5].

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D_0 / D(u,v)]^{2n}} \quad (2)$$

식에서,  $D_0$ 는 0 이 아닌 값을 가지며,  $D(u,v)$ 는 주파수 평면의 점  $(u,v)$ 로부터 원점까지의 거리이다. 본 논문에서는  $D_0$ 는 32로 n은 16을 사용하였다.

그림 4는 시뮬레이터에서 정지등이 있는 경우에 측정된 야간 영상에서 고역 통과 필터를 적용한 결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)의 원 영상에서 정지등의 경계선이 검출될 경우 아주 많은 양의 비로 인식될 수 있다. 그러나, 영상의 저주파 성분을 제거해 내는 고역 통과 필터를 사용하게 되면, 그림 4(b)와 같이 빗방울이 검출되지 않은 영상과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

3. 강우 상태 판단 알고리즘

스마트 와이퍼 시스템에서 와이퍼의 제어를 위해서는 강우 상태를 파악할 필요가 있다. 빗방울은 형태에 따른 특징이 존재하지 않기 때문에, 본 논문에서는 수분 레벨과 분포도를 이용하여 강우 상태를 결정하였다.

먼저, 본 논문에서 수분 레벨은 영상 처리가 완료된 256x256 영상에서 비가 묻어있는 화소수로 정의하였다. 다음으로, 분포도는 다음과 같이 계산하였다. 먼저, 전체 영상을 16x16 단위로 나누고, 이 구역 내에 1 값을 가진 화소(빗방울이 묻어 있는 경우 1로 할당한다)가 하나라도 존재하면, 그 구역 전체에 1 값을 할당한다. 그리고 나서, 1 값을 가진 화소수를 전체 화소수(65,536)로 나눈 값의 백분율을 분포도로 정의하였다.

수분 레벨과 분포도에 따라 강우 상태를 결정하는 방법을 예를 들어 설명하면 그림 5와 같다. 그림 5(a)는 가는 비가 윈드쉴드 전체에 걸쳐 골고루 내리는 경우를 모사한 영상으로써, 256x256 영상에서 8 화소 간격으로 1화소씩 1 값을 가지는 경우이다. 이 경우, 16x16 단위씩 계산하여 하나의 화소라도 1인 경우, 전체 16x16 단위를 1로 결정하기 때문에, 전 영상이 1로 결정된다. 반대로, 그림 5(b)는 굵은 비가 듬성듬성 내리거나, 외란에 의하여 물방울이 윈드쉴드에 묻어 있는

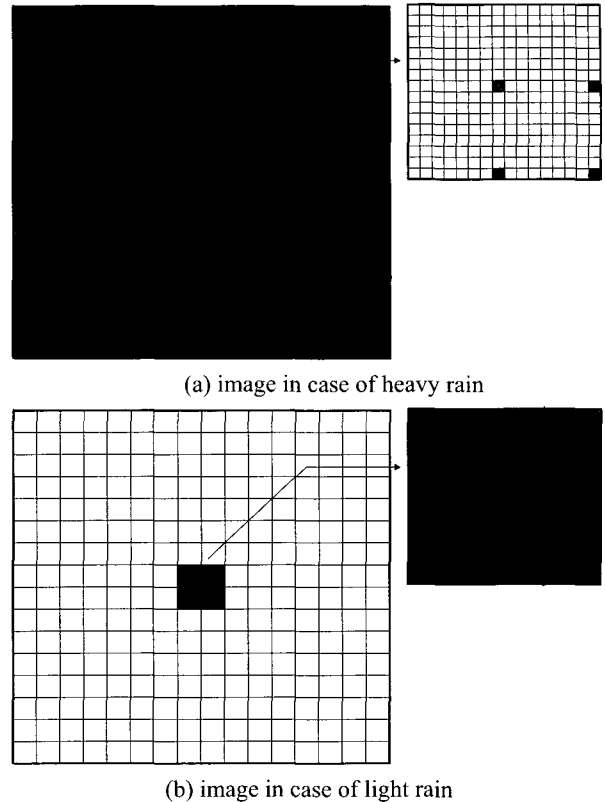


그림 5. 수분 레벨과 분포도에 의한 강우 상태의 예.  
Fig. 5. Example of rainfall condition by wetness and distribution.

경우를 모사한 영상으로써, 256x256 영상에서 중간에 있는 4개의 16x16 단위만 1로 할당된 경우이다. 이 경우, 다른 16x16 단위들은 0 값을 가지게 된다.

그림에서, 그림 5(a)와 5(b)의 수분 레벨은 1024 화소로써 동일하다. 그러나, 그림 5(a)의 분포도는 100%(256/256100)로써 빗방울이 전 영역에 걸쳐 골고루 묻어 있음을 나타내며, 그림 5(b)의 분포도는 1.56%(4/256100)로써 빗방울이 극히 적은 부분에만 묻어 있음을 나타낸다. 따라서, 그림 5(a)의 경우에는 와이퍼를 자주 동작시키도록, 그림 5(b)에서는 가끔씩 동작시키도록 와이퍼 제어 알고리즘이 설계되어야 한다. 결과적으로, 이러한 수분 레벨과 분포도를 이용함으로써, 인간의 시각에 보다 근접하게 강우 상태를 판단할 수 있다.

IV. 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘

본 논문에서는 영상 처리를 통하여 계산된 강우 상태, 즉 수분 레벨과 분포도에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기를 제어하기 위하여 퍼지 제어 알고리즘을 이용하였다. 특히, 운전자의 판단 능력은 정확하게 수학적으로 모사하는 것이 불가능하기 때문에, 퍼지 논리를 이용한 와이퍼 제어는 매우 효과적인 방법이라 할 수 있다[8][9].

그림 6은 스마트 와이퍼 시스템의 퍼지 제어 알고리즘의 구조를 나타내고 있다. 그림에서, 퍼지 제어기는 윈드쉴드로부터 촬영된 빗방울 영상으로부터 이미지 처리 과정을 통하여 계산된 수분 레벨과 분포도를 퍼지 언어 변수(linguistic variable)와 언어 값(linguistic value)으로 변환하는 퍼지화부와,

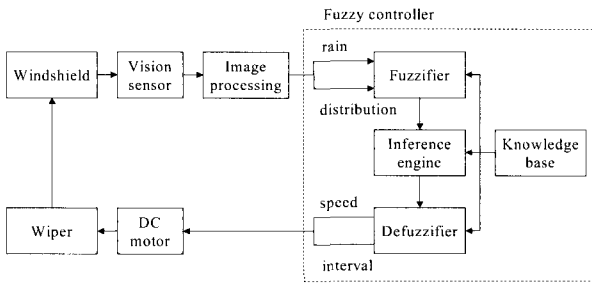


그림 6. 퍼지 제어기의 구조.

Fig. 6. Schematic diagram of fuzzy controller.

표 1. 와이퍼 제어를 위한 일반적인 언어 규칙.

Table 1. General linguistic rules for controlling a wiper.

Antecedent	Consequence
IF it is not raining or drizzling	THEN the wiper should be set to "Off."
IF it is drizzling lightly	THEN use a long delay interval setting on the wiper.
IF it is drizzling heavily	THEN use a short delay interval setting on the wiper.
IF it is raining lightly	THEN use the continuous low speed setting on the wiper.
IF it is raining heavily	THEN use the continuous high speed setting on the wiper

운전자의 경험을 바탕으로 생성된 퍼지 제어 규칙(fuzzy control rule)을 이용하여 퍼지 출력을 추론하는 추론 엔진(inference engine), 추론된 결과를 와이퍼 구동을 위한 DC 모터의 속도와 작동 주기로 변환하는 비퍼지화부로 구성되어 있다.

본 절에서는 퍼지 제어 규칙을 결정하기 위하여, 표 1과 같이 강우 상태에 따라 이루어지는 운전자의 와이퍼 조작 경험을 이용하였다[3]. 즉, 보슬비가 내리거나 빗방울이 국부적으로 묻어 있는 경우에는 와이퍼를 느리게 작동시키고, 장대비가 내리거나 빗방울이 전 영역에 걸쳐 묻어 있는 경우에는 와이퍼를 빠르게 작동시킨다는 운전자의 경험을 이용하여 퍼지 제어 규칙을 결정하였다.

그림 7은 스마트 와이퍼 제어기의 퍼지 입출력 변수에 대한 소속 함수(membership function)와 언어 값을 나타낸다. 먼저, 수분 레벨의 퍼지 언어 변수는 그림 7(a)와 같이 Dry, Drizzle, Wet 로, 분포도의 퍼지 언어 변수는 그림 7(a)와 같이 Light, Medium, Heavy 로 선정하였다. 여기에서, 분포도의 경우에는 주간과 야간에 관계없이 동일한 값을 가지도록 설정하였다. 그러나, 주간에는 빗방울의 전체 경계선이 모두 검출되는 데 반하여, 야간에는 빗방울에 비친 광원의 경계선만을 검출할 수 있기 때문에, 수분 레벨은 주간과 야간에 따라 차이를 두었다.

다음으로, 와이퍼 속도의 퍼지 언어 변수는 그림 7(b)와 같이 Zero, Low, High 로 선정하였다. 여기에서, 와이퍼 속도는 와이퍼 모터의 성능에 따라 달라지며, 본 논문에서는 1 이하인 경우에는 와이퍼의 정지를 의미하며, 5 인 경우에는 저속

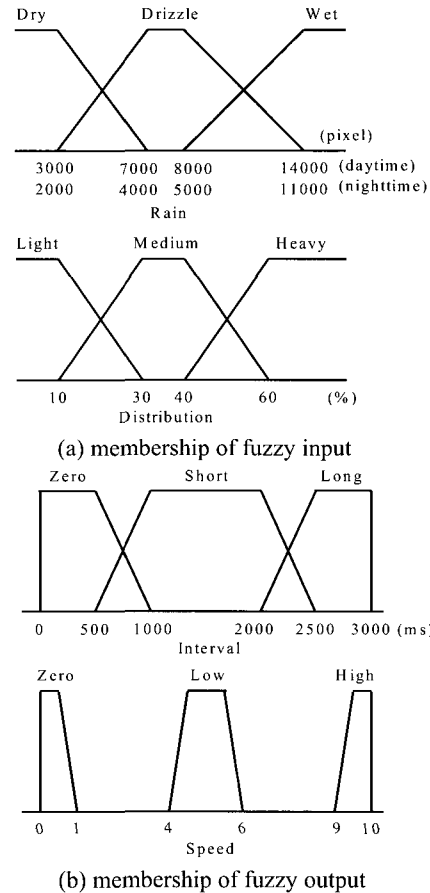


그림 7. 퍼지 입출력 변수의 소속 함수.

Fig. 7. Membership functions of fuzzy input and output variables.

표 2. 와이퍼 제어를 위한 퍼지 제어 규칙.

Table 2. Fuzzy control rules for controlling a wiper.

		(a) Speed			
		Rain			
		Dry	Drizzle	Wet	
Distribution	Rain				
Light	Light	Zero	Low	Low	
Medium	Medium	Low	Low	Low	
Heavy	Heavy	Low	Low	High	

		(b) Interval			
		Rain			
		Dry	Drizzle	Wet	
Distribution	Rain				
Light	Light	Long	Long	Short	
Medium	Medium	Long	Short	Zero	
Heavy	Heavy	Short	Zero	Zero	

모드, 9 이상인 경우에는 고속 모드를 의미하도록 설정하였다. 마지막으로, 와이퍼 작동 주기의 퍼지 언어 변수는 그림 7(b)와 같이 Zero, Short, Long 으로 선정하였다. 여기에서, 와이퍼 작동 주기는 msec 단위로, 0 에서 3000msec 까지 다양한 주기를 가질 수 있도록 설정하였다.

이상과 같은 퍼지 언어 규칙과 소속 함수를 이용하여, 시뮬레이터에서 강우 상태를 모사하여 촬영된 100 여 장의 실험 영상으로부터 표 2 와 같은 퍼지 제어 규칙을 도출할 수 있었다.

마지막으로, 퍼지 추론법으로는 퍼지 제어기의 계산 부담을 줄이기 위하여, Min-max 합성법을 사용하였으며, 비퍼지화 방법으로서, 와이퍼 속도는 MoM(Mean-of-Maximum) 방법을, 와이퍼 작동 주기는 CoA(Center-of-Area) 방법을 사용하였다[10].

**V. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 성능 평가**

본 논문에서는 제안된 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 레인 센싱 알고리즘과 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 실험실 환경에서 그림 1에서 제시된 구조에 따라 그림 8과 같이 시뮬레이터를 제작하였다. 시뮬레이터에서, LED로는 빛의 세기가 강하고 파장이 제일 긴 적색 고휘도 LED를 사용하였으며, 프레임 그래픽으로는 Euresys사의 Pico board를 사용하였다. 그리고, CCD 카메라로는 흑백인 Pulnix사의 TM-200을 사용하였으며, 이미지 처리를 위하여 Pentium PIII 800을 사용하였다. 특히, 본 실험에서 사용된 렌즈는 조리개의 범위가 f0.4에서 f16까지의 사양을 가지고 있으며, 조리개를 최대한 개방시키기 위하여 f0.4로 고정하였다.

이상과 같은 시뮬레이터에서, 실험실 환경에서 비가 오는 상황을 모사하여, CCD 카메라로부터 256x256 실험 영상을 획득하고, 제안된 레인 센싱 알고리즘과 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘의 성능을 평가하였다.

**1. 주간 영상 처리**

그림 9는 적은 수의 빗방울이 존재하는 경우의 영상 처리 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림 9.a와 같은 원 영상으로부터 Sobel 마스크를 적용하여 경계선을 추출한 결과, 그림 9.b와 같이 차량 외부 배경의 경계선이 미세하게 검출됨을 볼 수 있다. 이를, 이진 영상 처리를 수행하면, 그림 9.c와 같이 배경이 완전히 제거됨을 알 수 있다. 마지막으로, 팽창 연산을 수행하게 되면, 그림 9.d와 같은 보다 더 분명해진 영상을 얻을 수 있다. 이러한 레인 센싱 알고리즘의 결과, 수분 레벨은 2,183 화소로 계산되었으며, 분포도는 30.5%로 계산되었

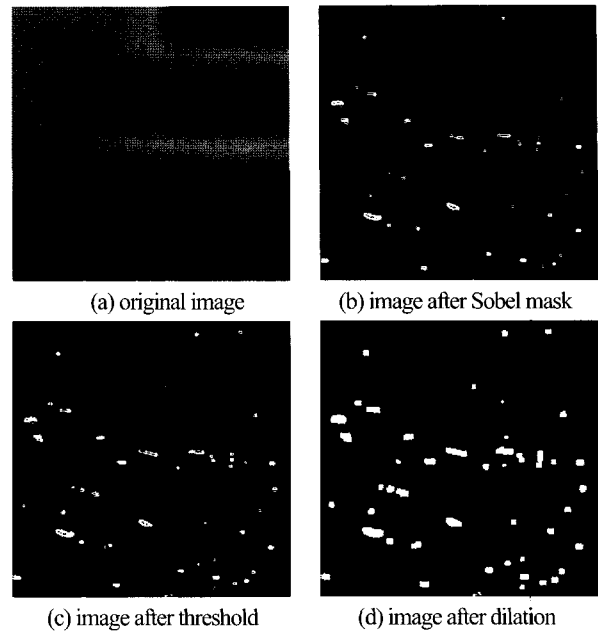


그림 9. 주간에 빗방울이 보슬비로 존재하는 경우의 영상처리 결과.

Fig. 9. Result of image processing in case of drizzle condition in daytime.

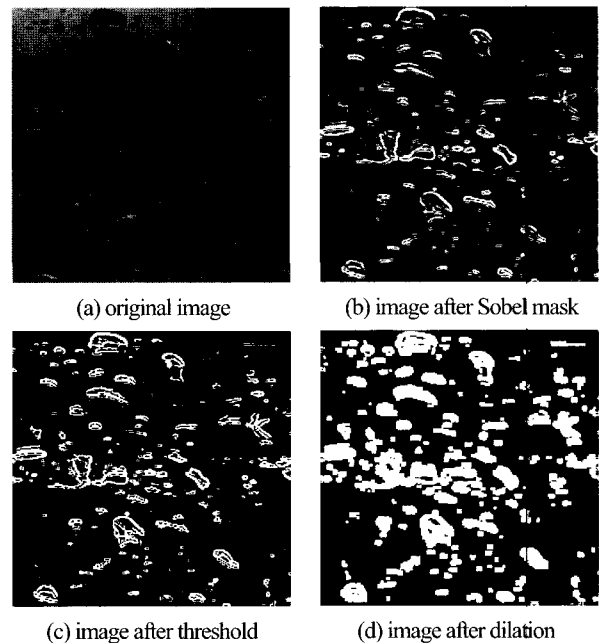


그림 10. 주간에 빗방울이 많이 존재할 경우.

Fig. 10. Result of image processing in case of wet condition in daytime.

다. 이 입력 값을 이용하여 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행하면, 와이퍼 작동 주기는 2,450msec, 와이퍼 속도는 5로 저속 모드로 결정되었다. 즉, 보슬비가 오는 상황에서 와이퍼는 2.45초 주기로 저속 모드로 동작하도록 결정되었다.

그림 10 은 많은 수의 빗방울이 존재하는 경우의 영상 처리 알고리즘을 적용한 결과이다. 이 경우, 수분 레벨은 15,831 화소로, 분포도는 83.2%로 계산되었다. 이를 이용하여, 퍼

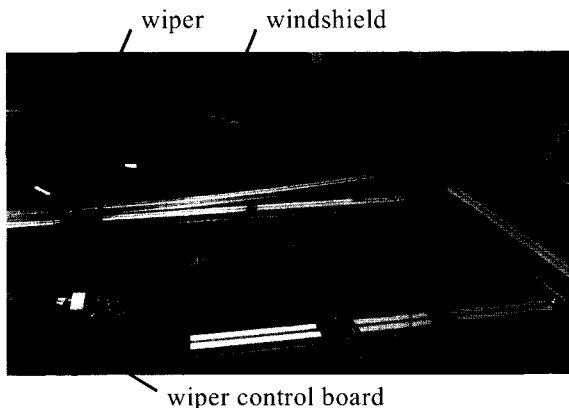


그림 8. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템 실험 모델.  
Fig. 8. Experimental model of vision-based smart wiper system.

지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행한 결과, 와이퍼 작동 주기는 350msec, 와이퍼 속도는 9.8 로서 고속 모드로 결정되었다. 즉, 비가 많이 오는 상황에서는 와이퍼 작동 주기는 매우 작고, 와이퍼 속도는 고속 모드로 동작하도록 결정되었다.

이상과 같은 실험 결과로부터 제안된 레인 센싱 알고리즘에 의하여, 운전자가 느끼는 정도의 강우 상태를 파악할 수 있었으며, 이를 이용하여 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행한 결과, 운전자가 내릴 수 있는 판단과 거의 유사하게 와이퍼 속도와 작동 주기를 결정할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 야간 영상 처리

그림 11 은 야간에 적은 수의 빗방울이 존재하고, 외부 광원이 검출되지 않았을 때의 레인 센싱 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림 11.a 의 원 영상을 버터워스 고주파 통과 필터를 적용시키게 되면, 그림 11.b 와 같이 나타난다. 그림 11.b 의 경우, 빗방울에 대한 정보를 가지고 있지 않은 것처럼 보이지만, 빗방울에 대한 낮은 그레이 값의 화소 성분을 가지고 있다. 이로부터 경계선을 추출하면, 그림 11.c 와 같이 빗방울의 분명한 경계선을 볼 수 있다. 이를 그림 11.d 와 같이 이진화와 팽창 연산을 수행하게 되면, 수분 레벨이 3,352 화소, 분포도가 44.5%로 계산된다. 이 값을 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘에 입력하면, 와이퍼 작동 주기는 1,840msec, 와이퍼 속도는 5 로 저속 모드로 계산되었다. 즉, 야간의 경우에도 보슬비가 내리는 경우, 주간에 비해 조금 빠른 1.84 초의 주기로 저속 모드로 와이퍼가 동작되도록 결정되었다.

그림 12 는 야간에 많은 수의 빗방울이 존재하고, 앞 차량의 정지등과 같은 외부 광원이 검출된 경우에 레인 센싱 알

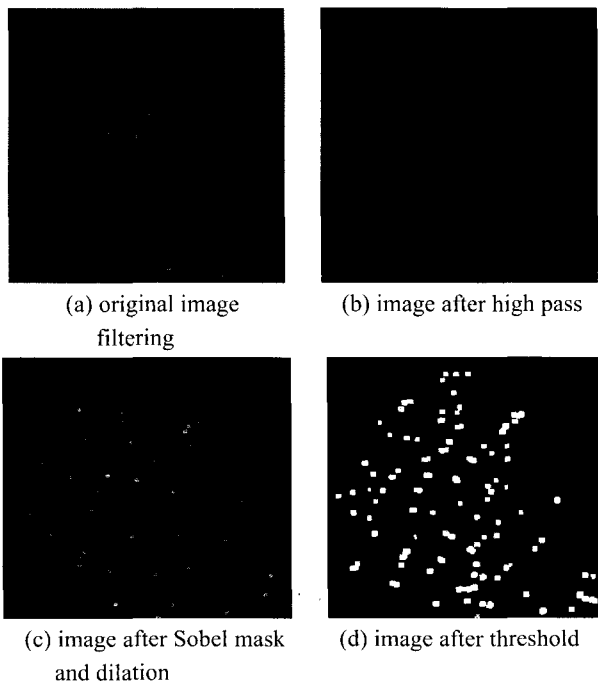


그림 11. 야간에 빗방울이 보슬비로 존재하는 경우.  
Fig. 11. Result of image processing in case of drizzle condition in nighttime.

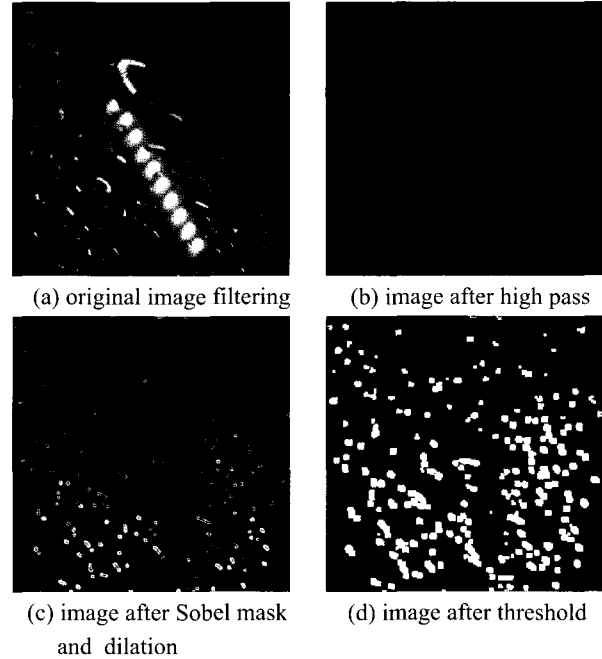


그림 12. 야간에 빗방울이 많이 존재하는 경우.  
Fig. 12. Result of image processing in case of wet condition in nighttime.

고리즘을 수행한 결과이다. 실험에서 외부 광원을 나타내기 위하여, 시뮬레이터 바깥 쪽에 LED 광원을 위치시킨 후, 빗방울 영상을 획득하였다. 즉, 그림 12.a 의 원 영상에서 밝게 표시되는 부분이 외부에 위치한 LED 광원을 의미한다. 그림 12.a 의 원 영상을 버터워스 고주파 통과 필터를 적용한 후 (그림 12.b), 경계선을 추출하면, 그림 12.c 와 같이 빗방울의 경계선만 선명하게 나타나고, 외부 광원은 나타나지 않음을 알 수 있다. 이를 이진화와 팽창 연산을 수행하고 나면(그림 12.d), 수분 레벨은 8,449 화소, 분포도는 73.0%로 계산된다. 이 값을 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘에 입력하면, 와이퍼 작동 주기는 350msec, 와이퍼 속도는 9.8 로 고속 모드로 계산된다. 즉, 많은 비가 내리는 상황에서는 주간과 거의 유사하게 와이퍼 작동 주기는 매우 작고, 와이퍼 속도는 고속 모드로 작동하도록 결정되었다.

이상과 같은 실험 결과로부터, 낮에 비해 광량이 훨씬 부족하고, 차량의 전조등이나 정지등이 직접적인 외란으로 작용할 수 있는 야간 운행 상태에서도, 제안된 레인 센싱 알고리즘은 운전자가 느끼는 정도의 강우 상태를 파악할 수 있었다.

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 운전자의 안전성과 편의성을 향상시키기 위하여 비전 센서 기반 스마트 와이퍼 시스템의 기본 구조를 제안하였다. 또한, 본 논문에서는 수분 레벨과 분포도를 이용하여 강우 상태를 인식할 수 있는 레인 센싱 알고리즘을 제안하였고, 계산된 수분 레벨과 분포도에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기를 결정할 수 있는 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 제안하였다. 특히, 본 논문에서는 주간에 차량 외부의 태양광이나, 야간에 신호등, 가로등과 같은 도로 조명 등과 같

은 외부의 광원이 존재하는 경우에도 와이퍼 제어를 위하여 필요한 결과를 얻을 수 있도록 주간과 야간에 따라 수행되는 레인 센싱 알고리즘을 개발하였다. 마지막으로, 본 논문에서는 스마트 와이퍼 시스템에 대한 시뮬레이터를 구현하고, 실험실 환경에서 비가 오는 상황을 모사하여, 레인 센싱 알고리즘에 대한 성능을 평가하고, 제안된 알고리즘의 적용 가능성을 검토하였다.

본 논문에서는 주간과 야간의 실험 영상에 대한 알고리즘을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 주간 경우, 사람이 느끼는 시각 능력을 비전 센서에도 그대로 적용시킬 수 있기 때문에, 비전 센서의 Low DOF를 이용함으로써 쉽게 배경으로부터 빗방울만을 획득할 수 있었다. 또한, 본 논문에서 제안된 레인 센싱 알고리즘에 의하여, 운전자가 느끼는 정도의 강우 상태를 파악할 수 있었으며, 이를 이용하여 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행한 결과, 운전자가 내릴 수 있는 판단과 거의 유사한 와이퍼 속도와 작동 주기를 얻어낼 수 있음을 확인하였다.

둘째, 낮에 비해 광량이 훨씬 부족하고, 차량의 전조등이나 정지등이 직접적인 외란으로 작용할 수 있는 야간 운행 상태에서, 본 논문에서 제안된 레인 센싱 알고리즘은 운전자가 느끼는 정도의 강우 상태를 파악할 수 있음을 확인하였다.

셋째, 본 논문에서 제안된 빗방울의 분포도를 이용하는 경우, 윈드쉴드의 국부적인 영역에 빗방울이 묻어 있거나, 가늘거나 굵은 빗방울이 내리는 경우 등을 구분할 수 있기 때문에, 운전자의 경험과 매우 유사하게 강우 상태를 판단할 수 있음을 알 수 있었다.

넷째, 비전 센서는 지능형 차량에서 차선 감지 시스템(lane detection system) 등과 같은 운전자의 안전성과 편의성을 위하여 광범위하게 적용되어 가고 있는 추세이다. 따라서, 비를 감지하기 위한 비전 센서를 추가하거나, 강우시에 차선 감지 시스템을 위하여 사용되던 비전 센서를 이용하게 되면, 비전 센서 기반 스마트 와이퍼 시스템은 충분히 가격 경쟁력 있는 제품으로 구현이 가능할 것이다.

그러나, 본 논문에서는 실험실 수준에서 구성된 시뮬레이터에서 강우 상황을 모사한 빗방울 영상을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능만을 평가하였다. 따라서, 향후에는 실제 비가 오는 상황에서 제안된 알고리즘의 성능에 대한 검증이 필요하며, 비가 흘러 내리는 경우나 와이퍼에 의하여 빗방울이

쏟리는 현상이 나타나는 경우에도 적용될 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또한, 윈드쉴드에 묻는 빗방울은 자동차의 속도와 비가 내리는 속도에 따라 동적으로 변화하기 때문에, 시간에 따라 변화하는 상황에서 제안된 알고리즘이 결정하는 와이퍼 속도와 작동 주기가 운전자의 경험과 일치하는가에 대한 연구도 추가되어야 한다. 마지막으로, 제안된 레인 기반 스마트 와이퍼 시스템을 자동차에 적용하기 위해서는 제안된 알고리즘의 결과에 따라 와이퍼가 제어될 수 있도록 실차 적용에 관한 연구가 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] A. Broggi, "Intelligent vehicle applications worldwide," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 78-81, 2000.
- [2] 조영주, 하성현, 이경수, 허승진, "차량 충돌 회피 시스템을 위한 유압 브레이크 액츄에이터의 모델링 및 제어," 제어자동화시스템공학회 논문지, vol. 6, no. 7, pp. 537-543, 2000.
- [3] K. C. Cheok, K. Kobayashi, S. Scaccia, and G. Scaccia, "A fuzzy logic-based smart automatic windshield wiper," *IEEE Control Systems*, vol. 16, no. 6, pp. 28-34, 1996.
- [4] H. Kato and T. Matsuki, "Raindrop sensor using electric double layers," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 1, no. 1-6, pp. 308-311, 1990.
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [6] R. Crane, *Simplified approach to image processing*, Prentice-Hall, 1997.
- [7] 장동혁, *Visual C++을 이용한 디지털 영상 처리의 구현*, PC 어드밴스, 1999.
- [8] H. C Lee, M. Tomizuka, "Adaptive vehicle traction force control for intelligent vehicle highway systems (IVHS)," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 37-47, 2003.
- [9] S. Y. Foo, "A fuzzy logic approach to fire detection in aircraft dry bays and engine compartments," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol 47, no. 5, pp. 1161-1171, 2000.
- [10] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I and II," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pp. 404-435, 1990.



이 경 창

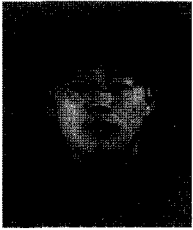
1971년 5월 1일생. 1996년 부산대학교 생 산기계공학과 졸업. 동대학원 석사(1998년), 동대학원 박사(2003년). 1998년~2003년 기계공학연구정보센터전임연구원. 2003년~현재 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터 전임 연구원. 관심 분야는 필드버스, 산업용 이더넷, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.



이 석

1961년 12월 11일생. 1984년 서울대학교 기계공학과 졸업. 펜실바니아 주립 대학교 석사(1985년), 동대학원 박사(1990년). 1990년~1993년 신시내티 대학교 기계공학과조교수. 1993년~현재 부산 대학교 기계공학부 부교수. 관심분야는 필드버스, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.





김 만 호

1977년 4월 16일생. 2001년 동아대학교 기계공학과 졸업. 2003년~현재 부산대학교 지능기계공학과 석박사통합과정재학 중. 관심분야는 차량용 네트워크, 임베디드 시스템.