

영상처리기반 야간 젖은 노면 판별을 위한 방법론

김영민 · 백남철*
한국건설기술연구원

The Method of Wet Road Surface Condition Detection With Image Processing at Night

KIM, Youngmin · BAIK, Namcheol*

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, gyeonggi 411-712, Korea

Abstract

The objective of this paper is to determine the conditions of road surface by utilizing the images collected from closed-circuit television (CCTV) cameras installed on roadside. First, a technique was examined to detect wet surfaces at nighttime. From the literature reviews, it was revealed that image processing using polarization is one of the preferred options. However, it is hard to use the polarization characteristics of road surface images at nighttime because of irregular or no light situations. In this study, we propose a new discriminant for detecting wet and dry road surfaces using CCTV image data at night. To detect the road surface conditions with night vision, we applied the wavelet packet transform for analyzing road surface textures. Additionally, to apply the luminance feature of night CCTV images, we set the intensity histogram based on HSI(Hue Saturation Intensity) color model. With a set of 200 images taken from the field, we constructed a detection criteria hyperplane with SVM (Support Vector Machine). We conducted field tests to verify the detection ability of the wet road surfaces and obtained reliable results. The outcome of this study is also expected to be used for monitoring road surfaces to improve safety.

본 연구의 목적은 도로상에 설치된 CCTV에서 수집되는 영상정보를 이용하여 노면 상태를 판단하는 것이다. 이를 위해 먼저 야간의 젖은 노면을 검지하는 기술을 검증하였다. 지금까지 도로상의 젖음 정보를 추출하는 기술은 편광(polarization) 특성을 활용하는 것이다. 그러나 태양광이 없는 야간 도로상황에서는 편광특성을 활용할 수 없다. 이에 본 연구에서는 CCTV 야간 영상의 특징을 활용하여 마른 노면과 젖은 노면을 판별하는 방법을 제안한다. 노면의 젖음 여부를 판단하는 판별 방법론으로 웨이블릿(wavelet) 패킷 변환을 활용한 질감분석 방법론 및 영상의 명도분포 특성을 반영하기 위한 HSI 색상 모형 기반 명도(intensity) 히스토그램 활용 방법론을 적용하였다. 현장장비에서 취득한 총 200장의 샘플영상을 활용하여 영상을 분석, SVM (Support Vector Machine) 분류기 기반 판별 초평면을 구성한 후, 검지 기법을 검증하기 위한 현장테스트를 수행하였으며 유의한 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구결과는 교통류의 안전성 향상을 위한 효율적인 야간 노면상태 수집에 활용될 수 있을 것이다.

Keywords

HSI color model, image recognition, road surface condition at night, SVM, wavelet transform
HSI 색상 모형, 영상 인식, 야간 노면 상태, SVM(서포트 벡터 머신), 웨이블릿 변환

* : Corresponding Author
nc100@kict.re.kr, Phone: +82-31-910-0194, Fax: +82-31-910-0339

Received 24 July 2014, Accepted 27 February 2015

서론

1. 연구의 배경 및 목적

날씨가 도로안전에 영향을 끼치는 것은 자명하다. 교통사고율 증가는 악천후 노면 상태와 깊은 관련이 있다 (Andrey et al.(1990)). 악천후 노면상태 식별을 위해 레이더, 영상처리 등 이 검토되고 있으나, 영상처리 기술은 저비용으로 구현이 가능하며, 눈으로 확인하여 결과를 검증할 수 있다는 측면에서 꾸준히 연구되어 왔다.

지금까지 영상처리 기반 노면 식별의 한계는 야간의 젖은 노면이었다. 기존의 영상처리 노면 판별은 빛의 편광(polarization)특성에 의존하고 있어, 태양광이 존재하지 않는 야간에는 활용성이 떨어지기 때문이다. 이러한 연유로 영상처리를 활용한 노면상태 판별과 관련하여 다수의 선행연구가 있었으나, 실제 도로 현장에서 실용화된 사례를 찾아보기 어려웠다. 이에 본 연구에서는 야간에 도로 표면의 젖음 여부를 판별할 수 있는 새로운 판별방법론을 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는, 야간 CCTV 영상을 활용한 젖은 노면 검지 방법론을 구현하기 위함을 목적으로 연구를 진행한다. 도로상에 설치된 CCTV를 활용, 주간 및 야간(적외선 투광기 관제) 조건에서 마른 노면 및 젖은 노면의 일반적인 특성을 육안으로 확인한 후, 이를 영상처리 기법을 통해 정량화시킨다. 현장에서 취득한 샘플영상 100 세트(각 조건별 25세트, 총 200장)을 활용하여 영상처리 기반 판별 기준 모형을 정립한다. 이후 판별 기준 모형을 현장장비에 적용하여, 실제로 비가 내리는 환경에서 검증, 알고리즘의 유효성을 확인한다.

기존 문헌 고찰

1. 편광 특성을 활용한 젖은 노면 판별 기법

편광된 빛은 매질에 대한 입사각에 따라 특이한 반사 특성을 가진다. 특히 브루스터 각(Brewster's angle)이라 불리는 입사각에 대해서, 특정 성분으로 편광된 빛은 특정매질에서는 반사되지 못하고 매질에 흡수된다. 물에

대한 브루스터 각은 53.1°(지면 대비 36.9°)로서, 이 각도에서 수평 방향으로 편광된 영상은 완전 흡수된다. 반면 수직 방향으로 편광된 영상에 대해서는 이러한 특성이 나타나지 않아, 두 영상 간 밝기 차이가 발생하게 된다. 이는 카메라로 노면을 촬영할 때, 동일한 촬영조건에서도 빛의 편광 여부에 따라 마른 노면과 밝은 노면의 밝기차이를 발생시킨다(Table 1 참조).

Yamada et al.(2003)은 차량에 TV카메라를 브루스터 각 조건으로 부착한 후 편광특성(수직/수평)영상의 밝기차이를 산출하여 젖은 노면을 판별하는 기법을 제시하였다. Figure 1에서 (a)는 수직편광 필터를 통과한 영상이고, (b)는 수평편광 필터를 통과한 영상으로서 밝기차이를 확인할 수 있다. (c)는 (a)영상과 (b)영상을 비교하여 생성한 영상으로서, 젖은 노면 부분의 차이가 크게 나타나(밝게 표현) 빛의 편광 특성을 활용한 젖은 노면 판정이 가능함을 알 수 있다.

Jokela M. et al.(2009)는 이러한 편광 특성을 활용하여 젖은 영역을 판별하고, 조도(graininess) 분석을 통해 적설 영역을 판별하는 기술을 구현하였다. 차량에 스테레오카메라 기반의 카메라 장치를 부착하여 노면의 젖음을 판단하였으며, 적설 영역에 대해서도 유의미한 판단이 가능함을 실증하였다.

Table 1. Reflection property along the polarization status and road surface condition

	Road Surface	Dry	Wet
Polarization			
Vertical polarization		reflection	reflection
Horizontal polarization		reflection	no reflection

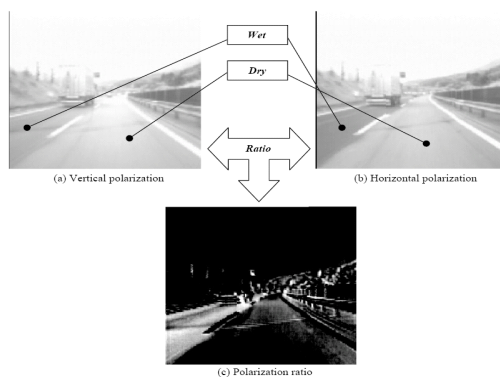


Figure 1. Wet road surface detection with polarization property (Yamada et al. (2003))

2. 질감 특성을 활용한 노면 상태 판별 기법

방법론 개발

동절기 강설 상황에서, 노면 상태는 마름/젖음 상태 외의 상태(적설 및 결빙)를 나타낼 수 있다. 다수의 선행 연구에서는 보다 정밀한 노면상태의 판단을 위하여, 영상의 질감을 활용한 판단기준을 바탕으로 노면상태를 분류하는 기법을 적용하였다.

전술한 Jokela M. et al.(2009)외에, 국내에서 Lim et al.(2007) 및 Han and Ryu(2008)는 젖은 노면에 대한 빛의 편광특성 및 웨이블릿 변환 기반 질감분석 방법론을 활용한 노면상태 판별 방법론을 제시하였다. 수면 반사의 광학적 특성을 이용하여 Yamada et al.(2003)에서 제시한 젖은 영역 판별론 기법을 수용하였으며, Arivazhagan. S., L. Ganesan(2003)에서 제시한 웨이블릿 계수의 주파수 특성을 활용하여 도로면의 질감을 마른 상태, 적설 상태, 결빙 상태로 분류하였다.

웨이블릿 변환은 데이터나 함수 또는 연산자를 다른 주파수 요소로 분할하는 기술로서, 변환된 노면 영상은 Figure 2와 같이 8x8 블록으로 구성되며 영상에서 방향성분을 배제하기 위해서 대각 블록만을 특징으로 사용된다. 대각 블록 8개는 순서대로 정렬되고 정렬된 블록의 각 계수들을 특징으로 사용한다. 8차원의 벡터 w1-w8 중 w1은 DC(저주파)값을 나타내며 w2-w8의 순서로 고주파성분을 나타낸다.

주파수 성분을 비교함에 있어, 적설노면은 DC성분 값이 가장 큰 반면 다른 성분은 거의 존재하지 않는다. 빙판노면은 눈에 비해 상대적으로 고주파 성분이 높으며, 마른노면은 빙판에 비하여 보다 많은 고주파성분이 존재한다. 웨이블릿 패킷 변환결과에 대해 K-means 클러스터링 알고리즘을 적용하여 4개의 클러스터로 분할한 후, 사전 정의된 노면상태별 중심점과 클러스터별 중심점과의 거리를 대응, 최종 노면상태를 판별한다.

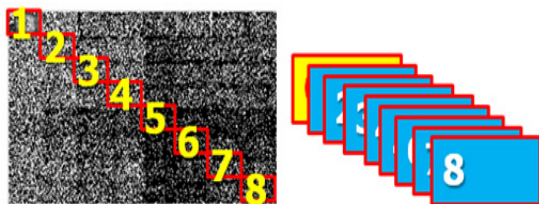


Figure 2. Local feature extraction with wavelet transform

1. 기존 연구와의 차별성

선행연구에서는, 노면의 젖음 여부를 확인하기 위하여 빛의 편광 특성을 활용하였다. 다만 편광 특성은 태양광이 존재하는 주간에만 적용 가능하며, 야간 조건에 대해서는 검토가 이뤄지지 못하였다. 검지기는 기본적으로 24시간 상시 작동을 원칙으로 하여, 영상처리 기반 노면 상태 판별 기법을 현장에 적용하기 위해서는 야간의 젖은 노면을 정량적으로 판별할 수 있는 새로운 방법론의 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 야간에 편광특성을 활용하지 않고 젖은 노면을 판별할 수 있는 방법론을 개발한다. 적외선 투광기를 활용한 야간 CCTV 관제조건에서 취득한 영상을 활용, 마른노면 영상과 젖은노면 영상의 특징을 비교하고, 이를 영상처리기법을 활용하여 정량화시킨다. 정량화된 판별모델을 CCTV 기반 현장장비에 적용하여 유효성을 검증하는 것을 목표로 한다.

2. 세부 방법론 개발

1) 영상수집(Image Gathering)

한국건설기술연구원 구내에 설치된 CCTV를 활용하여 주·야간별 마른노면/젖은노면 영상을 취득하였다. 본 연구에서는, ITS 교통정보센터에서 운영되는 기존 CCTV 구조를 활용하여 편광된 노면의 영상을 취득하기 위하여 특수한 방법을 고안하였다. 하나의 카메라로 복수의 편광상태를 취득하기 위하여, 렌즈 전면부에 편광 필터회전모듈을 제작하여 부착하였다. Yamada et al.(2003)에서는 두 대의 카메라를 활용하였으며, Lim et al.(2007)에서는 한 대의 디지털카메라를 활용하여 편광필터를 90°단위로 회전시켜 수직/수평편광영상을 취득하였다. CCTV 환경에서는, 피사체의 밝기 변화에 따라 조리개를 자동으로 조절하는 자동조리개(Auto Iris) 기능이 기본적으로 존재한다. 해당 기능에 따라 편광상태의 변화에 따라 노면 밝기의 급격한 변화가 일어날 경우 이러한 밝기변화를 줄이기 위하여 조리개가 자동으로 조절된다. 따라서 편광상태에 따른 조리개 변화량을 최소화하기 위하여 한 영상에서 수직/수평영상을 동시에 취득할 수 있도록 하는 장치를 고안, 카메라 전면

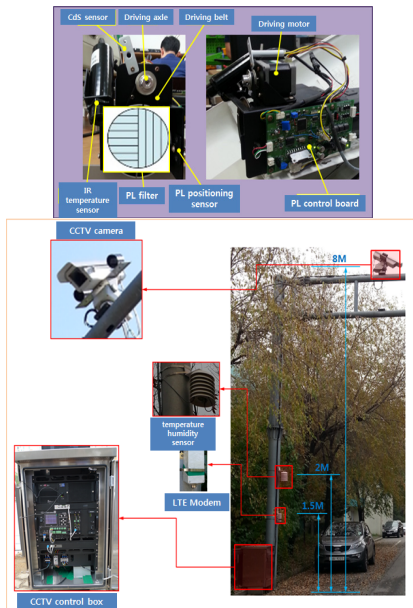


Figure 3. The composition of CCTV-based road surface condition detection system

부에 부착한 후 테스트를 진행하였다.

한편 본 연구에서는, CCTV 야간 관제에 범용적으로 활용되는 적외선 투광기를 부착하여 야간영상취득에 활용하였다. 적외선 투광기는 근적외선대역(700-900nm)의 파장을 피사체로 방출하여, 근적외선대역의 인식이 가능한 CCTV 카메라의 피사체 인식성능을 높여주는 효과를 가진다. ITS 센터시스템 운영에 있어, 적외선 투광기는 야간의 영상관제성능을 향상시키기 위해 활용되고 있으며, 투광기 활용 시 관제모드는 컬러에서 흑백으로 변환된다. Figure 3은 본 연구를 위해 구성된 시스템의 개요도이다.

CCTV 기반 영상수집부는 갠트리 중앙부분에 설치하여 지면을 바라보게 하였다. 높이를 고려하였을 때, 브루스터 각 감시 조건(지면 대비 약 37°)에서 장비는 설치 지점에서 전방 약 11 m 지점을 바라보며 영상을 취득한다. 현장의 노면 포장상태는 아스팔트노면으로서, 감시 영역 상에는 특별한 차선도색은 없으나 이물질(낙엽, 쓰레기 등)에 의한 영상오염이 발생할 수 있는 환경이다.

영상 수집을 위해 구성된 테스트베드 장비를 활용, 마른노면과 젖은 노면의 주·야간 영상을 취득한다. 현장 장비를 활용하여 취득한 영상을 우선 육안으로 확인하고, 이를 정량화시키기 위한 방법론을 고안한다.

현장장비를 통해 취득한 영상을 확인하면 Figure 4와

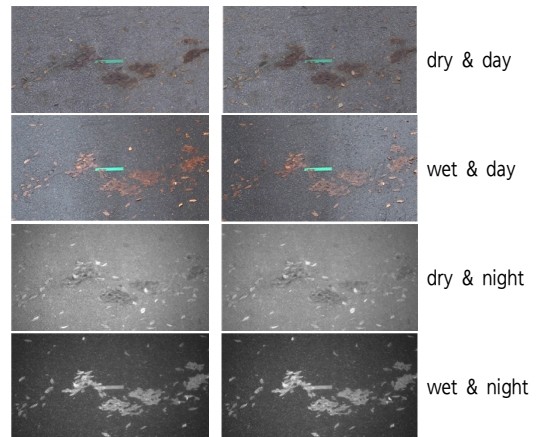


Figure 4. Dry/wet surface image from testbed site

- 주간 젖은노면에서는 편광특성에 의한 영상 좌우측부의 밝기차이가 크게 나타남. 다만 야간에는 편광특성이 나타나지 않음
- 야간 젖은노면은 야간 마른노면보다 어두우며, 젖은 포장체에서 나타나는 질감의 거친 특성이 보다 뚜렷하게 나타나고 있음

같으며, 각각을 육안으로 확인하였을 때의 특징을 정리하면 상기 글상자의 내용과 같다.

육안식별로 확인 가능한 영상의 특성을 정량화시키기 위해서, 본 연구에서는 다음과 같은 방법론의 적용을 검토한다.

- ① 야간에는 편광계수(수직편광영상과 수평편광영상의 영상 밝기의 비율)을 사용하지 않음
- ② 야간에는 웨이블릿 변환을 바탕으로 한 질감분석 방법론을 마른노면/젖은 노면을 판정하기 위한 기준으로 활용함
- ③ 야간 마른노면 영상과 젖은 노면 영상을 비교하였을 때, 노면영상의 밝기가 어두워지는 특성이 있어 영상의 밝기 정보를 판별 기준으로 활용

2) 영상특성 정량화(Image Feature Extraction)

본 연구에서는 영상의 색상정보를 노면상태 판별에 반영하는 방법론을 분석에 추가한다. 색좌표의 표현 방법론은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 영상의 밝기 특성을 활용하기 위하여 HSI 색좌표 기반 판별 방법론을 검토한다. HSI 색좌표는 영상을 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Intensity)를 분할하여 표현하는 색좌표 모형으로서, HSI 칼라 모델은 사용자인 인간이

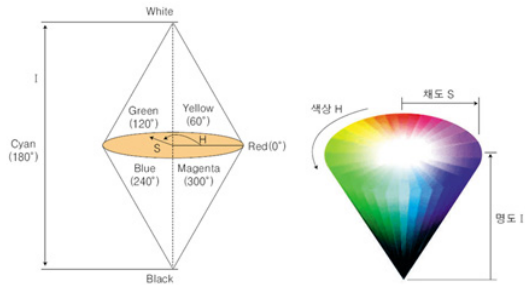


Figure 5. HSI color model

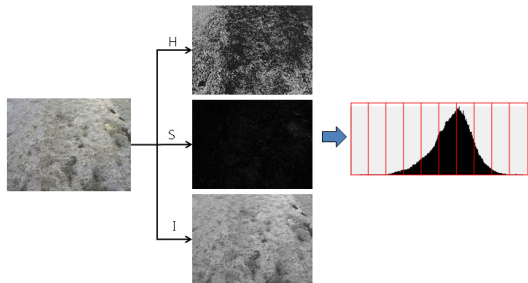


Figure 6. Color histogram from CCTV image

직관적으로 이해 가능한 영상 처리 알고리즘을 개발하기 위해 이상적인 도구로 영상에서 밝기 성분을 칼라 수반 정보(색상과 채도)로부터 분리할 수 있다.

본 연구에서는 HSI 색좌표계를 활용하여 화소별로 Intensity(I) 성분을 추출한다. 영상 전체에 대하여 추출한 I성분을 히스토그램(histogram)화하여, 이를 전역 특징벡터(global feature)로 활용한다. HSI 색좌표계에서 I성분의 분포는 0에서 1까지의 범위로 나타나며, 0은 검은색, 1은 흰색을 의미하여 밝은 영상의 I성분이 1에 가깝도록 정의되어 있다. 영상 히스토그램은 I성분 값을 수평축으로 하고 수평축의 밝기값에 대응하는 크기를 가진 픽셀수가 영상 안에 몇 개나 되는지 나타내는 빈도수(frequency)를 수직축으로 해서 만든 그래프다. 영상의 히스토그램화를 위하여 히스토그램의 수평축의 분할은 0.1단위로 설정, 총 10개의 bin으로 히스토그램을 구성한다.

한편, 본 연구에서 웨이블릿 변환을 활용한 질감분석 방법론은 선행연구(Lim et al.(2007))의 방법론을 준용하여, 영상을 8×8 픽셀 단위의 패치로 분할한 후 각각의 패치에 대하여 웨이블릿 패킷 변환을 적용하여 질감 특성을 반영한 판별과정을 구성한다.

3) 영상 특성 분류(Image Feature Classification)

노면상태의 최종 분류 단계에서 선행연구에서는 K-m

eans 클러스터링 알고리즘을 활용하였으나, K-means 클러스터링 기법은 클러스터링 이후 별도의 분류 기준을 적용하여 군집화된 결과값을 최종 분류결과로 매칭하여야 하는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 입력값에 대한 최종 판별결과가 확정되어 있고, 현장별로 다른 특성치(튜닝값)가 필요한 현장장비 운영 여건을 반영하여 교사 학습(supervised learning) 방법론인 SVM(Support Vector Machine) 기법을 최종분류 단계에 적용, 영상의 I성분 히스토그램 특성과 웨이블릿 패킷변환을 통해 추출한 웨이블릿 계수를 SVM으로 분류하여 노면상태 판별 모형을 생성한다.

SVM 기법은 패턴인식에 활용되는 분류기의 일종으로서, 다른 분류기법과 마찬가지로 오차(error)를 최소화하는 분류기준을 제시한다. 다만 SVM은 오차 외에 여백(margin)을 최대화하는 분류기준을 제시하여, 일반화를 극대화시킨 분류기준을 제시한다. 한편 SVM은 분리 경계가 복잡한 문제를 단순한 문제로 변환시키기 때문에 수학적인 분석이 수월하며, 적은 양의 학습 데이터만으로도 분류 성능이 우수한 것으로 알려져 있다.

SVM 분류기는 크게 선형 SVM과 비선형 SVM으로 구분할 수 있다. 선형 SVM은 분류함수를 선형함수로 가정한 후, 오류율을 최소화하면서 가장 큰 여백을 가지는 분류함수를 결정한다. 이 때, 이진분류를 위한 결정 초평면(분류함수)을 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$d(x) = W^T x + b = 0 \tag{1}$$

x 는 샘플을 나타내는 특징 벡터이며, $d(x)$ 는 전체 특징 공간을 두 영역으로 분할한다. 한 쪽 영역에 속하는 점 x 는 $d(x) > 0$ 이고, 다른 쪽에 있는 점은 $d(x) < 0$ 이다. W 와 b 는 결정 초평면을 정의하는 매개 변수이다. W 는 초평면의 법선 벡터로서 초평면의 방향을 나타낸다.

Figure 7에서 임의의 점 x 와 초평면까지의 거리는 식(2)와 같다.

$$h = \frac{|d(x)|}{\|W\|} \tag{2}$$

이 때, 직선으로부터 가장 가까운 샘플을 서포트 벡터라 부른다. 이는 여백의 크기를 좌우하는 중요한 역할을 한다. 초평면의 특성에 따르면 W 와 b 에 적절한 상수 c

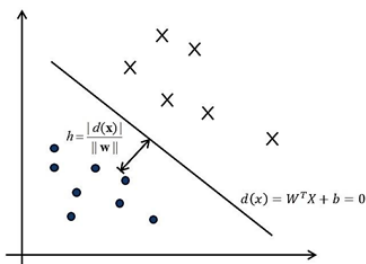


Figure 7. Linear SVM

를 곱해도 같은 초평면을 나타낸다. 이 특성에 따라 서포트 벡터 x 에 대하여 $|d(x)|=1$ 이 되도록 적당한 c 를 곱한다면 여백은 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$2h = \frac{2|d(x)|}{\|W\|} = \frac{2}{\|W\|} \tag{3}$$

훈련 집합을 $X = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n)\}$ 라고 표시할 때, n 은 훈련 집합에 있는 샘플의 개수이다. t_i 는 부류를 표시하는데 x_i 가 ω_1 에 속하면 $t_i = 1$ 이고 ω_2 에 속하면 $t_i = -1$ 이다. 모든 샘플을 옳게 분류한다는 조건 하에 최대 여백을 갖는 결정 초평면을 찾으려면 이들을 조건부 최적화 문제로 쓸 수 있다. 최적화 문제는 식(4) 조건하에 여백을 최대화 하는 것으로 식(4)가 성립하는 샘플이 서포트 벡터이다.

$$\begin{aligned} W^T x_i + b &\geq 1, \forall X_i \in w_1 \\ W^T x_i + b &\leq -1, \forall X_i \in w_2 \end{aligned} \tag{4}$$

한편 실제 알고리즘을 적용할 때, 선형 분류기만으로는 높은 성능을 얻기 매우 힘들다. 그래서 비선형 SVM을 추가적으로 사용하게 되는데 원래 특징 공간에서는 선형 분리 가능하지 않는데 이 공간을 더 높은 차원의 새로운 공간으로 매핑하여 선형 분리 가능하게 만들 수 있다. 이러한 별도의 매핑 과정을 비선형 SVM으로 정의한다. SVM은 2차원적으로 분류할 수 없는 벡터적 특성을 가지는 초평면을 지지하는 머신이다. 이러한 비선형성을 매핑하기 위해 SVM에서는 커널(kernel) 함수를 사용한다.

커널 함수는 선형적으로는 구분할 수 없는 초평면을 지수함수 등을 활용하여 구부리는 방법이다. 두 개의 벡터를 매개 변수로 취하며 $K(x, y)$ 형태를 갖는다. SVM

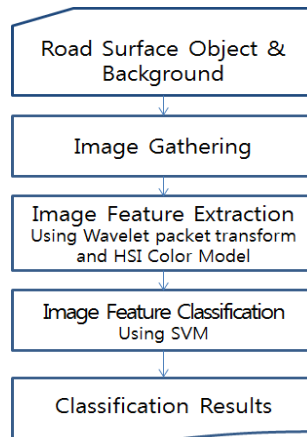


Figure 8. Road surface classification flow chart

커널 함수의 성질은 말 그대로 공간속에서 비선형 특성을 나타내는 핵심 함수가 되는 것이다. 커널 함수 $K(x, y)$ 는 다항식 커널(식(5)), RBF(Radial Basis Function) 커널(식(6))이 일반적으로 사용된다.

$$K(x, y) = (x \cdot y + 1)^P \tag{5}$$

$$K(x, y) = e^{-\|x - y\|^2 / 2\sigma^2} \tag{6}$$

이 중에서 본 연구에서는 RBF 커널함수를 적용하였다. RBF 커널함수는 노면 데이터를 지수 함수적 공간으로 사상(寫像)하게 되므로 구분하기 어려웠던 특징 데이터를 좀 더 쉽게 처리하고 구분할 수 있게 해 준다.

본 연구에서는 각 노면 상태 영상을 SVM을 통해 DB 영상을 학습시켜 각 노면 상태에 해당하는 모델을 만들어낸 후, 이 모델을 이용하여 실제 현장의 노면 상태를 분류한다. 이와 같은 과정을 정리하여 본 논문에서 사용된 알고리즘 흐름도를 정리하면 Figure 8과 같다.

영상 분석 및 특성 유효성 검증

앞에서 제시한 방법론에 대한 검증을 위하여, 현장 장비에서 2013년 10월에 취득된 영상을 활용한다. 각 영상은 육안에 의해 ‘마름’, ‘젖음’으로 구분된 이미지로서, 시스템에서 취득된 이미지 중 육안을 활용해 해당 노면 상태임이 분명하게 판별된 부분만을 선별하여 데이터베이스로 구축하였다. 각 4가지 노면상태별로 50장의 이미지(좌수직 우수평 영상 25장, 우수직 좌수평 영상 25

장)을 수집하여, 분석에 활용된 영상의 숫자는 총 200장이다. 세부적인 분석 과정은 다음과 같다.

- ① 주야간에 취득된 마른/젖은노면 영상에 대하여 편광계수를 산출, 마른노면과 젖은노면의 편광계수를 비교
- ② 주야간에 취득된 마른/젖은노면 영상에 대하여 웨이블릿 패킷 변환을 수행, 마른노면과 젖은노면의 산출결과를 비교
- ③ 주야간에 취득된 마른/젖은노면 영상에 대하여 성분 히스토그램을 작성, 마른노면과 젖은노면의 특성을 상호 비교

각 과정에 대한 분석 결과를 확인하면 다음과 같다.

1. 편광계수 관련 항목 검토

주간에 있어 편광계수는 젖은노면과 마른노면을 구분하는 확실한 지표가 됨을 실험 결과를 통해 확인할 수 있다. 하지만 야간에 있어 편광계수는 판별에 무의미함을 확인할 수 있다.

Table 2. Polarization ratio difference between wet and dry surface(Day(D)/Night(N))

Remark	wet(D)	dry(D)	wet(N)	dry(N)
Avg	1.57	0.98	0.99	0.97
Max	1.92	1.03	1.00	0.99
Min	1.41	0.96	0.98	0.91

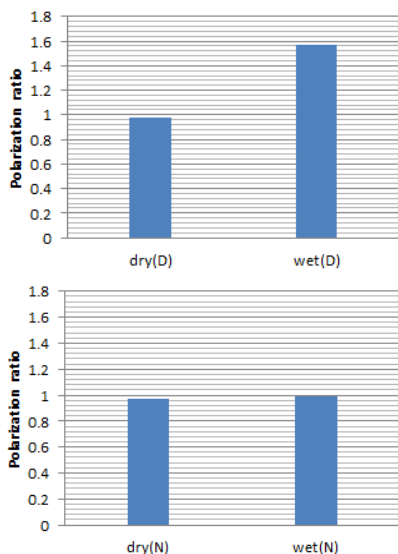


Figure 9. Polarization ratio for dry/wet road surface (Day(D)/Night(N))

2. 웨이블릿계수 관련 항목 검토

주/야간 환경에 있어 마른노면과 젖은노면의 웨이블릿 계수의 분포 및 경향성을 확인한다. 비교 방법론은 선행연구(Lim et al.(2007))의 방법론을 준용, 노면상태 별로 25장의 영상(좌수평우수직영상)에 대해 8×8 픽셀 단위 웨이블릿 패킷 변환을 수행, 산출된 웨이블릿 계수를 산술평균하여 노면상태 별 대표 웨이블릿 계수의 경향을 비교한다. 검토 결과, 야간에는 젖은노면의 DC성분(w1)이 주간보다 낮아지는 반면, 마른노면의 w1은 높아짐을 확인할 수 있다. 이는 육안 기반 판별결과에서 상대적으로 야간 젖은노면이 야간 마른노면에 비해 어렵게 나타난다는 점과 일치한다. 기타 고주파 영역에서 질감특성의 결과값은 주간에는 마른노면과 젖은 노면이 유

Table 3. Wavelet coefficient for dry/wet road surface (Day(D)/Night(N))

Remark	wet(D)	dry(D)	wet(N)	dry(N)
w1	717.89	902.56	609.99	1,094.7
w2	25.23	25.74	14.51	16.58
w3	10.70	10.86	7.26	8.54
w4	14.33	14.28	7.83	9.44
w5	1.29	1.28	0.84	1.00
w6	2.11	2.14	1.27	1.63
w7	4.22	4.19	2.95	3.49
w8	2.56	2.52	1.79	2.14

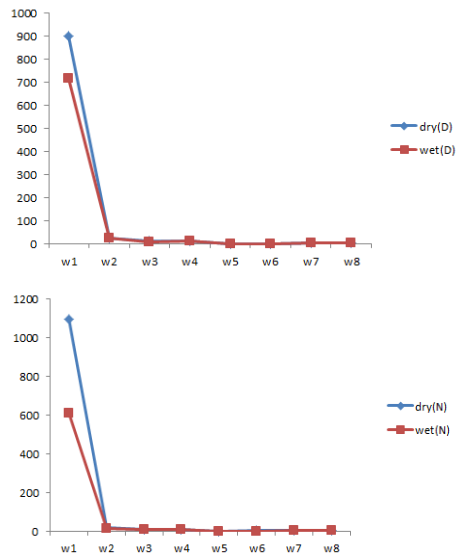


Figure 10. Wavelet coefficient for dry/wet road surface (Day(D)/Night(N))

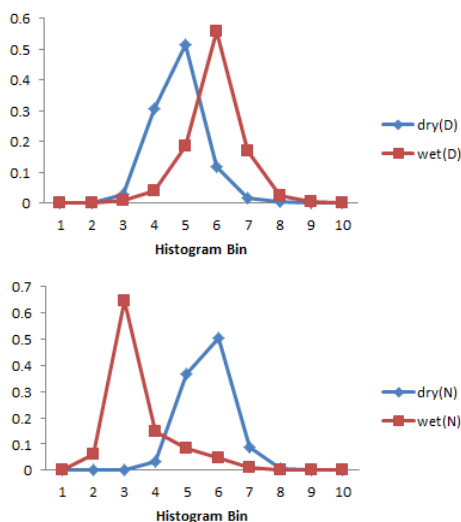


Figure 11. Intensity histogram for dry/wet road surface (Day(D)/Night(N))

사한 수치로 나타나는 반면, 야간에는 젖은 노면이 마른 노면보다 전체적으로 작게(약 85%) 나타나는 경향을 가진다.

3. I(Intensity)성분 히스토그램 관련 항목 검토

노면상태별로 25장의 영상(좌수평 우수직 영상)을 선정, 총 100장의 영상에 대해 III장에서 제시한 방법론에 따라 I성분의 분포도를 집계하여 표현한다. 집계 결과를 확인하면, 전체적인 명도 분포에 있어 주간에는 젖은노면 영상의 명도가 높은 반면, 야간에는 마른노면 영상의 명도가 높음을 확인할 수 있다. 특히 야간에는 마른노면과 젖은노면의 명도차이가 크게 나타남을 확인할 수 있는데, 마른노면을 구성하는 픽셀의 I성분은 5번과 6번 bin($I=0.4\sim0.6$)에 집중되는 반면 젖은노면을 구성하는 픽셀의 I성분은 3번 bin($I=0.2\sim0.3$)에 집중됨을 확인할 수 있다.

4. 영상분석 검토 결과

샘플영상을 활용한 영상처리 분석 결과, 육안을 바탕으로 가정하였던 방법론이 야간의 젖은노면을 판단함에 있어 유효함을 확인할 수 있다. 웨이블릿 패킷 변환을 통해 도출된 웨이블릿 계수를 활용하였을 때, 야간 젖은노면은 마른노면에 비해 전반적인 계수값이 작으나 특히

w1(DC성분)값이 작음을 확인할 수 있다. HSI 색상모델을 활용, I(명도) 성분에 대해 히스토그램을 생성하여 분석한 결과 야간의 마른노면과 젖은노면간에는 명도특성에서의 뚜렷한 차이점이 나타난다.

따라서 두 개의 고유한 특성은 CCTV 야간 투광기 영상을 활용하여 마른노면과 젖은 노면을 분류하는데 활용할 수 있을 것으로 판단되어, SVM 모델링을 통해 야간 젖은노면과 마른노면을 판별하는 분류 초평면(hyperplane)을 생성, 현장장비에 적용한다.

야간 젖은노면 판별 모델 적용 현장테스트

1. 샘플영상 활용 SVM기반 분류 초평면 작성

각 특성에 대하여 SVM 판별모형을 작성함에 있어, 다음과 같은 사항을 추가적으로 고려하였다.

- 판별을 위한 초평면(hyperplane) 작성 시, 웨이블릿 계수(w1-w8)와 I성분 히스토그램의 bin별 수치(bin1-bin10)을 동시에 고려하여, 18차원의 초평면을 작성함
- SVM 모형을 적용함에 있어, 높은 분류성능의 획득을 위하여 비선형(non-linear) SVM을 활용하였으며, 이때 커널함수(kernel function)으로는 RBF(Radial Basis Function) 커널함수를 활용

한편 SVM 모델에서는 판별에 활용되는 특징벡터를 정규화(normalization)하여야 판별 정확도가 향상된다고 알려져 있다. 이는 상호간에 간격이 다른 특징벡터를 일괄적으로 판별 기준에 투입할 때, 상대적으로 동일 클래스에서 큰 절대값 차이를 가지는 특징벡터의 영향력이 커지기 때문으로 해석 가능하다. 따라서 SVM에서의 정규화는 동일한 클래스에 속하는 데이터 포인트의 특징값 차이는 작게 하고 서로 다른 클래스에 속하는 데이터 포인트의 특징값 차이는 크게 함으로서 SVM의 일반화 오류를 줄여주는 기능을 한다(Lee and Heo(2013)). 본 연구에서는 특징벡터의 정규화를 위하여, 상대적으로 수치가 큰 웨이블릿 계수에 대하여 임의의 가중치를 설정하여 스케일을 조정한다. 각 클래스 별 평균값을 고려하여, w1에 1/1000, w2-w8에 1/20의 가중치를 곱하여 SVM 모델링에 적용한다. 입력 데이터의 가중치 조정을 통해 정규화된 웨이블릿 계수의 분포 및 경향성을 확인하면 Figure 12와 같다.

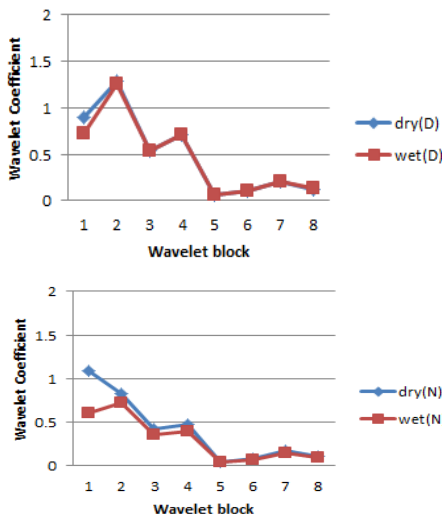


Figure 12. Wavelet coefficient for dry/wet road surface with normalization(Day(D)/Night(N))

2. 현장테스트 수행

가중치에 의해 조정된 웨이블릿 계수 및 I성분 히스토그램을 활용, SVM 기법을 적용하여 총 18차원으로 구성된 야간 노면상태 판별 기준 초평면을 실시간 현장장비 취득 데이터를 통해 검증하였다. 한국건설기술연구원 구내도로에 설치된 CCTV 현장장비를 활용한 본 테스트는 2013년 11월 14일에 수행하였다. 당일 일몰시간은 오후 5시 22분이었으며, 날씨는 11월 14일 오후 7시경부터 비가 내리기 시작하였으며, 인근 기상대(고양시 능곡기상대) 관측 자료로는 11월 14일 오후 8시부터 강수가 기록되었다. 한편 노면의 젖음 상태는 익일(11월 15일) 오후 1시경까지 계속 이어졌다. 노면상태가 마름에서 젖음으로 전이가 이뤄진 오후 7-9시의 총 2시간 동안 3분에 1회씩 자동적으로 취득된 영상(Figure 13)에 대한 테스트 결과는 Table 4와 같다.

테스트 결과, 야간 젖은노면 감지를 위해 도입한 신규 알고리즘의 정확도가 매우 뛰어난을 확인할 수 있다. 2013년 11월 14일 테스트 결과를 시간순으로 배열한

Table 4. Comparison for auto detection result and observation status about night image

	auto detection	observation
dry	23	23
wet	18	18
total	41	41

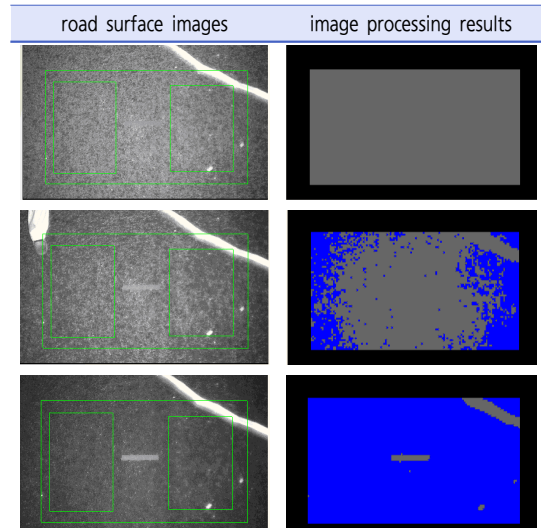


Figure 13. On-system test result with new algorithm

Figure 13의 오른쪽 'image processing results'에서, 회색영역이 마른노면, 청색부분이 젖은노면을 나타내며 부분으로서, 육안 관측결과 (왼쪽 '현장장비 촬영영상')와 비교하였을 때 높은 정확도를 나타냄을 확인할 수 있다.

결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 영상처리를 활용한 야간 젖은 노면 판별 방법론을 구현하였다. 지금까지 영상처리를 활용한 노면상태 판별 기법에 대해서는 주간 영상에 대해서만 검토가 이뤄졌으나, 본 연구에서는 야간에 취득된 노면 영상을 활용하여 노면의 마름/젖음을 판별하기 위하여 영상의 명도(I) 분포 및 웨이블릿 패킷 변환을 활용한 방법론을 제안하였다. 육안으로 판별한 영상의 특징에 영상처리기법을 적용하여 정량화시켰으며, 확인된 특징을 SVM 판별 분류기 기반 초평면으로 정량화시켜 현장 장비에 적용한 결과 매우 우수한 감지 성능이 확인되어, CCTV 야간 관제 모드에서 해당 방법론의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구의 향후 연구 과제로서 다음과 같은 항목을 제시한다. 첫째, 야간 컬러 관제상황에서의 젖은 노면 판별 방법론 개발이 필요하다. 현재 개발된 방법론은 야간 흑백 관제(투광기 기반) CCTV에서 활용 가능한 방법론으로서, 야간 컬러 관제(가로등 기반) CCTV에서 적용하기 위해서는 추가적인 방법론 검증이 필요할 것으로 판

