

## 웨이블릿 영상처리에 의한 도로표면상태 인식 및 분류

(The Recognition and Segmentation of the Road Surface State using Wavelet Image Processing)

한태환\* · 류승기 · 송원석 · 이승래\*\*

(Tae-Hwan Han · Seung-Ki Ryu · Wonseok Song · Seung-Rae Lee)

### 요 약

본 연구는 도로 관제 목적으로 사용 중인 가시 카메라(Visible Camera)를 사용하여 촬영한 도로표면 영상을 화상 인식 도로표면의 상태를 식별하는 방법과 기준을 제안하였다. 먼저, 입력 화상은 낮 시간대의 아스팔트 포장 도로면을 촬영하여 도로표면 상태의 화상을 만들었고, 편광 및 웨이블릿 변환(Wavelet transform)으로 도로 표면을 5가지의 상태(건조, 습윤, 수막, 적설, 동결)로 인식할 수 있는 분류기준절차를 연구하였다. 표면 화상 인식 과정은 편광계수(수직/수평 편광 비율) 값이 1.3 이상이면 젖은 땅으로 분류한 후, 다음으로 젖은 땅을 제외한 나머지는 웨이블릿 패킷 변환을 통해 시간-주파수 분석을 하였다. 또한 영상 템플릿을 이용하여 마른 땅과 빙판의 표준적인 주파수 특성을 분석하여, 마른 땅과 빙판을 구분하였다. 입력 영상에 대해서 제안한 도로표면상태의 인식분류 및 기준에 따라, 도로표면영상에서 마른 부분과 젖은 부분을 구분한 결과를 정리하였다.

### Abstract

This study focus on segmentation process that classifies road surfaces into 5 different categories, dry, wet, water, icy, and snowy surfaces by analyzing asphalt-paved road images taken in daylight. By using the polarization coefficients, the proportions of horizontally polarized components to vertically polarized components, regions with over 1.3 polarization coefficients are classified as wet surfaces. Except for wet surfaces, the decision process applies time-frequency analysis to other parts by using the third order wavelet packet transform. In addition, by using the average frequency characteristics of dry and icy surfaces from image templates, decide which is closer to a test image, and finally identify dry and icy surfaces. It is confirmed that the proposed estimation and segmentation of recognition on various images. This can be interpreted as an indication that image-only road surface condition supervision is probable.

Key Words : Wavelet packet transform, Polarization coefficient, Time-frequency analysis, Road surface condition, Image recognition

\* 주저자 : 명지전문대학 전기과 교수

\*\* 교신저자 : 씨큐솔루션 CTO

Tel : 010-3667-0940, E-mail : cqs0940@naver.com

접수일자 : 2007년 10월 25일, 1차심사 : 2007년 10월 31일, 2차심사 : 2008년 1월 3일, 심사완료 : 2008년 1월 10일

## 1. 서 론

현재는 모든 도로에 대해서 표면을 알 수 있는 특별한 방법이 없으며, 다만 가시 카메라가 설치되어 있는 지점을 육안으로 확인하거나, 특정 지점에 기상관측 장비를 설치하여 도로 표면 상태를 관측하는 것이 대부분이다. 이때 도로 표면을 관측하는 일반적이고 고전적인 방법이 도로 표면을 육안으로 감시하는 방법이며, 추가로 도로 표면의 상태를 실시간으로 감지하는 센싱 기술로서 도로표면에 센서를 매설하거나 비 매설 형태의 초음파, 레이더, 적외선 센서 등을 사용하기도 한다. 이러한 센싱 기술은 센서 설치에 따른 초기 비용과 유지관리비가 높고, 특정 지점에만 국한된다는 단점이 있다. 따라서 별도의 센서 설치 없이 기존 가시 카메라의 도로 영상을 분석하여 넓은 범위의 도로 표면 상태를 실시간으로 분석하는 방법을 검토하였다.

본 연구는 보편적으로 사용 중인 가시 카메라로 촬영한 도로표면의 화상을 인식하여 도로표면의 상태 정보를 생성하는 도로표면상태의 분류에 대해 연구하였다. 낮 시간대의 아스팔트 포장도로면에 대한 가시 카메라 화상을 촬영하여 도로 표면 상태의 화상을 확보하고, 편광계수 및 웨이블릿 변환으로 도로 표면을 5가지의 상태(마른 땅, 젖은 땅, 수막, 동결, 적설)로 인식하는 방법이다.

편광 특성을 이용한 노면 상태의 인식에 대한 방법이 있다[1]. 이러한 방법은 물 표면과 같이 반사율이 높은 물질에 빛이 입사한 경우 빛의 진동 방향에 따라 반사율이 달라지는데, 이 때 전체적으로 수직방향 성분의 빛이 수평방향 성분의 빛보다 반사율이 높다. 특히 입사각이 브루스터(Brewster)각<sup>1)</sup>으로 알려진 53° 이하가 되면 수평방향 성분의 반사율은 0에 가까워지게 되어, 편광 필터를 사용하여 노면을 촬영한 경우에 수직방향 필터를 사용한 사진과 수평방향 필터를 사용한 사진 사이에 반사광의 양이 큰 차이가 나게 된다. 반면 마른상태의 도로와 같이 반사율이 크지 않은 물질의 경우에는 수직방향 성분의 빛과 수평방향 성분의 빛 사이에 반사율의 차이가

크지 않다. 그러므로 편광 필터를 이용하여 사진촬영을 하더라도 수직방향 필터를 사용한 경우와 수평방향 필터를 사용한 경우의 사진에는 별 차이가 없게 된다. 따라서, 이러한 방법을 토대로 본 연구에 적용하기 위해 편광효과를 볼 수 있는 브루스터각으로 촬영한 입력영상을 사용하여, 편광계수가 높고 낮음에 따라 노면의 젖은상태와 마른상태를 구분할 수 있다는 점을 고려하였다.

또한, 웨이블릿을 이용한 텍스처 인식에 대한 연구는 3단계의 Discrete Wavelet Transform symlet-tab 20 filter<sup>2)</sup>를 이용하여 웨이블릿을 구현하고, 각 이미지의 블록에 대하여 여러 가지 특징을 추출하여 분류 성능을 평가하였다[2]. 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 연구는[3] 주파수영역의 에너지를 분석하여 가장 큰 에너지를 가진 주파수영역을 기준으로 분류하는 방법을 사용하므로, 전체 주파수영역을 균등 분할하여 모든 주파수가 동일한 분해 수준(Decomposition level)을 가지게 한다.

텍스처에 방향성이 있는 경우 서브 이미지 블록간의 웨이블릿 특성을 비교하는 것으로 회전된 텍스처의 경우 인식하기가 힘들게 되는데, 이를 해결하기 위한 연구로서는 이미지의 회전을 보정한 다음 텍스처를 인식하는 방법이 제안되기도 하였다[4].

그리고 텍스처의 형태에 따라 Segmentation<sup>3)</sup>하는 기술의 연구는[5] 웨이블릿을 이용하여 전체 텍스처를 인식하는 기술이다. 따라서 본 연구에서는 편광기술을 이용한 카메라 영상입력 신호와 웨이블릿 변환을 이용한 도로표면 상태감지에 대한 화상인식 결과를 토대로 도로표면상태 분류기준을 제안하고자 한다.

1) 완전 유전체의 표면에 수직 편파의 전파가 입사된 경우에 반사 계수의 절댓치가 0이 되는 입사각

2) Daubechies에 의해 제안된 웨이블릿 필터 중 하나로, 일반적인 Daubechies 필터에 비해 좀 더 Symmetry한 형태이며, 특성은 Daubechies 필터와 유사  
3) 임의의 영상을 여러 개의 구역(Region)으로 나누는 과정이며, 본 논문에서는 도로 표면 영상을 마른 땅, 젖은 땅, 수막, 빙판, 눈으로 나누는 과정도 Segmentation에 해당

## 2. 편광 효과 및 웨이블릿 변환

본 연구에서는 반사광의 양이 큰 영상이미지신호를 얻기 위해서 하나의 도로표면상태의 피사체를 디지털 카메라로 2개(수평편광필터와 수직편광필터를 장착한 각각의 영상이미지)의 영상이미지사진을 bit map (bmp)파일로 만들어서 사용했다[1]. 영상신호 처리에서 많이 사용되고 있는 웨이블릿변환과 주파수대역별로 구분하는데 사용되는 고속웨이블릿변환을 이용하였다[2-4]. 1개의 도로표면상태의 피사체를 가지고 반사광의 양이 서로 다른 영상입력이미지를 3단계의 Haar 웨이블릿 필터를 이용했다.

### 2.1 편광 효과

본 연구는 그림 2와 같이 입사각이 53[°]일 때 완벽한 편광 현상이 된다는 점을 착안하여, 편광을 잘 관측하기 위해 카메라의 화상이 지면과 약 37[°](연직방향과 53[°])를 유지하여 촬영하도록 하였다.

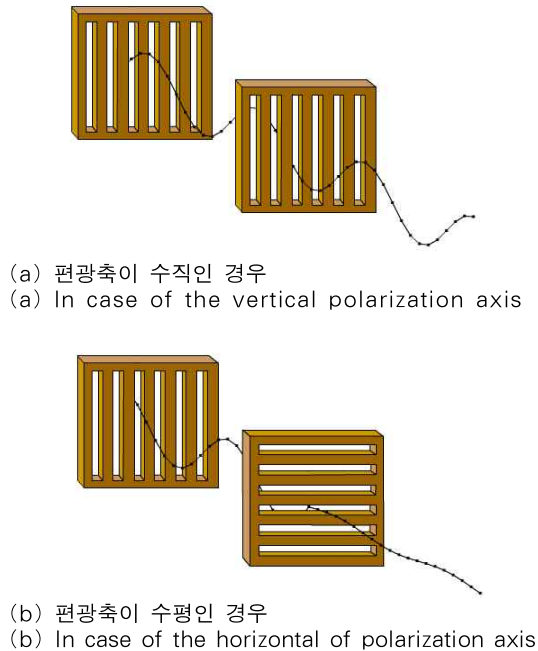


그림 1. 편광 효과  
Fig. 1. Polarizing effect

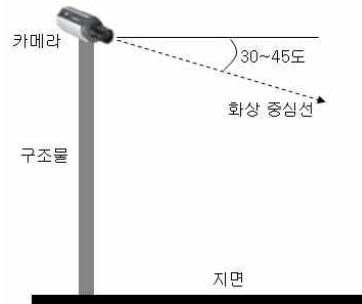


그림 2. 도로 표면 촬영 각도  
Fig. 2. Photographing angle of road surface

반사광의 강도를  $I$  라 한다면 반사광의 방향 성분  $I_s$ (수직 방향 성분)와  $I_p$ (수평 방향 성분)는 반사율  $R_s$ 와  $R_p$ 를 이용하여 다음의 식 (2.1)과 같이 나타낸다.

$$I_s = R_s \cdot I$$

$$I_p = R_p \cdot I$$
(2.1)

이를 이용하면 편광 비율( $H$ )를 다음의 식 (2.2)와 같이 정의한다.

$$H = I_s / I_p = R_s / R_p$$
(2.2)

마른 상태의 노면의 경우  $H=1$ 을 만족시키게 되고 젖어 있는 노면의 경우  $1 < H < \infty$ 를 만족시키게 된다.

따라서 편광 필터를 수직 방향으로 사용하여 촬영한 노면의 사진과 편광 필터를 수평 방향으로 사용하여 촬영한 노면의 사진을 비교하여 편광 비율( $H$ )을 구하면 표면이 젖어 있는 상태인지 마른 상태인지 구분할 수 있다. 젖어 있는 부분은 편광 비율이 높으므로 밝게 나타나고 말라 있는 부분은 편광 비율이 1에 가깝기 때문에 상대적으로 크기가 작아 어둡게 나타난다.

### 2.2 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 데이터나 함수 또는 연산자를 다른 주파수 요소들로 분할하는 방법으로 푸리에

(Fourier) 변환에 의한 신호처리방법보다 처리 속도가 빨라 최근에 영상처리 분야에 많이 응용되고 있다. 웨이블릿 변환은 식 (2.3)과 같이 표현하며, 여기서,  $s$ 와  $\tau$ 는 각각 크기(Scale)와 이동(Translation) 매개변수이다.

$$(T^{wavelet}f)(s, \tau) = W_{\psi}(s, \tau) = s^{-1/2} \int f(x) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dx \quad (2.3)$$

이때  $\psi$ 는 다음의 식 (2.4)를 만족한다고 가정한다.

$$\int \psi(x) dx = 0 \quad (2.4)$$

$\psi$ 로부터 팽창(Dilation)과 이동(Translation)에 의해 얻어진 웨이블릿(Double-indexed family of wavelet)으로 다음 식 (2.5)로 표현된다.

$$\psi_{s, \tau} = |s|^{-1/2} \psi\left(\frac{x-\tau}{s}\right) \quad (2.5)$$

웨이블릿 변환은 잠깐 나타나는 고주파 현상을 과도 신호(Transient in signal) 또는 함수의 특이점(Singularity) 같은 것을 잘 들여다 볼 수 있다는 것이 장점이다.

### 2.3 Haar 변환

Haar 변환은 분리가능하고 대칭이며 다음의 식 (2.6)과 같이 행렬형태로 나타낸다.

$$T = HFH \quad (2.6)$$

여기서,  $F$ 는  $N \times N$  이미지 행렬이고  $H$ 는  $N \times N$  변환행렬이며  $T$ 는  $N \times N$  변환행렬이다. Haar 변환과 변환행렬  $H$ 는 Haar 기저함수  $h_k(z)$ 를 갖는다.

$k=0, 1, 2, \dots, N-1$ 에 대하여  $z \in [0, 1]$ 이고  $N=2^n$ 으로 가정하고,  $k=2^p+q-1$ 인 정수  $k$ 를 정의 한다면, 이때  $p$ 와  $q$ 는  $0 \leq p \leq n-1$ 이 되고  $p=0$ 이면  $q=0$  또는 1이다. Haar 기저함수는 식

(2.7), (2.8)과 같다.

$$h_0(z) = h_{00}(z) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad z \in [0, 1] \quad (2.7)$$

$$h_k(z) = h_{pq}(z) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{cases} 2^{p/2}, & \frac{q-1}{2^p} \leq z \leq \frac{q-0.5}{2^p} \\ -2^{p/2}, & \frac{q-0.5}{2^p} \leq z \leq \frac{q}{2^p} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.8)$$

또한  $n=0, N=1, p=0, q=0$  일 때와  $n=1, N=2, p=0, q=1$  경우는 그림 3과 같이 표현된다.

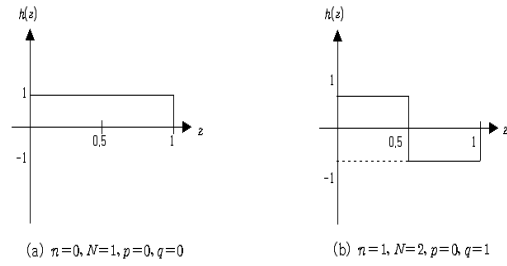


그림 3. Haar 변환  
Fig. 3. Haar transform

### 2.4 웨이블릿 패킷(Wavelet Packets)

고속 웨이블릿 변환은 하나의 함수를 주파수대역의 수열로 분해하는데, 저주파 성분들은 좁은 대역으로 고주파 성분들은 광대역으로 그룹을 이룬다. 고속 웨이블릿 변환은 함수를 더욱 유연하게 분해하도록 일반화 했다[6].

Two-scale 필터뱅크에서는 이진계보(Binary tree)로 나타낼 수 있으며, Root-node는 가장 높은 Scale 레벨의 근사 계수 (Approximation Coefficient)에 해당된다. 또한, Three-scale 해석 계보(Analysis Tree)는 다음의 식 (2.9)과 같은 확장 연산을 제공한다.

$$\begin{aligned} V_J &= V_{J-1} \oplus W_{J-1} \\ V_J &= V_{J-2} \oplus W_{J-2} \oplus W_{J-1} \end{aligned} \quad (2.9)$$

웨이블릿 영상처리에 의한 도로표면상태 인식 및 분류

$$V_J = V_{J-3} \oplus W_{J-3} \oplus W_{J-2} \oplus W_{J-1}$$

### 3. 도로표면상태 인식분류

#### 3.1 도로표면상태 분류

본 연구에서 제안하는 도로표면상태 인식분류 및 평가는 웨이블릿 변환과 편광필터의 특성을 동시에 적용한다. 영상 취득장치에서 얻어진 도로의 수직편광 영상과 수평편광 영상은 편광계수를 계산하는데 이용되며, 이 편광계수를 통해 도로의 표면 반사가

표 1. 도로 표면 상태의 구분  
Table 1. The segmentation of the road surface state

상태 구분		노면 상태
건 조(마른상태)		노면의 표면에 전혀 수분이 없는 상태
습 윤(젖은상태)		노면의 표면이 젖어 있는 상태
수 막(수분상태)		노면의 표면에 수분 층이 형성되어 있는 상태
적 설 (쌓인눈)	신 설	눈송이, 싸라기눈, 샤벳이 노면을 덮은 상태
	물 눈	물이 포화된 눈의 상태
	압 설	쌓인 눈이 밝혀서 굳어진 상태
동 결 (빙판)	압설 빙판	압설 표면이 한번 녹은 후에 얼은 상태(1[mm] 이상의 수막이 얼은 빙판을 포함)
	빙 막	노면상의 습윤 또는 얇은 수막이 얼은 상태

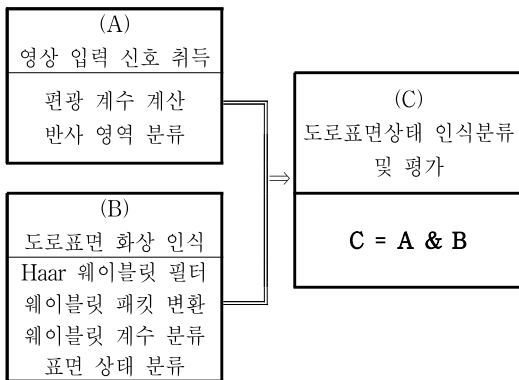


그림 4. 도로표면상태 인식 및 분류  
Fig. 4. The recognition and segmentation of the road surface state

큰 영역과 작은 영역을 구분하여 도로의 젖은표면을 분류하게 된다. 동시에 수평편광 영상은 웨이블릿 패킷 변환기를 통과하여 웨이블릿 계수를 얻는데 쓰이고, 이 계수를 이용하여 도로 표면의 상태를 분류함으로써 표 1과 같이 도로표면 상태를 구분하며, 본문에서 제안한 도로표면상태 인식분류 및 절차에 대한 내용을 그림 4에 나타내었다.

#### 3.2 입력 영상 취득

본 연구에서는 도로 표면영상을 디지털 카메라의 촬영화상을 취득하여 사용하였다. 우선, 편광필터를 이용하여 같은 장소에서 두 장의 서로 다른 편광(수평과 수직편광)영상을 얻어내야 하므로, 카메라를 고정하여 촬영하였으며, 카메라 높이는 1.6m, 도로면과 촬영 시선의 각도는 30~45도를 유지하였다. 도로 표면에서 반사되어 촬영되는 외부 광선이 37도의 브루스터(Brewster) 각에 가깝도록 하여 편광 효과를 보이는 각도로 촬영하였다. 이때 카메라의 렌즈는 사람이 눈으로 보는 것과 유사한 시야를 갖는 35[mm]를 사용하였다. 모든 영상은 그레이 스케일로 변환하여 이용하였다.

##### 3.2.1 편광 계수 계산

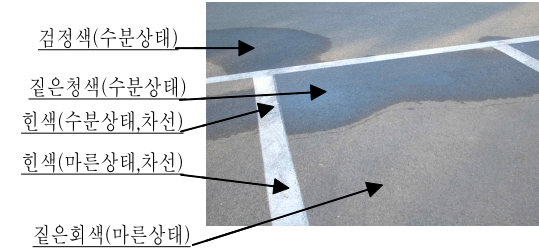
수직 편광 영상과 수평 편광 영상으로부터 얻어지는 편광 계수는 다음의 식 (3.1)과 같이 계산된다.

$$H = \frac{I_v}{I_h} \quad (3.1)$$

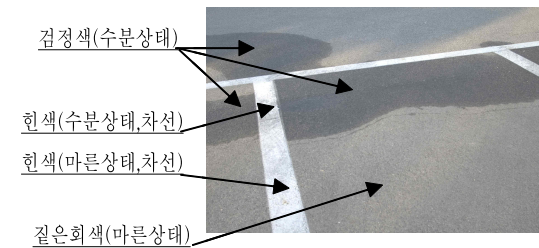
여기서,  $I_v$ : 수직편광성분  $I_h$ ; 수평편광성분이다. 편광 계수  $H$ 는 1에서 무한대 사이의 값을 가지게 되며, 편광 특성이 없는 도로의 마른 표면에서는 1에 가까운 값이, 도로의 젖은 표면에서는 1.5 이상의 값이 나오게 된다.

그림 5는 도로의 마른영역과 젖은영역이 명확하게 구분되는 영상의 예이다. 도로의 젖은 부분은 반사가 심하여 편광특성이 잘 나타나므로, 수직편광 영상에서는 밝게 나타나고 수평편광 영상에서는 어둡게 나타남을 볼 수 있다. 반대로 도로의 마른부분은 편광특성이 없으므로 수직편광 영상과 수평편광 영

상에서 차이가 거의 나타나지 않는다.



(a) 수직편광 영상  
(a) Image of horizontal polarization



(b) 수평편광 영상  
(b) Image of vertical polarization

그림 5. 주차장 도로 표면 영상  
Fig. 5. The road surface of a parking lot

### 3.2.2 반사 영역 분류

도로 표면상태 판별을 위해 편광계수를 특정한 문턱치(Threshold)  $\gamma$  로 설정하여, 보다 편광 계수가 작은 영역은 반사가 없는 영역, 보다 편광 계수가 큰 영역은 반사가 심한 영역으로 분류할 수 있다. 도로 표면의 반사가 적은 영역의 편광계수는 1 부근에 집중되는 반면, 반사가 심한 영역의 편광 계수는 넓은 범위에 걸쳐 분포하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 문턱치는 1에 가까운 값으로 결정되어야 올바른 분류가 가능하다.

그림 6은 그림 5의 두 화상을 이용하여 편광계수 히스토그램을 표현한 것이다. 1에 가까운 값의 빈도수가 매우 높고, 1.5 이상의 값이 넓은 영역에 걸쳐 분포하는 특징을 관찰할 수 있다. 여기서 1에 가까운 값들은 마른영역으로부터 계산된 값들이고, 나머지 부분은 젖은 영역으로부터 계산된 값이다.

그림 6은 실제 촬영된 화상을 통해 도로의 젖은 영역은 편광 계수가 크게 나타나고, 마른 표면은 반사

가 심하지 않아 1에 가까운 편광 계수를 나타냄을 관찰할 수 있다. 즉 편광계수를 이용하면 젖은 영역만 구분이 가능하다.

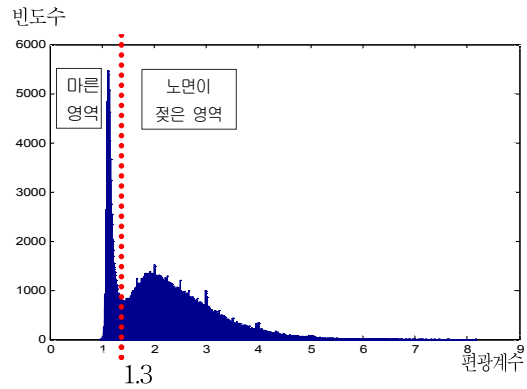


그림 6. 편광계수 히스토그램  
Fig. 6. The histogram of polarization coefficient

촬영된 영상을 대상으로 문턱치  $\gamma$  의 변화에 따른 반사영역 분류 실험을 한 결과 1.2~1.5의 값이 적당한 것으로 판단하였으며, 본 연구에서는  $\gamma$  값을 1.3으로 선정한 후 다음 과정을 수행하였다.

## 3.3 도로 표면 상태 인식 과정

### 3.3.1 웨이블릿 패킷 변환

본 연구에서는 웨이블릿 변환 결과를 단계적으로 비교하였다. 그림 5는 웨이블릿 패킷 변환 전의 영상으로 차선(백색) 부분은 비교적 뚜렷하여 대부분의 성분이 DC(Direct Current)에 모여 있다. 여기서 DC 값은 영상처리에서 이미지 전체의 평균값을 의미하며, 영상의 DC 성분이 크다는 것은 영상 전체의 평균값이 높고, 영상이 전체적으로 밝다는 것이다. Haar 웨이블릿 변환에서는 가장 낮은 주파수에 해당하는 웨이블릿 계수가 DC 성분이 된다. 즉, 마른 부분은 상대적으로 고주파 영역이 많은 아스팔트의 상태가 나타나고 있다. 그 중간의 젖은 부분은 그 중간의 특성을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다.

본 연구에서는 방향성이 없는 상태만을 다루고 있기 때문에, 웨이블릿 패킷 변환 결과에서 대각선 방

웨이블릿 영상처리에 의한 도로표면상태 인식 및 분류

향의 성분만 이용하도록 하였다. 차선의 영역은 DC 성분이 매우 높고, 그 외의 성분이 거의 존재하지 않으며, 젖은 부분은 차선영역에 비해 상대적으로 고주파 성분이 높으며, 마른 부분은 젖은 부분에 비해서 보다 많은 고주파 성분이 확인되었다.

### 3.3.2 웨이블릿 계수 분류

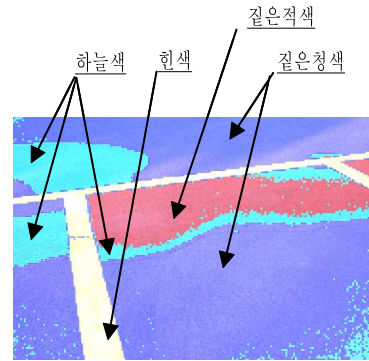
웨이블릿 패킷 변환 결과를 통해 각 4×4, 8×8, 16×16 블록마다 4, 8, 16차원의 웨이블릿 계수 벡터를 얻을 수 있다. 이 벡터를 k-means 클러스터링 기법을 이용해 5개의 클러스터로 분류한다. 이 후에 각 클러스터의 중심점을 마른 표면, 젖은 표면, 수막, 빙판, 쌓인 눈 등으로 대응시킴으로써 각각의 클러스터가 어떠한 도로 표면을 나타내고 있는지 판별하게 된다. 각 블록을 바로 표면 구분 과정에 이용하는 대신 이러한 분류 과정을 거침으로써 보다 안정적인 분류 성능을 얻게 된다. 그림 7은 그림 5를 분류하여 표면의 상태별로 구분한 결과이다.

결과에서 보듯이 표면 상태의 구분은 비교적 명확하게 색깔별로 각각의 영역을 뚜렷하게 구분시킨다. 그러나 각 클러스터가 마른 표면, 젖은 표면, 수막, 빙판, 쌓인 눈 중 어느 것에 대응하는지 구분하기는 쉽지 않다.

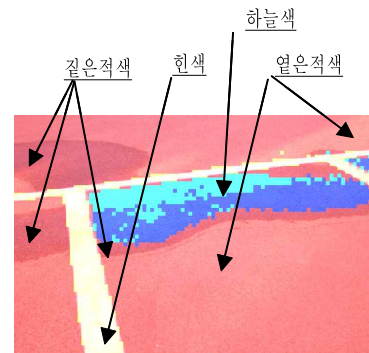
### 3.3.3 표면 상태 분류

분류 과정을 통해 분류된 각 클러스터가 마른 표면, 젖은 표면, 수막, 빙판, 쌓인 눈 중 어느 것에 속하는지 구분하기 위해서는, 먼저 각 표면의 웨이블릿 계수 특성을 파악할 필요가 있다. 이를 위해 촬영된 영상으로부터 각각의 표면 템플릿을 취득하여 그림 8에 나타내었다.

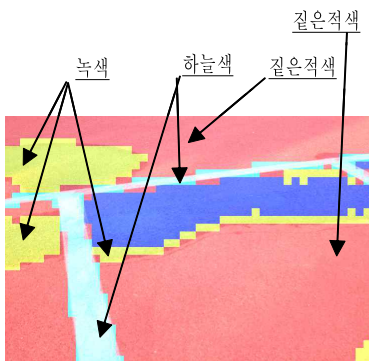
차선(백색) 영역은 DC 성분이 높고 나머지 성분은 거의 없다는 성질을 이용하여 템플릿을 통해 얻은 평균 웨이블릿 계수와 실제 클러스터 평균 계수 값의 거리를 계산하고, 젖은 표면과의 거리가 가까우면 젖은 표면으로, 마른 표면과 가까우면 마른 표면으로 구분하도록 하였다. 그림 9는 그림 7의 분류 결과에서 각 클러스터를 실제 차선(백색), 마른 표면, 젖은 표면 영역으로 구분하여 붉은색(분홍색), 청색, 노란색으로 표시한 결과이다.



(a) 2단계 웨이블릿계수 분류  
(a) Segmentation with 2 step wavelet

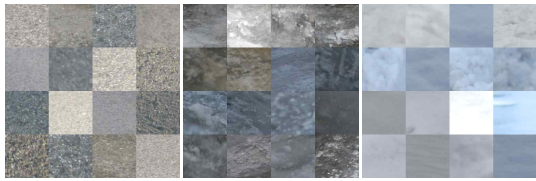


(b) 3단계 웨이블릿계수 분류  
(b) Segmentation with 3 step wavelet



(c) 4단계 웨이블릿계수 분류  
(c) Segmentation with 4 step wavelet

그림 7. 웨이블릿 계수 분류 영상  
Fig. 7. Segmentation image with wavelet coefficients



(a) 마른 표면 (b) 젖은 표면 (c) 차선 (흰색)  
 (a) Dry surface (b) Wet surface (c) Vehicle line (white color)

그림 8. 도로 표면 템플릿  
 Fig. 8. Templates of the road surface

3.3.4 도로표면상태에 따른 분류

편광 특성이나 주파수 특성(웨이블릿 변환) 하나만을 이용하여 도로 표면의 특성을 구분해내기는 어렵다. 따라서 편광 특성과 주파수 특성(웨이블릿 변환)을 동시에 고려하였다. 앞에서 언급한 것과 같이 도로표면의 상태인식은 웨이블릿패킷변환과 웨이블릿계수에 따라 서로 다른 영상의 색깔을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 표 1에서 도로 표면 상태를 5가지로 구분[마른 표면(건조), 젖은 표면(습윤), 수분층(수막), 쌓인 눈(적설), 빙판(동결)]해서 볼 때 3.2.2절의 편광계수적용과 3.3.1절의 DC성분과 고주파성분을 포함해서 아래의 표 2에 정리했다.

표 2. 도로 표면 상태에 따라 나타낸 편광특성과 웨이블릿변환 결과

Table 2. The result of wavelet & polarization character by road surface state

도로 표면 상태	편광 특성	웨이블릿 특성
수분층(수막)	편광 계수 > 1.3	고주파성분이 낮음
젖은 상태(습윤)	편광 계수 > 1.3	
마른 상태(건조)	편광계수 ≤ 1.3	상대적으로 고주파 성분이 높음
쌓인 눈 상태(적설)	편광계수 ≤ 1.3	DC 성분이 매우 큼
빙판 상태(동결)	편광계수 ≤ 1.3	상대적으로 주파수 성분이 고르게 분포

3.4 도로표면상태 인식 절차와 및 실험적 확인

도로표면상태분류를 위해 낮 시간대에 일반 디지털 카메라를 이용하여 같은 장소에서 수평과 수직필터를 사용해서 2장의 아스팔트 도로(주차장)에 대한 영상 이미지를 취득하였다. 도로표면의 여러 가지 상태의 영상사진들과 동일한 장소에서의 여러 가지 영상이미지들 중에서 육안으로 구분하기 쉬운, 주차장의 일부가 마르고 젖은 부분이 있는 영상이미지(그림 5)를 선별했다. 이를 실제 이미지로 사용해서 MATLAB 공학계산 소프트웨어 패키지를 이용함으로써 웨이블릿계수 분류영상(그림 7)을 얻었으며, 이 영상의 상태 분류 결과가 그림 9이다.

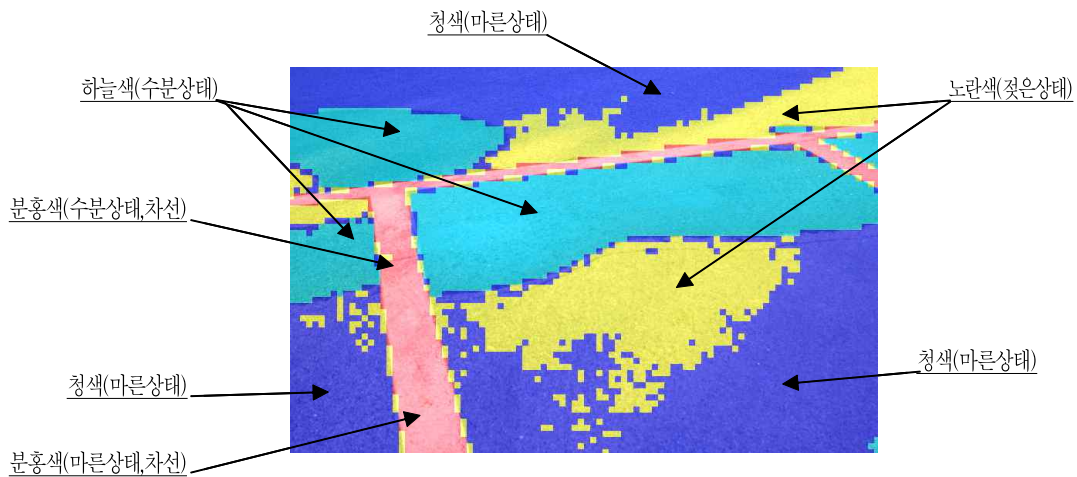


그림 9. 도로 표면 상태 분류 결과  
 Fig. 9. The segmentation result of the road surface state



웨이블릿 영상처리에 의한 도로표면상태 인식 및 분류

본 연구에서의 성과품이라고 할 수 있는 그림 9는 그림 5의 영상 입력신호를 그림 7의 웨이블릿 분류과정을 거쳐서 도로표면의 상태를 나타낸 것으로써 제안된 도로표면상태에 따른 분류에 준하여 도로 표면의 젖은 상태와 마른 상태 및 수분상태를 노란색과 청색 및 하늘색으로 인식한 결과이다. 여기에서 차선인 백색선은 분홍색으로 인식되었으며, 쌓인 눈의 색깔이 육안으로 볼 때 차선과 비슷한 백색임을 고려한다면 동일한 분홍색으로 인식되리라고 본다. 또한 빙판의 경우에는 동결된 상태에 따라 여러 가지 색으로 인식되리라고 미루어 짐작할 수 있을 것이다. 이는 카메라 영상만으로 도로 표면의 상태를 파악할 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 낮 시간대의 아스팔트 도로 이미지를 분석하였으며, 도로 표면을 마른 땅, 젖은 땅, 수막, 빙판, 쌓인 눈의 다섯 가지로 분류하는 기준을 제안하였다.

본 연구에서 나타난 문제점 중 하나는 도로 상의 차선이 흰색일 경우에 쌓인 눈과의 비교가 문제가 되고, 또 다른 하나의 문제점은 부정확한 젖은 표면의 구분으로써 도로상태의 구분에 따른 노면 상태 구분기준을 제안하는 것에 만족해야 했다. 일부 영상 확인에서는 차선 부위가 젖은 부분이 마른 영역으로 잘못 판별(색깔 인식)하는 것으로 나타났다. 차선의 경우 상황에 따라 젖은 땅, 마른 땅 등과 거의 유사한 편광 및 주파수 특성을 지니기 때문에 화상인식 결과로는 정확하게 구분하기가 어렵다. 또 다른 영상 확인에서는 젖은 부분을 과다하게 감지하는 경향을 볼 수 있는데, 어두운 색을 띠는 젖은 도로표면이나 물이 고여 있는 웅덩이가 있을 경우 편광특성이 명확하게 나타나지 않기 때문에 이러한 문제가 발생한 것으로 보인다. 이를 해결하기 위하여, 젖은 도로표면 감지를 위해 편광계수 뿐 아니라 정밀한 주파수 분석을 동시에 이용하여 젖은 표면이 빙판으로 오인식하는 것을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 아스팔트 포장도로를 대상으로 낮 시간대에 영상 확인했으나, 시간대별 및 기후에 따른 편광계수 특성에 대한 연구와 콘크리트 포장도로를 대상으로 한 연구, 날씨 변화 및 온도변화에 따른 인식률 변화에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다. 또한 화상으로 인식된 색상 분포에 따라 제안된 도로노면상태구분기

준에 준거해서 색상대비 노면상태를 표준화하고 이 색 상별 점유율에 따라 도로관리센터나 관리자에게 연계 해주는 시스템적이고도 실용적인 연구가 요구된다.

#### References

- [1] M. Yamada, T. Oshima, K. Ueda, I. Horiba, and S. Yamamoto A study of the road surface condition detection technique for deployment on a vehicle, JSAE, vol. 24, pp. 183~188, 2003.
- [2] S. Arivazhagan, L. Ganesan, V. Angayarkanni Color Texture Classification using Wavelet Transform, Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, ICGMA IEEE, 2005.
- [3] Moon-Cheun Lee, Chi-Man Pun Texture Classification Using Dominant Wavelet Packet Energy Features, Image Analysis and Interpretation, Proceedings, 4th IEEE Southwest Symposium, 2000.
- [4] Kourosh Jafari-Khouzani, Hamid Soltanian-Zadeh Radon Transform Orientation Estimation for Rotation Invariant Texture Analysis, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 27, NP. 6, 2005.
- [5] S. Arivazhagan, L. Ganesan, V. Angayarkanni Texture classification using wavelet transform Pattern Recognition Letters 24, 2003.
- [6] Wavelet Methods for Time Series Analysis by Percival and Walden, Cambridge University Press, 2000.

#### ◇ 저자소개 ◇

##### 한태환 (韓泰煥)

1956년 3월 18일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동대학교 대학원 졸업(석사). 1998년 충북대학교 공과대학원 졸업(박사). 2000년~현재 명지전문대학 전기과 교수.  
Tel : (02)300-1286, Fax : (02)300-1093  
E-Mail : thhan@mjc.ac.kr

##### 류승기 (柳承基)

1968년 1월 13일생. 1990년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1999년 충북대학교 대학원 졸업(박사). 1994년~현재 한국건설기술연구원 책임연구원.  
Tel : (031)910-0388, Fax : (031)910-0205  
E-Mail : skryu@kict.re.kr

##### 송원석 (宋沅錫)

1982년 6월 3일생. 2006년 서울대학교 전기공학부 졸업. 2008년 동 대학원 석사. 2015년 현재 동 대학원 박사과정 재학 중.  
E-Mail : metropolis-2@daum.net

##### 이승래 (李承來)

1954년 8월 2일생. 1991년 독일 아헨공대 수학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사(Diplom Mathematiker). 1997년 동 대학원 박사(DR. RER. NAT.) 1998년~2003년 서울대학교 Post Doc 및 BK21연구원. 2003년~2006년 서울대학교 계약교수 역임. 2006년~2010년 주식회사 제이펄거 대표 역임. 2011년~현재 씨큐솔루션 CTO.  
E-Mail : cqs0940@naver.com