

# 표면의 반사 특성을 이용한 타이어 정보 마크의 추출

## Extraction of Tire Information Markings Using a Surface Reflection Model

하 종 은, 이 재 용, 권 인 소  
(Jong-Eun Ha, Jae-Yong Lee, In-So Kweon)

**Abstract** : In this paper, we present a vision algorithm to extract the tire information markings on the sidewall of tires. Since the appearance of tire marks is the same as its background, a primary feature to distinguish tire marks from their background is the roughness. Generally, the roughness of tire marks is different from that of its background: the surface of tire marks is smoother than the backgrounds. Light incident on the tire surface is reflected differently according to the roughness. For smoother surfaces, the surface irradiance is much stronger than that of rough surfaces. Based on these phenomena and observation, we propose an optimal illumination condition based on Torrance-Sparrow reflection model. We also develop an efficient reflectance-ratio based operator to extract the boundary of tire marks. Even with a very simple masking operation, we were able to obtain remarkable boundary extraction results from real experiments using many tires. By explicitly using the surface reflection model to explain the intensity variation on the black tire surface, we demonstrate that a physics-based vision method is powerful and feasible in extracting surface markings on tires.

**Keywords** : tire markings, surface reflection model, reflectance ratio

### I. 서론

타이어의 정보를 자동으로 인식하는 시스템은 여러 방법으로 연구되어질 수 있다. 바코드 레벨 부착 방법, 타이어 표면 위에 정보를 나타내는 코드를 프린트하는 방법, 형광 물질을 양각부에 칠하는 방법 등의 여러 방법들이 제시되었으나 이러한 방법들은 새로운 공정의 추가, 기술적 어려움 등 많은 문제점을 안고 있다[1]. 따라서 새로운 공정을 추가하지 않는 자동화 방안으로 컴퓨터 비전을 이용하여 타이어 표면 위에 새겨진 마크의 특징을 화상처리하는 방법을 제안할 수 있다. 타이어 화상에서 정보를 담은 마크의 특징을 화상처리를 이용하여 안정되게 추출하는 방법은 다음과 같은 타이어 표면상의 문제점으로 인하여 어려운 문제이다.

- 1) 정보를 나타내는 양각된 표면과 그 배경은 동일한 재질(고무)과 색깔(검은 색)을 가지며 입사되는 빛의 미량만 반사한다.
- 2) 타이어의 주 원료인 고무와 미량의 화학물이 첨가되어 만들어지는 타이어 표면은 인접 영역 간 조도의 불균일과 잡음성분을 포함하고 있다.

최근에는 퍼지 이론을 사용하고 라인 CCD 카메라를 이용한 문자부 추출 알고리즘도 발표되었다[2]. 또한 정보의 방향성을 고려하여 라인 추출 연산자를 4 가지 경우로 적용하여 타이어 화상에서 문자부를 추출하는 방법도 제시되었다[3]. 이러한 연구 방법들은 타이어 정보를 보다 안정되게 추출하는데 있어서 안정된 화상을 얻기 위한 고가의 CCD 카메라를 사용하거나 소프트웨어적인 해결 방법을 강조하였다. 근본적으로 정보의 특징 추출에 근거가 되는 화상에서의 밝기차의 생성 원인에 대한 반사 모델에 대한 이론적 고찰과 이러한 밝기차를 주변 조명 장치 환경으로부터 최대한 강조시켜 타이어 정보를 그 배경으로 부터 쉽게 분리시킬 수 있는 조명 조건에 대한 내용은 부족하였다.

본 논문에서는 화상처리 이전의 단계, 즉 가장 양질의 입력 화상을 얻기 위한 조명 조건과 타이어 표면에서의 반사

현상에 대한 기본적인 이해를 바탕으로 타이어의 양각부와 배경에 대해 Torrance-Sparrow 반사 모델을 적용한다. 이 반사 모델을 이용한 타이어의 문자 정보 추출을 위한 간단한 새로운 연산자를 제안하며 이 연산자를 사용하여 타이어 문자인식의 전단계에서 양호한 문자 영상 추출이 가능함을 보인다. 이를 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 내용에 대한 연구를 통하여 타이어 화상처리의 문제를 극복하고 보다 안정된 형태로 정보의 특징이 추출될 수 있는 방안을 제시한다[4].

- 1) 타이어의 양각부와 배경에 대한 Torrance-Sparrow 반사 모델 적용 및 이를 이용한 양질의 화상을 얻기 위한 조명 조건 제시.
- 2) 제안된 조명 조건과 반사 모델을 이용한 연산자의 구현 및 타이어에 새겨진 문자 정보의 추출을 통한 검증.

### II. 반사 모델

화상에서 물체를 나타내는 한 점의 밝기값은 영상 획득시의 조명, 카메라와 대상물체와의 기하학적 조건뿐만 아니라 해당되는 물체의 특성(표면 거칠기, 파장에 따른 reflectance)과 밀접한 관계를 갖게 된다. 따라서 화상의 밝기 값을 예측하고 해석하는 것은 반사 과정에 포함된 다양한 메커니즘에 대한 이해를 필요로 한다. 영상 처리 분야에서는 물리 광학에 기반한 Beckmann-Spizzichino 모델과 기하 광학에 기반한 Torrance-Sparrow 모델이 널리 사용되고 있으며 [5][6], Beckmann-Spizzichino 모델은 평활한 표면부터 거친 표면에까지 일반적으로 사용될 수 있는 모델이나 실제 적용시 계산의 어려움이 뒤따르며, Torrance-Sparrow 모델의 경우 상대적으로 거친 표면, 즉 아래의 (1)을 만족하는 경우에 성립한다[5].

$$\frac{\sigma_m}{\lambda} > 0.025 \quad (1)$$

여기서  $\sigma_m$ 은 rms 표면 거칠기를  $\lambda$ 는 파장을 나타낸다. 실제 적용시 계산이 용이하다는 장점때문에 본 연구에서는 Torrance-Sparrow 반사 모델을 사용한다. 실제로 연마 과정을 거친 렌즈등의 표면 거칠기가 smooth하다고 볼 때 본

논문에서 사용한 타이어의 표면 거칠기 정도는 Torrance-Sparrow 모델을 적용할 수 있는 범위의 거칠기이다.

2.1 경사분포에 의한 표면의 모델링

표면에서 반사된 빛은 표면의 미세한 구조에 따라 그 반사 특성을 달리한다. 이를테면 경면에서 반사된 빛은 빛이 산란되지 않고 표면의 법선 방향을 중심으로 광원의 입사각과 대칭되는 방향으로 반사된다. 그 반면 거친 표면에서 반사된 빛은 여러 방향으로 빛이 산란되어 반사하게 된다. 그림 1과 같이 표면은 미소 평면으로 구성된 작은 면의 집합으로 나타낼 수 있고 전체 면은 평균 법선 벡터  $n$ 을 가지며, 각 미소 평면은  $n$ 에 대하여 각도  $\alpha$ 만큼 벗어난 각각의 법선 벡터를 가진다(그림 1).

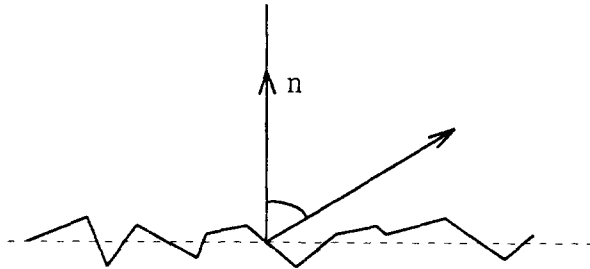


그림 1. 미소 면적들로 구성된 표면 모델.  
Fig. 1. Reflection model consisting of micro facet.

여기서  $\alpha$ 는 미소 평면의 경사를 나타낸다. 표면의 형태는  $\alpha$ 를 랜덤 변수로 가정함으로써 나타낼 수 있다. 만약 표면이 등방성이라면  $\alpha$ 의 확률 분포는 평균 표면 법선  $n$ 에 대하여 회전 방향으로 대칭성을 갖게 된다. 따라서  $\alpha$ 의 분포는 일차원 함수로 표현된다. 일 예로  $\alpha$ 는 평균값  $\langle \alpha \rangle = 0$ 이고, 표준 편차  $\sigma_\alpha$ 을 가진 정규분포로 표현할 수 있다[6].

$$p_\alpha(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\alpha} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}} \quad (2)$$

여기서  $\sigma_\alpha$ 는 표면 거칠기를 나타낸다.

2.2 Torrance-Sparrow 반사 모델

Torrance-Sparrow 모델은 표면형상을 설명하는데 경사분포 모델을 사용하였고 표면을 미소 평면의 집합으로 가정하여 이러한 미소면들은 경면 반사를 나타낸다 하였다. 그림 2에서 미소 표면적  $dA_s$ 는 좌표축 원점에 위치하며 원점의 법선 벡터는 Z축 방향을 가리킨다. 빛이 X-Z 평면 상에서 표면으로 각도  $\theta_i$ 로 입사될 때  $(\theta_r, \phi_r)$ 방향의 표면 방사도(radiance)를 고려하면, 단지 입체각  $d\omega$ 안에 법선 벡터를 가진 미소면들 만이 입체각  $d\omega$ 안으로 경면 반사를 나타낸다. 구 좌표계에서 삼각함수를 사용하여 입사각  $\theta_i$ 와 미소 반사면의 경사  $\alpha$ 는 다음과 같이 각도  $\theta_i, \theta_r, \phi_r$ 로 나타 낼 수 있다[5].

$$\theta_i = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta_r \cos \theta_i - \sin \theta_r \sin \theta_i \cos \phi_r}{\sin \theta_r \sin \theta_i} \right) \quad (3)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta_i \cos \theta_i + \sin \theta_i \sin \theta_i \cos(\sin^{-1}(\sin \phi_r \sin \theta_r / \sin 2\theta_i))}{\cos(\sin^{-1}(\sin \phi_r \sin \theta_r / \sin 2\theta_i))} \right) \quad (4)$$

보다 일반적으로 하기 위하여 Torrance-Sparrow는 표면 내부의 산란 현상의 결과인 diffuse 반사를 설명하기 위해

Lambertian 모델을 추가하였다. 그러므로 거친 표면에서 미소면 경사가 표준편차  $\sigma_\alpha$ 이고 정규분포를 따를 때 에너지 입사각이  $\theta_i$ 인 표면에서  $(\theta_r, \phi_r)$ 방향의 방사도  $L_r$ 은 다음과 같다[5].

$$L_r = k_{diff} \max[0, (L_i d\omega_i \cos \theta_i)] + k_{spec} \frac{L_i d\omega_i}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}} \quad (5)$$

여기서  $L_i$ 는 광원의 방사도이며  $k_{diff}$ 과  $k_{spec}$ 은 각각 diffuse 와 specular 과정으로 반사되는 입사 에너지의 비를 나타낸다.

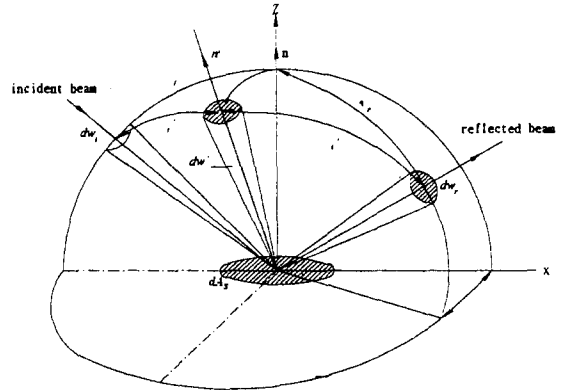


그림 2. Torrance-Sparrow 모델의 좌표계.  
Fig. 2. Coordinates of torrance-sparrow reflection model.

III. 타이어 표면의 반사 특성

타이어 표면의 반사 특성을 구하기 위하여 조명의 입사각과 카메라의 반사각을 변화시키며 타이어 표면의 밝기 값을 측정 후 측정된 데이터를 통하여 타이어 표면의 거칠기에 의한 경면 반사 특성을 분석하였다. 또한 일반적인 Torrance-sparrow 모델을 타이어 표면에 적용하여 측정된 밝기 값으로 타이어 표면을 모델링하여 반사 모델을 얻는다 [7].

3.1 광원의 선택

모델링 이전에 본 연구에서는 광원의 종류에 대한 선택이 첫 번째 중요한 과정으로 인식되었다. 따라서 표면의 반사율을 측정하는 실험을 수행하였다. 실험은 입사되는 광원의 입구와 반사광의 출구를 제외한 밀폐된 용기 내부에 타이어 시편을 놓고 입사광의 각도를 0°로 하여 반사율을 측정하였다.

입사광의 파장을 200nm 부터 2,000nm 까지 10nm씩 파장을 변화시켜가면서 측정된 결과 그림 3에서 보는 것과 같이 타이어 표면의 반사율 측정에서는 측정된 각 파장에 대하여 타이어 표면은 일정한 반사율을 나타내었다. 또한 5.77%의 평균 반사율 값을 통하여 타이어 표면으로 입사되는 빛의 대부분은 표면 내부로 흡수되는 것을 알 수 있다.

따라서 화상처리 시스템으로 타이어 표면에서 정보의 특징을 추출하는데 있어서 특정 파장대에 강한 광원을 선정할 필요는 없다. 본 연구에서는 가시광선 영역에서 고르게 빛을 방출하는 할로겐 램프를 사용하였으며, 본 연구에서 사용한 할로겐 램프는 최대 출력이 300W이며 밝기 값의 조정이 가능하도록 제작하였으며 램프 앞 단에 렌즈 기구부를 두어 평행광을 만든 후 이를 타이어 표면에 조사함으로써 일련의 실험을 수행하였다. 집광을 하지 않고 타이어 표면

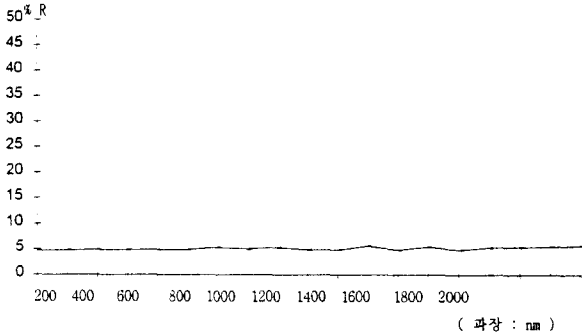


그림 3. 타이어 표면의 반사율.  
Fig. 3. Reflection rate of tire surface.

에 직접 조사하는 경우 타이어 표면의 반사율이 5.77%이므로 영상의 질이 떨어지게 된다.

3.2 타이어 표면의 반사 모델

양각부와 양각부 배경에 일반적인 Torrance-Sparrow 기하광학 모델을 적용하여 각 표면의 반사 모델을 구한다. 광원의 위치가 입사각  $\theta_i$  일 때 (5)에 의해 카메라 측정각  $\theta_r$ 로 나타내는 반사모델 식은 다음과 같다.

$$L_r = k_{di} \cos \theta_i + \frac{k_{si}}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}} \quad (6)$$

타이어 표면의 밝기 값 측정에서 입사광의 광 축과 표면의 법선 방향과 카메라의 광 축을 일치시켜 한 평면상에 있도록 설치하여  $\theta_r = 0$ 이 되게 하였다. 따라서 (3), (4)에 의하여

$$\alpha = \frac{\theta_i + \theta_r}{2} \quad (7)$$

이 된다. 반사 모델을 나타내는 (6)은 3 가지 미지수  $k_{di}$ ,  $k_{si}$ ,  $\sigma_\alpha$ 에 대하여 서로 비선형이다. 따라서, (6)에 대한 일반 해를 구하는 것은 어려운 문제이다. 본 연구에서는 표면 거칠기  $\sigma_\alpha$ 값의 범위를 미리 상수로써 가정할 수 있으므로 (6)은  $k_{di}$ ,  $k_{si}$ 에 대한 선형 방정식으로 바뀌게 된다. 따라서 (6)에서 diffuse 성분의 계수와 specular 성분의 계수 값은 타이어 표면에서 측정된 밝기 값 ( $L_r$ )과 광원의 입사각  $\theta_i$ 와 카메라의 반사각  $\theta_r$ 을 대입하고  $\sigma_\alpha$ 를 변화시켜 가며 모델 값과 타이어 표면에서 측정된 밝기값을 Least Mean Square Error Fitting 방법을 사용하여 가장 작은 오차(밝기 값)를 나타내는 모델의 계수  $k_{di}$ ,  $k_{si}$ 과  $\sigma_\alpha$ 를 선정하였다.

1) 양각부의 반사 특성

타이어 표면의 반사 특성을 결정하기 위하여 그림 4와 같은 조명 장치를 사용하였다. 광원과 카메라의 위치를 타이어 사이드 월의 곡률에 따른 법선 방향과 일치시키기 위하여 광원과 카메라를 지지하는 프레임의 앞, 뒤로 움직일 수 있게 하였으며 광원의 입사각  $\theta_i$ 와 카메라의 반사각  $\theta_r$ 을 좌, 우로 조절할 수 있게 프레임의 모양을 반 구형태로 설계하였다.

그림 5에 양각부 표면에 대한 반사 특성 실험 결과를 나타내었다. 실험은 양각부 표면과 그 배경 표면에 대하여 수행하였다. 각 표면의 법선 방향인 원점을 중심으로 카메라의 거리 160mm, 광원의 거리를 300mm로 고정시키고 카메라의 각도가  $-20^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $-40^\circ$ 인 경우에 대하여 각각 광원의 입사각을  $0^\circ$ 에서  $+70^\circ$ 까지  $10^\circ$ 간격으로 변

화시켜 가며 화상에서의 밝기 값을 측정하였다. 측정 값은 타이어 표면의 불 균일한 조도 분포를 고려하여 화상의 동일한 좌표에서 직선으로 10 픽셀 밝기값들을 평균하여 구하였다.

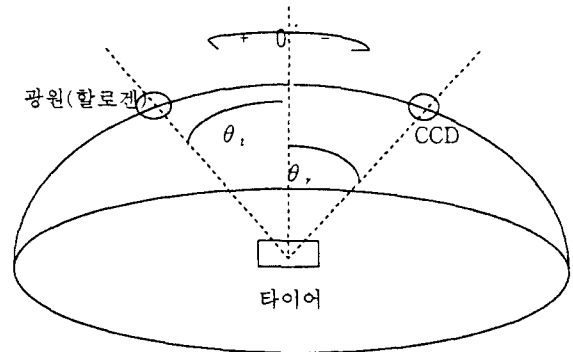


그림 4. 타이어 표면 반사 특성을 결정하기 위한 조명 장치.

Fig. 4. Experimental setup for determining tire surface's reflection characteristics.

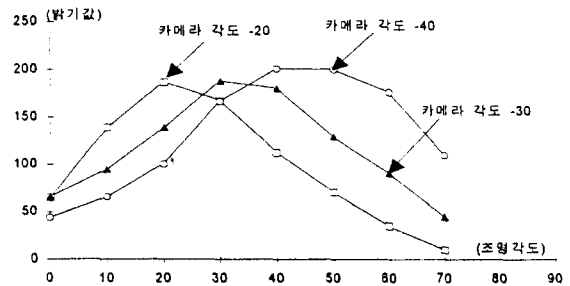


그림 5. 양각부의 반사 특성.

Fig. 5. Reflection characteristic of tire marking.

이러한 실험 결과와 앞서 언급한 반사 모델의 파라메타 값들을 구하는 방법을 통하여 양각부 표면에서 얻어진 반사 모델 식은 다음과 같다.

$$L_r = 0.121 \cos \theta_i + \frac{164.485}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}} (\sigma_\alpha = 9.85) \quad (8)$$

2) 양각부 배경의 반사 특성

그림 6은 양각부 배경에 대한 반사 특성 실험 결과이다. 실험 결과와 반사 모델의 파라메타 값들을 구하는 방법을 통하여 양각부 배경에서 얻어진 반사 모델 식은 다음과 같다.

$$L_r = 0.129 \cos \theta_i + \frac{105.892}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma_\alpha^2}} (\sigma_\alpha = 11.49) \quad (9)$$

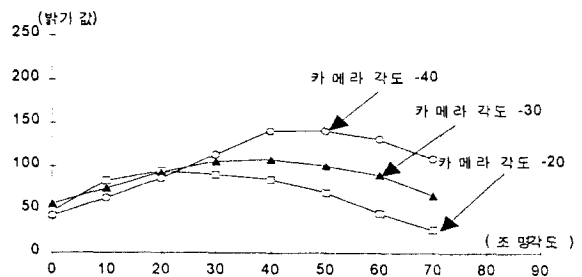


그림 6. 양각부 배경의 반사 특성.

Fig. 6. Reflection characteristic of tire marking's background.

3) 양각마크 특징 추출의 조건

양각부 표면의 반사 모델 (8)과 양각부 배경의 반사 모델 (9)를 통하여 양각부와 그 배경에서 diffuse 성분과 specular 성분 각각의 구성 비율이 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다. 즉 두 표면에서 반사되는 빛은 타이어 표면 내부에서 빛의 산란 현상에 의한 diffuse 성분이 무시할 정도로 적고 표면 거칠기에 의한 specular 성분이 대부분을 차지한다. 이러한 결과는 양각부나 그 배경이 동일한 재질로 만들어짐으로 예상된 결과이기도 하다. 그러나 그림 5와 그림 6을 통하여 두 표면의 거칠기 차에 의하여 양각부와 그 배경의 반사 특성은 다르게 나타남을 알 수 있다. 즉 양각부 배경의 표면상태보다 더 매끄러운 양각부 표면은 specular 방향 ( $\alpha=0, \theta_i=-\theta_r$ )에서 배경의 밝기 값과 비교하여 가장 큰 밝기차를 나타내며  $\alpha \neq 0, \theta_i \neq -\theta_r$ 인 방향에서는 배경의 밝기 값과 비교하여 밝기차는 점차 감소된다. 따라서 양각부와 그 배경의 밝기차에 의하여 양각된 정보의 특징을 추출하기 위해서는 광원과 타이어 정보를 나타내는 양각부 및 카메라가 동일 평면상 ( $\phi_r=0$ )에 위치하여 specular 성분을 검출하는 조명 장치가 필요하며 광원의 각도와 카메라의 각도는 양각부 표면의 법선 방향을 중심으로 좌,우 같은 각도 즉,  $\alpha=0, \theta_i=\theta_r$ 로 일치시킬 때 양각부와 그 배경의 밝기 값이 가장 큰 차이를 나타내는 최적의 조명 조건이다. 앞 절에서 제안된 조명 장치를 이용하여 양각 마크의 특징을 추출하기 위한 최적 조명 조건 ( $\alpha=0, \theta_i=\theta_r$ )인 광원의 입사각  $+10^\circ$ , 카메라의 반사각  $-10^\circ$ 에서 얻은 타이어 화상을 그림 7에 나타내었다.

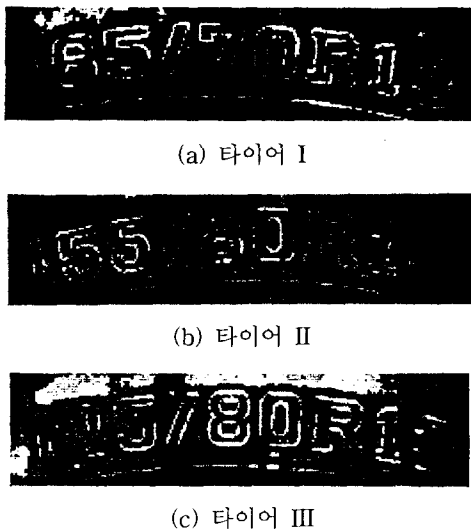


그림 7. 최적 조명 조건의 타이어 화상.

Fig. 7. Tire image acquired at optimal illumination condition.

IV. 반사 모델을 이용한 타이어 문자 추출

3장에서 양각부와 그 배경의 반사 특성을 이용하여 얻어진 반사 모델 식은 양각부의 반사 모델 (8)과 양각부 배경의 반사 모델 (9)이다. 두 반사 모델의 diffuse 성분의 albedo 값과 specular 성분의 albedo 값들은 입사 되는 조명의 밝기에 따라 변하게 된다. 따라서 입사 되는 광원의 밝기 변화에 무관하게 양각부 배경에 대하여 양각부를 구분하는 방법으로 두 모델의 ratio를 고려할 수 있다.

$$ratio = \frac{L_{r1}}{L_{r2}} \quad (10)$$

양각부의 반사 모델 식을 나타내는 (8)과 양각부 배경의 반사 모델 식을 나타내는 (9)에서 화상의 밝기 값에 큰 영향을 미치는 specular 성분에 비해 그 영향이 미소한 diffuse 성분을 무시하였을 때, (10)에서 광원의 입사각과 카메라의 반사각이 specular 방향 ( $\alpha=0, \theta_i=\theta_r$ )에서는 타이어 양각부 모델과 그 배경 모델과의 ratio는 다음과 같다. specular 방향에서는  $\alpha=0$ 이고 앞 절에서 얻어진 양각부와 양각부 배경의  $\sigma_a$ 값을 이용하면 (11)의 ratio는 1.55이다.

$$ratio = \frac{\frac{164.485}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\sigma_a^2}{2\sigma_r^2}}}{\frac{105.892}{\cos \theta_r} e^{-\frac{\sigma_a^2}{2\sigma_r^2}}} \quad (11)$$

타이어의 표면 상태가 일정하다면 이러한 값은 양각부를 추출하기 위한 specular 방향 ( $\alpha=0, \theta_i=\theta_r$ )의 역치 값으로 모든 타이어에 적용할 수 있다. 타이어 화상에서 양각된 정보를 추출하기 위하여 적용된 연산자를 그림 8에 나타내었다. 본 연구의 이미지 획득 조건하에서 얻어지는 타이어의 양각부의 크기는 2-3 pixel 정도의 두께를 가진다는 것을 고려하고, 표면의 불규칙적인 조도 변화와 잡음 성분을 줄이기 위하여 주위 6픽셀을 배경으로 처리하여 평활화 효과도 동시에 얻을 수 있는 연산자를 설계하였다. 양각부의 크기가 큰 경우에는 본 연구에서 제시한 연산자를 이용하여 양각부 표면의 경계 부분을 추출할 수 있으며 뒷 부분에서 제시한 결과에서 알 수 있듯이 기존의 에지 연산자를 적용한 것보다 향상된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

0	1	1	1	0
0	0	0	0	0
0	0	6	0	0
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0

(a)수평 방향.

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
1	0	6	0	1
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0

(b)수직 방향.

1	1	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	6	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1

(c)대각 방향.

0	0	0	1	1
0	0	0	0	1
0	0	6	0	0
1	0	0	0	0
1	1	0	0	0

(d)대각 방향.

그림 8. 양각부 추출에 사용된 연산자.

Fig. 8. Operator used in extracting tire marking.

각 픽셀에 저장되는 값은 5 x 5 연산자를 4 방향으로 분리하여 양각부 배경에 해당되는 6픽셀 밝기 값에 대한 중앙 픽셀의 밝기 비를 구한 후 4가지 ratio에서 최대값을 선택한다. 선택된 최대 ratio 값이 역치 값 이상이면 중앙 픽셀을 양각부로 판단하여 이진 화상으로 추출하게 된다. 양각부 배경의 밝기에 대비된 양각부 밝기 ratio를 이용한 연산자를 그림 7의 최적 조명 조건인 광원의 입사각과 카메라의 반사각이 specular 방향 ( $\alpha=0, \theta_i=\theta_r$ )인 화상에 적용하였다. 그림 9는 그림 8의 연산자를 이용하여 그림 7의 화상에서 추출한 양각 정보의 이진 화상이다.

그림 9에 보여진 이진 화상은 그 역치 값을 각각 1.5, 1.4, 1.3로 적용되어 추출된 양각부의 이진 화상이다. 따라서 양각부 추출에 사용된 3 가지 타이어에 대하여 추출된 이진 화상의 안정된 상태를 고려할 때 일정한 역치 값을 적용할 수 없었다. 이러한 결과는 타이어 표면의 상태가 타이어 마

다 차이가 있음을 알 수 있다. 그러므로 모든 타이어에 일정한 역치 값이 적용되어 보다 쉽게 배경으로부터 양각된 정보를 안정되게 추출하기 위해서는 양각부가 생성되는 가류 공정에서의 표면처리가 중요하다는 것을 알 수 있다.



(a) 타이어 I의 결과.



(b) 타이어 II의 결과.



(c) 타이어 III의 결과.

그림 9. 제안한 연산자로 추출된 이진 화상.  
(조명 각도: +10°, 카메라 각도: -10°)의 결과.

Fig. 9. Binary image using proposed operator.



(a) 타이어 I의 이진 화상.



(b) 타이어 II의 이진 화상.



(c) 타이어 III의 이진 화상.

그림 10. 경계선 검출(Sobel)에 의한 이진 화상.  
Fig. 10. Binary image using sobel edge operator.



(a) 타이어 I의 FDG( $\sigma=1$ )의 결과.



(b) 타이어 I ( $T_{max}=30, T_{min}=20$ )의 Optimal Deiche Operator 결과.

그림 11. FDG, deriche edge operator의 적용 결과.  
Fig. 11. Binary image using FDG and deriche's edge operator.

기존의 경계선 검출자와의 비교를 위해서 같은 화상에 대해서 Sobel, FDG, Deriche 연산자를 적용하여 그 결과를 비교하였다. 그림 10은 Sobel 연산자에서 얻어진 이치화 된 에지 영상을 보여주고 있다.

그림 11은 Edge의 검출을 위해 FDG(First Derivative of Gaussian)와 Optimal Edge Operator[8]를 적용한 결과이다. 그림 9와 그림 10과 그림 11의 결과를 비교하면 ratio에 의

한 양각부 추출 방법으로 얻어진 영상에서는 경계선 중복과 양각부 간 좁은 간격으로 인한 간섭 현상이 나타나지 않았으며 타이어 표면의 랜덤한 밝기차에 의한 배경부의 잡음 성분도 나타나지 않은 안정된 화상을 얻을 수 있다.

이 결과를 사용하여 유용한 정보를 얻기 위해서는 edge linking등의 post-processing과정이 필요하게 되는데 위의 그림 11의 결과에서 볼 수 있듯이 중간 중간 끊어진 부분이 많아 post-processing과정에 어려움이 뒤따른다. 그림 9의 결과에서 보이듯이 본 논문에서 제안한 ratio를 이용해서 이치화하는 경우는 영역에 기반한 이미지 처리 과정이라고 볼 수 있으며 이는 그림 12의 결과에서도 알 수 있다.그림 9의 결과에서 볼 수 있듯이 유용한 정보를 나타내는 타이어의 양각 부분이 어느 정도 연결되어 나타나고 있으므로 에지에 기반한 방법보다 쉽게 이후의 post-processing과정을 수행 할 수 있다. 그림 12에 보인 결과는 그림 9(a), 그림 11(a)의 결과에 대해서 먼저 thinning[9]과정을 수행하고 다음 과정으로 border following을 통해 post-processing을 한 결과이다. 그림 12의 결과에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 수행하는 것이 좀 더 유용한 정보를 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a) 그림 11(b)를 post-processing한 결과



(b) 그림 9(a)를 post-processing한 결과

그림 12. 제안된 연산자와 에지 접근 방식의 post-processing 결과 비교.

Fig. 12. Comparison of post-processing result using proposed and edge operator.

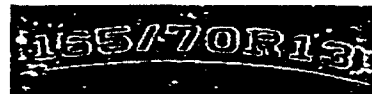
본 논문에서 제안한 연산자의 양각부 픽셀 두께에 따른 강인성을 판별하기 위하여 ratio 연산자의 간격을 1, 2, 3 픽셀 세가지 종류로 바꾸어 가며 같은 화상에 적용하였다. 그 결과는 그림 13에 나타나 있으며, 연산자의 간격은 양각부 두께의 크기에 관계없이 거의 일정한 경계선을 검출함을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 13. 그림 8.에서 제안한 연산자의 간격을 (a) 1픽셀 (b) 2픽셀 (c) 3픽셀로 한 경우.

Fig. 13. Comparison of result according to varying proposed operator's size.

### V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 특징 추출의 근거가 되는 화상에서의 밝기 차의 생성 원인에 대하여 Torrance-Sparrow 반사 모델을 적용하여 고찰하여 보았으며, 이를 이용하여 타이어의 양각부와 배경에서 문자부를 용이하게 추출할 수 있는 알고리즘에 대해 서술하였다. 타이어의 양각부와 배경을 Torrance-Sparrow 반사 모델을 사용하여 모델링한 후 이 모델을 이용하여 주어진 기하학적 조건에서의 양각부와 배경의 밝기 값의 비를 이용함으로써 타이어 문자 인식의 진단계에 필요한 양호한 결과를 얻을 수 있다. 비전을 이용한 화상처리에 있어 밝기 값은 그 물체의 특성과 표면상 태에 따라 결정되어진다. 배경과 동일한 재질로 만들어진 양각된 타이어 정보의 경우, 배경과 양각부 표면은 specular한 반사 특성을 나타내고 화상에서의 밝기차는 두 표면의 표면 거칠기 차에 의하여 만들어짐을 알 수 있다. 따라서 양각부와 그 인근 배경부의 표면처리를 상이하게 처리하고 타이어의 종류마다 사이드 월의 곡률이 서로 다른 점을 고려하여 광원과 타이어 정보, 카메라가 동일한 평면상에 위치할 수 있는 조명 장치가 개발된다면 양각된 타이어 정보는 안정되게 추출될 수 있다. 본 연구와 관련하여 추후 연구 보완해야 할 사항은 보다 정량적인 방법으로 경계선 검출 방법에 의하여 추출된 화상과 영역 분할에 의하여 추출된 화상과의 비교 및 검토가 필요하며 조명 조건에 따라 추출된 영상의 인식율 비교가 요구된다.

### 참고문헌

- [1] United States Patent, "Method and apparatus for detecting tire information mark," *Patent Number: 4,700,078*, Oct., 1987.
- [2] 박귀태 외 3인, "퍼지 컷 집합에 의한 고무 타이어 영상의 문자 윤곽선 추출," *전자공학회논문지 제 31권 B 편 제 6호*, pp. 71-79, 1994, 6.
- [3] 박래홍 외 4인, "고무 타이어 자동분류를 위한 돌출 문자 인식," *제 5회 신호처리합동학술대회 논문집 제 5권 1호*, pp. 626-629, 1992.
- [4] 이재용, "표면의 반사 특성을 이용한 타이어의 정보 추출 및 조명 조건," *한국과학기술원 자동화 및 설계 공학과 석사 학위논문*, 1995.
- [5] S. K. Nayar, K. Ikeuchi, T. Kanade, "Surface reflection :Physical and geometrical perspectives," *Proc. of Image Understanding workshop*, pp. 185-212, Sep., 1990.
- [6] K. E. Torrance, E. M. Sparrow, "Theory for off-specular reflection from roughened surface," *Journal of The Optical Society of American*, no. 57, pp. 1105-1114, 1967.
- [7] 나현찬, "광학 특성을 이용한 인쇄회로기판의 패턴 검사용 조명 장치설계," *한국과학기술원 자동화 및 설계 공학과 석사 학위논문*, 1994.
- [8] R. Deriche, "Using Canny's criteria to derive an optimal edge detector recursively implemented," *The International Journal of Computer Vision*, vol. 2, pp. 167-187, 1987.
- [9] I. Pitas, *Digital image processing algorithms*, Prentice-Hall, 1993.



### 하 중 은

1992년 서울대 기계공학과 졸업. 동대학원 석사(1994). 1994년 ~ 현재 KAIST 서울 분원 자동화 및 설계공학과 박사과정. 관심 분야는 Sequential image interpretation, Physics-based vision.

### 이 재 용

1995년 KAIST 서울 분원 자동화 및 설계 공학과 석사. 현재 한국타이어 근무.



### 권 인 소

1958년 3월 5일생. 1981년 서울대 기계설계학과 졸업. 1983년 동 대학원 졸업(석사). 1990년 카네기멜론대학 로보틱스 졸업(박사). 1991년 ~ 1992년 일본 도시바 중앙연구소 연구원. 1992년 ~ 현재 한국과학기술원 부교수.