

물 묻은 지문을 인식하기 위한 프리즘 광학계의 설계 및 실험적 고찰

강명훈[†] · 김진수 · 정진우 · 고은미 · 김재규 · 조관식 · 송한정

인제대학교 나노시스템공학과, 나노매뉴팩처링연구소
Ⓣ 621-749 경상남도 김해시 어방동 687번지

황재문

한국컴퓨터비전
Ⓣ 641-826 경상남도 창원시 사파동 67-4

(2007년 10월 26일 받음, 2007년 12월 4일 수정본 받음)

본 연구는 지문 인식 시스템 중에서 프리즘을 이용한 광학계의 설계에 대한 것이다. 이는 프리즘, 렌즈, 그리고 CMOS 이미지 센서 (혹은 CCD) 등으로 구성되어 있는 광학계이다. 종래의 프리즘을 이용한 지문인식 광학계에서는 지문에 물이 묻어 있는 경우에 영상의 품질이 현저히 저하되는 문제점이 있다. 이 경우에 프리즘의 굴절률을 높임으로써 영상의 품질을 충분히 높일 수 있었다. 또한 프리즘과 렌즈를 사용함으로써 인하여 발생하는 비대칭 축소 왜곡(anamorphic distortion)과 상면의 기울기를 최소화되는 프리즘 꼭지각 α 를 제안한다.

주제어 : Prism, Finger print identification, Optical system

I 서 론

정보화 산업의 발달로 정보의 획득과 공유가 빠르고 편리하게 이루어지고 있으나 일부 정보 접근의 제한이 필요한 자료 및 그 자료를 보관하고 있는 장소에서는 일부 허락된 접근자에게만 열람 및 공유가 가능하도록 하기 위한 보안이 점점 중요해지고 있다.

이러한 보안을 위한 인증 도구로 생체정보를 이용한 방법이 다양하게 시도되고 있으며, 사용되고 있는 생체정보에는 홍채, 지문, 손바닥 패턴, 동맥 패턴 등이 있다. 특히 지문 인식 시스템은 다른 생체 정보를 이용한 방법에 비해서 낮은 가격과 제품 부피의 소형화 등과 같은 장점으로 인하여 다른 방법에 비해서 폭넓게 사용되고 있다.

지문 인식 시스템은 지문을 얻는 방법에 따라서 빛의 내부 전반사 원리를 이용하는 프리즘 방식과 특별하게 디자인된 홀로그래프 그레이팅 등을 사용하는 방식과 반도체 소자를 이용한 반도체 방식으로 크게 구분할 수 있다.^[1,2] 하지만 반도체 방식의 경우 지문을 측정하는 센서가 외부에 바로 노출되어 정전기 방전에 따른 센서 파괴와 같은 내구성 문제가 있어 광학적 방식이 보다 더 많이 사용되고 있다.^[1,3]

광학적 방식 중의 하나인 홀로그래픽 그레이팅은 프리즘에 부착되어 영상 왜곡을 보정할 수 있다. 이 방식은 지문 정보를 가지고 있는 광선이 광축에 평행하게 진행하도록 하여 영상왜곡의 문제를 해결할 수 있게 하지만 유리에 접착된 문제로 인한 얼룩 효과를 줄이는 것이 필요하다.^[3,4] 또 다른 광학 방식은 빛의 내부 전반사 원리를 이용한 다양한 프리즘 기반

의 구조이다. 이 방식은 소형화, 낮은 가격, 그리고 높은 영상 대비 등의 장점이 있다. 그러나 지문평면이 광축에서 비스듬하게 되어 획득된 지문영상이 왜곡을 가지게 되는 문제점이 있다.^[5,6] 또한 지문에 물이 묻거나 장마철과 같이 대기 중에 습도가 높은 환경에서는 이미지센서에 지문 영상이 제대로 결상이 되지 않는 문제점이 있다.^[7]

본 논문에서는 프리즘을 이용한 광학적 방식에서 발생하는 두 가지 왜곡 문제와 손가락에 물이 묻은 경우에 지문 영상이 결상되지 않는 문제를 해결하기 위해서 기하광학적으로 해석하였다. 결과적으로 우리는 이미지 센서에 결상되는 지문영상의 왜곡과 물이 묻은 지문의 영상 품질 문제는 프리즘의 꼭지각과 프리즘 재질의 굴절률에 관련되어 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

해석된 결과에 따라 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기를 최소화하며 물이 묻은 경우에도 지문 영상을 얻기 위하여 굴절률이 1.616인 F2 유리를 프리즘 재질로 하고, 프리즘에 물이 묻는 경우를 대비하여 물의 굴절률은 1.33으로 잡아 계산한 결과, 프리즘의 꼭지각을 57°로 최적화하면, 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기를 최소화 할 수 있으며, 또한 물이 묻은 경우에도 지문영상을 충분히 얻을 수 있을 것이라 예상하였다.

예상한 결과를 확인하기 위해서 굴절률 1.616인 F2 유리를 프리즘의 재질로 하여 꼭지각의 각도는 57°로 프리즘을 제작하였다. 광학계는 Magna Chip사에서 생산한 CMOS 이미지 센서(HV7131R 모델)의 수광면에 지문 영상이 결상될 수 있도록 1/10 배율을 가지도록 렌즈를 이용하여 제작하였다. CMOS 이미지 센서에서 출력되는 영상을 윈도우 기반 컴퓨터에서 확인할 수 있도록 USB 데이터 변환 보드를 사용하였다.

[†] E-mail: whunmk@gmail.com

II 본 론

2.1 프리즘을 이용한 지문 인식 광학계의 결상 원리

그림 1은 프리즘을 이용한 지문 인식 광학계에서, 지문 영상이 프리즘에서 내부 전반사의 원리에 따라 영상이 프리즘 외부로 진행하는 모습을 도식화한 것이다. 광원에서 발생한 빛은 프리즘 내부로 진행한 후 지문이 접촉한 면AB에서 두 종류의 빛으로 반사하여 프리즘 외부로 진행한다.

면 AB에서 반사하는 두 종류의 빛이란, 프리즘에 피부 층이 직접 접촉되는 용기 부분과 공기층으로 채워진 골 부분에서 반사하는 빛을 말한다. 지문의 용기 부분에서는 피부 표면에 의하여 난반사(scattered reflection)가 일어난다. 이 난반사 빛은 광원에서 입사 각도에 상관없이 모든 방향으로 반사한다. 그리고 다른 하나는 골 부분에 채워져 있는 공기층과 프리즘 재질의 경계면에서 거울반사(specular reflection)한 빛으로서 반사 조건에 따라 특정한 방향으로 진행한다.

2.2 기하광학적 광선 작도 및 해석

그림 1과 같이 광원에서 지문으로 빛을 비추면, 지문의 용기와 골 부분에서 각각 난반사 및 거울반사가 발생한다. 지문의 용기에서 발생한 난반사의 경우, 광원에서 프리즘에 들어오는 빛의 입사 각도에 상관없이 반사된 빛의 일부가 CMOS 이미지 센서에 도달한다. 만약 골에서 거울 반사하는 빛을 차단 한다면 용기와 골 부분의 밝기 대조(contrast)가 뚜렷하게 되어 지문 영상을 판독하는데 도움이 될 것이다. 따라서 우리는 이 빛이 CMOS 이미지 센서에 들어가지 않게 하기 위해서 BC면에 검정 페인트를 칠하였다. 결국 골에서 반사하는 빛은 센서에 도달하지 않게 되어 용기와 골 사이의 명암대조가 뚜렷해진다.

2.3 지문 영상의 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기

프리즘의 구조와 광원의 위치에 의해서 뚜렷하게 대조가 된 빛은 두 단계를 거쳐 CMOS 이미지 센서 면에 지문 영상을 맺게 된다. 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 첫 단계는 면 AB에 의해 프리즘 내부에 β 각으로 형성되는 1차 이미지로

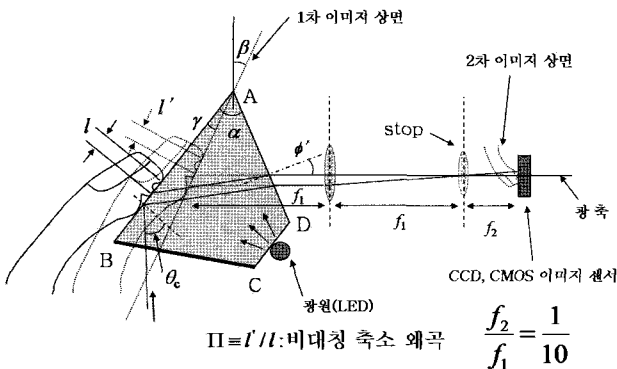


그림 1. 프리즘을 이용한 지문인식 광학계.

서 허상이고 비대칭 축소 왜곡된 이미지이다. 비대칭 축소 왜곡된 1차 이미지는 두 개의 렌즈를 거쳐 최종적으로 CMOS 이미지 센서 면에 2차 이미지를 형성하게 되는데, 1차 이미지가 광축에 기울어져 있으므로 최종 결상 된 2차 이미지는 사다리꼴 모양이며 β 각만큼 기울어진 상면의 기울기를 갖게 된다.

2.4 지문 영상의 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기를 최적화하기 위한 제안

지문 영상의 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기로 인해서 CMOS 이미지 센서에 의해 관찰되는 지문 영상은 왜곡된 영상이다. 왜곡된 지문 영상은 정상적인 지문과 비교하면 특이점 이라고 하는 용기와 골 간격 및 지문의 패턴 등이 길어지거나 혹은 축소되어 있다.^[1,8] 이러한 특이점 왜곡은 각 개인의 특이점을 바탕으로 개인 신분을 식별하는 지문 인식 알고리즘에 영향을 미쳐 지문 인식 프로그램이 지문 영상을 판독을 못하거나 잘못 판독하는 등의 오동작을 일으키는 주요 원인이 된다.^[8] 이러한 오동작을 줄여주기 위해서는 CMOS 이미지 센서와 같은 영상 결상 장치에 결상이 되는 지문 영상을 지문인식 프로그램이 처리할 수 있는 수준까지 왜곡을 충분히 줄여주어야 하며, 본 논문에서 지문 인식 광학계의 개선을 통해 영상의 왜곡을 최소화하고자 한다.

2.1, 2.2, 2.3절을 통해서 프리즘을 이용한 지문 인식 광학계에서 지문 영상이 결상 되는 원리를 정리하였으며 이것을 바탕으로 지문 영상의 두 왜곡과 광학계의 관계를 수학적으 해석하였다.

우선, 그림 1은 임계각(θ_c)으로 입사되는 광선이며, α 는 프리즘의 꼭지각이며, β 는 프리즘 내부에 허상인 지문 영상이 광축에 수직한 법선에서 기울어진 상면의 기울기이다.

임계각은 다음과 같이 고려하였다.

$$\theta_c = \sin^{-1}[n_{air} / n] \quad (1)$$

프리즘의 내부 구조로 인해서 명암 대조가 선명하게 구분된 지문영상은 면 AD에서 발산되어 프리즘 외부로 진행하게 된다. 이렇게 진행된 빛을 면 AD를 통해 바라보면 프리즘 내부로 β 각으로 기울어진 비대칭 축소 왜곡(Π)은 다음과 같다.

$$\Pi \equiv l' / l \quad (2)$$

그리고 β 각은 그림 2를 바탕으로 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\beta = \alpha - \gamma - \phi' \quad (3)$$

ϕ' 는 아래와 같이 정의 된다.

$$\phi' = \sin^{-1} [n \sin(\alpha - \theta_c)] \quad (4)$$

γ 는 아래와 같이 유도 될 수 있다.

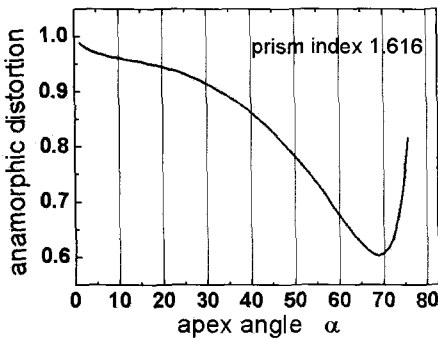
$$\frac{1}{\tan(\alpha - \gamma)} = \frac{n}{\tan \alpha \cos^2 \phi'} - \frac{\tan^2 \phi'}{n \tan \alpha} + \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \phi'}}{n \cos \phi'} \tan \phi' - \tan \phi' \quad (5)$$

결국 식 (3), (4), (5)를 통해서 식 (2)는 아래와 같은 계산식을 얻을 수 있다.

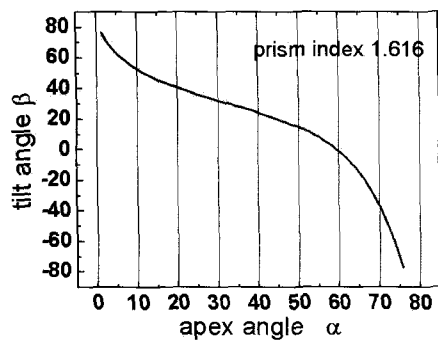
$$\frac{l'}{l} = \frac{\cos \phi'}{\cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{\sin \phi'}{n} \right) \right] \cos [\alpha - \gamma - \phi']} \quad (6)$$

정리된 식 (3)~(6)을 통해서 모든 식이 프리즘 꼭지각 α 에 관계된 식이라는 것을 알 수 있게 되었다. 비대칭 축소 왜곡을 프리즘 꼭지각 α 각에 대해서 정리하면 그림 2(a)와 같으며, 상면의 기울기를 꼭지각 α 각에 대해서 정리하면 그림 2(b)와 같다. (프리즘 굴절률 1.616 이용, $\theta_c = 38.2^\circ$)

그림 2(a)에서 비대칭 축소 왜곡은 꼭지각이 커짐에 따라 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그림 2(b)에서 볼 수



(a) α 각에 따른 비대칭 축소 왜곡



(b) α 각에 따른 β 각의 변화

그림 2. α 각에 따른 비대칭 축소 왜곡 및 상면의 기울기인 β 각의 변화.

있는 것처럼 비대칭 축소 왜곡이 최소화 되는 구간인 꼭지각이 60° 이상에서는, 상면의 기울기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 그래서 β 각을 적절하게 가지면서 상면의 기울기를 최소화 할 수 있는 꼭지각을 선택하는 것이 필요하다.

하지만 지문 인식 프로그램의 경우 비대칭 축소 왜곡으로 인한 영상 왜곡과 함께 상면의 기울기로 인한 영상의 휨 현상이 관측하는데 있어 많은 영향을 미치므로 이 문제에 대한 적절한 해결책이 필요하다. 대부분의 지문 인식 광학계는 제작의 편의를 위해서 광축에 수직하게 렌즈와 CMOS 이미지 센서를 위치되어 있다. 상면의 기울기 경우 1차 이미지가 프리즘 내부에 β 각에 휘어져 있으므로 광학계의 위치를 같은 휨 각을 가지게 한다면 CMOS 이미지 센서에 이미지 상면 왜곡 없이 결상 될 수 있을 것이며 그림 3처럼 광학계를 제작하면 상면의 기울기까지 적절하게 보정 할 수 있다.

2.5 물이 묻은 지문의 결상

현재 보급된 프리즘을 이용한 지문 인식기는 대기 중에 습도가 높은 경우, 지문에 물이 묻은 경우, 혹은 프리즘에 물이 있는 경우에는 지문영상을 볼 수 없는 문제가 발생되어 실외에서는 사용이 제한되어 실내에서만 제한적으로 사용되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지문에 물이 있는 경우와 없는 경우를 비교한 후 광학적 해결책을 제안하고자 한다.

그림 1과 같이 지문에 물이 없는 경우는 지문의 골 부분에 공기가 존재하게 된다. 이때는 지문의 골에 있는 공기 층과 프리즘과의 경계면에서 거울반사가 발생이 되며 융기 부분에서는 난반사가 발생된다. 이 때 광원의 위치는 식 (1)에 계산되는 내부 전반사 각도를 피할 수 있는 위치에 두어 골에서 발생하는 거울반사를 최소화 하여 지문의 융기와 골이 확연하게 구분이 되는 지문 영상을 보게 된다.

그러나 동일한 조건에서 지문에 물이 묻게 되거나 프리즘 표면에 물이 묻은 경우 지문을 접촉한다면, 식 (1)에서 알 수 있듯이 물과 공기의 굴절률 차이에 의한 내부 전반사가 변하게 된다. 결국 지문의 골에서도 반사가 발생이 되어 CMOS 이미지 센서에 융기와 골에서 발생된 모든 빛들이 결상되어 명암비를 통한 지문 영상 관독이 어려워진다.

프리즘에 물이 있거나 또는 습도가 높은 환경에서도 프리

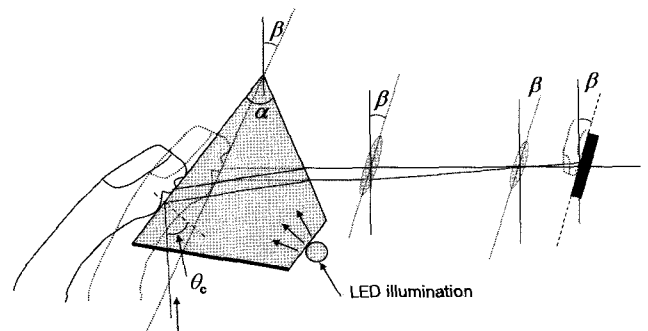


그림 3. 상면의 기울기를 줄이기 위한 제안한 광학계 배치도.

즘을 이용한 지문 인식을 가능하게 하기 위해서는 물의 굴절률을 고려한 프리즘의 설계가 필요하다. 우선 물에 의한 내부 전반사 각도의 변화는 식 (1)에서 n_{air} 대신 물의 굴절률인 $n = 1.33$ 을 고려한 n_w 로 치환한 식 (7)과 같다.

$$\theta_c = \sin^{-1}[n_w / n], n_w = 1.33 \quad (7)$$

식 (7)을 바탕으로 식 (1-6)을 다시 정리한 후 그림 3과 같은 축소 왜곡과 키스톤 왜곡의 정도 그래프를 작성 후 적당한 값을 선택하여 프리즘을 제작하면 물이 묻은 경우에도 훌륭한 영상을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 식 (7)에서 물의 굴절률 보다 낮은 굴절률을 선택하게 되면 내부 전반사 조건이 성립이 되지 않으므로 항상 물의 굴절률 보다 큰 굴절률을 가지는 재질을 선택해야 한다. 또한 물의 굴절률에 근접한 굴절률을 가진 재질을 선택할 경우 식 (7)에 의해 임계각이 지나치게 크게 된다. 임계각이 증가하면 이 경우 반사광선을 프리즘 외부로 진행하기 위해서 프리즘의 꼭지각이 커지게 되어, 식 (3-6)에서 볼 수 있듯이 프리즘 꼭지각과 축소 왜곡 및 키스톤 왜곡은 비례 관계가 있어 지문 영상을 CMOS 이미지 센서에 결상하더라도 왜곡의 정도가 심할 것이다.

시중에 판매 중인 프리즘 재질을 식 (7)과 식 (3-6)을 바탕으로 내부 전반사 조건을 만족하면서 쉽게 구할 수 있는 재

질로 F2($n = 1.616$)를 선택하였으며, F2를 프리즘 재질로 계산하여 그림 6과 같은 축소 왜곡 및 키스톤 왜곡 정도를 계산하였다. 그림 4의 결과에 따라 F2를 이용하여 지문 인식용 프리즘을 제작할 경우 $\alpha = 57^\circ$ 로 프리즘을 제작하면 축소 왜곡은 75%이며, β 는 40도 정도로 작아진다.

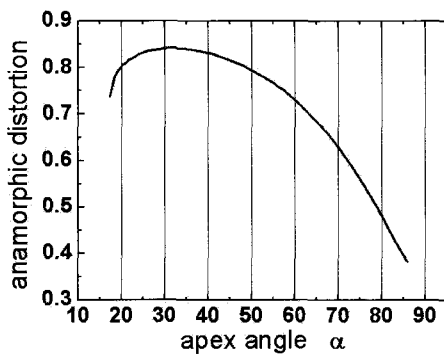
III. 결과 및 분석

지문 인식 실험을 위해서 그림 3과 같이 지문 인식 광학계를 구성하였다. 구성된 광학계는 지문이 접촉되는 프리즘, 두 개의 렌즈 그리고 CMOS 이미지 센서로 구성이 되어있다. 또한 CMOS 이미지 센서의 경우 출력되는 지문 영상의 신호 처리를 위해서 컴퓨터와의 연결을 위한 영상변환장치를 제작하였다. 영상변환장치는 CMOS 이미지 센서에 출력되는 신호를 컴퓨터가 인식할 수 있는 USB 신호로 변환 후 데이터를 전송하는 장치이다. 프리즘은 α 각에 의한 비대칭 축소 왜곡 및 상면의 기울기 변화를 확인하기 위한 아크릴 재질($n = 1.49$)인 프리즘을 제작하였다. 또한 물이 묻은 경우에도 지문 영상을 결상하기 위해서 본 논문에서 제안한 결과 값을 바탕으로 제작한 F2 재질이며 α 각은 57° 인 프리즘을 제작하였다. CMOS 이미지 센서는 Megna Chip에서 생산된 VGA급 CMOS 이미지 센서인 HV7131R 모델을 사용하였다. 광학계는 CMOS 이미지 센서인 active square pixel 면적에 지문 영상이 결상 할 수 있도록 지문의 1/10 배율을 가지도록 렌즈를 이용하여 제작하였다. 결국 지문 영상은 프리즘에 의한 허상인 1차 이미지가 프리즘 내부에 결상이 되며 이 영상을 렌즈를 통해 축소한 후 CMOS 이미지 센서에 실상인 2차 이미지가 결상 된다. CMOS 이미지 센서를 통해서 광신호를 전기적 신호로 변환한 후 USB 보드를 통해서 컴퓨터로 전송 된 후 지문 영상을 컴퓨터 화면에서 확인할 수 있었다. 우선, 상면의 기울기 보정 가능성을 확인하기 위한 실험을 위해서 그림 1과 같이 광학계와 CMOS 이미지 센서를 광축에 수직하게 위치한 경우와 그림 3과 같이 광학계와 CMOS 이미지 센서를 β 각 만큼 휘어지게 위치한 후 촬영된 두 지문 영상을 비교하여 보정 유무를 확인하는 실험을 진행하였고 그 결과는 그림 5와 같다.

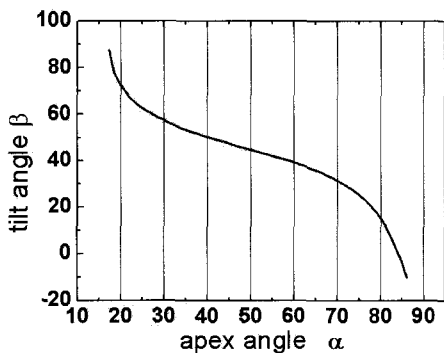
그림 5에서 볼 수 있듯이 그림 5(a)에서의 사각형 무늬는 아래 부분이 내부로 들어간 전형적인 상면의 기울기를 보여 주고 있다. 하지만 그림 3에서 제안된 구조처럼 광축의 법선에서 β 각 만큼 힘을 가지도록 광학계와 CMOS 이미지 센서를 위치한 후 지문 영상을 얻은 결과는 그림 5(b)와 같다. 촬영된 결과인 그림 5(b)에서는 상면의 기울기 현상이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 지문을 이용한 실험에서도 동일한 결과를 확인할 수 있었다.

물이 묻은 경우 지문을 보기 위해서는 2.4절에서처럼 물이 있는 경우의 전반사 조건을 고려한 프리즘을 이용하여 지문 영상의 결상 유무를 확인하였다.

그림 6(a)는 대부분의 프리즘을 이용한 지문인식기에서 사



(a) α 각에 따른 비대칭 축소 왜곡



(b) α 각에 따른 β 각의 변화

그림 4. 물이 묻은 경우를 고려한 α 각에 따른 비대칭 축소 왜곡 및 β 각.

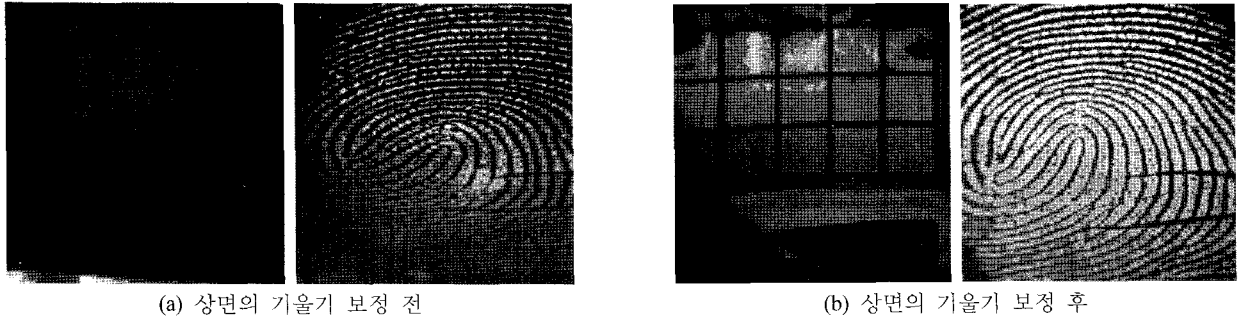


그림 5. 상면의 기울기 보정 전 후 영상비교.



그림 6. 직각프리즘과 제안된 방식으로 제작된 프리즘을 사용한 광학계의 지문 영상 비교.

용되는 직각프리즘을 사용하여 지문영상을 촬영한 사진이다. 그림 6(b)는 제안된 방식인 재질은 F2이며 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기를 적절하게 고려한 α 각 57° 인 프리즘으로 촬영된 경우이다. 그림 6(b)에서 볼 수 있는 것처럼 물이 묻은 경우라도 판독이 가능한 지문 영상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

종래 지문 인식기의 가장 취약한 문제점이었던 비대칭 축소 왜곡과 상면의 기울기 현상, 그리고 물이 묻은 경우에 지문을 결상할 수 없는 문제점을 본 연구에서는 1차 기하광학적으로 해석을 하였다. 상면의 기울기 현상의 경우 프리즘을 이용하여 지문을 획득하는 경우 피할 수 없는 문제이므로 지문 인식 프로그램이 판독할 수 있는 수준까지 줄일 수 있는 방안으로 광학계가 β 각을 가지고 위치하는 방안을 제안하였으며, 실험을 통해 왜곡이 줄어든 것을 확인하였다.

또한 기존 지문 인식 시스템의 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 물이 묻은 경우 지문이 제대로 결상이 되지 않는 문제는 지문이 골에 있는 물이 공기와의 굴절률 차이로 내부 전반사 조건이 변경이 되어 발생된 문제이므로 고굴절 프리즘을 이용한 식 (3)~(6)을 통해 비대칭 축소 왜곡 및 상면의 기울기를 지문 인식 프로그램 알고리즘이 인식할 수 있는 허용치 이하로 지문 영상에 나타날 수 있도록 α 각을 57° 로 프리즘을 제작하였으며, 제작된 결상계를 통해 지문 영상이 결

상하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 방안으로 프리즘을 제작한다며 장마철과 같이 대기 중에 습도가 높은 외부 환경에서도 동작이 가능한 지문인식기를 제작할 수 있을 것이며, 또한 손에 땀이 많은 특이체질을 가진 사람들도 사용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 인제대학교 학술연구조성비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Xiongwu Xia, Lawrence O’Gorman, and K, “Innovations in Fingerprint capture devices,” *Pattern Recognition*, vol. 36, pp. 361-369, 2003.
- [2] D. A. Gregory, “Prism fingerprint sensor that uses a holographic optical element,” *Applied Optics*, vol. 36, pp. 5756, 1997.
- [3] Jin Moon Nam and Moon Key Lee, “A CMOS integrated circuit design of charge-sharing scheme for a capacitive fingerprint sensor,” *J. of Korean Sensors Society*, vol. 14, no. 1, pp. 28-32, 2005.
- [4] Ichiro Fujieda and Hiroshi Haga, “Fingerprint input based on scattered-light detection,” *Applied Optics*, vol. 36, pp. 9152-9156, 1997.

- [5] Sarun Sumriddetchkajorn and Suwanee Phoojaruenchanachai, "Geometrical optics analysis for reduction of trapezoidal image distortion in a single prism-based optical fingerprint scanner," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 45, pp. 229-239, 2007.
- [6] Teng H. H. and Chan J. S., "Method and apparatus for reduction of trapezoidal distortion and improvement of image sharpness in an optical image capturing system," U. S. patent 6324020, 2001.
- [7] Zhendi Wang and Merv F. Fingas, "Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 47, pp. 423-452, 2003.
- [8] Masahiro Kawagoe and Akio Toio, "Fingerprint Pattern Classification," *Pattern Recognition*, vol. 17, pp. 295-303, 1984.

Design and Experiment of an Optical System using a Prism with a High Enough Refractive Index for Wet Fingerprint Identification

Myung Hoon Kang[†], Jin Su Kim, Jin Woo Jung, Eun Mi Ko, Jae Gu Kim, Guan Sik Cho, and Han Jung Song

Department of Nano Systems Engineering and Insititute for Nano Manufacturing, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

[†]*E-mail: whunmk@gmail.com*

Jae Mun Hwang

Hankook Computer Vision, Changwon 641-826, Korea

(Received October 26, 2007, Revised manuscript December 4, 2007)

We propose a design and analysis of an optical system using a prism with a high enough refractive index for wet fingerprint identification. Important parameters including the tilting angle (β) of the 1st image plane, an anamorphic distortion, and a tilt of image plane are considered in terms of the apex angle of the prism (α) and refractive index of the prism material.

Our suggestion on refractive index and apex angle of the prism corroborates well with experimental results.

OCIS code : 080.0080, 080.2740, 100.2960.