비접촉식 5지문 획득장비 개발

연세대학교 대학원

생체인식 협동과정

노 동 현

비접촉식 5지문 획득장비 개발

지도 김 재 희 교수

이 논문을 석사 학위 논문으로 제출함

2008년 12월 일

연세대학교 대학원

생체인식 협동과정

노 동 현

노동현의 석사 학위논문을 인준함

심사위원_____김재희_____인

심사위원_____이상윤_____인

심사위원_____박강령_____인

연세대학교 대학원

2008년 12월 일

감사의 글

저를 있게 하시고 학부 및 대학원 시절 동행하여 주신 하나님께 감사와 영광을 돌려 드립니다. 항상 동행하여 주시고, 순간 순간마다 일어난 모든 일들이 주님께서 계획하시고 선하게 인도하여 오신 길이라 믿어 의심치 않습니다. 앞으로 시작하는 박사 과정 중에서도 주님께서 저를 선하게 인도하시고 때로는 여러 가지 연단으로 강하게 하사 주님께서 쓰실 만한 도구로 빚어 주시기를 기도합니다.

먼저, 여러 가지로 부족하고 모자란 저를 연구실의 일원으로 받아주시고 세심하게 지도하여 주신 김재희 교수님께 감사를 드립니다. 또한 저의 논문 심사를 맡아주시고, 대학원 수업을 통해서 가르침을 주신 이상윤 교수님, 더 좋은 논문을 위해서 가르침을 아끼지 않으신 박강령 교수님께 감사를 드립니다.

연구실의 선, 후배님들께도 감사를 드립니다. 항상 열정이 넘치고 믿음직한 지문팀 리더 경택 형, 연구뿐 아니라 모든 일에 팔방미인인 희승 형께 감사를 드립니다. 또한 석사 첫 학기 때부터 저에게 연구실 생활과 공부하는 자세 등 여러 가지로 조언 해주신 재규 형께도 감사를 드립니다. 늘 신실한 모습으로 모범을 보여주신 성주 형과 엄마 같이 챙겨주신 연주 누나께도 감사 드립니다. 연구뿐 아니라 인생 선배로서 조언하여 주신 호기 형님께도 감사 드립니다. 이제 솔로 생활만 30년이 되시는 형구 형과 소녀시대 태연 같이 노래도 잘 부르는 민이 내년에는 모두 솔로 생활에서 탈출하시길 기원합니다. 근이, 현수, 성은, 재익이 모두 내년에는 좋은 연구성과 있어서 각자 뜻한 바 이룰 수 있으면 좋겠습니다. 이제 연구실 생활을 시작하게 된 가현, 원준, 정인, 동인이 역시 열심히 하면 좋은 결과가 있으리라고 생각합니다.

연희 센터 동역자님 들께도 감사합니다. 매주 생명의 말씀을 전해 주시는 김다윗 목자님께 감사 드립니다. 미숙한 저를 새내기 때부터 세심하게 돌봐주시고 섬겨주

신 전헌석, 정연 목자님들께 감사의 말씀 드립니다. 또한 학부 및 대학원 고비 때마다 기도해주시고 내 일처럼 걱정하여 주신 김성수, 미자 목자님들께 감사의 말씀 드립니다. 처음 저를 주님 앞에 인도하여 주시고, 저의 많은 허물과 연약함을 기도와 사랑으로 감당하여 주신 김철진, 선희 목자님께 감사 드립니다. 허물 많고 부족한 저를 감당하시고 동역 하여 주신 김광민, 정현 목자님 가정과 이화영 목자님께 감사 드립니다. 또한 주 안에서 우정을 나눌 수 있었던, 지금은 군대 간 멋진 대연, 욘사마 왕우, 조인성 닮은 미소년 동언 형제님 감사합니다. 또한 같은 장막에서 생활하는 일웅, 세웅, 철웅, 건웅, 승룡, 소희, 성용, 순교, 태진, 정진, 석범 형제님들 감사합니다. 형제님들과 교제는 항상 저에게 힘이 됩니다.

또한 어릴 적부터 배꼽친구인 민철, 형수, 준희, 봉석이 에게도 감사합니다. 다들 사회생활 시작하느라 고생이 많은데 기운 내고 각자의 자리에서 승리하기를 기도합니다. 일대일 성경 공부로 맺어진 준표 형제님, 저와 공부하여 주셔서 감사해요. 입대 하시더라도 계속해서 주님을 배우시기를 기도합니다.

사랑하는 아버지, 어머니 지금까지 뒷바라지 하느라 고생하셨습니다. 실망시키지 않는 아들이 될께요. 동생 동민아, 네가 있어서 형이 마음 놓고 공부할 수 있었단다. 고맙다.

마지막으로, 이 모든 것을 주관하신 하나님께 다시 한번 감사와 영광을 돌려 드립니다.

2008년 12월

노동현 드림

차 례

그림 차례 iv
표 차례 vii

국문요약 viii

제 1 장 서 론 1
1.1 지문 인식 시스템 1
1.2 기존의 지문 인식 시스템 3
1.2.1 광학식 센서 3
1.2.2 반도체 식 센서 4
1.2.3 기타 방식 센서 4
1.3 접촉식 5지문 획득 장비 6

제 2 장 비접촉식 5지문 획득 장비의 개발 11
2.1 비접촉식 장비 설계 시 고려사항 11
2.2 비접촉식 5지문 입력 장비의 설계 13
2.2.1 손가락 거치대 14
2.2.2 거울 및 LED 조명 15
2.2.3 카메라, 필터, 모터 16

제 3 장 비접촉 5지문 영상 획득 장비의 평가 20

3.1 비접촉 5지문 영상 획득 장비의 평가 기준 20
3.2 장비 평가 수행 21
3.2.1 손가락의 Rolling 21
3.2.1.1 손가락 입력단 및 거치대 22
3.2.1.2 Rolling Rate 측정 25
3.2.2 조명의 균일도 28
3.2.2.1 Directional Difference 알고리즘 30
3.2.2.2 조명의 균일도 측정 32
3.2.3 초점 35
3.2.3.1 정면에서 앞뒤로 움직인 영상의 초점 측정 38
3.2.3.2 정면에서 Rolling 된 영상 40
3.2.3.3 거치대 지문 영상 42
3.2.4 유용면적(Possible Region) 48
3.2.4.1 유용면적 측정 51
3.2.4.2 유용면적 크기 비교 56
3.2.4.3 비접촉 5지문 장비 영상을 등록적인 측면에서 분석 59

제4장 지문 특징 추출 및 인식 62
4.1 지문 특징 추출 알고리즘 62
4.1.1 지문 영역 추출 63
4.1.2 전처리 63
4.1.3 세선화 63
4.1.4 특징점 추출 및 후처리 63
4.1.5 등록 및 정합 64

4.2 지문 특징점 추출 및 정합 실험 65
4.3 손가락 rolling과 인식 성능과의 관계 66
4.4 5손가락 정보 융합 68
4.5 주관적 성능 평가 69

제5장 결론 및 향후 과제 70

참고문헌 71
ABSTRACT 73

그림 차례

그림 1-1 광학식 센서 3
그림 1-2 반도체식 센서 4
그림 1-3 초음파식 센서 4
그림 1-4 CrossMatch 사의 L-1000T 모델 6
그림 1-5 1000T 에서 얻은 Dab 방식 영상과 rolled 영상 6
그림 1-6 1000T 에서 얻은 5지문 영상 - 엄지와 4지 7
그림 1-7 1000T에서 지문 영상 획득 과정 8
그림 1-8 평면 상에서 손가락 구조 8
그림 1-9 1000T 모델에서 얻은 저품질 접촉식 영상 9
그림 2-1 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점 11
그림 2-2 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점 : 피칭(Pitching) 12
그림 2-3 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점 : 롤링(rolling) 12
그림 2-4 비접촉식 5지문 획득 장비 설계도 13
그림 2-5 손가락 거치대 15
그림 2-6 회전형 거울과 막대형 LED 조명 16
그림 2-7 거울만 회전할 때 카메라에 비스듬하게 들어온 지문영상 17
그림 2-8 비접촉식 5지문 영상획득 장비 18
그림 2-9 비접촉식 5지 장비로 획득한 영상 19
그림 3-1 비접촉식 5지 장비에서 획득한 Rolling된 지문영상 21
그림 3-2 손바닥 및 오므렸을 때 손 영상 22
그림 3-3 손가락 거치대 23
그림 3-4 Rolling Rate 측정을 위한 모델 25

그림 3-5 15종 손가락 배치에 대한 Rolling Rate의 결과 26
그림 3-6 서로 다른 조명 환경에서의 동일 지문 영상 28
그림 3-7 5지 장비의 LED 조명 29
그림 3-8 Directional Difference 알고리즘과 그 적용 예 30
그림 3-9 서로 다른 Contrast 값을 가지는 지문 블록 31
그림 3-10 비접촉식 지문 영상과 Directional Difference 알고리즘 적용한 영상 31
그림 3-11 Good Block의 비율이 높은 지문영상 ($D_B > 0.9$) 33
그림 3-12 Good Block 비율이 낮은 지문영상 (D_B 0.7) 33
그림 3-13 초점심도와 물체와의 관계 35
그림 3-14 제안한 장비의 거치대 및 획득한 지문영상 36
그림 3-15 지문 영상 내에서 초점값의 분포 37
그림 3-16 손가락이 앞뒤로 움직였을 때 지문영상 39
그림 3-17 $T_B > 500$ 이상인 블록의 비율 39
그림 3-18 지문 정면 영상 및 Rolling 영상 40
그림 3-19 손가락 Rolling에 따른 블록 비율 변화 41
그림 3-20 거치대에서 획득한 지문 영상 42
그림 3-21 지문 정면 영상과 거치대 지문 영상에서 구한 평균 초점값의 비교 43
그림 3-22 SML로 측정한 지문 영상 초점값 44
그림 3-23 지문 정면 영상과 거치대 지문 영상에서 구한 블록비율 45
그림 3-24 거치대에서 획득한 지문영상 46
그림 3-25 지문영역 내 유효블록과 무효블록 48
그림 3-26 지문 융선 주파수 측정 49

그림 3-27 지문굴곡에 의한 융선 주파수의 변화 50
그림 3-28 실제 지문영상과 지문 주파수 분포영상 51
그림 3-29 비접촉 지문 영상과 매뉴얼하게 유용면적을 구한 영상 52
그림 3-30 주파수 변화에 따른 유효블록, 무효블록 비율 53
그림 3-31 매뉴얼하게 구한 유용면적(좌) 및 주파수를 사용하여 구한 유용면적(우) 54
그림 3-32 각 손가락 별 및 손가락 평균 유용면적 비율 55
그림 3-33 5mm × 5mm 격자무늬 평면 56
그림 3-34 비접촉식 및 접촉식 영상에서 손가락별 유용면적 크기 58
그림 3-35 비접촉-접촉식 영상 일치도 측정을 위한 과정 60
그림 4-1 지문 영상 처리 순서도 62
그림 4-2 지문 영상 처리 과정 64
그림 4-3 손가락 rolling과 특징점 개수와의 관계 66
그림 4-4 5손가락 Matching Score Fusion 68

표 차례

표 1-1 접촉 방식의 지문 획득 장비 5
표 3-1 손가락 배치 경우 24
표 3-2 Rolling Rate와 손가락 돌아간 각도 27
표 3-3 Foreground 내 Good Block의 비율 32
표 3-4 Focus Measure 값 및 해당 색 37
표 3-5 거치대 영상에서 R-rate와 $T_B > 500$ 이상의 블록비율 평균 .. 45
표 3-6 유용면적의 실제크기 57
표 3-7 비접촉 및 dap방식 접촉영상과 rolled 영상의 일치도 측정 61
표 4-1 손가락 별로 정합실험 수행 시 EER(Equal Error Rate %) 65
표 4-2 엄지 영상크기 및 특징점 개수에 대한 네 손가락의 영상크기 및 특징점 개수 비율 67

국 문 요 약

비접촉식 5지문 영상 획득 장비의 개발

지문을 이용한 인증(Identification)시스템은 크게 센서에 지문을 접촉하여 영상을 획득하는 접촉식 방식과 센서에 지문을 접촉하지 않고 획득하는 비접촉식 방식으로 나눌 수 있다. 기존 접촉식 방식에서는 센서에 지문을 접촉할 때 발생하는 위생상의 문제, 불균일한 압력으로 인한 영상 왜곡 문제, 잔류지문(Latent Fingerprint)의 문제가 발생한다. 또한 손의 구조로 인하여 5손가락의 지문 영상을 한번에 획득하지 못함으로 지문 입력 시 사용자의 불편을 야기하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제들의 해결을 위하여 비접촉식 5지문 영상획득 장비를 제안한다. 카메라, 모터, 평면 거울 및 LED 조명을 사용하여 사용자가 센서에 접촉하지 않고도 지문 영상을 획득할 수 있도록 하였으며, 5손가락을 입력하여 한번에 5손가락의 지문 영상을 획득할 수 있게 하였다. 또한 제안한 장비에서 카메라의 초점, 조명의 균일도, 손가락의 돌아감(Rolling)을 살펴보고 평가함으로써, 장비 구성 요소 및 장비 완성도를 평가하였다. 유용면적(Possible Region)을 정의함으로 접촉식 장비에서 얻은 지문 영상과의 비교 근거를 마련하였고, 장비간의 간접적인 성능 비교를 시도하였다. 또한 실제 사용자의 지문을 등록하고 정합 실험을 수행함으로써 제안한 장비의 성능을 알아보았다.

결과적으로 제안한 장비에서 획득되는 지문 영상 중 소지를 제외한 나머지 네 개의 지문 영상에서 평균 오류율 4.4%를 확인하였다. 또한 5지 모두를 인식에 사용하였을 경우 최소 오류율이 0% 임을 확인하였다. 이는 제안한 장비가 실제적인 지문 등록 및 인식에 사용 가능함을 보여준다.

핵심 되는 말: 생체인식, 지문, 특징점, 비접촉식 지문 인식 시스템, 5지문

제1장 서 론

1.1지문 인식 시스템

정보의 교류가 빠른 현대 사회에 접어들면서, 정보의 안전한 공유 및 보안은 매우 중요한 부분이 되었다. 특히 개인의 신원 확인이 사회 곳곳에서 필요하게 되면서, 안전성과 제공의 편리성을 확보하면서도 개개인의 개별성이 보장되는 인증 수단에 대한 필요성이 점점 커지고 있다. 인증 수단(authenticator)에는 크게 지식 기반 인증 수단(knowledge-based authenticator), 도구 기반 인증 수단(object-based authenticator), 신원 기반 인증 수단(ID-based authenticator)의 세 가지가 존재한다[1]. 기존에는 개인의 비밀이나 재산을 유지하는 수단으로 식별 코드, 비밀번호(password) 등과 같은 지적인 수단이나 신분증, 열쇠, 각종 출입 카드 등과 같은 도구 기반의 수단이 보편적으로 이용되어 왔다. 그러나 항상 암기, 소유 해야 하는 불편함이 있고 분실, 위조, 도난의 위험성이 있어 인증 수단으로 한계점이 있다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하고 동시에 개인의 신분을 가장 정확히 판단하는 신원 기반 인증 수단으로서 생체 인식 기술이 각광을 받고 있다[2].

생체 인식 기술은 개인의 신체적 혹은 행동적 특성을 이용하여 개개인을 식별하는 기술이다. 이러한 생체 특징이 개인 식별에 사용되기 위해서는 첫째, 모든 사람이 가진 생체여야 하고(universality) 둘째, 개인마다 유일한 생체 특성을 나타내야 하며(uniqueness) 셋째, 시간에 따른 변화가 없어야 하며(permanence) 넷째, 생체 특징이 정량적으로 계산될 수 있어야 하는(collectivity) 조건들을 만족해야 한다[3]. 이러한 특징을 만족하는 생체 정보로는 지문, 홍채, 얼굴, 정맥 등과 같은 신체적인 특징과 음성, 서명, 걸음걸이 등과 같은 행동적인 습관이 있다. 이 중

지문을 이용한 개인 식별은 그 개별성에서도 우수한 특성을 보이며, 특히 타 생체에 비해 취득이 쉽고, 장치의 가격 대 성능비가 높으며, 개인의 분별력이 좋다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다[2][4].

지문 인식 시스템이란 특정인의 지문 영상을 임의의 입력 센서로부터 취득하고 융선(ridge) 및 골(valley)이 만들어내는 개인 고유의 패턴을 추출하여 신원을 확인하는 작업을 수행하는 시스템을 말한다. 자동화된 인식 기술이 널리 보급되고 지문 정보가 개인 인증의 보편화된 생체 특징 중 하나로 쓰이게 되면서, 그 동안 다양한 종류의 센서가 고유한 특성을 갖고 특징을 추출하기에 좋은 지문 영상을 얻고자 개발되었다. 또한 전체적인 시스템 성능 향상을 위해 각 센서에 상응하는 여러 알고리즘이 고안되어 왔다. 그럼에도 불구하고 대부분의 기존 방식 센서에서는 영상 취득을 위해 센서 표면에 가하게 되는 물리적 압력으로 인해 영상 왜곡이 발생하는 근본적 문제점을 안고 있다. 즉, 지문 영상을 입력 받기 위해 손가락을 센서 표면에 누르면 압력이 발생하여 지문 융선의 모양을 비선형적으로 왜곡시키고, 이러한 현상은 매 입력마다 임의로 발생한다. 이러한 왜곡은 자동화된 지문 인식 과정에서 다루어지는 특징 정보들에 영향을 주어 본인 승인 및 타인 거부 성능을 저하시키게 된다. 이러한 왜곡 때문에 비접촉 방식의 지문 센서를 개발하려는 시도가 이루어지고 있다.

1.2 기존의 지문 인식 시스템

기존의 지문 인식 시스템은 손가락의 지문 부위를 감지 창(Sensing Window)에 밀착함으로 융선-골무늬를 취득한다. 각 센서는 구동 원리에 의해 광학식, 반도체식 등으로 나뉘어 진다.

1.2.1 광학식 센서

일반적으로 널리 사용되는 광학식 센서는 서로 다른 매질간의 전반사(FTR) 현상을 이용하여 센서 면에 접촉된 융선과 떨어져 있는 골의 패턴을 카메라를 통해 입력 받는다.[5] 융선이 접촉된 지점의 광 다이오드가 발하는 빛을 이용하여 입력 받는 접촉 발광식 센서 및 취득 영상을 보여준다.[6]

그림 1-1 광학식 센서

이외에 sheet prism을 이용한 FTIR 방식, 광섬유 재질의 센서 면을 통해 CCD 혹은 CMOS가 직접 융선-골 패턴을 입력 받는 방식, 카메라를 통해 입력 받는 direct reading 방식 등이 있다.[4]

1.2.2 반도체 식 센서

반도체 식 센서는 센서 어레이 (sensor array)에 지문이 닿을 때 피부와 공기의 전기적 특성인 정전용량(capacitance)의 차이를 이용하여 융선과 골을 구분한다.[7] 면적이 작아 응용이 쉽고 생산 단가가 낮은 반면, 외상과 전기적 충격에 약하다는 내구성 문제가 있다.

그림 1-2 반도체식 센서

1.2.3 기타 방식 센서

이 외에 순간적인 피부 및 공기의 온도 차이를 측정하여 융선-골 입력을 받는 열 방식 센서[8], 정현파 전기장(Electric field) 신호의 반사파를 이용해 지문의 표피 구조를 융선 정보로서 알아내는 방식, 융선-골 간의 압력차가 일으키는 전위차를 이용하는 압전소자(Piezoelectric) 방식 등이 있다. 또한 초음파(Ultrasound) 신호의 반향을 이용하는 센서 중에는 센서 면에 접촉하는 방식[9]과 비접촉 장치를 사용하는 방식이 있다.[10] 그러나 취득 시간이 길고, 고가 대형 장비를 필요로 하므로 일반적인 지문 센서로는 제약이 있다.

그림 1-3 초음파식 센서

표 1-1 접촉 방식의 지문 획득 장비

	Technology	Company	Model
Optical	FTIR	Secugen www.secugen.com	Hamster
	Sheet prism	L1-Identity www.l1id.com	DFR2080
	Electro-optical	Testech www.testech.co.kr	Bio-i
Solid-state	Capacitive (sweep)	Fujitsu www.fme.fujitsu.com	MBF300
	Capacitive	Veridicom www.veridicom.com	FPS200
	Thermal (sweep)	Atmel www.atmel.com	Fingerchip AT77C104B
	Electric Field	Authentec www.authentec.com	AES3400
	Piezoelectric	BMF www.bm-f.com	BLP-100
Ultra Sound		Ultrascan www.ultra-scan.com	UltraTouch 203

1.3 접촉식 5지문 획득 장비

현재 접촉 방식으로 사용자의 5지문을 획득할 수 있는 장비로는 Cross Match 사의 5지문 획득 장치가 존재한다. 이 센서는 1000dpi의 해상도를 지원하며, 지문의 융선 및, 땀샘의 정보를 획득할 수 있다. 1지문의 Dab 영상 및 Rolled 영상, 5지문의 영상을 얻을 수 있다.

그림 1-4 CrossMatch 사의 L-1000T 모델

그림 1-5 1000T 에서 얻은 Dab 방식 영상과 rolled 영상

그림 1-6 1000T 에서 얻은 5지문 영상 - 엄지와 4지

이 5지문 획득 장치는 기존 접촉식 1지문 획득 장치를 개선한 것이다. 큰 평판 센서 위에 엄지를 제외한 4개의 손가락을 일차적으로 접촉하여 지문을 획득하고 다음으로 엄지 손가락의 지문을 2차적으로 획득하게 된다. 기존의 접촉식 센서에서 다음과 같은 방식을 사용하는 이유는 손의 구조적인 문제에 의하여 모든 손가락을 평판에 접촉할 경우 그림_ 와 같이 엄지 손가락 영역의 영상 획득이 불가능하기 때문이다. 또한 사용자의 5 손가락의 길이가 모두 다르므로 획득한 2차원 영상에서 손가락 영역만을 따로 추출해야 하는 번거로움이 존재한다.

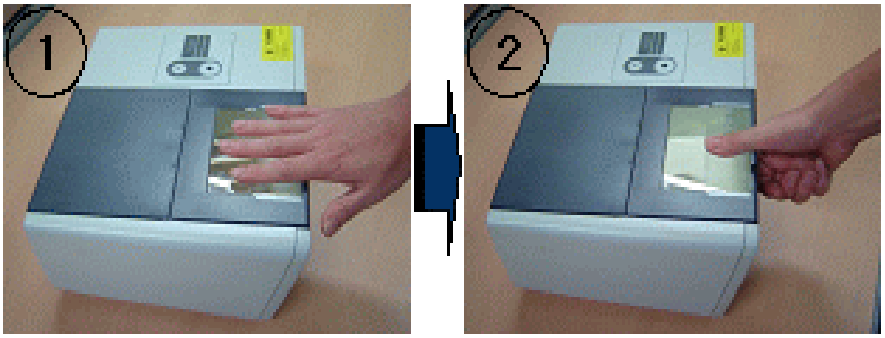


그림 1-7 1000T에서 지문 영상 획득 과정

그림 1-8 평면 상에서 손가락 구조

또한 Cross Match 사의 접촉식 5지문 획득 장비는 접촉 방식의 문제점을 그대로 가지고 있다. 손가락의 지문 피부 표면이 평탄하지 않기 때문에 손가락을 적당한 압력으로 눌러 주어야 한다. 그런데 이런 접촉 과정에서 지문이 눌리면, 임의의 방향으로 힘이 가해지기 때문에 물리적 왜곡이 발생한다. 이 왜곡은 접촉식 장비의 영상 취득 방식상 불가피하며, 매 영상 취득 시마다 임의의 강도와 방향으로 발생하고 하나의 지문 영상 내에서도 영역별로 다르다. 이러한 현상을 알고리즘

차원에서 극복하는 방법도 비선형적으로 발생하는 융선 왜곡을 정확히 측정하고 보상하는 것에 한계를 가진다.[11] 또한 잔류지문(Latent fingerprint)의 문제가 있는데 이전 취득 과정 시 땀이나 기타 물질에 의해 해당 접촉면에 남는 것을 가리킨다. 이는 시스템에 있어 문제가 될 수 있다. 첫째로는 이후의 입력 지문 영상과 겹쳐져서 오인식율이 증가할 수 있고, 둘째로는 잔류 지문의 채취로 정보유출, 범죄에 악용될 소지가 있으며, 마지막으로는 감염의 위험이나 위생상의 문제로 사용자들이 지문인식 시스템 사용을 기피하게 하는 원인을 제공한다는 점이다. 기존의 접촉식 센서에서는 이러한 문제가 불가피하며, Cross Match 사의 접촉식 5지문 획득 장비 역시 동일하게 별도의 정비, 관리를 통한 유지 보수가 필요하다.

(a) 압력이 강할 때 (b) 압력이 약할 때 (c) 잔류 지문 영향 받을 때

그림 1-9 1000T 모델에서 얻은 저품질 접촉식 영상

접촉이라는 방법 자체에서 발생되는 이러한 문제를 해결하기 위한 비접촉 방식의 지문 인식 시스템이 필요하다. 또한 위에서 언급한 대로, Cross Match 장비에서 5지문을 획득하기 위해서는 엄지와 4지를 두 번에 걸쳐서 입력해야 하므로 불편한 문제를 해결하기 위하여 한 번에 5지문을 입력 받는 비접촉식 5지문 획득 장비를 제안한다.

본 논문에서 제안하는 비접촉식 5지문 획득 장비는 다음과 같은 장점을 기대할 수 있다.

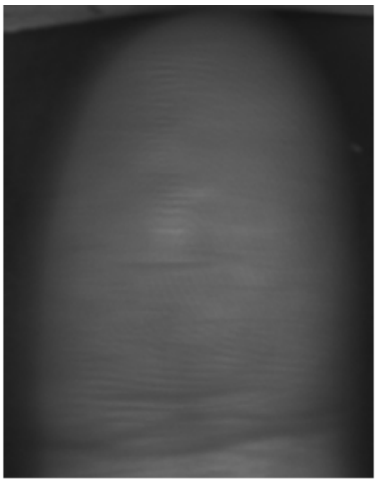
1. 압력에 의한 왜곡 없이 지문 영상을 획득할 수 있다.
2. 잔류 지문이 없으므로 성능 및 정보 유출 방지에 도움이 된다.
3. 물리적 접촉이 없으므로 위생상 문제(hygienic problem)가 크게 줄고, 바람직한 생체 정보 획득 환경을 구축할 수 있다.
4. 5개의 지문영상을 단번에, 빠르게 획득함으로 사용자의 지문 등록 및 처리에 관한 시간을 단축할 수 있다.

다음 2장에서는 개발한 비접촉식 5지문 획득 장비에 대한 설명한다. 3장에는 개발한 비접촉식 5지문 획득 장비의 성능을 평가하기 위한 방법들을 제시하고 평가 결과를 보여준다. 4장에서는 제안한 장비에서 실제 지문 등록과 정합 실험을 통해서 인식 성능을 알아본다.

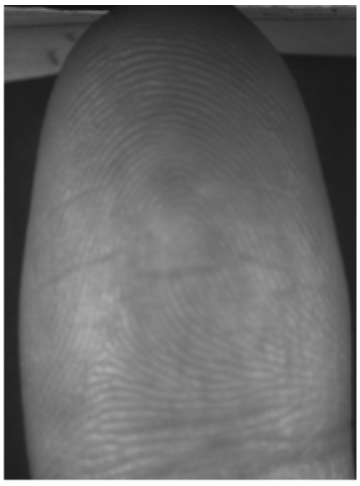
제 2 장 비접촉식 5지문 획득 장비의 개발

2.1 비접촉식 장비 설계 시 고려사항

제안하는 비접촉식 지문 센서에서는 지문 영상을 획득하기 위해 흑백 CCD 카메라를 사용한다. CCD 카메라는 비용 및 실용적 측면에서 영상 획득에 효과적이다. 이것을 사용하였을 경우 앞에서 열거한, 압력에 의한 왜곡 없이 지문 영상 획득이 가능하며, 잔류 지문이 없고, 물리적 접촉이 없음으로 위생상의 문제를 해결할 수 있다. 그러나 장점과 더불어 몇 가지 새로운 문제점이 발생한다. 카메라의 심도 부족에 따른 초점 이탈 현상, 비균일 조명, 융선-골 간의 낮은 밝기 대비, 손가락의 움직임에 따른 부정확한 지문 영상 획득 등이 있다. 이러한 문제들은 장비 설계 시부터 고려되어야 한다.



(a)손가락 움직임에 의한 블러링(blurring)



(b)지문 영역의 부분적 초점이탈(defocusing)

그림 2-1 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점

또한, 3차원 공간의 손가락 지문이 2차원 영상 표면에 투영되어 영상 취득이 이

뤄지기 때문에 손가락의 롤링(rolling) 및 피칭(pitching) 회전이 발생하면 지문 특징점 정보가 크게 변할 수 있다. 이러한 시차(View difference)문제는 동일 지문에 대해 매 입력 시마다 서로 다른 특징점 정보를 추출하게 만듦으로 잘못된 본인 거부율(FRR)을 증가시킬 수 있다.

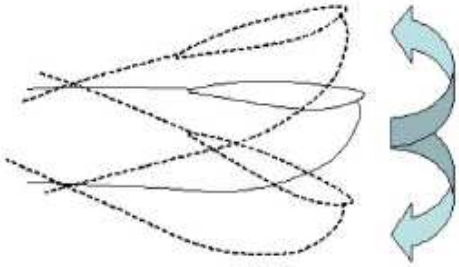


그림 2-2 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점 : 피칭(Pitching)

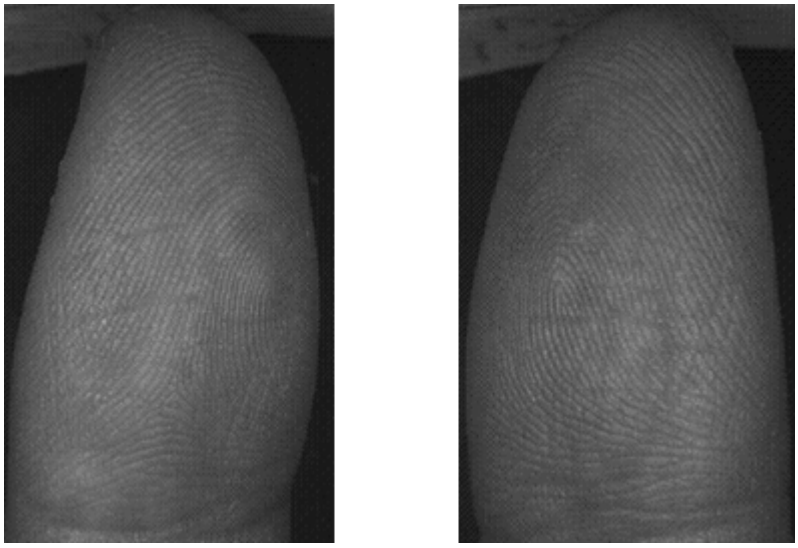


그림 2-3 비접촉식 지문 영상 취득시 문제점 : 롤링(rolling)

한편, 본 논문에서 제안하는 장비는 한번에 5지문을 획득하는 것을 목표로 한다.

한번에 5개의 지문 영상을 얻으면서 저비용의 효율적인 시스템을 구현하기 위해서는 손가락의 배치 및 카메라의 위치 역시 고려 되어야 한다.

2.2 비접촉식 5지문 입력 장비의 설계

앞에서 언급한 점들을 고려하여 장비를 설계하였다. 그림 2-4는 제작한 비접촉식 5지문 획득 장비에 대한 간략한 구조를 제시한다. 이 장비는 1024*768 pixel의 단색 CCD(Charged Coupled Device) 카메라, Stepping 모터와 연결된 회전거울, 2개의 LED 조명 및 손가락을 삽입할 수 있는 손가락 거치대로 구성되어 있다.

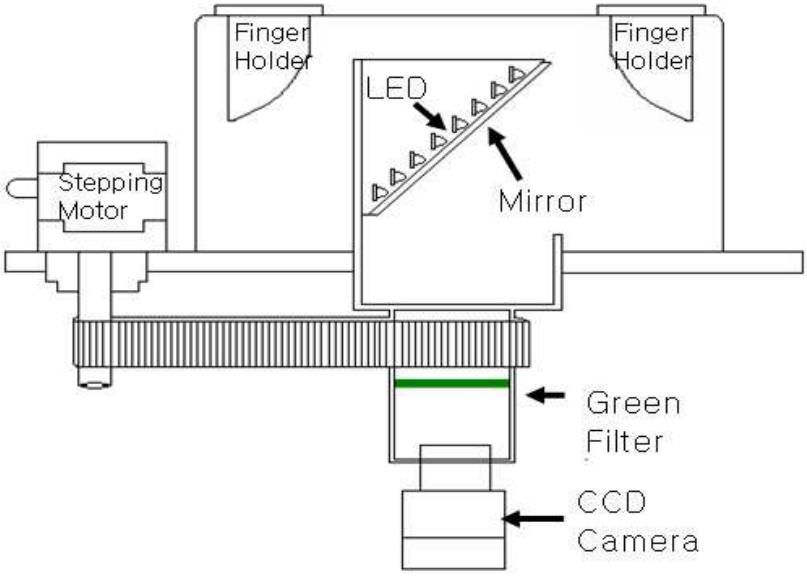


그림 2-4 비접촉식 5지문 획득 장비 설계도

사용자가 한번에 5개 지문의 영상을 획득하기 위해서는 손가락 거치대에 손을 넣고 센서를 동작시킨다. Stepping 모터가 돌아가면서 연결된 카메라와 카메라 상단

에 연결되어 있는 거울이 돌아간다. 거울은 정면을 향하여 45도로 기울어져 있으며, 전방에서 입력된 지문 영상을 거울 아래에 위치한 카메라에 전달하는 역할을 한다. 카메라는 제자리에서 회전을 하면서 거울을 통해 들어온 지문 영상을 획득한다. 지문 영상 획득 시, 손가락은 동심원 구조로 배치되어 있는 손가락 거치대 안에 위치하도록 제작 되었다. 2개의 LED 조명은 거울 양 옆에 위치하며, 거울과 함께 360도 회전한다. 막대형의 녹색 LED 조명으로서, 거울 회전에 따라 카메라 안에 들어오는 손가락에 빛을 조사하는 동축 조명의 역할을 수행한다.
세부 내용을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 손가락 거치대

비접촉식 5지문 획득 장비는 5개의 지문 영상을 단번에 얻는 것뿐 아니라, 획득한 지문 영상이 지문 인식에 사용될 수 있을 만큼의 품질을 가지고 있어야 한다. 그러나 사용자 마다 손 크기가 달라 손가락의 위치가 변한다거나, 위에서 언급한 대로 영상 획득 시에 움직이거나 하면 일정한 품질의 지문 영상을 얻을 수가 없다. 따라서 손가락 거치대를 제작함으로써, 손가락 위치를 고정하고 일정한 품질의 지문 영상을 얻게끔 하였다. 손가락 거치대는 동심원 구조로 되어 있으며, 손가락을 구멍 안에 삽입하도록 되어 있다. 동심원 구조인 이유는 카메라의 작동거리(Working Distance)를 동일하게 해 주어 카메라의 초점거리에서 벗어나는 손가락이 없게 하기 위해서이다. 손가락 거치대의 크기 및 손가락이 들어가는 홀더의 위치는 통계적인 자료[12] 이용 및 각 손가락 사이의 거리, 손바닥의 크기 등을 고려하여 결정하였다.

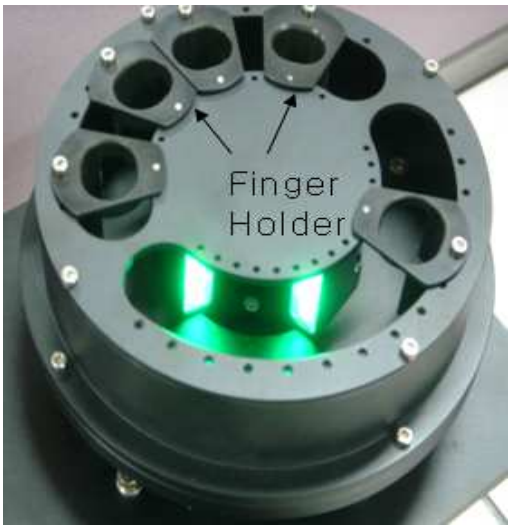


그림 2-5 손가락 거치대

2.2.2 거울 및 LED 조명

거울은 거치대 중앙에 위치하고 있으며 손가락이 들어가는 거치대 정면에 대하여 45도 각도로 기울어져 있다. 거울과 LED조명은 Stepping 모터와 연결되어 있으며, 제자리에서 360도 회전한다. 회전각도에 따라, LED와 거울이 각각 다른 손가락을 비춤으로, 5개의 지문 영상을 얻을 수 있도록 설계 되었다. 손가락 영상의 조도 차를 증가시키고, 균일한 조명을 조사하기 위해서, 막대 모양의 녹색 LED 조명 2개와 확산판을 사용하였다. 이것은 그림 [2-6]에서 보는 것과 같이 거울 양 옆에 붙어 있다.

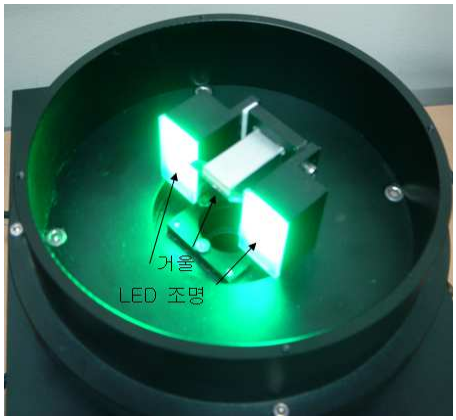


그림 2-6 회전형 거울과 막대형 LED 조명

LED 조명에는 단파장의 녹색광을 방출하는 발광 다이오드를 사용하였다. 지문 패턴을 관측할 수 있는 손가락 피부가 붉은 계통의 색을 띄고 있기 때문에 이 색과 보색 관계에 있는 녹색 광을 사용하면 피부색에 영향을 적게 받으면서 지문 영상을 획득할 수 있다.[13]

2.2.3 카메라, 필터, 모터

비접촉식 지문 영상은 카메라를 통해서 들어오기 때문에 카메라의 선택 역시 중요하다. 카메라의 선택은 해상도와 관련이 있다. 일반 상용 접촉식 지문 획득 장비에서 제공하는 영상의 해상도가 500dpi(dot per inch)인 것을 고려할 때, 비접촉식 지문 영상이 지문 인식에 사용할 수 있으려면, 적어도 500dpi 이상의 해상도를 지원할 수 있는 카메라를 선택해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는, 거치대의 크기, 카메라와 손가락 사이의 거리 등을 고려하여, 시야(Filed of View)가 41.2mm × 30.9mm 가 되고, 작동거리가 152.4mm를 지원하는 카메라를 선택하였다. 또한 카메라가 거울과 함께 회전하도록 설계하였다. 카메라가 거울과 함께 회전하지 않고, 거울만 회전하게 되면, 그림 2-7과 같이 지문 영상의 전 영역

이 화면에 들어오지 않는다거나, 손가락이 영상 내에 똑바로 들어오지 않고 비스듬히 기울어져서 들어오는 현상이 발생한다. 이것은 카메라 영상의 광축(Optical axis)과 거울 영상의 광축이 맞기 않기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 카메라의 광축과 거울 영상의 광축을 일치시켜야 한다. 따라서 지문 영상의 손실을 막기 위해서 카메라와 거울이 같이 회전하도록 설계하였다.

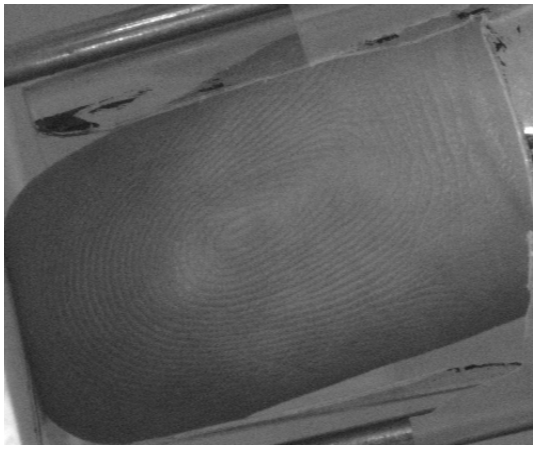


그림 2-7 거울만 회전할 때 카메라에 비스듬하게 들어온 지문영상

필터는 카메라 앞에 위치하여 특정 주파수대의 빛만 통과시키는 역할을 한다. 여기서 사용된 필터는 500~550nm 대역의 파장 대역을 통과시킨다. 카메라에 들어오는 광선 중 지문 표면에서 반사된 녹색 광 만을 선택적으로 받아들이기 위해서이다.

영상을 획득하는 과정 동안에 Stepping 모터는 0.36도씩 회전한다. 회전량과 회전각도를 조정해 줄 수 있게 설계하였고, 이에 따라 원하는 지문을 찍을 수 있도록 설계 되었다.

5개의 지문 영상을 모두 획득하는 데는 약 1.5초가 소요된다. 그림 2-8은 정면

및 쿼터뷰 시점에서 본 장비를, 그림 2-9는 이 장비를 사용하여 획득한 비접촉 5 지문 영상을 보여준다.

그림 2-8 비접촉식 5지문 영상획득 장비

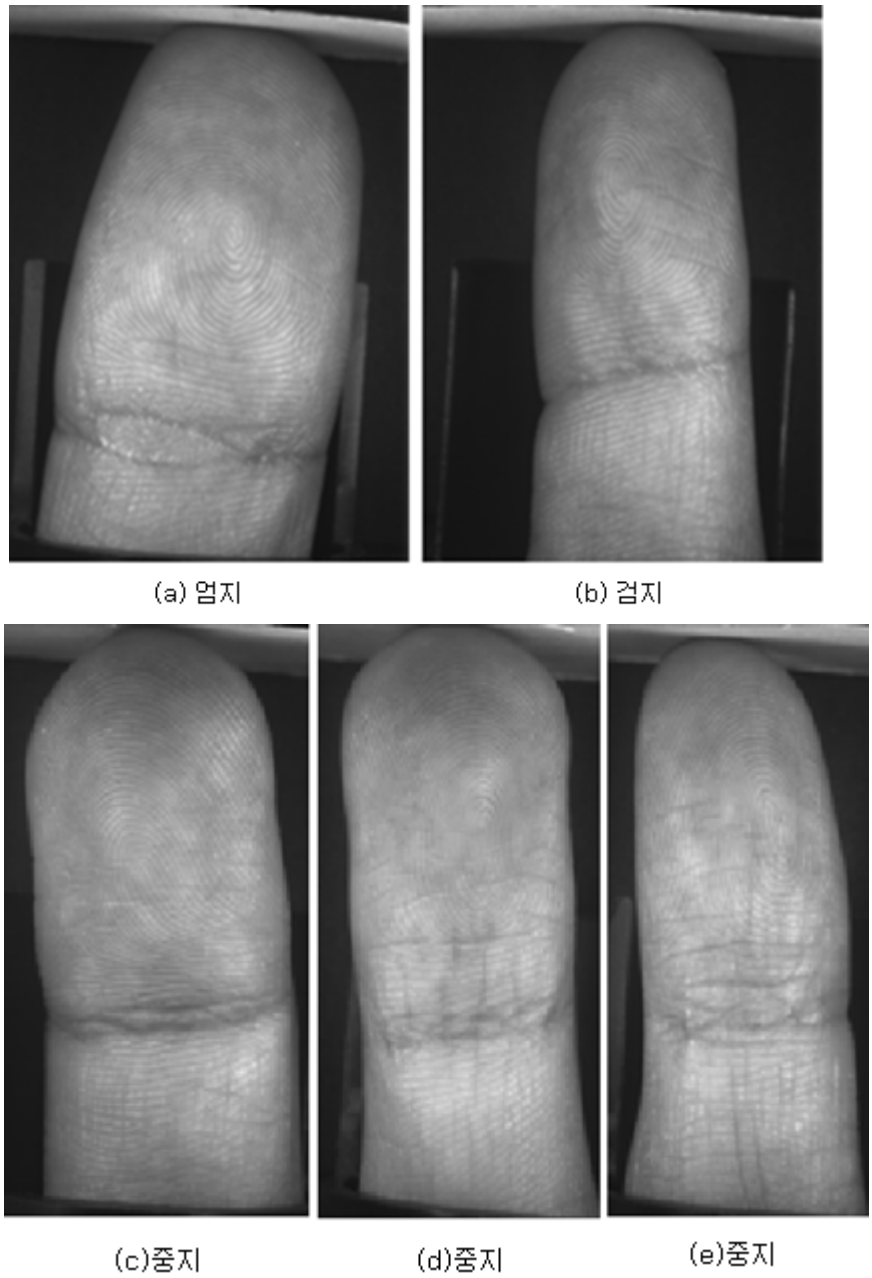


그림 2-9 비접촉식 5지 장비로 획득한 영상

제 3 장 비접촉 5지문 영상 획득 장비의 평가

3.1 비접촉 5지문 영상 획득 장비의 평가 기준

앞에서 제시한 대로, 본 연구에서 제안한 장비는 카메라를 통하여 5개의 비접촉 지문 영상을 얻게끔 설계되었다. 이 장비를 통해서 얻은 비접촉 지문 영상에서는 접촉식 장비를 통해서 얻은 접촉 영상에서 발생하는 영상 왜곡의 문제가 발생하지 않는다. 그러나 비접촉식 장비에서 지문 영상을 얻을 때에 손가락의 구조적인 문제로 인하여 손가락이 돌아가는(rolling) 문제, 손가락 끝 부분으로 갈수록 초점이 맞지 않는 문제, 조명의 불균일 현상으로 인한 융선-골 간의 밝기차이 문제 등이 발생한다. 이런 문제 등을 기초로, 제안한 비접촉식 5지문 획득 장비의 성능을 평가할 수 있다. 또한, 본 논문에서는 제안한 장비와 기존 접촉식 장비와의 성능 평가를 위하여 유용면적(Possible Region)을 정의한다. 접촉식 장비에서 얻은 지문 영상의 유용면적과 비접촉식 장비에서 얻은 지문 영상의 유용면적을 비교함으로, 비접촉식 장비와 접촉식 장비의 성능을 비교를 수행할 수 있다.

3.2 장비 평가 수행

3.2.1 손가락의 Rolling

앞에서 언급한 대로, 손가락 거치대 제작 시 동심원 구조를 선택하였다. 이는 카메라의 작동거리(Working Distance)를 일정하게 유지하면서, 한번에 5개의 지문 영상을 획득하기 위한 구조이다. 그러나 동심원 구조인 거치대에 손을 삽입하게 되면 그림[3-1]과 같이 손가락이 돌아가는(rolling)문제가 발생한다.

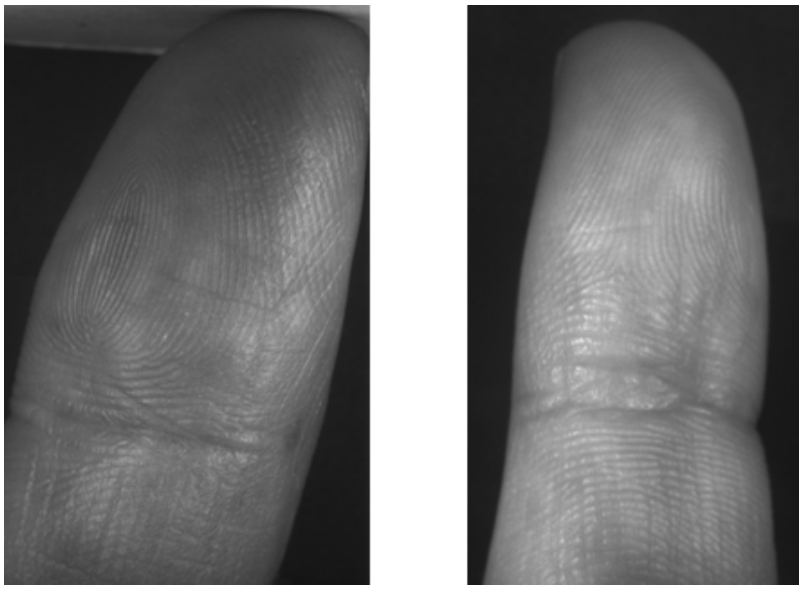


그림 3-1 비접촉식 5지 장비에서 획득한 Rolling된 지문영상

지문 등록(enrollment) 시와 지문 검증(verification)시에 손가락의 돌아간 정도가 다르면, 같은 지문이라 할지라도 지문 인식 시스템에서는 서로 다른 지문으로 인식할 수 있다. 일례로, 지문 인식에 사용되는 알고리즘 중 하나인 특징점(Minutae)를 이용한 정합의 경우, 손가락의 돌아간 정도가 다르면 지문 표면에

분포하는 특징점들 중 서로 다른 것이 인식된다. 또한 지문 표면에 특징점들이 고르게 분포하지 않기 때문에, 지문의 돌아간 정도에 따라 인식되는 특징점의 개수가 달라질 수 있다. 이는 비접촉식 지문 인식 시스템의 성능을 크게 좌우할 수 있다. 따라서 비접촉식 지문 인식 장비에서 손가락의 돌아간 정도를 최소화 하고, 가능한 지문 정면 영상(손가락을 정면을 바라보았을 때 획득한 영상)을 획득하는 것이 필요하다.

3.2.1.1 손가락 입력단 및 거치대

동심원 구조의 입력단에서, 손가락이 돌아간 정도는 손가락 배치와 관계가 있다. 이는 손 구조의 영향 때문이다. 손바닥의 경우 동심원 구조가 아닌 사각형에 가까운 구조이고, 각 사람마다 손가락 마디의 길이가 다르다. 입력단에 손을 넣을 때 손을 오므려서 동심원 구조로 만들게 되는데, 이 때 손가락 끝부분 및 손 전체가 이루는 모양이 완전한 동심원이 아닌 약간 찌그러진 타원에 가까운 원이 된다.

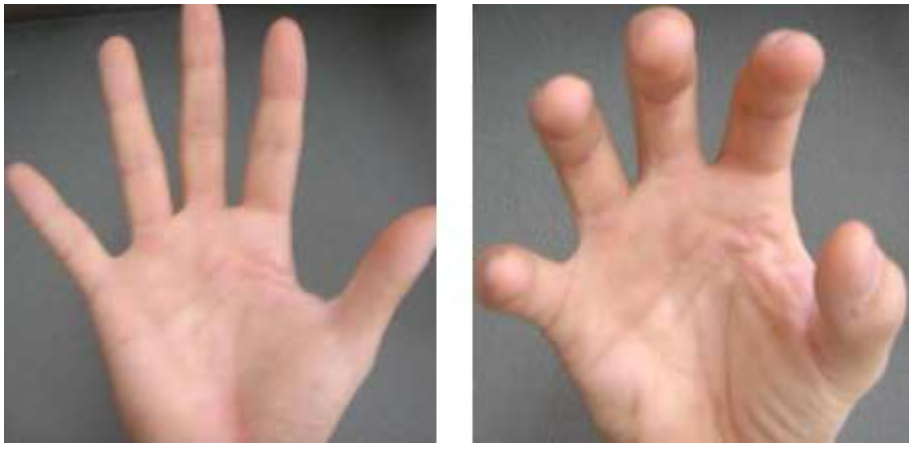


그림 3-2 손바닥 및 오므렸을 때 손 영상

결국, 동심원 구조의 입력단에 손을 넣게 되면, 강제적으로 손이 동심원 모양으로 맞춰지게 되는데, 이에 따라 손가락이 조금씩 돌아가는 등의 변형이 일어나게 된다. 변형 정도는 손가락을 어디에 배치하는가에 따라 다르게 일어난다. 이 변형은 손 가락의 길이 및 손 크기에 따라 다르게 일어난다. 개인마다 손가락 길이가 다르고 손 크기가 다르기 때문에, 개인마다 일어나는 변형 정도가 다르고 이에 따라 손가락이 돌아가는 정도도 다르게 나타난다.

본 연구에서는 5개의 손가락에서 정면 영상 및 정면에 가장 가까운 영상을 획득하기 위하여 손가락 거치대를 설계하였다. 손가락 거치대는 외부 원통과 손가락 홀더로 구성되어 있다. 손가락의 배치를 바꾸어가면서 영상을 획득할 수 있도록 홀더는 이동 및 탈, 부착이 가능하도록 되어있다.

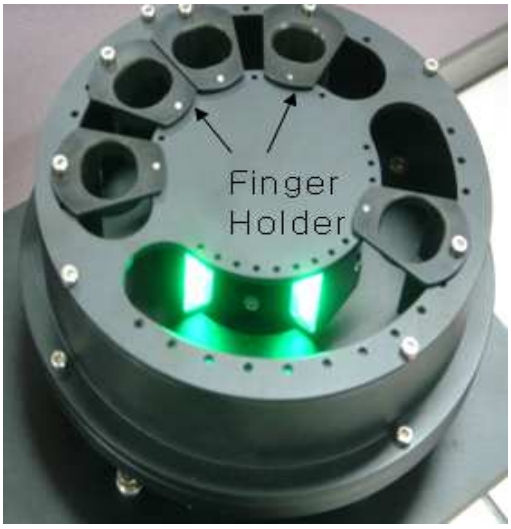


그림 3-3 손가락 거치대

손가락 배치에 있어 많은 경우의 수가 가능하지만, 성인 손 크기를 고려하면 가능한 경우는 몇 가지 범주로 줄어둘 수 있다. 본 연구에서는 엄지의 위치를 고정하고 다른 손가락의 위치를 바꾸는 과정으로 손가락의 배치를 변화시켰다. 편의상,

손가락 홀더의 위치를 고정시키는 구멍을 기준으로 하고, 손가락 배치를 다르게 하였다. 각 거치대 구멍 사이의 각도는 10도씩이다. 따라서 거치대에서 구멍 1칸을 옮긴 것은 손가락 배치의 각도를 10도 바꾼 것과 동일하다. 거치대를 위에서 보았을 때 맨 왼쪽 첫 번째 구멍을 1번째로 놓고, 검지부터 소지까지의 네 개의 손가락 홀더 위치를 변화시켜 가며 손가락 배치를 결정하였다.

표 3-1 손가락 배치 경우

	손가락 배치
1	검지 2번째 중지 5번째 약지 8번째 소지 11번째
2	검지 2번째 중지 5번째 약지 10번째 소지 13번째
3	검지 2번째 중지 6번째 약지 10번째 소지 14번째
4	검지 2번째 중지 6번째 약지 10번째 소지 15번째
5	검지 3번째 중지 6번째 약지 9번째 소지 12번째
6	검지 3번째 중지 6번째 약지 10번째 소지 13번째
7	검지 3번째 중지 6번째 약지 10번째 소지 14번째
8	검지 3번째 중지 6번째 약지 10번째 소지 15번째
9	검지 3번째 중지 7번째 약지 10번째 소지 13번째
10	검지 3번째 중지 7번째 약지 10번째 소지 14번째
11	검지 3번째 중지 7번째 약지 10번째 소지 15번째
12	검지 3번째 중지 7번째 약지 11번째 소지 14번째
13	검지 3번째 중지 7번째 약지 11번째 소지 15번째
14	검지 4번째 중지 7번째 약지 10번째 소지 13번째
15	검지 5번째 중지 8번째 약지 11번째 소지 14번째

3.2.1.2 Rolling Rate 측정

거치대를 사용하여 손가락 배치를 다르게 하였을 때 돌아간 정도가 다른 지문 영상을 획득하였다. 다음은 획득한 지문 영상이 돌아간 정도를 확인하는 것이다. 앞에서 언급한 대로, 정면에서 많이 돌아간 지문 영상이 획득될 경우, 기존에 등록되어 있는 지문 영상과 정합이 되지 않아 거부될 수 있다. 따라서 획득된 영상이 지문 영상이 정면에서 얼마나 돌아갔는가를 알아보는 것이 필요하다. 또한 이 정보를 이용하여 앞에서 설계한 거치대 및 손가락의 배치를 평가하고, 수정할 수 있다. 지문 영상이 돌아간 정도는 중심점-중심축 거리(Core-axis Distance)를 사용한 Rolling Rate 알고리즘을 사용하였다.[14] Rolling Rate 알고리즘에서 지문의 돌아간 정도는 지문 외곽선과 중심점을 측정하여 사용하는 것으로 측정할 수 있다[그림3-4]

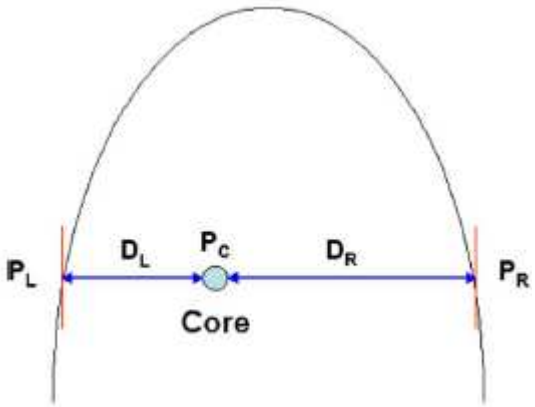


그림 3-4 Rolling Rate 측정을 위한 모델

그림에서 P_C는 지문의 중심점을 나타낸다. P_L과 P_R은 지문 중심점을 지나며 지문 외곽까지 이은 직선과, 지문 외곽선이 수직으로 만나는 지점을 가리킨다. D_L은 P_C와 P_L 사이의 거리이고, D_R은 P_C와 P_R 사이의 거리를 나타낸다. 위 정의들을 기초

로, 돌아간 정도(Rolling)을 다음과 같이 측정할 수 있다.

$$R_{rate} = \frac{|D_L - D_R|}{D_L + D_R} \qquad \text{(식 3-1)}$$

지문 중심점의 위치가 손가락의 중심에 가까울수록, rolling rate는 0에 가깝게 감소하고, 반대의 경우 1에 가깝게 증가한다.

실험을 위해, 본 연구에서는 지문 영상에서의 중심점을 손으로 찍어서 표시하고, rolling rate를 얻었다. 획득한 지문 영상은 9명의 성인을 대상으로, 엄지부터 소지까지의 5 손가락을 15종류의 손가락 배치로 바꿔 보며 측정하였다. 총 675장을 대상으로 rolling rate를 측정하였다.

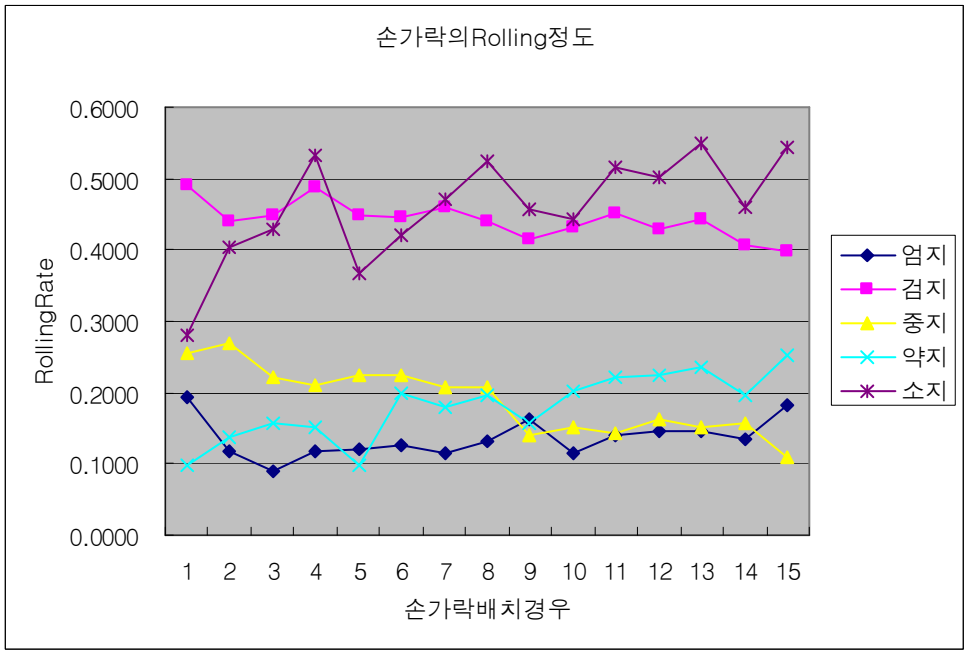


그림 3-5 15종 손가락 배치에 대한 Rolling Rate의 결과

위 그림은 15종류의 손가락 배치에 대하여 Rolling Rate 알고리즘을 적용했을 때, 손가락의 돌아간 정도를 측정한 결과이다. 각 손가락 및 각각의 손가락 배치에 대하여 평균을 내었을 때 1번 경우와 5번 경우에서 다른 경우에 비하여 낮은 Rolling Rate가 측정되는 것을 관찰할 수 있었다. 즉, 1번 경우나 5번 경우로 손가락을 거치대를 설치하게 되면 다른 경우에 비하여 상대적으로 손가락이 돌아가는 정도가 낮다. 표3-2는 rolling rate와 실제 돌아간 각도와의 관계를 보여 준다 [14]

표 3-2 Rolling Rate와 손가락 돌아간 각도

Rolling (degree)	-60	-40	-20	0	20	40	60
R-rate	0.61	0.52	0.28	0.07	0.31	0.54	0.64

알고리즘으로 측정된 Rolling Rate의 결과로 미루어 볼 때에 본 연구에서 제작한 장비에서 손가락이 돌아가는 현상은 피할 수 없음을 알 수 있다. 또한 위 결과는 측정 값의 평균이기 때문에 손 크기가 평균보다 크거나 작은 특정 사용자의 지문 입력 시, 손가락의 돌아가는 정도는 위 측정 결과와 다르게 나타날 수도 있다.
본 장비의 거치대를 위와 같은 과정으로 평가하여 볼 때, 사용자의 입력 시에 검지와 소지에서 손가락의 돌아간 정도가 다른 손가락에 비하여 큰 것을 알 수 있다. 따라서, 검지와 소지의 경우 거울을 설치하여 지문 측면 영상 및 기타 영상을 획득하는 등으로 장비를 보완하는 방식이 필요하다.

3.2.2 조명의 균일도

비접촉식 지문 인식은 카메라를 통해서 지문 영상을 얻는 방식이므로 영상 획득시의 환경 역시 중요한 변수이다. 특히 조명의 영향은 비접촉식 지문 인식의 성능을 좌우할 만한 중요한 요소가 된다.

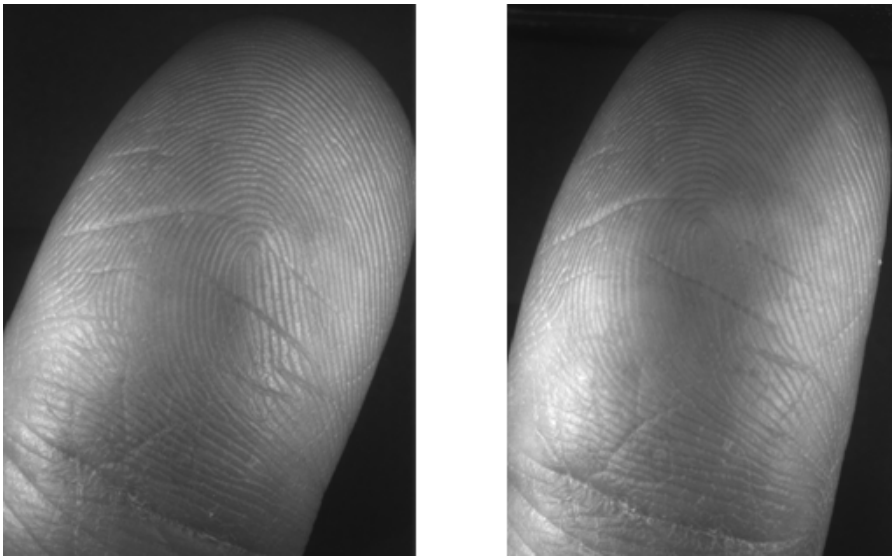


그림 3-6 서로 다른 조명 환경에서의 동일 지문 영상

위 그림3-6은 다른 조명 환경에서 동일 지문 영상을 보여준다. 두 지문이 같은 사람의 같은 손가락 영상인데도 불구하고 조명 환경이 변하였을 때, 육안으로도 동일한 지문임을 식별해내기란 쉽지 않다. 그림 3-6과 같은 영상을 지문 인식 알고리즘으로 처리했을 경우, 조명의 어두운 부분에서 유사 특징점(False Minutiae) 같은 잘못된 특징들을 추출할 수 있으며, 이는 결과적으로 시스템의 성능 하락을 가져온다.

비접촉식 장비를 통해 얻은 영상에서는, 지문 전 영역에 대하여 영상의 밝기가 균

일하여야 한다. 그림3-17에서 보는 것과 같이, 지문 영상의 밝기가 부분적으로 다르다면, 밝기가 좋지 않은 영역에서는 잘못된 특징을 추출할 것이며, 이는 동일인에 대하여 본인 거부율(FRR)을 증가시킬 수 있다. 따라서 지문 영역에 대하여 고른 밝기의 빛을 조사하는 조명 설계가 필요하다.

또한 지문 인식은 융선과 골이 이루는 모양을 기본으로 인식을 수행한다. 융선과 골이 이루는 구조를 분명하게 획득할수록 지문 인식의 성능이 좋아진다. 이는 비접촉식 지문 인식에서도 동일하다. 비접촉식 지문 인식에서, 융선 골 사이의 구조 영상을 획득하는 데 영향을 끼치는 요인은 영상의 초점 및 융선 골 사이의 밝기차이(Ridge-Valley Contrast)이다. 영상의 초점은 카메라 및 렌즈의 선택과 관련이 있고, 조도차이는 조명과 관련이 있다. 따라서, 융선 골 사이의 조도차이를 최대한 확보하기 위한 조명 설계가 필요하다. 본 연구에서는 충분한 조도차이를 확보하기 위하여 회전 거울 양 측면에 LED 조명을 설치하여 손가락 정면에서 빛을 조사하도록 설계하였다.

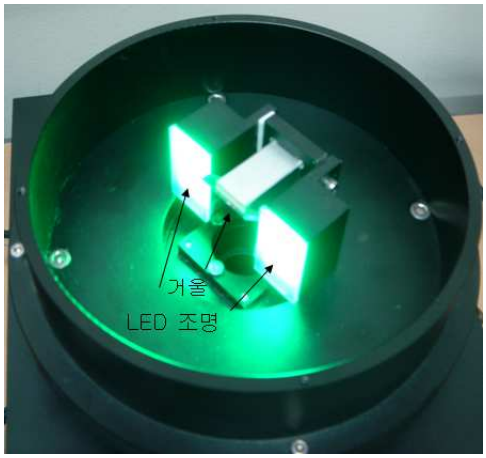


그림 3-7 5지 장비의 LED 조명

제안한 장비에서, 조명 조사가 균일하게 이루어지고 융선 골 사이의 충분한 조도

차이를 얻는 지를 확인하는 것은 장비 평가의 중요한 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 조명의 평가를 위하여 지문 영상의 블록 별 Directional Difference[15]를 사용하였다.

3.2.2.1 Directional Difference 알고리즘

이 방법은 융선 골 사이를 구분하는 데 사용하는 알고리즘이다. 이미지 블록의 중심(C)을 기준으로, 8개 방향의 화소 합을 구한다.

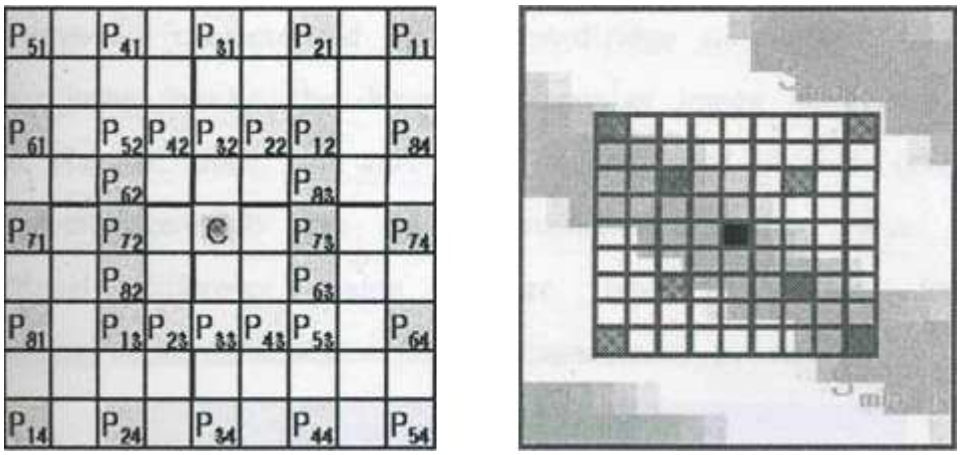


그림 3-8 Directional Difference 알고리즘과 그 적용 예

$$S_i = \sum_{j=1}^{4} P_{ij}, \quad \mathrm{P_{ij}}\text{: gray value of pixel},$$

$$S_{\max} = Max\{S_i, i = 1, 2..., 8\}$$
$$S_{\min} = Min\{S_i, i = 1, 2..., 8\} \qquad \text{식(3-2)}$$

$$D_B = Sum\{|S_{\max} - S_{\min}|\} \qquad \text{식(3-3)}$$

여기서 S_{max}는 융선에 해당하는 화소를, S_{min}은 골에 해당하는 화소를 나타낸다.

계산 결과 나온 D_B 값은 해당 지문 블록의 조도차이를 나타낸다. 조도차이가 좋은 블록은 D_B 값이 높고, 조도차이가 나쁜 블록은 D_B 값이 낮게 나타난다.

(a) D_B 0~15 (b) D_B 15~20 (c) D_B 20~30 (d) D_B 30~40 (e) D_B 30~40

그림 3-9 서로 다른 Contrast 값을 가지는 지문 블록

그림 3-9은 Directional Difference 알고리즘으로 융선 골 간의 조도차이를 측정하였을 때 각각의 지문 블록과 그 값이다. 그림 3-20(a), (b)의 경우 융선과 골의 구조를 구분해 낼 수 없지만, (c)와 (d)에서부터는 융선과 골의 구조를 구분해 낼 수 있다. 본 연구에서는 지문 영상에서 D_B 값이 30 이상인 블록의 개수를 세고, 그 비율을 살펴보는 것으로 융선 골 간의 조도차이를 알아보고 조명이 고르게 조사되는가를 평가한다.

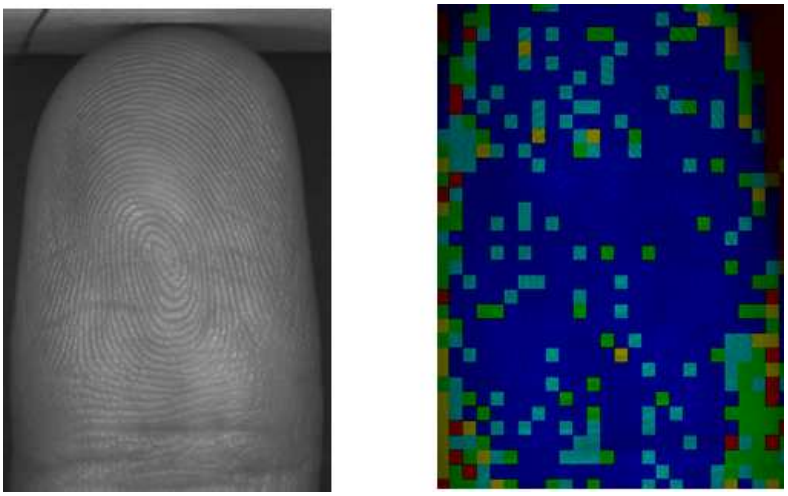


그림 3-10 비접촉식 지문 영상과 Directional Difference 알고리즘 적용한 영상

D_B 0~15:붉은색, D_B 15~20:노란색, D_B 20~30:녹색, D_B 30~40:아쿠아, DB 40이상: 청색

$$Ratio = \frac{\text{Good Block Number}}{\text{Foreground Block Number}},\ \text{Good Block} : D_B > 30 \qquad \text{(식3-4)}$$

3.2.2.2 조명의 균일도 측정

성인 6명의 5손가락, 총 30장의 영상에 대하여 조명 평가를 실행하였다. 실행 방법은 임의로 지문을 Segment한 영상에서 Directional Difference 알고리즘을 적용하였다. D_B 값이 30 이상인 블록을 Good 블록으로 설정하였을 때, 지문 영역(Foreground) 내에서의 비율은 다음과 같다.

표 3-3 Foreground 내 Good Block의 비율

	최대	최소	평균	분산
Ratio	0.99	0.77	0.918	0.05

지문 영역 내에서 Good 블록의 비율이 평균 0.91인 것은 획득된 지문 영상 영역의 대부분이 Good 블록인 것을 의미한다. 또한 이것은 획득된 지문 영상이 충분한 융선 골 간의 조도 차를 가진다는 것을 의미한다. 지문 영상마다 Good 블록의 비율에 차이가 있는 것은 조명의 문제라기 보다는, 개인마다 손가락 지문 융선이 닳았거나 초점이 맞지 않아 영상이 blur 현상이 일어났기 때문이다.

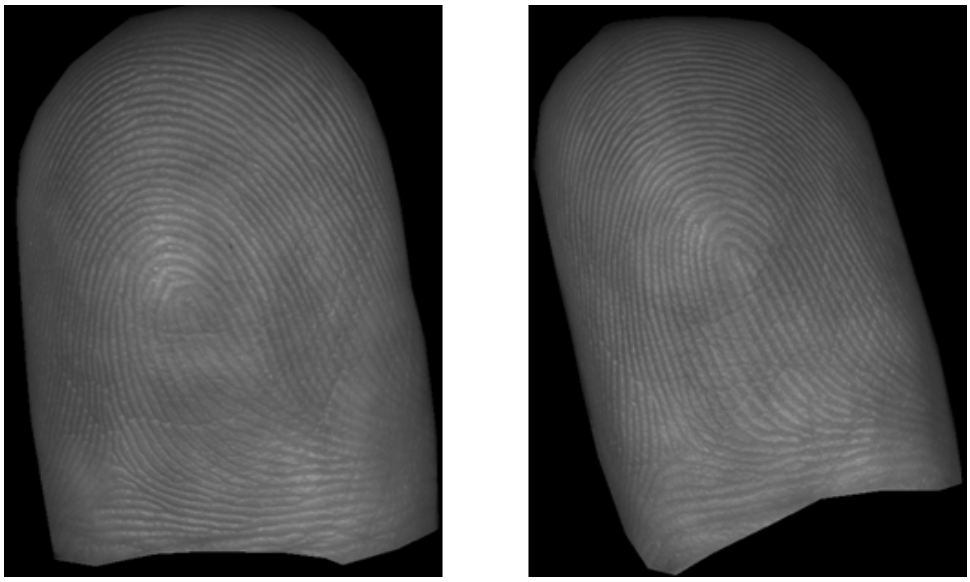
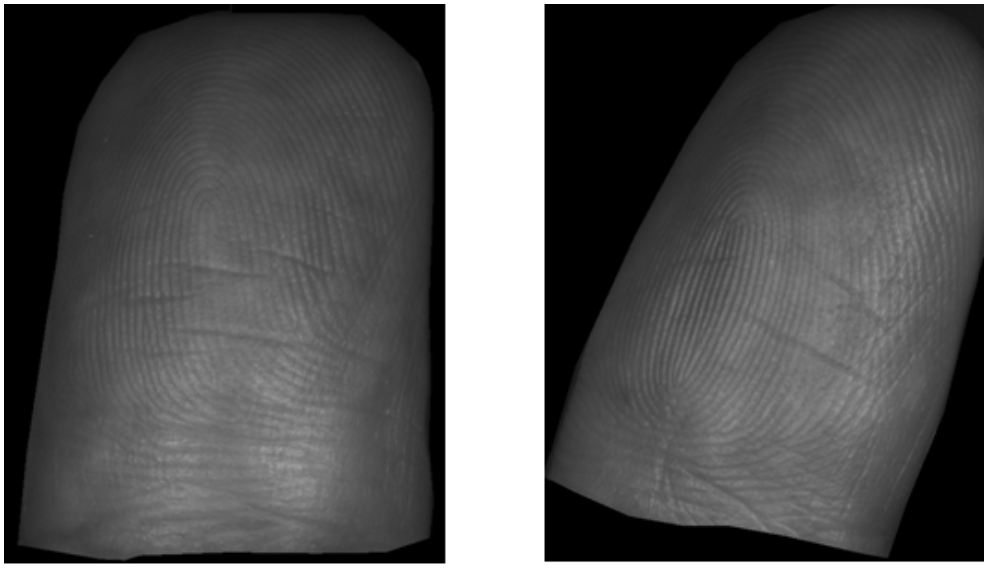


그림 3-11 Good Block의 비율이 높은 지문영상 ($D_B > 0.9$)



(a)초점이 맞지 않은 지문 영상 (b) 지문 표면이 좋지 않은 영상

그림 3-12 Good Block 비율이 낮은 지문영상 (D_B 0.7)

따라서 위 결과를 기초로, 본 연구에서 제안한 장비의 조명이 지문 인식에 사용할 수 있을 만큼의 충분한 융선 골 사이의 조도차이를 확보하고 있음을 확인할 수 있다.

3.2.3 초점

비접촉식 지문인식은 카메라를 통해서 영상을 획득하기 때문에 영상 획득시의 조건이 인식 성능에 영향을 미친다. 영상의 초점 역시 그 중에 하나이다. 초점이 맞지 않은 영상의 경우, 지문 인식율이 떨어질 뿐 아니라 융선 골 구조의 부정확한 인식으로 본인 거부율(FRR), 혹은 타인 수용율(FAR)이 증가할 수 있다는 문제가 있다.

그러므로 지문 인식을 위해 획득한 영상에서 초점이 잘 맞는가 하는 문제는 시스템의 성능을 평가하는 요소로 사용될 수 있다. 일반적으로 영상의 초점이 맞는가, 혹은 맞지 않는가 하는 것은 카메라의 초점심도(Depth of Focus)안에 물체(Object)가 들어왔는가 혹은 들어오지 않았는가로 판단된다. 물체가 카메라의 초점심도 범위 밖을 벗어나면 초점이 맞지 않게 된다.

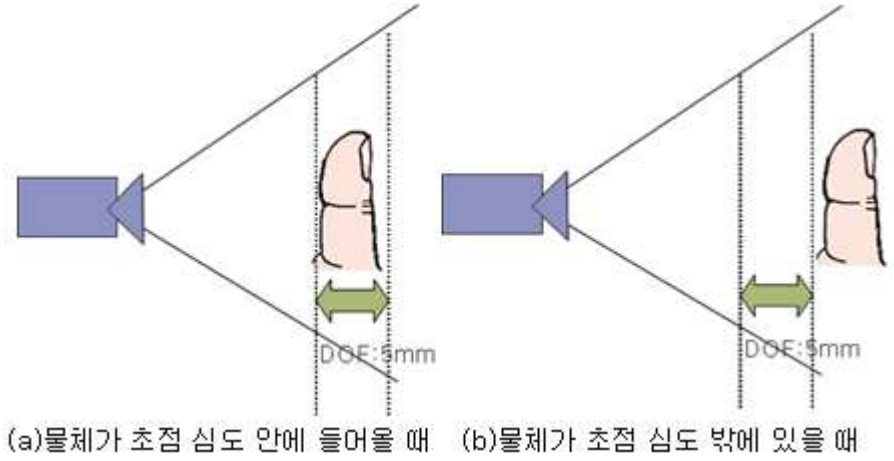


그림 3-13 초점심도와 물체와의 관계

본 연구에서는 거치대 반경 5.5cm 지점에 손가락이 위치하였을 경우 초점이 가장 잘 맞도록 설계하였다. 그러나 지문 인식을 위해 사용자가 손을 삽입할 때마다 정확하게 거치대 반경 5.5cm 지점에 손가락이 위치하리라는 것은 어려운 일이다.

손가락의 배치가 조금씩 바뀔 수 있고, 거치대 내에서도 앞 뒤로 움직일 수 있기 때문이다. 그러므로 반경 5.5cm 전후로 충분한 초점심도를 확보하여 손가락이 움직이더라도 초점이 맞게끔 설계하는 것이 필요하다. 제안한 장비에서는 카메라의 초점심도를 5mm로 설계하여, 손가락이 크게 움직이거나 거치대에서 이탈하지만 않는다면 초점이 잘 맞는 영상을 획득할 수 있게끔 하였다.

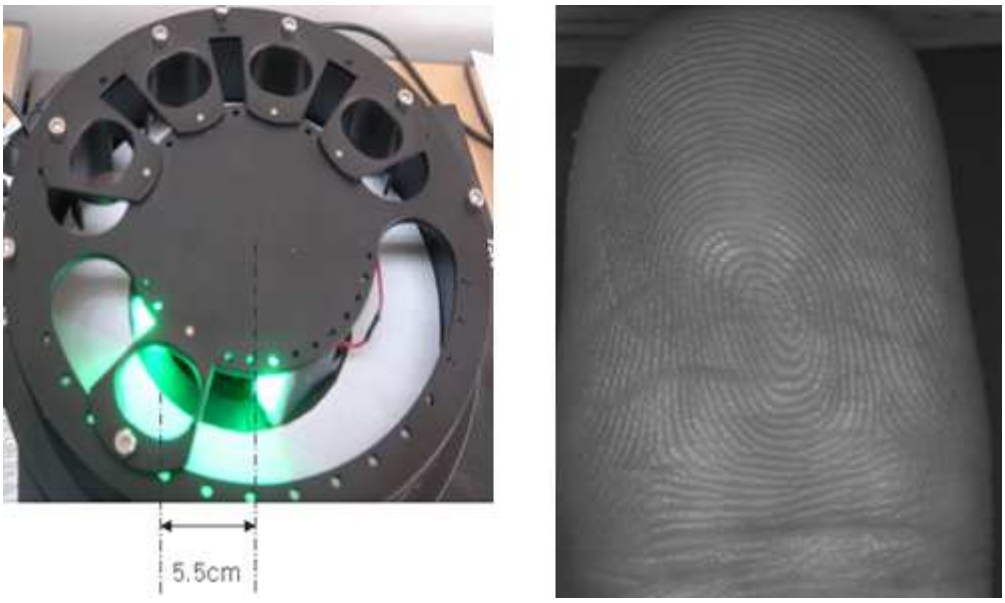


그림 3-14 제안한 장비의 거치대 및 획득한 지문영상

따라서 제안한 장비에서 초점이 잘 맞는지를 평가하는 것은 다음과 같은 면에서 생각해 볼 수 있다. 첫째는 '거치대 안에 손가락이 반경 5.5cm에 위치하였을 때 초점이 잘 맞는가' 와 둘째는 '거치대 안에서 손가락이 움직여서 위치가 조금씩 달라졌을 때도 초점이 잘 맞는가' 하는 것이다. 이 두 가지 면을 고려하여, 제안한 장비의 초점을 평가하였다. 초점이 맞는 정도는 Tenengrad 알고리즘을 적용하였다. 지문 영상을 17×17 블록으로 나누었고, 각 블록마다 Tenengrad 값을

계산하였다. 각 블록 당 Tenengrad 값은 다음과 같은 과정으로 계산된다.

$$T_B(i,j) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=i-n}^{i+n} G_V^2(k,l) + G_H^2(k,l) \qquad (식3-5)$$

여기서 G_V, G_H는 영상의 수직, 수평 방향 gradient 값이다.

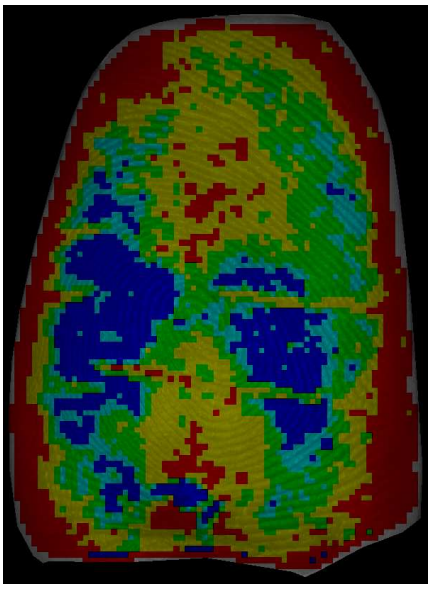


그림 3-15 지문 영상 내에서 초점값의 분포

표 3-4 Focus Measure 값 및 해당 색

	Blue	Aqua	Green	Yellow	Red
Tenengrad 값	2000이상	1500~2000	1000~1500	500~1000	0~500

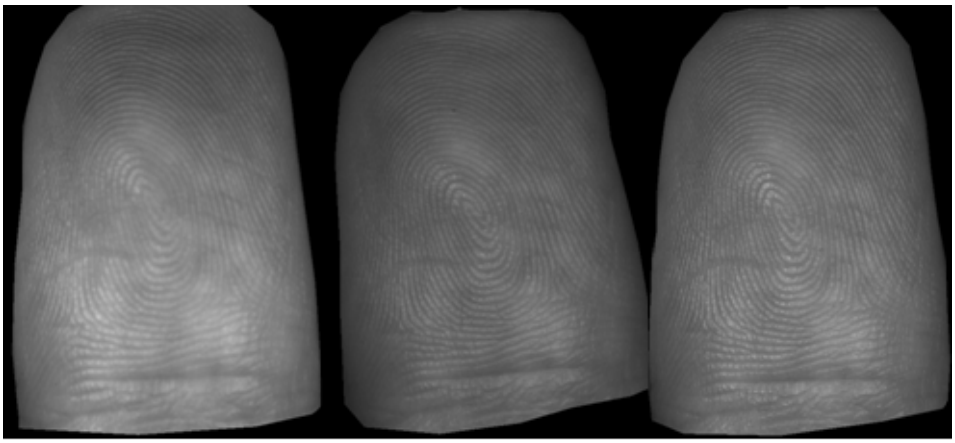
표3-4와 그림 3-17은 지문 영상 내에서 Tenengrad 초점 값의 분포를 나타낸다. 지문 영상의 중심점(Core)부근에서는 높은 초점 값을 가지고 지문 가장자리로 갈수록 낮은 초점 값을 가짐을 알 수 있다.

초점 평가는 지문 정면에서 앞뒤로 움직인 영상, 거치대 영상, 정면에서 Rolling 시킨 영상 3가지 범주로 나누어 실행하였다. 각각의 경우에서 조건을 변화시켜 가면서 설계에서 의도한 대로 5.5cm 반경에서 초점이 가장 잘 맞는가, 거치대에 손가락을 삽입하였을 때 어느 정도 초점이 맞는가를 평가하였다. 여기서, 초점이 잘 맞는가를 평가할 때는 지문 영상에서 Tenengrad 블록 값이 500 이상 되는 블록의 비율을 측정하는 방법을 사용하였다.

$$Ratio = \frac{\text{Good Block Number}}{\text{Foreground Number}}, \qquad \text{Good Block} : T_B > 500 \qquad \text{(식3-6)}$$

3.2.3.1 정면에서 앞뒤로 움직인 영상의 초점 측정

거치대 내 손가락이 앞뒤로 움직인 경우의 초점 측정 및 평가를 위해서, 엄지부터 소지까지 동일인의 5개 손가락의 지문 정면 영상을 획득하였다. 거치대를 제거한 상태에서 반경4.5~6.5cm까지 5가지 경우로 변화시켜 가면서 영상을 획득하였다. 총 25장의 영상에 대하여 Tenengrad 알고리즘을 적용하여 초점 값을 측정하였고, Tenengrad 초점 값이 500이상이 되는 블록의 비율을 측정하였다. 25장 지문 정면 영상에서 블록 비율의 평균을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.



(a)반경4.5cm일 때 (b)반경5.5cm일 때 (c)반경6.5cm일 때

그림 3-16 손가락이 앞뒤로 움직였을 때 지문영상

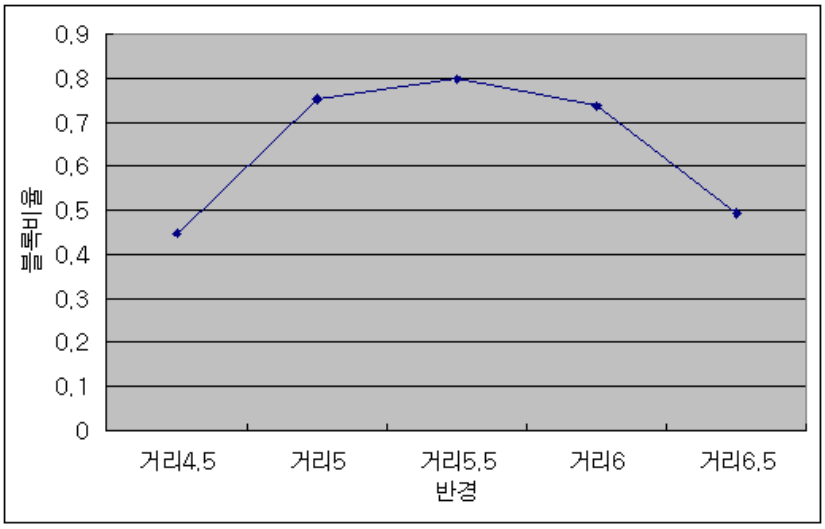


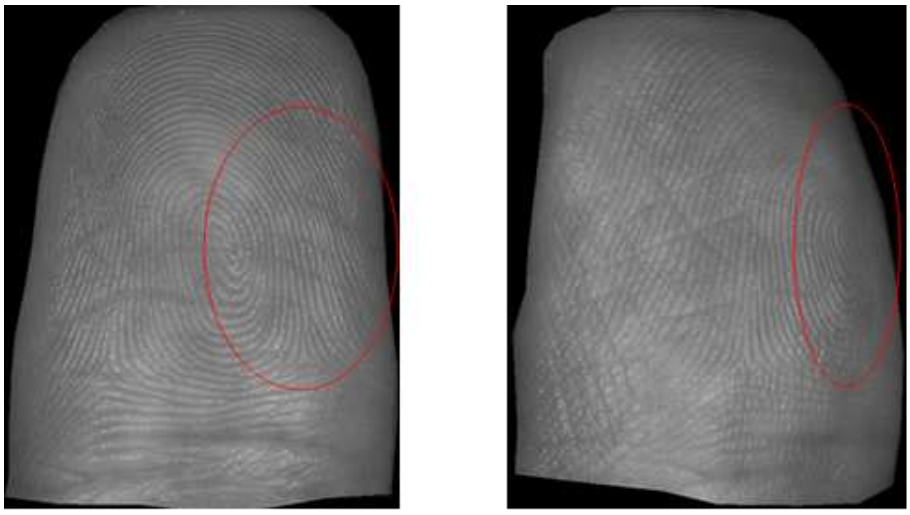
그림 3-17 T_B > 500 이상인 블록의 비율

측정 결과 반경5.5cm 일 때 획득한 지문 영상의 초점이 다른 반경에서 획득한 지문 영상보다 영상 초점이 좋은 것으로 나타났다. 5.5cm일 때 T_B 500이상의 비율이 0.8, 5cm일 때 비율이 0.75, 6cm일 때 0.73인 것으로 나타났다. 이것은 설계에서 의도한 대로, 반경 5.5cm에 손가락이 위치하였을 때 초점이 가장 잘 맞는다

는 것을 의미한다. 또한 5cm, 6cm일 때의 비율이 5.5cm의 비율에 근접하는 것으로 보아, 손가락이 0.5cm 정도 움직이더라도 획득한 영상의 초점 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서, 영상 획득 시에 손가락이 카메라 정면을 바라보고 앞뒤로 움직이기만 하는 경우, 반경이 5.0cm~6.0cm 정도인 영상은 인식에 사용 가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

3.2.3.2 정면에서 Rolling 된 영상

앞에서 언급한 대로 거치대에 손을 입력하게 되면 손가락이 거치대 내부에서 앞, 뒤로 움직이거나 Rolling 되는 현상이 발생한다. 이 절에서는 손가락이 Rolling 되었을 때의 초점 값 변화를 알아보고자 한다.



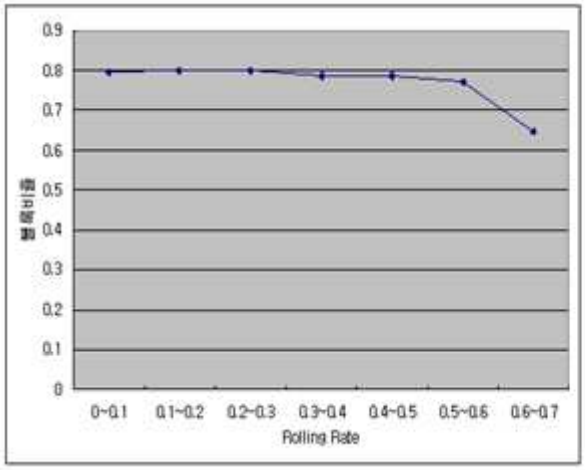
(a) 지문 정면 영상 (b) Rolling된 지문 영상

그림 3-18 지문 정면 영상 및 Rolling 영상

그림 3-18은 지문 정면 영상 및 돌아간 영상을 보여준다. 손가락이 돌아가면서 표시된 영역 안의 융선 골 구조가 지문 중심에서 지문 가장자리로 이동하였다. 지문 가장자리로 갈수록 Blur되는 현상이 발생한다. Blur가 발생하는 영역에서는

초점 값이 작아지며, 지문 영상 전체의 초점 값이 감소하는 결과로 이어질 수 있다. 결과적으로, 손가락 Rolling에 의하여 초점값이 감소하는 것은 손가락이 초점 심도 밖으로 벗어나서 초점이 맞지 않기 때문이 아니라, 지문 영상 가장자리에서 Blur 되는 영역의 비율이 변하기 때문임을 알 수 있다.

지문의 돌아감에 따른 초점 값의 변화 측정은 다음과 같은 과정으로 수행되었다. 동일인의 지문에 대하여, 반경 5.5cm에 손가락을 위치시킨 후, 정면에서부터 손가락을 조금씩 Rolling 시키면서 14장의 영상을 획득하였다. 획득한 영상 각각에 대하여 17×17 Block으로 나누었고 Tenengrad 값을 계산하였다. 측정 결과는 다음과 같다.



rolling (degree)	R_{rate}	R_{VT} (%)	R_{conv} (%)
-60	0.61	52.7	26.7
-40	0.52	63.2	82.3
-20	0.28	68.5	100.0
0	0.07	72.4	100.0
20	0.31	66.4	96.7
40	0.54	59.6	76.7
60	0.64	53.2	23.3

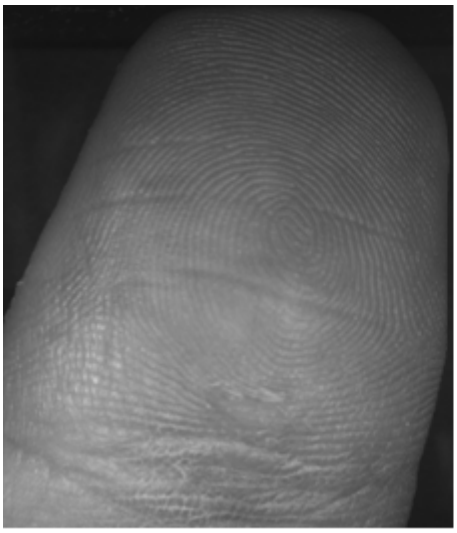
그림 3-19 손가락 Rolling에 따른 블록 비율 변화

그림 3-19은 손가락이 Rolling될 때, T_B>500인 블록비율의 변화를 보여준다. 손가락의 돌아간 정도가 크지 않은(0~0.4)의 범위 안에서 블록 비율은 대체로 비슷한 값을 유지하고 있다. 그러나 지문의 돌아간 정도가 더 증가하면(0.4이상) 블록 비율이 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제안하는 장비를 사용할

때 손가락의 Rolling 정도가 크지 않은 범위(+40도~-40도)안에서는 Blur 되는 영역의 비율이 크지 않으며, 전체적으로 영상의 초점은 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

3.2.3.3 거치대 지문 영상

거치대에 손을 입력할 때에는 앞에서 언급한 손가락이 앞뒤로 움직이고, Rolling되는 현상이 동시에 일어난다.



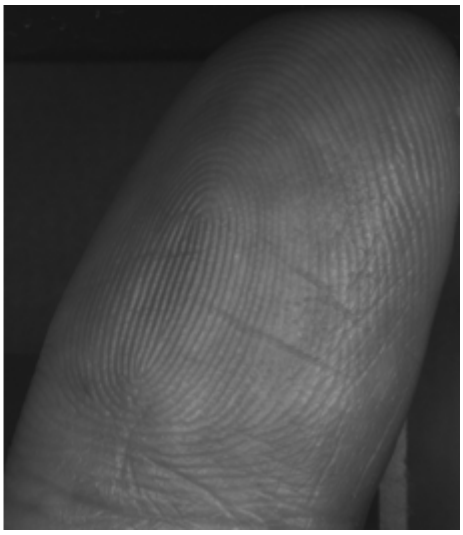


그림 3-20 거치대에서 획득한 지문 영상

따라서, 거치대에서 획득한 지문 영상의 경우 거치대를 제거한 상태로 획득한 지문 정면 영상에 비하여 초점 값이 낮으리라는 것을 예상할 수 있다. 실제로, 성인 5명에게서 엄지에서 소지까지의 영상을, 거치대에서 획득하는 방식과 거치대 설치하지 않고 정면에서 영상을 획득하는 방식으로 각각 25장씩 총 50장을 획득하여 초점 값을 측정하여 보았다.

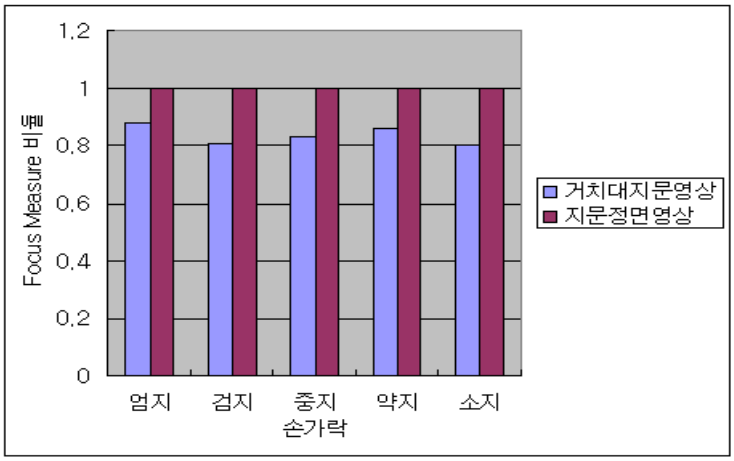


그림 3-21 지문 정면 영상과 거치대 지문 영상에서 구한 평균 초점값의 비교

반경 5.5cm에서 지문 정면 영상을 획득하였을 때 초점이 가장 잘 맞기 때문에 이것을 기준으로 두고, 거치대에서 획득한 지문 영상의 초점 값의 평균을 비교하여 보았다. 결과는 지문 정면 영상의 평균 초점 값을 1로 두었을 때, 거치대 지문 영상의 평균 초점 값은 0.8~0.88 사이에 분포하는 것을 확인하였다. 거치대 설치 후에 지문 영상의 초점 값이 지문 정면 영상의 초점 값에 비하여 상대적으로 낮아지는 것을 확인하였다. 또한 위 결과를 SML(Sum Modified Laplacian)을 적용하여 초점을 측정하였을 때 역시 유사한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다.

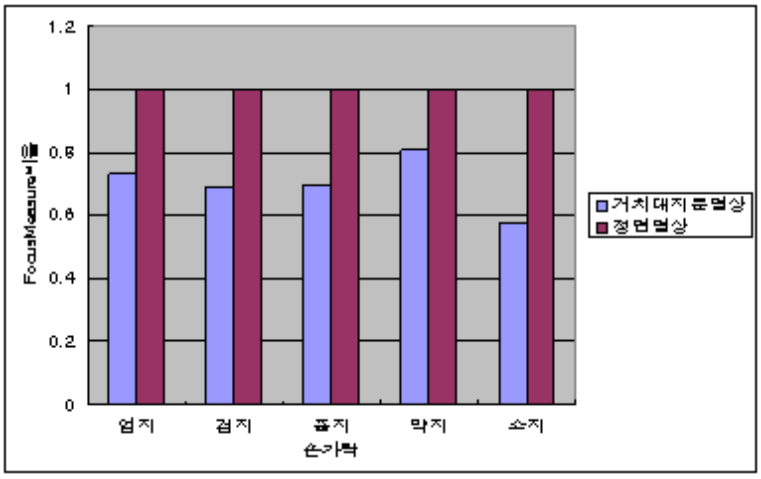


그림 3-22 SML로 측정한 지문 영상 초점값

SML 연산자는 Laplacian 필터의 단점으로 지적되는 수평 및 수직 성분의 2차 도함수 상쇄를 개선한 연산자이다.

$$\nabla^2 g(x,y) = \left|\frac{\partial^2 g(x,y)}{\partial x^2}\right| + \left|\frac{\partial^2 g(x,y)}{\partial y^2}\right| \qquad \text{(식3-7)}$$

위 연산자를 적용하였을 때, 그림 3-22와 같은 영상 초점의 비율을 얻을 수 있었다. Tenengrad 초점값을 사용한 것과 유사하게 검지 및 소지에서 초점값이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 다만 초점 측정 방식이 달라짐으로 인해, 초점값 비율이 Tenengrad를 사용했을 때 보다 줄어들었다. 이것은 향후 측정 Measure의 scale 조정으로 보완할 수 있을 것이라 생각된다.

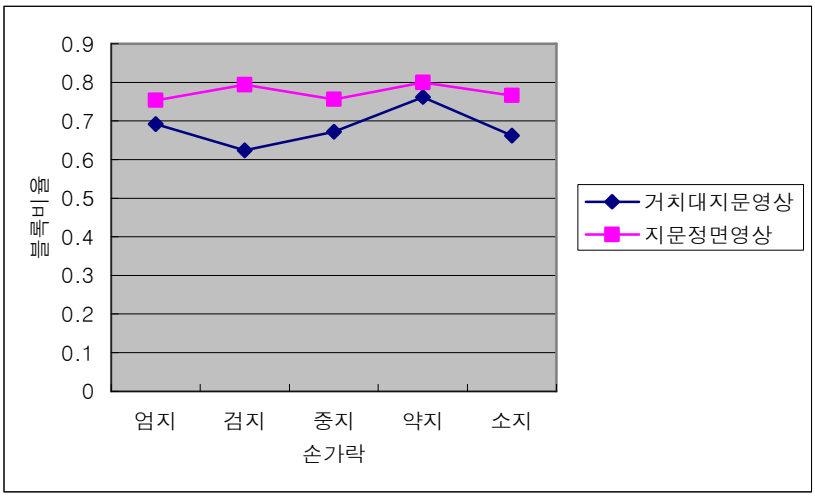


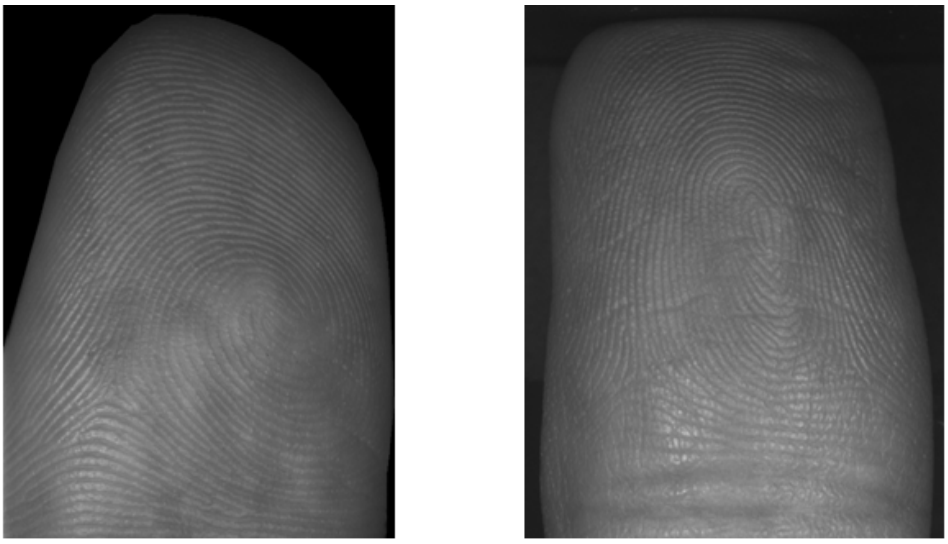
그림 3-23 지문 정면 영상과 거치대 지문 영상에서 구한 블록비율

지문 정면 영상과 거치대 설치 시 지문 영상에서, T_B > 500 인 블록의 비율을 측정하여 보았다. 지문 정면 영상에서는 블록비율이 0.75~0.8에 분포하는데 비하여, 거치대 지문 영상에서는 0.62~0.76에 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 거치대 영상에서는 지문 정면 영상에 비하여 T_B > 500인 블록의 비율이 상대적으로 낮게 측정되었다. 특히 검지 및 소지에서는 블록비율 평균이 낮게 측정되었다.

표 3-5 거치대 영상에서 R-rate와 T_B > 500 이상의 블록비율 평균

	엄지	검지	중지	약지	소지
R-rate	0.17	0.44	0.13	0.11	0.35
블록비율평균	0.69	0.62	0.67	0.76	0.66
T_B비율 (지문정면이 1일 때)	0.88	0.81	0.83	0.86	0.8

표3-5는 거치대 지문 영상에서 R-rate와 T_B>500 이상 블록 비율과 Tenengrad 초점 값의 비율을 나타낸다. 검지 및 소지에서 R-rate(돌아간 정도)가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3-31의 결과를 고려하여 볼 때, 검지 및 소지에서 R-rate이 높은 것이 블록비율 평균이나 Tenengrad 초점 값에 영향을 준 것은 아님을 알 수 있다. 따라서, 거치대 영상에서 초점값이 지문 정면 영상보다 감소하여 나오는 것은 거치대 내부에서 손가락이 앞뒤로 움직였기 때문임을 알 수 있다.



(a) T_B > 5000이상 블록비율 0.7 R-rate : 0.4 (b) T_B > 5000이상 블록비율 0.79 R-rate : 0.08

그림 3-24 거치대에서 획득한 지문영상

앞서 측정한 결과를 종합하여 볼 때, 거치대에 손을 입력하여 영상을 획득하는 경우, 설계에서 의도하였던 지문 정면 영상에 비하여 약 80%의 초점 값을 가지는 것을 알 수 있었다. 다시 말해서, 거치대에서 지문 영상을 획득할 때 약 20% 정도로 영상이 Blur 되는 것을 알 수 있었다. 거치대에서 지문 영상의 초점이 낮아지는 것은 위 실험 결과에 의하여 생각할 때, 손가락이 거치대 내부에서 앞 뒤로

움직이거나 돌아가기 때문이다. 따라서 손가락이 앞 뒤로 움직이거나 돌아가는 것을 방지할 수 있는 거치대의 설계가 요구된다. 또한 추후에는 영상 초점이 맞지 않는 정도와 인식 성능간의 관계 역시 연구가 필요하다.

3.2.4 유용면적(Possible Region)

제안한 장비를 평가하기 위하여, 앞에서 손가락의 돌아감, 초점, 조명의 균일도 등을 살펴보았다. 이 절에서는 지문 영상의 유용면적(Possible Region)을 살펴볼 것이다. 비접촉식 지문인식 획득 장비는 카메라를 통해서 영상을 획득하는 방식임을 앞에서 언급하였다. 이렇게 획득한 영상에서, 지문 인식에서 사용할 수 있는 범위는 획득한 지문 영상 전체가 아니라 지문의 융선과 골 구조가 뚜렷한 부분이 된다.

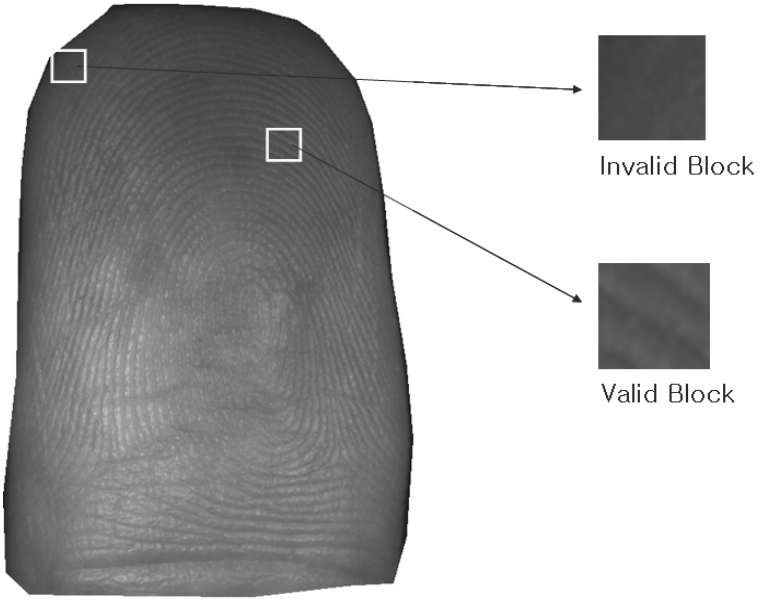


그림 3-25 지문영역 내 유효블록과 무효블록

그림 3-25은 지문 영역 내에 융선과 골 구조를 구분할 수 있는 블록과 구분이 어려운 블록을 나타낸다. 여기에서는 융선 - 골 구조를 구분할 수 있는 영역을 유효블록(Valid Block), 구분할 수 없는 영역을 무효블록(Invalid Block)이라고 정의하였다. 지문 영상을 획득하더라도 무효블록에서는 융선 골 구조를 얻을 수 없다. 따라서 융선 골 구조를 얻을 수 있는 유효블록이 지문인식에서 사용할

수 있는 영상의 최소 단위가 된다. 본 연구에서는 유효블록을 이용하여 유용면적(Possible Region)을 정의하고자 한다. 유용면적은 유효블록들이 분포하는 영역, 즉 융선 골 구조를 구분할 수 있음으로 지문 인식에 사용할 수 있는 영역이다. 비접촉식 장비를 통해서 얻은 지문 영상에서 이 유용면적의 크기가 얼마나 되는가 측정하는 것으로 장비를 평가할 수 있게 된다.

획득한 지문 영상에서 유효블록, 무효블록을 판단하는 기준은 지문 융선 주파수를 사용한다. 지문 융선 주파수는 융선 방향(ridge orientation)에 수직인, 단위 길이당 측정되는 지문 융선 개수의 역수를 의미한다.[16]

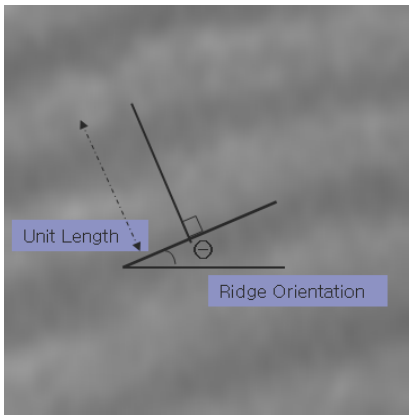


그림 3-26 지문 융선 주파수 측정

카메라를 사용하여 획득하는 지문 영상의 경우, 지문 중앙에서 가장자리 쪽으로 갈수록 지문 주파수가 높아지는 것처럼 나타난다. 이것은 지문의 굴곡과 카메라의 원근왜곡(Perspective Distortion)에 의한 효과이다.

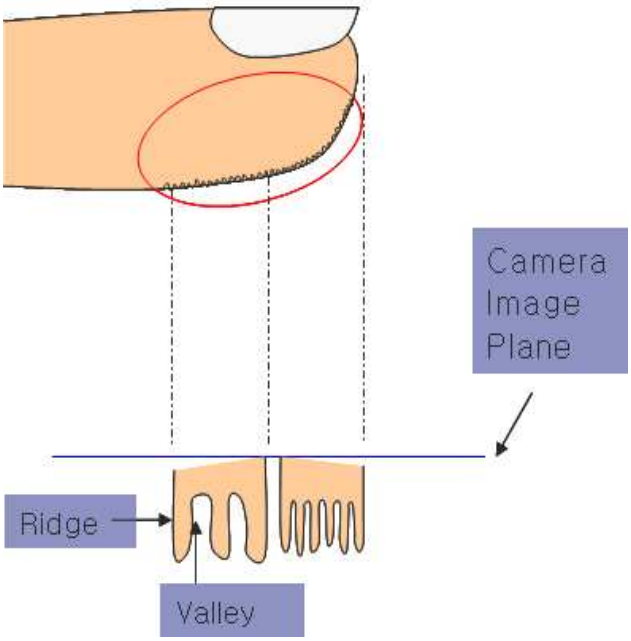
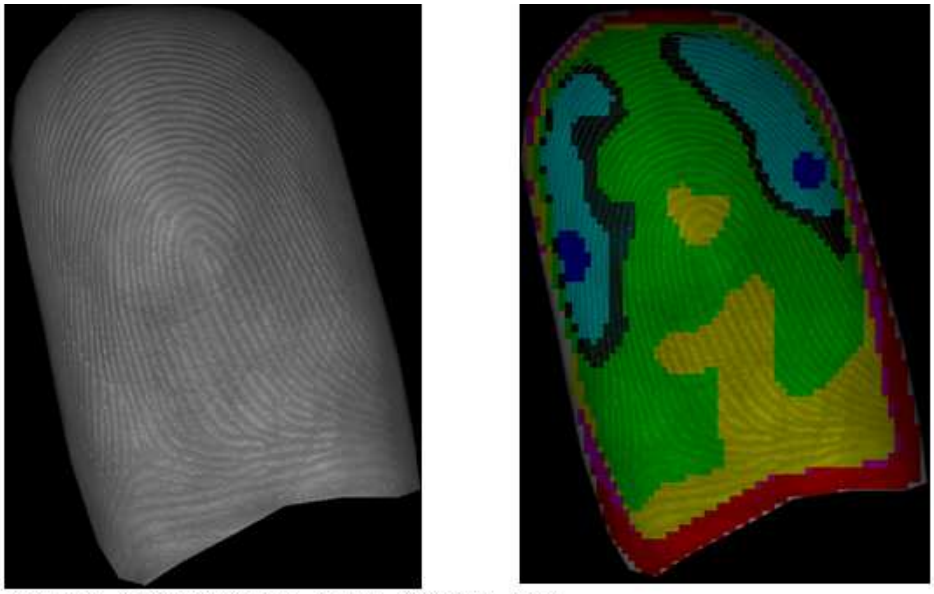


그림 3-27 지문굴곡에 의한 융선 주파수의 변화

그림 3-27은 지문의 융선 골 구조를 영상으로 획득할 때를 나타낸 것이다. 실제 지문의 융선 골 구조는 평면이 아니라 지문 표면의 굴곡을 따라 입체적으로 분포한다. 카메라에서 영상을 획득할 때 지문 형태는 카메라의 영상평면(Image Plane)에 사영(Projection)되어 나타난다. 이 과정에서 원근왜곡(Perspective Distortion)이 일어난다. 지문 가장자리는 굴곡이 있기 때문에 평면에 사영시켰을 때, 지문 중앙 영역보다 단위길이당 더 많은 융선 구조가 포함되게 된다. 그리고 이것은 실제 융선 주파수가 증가하지 않았더라도 카메라의 영상평면 상에서는 증가한 것처럼 나타난다. 지문 주파수가 증가하다가 지문 가장자리 끝 부분에 이르러서는 카메라 영상의 샘플링 주파수보다 더 고주파가 된다. 그러면 이 영역에서는 지문의 주파수가 저주파로 측정되거나 아예 측정이 되지 않게 된다.



붉은색:0~0.43,자주색:0.43~0.54,노란색:0.54~0.65,
녹색:0.65~0.73,LightSeaGreen:0.73~0.81,아쿠아:0.81~0.93,청색:0.93이상

그림 3-28 실제 지문영상과 지문 주파수 분포영상

그림 3-28에서 볼 수 있듯이, 지문 주파수는 지문 가장자리에서 갑자기 낮아지는 분포를 보인다. 이를 이용하여 지문 유용영역을 구분하게 된다.

3.2.4.1 유용면적 측정

앞에서 언급한 대로, 유용면적을 구할 시에는 지문 주파수라는 특징을 이용하게 된다. 제안한 장비에서 성인 6명을 대상으로 엄지부터 소지까지 총 30장의 영상을 획득하였고 유용면적 측정에 사용하였다.

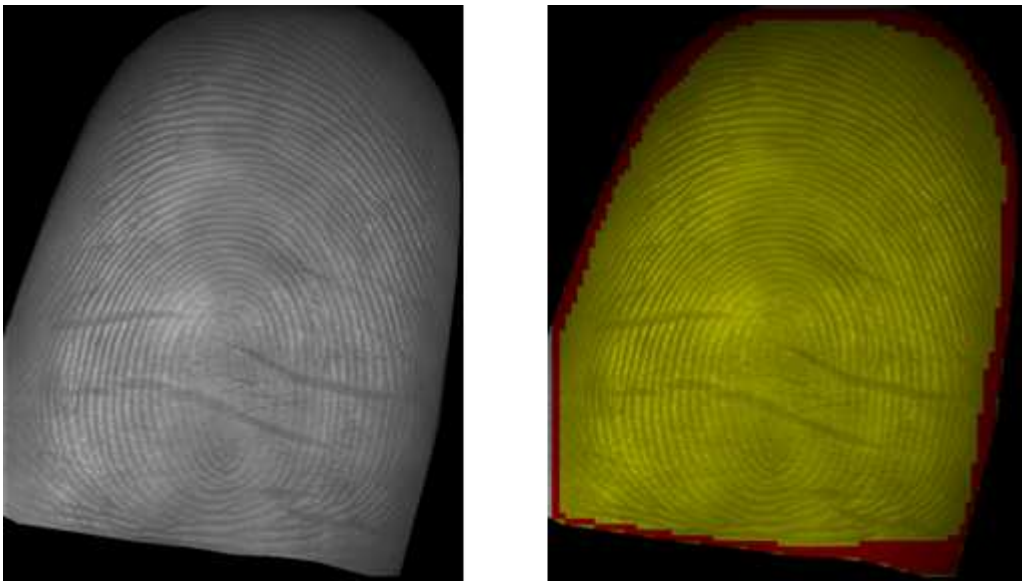


그림 3-29 비접촉 지문 영상과 매뉴얼하게 유용면적을 구한 영상

우선, 지문 영상에서 매뉴얼하게 유용면적을 구하였고, 구한 유용면적에서 지문주파수를 추출하였다. 육안으로 보았을 때 융선 - 골 구조를 구분할 수 있는 영상의 블록들을 유효블록으로 간주하고, 유효블록들이 분포하는 영역을 유용면적으로 구분하였다. 유용면적 외곽에 존재하는, 융선-골 구조를 구분할 수 없는 영상블록들은 무효블록으로 정의하였다. 총 30장의 영상에 대하여, 그림 3-29와 같이 두 영역들을 구분하였다. 그리고 각각의 영역에서 지문 주파수를 추출하였다.

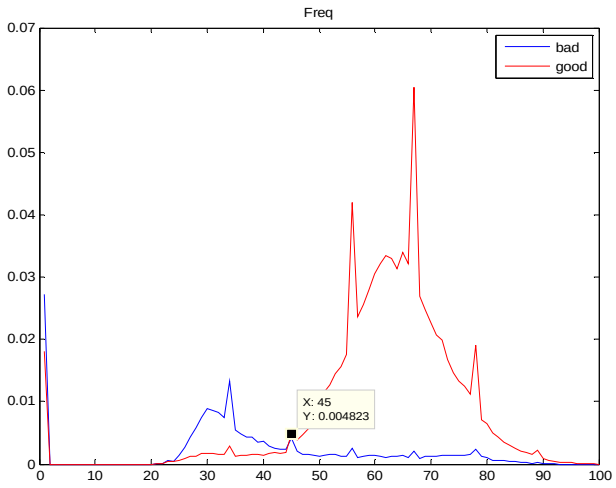


그림 3-30 주파수 변화에 따른 유효블록, 무효블록 비율

그림 3-30은 주파수 변화에 따른 유효블록 및 무효블록의 비율을 나타낸다. y축은 지문 Foreground 영역 전체를 1이라고 할 때, 유효블록 및 무효블록이 차지하는 비율을 나타낸다. x축은 지문 주파수이다. 그림에서 볼 때 지문주파수가 0.45일 때에 두 블록의 구분이 가장 구분이 잘 되는 것을 알 수 있다. 지문주파수가 0.45인 것을 임계값으로 사용하여 유효블록과 무효블록을 분류할 때, 임계값 이상의 지문 주파수를 가지는 무효블록과, 임계값 이하의 지문 주파수를 가지는 유효블록은 오류블록이 된다. 30장의 지문 영상에서, 전체블록에 대한 오류블록의 비율은 0.107, 약10%가 된다. 다시 말하면, 위 주파수를 이용하여 구한 유용면적 정확도는 눈으로 보고 구한 유용면적에 대하여 약 90%의 정확도를 가진다.

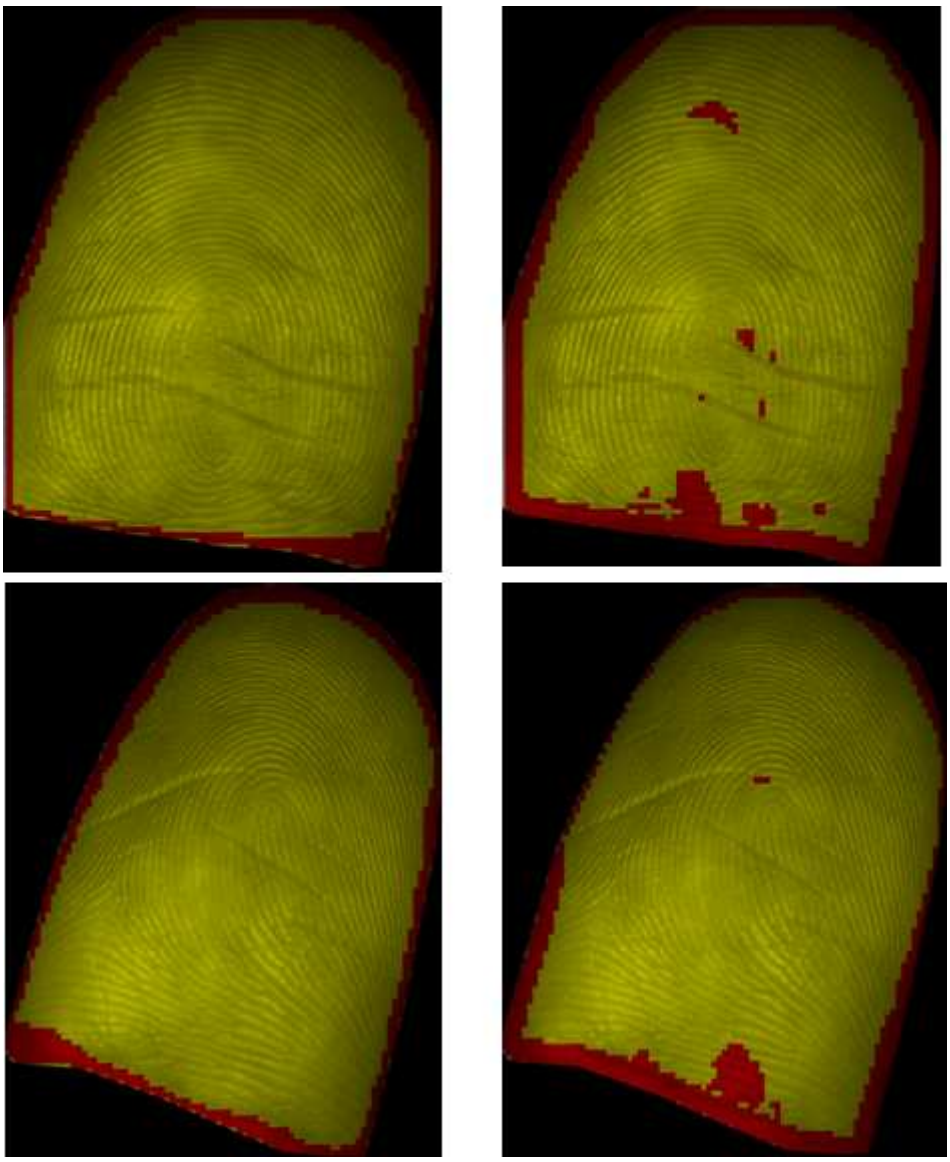


그림 3-31 매뉴얼하게 구한 유용면적(좌) 및 주파수를 사용하여 구한 유용면적(우)

위와 같이 주파수를 사용하여 구한 유용면적은 지문 영역 외곽을 제외한 영역이 된다. 전체 지문 Foreground에서 유용면적이 차지하는 비율을 측정해 보면 다음

과 같다.

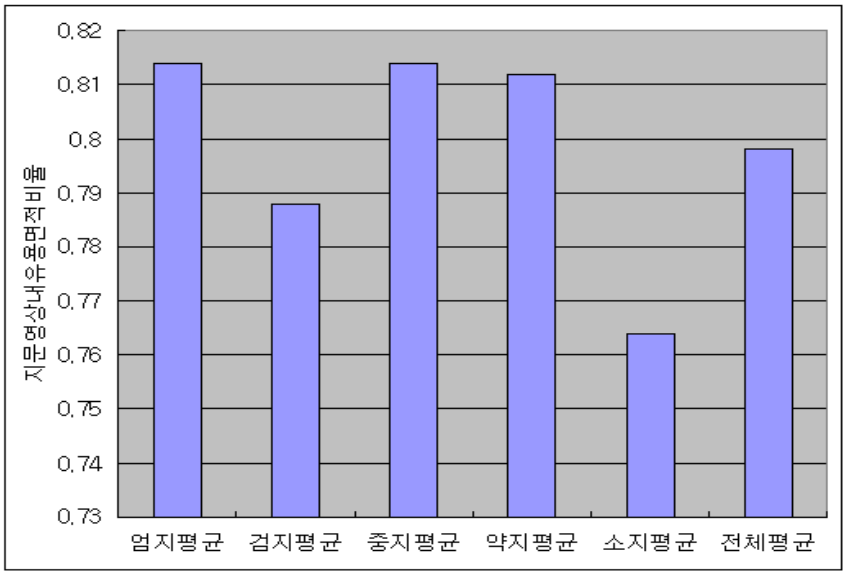


그림 3-32 각 손가락 별 및 손가락 평균 유용면적 비율

그림 3-32에서 볼 수 있듯이 지문 영상 내 유용면적 비율을 측정하였을 때 전체 평균이 약0.79정도 되는 것을 확인하였다. 손가락 별로 유용면적의 비율이 다른데, 검지와 소지에서는 상대적으로 유용면적의 비율이 작다. 이것은 5지 장비에서 영상을 획득할 때, 손가락이 돌아가기 때문에 다른 지문 영상에 비하여 유용면적이 줄어들었기 때문이다. 위 유용면적 측정 결과로, 제안한 장비에서 지문 영상을 획득할 때, 획득한 영상의 약 80% 정도의 면적을 인식에 사용할 수 있는 것으로 확인하였다.

3.2.4.2 유용면적 크기 비교

유용면적은 인식에 사용 가능한 면적이기 때문에 장비의 성능평가에 사용할 수 있다. 제안한 비접촉 5지 장비뿐 아니라 다른 장비를 통해 획득한 영상에서도 유용면적을 구하고 그 크기를 비교함으로써, 장비간의 상대적인 성능을 평가할 수 있다. 두 유용면적을 비교하는 방법에는 다양한 종류가 존재할 수 있겠으나, 여기에서는 유용면적의 절대 크기를 구하고 서로 비교하는 방식을 사용하고자 한다.

비접촉식 지문에서 획득한 유용면적의 실제 크기는 영상조정(image calibration)의 방법을 사용하였다. 지문 영상을 획득할 때와 동일한 위치에서 5mm×5mm 크기의 격자무늬 평면을 만들어 사용하였다.

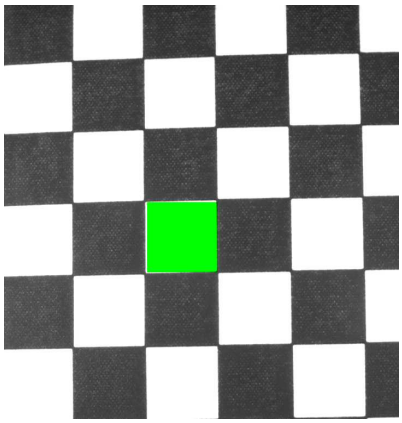


그림 3-33 5mm × 5mm 격자무늬 평면

이 평면을 설치하여 영상을 획득하였을 때 영상 1블록 안의 화소 개수는 128×128 개이다. 이 두 정보와 유용면적에서의 화소 개수를 이용하면, 유용면적의 실제 넓이를 구할 수 있다.

유용면적크기 = 유용면적 Pixel개수 ÷ 1블록 Pixel개수 × 1블록 실제크기 (식 3.7)

유용면적 비교를 위한 접촉식 지문 영상은 CrossMatch 사의 T1000 모델을 사용하여 획득하였다. 영상획득 과정에서 프리즘 및 광각 카메라를 사용함으로, 비접촉식에서와 같은 칼리브레이션 과정을 사용하기는 어렵다. 따라서 T1000모델이 1000dpi 해상도를 가지는 사실을 이용하게 된다. 1000dpi의 영상은 1인치당 1000개의 화소가 분포하기 때문에, 접촉식에서 유용면적의 화소 개수를 알면, 대략적인 크기를 구할 수 있다. 비접촉식과 동일하게 식3.7 을 이용하여 접촉식 영상에서 유용면적의 크기를 구할 수 있다. 유용면적 측정 및 비교에 사용된 영상은 성인 5명의 엄지부터 소지까지의 총 25장의 영상이다.

표 3-6 유용면적의 실제크기

	엄지평균	검지평균	중지평균	약지평균	소지평균	전체평균
비접촉식 유용면적 (단위mm^2)	478.5	289.6	338.4	311.6	205.8	324.8
접촉식 유용면적 (단위mm^2)	346.6	250.9	255	257.6	180.9	258.2

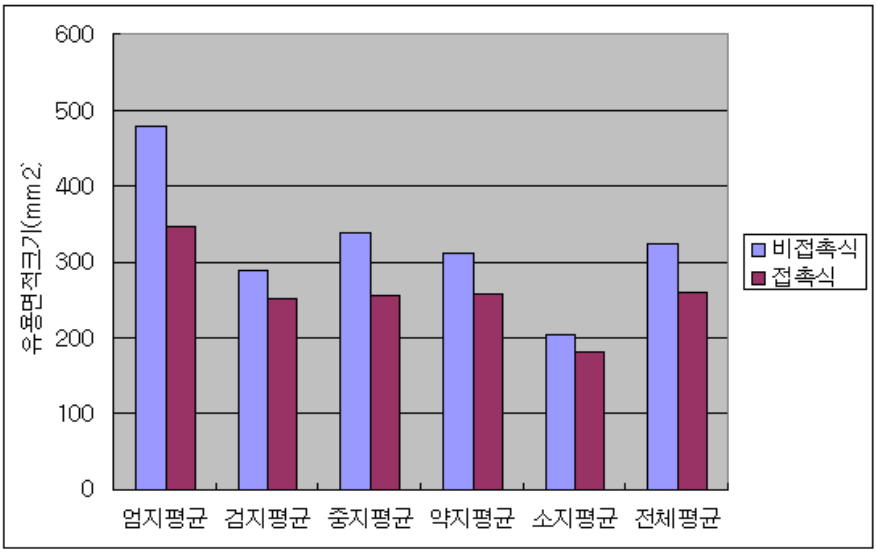


그림 3-34 비접촉식 및 접촉식 영상에서 손가락별 유용면적 크기

먼저 비접촉 5지 장비에서 획득한 지문 영상의 유용면적을 살펴보면, 엄지의 경우 다른 손가락에 비하여 면적이 크기 때문에 유용면적 역시 크게 나왔다. 검지와 소지의 경우 다른 손가락들에 비하여 면적의 크기가 작게 측정되었는데, 이것은 앞에서 언급한 손가락의 돌아감에 의한 유용면적의 크기가 감소하였기 때문이다. 또한 소지의 경우에는 손가락의 크기가 다른 손가락에 비하여 작으므로 유용면적 역시 작게 측정 되었다.

접촉식 5지문 영상의 유용면적은 접촉식 영상에 비하여 상대적으로 작게 측정되었다. 접촉방식으로 영상을 획득할 때에, 표면의 굴곡으로 인하여 지문의 전 영역이 획득되는 것이 아니라 일부만 획득되기 때문이다. 단순히 유용면적의 크기만을 놓고 비교하여 본다면, 본 연구에서 제안한 장비에서 얻을 수 있는 유용면적이 접촉방식에서 얻을 수 있는 유용면적보다 크다. 유용면적을 그대로 인식에 사용할 수 있다면, 위 결과를 고려하여 볼 때, 비접촉 5지 지문 영상 획득 장비가 접촉식

5지문 획득 장비보다 성능 면에서 우월하다고 판단할 수 있다. 접촉식 방식의 검지의 경우, 비접촉 방식의 검지의 경우보다는 상대적으로 다른 손가락의 유용면적과 유사하다. 접촉식에서는 손가락의 돌아감(Rolling)이 일어나지 않기 때문이다. 접촉식 방식의 소지의 경우, 다른 손가락의 유용면적에 비하여 작은데, 이것은 소지 표면의 넓이가 다른 손가락 표면의 넓이보다 작기 때문이다.

본 연구에서 제안한 비접촉식 5지문 획득 장비에서 제공하는 유용면적이 CrossMatch 사의 T1000모델에서 제공하는 유용면적보다 크다는 결론을 얻게 되었다. 단순히 유용면적의 크기만을 놓고 성능의 우열을 판단하기는 어려우나, 두 장비의 성능을 평가할 수 있는 하나의 척도를 제시하고, 그 척도에서 본 연구에서 제안한 장비가 우세하다는 결론을 도출한 것에 의의가 있다고 하겠다. 본 연구에서 제안한 비접촉 5지문 획득 장비와 T1000 모델뿐만 아니라, 앞으로 접촉식 비접촉식의 여러 장비들을 비교할 수 있는 다양한 평가 항목을 개발하고, 적용해 보는 연구가 필요하다.

3.2.4.3 비접촉 5지문 장비 영상을 등록적인 측면에서 분석

본 장비는 지문 등록 및 인식을 위한 목적으로 제작되었다. 따라서 본 절에서는 비접촉식 5지문 장비의 등록적인 면에서 분석을 수행하고자 한다. 현재 지문을 등록하여 사용할 시에서는 Rolled된 영상을 기준으로 한다. 따라서 본 연구에서도 Rolled 영상을 기준으로 하여 비접촉식 5지문 장비로 획득한 영상이 등록적인 면에서 어느 정도의 성능을 보일 것인지 측정하고 분석하는 것을 목표로 하였다.

Rolled된 지문 영상은 지문 입력 과정이 사용자의 압력에 의하여 영상왜곡이 발생한다. 그러므로 영상왜곡이 없는 비접촉식 지문 영상과는 차이가 있기 마련이다. 그러나 여기서는 영상왜곡에 의한 융선 및 골의 변화를 추적하여 융선 융선 간

Mapping을 수행하지는 않고 단순한 일차 변환을 사용한 비교를 수행하였다. 사용된 방법은 다음과 같다.

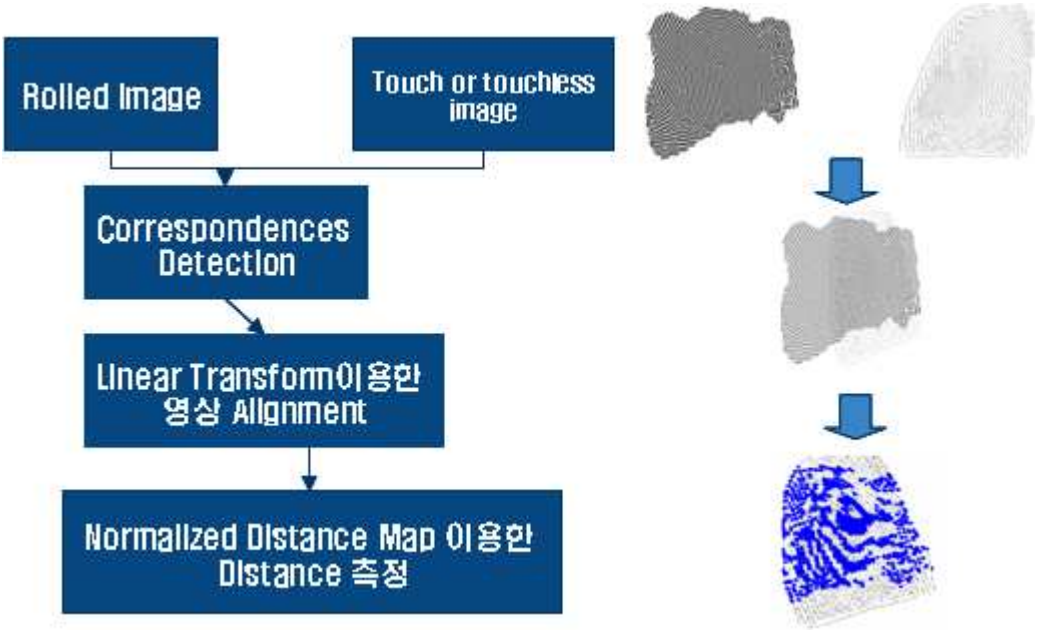


그림 3-35 비접촉-접촉식 영상 일치도 측정을 위한 과정

위 그림 3-35는 비접촉 접촉식 영상간 일치도를 측정하기 위한 과정을 나타낸 것이다. 먼저 기준이 되는 rolled 영상을 정하고, 이 영상과 비교하고자 하는 영상을 선택한다. 두 영상간의 대응점을 찾는데, 이 대응점들은 지문 영상을 일차변환하는데 사용된다. 찾아진 대응점들을 통하여 두 영상간의 관계를 알게 되면, 그 정보를 토대로 일차변환으로 영상 정렬을 수행한다. 여기서 사용되는 일차변환은 scaling, rotation 및 translation이다. 이런 일차변환을 통해 영상정렬이 끝나면, 두 영상간의 융선 일치도를 측정한다. 융선 일치도는 Normalized Distance Map을 이용하여 측정한다. 측정된 융선의 일치도는 0~1 사이로 표현이 되는데 0에 가까울수록 완전한 일치를, 1에 가까울수록 완전한 불일치를 의미한다.

본 연구에서는 비접촉 영상 뿐 아니라 dap방식의 접촉식 영상에서도 rolled 영상과 일치도를 측정해 보았다. Rolled 영상을 기준으로 할 때의 일치도를 측정함으로써 비접촉식 장비를 간접 평가할 수 있기 때문이다. 평가 결과는 다음과 같다.

표 3-7 비접촉 및 dap방식 접촉영상과 rolled 영상의 일치도 측정

	엄지	검지	중지	약지	소지
일치도 (rolled vs 비접촉식)	0.56	0.49	0.50	0.50	0.49
일치도 (rolled vs dap)	0.49	0.50	0.49	0.49	0.49

.

위 표3-7과 같이 일치 정도가 약0.5 정도로 측정되었다. 이 결과는 두 영상을 정렬 시켰을 때에 융선의 일부만 일치한다는 것을 알려준다. 또한 rolled 영상과 일치시켰을 때에 같은 접촉식 방식인 dap 영상에서도 잘 일치하지 않는다는 것을 알려준다. 이것은 rolled 영상 획득 시에 비선형적인 영상왜곡이 발생하기 때문에 같은 접촉 방식인 dap 영상과도 일치 정도가 낮음을 보여준다.

그러나 위 방법으로는 정확한 융선-융선간 거리 측정을 하는 데 한계가 있다. 다음과 같이 융선 일부만 일치하고, 일부가 일치하지 않는 경우에서 단순히 융선간의 거리 측정만을 수행하는 데 한계가 있기 때문이다. 따라서, 위 결과를 기초로 보다 정밀한 측정 방법을 고안하는 것이 필요하다

제 4 장 지문 특징 추출 및 인식

지문인식 장비의 성능은 지문 인식율에 따라 결정된다. 이 장에서는 지문 특징 추출 및 지문 정합 과정을 수행함으로써 제안한 장비의 지문 인식율과 성능을 평가한다.

4.1 지문 특징 추출 알고리즘

지문 인식을 위하여 지문 영상은 다음과 같은 순서도에 따라 처리된다. 이 과정을 통해 개인을 식별하는 특징을 추출하게 된다.

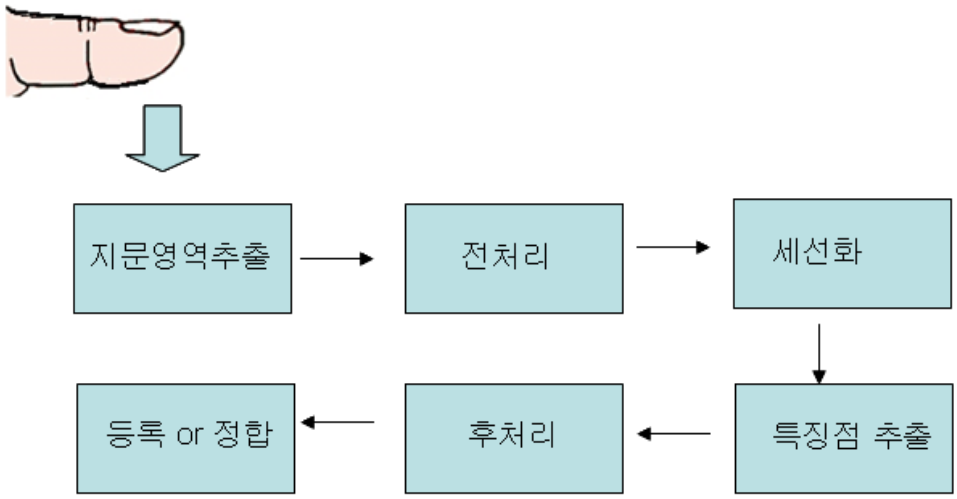


그림 4-1 지문 영상 처리 순서도

위 세부 과정에 대한 설명은 다음과 같다.

4.1.1 지문 영역 추출

취득한 영상에서, 지문 영역이 아닌 배경과 같은 기타 영역들을 제거하는 단계이다. 배경을 제거할 경우, 처리해야 하는 영상의 영역이 줄어들게 되어 지문 인식 과정에 소요되는 시간을 줄일 수 있고, 배경에서 추출될 수 있는 지문 패턴과 유사한 특징들을 사전에 제거할 수 있다. 본 연구에서는 지문 영역 추출 과정에서 영상의 밝기 값을 사용하였다.

4.1.2 전처리

지문 영상의 정확한 특징을 올바르게 찾아낼 수 있도록 영상의 품질을 높이고, 복구 불가능한 영역을 제거하는 단계이다. 잡음 감소를 위한 필터링과, 융선-골 간의 밝기 차이를 균일하게 하는 과정을 통해서 융선 개선을 용이하게 하고 영상 특징 및 지문 특징 정보 등을 추출한다.

4.1.3 세선화

지문 영상의 융선 특성을 반영하여 잡음을 제거하고 융선 특징(끝점 및 분기점)만을 선명하게 얻기 위한 과정이다. 본 연구에서는 가우시안 필터(Gaussian Filter)에 영상을 통과시킨 후 그레이 영상을 이진화한다. 이후 이진화 된 융선의 폭을 1 픽셀로 만든다.

4.1.4 특징점 추출 및 후처리

세선화 된 영상에서 끝점과 분기점은 3×3 크기의 마스크에 의해 탐색된다. 후처리 단계에서는 흉터나 잡음에 의하여 발생한 의사 특징점 들을 제거한다.[17]

4.1.5 등록 및 정합

등록 영상의 특징점 정보와 입력 영상의 특징점 정보를 비교하여, 적절한 오차 범위 내에서 일치하는 특징점 쌍들의 개수를 정합 점수(matching score)로 계산하고 이 값을 임계값과 비교하여 인증(verification) 및 인식(identification) 결과를 결정한다.[18]

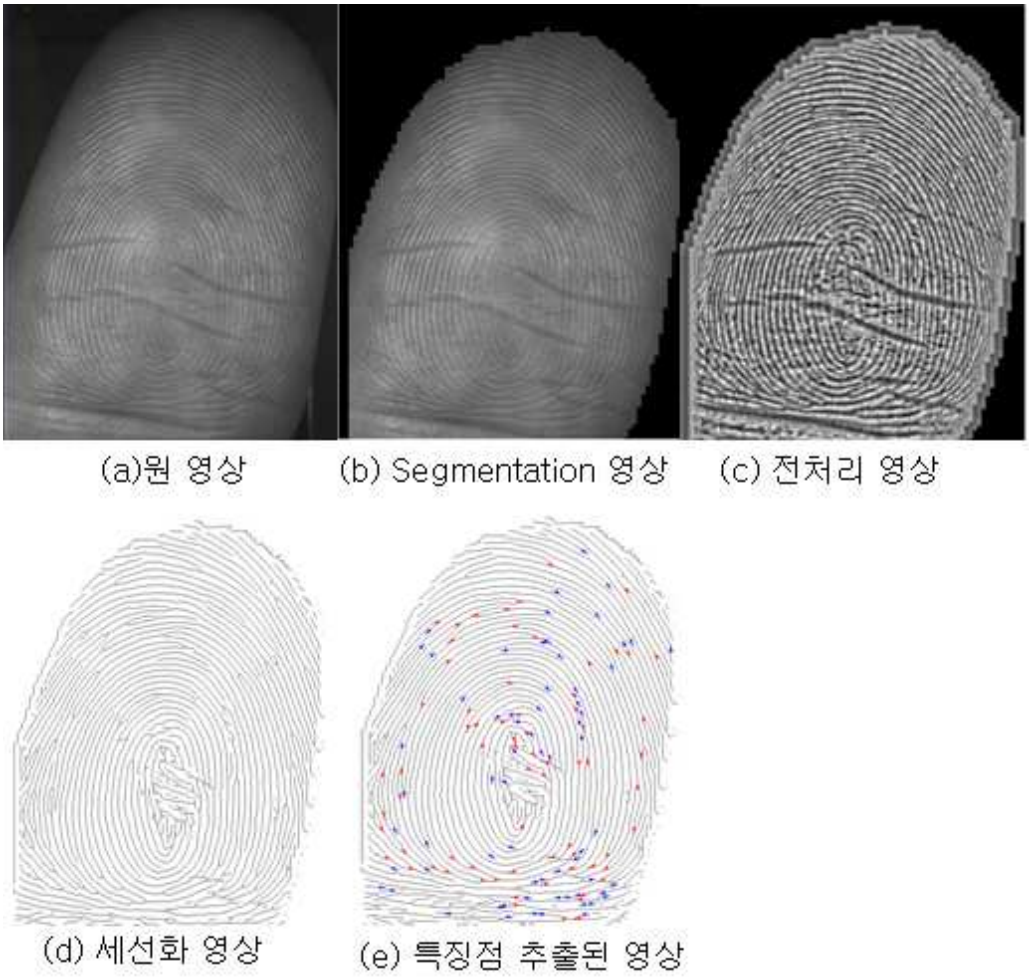


그림 4-2 지문 영상 처리 과정

4.2 지문 특징점 추출 및 정합 실험

장비의 인식 성능을 평가하기 위하여, 제안한 장비를 통하여 비접촉 지문 영상을 획득하였다. 4.1절에서 설명한 알고리즘을 적용하여 지문 특징점을 추출하였고, 정합 실험을 수행하였다. 성인 15명 당 오른손과 왼손, 엄지부터 소지까지 10장의 영상을 각각 3번에 걸쳐서 총 450장의 영상을 획득하였다. 실험 시, 각각의 손가락 별로 분류하여 정합을 실행하였다.

표 4-1 손가락 별로 정합실험 수행 시 EER(Equal Error Rate %)

	엄지	검지	중지	약지	소지
오른손	0%	2.2%	4.4%	6.3%	14.6%
왼손	3.8%	6.7%	4.4%	4.4%	17.8%
평균	1.9%	4.4%	4.4%	5.3%	16.2%

표 4-1은 수행한 실험에서 측정된 손가락 별 EER(Equal Error Rate)을 보여준다. 엄지의 경우 가장 EER이 낮고, 소지의 경우 EER이 가장 높다. 엄지에서 EER이 낮은 이유는 인식에서 사용할 수 있는 유용면적이 다른 손가락에 비할 때 가장 크고, 여기에서 추출되는 특징점의 개수 역시 다른 손가락에 비하여 많기 때문이다. 같은 이유로 소지에서는 유용면적이 가장 작고, 특징점의 개수가 적기 때문에 상대적으로 EER이 높아진다. 특히 소지에서는 장비에서 획득되는 영상의 크기가 작고, 3장에서 살펴보았듯이 돌아감(Rolling)에 취약하다. 이를 다음 절에서 좀더 자세하게 살펴보고자 한다.

4.3 손가락 rolling과 인식 성능과의 관계

앞 4.2절에서도 살펴 보았듯이, 손가락 rolling은 비접촉 지문 영상에 많은 영향을 끼침으로, 지문 인식 성능 역시도 좌우할 수 있는 중요한 요인이다. 이 절에서는 손가락 rolling으로 인하여 실제적으로 인식 성능이 어떻게 변하는지를 알아보고자 한다. 손가락 rollimg이 일어나면 지문 영상 내에서 저 품질의 영역이 증가함으로 지문인식에 사용할 수 있는 영역이 감소한다. 이것은 지문 인식에 사용되는 특징점(Minutiae)의 감소로 이어지며 결과적으로 지문 인식 성능의 하락으로 나타난다.

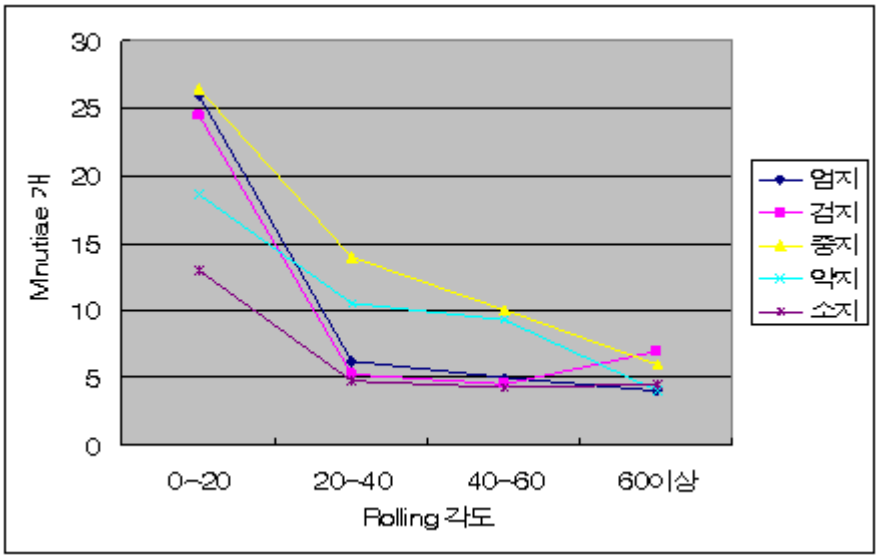


그림 4-3 손가락 rolling과 특징점 개수와의 관계

그림 4-3에서 볼 수 있듯이, 손가락이 20도 이상 rolling되면 엄지, 검지, 소지에서는 특징점의 개수가 급격하게 감소한다. 중지, 약지에서도 감소하나 다른 세 손

가락에 비하여는 감소 폭이 작은 편이다. 그러나 손가락이 60도 이상 rolling되면 모든 손가락의 특징점 개수가 10개 이하로 감소한다. 이것은 60도 이상 돌아가면 같은 사람의 손가락이라도 인식할 수 없다는 것이다. 따라서 특징점 기반의 지문 인식 시스템에서는 지문 rolling 각도를 20도 안쪽이 되도록 설계하는 것이 안정적인 지문 인식 성능을 위해서 필요하다는 결론을 내릴 수 있다.

또한 소지에서는 인식 성능이 크게 떨어지는 것을 4.2절의 정합 실험을 통해 알 수 있었다. 그 이유는 소지의 영상 크기가 다른 손가락의 영상 크기보다 작고, 따라서 측정되는 특징점의 개수 역시 적기 때문이다. 특징점의 개수가 적으면, 정합 결과 역시 나빠지기 마련이다. 따라서 소지의 경우 특별히 손가락 rolling에 더 민감할 수 있으므로 거울 설치 등 설계 단계에서 고려가 필요하다.

표 4-2 엄지 영상크기 및 특징점 개수에 대한 네 손가락의 영상크기 및 특징점 개수 비율

	엄지	검지	중지	약지	소지
영상크기비율	1	0.57	0.69	0.58	0.29
Minutiae개수 비율	1	0.68	0.76	0.71	0.49

4.4 5손가락 정보 융합

제안한 비접촉식 5지문 영상 획득 장비에서는 5개의 손가락 대로 각각 인식하여 각각 등록 여부를 판단하는 것이 아니라, 5개의 손가락을 함께 인식하여 등록여부를 판단한다. 따라서 5손가락에 대한 Matching Score 정보를 융합하는 것이 필요하다. 본 절에서는 앞 4.2절에서 수행하였던 손가락 정합 결과를 이용하여 5손가락 Matching score 융합을 시도하였다.

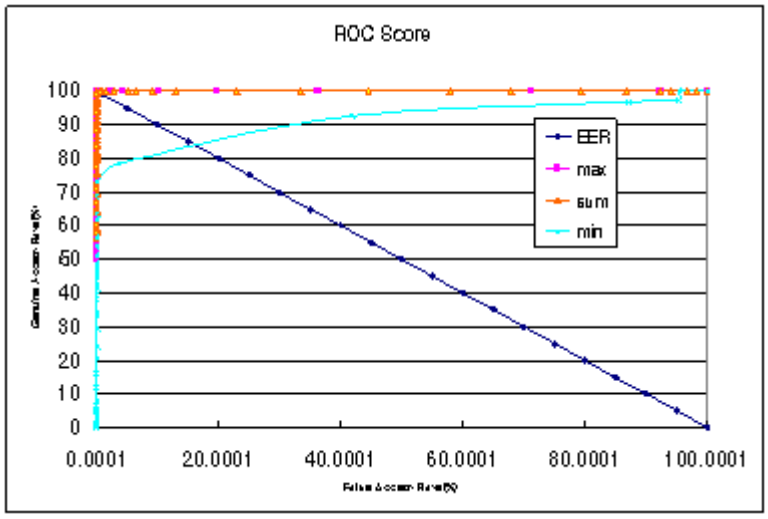


그림 4-4 5손가락 Matching Score Fusion

그림 4-4는 5손가락을 모두 인식에 사용하였을 경우 결과를 보여준다. Score 융합시, SUM, MAX, MIN 룰을 사용하였다. 그 결과 MAX, SUM 룰을 사용하였을 경우 EER 0%, MIN룰을 사용하였을 경우 EER 약17% 정도를 확인할 수 있었다. 위 결과는 5손가락을 모두 정합에 사용하였을 경우, 본인 확인이 100% 가능하다는 것을 의미한다. 앞으로 더 많은 사용자에 대하여 실험을 수행할 필요가 있다.

4.5주관적 성능 평가

본 연구에서 제안한 장비를 사용하게 한 후에 사용자에 대한 불편도를 조사하였다. 조사 방법은 설문지 작성이며, 관리자가 시범을 보인 후에 사용자가 직접 CrossMatch 장비와 비접촉식 5지문 장비를 사용한 후에 느끼는 편한 정도를 1~5까지 표시하게끔 하였다. 1점이 가장 불편한 것이고, 5점이 가장 편한 것을 나타낸다. 시스템을 처음 접하는 사람들로 10명을 대상으로 하였다. 평가결과 CrossMatch는 5점 만점에 2.4점, 비접촉5지는 5점 만점에 3.2점으로 측정되었다. 불편함을 느끼는 이유는 CrossMatch 장비를 사용할 때 5지를 입력하기 위해서는 2번에 걸쳐서 입력해야 하며, 사용자의 압력 정도나 손가락의 상태에 따라 저품질의 영상이 획득되어 재입력이 요구되었기 때문이다. 비접촉식 5지문 장비에서 불편함을 느끼는 이유는 지문 입력시 가이드로 인하여 불편함을 느끼는 것으로 조사되었다. 비접촉식 5지문 장비에서 입력단 가이드를 개선하면 사용자가 느끼는 불편도가 감소될 것으로 기대된다.

제 5 장 결론 및 향후 과제

현재 사용되고 있는 지문 인식 시스템은 그 편리성과 신뢰도에도 불구하고 지문 영상 취득 과정에서 불가피하게 발생하는 접촉 압력으로 인해 성능의 한계를 가진다. 비접촉식 지문 인식은 이러한 접촉식 지문 인식 시스템이 가지는 문제점들을 극복할 수 있는 대안으로서, 현재 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 비접촉 5지 지문 인식 시스템을 제안하였고, 비접촉식 방식으로 지문 인식을 수행하였다. 카메라 및 모터와 거울을 이용한 비접촉 지문 인식 시스템은 기존 접촉식 지문 인식 시스템에서 제기되었던 문제점 및 5지문 입력 시에 사용자가 2번에 걸쳐 지문을 입력해야만 했던 불편함을 제거하는 장점을 가지고 있다.

개발한 시스템의 성능을 평가하기 위해, 본 논문에서는 카메라의 초점 및 조명의 성능을 영상처리 알고리즘을 사용하여 평가하였다. 또한 지문 입력단에서 발생하는 손가락의 돌아감(Rolling) 정도를 측정하고 평가하였다. 접촉식과의 성능 비교를 위하여 유용면적을 정의하였고, 비접촉식이 접촉식 보다 유용면적이 큰 것을 확인함으로써, 인식 성능 측면에서 제안한 비접촉 지문 인식 시스템이 접촉식 시스템보다 유리함을 알아보았다. 실제 정합 실험 과정을 통해서 소지를 제외한 엄지부터 약지까지 네 손가락에 대해서는 실제 지문 등록 및 지문 식별에 사용할 수 있음을 보였다.

그러나 검지와 소지에서 발생하는 손가락의 돌아감(Rolling) 문제 및 소지에서 EER이 낮게 측정되는 것은 앞으로 해결해야 할 부분이다. 따라서 추후에는 검지 및 소지에서 발생하는 돌아감 현상을 최소화 시킬 수 있는 장비 설계 및 영상처리 알고리즘 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Lawrence O' Gorman, "Comparing Passwords, Tokens, and Biometrics for User Authentication," Proceedings of the IEEE, Vol.91, No.12, pp.2021-2040 Dec.2003

[2] Mark Lokie, Biometric Technology, Heinemann Library, 2002

[3] Anil K. Jain, Biometrics : Personal Identification in Networked Society, Kluwer Academic Publishers, 1998

[4] Maltoni D., Maio D., Jain A., Prabhakar S., Handbook of Fingerprint Recognition, Springer Verlag, 2003

[5] SecuGen, http://www.secugen.com

[6] Testech, http://www.testech.co.kr

[7] AuthenTec, http://www.authentec.com

[8] Atmel, http://atmel.com

[9] Ultra-Scan, http://www.ultra-scan.com

[10] http://www.dss.state.ct.us/digital/optel/paper/optel.html

[11] Asker M. B., Sabih H. G., "Elastic Minutiae Matching by Means of Thin-Plate Spline Models," Proceedings of ICBA 2004, LNCS 3072, pp249~255, Jul.2004

[12] Thomas. M. G., " HAND ANTHROPOMETRY OF U.S. ARMY PERSONNEL," Natic Research Development and Engineering Center, Natick: MA. (NTIS No. ADA244533), 1991.

[13] Elli A., "Understanding the color of human skin," *Proc 6th SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging*, SPIE Vol. 4299, May,

2001, pp. 243-251

[14] Dongjae L., Kyoungtaek C., Heeseung C. and Jaihie K., "Recognizable-Image Selection for Fingerprint Recognition With a Mobile-Device Camera," *IEEE Trans-SMC-B,* Vol. 38, No. 1 (2008), pp. 233-243.

[15] R. M. Stock and C. W. Swonger. "Development and evaluation of a reader of fingerprint minutiae", *Cornell Aeronautical Laboratory, Technical Report* CAL No. XM-2478-X-1 : 13-17, 1969

[16] Maltoni D., Maio D., Jain A., Prabhakar S., Handbook of Fingerprint Recognition, Springer Verlag, 2003

[17] Sherlock B.G., Monro D.M., Millard K., "Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering," *Proceedings of the IEE on Vision, Image and Signal Processing*, Vol. 141, Issue:2, pp.87-94, April 1994

[18] Jain A., Lin H., Bolle R., "On-line Fingerprint Verification," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 19, no.4, pp.302-314, Apr.1997

[19] 송이강, "비접촉식 지문 입력 장치를 이용한 인식 성능 개선에 관한 연구" 연세대학교 대학원, 2004

Abstract

Development of Touchless fingerprint image acquisition device for 5 Fingerprints

Noh, Dong Hyun

Dept. of Biometric

The Graduate School

Yonsei University

Fingerprint recognition systems for identification are divided as touch-based and non touch-based.(touchless) Touch-based Fingerprint Sensors have some problems which are hygienic troubles, image degradations by user's inconsistent pressure and latent fingerprints. Moreover, there is inconvenience that touch-based fingerprint sensors can not acquire 5 fingerprint images at once because of geometry of hands. So, this thesis proposes touchless fingerprints images acquisition device for 5 fingerprints. The device composes of CCD camera, stepping motor, mirror and Green LED light. This device can solve problems of touch-based fingerprint sensors and get 5 fingerprint images at once. And it is evaluated the completion of device for fingerprint recognition by checking focus, uniformity of illumination and finger rolling. Also it defines possible region so that can compare with touch-based fingerprint images.

The recognition performance of device can be measured by enrolling and

matching test of users. The matching test result shows that average EER 4.4% when fingerprint images are used individually for recognition except little finger image, and average EER 0% in minimum case when 5 fingerprint images are used for recognition. That results show the proposed device is suitable for enrollment and recognition of fingerprints.

Keyword: Biometric, Touchless Fingerprint Sensor, 5 Fingerprints, Minutiae