

# Watershed 변환을 이용한 효율적인 문자 영상 향상 및 영역 분할

최 영 규<sup>†</sup> · 이 상 범<sup>††</sup>

## 요 약

오프라인 필기체 문자 인식은 동적인 정보를 가지고 있지 않고, 다양한 필기와 자음과 모음의 겹침이 심하며, 획 사이의 잡영을 많이 가지고 있어 불완전한 전처리를 수행하여야 하는 어려움이 있다. 따라서 오프라인 필기체 문자 인식은 다양한 방법의 전처리 즉 이진화 및 세선화에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 오프라인 필기체 한글 문자 인식의 전처리로서 워터셰드 알고리즘의 수행 시간과 결과 영상의 품질을 고려해 그레이 레벨 문자 영상에서의 문자 영역과 배경 영역의 분할을 위한 효과적인 워터셰드 알고리즘의 적용 방법과 추출된 워터셰드 영상을 이진화하는 분할 함수를 제안한다. 또한 수행 시간과 골격선의 품질을 고려한 조건 검사 마스크를 통해서 효과적으로 골격선을 추출하는 세선화 방법을 제안하고 기존의 방법과 본 논문 방법을 수행 시간과 품질로써 성능을 평가한다. 실험 결과 기존의 방법은 평균 2.16초, 본 논문 방법은 평균 1.72초의 수행 시간이 걸렸다. 또한 결과 영상의 품질은 본 논문 방법이 문자 획 사이의 잡영을 효과적으로 처리함을 알 수 있었다.

## An Efficient Character Image Enhancement and Region Segmentation Using Watershed Transformation

Young Kyoo Choi<sup>†</sup> · Sang Burm Rhee<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Off-line handwritten character recognition is in difficulty of incomplete preprocessing because it has not dynamic information has various handwriting, extreme overlap of the consonant and vowel and many error image of stroke. Consequently off-line handwritten character recognition needs to study about preprocessing of various methods such as binarization and thinning. This paper considers running time of watershed algorithm and the quality of resulting image as preprocessing for off-line handwritten Korean character recognition. So it proposes application of effective watershed algorithm for segmentation of character region and background region in gray level character image and segmentation function for binarization by extracted watershed image. Besides it proposes thinning methods that effectively extracts skeleton through conditional test mask considering running time and quality of skeleton, estimates efficiency of existing methods and this paper's methods as running time and quality. Average execution time on the previous method was 2.16 second and on this paper method was 1.72 second. We prove that this paper's method removed noise effectively with overlap stroke as compared with the previous method.

**키워드 :** 워터셰드 변환(Watershed Transformation), 전처리 과정(Preprocessing Process), 필기체 문자 인식(Handwritten Character Recognition), 이진화(Binarization), 세선화(Thinning)

### 1. 서 론

입력 장치로부터 얻어진 데이터에서 시간적 또는 공간적인 정보를 잃게 되는 오프라인 필기체 한글 문자 인식에서는 윤곽선(Contour)을 추출하거나 골격선(Skeleton)을 추출하는 등의 전처리를 필요로 한다. 따라서 입력 문자에 포함될 수 있는 많은 잡영과 왜곡으로 인하여 다양한 형태의 필기체 한글 문자는 많은 정보의 손실과 왜곡을 동반한 불완전한 전처

리(Preprocessing)를 수행해야한다는 어려움을 가지고 있다. 오프라인 필기체 한글 문자 인식은 필기체 한글 문자의 다양성과 필체의 다양성, 글자간의 유사성이 높아 인식에 어려움이 있다. 따라서 온라인 문자 인식 시의 입력 정보인 문자의 동적 정보를 추출하기 위해 한글 문자를 구성하는 획(Stroke)을 추출하고, 획간의 패턴을 분석하여 인식하는 방법이 주류를 이루고 있다. 인식을 위한 획의 추출은 이진화 및 세선화의 성능에 따라 그 품질이 크게 달라진다. 따라서 필기체 문자 인식은 전처리 과정의 성능과 품질의 질적인 향상에 따라 인식률의 향상이 기대되므로 오프라인 필기체 한글 문자 인식에 있어 전처리 성능 및 품질 개선에 대한 많은 연구 논문

<sup>†</sup> 준 회원 : 단국대학교 대학원 전자공학과

<sup>††</sup> 종신회원 : 단국대학교 전기·전자·컴퓨터공학부 교수  
논문접수 : 2002년 3월 20일, 심사완료 : 2002년 7월 10일

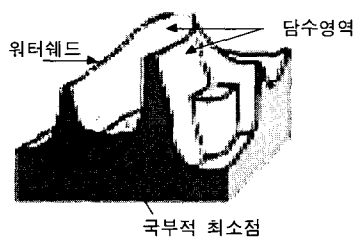
이 끊임없이 발표되고 있지만 아직도 연구에 있어 다양한 방법의 접근이 필요하다[1].

오프라인 필기체 한글 문자에 있어 잡영 성분을 적절히 제거하기란 많은 어려움을 가지고 있어 문자 영역과 배경 영역을 분리하는 난이도를 요구한다. 워터셰드 알고리즘은 영상의 잡영을 효과적으로 처리하는 특성과 인접 영역과의 유사성을 이용한 영상 분할의 특성을 가지고 있어 문자 영상의 영상 향상과 영상 분할에 적용한다.

본 논문에서는 오프라인 필기체 문자 영상 향상과 영상 분할을 위한 효과적인 워터셰드(Watershed) 적용 방법과 추출된 워터셰드 영상을 문자 영역과 배경 성분으로 이진화하는 분할 함수, 그리고 조건 검사 마스크를 이용한 세션화 방법을 제안하였으며 기존의 방법과 본 논문 방법을 수행 시간과 품질로써 성능을 평가한다. 워터셰드 알고리즘 적용 시 영상의 과도한 분할로 인한 수행 속도 저하의 단점을 고려하지 않을 수 없어, 워터셰드 알고리즘의 각 적용 단계에 있어 필기체 한글 문자에 적합한 적용 방법을 평가하여 구성하였다. 수행 시간과 결과 영상의 품질을 고려해 그레이 레벨 문자 영상에서의 문자 영역과 배경 영역의 분할을 위해서 본 논문에서 제안한 문자 영상 분할을 위한 워터셰드 알고리즘의 구성은 다음과 같다. 먼저 프리윗 기울기 연산자를 이용하여 기울기 영상 변환을 수행하고, 8-이웃 방향 픽셀을 고려하여 국부적 최소점을 추출한다. 그리고 영역 분할 단계를 거쳐 평균값의 차를 이용하여 영역 병합을 수행하여 변환된 워터셰드 영상을 통계적 확률 수치를 이용하여 이진화하는 분할 함수를 적용하여 배경 영역과 문자 영역을 효과적으로 분리한다. 또한 분리된 문자 영역을 조건 검사 마스크를 이용한 세션화를 통해 문자 인식에 있어 획을 추출하기에 적합한 골격선을 추출한다.

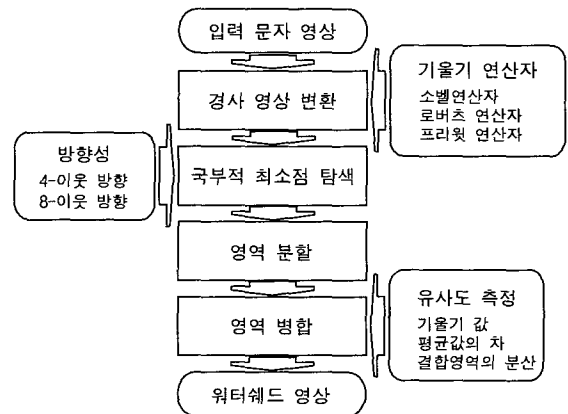
## 2. 문자 영상 분할을 위한 워터셰드 알고리즘의 구성

워터셰드 알고리즘은 영상 처리 분야에서 인접한 영역을 효과적으로 군집화 하는 과정을 통해 영상을 분할하는 목적으로 사용되는 기법이다. 워터셰드 알고리즘은 Lantuejoul와 Beucher에 의해 영상 분할의 목적으로 처음 소개되었다[2]. 일반적으로 워터셰드 알고리즘 기본적인 구성은 Vincent와 Soille[3]에 의한 방법과 Meyer[4]에 의한 방법으로 대표된다.



(그림 1) 위상학적 표현

(그림 1)은 워터셰드의 위상학적 표현을 보여준다. 영상의 명도를 하나의 위상학적 고도로 생각함으로써 이 위상학적 표면에 물을 떨어뜨리면 물은 낮은 고도(Minima Altitude)에서부터 흘러 들어가 높은 고도(Maxima Altitude)까지 물이 차 들어가는 원리를 이용하였다. 가장 낮은 높이에서부터 수면 높이를 점차로 증가시키면서, 고도를 낮히는 과정으로 서로 다른 담수 영역(Catchment Basin)이 서로 접하게 될 경우 가상의 댐을 쌓아서 물이찬 부분을 서로 분리하고, 인접한 영역의 유사성을 조사하여 유사한 영역을 서로 합치는 과정이다[5, 6]. 워터셰드 알고리즘에 의한 영상 분할은 영역 내부에 존재하는 임의의 점들로 구성된 국부적인 최소점들로부터 범람(Flooding)을 시작하고 담수 영역을 점진적으로 포함시켜 국부적인 최소점들을 그 영역의 경계까지 확장시킴으로써 영역 경계인 워터셰드를 추출하는 방법이다[7].



(그림 2) 워터셰드 변환 구성도

본 논문에서 오프라인 필기체 문자 영상에 적용한 워터셰드 변환의 전체적인 구성은 (그림 2)와 같이 4단계로 구성한다. 1단계는 원 영상을 고도를 가진 경사 영상(Gradient Image)으로 변환한다. 2단계는 경사 영상에서 국부적 최소점(Local Minima)를 가진 픽셀들을 추출한다. 3단계는 국부적 최소점으로부터 높은 고도로 범람 과정(Flooding)을 수행하여 유사한 영역을 분할한다. 마지막 4단계에서 유사한 영역에 대한 영역 병합(Region Merging)을 수행함으로써 워터셰드 영상을 추출한다[6]. 필기체 한글 문자 영상의 문자 영역 분할에 적합한 워터셰드 알고리즘을 구성하기 위해서 각 단계에서 일반적으로 사용되는 방법들에 대한 실험을 수행하여 수행 속도와 결과 영상의 품질로써 각 단계에서 좋은 성능을 가지는 방법으로 워터셰드를 구성한다.

### 2.1 경사 영상 변환

원영상으로부터 고도를 가진 경사 영상을 구성하기 위해 문자 영상에 기울기 연산자들을 적용한다. 대표적인 기울기 연산자로 소벨 연산자(Sobel Operator), 로버츠 연산자(Roberts Operator), 프리윗 연산자(Prewitt Operator) 3가지 연산자를

적용하여 수행한다. 2차 미분 연산자인 라플라스(Laplacian) 연산자는 잡영에 대해 아주 민감한 연산자라서 잡영 부분에 있어 효과적인 처리를 기대할 수 없다.

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

(그림 3) 3×3 마스크

$$\begin{aligned}
 G_x &= z_5 - z_3 \\
 G_y &= z_5 - z_1 \\
 \nabla f &= [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \tag{1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_x &= (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \\
 G_y &= (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \\
 \nabla f &= [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_x &= (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \\
 G_y &= (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \\
 \nabla f &= [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \tag{3}
 \end{aligned}$$

식의  $Z_i$ 는 (그림 3)의 3×3 마스크의 각 화소의 강도값을 나타낸다. 로버츠 연산자는 식 (1)과 같이 크기가 작지만 돌출된 값들을 잘 평균화하는 장점을 가지고 있다. 하지만 라플라스 연산자와 같이 잡영에 대해 민감하고, 불필요한 기울기 값을 나타내기도 한다. 또한 로버츠 연산자는 기울기 연산 속도는 빠르나 많은 국부적 최소점을 추출함으로써 워터셰드 알고리즘의 수행 속도는 다른 연산자에 비해 상대적으로 느리게 나타난다. 소벨 연산자는 대각 방향에 더욱 민감한 기울기 연산자로서 모서리 부분 처리에 중점을 두고 있다. 이 연산자는 로버츠 연산자에 비해 기울기 연산 속도는 느리나 적절한 수의 국부적 최소점을 추출한다. 프리윗 연산자는 식 (2)와 같이 영상에서 대각 방향 보다 수직, 수평 방향에 대해 더욱 민감하다[8]. 이 연산자는 로버츠 연산자에 비해 기울기 연산 속도는 느리나 적절한 수의 국부적 최소점을 추출하였으며 소벨 연산자 보다 수직, 수평 방향에 중점을 두고 기울기 영상을 변환하므로 한글 특성에 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 국부적 최소점의 수가 많을수록 워터셰드 영상 변환 수행 시간이 오래 걸린다. 로버츠 연산자는 많은 국부적 최소점의 수를 가지나 기울기 연산 속도가 빠르므로, 워터셰드 영상 변환 수행 시간이 두 연산자 보다 빠르다. 하지만 많은 국부적 최소점의 추출로 영역 분할 및 영역 병합의 신뢰성이 떨어지고 과분할의 결과를 가질 확률이 대단히 높다. 소벨 연산자는 식 (3)과 같

이 대각 방향에 더욱 민감한 기울기 연산자로서 수직과 수평으로 이루어지는 한글의 특성을 고려해 볼 때 프리윗 연산자가 본 논문에서 사용할 가장 적합한 기울기 연산자임을 알 수 있다.

### 2.2 국부적 최소점 추출

경사 영상 변환 단계에서 얻어진 경사 영상의 각 픽셀에 대해 주변 픽셀과의 경사 값을 조사하여 낮은 경사 값을 갖는 픽셀에 대하여 국부적 최소점을 추출하는 과정이다. 유사한 픽셀간의 거리를 고려하여 마커(Marker)를 순차적으로 초기화한다. 전체 영상에 대해 탐색할 이웃 픽셀(Neighbor Pixel)의 범위를 고려하여 상대적으로 낮은 고도 부분을 마커로서 초기화한 후 이웃 픽셀을 설정하여 주변 픽셀과 마커의 값을 비교하여 국부적 최소점을 찾아 인접한 마커와의 관련성을 가진 픽셀들을 추출한다.

### 2.3 영역 분할

국부적으로 낮은 경사 값으로 분류된 픽셀로부터 경사 값이 높은 픽셀로 영역을 확장해 나가는 범람 과정(Flooding)을 수행하여 인접한 영역을 분할한다. 국부적 최소점의 추출 수에 따라 영역의 분할 수도 비례해서 이루어진다. 국부적 최소점 즉 낮은 고도에 영향을 주고 있는 픽셀들 범위 안에서 낮은 고도에서 높은 고도로 픽셀들을 결합함으로써 결국 같은 영향권을 가지는 픽셀들로 영역이 분할된다. 전 영역에서 국부적으로 수행되며 가장 낮은 고도를 가진 영역에서 가장 높은 고도를 가진 영역으로서 하나의 담수 영역으로 분할한다.

### 2.4 영역 병합

분할된 영역들은 각각의 영역의 유사성 비교로서 영역을 병합한다. 인접한 영역의 유사성 비교 척도로는 영상 처리에서 많이 사용되는 3가지 방법에 대해 실험을 수행하여 성능을 평가한다.

$$\begin{aligned}
 &\text{if } R(p) \neq R(r) \quad p, r \in D \\
 &R_{GC}(P) < T_G \\
 &\text{then begin} \\
 &R(p) \cup R(r) \\
 &\text{end} \tag{4}
 \end{aligned}$$

여기서  $D$ 는 전체 영역,  $p$ 와  $r$ 은 영역 분할 단계에서의 국부적 최소점,  $R(p)$ 와  $R(r)$ 은 분할된 세그먼트 영역을 나타내며,  $R_{GC}(p)$ 는 세그먼트 영역  $p$ 의 픽셀 수를 나타낸다.

첫 번째 방법은 주변 화소의 기울기(Gradient) 값을 이용하여 유사성을 측정하는 것으로 인접한 두 영역  $R(p)$ 와  $R(r)$ 이 서로 다르고  $R(p)$ 에 대한 영역 갯수가 문턱치( $T_G$ )보다 작으면 두 영역은 유사성을 가지고 있다고 판단하고 병합을 수행한다. 이 과정에 대한 알고리즘을 식 (4)에 보였다.

```

if R(p) ≠ R(r) p, r ∈ D
(RSV(P) / RS(p)) - (RSV(r) / RS(r)) < TM
then begin
R(p) ∪ R(r)
end
    
```

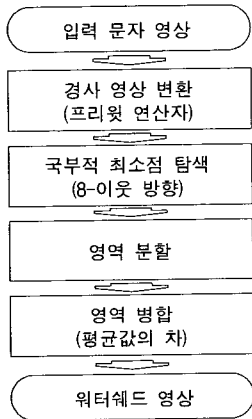
여기서 R<sub>SV</sub>는 영역의 합이며 R<sub>S</sub>는 영역의 크기이다. 두 번째 방법으로 서로 다른 인접 영역에 대해 두 영역의 평균값의 차(Mean Difference)를 이용하였다. 영상에 있어 명도의 평균값은 외형과의 관련성 때문에 자주 사용된다. 인접한 두 영역 R(p)와 R(r)이 서로 다르고 R(p)에 대한 영역 평균값과 R(r)의 평균값의 차이가 문턱치(T<sub>M</sub>)보다 작으면 두 영역은 유사성을 가지고 있다고 판단하고 병합을 수행한다. 이 과정에 대한 알고리즘은 식 (5)에 보였다.

```

if R(p) ≠ R(r) p, r ∈ D
RCM / (RCM × RCM) < TC
then begin
R(p) ∪ R(r)
end
    
```

여기서 R<sub>CM</sub>은 결합된 영역의 평균을 나타낸다. 마지막으로 서로 다른 인접 영역에 대해 두 영역의 결합된 영역의 분산 값(Combined Variance)을 이용하였다. 영상에 있어 명도의 변화량은 두 영역의 유사성 비교에 사용된다. 인접한 두 영역 R(p)와 R(r)이 서로 다르고 R(p)와 R(r)이 결합된 영역의 분산 값이 문턱치(T<sub>C</sub>)보다 작으면 두 영역은 유사성을 가지고 있다고 판단하고 병합을 수행한다. 이 과정에 대한 알고리즘을 식 (6)에 보였다.

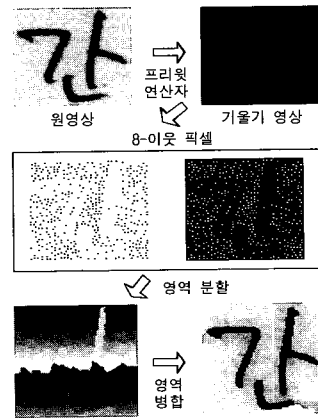
2.5 제한한 문자 영역 분할을 위한 워터셰드 구성



(그림 4) 문자 영상 분할을 위한 워터셰드 구성도

본 논문에서의 문자 영상 분할을 위한 워터셰드 알고리즘의

구성 (그림 4)와 같고 문자 영상에 적용한 예는 (그림 5)에 보였다. 워터셰드 알고리즘을 구성하는 각 단계에서 실험적으로 수행 속도와 결과 영상의 품질을 고려하여 필기체 한글 문자 영상 분할에 가장 적합한 방법으로 워터셰드 알고리즘을 구성한다. 먼저 프리윗 기울기 연산자를 이용하여 경사 영상 변환을 수행하고, 8-이웃 방향 픽셀을 고려하여 국부적 최소점을 탐색한다. 그리고 영역 분할 단계를 거쳐 평균값의 차를 이용한 영역 병합을 수행하여 워터셰드 영상으로 변환한다.

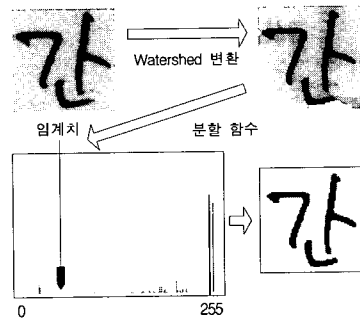


(그림 5) 문자 영상에 적합하게 구성된 워터셰드 변환

3. 이진화 및 세선화

3.1 분할 함수를 이용한 이진화

워터셰드 영상의 강도를 문자 영상에서의 배경 성분과 문자 성분을 분류하는 이진화의 기준으로 사용하였다. 워터셰드 영상의 강도가 I<sub>thel</sub> 이상인 값을 가지면 I<sub>thel</sub> 이상의 값은 배경 성분의 값을 의미한다. 따라서 영상 강도가 I<sub>thel</sub> 이상인 배경 성분을 1차적으로 분리한다. 인접한 픽셀과의 강도값의 차이가 클수록 배경 성분일 확률이 높다. 가장 적절한 배경 성분 확률 값(I<sub>the2</sub>)을 실험에서 사용하고자하는 필기체 한글 문자 데이터베이스에 대해 통계적 확률 수치를 구하여 2차 배경 성분을 분리하였다.



(그림 6) 분할 함수를 이용한 이진화

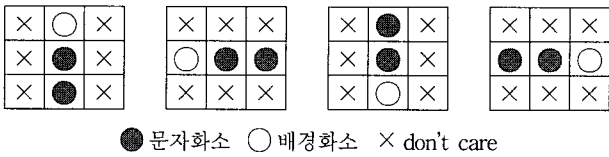
(그림 6)은 분할 함수를 이용하여 배경과 문자를 분리하는

과정을 보인다. (그림 6)에서 강도에 대한 히스토그램에서 값의 분포가 확실히 구분 지어지는 경계 부분을 볼 수 있다. 그 부분이  $I_{thel} = 100$ 의 값을 경계로 나타나고, 더욱더 효과적인 경계를 구하기 위해 분할 함수를 적용하였다. 분할 함수의 값( $I_{the2}$ )은 필기체 한글 문자 데이터의 통계적인 강도 값의 거리에 대한 문턱치를 얻어 구했다.

3.2 조건 검사 마스크를 이용한 세선화

세선화는 인식기에 적용할 특징을 추출하기 위한 골격선을 추출하는 과정이다. 골격선의 품질은 필기체 문자 인식 시 문자의 동적인 정보를 포함하는 획의 추출과 인식의 성능 향상에 큰 영향을 준다. 오프라인 필기체 한글 문자의 획 추출은 세선화 과정에 크게 의존하고 있다. 세선화 과정은 문자의 구조적인 정보를 얻을 수 있는 골격선(Skeleton)을 추출하는 과정으로 세선화 과정의 성능은 문자에 있어서의 인식을 위한 특징 추출의 성능을 결정하게 된다[9].

세선화 결과 영상에 대한 평가 기준은 패턴의 연결성(Connectivity)의 보존과 가능하면 한 픽셀의 두께를 갖는 골격의 추출, 가장자리 부분의 잡영 처리, 세선화 수행 시간으로 평가한다.

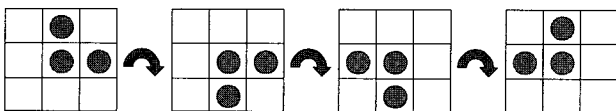


(그림 7) 조건 검사 3×3 마스크 1

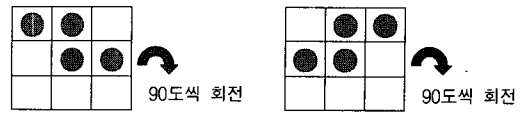
본 논문에서는 필기체 문자 영상에 적합한 워터셰드 알고리즘을 이용한 영상 분할 결과에 반복적인 모폴로지 방법을 이용하여 세선화를 수행하는 방법을 제안한다. (그림 7)과 같이 조건 검사 3×3 마스크 1을 영상 분할 결과에 반복적으로 수행한다. 3×3 마스크를 만족하는 중앙 픽셀을 탐색하여 탐색된 중앙 픽셀이 끝점(End Point)이 아니고 연결 픽셀 수가 1이면 제거할 픽셀로 표시를 한다. 3×3 마스크 조건이 만족되지 않을 때까지 반복적으로 모든 픽셀에 대해 수행한다.

$$C_n = \sum_{k=s} N_k - (N_k \cdot N_{k+1} \cdot N_{k+2}) \quad (7)$$

여기서 필기체 문자 영상의 연결 패턴 유지를 위해 고려되어야 할 사항으로 연결 픽셀 수는 식 (7)과 같이 계산한다.  $N_k$ 는 주변 픽셀을 나타내고  $N_1$ 은 오른쪽 픽셀을 나타낸다.  $S = \{1, 3, 5, 7\}$ 의 집합을 가지고 만약  $N_k < 255$ 이면  $N_k = 1$  이고, 그렇지 않으면  $N_k = 0$  이 된다.

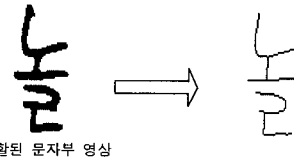


(그림 8) 조건 검사 마스크 2



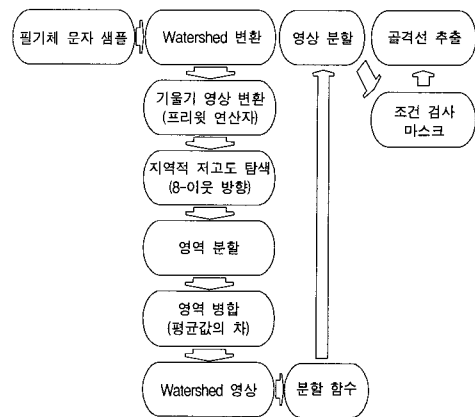
(그림 9) 조건 검사 마스크 3

위의 모폴로지 과정이 끝나면 모든 픽셀에 대해 (그림 8)과 같은 조건 검사 마스크 2를 만족하는 픽셀 영역을 탐색하여 조건에 만족하는 픽셀 영역의 중앙 픽셀에 대한 연결 픽셀 수가 3보다 작을시 중앙 픽셀을 골격에서 제거한다. 또한 (그림 9)와 같은 조건 검사 마스크 3을 만족하고 문자 영역인 연결 픽셀 수가 3이면 중앙 픽셀을 골격에서 제거한다. 위와 같이 이진화 영상을 조건 검사 마스크 1, 2, 3을 통해서 골격선을 추출한다.



(그림 10) 조건 검사 마스크를 이용한 세선화

(그림 10)은 조건 검사 마스크를 이용하여 세선화를 수행하여 골격선을 추출한 결과를 보여준다. 세선화 과정을 통해 추출된 골격은 전처리 수행 결과에 대한 최종적인 평가로써 사용된다.



(그림 11) 본 논문의 전체적인 전처리 시스템 구성도

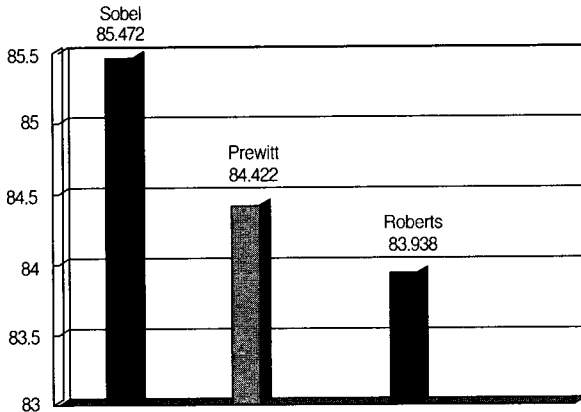
(그림 11)은 본 논문에서 제안한 시스템의 전체적인 구성도이다.

4. 실험 결과 및 검토

실험에서는 워터셰드 알고리즘 각 단계에서의 적용 방법에 따른 수행 시간을 비교 평가하였다. 또한 영상 분할에 있어 기존의 방법들과 본 논문에서 제안한 방법을 통해 수행 시간 및 결과 영상의 품질을 비교 평가하였고, 본 논문에 사용한 세선

화 방법과 기존의 방법의 수행 시간과 골격선의 품질을 평가하였다. 실험에 사용된 환경은 Intel Pentium(r) III Processor, Microsoft Visual C++ 언어를 사용하였다. 실험에 사용된 샘플은 KAIST에서 제작한 대한민국 국어 정보베이스(Korea National Language Information Base) CD-ROM에 수록된 한국어 필기체 데이터 베이스 샘플 가운데 상위 520번째까지의 필기체 문자 데이터 중에서 무작위 순위로 100개씩의 샘플을 선택하여 각 단계에서 이용하였다. 샘플은 100×100의 명도 영상으로 구성되어 있다. 수행 시간은 100분의 1초 단위로 측정한다. 워터셰드 알고리즘의 각 단계에서의 적용 방법에 따른 수행 시간을 평가하고, 영상 분할 과정과 세션화 과정에 있어서는 기존의 방법과 본 논문의 방법에 따른 수행 시간과 품질을 평가한다. 마지막으로 전체적인 전처리 과정에 있어 기존의 방법과 본 논문의 방법의 상위 520번째까지의 필기체 문자 데이터의 총 수행 시간과 문자 한 벌 당의 평균 수행 시간을 계산하여 평가한다.

4.1 워터셰드 알고리즘 각 단계 실험 결과



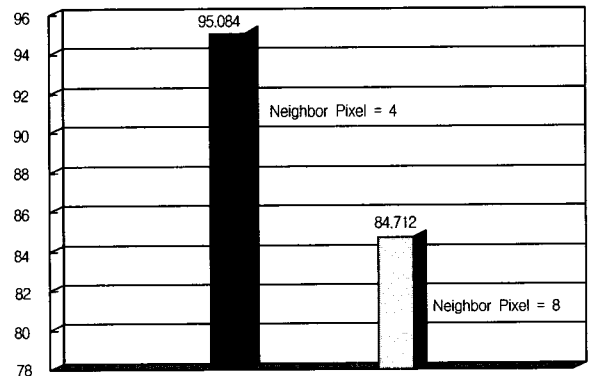
(그림 12) 기울기 연산자에 따른 평균 수행 시간

<표 1> 기울기 연산자에 따른 수행 시간 및 Minima 수

C	O	M	G	W
1	Roberts	198	5.552	88.702
	Prewitt	183	6.493	88.726
	Sobel	202	6.728	89.532
2	Roberts	176	4.527	86.359
	Prewitt	189	6.350	89.487
	Sobel	202	6.680	89.788
100	Roberts	129	4.399	80.728
	Prewitt	121	6.362	81.867
	Sobel	132	6.440	82.664

- C : 필기체 문자 DB 번호
- O : 기울기 연산자
- M : 저고도 탐색 수
- G : 기울기 연산 수행 시간
- W : Watershed 변환 수행 시간
- 시간단위 : 1/100 초

<표 1>과 (그림 12)에서와 같이 기울기 연산자 적용 방법에 따라 소벨 연산자 0.85초, 로버츠 연산자 0.83초, 프리윗 연산자 0.84초로 로버츠 연산자가 평균 수행 시간이 가장 짧게 평가되었으나 수행 결과 경사 영상의 품질이 좋지 않게 나타났다. <표 1>에서 측정된 것과 같이 저고도 탐색 수가 많을수록 수행 시간도 길어지는 것을 알 수 있었으며, 프리윗 연산자의 저고도 탐색수와 수행 시간, 결과 영상 품질이 적절한 것을 알 수 있었다.



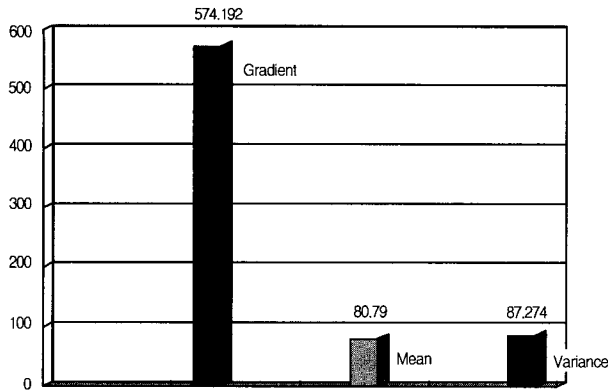
(그림 13) 이웃 방향 픽셀에 따른 평균 수행 시간

<표 2> 이웃 방향 픽셀에 따른 수행 시간

C	N <sub>G</sub>	M	W
1	4-이웃 방향	267	98.994
	8-이웃 방향	183	91.726
2	4-이웃 방향	277	102.329
	8-이웃 방향	189	89.489
⋮			
100	4-이웃 방향	167	90.459
	8-이웃 방향	121	81.829

- C : 필기체 문자 DB 번호
- M : 저고도 탐색 수
- W : Watershed 변환 수행 시간
- 시간단위 : 1/100 초
- N<sub>G</sub> : 고려할 이웃 방향 픽셀

이웃 픽셀에 대한 방향성은 8-이웃 방향과 4-이웃 방향에 대하여 실험을 수행하였다. 4-이웃 방향을 고려했을 시는 추출된 국부적 최소점의 수가 많아 수행 속도 저하의 원인이 되었으며, 8-이웃 방향을 고려했을 시는 적절한 수의 국부적 최소점이 추출되었으며 수행 속도는 4-이웃 방향을 고려했을 시보다 수행 속도가 빠른 것으로 실험 결과 알 수 있었다. (그림 13)과 <표 2>에서와 같이 국부적 최소점 탐색 단계에 있어서는 이웃 픽셀을 4-이웃 방향 고려 시 0.95초, 8방향 고려 시 0.84초로 8-이웃 방향 설정 시 최소점 탐색의 수도 적절하고 빠른 수행 시간을 얻을 수 있었다.



(그림 14) 유사도 측정 방법에 따른 평균 수행 시간

<표 3> 영역 유사도 측정 방법에 따른 수행 시간

C	L	W
1	Gradient method	576.595
	Mean difference	85.705
	Combined Variance	91.726
2	Gradient method	579.318
	Mean difference	87.068
	Combined Variance	89.487
100	Gradient method	572.308
	Mean difference	78.662
	Combined Variance	84.867

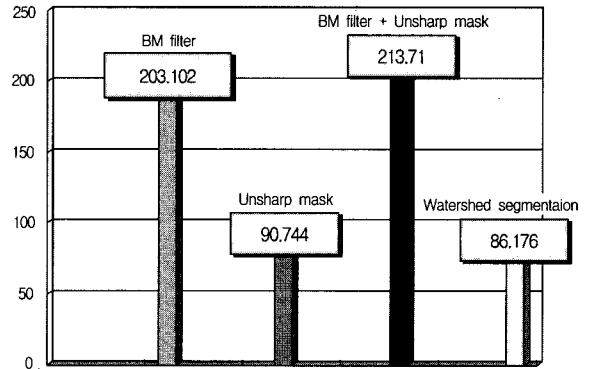
• C : 필기체 문자 DB 번호  
 • L : 영역 유사도 측정 방법  
 • W : Watershed 변환 수행 시간  
 • 시간단위 : 1/100 초

일반적으로 기울기에 의한 유사도 측정 방법은 워터셰드 변환 수행 시간이 평균값의 차와 결합된 영역의 분산값을 이용한 방법에 비해 상당히 길어지는 단점이 있지만 결과 품질에 있어서는 좋은 결과를 얻어 일반적으로 많이 사용된다. 하지만 필기체 한글 문자 영상에 있어서는 실험 결과 다른 방법과의 비교 시 품질의 우수성이 나타나지는 않았다. 그러나 수행 시간에 있어서는 평균값의 차이를 이용한 방법이 빠른 것으로 실험 결과 측정되었다. (그림 14)와 <표 3>에서와 같이 영역 병합 단계에서는 일반적인 워터셰드 알고리즘에 사용되는 경사도에 따른 방법이 5.74초로 아주 느리게 나타났다. 그러나 일반적인 영상에서는 경사도를 적용하였을 경우 수행 시간은 느리나 좋은 영상의 결과를 얻을 수 있어 많이 사용하는 방법이다. 하지만 문자 영상에 있어서는 다른 두 가지 방법으로도 좋은 영상을 얻을 수 있었다. 평균값의 차를 이용한 방법이 0.87초의 결합된 영역의 분산 값을 이용하는 것보다 0.8초로 빠르게 수행되었다.

4.2 영상 분할 실험 결과

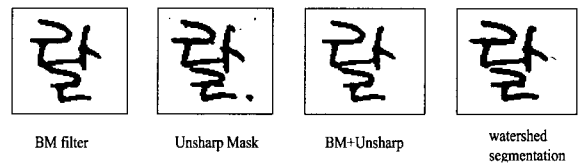
BM 필터는 영상의 전체적인 밝기를 조절 후 남아있는 잡

영을 처리하기 위해 Mean 필터를 사용하는 필터링으로 영상 향상 방법에 있어 많이 사용되는 방법이다. Unsharp mask는 영상 강화 마스크로 영상의 윤곽선을 더욱 뚜렷히 만들어 주는 방법이다[10]. (그림 15)에서 보는 바와 같이 마스크 처리만 했을 경우 수행 시간은 0.9초로 빠른 편이나, 필터링과 같이 수행하였을 경우 2.13초로 아주 느리게 수행되었다. 본 논문에서의 워터셰드 알고리즘을 이용한 영상 분할은 0.86초로 다른 세 가지 방법 보다 수행 시간이 가장 짧았다.

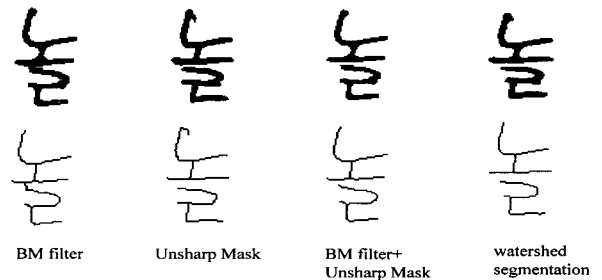


(그림 15) 영상 분할 평균 수행 시간

(그림 16)에서 보는 것과 같이 결과 영상의 품질에 있어서도 기존의 방법으로서 필터링 처리 시에는 획과 획 사이의 접촉이 발생하였고, 마스크 처리의 결과 영상은 주변 잡영에 대한 흡수에 떨어지는 결과를 보임으로써 잡영 처리에 효과적이지 못하였다. 그러나 본 논문의 워터셰드 알고리즘 적용 시 결과 영상은 잡영에 대한 처리도 좋고 획과 획 사이의 처리도 좋게 나타났다. 또한 원 영상의 패턴도 잘 유지되었다.



(그림 16) 영상 분할 결과 영상



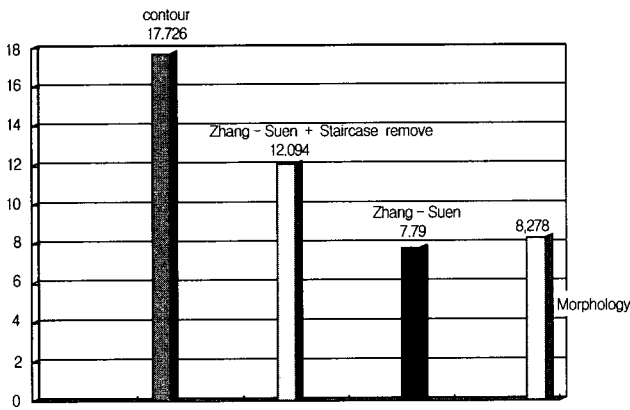
(그림 17) 영상 분할 및 세션화 결과 영상

(그림 17)에서 보면 필터링 처리를 하였을 경우 획 사이의 접촉이 발생할 확률이 높아 세션화 결과 영상에서 획 사이의

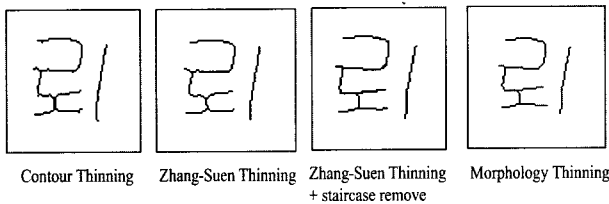
골격선이 붙는 경우를 확인할 수 있다. 두 번째 마스크 처리를 할 경우 끝선에 있어 잡영을 흡수하지 못하는 결과를 보여 세선화 결과 영상에서 끝선에서 거짓 선이 나타나는 결과를 보인다. 필터링과 마스크 처리를 함께 할 경우 결과 품질은 좋게 나타난다. 하지만 수행 시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 본 연구 방법 적용시 (그림 17)에서 보느냐와 같이 영상 분할과 세선화 결과 영상의 품질 모두 좋은 품질을 나타냈다.

4.3 세선화 실험 결과

세선화 과정에 있어서 본 논문 방법과 기존의 Zhang-Suen 방법[11], Zhang-Suen 방법과 잡영 가지 처리를 위한 방법, 윤곽선을 이용한 방법[12-13]에 대해 수행 시간을 측정 평가 하였다. (그림 18)에서 보면 수행 시간에 있어서 Zhang-Suen 의 세선화가 0.07초로 가장 빠르게 평가되었다.



(그림 18) 세선화 평균 수행 시간



(그림 19) 세선화 결과 영상

Zhang-Suen의 세선화는 (그림 19)에서와 같이 획 교차점에서의 골격선 처리가 매끄럽지 못하고 끝선에 있어서의 처리가 좋지 못함을 볼 수 있다. 본 논문에서의 조건 검사 마스크를 이용한 방법은 수행 시간에 있어서나 세선화 결과 영상의 품질에 있어서 좋은 결과를 얻었다.

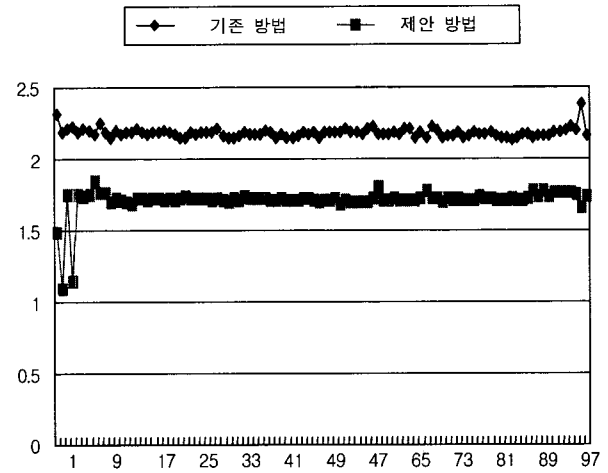
4.4 오프라인 필기체 한글 문자 전처리 실험

기존 방법의 전처리와 본 논문에서 제안한 전처리 방법에 대한 수행 시간과 품질을 평가한다. 필터링과 모폴로지 마스크를 이용한 영상 향상과 전역적인 문턱치를 이용한 영상 분할, 그리고 Zang-Suen의 세선화 방법의 전처리 과정과 본 논문의 워터셰드 알고리즘의 구성과 분할 함수를 이용한 이진화

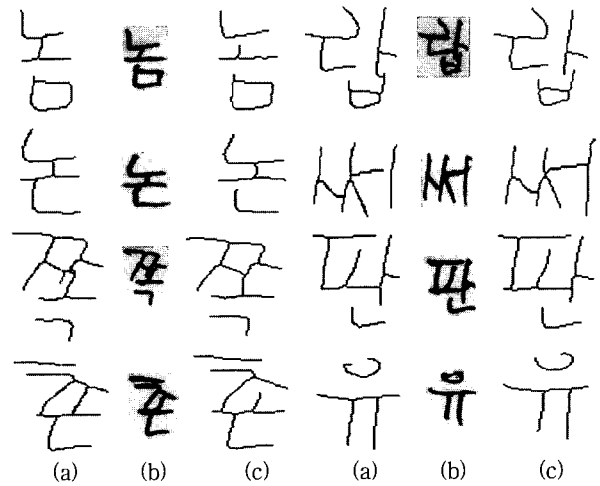
그리고 조건 검사 마스크를 이용한 세선화 방법의 전처리 과정을 수행 시간과 품질로써 평가한다.

<표 4> 전처리 수행 시간

샘플 번지	001~100	101~200	201~300	301~400	401~520	평균시간
수행 시간 (초)	2.18	2.20	2.18	2.19	2.08	2.16
제안 방법	1.70	1.73	1.73	1.72	1.73	1.72



(그림 20) 전처리 수행 시간 그래프(샘플 1~100번지)



(a) 기존 방법 (b) 원영상 (c) 제안 방법

(그림 21) 전처리 결과 영상

<표 4>와 (그림 20)에 전처리 수행 결과를 보였다. 100벌의 데이터를 나누어 수행 시간을 측정하여 평균 시간을 구하였다. 전처리 결과 영상은 원 영상에 기존 방법과 제안 방법을 적용한 결과 영상을 (그림 21)에 보였다. 전처리 수행 결과 기존 방법은 평균 수행 시간이 2.16초, 본 논문의 제안 방법은 평균 수행 시간이 1.72초로 본 논문의 방법이 수행 시간에 있어 빠른 것으로 평가 됐다. 전처리 수행 결과에 대한 품질 평



가에 있어서는 획의 접촉이 없는 경우 기존 방법과 본 논문의 제안 방법 모두 좋은 결과를 보인다. 하지만 획의 접촉과 잡영의 정도가 심할 때 본 논문의 방법이 좋은 결과를 보였다. (그림 21)에서 보면 획의 접촉이 발생하였을 경우 기존의 방법은 연결 획으로써 골격을 추출하는 것을 볼 수 있지만 제안 방법의 경우 효과적으로 획을 분리하는 것을 볼 수 있다. 또한 획 추출 단계에서 특징점 추출을 위해 가능한 한 픽셀 두께를 갖는 골격선을 추출하였다. 패턴 및 패턴 배경의 연결성을 보존하는 골격선 추출에 있어서도 좋은 결과를 보였다. 하지만 몇 가지 문제점도 보였다. 끝점에 있어서 영상 분할 과정 중 워터셰드 영상의 영역 분할이 너무나 적게 이루어졌을 경우 분할 함수의 작용이 효과적으로 이루어지지 못하는 문제점이 발생하여 지나친 침식 결과를 보였다. 그리고 모음 “o”의 경우 한글 필기의 특성으로 마지막 필기 부분에서 많은 홀림이 작용하여 주변 픽셀과의 명도 차이가 나게 되어 연결이 끊어지는 경우도 발생하였다. 기존의 방법에서도 위와 같은 경우가 발생하였고, 이러한 경우는 기존의 방법에서 Mean 필터링을 사용하지 않고, Unsharp 마스크 처리 시 해결 할 수 있으나 잡영에 민감한 문제점으로 좋지 않은 결과를 가져왔다.

## 5. 결론 및 향후 연구 과제

오프라인 필기체 한글 문자 인식은 필체의 다양성과 끝선에 있어서의 홀림이 심하여 잡영 성분이 많이 존재한다. 또한 자소의 접촉이 불규칙하게 많이 발생하여 인식에 있어 난이도가 높다고 할 수 있다. 또한 불완전한 전처리를 수행하여야 하는 어려움을 갖는다.

이러한 불완전한 전처리에 대해 본 논문은 필기체 문자 영상에 적합한 워터셰드 알고리즘을 구성하여 적용함으로써 잡영 성분을 효과적으로 흡수하였고, 분할 함수를 이용하여 문자 영역과 배경 영역을 효과적으로 분리하였다. 또한 조건 검사 마스크를 이용한 세션화 방법으로 전처리 과정의 수행 속도와 결과 영상의 품질에 대한 우수성을 보였다. 본 논문에서 제안한 방법의 평균 수행 시간이 1.72초로 2.16초인 기존의 방법보다 수행 시간의 이득을 보았고, 결과 영상의 골격선 품질 평가에 있어서도 원 패턴의 보존성과 가능한 한 픽셀의 두께, 끝선의 처리 특히 획 사이의 접촉 부분에 있어 좋은 결과를 얻었다.

그러나 난이도가 높은 오프라인 필기체 한글 문자를 처리하기에는 많은 개선 사항이 필요하다. 제안한 방법 중 워터셰드 영상에서 효과적인 영상 분할을 위해 분할 함수를 적용하였으며 이 분할 함수에서 효과적인 최적의 문턱치 설정 방법에 대한 많은 연구가 필요하다. 또한 워터셰드 알고리즘에 있어서 필기체 한글 문자의 특성을 잘 고려한 국부적 최소점 설정 및 영역 분할과 영역 병합 단계에서의 많은 연구가 필요하고, 이 연구는 필기체 문자의 어려움인 자소의 분할에 있어

좋은 결과를 기대한다. 또한 획 접촉을 고려한 세션화 방법도 병행되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Chang and H. Yan, "Analysis of Stroke Structure of Handwritten Chinese Character," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B : Cybernetics, Vol. 29, No.1, pp.47-61, Feb., 1999.
- [2] C. Lantuejoul and S. Beucher, "Use of Watersheds in Contour Detection," International Workshop on Image Processing, Real-Time Edge and Motion Detection/Estimation, Rennes, France, Sept., 1979.
- [3] L. Vincent and P. Soille, "Determining Watersheds in Digital Pictures via Flooding Simulations," In M. Kunt, editor, Visual Communications and Image Processing '90, Vol.1360, Bellingham, pp.240-250, 1990.
- [4] F. Meyer and S. Beucher, "Morphological Segmentation," Journal of Visual Communication and Image representation, Vol.1, pp.21-46, Sept., 1990.
- [5] Michel Couprie and Gilles Bertrand, "Topological Grayscale Watershed Transformation," In SPIE Vision Geometry V Proceedings, Vol.3168, pp.136-146, 1997.
- [6] L. Vincent and P. Soille, "Watershed in Digital Spaces : An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.13, No.6, June, 1991.
- [7] Jos B. T. M Roerdink and Meijster, "The Watershed Transform : Definitions, Algorithms, and Parallelization Strategies," Report IWI 99-9-06, Institute for Mathematics and Computing Science, University of Groningen, July, 1999.
- [8] Stefan Thurnhofer and Sanjit k. Mitra, "Quadratic Volterra Filters with Mean-Weighted Highpass Characteristics," IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, June, 1995.
- [9] J. N. Kapur, P. K. Sanhoo, and A. K. Wong, "A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol.29, pp.273-285, 1985.
- [10] J. Serra and L. Vincent, "Lecture notes in mathematical morphology," Ecole Nationale Superieure des Mines de Paris, France, 1989.
- [11] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns," Commun. ACM, Vol.27, No.3, pp.236-239, Mar., 1984.
- [12] Gonzalez and Woods, "Digital Image Processing," 2nd ed., Wiley. 1991.
- [13] Randy Crane, "Simplified Approach to Image Processing (H/C)," Prentice-Hall, pp.107-110, 1994.



**최 영 규**

e-mail : young@dankook.ac.kr  
1994년 단국대학교 전자공학과 졸업  
(공학사)  
1997년 단국대학교 대학원 전자공학과  
졸업(공학석사)  
1998년~현재 단국대학교 대학원 전자공학과  
(공학박사수료)

2000년~2001년 (주)패스싸인 연구소장  
관심분야 : 패턴인식, 인공지능, 멀티미디어응용



**이 상 범**

e-mail : sbrhee@dankook.ac.kr  
1974년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1978년 서울대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
1986년 연세대학교 대학원 전자공학과  
(공학박사)

1984년 미국 IOWA대학교 컴퓨터공학과 객원교수  
1979년~1999년 단국대학교 전자·컴퓨터공학과 교수  
1997년~1999년 단국대학교 교무·연구처장  
1997년~2000 단국대학교 멀티미디어산업기술연구소장  
2000년~현재 단국대학교 공과대학 전기·전자·컴퓨터공학부  
교수

관심분야 : 컴퓨터구조, 패턴인식, 디지털 신호처리