

## 초음파 영상의 거칠기 변수를 이용한 간 질환 분류

◦이동혁, \*\*이용우, ◦송인찬, \*김희찬, \*민병구  
 ◦서울대학교 공과대학 협동과정 의용생체공학전공  
 \*서울대학교 의과대학 의공학교실  
 \*\*서울대학병원 진단방사선과

### Classification of Liver Disease by using Coarseness parameters of Ultrasonic Images

D. H. Lee, \*Y. W. Lee, I. C. Song, H. C. Kim, B. G. Min

Department of Biomedical Engineering, Seoul National University.  
 \*Department of Diagnostic Radiology, Seoul National University Hospital.

#### 서론

간 기능 진단에 초음파 영상이 가장 많이 이용되고 있다. 간이 나빠지면 간 표면의 입자가 굵어지고 이것이 영상에서는 밝기(intensity)와 입자의 거칠기(Coarseness)가 높아지는 등의 특성이 나타난다. 진단에 사용되는 인자는 표면의 거칠기와 밝기 외에도 소엽의 크기와 모양 그리고 문맥 혈관의 크기 등도 고려가 된다. 초음파상으로 이러한 크기와 모양의 구분은 그렇게 어렵지 않다. 그러나, 영상의 밝기와 거칠기의 미세한 변화는 구분하기가 어렵다. 본 연구는 밝기와 거칠기를 나타내는 변수를 제시하고 이를 기준으로 간 질환을 분류하였다.

간 조직의 거칠기에 따라 크게 정상(Normal), 만성 간염(Chronic), 간경변증(Cirrhosis) 세단계로 질환의 상태를 진단하고 영상의 밝기에 따라 다른 간질환과 지방간(fat liver)을 구별해 낸다. 본 분석에 이용된 임상 영상은 주로 만성 간염과 간경변증을 갖고 있는 환자들의 것과 약간의 지방간 영상들이다.

#### 초음파 영상

환자의 초음파 영상은 Aloka SSD-650을 이용하여 획득한 것을 PC상의 영상처리장치인 Matrox를 이용하여 디지털 영상으로 바꾸어 PC 메모리에 저장하였다.

총 78개의 영상 중 정상이 6개, 만성 간염이 44개, 간경변증이 18개 그리고 지방간이 10개이다. 이 분류는 임상 소견에 따른 것이고 지방간에 만성 간염이 같이 있는 경우는 영상 진단이 어려워 임상 소견상 분류로는 모두 지방간으로 하였다.

초음파 기계의 종류와 조절 변수 그리고 환자에 따라 정상상태의 영상의 밝기가 다르므로 이에 대한 보정이 필요하다. 이 보정의 상태 기준으로 간 조직과 비슷한 조직을 갖고 있는 체장의 영상을 이용하였다. 즉 정상상태의 간 영상과 체장의 영상이 밝기와 거칠기 정도가 같다고 보고 간 영상과 체장 영상을 비교하였다.

영상의 밝기는 히스토그램의 평균치로 쉽게 측정되나 거칠기는 그렇지 않다. 복부 표면에서 간까지의 두께에 따라 초음파의 감쇄 정도가 달라지므로 환자마다 영상의 전체적인 밝기가 다르다. 이 영상의 밝기 차이는 진단자가 거칠기만을 구분해 내는 것을 어렵게 한다. 거칠기는 고주파 신호로 볼 수 있으므로 진단기계의 영향과 조직의

감쇠특성을 반영하는 저주파 성분인 영상의 기본 기울기를 본 영상에 뺀 차 영상을 가지고 거칠기 정도를 나타내는 변수를 구하였다. 영상의 기본 기울기는 원래 영상을 3x3 kernel convolution을 이용한 저주파 필터링으로 부터 얻었다. 진단자가 보는 거칠기는 영상상에 나타나는 단위 조직의 크기와 조직과 비조직 사이의 명암(Contrast) 그리고 조직의 방향성 등을 종합적으로 고려한 개념으로써 이를 정량적으로 측정하기 위한 변수를 설정하였다.

#### 거칠기 변수

거칠기를 나타내는 변수로는 제시된 것들은 여러 가지가 있으나 본 실험 결과 다음의 것들이 구분자의 기능을 대체적으로 잘하는 것을 선택하였다.

1. Difference Histogram Variation (DHV)
2. Edge Density (ED)
3. Inertia of Cooccurrence Matrix (ICM)
4. First Moment of Power Spectrum (FMS)

#### Difference Histogram Variation.

gray-level differences는 다음과 같이 정의된다.

$$g(d) = |u(k, l) - u(k + d_1, l + d_2)| \quad (1)$$

여기서  $d = (d_1, d_2)$ 이고,  $u(k, l)$ 는 한 점  $(k, l)$ 에서의 gray-level 값이다.

$g(d)$ 의 histogram을  $p_g(g, d)$ 이라 하면 difference histogram variation  $\sigma_d^2$ 는 다음과 같이 정의된다.[1]

$$\mu_d = \sum_{k=1}^N g_k p_g(g, d) \quad (2)$$

$$\sigma_d^2 = \sum_{k=1}^N (g_k - \mu_d)^2 p_g(g, d) \quad (3)$$

#### Edge Density

영상 U의 x,y gradient를 각각  $g_1, g_2$  라 하면

$$\begin{aligned} g1(k,l) &= \langle U, H1 \rangle_{k,l} \\ g2(k,l) &= \langle U, H2 \rangle_{k,l} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $\langle U, H \rangle = \sum_i \sum_j h(i,j)u(i+k,j+1)$  인 inner product이고 H1과 H2는 다음과 같은 Sobel gradient kernel 이다.

$$H1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H2 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Bidirectional gradient를  $g$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$g(k,l) = |g1(k,l)| + |g2(k,l)| \quad (5)$$

Edge map  $\varepsilon(k,l)$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$\varepsilon(k,l) = \begin{cases} 1, & (k,l) \in I_g \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$I_g = \{(k,l); g(k,l) > \text{threshold}\}$$

Edge density  $de$ 는 edge map의 합으로 정의된다.[2]

$$de = \sum_k \sum_l \varepsilon(k,l) \quad (7)$$

#### Inertia of Cooccurrence Matrix

Cooccurrence matrix  $C_d$ 의 element  $c_w$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$c_w = p(u_k, u_l, d) = \frac{n_w}{n} \quad (8)$$

여기서,  $n_w$ 은 거리가 vector  $d$ 만큼 떨어졌을 때  $(u_k, u_l)$ 의 gray-level을 갖는 순서쌍의 갯수이고  $n$ 은 vector  $d$ 로 만들 수 있는 모든 순서쌍의 갯수이다.

구하는 Inertia  $I_d$ 는 다음과 같이 정의된다.[3]

$$I_d = \sum_k \sum_l |k-l|^2 c_w \quad (9)$$

#### First Moment of Power Spectrum

영상 신호  $U$ 를 FFT한 것을  $T$ 라 하면,

$$T(k,l) = \text{FFT}[U(k,l)] \quad (10)$$

First Moment of Power Spectrum  $M$ 은 다음과 같이 정의된다. [4]

$$M = \frac{\sum_k \sum_l \sqrt{k^2 + l^2} |T(k,l)|^2}{\sum_k \sum_l |T(k,l)|^2} \quad (11)$$

## 실험 결과

간 초음파 영상은 32x32 (pixel\*pixel)의 크기의 ROI로 깊이 3-6cm 사이로 진단의 근거가 되는 특성을 갖는 부위를 잡았다. 다른 조직이나 간 조직 내의 혈관 등은 여기에 포함되지 않도록 하였다.

영상의 밝기는 히스토그램의 평균치로 변수를 삼아 측정하였고, Edge Density를 구할 때 구분 임계치는 200으로 Bidirectional gradient histogram의 상위 10% 정도에 해당되는 값을 설정했다.

잡혀진 영상에서 구한 각 변수들의 평균과 표준편차는 표.1과 같다.

Mean	Intensity	DHV	ED	ICM	FMPS
Chronic	83.29	39.99	4.48	1.79	6.03
Fat	106.47	54.14	7.30	2.37	2.64
Cirrhosis	84.93	56.12	11.31	2.48	7.75
Normal	80.58	27.01	0.59	1.38	4.42

SD	Intensity	DHV	ED	ICM	FMPS
Chronic	11.84	5.36	1.54	0.24	3.17
Fat	8.35	15.08	4.12	0.47	1.48
Cirrhosis	8.68	10.53	3.17	0.39	2.94
Normal	8.12	5.47	0.28	0.23	1.91

표.1 구해진 변수 값들의 평균과 표준편차 지방간은 영상의 밝기와 FMPS가 지배적인 구분자가 됨을 알 수 있고 만성 간염과 간경변은 DHV, ED, ICM 등이 어느 정도 구분한다.

각 변수간의 상관관계와 질환 구분과의 관계를 알아보기 위해 각 변수쌍에 대해 XY Scatter Graph를 그린 것이 그림 1-8이다.

그림 1, 2, 3, 4 에서 영상의 밝기는 지방간 판별의 비교적 정확한 변수가 되나 FMPS는 확실한 구분을 해 준다고 보기는 힘들음을 알 수 있다. 만성 간염과 간경변의 경우 DHV, ED, ICM 이 비교적 잘 구분을 해 주고 있음을 그림 1, 2, 3을 통해 알 수 있고 특히 ED가 가장 확실한 구분자임이 관찰된다.

그림 5, 7에서 ED의 구분자 역할을 DHV나 ICM보다 더 잘하고 있음을 알 수 있고 그림 6에서는 DHV와 ICM의 상관성 아주 높음이 관찰된다. 그림 8에서는 FMPS가 만성 간염과 간경변증을 정상과 구분해 내기 힘들음을 관찰할 수 있으나 그림 4에서와 같이 영상의 밝기와 같이 쓰일 경우 graph의 대각선 방향으로 정상, 만성 간염, 간경변 순으로 구분을 어느 정도 할 수 있음을 알 수 있다.

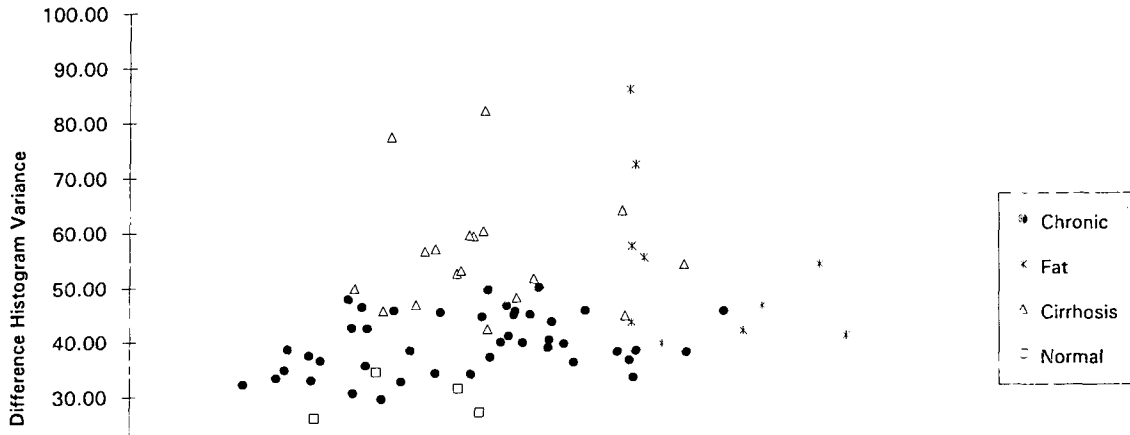


그림 1. 밝기와 DHV의 상관도

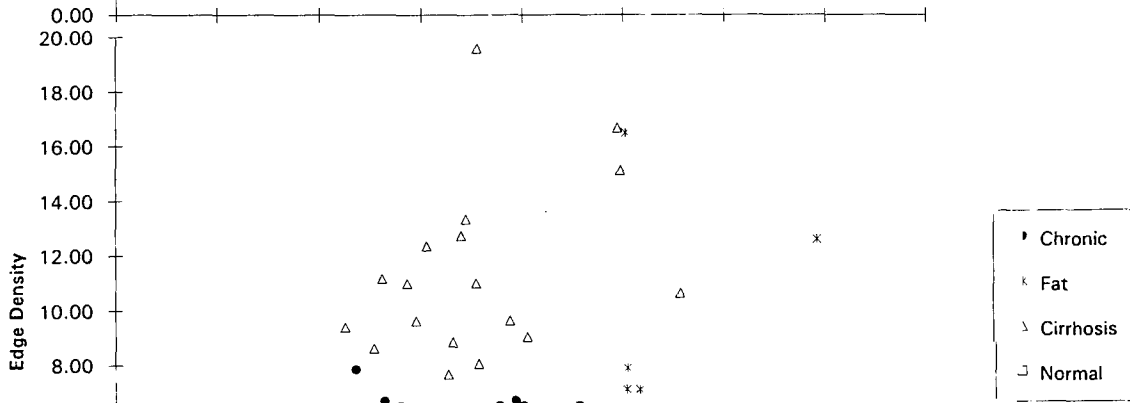


그림 2. 밝기와 ED의 상관도

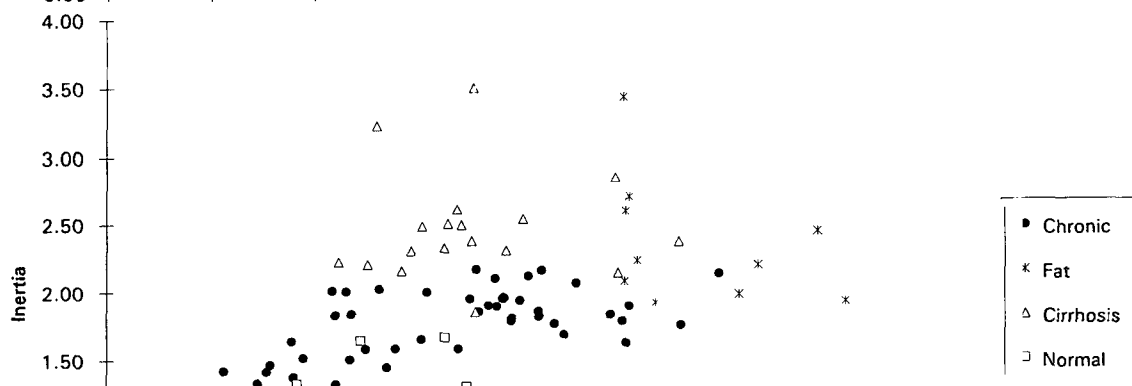
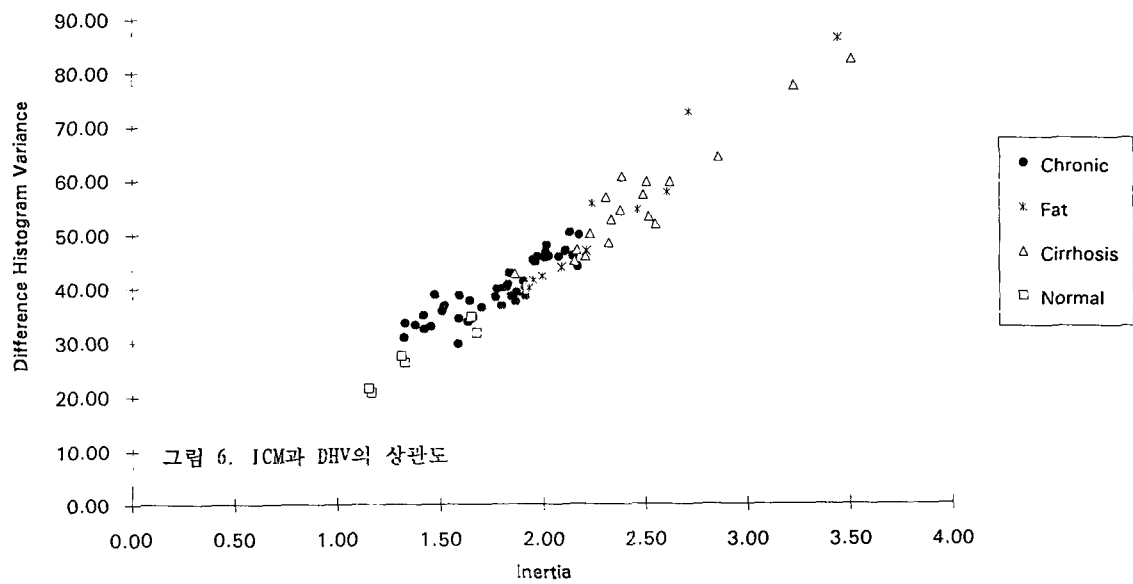
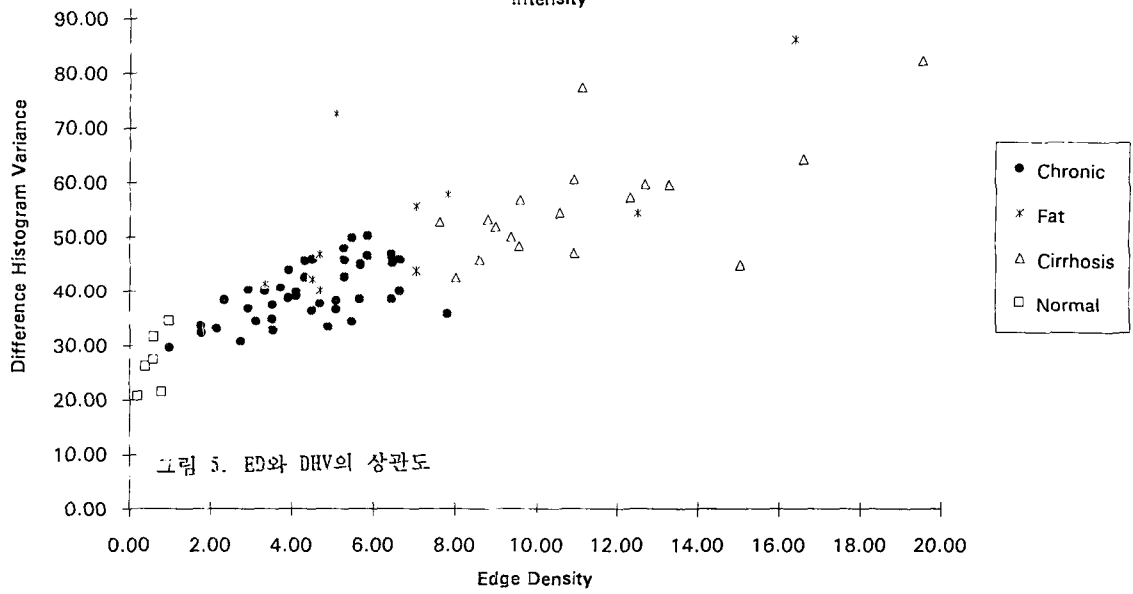
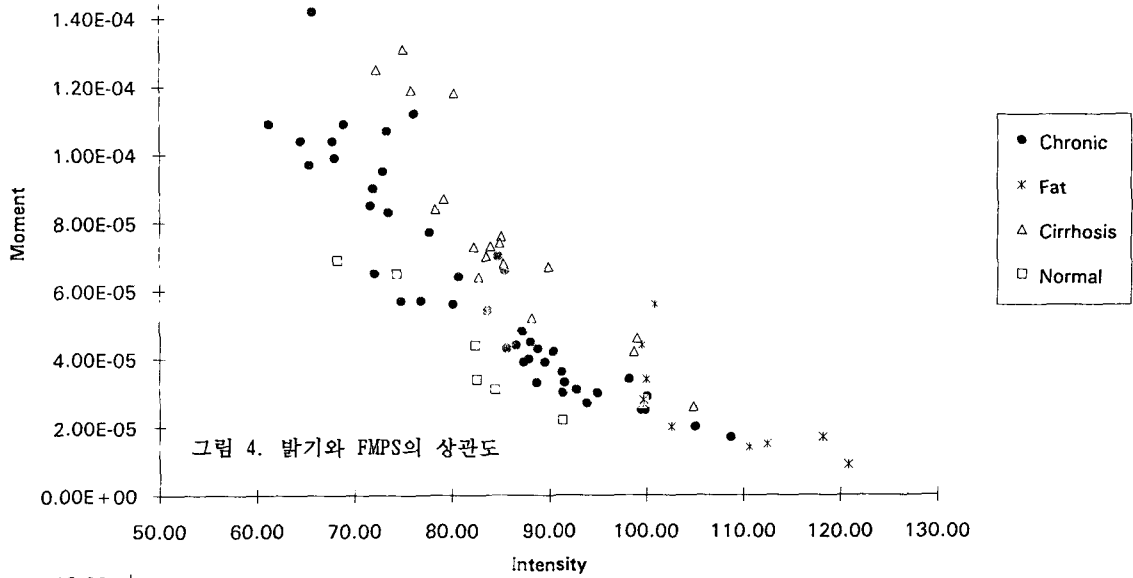


그림 3. 밝기와 ICM의 상관도

50.00 60.00 70.00 80.00 90.00 100.00 110.00 120.00 130.00  
Intensity

초음파 영상의 거칠기 변수를 이용한 간 질환 분류



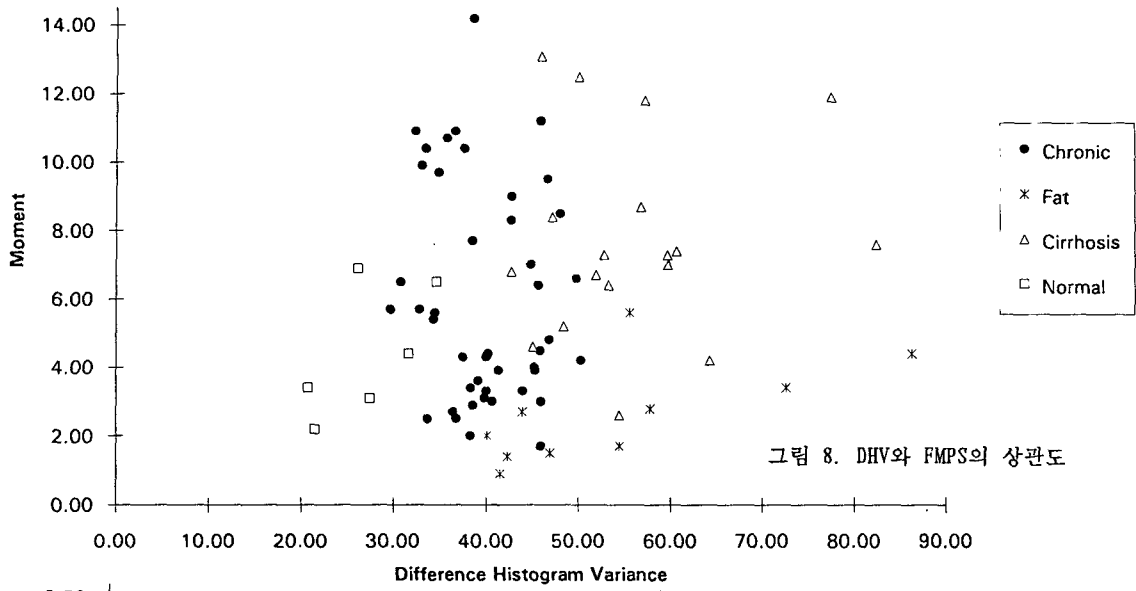


그림 8. DHV와 FMPS의 상관도

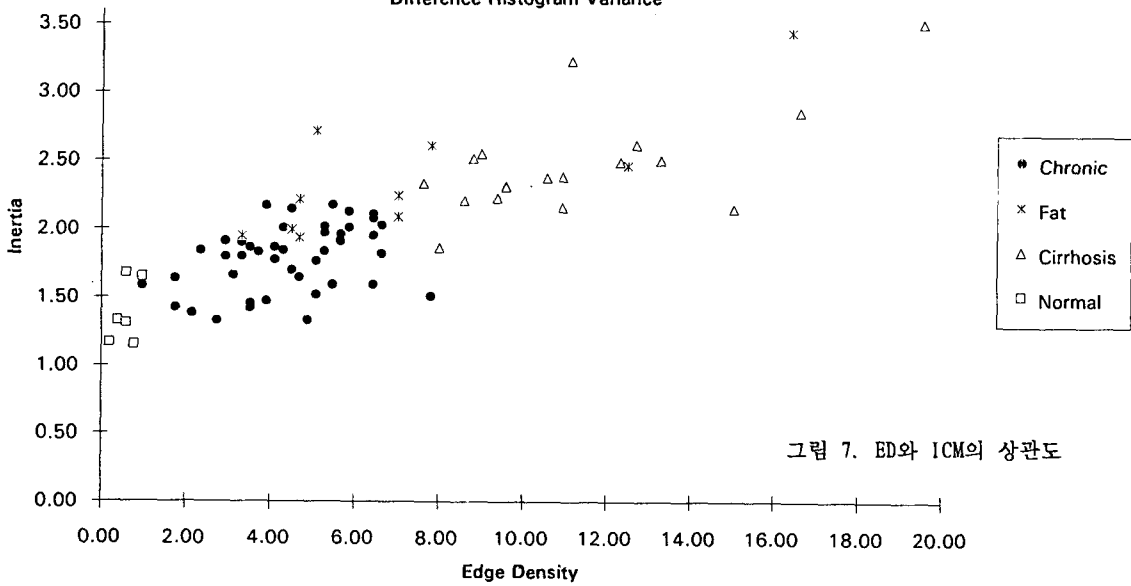


그림 7. ED와 ICM의 상관도

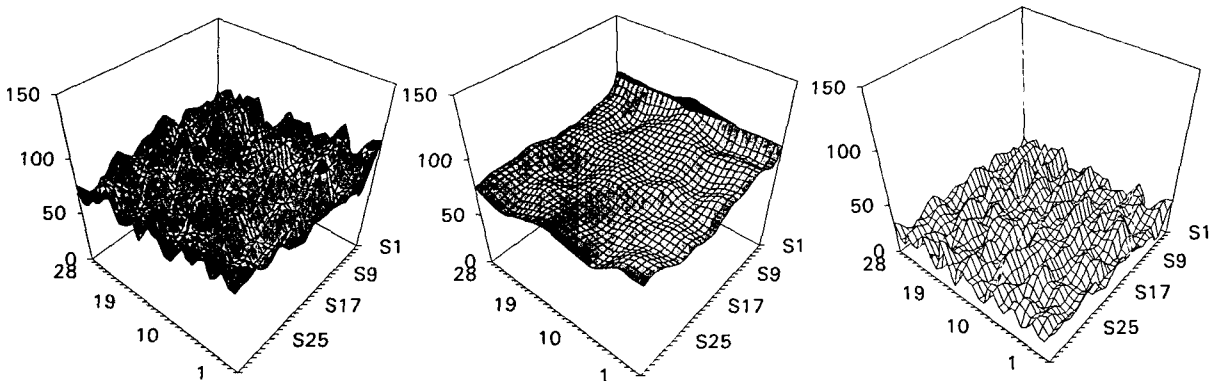


그림 9. 기본 기울기의 제거 과정

결론 및 고찰

본 실험을 통해 간 초음파 영상의 밝기와 거칠기 변수가 지방간, 만성 간염, 간경변을 구분해 내는 것을 알 수 있다. 지방간은 영상의 밝기가 구분자가 되고 정상, 만성 간염, 간경변은 거칠기 변수들인 DHV, ED, ICM 가 구분해 주며 특히 ED가 가장 확실한 구분을 하는 것을 알 수 있다. 이것은 진단에 이용되는 거칠기의 정도가 지역 명암(local contrast)에 의해 지배적으로 결정되는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

거칠기 변수를 좀 효과적으로 구하기 위해 그림 9와 같이 기본 기울기를 제거했다. 영상의 기본 기울기는 3x3 kernel 저주파 필터링을 3번 한 결과로 기본 기울기를 제거한 것은 결국 본 영상을 고주파 필터링한 것이다. 분석한 결과는 저주파 필터링 정도에 따라 많은 차이를 보였고 거칠기 정도는 각 질환별로 구분 지으나 밝기는 더 이상 의미가 없음을 알 수 있었다.

지금까지 연구된 결과들은 보통 Diffuse Liver의 정상과 비정상의 이원적 구분을 한 것으로 여러 가지 간 질환의 양상을 찾아내지 못했다. 이들이 사용한 임상 자료의 갯수도 10-30개 정도로 구분자의 성능을 확신할 수 있는 근거가 부족했다고 보여진다. [4, 5, 6, 7, 8]

본 연구는 여러 가지 간 질환을 구분하는 구분자들을 찾아내고 그 임상 자료들의 충분하다는 데 그 의의가 있다.

한국에는 만성 간염 질환자가 15% 이상으로 외국에 비해 매우 많은 환자들이 있다. 따라서, 본 구분자의 효용성과 연구 용이성이 외국에 비해 높다고 볼 수 있다. 만성 간염의 진행 정도가 임상적으로 중요한 의미를 지니기 때문에 만성 간염의 더 자세한 단계를 구분하는 것과 지방간과 만성 간염이 같이 있을 때 만성 간염 정도를 구분하는 것이 남아 있는 중요한 과제이다.

참고 문헌

1. Ioannis Pitas, "Digital Image Processing Algorithms", Prentice Hall, p.p.281-295, 1993
2. Anil K. Jain, "Fundamental of Digital Image Processing", Prentice Hall, p.p.342-400, 1989
3. Robert M.Haralick, Linda G.Shapiro, "Computer and Robot Vision Vol.1", Addison Wesley, p.p.453-507, 1992
4. Abe C, Kahn CE, Doi K,Katsuragawa S. "Computer-Aided Detection of Liver Disease in Ultrasound Images." Invest Radiol Vol.27, p.p.71-77, 1992.
5. Garra BS, Insana MF, Shawker TH, Wagner RF, Bradford M, Russell M. "Quantitative ultrasound detection and classification of diffuse liver disease: comparison with human observer performance." Invest Radiol Vol.24, p.p.196-203, 1989.
6. Thijssen J.M., Oosterveld B.J., Hartman P.C., Rosenbusch G.J.E., "Correlation between acoustic and Texture parameters from RF and B-Mode Liver Echograms", Ultrasound in Med. & Biol. Vol.19, No.1, p.p.13-20,1993.
7. Bondestam S., Alanen A., Toikkanen S., "Correlations of Liver Echo Intensity with Cytology and Chemical Measurements of Fat,Water and Protein content in live Burbots (Lota Lota)", Ultrasound in Med. & Biol. Vol.18, No.1, p.p.75-80, 1992.
8. P.W.R., M.B.J., P.M.C., W.D.B., D.R.R, J.M.H., "FM Sonography in Diffuse Liver Disease: Prospective Assessment and Blinded Analysis", Radiology Vol.161, p.p.451-454, 1988
9. William H. Press et al, "Numerical Recipes in C", Second Edition, Cambridge Univ. Press, 1992
10. William K. Pratt, "Digital Image Processing", Second Edition, Wiley-interscience, 1991