

# 3D 가상도시 구축을 위한 건물 텍스처 이미지의 왜곡보정

## Adjustment of texture image for construction of a 3D virtual city

김성수\* · 김병국\*\*  
SungSu Kim · ByungGuk Kim

### 要 地

3D 가상도시 구축에 있어 사용자 하여금 공간 객체 중심으로 지형·지물을 인식할 수 있게 해 줄 수 있는 요소로서 Texture Image를 들 수 있다. 본 연구에서는 디지털 카메라를 통하여 건물 측면 Texture Image를 획득하고 이렇게 획득한 이미지가 가지고 있는 왜곡을 2D Projective Transformation방법을 사용하여 보정하였다. 보정이 끝난 Texture Image는 OpenGL을 이용하여 3D 건물 모델에 Mapping을 실시하였다. 본 연구를 통해 개발한 응용 프로그램은 3D 가상도시를 구축하는 과정상에 자동화된 방법을 제공할 수 있다.

### ABSTRACT

Many users of 3D virtual city are utilize a texture image for the cognition of real object. In this study, building's facet images were achieved by a digital camera and adjusted its distortion by use of the 2D projective transformation method. After then, Images are mapped to a 3D building model by means of the OpenGL. Application program is able to offer an automation solution to construction process of the 3D virtual city.

## 1. 서론

최근 국·내외 적으로 지리정보 시스템 (Geographic Information System)을 기존의 2D기반이 아닌 3D기반 하에서 구현하는 3D GIS에 대한 연구가 활발하다. 최근의 3D GIS의 발전은 컴퓨터 그래픽스 기술과 컴퓨터 H/W, S/W의 발전에 기인한다.(KOLBL, CHERRA, HOSTETTLER, 1999) 3D GIS는 가상현실(Virtual Reality)기술과 GIS기술이

접목되어 지형과 지물을 3D형태로 보여주고 3D 공간정보의 검색, 편집, 분석을 가능하게 한다. 3D GIS는 1980년대 3D 지형의 2D적인 표현부터 시작하여 최근의 3D 가상도시(Virtual City)구축까지 발전하였다. 외국의 경우 3D 가상도시를 국방, 지적, 도시계획, 도시관리, 관광, 시설물 관리 등에 폭넓게 이용되고 있다.

3D가상도시는 GIS, 컴퓨터 그래픽스, 3D 모델링, 대용량 데이터베이스 기술이 서로 융합된다. 이러한

\* 인하대학교 지리정보공학과(Tel:032-865-5110; Fax:032-863-1506; E-mail:geokss@netsgo.com)

\*\* 인하대학교 지리정보공학과(Tel:032-860-7603; Fax:032-863-1506; E-mail:byungkim@inha.ac.kr)

기술 요소 중에서 본 연구에서는 3D 모델링 부문에 대한 연구를 수행하였다. 3D 가상도시의 구축에 있어 3D 모델링은 지형 모델링과 건물 모델링으로 크게 나눌 수 있다. 지형 모델링의 경우 수치표고모형(DEM)이나 수치지형모형(DTM)에 텍스처 이미지(인공위성영상, 항공사진)를 입혀(Drape) 구축한다. 건물 모델링의 경우 건물의 3D모형을 만들고 여기에 디지털 카메라 등으로 획득한 측면 텍스처 이미지를 매핑(Mapping)하여 구축한다. 본 연구에서는 OpenGL 1.2를 이용하여 건물의 높이 값이 부여된 수치지도를 이용하여 건물의 모형을 구축하였으며 디지털 사진기를 이용하여 측면의 텍스처 이미지를 획득하였다. 획득된 텍스처 이미지가 가지고 있는 왜곡은 2D Projective Transformation 방법을 이용하여 보정하였다.

## 2. 연구수행과정

본 연구의 진행방법은 먼저 NGIS 수치지도(1/5,000)상의 건물 레이어를 추출하여 OpenGL을 이용하여 3D 건물모형을 형성하였다. 건물 모형을 만들기 위해 수치지도를 이용한 이유는 NGIS사업을 통하여 이미 구축되어진 자료이므로 구하기가 쉬우며, 높이값 정보만 가지고 효과적으로 현실감 있게 건물의 모델구축을 할 수 있기 때문이었다.

건물 측면의 건물 측면의 텍스처 이미지는 디지털 사진기(Fuji Film FinePix 4900)를 이용하여 획득하였다. 디지털 사진기는 장비의 조작이 간단하며 수치형태의 사진을 획득할 수 있으므로 간편하다. 획득한 이미지는 건물 모델과의 텍스처 매핑을 위해 왜곡보정을 하였다. 보정된 텍스처 이미지는 OpenGL을 이용하여 건물 모델과 매핑을 하였다. 이상으로 설명한 내용을 모두 수행할 수 있는 프로그램을 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였다.

## 3. 텍스처 이미지 왜곡 보정

### 3.1 텍스처 이미지 획득

건물 측면의 텍스처 이미지는 그림 1, 2와 같이 획득을 하였다.

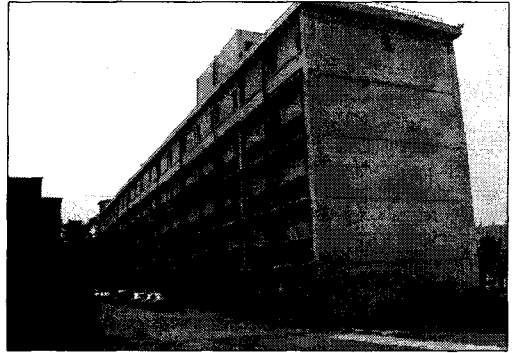


그림 1. 건물 사진 1

그림 1, 2같이 텍스처 이미지를 획득하는 이유는 건물의 정면에서 찍는 경우 시야가 좁아 건물이 다 찍혀지지 않는 경우가 발생하기 때문이다. 또한 각각의 건물 면을 찍을 경우 4번을 촬영해야 하지만 그림 1과 같이 촬영하면 2번의 촬영으로 건물측면 텍스처 이미지를 모두 얻을 수 있다.



그림 2. 건물 사진 2

그림 1, 2를 통해 볼 수 있듯이 각각의 건물 면은 심한 왜곡을 가지고 있게 된다. 이렇게 왜곡을 가진

텍스처 이미지를 그대로 건물 모델에 매핑을 수행하면 3D 건물 모델면에 왜곡을 가진 이미지 자체가 매핑이 되어 3D 가상도시 구축 시에 건물모델에 대한 현실감이 떨어지는 결과를 가져오게 된다.

따라서 3D 건물 모델의 현실감을 더욱 더 높이고 사용자가 3D 가상도시를 향해(Navigation) 할 때 공간 객체의 인식성을 높이기 위해서는 왜곡을 가진 텍스처 이미지의 보정이 필요하다.

### 3.2 2D Projective Transformation

2D Projective Transformation 방법은 그림 4와 같이 어떤 평면 L이 투영 중심에 따라 다른 평면 L'으로 투영되었을 때 그 처음 면과 투영된 면의 2차원 좌표의 상관관계를 나타내는 변환이다.

이 변환에서의 미지변환계수로는 2 Scale, 3 Transformation, 3 Rotation의 총 8개이다. 이런 의미에서 2D Projective Transformation 방법을 '8개수 변환법' 이라고 한다. 이 변환 법에서는 옮겨갈 평면상의 위치가 알려진 기준 점을 이용하여 원 이미지의 평면상의 모든 점이 이동하게 된다. 이 변환 방법은 항공사진측량의 상호표정 시에 사용된다. (Paul R. Wolf, 1997)

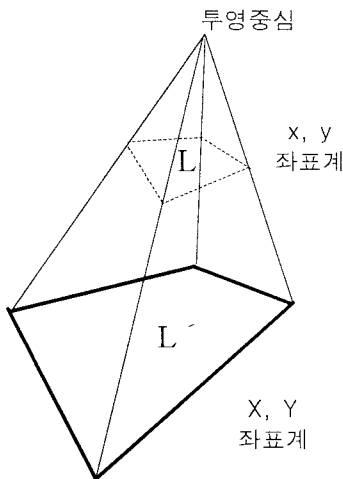


그림 3. 2D Projective Transformation

8개의 계수를 미지수로 하여 2D Projective Transformation의 최종 형태의 공식은 아래와 같다.

$$X = \frac{a1x + a2y + a3}{a7x + a8y + 1}$$

$$Y = \frac{a4x + a5y + a6}{a7x + a8y + 1}$$

L 평면상의 x, y 좌표계에서 L' 평면상의 X, Y 좌표계로 좌표계가 이동한다고 가정할 때 각 평면상에서 4개씩의 기준점을 이용해 미지계수 a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8을 구하게 된다. 본 연구에서 적용한 풀이 과정은 다음과 같다.

(i) 관측방정식을 세운다

$$AX = L + V$$

A Matrix는 관측방정식의 계수로서 다음과 같은 인자값을 가진다.

$$\begin{bmatrix} x1 & y1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x1X1 & -y1Y1 \\ 0 & 0 & 0 & x1 & y1 & 1 & -x1Y1 & -y1Y1 \\ x2 & y2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x2X2 & -y2Y2 \\ 0 & 0 & 0 & x2 & y2 & 1 & -x2Y2 & -y2Y2 \\ x3 & y3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x3X3 & -y3Y3 \\ 0 & 0 & 0 & x3 & y3 & 1 & -x3Y3 & -y3Y3 \\ x4 & y4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x4X4 & -y4Y4 \\ 0 & 0 & 0 & x4 & y4 & 1 & -x4Y4 & -y4Y4 \end{bmatrix}$$

X Matrix는 관측방정식의 미지수로 다음과 같은 인자값을 가진다.

$$X = \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \\ a4 \\ a5 \\ a6 \\ a7 \\ a8 \end{bmatrix}$$

L Matrix는 관측방정식의 관측값으로 다음과 같은 인자값을 가진다.

$$L = \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \\ X6 \\ X7 \\ X8 \end{bmatrix}$$

(ii) Normal Matrix를 구한다

Normal Matrix는 A Matrix의 Transpose Matrix를 A Matrix에 곱해 줌으로서 구해진다.

$$\text{Normal Matrix} = A^T A$$

(iii) Normal Matrix의 Inverse Matrix를 양변에 곱해 준다.

$$(A^T A)^{-1} (A^T A) X = (A^T A)^{-1} L$$

$(A^T A)^{-1} (A^T A)$ 의 결과는 Unit Matrix가 되어 결국 구하고자 하는 계수 값은 X Matrix가 된다.

(iv) X Matrix의 값을 구하여 최종 형태의 공식에 대입한다.

$$X = (A^T A)^{-1} L$$

(v) 계수가 구하여진 최종 형태 공식을 이용하여 이미지의 나머지 점들을 옮긴다.(Paul R. Wolf, 1997)

### 3.3 왜곡 보정 결과

그림 4는 샘플 자료로 사용한 인하공업대학 본관 사진이다. 3D 건물 모델에 측면 텍스처 이미지를 매핑하기 위해서는 이미지를 각각의 건물 면(Facet)으

로 잘라야 하는 과정이 필요하다.

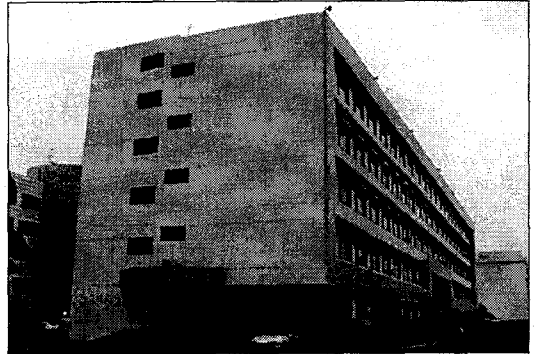


그림 4. 본관 사진

이러한 과정이 필요한 이유는 2D Projective Transformation을 전체 영상에서 적용할 경우 전체적으로 영상이 일그러지게 된다.

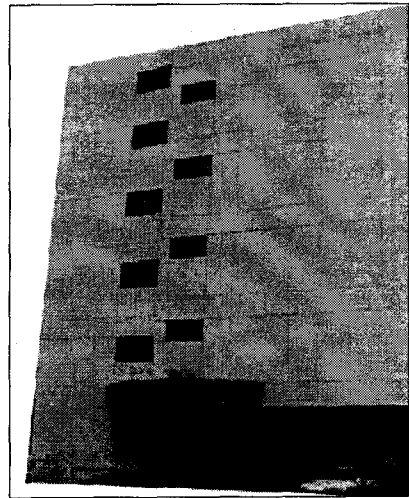


그림 5. 본관 사진 Facet 1

건물 사진의 Facet들을 획득하는 과정에서 각각의 Facet Image들은 원 텍스처 이미지의 정보를 어느 정도 잃게 된다. 이는 이미지를 사각형 형태로 잘라내는 과정에서 발생한다. 그러나 3D 가상도시의 건물 모델구축은 지상사진측량 등의 정밀한 방법을 사용하여 정밀 3D 모델을 구축하는 것이 아니므로 텍

스처 이미지의 수십 화소(Pixel) 정도의 정보 손실은 구축결과에 큰 영향을 미치지 않게 된다.

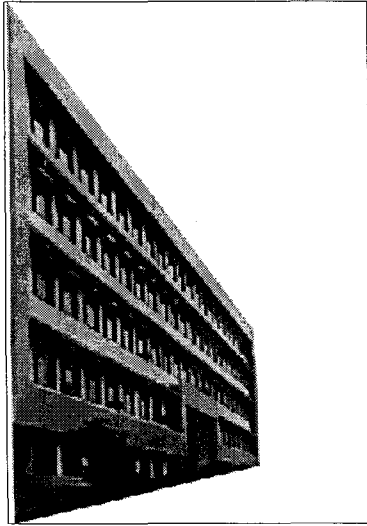


그림 6. 본관 사진 Facet 2

응용 프로그램으로 원 영상에서 Facet을 만들고 이를 보정한 결과는 다음과 같다.

우선 BMP 포맷으로 저장되어 있는 텍스처 이미지를 불러온다.

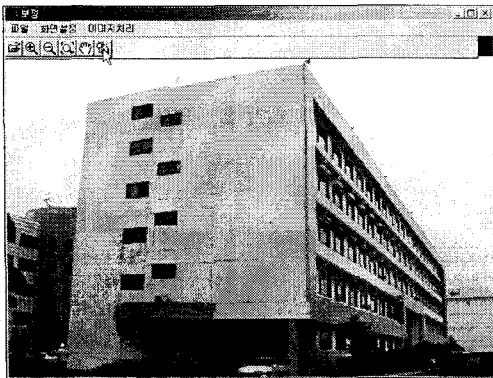


그림 7. 텍스처Image 불러오기

다양한 그래픽 파일의 포맷 중에서 BMP를 선택한 이유는 OpenGL에서 다룰 수 있는 파일 형식이 BMP이며 그래픽 파일 포맷 중 가장 간단한 구조를 가지고 있기 때문이다.

텍스처 이미지를 불러들이고 나면 Facet 별로 이미지를 자른다. 마우스를 더블 클릭 하여 사용자가 Facet을 지정하여 준다.



그림 8. Facet 지정하기

Facet 지정이 끝나면 그 만큼의 이미지를 보정하게 된다. 그림 10에서 사용자가 보정을 선택하게 되면 보정 결과는 그림 10, 11과 같이 보여진다.

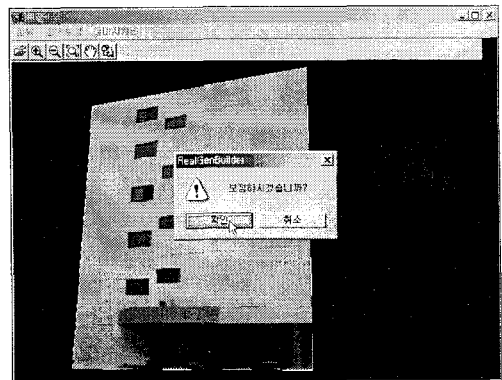


그림 9. 왜곡 보정 선택

그림 10의 보정된 결과를 보면 왜곡을 가진 Facet이 정사(Ortho)의 이미지로 잘 보정이 되는 것을 볼 수 있다. 그림 11의 경우 원 이미지 자체가 심한 왜곡을 가진 부분은 보정이후에 영상이 희미해지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상에 대해서는 이미지처리 기법을 사용하여 영상을 개선하였다.

연구의 수행결과 Facet으로 잘라내 이미지 자체는



그림 10 왜곡 보정 결과 (1)

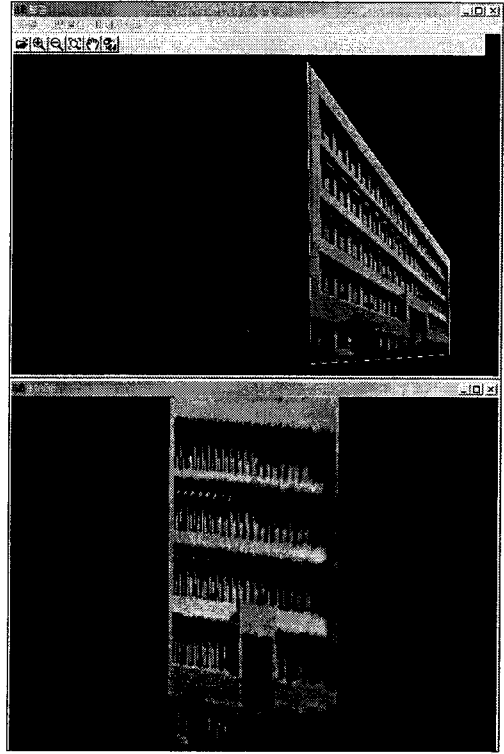


그림 11. 왜곡 보정 결과 (2)

2D Projective Transformation 방법을 사용하여 보정을 할 수 있지만 건물 측면과는 상관없는 정보들(자동차, 나무 등)이 같이 기록이 되는 것을 볼 수 있었다.(그림 10, 11참조) 본 연구에서는 불필요한 정보들 없애는 부분까지 고려는 하지 않았지만 향후 건물의 측면의 현실성을 높이기 위해서는 이러한 불필요한 정보들을 없애는 문제를 해결해야 한다.

## 4. 텍스처 매핑

### 4.1 OpenGL

OpenGL은 실리콘 그래픽사에서 만든 3D 그래픽 라이브러리이다. OpenGL은 강력한 저수준 렌더링 및 모델링 S/W 라이브러리로, 그래픽 H/W에 대한 인터페이스를 제공한다. (F.S Hill, JR., 2001)

### 4.2 텍스처 매핑의 개념

이미지가 가지고 있는 왜곡을 보정하고 난 후에는 건물모델에 텍스처 매핑을 실시하였다.

텍스처 매핑을 간단히 정의하면 다각형들로 이루어진 뼈대에 이미지를 입히는 것이라 할 수 있다. 요즘 거실에 많이 사용하는 모노륨을 생각해 보면 모노륨을 깔면 거실은 실제로는 나무를 깔 것이 아니지만 보기에는 마치 나무를 사용한 것 같은 느낌을 주게된다.

텍스처 이미지에는 높이 1 화소와 너비 정보를 가지는 선 형태의 1D 텍스처와 너비, 높이 정보를 가지는 2D 텍스처가 있다. 또한 너비, 높이, 깊이의 정보를 가지는 3D 텍스처가 있다. 본 연구에서는 보정을 통해서 획득한 이미지가 2D이므로 2D 텍스처 매핑 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 다음과 같은 순서로 건물모델에 정

사 화 보정된 텍스처 이미지를 매핑 시켰다.

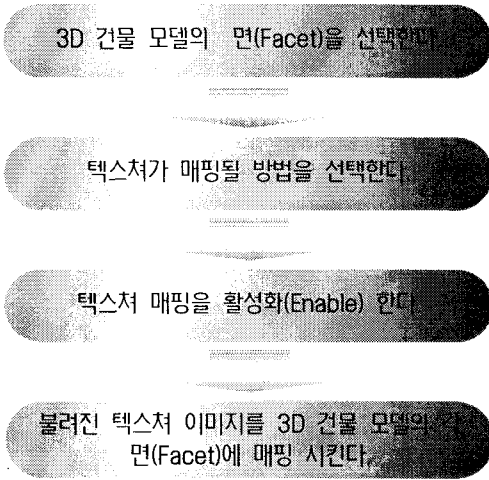


그림 12. 텍스처 매핑 순서

## 5. 텍스처 매핑 결과

응용 프로그램을 통하여 텍스처 매핑을 실시한 결과는 그림 13과 같다.

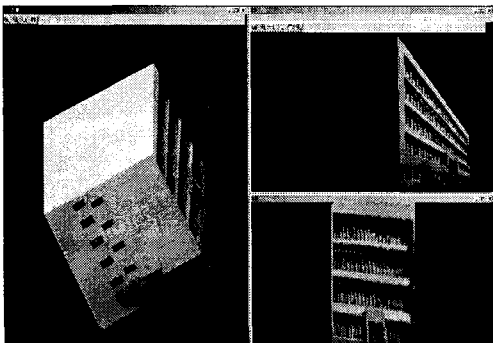


그림 13. 텍스처Mapping 결과

왜곡 보정된 Facet들은 3D 건물 모델의 현실성을 높일 수 있음을 볼 수 있다. 생성된 Facet과 3D 모델은 데이터베이스에 함께 저장, 관리가 됨으로서 3D 가상도시 구축에 효율성을 기할 수 있다.

## 6. 향후 연구 방향

본 연구에서는 건물 모델의 형태를 단순 모델로 한정을 지었다. 그러나 현실세계의 수많은 형태의 건물모델을 단순 형태의 모델만 가지고 정의할 수는 없다. 따라서 향후 연구를 통해 복잡한 형태의 3D 건물 모델에서 텍스처 매핑을 어떻게 적용할 것인지에 대하여 해결을 해야 할 것이다. 건물 측면 텍스처 이미지를 획득할 때 필요 없는 정보(자동차, 나무 등)를 없애고 보정하는 방법에 대한 연구도 이루어져야 한다. 또한 왜곡이 너무 심하거나 사각으로도 시야각을 확보 할 수 없는 건물의 경우에는 중복된 사진을 촬영한 이후에 이에 대한 처리도 연구가 이루어져야 한다.

## 7. 결론

3D 가상도시 구축에 있어 사용자로 하여금 공간 객체 중심으로 지형·지물을 인식할 수 있게 해 줄 수 있는 요소로서 텍스처 이미지를 들 수 있다.

인공위성 영상이나 항공사진은 수치표고모형(DEM), 수치지형모형(DTM) 위에 지형의 현실감을 줄 수 있는 요소로 사용할 수 있지만 건물 자체의 현실감을 줄 수 없다. 따라서 본 연구에서는 디지털 카메라를 통하여 건물 측면 텍스처 이미지를 획득하고 이렇게 획득한 이미지가 가지고 있는 왜곡을 2D Projective Transformation 방법을 사용하여 보정하였다. 보정이 끝난 텍스처 이미지는 OpenGL을 이용하여 3D 건물 모델에 매핑을 실시하였다. 이렇게 함으로서 공간 객체(건물)에 대한 인식성을 향상시킬 수 있었고 왜곡이 보정되지 않은 이미지를 매핑시킬 때 보다 훨씬 더 높은 현실감을 얻을 수 있었다. 응용 프로그램을 이용하여 각각의 단계를 자동화함으로써 3D 가상도시의 구축에 효율성을 기할 수 있다.

## 참고문헌

1. Otto KOLBL, Faissal CHERRA, Hans HOSTETTLER, "CONCEPTION OF AN INTEGRATED 3D-GIS FOR PRIMARY DATA ACQUISITION AND MANAGEMENT", 1999
2. Paul R. Wolf "ADJUSTMENT COMPUTATIONS STATISTICS and LEAST SQUARES in SURVEYING and GIS" , 1997
3. Joseph R.Spann, Karen S.Kaufman, " PHOTOGRAMMETRY USING 3D GRAPHICS AND PROJECTIVE TEXTURES", 2000
4. F.S Hill, JR. "COMPUTER GRAPHICS USING OPEN GL Second Edition" , 2001
5. Geo World, "GIS in 3D ", 2001
6. Geo World, "Virtual Reality Eases Complex GIS Analysis", 2001
7. 김용성, "VISUAL C++ 6 완벽가이드", 영진출판사, 2001
8. Hawkins, Astle, "OpenGL Game Programmin g" , 정보문화사, 2001
9. Randy Crane, "영상처리 이론과 실제" , 홍릉과학 출판사, 1999

---

(2002년 1월 13일 원고접수)