한국공작기계학회 2001년도 춘계학술대회 논문집 pp.387~392

LSC를 이용한 스캔데이터 변환 및 3차원 모델 생성에 관한 연구

김민주* · 이승수* · 박정보** · 김순경*** · 전언찬****

A Study on the 3D Modelling and Transference of Scaning Data using LSC Method

M. J. Kim, S. S. Lee*, J. B. Park**, S. K. Kim***, E. C. Jeon***

Key Words: CAE(Computer aided engineering), CAM(Computer aided manufacturing) ADP (Automatic design program : 자동설계 프로그램)

Abstract

This paper is to model a 3D-shape product applying mathematically the data acquired from a 3D scanner and using an Automatic Design Program. The research studied in th reverse engineering up to now has been developed continuously and surprisingly. However, forming 3D-shape solid models in CAE and CAM, based on the research, the study leaves much to be desired. Especially, analyses and studies reverse-designing automatically using measured data after manufacturing. Consequently, we are going to acquire geometric data using an 3D scanner in this study with which we will open a new field of reverse engineering by a program which can design a 3D-shape solid model in a CAD-based program automatically.

1. 서 론

일반적으로 공학(Engineering)이라는 것은 개념으로부터 실물을 만들어 가는 과정으로 정의되어 진다. 이에 대해 역공학(Reverse engineering)은 주어진 실물로부터 공학적 개념이나 형상 모델을 추출하는 과정으로 정의될 수 있다. 특히 실물의 형상을 측정하고, 측정 데이터를 기반으로 형상 모델링 과정을 거쳐, 컴퓨터상에서 이용 가능한 디지털 모델을 생성하는 것을 형상역공학(Shape reverse engineering)이라고 한다. 형상역공학에 의해 만들어진 디지털 모델은 CAD/CAM 시스템에서 활용 가능한 표준포맷인 IGES 또는 STEP로 출력되거나 급속성형(Rapid prototyping)을 위한 STL파일 생성에 이용되기도 한다. 그리고 머시닝 센터에서의 가공을 위한 G-code 생성에도 이용된다. 이러한 형상역공학이 최근 제조업 분야에서 각광받는 이유는 소비자들의 요구수준이 다양화함으로써 다품종 소량생산이 주를 이루고, 유행주기의 단축으로 인해 제품의 개발에서 제조까지의 전 공정에 걸리는 시간을 단축할 필요성이 대두되기 때문이다.

형상역공학에서는 기하학적 데이터의 획득이 최대 관건이다. 이를 얻기 위해서 두가지 방식이 사용되어지는데 접촉식은 프로브를 이용하여 3차원 물체의 형상 데이터를 얻는 것이고, 비접촉식으로는 CT(Computed Tomography) 및 MRI(Magnetic resonance image), 그리고 Laser scanner 및 광학식 스캐너를 이용한 방법들이 있다. 이러한 형상역공학에 관한 연구들을 살펴보면 Anil K. Jain[1]이 컴퓨터 상에서의 데이터 처리에 관하여 연구하였고, Bernardini[2]가 디지털 스캐너로부터 얻어진 데이터를 토대로 CAD모델을 재생성하는 연구를 하였다. 또한 Robert N. Yancy[3]가 CT를 이용해서 얻어진 물체의 데이터로부터 원래의 형상을 재구성하는 역설계에 관하여 연구하였고, James W. Kristoff[4]는 MRI 데이

* 동아대학교 대학원 기계공학과
** 삼척대학교 기계공학과
***동의공업대 자동차과

였다. 또 Y. Miyake[5]등은 단면 데이터로부터 3차원의 면을 생성하는 방법을 연구하였다. 그리고 국내의 여러 대학 및 연구소에서 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.[6,7,8,9,10]

지금까지 이루어진 형상역공학에 관한 연구들은 기하학적 데이터의 획득 측면에서는 지속적이고, 획기적인 발전을 이룩하였지만 이를 토대로 CAE나 CAM에 필요한 3차원 솔리드 모델을 형성하는 연구는 미흡한 실정이다. 특히 해석이나 가공후 측정된 데이터를 이용한 역설계를 자동으로 수행하는 연구는 그다지 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 3D 스캐너를 이용하여 기하학적 데이터를 획득하고, 이를 활용 CAD 기반 프로그램에서 자동으로 3차원 솔리드 모델을 형성하는 프로그램을 작성함으로서 형상역공학의 새로운 분야를 개척하고자 하며, 이 프로그램을 이용하여 제품의 설계에 걸리는 시간을 최소화하고자 한다.

2. RE 작업환경 및 실험장치

3차원 측정기는 접촉식과 비접촉식의 2가지 종류가 있다. 접촉식 3차원 측정기에서는 물체표면의 좌표를 얻기 위해서 접촉 프로브를 측정 대상의 표면에 직접 접촉시켜서 측정이 이루어진다. 접촉식 프로브를 데이터 검출에 사용할 경우 측정되는 점의 좌표값은 실제 접촉점이 아닌 프로브의 중심위치가 된다. 따라서 실제 표면의 형상은 프로브의 반경만큼 보정해 주어야 한다. 이를 위해서는 측정점의 주변 점들도 추가로 측정하여 측정 부위의 수직 벡터를 추정하고, 추정된 수직 벡터 방향으로 프로브 반지름만큼 보정해 주는 작업을 거쳐야 한다. 이러한 측정 방식으로 인해 필요 이상으로 데이터 양이 증가하게 되고, 측정 속도도 느리므로 전체 작업 시간이 길어진다. 또한 모델 표면이 변형되기 쉬운 경우에는 접촉 프로브를 사용하기가 쉽지 않다. 측정 대상의 표면에 프로브를 접촉시키면 표면 형상이 변할 수가 있으며, 때로는 프로브 자체가 손상될 우려도 있다. 측정물을 고정시키는 문제도 해결해 주어야 한다. 완벽한 고정이 이루어지지 않으면 접촉식 프로브로 측정할 때 접촉 압력이 가해져서 물체의 위치가 바뀔 수 있기 때문이다.

비 접촉식 방식의 측정 장비에서는 접촉식 프로브가 사용되지 않기 때문에 접촉 압력에 의한 모델의 외부 표면 변형이나 위치 변화 등의 문제점들을 해결할 수 있다. 또한 정확한 곡면 데이터 값을 빠른 시간내에 얻을 수 있으며, 프로브의 반경 보정 작업도 필요 없다. 따라서 본 연구에서는 비 접촉식 측정 장비인 3D system사의 3D Scanstation을 사용하여 기하학적 데이터를 추출한다. 이 장비는 물체를 회전 원판 위에 설치한 상태에서 디지털 카메라를 이용하여 물체의 위치 좌표, 즉 기하학적 데이터를 얻는 장치이다. Fig. 1에 본 실험에 사용된 3D 스캐너로 캘리브레이션하는 장면을 나타내었다. 그리고 Table. 1에 스캐너의 제원을 나타내었다.

Fig. 1 Photograph of scanning using 3D scanstation

Table. 1 Specification of 3D scanbook

Scan principle		Shape-from-silhouette approach
Dimensions closed (apparatus)	Width	68 cm
	Length	84 cm
	Height	130 cm
Resolution	3D	typ 1024×1024×1024 pixel
	2D	typ 2048×2048 pixel
Object dimensions	Height	Up to 80 cm
	Radius	Up to 50 cm
Object weight(max)		50 kg
Accuracy		Up to 0.5% of total object size

3. 생성된 DXF 파일 데이터

3D 스캐너에서 스캔된 물체의 기하학적 데이터를 외부 출력할 경우 DXF파일 형식이 가장 많이 사용된다. 본 연구에 사용된 DXF파일을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 DXF 파일은 스캔 대상을 구성하는 많은 점들의 좌표를 포함하고 있다.

```
999
DXF model from Dimension 3D-Systems 3D Scanware 1.4
0
SECTION

(중략)

0
3DFACE
8
model1
62
1
10
-14.948229
20
-14.558389
30
0.640136
11
-15.179878
21
-15.867265
31
1.147471
12
-15.522167
22
-14.863692
32
1.018905
13
-15.522167
23
-14.863692
33
1.018905
(중략)
```

Fig. 2 3D positional coordination of DXF code

Fig. 2에서 보여지는 3DFACE는 4개의 정점을 이용하여 하나의 면을 생성하는 명령어로서 4개의 정점을 가지고 하나의 삼각형을 형성한다. 이때 4번째 정점은 세 번째 정점과 겹치게 된다.

0 → Entity Type
3DFACE
8 → Layer Name
model1
62
1
<각 정점의 좌표값>

10(x1)	11(x2)	12(x3)	13(x4)
-14.948229	-15.179878	-15.522167	-15.522167
20(y1)	21(y2)	22(y3)	23(y4)
-14.558389	-15.867265	-14.863692	-14.863692
30(z1)	31(z2)	32(z3)	33(z4)
0.640136	1.147471	1.018905	1.018905

Fig. 3 Coordination value of random face

Fig. 3에 임의의 한 면이 가지는 좌표값을 나타내었다. 여기서도 세 번째 정점의 좌표값이 네 번째 정점의 좌표값과 일치하는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 측정대상으로 사용된 원통을 형상역설계하기 위해서 DXF 코드의 각 정점 좌표 X, Y성분만을 추출한다. 그리고 LSC법을 이용하여 원을 구성하는 데이터를 얻고, 추출된 데이터의 Z성분을 이용하여 길이를 구한다. 그리고 획득한 원과 길이 데이터를 이용하여 새로운 물체를 AutoCAD상에서 생성하고자 한다.

4. LSC를 이용한 원 데이터 계산 및 높이 산출

본 연구에서는 3D 솔리드 모델을 생성하는데 필요한 데이터를 얻기 위하여 LSC법을 사용한다. 기존의 LSC법은 측정기에 주로 사용된 방법으로 반경 값들이 측정기의 측정에 의해 주어지지만 3D 스캐너에서 나오는 데이터는 점들의 위치좌표만을 가지고 있을 뿐으로 반경이 나타나 있지 않다. 따라서 아래와 같은 수식의 전개에 의해 a, b 및 r을 구한다. 우선 기준 원의 방정식을 식 1)과 같이 나타낸다.

$$r^2 = (x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 \qquad 1)$$

여기서 x_i, y_i는 스캐너에 의해 얻어진 기하학적 데이터들의 X축 및 Y축 좌표이다.

a, b 및 r를 구하기 위하여 식 1)을 푸는 과정을 아래에 나타내었다.

$$I = \sum_{i=0} [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2]^2 = \sum (x_i^2 + y_i^2 - 2a\,x_i - 2b\,y_i + a^2 + b^2 - r^2)^2$$

$A = -2a$, $B = -2b$, $C = a^2 + b^2 - r^2$ 로 두면

$$I = \sum_{i=0} (x_i^2 + y_i^2 + A\,x_i + B\,y_i + C)^2$$

여기서 이 제곱의 합이 최소화되기 위해서 I를 A, B, 그리고 C에 대해 각각 편미분한다.

$$\frac{\partial I}{\partial A} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A\,x_i + B\,y_i + C][x_i]$$

$$\frac{\partial I}{\partial B} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A\,x_i + B\,y_i + C][y_i]$$

$$\frac{\partial I}{\partial C} = 2 \sum [x_i^2 + y_i^2 + A\,x_i + B\,y_i + C][I]$$

.....(중략).....

$$\therefore \gamma = -\frac{\sum (x_i^2 + y_i^2)}{n} - \alpha\,\overline{X} - \beta\,\overline{Y}$$

$(\overline{X}=\sum_{n=1}^{i} x_i/n, \quad \overline{Y}=\sum_{n=1}^{i} y_i/n)$

.....(중략).....

A=-2 a, B=-2 b, C= $a^2 + b^2 - r^2$ 에 의해서

.....(중략).....

최종적으로

$$\therefore r^2 = a^2 + b^2 - C$$

$$= a^2 + b + \frac{\sum(x_i^2 + y_i^2)}{n} + \alpha \overline{X} + \beta \overline{Y}$$

$$r=\sqrt{a^2 + b^2 + \frac{\sum(x_i^2 + y_i^2)}{n} + \alpha \overline{X} + \beta \overline{Y}}$$

이다.

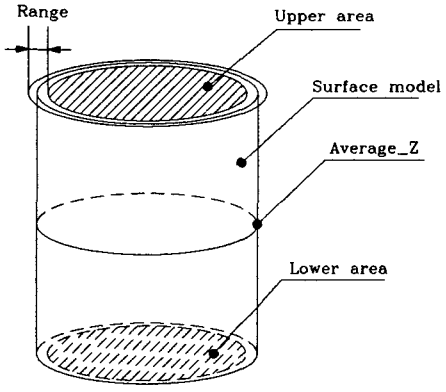

Fig. 4 Calculation of z-axis length

다음으로 Z방향의 길이를 얻기 위해 총 2000개의 점 데이터의 Z값 평균을 먼저 구하였다. 그리고 위에서 구한 r값을 이용하는데, 반경 r 이내에 들어오는 점들의 Z값을 Z값의 평균과 비교하여 크면 상한영역, 적으면 하한영역으로 분류한다. 그리고 상한영역에 있는 점들의 Z값을 평균하고, 여기에 하한영역에 있는 점들의 Z 평균값을 빼는 방법으로 길이를 구하였다. Fig. 4에 길이를 구하는 방법을 나타내었다.

5. VisualLISP을 이용한 자동설계의 개념

ADS(Automatic drawing system)는 설계에 필요한 몇 가지 요소만을 입력받아 2차원 및 3차원 모델을 생성하는 프로그램을 통칭하는 것인데, 일반적으로 CAD나 MDT 기반의 VisualLISP이 주로 사용된다. 그리고 ADS는 3D 모델링 전문가가 아니더라도 기계공학적 지식을 가진 유저(User)라면 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그리고 ADS 라이브러리(Library)를 구축함으로써 모델의 디스플레이 및 G-code 생성에 의한 가공, 비용계산과 같은 포괄적인 작업이 가능하다.

ADS를 구현하는 프로그램을 작성하기 위하여 MDT를 기반으로 하는 프로그램 언어인 Visual LISP을 사용하였다. Fig. 5는 VisualLISP을 사용하여 가스킷을 자동설계할 수 있도록 프로그래밍한 것이다. Fig.5에서 보는 바와 같이 다이얼로그 박스 안에 있는 몇 가지 설계요소를 입력함으로써 간단하게 3D 모델을 얻을 수 있으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 가스킷을 설계하는데 사용되는 요소는 내경, 외경 및 두께 등이다.

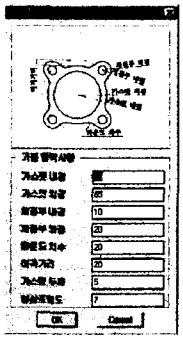

Fig. 5 Dialog box of gasket

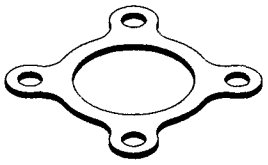

Fig. 6 Gasket model using visual lisp

Fig. 7은 라체트 휠을 생성하는 프로그램을 나타낸 것이다. 가스킷의 경우와 마찬가지로 DCL 창에 몇가지 요소만을 입력하여 Fig. 8과 같은 3D 모델을 생성할 수 있다. 라체트 휠을 구성하는 요소들은 반경, 두께 및 외륜 반경, 그리고 외륜 깊이, 키의 폭과 높이 등이다.

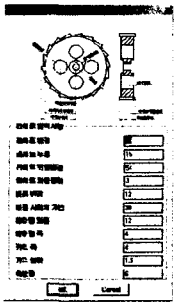

Fig. 7 Dialog box of rachet wheel

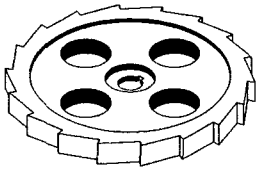

Fig. 8 Rachet wheel model using visualLISP

본 연구에서는 ADS를 기본으로 하되 Fig. 5, Fig. 7과 같이 유저(User)가 설계에 필요한 요소를 입력하는 게 아니라 스캐닝에 의해 입력되는 기하학적 데이터를 그대로 사용하여 자동 설계를 수행한다. Fig. 9에 나타낸 DCL창이 본 연구에 사용된 ADS 프로그램을 나타내고 있다.

6. 3D 스캐너를 이용한 형상역공학 알고리즘 및 실험방법

Fig. 9는 3D 스캐너를 이용한 형상역공학 알고리즘을 나타내고 있다. 3D 스캐너를 이용하여 대상 물체의 기하학적 데이터를 입력 받고, 이를 DXF 코드로 변환하여 기하학적 데이터의 이용을 편리하게 한다. 이를 토대로 LSC법에 의한 원 데이터 산출과 Z축 길이 연산을 수행한 후 VisualLisp을 사용한 자동설계 프로그램에서 3차원 솔리드 모델을 생성한다.

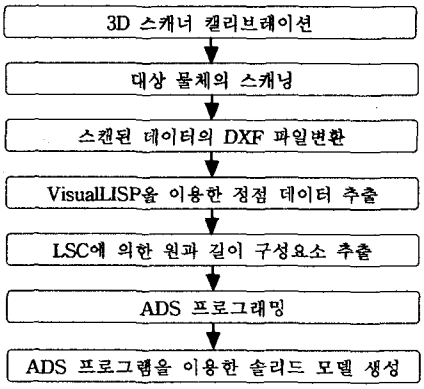

Fig. 9 Algorithm of shape reverse engineering using 3D scanner

본 연구는 Fig. 9의 알고리즘에 따라 전개된다. 먼저 3D 스캐너의 캘리브레이션 작업을 Fig. 1에 나타난 바와 같이 수행하고, 대상을 스캐닝한다. 이 때 스캐닝 데이터의 정확성을 위해 1024모드로 디지털 카메라를 셋팅하고, 5회 반복 스캐닝한 각각의 점들이 가지는 위치 데이터를 평균하여 실험에 사용되는 기하학적 데이터를 구한다. 그리고 자동설계 프로그램에 이식시키기 위한 DXF 코드 변환 작업을 수행한 후 LSC에 의한 원 및 길이 데이터를 추출한다.

추출된 데이터를 자동설계 프로그램에 이식하여 3차원 솔리드 모델을 완성한다. 그리고 자동설계 프로그램을 사용하여 모델링 하였을 때와 일반 유저가 원 및 길이 데이터를 가지고 3차원 솔리드 모델을 생성할 때의 시간을 비교하여 자동설계 프로그램의 유용성을 검증하고자 한다.

7. 3D 스캐닝 데이터를 이용한 자동설계 프로그램 및 결과

위에서 전개된 DCL 프로그램을 통해 만들어진 윈도우 입력창을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 10은 해상도 1024 mode로 16방향을 스캐닝하여 얻어진 기하학적 데이터를 DXF형태로 입력받아 LSC를 이용한 원 데이터를 얻는 과정(1차 필터링)을 수행하고, 그 결과를 데이터 출력부에 나타내고 있다.

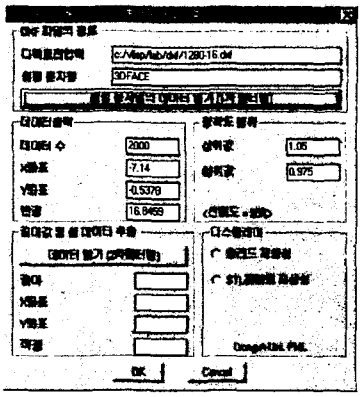

Fig. 10 Input window using DCL(1st calculate)

Fig. 11은 Z축 방향의 길이를 얻기 위한 범위 설정을 정확도 범위부에서 입력 받아 Z축의 값을 구하고, 이를 길이값 및 데이터 추출부에 나타내고 있다. 이와 같은 자동설계 프로그램에 의해 생성된 3D 솔리드 모델을 Fig. 12에 나타내었다.

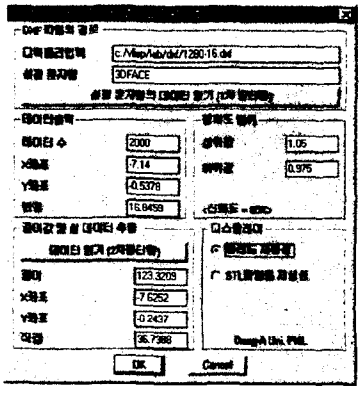

Fig. 11 Input window using DCL(2st calculate)

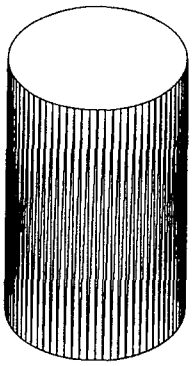

Fig. 12 3D solid model according to VisualLISP

9. ADS를 이용한 3D 모델링과 일반 유저의 모델링 시간 비교

일반 유저가 3D 솔리드 모델을 생성하기 위한 교육을 받는 데 상당한 시간이 소요된다. 이의 객관적 기준을 제시하기 위하여 몇 군데의 교육기관의 교육과정을 조사하고, 본 연구에 사용된 자동설계 프로그램을 이용한 모델링 시간과의 비교를 수행하였으며, 그 결과를 Table. 2에 나타내었다. Table. 2에 나타난 바와 같이 3D 모델링을 위한 교육에 많은 시간이 소요되며, 단지 모델링 뿐만 아니라 설계에 대한 개념을 익히는 데에 더 많은 시간이 소요된다. 이를 자동설계 프로그램을 이용함으로서 최소한으로 단축시킬 수 있었다.

Table 2. Comparison of modeling time according to each curriculum

분류 / 요목	삼척대 학교		동아대 학교		원주 대학		동의공 업대		직업훈 련원		전산 학원		ADS program
	국립	1학기	사립	1학기	국립	1학기	사립	2학기	국립	2년	사설	4개월	
CAD 관련 교육과정	전산설계		전산설계		기계설계		전산설계		전산응용설계		CAD		-
교육 시수 (학기당, 과정당)	60		30		60		45		120		80		5분

8. 결 론

3D 스캐너를 이용한 데이터 획득 및 이를 이용한 자동설계 프로그램밍, 기하학적 데이터를 이용하기 위한 수학적인 적용 등을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) VisualLISP을 이용한 자동설계 프로그램을 개발하였고, 형상역공학에 수학적 알고리즘을 적용하였다.

2) 형상역공학의 한 분야로 3D 스캐너와 ADS를 제안하였고, ADS 프로그램이 3D 모델링에 걸리는 시간을 최소화할 수 있음을 증명하였다.

참고문헌

1) Anil K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, 1989

2) Bernardini F., Bajaj C., "Automatic Reconstruction of 3D CAD Models from Digital Scans", International Journal of Computational Geometry and Applications, Vol. 9, No. 4, pp. 327-370, 1999

3) Robert N. Yancey, Dennis S. Eliasen, S. Trent Neel, James H. Stanley, "Reverse Engineering Using Computed Tomography", Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, pp. 141-149, 1994

4) Kristoff J, "Mapping Human Anatomy from MRI Data for Improved Product Development", MD&DI, 1997

5) Y. Miyake, T. Kondo, S. Kaneko, S. Igarashhi, H. Narahara, "Reconstruction of Three Dimensional Surface from Slice Positional Data", Chapman&Hall, 1997

6) 박현구, 최이배, 김명철, 김승우, "자유곡면의 CAD 모델링을 위한 비접촉식 삼차원 형상측정", 한국정밀공학회지, Vol. 12, No. 1, pp. 5-14, 1995

7) 박형준, 김광수, "단면 정보를 이용한 형사의 재구성", 한국정밀공학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 81-93, 1993

8) 윤정호, 전형환, 이관행, "전산역설계(Reverse Engineering)기술을 이용한 편향코일(DY)의 설계 검증 연구", 한국 CAD/CAM학회 논문집 Vol. 3, No. 1, pp. 22-30, 1998

9) 최병규, 배석형, 유석규, 정원형, "패속제품개발을 위한 형상역공학", 한국정밀공학회지, Vol. 17, No. 10, pp. 17-25, 2000

10) 조승현, 조명우, 김재도, "Delaunay 삼각형 분할법을 이용한 3차원 복합형상의 역공학", 한국정밀공학회지, Vol. 17, No. 7, pp. 181-188, 2000