

# 형상 패턴 인식을 이용한 설계자료의 자동 탐색

(An Automated Search for Design Database by Shape Pattern Recognition)

차 주 현\*

\* 한국과학기술연구원 기전연구부 CAD/CAM 팀

## ABSTRACT

In automated search of a design database to support mechanical design, it is necessary to recognize a shape pattern which represents a design object. This paper introduces the concept of a surface relation graph (SRG) for recognizing shape patterns from a 3D boundary representation scheme of a solid model (a B-rep model). In SRG, the nodes and arcs correspond to the faces and edges shared by two adjacent faces, respectively. An attribute assigned to an arc is given by an integer which discriminates the relationship between two adjacent faces. The + sign of the integer represents the geometric convexity of the solid, and the - sign the concavity at the shared edge. The input shape is recognized by comparison with the predefined features which are subgraphs of the SRG. A hierarchy of the database for supporting the design is presented. A search for the design database is also discussed. The usefulness of this method is illustrated by some application results.

### 1. 서론

컴퓨터의 성능과 소프트웨어 기법의 비약적인 발전과 더불어, 최근 기계설계 분야에 있어서도 컴퓨터 이용 기술(Computer Aided Technology)의 적용이 눈에 띄게 늘어나고 있다. 특히 형상 모델링, 컴퓨터 그래픽, 유한요소법과 경계요소법에 의한 수치 시뮬레이션 기술 등은 이미 상용 소프트웨어 패키지로 판매되고 있다. 그러나, 지금까지 오랜 시간에 걸쳐 실험과 시뮬레이션 계산을 통하여 축적되어 온 기계설계용 자료를 CAD(Computer Aided Design) 시스템에 적용하여 활용하는 경우는 그다지 눈에 띄지 않고 있다.

최근 외국의 경우, 몇 가지 형태의 기계설계 지원 시스템이 판매되고 있으나<sup>(1,2)</sup>, 설계대상의 형상인식을 전적으로 설계자에게 맡기고 있어, 시스템의 사용 시 설계자가 그 기하학적 형상에 관한 속성치를 미리 정해진 형식으로 일일이 입력하지 않으면 안된다. 이러한 시스템들의 역할은 자동적으로 설계를 지원해 주기 보다는 단순히 설계자료를 탐색하는 것으로 그친다.

본 논문에서는 지식공학의 기계설계에의 응용으로서, 공적인 지식원인 기계공학 편람 및 기계설계 핸드북, 학회 논문집 등에 게재되어 있는 그래프 혹은 테이블 형식의 설계용 자료를 데이터베이스화하고, 이를 기계설계에 자동적으로 활용하는 방법을 생각한다.

구축한 데이터베이스를 실제의 CAD 시스템에 사용하기 위해서는, 예를 들어 축(shaft)의 강도설계에는 응력집중부(notch)의 위치나 형상, 응력집중계수를 자동으로 탐색·결정하지 않으면 안된다. 데이터베이스로부터 필요한 설계 데이터를 자동적으로 탐색하여 설계에 이용하기 위해서는, 설계대상의 형상 패턴을 인식할 필요가 있

다. 이러한 형상의 패턴 인식은 주로 형상 특징(form features)간의 그래프 매칭(graph matching)에 의해 이루어진다.

따라서, 본 논문에서는 B-rep 솔리드 모델<sup>(3)</sup>로부터 형상의 패턴을 인식하기 위하여 “면관계 그래프” 표현을 새로이 제안한다. 면관계 그래프는 인접하는 두면의 종류를 표시하는 식별자와 그 모서리 근방의 볼록 및 오목 관계를 나타내는 ± 기호에 의해 설계대상을 기술한다. 이 면관계 그래프에 의해서 입력 형상의 패턴이 인식되면, 기하형상에 대한 속성치가 결정되어 설계자료 데이터 베이스의 탐색이 자동적으로 수행된다. 끝으로, 몇 가지의 적용 예를 통하여 본 연구의 유효성을 확인한다.

### 2. 설계자료 데이터 베이스의 구성

본 논문에서는 설계자료의 예로서, 기계부품 등의 강도설계에 매우 중요한 응력집중에 관련한 그래프 및 그래프 형식으로 변환 가능한 테이블 정보를 다룬다. 이러한 데이터에는 여러가지 노치 형상을 가진 평판이나 축 부품의 응력집중계수, 평판과 웨이在一起的 굽힘 모멘트<sup>(4)</sup> 등과 같이 그 형상에 따라 아주 다양한 종류의 데이터들이 포함되어 있다.

#### 2.1 그래프 및 테이블 정보의 근사

그래프를 구성하는 곡선 중 한 개의 곡선만을 분리하여 생각해 보면, 본래 그것은 불과 몇 개의 데이터 점으로 만들어졌음에도 불구하고, 일단 한 개의 매끄러운 곡선으로 연결되어 버리면, 한 점 한

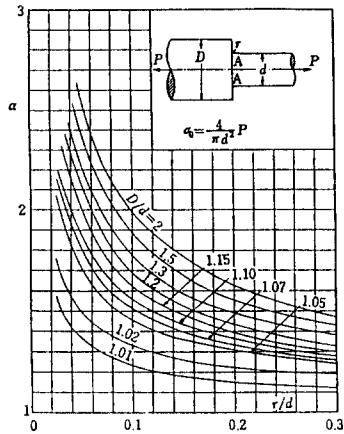


Fig. 1 SCF graph of a stepped bar under tension

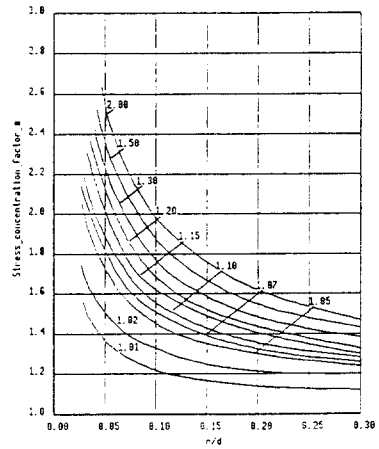


Fig. 2 An example of graph retrieved from Fig. 1

점 의미를 가지는 연속한 다수의 데이터 점으로 구성된다. 컴퓨터 내부 모델로 그래프 정보를 기억시키는 경우, 이와 같은 연속된 다수의 데이터 점을 전부 기억시키는 것은 불가능하다. 따라서 가능한 한 소수의 데이터로 본래의 그래프 데이터를 그대로 재현하고, 필요한 경우에는 곡선간의 보간에 의해 그 중간치를 구할 수 있어야 한다. 또한, 데이터의 일관된 처리를 위하여 그래프를 구성하는 각각의 곡선에 대해 데이터 수를 일정하게 설정할 필요가 있다.

본 논문에서는 그래프의 각 곡선정보를 파라메트릭 곡선(parametric curve)인 2차식 유리 Bezier 곡선(quadratic rational Bezier curve)<sup>(5)</sup>으로 보간함으로써, 그 곡선의 조정점(control point)과 가중치(weight)를 데이터 베이스에 저장시키는 방식을 채용하였다. 즉, 하나의 곡선을 3개의 2차식 유리 Bezier 곡선을 연결하여 보간함으로써, 7개의 조정점과 7개의 가중치로 곡선정보를 기억시킨다. 2차식 유리 Bezier 곡선은 파라미터  $t$  ( $0 \leq t \leq 1$ )를 이용하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$x(t) = \frac{w_0(1-t)^2 p_0(x) + 2w_1(1-t)t p_1(x) + w_2 t^2 p_2(x)}{w_0(1-t)^2 + 2w_1(1-t)t + w_2 t^2} \quad (1)$$

$$y(t) = \frac{w_0(1-t)^2 p_0(y) + 2w_1(1-t)t p_1(y) + w_2 t^2 p_2(y)}{w_0(1-t)^2 + 2w_1(1-t)t + w_2 t^2} \quad (2)$$

여기서,  $p_0 \sim p_2$ 는 조정점이고,  $w_0 \sim w_2$ 는 가중치이다.

## 2.2 그래프 및 테이블 정보의 저장 및 재생

그래프 데이터의 모든 곡선 정보는 PC 제어용 Tabulator Digitizer (MUTOU-공업 BIT PAD-ONE)에 의해 각 곡선마다 곡선 상의 7개 데이터 점의 좌표를 디지털화하여, EWS(HIP Apollo 9000/425t)로 전송하여 처리된다. 이때, 읽어 들인 데이터 점의 좌표는 Tabulator 원점에 절대좌표이기 때문에, 그래프 원점에 대한 상대좌표로 변환하기 위하여 그래프 데이터의 가로축 및 세로축 좌표를 Digitizer로 읽어 들인다. 또한, 본 시스템은 그래프가 Tabulator 상에 기술어진 상태로 디지털화되어도 그 위치가 자동으로 보정이 되도록 프로그램

밍되어 있다.

본 시스템은 우선 그래프 정보로부터 읽어 들인 곡선 상의 7개의 데이터 점을 반드시 통과하도록 2차식 유리 Bezier 곡선 3개를 자동으로 생성시킨다. 이때, Bezier 곡선의 조정점 좌표와 가중치는 자동으로 결정된다. 또한 생성된 곡선 형상이 오리지널 그래프 곡선과 일치하지 않을 경우, 그래프 데이터 작성자는 그 조정점의 위치나 가중치를 인위적으로 변경시킴으로써, 오리지널 그래프 곡선과 일치하도록 보간 처리를 행할 수 있다. 이와 같은 방법으로 설계자료 그래프 데이터는 컴퓨터에 입력되어 근사 곡선의 조정점과 가중치가 데이터 베이스에 저장된다. Fig. 1<sup>(6)</sup>은 스텝형 축(steped bar)의 응력집중계수(SCF) 그래프이며, Fig. 2는 이 그래프 데이터를 데이터 베이스에 저장한 후, 다시 디스플레이에 재생시킨 결과를 나타낸 것이다.

테이블 데이터의 경우는 데이터 수가 일정하지 않기 때문에, 그래프 데이터의 경우와 동일한 데이터 수로 일치시켜야 한다. 그리고 테이블의 discrete한 데이터 점은 Tabulator Digitizer로 디지털화한 그래프의 데이터 점으로 간주하여 그래프 데이터의 경우와 동일한 프로세스로 데이터 베이스에 저장시킨다.

실제 설계에 있어서는 그래프나 테이블 데이터를 사용할 경우, 파라메터 변수(Fig. 1의  $D/d$ ) 및 가로축 변수(Fig. 1의  $r/d$ )에 대한 세로축 변수치(Fig. 1의 SCF)를 찾아야 하는 경우가 종종 있다. 이때, Fig. 1의  $D/d = 1.4$ 인 경우와 같이 파라메터 값이 그래프 상에 존재하지 않는 경우도 고려해야 한다. 더구나 Fig. 1과 같이 파라메터간의 간격이 일정하지 않은 경우에는 사람의 시각 판단으로 원하는 데이터 값을 정확하게 읽어 내기 어렵다. 따라서, 본 시스템에서는 이와 같은 불규칙한 파라메터 값을 별도의 2차식 Bezier 곡선으로 보간함으로써, 그래프 상의 파라메터 곡선간의 중간치를 자동으로 구할 수 있도록 구성되어 있다.

## 2.3 그래프 및 테이블의 데이터 베이스

설계자료 데이터 베이스의 효과적 탐색을 위해서는 탐색에 필요

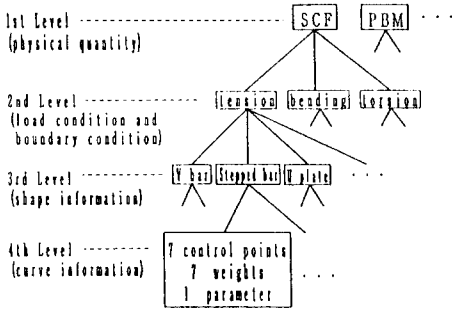


Fig.3 Hierarchy of design database

한 여러가지의 키워드를 포함하고 있으며, 이러한 키워드의 계층구조는 데이터 베이스 탐색 시간에 영향을 준다.

Fig.3는 구축한 설계자료 데이터 베이스의 계층구조를 나타낸다. 그림에서 제1레벨은 설계에 필요한 물리량의 명칭이며, 노치 형상 부품의 응력집중계수(SCF), 플레이트 굽힘 모멘트(PBM) 등으로 구성된다. 제2레벨은 설계대상의 하중 및 경계조건이다. 예를 들어 응력집중계수의 경우는 인장(tension), 굽힘(bending), 비틀림(torsion) 등의 하중조건으로 구성되며, 플레이트 굽힘 모멘트의 경우는 집중하중, 균일 분포하중, 비균일 분포하중, 고정지지, 단순지지 등으로 구성된다. 제3레벨에는 설계대상의 형상에 관한 정보가 들어 있다. 즉 노치 형상, 평면, 원통 등과 같은 형상정보, 그래프 혹은 테이블 데이터의 가로축 변수, 세로축 변수와 그 범위 등으로 구성된다. 끝으로, 제4레벨은 그래프 혹은 테이블의 곡선 수와 곡선 정보로 구성되며, 하나의 곡선 정보는 전술한 바와 같이 7개의 조정점과 7개의 가중치로 구성된다.

Fig.4는 Fig.1 그래프 데이터의 구축된 데이터 베이스의 일부분, 즉 파라미터  $D/d = 2, 1.5$ 인 2개의 곡선 정보를 나타낸 것이다. 이 그

1	1	SCF	
2	1	tension	
3	1	Step_bar	
	r/d		
	Stress_concentration_factor_a		
	D/d		
	0.000000	0.300000	
	1.000000	3.000000	
4	10		
	0.046800	2.642105	1.000000
	0.054012	2.320155	1.000000
	0.097800	2.001504	1.000000
	0.121537	1.828766	0.313384
	0.169800	1.700752	1.000000
	0.216722	1.576295	1.000000
	0.300000	1.472180	1.000000
	2.000000		
	0.042600	2.542857	1.000000
	0.048703	2.220429	1.000000
	0.097800	1.902256	1.000000
	0.124669	1.728129	0.353955
	0.159600	1.640602	1.000000
0.207401	1.520824	1.000000	
0.300000	1.430075	1.000000	
1.500000			

Fig.4 A part of design database

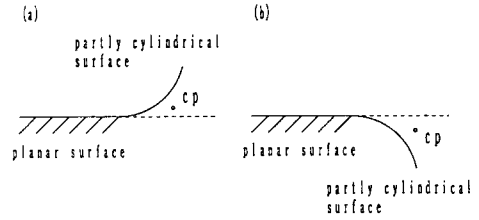


Fig.5 Convexity and concavity between two adjacent faces

림으로부터 본 연구에서 실제로 구축한 데이터 베이스가 Fig.3의 데이터 구조와 일치하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 형상의 패턴 인식에 의한 데이터 베이스 탐색

기계부품의 강도설계 시에는 구축한 데이터 베이스로부터 부품 형상에 포함되는 노치의 형상과 하중조건에 대응하는 응력집중계수를 구하지 않으면 안된다.

#### 3.1 인접한 두면의 볼록 및 오목 판제 기술

본 연구에서는 형상을 4종류의 면, 즉 평면(planar surface), 완전원통면(full cylindrical surface), 부분원통면(partly cylindrical surface), 회전자유곡면(rotational free surface)으로 기술한다. 이러한 4종류의 면은 2차식 유리 Bezier 곡면 patch의 조합으로 정확하게 표현된다. 본 논문에서는 완전한 자유곡면은 취급하지 않는다.

이러한 4종류의 면으로부터, 인접하는 두면의 조합은 다음과 같은 10가지 경우로 표현될 수 있다.

- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| (1) 평면과 평면       | (6) 완전원통면과 부분원통면    |
| (2) 평면과 완전원통면    | (7) 완전원통면과 회전자유곡면   |
| (3) 평면과 부분원통면    | (8) 부분원통면과 부분원통면    |
| (4) 평면과 회전자유곡면   | (9) 부분원통면과 회전자유곡면   |
| (5) 완전원통면과 완전원통면 | (10) 회전자유곡면과 회전자유곡면 |

여기서 괄호 안의 숫자 1~10을 식별자, 즉 인접한 두면의 종류를 식별하기 위한 값으로 사용한다.

인접하는 두면의 모서리 근방에서의 볼록 및 오목 판제 기술은 다음과 같이 이루어진다. 인접하는 평면과 평면간의 볼록 및 오목 판제는 바로 결정되지만, 예를 들어 평면과 부분원통면간의 볼록 및 오목의 판별은 결정하기 어렵다. 이러한 경우는 Fig.5와 같이 두가지 경우로 생각할 수 있다. Fig.5 (a)와 같이 부분원통면이 오목면인 경우에는 부분원통면 경계에 있는 Bezier 곡선의 조정점 CP가 그 평면을 포함하는 무한 평면에 대하여 허영역(실체가 아닌 영역) 혹은 면 위에 있으면 오목(concave)으로, 실영역(실체 영역)에 있으면 볼록(convex)으로 간주한다. 또한, Fig.5 (b)와 같이 볼록면인 경우에는 조정점 CP가 무한 평면의 허영역에 있으면 오목으로, 면 위 혹은 실영역에 있으면 볼록으로 간주한다.

이와 같은 볼록 및 오목의 판별로부터 볼록이며 1 부호를 오목

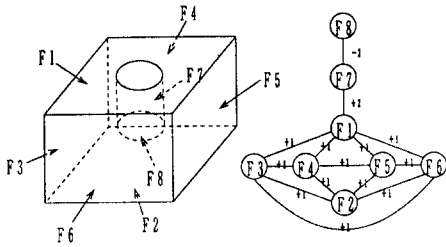


Fig. 6 A cube with a blind hole and its SRG

이면 - 부호를 식별자 앞에 붙임으로써 인접한 두면의 볼록 및 오목 관계를 기술한다.

### 3.2 면관계 그래프에 의한 솔리드 형상의 기술

면관계 그래프는 솔리드 형상의 면과 모서리를 각각 그래프의 정점과 변에 대응시키고, 그 변에 인접한 두면의 종류를 표시하는 식별자와 접하는 모서리에서의 면의 볼록 및 오목 관계를 나타내는 ± 부호로서 솔리드 형상을 기술한다. 면관계 그래프와 유사한 그래프 기술법을 Joshi 등<sup>(7)</sup>이 제안하였지만, 식별자를 가지고 있지 않기 때문에 다면체 이외에는 적용할 수 없는 단점을 가지고 있다.

Fig. 6은 블라인드 호울을 가진 직방체에 대한 면관계 그래프의 예를 나타낸 것이다. 그림에서 두개의 면 F1과 F7의 관계는 평면과 완전원통면의 볼록 관계로 식별자는 +2가 되며, 반면에 F7과 F8의 경우는 평면과 완전원통면의 오목 관계로 -2로 표시된다. 그 밖의 것들은 평면과 평면의 볼록 관계이므로 +1로 표시된다.

이와 같이 면관계 그래프는 다면체나 회전체 뿐만 아니라 평면과 곡면을 동시에 포함하는 솔리드 형상의 기술도 가능하다.

### 3.3 솔리드 형상의 패턴 인식

전술한 바와 같이, 솔리드 형상의 응력집중부 형상의 인식은 기본적으로 그래프의 패턴 매칭에 의해 이루어진다. 즉, 본 시스템에서는 미리 정의된 응력집중부의 형상 특징 그래프와 입력 형상의 면관계 그래프와의 패턴 매칭에 의해 입력 형상이 인식된다.

Fig. 7은 본 시스템에서의 응력집중부 형상의 패턴 인식 순서를 나타낸다. 설계대상에 관한 도면 데이터가 컴퓨터에 입력되면, 도면 데이터로부터 먼저 B-rep 표현의 솔리드 모델이 생성된다. 그 다음에, 형상을 구성하는 모든 면의 종류가 결정되어, 입력 형상에 대한 면관계 그래프가 생성된다. 한편 설계자료 데이터 베이스에 들어 있는 응력집중부의 형상 특징을 패턴 지식으로서 미리 인식 프로그램에 넣어둔다. 이 패턴 지식과 입력 형상의 면관계 그래프를 비교함으로써, 입력 형상에서의 응력집중부의 형상 특징이 추출된다.

그러나, 형상 특징의 패턴이 동일하여도 전혀 별개의 응력집중부 형상을 갖는 경우가 있다. 예를 들면, Fig. 8에서와 같이 서로 다른 3개의 형상은 면 F3을 중심으로 동일한 형상 특징 패턴을 가지고 있다. 이러한 경우, 그 형상을 구별하기 위해서는 형상에 관한 실제적

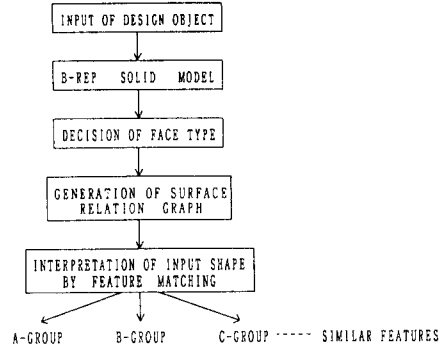


Fig. 7 Procedure for shape pattern recognition by SRG

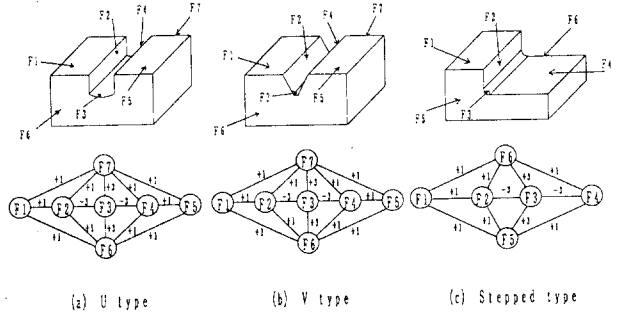


Fig. 8 Similar patterns with a common form feature

인 기하학적 정보가 필요하다. 결국, 평면 F2에 대한 평면 F4의 각도 계산이 필요하게 된다. 그 각도가 0°인 경우는 Fig. 8 (a)의 U형 노치 플레이트, 60°인 경우는 (b)의 60° V형 노치 플레이트, 그리고 90°인 경우에는 (c)의 스텝형 플레이트로 각각 인식된다. 이와같이 본 논문에서는 동일한 형상 특징에 대하여 형상에 관한 상세한 기하학적 계산이 수행됨으로써, 최종적으로 그 응력집중부 형상의 특징 패턴이 인식되어진다.

### 3.4 패턴 인식에 의한 데이터 베이스의 탐색

설계자료의 데이터 베이스 탐색은 Fig. 3의 데이터 베이스의 계층 구조 순으로 수행된다. 먼저, 설계에 필요한 물리량 명칭의 입력에 의해 제1레벨의 탐색이 이루어진다. 예를 들면, SCF(응력집중계수) 혹은 PBM(플레이트 굽힘 모멘트) 등의 입력이다. 다음에, 제2레벨에서는 인장, 굽힘, 비틀림 등과 같은 하중조건 혹은 경계조건 입력이 필요하다. 이와 같이 제1 및 제2레벨에서의 데이터 베이스 탐색은 설계자의 키워드 입력에 의해 수행된다.

제3레벨에서의 탐색은 앞에서 설명한 바와 같이 설계대상에 대한 면관계 그래프와 패턴 지식과의 패턴 매칭에 의해 행해진다. 제4레벨에서는 3레벨에서 인식된 형상 특징을 기반으로 응력집중부의 기하학적 형상에 관한 모든 값이 구해지고, 그래프 혹은 테이블 데이터의 형상정보를 참조하여 곡선의 파라미터 값에 해당하는 응력집

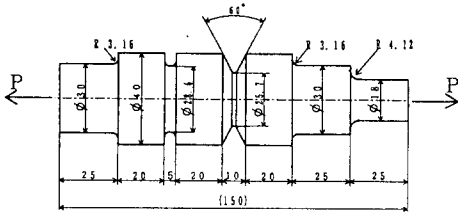


Fig.9 A shaft with five features under tension

중계수가 자동으로 계산된다. 이때, 파라미터 값이 그래프 상에 존재하지 않는 경우에는 곡선간의 보간에 의해 그 중간치가 구해진다. 즉, 그 파라미터 값에 가장 가까운 3개의 파라미터 값의 곡선을 찾아 내어 2차식 Bezier 곡선으로 보간함으로써, 파라미터 값이 그래프 상에 존재하지 않는 경우의 응력집중계수를 자동으로 계산할 수 있는 것이다.

#### 4. 설계자료 데이터 베이스의 탐색 예

본 시스템은 HP Apollo 9000/425t 에서 C 언어 및 유저 인터페이스 언어인 Dialogue에 의해 프로그래밍되어 구현되었으며, 또한 3차원 그래픽스는 3D-GMR에 의해 구현되었다.

여기에서는 형상 패턴 인식에 의한 데이터 베이스 탐색에 대한 적용 예를 든다. Fig.9은 5개의 응력집중부, 즉 5개의 형상 특징 패턴을 가진 축의 도면 데이터를 나타낸다. 그리고, Fig.10은 이 축에 대한 패턴 인식 및 설계자료 데이터 베이스의 탐색 결과를 나타낸다.

탐색결과로부터 축과 플레이트 양쪽에 대한 응력집중부 타입이 정확하게 인식되었음을 알 수 있으며, 또한 탐색된 SCF 값이 응력집중부 형상에 대한 SCF 값과 일치함을 확인할 수 있다.

이상의 결과로부터, 복수의 응력집중부를 포함하는 설계대상에 대한 설계자료 데이터 베이스의 탐색이 본 시스템에 의해서 자동적으로 정확히 수행되고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 5. 결 론

지식공학의 기계설계에의 응용의 한 예로서, 공적인 지식원인 기 제공학 편람 및 기계설계 핸드북, 학회 논문집 등에 게재되어 있는 그래프 혹은 테이블 형식의 설계용 자료를 데이터 베이스화함으로써, 이를 기계설계에 자동으로 활용하는 방법을 검토하였다.

설계자료의 데이터 베이스 구축을 위한 방법으로서, 그래프 및 테이블의 각 곡선정보를 파라메트릭 곡선인 2차식 유리 Bezier 곡선 3개로 보간하고, 그 곡선들의 조정점과 가중치를 데이터 베이스에 저장시키는 방식을 채용함으로써, 적은 수의 데이터로 그래프 및 테

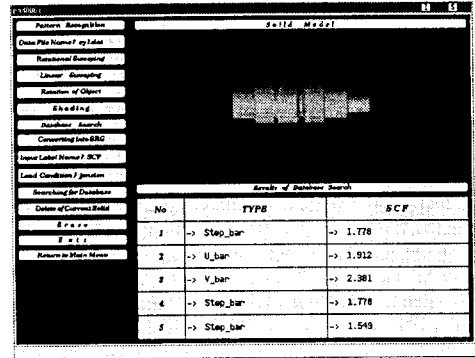


Fig.10 A result of database search for the shaft in Fig.9

이블 정보의 완벽한 저장과 불규칙한 파라미터 곡선간의 중간치 계산이 가능하였다.

또한, 설계대상의 형상 특징의 인식을 위하여, 인접하는 두면의 종류를 표시하는 식별자와 그 모서리 근방의 불록 및 오목 관계를 나타내는 ± 기호에 의해 설계대상을 기술하는 면관계 그래프를 제안하였다. 이 면관계 그래프에 의해 설계대상에 대한 형상 특징의 효율적인 표현과 패턴 인식이 가능함을 보였다.

끝으로, 두가지의 적용 예를 통하여 형상 패턴 인식을 기반으로 한 설계자료 데이터 베이스 탐색이 실제의 기계부품 설계에 활용 가능함을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 三菱総合研究所, 疲勞強度設計支援システム, METIS Ver.2, 1990.
- [2] 日本情報處理振興事業協會, MECHA-Tool, 1990.
- [3] Braid, I.C. and Lang, C.A., Computer-Aided Design of Mechanical Components with Volume Building Bricks, Proc. of PROLAMAT '73, 1973.
- [4] Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill, 1959.
- [5] Farin, G., Algorithms for Rational Bezier Curves, Computer-Aided Design, Vol.15, No.2, pp.73, 1983.
- [6] 中原, 材料力學(上卷), 養賢堂, pp.305, 1965.
- [7] Joshi, S. and Chang, T.C., Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3D Solid Model, Computer-Aided Design, Vol.20, No.2, pp.58, 1988.