

# 전자부품 산업에서의 응력해석 CAE적용

윤정호 · 안상훈

## Application of CAE Stress Analysis in Electronics Components

Jeong-Ho Yoon and Sang-Hoon An



- 윤정호(삼성전기(주) 종합연구소 CAD/CAM실)
- 1961년생.
- 소성가공의 CAE설계를 전공하였으며 사출성형 및 응력해석 CAE업무에 종사하고 있다.



- 안상훈(삼성전기(주) 종합연구소 CAD/CAM실)
- 1966년생.
- 재료의 동적 물성치를 결정하기 위한 충격해석을 전공하였으며, 전자부품에 대한 응력변경해석에 관심을 가지고 있다.

### 1. 머리말

전자산업이 고도화되어감에 따라 전자기술은 소재·기계분야와 복합된 기술의 발전이 가속화되어 가고 있다. 특히 이 글에서는 응력해석 CAE 기술이 전자부품산업에 적용되는 사례를 소개하고자 한다. 그 중 하나는 하드디스크의 정밀부품 중의 하나인 스피들 모터용 Hub의 절삭가공시 고려하여야 하는 탄성 변형량을 해석하고 이를 적용하는 사례이고 또 하나는 Audio Deck의 Capstan Shaft를 지지하는 플라스틱 Base가 신뢰성 시험도중 또는 고온 부하시 발생하는 크리프 현상을 해석하여 적용하는 사례이다.

이 글에서 소개하는 두 가지 사례는 전자부품산업에 응력해석 CAE를 적용할 수 있는 예들 중 빙산의 일각에 불과할 뿐이고, 이와 유사한 전자부품에 응력해석 CAE를 적용할 수 있다.

### 2. 사례 1 : 2.5" 하드디스크 스피들 모터 HUB가공의 척력해석

#### 2.1 개요

Hub는 하드디스크가 올려지는 부위로서 그 정밀도는 평탄도 및 동심도가  $3\mu$  이내로 관리되는 정밀부품이다. 2.5"스피들 모터 Hub의 가공정밀도를 최대한 높이고 Hub의 소성변형을 일으키지 않으며 Hub를 선반의 척(jaw)에 잘 고정시키기 위한 적정 척력(jaw force)을 산출하는 것이 Hub가공에 있어서 매우 중요하다.

본 과제에서 1차적으로 소성변형을 일으키지 않는 최대적압을 Solid Element에 의하여 유한요소해석하여 산출하였으며 2차적으로 제품의 치수정밀도를 넘지 않는 한도내에서 변형이 일어나지 않는 최대 척력을 척의 형상을 변경하며(깊이 2mm~6mm) 해석하였다.

Hub는 그림 1과 같이 척에 의하여 고정되어 중요한 3부위가 Tool Path(T1-T3)에 의

하여 최종 마무리 가공된다. 가공 공정상 척에 의한 탄성변형이 가해진 상태에서 최종 마무리 가공을 한다. 그러나 척에 의한 탄성변형이 가해진 상태에서 가공을 한 후 척에서 제품(Hub)를 빼내면 탄성복원이 되어 결과적으로 최종형상은 치수정밀도 이상 변형이 된 상태로 남게 된다.

이에 치수정밀도(편평도  $3\mu$ , 동심도  $3\mu$ ) 이하의 변형을 일으키는 한도 내에서 척의 내압을 최대로 가져갈 수 있을 척압(jaw pressure)을 산출, 이로부터 최대 척력을 계

산하는 것이 본 과제 의 목적이다.

### 2.2 해석 조건

(1) 하중조건 : 척이 내부에서 외측으로 압력을 주며 벌어지면서 Hub를 잡아주고 있으므로 분포 면압(face press)을 척이 Hub를 잡는 부위에 가해주었다.

(2) 해석경우 : 척의 Hub물림길이를 현 2mm에서 6mm까지 증가시키면서 가공정밀도  $3\mu$  또는  $5\mu$ 을 유지할 수 있는 척압을 산출하는 해석을 표 2와 같이 실시하였다.

### 2.3 해석 결과

그림 2는 Solid Element에 의한 Hub의 3차원 모델형상이다. 해석 S/W는 I-DEAS

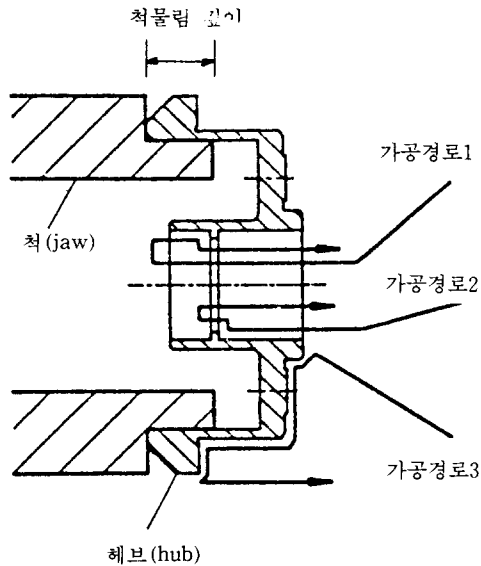


그림 1 가공중의 척과 HUB의 상대위치 및 Tool Path

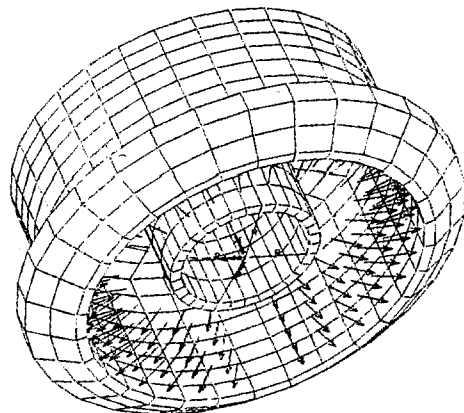


그림 2 Hub의 해석 3차원 모델

표 1 재료 물성치

재 질	탄 성 계 수	항 복 응 력	포 아 송 비
SUM 24	$1.88 \times 10^{24} \text{Kgf/mm}^2$	$49.6 \text{Kgf/mm}^2$	0.30

표 2 해석 경우

탄성변형량 (가공정밀도 기준)	척 (Jaw)의 물림 길이				
	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
$3\mu$ 기준	Case A-2	Case A-3	Case A-4	Case A-5	Case A-6
$5\mu$ 기준	Case B-2	Case B-3	Case B-4	Case B-5	Case B-6

VER6.0을 사용하였다.

해석은 치수정밀도(편평도, 동심도)  $3\mu$  이하 및  $5\mu$  이하의 변형을 일으키는 최대척압을 모하고 이 척압으로부터 최종적으로 척 하나에 걸리는 척력(jaw force)을 구하였다. 그림 3은 Hub에 척을 넣어 압력을 주었을 때의 변형형상 및 변형량 분포를 보여주고 있다. 그림 4는 Z방향에서의 변형을 본 그림으로 다른 해석경우에 있어서도 그 크기는 달라도 변형형상은 유사한 것으로 해석되었다.

그림 5는 치수정밀도  $3\mu$ (동심도)을 유지할 수 있는 범위 내에서 척을 Hub에 넣는 깊이를 증가시키에 따라 Hub의 편평도 및 동심도에 어떠한 영향을 미치는 가를 볼 수

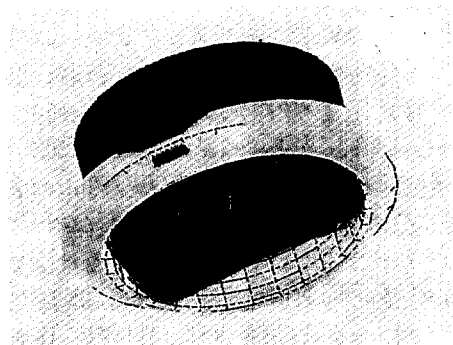


그림 3 Hub의 변형형상 및 변형량 분포 (척이 잡아주는 부위의 변위가 크게 나타나 있다.)

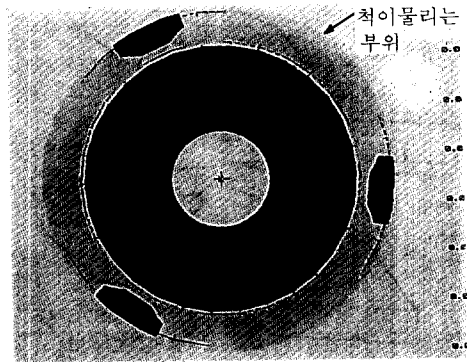


그림 4 Hub변형형상을 Y축에서 본 형상(under view)

있다. 그림 5에서 보면 척을 Hub깊이 넣은 경우 편평도면에서 50% 이상 좋아지며 동심도는 큰 변화 없이 비슷한 것으로 나타났다.

그림 6은 치수정밀도  $5\mu$ 을 유지할 수 있

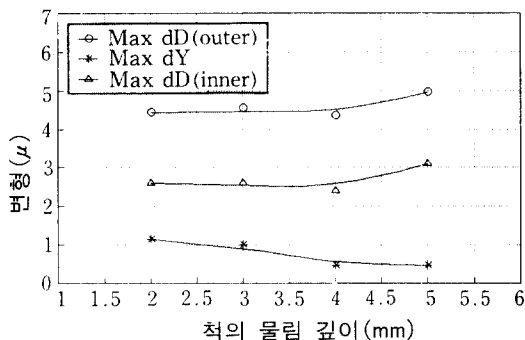


그림 5 Jaw 물림 깊이에 대한 반경방향 및 평면방향의 변위 관계(치수 정밀도  $3\mu$  이내 기준)

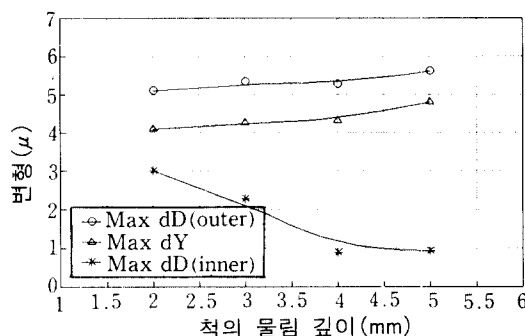


그림 6 Jaw 물림 깊이에 대한 반경방향 및 평면방향의 변위 관계(치수정밀도  $5\mu$  이내 기준)

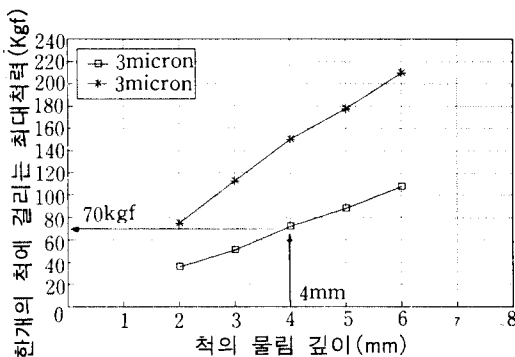


그림 7 치수 정밀도 내에서 Jaw 물림 깊이에 대한 Jaw 1개에 가할 수 있는 최대 척력(Jaw Force)

는 범위 내에서 척을 Hub에 넣는 깊이를 증가시키기에 따라 Hub의 편평도 및 동심도에 어떠한 영향을 미치는가를 볼 수 있는 그래프이다.

그림 7는 결론적인 데이터로서 3 $\mu$  및 5 $\mu$  치수정밀도(동심도)에서 척에 Hub를 잡을 수 있는 최대 힘을 산출한 그래프이다.

즉, 한 예로 보면 척과 Hub의 물림 깊이가 4mm인 경우 가공상 3 $\mu$ 의 정밀도를 유지하기 위해서는 70kgf 이하의 척력을 Jaw한 개에 가해주어야 한다. 그림 7에서 보면 척의 물림깊이를 증가시키기에 따라 척에 가할 수 있는 힘은 증가한다. 그림 8은 재료의 항복응력을 넘지 않는 범위 내에서의 최대 척력을 산출한 그래프로서 치수정밀도 기준에 의한 척력에 비하여 매우 높은 값을 보이고 있다.

2.4 요약

Hub의 적정 척압을 CAE해석을 통하여 산출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가공물이 소성변형이 일어나지 않는 한도 내에서 척으로 잡아주어도 좋다는 통념과는 달리 본 과제에서 다룬 Hub는 고정밀 부품으로 정밀도 유지를 위하여 치수정밀도 탄성변형 내에서 척으로 잡아주어야 한다.

(2) 3 $\mu$  및 5 $\mu$ 의 치수정밀도를 유지하기

위한 최대 척력을 산출, 도표화하였으며 치수정밀도를 유지하면서 정확히 Hub를 잡을 수 있는 방법은 척에 의한 물림깊이를 (현재 2mm에서 4mm 또는 5mm로) 늘려야 한다.

(3) 척과 Hub의 물림 깊이를 증가함에 의하여 플랜지 부위의 편평도는 크게 좋아지며 (50% 이상) 동심도면에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. (그림 6)

3. 사례 II : Audio Deck 정밀부품의 강도 및 변형해석

3.1 개요

Audio Deck의 VE(value engineering)과정 중 기존의 프레스물(steel)이나 다이캐스팅물(알루미늄)로 생산되던 부품을 몰드물(plastic:POM)로 교체하고 있다. 그러나 기존의 다이캐스팅물이나 프레스물에서 발생되지 않았던 문제가 몰드물로의 교체에서 발생되는데 이는 상온상태보다는 고온(50 $^{\circ}$ C 이상)에서 Deck의 오동작, WOW/Flutter수치 불량 및 소비전류 상승 등이 바로 그것이다. 이의 원인은 Steel부품과 같이 상당강성을 가지지 못하여 과대변형을 일으켜 발생하며, 플라스틱 제품이 고온에서 나타내는 대표적인 열적 특성의 하나인 크리프변형이 그 원인이다.

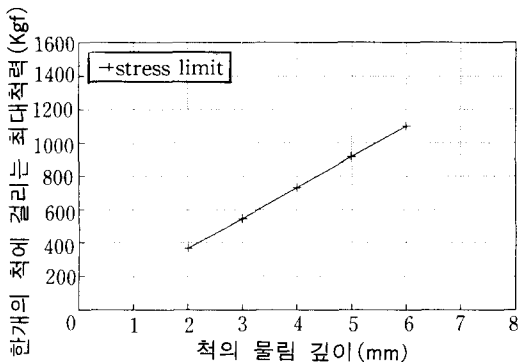


그림 8 항복응력 내에서 Jaw 물림 깊이에 대한 Jaw 1개에 가할 수 있는 최대 척력(Jaw Force)

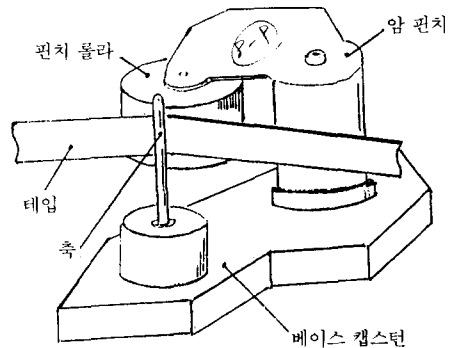


그림 9 Base Capstan과 Arm Pinch의 상대 접촉형상

Arm Pinch는 Base Capstan과 상대 접촉하여 테이프를 당겨주는 역할을 하는 부위로서 그 형상은 그림 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 플라스틱(POM) Base를 가지는 Base Capstan의 변형 등 서로 상대적인 변형에 의하여 테이프의 Tension이 고르게 전달되지 못하며 또한 고온 신뢰성 시험에서 상온상태의 구조적 형상을 유지하지 못하여 결과적으로 Deck의 WOW/Flutter불량 등의 원인이 된다.

이 글에서는 Base Capstan의 크리프해석을 1000시간에 대하여 실시하여 그 변형량을 예측하여 그 값을 줄이기 위한 방안을 강구하였다.

크리프란 일정한 하중을 받는 부재가 지속적으로 변형을 일으키는 현상을 나타내는 말로서 플라스틱 재료에서 크게 발생한다. 이러한 크리프 현상에 대한 연구는 여러 학자들에 의하여 행하여져 왔으며 최근에는 각종 재료에 대한 Cyclic 하중 하에서의 크리프 등 크리프실험이 여러 연구자들에 의하여 수행되었다.<sup>(1,2)</sup>

또한 크리프는 재료의 물성, 재료시험 외부온도, 하중의 크기 및 하중 작용시간 등에 관계되는데 특히 재료시험 외부온도에 민감하다. 이러한 크리프현상을 해석하는데 사용되는 구성 방정식은 Maxwell, Kelvin 등의 학자들에 의하여 제안되었던 기본식 등을 조합하여 여러가지 모델에 대한 구성식이 있다. 하지만 각 구성식에 대한 재료별 검증이 매우 어려운 상태이다.<sup>(3-5)</sup>

따라서 본 연구에서 사용한 크리프변형식은 일반적으로 상용 S/W에서 주로 사용되는 Power Law를 사용하였다.

Power Law는 식 (1)과 같다.

$$\dot{\epsilon} = A * \sigma^n \quad (1)$$

여기서,  $\dot{\epsilon}$ 는 크리프변형률,  $\sigma$ 는 응력,  $A$ ,  $n$ 는 상수를 나타낸다.

(Dubacon M90의 경우  $A=2.6476 \times 10^{-11} n=1.322$ )

각 식들의 구성은 가해진 하중과 하중의 작용 시간 및 변형과의 관계로 구성된 식이다. 본 연구에서 사용한 S/W는 MARC Ver 4.0으로서 Nonlinear 구조해석 및 열문제 등 해석영역이 넓은 S/W이다.<sup>(6)</sup>

### 3.2 해석 조건

외부 온도 : 70°C (현재의 신뢰성 시험온도)

하중 작용시간 : 1000시간

해석 S/W : MARC Ver 4.0

Element : 6 Node Brick Element

재 료 : Polyoxymethylene(POM)

(내부 Shaft는 Steel임)

해석 경우 :

- ① 현재품 해석
- ② 하중조건 변경 해석  
(스프링력 400gf→300gf)
- ③ 형상변경 해석  
(Shaft부위의 높이 증가 5mm→8mm)
- ④ 재료변경 해석  
(Duracon M90→GC-25)

### 3.3 해석 결과

Base Capstan을 크리프변형을 해석한 결과는 다음과 같다. 그림 10은 현재품을 크리프 해석한 과정중 첫번째 Step의 변형을 나타낸 형상이다.

표 3 해석시 사용한 POM재료 물성치

재료물성	M90-44	GC-25
탄성계수(23°C)	2822000	8624000
	(70°C)	1348000
인장강도(23°C)	60760	127600
	(70°C)	34300
포아송 비	0.35	

(단위 : milli-Newton/mm<sup>2</sup>)

\* M90-44 : 일반적인 injection mold재료

\* GC-25 : 고장력, 고탄성, 내저항성 재료  
(glass fiber 25% 첨가)

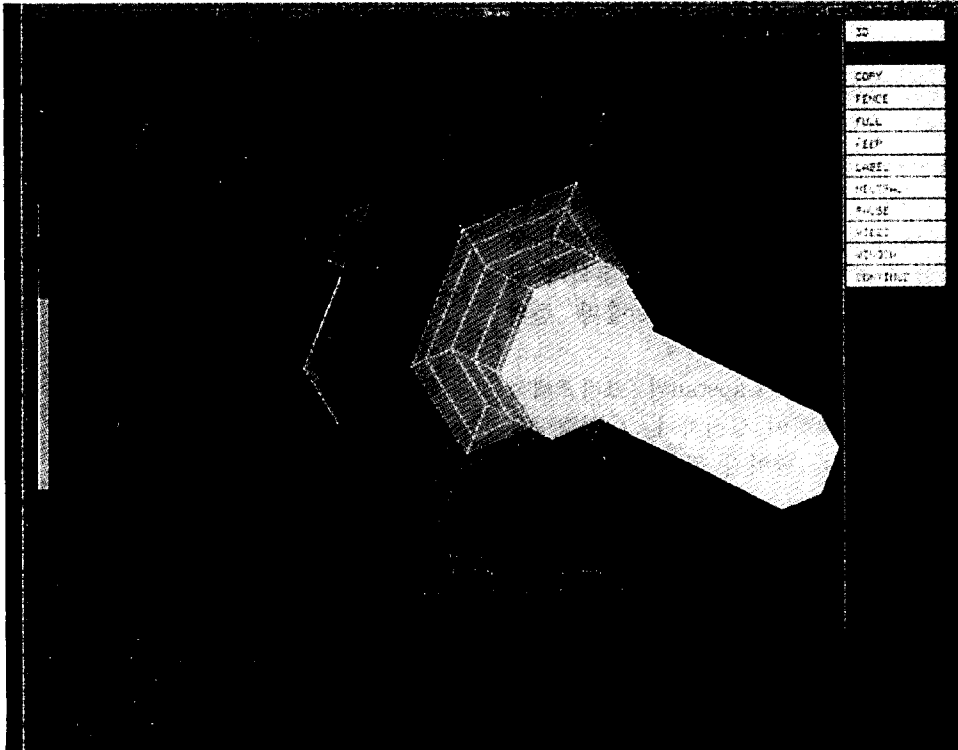


그림 10 Base Capstan 크리프변형 (step I)

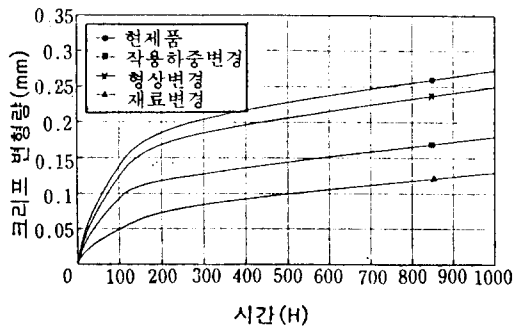


그림 11 시간에 따른 크리프변형 그래프

그림 11은 Base Capstan이 Pinch Roller에 의하여 밀리는 상태에서 1000시간 크리프가 일어난 경우의 시간에 대한 변형을 그래프로 표시한 것이다. 그래프에서 보면 초기부터 500시간까지 0.23mm의 변위를 보이고 있으며 이는 정적해석에서의 값보다 40% 이상 크리프변형을 일으키고 있음을 나타낸다.

변형의 형상은 정적 해석과 비슷하며 그 변형의 크기만 차이를 보이고 있다. 각 해석 경우에 대한 현재품과의 변형량 비교는 표 4에 비교하였다.

표 4에서 보면 모두 변형량 감소에 영향을 주나 형상변경은 금형수정을 수반하고 그 효과 또한 미미하다. 하중조건을 변경한 경우는 현재품에 비하여 약 40%에 해당하는 변형량의 감소가 일어났다. 본 연구자가 Push-Pull 게이지(10Kgf)를 이용 Arm Pinch를 누르는 하중이 400gf이었다. 이 하중을 300gf로 낮추어 해석한 결과 표 4와 같은 결과를 얻었다. 재료 변경(GC-25)에 의한 변형 해석결과 변형량감소는 약 55%로서 그 효과가 가장 크다.

즉 재료 변경을 하여 현재의 금형으로 Base Capstan을 제작하면 고온에서의 크리

표 4 Base Capstan 크리프변형 비교

(단위 : mm)

구 분	현재품	하중조건 변경	형상변경	재료변경
탄성 변형량	0.15	0.105	0.135	0.05
500 시간 크리프 변형	0.23	0.140	0.207	0.10
현재품과의 비교 (크리프 변형)	—	현재품의 62%	현재품의 90%	현재품의 45%

\* 테이프의 두께는  $120\mu=0.12\text{mm}$ 로서 현재품은 테이프 두께의 2배에 달하는 크리프 변형을 일으킴(테이프 Tension의 불균일 발생)

프 변형을 줄일 수 있어 WOW 성능불량 등을 감소시킨다.

#### 3.4 요약

Audio Deck의 정밀부품인 Base Capstan의 변형해석 및 크리프해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Base Capstan의 1000시간 크리프를 해석한 결과 이는 정적 상태의 1.6배에(500시간) 해당하는 변위를 가지며 GC-25로의 재료 변경에 의하여 설계 기준에 만족한다. (W/F값의 기존 알루미늄 수준으로 회복)

(2) Base Capstan의 형상 변경에 의한 크리프 변형량의 변화는 기존에 비하여 크게 좋아지지 않는 않으며, 상대물의 수정 등이 수반되므로 변경하지 않는 것이 타당하다.

#### 4. 맺음말

흔히들 전자부품산업과 응력해석은 거리가 먼 것처럼 생각하기 쉽다. 그러나 전자부품산업에서 품질에 관한 문제를 좀더 깊이 있게 분석하다 보면 소재와 기계기술이 매우 중요함을 잊을 수 없다. 이 글을 통하여 응력해석 CAE기술이 전자부품에 적용되는 사

례를 검토하였다.

전자부품산업에 종사하는 사람은 응력해석 CAE기술 등 기계기술을 좀더 이해할 필요가 있으며, 기계분야에 종사하고 있는 사람은 전자부품산업에 좀더 많은 관심을 가질 필요가 있다고 생각한다. 그럼으로써 복합기술의 발전이 가속화될 수 있다.

#### 참고문헌

- (1) Lazen, B. J., 1949, Proc. AISM, Vol. 49 p. 757.
- (2) 박덕룡, 1987, "고용체 합금의 Cyclic Creep 변형 특성에 관한 연구," 한양대학교 대학원, pp. 11~15.
- (3) Robert, M. C., 1980, "Deformation and Fracture of Solids," The University of Michigan, pp. 127~141.
- (4) Nielsen, L. E., 1974, Mechanical Properties of Polymers and Composites, Vol. 2, pp. 77~86.
- (5) Buchdajl, R. and Nielsen, L. E., 1951, Phys, Vol 22, p. 1344.
- (6) MARC Ver 4.0 Manual, MARC Analysis Research Corporation, 1990.