

본 연구를 위해 지원을 아끼지 않아 주신 삼성전자 생산기술센터 생산요소기술팀 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 다구찌방법을 이용한 디프드로잉 공정의 가공성평가에 대한 연구

이 병 찬\*, 문 재 호\*, 강 연 식\*\*, 양 동 열\*\*\*

### A Study on the Formability Estimation of Deep Drawing Process by Using Taguchi Method

LEE Byoung-Chan\*, MOON Jae-Ho\*, KANG Yeon-Sick\*\*, YANG Dong-Yol\*\*\*

#### ABSTRACT

Despite the increasing demands for improved product design, a limited number of works have been reported in the field of sheet metal forming. In the present study, introducing the Taguchi method, an optimal and robust combination of parameters is found and a data base management system is utilized for knowledge acquisition. Analysis data, estimation rules of formability and graphical representation of the analysis have been employed for the designer's understanding and evaluation. The developed system is applied to a deep drawing process. Through the present study, it is shown that the developed system is useful for the design and the formability estimation of sheet metal forming processes.

**Key Words :** Formability Estimation(가공성평가), Deep Drawing(디프드로잉), Taguchi Method(다구찌방법)

#### 1. 서 론

약관 가전부품의 성형시 설정된 설계변수에 대한 최종 성형결과를 해석하고 성형 가능성을 예측하며 공정상 필요한 정보의 획득을 쉽게 하여 생산성을 향상시킬 수 있는 시스템의 개발이 요구되고 있다<sup>(1-3)</sup>.

제품 및 공정의 설계단계에서 가장 어려운 작업이 설계 목적에 부합하는 설계변수들의 조합들의 값을 정하는 일이다. 기존의 실험계획법은 가능한 모든 경우에 대해 실험과 해석을 하기 때문에 많은 시간과 경비가 요구되고 실험실 차원에서의 실험이 행해지기 때문에 현장에서의

여러 잡음인자(noise factor)를 고려하지 못하여 그 결과의 신빙성이 결여된다. 또한 설계변수가 많아질 경우 변수들의 최적화가 쉽지 않다는 단점을 가진다. 이에 비해 다구찌방법은 품질에 손실의 개념을 도입하여 손실을 정량화, 공학적 객관화 시켰으며 직교배열(orthogonal array, OA)을 통해 기존의 실험계획법보다 훨씬 적은 실험횟수로 제품성능의 변동을 최소화하는 즉, 손실을 최소로 하는 변수들의 조합을 결정할 수 있으며 별도의 랜덤화 기법이 필요 없고 현장의 잡음인자까지도 고려함으로써 인해 실험적 결론의 재현성이 우수하다는 장점을 가진다<sup>(4, 5)</sup>.

\* 삼성전자(주) 생산기술센터  
 \*\* 고등기술연구원 생산기술연구실  
 \*\*\* 한국과학기술원 기계공학과

본 연구의 목적은 가전제품에 사용되는 박판부품의 설계단계에서 수많은 설계변수가 실제의 성형 가능성에 맞게 설계되어 있는지를 정확히 그리고 신속하게 판단할 수 있도록 다구찌방법과 유한요소해석을 통해 금형설계의 타당성을 검증하는 것이다.

최근에는 제품이 다양해지고 모델 교체가 빈번해 짐에 따라 제품의 제작주기가 짧아지고 있는 추세이다. 따라서 설계단계에서 효율성과 생산성이 특히 강조되고 있다. 이에 따라 설계단계에서 CAD/CAM/CAE의 적용이 점차 늘고 있으며 다양한 해석용 소프트웨어들이 보급되고 있다. 그러나 보급되어지고 있는 소프트웨어들은 사용이 복잡하고 현장에서 가전 제품의 박판 부품 설계에 곧바로 적용이 어려우므로 전용시스템의 필요성이 크게 대두되고 있으나 적당한 대안이 없는 실정이다. 본 연구는 전용시스템의 개발로 금형을 제작하기 이전에 금형의 설계 책임을 변경하여 시뮬레이션을 해본 후에 원하는 제품의 성형이 가능한지를 판단한 후 실제로 금형을 제작함으로써 금형의 설계 및 가공의 시행착오를 최대한 줄이는데 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 효율적인 제품설계와 설계의 검증을 위해 유한요소해석 모듈을 기반으로 한 설계해석기능을 구현하였고 문헌상의 설계자료 및 유한요소해석 결과와 데이터베이스 모듈, 그리고 다구찌방법을 도입하여 설계자의 설계목적에 알맞은 설계변수들의 최적조합을 선정하는 변수설계 모듈을 구현하여 사용자 편의도가 뛰어나고 체계적인 해석용 시스템인 박판부품의 가공성평가 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템은 다구찌 방법을 사용하는 현장 설계자 측면에서 접근을 시도하였으며 실질적인 설계 패키지가 되도록 개발하였다.

## 2. 이론해석

다구찌 방법을 이용한 이론적 문제 해결 절차는 Fig. 1과 같다. 다구찌 방법을 사용했을 때 이론적 배경이 되는 요소와 개념을 살펴보면 다음과 같다.

### 2.1 인자

인자는 제어인자(설계인자)와 잡음인자로 크게 분류할 수 있다. 제어인자는 설계자가 그 수준을 결정하고자 하는 인자이며 잡음인자는 다시 오차, 신호, 표시인자 등으로 나누어지며 그 중 오차인자는 내란, 외란, 불완전 제조와 관계된다. 내란은 온도, 습도, 진동, 입력전압의 변화

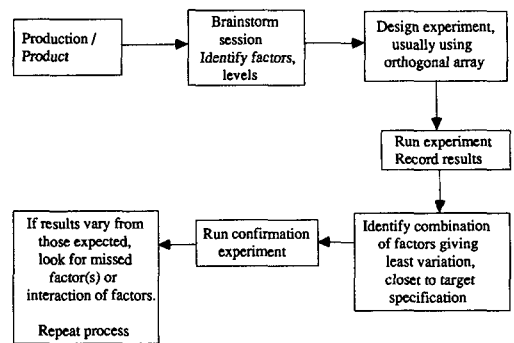


Fig. 1 Problem-Solving Procedure using Taguchi Method

와 같이 제품의 사용조건이나 공정환경이 바람직한 상태를 유지하지 못하고 변화하는 것을 뜻하며 내란은 노후화라고도 불리며 부품특성이 시간이 지남에 따라 정격치로부터 벗어나는 것을 말하는 데 예를 들자면 시간이 지남에 따라 저항값이 상승하는 것같은 것이다. 불완전 제조는 제조시 작업자간의 변동, 공정변수 등의 변동으로 인해 제품간 성능특성이 달라지는 것을 의미한다.

### 2.2 직교배열과 강건설계

다구찌방법의 특징중의 하나인 직교배열은 특성치에 영향을 미치리라고 여겨지는 설계변수의 수가 너무 많아서 제한된 자원(실험시료, 장비, 시간, 비용등)으로는 인자 수준의 모든 조합에 대해 실험을 행하기 어려울 때 제품이나 공정의 수행에 지장이 없는 범위 내에서 적은 실험 횟수로 각 설계변수의 영향을 분석하기 위해 사용된다. Table 1에 직교배열을 사용했을 때와 기존의 실험 계획법에서 필요한 실험 횟수를 비교하여 보았다. 직교배열표를 사용하는 주목적은 인자조합의 높은 재현성에 중점을 두며 인자 배치에 있어서 직교성(어떤 요인의 어떤 수준

Table 1 Comparison of the Necessary Numbers of Experiments between Orthogonal Array and Complete Factorial Design

Level-2			Level-3		
Factor	OA	Factorial	Factor	OA	Factorial
3	4	8	4	9	81
7	8	128	13	27	1594323
11	12	2048	40	81	∞
15	16	32768			
19	20	524288			

에 대해서나, 다른 인자의 전체수준이 같은 회수씩 나타나는 현상)과 데이터해석에 있어서 분산분석을 통해 데이터의 전변동(total sum of squares)을 인자별의 변동함으로 분해하는 것이다<sup>(4, 5)</sup>.

강건설계란 인자수에 적당한 직교배열표상에 제어인자와 잡음인자를 동시에 고려하여 S/N비를 최대화하는 제어인자(설계변수)의 조건 즉, 잡음하에서도 성능특성치의 분산이 작고 평균이 목표치에 근접하는 제어인자의 조건을 찾아내는 것이다. 설계변수의 조건에서 특성치의 산포가 아직 만족할 만한 상태가 아닐 때에는 허용차설계를 통하여 산포에 큰 영향을 끼치는 설계변수를 선택하여 그 허용차를 줄인다<sup>(4, 5)</sup>.

2.3 손실함수와 S/N비

다구찌는 오랜 경험에서 고품질은 사용상 적은 손실을 초래한다는 소비자 입장에서의 접근을 통해 손실함수를 정의하고 있다. 어떤 제품이든 부품이든 목표로 하는 목표치가 있으며 목표치에서 멀어질수록 손실의 비중을 더 주자는 의미에서 목표치의 손실함수가 정의되며 그에 따른 S/N비는 제품의 기능을 판단하기 위해 통계적으로 계산된 수치로서 목표치에 얼마나 근사한지를 판단하는 기준이 된다. 품질평가를 위한 특성치의 분류는 계량치, 계수치, 계량분류치등으로 나눌 수 있으며 본 연구에서는 비교적 접근하기 쉬운 계량치중 망대특성, 망소특성 그리고 망목특성에 관심을 두며 그에 관련된 식은 다음과 같다<sup>(5)</sup>.

(1) 망대특성 - 특성치가 음의 값을 취하지 않고 클수록 좋은 특성

예) 용접부위의 접합강도, 브레이크 드럼의 마찰력

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right] \tag{1}$$

(2) 망소특성 - 특성치가 음의 값을 취하지 않고 작을수록 좋은 특성

예) 배기가스 중의 일산화탄소량

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] \tag{2}$$

3) 망목특성 - 특성치가 음의 값을 취하지 않고 특정

한 목표치가 있어 어느 방향으로의 산포도 바람직하지 않은 특성

예) 정전압 전원회로의 출력전압, 자동차 도장막 두께

$$SN = 10 \log \left[ \frac{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} \right\}^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - m)^2} \right] \tag{3}$$

여기서 i는 직교배열에서 설계변수 조합의 실험번호이고 j는 직교배열에서 잡음인자 조합의 실험번호이다. n은 직교배열에서 한 설계변수 조합의 실험번호에서의 특성치의 반복수이고 y는 특성치이다

3. 가공성평가시스템

가공성평가시스템은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 크게 사용자 인터페이스를 위한 응용프로그램, 그래픽과 변수설계를 위한 응용프로그램, 유한요소해석을 위한 응용프로그램, 데이터베이스 관리시스템 그리고 통합된 데이터베이스파일로 구성된다.

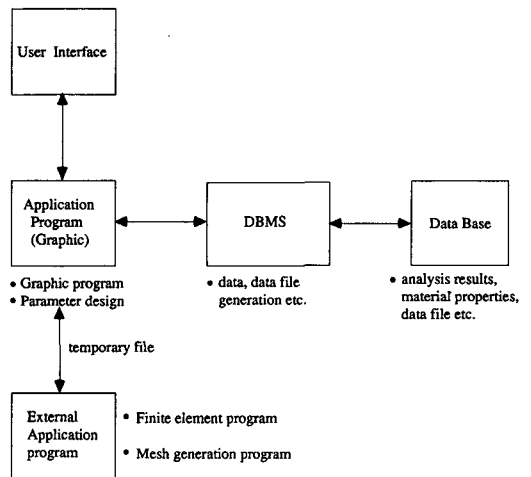


Fig. 2 Schematic Arrangement of System

3.1 시스템 알고리즘

가공성평가 시스템에 적용된 다구찌방법의 시스템알고리즘은 다음과 같으며 Fig. 3에 적용 흐름도를 예시하였다.

- ① 망목, 망대, 망소 특성의 결정
- ② 특성치 선정, 설계변수 선정 및 수준 결정
- ③ 잡음인자 선정 및 산포, 수준 결정
- ④ 설계인자의 설계치 입력, 잡음인자의 수준 입력
- ⑤ 설계인자 개수에 적합한 직교배열 결정
- ⑥ 각 인자의 조합에 대한 계산 수행, 통계량 계산
- ⑦ 최적의 변수조합을 선정, 확인실험 및 결과출력
- ⑧ (필요할 시) 허용차 설계

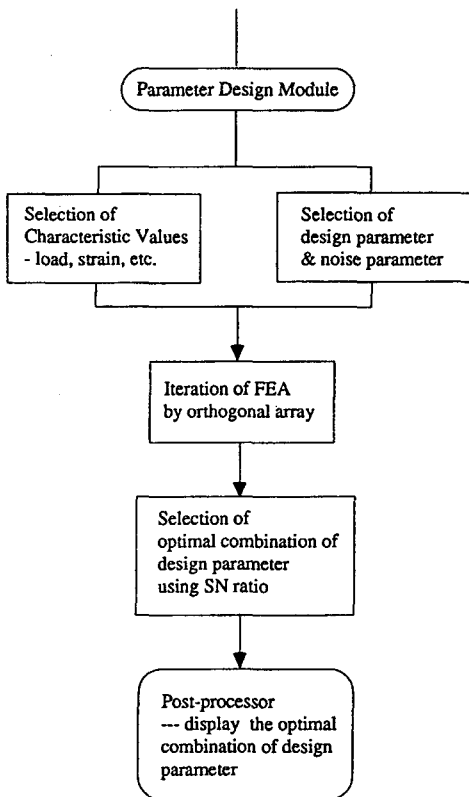


Fig. 3 Flow Chart of Parameter Design using Taguchi Method

### 3.2 가공성 평가 시뮬레이션 모듈

#### 3.2.1 유한요소해석(Finite Element Method)

축대칭 강소성 유한요소법을 이용하여 디프드로잉공정을 해석하기 위한 모듈로서 유한요소해석 프로그램과 격자 생성 프로그램으로 구성되며 그래픽 응용프로그램과의 인터페이스를 통해 모듈의 일체화를 추구한다. 즉 전

처리 모듈에서 입력한 설계변수 데이터를 이용하여 해석에 필요한 격자를 생성하며 유한요소해석의 결과로써 후처리 기능에 필요한 중간 데이터파일을 생성한다. 여기서 사용된 유한요소해석 프로그램은 이미 여러차례 검증을 거쳐 해석 결과의 신뢰도가 있는 기존의 축대칭 강소성 유한요소해석 프로그램으로서 등방성재료로 가정하고 쿠울름 마찰법칙을 적용하고 굽힘을 고려하기 위하여 연속체 요소를 이용하였다<sup>(6,7)</sup>.

#### 3.2.2 그래픽 시스템

그래픽 모듈을 위한 응용프로그램은 UNIX 환경하에서 ANSI C와 X 윈도우시스템, OSF/MOTIF, UIL(User Interface Language)를 이용하여 개발하였으며 풀다운 메뉴방식과 버튼 클릭을 통한 접근방식을 채택하여 사용자가 시스템을 쉽게 사용할 수 있도록 하였다<sup>(8,9)</sup>. 또한 명령어를 외부적으로 제어하여 의도하는 작업을 별도의 프로그램에 의해 자동적으로 실행하는 방식인 개방형 프로그래밍 기법을 이용하였으며 해석용 FORTRAN 프로그램과의 인터페이스를 유지한다.

#### 3.2.3 데이터베이스 관리시스템(DBMS, Database management system)

데이터베이스 관리시스템은 데이터베이스를 정의하고 조직화시키고 레코드의 저장, 검색, 삭제 등을 관리하는 통합 시스템이다<sup>(10,11)</sup>. 데이터 조작어로는 ANSI C언어를 사용하였고 데이터의 저장방식은 Fig. 4와 Fig. 5에서

Formability	Geometric Data	FEM Analysis Data
-------------	----------------	-------------------

- o Formability --- True  
False
- o Geometric Data --- Material Thickness  
Friction Coefficient  
Punch Radius  
Hole Radius  
Clearance  
Die Shoulder Radius  
Punch Shoulder Radius  
.....
- o FEM Analysis Data --- Max. Punch Load  
Max. Effective Strain  
Max. Thickness Strain  
Max. Circumferential Strain  
Max. Edge Strain  
.....

Fig. 4 Structure of Record

보는 바와 같이 레코드라는 단위로 저장되는데 파일 머리부에 파일의 전반적인 정보를 저장하고 후미에 새로운 데이터를 저장한다. 그래픽 응용프로그램과의 인터페이스를 통해 데이터 저장, 데이터 검색, 파일 생성, 파일 검색, 파일 저장 등의 기능을 수행한다.

File Header	Record	Record	Record	.....
-------------	--------	--------	--------	-------

- o Information of Data File
- o Process Identifier
- o Material Identifier
- o No. of Record

Fig. 5 Structure of Data File

3.2.4 변수설계 모듈

제품 및 공정의 설계단계에서 가장 어려운 작업이 설계 목적에 부합되는 설계변수들의 값을 결정하는 일이다. 가능한 모든 경우에 대해 실험과 해석을 한다는 것은 너무나 무의미한 것이기 때문에 최근에 많은 관심을 끌고 있는 다구찌방법을 이용하여 설계자의 목적에 부합하는 설계변수들의 최적조합을 찾는 모듈을 개발하였다. 수준은 2<sup>2</sup>-준, 3수준을 고려하였고 인자수는 2수준일 경우 최대 7개, 3수준일 경우 최대 13개의 인자수를 갖도록 설계하였다.

4. 디프드로잉 공정의 설계 및 가공성평가시스템의 적용

디프드로잉 공정은 미리 절단되어 있는 평평한 금속 블랭크를 주름이 지거나, 얇은 곳이 있거나, 또는 파단되거나 하지 않게 중공(hollow) 용기 속으로 냉간 성형가공하는 공정을 말한다<sup>(12,13)</sup>. 여러가지 모양의 것, 즉 원통형이나 사각형, 측면이 직선인 것, 테이퍼가 있는 것, 또는 커어브된 측면이 조합된 것등이 있는데 여기서는 원통형 디프드로잉의 해석에 초점을 두었다.

성형성 평가를 위해 사용한 경험식은 다음과 같다<sup>(14)</sup>.

(1) 한계 드로잉비 (limiting drawing ratio : LDR)

$$LDR = \frac{D_o}{d} \quad (4)$$

여기서  $D_o$ 는 초기 블랭크 지름이고  $d$ 는 성형후 제품 지름이다.

(2) 한계 높이 대 지름비 (limiting cup height to diameter ratio : LHDR)

$$LHDR = \frac{h_{cup}}{d} \quad (5)$$

$$h_{cup} = \frac{(D_o^2 - d^2)}{4d} \quad (6)$$

여기서  $h_{cup}$ 는 성형후 제품 높이이다.

(3) 다이 어깨 반경 (die shoulder radius) :  $R_d$

$$4 \cdot t < R_d < 10 \cdot t \quad (7)$$

(4) 펀치 어깨 반경 (punch shoulder radius) :  $R_p$

$$4 \cdot t < R_p < 10 \cdot t \text{ \& } R_p < \frac{D_p}{3} \quad (8)$$

여기서  $D_p$ 는 펀치 지름이다.

(5) 파단 한계 (fracture limit for circular deep-drawing)

$$r_{df} \geq 0.8d \sqrt{\frac{D_o}{d} - 1} \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (9)$$

$$r_{pf} \geq 0.8d_p \sqrt{\frac{D_o}{d} - 1} \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (10)$$

여기서  $r_{df}$ 는 파단 한계에서의 다이 어깨 반경이고  $r_{pf}$ 는 파단 한계에서의 펀치 어깨 반경이다.

(6) 주름 한계 (wrinkling limit for circular deep-drawing)

$$r_{dw} \leq \frac{(\frac{t}{d} - 0.01)}{0.04} d \quad (11)$$

$$r_{pw} \leq \frac{(\frac{t}{d} - 0.01)}{0.04} d_p \quad (12)$$

여기서  $r_{dw}$ 는 주름 한계에서의 다이 어깨 반경이고  $r_{pw}$ 는 주름 한계에서의 펀치 어깨 반경이다.

(7) 적정 틈새 (clearance) :  $c$

$$c = (1.4 \sim 2.0) \cdot t \quad (13)$$

성형가능성 평가를 위한 판정 규칙은 다음과 같이 설정하였다.

i) IF (CDR < LDR and CHDR < LHDR  
and  $r_{df} < r_d < r_{dw}$  and  $r_{pf} < r_p < r_{pw}$ ) THEN

성형한계 만족 → 성공적인 성형이 가능

ii) ESLE

성형한계 만족 안함 → 성형 실패 가능성 : 파단, 찢어짐, 주름 등.

여기서 CDR는 고려중인 제품의 드로잉비이고 CHDR는 고려중인 제품의 높이 대 지름비이다.

해석 예제인 Fig.6과 동일한 형상의 디프드로잉 공정에 대한 성형성 평가 해석을 위한 순서도를 Fig.7에 나타냈다.

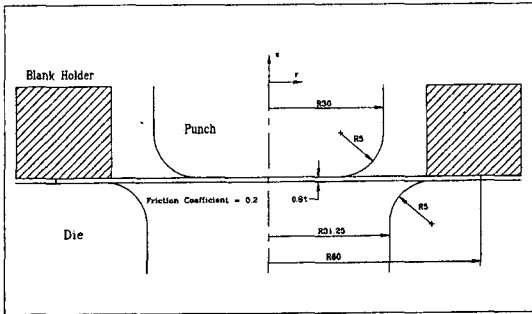


Fig. 6 Deep Drawing Analysis

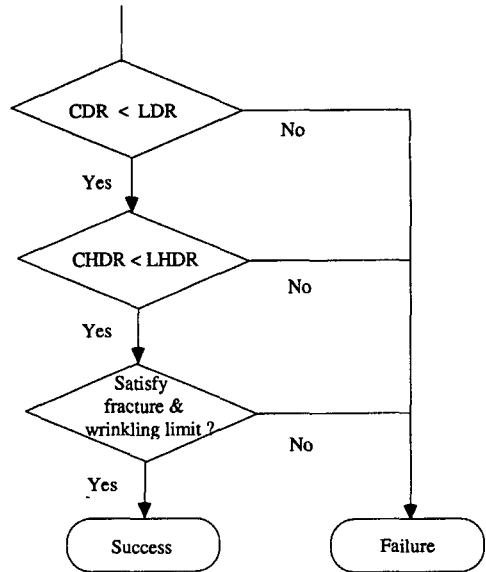
해석 수행 결과를 Fig.8 에 나타내었다. 재료는 S06C, 마찰계수는 0.2로 가정하였고 이때 재료의 유효응력과 유효변형률의 관계는 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 618.0(\bar{\epsilon})^{0.31} N/mm^2 \quad (14)$$

성형성 평가 규칙을 모두 만족하고 있으므로 설계 데이터 선정에 무리가 없음을 알 수 있었다. 그러나 두께 대 지름비의 값이 주름이 없을 때의 값보다 작으므로 주름이 생길 가능성이 있다. 이는 적절한 블랭크 호ルダー (Blank Holder) 를 사용하면 해결이 가능하다. 계산에서 블랭크 호ルダー 력은 2000N을 사용하였다.

다구찌 방법을 이용한 변수설계 모형을 디프드로잉 공정에 적용하였다. 해석 재료를 S08C 로 선택하였다. 이때 재료의 유효응력식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 657.3(\bar{\epsilon})^{0.24} N/mm^2 \quad (15)$$



where, LDR : Limit Drawing Ratio  
CDR : Current Drawing Ratio  
LHDR : Limit cup Height to Diameter Ratio  
CHDR : Current cup Height to Diameter Ratio

Fig. 7 Schematic Representation of Estimation of Formability for Deep Drawing

Drawing : S06C	
Criterion	Information
limiting drawing ratio (LDR)	recommended punch shoulder radius (mm)
current drawing ratio	fracture limit of punch shoulder radius (mm)
limiting height to diameter ratio (LHDR)	wrinkling limit of punch shoulder radius (mm)
current height to diameter ratio	current punch shoulder radius (mm)
recommended die shoulder radius (mm)	limiting thickness / diameter * 100
fracture limit of die shoulder radius (mm)	no wrinkling --- >>> 2.5
wrinkling limit of die shoulder radius (mm)	current thickness / diameter * 100
current die shoulder radius (mm)	cup height (mm)
	clearance (mm)
Formability Messages	
Formability Criterion is Satisfied !!	
Successful Forming would be probably expected.	

Fig. 8 Estimation of Formability for Deep Drawing

설계자의 설계 목적을 최소 성형하중을 갖는 설계변수의 조합의 결정으로 보고 주요 설계변수는 Table 2에서 보는 바와 같이 마찰계수, 펀치 반경, 펀치 어깨 반경, 다

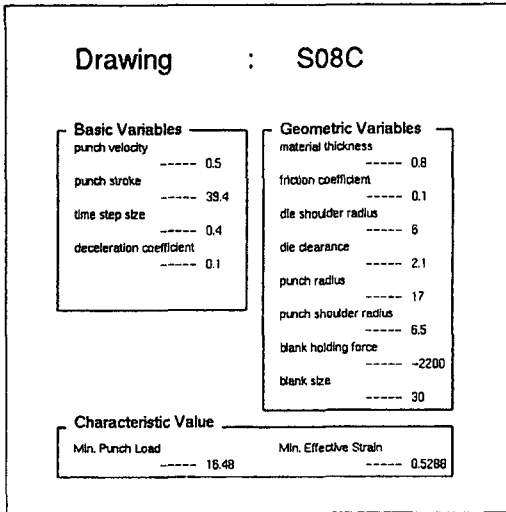


Fig. 9 Application of Parameter Design for Deep Drawing using Taguchi Method

Table 2 Classification of Design Parameter and Noise Factor

Basic Parameter	Material Thickness : 0.8 mm Blank Radius : 30 mm Punch Stroke : 40 mm		
Design Parameter	Friction Coefficient Punch Radius (mm) Die Shoulder Radius (mm) Punch Shoulder Radius (mm) Clearance (mm) Blank Holding Force (N)	0.1 16.0 6.5 6.0 1.2 2000	0.12 17.0 6.0 6.5 1.3 2200
Noise Factor	Material Thickness Friction Coefficient	-3.0 ~ 3.0 -3.0 ~ 3.0	%

이 어깨 반경, 블랭크 지지력, 다이 틈새의 6가지로, 또한 힌장에서의 잠음인자로 재료 두께의 불균일성과 마찰계수의 가변성을 가정하여 임의로 -3.0 ~ 3.0 %의 오프셋을 고려하였다. 변수 수준을 2수준으로 가정하여 변수 실험기능을 수행한 결과 Fig. 9와 Table 3에서 보는 바와 같은 결과를 얻었다. 이때의 최소하중은 16.48kN이고, 최소 유효변형률은 0.5288이다. 이 값은 설계 변수들이 가질 수 있는 조합중 가장 작은 하중을 가질 때의 변수 조합의 해석값으로 설계시 고려되어야 할 설계치이다.

5. 결론

제품의 설계 및 공정설계 단계에서 다구찌방법을 이용

Table 3 Parameter Design of Deep Drawing

	Parameter	Level 1	Level 2
Design Parameter	Friction Coefficient	0.1	0.12
	Die Shoulder Radius	6.5	6.0
	Die Clearance	1.2	1.3
	Punch Radius	16.0	17.0
	Punch Shoulder Radius	6.0	6.5
	Blank Holding Force	2000	2200
Noise Factor	Material Thickness	-3.0	3.0
	Friction Coefficient	-3.0	3.0

(%)

Combination of design parameter	Combination of noist factor			
	1	1	2	2
1 1 1 1 1 1 1	18.04	18.10	19.12	19.19
1 1 1 2 2 2 2	15.44	15.51	16.34	16.41
1 2 2 1 1 2 2	18.50	18.58	19.41	19.47
1 2 2 2 2 1 1	16.06	16.13	17.06	17.11
2 1 2 1 2 1 2	16.76	16.76	17.49	17.70
2 1 2 2 1 2 1	18.47	18.57	19.33	19.70
2 2 1 1 2 2 1	15.75	15.82	16.82	16.92
2 2 1 2 1 1 2	17.87	18.22	18.99	19.05

Optimal combination of design parameter : 1 2 ① 2 ② 2 => min. load : 16.48kN

하여 설계목적에 가장 잘 부합하는 효과적인 설계변수의 조합을 획득할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발하여 가전 제품의 박판부품의 디프드로잉공정에 적용하여 그 실용성을 알아보았다. 각각의 설계변수들이 최소 성형하중에 미치는 영향을 개별적으로 구분할 수는 없지만 설계자가 제시한 설계변수들의 값중에서 가장 적합한 값을 유추해 낼 수는 있기 때문에 유용한 해석이라고 사료된다. 향후에는 다단계 디프드로잉공정등으로 대량공정을 확장하고 다구찌방법의 허용차 설계를 도입하여 강건한 변수 설계 기능을 강화하여 뒤틀림, 스포링백 등의 예측을 정확히 할 수 있는 모듈을 설계할 필요가 있다.

참고 문헌

1. Tah, J. H. M. and Price, A. D. F., "Internative Computer-Aided Formwork Design".

- Computers & Structures, Vol. 41, No. 6, pp. 1157-1167, 1991.
2. 최형우, 이승구, "효율적인 제품 개발을 위한 설계 자동화 기법", 대한 기계학회지, 제34권, 제7호, pp. 527-538, 1994.
  3. 이병채, 이규봉, 조성욱, "범용 유한요소해석 CAE 시스템의 개발", 금형저널, 통권117호, pp. 144-148, 1994.
  4. 이종원, 김추호, "다구찌 방법을 이용한 컴퓨터 원용 강건설계 기법의 개발", 대한기계학회논문집, 제18권, 제2호, pp. 278-291, 1994.
  5. 염봉진, 서순근, 변재형, "실협계획 및 분석 : 다구찌 방법과 직교배열의 활용", 한국과학기술원 산학협동강좌, 1993.
  6. Yang, D. Y. and Kim, Y. J., "A Rigid-Plastic Finite Element Formulation for the Analysis of General Deformation of Planar Anisotropic Sheet Metals and Its Applications", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No. 12, pp. 825-840, 1986.
  7. 이낙규, 윤정호, 양동열, "강소성 유한요소법을 이용한 냉간단조 금형 및 가공 공정 해석", 대한기계학회논문집, 제 13권, 제 6호, pp. 1070-1081, 1989.
  8. Sebern, M. J., "Building OSF/Motlf Application : Practical Introduction", Prentice-Hall, New Jersey, 1994.
  9. Young, D. A., "The X Window System Programming and Applications with Xt OSF/Motif Edition", Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
  10. Stevens, A., "C Database Development", 성안당역, 1994.
  11. Shoumel, W., "A Conception of Module Library and Data Base Management System for Finite Element Analysis", Computers & Structures, Vol. 32, No. 5, pp. 1073-1083, 1989.
  12. Eary, D. F. and Reed, E. A., "Techniques of Pressworking Sheet Metal - An Engineering Approach to Die Design", Prentice-Hall, New Jersey, 1974.
  13. ASM Handbook Committee, "Metals Handbook : Forging and Casting", ASM, Vol. 5, Metals Park, Ohio, 1970.
  14. Eshel, G., Barash, M. and Johnson, W., "Rule-Based Modelling for Planning Axisymmetric Deep-Drawing", J. Mech. Working Tech., Vol. 14, pp. 1-115, 1986.