

다구찌 방법을 이용한 다발압출 금형설계에 관한 연구

조성진*(인하대 대학원 자동화공학과), 이재원(인하대 기계공학부)

A Study on the Die Set Design for Multi-Hole Extrusion Process Using Taguchi Method

S. J. Cho (Automation Eng. Dept. Graduate School, Inha Univ.), J. W. Lee (School Of Mechanical Eng., Inha Univ.)

ABSTRACT

This paper deals with a study on the development of multi-hole extrusion die set using Taguchi method. We design the Taguchi experiment using the knowledge acquired from domain experts and related documents. Attribute characteristic is employed to estimate defects, the quality characteristic that cannot be measured on a continuous scale. Cumulative probability distribution is Omega transformed to calculate S/N ratio. Using Taguchi method, we considerably improved the productivity of multi-hole extrusion process, as well as we showed the usefulness of Taguchi method in plastic deformation process design.

Key Words : Taguchi method(다구찌 방법), Extrusion(압출), Die set(금형), Welding electrode(용접봉)

1. 서론

소성가공은 금속재료의 비 절삭가공 중 대표적인 것으로, 높은 생산성과 균일한 품질을 얻을 수 있어 많이 사용되는 방법이다. 그러나 소성가공은 변형의 결과를 예측하기 어렵기 때문에 가공에 사용되는 금형을 비롯한 공정의 설계가 가장 어려운 재료가공방법 중 하나이다. 공학자들은 소성가공의 효과적인 공정설계를 위해 다양한 방법을 시도해 왔다. 그 중 대표적인 것이 유한요소해석을 이용한 소성변형의 예측이다. Iwata⁽¹⁾이나 Wang⁽²⁾의 연구가 그 예가 되겠다. 조성진⁽³⁾이나 박상봉⁽⁴⁾ 등은 소성가공의 공정설계에 전문가시스템 기술을 이용하였다. 유한요소해석과 전문가시스템은 소성가공의 공정설계에 나름대로 기여했다고 할 수 있다. 그러나 이 방법 들은 설비구입이나 시스템 개발에 비용이 많이 들며 결과 또한 실제와는 차이가 나는 단점을 가지고 있다. 자급력이나 기술력이 충분치 못한 국내 중소기업의 경우 대부분 현장 전문가의 경험과 감각을 바탕으로 시행착오를 통한 실험을 반복함으로써 공정변수를 결정하는 방법을 쓰고 있다. 그러나 최적화가 아닌 최저품질을 넘어서는데 급급한 수준이 대부분이며 납기 내에 원하는 품질에 도달

하지 못하는 경우도 종종 일어난다. 다구찌 방법은 연구개발 능력이 열악한 중소기업의 상황에 맞는 공정설계 도구로 훌륭한 대안이 될 수 있다. 김동환⁽⁵⁾과 김영석⁽⁶⁾ 등은 소성가공의 공정설계에 다구찌 방법을 적용할 수 있음을 보여주었다. 본 연구에서는 다구찌 방법을 이용하여 용접봉 생산을 위한 다발압출 금형을 설계하였다.

2. 이론적 배경

2.1 다구찌 방법

공학적인 설계는 흔히 인자라 불리는 다수의 설계변수를 정의하고, 최적의 값을 결정하는 행위로 볼 수 있다. 이러한 값들을 결정하기 위해서 여러 가지 이론과 수식, 경험적인 지식 등이 사용되며, 실제 혹은 컴퓨터모사(simulation)에 의한 실험도 널리 이용된다. 통상적인 실험은 시행착오에 근거하여 보통 한번에 한 개의 변수의 최적화를 고려하기 때문에 설계를 완성하기 위해서 많은 시간과 비용을 필요로 하며, 종종 최적화에 실패한다. 결과적으로 생산자는 소비자에게 불완전한 제품을 비싸게 공급할 수 밖에 없고, 경쟁력을 잃게 된다. 흔히 '강건설계'라고 불리는 다구찌 방법은 체계적이고

효율적인 최적화 방법으로 적은 실험횟수로 여러 개의 설계변수를 연구할 수 있다. 다구찌 방법에서는 직교배열(orthogonal array)이라는 수학적 방법과 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, S/N ratio)라는 새로운 품질평가 개념을 이용하여 다양한 사용환경에서 원하는 품질을 유지할 수 있는 제품이나 생산공정을 설계할 수 있다. 다구찌 방법이 1980년대 이후 미국으로 전파되면서 유수의 기업들이 이 방법을 이용 괄목할만한 성과를 이루었으며, 다구찌 방법은 전 세계적으로 가장 유용한 품질도구 중 하나로 널리 사용되어 오고 있다⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾.

다구찌 방법의 수행절차는 학자들에 따라 약간의 차이가 있다. 본 연구에서는 Phadke 가 제안한 다음의 절차에 따라 실험을 수행하였다.

실험설계

- 주요기능, 부작용, 기능상실의 유형 정리
- 잡음인자와 시험조건 결정
- 품질특성과 목적함수의 결정
- 제어인자와 그 수준의 결정
- 행렬실험의 설계와 결과분석과정의 결정

실험수행

- 실험 및 결과측정

실험결과 분석

- 최적조건의 결정과 결과추정
- 확인실험의 수행 및 다음 조치 계획

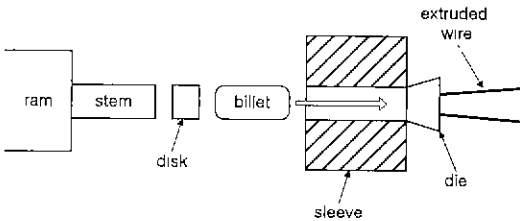


Fig. 1 Multi-hole extrusion process

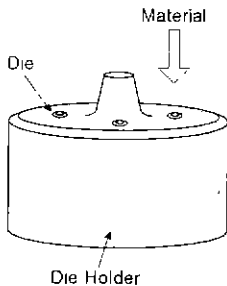


Fig. 2 Multi-hole extrusion die set

2.2 다발압출 가공

압출은 열간 가공의 하나로 Fig. 1 과 같이 재료를 금형 속에서 압축하여 구멍을 통하여 재료가 빠져 나오게 함으로써 원하는 형태로 만드는 가공법이다. 압출가공의 공정설계는 크게 압출금형(Fig. 2)의 설계와 공정변수(빌렛온도, 압출속도 등)의 결정으로 나눌 수 있다⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾. 본 연구에서는 금형설계 부분을 다루고 있다.

3. 다발압출금형 설계를 위한 다구찌 실험

3.1 다구찌 실험설계

본 절에서는 2.1 절에서 소개한 다구찌 방법의 수행절차에 따른 실험설계를 기술하였다. 실험설계에 이용된 지식은 인천소재 S 중소기업의 현장전문가와와의 인터뷰와 관련 문헌⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾을 통하여 획득하였다.

3.1.1 주요기능, 부작용, 기능상실의 유형정리

용접봉 압출 공정의 주요기능은 연속압출이 가능해야 한다는 것이다. 다발압출공정에서 한 빌렛의 재료가 거의 다 압출되면 다른 빌렛을 장입하여 압출공정을 계속 진행한다. 이때 압출된 와이어(wire)가 끊기지 않아야 한다(Fig.1 참조). 또한 압출된 와이어는 2 차로 인발(drawing) 가공을 거치게 되는데 이를 위한 적절한 인장강도 및 전단강도를 유지해야 한다.

부작용 및 기능상실로는 압출제품 내, 외부의 결함이나 불순물포함, 2 차 인발 시 끊어지는 현상 등을 들 수 있다.

3.1.2 잡음인자와 시험조건 결정

여러 가지 잡음인자가 있지만 그 중 슬리브(sleeve) 온도와 가열된 빌렛이 공기 중에 노출되는 시간을 주된 잡음인자로 선정하였다.

시험조건으로 1 실험 당 490 °C 로 가열된 20 개의 빌렛을 장입하며, 슬리브 온도는 450 °C 로, 와이어 속도는 14 m/min 으로 설정하였다.

3.1.3 품질특성과 목적함수의 결정

품질특성으로는 용접봉의 가장 중요한 특성이라 할 수 있는 내, 외부의 결함을 선택하였다. 결함의 정도를 정량적으로 측정할 방법이 없어 이를 순차적 범주형문제로 보아 양, 보통, 불량 3 등급을 나누었으며, 현장전문가가 육안으로 등급을 판단하도록 하였다⁽⁹⁾.

목적함수로는 누적범주에 의한 확률분포를 사용하였다.

3.1.4 제어인자와 그 수준

현장 전문가와의 인터뷰와 관련문헌을 참고로 Table 1 과 같이 제어인자와 그 수준을 결정하였다. 단위는 밀리미터(mm)와 도(degree)이며, 밑 줄은 기준 수준을 나타낸다. 각 인자들은 압출 다이 각 부분의 치수이며, Fig. 3 에 도시 된 바와 같다.

Table 1 Control factors on multi-hole extrusion

기호	인자	의미	수준		
			1	2	3
A	R_c	콘(Cone) 필렛반경	0	<u>3</u>	
B	S	다이중심-다이홀더 중심 거리	22	<u>24</u>	26
C	R	다이 어깨 반경	1	<u>1.5</u>	2
D	L	랜드(land) 길이	0.5	<u>1</u>	1.5
E	θ	콘 기울기	65	<u>70</u>	75
F	ϕ_c	콘 하단직경	16	<u>20</u>	22

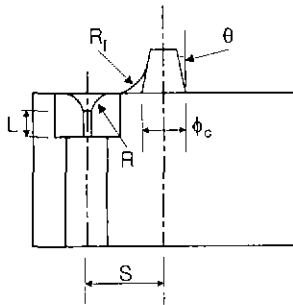


Fig. 3 Control factors depicted in die set

3.1.5 행렬실험의 설계

Table 1 과 같이 추출된 제어인자의 개수와 수준 수를 고려해볼 때, 교호작용을 고려하지 않은 자유도는 12 이다. 본 연구에서는 다구찌가 제안한 표준직교배열 중 여기에 가장 적합한 L_{18} 직교배열을 사용하였다.

3.2 실험 및 결과측정

현장 전문가와의 협의를 통해 압출된 와이어에서 빌렛과 빌렛이 이어지는 이음매 부분 중 5 번째를 기준으로 앞뒤로 $L/2$ (L 은 한 개의 빌렛을 압출한 와이어의 길이) 만큼 잘라낸 총 길이 L 의 구간을 측정대상으로 하였다. 한 다이에서 압출되는 6 가닥의 와이어에서 해당부분을 모두 모아 4 등분 하여 양, 보통, 불량량을 판정하여 각각의 횟수를 기록하였다.

3.3 결과분석 및 확인실험

측정된 각 인자별 양, 보통, 불량량의 관측 수를 누적하여 확률분포로 나타내면 Fig. 4 와 같다. 예를 들어, 인자 B 의 경우 1 수준일 때 양호가 관찰될 확률이 0.72 이고 보통이상 관찰될 확률이 0.92 로 나타났다. 2 수준일 때 양호가 관찰될 확률이 0.24 이고 보통이상 관찰될 확률은 0.82 로 나타났는데 이는 1 수준이 2 수준보다 더 좋은 품질이 관측될 확률이 높아 더 좋은 수준임을 나타낸다.

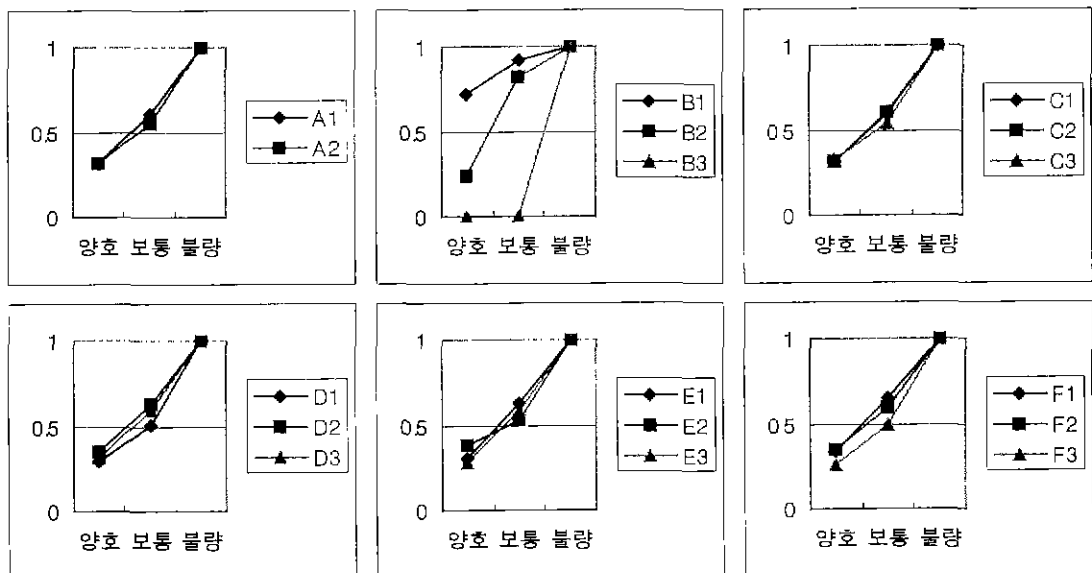


Fig. 4 Result analysis using cumulative probability distribution

또한, 여기서 수준에 따라 그래프가 큰 차이를 보이는 인자는 품질에 영향을 많이 주는 인자임을 나타낸다. 누적확률분포를 관찰하여 각 인자의 최적수준을 판별한 결과 최적인자 조합은 $A_1B_1D_2F_1$ 이 된다. C와 E는 품질에 미치는 영향이 미약하기 때문에 비용이 적게 드는 쪽을 선택하면 된다.

이제 최적조건에서의 품질을 추정하기 위해 양호와 보통이 관찰될 확률을 오메가 변환(Omega 혹은 logit 변환)과 역 오메가 변환을 이용하여 계산하면 Fig. 5와 같은 결과가 나온다. 오메가 변환은 불량률형 문제에서 S/N 비와 같다⁹⁾. 결과를 살펴보면 최적조건에서는 양호이상이가 관찰될 확률이 0.75로 기존의 0.33에 비해 높고, 보통이상이가 관찰될 확률도 0.95로 높아 획기적으로 품질이 개선되었음을 보여준다. 이는 확인실험을 통해서도 거의 근사하게 맞아 떨어지고 있는데, 이는 최적조건의 추정이 타당했음을 보여준다.

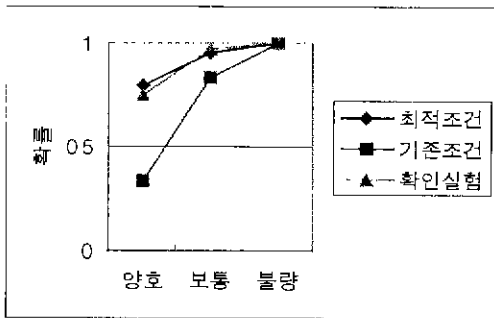


Fig 5 Best combination of control factor levels

4. 결론

본 연구에서는 용접봉 생산을 위한 다발압출공정의 설계에 다구찌 방법을 적용하였다. 본 연구를 통하여 다발압출공정의 품질과 생산성을 크게 개선함과 더불어, 소성가공의 공정설계를 위해 지금까지 시도된 여러 방법 중 다구찌 방법이 중소기업의 실정에 맞는 경제적이고 효과적인 도구임을 확인할 수 있었다.

다구찌 방법이 중소기업의 기술향상에 유용한 도구임에도 불구하고 국내 중소기업에 그 보급이 아직 충분히 이루어지지 못한 것은 매우 안타까운 일이다. 본 연구를 진행하면서 현장전문가와 토의를 통해 관계기관과 교육기관, 산업체가 다구찌 방법의 활성화에 공동으로 노력해야 한다는데 의견을 같이 하였다.

향후 미세조정실험과 압출조건을 포함한 다구찌

실험을 통해 다발압출공정의 생산성과 품질을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Iwata, N., M. Masao, and G. Manabu, "Finite-Element Simulation of Deformation and Breakage in Sheet Metal Forming," JSME International Journal Series A, Vol. 38, No.2, pp.289~295, 1995.
2. Wang, X.W. and X.H. Zhu, "Numerical simulation of deep-drawing process," Journal of Material Processing Technology Vol 48, No. 1-4, pp.123~127, 1995.
3. 조성진, 이재원, "Deep Drawing 공정설계 전문가시스템 DOX 의 개발에 관한 연구," 한국전문가시스템학회지, Vol. 2, No. 2, pp.55-68, 1996.
4. 박상봉, "전자총 전극 가공전용 프로그래시브 금형설계 전문가시스템," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 4, No. 1, pp.69-77, 1999.
5. 김동환, 김동진, 고대철, 김병민, 최재찬, "가공성을 고려한 단단계 금속성형공정의 예비성형체 설계방법 : 다구찌 방법을 이용한 신경망의 적용," 대한기계학회논문집, Vol. 22, No. 9, pp.1615-1624; 1998.
6. 김영석, 하동호, 한수식, "다구찌 직교배열을 이용한 평면변형률 장출실험용 금형의 최적설계," 대한기계학회논문집: Transactions of the Korean Society Mechanical Engineers, Vol. 21, No. 12A, pp.2073-2080, 1997.
7. Fowlkes, W. Y. and C. M. Creveling, Engineering Methods for Robust Product Design: Using Taguchi Methods in Technology and Product Development, Addison-Wesley, 1995.
8. Peace, G. S., Taguchi Methods: A Hand-On Approach, Addison-Wesley, 1993.
9. Phadke, M. S., Quality Engineering using Robust Design, Prentice Hall, 1989.
10. Ulysse, P. and R. E. Johnson, "A study of the effect of the process variables in unsymmetrical single-hole and multi-hole extrusion processes," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 73, Issues 1-3, pp. 213-225, 1998.
11. 강명순, 손명환, 기계공작법, 문운당, pp.208-218, 1997.
12. 김낙수, 임용택, 진종택, 공업재료가공학, 반도출판사, pp.314-324, 1995.