

강판의 드릴가공에 대한 절삭력 해석방법에 관한 연구

김민호*, 신형곤(전북대 대학원 정밀기계공학과), 김태영(전북대 정밀기계공학과)

A Study on a Way of Cutting Force Analysis in Drilling a Steel Sheet

M. H. Kim, H. G. Shin(Prec. Mech. Eng. Dept., CBNU), T. Y. Kim(Prec. Mech. Dept., CBNU)

ABSTRACT

The machinability of material was evaluated using high speed steel drill on hot-rolled high strength steel. Cutting resistance and tool wear were investigated by drilling experimentation. When the steel-board specimens were drilled in industrial condition, the relationship between average of thrust and cutting resistance was random because of slip of chuck and strain of workpiece.

The primary objective of this study is to develop the strategy of analysis that can detect drilling states in industrial condition and such strategy is programmed with visual C++.

The developed program can analyze thrust of initial rising zone. The result is obtained that thrust of rising zone is closely related to tool wear in despite of industrial condition.

Key Words : Hot-Rolled High Strength Steel(열연강판), Drill(드릴), tool wear(공구마멸), Cutting force (절삭력)

1. 서론

드릴링 가공은 일반 기계가공 및 자동차 생산 과정에서 중요한 작업의 하나로 전체 절삭가공의 25%를 차지하는 것으로 알려져 있다.

이러한 드릴 가공에 대한 연구를 살펴보면, Galloway는 드릴성능에 있어서 그 형상과 Relief Angle, Point Angle등이 절삭성에 미치는 영향을 연구하였고,¹⁾ Shaw와 Oxford는 드릴 Torque와 Thrust에 대한 일반식을 유도하였다.²⁾ 또한, Cutting Edge와 Chisel Edge에 의한 칩 형상에 대해서도 연구하였다.³⁾

그리고, 드릴 가공 시 절삭조건에 영향을 미치는 인자에 관한 연구는 Taylor가 12가지의 인자를 발표한 이래 많은 연구가 진행되어 왔고, 그 결과 절삭속도, 이송속도, 드릴직경, 가공물의 경도의 4가지가 가장 중요한 인자임이 확인되었다.⁴⁾

일반적으로 드릴가공에 대해 연구한 논문을 보면 공구 마모량과 절삭력과의 관계에 있어서 마모량이 증가하면 평균절삭력 또한 증가한다고 발표하고 있다. 이러한 연구들의 경우 실험의 재연성을 위해 공구마모량 외에 절삭력에 영향을 줄 수 있는 조건들을 최소화하고 동일한 조건하에서 이루어진 실험들

이다.

이러한 연구를 산업현장에 적용하기에는 절삭력에 영향을 줄 수 있는 많은 요인들이 작업현장에 상존하고 있어 어려움이 따른다. 본 연구에서는 강판이라는 특성과 산업현장 조건에 가까운 조건으로 가공시 공구마모량과 트러스트의 관계를 알아보고, 이러한 경우 일반적인 트러스트 값의 평균으로 마모량을 예측할 수 있는지 판단하여 본다. 또한 공구마모량의 변화에 좀 더 밀접한 절삭력 분석방법을 강구해 보고 이를 실현할 수 있는 프로그램을 제작하여 보고 실제 데이터를 분석해 보기로 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편 및 사용공구

본 실험에 사용한 실험재료는 광양제철에서 자동차용 고강도 열연강판으로 국내엔 처음으로 선보인 ATOS80이며, 그 각각의 화학적 성분 및 기계적 인 성질은 Table 1 및 Table 2에 나타내었다.

시험편은 ATOS80판재를 각각 200×130×7mm이 되도록 만들어 실험하였다.

그리고, 실험에 사용한 드릴은 9ψ×92×121×118° 인 고속도강 드릴로 실험하였다.

Table 1. Chemical compositions of workpiece(wt.%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Mo
ATOS80	0.10	0.15	2.00	0.020	0.005	○	○	○

Table 2. Mechanical properties of workpiece

Material	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
ATOS80	65	80	14	215

2.2 실험방법

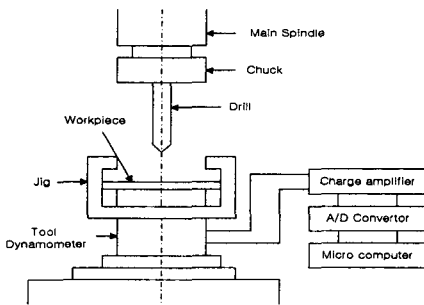


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험에 사용한 공작기계는 화천기계의 CNC M/C (HNC-150)이다. 주축에 드릴을 고정시켰으며, 시험편 설치에 테이블에 공구 동력계를 체결하고, 그 위에 시험편을 고정시킨 Jig를 부착하여 드릴 가공하였다. 드릴 가공시 발생하는 절삭저항의 토오크와 트러스트의 측정은 압전형 공구동력계(Kistler사, 9271A)를 사용하였으며, 공구 동력계로부터 미소전류를 증폭하기 위하여 차지 앰플리파이어(Kistler사, 5017A)를 사용하였다. 앰플리파이어에서 증폭된 아날로그 신호는 A/D Converter를 통해 얻어진 정량화된 데이터의 결과로 변환하여, Computer에서 분석하였다.

실험 조건은 회전수 500RPM에서 이송속도를 $f=0.08, 0.10, 0.15, 0.20\text{mm/rev}$ 로 가공하였다. 가공시 과도한 절삭저항에 의해 드릴과 칩 사이에 미끌림이 발생할 수도 있는 Jacobs 칩을 이용하였고, 절삭저항에 의해 강판의 변형을 막기 위한 받침대를 설치하지 않고 작업하는 산업현장 조건으로 실험하였다. 드릴 가공할 때의 이송속도는 첫 번째 실험과 동일한 조건으로 하고, 두 실험 모두 가공형태는 처음 5개까지는 1회씩 가공하고, 그 후 20개까지는 5회 연속으로 관통가공 하였고, 절삭유는 사용하지 않았다.

하나의 시험편에 20개의 구멍을 뚫었으며, 각각의 구멍은 시험편 중심에서 20mm씩 균등 분할하여 그 위치를 정하였다. 드릴의 마멸량 측정은 구멍을 2~5개 가공 한 후 공구현미경(Mitutoyo, TM101)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

두께 8mm의 ATOS80 강판을 지름 9mm의 고속 도강드릴로 스피들 회전수를 500RPM으로 일정하게 하고 feed를 0.2mm/rev로 하여 드릴링하여 트러스트의 평균값과 공구 마모량과의 관계가 Fig. 2에서와 같이 나타났다.

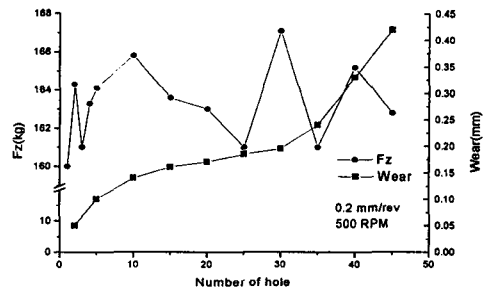


Fig. 2 Average of thrust, wear versus hole number at 500RPM, 0.2mm/rev

3.2 강판의 드릴링시 절삭력에 영향을 미치는 인자

강판의 경우 그리고 산업현장 조건을 적용한 드릴링시 공구마모의 진행에 따라 절삭력이 증가한다는 일반적인 이론은 본 실험 결과에서는 어긋나고 있음을 Fig. 2에서 볼 수 있다.

이러한 결과를 초래한 원인으로 가정해 볼 수 있는 것은 크게 두가지로 생각해 볼 수 있다.

첫째, 드릴을 고정하는 드릴 척에서 드릴링시 드릴이 미끄러지는 현상이 발생하여 그 순간 절삭력이 저하하게 된다. 이러한 현상은 드릴직경 10mm 이하의 경우에 공구와 홀더의 특징 때문인데 드릴의 shank부가 straight shank로서 이에 맞는 Jacobs 칩을 쓰기 때문이다. 이를 방지하기 위해 드릴과 칩이 전혀 미끄러지지 않게 하면 과도한 절삭저항이 발생시 드릴이 칩에서 미끄러지지 못하고 드릴이 파손되어 파손된 드릴날이 가공제품에 박히게 된다. 이런 경우 가공품을 버리거나 후처리를 하는데 시간적, 경제적 손실이 클 수 밖에 없다. 따라서 드릴과 칩 사이의 미끄러짐은 어느 정도 허용되어야 한다.

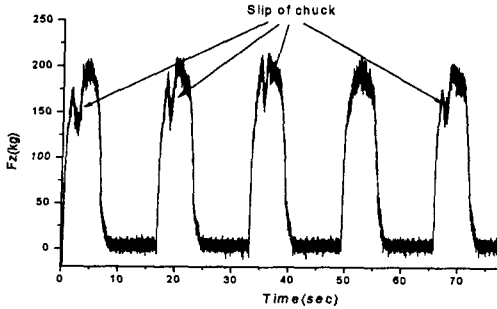


Fig. 3 Slip of chuck

두 번째, 강판의 드릴링시 강판이 트러스트에 의해 미세한 변형을 일으키기 때문인 것으로 보인다. 정밀가공이 아닌 대부분의 산업현장의 드릴링에서는 트러스트에 의한 공작물의 변형을 방지하기 위해 공작물을 지지할 수 있는 받침대 등을 쓰지 않고 작업을 한다. 이런 조건으로 실험시 공구의 마모에 따른 트러스트의 증가가 두드러게 나타나지 않는 원인이 된다.

3.3 드릴 도입부의 절삭력 분석

본 실험에서 강판의 드릴링시 트러스트의 평균값과 공구 마모량과의 상관관계가 미미하므로 본 논문에서는 공구마모량의 변화에 밀접한 새로운 절삭력 분석 방법을 모색하였다.

Fig. 3에서와 같이 1회의 드릴링 작업중 발생하는 트러스트는 초기진입시 증가하여 일정한 안정적 트러스트를 보이다 드릴날이 강판을 완전히 뚫을 때까지 하강하는 모양을 하고 있다. 여기에서 평균절삭력에 영향을 주는 공구와 칩의 미끌림 현상은 Fig. 3에서처럼 대부분 공구의 원추부가 전부 절삭작용을 시작하여 절삭력이 최고조의 안정구간에 도달하기 직전에 발생한다. 또 공작물의 변형이 가장 많이 일어나는 부분은 절삭력이 최고조에 도달하여 일정한 절삭력을 발생하는 부분일 것이다.

이러한 두가지의 영향을 가장 적게 받는 시기가 절삭이 시작되어 절삭력이 상승하는 부분일 것이라는 가정하에서 공구마모와 초기 트러스트 상승부의 관계를 연구해 보기로 하였다.

3.3.1 트러스트 상승부에서 일정 트러스트까지의 도달 시간차에 의한 분석

Fig. 4는 1회의 드릴링시 발생하는 트러스트를 도식화한 것이다. 드릴링에 의한 트러스트의 발생을 크게 세부분으로 나누고, 트러스트의 초기 상승부에서 초기값(RisingLowFz)과 상승말기값(RisingHighFz)을 정하고 초기값에서 상승말기값까지 도달하는데 걸리는 시간차를 알아내는 알고리즘을 C++로 개발하였다.

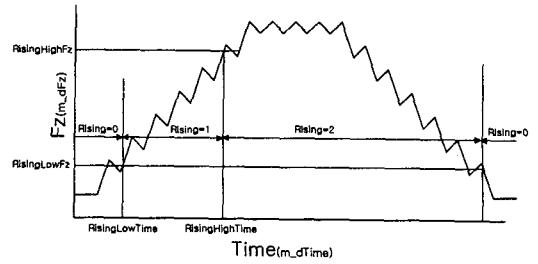


Fig. 4 Algorithm of rising thrust analysis

초기값(RisingLowFz)은 절삭작용이 일어나지 않는 상태의 잡음을 배제할 수 있는 10kg정도로 잡았고 상승말기값(RisingHighFz)은 공구와 칩의 미끄럼 현상이 발생하는 부분을 배제할 수 있는 첫 번째 드릴링에서 발생한 절삭력 최고조 부분의 약 80%값으로 설정하였다.

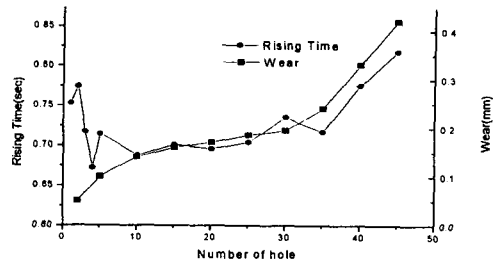


Fig. 5 Relation between wear and rising time at 500RPM, 0.2mm/rev

Fig. 5는 개발된 프로그램으로 500RPM에서 feed 0.2mm/rev에 대한 가공횟수에 따른 마모량과 트러스트 상승시간차를 보여 주고 있다. 이 그래프에서 가공시간에 따른 rising time의 전체적인 모양을 보면 초기에는 급속히 감소하였다가 안정된 구간을 거쳐 공구마모가 급속히 증가되는 부분에서 rising time도 급속히 증가하는 형태를 하고 있다.

3.3.2 트러스트 상승부에서 일정시간동안의 트러스트 평균에 의한 분석

드릴링 초기 진입부에서 일정 트러스트까지 도달하는 시간차에 의한 분석에서는 상승말기의 트러스트 값을 결정하기 위해 트러스트 해석식들을 써서 그 값을 예측해야 하나 정확하지 않아 실제 첫 번째 드릴링 작업을 하여 획득한 절삭력을 보고 결정해야 하는 단점이 있다. 이를 해결하기 할 수 있는 또 다른 분석방법으로 드릴링 초기 진입부에서 일정시간동안 획득한 트러스트의 평균절삭력을 구할 수 있는 프로그램을 개발해 보았다.

먼저 드릴 가공시 치질이 공작물에 닿기 시작하여 Lip height만큼 가공되는 시간을 구하는 식은 다

음과 같다.

$$H_l = \frac{d}{2} \tan(\alpha/2) \quad (1)$$

$$T_L = \frac{H_l}{f \times n} \times 60 \quad (2)$$

H_l : Lip height d : Diameter of drill

α : Point angle f : feed

n : RPM T_L : Drilling time of lip Height

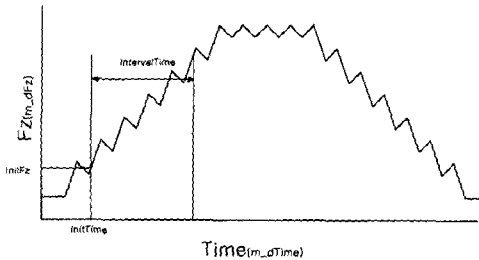


Fig. 6 Algorithm of rising thrust analysis

초기 드릴링에서 트러스트 10kg 이상이 발생하기 시작하는 시간(InitTime)부터 T_L 시간(원추부가 전부 절삭작용을 시작하기까지의 시간)의 80% (Interval Time) 동안 발생한 트러스트의 평균값과 마모량과의 관계를 Fig. 7, 8에 나타내었다.

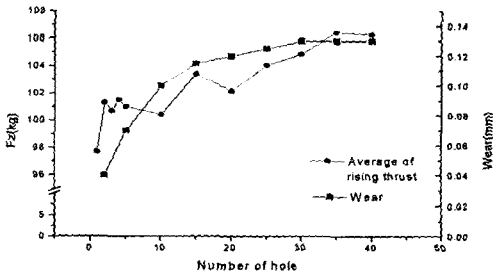


Fig. 7 Relation between wear and average of rising thrust at 500rpm, 0.1mm/rev

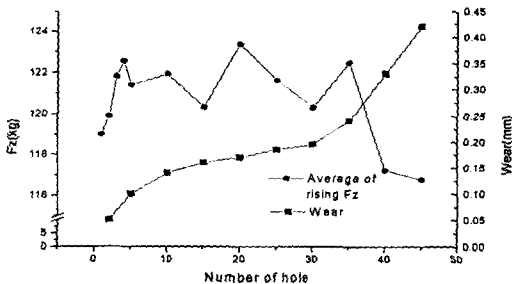


Fig. 8 Relation between wear and average of rising thrust at 500rpm, 0.2mm/rev

Fig. 7, 8을 보면 초기 마모량은 급속히 상승하는 부분에서 트러스트 상승부의 평균절삭력 또한 증가하고 마모의 변화가 미미한 중반부에서는 마모량과 함께 안정되었다가 마모량이 0.2mm 이상이 되어 급속히 마모가 증가하는 부분에서는 오히려 하강하는 모양을 하고 있다.

전체적으로 일정 트러스트에 도달하는 시간차에 의한 그래프의 모양과 정반대 모양을 하고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 ATOS80 강판의 드릴링에서 발생하는 트러스트의 새로운 분석방법을 제안하였다. 이번 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강판의 경우 산업현장의 조건을 적용하여 드릴링을 할 경우 드릴 마모량의 증가에 따른 트러스트 평균값의 상승 현상은 보기 어렵다. 이러한 원인으로서는 트러스트에 의한 강판의 미세한 변형과 드릴링시 공구척과 공구 사이의 미끌림 때문으로 보인다.
2. 드릴링시 트러스트의 상승부에서 같은 절삭력에 도달하는 시간차와 공구 마모사이에는 신뢰할 수 있는 변화양상을 보인다.
3. 드릴링시 트러스트의 상승부에서 같은 초기 트러스트값에서부터 같은 시간동안의 트러스트 평균값과 공구 마모량 사이에도 신뢰할 수 있는 변화양상을 가지고 있다.

참고문헌

1. D. F. Galloway "Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance", Trans, ASME(Feb. 1957) pp. 191-231
2. V. Chandrasekharan, S. G. Kapoor, R. E. DeVor "A Mechanistic Model to Predict the Cutting Force System for Arbitrary Drill Point Geometry", Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1998, pp. 563-570
3. Q. Shen, T. C. Lee, W. S. Lau "Wear characteristics and flank wear model of the main cutting edges in spade drilling of ductile metals", Wear, 1997, pp. 73-80
4. S. A. Jalali and W. J. Kolarik "Tool Life and Machinability Models for Drilling Steel", Int J. Mach. Tools Manufact. Vol 31. pp. 273-282, 1991.