

## Labview 소프트웨어를 활용한 파이프 절단 파워 측정 및 검증

장태호<sup>1</sup> · 김영식<sup>2\*</sup> · 장태수<sup>1</sup> · 류봉조<sup>2</sup><sup>1</sup>한밭대학교 생산융합기술 연구소<sup>2</sup>한밭대학교 기계공학과

## Measurement and verification of pipe cutting power using Labview software

Tae-ho Jang<sup>1</sup> · Youngshik Kim<sup>2\*</sup> · Tae-soo Jang<sup>1</sup> · Bong-Jo Ryu<sup>2</sup><sup>1</sup>Institute for Fusion Technology for Production, Hanbat National University, Daejeon, Korea<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea

### [요약]

절단 파워 예측은 가공 툴 또는 공작기계의 최적 설계를 가능하게 하므로 기술 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 이러한 이유로 정확한 절단파워 예측은 설계과정에서 매우 중요한 부분이다. 본 연구에서는 파이프 절단 파워를 이론적으로 예측하고 실험을 통해 검증한다. 우선, slotting 절단 파워 계산식을 사용하여 파이프의 절단 파워를 예측한다. 다음으로 파이프 절단기로 파이프를 절단하는 실험을 진행하며, 파이프를 절단하는 동안 모터에서 소비하는 파워를 embedded 소프트웨어인 Labview로 측정한다. 그리고 이론으로 계산한 절단파워와 실험으로 측정된 절단파워를 비교하여 정확성을 검증한다. 본 연구에서 사용한 파이프의 재질은 SUS304와 AL6N01이다. 그리고 본 연구에서는 실험을 통해 AL6N01 재질의 specific power 값을 구하였으며 추후 이 재질의 절단 및 절삭파워를 예측하고 최적의 가공기 및 툴을 설계하는데 이 값을 활용할 수 있다.

### [Abstract]

Cutting power estimation can be used to select appropriate actuators in the design process of machine tools. Therefore, accurate estimation of cutting power is an important part of the design process. In this study, pipe cutting power is first calculated theoretically using the slotting cutting power equation and then verified experimentally. In this case, a pipe cutting machine is used to cut two pipes made of different materials. Power consumptions in the motor during pipe cutting are measured by using the embedded software, Labview, and NI hardware. The slotting cutting power equation can thus be confirmed easily comparing theoretically calculated cutting powers with experimentally measured cutting powers. The pipe materials used in this study are SUS304 and AL6N01. The specific cutting power of AL6N01 material is proposed through our cutting experiment. As a result, this cutting power can be used to design machining tools for AL6N01 material.

색인어 : 슬롯 가공, 밀링, 절단 파워, SUS304, AL6N01

Key word : Slotting cutting, Milling, Cutting power, SUS304, AL6N01

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.7.1387>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 21 September 2017; Revised 12 October 2017;

Accepted 25 November 2017

\*Corresponding Author; Youngshik Kim

Tel: +82-042-821-1163

E-mail: youngshik@hanbat.ac.kr

## 1. 서론

정확한 절삭파워 예측은 가공기의 과잉 설계 및 성능 미달을 방지하고 최적 설계를 가능하게 하여 개발 시간과 비용을 절감시킨다. 그러므로 설계자에게 가공 공정에서의 정확한 절삭파워 예측은 매우 중요하다[1].

기존에 절삭력을 예측을 위해서 이송 속도의 비선형성, 공구의 형상과 크기에 따른 영향 등 다양한 변수들을 고려한 연구가 수행되었다[1]. 하지만 본 연구에서는 단순하면서 일반적인 절삭 파워를 결정하기 위해 피절삭 재질의 specific power 계수로 부터 절삭파워의 근사치를 예측하는 방식[2][3]을 적용하여 파이프의 절삭파워를 계산하였다. 그리고 실제 실험을 통해 결과를 검증하고 새로운 재질의 specific power를 결정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 파이프 절단파워 계산 이론과 실험 과정을 소개한다. 3절에서는 실험 결과를 설명하며 4절에서는 본 연구의 결론을 논한다.

## II. 본론

### 2-1 절삭 파워 계산 이론

본 연구에서 고려하는 파이프 절단 작업은 그림 1과 같이 절단날이 파이프 둘레를 선회하며 파이프를 절단하는 작업이다. 그림 1에서 n은 절단날의 회전 rpm이며 f는 feed rate(mm/min)이다.

그림 1처럼 절단날이 피절삭물에 홈을 내며 절삭하는 방식을 slotting 절단 작업이라 하며 피절삭물의 specific power 값을 사용하여 slotting 절단의 소비 파워를 계산할 수 있다. specific power 값을 사용한 slotting 절단 파워 계산식은 다음과 같다[4].

$$P = \frac{K_s Q}{60} \quad (1)$$

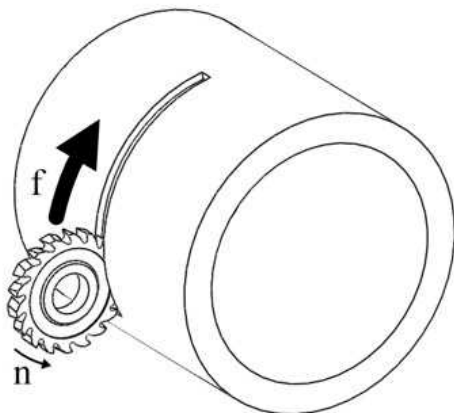


그림 1. 파이프 절단 작업 (슬롯 가공)  
Fig. 1. Pipe cutting (slotting cutting)

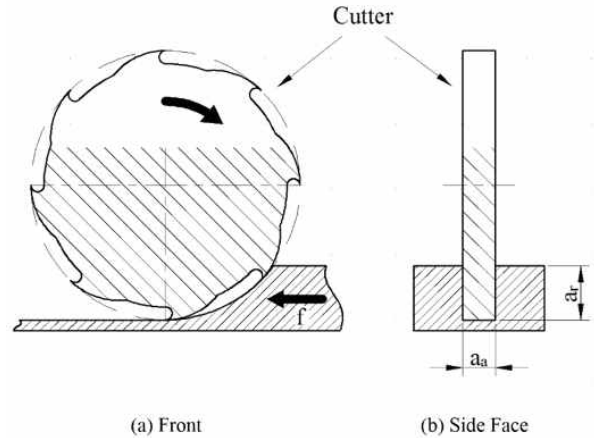


그림 2. 절단 가공의 기하학 구조  
Fig. 2. Geometry of cutting operation

식 1에서 P는 slotting 절단의 소비 파워이며 단위는 와트(W)이다.  $K_s$ 는 피절삭 재질의 specific power이며 단위는  $Wsec/cm^3$ 이다. Q는 평균 재질 절삭률(mean metal removal rate)이며 단위는  $cm^3/min$ 이다. Q는 식 2와 같다.

$$Q = 0.001 a_r a_a f \quad (2)$$

식 2에서  $a_r$ 과  $a_a$ 는 각각 절단날의 반경방향 절삭 깊이, 축방향의 절삭 깊이이며 단위는 mm이다. f는 feed rate이며 단위는 mm/min이다(그림 1 참고). 식 2의 계수들을 그림 2에서 확인할 수 있다.

### 2-2 파이프 절삭 파워 측정 실험

본 연구에서는 두 가지 재질 즉, SUS304 파이프와 AL6N01 파이프의 절삭파워를 이론적으로 계산하고 실험을 통해 검증한다. 표 1은 본 연구에서 사용한 피절삭용 파이프들의 사양을 보여준다. 각 파이프의 재질인 SUS304와 AL6N01의 specific power는 각각  $4095.503 Wsec/cm^3$ ,  $819.101 Wsec/cm^3$ 이다. 여기서 AL6N01의 specific power 값은 기존에 정의된 값을 찾지 못하여 일반 알루미늄 재질의 specific power 값을 대신 사용하였다[5].

우선, 각 파이프의 절단파워를 식 1과 식 2를 사용하여 계산한다. 식 2에서  $a_r$ 은 파이프의 두께 값을 사용하며  $a_a$ 는 절단날의 두께 즉 2 mm로 계산한다. Feed rate f는 실험의 편의를 위해 400 mm/min으로 설정하였다. 식 1에서  $K_s$ 는 표 1에 나와있는 specific power 를 사용하였다. 계산된 각 파이프의 절단파워는 표 2와 같다.

다음으로 파이프의 절단 파워를 실험으로 측정한다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 피절삭용 파이프들이며 그림 4는 파이프의 절삭파워를 측정하기 위해 셋팅한 실험 환경이다.

절단 실험에 사용한 모터는 BLDC 모터이며 사양은 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 모터의 감속비가 비교적 크기 때문에 모터의 토크가 피절삭물을 절삭하는데 대부분 사용되었다고 가정할 수 있다[6]. 따라서 본 실험에서는 절단날이 파이프를 절단하는 동안 모터의 파워를 측정하여 절단하는데 필요한 파워를 결정하였다. 여기서 모터의 파워는 모터에 인가된 전압과 전류의 곱으로 계산된다. 모터에 인가된 전압은 National Instrument 사의 NI9221 제품을, 전류는 NI9246 제품을 사용하여 측정하였다. 참고로 NI9221은 최대 60V까지 측정이 가능하며 NI9246은 최대 20A까지 측정이 가능하다. 전압과 전류 측정

표 1. 절삭용 파이프들의 사양

Table 1. Properties of selected pipes

Properties	Material	
	SUS304	ALUMINUM
Specific power, $K_s$ (Wsec/cm <sup>3</sup> )	4095.503	819.101
External diameter(m)	φ 0.14	φ 0.14
Thickness (m)	0.005	0.009

표 2. 절단 파워 이론값

Table 2. Theoretically calculated cutting power

Cutting power (W)	Material	
	SUS304	ALUMINUM
	273.036	98.292



(a) SUS304

(b)AL6N01

그림 3. 절단 실험용 파이프

Fig. 3. Pipes for cutting experiment



그림 4. 파이프 절단 실험 환경

Fig. 4. Experiment system

표 3. BLDC 모터 사양

Table 3. BLDC motor specification

Power	1100 W
Maximum RPM	11000
Reduction gear ratio	87.12 : 1
Maximum torque	2.178 Nm

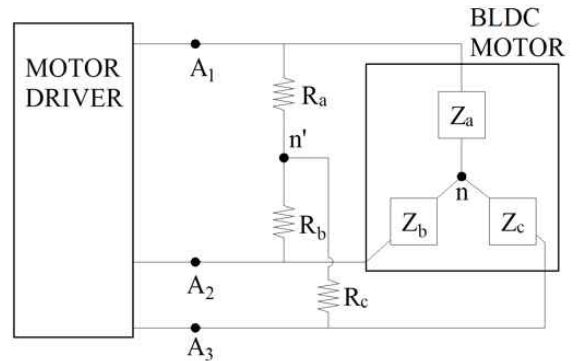


그림 5. 모터 파워 측정용 회로

Fig. 5. Circuit for measuring motor power

및 파워 계산은 NI 사의 embedded software 인 Labview를 사용하여 수행하였다.

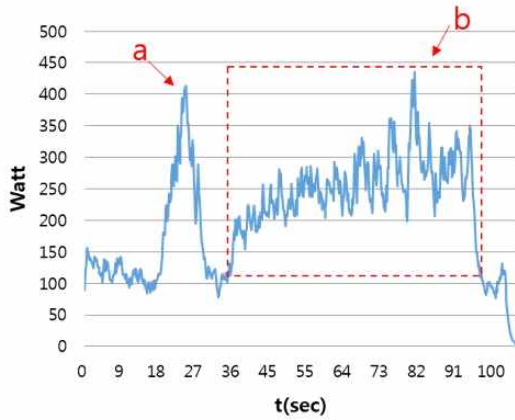
모터 타입이 BLDC모터이므로 모터의 전압과 전류를 측정하기 위해 그림 5와 같은 회로를 사용하였다. 여기서  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ 는 각각 모터 내부의 코일 임피던스이다.  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ 는 각각 저항기이며  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ 위치에서 전류와 전압을 측정하였다. 노드  $n'$ 은 모터의 전압을 측정할 때 GND를 연결한 위치이다. 파이프 절단기는 DCS ENG사의 S-200LT 제품을 사용하였다.

### 2-3 실험 결과

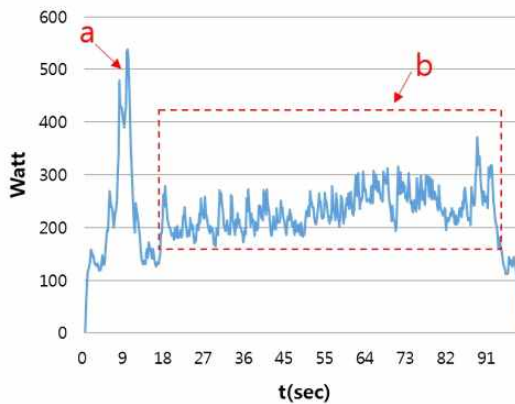
그림 6(a), (b)는 각 파이프의 절단 파워 측정 그래프이다. 위 그래프들에서 a구간은 절단날이 파이프에 삽입되는 부분이며 b구간은 절단날이 파이프 주위를 선회하며 파이프를 절단하는 구간이다. 본 실험에서는 b 구간의 파워값을 평균하여 파이프의 절단 파워를 계산하였다. 절단 실험은 총 3회 반복하였으며 각 회에서 계산된 절단 파워 값이 표 4에 나와있다.

우선, SUS304 파이프의 절단 실험 결과, 표 4에 나와있듯이 3차례 측정된 파워 값의 평균은 254.801 W였다. 이 값은 식 1을 사용하여 구한 이론 값 273.036 W 와 6.679% 차이가 난다.

다음으로 AL6N01 파이프의 절단 파워의 평균은 표 4에서 볼 수 있듯이 233.903 W이다. 이 값은 식 1을 통해 구한 이론 값 98.292 W보다 57.977 % 큰 값이다. 그러므로 일반 알루미늄의 specific power를 사용하여 AL6N01 재질의 절단 파워를 계산하는 것은 부정확함을 알 수 있다. 측정된 절단 파워 233.903 W를 사용하여 AL6N01 재질의 specific power를 역으로 계산한 결과 AL6N01의 specific power는 1949.192 Wsec/cm<sup>3</sup>이다.



(a) SUS304



(b) AL6N01

그림 6. 실험으로 측정된 파이프 절단 파워  
 Fig. 6. Experimentally measured pipe cutting power

표 4. 실험으로 측정된 절단 파워  
 Table 4. Experimentally measured cutting power

	Material	
	SUS304	AL6N01
Test 1	253.417	232.022
Test 2	267.067	234.776
Test 3	243.920	234.912
Average	254.801	233.903

## V. 결 론

본 연구에서는 이론적으로 계산된 절단 파워 값과 실험으로 측정된 파워 값을 비교하여 그 정확성을 검증하였다. 그리고 AL6N01 재료의 specific power 값을 실험을 통해 제시한다.

본 연구에서는 SUS304 재료와 AL6N01 재료의 파이프를 사용하여 실험하였다. 실험 결과, SUS304 파이프의 절단 파워는 이론 값과 실험 값의 오차가 6.679%였으며 AL6N01 파이프의

경우, 이론 값과 실험 값의 오차가 57.977% 로 SUS304 파이프에 비해 이론 값과 실험 값 간의 오차가 컸다. AL6N01의 실험 값을 사용하여 재료의 specific power를 역으로 계산한 결과, AL6N01의 specific power는 1949.192 Wsec/cm<sup>3</sup>였다.

피 절삭 재료의 specific power 값과 평균 재료 절삭률이 주어질 경우 slotting cutting 파워 계산식을 사용한 파이프 절단 파워의 예측 값은 비교적 정확함을 본 연구의 SUS304 실험 결과를 통해 알 수 있었다. 그리고 AN6N01 재료의 specific power 값을 실험을 통해 구하였다. 추후 이 재료의 실제 절단 및 절삭 파워를 예측하고 절삭툴이나 공작기를 설계하는데 이 값을 활용할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] L. Chang-Ho and Y. Min-Yang, "Prediction and Measurement of Cutting Force in Side-Milling," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, vol. 22, pp. 437-446, 6 2013.
- [2] M. J. Donachie, "Titanium: A Technical Guide, 2nd Edition," ed: ASM International, p. 80, 2000.
- [3] E. Isakov, "Cutting Data for Turning of Steel," ed: Industrial Press, pp. 177-186, 2008.
- [4] J. Tlusty, "Manufacturing Processes and Equipment," ed: Prentice Hall, 2000, pp. 377-610
- [5] R. H. Todd, D. K. Allen, and L. Alting, "Manufacturing Processes Reference Guide," ed: Industrial Press, 1994, p. 11.
- [6] N. S. Nise, "Control Systems Engineering," ed: Wiley, p. 73, 2011.

**장태호(Taeho Jang)**



2013년 : 한밭대학교 (학사)  
2015년 : 한밭대학교 (석사)

2015년~현 재: 한밭대학교 생산융합기술연구소

※ 관심분야 : 기계 설계(mechanical design), 모션 제어(motion control), 생체모방로봇(bio-inspired robot), 센서융합(sensor fusion) 등

**김영식(Youngshik Kim)**



2003년 : University of Utah 대학원 (공학석사)  
2008년 : University of Utah 대학원 (공학박사-제어 및 로보틱스)

2008년~2009년: University of Utah

2009년~2009년: 방위사업청

2009년~2011년: DGIST

2011년~현 재: 한밭대학교 기계공학과 교수

※ 관심분야 : 스마트 액추에이터(smart actuator), 모션 제어(motion control), 생체모방로봇(bio-inspired robot), 센서융합(sensor fusion) 등

**장태수(Taesoo Jang)**



2017년 : 한밭대학교 (학사)

2017년~현 재: 한밭대학교 생산융합기술연구소

※ 관심분야 : 스마트 액추에이터(smart actuator), 생체모방로봇(bio-inspired robot) 등

**유봉조(Bong-Jo Ryu)**



1981년 : 연세대학교 기계공학과 (공학사)  
1983년 : 연세대학교 대학원 (공학석사)  
1988년 : 연세대학교 대학원 (공학박사-추력을 받는 구조물의 탄성안정성)

1989년~1989년: 삼성종합기술원

1991년~1992년: 일본 대판부립대학 해외-Post. Doc.

1989년~현 재: 한밭대학교 기계공학과 교수

※ 관심분야 : 구조물 진동해석, 제어, 탄성안정성