

## 중장비 붐을 가공하기 위한 특수 공구의 개발

정황영<sup>a</sup>, 송두상<sup>b</sup>, 홍준희<sup>c\*</sup>

## Development of Special Tool of Boom for Heavy Equipment

Hwang-Young Jeong<sup>a</sup>, Doo-Sang Song<sup>b</sup>, Jun-Hee Hong<sup>c\*</sup><sup>a</sup> Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Daejeon Chungnam National University,  
99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea<sup>b</sup> Dae-Myung Tech., Dae-Myung Tech., 160, Daehwa-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34368, Korea<sup>c</sup> Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam National University,  
99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	17	March	2016
Revised	13	April	2016
Accepted	14	April	2016

## Keywords:

Boom of heavy equipment  
Chip breakers  
Insert tip type  
Inner surface  
Outer surface

## ABSTRACT

The purpose of this study is to develop special tools used to extend the tool life for the boom of heavy equipment. The boom of heavy equipment is manufactured by cutting the inner and outer surface with respect to the assembly site essential. In particular, when cutting the inner surface, entry of the tool is difficult owing to the limited size of the inner diameter and non circular cutting. In addition, the productivity is poor because the use of the cutting tool made of the SKH material. Therefore, it is necessary to develop a special tool for machining heavy equipment boom to extend tool life and to improve productivity. The special tool developed this study has the form of a holder and tip. The tip was created by applying a commercially available tungsten carbide insert.

## 1. 서론

국내외의 급격한 환경변화에 따라 미래를 위한 경쟁력을 확보하기 위하여 기업은 지속적으로 생산성 향상이 중요한 과제로 인식되고 있다. 특히 중장비 관련 산업은 주로 건설현장에서 사용되며 시장 규모는 매년 성장하고 있다. 중장비의 대표적인 굴삭기는 2012년 12만6천65대에서 2013년 13만449대의 등록현황을 기록하면서 2014년 12월 기준으로 전년 대비 약 6%의 성장을 나타냈다<sup>[1]</sup>. 이러한 중장비에서 핀 연결을 하며 유압을 사용하는 장비는 대표적으로 굴삭기와 콘크리트 펌프 카 등이 있다. 굴삭기는 붐(boom), 암(arm), 버킷(bucket), 핀(pin)으로 연결되어 있으며, 유압펌프로

부터 압류를 공급받아 작동되는 유압실린더에 의해 구동되며 다양한 작업을 수행한다<sup>[2]</sup>.

또한 콘크리트 펌프 카는 콘크리트를 운송을 위한 운송 파이프와 이를 지지해주기 위한 붐들이 핀으로 연결되어 유압실린더로 작동하게 된다. 이들 부품을 연결하기 위해서는 핀이 삽입되는 구멍의 정밀 보링 가공과 결합 시 붐 간에 서로 조립되어 마찰이 이루어지는 면에 대한 가공이 매우 중요하다.

중장비의 붐은 매우 크며 무겁고 대부분이 좌우 대칭이며 최초 제관에 의하여 형태가 만들어지므로 정밀 보링을 위하여 주로 보링 머신을 이용한다<sup>[3,4]</sup>.

특히 붐의 조립에 중요한 마찰면을 가공하기 위한 공구는 대부분

\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5642

Fax: +82-42-822-5642

E-mail address: hongjh@cnu.ac.kr (Jun-Hee Hong).

의 현장에서 스틸제종의 일종인 SKH 계열을 연마하여 절삭각과 경사각을 만들어 사용하므로 작업자의 숙련도에 대한 의존도가 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 붐 간에 조립의 마찰면 가공을 위한 특수 공구를 개발하여 현재 사용되는 공구의 문제점을 개선하고자 한다.

## 2. 공구 설계 및 제작

### 2.1 중장비 붐의 소개

Fig. 1과 같이 콘크리트 펌프 카의 붐의 길이는 일반적으로 약 7 m 이상으로 매우 크다. 따라서 제판을 통해 그 형상을 만들며 일반적으로 보링머신을 이용하여 붐 간의 조립 마찰면에 대한 가공을 실시한다<sup>5-7)</sup>.

Fig. 2는 붐과 붐 간의 핀 연결 부위를 Fig. 1의 A-A부분을 단면으로 나타낸 것으로 핀이 삽입되는 홀 직경의 보링 가공과 부품간의 마주하는 외측면 A 및 내측면 B의 면 가공을 필요로 한다. Fig. 3과 Fig. 4는 외측면 A와 내측면 B의 가공을 위해 기존에 사용되고 있는 공구이며 BT50 형태의 아바에 열처리 및 연마된 SKH51 종의 공구강을 조립하여 사용하는 형태이다. 즉, Fig. 5와 같이 내측면 B측의 면삭 가공에 사용되고 있으나 공구의 접촉면이 많아 절삭저항이 증가하여 가공시간의 단축이 불가능하고 열처리된 스틸계열의 공구이므로 수명이 매우 떨어지며 공구의 마모 이후에는 지속적으로 연마하여 사용해야 하므로 공구의 안전재고를 확보해야 하는 부담이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 현 공구의 문제점

을 개선하기 위하여 상용화된 초경 팁을 적용하고 서클링 가공이 불가능한 보링 장비에서도 붐의 조립에 중요한 마찰면 가공이 가능한 공구를 설계 및 적용하고자 하며, 상용화 초경 팁을 적용하여 장착 및 탈착 용이하고 공구의 수명을 연장하며 나아가 가공시간을 단축할 수 있는 공구를 제안하고자 한다.

### 2.2 설계 및 제작

보링머신은 밀링머신의 대표적인 공작기계이나 주축의 오버행이 변화하면서 가공하는 특성을 갖는다. 보링머신으로 면 가공을 할 때 절삭속도가 정해지면 중요한 것은 절삭 폭이라 할 수 있다. 붐 가공에 있어 현장에서는 여러 여건을 고려하여 기존 공구의 절삭속도는 50 m/min으로 하고 있다. 따라서 절삭속도가 정해지면 평균 절삭토크 및 소요 동력에 대해 중요한 요소는 절삭 폭이다. 일반적으로 회전체가 임의 각  $\theta$  만큼 절삭했을 때 미변형 칩(uncut chip)

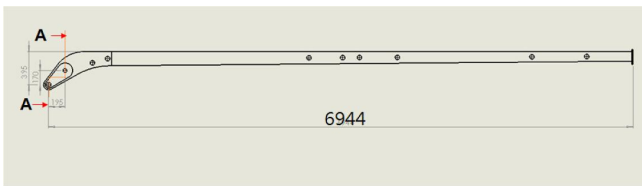


Fig. 1 The boom for a concrete pump car

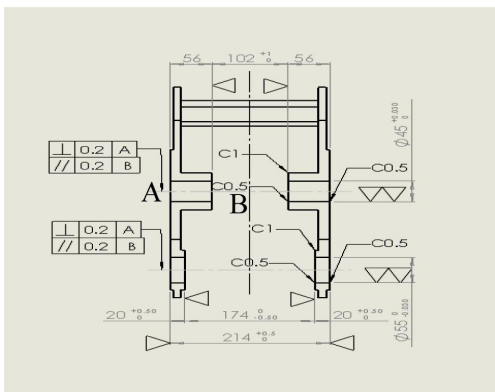


Fig. 2 Detail of A-A in Fig. 1



Fig. 3 Previous facing tool

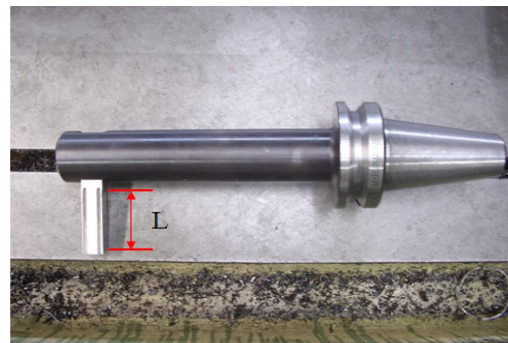


Fig. 4 Previous facing tool on assembly



Fig. 5 Cutting process on previous facing tool

두께를  $t$ 라 하면 식 (1)과 같이 회전체의 날 당 이송거리  $f_z$  (mm/tooth/rev)에 비례되고 있다. 또한 최대 칩두께  $t_{max}$ 는 식 (2)와 같이 표현하고 있다.

$$t = f_z \times \sin\theta \quad (1)$$

$$t_{max} = \frac{V_f}{n \times z} \times \sin\theta \quad (2)$$

$$F_c = \frac{\tau_s \cdot b \cdot t}{\sin\phi} \times \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (3)$$

$$P = k_s \times g = k_s \times t \times b \quad (4)$$

공구의 전단각  $\phi$ 와 경사각  $\alpha$ 에 의해 발생하는 전단력  $F_c$ 는 칩 두께  $t$ 와 절삭 폭  $b$ , 그리고 전단응력  $\tau_s$ 에 의해 결정되며 식 (3)과 같이 표현한다. 또한 절삭저항  $P$ 는 공작물의 재질에 따라 결정되는 단위 면적당 절삭저항인 비절삭저항  $k_s$ 와 절삭면적  $g(=b \times t)$ 에 의해 결정되며 식 (4)와 같이 표현된다.

기존 공구는 Fig. 4와 같이 편측 외날의 구조이며 Fig. 5와 같이 회전과 동시에 주축방향으로 이동하면서 면을 절삭하는 형태이다. 따라서 편측 외날 공구가 360도 회전하면서 Fig. 4의 공구날 길이  $L$ 만큼 한 번에 절삭이 이루어지기 때문에 식 (4)의 절삭 폭  $b$ 와 동일하다고 할 수 있으며 본 논문에서는 공작물에 접촉되는 공구의 절삭면적  $g(=b \times t)$ 을 개선함으로써 절삭저항  $P$ 와 절삭력  $F_c$ 를 감소시킬 수 있으며 아울러 가공 시 발생하는 공구와 공작물의 상태

변위에 대한 진동을 최소화할 수 있다.

절삭저항을 줄이는 방법으로써 본 논문에서는 특수 공구를 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 양측 양날로 하고 Fig. 6의 C부분이 180도 회전 시 초경 팁 사이에 절삭되지 않는 부분에 대하여 반대측의 D부분의 팁이 절삭하는 형태로 양측에 조립된 상용화 초경 팁이 교차되도록 가공되도록 설계하였다.

따라서 기존 공구의 문제점인 접촉면을 줄이기 위해 인서트 팁의 날 수  $z$ 를 증가시켜 공구가 180도 회전할 때 공구의 절삭면적  $g$ 를 나누어 가공하기 때문에 절삭저항은 줄고 가공 시 공구와 공작물에서 발생하는 상태변위에 의한 진동은 감소할 수 있다.

공작물의 가공면과 주변의 접근성을 고려하여 ISO규격의 타입인 SCMT09T308 타입의 공구를 선정하였고 인서트가 조립된 홀더(holder)는 절삭저항을 줄이고자 인서트 조립위치가 서로 겹치지 않도록 대칭으로 Fig. 8과 같이 제작하였으며 Fig. 9는 아바에 조립된 사진을 나타낸다.

### 3. 가공실험 및 고찰

#### 3.1 실험 및 고찰

실험에 사용된 공작기계는 한국정밀기계(주)의 양두보링머신인

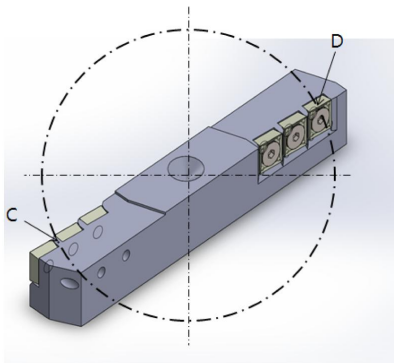


Fig. 6 Improvement facing tool

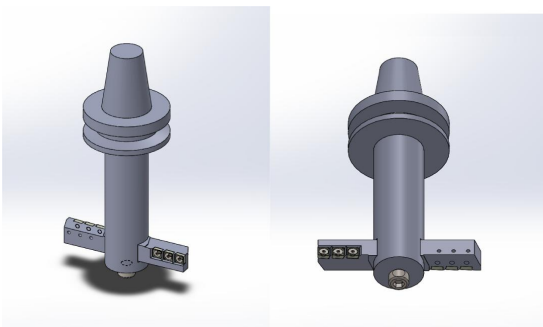


Fig. 7 Assembly of improvement facing tool



Fig. 8 Picture of improvement facing tool



Fig. 9 Picture of assembly with improvement facing tool

HKDB-130 모델을 이용하였다. 기존에 사용 중인 SKH51종의 완성바이트 형태로 연마된 공구와 본 논문에서 제시한 인서트 타입의 공구를 비교하기 위하여 Fig. 12 및 Fig. 13과 같이 가공실험을 통해 두 가지 공구를 고찰하였다.

기존에 사용 중인 SKH51종의 완성바이트 형태로 연마된 공구와 본 논문에서 제시한 인서트 타입의 공구를 비교하기 위하여 Fig. 12 및 Fig. 13과 같이 가공실험을 통해 두 가지 공구를 고찰하였다.

절삭조건은 절삭속도  $V$  m/min를 변수로 하였으며 Fig. 11과 같이 붐의 구조 특성상 절판을 용접한 형태로 구성되어 있으므로 강성이 약한 구조물의 형태이다. 따라서 절삭조건에 한계<sup>9)</sup>가 있으므로 일차적으로 기존 공구의 절삭속도인 50 m/min으로 설정하고 날 당 이송속도는 0.08 mm/rev로 설정하였으며 절삭속도를 80 m/min으로 높여 생산성 향상을 시도하였다.

특히, 목표로 하는 가공부위는 붐의 끝부분이므로 진동과 소음에

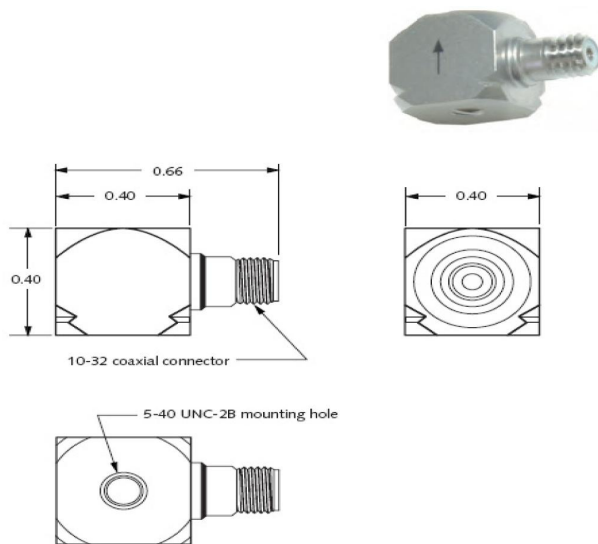


Fig. 10 A sketch of accelerometer



Fig. 11 The cutting process of boom

매우 불리하다. 따라서 본 실험에서는 가속도센서를 이용하여 가공 시 발생하는 공구와 공작물에서 발생하는 상태변위에 대한 진동을 측정하고 공구의 개선 전과 후를 비교 검토하고자 Fig. 10 및 Fig. 11과 같이 진동이 발생하는 주축방향으로 센서를 부착하였다. 즉, 가공 시 발생하는 상태변위에 대한 진동이 클수록 공구와 공작기계 수명을 저하시키므로 개선 전과 후에 대한 공구의 차이를 통해 고찰하였다. 측정 장비는 Tektronix社의 TDS3014 모델의 오실로스코프를 이용하였고 가속도 센서는 KISTLER社의 8640A10 모델을 적용하였다. 가속도 센서의 전기적 사양은 Table 1과 같고 외관사양은 Fig. 10과 같다.

여러 실험에서 입증된<sup>10)</sup> 바와 같이 공구의 절삭가공에서 발생하는 체터 진동은 공구의 형태와 구조 그리고 공작물의 조립 상태에 따라 다르지만 체터 진동의 진폭은 절삭력 또는 주분력 비례되며 공작물의 고유진동수와 관계된다. 그러나 Fig. 13과 같이 가공 부위에 대한 붐의 구조적 취약 특성을 고려하여 진동을 최소화하고자 다수의 쇠파대기와 지그에 가용접(tack welding)이 되어 있어 공작물의 특정 부위에 대한 고유진동수 측정이 곤란하다. 또한 보링머신을 공구의 오버행이 변화하면서 가공되므로 공구의 고유진동수 또한 측정이 난해하다. 따라서 본 논문에서는 현재의



Fig. 12 Experiment of previous facing tool on SKH51

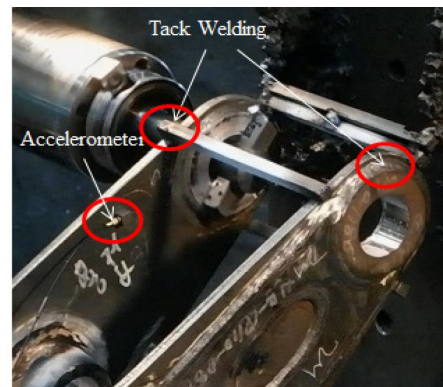
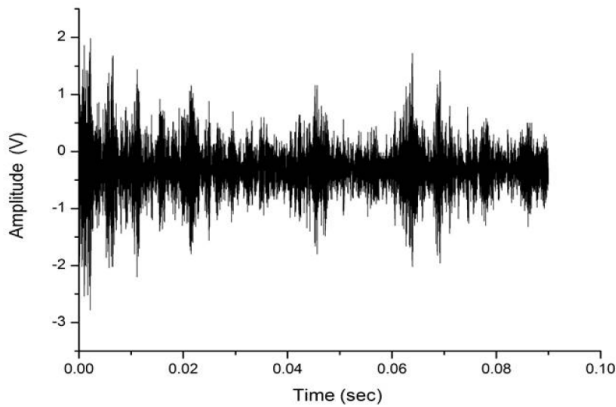


Fig. 13 Experiment of improvement facing tool on insert type

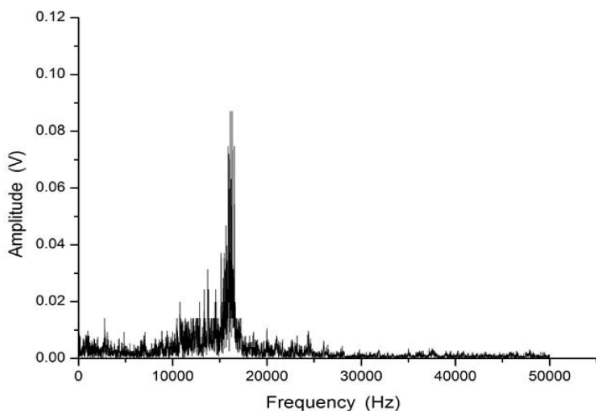


**Table 1 Technical data of accelerometer**

8640A10 (A10T)	Unit	Data
Acceleration range	g	±10
Acceleration limit	gpk	±16
Threshold (1~10 kHz)	grms	0.00016
Sensitivity (±10%)	mv/g	500
Resonant frequency	kHz	17
Frequency response (±5%)	Hz	0.5~3000
Sensing element	Type	Piezo-Beam
Housing/base	material	Titanium
Sealing-housing/connector	Type	Hermetic
Mass	grams	3.5
Mounting torque, stud	lbf-in	6.5

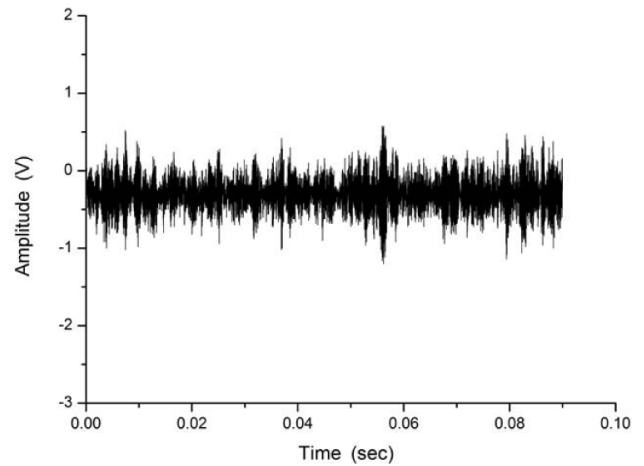


**Fig. 14 Time domain of previous facing tool on SKH51**

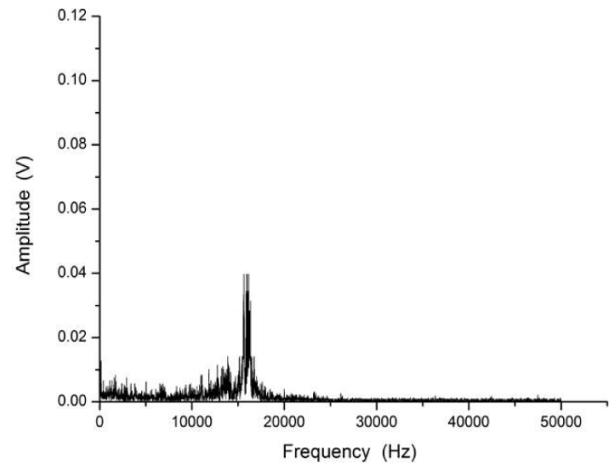


**Fig. 15 Frequency domain of previous facing tool on SKH51**

공작물 및 가공조건에서 가공 시 공구와 공작물에 의해 발생하는 상태변위에 의해 발생하는 진동주파수의 진폭을 감소시켜 생산성 향상에 긍정적인 영향을 고찰하였다. 이러한 사항을 토대로 Fig. 12 및 Fig. 13과 같이 실험을 통해 두 가지의 공구와 공작물의 상태 진동에 대하여 비교 고찰하였다. 개선 전 공구인 SKH51종



**Fig. 16 Time domain of improvement facing tool on insert type**



**Fig. 17 Frequency domain of improvement facing tool on insert type**

에 대한 상태변위에 대한 진동에 대한 고찰결과는 Fig. 14 및 Fig. 15와 같으며, 인서트 타입으로 개선된 공구에 대한 고찰결과는 Fig. 16 및 Fig. 17과 같다. 즉 개선 전 공구인 완성바이트 형태의 SKH51종에 대한 상태변위에 대한 진동의 실험결과는 Fig. 14와 같이 4.86 (peak to peak voltage)의 값을 나타냈으며 FFT분석 결과는 Fig. 14와 같이 0.09  $m/s^2/N$ 의 값을 얻었다. 또한 본 논문에서 제시한 인서트 타입 형태에 대한 상태 진동의 실험결과는 Fig. 16과 같이 1.78 (peak to peak voltage)의 값을 나타냈으며 FFT분석 결과는 Fig. 17과 같이 0.04  $m/s^2/N$ 의 값을 얻었다. 위 실험 결과와 같이 동일한 절삭속도에서 인서트 타입의 상태변위에 대한 진동의 진폭이 절반 이상 낮으므로 절삭저항과 절삭력의 감소를 예측할 수 있으며 해당 공작물 가공 시 공구수명(tool life)에 매우 유리함을 예측할 수 있다. 식 (5)를 기준으로 가공시간과 직접적으로 연관된 테이블 이송속도에<sup>[11]</sup> 대하여 공작물을 Z축으로 5 mm를 가공할 때 개선 전과 후의 두 가지 타입을 비교하면 Table 2와 같다.

Table 2 Comparison of each cutting condition

	V (m/min)	$f_t$ (mm/min)	T (sec)
SKH51	50	21.2	14.1
Insert tip	50	42.4	7.1
SKH51	80	21.2	가공불가
Insert tip	80	48	5.6

$$f_t (mm/min) = n \times f_z \times z \quad (5)$$

여기서 테이블 이송속도  $f_t$ 는 공구의 회전속도  $n$ 과 날 당 이송속도  $f_z$ , 그리고 날 수  $z$ 에 의해 좌우된다.

Table 2의 테이블 이송속도  $f_t$ 를 볼 때 본 논문에서 제안한 인서트 타입의 공구를 이용하여 가공할 경우 가공시간이 14.1초에서 7.1초로 두 배 이상 생산성이 향상됨을 알 수 있다<sup>[12]</sup>. 또한 개선 전 공구인 완성바이트 형태의 SKH51종에 대하여 절삭속도를 80 m/min로 증가할 경우, 현장의 공작물의 구조와 척칭 상태의 한계로 인해 절삭 가공 시 발생하는 공작물의 상태 진동의 증가로 인해 가공 구현이 어려웠으나 인서트 타입의 공구를 사용했을 경우 Table 2와 같이 높은 생산성을 확보할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구는 중장비의 구조물인 붐의 조립 부위에 위치한 외면 및 내면의 가공에 대하여 가공시간과 공구의 수명을 연장하고자 기존의 문제점을 개선할 수 있는 특수 공구를 개발하였으며 현장에 적용하여 가공물의 품질이 향상되는지와 개발된 공구가 유효한지를 확인하고자 하였다.

그 결과 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기존에 사용하는 완성바이트 형태의 공구에 대한 가장 큰 문제점인 공구의 수명을 연장하기 위해 공구강(SKH)에서 초경(WC) 공구로 재질을 변경하였다.

(2) 기존 작업조건에서는 공구와 공작물의 접촉면 넓어 발생하는 문제점을 최소화 하고자 인서트를 대칭 형태로 삽입되도록 설계하여 절삭면적을 줄여 가공 시 발생하는 절삭저항을 최소화 하였다.

(3) (1)항과 (2)항에서 설명한 부분을 실험을 통해 가공 시 공구와 공작물에서 발생하는 상태변위에 의해 발생하는 진동주파수 진폭의 감소를 입증하였으며 실험결과 시간영역(time domain)에서는 개선 전과 후, 63.3%의 진폭(V)이 감소하는 효과를 확인하였다.

(4) 상태변위의 진동에 대한 FFT분석결과 주파수영역(frequency domain)에서는 55.5%의 진폭감소 효과를 확인할 수 있었다.

(5) 본 논문에서 제시한 공구의 경우는 날수가 다수이므로 가공 시 공구와 공작물과 접촉되는 절삭면적을 최소화 하고 상용화된 인서트 팁을 적용하였으므로 공작물의 재질에 따라 다양한 칩 브레이커를 선정할 수 있도록 하였다.

(6) 본 논문에서 제시된 공구의 수명이 기존 공구대비 두 배 이상 향상되는 양호한 특성을 보였다. 따라서 작업자의 숙련도에 따라 공구의 수명이 다르게 나타나는 문제점을 개선하고 일정한 공구의 수명을 확보할 수 있다.

(7) 조립되는 초경 팁이 4코너를 활용할 수 있으므로 우수한 경제성을 예상할 수 있다.

따라서 본 연구를 통해 인서트 타입으로 개선된 공구의 개선효과가 실가공에 유효함을 확인하였으며 본 실험을 통해 중장비 붐 대의 가공의 기초 품질향상에 기여할 것으로 전망한다.

#### 후 기

이 연구는 2014년 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

#### References

- [1] Shim, Y. B., 1992, Optimum Thickness of Boom Plate of Excavator, A Thesis for a Master, Busan National University, Republic of Korea.
- [2] Joung, K. W., 2015, Monthly Heavy Equipment News, Magazine, Republic of Korea.
- [3] Grum, J., 2008, Fundamentals of Machining and Machine Tools, International Journal Of Microstructure And Materials Properties, 3:2/3 469-470.
- [4] Kim, J. H., 1995, A Study on Optimum Design of an Excavator Boom for Both Size and Shape, A Thesis for a Master, KAIST, Republic of Korea.
- [5] Jung, T. G., 1995, Study on Boom Oscillation Suppression of a Hydraulic Excavator, A Thesis for a Master, Changwon National University, Republic of Korea.
- [6] Bong, S. Y., Seong, K., Joh, J. S., 2010, A Study on Suppression of Vibration Caused by Quick-stop Operation of Hydraulic Excavator Boom, International Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 27:12 33-40.
- [7] Joo, H., 1994, A Study on Optimum Design of an Excavator Boom for Shape, A Thesis for a Master, Busan National University, Republic of Korea.
- [8] Jeon, Y. K., 1997, The Stress Analysis of Boom for Pump-car, A Thesis

for a Master, Kunsan National University, Republic of Korea.

- [9] So, S. H., 2013, Structural Analysis of Overloaded Multi-aerial Platform, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 22:6 901-907.
- [10] Youn, H. C., Woo, C. K., Hwang, J. K., 2015, Investigation of the Cause of High Vibration in a Low Pressure Turbine Casing With

Manufacturing Defects by Frequency Response Analysis, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 24:4 463-468.

- [11] Kang, S. I., Kim, J. H., 2016, Development of Low-vibration Controller for Ultra-precision Dual Stage, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 25:1 75-82.