

다관절 로봇을 이용한 엔드밀 가공에 관한 연구

최은환*(대전기능대학), 정선환, 최성대(금오공과대학교)

A Study on the Endmilling using the Multi-Articulated Robot

E. H. Choi (Taejeon Polytechnic College), S. H. Cheong,
and S. D. Choi (Kumoh National Institute of Technology)

ABSTRACT

The stiffness of multi-articulated industrial robots is very weak, because their structure is an articulated type with some links and joints. Thus it is known that cutting processes for metals are not accepted in machine shop well, but they have a lot of merits for cutting processes, for example, drilling, tapping, and engraving etc., because of the characteristics of their high degree of freedom. The temptation of cutting aluminium was carried out to investigate the feasibility and the limitations or constrains for cutting metals on them. First the mode shapes of 6-axes FANUC welding robot were taken and analysed, and next the cutting processes were practically carried out on it. The results of study were found out to show the feasibility of cutting processes at end-milling under 6mm of tool diameter, as well as to have some limitations and constrains, for examples, surface roughness and feed rate, depth of cut, cutting force etc..

Key Words : Multi-Articulated robot (다관절 로봇), 6-axes FANAUC welding robot (6축 화낙 용접용 로봇)
Surface roughness (표면거칠기), Depth of cut (절삭깊이)

1. 서 론

새로운 개념의 로봇에 관한 연구의 성과로 지식 기반 로봇의 등장은 건설, 원자력, 의료 등 비 제조업 분야에서 적극적으로 활용되고 있는 실정이다.

일반적으로 산업현장에서 사용되는 로봇은 진동과 밀접한 관계를 갖고 있으며 불필요한 진동은 정밀도 및 생산성 저하를 야기하므로 반드시 최적의 설계와 가공조건으로 해결해야 한다.

그 해결책으로 개선 가능성을 알아보고자 산업용 로봇을 이용하여 범용 드릴머신이나 머시닝센터에서 가공하기 어려운 복잡한 형태의 5면 가공 즉, 윗면, 좌측면, 우측면, 전면, 후면을 한번의 셋팅으로 밀링 가공할 수 있는 방법을 연구할 수 있도록 로봇의 엔드부에 가공할 수 있는 구조로 변경하였다.

본 연구에서는 로봇 엔드부에 서보모터를 설치하고 고속도강 엔드밀($\Phi 6$)을 끼우기 위하여 폴릿력을 장착하였고, 시편의 재질은 알루미늄 합금(AL6061)으로 하였다. 또한 가공용이 아닌 용접용 로봇인 점

을 고려하여 엔드밀 가공이 가능한지 적합성 여부를 알아보기 위해 구조 해석과 동특성 실험을 실시하여 로봇 구조물의 거동을 분석하였다.

그리고 다관절 로봇을 이용한 3차원 가공의 가능성을 점검하고 이에 따른 기초적인 자료를 구성하기 위하여 엔드밀 가공에 대한 절삭속도가 미치는 영향과 주축의 회전수와 다관절 로봇의 강성적인 고찰을 제품의 표면거칠기에 의하여 분석하였다. 이 기초자료를 토대로 향후 새로운 개념의 가공용 로봇의 개발에 관한 연구가 많이 진행되리라 생각한다.

2. 다관절 로봇의 동특성 실험

2.1 로봇의 구조해석

본 실험에 사용된 FANUC Handling Robot는 Handling Tool Application Software, Robot 기구부(FANUC robot series), R-J2 제어장치로 구성된다. 본 연구에서 용접 전용인 산업용 로봇을 이용하여 복잡한 형상을 가진 소재를 가공할 수 있는 것인지를 살

퍼보기 위하여 로봇의 엔드부에 콜릿척을 부착한 구조로 설계 제작하여 엔드밀 가공이 가능한지를 구조 해석과 동특성 분석을 통하여 검토할 필요가 있다. 다시 말해서, 로봇의 동특성을 해석하기 위하여 주파수 분석기(FFT)와 유한요소법(FEM)의 구조해석의 두 가지 실험을 하고 로봇이 가공할 수 있는 구조인지를 확인하였다.

먼저 CATIA를 이용한 동특성 시뮬레이션은 Fig.1과 Fig.3과 같이 윗면가공과 측면가공에 대하여 실시하였다. 그리고 FFT를 이용한 진동특성을 실시하였다. 여기서 실험방법은 6개의 가속도 센서를 각각의 유닛별 측정위치에 설치하고 윗면과 측면가공할 수 있는 로봇의 자세를 취하고 가진하여 주파수 분석기를 이용하여 주파수를 분석하였다. 윗면가공시 관찰형태일 때 고유진동수는 9Hz, 25Hz, 32Hz, 45Hz이고, 측면 가공시에는 8.5Hz, 13.28Hz, 23Hz, 29.29Hz이다.

Fig. 2는 윗면가공일 때의 동특성 실험과 시뮬레이션의 결과를 나타내었다. 시뮬레이션의 결과와 동특성 실험 결과는 약간 차이를 나타내고 있으나 이 결과 값으로부터 가공영역의 회전수는 공진의 영향

이 미치는 범위에 들어있다는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 4의 측면도 마찬가지로 결과값을 나타내었다. 낮은 고유진동수가 나타난 이유는 로봇의 지지부로 부터 외팔보 형태의 길이가 길게 나타나고 제일 끝 부분에 엔드밀을 고정하는 장치가 장착되기 때문이다.

이런 결과는 윗면가공보다 측면가공에서 더욱더 현저하게 나타났다. 측면가공은 로봇의 팔 길이가 횡형으로 형성하기 때문에 팔의 길이는 길어지고 또한 진동방향도 절삭방향과 같은 방향으로 이루어짐으로서 더욱더 진동에 큰 영향을 갖는다. 그러나 가공회전수의 영역에 공진 주파수가 포함되어 있는 경우에는 공진 주파수와 같은 가공회전수를 피하여 가공조건으로 가공하는 것이 일반적인 것이다.

로봇의 강성적인 측면에서는 구조해석을 통하여 분석한 결과, 충분하다는 것을 알게 되었다. 그러나 동특성 분석의 결과에서 가공회전수의 범위에 공진 주파수가 포함되어 있으므로 본 연구에서는 가공회전을 변화시키면서 윗면가공의 형태의 다관절 로봇으로 알루미늄의 소재를 엔드밀 가공을 통하여 가공 상태를 검토하였다.

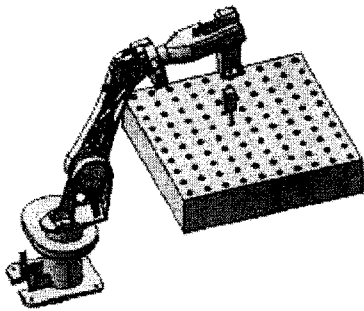


Fig. 1 Robot position of the upper face

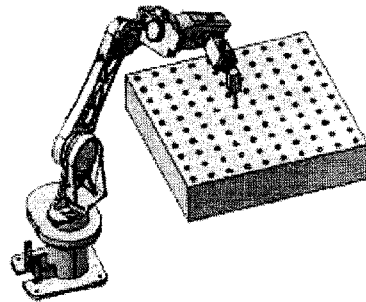


Fig. 3 Robot position of the side

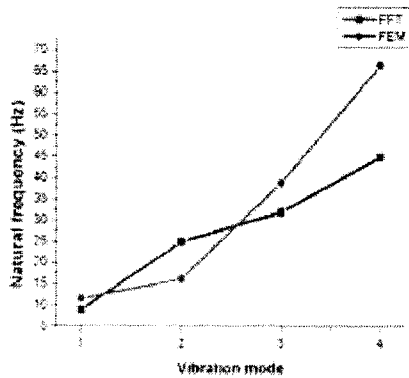


Fig. 2 FFT & FEM of the upper face

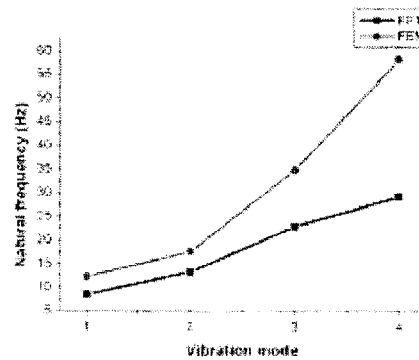


Fig. 4 FFT & FEM of the side

3. 다관절 로봇의 절삭실험

3.1 절삭실험장치 및 소재

본 실험에 사용된 다관절 로봇은 FANUC MATE-100i 기종이며 Arc 용접용으로 사용된다. 엔드밀 가공을 하기 위해 로봇의 엔드부에 콜릿척을 장착하였고, 주축 회전수를 조정하기 위해 센서를 부착하고 타코메터로 주축 회전 속도를 제어하였다. 조절 가능한 회전속도는 최대 3000rpm이다.

Fig. 5는 다관절 로봇의 밀링 시스템으로써 엔드부에 콜릿척을 장착한 모습이며, 콜릿척에는 지름 6mm의 2날 고속도강 엔드밀을 장착할 수 있도록 하였다.



Fig. 5 Articulated Robot Milling System

Fig.6은 시험편으로 다 자유도계의 다관절 로봇의 강성을 고려하여 일반 강보다 절삭성이 좋은 Al-Mg-Si계의 알루미늄 합금(Al6061-T651)을 사용하였다.

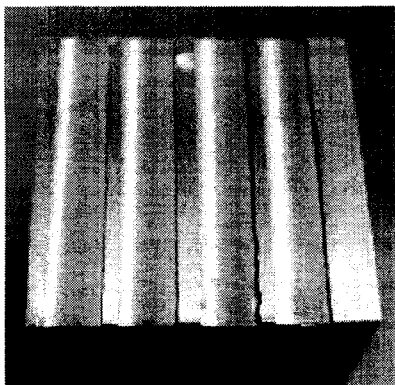


Fig. 6 View of Al specimen

3.2 실험 절삭조건

Fig.2과 Fig.4에서 나타난바와 같이 주파수 분석기(FFT)와 유한요소법(FEM)을 비교 분석한 고유진동수를 고려하였고, 그중 비교적 정확한 주파수 분석기(FFT)에 의한 결과를 적용하여 절삭실험을 실시하였다. 시험편인 알루미늄 합금을 지름 6mm의 2날 고속도강 엔드밀로 가공하기 위하여 절삭깊이 0.3mm와 이송속도 2.4mm/min를 고정시키고, 주축회전수 1600rpm ~ 2700rpm 범위 내에서 100rpm씩 단계적으로 변화시키면서 하향절삭으로 가공하였다.

가공표면의 거칠기에 미치는 요인으로서 가공조건, 공작물, 공작기계가 있지만 용접용 로봇인 점을 고려하여 다양한 자세와 각도에서 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 상호 보완적으로 실험을 할 수는 있으나 본 연구에서는 주축회전수만을 고려하여 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 엔드밀의 잇날 한 개당 절삭량

테이블의 이송속도가 빠르면 가공능률이 향상되지만 그만큼 공구의 수명이 짧아지게 되고 표면 거칠기에도 나쁜 영향을 미치므로 적절한 이송속도가 요구되며 결정조건은 주축회전수와 유사하다. 공구수명이나 가공정도를 고려하는 경우, 일반 엔드밀은 한 날당 이송속도에는 1회전당 이송속도를 기준으로 하며, 한 날당 절삭량은 다음 식에 의해 구한다.

$$f_z = F / (Z \cdot N) \quad \text{-----(1)}$$

$$f_r = F / N = f_z \cdot Z \quad \text{-----(2)}$$

$$f_v = F \cdot D_p \cdot d / (N \cdot Z) = f_z \cdot D_p \cdot d \quad \text{--(3)}$$

$$f_t = f_v \cdot f_m \quad \text{-----(4)}$$

여기서, F : 테이블 이송속도 (mm/min)

f_z : 날 한 개의 이송량 (mm/tooth)

f_r : 날 한 개의 1회전당 이송량 (mm/rev)

f_v : 날 한 개의 1회전당 절삭량 (mm³/rev)

f_t : 날 한 개의 1회전당 걸리는 절삭저항

f_m : 가공소재의 절삭변수

Z : 엔드밀의 날수

N : 회전속도 (rev/mim)

D_p : 절삭깊이(mm)

d : 엔드밀 직경(mm) 이다.

여기서 엔드밀의 날 한 개에 걸리는 절삭 저항 f_t 는 가공소재에 따라 다르게 나타난다. 여기서는 알루미늄을 사용하였으나 그것에 따른 변수는 앞으로 연구할 대상으로서 절삭가공과 재료의 기계적 성질

과의 관계를 검토할 필요가 있다고 생각한다. 그러나 본 연구에서는 소재의 절삭저항 변수는 생략하고, 식(3)과 같이 f_v 인 날 한 개의 1회전당 절삭량과 가공후의 표면거칠기를 비교 검토하였다. Fig.6에 윗면을 엔드밀로 가공한 면을 나타내었다.

4.2 엔드밀 작업의 이상적인 주축회전수

엔드밀 가공시 표면 거칠기는 로봇 강성 및 로봇 관절의 자세 그리고 주축회전수의 영향에 따라 다르다는 사실을 알 수 있다. Fig.7에는 날 한 개의 1회전당 절삭량에 따라 가공된 표면 거칠기를 나타내었다. f_v 가 약 $10.8 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 에서 표면 거칠기가 가장 낮게 나타났다. 이것은 다관절 로봇의 가공에서 f_v 가 약 $11 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 이상의 영역에서는 로봇의 강성과 공진 및 진동량의 증가에 따라 표면거칠기가 거칠어진다고 생각할 수 있으나 f_v 가 $10 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 이하에서는 강성적인 측면보다는 공진에 의한 영향이 크다는 것으로 생각된다. 특히 Fig.7에서 약 $9 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 와 $12 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 에서는 공진대가 형성된다고 생각할 수 있다.

본 연구에서는 다관절 로봇을 이용한 알루미늄의 절삭가공에서 엔드밀 가공으로 날 한 개의 1회전당 절삭량이 $10.8 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 이 가장 최적의 조건으로 나타났으며, 이에 따른 절삭깊이나 엔드밀의 직경, 그리고 회전수 등으로 조절이 가능함으로 적절한 조건으로 가공이 가능하다는 것을 증명하였다. 앞으로 재료의 절삭저항에 파라메타를 부가하여 재료에 따라 최적조건으로 로봇을 이용한 3차원가공이 가능하리라 생각한다.

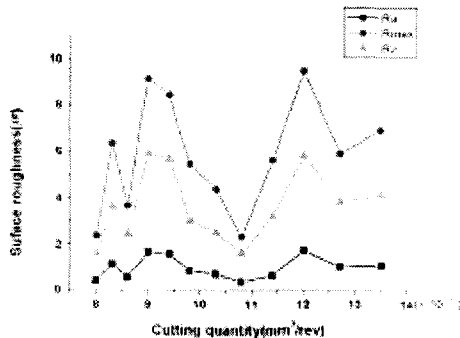


Fig. 7 Surface roughness for cutting quantity

5. 결론

본 연구는 용접용 다관절 로봇의 취약한 강성을 고려하여 실제 적용할 절삭조건을 얻기 위하여 여러번 수행하였으며, 엔드밀 작업시 절삭속도가 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 다관절 로봇의 동특성 실험과 구조해석을 통하여 절삭가공에 사용되는 회전수의 범위에 고유진동수가 들어있음을 확인하였다. 이것은 다관절 로봇이 외팔보 형태로 길게 되어 있고 또한 엔드밀 장착부가 로봇의 맨 끝에 부착하기 때문에 고유진동수는 낮은 주파수로 형성되고 있다.

(2) 다관절 로봇의 윗면가공 형태보다 측면가공 형태의 고유진동수는 더 낮게 나타났다. 이것은 측면 가공시 로봇의 관절형태가 더 길어지기 때문이며, 특히 상하진동으로 진동량도 많이 발생한다.

(3) 로봇이 가공은 엔드밀 날 한 개가 1회전당 절삭량 f_v 가 약 $10.8 \times 10^{-4} \text{mm}^3/\text{rev}$ 에서 표면거칠기가 낮게 나타났다. f_v 가 이 값보다 클 경우는 로봇의 공진과 강성에 영향을 받을 것이며 낮을 경우는 공진에만 영향을 받을 것으로 생각된다.

(4) 다관절 로봇을 이용한 실제 가공이 가능하였으며, 앞으로 소재의 절삭저항의 파라메타를 부여하여 보다 최적의 절삭조건을 연구할 필요가 있다고 생각한다.

(5) 다관절 로봇을 이용한 엔드밀 가공의 가능성을 토대로 향후 새로운 개념의 가공용 로봇의 개발에 관한 연구가 진행되리라 기대한다.

참고문헌

1. Marcel Dekker, INC. "Robot Technology and Applications" pp. 395-444, 1990
2. FANUC Robot Series(R-J3 controller) "Handling Tool Operator's manual" FANUC LTD. 1998
3. 서남섭 "절삭가공학" pp.9-11, pp. 45-92, pp. 141-177, pp. 306-313, 동명사 1998.
4. 문승전의 2명 "유한요소법과 최적구조설계 CAE" .. 성안당 1999.
5. 최인수 외 3인 "공작기계" pp. 275-283, 배명사 1996.
6. John J Craig "Robotics" pp. 81-115, 형설출판사 1990.
7. William T. Thomson "기계진동 이론과 응용" pp. 129-156, 1998.