



박판 밀링에서 고정 오차 보정과 절삭력에 의한 처짐이 깊이 오차에 미치는 영향

이승민^a, 조동현^b, 박수빈^b, 김규민^b, 박준형^b, 김동건^a, 김수진^{a,b,*}

Effect of Clamping Error Compensation and Cutting-Induced Deflection on Depth Accuracy in Thin Plate Milling

Seung-Min Lee^a, Dong-Hyeon Jo^b, Su-Been Park^b, Gyu-Min Kim^b, Jun-Hyeong Park^b,
Dong-Geon Kim^a, Su-Jin Kim^{a,b,*}

^a School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University

^b School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2025
Revised 3 September 2025
Accepted 18 September 2025

Keywords:

Thin plate milling
Fixture error compensation
Cutting-induced deflection
Eddy current sensor
Depth accuracy
Compensation machining

ABSTRACT

This study examined the machining accuracy in thin aluminum plate milling, focusing on the clamping error and deformation caused by cutting forces. A compensation method was applied after the clamping-induced geometric errors were measured using an LVDT. As a result, depth error was reduced from 1.44 mm to 0.16 mm, demonstrating a significant improvement in accuracy. Nevertheless, non-contact displacement measurements showed that the plate deflection of about 0.36 mm during milling caused additional depth errors. Depth variation ranged from 0.56 mm near the center to 0.84 mm near the support, indicating that machining accuracy is strongly affected by stiffness and fixturing conditions. These findings suggest that clamping error compensation alone is insufficient and that denser support or enhanced compensation strategies are required to achieve higher precision.

1. 서론

1.1 연구 배경

항공기 구조물에 사용되는 스킨(skin) 부품은 경량화와 강도 확보를 위해 주로 얇은 판재 형태의 알루미늄 합금으로 제작된다. 이 중 Al6061 합금은 우수한 내식성과 가공성을 바탕으로 대표적인 항공기용 재료로 널리 활용되고 있다. 그러나 이러한 얇은 박판은 낮은 구조 강성으로 인해 밀링 가공 시 절삭력이나 클램핑 불균형에 민감하게 반응하여, 가공 깊이의 오차나 형상 정밀도 저하와 같은 문제가 자주 발생한다. 특히 고정 장치의 미세한 오차가 박판

전체의 평면도나 가공 깊이에 영향을 미쳐 가공 품질을 크게 저하시킬 수 있다.

이러한 이유로 박판 밀링 가공에서는 고정 조건에 따른 형상 오차와 가공 중 발생하는 탄성 변형을 정밀하게 측정하고 제어하는 기술이 요구된다. 본 연구는 이와 같은 박판의 고정 오차와 가공 변형을 계측하고 이를 기반으로 한 보정 가공을 통해 깊이 오차를 줄이는 것을 주요 과제로 삼는다.

1.2 선행연구 동향

얇은 판재 가공에서 발생하는 정밀도 문제에 대응하기 위한 다

* Corresponding author. Tel.: +82-55-772-1636

E-mail address: sujinkim@gnu.ac.kr (Su-Jin Kim).

양한 연구가 진행되어 왔다. Zhao 등은 항공기 스킨 가공 시 주요 품질 특성과 공정 변수 간의 상관관계를 기반으로 핵심 공정을 식별하여 품질 향상에 기여하고자 하였다^[1]. Wang 등은 조립 중 변형을 고려한 로봇 에지 밀링 기법을 통해 가공 허용 오차를 산정하고 정밀도를 개선하고자 하였다^[2]. 또한 Dobrotvorskiy 등은 얇은 부품의 탄성 변형이 밀링 공정에서 기하학적 편차를 유발하는 핵심 원인임을 실험적으로 입증하고, 가공 속도에 따른 진동 특성 변화를 분석하였다^[3].

보정 가공 기술로는 On-Machine Measurement(OMM) 시스템을 활용하여 가공 후 측정 데이터를 기반으로 공구 경로를 반복 수정하는 방식이 제안된 바 있다. 이 방식은 반복 알고리즘과 폐루프 구조를 통해 정밀도를 향상시키는 장점이 있으나, 전체 공정 시간이 길고 장비 조건의 제약을 받는다는 한계가 있다^[4].

최근에는 와전류 센서(eddy current sensor)를 활용한 실시간 측정 기법이 공정 모니터링 분야에서 주목받고 있다. Sadler 등은 와전류 센서를 사용해 금속 내부 결함 및 근접 상태를 감지하였으며, Devillez와 Ritou는 해당 센서를 공구의 미세 진동 검출 및 파손 예지에 적용함으로써 가공 중 품질 문제를 조기에 인식하는 방법을 제안하였다^[5-7].

1.3 본 연구의 목적 및 구성

본 연구는 복잡한 사전 분석이나 반복 보정 없이, 클램핑 직후 측정된 형상 오차 데이터를 바탕으로 공구 경로를 1회 수정하여 보정 가공을 수행하는 기법을 제안한다. 또한 가공 중에 발생하는 박판의 처짐과 이로 인한 깊이 오차를 비접촉식 와전류 센서를 이용하여 계측함으로써, 절삭력에 의한 변형이 정밀도에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다.

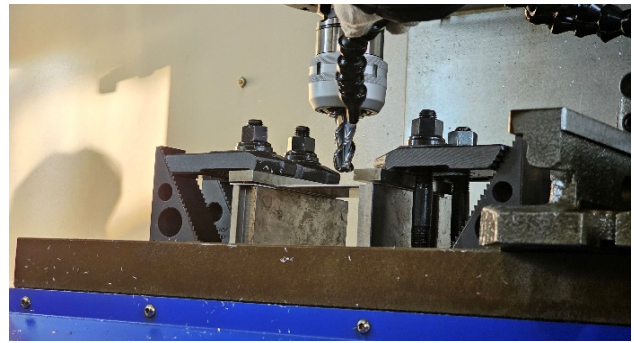
이를 통해 다음과 같은 두 가지 목표를 달성하고자 한다.

- (1) 고정 오차 보정을 통한 가공 깊이 개선 효과의 정량적 검증
- (2) 가공 중 박판의 변형 계측을 통한 절삭력에 의한 정밀도 저하 메커니즘 규명

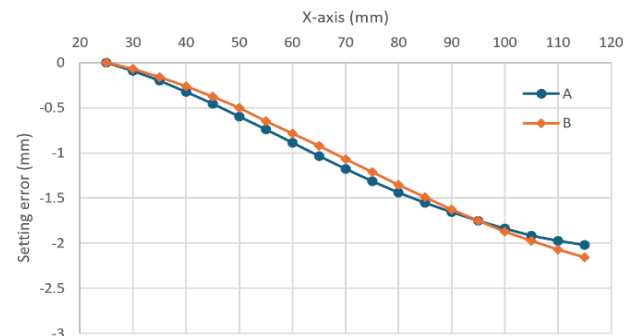
본 논문은 총 4장으로 구성된다. 2장에서는 고정 오차 보정을 위한 공구 경로 수정 방법과 실험 조건을 기술하고, 3장에서는 보정 가공 결과 및 와전류 센서를 통한 가공 중 변형 측정 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서는 전체 연구 내용을 종합하여 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 실험 장치 및 방법

CNC 밀링머신은 화천기공의 VISTA100을 사용했다. 가공조건은 회전수 5,000 rpm, 이송속도 200 mm/min, 가공깊이 1.0 mm로 설정하였다. 사용된 공구는 직경 20 mm, 3날, 초경 라운드 엔



(a) Fixture error 2 mm



(b) Fixture error graph of plate A and B

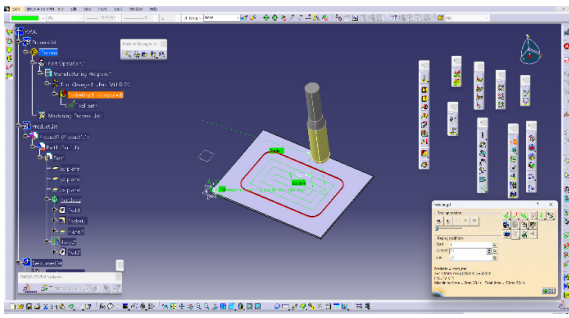
Fig. 1 Geometrical error of thin plate

드밀이다.

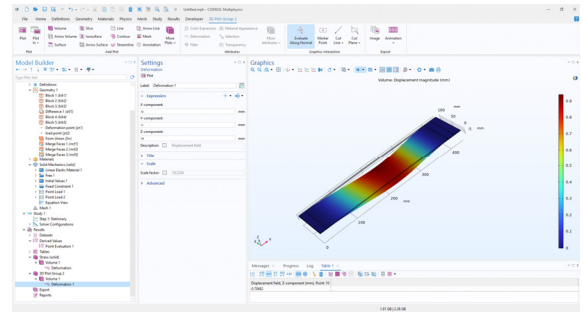
2.1 클램핑 오차 보정 기공

보정 가공 실험에서는 Fig. 1(a)와 같이 폭 140 mm, 세로 100 mm, 두께 2 mm 인 얇은 알루미늄 박판에 폭 80 mm, 세로 60 mm, 두께 1 mm 인 포켓 형상을 가공할 때 고정 오차가 가공오차에 미치는 영향을 관찰하고 보정 가공을 진행하였을 때 효과를 비교하고자 한다. 박판을 고정시키는 과정에서 박판 양단에 20 mm 씩 면으로 지지하였으며, 좌측 끝단의 경우 인위적으로 2 mm 위로 경사지도록 유도하였다. 이는 보정 가공의 효과를 극명하게 확인하기 위해서이다. 이후, 가공을 진행하기 전 보정 가공을 위해 LVDT(Tesatronic TT60)로 박판의 폭 방향에 대한 기하학적 오차를 측정하였고, 결과는 Fig. 1(b)와 같다. 박판 A, B 모두 오른쪽이 왼쪽 보다 2 mm 낮게 고정되었다.

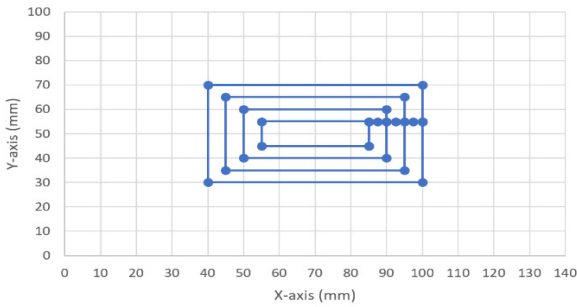
필요한 NC 코드는 Fig. 2(a)와 같이 CATIA 소프트웨어에서 CAM 작업을 통해 추출하였다. 원본 경로는 Z축을 가공 깊이로 고정하고 X Y만 이송하기 때문에 Fig. 2(b)와 같이 XY좌표계에 표시하였다. A 박판은 Fig. 2(b)와 같이 원본 공구 경로를 그대로 사용하여 무보정 가공하였다. 다음으로 지그에 고정된 B 박판의 높이 오차를 Fig. 1(b)와 같이 측정하고, 기하학적 오차를 반영하여 NC 코드를 수정함으로써 보정 가공을 진행하였다. Fig. 2(c)에 보정된 경로를 XZ좌표계에 표시하여 두께 방향인 Z좌표를 이동하



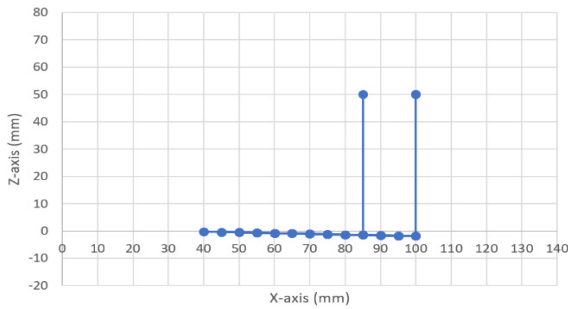
(a) Tool path generation



(a) Deformation simulation



(b) Original NC data



(c) Compensated NC data

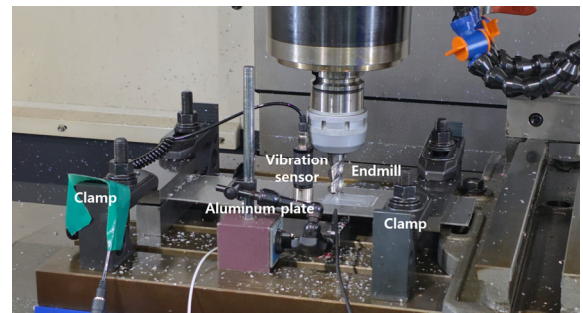
Fig. 2 Geometrical error measurement and NC data compensation

여 보정하였음을 확인할 수 있다. B 박판은 Fig. 1(b)에서 측정하고 고정 오차로 공구 경로를 Fig. 2(c)와 같이 보정해 가공하였다.

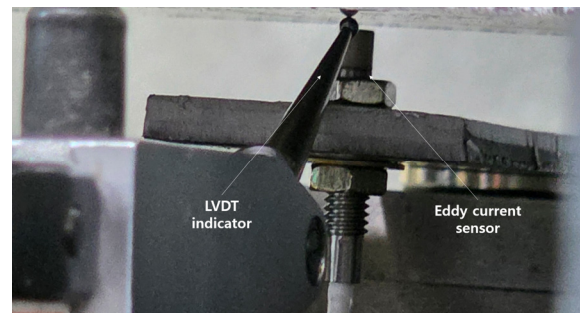
2.2 가공 중 변형 해석 및 측정

가공 정밀도를 향상시키기 위해서는 절삭력에 의한 하중과 박판의 강성에 의한 변위를 동시에 고려해야 한다. 일반적으로 1차원 보(Beam)로 단순화한 이론에 따르면 처짐은 외력에 비례하고 소재의 탄성계수에 반비례하며, 두께의 세제곱에 반비례하고 지지 간격의 제곱에 비례한다. 본 연구에서는 이러한 이론적 관계를 기반으로, 박판 포켓 밀링 공정에서 소재의 종류, 두께, 지지 간격 변화에 따른 변위를 해석하고 실험적으로 검증하였다.

절삭력과 강성에 의한 변위 거동을 분석하기 위해 CAE 소프트웨어(Comsol Multiphysics)를 활용하여 구조 해석을 수행하였다. Fig. 2(a)에 제시된 CAM 공정 경로를 기준으로, 공구 이동 경로를 따라 5 mm 간격마다 수직 방향 절삭력 20 N을 가하였다.



(b) Experimental equipment



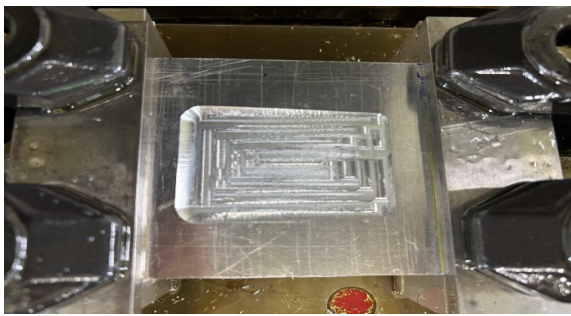
(c) Indicator and Eddy current sensor

Fig. 3 Deflection error simulation and measurement

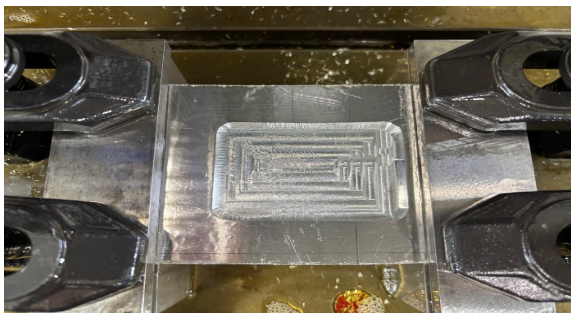
그 결과, 계측 센서가 위치하는 포켓 영역 중심부에서의 처짐을 Fig. 3(a)와 같이 해석할 수 있었으며, 이를 통해 가공 시간에 따른 공구 하중으로 인한 포켓 중심부의 처짐과 가공 위치에 따른 포켓 깊이 변화를 예측할 수 있었다.

해석 결과를 검증하기 위한 실험에서는 크기 440 × 100 × 2 mm의 AL6061 알루미늄 합금 박판을 사용하였다. Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이, 박판은 좌측 끝단과 우측을 고정해 지지점 사이의 유효 간격이 380 mm가 되도록 하였다. 포켓 밀링은 Fig. 3(b)와 같이 중심으로부터 우측으로 100 mm 떨어진 위치에 가로 55 mm, 세로 35 mm, 깊이 1 mm의 포켓을 형성하는 방식으로 진행되었다.

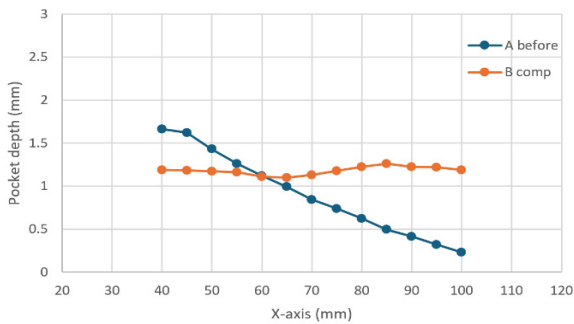
또한 Fig. 3(c)에 제시된 것처럼, 포켓 중심 하단에는 비접촉 변위 센서(Kaman digiVIT-4U, Eddy-current system)를 설치하여 밀링 과정에서 발생하는 변위를 실시간으로 계측하였다. 이 센서



(a) Before compensation, 1.4 mm



(b) After compensation, 0.2 mm



(c) Pocket depth before and after compensation
Fig. 4 Fixture error compensation result

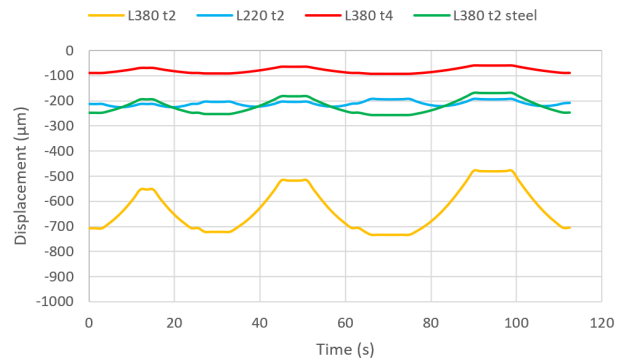
는 비접촉 방식으로 작동하므로, 가공 중에 발생하는 판재의 진동과 처짐을 외부 간섭 없이 정확하게 측정할 수 있다.

3. 실험 결과 및 토의

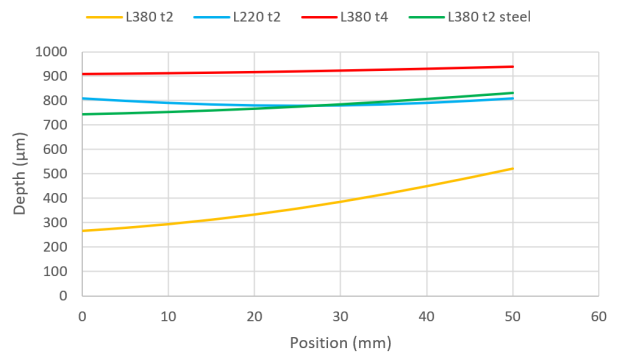
3.1 보정 가공 결과

Fig. 4(a) 무보정 가공은 사다리꼴 형상으로 가공되었음을 확인할 수 있었다. 이는 원점 높이보다 높게 세팅된 부분이 라운드 엔드 밑에 의해 더 넓은 면적이 가공되었기 때문에 발생했음을 확인했다. Fig. 4(b) 보정 가공은 좌우 모두 같은 깊이의 직사각형으로 가공되었음을 볼 수 있다.

Fig. 4(c)는 두 가공 소재의 깊이를 측정해 그래프로 비교한 것으로, 무보정 가공의 경우 가공 깊이의 오차가 1.44 mm로 왼쪽은 깊게 오른쪽은 낮게 가공되었다. 반면, 보정 가공의 경우 가공 깊이



(a) Deformation



(b) Pocket depth

Fig. 5 Deformation simulation result

의 오차가 0.16 mm로 무보정 가공보다 상당히 정밀하게 가공이 되었으며, 이는 보정 가공이 효과가 있음을 입증한 결과이다. 이는 목표 가공 깊이 1 mm를 기준으로 오차율이 무보정 가공 시 140%, 보정 가공 시 20%로 약 7배 향상된 것이다.

결과적으로 보정 가공은 가공 깊이 오차를 줄이는 데 효과가 있음이 확인되었으나, 0.16 mm 이하의 오차를 추가로 줄이는 데에는 한계가 있었음을 확인했다. 추가로, 가공 정밀도를 더욱 향상하게 시키기 위해서는 절삭력에 의한 변위나 박판의 강성 등과 같은 다른 복합적인 요인들을 추가로 고려하여 개선 방안을 모색해야 함을 확인했다. 그래서 다음 장에서는 절삭력에 의한 박판의 변위 해석과 검증 실험을 수행하였다.

3.2 박판 변형 해석 결과

절삭력에 의한 박판의 처짐에 영향을 미치는 주요 인자인 지지 간격, 두께, 재료를 대상으로 전산 해석을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 5(a)에 제시하였다. 알루미늄(AL6061, 탄성계수 69 GPa), 두께 2 mm, 지지 간격 380 mm 조건에서의 최대 처짐은 약 733 μm로 나타났다. 지지 간격을 0.58배인 220 mm로 줄이면 최대 처짐은 약 0.31배(226 μm)로 감소하였는데, 이는 처짐이 지지 간격의 제곱에 반비례한다는 이론적 경향과 유사하다. 두께를 2배(4 mm)로 증가시킨 경우 최대 처짐은 약 0.125배(91.6 μm)로 줄었

으며, 이는 치짐이 두께의 세제곱에 반비례한다는 이론과 정확히 일치한다. 또한 재료를 철(탄성계수 약 200 GPa)로 바꾸면, 탄성 계수가 알루미늄 대비 2.9배 증가하면서 최대 치짐은 약 0.349배 (256 μm)로 감소하여, 재료의 탄성계수에 반비례한다는 이론과 부합하였다.

다만 지지 간격이 좁은 경우에는 다른 조건들과 달리 그래프 패턴에 차이를 보였다. 이는 포켓 위치가 두 지지점의 중심부에 위치할 때와 그렇지 않을 때의 대칭성 차이에서 기인한다. 즉, 지지 간격 380 mm에서는 중심에서 우측으로 100 mm 떨어진 위치에 포켓을 가공해 비대칭이고, 지지 간격 220 mm 조건에서는 포켓이 중심에 있어 대칭이다.

절삭력에 따른 치짐을 반영하여 예측한 가공 깊이 분포는 Fig. 5(b)에 나타내었다. 전체적으로 포켓의 가공 깊이는 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 증가하는 경향을 보였는데, 이는 포켓이 박판 우측에 위치하여 좌측은 지지점과 멀어 강성이 낮고, 우측은 지지점과 가까워 강성이 높아지기 때문이다. 그러나 지지 간격이 220 mm인 조건에서는 지지점이 포켓을 기준으로 대칭이므로, 가공 깊이 또한 포켓 중심을 기준으로 좌우 대칭의 분포를 나타내었다.

정량적으로 살펴보면, 알루미늄 두께 2 mm, 지지 간격 380 mm 조건에서의 최소 가공 깊이는 약 267 μm 에 불과하였다. 두께를 4 mm로 증가시키면 최소 깊이는 908 μm 로 증가하여 목표 절삭 깊이가 1,000 μm 에 근접하였다. 또한 지지 간격을 220 mm로 줄인 경우 최소 깊이는 779 μm , 재료를 철로 변경한 경우 최소 깊이는 744 μm 로 나타나 모두 목표 깊이에 가까워졌다.

따라서 재료의 탄성계수가 클수록, 지지 간격이 좁을수록, 두께가 두꺼울수록 가공 정밀도가 향상됨을 확인할 수 있다. 즉, 기하학적 오차를 고려한 보정 가공만으로도 일정 수준의 정밀도를 확보할 수 있으나, 보다 높은 정밀도를 달성하기 위해서는 지지 간격을 줄이고 두께를 증가시켜 절삭력에 의한 치짐을 최소화하는 것이 필요하다.

3.3 가공 중 변형 측정 결과

비접촉 변위 센서를 포켓 중심 하단에 설치해 가공 중 박판의 변위를 측정하였다. Fig. 6(a)는 포켓 밀링 시작에서 끝까지 측정된 박판의 변위 그래프이다. 이 센서는 공구가 포켓 중심에 접촉할 때 -700 μm 의 순간적인 아래로의 변위를 감지하였으며, 이는 공구 접촉 시 발생하는 판재의 치짐을 나타낸다. 가공 중의 평균 변위는 가공 전보다 약 400 μm 낮아졌으며, 이는 박판의 정적인 치짐 상태를 반영한다. 가공이 진행되는 동안, 포켓 중심에서의 변위는 공구의 위치에 따라 변동하였고, 그 크기는 약 200 μm 였다. 가공 공정을 비상정지(emergency stop) 버튼으로 정지시켰을 때, 박판 변위는 가공 전보다 약 0.36 mm 치진 상태를 유지하는 것을 확인

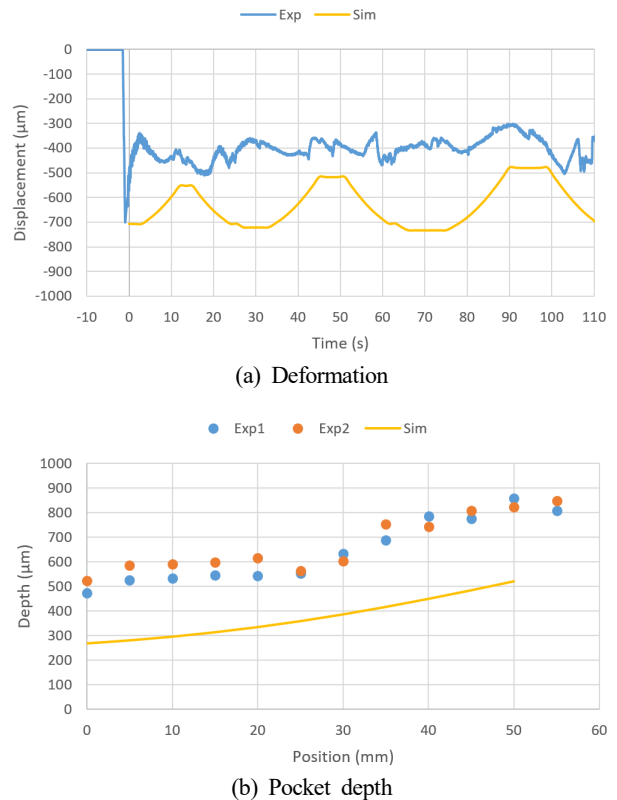


Fig. 6 Deformation error measurement result

할 수 있다.

시뮬레이션과 비교하면, 실제 측정된 변위는 더 작았으며 시간에 따른 변위 패턴에도 차이가 있었다. 평균 변위가 작게 나타난 것은 실제 축 방향 절삭력이 해석 모델에서 가정한 값보다 낮았음을 시사한다. 또한 시간에 따른 변위 패턴이 상이한 것은, 실제 절삭 과정과 단순히 공구 위치에 따라 수직 하중을 가한 해석 모델 사이에 차이가 존재함을 의미한다.

Fig. 6(b)는 수평 위치에 따른 포켓 깊이 그래프이다. 포켓의 위치가 중심에서 우측으로 이동함에 따라, 중심에 가까운 부분의 깊이는 560 μm 로 낮았으며, 우측 지지부에 가까울수록 최대 840 μm 까지 깊어졌다. 이러한 결과는 고정부에서 멀어질수록 판재의 치짐이 더 많이 발생하여 깊이가 낮아짐을 보여준다. 평균 가공 깊이는 목표 깊이 1,000 μm 보다 340 μm 부족하는데 이 값은 박판의 변위와 비슷한 값이다. 이로부터 박판의 깊이 오차가 가공 중에 박판의 치짐의 영향을 크게 받는다는 결론을 얻을 수 있다.

시뮬레이션 결과와 비교했을 때, 실험에서 측정된 절대 가공 깊이는 더 컸으나 위치에 따른 깊이 변화의 경향은 유사하게 나타났다. 이는 실험에서 실제 박판의 치짐이 시뮬레이션보다 작게 발생한 결과와 일관된 경향을 보인다.

종합하면, 이 실험 결과는 박판 밀링 가공에서 발생하는 깊이 오차가 주로 공구 접촉에 따른 판재의 치짐으로 인해 발생함을 시

사하며, 이는 고정부와와의 거리 및 가공 위치에 따른 치짐 차이에 의해 더욱 두드러진다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 얇은 알루미늄 박판의 포켓 밀링 가공에서 발생하는 가공 깊이 오차의 원인을 규명하고, 이를 개선하기 위한 보정 가공 기법과 변위 해석을 수행하였다.

첫째, 클램핑 과정에서 발생하는 기하학적 오차를 보정하기 위해 LVDT를 이용하여 박판의 높이 차이를 계측하고, 보정 가공을 적용하였다. 그 결과, 무보정 가공의 경우 가공 깊이 오차가 1.44 mm에 달했으나, 보정 가공 후에는 0.16 mm로 감소하였다. 이는 목표 깊이(1 mm) 대비 오차율이 약 140%에서 20%로 개선된 것으로, 제안된 보정 기법이 클램핑 오차 보정에 효과적임을 입증하였다.

둘째, 보정 가공 이후에도 잔여 오차가 남는 원인을 규명하기 위해 절삭력에 의한 박판의 처짐을 해석 및 실험적으로 검증하였다. CAE 해석과 비접촉 변위 센서 계측 결과, 밀링 중 최대 처짐이 약 0.36 mm 발생하여 평균 가공 깊이 부족의 주요 원인을 확인하였다. 특히, 포켓이 지지부에서 떨어진 중앙부에 위치할수록 처짐량이 증가하여 가공 깊이가 얕아지고, 지지부에 가까울수록 깊이가 깊어지는 불균일한 현상이 발생하였다.

셋째, 이러한 결과는 박판 밀링에서 단순히 클램핑 오차 보정만으로는 정밀도를 확보하는 데 한계가 있음을 의미한다. 따라서 향후에는 절삭력, 소재 강성, 고정 간격 등을 종합적으로 고려한 정밀 가공 전략이 필요하다. 특히, 조밀한 고정 방식이나 능동적 보정 시스템을 적용할 경우, 박판 가공 품질을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.





본 연구는 얇은 박판의 포켓 밀링에서 발생하는 클램핑 오차와 절삭력 기인 변형을 정량적으로 분석하고, 보정 기법을 제안하여 정밀 가공의 개선 가능성을 제시하였다. 이는 향후 박판 가공의 공정 모니터링 및 스마트 가공 시스템으로 확장하기 위한 기초 연구로 활용될 수 있을 것이다.




후 기

이 연구는 연구개발특구진흥재단 기술이전사업 연구개발과제(연구개발 과제번호: 2024-IT-RD-0178-01)와 산업통상자원부 지역혁신클러스터육성(R&D) (연구개발과제번호 P0025337)의 지원을 받아 수행되었음.

References

- [1] Zhao, Y., Jin, J., Mao, J., Liu, G., Zhao, M., 2024, Key Process Identification Method for Aircraft Skin Milling Based on Quality Characteristics and Process Correlation Analysis, Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf., 239:8 1053-1067, <https://doi.org/10.1177/09544054241262551>.
- [2] Wang, G., Li, W. L., Jiang, C., Ding, H., 2022, Machining Allowance Calculation for Robotic Edge Milling an Aircraft Skin Considering the Deformation of Assembly Process, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 27:5 3350-3361, <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3131309>.
- [3] Dobrotvorskiy, S., Basova, Y., Kononenko, S., Dobrovolska, L., Ivanova, M., 2020, Numerical Deflections Analysis of Variable Low Stiffness of Thin-Walled Parts During Milling, Adv. Des. Simul. Manuf. II (DSMIE 2019), 43-53, https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_5.
- [4] Cho, M. W., Seo, T. I., Kwon, H. D., 2003, Integrated Error Compensation Method Using OMM System for Profile Milling Operation, J. Mater. Process. Technol., 136:1-3 88-99, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00943-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00943-3).
- [5] Sadler, D. J. Ahn, C. H., 2001, On-Chip Eddy Current Sensor for Proximity Sensing and Crack Detection, Sens. Actuators A: Phys., 91:3 340-345, [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(01\)00605-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(01)00605-7).
- [6] Devillez, A., Dudzinski D., 2007, Tool Vibration Detection With Eddy Current Sensors in Machining Process and Computation of Stability Lobes Using Fuzzy Classifiers, Mech. Syst. Signal Process., 21:1 441-456, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.11.007>.
- [7] Ritou, M., Garnier, S., Furet, B., Hascoet, J. Y., 2014, Angular Approach Combined to Mechanical Model for Tool Breakage Detection by Eddy Current Sensors, Mech. Syst. Signal Process., 44:1-2 211-220, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2013.02.004>.

	<p>Seung-Min Lee Student in the School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are Precision Machining and CAD/CAM Technologies. E-mail: tmdals5797@naver.com</p>
	<p>Dong-Hyeon Jo Student in the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are CNC Machining and Sound Analysis. E-mail: mount7429@naver.com</p>
	<p>Su-Been Park Student in the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University. Her research interests are CNC Machining and Production Quality. E-mail: subean0607@gnu.ac.kr</p>
	<p>Gyu-Min Kim Student in the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are CNC Machining and AI Machine Learning. E-mail: kyumin07685@naver.com</p>

	<p>Jun-Hyeong Park Student in the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are CAM and CNC Machining. E-mail: junt3460@gnu.ac.kr</p>
	<p>Dong-Geon Kim Student in the School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are Precision Machining and CAE. E-mail: donggeon@gnu.ac.kr</p>
	<p>Su-Jin Kim Professor in the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University. His research interests are CAM and CNC Machining. E-mail: sujinkim@gnu.ac.kr</p>