

## 압축공기 토출방식 절삭칩 회수장치 설계 및 해석

김현섭\*(KIMM), 이택민(KIMM), 김동수(KIMM), 최병오(KIMM), 김광영(KIMM)

Design and Analysis of Cutting Chip Collecting Apparatus for 5 Head Router Machine

H. S. Kim(KIMM), T. M. Lee(KIMM), D. S. Kim(KIMM), B. O. Choi(KIMM), K. Y. Kim(KIMM)

### ABSTRACT

The structures of airplane consist of sheet metal part, heavy machined part, and so on, which generate enormous amounts of cutting chip when these parts are machined. The cutting chip deteriorates the part quality and production efficiency. Therefore, cutting chip collecting apparatus is necessary for better quality and efficiency. In this study, blowing type cutting chip collecting apparatus was newly proposed and the concept design of the apparatus was examined through numerical analysis. Computations using the mass-averaged implicit 2D Navier-Stokes equations are applied to predict the nozzle flow field. The standard k-e turbulent model are employed to close the governing equations. Consequently, this study shows that the suggested blowing type cutting chip collecting apparatus can be alternative to existing expensive chip collecting apparatus.

**Key Words** : Cutting chip (절삭칩), Cutting chip collecting apparatus (절삭칩 회수장치), CFD (수치해석)

### 1. 서론

항공기 기체구조물은 박판 금속 부품(sheet metal part)에서부터 중대형기계류부품(heavy machined part)까지 다양한 형태의 부품들로 구성되어 있다. 이들은 대부분 특수전용가공기에서 가공되어지며, 이와 같은 특수전용가공기는 대형화, 고속화, NC화, 무인화를 지향하여 발전하고 있다. 그런데, 이러한 항공기 기체구조물의 가공 작업 시에는 방대한 양의 절삭칩이 발생하게 되는데 이를 바로 처리하지 않으면 가공기의 효율이 떨어지고 가공제품의 품질에 악영향을 미치게 된다. 항공기 기체 구조물 가공에 있어서 절삭칩 회수장치는 절삭유와 함께 공구에서 배출되는 칩을 베드에 쌓이지 않고 가공과 동시에 자동적으로 배출 제거되도록 함으로써 칩 제거에 따른 작업손실 감소와 함께 연속적인 작업에 의해 기계 가동율을 극대화하여 생산성이 향상되도록 하여야 한다.

절삭칩 회수장치는 보통 가공기에 부착되거나 독립적으로 설치하여, 발생하는 절삭칩을 제거, 수거하는 목적으로 사용되고 있다. 일반적으로 절삭칩

회수장치 설계에서는 절삭오일을 함유한 칩을 회수부에서 회수한 후에 반송체에 의하여 배출부로 반송한 후 배출부에 설치되어 있는 수납통에 수집되는 흡입식이 주종을 이룬다. 하지만, 이와 같은 흡입식 절삭칩 회수장치는 대형 구조물로써 그 제작 비용이 상당히 고가이다.

반면, 본 연구에서 제시한 압축공기 토출식 절삭칩 회수장치는 절삭헤드에 부착된 노즐을 통하여 토출되는 압축공기를 이용하여 절삭칩을 절삭칩 회수부에 집진시켜 회수부에 장착된 이송장치를 통해 절삭칩을 회수하는 방식으로써 흡입식 회수장치에 비하여 구조도 간단하고 제작비용도 저가이므로 큰 경제성과 효율성을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 고안된 압축공기 토출식 회수장치의 설계를 바탕으로 하여 수치해석을 통하여 타당성을 검토하고자 하였다.

### 2. 압축공기 토출식 회수장치 개념

Fig. 1 에는 흡입식 절삭칩 회수장치와 본 연구에서 설계한 압축공기 토출식 절삭칩 회수장치의 개념도를 나타내었다.

Fig. 1(b) 왼쪽의 스펀들을 움직여 가공물을 가공함에 따라서 스펀들 주위에 그림과 같이 대량의 절삭칩이 쌓이게 된다. Fig. 1(a)에 나타난 기존에 사용중인 흡입식 절삭칩 회수장치는 구조가 크고 복잡하며 설비 비용 또한 막대하게 들어가나 Fig. 1(b)에 제시한 압축공기식 회수장치는 스펀들에 부착되어 있는 공압노즐과 회수통, 그리고 회수부 내의 이송장치만으로 구성되어 흡입식에 비해 간단한 구조를 가진다.

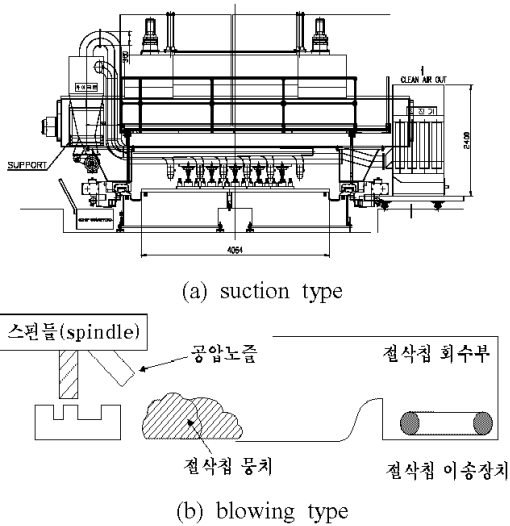


Fig. 1 diagram of cutting chip collecting apparatus

작동 메카니즘은 공압노즐에서 고압의 공기를 분사하여 절삭칩뭉치를 절삭칩 회수부로 이동, 절삭칩 회수부 내에 설치되어 있는 이송장치를 통하여 절삭칩을 한 곳에 집진 시키게 된다.

### 3. 수치해석

#### 3.1 지배방정식

본 연구에서는 노즐로부터 분사된 공기가 chip에 미치는 영향을 수치적으로 모사하기 위하여 상용 CFD코드인 FLUENT 6.1을 이용하였다. 해석에 적용된 지배방정식은 2차원 압축성 Navier - Stokes 방정식으로 아래와 같이 주어진다.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho u_j' u_i') \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( x + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_j (\tau_{ij}' e_{eff}) \right] \quad (3)$$

위의 식들을 유한체적법을 사용하여 이산화 하였으며 공간항에 대해서는 upwind scheme, 시간항에 대해서는 4단계 Runge-Kutta 법을 적용하였다.

노즐에서 고속의 기체가 분사될 때 발생하는 난류의 영향을 수치적으로 모사하기 위하여 많은 문헌을 통하여 타당성을 획득한 Boussinesq 가설을 도입한 대표적인 2 equation 모델인 표준 k-ε 난류모델을 사용하여 수치계산 하였다. 표준 k-ε 난류모델은 난류 운동에너지 k로부터 특성속도를, 점성소산율의 크기 ε을 이용하여 간접적으로 특성길이를 구하는 모델이다. k-ε 난류모델에서 난류확산계수  $\nu_t$ 는 다음의 식으로부터 구해진다.

$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

또한, 특성길이 l은 난류운동에너지의 소산률 ε을 이용하여 다음 식에 의해 구한다

$$l \approx \frac{k^{3/2}}{\varepsilon} \quad (5)$$

여기서 난류운동에너지 k와 난류 소산률 ε은 다음의 수송방정식을 이용하여 구한다.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + G_k - \rho \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G_k + C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

여기서  $C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 은 실험에서 얻어진 상수이다.  $G_k$ 항은 난류생성항으로 속도구배에 의해서 발생하는 부산물이며 난류점성에 의존하게 된다.

$$G_k = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

#### 3.2 수치계산 영역

기본적인 절삭칩 회수장치의 계약도를 가지고 전체 수치계산 영역을 설정하였다. 공압노즐이 절삭칩에 미치는 영향을 수치계산에 적용하기 위하여 1차적으로 절삭칩을 sampling하여 model을 사각형 형태로 설정, 이 사각형 표면에 작용하는 압력의 계산을 통하여 절삭칩이 노즐로부터 받는 힘을 계산하여 회수 장치까지 이동이 가능한가를 고려하고자 하였다.

기본적인 계산 영역은 다음과 같다.

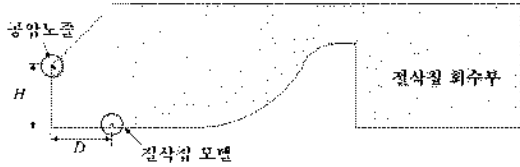


Fig. 2 Computational area of cutting chip device

모델링한 절삭칩을 절삭칩 회수장치 전방에 위치시키고 절삭칩에서 노즐까지의 수평거리를 D, 수직 거리를 H로 두고 이 두 변수를 변화 시켜 절삭칩에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 1차적으로 공압 노즐의 높이(H)는 바닥면에서 100mm로 설정하였으며 노즐에서 절삭칩 까지의 거리(D) 역시 100mm로 설정하였다. 수치계산시 사용한 노즐은 직경  $\phi 2.5$ 의 노즐로 노즐의 공급압력은  $5\text{kgf/cm}^2$  이다.

### 3.3 결과 및 고찰

Fig.3은 D와 H를 고정한 상태에서 노즐 입구에  $5\text{ kg/cm}^2 (=490332.5\text{Pa gage})$ 의 압력을 가하였을 때 유동장의 속도벡터를 나타낸 것이다.

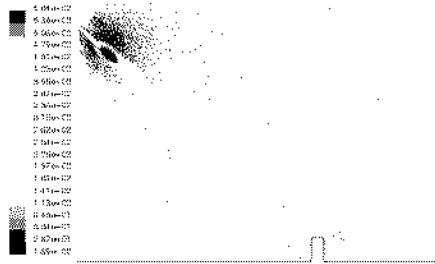


Fig. 3 velocity vector obtained from computation

노즐을 straight nozzle로 가정하였으므로 유동은 노즐 출구에서 choke하여 음속으로 된 후 계속 가속되어 그림과 같은 shock system을 형성하면서 분출된다. 이렇게 분출된 공기는 대상물인 chip과 충돌하여 그림과 같은 유동장을 형성하게 된다.

Fig. 4는 유동의 등속도 선도를 나타낸 것이다. 노즐을 통하여 분사된 공기가 가속되고 감속되는 전체 유동장의 경향을 명확히 확인할 수 있다. 또한 노즐 출구에서 기본적인 shock system을 형성하고 있는 것을 볼 수 있다. 상류 공급압이 과도할 경우 유동은 노즐 출구에서 적정팽창 되지 못하고 과팽창 되어 그림과 같은 shock system을 형성하게 된다. 이외 영향으로 장비의 진동이나 소음을 초래할 수 있으므로 노즐에 적합한 적정압력을 공급해 주는 것이 필요하다.

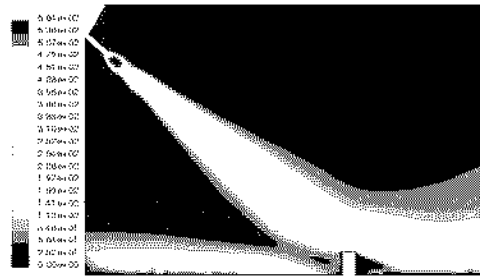


Fig. 4 Contour of velocity obtained from the computation

Fig. 5는 모델링한 chip 표면을 따라서 분포하는 정압과 동압, 그리고 전압을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 10mm 까지가 chip 왼쪽 면이며 15mm 까지가 chip 상단면, 그리고 25mm까지가 chip의 오른쪽 면이다. 정압의 경우 chip 상단면 우측으로 갈수록 상승하여 우측면에서 급격하게 떨어지고 있다. 동압의 경우는 chip 좌측면 중앙부분에서 약간의 감소를 보이다가 다시 상승하여 chip의 상단면 좌측에서 가장 큰 값을 가진 후 급격하게 떨어지고 있다. 전체적으로 압력은 칩의 좌측면에서 약 50kPa 까지 상승한 후 칩의 우측면에서 급격하게 떨어지고 있음을 알 수 있다. 칩 좌측면과 우측면의 급격한 압력의 차이는 결국 하나의 힘으로 작용하여 chip을 좌측에서 우측방향으로 특정 속도로 밀어 내는 효과를 발생하게 됨을 알 수 있다.

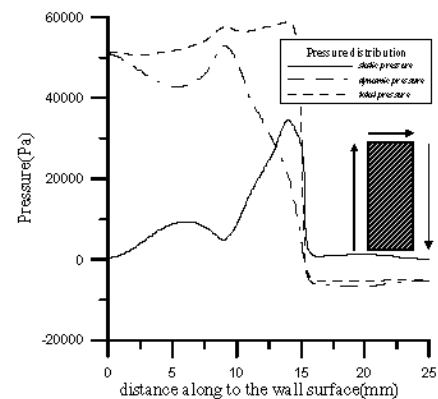


Fig. 5 Pressure distributions along to the chip wall

Table 1은 본 수치계산에서 얻어진 chip에 작용하는 힘을 방향성분별로 나타낸 것이다. 본 수치계산에서는 2차원 계산으로 힘을 구하였으며 각각 압력에 의한 힘과 점성에 의한 힘으로 구별하여 나타내었다. Table 1에서 x방향의 합력  $F_x$ 는 5.33N 이며 y방향 힘의 합력  $F_y$ 는 -1.54N 이다. 단위를 바꾸어

보면  $F_x = 0.5435 \text{ kg}_f$ ,  $F_y = -0.157 \text{ kg}_f$ 으로 두 방향의 총 합력  $F = 2.68\text{N}$ , 즉  $0.2733 \text{ kg}_f$  이다.

Table 1 Forces acting on the chip

F(N) Dir.	pressure force	viscous force	total force
x-dir.	5.3172136	0.0128288865	5.3300425
y-dir.	-1.5322696	-0.0080887524	-1.5403583
total	2.6763596	0.0033517656	2.6797114

노즐에서 분사한 공기의 영향으로 chip은 오른쪽 아래방향으로 총 합력을 받고 있음을 알 수 있다. chip의 질량을 1kg으로 가정하고 노즐의 분사 시간을 1s로 가정하였을 경우 chip은 x방향으로 5m 이상을 이동할 수 있는 힘을 받게 되는 것이다. 다음은 chip을 초기 위치에서 +x방향으로 150mm 만큼 이동시켰을 경우 유동장을 알아보았다.

Fig. 6은 chip의 위치를 변경하였을 경우의 등속도 선도를 나타낸 것이다. 노즐에서 분사된 공기는 바닥면에 충돌한 후 chip의 좌측면 하단부에 그림과 같이 작용하게 된다. 그림으로부터 유동장의 최고 속도는 노즐 끝단부에서 발생함을 알 수 있으며 chip이 이동함에 따른 유동장의 변화를 확인할 수 있다.

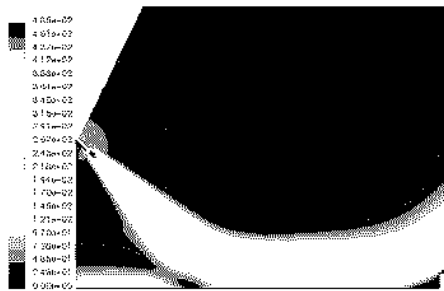


Fig.6 Contours of velocity of flow field

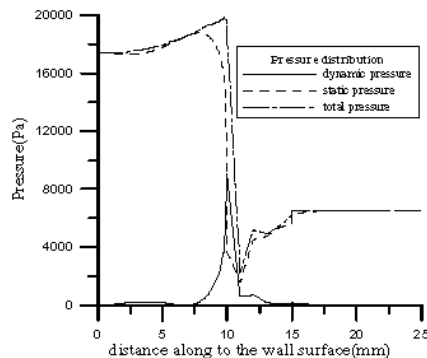


Fig. 7 Pressure distributions along to the chip wall

Fig. 7은 Fig. 5와 같이 chip의 벽면을 따르는 정압, 동압, 그리고 전압을 나타낸 그래프 이다. chip의

위치를 +x방향으로 150mm 만큼 이동하였을 경우로 이때는 chip 좌측벽면을 따라 20kPa까지 상승한 전압이 chip의 윗면에서부터 급격하게 하강하고 있음을 알 수 있다.

chip의 위치를 이동하였을 경우 chip에 작용하는 힘을 Table 2에 나타내었다. Table 2를 참조하면, x방향의 합력  $F_x = 0.967\text{N}$ , y방향 합력  $F_y = 4.8\text{N}$ 으로 Table 1과 비교하여 x방향의 합력은 약1/5배 감소하였으며 y방향의 합력은 작용방향이 +y방향으로 변화 하였으며 그 크기 또한 4배정도 증가하였음을 알 수 있다.

Table 2 Forces acting on the chip(x=150mm)

F(N) Dir.	pressure force	viscous force	total force
x-dir	0.96923986	-0.001462662	0.9677772
y-dir	4.8002626	0.00067041902	4.8009331
total	4.0796543	-0.00056020041	4.0790941

두 방향의 총 합력은 4.079N으로 단위를  $\text{kg}_f$ 로 바꾸면  $F = 0.4159 \text{ kg}_f$ 가 된다.

이 결과로부터 chip은 노즐에서 멀어질수록 x 방향의 힘의 크기는 감소하나 y 방향으로 작용하는 힘의 크기가 증가하여 chip에 상승효과를 증가시키는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 압축공기 토출형 절삭칩 회수장치의 수치해석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다. 공압노즐의 끝단에서 발생하는 shock 메카니즘과 전체 유동장을 적절히 가시화 하였다. 노즐에 공급압이 과도할 경우 노즐출구에 shock system이 형성되므로 공급압을 적절히 제어하여 주는 것이 필요하다. 또한 칩의 위치가 뒤쪽으로 이동함에 따라서 토출공기로부터 칩이 받는 힘은 x 방향의 합력은 감소하였으며 반대로 y 방향의 합력은 방향도 바뀌고 크기 또한 증가함을 알았다.

#### 참고문헌

1. KS B 6376, "General Rule for Pneumatic Systems", 1989
2. 이봉진,의 "절삭데이터 핸드북", 한국과학기술원, 1981
3. 김광영,의 "절삭칩 회수장치 설계", 제1회 항공기 기체 지능형 통합생산시스템 및 고속가공기 개발 workshop, pp.6-10, 2003.