

# 항공기 기체 가공용 대용량 절삭칩 회수 장치의 설계 평가

김광영\*, 김동수<sup>+</sup>, 강정호<sup>++</sup>

(논문접수일 2005. 10. 28, 심사완료일 2005. 11. 30)

## The Design Evaluation of Cutting Chip Collecting Apparatus to Manufacture Aircraft Components

K. Y. Kim\*, D.S. Kim<sup>+</sup>, J. H. Kang<sup>++</sup>

### Abstract

A single-piece-machined-part has superior characteristics to an assembly of several pieces of part especially for aircraft components. It is necessary to develop high efficient 'multi-head router machine' for machining a large size single-piece-part on a large scale. In this type machine, many cutting chips are generated. These chips should be removed automatically for productivity and part precision. In this study, the design evaluation of the cutting chip collecting apparatus for 'multi-head router machine' was complemented using performance test and finite element analysis.

**Key Words** : Cutting Chip(절삭칩), Collecting Apparatus(회수장치), Aircraft Component(항공기부품), Suction(흡입)

## 1. 서론

항공기 기체를 구성하는 구조물은 시트 메탈 파트(sheet metal part)에서부터 다양한 형상을 가지면서 크기는 스몰(small)에서 헤비 머신 파트(heavy machined part)에 이르는 여러 가지 그룹으로 구성되며, 이러한 부품의 가공은 소형 및 단품가공방식에서 일체형 기계 가공 부품(one piece machined part) 형태로 전환되고 있다. 이에 따라 이들을 제작하기 위한 전용의 특수 가공기가 개발되어 제품의 가공에 사용되고 있다.

이러한 특수 가공기는 대형화, 고속화, NC화, 무인화를 지향하고 있으며, 가공 시에는 방대한 양의 절삭칩이 나오게 되고 이를 바로 처리하지 않으면 가공기의 효율저하 및 불량품의 발생으로 원가상승 등 여러 가지 문제가 발생되고 있다. 그러므로 본 연구에서 개발하고자 하는 5-Head router machine의 설계 및 제작에 있어서도 가공기뿐만 아니라 가공에 의해서 발생하는 칩을 처리할 수 있는 장치설계도 기계의 효율 상승면에서 매우 중요한 역할을 한다. 절삭칩 회수 장치는 보통 가공기에 부착되거나 독립적으로 설치되어 가공에서 발생하는 절삭칩을 제거, 수거하는 목적으로 사용되

\* 한국기계연구원 김광영 (kykim@kimm.re.kr)

주소: 641-010 경상남도 창원시 상남동 66 한국기계연구원 경남지역 기계기술 지원단

+ 한국기계연구원

++ 삼성종합기술연구원

고 있다. 일반적으로 절삭오일을 함유한 칩은 회수부에서 회수한 후에 반송체에 의하여 배출부로 반송되어 배출부에 설치되어 있는 수납통에 떨어지도록 제작된다. 절삭 오일은 오일 회수관을 통하여 절삭칩과 분리되는 구조가 일반적이므로 본 연구에서는 배제하였다.

따라서 항공기 기체 구조물 가공을 위한 5-Head router machine의 절삭칩 회수장치도 절삭유와 함께 공구에서 배출되는 칩을 베드(테이블)에 쌓이지 않고 가공과 동시에 자동적으로 배출 제거되도록 함으로써 칩 제거에 따른 작업손실 감소와 함께 연속적인 작업에 의해 기계 가동률을 극대화하여 생산성이 향상되도록 설계하여야 한다.

본 연구에서는 흡입(Suction) 개념으로 대용량 절삭칩 회수 장치를 설계하고, 이후 유동 해석과 강도 평가를 통하여 안전성을 평가하였다. 또한 제작한 장치에서 흡입 시험을 통하여 설계의 타당성을 입증하고자 하였다.

## 2. 절삭칩 회수장치의 설계

### 2.1 5-HEAD 라우트 머신

본 연구에서 채택한 5-Head router machine은 스피들 회전수와 이송속도가 각각 10,000rpm, 1,000mm/min을 가지고 있으며, T-cutter 가공 툴을 사용한다면, 1.5×1.5×1.5m<sup>3</sup>의 부피로 시간당 2박스 양(최대 2톤/시간)의 절삭칩이 생산된다. 이러한 대용량 절삭칩을 제거하기 위한 장치는 제품 가공 및 공구교환 등에서 요구되는 동작의 간섭을 고려하여 가공기 위부에 설치되어야 하며, 특히 절삭칩 및 절삭유를 회수, 분리, 배출하는 것이 기본이며, 또한 에너지 절약, 부품의 내구성, 장치가격의 저렴성, 보수유지 및 조작의 편리성을 만족할 수 있어야 한다.

따라서 장치는 가공기 스피들 측면에 후드를 설치하여 석션에 의하여 칩과 절삭유를 회수, 분리하도록 하였다. 장치의 유량과 호스(hose) 직경에 따른 풍량, 고기능 및 성능을 구현하기 위한 모터, 필터수량, 부속기기 선정 및 시스템의 각 위치에서의 압력손실 등의 주요변수를 계산하였다. Fig. 1은 대용량 절삭칩 회수장치가 설치될 5-Head router machine의 형상을 보이고 있다. 사진은 실제 가공되고 있는 모습을 보여주고 있다.

Fig. 2는 절삭칩 및 절삭유 회수 시스템의 설계과정에서 필요로 하는 사양과 고려되어야 할 변수들에 대한 흐름도를 보여주고 있다.

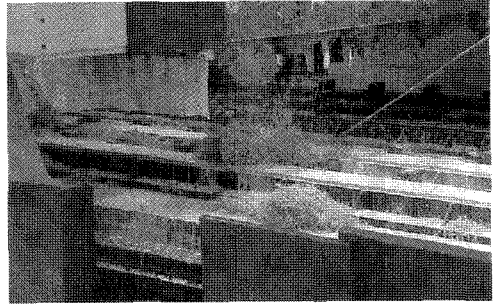


Fig. 1 The photograph of 5-head router machine

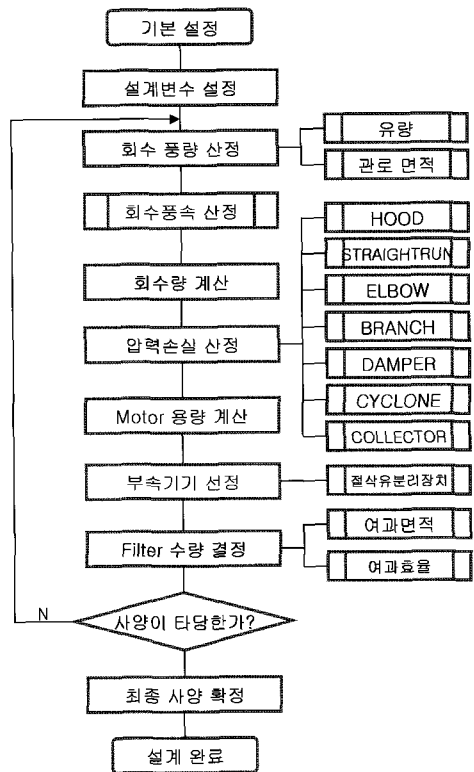


Fig. 2 Flow Diagram of Design Procedure

### 2.2 절삭칩 회수 장치의 설계

본 절삭칩 회수 장치는 다음의 설계 기준에 따라서 각종 부품의 용량 및 조건을 설정하였다. 우선 설계에 가장 기준이 되는 용량을 설정하고, 이후 발생할 수 있는 압력손실과 모터 용량을 선정하였다.

### 2.2.1 풍량 산정

사용되는 호스의 직경이 100mm이고, 호스 내 풍속이 35 m/sec라면, 사용되는 풍량은 식 (1)에 의해서 도출된다.

$$Q = 60 AV \quad (1)$$

여기서 호스의 단면적(A)을 대입하면, 풍량은 16.485m<sup>3</sup>/min로 도출된다. 실제 사용에 발생하는 오차 및 안전을 고려하여 사용 풍량은 20m<sup>3</sup>/min으로 결정하였다.

### 2.2.2 압력 손실

펌프의 용량을 설정하기 위하여 실제 사용에서 발생할 수 있는 압력손실을 계산하였다. 다음에서는 간단한 계산식과 결과만을 나타내었다.

#### 1) PRESSURE DROP

$$PV = \frac{r(v)^2}{2G} = \frac{1.2(35)^2}{2 \times 9.8} = 75\text{mmAq}$$

#### 2) HOOD PRESSURE DROP

$$KH = F \times PV \times EA = 0.5 \times 75 \times 1 = 37.5\text{mmAq}$$

#### 3) STRAIGHT RUN의 PRESSURE DROP

$$KL = F \times \frac{L}{De} \times PV = 0.024 \times \frac{100,000}{100} \times 75 = 1,800\text{mmAq}$$

#### 4) ELBOW PRESSURE DROP

$$KB = 0.27 \times PV \times EA = 0.27 \times 75 \times 2 = 40.5\text{mmAq}$$

#### 5) BRANCH의 PRESSURE DROP

$$KB = 0.27 \times PV \times EA = 0.27 \times 75 \times 2 = 40.5\text{mmAq}$$

#### 6) DAMPER에 대한 PRESSURE DROP

$$KB = 0.9 \times PV \times EA = 0.9 \times 75 \times 1 = 100\text{mmAq}$$

#### 7) CYCLONE BODY PRESSURE DROP

$$Cp = (\text{압력손실} : 50 - 100\text{mmAq}) = 100\text{mmAq}$$

#### 8) DUST COLLECTOR BODY PRESSURE DROP

$$Bp = (\text{압력손실} : 100 - 500\text{mmAq}) = 500\text{mmAq}$$

이상에서 모든 손실을 합하면, 2,661mmAq이고, 다른 오차를 보정할 수 있도록 충분히 압력손실을 고려하여 3,000 mmAq로 결정하였다.

### 2.2.3 모터 용량 산출

모터 용량을 계산하는 기본식 (2)에 대입하여 도출된 용량은 15.6kW이며, 이것을 마력으로 환산하는 식은 (3)에 보여주고 있다.

$$KW = \frac{P \times Q}{6,120 \times \eta} \times \mu \quad (2)$$

$$= \frac{3,000 \times 20}{6,120 \times 0.75} \times 1.2 = 15.6\text{kW}$$

$$HP = KW \times 0.75 = 20\text{HP} \quad (3)$$

따라서 절삭칩 및 절삭유 회수시스템 설계 사양은 Table1과 같이 결정하였으며 시스템의 기본 회로도는 Fig. 3에 나타내었다. 연구에서 채택한 5-Head router machine은 스피들 회전수와 이송속도가 각각 10,000rpm, 1,000mm/min을 가지고 있으며, T-cutter 가공 툴을 사용한다면, 1.5×1.5×1.5m<sup>3</sup>의 부피로 시간당 2박스 양(최대 2톤/시간)의 절삭칩이 생산된다. 이러한 대용량 절삭칩을 제거하기 위한 장치는 제품 가공 및 공구교환 등에서 요구되는 동작의 간섭을 '고려하여

Table 1 Design Spec. of Cutting Chip Apparatus

Items	Specification
Air flow	20 m <sup>3</sup> / min
ΔP	3,000 mmAq
Number of Filter	4 EA
Motor	20 HP

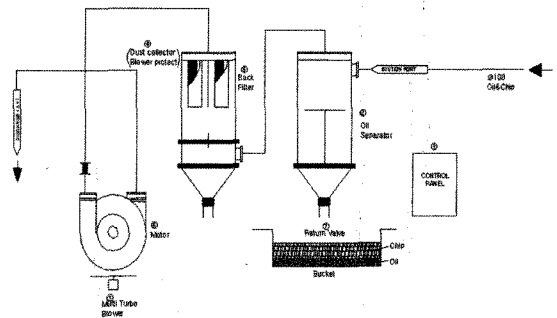


Fig. 3 Schematic of Cutting Chip Collecting Apparatus

가공기 외부에 설치되어야 하며, 특히 절삭칩 및 절삭유를 회수, 분리, 배출하는 것이 기본이며, 또한 에너지 절약, 부품의 내구성, 장치가격의 저렴성, 보수유지 및 조작의 편리성을 만족할 수 있어야 한다.

### 2.3 설계 도면

앞에서 고려한 여러 가지의 변수들을 고려하여 설계한 가공기의 도면과 절삭칩 흡입 장치의 개략도는 Fig. 4와 같다.

### 2.4 절삭칩 형상 및 크기

가공기에서는 주로 엔드밀, 페이스카터, T형 카터의 가공이 행하여지며, 가공할 때의 발생하는 칩의 형상은 Fig. 5와 같다. ISO에서 분류한 칩의 형상에 따르면 엔드밀 가공에서는 Conical helical short형이고, 페이스 가공에서는 Wash type helical long형이 대부분을 차지하고 있다. 그리고 선단과 칩과의 거리가 100mm정도부터 칩의 제거가 시작되었으며 거리가 짧을수록 제거되는 양이 많아졌다.

## 3. 안전성 평가

설계된 제품의 안전성을 평가하기 위해서, 압력차 및 다양한 칩에 의해서 발생할 수 있는 강도 및 강성도 평가를 수행하고, 또한 흡입구 주변에서 발생하는 압력분포 및 속도 분포를 다양한 조건에서 대해서 분석하여 최적의 흡입관 형상을 도출할 수 있도록 하였다.

### 3.1 절삭칩의 흡입력

5-Head router machine의 절삭칩 회수 장치는 흡입 방식을 채택하였으므로, 흡입구 주변의 압력분포가 매우 중요하

다. 흡입구 주변에서 발생하는 압력 차이에 의해서 다양한 형상을 가진 절삭칩이 이동될 수 있을 것으로 사료되기 때문이다. Fig. 5에서 나타내고 있는 절삭칩을 참조하여, Fig. 6에서 보여주는 단순한 육면체로 가정한다면, 하나의 절삭칩을 상승시키기 위해서 요구되는 힘의 평형 상태를 나타내고 있다. 즉, 하나의 절삭칩 무게는 식 (4)에서 나타난다.

$$\begin{aligned} W &= \rho \times V \times g \\ &= 2800 \times 0.18 \times 10^{-5} \times 9.8 \\ &= 4939.2 \times 10^{-5} N \end{aligned} \quad (4)$$

만약, 절삭칩에서 발생하는 압력차가 1Pa이라면, 절삭칩을 상승시키는 힘은 단면적을 곱하여 식 (5)과 같이 구해진다.

$$F_{\Delta P} = \Delta P \times A_{area} \quad (5)$$

그러므로 힘의 차이는 5.5배 차이가 발생하므로, 흡입구 주변에서의 압력차이는 최소 6Pa이상이 되어야 한다. 해석에서는 절대 대기압으로 계산하기 때문에 흡입구주변에서는  $1.67 \times 10^4 \text{bar}$ 이상이 되어야 한다.

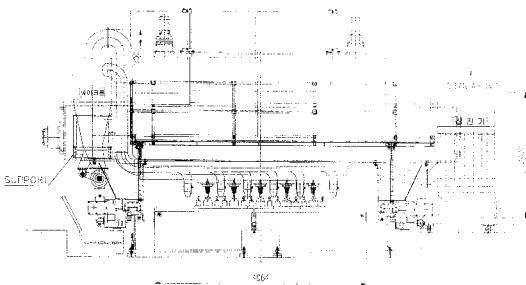
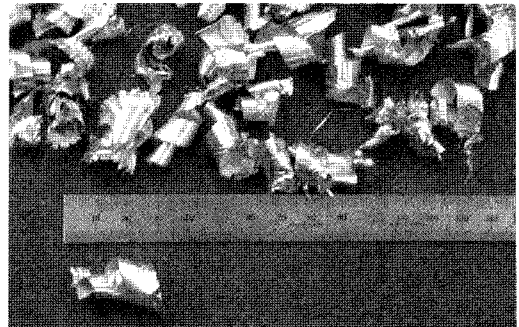
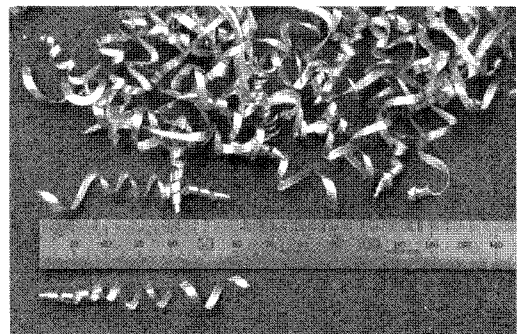


Fig. 4 The drawing of suction type Cutting Chip Collecting Apparatus



(a) Using the end mill



(b) Using the face cutter

Fig. 5 Type of Cutting Chip

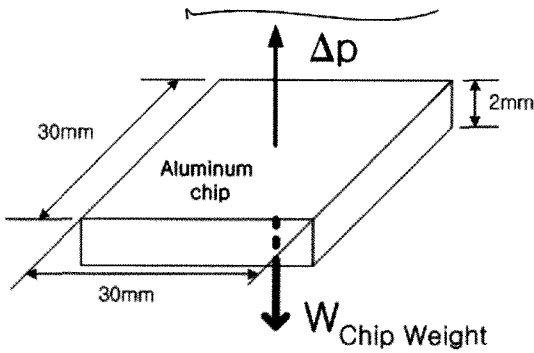


Fig. 6 The force equilibrium state around cutting chip

### 3.2 유동해석

흡입구 주변의 유동 및 압력 분포 해석은 CFX5.7를 사용하여 해석을 수행하였으며, 이때 흡입구 형상 및 흡입 각도에 따른 영향성을 분석하여 최적의 흡입구 형상에 제시할 수 있도록 하였다.

해석에서 사용되는 모델은 Fig. 7에 흡입관의 끝단이 원형을 가지는 모델에 대해 메시된 형상을 나타내었다. 해석을 위한 경계조건으로 흡입구에는 대기압을, 집진 덕트에 부착되는 출구에는 0.7atm을 대입하여 결과를 도출하였다.

#### 3.2.1 흡입구 형상의 영향

흡입구의 형상에 따른 흡입구 주변의 압력 및 속도 분포를 평가하기 위해서, 두 가지 모델에 대해 유동해석을 수행하였다. 이때, 적용된 형상은 원형과 정사각형이다. 두 모델은 단

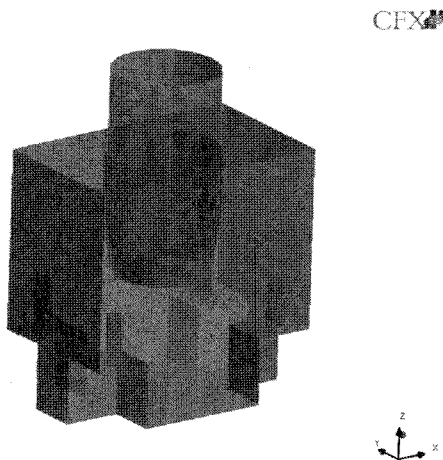


Fig. 7 The meshed shape of analysis model

면적은 동일하게 발생할 수 있는 오차를 최소화하였다.

Fig. 7에는 유동해석에서 적용된 모델의 메시된 형상을 보이고 있다. Fig. 8 (a)와 (b)에는 흡입관의 각도가 수직방향일 때의 흡입관 끝단 형상을 보여주고 있다. 5-head router machine에 가공물의 장착하기 위한 지그와 절삭칩이 적재될 수 있는 공간으로 인하여 밑단의 형상이 복잡하게 구성되어 있다.

Fig. 8에서 보여준 두 모델에 대한 유동해석을 수행하여 흡입관 주변에서 속도분포와 압력분포에는 거의 차이를 보이지 않았다. 또한, 동일한 흡입관의 직경으로 압력차이도 낮게 나타났다. 또한 흡입관 주변에서 발생하는 압력 차이는 계산된 값보다 상당히 높은  $0.0596 \times 10^5 \sim 0.0583 \times 10^5 \text{ Pa}$ 로 하나뿐만 아니라 여러 개의 절삭칩이 결합되어 무게가 증가되어도 충분히 흡입될 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 9에는 두 모델의 압력 분포를 보여주고 있다. 거의 동일한 분포를 보여주고 있으나, 직사각형 흡입관인 경우에는 흡입관 주변에서 낮은 압력공간이 크게 존재하여 흡입시 진동 및 소음이 발생할 것으로 사료된다.

다음은 흡입구의 폭을 변화시켜서 흡입구 주변의 속도 및 압력분포 변화를 살펴보았다. 모델은 사각형 형상을 도입하였다. 흡입구 끝단의 치수를  $100 \times 200 (\text{mm}^2)$ 으로 확대된 모델과  $60 \times 100 (\text{mm}^2)$ 으로 축소된 모델을 사용하였다. 동일한 해석 조건으로 유동해석을 수행하였다.

흡입관 주변의 압력분포는 거의 유사하고, 절삭칩을 흡입할 수 있을 만큼 충분한 압력차이를 보이고 있었다. 또한, 흡입관이 증가되면, 압력강해지는 지역이 증가되고 있으나, 흡입관의 끝단에서 상당히 떨어진 곳에서 발생하므로 진동에 의한 소음은 상당히 감소될 수 있을 것으로 사료된다. Fig. 10에는 흡입관이 확대된 경우와 정사각형인 경우의 속도 분포를 보이고 있다. 확대된 경우에 속도 벡터는 영역이 상당히 크게 발생하여 흡입에는 상당히 유리하게 발생할 것으로 사료된다.

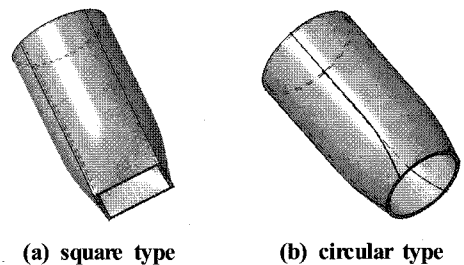


Fig. 8 The shape of suction pipe with respect of variation of a pipe edge's geometry

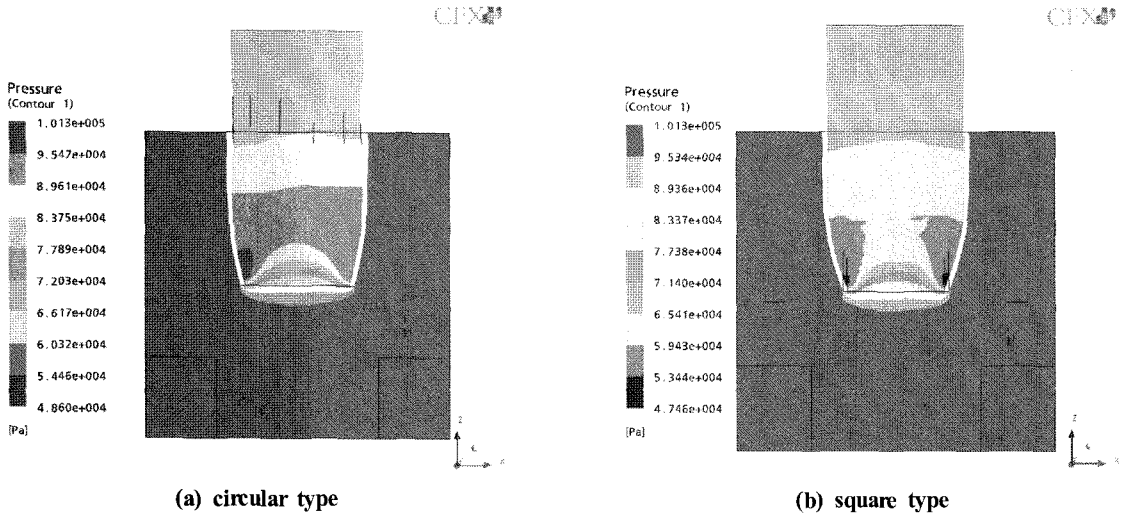


Fig. 9 The pressure distribution of each type model

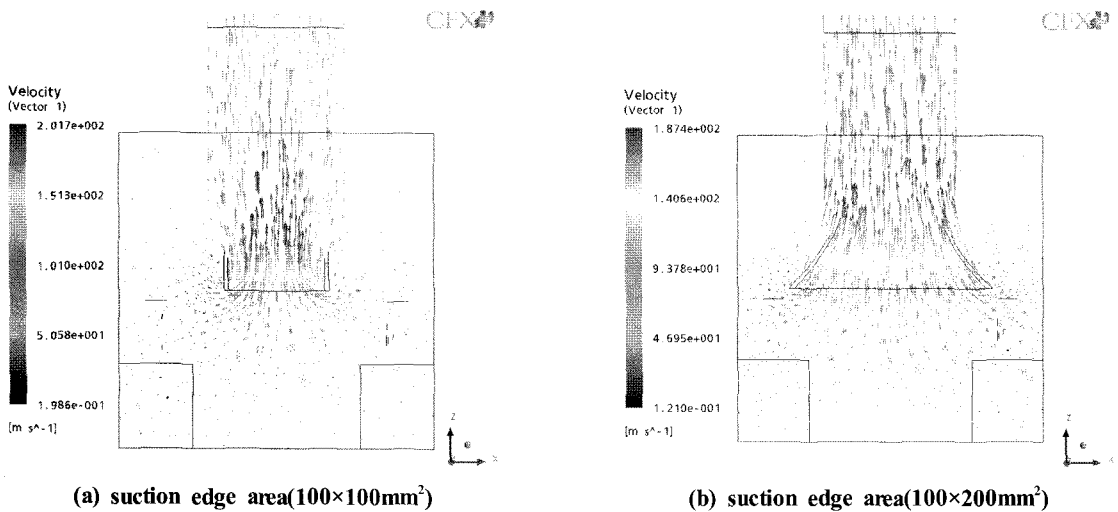


Fig. 10 The velocity vector distribution of each type model

### 3.2.2 흡입 각도의 영향

5-head router machine에 부착되는 흡입관들이 수직방향이 아닌 다양한 흡입각도에 따른 영향을 분석하기 위해서 원형 흡입관의 각도를 10, 20, 30°에 대해서 유동해석을 수행하여 결과를 도출하였다. Fig. 11에는 각도가 30°일 때, 흡입관 주변의 압력분포를 보이고 있다. 압력값 차이는 수직방향과 비교하여 낮게 보이고 있고, 낮은 압력 지역이 한쪽에서 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

### 3.2.2 덕트 직경 설정

설계된 덕트의 형상을 Fig. 12에 보이고 있다. 초기 흡입관에서부터 끝까지의 직경이 작아지고, 또한 각각의 흡입구의 형상을 보이고 있다. 해석은 동일하게 흡입구에는 대기압을, 짐집 덕트에 부착되는 출구에는 0.7atm을 경계조건으로 대입하여 결과를 도출하였다.

동일하게 직경 변화 1과 같이 전체적으로 속도는 증가됨을 알 수 있으며, 최대 속도도 직경 변화 1에 비해 조금 낮아

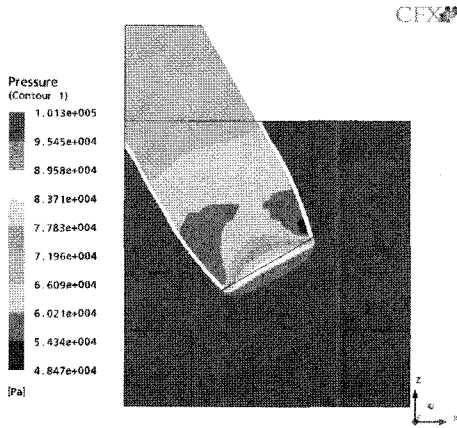


Fig. 11 The pressure distribution in the vicinity of suction pipe edge when suction angle is 30°



Fig. 12 The designed duct shape of suction type

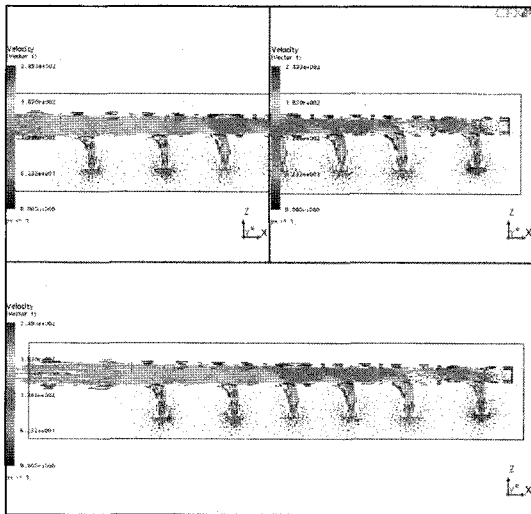


Fig. 13 The distribution of velocity in optimal duct size

짐을 알 수 있다. 하지만, 6번에서 속도와 5번에서의 속도가 향상되고 있음을 알 수 있다. 이것으로 전체 모델에서 5번의 직경을 조절하고, 6번의 직경은 동일하게 하는 것이 전체 속도의 향상에 도움이 됨을 알 수 있다.

#### 4. 결론

대용량 절삭칩 회수장치를 설계 및 안전성 평가를 수행하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 설계를 위한 기초 자료를 기본으로 자동화된 절삭칩 회수 장치를 설계 및 제작하였다.
- (2) 기초실험을 수행한 결과 절삭칩과 절삭유를 제거할 수 있는 충분한 압력이 제공되었다.
- (3) 유동해석을 수행한 결과 흡입압력이 충분할 것으로 사료되며, 흡입구의 형상도 큰 영향을 받지 않을 것으로 사료된다. 하지만 압력 강하 지역의 영향으로 작업 시에 진동 및 소음이 발생될 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 절삭장치를 고려하여 흡입구 끝단의 크기가 확대된 경우에 흡입압력은 충분하며, 흡입주변에 넓은 속도 분포를 가짐으로서 절삭칩 흡입에 유리하므로 적정 모델로 사료된다.
- (5) 흡입구의 각도 변화에 따른 흡입 압력과 속도의 변화는 미비하므로 흡입구의 각도는 수직으로 설정하는 것이 유리할 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- (1) Dean, W. R., 1927, "Noted on the Motion of Fluid in Curved Pipe," Phil. Mag., Vol. 4, pp. 208~223.
- (2) Smith, A. J., 1980, Internal Fluid Flow, Clardon Press, Oxford, 138.
- (3) Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," Mc-Graw Hill, New York.
- (4) Hwang, I. O., Kang, I. S., Kang, M. C. and Kim, J. S., 2003, "Environmentally Conscious High Speed Machining Characteristics of Aluminium Alloy(AC4C.1)," Proc. of KSMTE, pp. 95~99.