



회전톱 재단기의 미세먼지 집진효율 향상을 위한 형상 설계 개선

김 기 희¹, 이 희 남², 전 완 호³

Shape Design Improvement of the Rotary Cutting Machine to Improve the Dust Capturing Efficiency using CFD

G.H Kim, H.N Rhee and W.H Jeon

Dust released from the rotating timber cutting process causes various kinds of diseases as well as safety issues. Although there were lots of efforts to reduce the amount of dust by installing large-sized dust collectors or by using expensive high-quality cutters, they proved to be not so effective. In this study we want to modify and improve the design of the rotary cutter system to prevent dust from being released to the environment as possible by using computational fluid dynamics (CFD) analysis. We have developed CFD models of the conventional cutter and several design modifications. Through the CFD analysis the characteristics of the air flow was predicted, and then the behavior of dust produced during the cutting process was analyzed for different designs. The most efficient design feature to capture dust inside the cutter as much as possible was chosen based on the CFD analysis results. Finally the prototype of the rotary saw machine was constructed and tested to check the dust capturing efficiency, which result is reasonably consistent with the predicted performance through the CFD analysis.

Keywords: 전산유체역학(CFD), 비정상유동(Unsteady Flow), 입자추적방법(Particle Tracking Method), 회전톱(Rotary Cutter), 집진성능(Dust Capture Efficiency)

1. 서 론

목재를 자르고 성형하는 과정에서 발생하는 미세먼지 및 이물질은 사업장을 오염시키고 시야를 방해할 뿐만 아니라 작업자에게 폐질환 및 각막손상 등의 산업재해를 유발한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 고가의 대형 집진기를 설치하거나 수입재단기를 사용하는 등 여러 가지대책을 마련하고 있으나 현장에서는 근본적인 문제는 여전히 개선되지 않고 있다. 따라서 물체를 재단 할 때 쓰이는 고속 회전 톱날에 의하여 발생하는 톱밥과 미세먼지를 공기의 흐름으로 제어하여 문제점을 개선하는 장치 개발이 필요한 상황이다[1, 2].

본 연구에서는 미세먼지 비산을 최대한 방지할 수 있도록 재단기의 내부 공기 흐름을 제어 할 수 있는 최적의 설계 구조 변경 방안을 마련하고자 한다. 이를 위해서 기존의 회전톱 재단기 설계 변경 안에 대한 전산유체역학 모델들을 구축하고, 전산유체해석을 통해 회전톱 가동에 따른 공기 유동장과 미세먼지의 흐름 및 집진 효율을 예측하여 비산 먼지를 최대한 억제할 수 있는 설계 개선에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 전산유체해석 결과로부터 제안된 설계 개선안을 바탕으로 시작품을 제작하여 실제로 비산 먼지량 측정 실험을 수행했고 전산유체해석을 통해 예측한 성능과 일관성이 있는 결과를 얻을 수 있었다.

2. 목재 재단기의 구조

목재 재단기구조는 원형 톱이 회전하면서 목재를 재단하고 이 때 발생하는 톱밥과 미세먼지가 대기 중으로 방출되면 심

1 순천대학교 대학원 기계공학과 석사과정

2 순천대학교 기계우주항공공학부

3 씨텍(주) 기술연구소장

* TEL : 061) 750-3824

* Corresponding author E-mail: hnrhee@sunchon.ac.kr

각한 환경오염을 발생시키므로 이를 방지하기 위한 집진기가 있다.

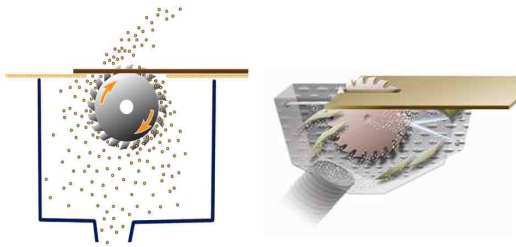


Fig. 1 Table Saw

3. CFD를 통한 설계 개선

3.1 모델링

산업현장에서 사용하는 일반적인 목재재단기 형상을 기본으로 하여 미세입자들의 대기 방출을 최소화 하도록 설계 개선안을 도출하기 위해 Fig. 2와 같이 기본 모델 외 4가지 형태의 설계 개선 안에 대한 3차원 CAD 모델링을 수행하였다.

3.2 해석 방법 및 모델

3D CAD 소프트웨어 CATIA V5[3]를 사용하여 모델링한 후 CFD 상용코드인 SC/Tetra[4]를 상용하여 비압축성 전산유체해석과 미세먼지(톱밥)의 이동 경로를 예측하기 위해서 직경 5mm의 나무 재질을 적용한 2000여개의 입자를 발생 시켜 particle tracking method 해석을 수행하였다.

3.3 Case 1~ 4 해석 결과

일반 재단기 형상을 기반으로 한 모델과 형상 설계를 개선한 모델에 대한 유동 및 particle tracking 해석 결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 유선이 suction부의 흡입력에 의해 전체적인 유동의 방향이 아래로 향하는 것을 볼 수 있다. 해석 결과 형상설계를 개선한 모델들(Case 2, 3, 4)은 기본 모델(Case 1)보다 집진 성능이 향상된 결과를 보여준다. 이로써 개선 모델에 추가된 suction과 air guide가 집진 성능 향상에 상당한 효과가 있음을 확인하였다.

3.4 Case 5 설계 모델 제안 및 해석결과

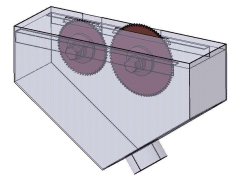
Case 5 모델은 Case 1, 2, 3, 4모델을 이용한 CFD 해석결과를 바탕으로 개선된 설계안을 종합 검토하여 설계한 최종 모델이다.

유동해석 결과 Fig. 3 (e)의 Case 5 모델은 Case 1, 2, 3, 4 모델에 비해 흡입구 방향으로 흐르는 유동 흐름이 더 원활해졌으며 집진 효율(해석 초기 발생시킨 particle의 수 대비 흡입

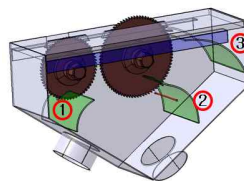
구로 빠져나간 particle의 비율)은 약 90%에 이르는 것으로 계산되었다. 이는 Case 1 대비 약 20%, Case 4,5 대비 약 60% 향상된 결과이다. (Table 1, Fig. 4)



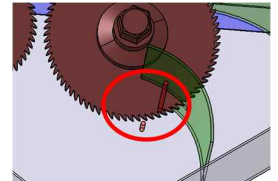
(a) Case 1 Model (Basic Model)



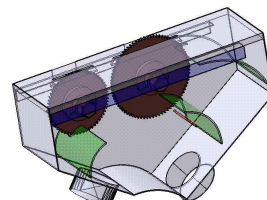
(b) Case 2 Model



(c) Case 3 Model



(d) Case 4 Model



(e) Case 5 Model

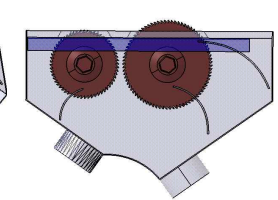


Fig. 2 Table Saw Models

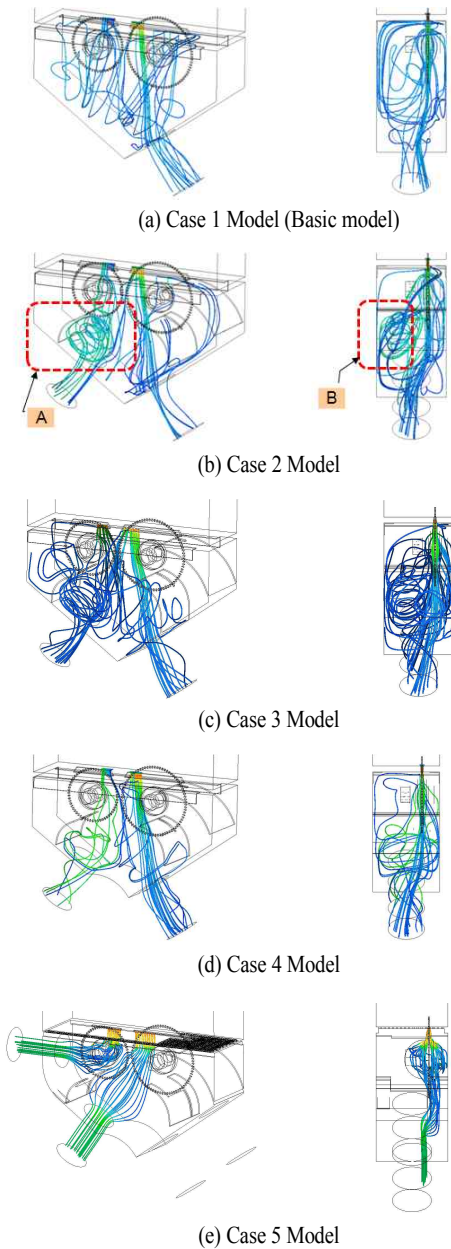


Fig. 3 Streamline for each Model

Table. 1 Number of Particles through the Outlet
(Total Number : 2004)

Case 1	504
Case 2	912
Case 3	1124
Case 4	1396
Case 5	1885

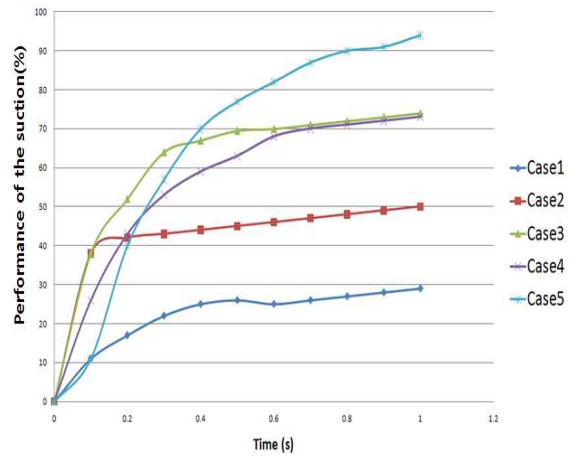


Fig. 4 Performance of the suction

5. 실험

전산유체역학 해석을 통해 집진 성능이 우수하다고 판단되는 Case 5 모델을 기반으로 시작품을 제작하여 가동 중 미세 먼지 발생량 측정 실험을 실시하였다.

Fig. 5 와 같이 Case 5를 참고로 하여 제작된 재단기(Type A)와, 같은 기종의 일반 재단기(Type B)에서 발생하는 미세 먼지를 측정하고 비교 분석하였다. 미세 먼지 측정기는 광산 란범[5]을 사용한 실내 공기 측정 장비인 Turnkey Instrument사의 DustMate를 사용하였다.

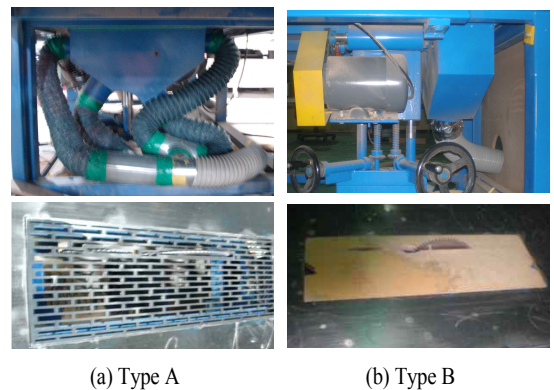


Fig. 5 Experiment System with and without Shape Design Improvement

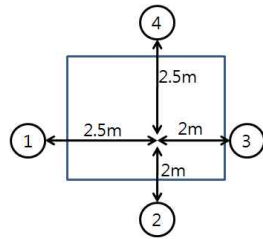


Fig. 6 Dust Measuring Locations

대기 중에 떠다니는 미세먼지의 직경 $0.001\mu\text{m}$ 에 이르는 모든 입자상물질 TSP(Total Suspended Particle)와 입자의 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하인 먼지 PM-10, 그리고 직경이 $25\mu\text{m}$ 이하인 PM-25, 마지막으로 직경이 $1\mu\text{m}$ 이하인 PM-1 네 가지 먼지 군을 Fig. 6 과 같이 4곳에서 측정하였다.

Fig. 7 에 나타난 비산된 미세 먼지량을 확인한 결과 집진성능으로 보았을 때 새롭게 설계 제안된 재단기(Type A)가 일반 재단기(Type B)에 비해 집진성능이 94%가량 향상된 결과를 얻었다. 이 측정결과는 CFD 해석 결과와 유사하며 CFD 해석 결과가 타당함을 알 수 있다.

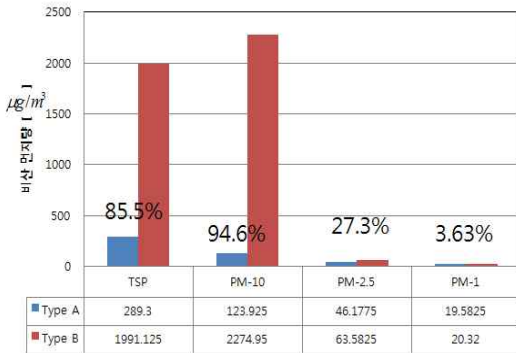


Fig. 7 Comparison of the Amount of Dust

6. 결 론

회전톱을 사용하는 목재 재단기로부터 발생하는 미세먼지 및 이물질의 양을 감소시키기 위한 설계개선 연구를 수행하였다.

전산유체해석을 통하여 유동해석을 수행하고 유동장에 입자를 첨가한 후 입자의 궤적을 추적하는 입자추적방법을 이용하여 목재 재단 중에 발행하는 입자들이 어느 위치에 쌓이고 어떤 경로를 통해 대기로 방출되는지 분석하였다. 기존 목재 재단기의 집진 성능을 확인한 후 집진 효율을 높이기 위한 설계 개선안을 마련하고 기존 재단기와 마찬가지로 방법으로 전산해석을 이용하여 집진효율을 예측하였다.

최종적으로 집진효율이 높다고 판단된 설계안을 참고로 하여 시작품을 만들고 기존 제품과 비교하여 집진효율이 얼마나 차이가 나는지에 대한 실험을 수행하였다.

실험 결과 설계 개선안을 기반으로 제작된 시작품의 집진 효율이 기존제품에 비해 대폭 향상된 것을 확인하였으며 전산유체해석을 통해 예측한 성능과 일관성이 있는 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] 1997, 민병수, 이상우, "호흡성 먼지 조절을 위한 필요 환기량에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회, 제 17권 1호, pp.279-282.
- [2] 1996, 정태섭, "비산먼지의 대기 중 전송과정의 모델화에 관한 연구", 대한환경공학회지, 제 18권 10호, pp.1171-1182.
- [3] CATIA V5 Documentation R18.
- [4] CFD code SC/TETRA user's manual, <http://www.cedic.biz>.
- [5] 2009, 김서진, 외 6인, "광산란법 미세먼지 측정 보정", 한국대기환경학회 학술대회논문집, pp.613-615.