

곡물선별기 고속에어건 분사정밀도 개선에 관한 연구

A Study on Performance Improvement of Air gun of Grain Sorter

*#조지승¹, 김진대¹, 김경호¹, 권준효²

*#C. S. Cho(okrobo@dmi.re.kr)¹, J. D. Kim¹, K. H. Kim¹, J. H. Gwon²

¹ (재)대구기계부품연구원 지능로봇연구팀, ² 아이디알(주) 기술연구소

Key words : Grain Sorter, Air Gun, Optimal Design, Computational Fluid Dynamics

1. 서론

곡물 색채선별기는 쌀, 현미, 찹쌀, 흑미, 기장 등 곡물생산에 따라 발생되는 변색-불량 곡물을 판별해 분리하는 RPC (Rice Processing Complex) 장비이다. 상부의 Hopper로 투입된 곡물이 Feeder를 통과하여 경사진 분리 슬라이딩판(Chute)을 통과해서 하강하면 하측에 설치된 고속 라인 스캔 카메라로 영상 이미지를 획득, 제어부에서 양분 판정한다. 판정된 곡물은 고속 공압의 공기를 이용한 에어건을 통해 변색-불량 곡물을 분리시킴으로서 양품을 분리하는 시스템이다. 따라서, 에어건의 노즐을 통과하여 대기중으로 사출되는 공기 유동장 확산의 최소화는 곡물분류기의 중요한 성능중의 하나이다. 본 연구에서는 곡물 선별력을 높이기 위하여 공기의 유동장 해석을 통해 에어건의 분사정밀도를 최대화하고자 한다.

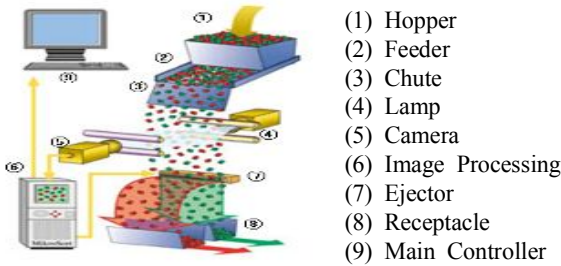


Fig. 1 Outline of Grain Sorter

2. 유동해석 방법

2.1 유동해석 격자 및 설계변수

Fig 2은 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 활용한 유동장 해석에 적용될 노즐의 형상을 나타낸다. 동일한 크기의 노즐이 일정한 간격으로 배열을 이루어 설치되어 있으며, 효율적인 유동 해석을 위하여 반복되며, 노즐 4개를 모아 한 세트로 잡아서 유동해석을 수행한다. 노즐과 연결되는 튜브로부터 출구까지 단면적의 변화는 거의 없으나, 노즐 출구부위에 테이퍼진 홈을 파서 약간의 초음속 노즐의 효과를 가지고자 한다. 이 형상을 바탕으로 하여 Fig. 3와 같이 유동장 영역을 추출한 후에 격자를 생성하였으며, 특히 노즐과 연결되는 관로의 부위는 튜브 지름(4mm)의 20배 이상의 길이를 주어 노즐부위에 도달하기 전 튜브 내의 유동이 완전 발달된 유동으로 성장할 수 있도록 하였다. CFD 유동해석을 위한 격자 생성을 함에 있어서 정밀한 해석의 수행을 위하여 유동장이 급속하게 변화하는 노즐의 출구부위에 격자를 밀집시켜주었으며, 격자(node)의 총 수는 약 120만개이다.

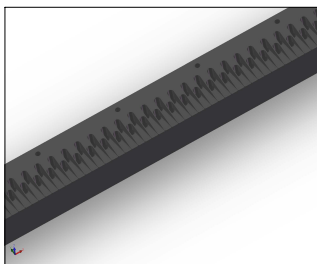


Fig. 2 Shape of Nozzle

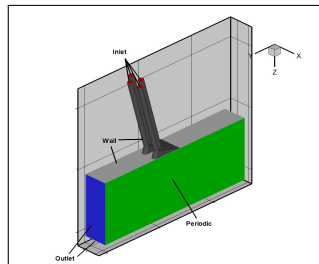


Fig. 3 Fluid zone

2.2 경계조건 및 시험조건

공기의 상태는 압축성 이상 기체 조건을 사용하였으며, 이 조건은 공기의 유동속도가 천음속 및 초음속의 영역까지 변화하게 되는 경우로 공기노즐은 압축성 효과를 고려한 초음속 노즐 형상을 고려하는 에어건의 경우에 적절하다. 유동장 해석을 위한 지배방정식으로는 기본적인 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식에 난류 점성의 계산을 위하여 SST 난류 모델을 추가적으로 적용하였다. 유동해석 solver의 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Solver conditions

Materials	Air	Compressible-ideal gas
Computation	Formulation	Implicit
	Time	Steady state
	Viscous	SST turbulence model

노즐에 연결되는 튜브입구의 조건과 외부로 빠져나가는 유동의 경계 조건은 Table 2와 같이 주었다. 입구조건(inlet)의 설정을 위하여 주어진 유량과 압력에 근거하여 입구 평균속도와 일정압력의 조건을 설정하여주었으며, 출구조건(outlet)은 300K, 0atm의 일반적인 외기조건을 적용하여주었다. 노즐 내부의 벽면조건은 점착(no-slip) 단일(adiabatic) 조건을 주었으며, 이 조건은 점성 유동해석 문제에서 일반적으로 적용하여주는 조건이다.

Table 2 Boundary conditions

Inlet	Pressure	4 atm (\approx 4kgf/cm ² , gage pressure)
	Surface normal velocity	238 m/sec \approx 3cc/msec (Ma. = 0.69)
	Temperature	300 K (\approx 27°C)
Outlet	Backflow Pressure	0 atm (gage pressure)
	Backflow temperature	300 K (\approx 27°C)
Wall	No-slip adiabatic wall condition	

3. 해석 결과

Fig 4는 노즐의 중간부위를 기준으로 한 단면상에서 유동속도의 분포를 보여주고 있다. 노즐에서 사출되는 공기는 노즐 이후에 taper진 홈 부위를 통과하며 마치 초음속 divergent diffuser에서 나타나는 현상[2]과 같은 가속되는 효과를 보고 있으며, 유동의 Ma가 2이상의 수치까지 나오고 있다. 또한, 노즐을 떠난 유동은 흐름이 넓게 퍼지지 않고 모여서 진행되는 초음속 jet 유동장의 구조의 보이고 있으며, 이러한 유동특성이 유지되는 영역은 노즐 출구부위의 유동속도를 더욱 증가시키게 되면 더욱 향상되게 된다. 그러나, 이러한 초음속 divergent diffuser의 효과를 보이는 taper진 홈부가 한쪽 면만이 이 가속효과에 영향을 미치고 있으며, 다른 한쪽은 노즐과의 각도가 너무 크게 설정된 결과로 유동이 박리되며 divergent diffuser의 효과가 상쇄되고 있다. 그러나 홈부의 가공 방법을 생각하면 홈부의 각도가 90도로 유지될 수 밖에 없으므로, 한쪽이 노즐과의 각도가 작은 수준으로 유지되려면 다른 한쪽은 각도가 커질 수 밖에 없다. 차 후 더 좋은 성능을 가지는 노즐을 설계하려면 노즐 출구의 홈을 가공하는 방법을 바꿔서 노즐 출구에 본격적인 divergent diffuser를 적용하는 방법이 필요하다.

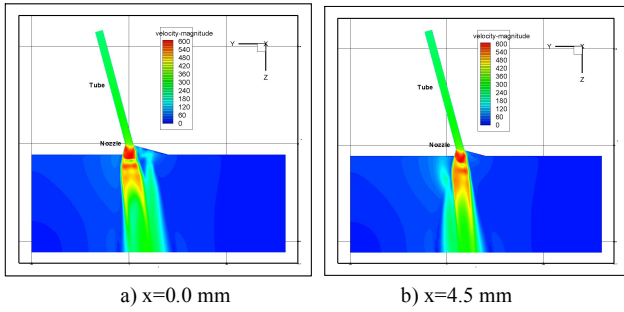


Fig. 4 Velocity magnitude(m/sec) contours at the cross section

Fig 5는 노즐에서부터 노즐 part의 벽면에 수직인 z 방향으로 50mm 떨어진 위치의 공간상 평면에서 유동속도 분포를 보여주고 있다. 노즐에서 사출된 유동은 초음속 영역까지 가속되어 초음속 jet 형태의 유동구조를 보여주었으며, 이러한 초음속 유동은 유동이 확산되는 정도(L)도 노즐 출구부위의 형태에 따라 어느 정도 결정되는 특성을 가지고 있다. 따라서, 노즐과 taper진 홈이 이루는 각도를 설계변수로 활용하여 노즐의 성능을 측정하는 기준으로서 유동속도와 일정 위치에서 유동이 확산된 정도(L)를 활용하여 최적화를 수행하였다.

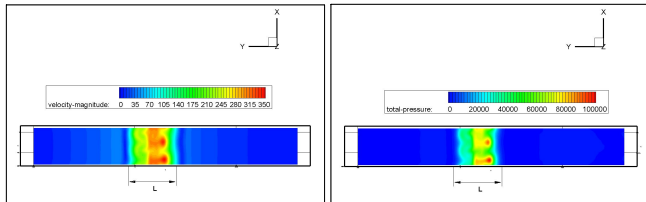


Fig. 5 Flow characteristics at the bottom plane (z=50mm)

3.1 설계변수 변화에 따른 영향

적용한 설계변수는 노즐의 끝부분에 위치한 taper진 홈과 노즐의 각도를 설계변수(X)를 설정하여 주었으며, 이 각도를 변화시켜가며 노즐에서 사출되는 공기 유동의 최대 Ma를 노즐의 성능을 판단할 지표로 삼았다. 연구에서 사용된 노즐의 본 목적에 부합하기 위해서는 유동장이 확산되어 있는 정도가 노즐의 성능으로서 판단되어야 한다. 그러나 이러한 유동이 확산되어 있는 정도를 판단하는 데에는 상당한 어려움이 있다. 그리고 유동의 최대 속도가 높다는 것은 결국 노즐 출구에서 사출된 공기가 큰 유동력을 가짐을 의미하고, 결국 유동이 확산된 정도도 이 유동력과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 목적함수로서 유동의 최대 속도와 상통하는 최대 Ma를 사용하였다.

X: 노즐과 taper진 홈부의 각도 (θ)
 Maximize : $F = \max [Ma.]$

Table 3은 설계변수인 노즐과 taper진 홈의 각도를 15°, 20°, 25°로 5° 간격으로 변화시켜가며 목적함수를 비교하여 본 것이다. 설계변수 θ 가 증가할수록 목적함수는 계속해서 증가하는 경향을 보여주었으며 25°에서 최대의 값을 보였다. 노즐과 taper진 홈의 각도를 25°보다 크게 만들어 주기 위해서는 설계 혹은 가공을 위해 큰 변경이 필요하며, 현재의 노즐 제품에서 설계 혹은 가공상의 큰 변경없이 최고의 공기 사출속도를 가지기 위해서는 노즐과 25°의 각도를 이루는 taper진 홈을 가지는 것이 적합한 것으로 판단된다. 그러나 Fig.6의 50mm 떨어진 지점의 Ma. 분포를 살펴보면, $\theta=25^\circ$ (Fig.6 c)의 경우에는 다른 경우들($\theta=15^\circ, 20^\circ$)에 비하여 공기의 유동이 국소적으로 과도하게 집중되는 경향을 보여주고 있으며, 이러한 점은 노즐의 특성 및 성능에 좋지 않은 점으로 작용할 수 있다. 또한 Fig.6 b)의 $\theta=20^\circ$ 일 때를 살펴보면 Y방향으로 상대적으로 고른 유동

분포를 보여주고 있으며 또한 목적함수 값도 크게 나타나고 있다. 이러한 결과들을 살펴볼 때 $\theta=20^\circ$ 근방의 값이 노즐의 안정적인 성능 향상을 위해서 적절하다.

Table 3 Value of objective function according to DV

X: θ	15°	20°	25°
F: $\max [Ma.]$	2.63	2.71	2.96

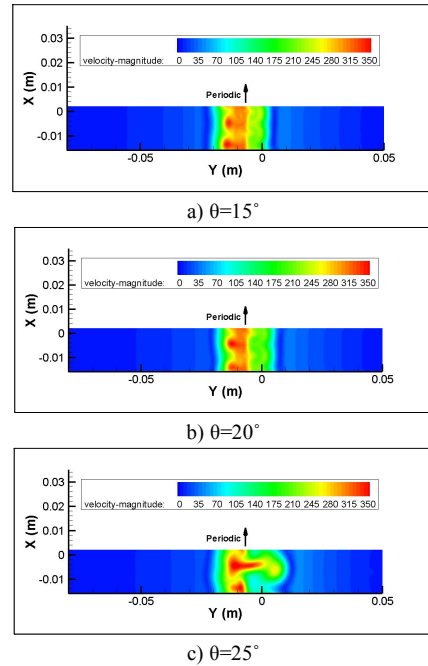


Fig. 6 Velocity magnitude contours of various design variable condition at the bottom plane (z=50mm)

4. 결론

노즐에서 사출되는 공기는 노즐 이후에 taper진 홈 부위를 통과하며 마치 초음속 divergent diffuser에서 나타나는 현상과 같은 가속되는 효과를 보고 있으며, 유동의 Ma가 2이상의 수치까지 나오고 있다. 또한, 노즐을 떠난 유동은 흐름이 넓게 퍼지지 않고 모여서 진행되는 초음속 jet 유동장의 구조의 보이고 있으며, 이러한 유동특성이 유지되는 영역은 노즐 출구부위의 유동속도를 더욱 증가시키게 되면 더욱 향상되게 된다. 그리고, 이러한 초음속 유동은 유동이 확산되는 정도(L)도 노즐 출구부위의 형태에 따라 어느 정도 결정되는 특성을 가지고 있다. 그러나, 이러한 초음속 divergent diffuser의 효과를 보이는 taper진 홈부가 한쪽면만이 이 가속효과에 영향을 미치고 있으며, 다른 한쪽은 노즐과의 각도가 너무 크게 설정된 결과로 유동이 박리되며 divergent diffuser의 효과가 상쇄되고 있다. 설계변수를 노즐과 taper진 홈부의 각도(θ)를 이용하여 그 영향을 살펴본 결과 노즐에서 사출되는 유동의 속도가 증가하게 되는 조건을 알 수 있었으나, 향후 고성능의 노즐 제작을 위해서는 초음속 노즐의 특성을 고려한 divergent diffuser형상을 적용하고자 한다.

후기

본 연구는 2009년 중기청 산연 공동기술개발지원사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

- White, F.M., "Fluid Mechanics," Mc Graw Hill, 2008
- Anderson, J.D., "Modern Compressible Flow: 3rd edition," Mc Graw Hill, 2004