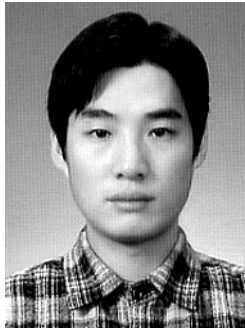


에어노즐의 소음저감 대책에 관한 연구



전 승 태

서울산업대학교 안전공학과 기계안전연구실

1. 서론

소음은 원하지 않는 소리로, 최근 소음이 사회문제로써 대두되고 있으며, 작업장에서 사용하는 에어노즐로부터 발생하는 소음이 작업환경을 저해하고, 그 소음강도가 작업자로 하여금 직업성 난청을 유발할 수 있는 위험수위에 다다른 실정이다.

에어노즐을 사업장에서 사용할 경우 한 개씩 사용하는 경우가 매우 적고, 대부분 여러 개가 그룹으로 형성되거나 생산라인에 맞도록 조합하여 사용하기도 한다. 이러한 경우에 한 개씩 사용하는 경우와 달리 작업장의 여러 곳에서 고소음으로 인한 큰 피해를 유발하게 된다.

산업현장에서 사용하고 있는 에어노즐은 공기압력과 분사속도 및 분사구의 크기에 따라 다르지만 소음 특성은 4~11근방의 고주파 소음을 발생시킨다. 이러한 에어노즐에서 발생하는 고주파 소음은 청각에 미치는 영향이 크기 때문에 작업장의 근무환경을 개선하기 위해서라도 시급히 소음을 줄일 수 있도록 해야

한다. 우리나라에서는 아직까지 에어노즐의 연구·개발이 미흡한 실정이며, 대부분 영세한 업체에서 에어노즐을 생산하다 보니 저소음과는 무관한 일반적인 에어노즐을 무차별하게 생산·판매하고 있어 그 심각성이 더 크다고 하겠다.

에어노즐에 대한 연구가 미흡한 원인은 노즐 자체의 가격이 비싸지 않기 때문에 연구비를 투자하지 않고, 종류가 다양하고 용도에 따라 형태가 다르기 때문에 다품종 소량 생산되는 것도 저소음노즐의 연구에 제동을 거는 요인이라고 할 수 있다.

에어노즐에서 발생하는 소음의 근본적인 대책으로 노즐의 성능에 지장이 없으면서 낮은 소음을 발생시킬 수 있는 에어노즐을 개발하여 사용하는 것이 가장 좋다.

그러므로, 본 연구에서는 여러 가지 형태의 단공식 노즐을 제작하여 노즐의 입구에서 분사되는 공기의 소음을 보통소음계로 측정해 보고, 저소음이 발생하는 최적의 노즐형상치수를 찾아내 결과적으로 소음을 저감시킬 수 있는 근본적인 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치로는 공기를 압축시켜주는 공기압축기, 공기압축기에서 발생하는 맥동을 제거하고, 압축된 공기를 저장시키는 공기저장탱크, 공기 속에 포함된 수분을 제거시켜주는 건조기, 압력을 조절하기 위한 압력조절기, 에어노즐에서 분사되는 공기량을 조절할 수 있는 유량계(MFC : Mass flow

controller) 그리고 제작된 에어노즐을 원하는 위치에 고정시킬 수 있는 삼각대를 사용하였다. 또한, 반사판의 설치유무와 노즐과 반사판사이의 거리에 따른 소음의 영향을 살펴보기 위하여 150cm×180cm의 아크릴판을 사용하였다.

실험장치의 사양은 Table 1~4에 나타냈으며, 실험장치 흐름도는 Fig 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of Air Compressor

Section	Specification
Manufacturing company	KumWon
Model	FA-11
Type	Screw type
Maximum pressure	7 kg/cm ²
Maximum volume	1.55 m ³ /min
Generating power of electric motor	1 kw

Section	Specification
Manufacturing company	Sechang Industries co.
Model	Table 3. Specification of Dryer
Volume	2.5 m ³ /min
Maximum pressure	9.9 kg/cm ²

Section	Specification
Manufacturing company	Hayung
Model	Table 4. Specification of MFC
Maximum pressure	9.9 kg/cm ²
Maximum volume	1.53 m ³ /min
Current	3.6A

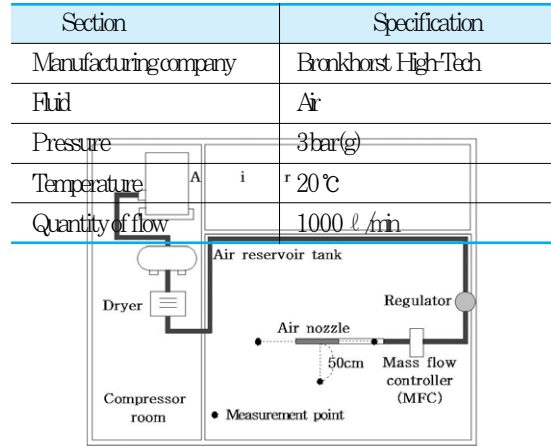


Fig. 1. Schematic of the experimental apparatus

실험장치의 흐름도를 설명하면, 공기 압축기에 의해 압축된 공기는 공기저장탱크에 저장하여 공기 맥동을 제거한 후, 건조기를 거쳐 수분을 완전히 건조한 건공기 상태로 실험실 내벽으로 나있는 배관을 통해서 흘러간다. 공기압축기는 공기를 압축할 때, 공기압축기 자체의 진동으로 인한 맥동이 발생하므로 압력의 변동이 없도록 압력조절기에서 일정하게 조절된다. 압력조절기를 거친 공기는 유량계(MFC)에 의해 측정시 필요한 공기량이 노즐을 통해 분사된다.

2.2 에어노즐 시험편

본 실험에 사용된 에어노즐 시험편은 가공이 쉽도록 절삭성이 우수한 황동봉(신주봉)을 사용하였으며, 보다 정확한 중심을 뚫기 위하여 선반의 센터드릴작업으로 노즐의 구멍을 가공하였다. 시험편은 외경 19mm, 길이 100mm로 일정하게 하였으며, 노즐구멍의 직경과 길이를 변화시켜서 직경비(D₁/D₂)와 길이비(L₁/L₂)를 변수로 하여 총 27개의 형상이 다른 시험편을 제작하였다.

Table 5에 그 종류를 나타내었으며, 에어노즐 시험편의 단면도와 실물사진은 Fig. 2 Fig. 3에 나타내었다.

Table 5. Kind of specimen

(Unit: mm)

Length rate(L ₁ :L ₂) Diameter rate(D ₁ :D ₂)	Length rate(L ₁ :L ₂)					
	40:60	50:50	60:40	80:20	90:10	95:5
12:3	-	○	-	-	-	-
12:4	-	○	-	-	-	-
12:6	-	○	○	○	○	○
12:8	-	○	○	○	○	○
12:9	○	○	○	○	○	○
12:10	○	○	○	○	○	○
12:12	-	-	○	-	-	-

Fig. 2. Cross section for an air nozzle specimen

(D₁:D₂=12:6, L₁:L₂=50:50)

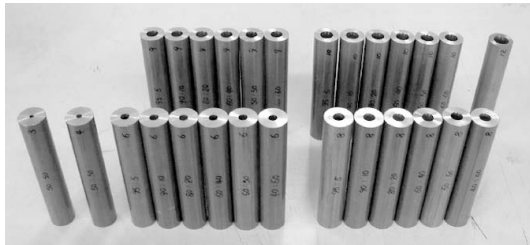


Fig. 3. Picture of air nozzles

2.3 소음계

본 실험에 사용된 소음계는 한국산업규격 KSC 1502(보통소음계)에 규정된 보통소음계를 사용하였으며, 소음계의 사양은 Table 6에 나타냈다.

Table 6. Specification of sound level meter

Section	Specification
Kind	Sound level meter
2.4 실험방법 Model	Digital sound level meter type 6046
(1) 공기압축기에 의해 압축된 공기를 공기저장탱크에 저장시킨다.	Manufacturing company ACOCo.(Japan)
(2) 공기저장탱크에서 건조기를 통해 공기의 수분을 제거한 후, 압력조절기로 공기의 압력을 일정하게 조절한다.	Measurement range 40 ~ 130dB Frequency range 31.5 ~ 8kHz Waiting network AC

③ 호스에 연결된 에어노즐 시험편을 지상으로부터 110cm의 높이에 위치시키도록 삼각대에 수평으로 고정시킨다.

④ 소음계를 에어노즐로부터 수평으로 앞, 뒤, 옆 각각 50cm, 높이는 측정점의 귀 위치에 설치한다.

⑤ 밸브를 개방시켜 유량계(MFC)로 들어오는 공기량을 조절한다.

⑥ 측정점과 공기량에 따른 소음레벨을 측정한다.

⑦ 직경비에 따른 소음레벨을 측정한다.

⑧ 길이비에 따른 소음레벨을 측정한다.

⑨ 반사판(150cm × 180cm)을 설치하여 노즐과 반사판 사이의 거리와 측정점에 따른 소음레벨을 측정한다.

⑩ 본 실험에 대한 결과치는 에어노즐에서 분사되는 소음이 변화가 적고, 일정한 정상소음이므로 앞, 뒤, 옆에서 각각 5회씩 측정값의 평균값으로 한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 측정위치와 공기량에 따른 소음레벨의 경향

Fig 4는 공기량을 100 l/min씩 증가시켰을 때, 측정 위치에 따른 소음레벨의 경향을 나타내고 있다. 공기량 증가시 유속이 커지므로 노즐의 단차부위에서 발생하는 난류흐름이 커져 공기량 증가에 비례하여 소음레

벨도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 소음레벨은 공기 분사되는 노즐 앞에서 가장 크고, 뒤에서 가장 작은 것으로 나타났다.

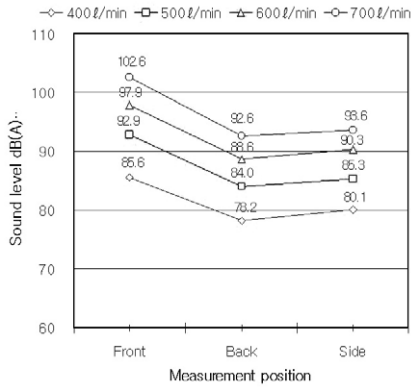


Fig. 4. Sound level on measuring position and air flow rate ($D_1:D_2=12:6$, $L_1:L_2=50:50$)

3.2 직경비와 공기량에 따른 소음레벨의 경향

Fig. 5는 길이비가 50:50일 때, 직경비와 공기량에 따른 소음레벨의 경향을 나타내고 있다. 모든 공기량에서 직경비가 12:10일 때, 소음레벨이 가장 작은 것으로 나타났으며, 12:8을 초과하면 소음레벨이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 직경비가 증가하면, 노즐내경이 축소되는 단차부위가 커져 와류에 의한 큰 난류 흐름을 발생시켜 소음레벨이 급격히 증가한 것으로 판단된다.

단, 직경비가 12:4일 때는 노즐내부에 걸리는 압력으로 인하여 공기량이 450 l/min까지밖에 분사되지 않아, 500 l/min 이상의 공기량부터는 측정이 불가능하였다. 또한, 직경비가 12:3일 때 최대 공기량은 280 l/min이었다.

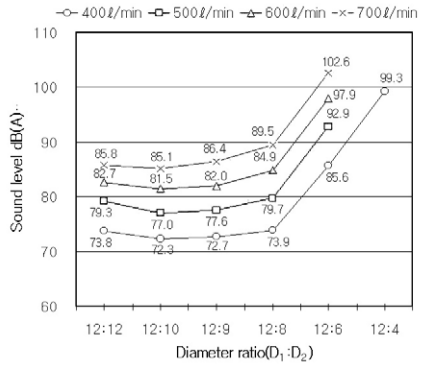


Fig. 5. Sound level on diameter ratio and air flow rate ($L_1:L_2=50:50$)

3.3 길이비와 직경비에 따른 소음레벨의 경향

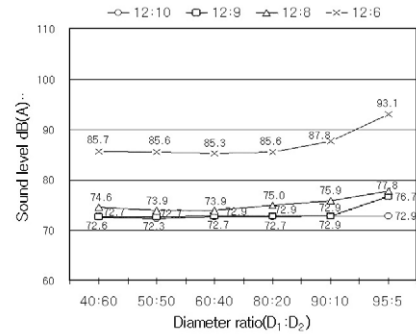


Fig. 6. Sound level on length ratio and diameter ratio ($Q=400$ l/min)

Fig. 6은 길이와 직경비에 따른 소음레벨의 경향을 나타내고 있다. 길이비 $L_1:L_2$ 가 40:60에서 80:20까지는 소음레벨의 변화가 거의 나타나지 않았지만, 길이비 90:10에서 소음레벨이 다소 증가한 후, L_2 길이를 극단적으로 짧게 한 95:5에서 소음레벨이 비교적 많이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 직경비가 12:10일 때는 길이비에 전혀 영향을 받지 않았으며, 소음레벨은 가장 작은 것으로 나타났다.

3.4 반사판에 대한 소음레벨의 경향

Fig 7은 반사판과 노즐사이의 거리에 따른 소음레벨의 경향을 나타내고 있다. 직경비가 12:8을 초과할 때는 거리가 감소할수록 소음레벨이 증가하는 것으로 나타났지만, 직경비가 12:8 이하일 때는 거리에 관계없이 소음레벨이 일정하게 나타났다. 이것은 저소음이 발생하는 직경비 12:8 이하에서는 반사판이 소음레벨의 변화에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

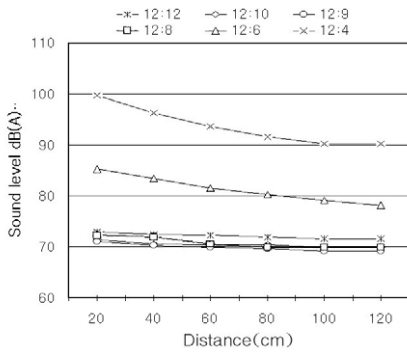
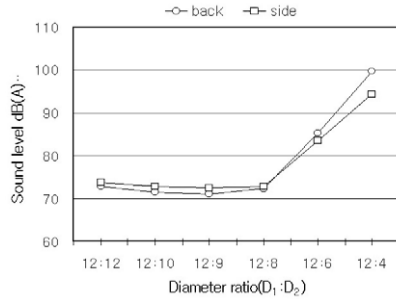


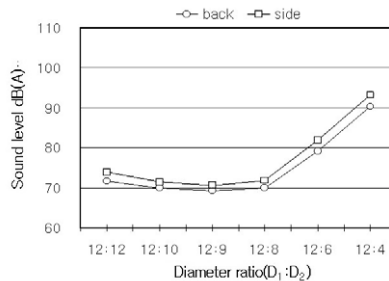
Fig. 7. Sound level on distance of between a reflection plate and a nozzle($L_1:L_2=50:50$, $Q=400 \ell / \text{min}$)

Fig 4에서 반사판이 없을 때는 노즐의 옆보다 뒤에서 소음레벨이 가장 작은 것으로 나타났으나, Fig 8(a)는 거리가 20cm이고 직경비가 12:8을 초과할 때, 노즐의 옆보다 뒤에서 소음레벨이 더 큰 것으로 나타났다. 하지만 20cm를 초과할 때는 θ 와 같이 노즐의 뒤에서 소음레벨이 가장 작은 것으로 나타났다.

반사판에 의한 에어노즐의 소음이 옆보다 뒤에서 크면, 작업자의 청력에 더 큰 영향을 주게 되므로, 반사판과 노즐사이의 거리는 최소 20cm를 초과하는 것이 좋다. 따라서, 에어노즐을 사용하여 대상물체에 공기를 분사할 때에는 적어도 20cm를 초과하여 이격시키는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.



(a) distance=20cm, $L_1:L_2=50:50$, $Q=400 \ell / \text{min}$



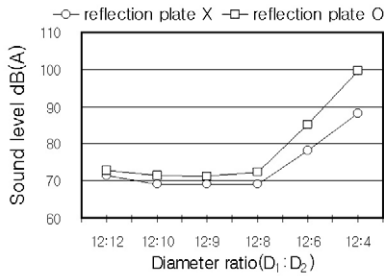
(b) distance=100cm, $L_1:L_2=50:50$, $Q=400 \ell / \text{min}$

Fig. 8. Sound level on measuring position

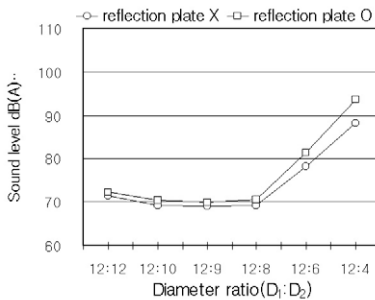
3.5 반사판 유무에 따른 소음레벨의 경향

Fig 9는 길이비 50:50, 공기량 400 ℓ / min 반사판과 노즐사이의 거리가 20, 60, 100cm일 때, 반사판 유무에 따른 소음레벨의 경향을 나타내고 있다. 반사판이 있을 때가 없을 때보다 소음레벨이 더 큰 것으로 나타났으며, 거리가 20cm일 때 소음레벨의 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 100cm부터는 반사판 유무에 따른 소음레벨의 차이가 거의 나타나지 않았는데, 이것은 거리가 멀어 질수록 반사된 공기가 노즐까지 도달하지 않아 반사판이 있어도 반사판이 없을 때와 마찬가지로 소음레벨이 거의 같게 나타나는 것이다.

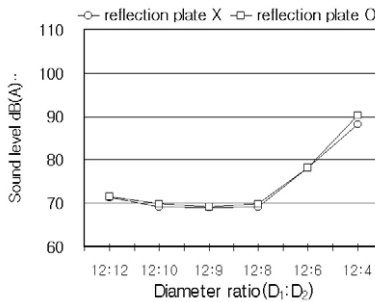
따라서, 반사판이 있는 경우 노즐과의 거리는 최소 20cm를 초과해야 소음을 줄일 수 있다. 또한 직경비가 12:8 이하일 때 반사판으로 인한 소음증가폭을 줄일 수 있다.



(a) distance=20cm, L₁:L₂=50:50, Q=400 l/min



(b) distance=60cm, L₁:L₂=50:50, Q=400 l/min



(c) distance=100cm, L₁:L₂=50:50, Q=400 l/min

Fig. 9. Sound level on existance of a reflection plate

4. 결론

본 연구는 고소음설비인 에어노즐의 소음을 저감시킬 수 있는 근본적인 방법을 제시하고자 에어노즐의 형상과 공기량, 그리고 노즐과 반사판 사이의 거리를 시험변수로 하여 노즐의 소음을 최소화할 수 있는 최적조건을 찾기 위한 실험이었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1 측정위치와 공기량에 따른 소음레벨의 변화는 에어노즐의 앞에서 소음이 가장 크며, 옆보다는 뒤에서 소음이 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고, 공기량 증가시 소음레벨은 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.

2 직경비에 따른 소음레벨의 변화는 직경비가 12:10일 때 소음레벨이 가장 작은 것으로 나타났으며, 12:8을 초과하면 소음레벨이 10dB(A) 이상 크게 증가하는 것으로 나타났다.

3 길이비에 따른 소음레벨의 변화는 노즐의 L₁:L₂ 길이가 90:10까지는 소음레벨의 변화가 거의 나타나지 않았으며, L₂ 길이를 극단적으로 짧게 한 95:5(5mm)일 때 소음레벨이 비교적 크게 증가하는 것으로 나타났다. 그러므로 에어노즐 제작시 L₂의 길이는 10mm 이상으로 하는 것이 좋다.

4 반사판이 있을 때가 없을 때보다 소음레벨이 더 큰 것으로 나타났으며, 반사판과 노즐사이의 거리가 20cm이고 직경비가 12:8을 초과할 때 오히려 노즐의 옆보다 뒤에서 소음레벨이 더 큰 것으로 나타났다.

결론을 종합해보면 D₁이 12mm인 경우에 직경비가 12:8을 초과하면 길이비, 반사판과 노즐사이의 거리 또는 반사판 유무에 관계없이 소음레벨이 10dB(A) 이상 증가하였다. 따라서 노즐 제작시에는 노즐의 직경비에 가장 중점을 두어 직경비가 12:8 이하가 되도록 해야 할 것이다.

고소음이 발생한 원인은 직경비가 12:8을 초과하면, 노즐 팁(D₂)부분의 직경이 상대적으로 작아짐으로써 공기의 유속을 증가시켰으며, 또한 노즐이 축소되는 단차 부위에서의 와류형성이 커졌기 때문에 큰 난류 흐름을 만들어 소음이 증가하였다고 판단된다. 