

드라이아이스 펠렛 세정 장치 및 공정개발

박종수 · 김호태 · 김선근*

중앙대학교 화학공학과 우)156-756 서울특별시 동작구 측석동 221

(접수일자 : 2004. 6. 12 / 채택일자 : 2004. 7. 10)

Development of Equipment and Process on Dry Ice Blasting

Jong Soo Park, Hotae Kim and Sun-Geon Kim*

Department of Chemical Engineering

Chung Ang University

요 약

액체 탄산의 단열팽창하여 얻은 드라이아이스 snow로부터의 펠렛제조기와 이들 펠렛을 이용한 표면 세정용 블래스팅 장치를 설계 제작하였다. 본 블래스팅 장치는 적은 압력과 적은 량의 공기로도 다양한 오염물질 녹, 기름때, 라커막, 페인트 제거에 강한 세정력을 얻을 수 있었다. 이 때 호퍼 용량은 12 kg이고, 펠렛 분사량은 0-1.2 kg/min 까지 조절이 가능하였다. 드라이아이스 펠렛의 impact는 한계 거리 안에서는 거리에 무관하며, 드라이아이스 분사의 impact stress, 각도 및 질량 속도에 의존하였다. 또한 블래스팅의 세정력은 impact와 대상 물질의 열적 성질 및 표면 조도에 의존하였으며, 유리, 구리, 황동, 강철, 아크릴 기판의 순서로 감소하였다. 그리고 세정 속도는 같은 기판에 붙은 오염물의 경도, 부착력에 의존하였으며 그리스, 에폭시, 페인트 순으로 감소하였다. 사용 중 소음도는 대략 85-100 dBA이었다.

Abstract : Pelletizer of dry ice snow produced by adiabatic expansion of liquid carbon dioxide and their blaster were designed and manufactured. The blaster had a high cleaning power against various contaminants on the surface such as stain, oily dirt, lacquer film and paints with low blasting pressure and low consumption of blasting air. The capacity of hopper for dry ice pellet supply was 12 kg and the mass rate of pellet blasting was controlled in 0 to 1.2 kg/min. The impact of the pellets was independent of standoff distance within a certain limiting distance, and dependent on the impact stress, angle and mass rate of dry ice pellet blasting. On the other hand the cleaning power was influenced by thermal properties and surface roughness of the substrates and decreased in the order of glass, copper, brass, steel and acryl. The power was also affected by hardness and adhesion of the contaminant on the substrate, and decreased in the order of grease, epoxy and paint. The noise was detected during blasting in the range of 85 to 100dBA.

† Corresponding author : sgkim@cau.ac.kr

1. 서 론

세정 공정은 세정제를 사용하여 표면의 불순물을 제거하는 공정으로 제품의 필요한 청정도를 유지하기 위해 많은 산업에서 필요불가결의 요소공정이다 [1]. 종래의 방법은 독성이 강한 염소계 세정제나 마모성 입자의 블래스팅 세정 방식이 사용되어 왔으나 전자는 탄화수소계, 준수계, 그리고 수계 세정제로 대체되어왔고 후자는 환경규제하에 상당히 위축되어 왔다. 최근 이를 아우르는 드라이아이스 펠렛에 의한 세정은 한편으로 후자의 방식을 선택하되 2차 오염물을 발생시키지 않고, 인체에도 전혀 무해할 뿐 아니라, 후처리가 필요하지 않는 건식 세정방식이며 환경 친화적인 세정방식으로 전자의 세정 영역을 대체하는 방법으로도 많이 연구되어 왔다. 또 이 방법은 세정시간이 매우 빠르고 오염물에 매우 선택적인 화학세정제 보다 범용성의 면에서도 뛰어나다 하겠다.[1-3] 이 세정법은 반도체, 광학부품 등에서 시작하여, 기계, 금속, 화학, 선반, 건물 내외 벽 및 터널 벽, 옥내의 조형물, 의료기, 핵발전소, 인쇄기 등의 오염물질을 제거하는데 이미 널리 사용되고 있으며, 항공기를 비롯한 표면의 페인트 제거에 그 기술적, 환경적, 경제적 우월성이 입증된 바 있다. 특히 복잡한 표면 형상의 세정에 효과적이고 세척을 위해 장치를 분해 조립할 필요가 없다. 더구나 세정속도가 빨라 세정 효율이 뛰어난 세정공정이라는 특징이 있다.[2][4] 또한 이산화탄소는 미국 E.P.A, F.D.A, USDA가 공식적으로 승인한 안전하고 환경오염을 유발시키지 않는 가스로 분류되어 있다.

이 관련 기술의 연구는 C. Fong의 승화성 드라이아이스 펠렛의 샌드 블래스팅 방법이라는 특허[5] 이후 상용화된 드라이아이스 블래스팅 장치 및 공정개발 회사가 1980년대 초에 나타나기 시작하고 많은 실질적인 특허들이 쏟아져 나오게 되었다[6-15]. 그러나 아직까지의 연구는 실용적인 현장 적용에 관한 연구가 대부분이어서 드라이아이스의 세정 원리 및 속도에 대한 학술적인 연구는 거의 없었다[16-17].

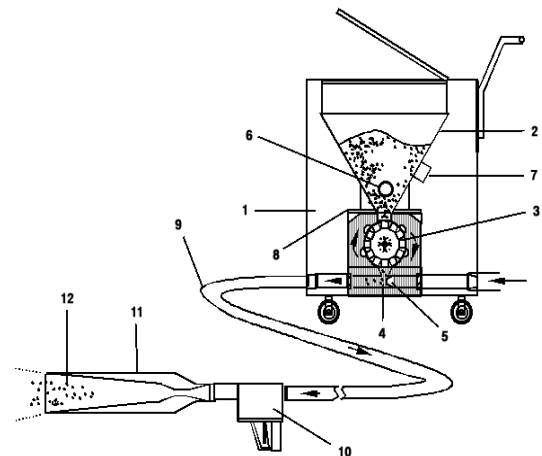
따라서 본 연구에서는 직접 드라이아이스 펠렛 블래스팅 세정 장치와 노즐을 제작하고[18-19], 이를 이용한 세정력 및 세정효율의 제어방법, 그리고 각종

오염막 제거능력을 검토해 보았으며 이 방법이 가지는 소음의 문제를 취급하여 드라이아이스 펠렛 블래스팅 세정장치 및 공정의 실용화에 대비한 체계적인 연구를 시도하였다.

2. 실험

2.1 펠렛 분사장치

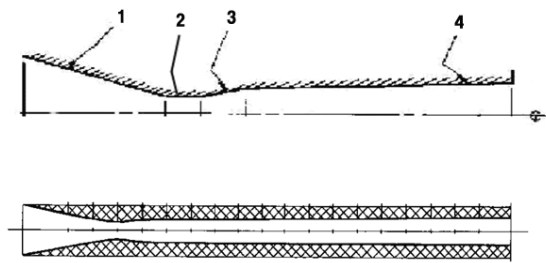
본 연구의 호퍼형 블래스팅 장치 Fig. 1은 압력식 블래스팅 방식으로 흡입식 블래스팅의 두 개의 호스 즉 공기 호스와 펠렛 이송 호스와는 다르게 한 개의 혼합 호스로 구성되어 있으며 air-lock 공급 장치에 의해 펠렛은 T형 혼합부로 유도되고 고압의 공기와 만나 노즐을 통해 고압으로 분사한다.



1. 블래스팅 장치
2. 호퍼
3. 에어락 피더
4. T형 혼합부
5. 혼합부 고속 공기 주입 노즐
6. 스테링 롤러
7. 바이브레이터
8. 펠렛 소모량 측정 로드셀 센서
9. 고압 혼합 호스
10. 노즐 건
11. converging-diverging 노즐
12. 드라이아이스 펠렛

Fig. 1 Schematic diagram of dry-ice pellet blaster

본 연구의 블래스팅 장치는 흡입식 방식이 아닌 압력식 블래스팅에 적합한 기존 converging-diverging 노즐을 변형한 Fig. 2의 converging-diverging 노즐을 제작하였다. 이 노즐은 적은 압과 작은 량의 공기에서도 노즐을 통한 최대의 유속을 얻을 수 있도록 설계되었다. 이에는 round 노즐과 fan(rectangular) 노즐 두 종류가 사용되었다. 한편 air-lock 공급장치는 드라이아이스 펠렛의 역류, 벽면 부착을 최소화하고 연속적인 정량 공급을 가능케 하도록 설계되었다.



1. 노즐 주입부 3. 노즐 첫 번째 발산부
2. 노즐 목 4. 노즐 두 번째 발산부

Fig. 2 Converging-diverging nozzle

블래스팅 장치는 호퍼안의 펠렛이 에어락 피딩 장치에 의해 T형 혼합부로 낙하될 때 혼합부 고속 공기 주입 노즐을 삽입하여 펠렛과 압축 공기의 혼합을 원활하게 할 뿐 아니라 역류를 최대한 억제하도록 고안하였다. 또 호퍼 안의 펠렛이 air-lock 공급 장치로 유도되는 과정에서 발생하는 펠렛의 아치 현상을 방지하기 위해 스테어링 롤러와 바이브레이터를 설치하여 펠렛의 공급을 원활하게 하였고 여기에 호퍼 내부의 펠렛 소모량 측정하는 로드 셀 센서 혹은 레벨 측정 장치를 장착하여 외부에서 호퍼 안의 펠렛의 소모량을 알 수 있게 하였다. 즉 드라이아이스 펠렛은 호퍼 내로 채워지고 호퍼안의 펠렛은 스테어링 롤러와 바이브레이터에 의해 아치 현상없이 원활하게 유도되어 air-lock 공급 장치에 의해 T형 혼합부로 자연 낙하하여 혼합부 고속 공기 주입 노즐을 통한 고압의 공기와 혼합 고압 호스를 따라 converging-diverging 노즐

을 통해 최종 분사된다. 호퍼형 펠렛 블래스팅 장치의 사양은 다음과 같다.

Dimension : 650×400×675 mm

Weight : 70 kg

Hopper capacity : 15kg and up

Dry ice consumption : 0.4~1.5kg/min

Air pressure : 2.5~10 bar

Air consumption : 2~6 m³/min

2.2 실험방법

본 실험은 드라이 아이스 펠렛 블래스팅 공정의 개발 및 정량화를 목적으로 드라이아이스 펠렛 제조기 및 블래스팅 장치를 설계, 제작한 부분, 드라이아이스 펠렛의 저장능력과 관련된 승화속도의 측정, 그리고 블래스팅 시의 세정력 측정 및 블래스팅 변수와 세정 대상 변수에 의한 세정 속도에 관해 실험을 행하였다.

본 실험의 세정 속도에 미치는 공정 변수를 Table 1에 그리고 세정 측정을 위한 변수들의 기준조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Parameters influencing the dry-ice blasting process

블래스팅 공정 변수			
펠렛 변수의 효과	세정력 측정	블래스팅 변수의 효과	기판변수의 효과
- 펠렛 승화 속도 - 펠렛 정도	- 세정 impact 측정 - 열적 효과	- 노즐-기판간 거리 - 분사 각도 - 드라이아이스 분사 질량 속도	기판 유리, 황동, 구리, 강철, 아크릴
			오염물질 카페인트, 그리스, 에폭시

*는 기준 조건을 나타냄

Table 2. Variation in process variables for dry-ice pellet blasting

Process Variables	Range
Blasting pressure (bar)	2, 3, 4, 5, 6, 7*
Blasting distance (mm)	5, 10*, 20,30
Blasting angle(°)	30, 45, 60, 90*
Supply rate of dry ice pellet (kg/min)	0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.2*
Type of nozzle (type)	Round*, Fan
Substrate	Steel*, Copper, Brass, Acryl, Glass

2.3 막 제조 및 세정속도 정량화 장치 제작

금속 표면 위의 페인트 제거는 드라이아이스 펠렛 블래스팅의 중요한 적용 분야이다. 이를 위해 본 실험에서 사용된 기판의 조건은 두께(thickness) 1 mm의 여러 가지 기판 즉, 황동, 구리(100%), 강철 S45C, 아크릴, 유리(10 mm)이고 여기에 안료를 넣은 착색도료인 카페인트(Lot No.1001-777)를 바코팅을 이용해 두께 30 μm으로 코팅하였다. 또한 알파스텝(α-200, PENCOR Instrument)으로 두께는 물론 경도 시험기(Future-Tech. Fm-7)로 이들의 경도를 측정 한 결과 비슷했다. 보다 정확한 정량화 실험을 위해 본 연구에서 제작한 정량화장치는 감속 모터에 의해 판이 수평으로 직선 왕복 운동이 가능케 하였다. 이 정량화 장치는 모터의 rpm을 조절하여 5-400 cm/min까지의 다양한 속도로 직선 왕복운동을 제어 할 수 있고 1회 왕복 거리가 80 cm이다. 또 오염 물질이 코팅 된 기판은 세정 동안 기판을 잡아주는 홀더에 의해 고정되어 있게 된다. 블래스팅 장치의 노즐은 이 정량화 장치에 직각으로 고정되어 있으며 노즐-기판과의 거리 및 각도를 변화할 수 있게 설치하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 드라이아이스 펠렛의 승화 속도

드라이아이스 펠렛이 블래스팅 장치 내부의 호퍼

안에서 얼마나 보존되는가를 먼저 조사해 보기 위해 그들의 승화속도를 측정하였다. 일정량의 드라이아이스펠렛을 저울에 얹고 블래스팅 장치와 같은 조건을 유지시켜 주면서 시간에 따른 무게 변화를 측정해 본 결과가 Fig. 3이다. 여기서 $m(t)$ 는 초기 질량에 대한 잔류 드라이아이스 펠렛의 질량비이다.

비교를 위해 노출된 공간(바람에 의한 convection이 있을 수 있는)에서의 승화량은

$$m(t) = 1.0262e^{0.4372t}$$

로 얻어졌다.

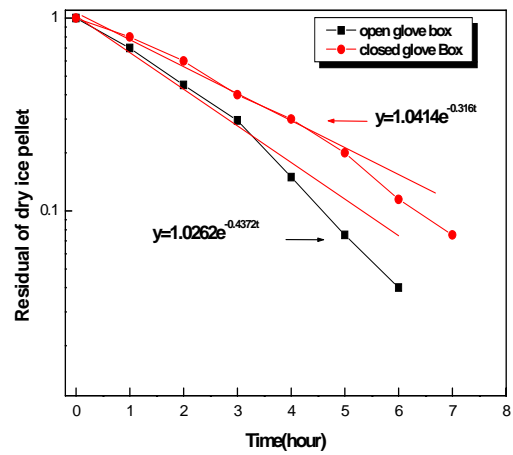
이는 모두 승화속도가

$$dm(t) = -km(t)$$

로 표시됨을 의미하는 것으로 승화속도 상수가



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Dry ice pellets and (b) sublimation curve for dry-ice pellets exposed to ambient condition

convection에 의해 0.316에서 0.437로 증가함을 의미하는 것이다. 즉 반감기는 폐쇄 호퍼 안에서 2.19 h, 오픈 상태에서 1.59 h 이었다.

3.2 세정력의 측정

세정의 기구(mechanism)를 impact와 열적 효과로 나누어 각각 조사하였다.

3.2.1 단위 면적 당 세정 impact의 측정

Piezodynamometer(Attonic, MP-2)를 이용하여 단위 면적 당 블래스팅(free jet)의 힘을 기관-노즐간 거리에 따라 계기의 상부에 있는 sensor판을 수직으로 하여 측정된 결과가 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 분명한 사실은 드라이아이스 펠렛이 없는 공기 jet의 경우 거리가 5 cm에서 20 cm로 4배 멀어지면 그 힘이 1/5로 현저히 줄어드나 드라이아이스 펠렛이 실린 jet의 경우, 실험의 조건(5-20 cm)거리까지는 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

이는 공기의 경우 기관 표면에 형성되는 경계층(boundary layer)의 존재로 속도가 현저히 떨어지며 분사면적이 늘어나지만, 고체인 드라이아이스 펠렛은 관성력으로 인해 속도가 거의 그대로 유지되고 분사 각이 크게 벌어지지 않을 뿐 아니라 경계층을 뚫고 들어가 블래스팅 힘이 3% 미만 감소하는데 그치고

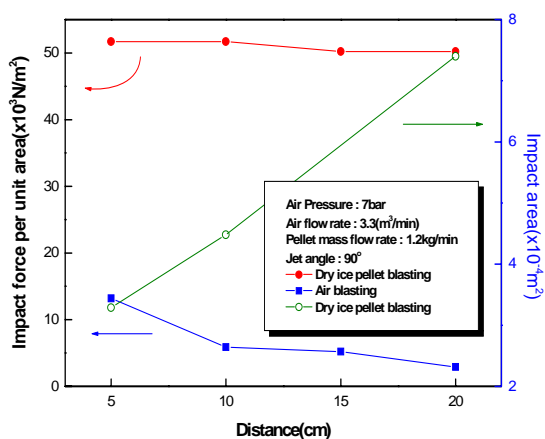


Fig. 4 Effect of nozzle-to-substrate distance on impact force per unit area

있음을 나타낸다.

한편 Fig. 5는 세정력이 드라이아이스 분사 질량 속도에 비례하고 있음을 알려준다. 이는 드라이아이스 펠렛에 의한 충격력이 세정에 미치는 효과를 입증하는 것이다.

3.2.2 열적 효과

열적 효과는 드라이아이스 펠렛 세정에서 충격력 이상으로 영향이 있다는 보고가 있다. 충격력 : 열적 효과는 60 : 40의 영향이 있다고 알려져 있다. 따라서 분사시 (60초간: 대부분의 분사의 경우 한 지점에 머무는 최대시간 임.) 기관의 표면 온도 변화를 조사한 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 구리-강철-황동-아크릴-유리의 순으로 온도가 내려가고 있다. 이 순서는 재료의 열전도도와 관계있는 것으로 오염물이 대체로 열전도도가 낮지만 기관의 열전도도가 상대적으로 높으면 기관보다 먼저 온도가 강하게 되어 오염물과 기관 사이의 열적 차이가 심하게 나타나게 되어 세정에 도움을 준다. 그러나 기관의 열전도도가 낮아 오염물과의 열적 차이가 줄어들면 전체의 온도가 떨어져 주변 습기의 응결이 쉽게 일어나게 되어 세정속도는 현저히 떨어진다. 결과적으로 블래스팅의 세정력은 물리적 impact 못지않게 온도차에 기인한 열적 효과에 의해서도 결정되고 있음을 보여준다.

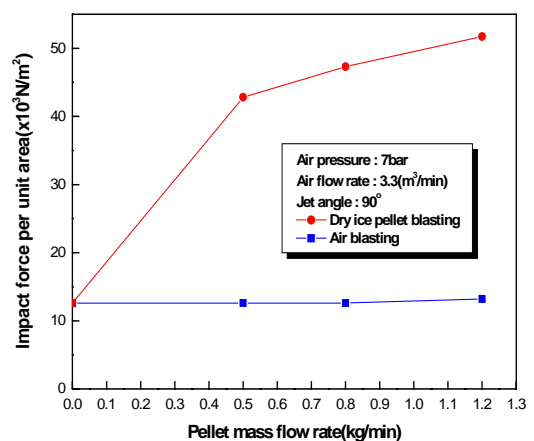


Fig. 5 Effect of pellet mass flow rate on impact force per unit area

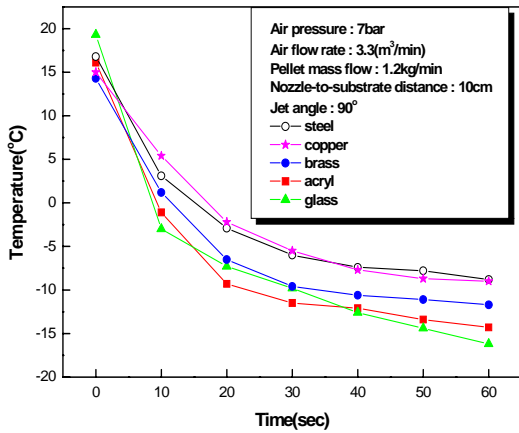


Fig. 6 Cooling of various substrate surfaces by dry-ice pellet blasting.

3.3 세정 속도에 관한 연구

세정속도에 미치는 변수를 조사해 보면 장치변수, 펠렛변수, 공정변수, 세정대상변수로 구분할 수 있다. 이 중 장치변수, 펠렛 변수, 공정변수는 블래스팅 변수라 할 수 있다. 이 중에서도 본 연구에서는 블래스팅 변수로서 중요 변수인 노즐-기판간 거리, 분사각도, 드라이아이스 분사질량속도를 변화하여 실험하였다. 세정 대상 변수는 먼저 기판별 변수로는 유리, 황동, 구리, 강철, 아크릴 등을, 그리고 오염물질 별로는 카 페인트, 그리스, 에폭시 등을 변수로 잡았다. 다음은 블래스팅 변수, 기판 변수, 오염물질 변수에 따른 세정력의 효율을 조사한 것이다.

3.3.1 분사 거리의 영향

노즐의 목의 넓이, 분사 tip의 면적 등 조건이 비슷할 때, fan 노즐의 경우가 round 노즐에 비해 세정속도가 일반적으로 높다. 먼저 노즐-기판 간 거리에 대한 세정속도에 미치는 효과를 보면 Fig.7에서 보는 것처럼 fan 노즐의 경우 거리가 5배 늘어나면 세정속도는 1/5로 감소하였다. 이의 역수는 세정면적의 증가와 일치하게 된다. 즉 impinging jet의 경우 전체 면적에 미치는 impact force는 같음을 의미한다. Round 노즐의 경우 세정 면적은 분사거리의 의존성이 상대적으로 낮으며, 따라서 세정속도의 차

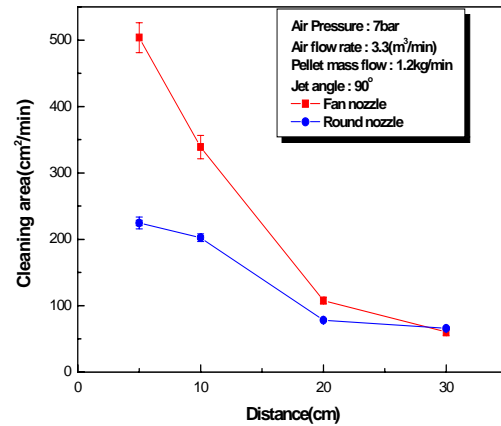


Fig. 7 Effect of blasting parameters on depainting rate.

이도 거리에의 의존도가 fan 노즐에 비해 낮다. 이는 fan 노즐이 round 노즐에 비해 가까운 거리에서는 집중력이 강하여 세정력이 높기 때문이다.

그리고 구조상 round 노즐이 직진성이 강하며 fan 노즐에 비해 거리에 따른 퍼짐성이 낮음을 의미한다.

3.3.2 분사각도의 영향

분사각도의 영향은 분사각을 줄이면 분사면적은 증가하나 impact는 감소할 것으로 예상했다. 단순한 가정으로 $\sin\theta$ 에 비례하도록 세정력이 강해지고 반대로 이에 반비례하도록 세정면적이 결정될 것으로 예상하였으나, Fig. 8에 의하면 그렇지 않고 거의 분사각 θ 에 비례하는 것으로 판단된다.

세정 기구가 힘에 단순 비례하지 않는 것은 세정 과정이 부착된 페인트 기판의 변형과 항복점을 지난 후 crack이 생기면서 벗겨지는 현상과 무관하지 않은 것으로 보인다. 이는 변형의 각도 의존성에 기인할 것으로 보이나 이와 같은 효과에 대해서 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.3.3 분사 질량 속도에 따른 영향

Fig. 9에서처럼 드라이아이스 펠렛 분사량에 따른 영향은 분사량을 늘이면 세정 속도는 증가했다. 이는 충돌하는 드라이아이스 펠렛의 개수가 많아지기 때

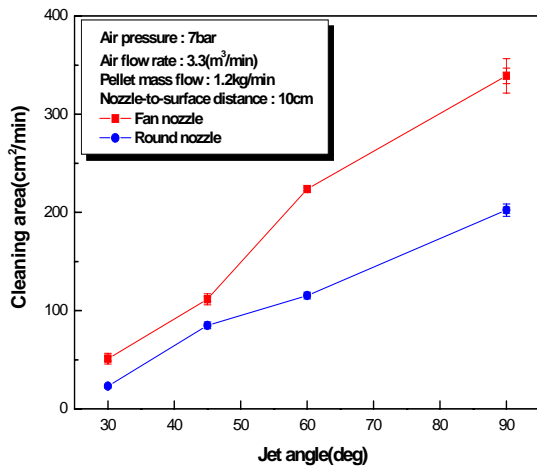


Fig. 8 Effect of blasting parameters on depainting rate.

문이다. 그러나 이것은 적절한 노즐 목의 단면적 하에서 충분한 제거율을 얻기 위한 압축 공기의 유량이 갖추어졌을 때 어느 한계치까지는 적용된다. 예를 들어 노즐 목의 단면적에 충분한 제거율을 얻지 못한 압축 공기의 유량에서는 드라이아이스 펠렛이 많을수록 세정력은 천천히 약해질 것이다. 이것은 공기의 유량에 대해 충분히 가속할 수 있는 드라이아이스 펠렛의 양은 한정되어 있기 때문에 드라이아이스 펠렛의 분사량이 너무 많아서 펠렛의 속도가 느려지기 때문일 것이다. 또한 충분한 압축 공기의 공급 하에서는 노즐 목의 단면적이 너무 작으면 가속하는 공기 유량이 적어지기 때문에 충분히 가속할 수 있는 드라이아이스 펠렛의 분사량이 작아져 세정 속도가 작아질 것이다. 이에 비해 노즐 목의 단면적이 크면 공기 유량이 크기 때문에 충분히 가속할 수 있는 드라이아이스 펠렛의 분사량이 많아지면 세정 속도가 증가한다. 단 노즐 목의 단면적이 너무 크면 압축 공기의 유량이 많이 필요하게 되고 보다 큰 공기 유량의 압축기를 필요로 해 경제적으로 이점이 없다. 이런 것을 고려하면 압축 공기의 유량에 대한 노즐 목의 최적의 단면적이 있고 또한 실용적인 한계치 범위의 단면적이 존재하며 이에 맞는 최적의 한계치의 드라이아이스 펠렛 분사량이 존재한다. 본 실험의 노즐의 목 단면적

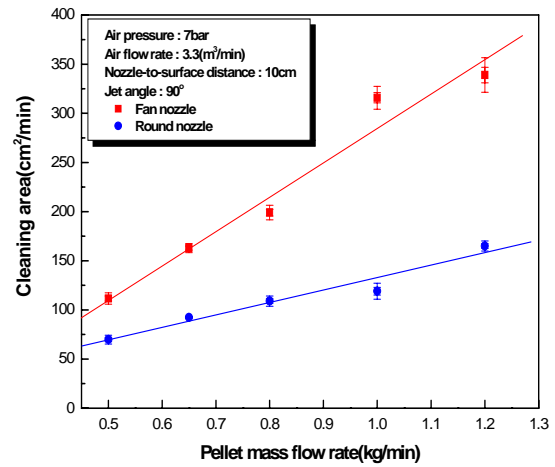


Fig. 9 Effect of blasting parameters on depainting rate.

(round 노즐 목: 70 mm^2 , fan 노즐 목: 60 mm^2)과 압축 공기의 유량($3.3 \text{ m}^3/\text{min}$)을 고려할 때 드라이아이스 펠렛 분사량이 $1.2 \text{ kg}/\text{min}$ 까지는 드라이아이스 펠렛 분사량이 증가할수록 세정력은 증가하였다.

3.3.4 세정 대상 기관의 효과

세정기관의 영향 중 중요한 인자는 기관-페인트의 부착력(adhesion), 표면의 조도(평활도), 그리고 앞서 기술한 바 있는 기관의 열전도도 등이 영향을 미칠 것으로 판단된다. 기관의 열전도도가 높을수록 기관 표면의 냉각이 가장 어려워 수분의 결빙이 방지되고, 오염물-기관간의 열적차이가 유지되기 때문으로 판단된다. Fig. 10은 기관으로 유리, 아크릴, 구리, 강철, 황동 판 등에 fan 노즐과 round 노즐을 각각 사용하여 세정하였을 때의 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 노즐에 공히 유리-구리-황동-강철-아크릴의 순서로 나타났다.

이는 대부분 앞서의 표면 온도 강하 순, 즉 열전도도 순으로 생각되나 유리의 세정속도가 제일 높은 것은 유리의 표면이 가장 평활하고 매끄러워 페인트에 대한 부착력이 가장 약하기 때문으로 판단된다. 실제 crack의 발생빈도가 가장 큰 것으로 나타났다.

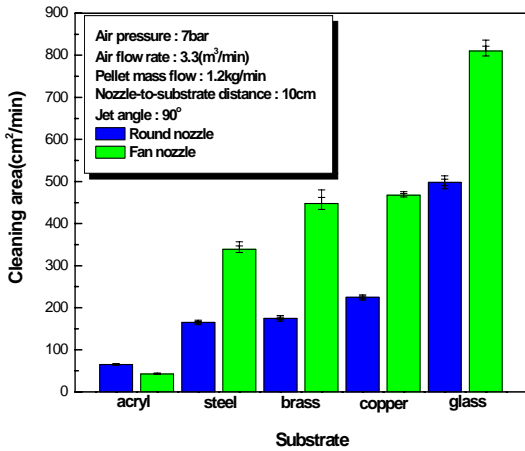


Fig. 10 Depainting rates for various substrates.

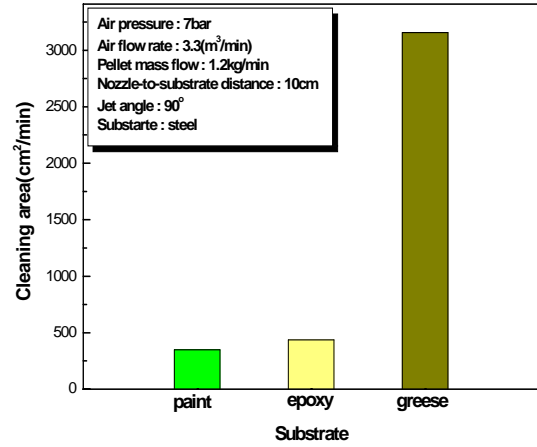


Fig. 11 Removal rates of various coatings.

3.3.5 오염물질의 종류에 따른 세정속도

본 연구에서는 오염물의 종류, 즉 그리스, 페인트, 에폭시에 대해 같은 두께로 코팅하고 3일 동안 건조시킨 후 세정을 행하여 Fig. 11의 결과를 얻었다. 페인트와 에폭시의 경우 300-500 m²/min의 범위에 속하나, 그리스의 경우, 3000 m²/min를 넘어섰다. 이는 에폭시의 경우가 가장 세정력이 낮은 경우이므로 앞서의 페인트 벗기기 실험이 가장 어려운 조건의 결과인 것으로 판단된다. 이는 오염물 자체의 표면 조도와 경도, 그리고 표면의 부착력 등이 복합적으로 세정력에 영향을 미치며 페인트가 매끄러워 표면 조도가 낮으며, 경도도 강하고, 표면의 부착력도 뛰어나기 때문으로 보이며, 그리스가 이 점에서 이와는 반대되는 성질을 가지기 때문으로 보인다.

3.4 소음도

드라이아이스 펠렛 블래스팅시에는 순간적으로 많은 양의 공기를 고압으로 분사하기 때문에 압축기의 소음, air lock 공급장치와 압축공기가 만나는 junction, 그리고 노즐에서의 가속 및 드라이아이스와 내벽과의 충돌에 의한 소음, 그리고 고체인 드라이아이스가 기관의 표면과의 충돌에서 생기는 소음 등이 포함된다. 일반적으로 이로 인한 전체 소음은 보통 100~120 dBA정도인 것으로 알려져 왔다.

이 소음 문제 역시 드라이아이스 펠렛 블래스팅의 보급화에 장애가 되기도 한다.

본 연구에서 고안한 드라이아이스 펠렛 블래스팅 장치는 장치의 바깥에서의 소음은 어쩔 수 없었으나 air-lock 공급장치의 하단과 노즐에서의 소음을 최소화하도록 설계되어 있다. 소음측정기(TES-1350A, TES Electrical Electronic Corp.)로 측정한 결과 본 연구에서 상용한 드라이아이스 펠렛 블래스팅 시 발생하는 소음은 85~100 dBA로 감소하였다.

Fig. 12는 소음도(Sound Pressure Level)가 블래스팅 분사로부터 거리가 멀어짐에 따라 기관에의 impact의 감소에 따라 급격히 떨어짐을 보여주고 있다. 또한 Fig. 13은 블래스팅 압력에 따른 소음도 측정 결과를 보여주는 것으로 분사압력이 blasting의 효과가 있는 3bar 이상에서는 전체 소음에 큰 영향을 주지 못하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

액체 탄산을 단열팽창에 의하여 고화된 드라이아이스 입자를 스노우 형태로 만든 이를 펠렛제조기의 다이를 통하여 사출하여 만든 펠렛을 고압의 공기를 이용하여 노즐을 통해 가속 분사하여 여러 오염 입자를 제거하는 드라이아이스 펠렛 블래스팅 공정을

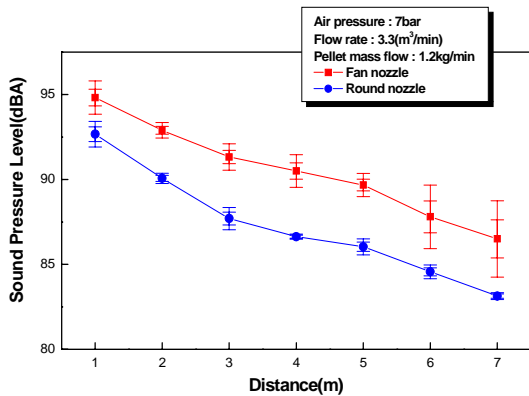


Fig. 12 Variation of noise level with respect to blasting distance.(background noise: 65dB)

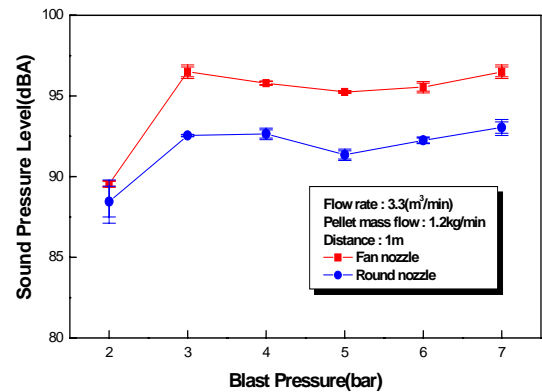


Fig. 13 Effect of blasting pressure on noise level (background noise: 65dB)

개발하고 실험을 하였다. 즉 본 연구는 세정 대상을 다양하게 하여 공정 변수의 효과를 체계적으로 살펴보고 세정 메커니즘을 검토하여 세정 정량화에 대한 이론을 개발하고자 하였다. 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 드라이아이스 펠릿을 압축공기에 동반하여 표면 오염물질을 제거 할 수 있는 드라이아이스 펠릿 블래스팅 장치를 제작하였다.
2. 본 연구의 고안에 의한 드라이아이스 펠릿 블래스팅 장치는 적은 압력과 적은 량의 공기로도 강한 세정력을 얻을 수 있었다.
3. 본 연구에서 개발한 드라이아이스 펠릿 블래스팅 장치는 호퍼 용량은 12 kg이고, 펠릿 분사량은 0-1.2 kg/min 까지 조절이 가능하다. 드라이아이스 펠릿 분사량과 속도에 따라 세정 효과를 증대시킬 수 있었다.
4. 본 연구에서 드라이아이스 펠릿 블래스팅은 다양한 오염물질 녹, 기름때, 라커막, 페인트 제거에 탁월한 세정력을 확보하였다.
5. 드라이아이스 펠릿 블래스팅의 impact는 한계 거리 안에서는 거리에 무관하며, 각도 및 드라이아이스 분사 질량 속도에 의존한다.
6. 블래스팅의 세정력은 impact 와 대상 물질의 열적 성질 및 표면 조도에 의존한다. 그 세정력은 유리, 구리, 황동, 강철, 아크릴 기관의 순서로 감소하였다.
7. 세정 속도는 같은 기관에 붙은 오염물의 정도, 부착

력에 의존하였으며 그리스, 에폭시, 페인트 순으로 감소하였다.

8. 드라이아이스 펠릿 블래스팅 시 소음도는 대략 85-100 dBA이었다.

감사의 말씀

본 연구는 수원대학교 환경청정기술연구센터(RRC)의 2002년도 연구비에 의해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Kohli, R., "Precision Cleaning and Processing in Industrial Applications", in Particles on Surfaces 5&6: Detection, Adhesion and Removal, Ed. by Mittal, K.L.,VSP, Utrecht, The Netherlands, 117-133, 1999.

[2] Spur G., Uhlmann E., Elbing F., "Dry-Ice Blasting for Cleaning Process, Optimization and Application", Wear, 233-235, 402-411, (1999)

[3] Hill E. A., "Carbon Dioxide Snow Examination and Experimentation, Precision Cleaning", p. 36-39, 1994

- [4] Yoon C. N., "Preparation of Sublimable Particles and Their Effects on the Cleaning Efficiency in Cryogenic Jet Cleaning", M.S. Thesis, Chung Ang Univ., 1998
- [5] Calvin C. Fong., "Sandblasting with pellets of materials capable of sublimation", US Patent 4038786, 1977
- [6] Michael A., William D., "Method and system for cleaning a surface with CO2 pellets that are delivered through a temperature controlled conduit", US Patent 5445553, 1995
- [7] Rober K., Robet W., "Particle blast cleaning apparatus", US Patent 5415584, 1995
- [8] Philip S., Touca L., "Particulate delivery system", US Patent 5071289, 1991
- [9] Daniel L., Fredric C., "Method and apparatus for producing carbon dioxide pellets", US Patent 5473903, 1995
- [10] Russel G., Allen J., "Dry ice pelletizer and method for production", US Patent 5845516, 1998
- [11] Alan E., Philip S., "Apparatus for producing and blasting sublimable granules on demand", US Patent 5520572, 1996
- [12] James R., Becker., "Dry Ice Pellet Surface Removal Apparatus And Method", US Patent 6174225, 2001
- [13] Claude Gibot., Malakoff., "Installation For The Projection Of Particles Of Dry Ice", US Patent 4707951, 1987
- [14] Gregory W. Henzler., "Carbon Dioxide Pellet Blast And Carrier Gas System", US Patent 5623150, 1997
- [15] Gary S. Settles., Bellefonte Pa., "Abrasive Blast Cleaning Nozzle", US Patent 5975996, 1999
- [16] Stratford S., "Dry ice blasting for paint stripping and surface preparation", Metal Finishing, 98, 493-499, 2000
- [17] Ohmori T., Fukumoto T., Kato T., Tada M., Kawakuchi T., "Ultra clean Ice Scrubber Cleaning with Jetting Fine Ice Particles", Semiconductor Cleaning Technology, 1989
- [18] 김선근, 박종수, "드라이아이스 블래스팅 장치", KR Patent 10-2001-0020234, 2001
- [19] 김선근, 박종수, "드라이아이스 블래스팅 장치", KR Patent 10-2001-0020234, 2001