

# 액체 이산화탄소를 이용한 정밀부품 표면 세정

\*김태영, 정광조, 김두형

한국기계연구원 지능형 정밀기계 연구본부

## Surface Cleaning of Precision Component Using Liquid CO<sub>2</sub>

\*T. Y. Kim, G. J. Chung, D. H. Kim

Intelligence & Precision Machine Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials

Key words : Carbon dioxide, Liquid CO<sub>2</sub>, Solvent, Cleaning, Surface, Precision Component, Contamination

### 1. 서론

일반적인 정밀 기계 및 정밀 부품들은 생산과정에서 탄화수소, oil, grease 등의 오염을 수반하기 때문에 반드시 세정공정을 필요로 한다. 이러한 오염을 제거하기 위한 기존의 습식세정에서 사용되어지고 있는 화학약품들은 환경오염을 수반하기 때문에 환경규제 및 사용이 제한되어지고 있어 이를 대체하기 위한 세정기술이 필요하다.

액체 이산화탄소는 무극성 물질을 용해할 수 있고 빠른 침투력, 낮은 점도, 높은 확산계수를 가진 용매로서 별도의 건조공정이 필요하지 않아 이를 이용한 유기 오염물질 제거가 연구되어지고 있다. 하지만 극성, 친수성 또는 고분자 물질들에는 효과가 거의 없어 응용분야의 개발에 어려움이 있다. 이러한 액체 이산화탄소의 단점은 이산화탄소용 계면활성제 및 추가공정 등을 추가하면 정밀부품의 표면 세정 및 여러 분야에 적용이 가능하다.

본 연구는 액체 이산화탄소를 이용한 정밀부품 표면에서의 수용성 oil 제거 효과에 대하여 논하였다.

### 2. 이론 및 원리

Fig.1은 이산화탄소의 phase diagram이다. 삼중점은 열역학적으로 평행하게 3가지 상이 동시에 존재할 수 있는 온도와 압력(57°C, 75psi)으로 정의된다. 또한 임계점(31°C, 1071psi) 이상에서는 액체상과 기체상이 독립적인 상으로 존재할 수 없는 초임계 상태로 존재한다. 또한 표준 대기압과 온도에서 안정한 이산화탄소는 기체이기 때문에 고체 또는 액체 상태에서 바로 승화하게 된다. 따라서 오염물질은 배출흐름으로부터 분리될 수 있으며, 이산화탄소를 외부로 배기하거나, 회수하여 재이용할 수 있다. 그리고 이산화탄소의 다른 중요한 물리적 성질은 다양한 무극성 유기화합물에 대한 용매로서의 성질이다. 대부분의 용매들과 같이 이산화탄소의 용해력은 압력과 온도가 증가할수록 커진다. 이러한 이산화탄소는 31°C 이하의 상온과 800psi 이상의 압력에서 안정한 액체 상태를 유지한다. 그리고 20~30°C의 온도와 825~1071psi의 압력에서 좋은 용해력과 높은 포텐셜을 가지는데 이러한 용해력과 포텐셜을 이용하여 모재 표면으로부터 오염을 제거할 수 있다.

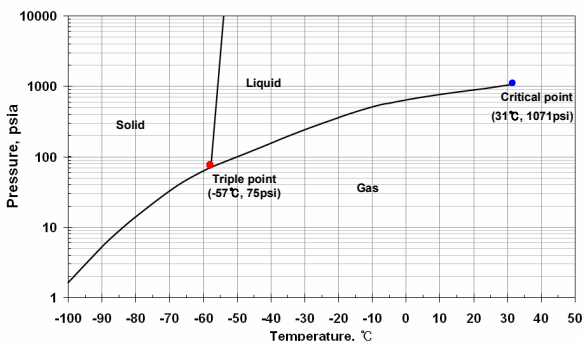


Fig. 1 CO<sub>2</sub> Temperature-Pressure phase diagram

Table 1에서와 같이 액체 이산화탄소는 Petroleum계 용매와 비슷한 용해력을 가지고 있다. 또한 다른 용매들과 비교할 때 밀도는 크게 차이나지 않으면서 표면장력은 월등히 낮아 작은

틈새 사이로 침투가 용이하여 세정효과를 향상시킬 수 있다. 그리고 점도가 낮기 때문에 liquid의 유량속도가 빨라 세정속도를 단축시킬 수 있다. 또한 종전의 습식 세정방법에서 건조공정이 별도로 진행되었던 것에 반해 행균, 건조가 동시에 진행되기 때문에 경제적, 시간적 효율을 높일 수 있다.

Table 1. Characteristic comparison of liquid CO<sub>2</sub> and other solvents

PROPERTY	PCE	VALCLENE	TCA	PETROLEUM	WATER	LCO <sub>2</sub>
용해력 (KB)	90	31	124	27-45	-	27-45
밀도 (g/ml)	1.6	1.6	1.3	0.78	1.00	0.9-0.6*
표면장력 (Dynes/cm)	32.3	18	25.6	27.6	72	5
인화점 (°F)	none	none	none	140-149	none	none
물에 대한 용해력	0.01	0.009	0.05	0.01	N/A	0.1
점도 (cp)	0.54	0.7	0.9	1.2	0.89	0.07
허용한계치 (ppm)	100	1,000	200	200	-	5,000

### 3. 실험장치 및 제목

#### 3.1 실험장치

실험에 사용한 액체 이산화탄소 세정 시스템의 개략도는 Fig.2와 같다. 액체 이산화탄소 세정시스템은 온도와 압력 등의 조건을 조절하여 이산화탄소를 액체 상태로 만들고 이 액체 이산화탄소의 용해력과 chamber 내부에 설치된 basket의 원심력에 의하여 세정대상 으로부터 오염을 제거할 수 있다. 또한 공정이 종료되면 사용한 이산화탄소를 회수하여 다시 사용할 수 있다.

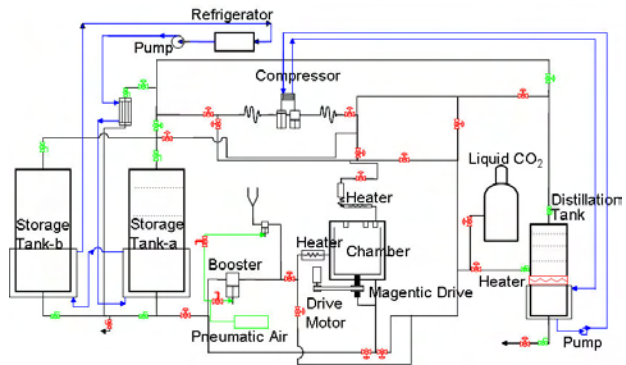


Fig. 2 Schematic diagram of liquid CO<sub>2</sub> cleaning system.

액체 이산화탄소 세정 시스템은 세정대상 또는 오염의 종류와 상태에 따라 조건을 변경할 수 있는데 동작변수는 chamber 내의 온도, 압력, 세정시간, Basket의 회전수, 회전방향, 첨가제의 선택 및 주입량이 있다.

#### 3.2 실험방법

실험에 사용된 시료는 외경 38mm, 내경 25mm인 하드디스크의 platter 사이의 간격을 유지시키는 spacer로 고정정을 요구하는 정밀부품이다. 그리고 오염물로 사용된 oil은 삼육특수유제의

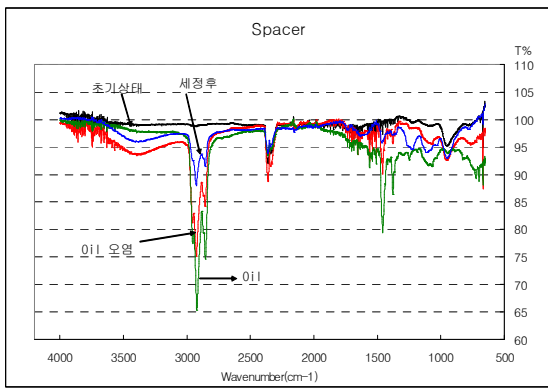
KSM2173 규격의 절연삭 가공용 수용성 1종1호를 사용했다. 시료의 오염은 에틸알코올로 표면을 깨끗하게 닦은 후 oil에 약 5초간 완전 침수시켰다. 실험은 오염된 시료를 바로 꺼내어 장치의 벽면에 고정된 것과 전처리 과정으로 pre-soak를 진행한 후 벽면에 고정된 시료에 대해 진행하였다. pre-soak는 친환경 유기용매인 VertecBio Gold#4(Vertec BioSolvent사) 95%와 비이온 계면활성제인 TritonX-100(동양제철주식회사) 5% 혼합액을 50℃ 이상 온도를 높인 상태로 전처리 용액으로 준비하였고 시료를 준비된 용액에 15분간 담가두었다가 꺼내었다.

**3. 실험결과 및 고찰**

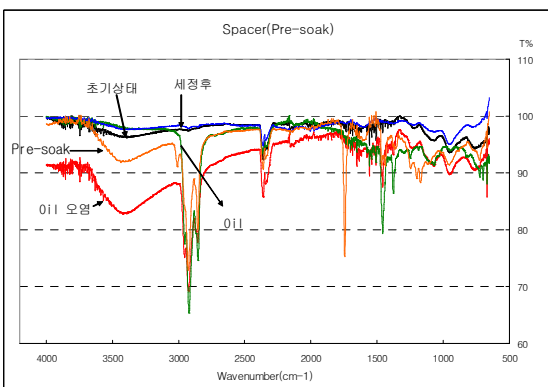
액체 이산화탄소 세정시스템은 다음과 같이 작동하였다.

- Run temperature : 32℃
- Run pressure: 1000psi
- Boost pressure max : 1000psi
- Wash speed : 300rpm(양방향)
- Run time : 30min
- Room temperature : 23℃

세정공정이 끝난 시료들은 전반사를 이용한 FT-IR 분석과 접촉각 측정기를 이용하여 오염 제거효과를 확인하였다.



a) FT-IR analysis of without pre-soak



b) FT-IR analysis of with pre-soak

Fig.3 FT-IR analysis by attenuated total reflectance

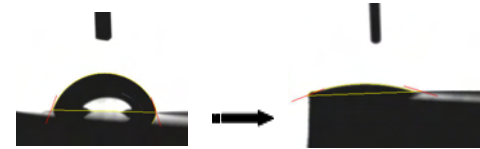
Fig. 3의 표면반사 분광기를 이용한 FT-IR 분석을 보면 초기상태에서는 나타나지 않았던 peak가 oil 오염 후 wavenumber 2900cm-1 영역에서 나타났다. 세정 후에는 pre-soak를 진행하지 않은 시료인 a)의 경우 세정 후 oil 성분이 나타난 peak의 크기가 줄었지만 여전히 남아있었으며, pre-soak를 진행한 시료인 b)는 세정 전에 나타났던 오염과 pre-soak용매에 의해 나타났던 peak가 없어지고 초기 상태와 비슷해 졌다.

그리고 oil에 대한 세정평가를 접촉각을 통하여 확인할 수 있었다. 수용성 oil이 표면에 있는 경우 측정에 사용한 물방울을 담겨 표면에 퍼트리기 때문에 oil이 표면에 많이 남아있으면

접촉각은 낮아진다. pre-soak를 진행한 시료의 경우 초기의 접촉각이 69.79°에서 세정 후 32.57°로 변하였고, pre-soak를 진행하지 않은 시료는 접촉각이 66.38°에서 세정 후 19.93°로 초기 접촉각과 큰 차이를 보였다.



a) Contact angle of with pre-soak



b) Contact angle of without pre-soak

Fig.4 Photographs of contact angle analysis

액체 이산화탄소가 무극성 유기화합물에는 좋은 용해력을 가지고 있지만 본 실험에서 오염으로 사용된 수용성 oil에는 용해력이 낮기 때문에 pre-soak를 진행하지 않은 시료에 대해서는 oil의 제거가 이루어지지 않았다. 하지만 추가공정으로 pre-soak를 진행한 후 액체 이산화탄소를 이용하여 제거했을 때 수용성 oil과 pre-soak 용매를 효과적으로 제거 할 수 있음을 확인하였다.

**4. 결론**

액체 이산화탄소를 이용하여 정밀부품 표면의 수용성 oil 제거를 실시한 결과 액체 이산화탄소만을 이용한 수용성 oil의 제거는 이루어지지 않았다. 하지만 액체 이산화탄소 세정에 앞서 Pre-soak를 진행한 시료의 표면에서는 수용성 oil의 제거가 이루어졌다.

이처럼 액체 이산화탄소를 용매로 이용할 경우 무극성 유기오염물에 제한적으로 사용될 수 있지만 수용성 또는 극성, 고분자 물질에 대한 용해력이 낮아 용매로서 액체 이산화탄소를 이용한 세정기술의 개발이 늦어지고 활용도가 떨어진다. 하지만 이러한 이산화탄소의 단점을 극복하기 위한 추가공정 및 이산화탄소용 계면활성제, 첨가제에 대한 연구가 진행되고 있고 많은 성과가 나타나고 있어 여러 분야에서 이산화탄소가 용매로서 활용되어 질 것으로 기대된다.

**참고문헌**

1. 박승현, 박광현, “오염기름 제염에 있어 초임계 이산화탄소의 사용 타당성 연구,” The journal of materials science and technology, Vol 11, pp. 131-137, 1998.
2. 고문성, “액체 및 초임계 CO<sub>2</sub>를 이용한 방사능 제염법 개발” 경희대학교 석사졸업논문, 2001
3. Hiroshi Inomata, "Development of CO<sub>2</sub> dry cleaning system," AIIST Today No.18, pp 10-11, 2005
4. K. H. Park, H. W. Kim. “Application of CO<sub>2</sub> Technology in Nuclear Decontamination,” Journal of the Korean Institute of Surface Engineering, Vo.34, No.1, Feb.2001
5. E. A. Hill, D. R. Monroe, "Carbon dioxide cleaning ; Going Through Phase ; A Panel discussion of CO<sub>2</sub> Cleaning Technology," CleanTech'99, July/August, pp.26-35, 1999
6. David P. Jackson, "Centrifugal shear carbon dioxide cleaning," Precision cleaning '95 proceedings, pp. 223-236, 1995