

# 유동층을 이용한 열처리부품의 세정 시스템 설계 및 개발 (I) - 유동층 이용 세정 실험장치 설계, 개발 및 실험 -

김찬수 김기대

## Design and Development of Fluidized Bed Cleaning System for on Heat Treatment Parts (I)

### - Design and Development the Experimental Fluidized Bed Cleaner and Experiments on its Cleaning Efficiency -

C. S. Kim K. D. Kim

#### Abstract

This study was conducted to perform for comparative analysis of the cleaning efficiency on 3 kinds of cleaning liquid state, 3 steps of cleaning temperature (45°C, 60°C, 70°C) and 6 steps of cleaning time (2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 minute). 3 kinds of cleaning liquid state are the non fluidized bed, liquid fluidized bed and liquid/solid fluidized bed. UV spectrophotometer was used in estimation of cleaning efficiency, which it is experimental equipment using the absorptiometric analysis method. Cleaning efficiency by cleaning time was increase from 2.5 minutes to 15 minutes, liquid/solid fluidized bed was indicated the highest cleaning efficiency among the 3 kinds of cleaning liquid state and 70°C of cleaning temperature at liquid/solid fluidized bed was indicated the highest cleaning efficiency as 98% among the 3 steps of cleaning temperature.

**Keywords :** Cleaning system, Cleaning efficiency, Non, Liquid and Liquid/solid fluidized bed, Absorptiometric analysis method, Cleaning liquid

## 1. 서론

기계, 전자산업과 마찬가지로 농업기계의 부·제품들의 재료인 금속, 플라스틱, 유리 등 중에서도 특히 금속 부, 제품은 절삭(cutting), 연마(grinding), 구멍뚫기(drilling), 나사내기(threading) 등의 가공작업을 수행하면서 재료의 변형을 초래하지 않고 작업을 원활히 하기 위하여 절삭유, 가공유를 사용하고 가공 후에도 부식을 방지하기 위하여 방청유를 재료 표면에 도포한다. 이렇게 작업을 끝낸 부품을 그대로 이용하거나 도장, 도금 등과 같은 후속 표면처리작업을 원활히 하고 제품의 불량률을 줄이기 위해서는 이 부, 제품 표면을 후속 공정에 맞게 세정, 건조시켜야 한

다. 세정은 표면에 존재하는 이물질을 제거하는 공정 또는 피세정물에 부착되어있는 이물질을 세정액으로 제거하는 기술이라고 정의하고, 세정을 실시할 때 표면층 또는 재료 자체에 영향을 미치지 않게 하는 것이 원칙이며, 세정, 행굼, 건조라는 3가지 기본공정으로 구성되어 있다. 그동안 산업체에서 금속부품 가공 중의 이물질을 세정하기 위하여 CFC(chloro-fluoro-carbon. 염화불화탄소)-113(trichlorotrifluoethane)과 1.1.1 TCE(1.1.1-trichloroethane, 메틸클로로포름)가 주로 사용되어 왔다. 이들 세정제는 기름의 용해력 및 침투성이 뛰어나고 건조성도 좋으며 불연성이면서도 비교적 독성이 적어 세정제로서 뛰어난 특성을 가지고 있다. 그러나 이들 세정제는 오존층 파괴 물질

The article was submitted for publication in July 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2006. The authors are C. S. Kim, KSAM member, Vice president, TMT challenger co., LTD, Daejeon, Korea, and K. D. Kim, KSAM member, Professor, Bioindustrial Machinery Engineering Major, Chungnam National Univ., Daejeon, Korea. The corresponding author is C. S. Kim, KSAM member, Vice president, TMT challenger co., LTD, Daejeon, 305-719, Korea; Tel: +82-42-824-9075; E-mail: <kimcs1003@dreamwiz.com>

지되었고 개발도상국에서는 일정 유예 기간을 두어 2010년 이후에는 사용이 규제될 예정이다. 따라서 많은 국가에서는 이들 세정제를 대체하고자 HCFC(hydro-chloro-fluor-carbon, 수소화 염화 불화탄소)계로서 판명되어 국제적 합의하에 선진국에서는 1995년 말 까지 생산과 사용이 금지되었고 개발도상국에서는 일정 유예 기간을 두어 2010년 이후에는 사용이 규제될 예정이다. 따라서 많은 국가에서는 이들 세정제를 대체하고자 HCFC(hydro-chloro-fluor-carbon, 수소화 염화 불화탄소)계열의 세정제를 개발하였거나 이를 도입하여 대체 세정제로 사용하고 있다. 그러나 이들 세정제는 가격이 고가이고 CFC 보다는 오존층 파괴력이 매우 작지만 적어도 2020년까지는 전폐가 예상된다. 그리고 염소계 세정제는 세정력도 비교적 우수하고 불연성이며 오존층 파괴 지수가 매우 작아 전 세계적으로 CFC 대체 세정제로 현재 많이 사용되고 있지만 작업장 배출 허용농도(TWA)가 매우 낮고 발암 가능성이 있어 엄격한 작업 환경관리가 요구되는 유해 세정제이다. 이들 염소계 세정제의 대안으로는 탄화수소 및 알콜계 세정제, 수계/수준계 세정제가 있다. 따라서 산업체에서 세정제를 적절히 선정하기 위해서는 세정제의 안정성, 세정능력, 경제성 등을 고려하여 세정목적에 맞는 적합한 세정제와 세정방식을 선정하여야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 접촉효과 및 전달현상이 매우 우수하며, 거품 생성의 염려가 없으며, 세정액 자체의 세정효과에 유체의 흐름과 고체입자 자체의 모멘텀을 더하여, 작업시간, 세정효율 등을 극대화하여 생산성 향상을 도모할 수 있는 것으로 알려진 액체/고체 유동층 세정기술을 향후 개발할 유동층을 이용한 단속식 열처리 부품의 세정시스템의 침지조(dipping tank)에 유동층 발생장치의 적용여부를 판단하기 위하여 세정조의 세정액을 흐름이 없이 정진된 상태인 비 유동층(고정층), 액체 유동층, 액체/고체 유동층 3가지 상태로 설정할 수 있는 실험장치를 설계, 개발하여 각각의 세정효율을

비교분석하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 세정일반 및 관련 문헌조사

#### 1) 세정공정

세정은 생산 공정에 있어서 일반적으로 기계가공과 조립의 중간에 위치하는 공정으로서 기계가공 등의 전(前) 공정에서 발생한 이물질이 조립 등의 후 공정에서 제품품질, 조립작업성에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 실시된다. 표 1에 는 생산 공정 내의 세정의 위치와 세정의 목적을 나타내었다. 일본 특허청(2004)에 의한 여러 가지 세정공정을 용도별로 분류한 것을 보면 그림 1에 나타낸 것처럼 부품의 출하 전 세정이 32%, 조립전 세정이 23%, 기타세정 19%, 도장 및 도금 전 세정이 각각 9%, 본 연구의 대상인 열처리 전/후 세정이 8%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

#### 2) 세정제

현재 많은 종류의 대체세정제가 개발되어 판매되고 있지만 CFC-113과 1.1.1 TCE에 준하는 세정력, 건조력 등을 갖춘 대체세정제는 개발되지 못한 상황에서 장치를 보완하여 기존

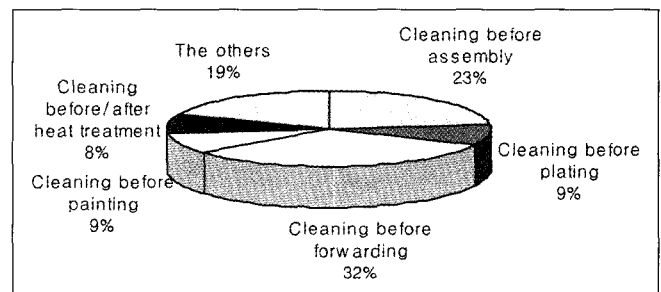


Fig. 1 Assortment of cleaning by process use.

Table 1 Purpose and position of cleaning in the production process

Kinds of Cleaning	Production process	Cleaning purpose
Precision parts cleaning	Machining → Cleaning → Storage	· Chip powder remover · Foreign matter removal
Heat treatment cleaning	Machining → Cleaning → Heat treatment → Cleaning → Re-combustion → Post-machining	· Cutting oil removal · Heat treat. oil removal
Cleaning before surface treatment	Resin forming → Cleaning Machining → Cleaning	· Hard-forming agent removal · Cutting oil removal
Remove of flux	Loading → Flux application → Cleaning → Storage	· Flux removal
Impregnant cleaning	Diecasting → Machining → Impregnation → Cleaning → Storage	· Impregnant removal
Cleaning before forwarding	Storage → Inspection → Cleaning → Forwarding	· Grease removal · Inspection oil removal

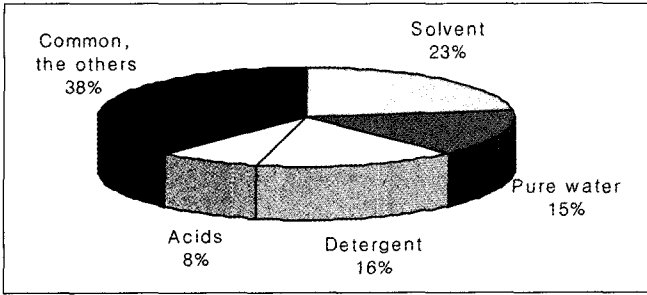


Fig. 2 Distribution rate by the characteristic of general cleaning liquid.

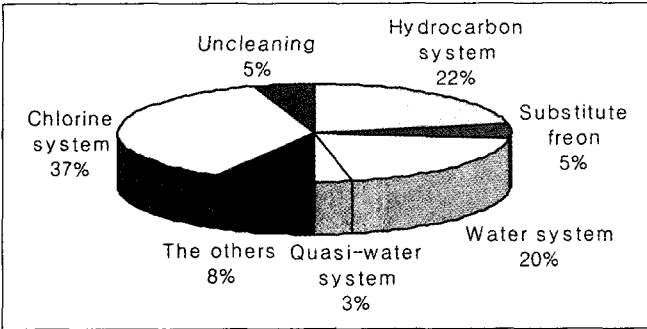


Fig. 3 Distribution rate by patterns of substitute cleaning detergent.

의 세정효율을 얻기 위한 활동이 활발히 진행되고 있다. 이들 세정제를 대체하는 대체세정제로는 수계세정제, 준수계세정제, 비수계(용제계)세정제 등으로 나누어진다. 일본국 특허청(2004)에 의하면 현재 사용하고 있는 일반 세정액의 구성 성분별 분포현황은 그림 2에 나타난 것처럼 38%를 차지하는 기타를 제외하면 용제형의 세정액이 23%로 많이 쓰이고 있음 알 수 있으며, 대체세정제의 유형별 분포를 보면 그림 3에서처럼 염소계가 37%로 많이 쓰이는 것으로 나타났다.

### 3) 세정장치

세정 목적을 달성하기 위해 세정장치의 선정은 피세정물에 영향을 주지 않는 적절한 선정이 필요하다. 또한 설비가격은 물론 유지비가 저렴하면서, 세정제 가격, 폐액 배출수 처리비용, 전력이나 열 등의 에너지가 싸고 유지관리가 용이한 자원 절약형 시스템 등의 선택기준에 의하여 선택하며, 이때 고려할 요소들은 土田重則(2001)에 의하면 피세정물의 형상과 크기, 부착오염물질, 처리량과 처리시간 등으로 표 2에 나타내었다. 본 연구에서 유동층발생장치를 적용하려고 하는 침지조에서 실시하는 단순히 피 세정물을 세정액에 담그기만 하는 침지세정(dipping cleaning)의 경우 그 작용효과는 100% 세정제의 세정능력에 따라 결정된다. 그러나 여기에 물리적, 기계적 요소를 가하면 세정제의 세정능력은 더욱 향상될 수 있다.

Table 2 Selective elements of cleaning device

Selective elements
Shape and size of cleaning matter
Adhesion pollutant
Transacting quantity and transacting time
Cleaning on cleaning matter
Economical efficiency (Equipment cost, Operating fee, Installation area)

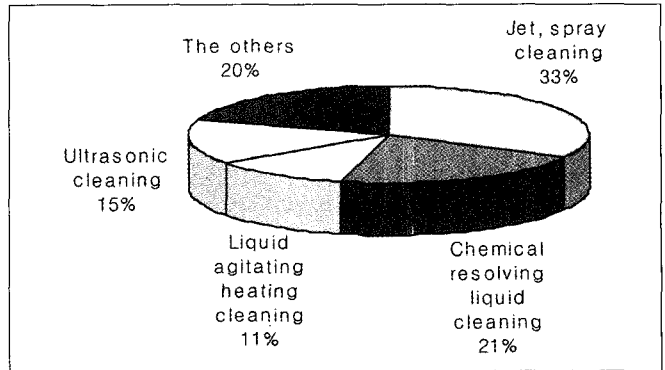


Fig. 4 Assortment of cleaning elemental technology.

세정장치의 형태 중 샤워 세정은 약 1 kg/cm<sup>2</sup> 정도까지의 압력으로 세정액을 노즐에서 분사하여 그 힘으로 부품에 부착된 유분, 이물질 제거하는 방법을 말하며, 고압 분사(spray) 세정은 1961년 미국에서 처음 도입된 방법으로 약 수~수십 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 세정액을 노즐에서 분사하여 그 힘으로 부품에 부착된 유분과 이물질을 제거하는 방법으로 고압이 될수록 기술적으로 곤란하고 장치도 고가가 되며, 침지세정은 용기에 들어있는 세정액에 부품을 담구어서 세정제의 힘으로 유분, 이물질을 제거하는 방법이며, 초음파 세정은 고주파의 초음파(20 Hz 이상)를 이용하여 물이나 용제를 진동시켜 복잡한 형상물의 세정이나 깨지기 쉬운 물체에 흡집을 내지 않고 그대로 세정하는 방법으로 초음파에 의해 생긴 압력의 파(wave)는 액 중에 전달되어 수천기압이 되어 부품표면에 부딪침으로서 기포를 발생시켜 캐비테이션에 의한 강한 교반이 이루어지게 하여 세정하는 방법을 말한다. 세정시 사용하는 세정장치는 일본 특허청(2004)에 의하면 그림 4에서처럼 제트, 스프레이 세정이 33%로 많이 사용되고 있었다.

### 4) 세정성 평가방법

현재 여러가지 평가방법이 고안되어 있으며 이를 열거하면 육안 및 현미경에 의한 표면 관찰법(visual test)인 외관법(육안 관찰법), 닦아내기법(wiping method), 물분리법(water break), 접촉각법(contact angle method), 세정 후 무게분석에 의한 잔류오염물질 측정법이 있고 TOC(total organic carbon), ESCA

(electronic spectroscopy for chemical analysis)등과 같은 분석기기에 의한 표면 잔류성분 측정법이 있으며, 평량법, 오메가미터법, 이온 잔사 측정법, 블랙라이트법, 분광광도계법 등이 있다. 세정성 평가는 육안관찰 등에 의한 관능검사 방법이 비교적 널리 쓰이고 있다. 이런 경우 동일 조건하에서 검사하여도 평가자에 따라 그 결과가 다른 경우가 많이 발생되고, 고도의 정밀기구를 사용하여 결과를 수치로 얻는 방법도 있지만 현장과 일치하지 않는 문제가 나타나기도 한다. 따라서 세정 목적에 맞는 적합한 세정도 평가기술을 결정하여 세정 청정도를 명확히 정량화하는 것이 중요하다.

#### 나. 유동층 기술

유동층의 의미는 “용기속의 분립체(紛立體)가 유체(액체 또는 기체)의 일정한 유속에 따라 형성하는 층”이라고 요약되지만 이를 다시 정립하면 유동층은 유동상(流動床)이라고도 하며 입자지름이 작은 분립체를 용기에 넣고 그 밑부분에 다공판과 같은 정류기를 거쳐서 가스 또는 액체를 흘려보내면 유속이 작을 때는 입자가 정지된 고정층 그대로이지만, 유속이 어느 정도 이상이 되면 입자에 가해지는 유동저항과 중력이 같아져서, 분립체는 마치 끊는 액체처럼 손쉽게 유동할 수 있는 상태가 되고 유속이 증가해도 유동층 내부의 압력은 일정하게 된다. 이 현상이 유동화(fluidization)이며 이 상태의 층이 유동층이다. 유동층에서는 용기내의 입자가 거의 균일하게 혼합되어, 입자와 유체의 접촉이 좋고 온도 조절이 손쉬워, 간단한 장치로 다량의 분립체를 연속적으로 처리하여 그 일부를 빼내거나 공급할 수가 있다. 그러나 입자가 유체를 따라 운반되거나 마모되는 결점이 있으며, 별도의 유동층 발생장치를 제작하여야 하며, 적절한 유동층 발생 장치 제작방식 및 유동층 발생방식의 선정이 매우 중요하다. 이미 제약이나 식품분야에서 미분체의 파립화나 코팅에 이 유동층 공정 기술이 적용되고 있으며 여기서는 공기를 이용하여 유동층을 발생시키는 시스템을 사용하고 있다. 본 연구에서는 이 유동화 기술을 농업기계 및 기계, 전자부품의 열처리 전, 후 세정장치에 활용할 수 있도록 하고자 하며 이 시스템에서 사용한 공기 대신 액체(세정액)를 이용하여 유동층을 발생시켜 열처리 부, 제품의 세정시스템에 적용하고자 한다.

#### 다. 세정효율 비교 실험장치 설계, 제작 및 실험

현재 사용 중인 열처리제품 세정시스템은 열처리라인과 직접 연결되어 열처리와 세정을 연속적으로 실시하는 연속라인 방식과 열처리 라인과는 별도로 설치하여 열처리공정과 세정공정을 별도로 운영하는 단속라인 방식 2가지 시스템으

로 구분된다. 본 연구는 단속라인 방식용 열처리 세정시스템에 적용하기 위한 세정시스템을 개발하기 위한 것이며 단속라인 열처리 세정기의 공정은 일반적으로 피 세정물의 로딩(loading) 및 장입 → 침지(dipping) → 세정액 스프레이(spray) → 열풍 건조(hot air blowing) → 장출 및 언로딩(unloading) 등으로 구성된다. 상기 세정공정 중 침지(dipping)공정에 본 연구에서 개발하려는 유동층 발생장치를 적용하기 위한 것으로 기존의 세정시스템은 단순히 피 세정물을 세정액이 들어있는 침지조에 담그기만 하는 세정액의 흐름이 없는 정지된 상태로서 이 정지된 세정액에 유동을 주어 액체 유동층 상태, 액체/고체 유동층 상태로 만들어 이 3가지 세정액 상태 각각의 세정효율을 비교할 수 있는 실험장치를 설계 제작하여 효율을 비교하고자 하는 것이다.

##### 1) 세정효율 비교 실험장치 설계 및 제작

본 실험에 사용한 세정효율 비교 실험장치는 그림 5에서 보는 바와 같이 메인 컬럼은 직경이 0.152 m이고 높이가 1.5 m인 아크릴 관을 사용하여 제작하였으며, 이 아크릴 관속에 직경 0.140 m인 4개의 트레이(tray)를 행거 끝단에서부터 0.3 m 간격으로 부착한 트레이 행거를 상부에서 인입 및 인출시킬 수 있는 구조로 하였으며, 트레이 행거를 장치하였을 때 4번째 트레이가 메인 컬럼의 하단부에서 0.3 m의 위치에 있도록 하였다. 이 행거의 트레이 위에 한번에 2개의 피세정물을 넣고, 세정액의 유속과 유량을 조절하여, 즉 실험장치내의 세정액의 유속과 유량을 정지시켜 세정액의 흐름이 없는 비유동층 상태(non fluidized bed)를 만들고, 세정액의 유속을 0.28 m/s, 유량을 0.0051 m<sup>3</sup>/s로 하여 메인 컬럼 하단으로부터 0.6 m 지점에서 액체 유동층(liquid fluidized bed)상태를, 동 위치의 0.3 m 지점에서 액체/고체 유동층 (liquid/solid fluidized)상태를 동시에 만들어 세정효율을 비교할 수 있는 3가지 상태가 되도록 하였다. 연속상의 분산관은 다공판 형태를 사용하였는데, 직경 3 mm의 구멍을 변의 길이 10 mm의 정삼각형 형태의 피치로 균일하게 배치하여 세정액이 유입되도록 하였다. 연속상인 액체로는 세정액을 사용하였고, 고체 입자로는 직경 2 mm이고 밀도가 2,500 kg/cm<sup>3</sup>인 유리구(glass bead)를 사용하였다. 그림 6에서와 같이 세정이 진행되는 동안 실험용 세정장치의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 온도조절기가 부착된 재킷(jacket)을 실험용 세정장치의 벽면에 설치하였다. 세정액은 기존업체들에서 사용 중인 국내 E사의 제품인 PERA-F를 혼합하여 제조한 세정액을 사용하였으며, 세정장치를 거쳐 나온 절삭유 및 이물질과 세정액은 유수분리기를 거쳐 분리하였고, 분리된 세정액은 액체 저장조에 보내져 반응기에 재순환되도록 하였다. 액체 저장조에도 온도조절기가 부착된

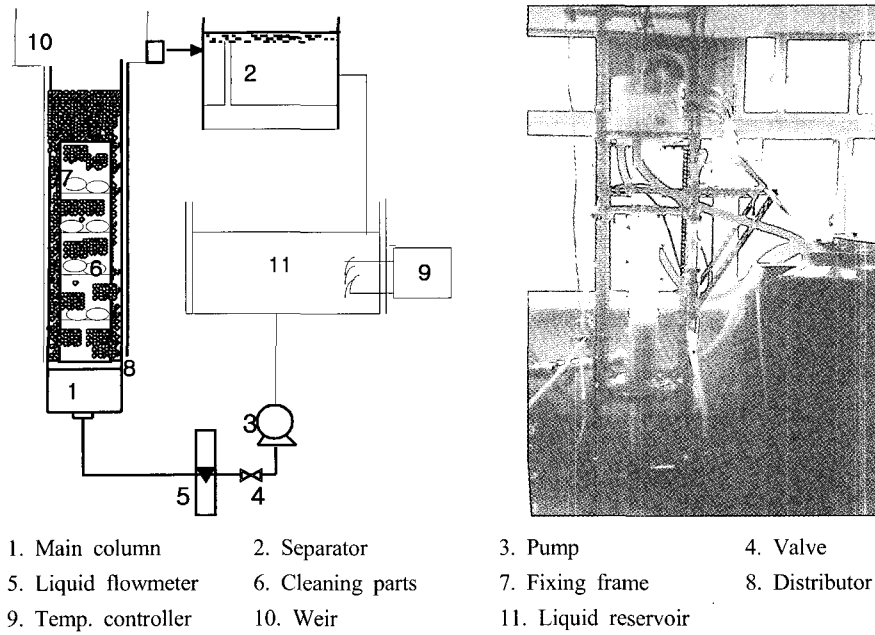


Fig. 5 Schematic diagram and picture of experimental device.

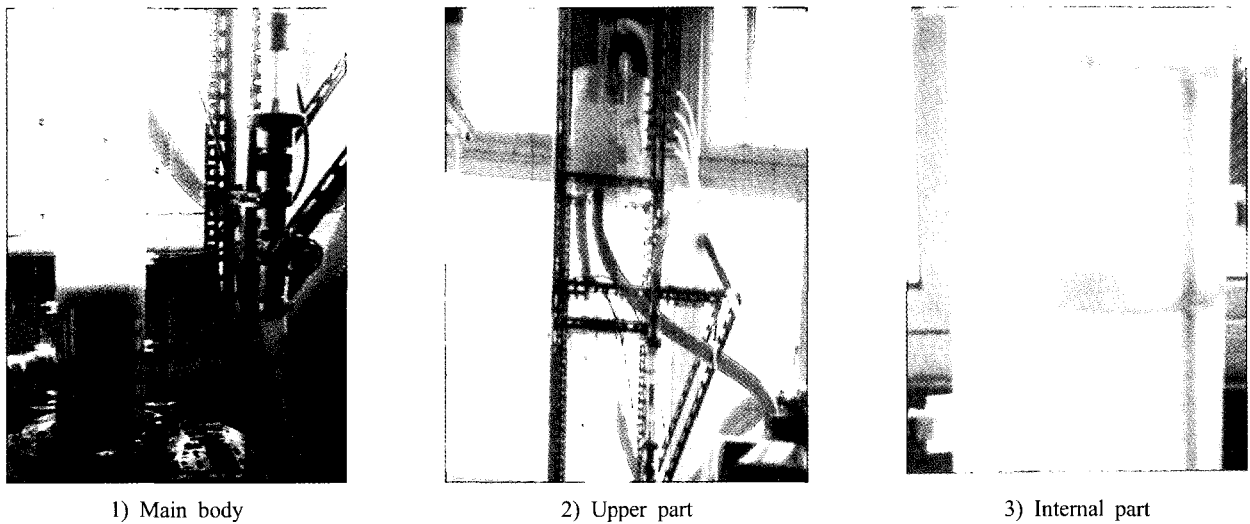


Fig. 6 Detail parts of experimental device

Table 3 Experimental conditions of experiment devices

Items	Unit	Specification
Fluidized bed	m	0.152[m-I.D] × 1.5[m-H]
Distributor	-	Perforated plate
size of hole	mm	∅3
Hanger	-	Vertical type
No. of tray	ea	4
Size of tray	mm	∅140
Solid particle	-	Glass beads
Density	kg/m <sup>3</sup>	2500
Size	mm	2
Liquid phase	-	Water and cleaning liquid (5%)
Flux	m <sup>3</sup> /s	0.0051
Flow velocity	m/s	0.28
Cleaning temperature	℃	45, 60, 70
Cleaning time	min	2.5~15

히터(heater)를 설치하여서 세정이 진행되는 동안 세정액의 온도가 일정하도록 유지하였다. 세정온도를 70℃까지로 상한 선을 둔 것과 세정시간을 최대 15분으로 한정 한 이유는 본 연구의 후속 주 연구인 유동층 세정시스템 개발의 목표치가 세정온도범위 40℃~70℃, 최대 세정시간 15분으로 되어 있어 이를 기준하여 세정온도를 3단계로 설정하였고, 세정시간은 시간별 세정효율을 정확히 실험하기 위하여 2.5분씩 총 6단계로 설정하였다. 그림 5에 실험장치의 개략도와 제작한 실험장치를 나타내었으며 그림 6에 실험장치의 상세부분을 나타내었다. 또한 표 3에 실험장치의 실험조건을 나타내었다.

2) 실험방법

가) 피 세정물의 선정

본 실험에 사용한 피 세정물은 그림 7에 나타낸 것처럼 농업기계 부품인 플렌지를 3개 사용하였는데 이것을 사용한 이유는 형상이 단순하고 작아 실험시 취급이 편리하고, 실험장치의 메인 컬럼 제작상의 용이성이 있기 때문이었다. 실험 시에는 가공 완료 후 일반 세정한 피세정물을 인위적으로 침탄 열처리유 원액통에 완전 침적시켜 오염시킨 후 본 실험에 사용하였다. 그림 8은 본 실험 전 일반 세정완료 직후의 피세정물을 확대하여 표면의 상태를 나타낸 것으로 일반 세정 후 피

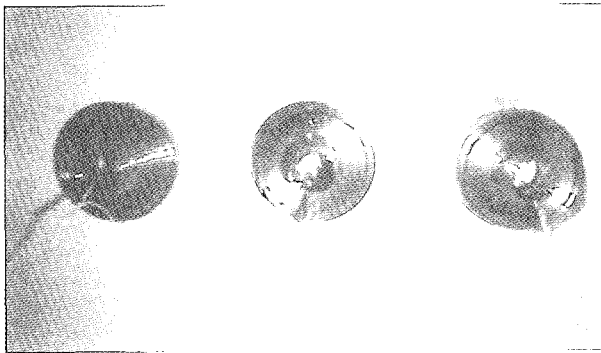
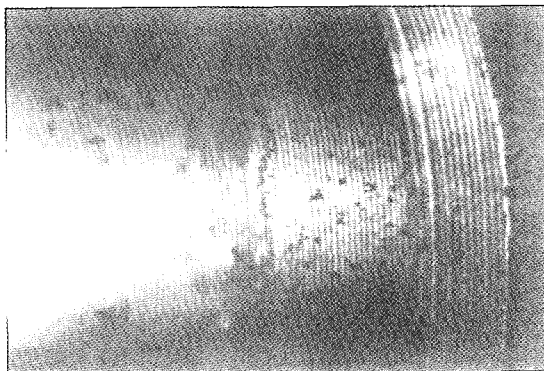
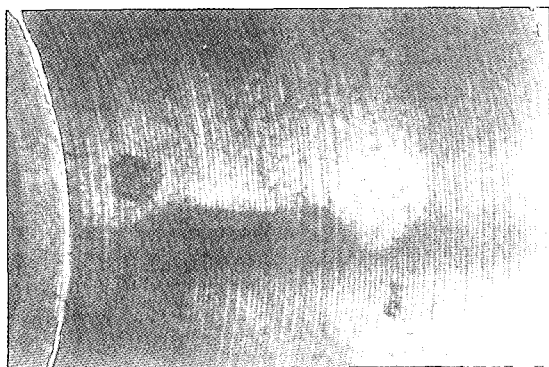


Fig. 7 Cleaning parts used in the experiment.



(× 150 times)



(× 100 times)

Fig. 8 Enlarged pictures of cleaning parts.

세정물의 상태를 파악하기위한 것으로 일반세정 후에도 미세한 잔여 이물질들이 부착되어 있는 것을 알 수가 있다.

나) 세정액 및 세정방법

본 실험에 사용한 세정액은 국내 E사의 PERA-F를 혼합하여 제조한 세정액을 사용하였으며, 유동층 세정의 효과를 비교 검증하기 위하여 실시한 실험에서 세정조 속의 세정액의 상태를 1) 세정액의 흐름이 없는 정지된 상태인 비 유동층 상태(non fluidized bed), 2) 세정액만 단순히 유동시킨 액체 유동층 상태(liquid fluidized bed), 3) 세정액의 유동과 더불어 고체입자(유리구)를 유동시킨 액체/고체 유동층 상태(liquid/solid fluidized bed)의 3가지 상태가 되도록 세정액의 유량과 유속을 조절하였으며, 여기에 세정온도를 45°C, 60°C, 70°C의 3가지 온도로 변화시키고, 세정시간은 2.5분씩 15분까지 6단계로 하여, 한번에 피세정물을 2개씩 세정효율의 비교 실험을 실시하였다.

다) 세정효율 평가

(1) 세정효율의 정의

본 실험에서는 세정효율 평가에 흡광광도분석법(absorptiometric analysis method)을 사용하였다. 이 방법의 원리는 빛이 시료 용액을 통과할 때 흡수나 산란 등에 의하여 강도가 변화하는 것을 이용하는 것으로 시료물질의 용액에 적절한 시약을 넣어 발색시킨 용액의 흡광도를 측정하여 수중의 오염물질 분석에 적용하는 방법이다. 이 방법의 구체적인 개요는 광원으로 나오는 빛을 단색화 장치(monochrometer) 또는 필터에 의하여 좁은 파장의 빛만을 선택하여 액층을 통과시킨 다음 광전측광으로 흡광도를 측정하여 목적성분의 농도를 측정하는 방법이다. 강도  $I_0$  되는 단색광선이 농도  $C$ , 길이  $l$  되는 용액층을 통과하면 이 용액에 빛이 흡수되어 입사광의 강도가 감소한다. 통과한 직후의 빛의 강도  $I_t$ 와  $I_0$  사이에는 램버트 비어의 법칙(Lambert-Beer's law)에 의하여 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon Cl}$$

여기서,  $I_0$  : 입사광의 강도,  $I_t$  : 투사광의 강도,  $C$  : 농도,  $l$  : 빛의 투과거리,  $\epsilon$  : 비례상수(흡광계수)이다.  $I_0$ 와  $I_t$ 의 관계에서  $\frac{I_t}{I_0} = t$ 를 투과도, 이 투과도를 백분율로 표시한 것 즉,  $t \times 100 = T$ 를 투과 퍼센트라 하고 투과도의 역수의 상용대수 즉  $\log(\frac{1}{t}) = A$ 를 흡광도라 한다. 이 흡광도를 이용한 램버트 비어 법칙을 식으로 표시하면  $A = \epsilon Cl$ 이 되므로 농도를 알고 있는 표준액에 대하여 흡광도를 측정하고 흡광계수( $\epsilon$ )을 구해 놓으면 시료액에 대해서도 같은 방법으로 흡광도를 측정하므로써 세정효율을 정량할 수가 있다.

(2) 세정효율 평가 방법

피 세정물은 매 실험시마다 동일한 열처리유 원액에 침적시켜 동일하게 오염시킨 상태로 실험을 실시하였고, 실험 전 매번 피세정물을 침적시킨 열처리유 원액의 시료를 채취하여

기준시료로 설정하고 세정액의 3가지 상태 각각과 실험 세정 시간 각 수준마다 실험 후 실험장치에서 피 세정물을 인출하여 피 세정물에 묻어있는 잔유 오염물을 벤젠용액에 용해시킨 후 이 용해된 용해액과 세정 전 원액 기준시료를 UV 분광광도계(UV spectrophotometer)로 비교분석하여 세정효율을 분석하였다. 즉 본 연구에서는 세정효율을 평가하기 위하여 세정 전, 후 오염물의 흡광도(투과도)를 비교분석하는 흡광광도분석법을 사용하였다. 표 4에 본 연구에 사용한 국내 H사의 UV 분광광도계의 제원을 나타내었다.

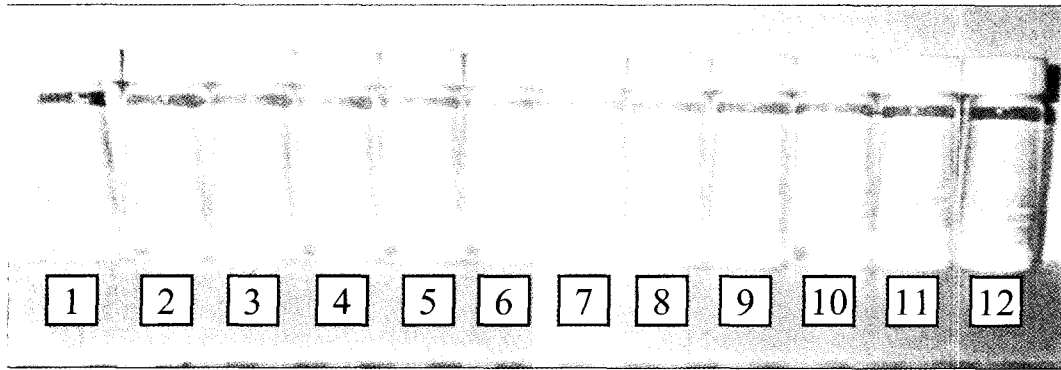
Table 4 Specification of UV spectrophotometer

Items	Unit	Specification
Name of model	-	HS-3100
Accuracy	nm	±0.2
Repeatability	nm	±0.1
Spectral band width	nm	1
Photometric composition	-	Split beam system
Photometric range	Abs	-0.1~3.0
Photometric accuracy	Abs	±0.005 (at 1 Abs)
Photometric repeatability	Abs	±0.005

3. 결과 및 고찰

가. 실험결과

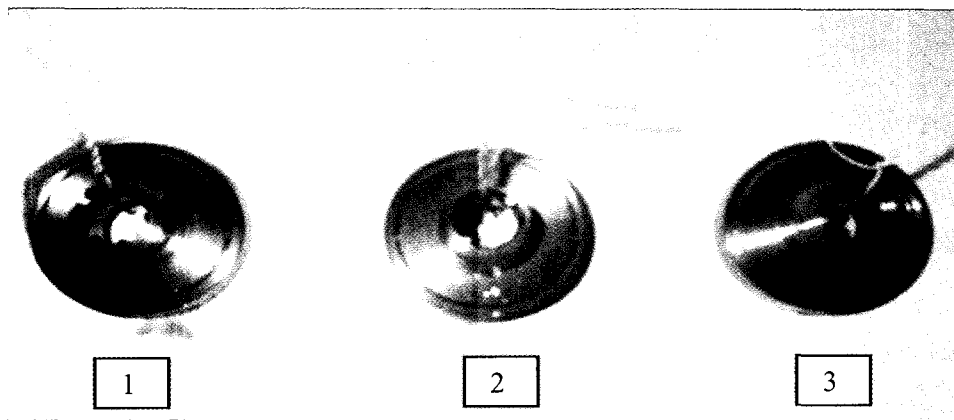
그림 9에는 세정효율을 분석하기 위한 각 세정액 상태 및



- 1 : S600205                      2 : L600205                      3 : N600205
- 4 : S600208                      5 : L600208                      6 : N600208
- 7 : S600210                      8 : L600210                      9 : N600210
- 10: S600215                      11: L600215                      12: N600215

S : Li./solid fluidized bed, L : liquid fluidized bed, N : Non fluidized bed

Fig. 9 Samples of cleaning liquid for analysis of cleaning efficiency.



- 1. Non fluidized bed                      2. Liquid fluidized bed                      3. Li./solid fluidized bed

Fig. 10 Pictures of cleaning result of cleaning parts.

온도 조건별로 실시한 실험 결과 중에 하나로 세정액 정지상태인 비 유동층상태, 액체 유동층상태, 액체/고체 유동층 상태의 3가지 조건에서 세정온도 60°C, 유리구 직경 2 mm, 세정시간 5분, 7.5분, 10분, 15분의 각각 상태에서 실험 후 피세정물에서 용해시켜 추출한 시료인 용해액을 채취하여 실험용 유리병에 견시용(見示用)으로 나타낸 것이다. 그림 9에 나타낸 기호 S600215는 세정액의 상태, 세정온도, 유리구 크기, 세정시간을 나타내는 것으로 S는 세정액 상태가 액체/고체 유동층상태임을, 60은 세정온도가 60°C, 02는 유리구의 크기가 02 mm, 15는 세정시간이 15분임을 의미한다.

그림 10에는 각각의 실험결과 중 세정액의 3가지 상태에서 세정온도 60°C, 유리구 직경 2 mm, 세정시간 15분으로 실험한 결과의 피세정물을 견시용 사진으로 나타낸 것이다.

1) 세정시간별 세정 효율

그림 11에는 세정액의 실험조건인 1) 세정액의 흐름이 없는 정지(침지)된 상태, 2) 세정액에 단순히 유동만 준 액체 유동층 상태, 3) 세정액의 유동과 더불어 고체입자를 유동시킨 액체/고체 유동층 상태의 3가지의 상태에서 세정온도 60°C에서의 결과를 나타낸 것으로 세정액의 3가지 상태에서 세정효율은 2.5분 세정 후 최소 45%이상의 세정효율을 나타내었고, 각 세정액 상태별로 세정시간에 대한 세정효율은 완만히 증가하였으며 세정시간 15분에서 세정효율이 가장 높게 나타났으며, 세정온도 45°C, 70°C에서도 같은 유형을 나타내었다.

2) 세정액의 유동상태 별 세정효과

실험결과 그림 11에 나타낸 것처럼 세정액 3가지의 상태에서 세정온도를 60°C로 설정하여 실험을 실시한 결과 실험 약 2.5분 후부터 세정효율이 45%, 60%, 70%로 나타나기 시작하여 세정액의 3가지 상태 모두에서 15분 경과시 가장 높은 세정효

율을 나타내었고, 이중에서 액체/고체 유동층 상태가 가장 좋은 세정효율인 95%로 나타났으며, 액체유동층 상태에서는 80%, 세정액 정지상태에서는 65% 순으로 세정효율이 나타났다. 즉 세정액과 고체입자를 동시에 유동시키는 액체/고체 유동층 상태가 95%의 세정효율을 보여 가장 높은 세정효율을 보였다.

3) 세정액의 액체/고체 유동층 상태에서 세정온도별 세정효과

그림 12에는 세정액의 3가지 상태 중 세정효율이 가장 좋은 것으로 나타난 액체/고체 유동층 상태로 세정액의 상태를 설정해놓고 세정온도 45°C, 60°C, 70°C의 3가지 온도에서 세정효율을 실험한 결과를 나타낸 것으로 실험 시작 약 5분후에 82%, 86%, 89%의 세정효율을 나타내었고 3가지 온도상태에서 모두 세정시작 15분 후에 가장 높은 세정효율인 94%, 96%, 98%의 세정 효율을 나타내어 단계별로 약 94%이상의 세정효율을 보여 줌으로서 액체/고체 유동층 상태에서 세정온도 70°C에서 가장 좋은 세정효율이 나타는 것을 확인 하였다. 세정효율은 세정시작부터 약 7.5분까지가 가장 활발히 증가되는 것으로 나타났으며 세정 7.5분후부터 15분까지는 비교적 완만한 증가를 보였다.

나. 세정효과의 분석

기 실험한 결과를 분석하여 보면 같은 세정온도, 같은 세정시간에서 세정액의 3가지 상태 중 액체/고체 유동층 상태에서 가장 좋은 세정효율을 보였고, 액체 유동층 상태, 세정액 정지상태인 비 유동층상태 순으로 세정효율이 나타났다. 즉 세정액이 정지된 상태로 세정하는 침지 세정보다는 세정액을 유동을 시키는 것이 상대적으로 세정효율을 약 20%정도 향상시키는 것으로 나타났고, 이것보다는 또 세정액과 고체입자를 동시에 유동시키는 것이 세정효율을 약 20%정도 더 향상시키는 것으로 확인되었다. 이것은 유동층을 발생시키는 유동층 세정장치가 유체의 흐름과 고체입자의 유동을 일으키고, 이 유동이

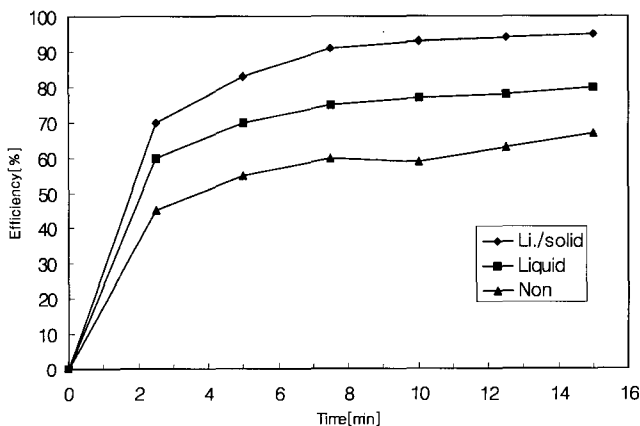


Fig. 11 Cleaning efficiency by fluidizing methods.

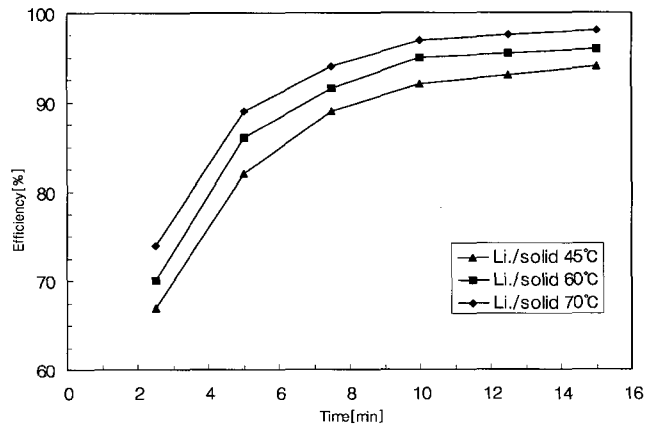


Fig. 12 Cleaning efficiency by temp. at liquid/solid fluidized bed.



피세정물과 활발한 접촉을 함으로써 세정효율을 향상시킬 수 있는 것으로 판단 할 수 있으며, 세정시간 15분 경과시에는 세정온도 45°C, 60°C, 70°C에서 약 94%~98% 정도의 세정효율을 보여 기존의 일반적인 침지식(dipping type) 세정시스템의 세정온도 80°C, 세정시간 30분에서 세정효율 70%~80%의 기준에 비하여 세정온도를 낮추고 세정효율을 높이므로써 에너지 절감 및 세정액 선택의 범위도 넓힐 수 있는 것으로 판단 된다. 그러나 여기에서 변수가 되는 세정액의 상태, 피세정물의 집적 상태와 크기, 형상 등 여러 가지 요인들에 따라 세정효율은 달라질 수 있으므로 현장에서 적절한 세정온도는 40~80°C의 범위에서 선택하는 것이 합리적이라 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 세정액에 유동층을 발생시켜 농업기계 부, 제품뿐만 아니라 기계, 전자부품의 열처리 전, 후 세정시스템을 적용하기위한 유동층 발생장치를 개발하기위한 것으로, 부품세정에 관련된 세정공정의 용도, 대체 세정제의 분포 및 세정장치의 현황 등에 대하여 조사, 분석하였고, 유동층 발생에 의한 세정효과를 비교분석하기 위하여 세정액이 들어있는 실험장치속의 세정액의 상태를 세정액의 흐름이 없는 정지된 상태인 비 유동층상태(non fluidized bed), 세정액에 단순히 유동만 준 액체 유동층 상태(liquid fluidized bed), 세정액의 유동과 더불어 고체입자를 유동시킨 액체/고체 유동층 상태(liquid/solid fluidized bed)의 3가지 상태로 만들고, 이때 세정온도를 45°C, 60°C, 70°C의 3단계로 하고, 세정시간은 2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 12.5분, 15분 등 총 6단계로 하여 각각의 세정효율에 대한 비교실험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 세정온도 45°C, 60°C, 70°C 각각에서 세정시간별 세정효율은 세정시작 약 2.5분 후부터 세정효율이 증가하기 시작하여 세정시간 15분까지 지속적인 증가를 나타냈다.
- (2) 세정효율 비교실험의 3가지의 세정액 상태 중 액체/고체 유동층 상태에서 가장 좋은 세정효율이 나타났고, 액체 유동층 상태, 세정액 정지상태인 비 유동층상태 순으로 세정효율이 나타났다. 즉 세정 온도 45°C, 60°C, 70°C 각각에서 세정액이 정지된 상태인 즉 침지세정(dipping cleaning) 보다는 세정액을 유동을 시키는 것이 상대적으로 세정효율을 약 20% 정도 향상시키는 것으로 나타났고, 이것보 다는 또 세정액과 고체입자를 동시에 유동시키는 것이 세정효율을 약 20%정도 더 향상시키는 것으로 나타났다.
- (3) 실험시 설정한 세정온도별 세정효율에서도 세정온도 45°C, 60°C, 70°C에서 액체/고체 유동층 상태, 액체 유동층 상태 등의 유

동층을 발생시킨 상태에서는 세정시간이 15분 정도 지나면 약 94%이상의 세정효율을 보였고, 액체/고체 유동층 상태에서 세정온도 70°C에서 가장 높은 98%의 세정효율을 보여 기존의 세정온도 80°C를 낮추어 에너지 절감을 유도하고, 세정액 선택의 범위도 넓힐 수 있는 것으로 확인되었다.

실제 세정시의 피세정물의 형상과 크기, 세정시 장입형태, 사용 세정액, 세정온도, 세정시간 등 다양한 변수와 조건으로 인한 차이가 있고, 본 실험의 여러 가지 실험조건상의 차이는 있었지만 본 실험결과 세정액을 액체/고체 유동층 상태로 하는 것이 가장 좋은 세정효율을 나타내는 것으로 확인 되었으므로 이 결과를 기초로 하여 액체/고체입자를 유동시키는 유동층 발생장치를 개발하여 향후 유동층을 이용한 열처리 부품의 세정시스템 개발에 적용하고 자 한다.

#### 참 고 문 헌

1. 구자명. 1991. 열처리기술시리즈 9 “시험과 설비”. 원창출판사:124-147.
2. 노경호. 1997. 대체세정제 및 세정기술현황. 제3회 대체세정제 응용기술세미나. 한국화학시험연구원.
3. 도서출판 동화기술 편집부. 1999. 수질오염·폐기물·토양오염 공정시험방법. 도서출판 동화기술:55-65.
4. 박일부, 최병강. 2001. 금속열처리. 남양문화사.
5. 배재흠, 신민철, 이철호. 1999. 대체세정 시스템의 선정방법 및 수계/준수계 세정기술의 적용사례 연구. 화학공업과 기술. 7(2):161-170.
6. 일본특허청. 2004. 산업용 세정기술. 일본특허청.
7. 월간화학기술편집부. 2000. 적절한 유동층의 선택(1). 월간화학기술 2000(1):52-55.
8. 월간화학기술편집부. 2000. 적절한 유동층의 선택(2). 월간화학기술 2000(2):61-64.
9. (주)휴마스. 2001. HS-3100 UV spectrophotometer 취급설명서. (주)휴마스.
10. 한국정밀화학공업진흥회. 1999. 대체세정기술에 관한 세정기술입문. 한국정밀화학공업진흥회.
11. 大坪雅之. 1999. 고압 제트세정기술. 월간화학기술 1999(7): 19-21.
12. 小玉滿. 1997. 대체세정기술과 적용사례. 제3회 대체세정제 응용기술세미나. 한국화학시험연구원.
13. 松永正久. 1999. 적절한 유동층의 선택. 월간화학기술 1999(5): 72-75.
14. 土田重則. 2001. 금속 열처리 공정에 있어서의 세정기술. 월간화학기술 2001(1):103-106.
15. 河場邦夫. 1996. 최신 대체세정제와 세정장치. 제2회 대체세정제 응용기술세미나. 한국화학시험연구원.
16. Wood, W. G., Cornia, R. D and Philips, O. T. 1986. Evaluating cleaning efficiencies of cleaning process. 9th ed., American society for metal. Vol. 5:78-87.