

휘발성 유기물질의 에너지화를 위한 고효율
cyclonic recuperative thermal oxidation system의 설계

이시훈, 현주수, 임영준
한국에너지기술연구소 에너지환경연구부

Design of Advanced Cyclonic Recuperative Thermal Oxidation
System for Recovering Energy from VOCs

S.H. Lee, J.S. Hyun, Y.J. Lim
Energy and Environment Research Department Korea Institute of Energy Research

1. 서론

휘발성 유기물질은 ground level ozone의 전구체로써 미래 대기오염의 주원인이 될 것으로 판단되는 물질이며 구미각국에서는 1990년 초반부터 그리고 국내에서는 최근에 와서 규제가 확정된 물질이다. 대표적인 휘발성 유기물질의 종류와 배출원을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

국내의 경우 가장 많이 배출되고 있는 휘발성 유기물질은 톨루엔이며 도장공장, 자동차 배기가스 등에서 연간 약 67만톤이 배출되는 것으로 알려져 있다. 그러나 확인된 것만 이정도일뿐 실제로 중소기업장에서 배출되는 휘발성 유기물질의 총량은 파악되지 않고 있다.

1980년대 후반부터 연구되어져온 휘발성 유기물질의 처리방법은 Table 3에서 보는바와 같이 연소, 촉매연소, 흡착제거에서부터 분리회수까지 다양한 기술들이 연구 개발되고 있다 [1-4].

휘발성 유기물질의 종류가 다양한 것과 동시에 휘발성 유기물질을 함유하고 있는 가스의 종류, 즉 공정 폐가스의 종류 또한 다양해서 단성분으로 구성되어 있어서 분리가 가능한 것에서부터 oil mist, particle등을 함유하고 있는 가스까지 다양하여 적용되는 기술들 역시 폐가스의 특성에 맞추어 선정되어야 한다.

그러나 실제로 다양한 적용기술들 중에서 사업장에서 선호하는 기술은 연소처리다. 연소 처리는 다른 기술들과 달리 다양한 종류의 가스에 대한 적용범위가 넓고, 농도변화에 민감하지 않으며 에너지를 회수할 수 있다는 장점이 있고 무엇보다도 처리효과가 99% 이상으로 확실하다는 것이 큰 장점으로 부각되고 있다.

휘발성 유기물질의 연소 및 에너지 회수기술로 가장 먼저 개발된 기술이 recuperative thermal oxidation(RTO) system인데 연소효율은 99.9% 이상으로 높으나 에너지 회수효율이 70%대로 낮아 에너지회수효율이 95% 이상이 가능한 regenerative thermal oxidation(RTO) system으로 대체되었으며 최근에는 이 system만을 RTO라고 명명하고 있다. 그러나 이 RTO system 역시 한계를 갖고 있는데 축열시스템의 가격이 고가이고 가스 흐름제어 시스템의 유지가 어려우며 (따라서 최근에는 Rotational RTO가 개발되고 있지만) 15,000m³/hr 이하에는 적용이 곤란하다는 것이다. 두가지 시스템의 비교를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Some common VOCs.

Most solvents, Thinners, Degreasers, Cleaners, Lubricants, Liquid Fuel
Toluene, Xylene, Isopropyl alcohol, Glycol ether, Naphtha, MEK, Acetone, Paraffins, Olefins, Aromatics

중소형에 적합한 시스템이 바로 recuperative system인데 이 시스템은 에너지 회수효율이 낮아서 중소사업장에서 적용하기를 꺼려하는 모순이 있으므로 본 연구에서는 이를 해소하기 위한 방법으로 cyclonic 연소시스템의 적용을 고찰하고자 한다. Cyclonic 연소시스템은 연소시에 에너지 밀도가 높아 연소온도가 증가하고, 체류시간이 증가한다는 장점을 갖고 있어 휘발성 유기물질의 연소에 적용하여 효율의 증가를 확인할 수 있었으며 이를 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

Table 2. VOCs emission sources

Asphalt processing and asphalt roofing manufacture
By-product coke ovens
Coffee-roasters
Dry cleaning: perchloroethylene, petroleum solvents
Fat-fendering
Graphic arts
Industrial surface coating
cans, paper, fabric, metal coil, automobiles, large appliances
Paint-baking
Petroleum refineries: fugitive source
Petroleum transportation and marketing
Plastic curing ovens
Polymers and resins: acrylic resins, polystyrene, ABS-SAN resin
Printing presses
Solvent-degreasing
Synthetic organic chemical manufacturing industry(SOCMI)
a. SOCMI unit process
b. Volatile organic liquid storage vessels and handling equipmwnnts
c. SOCMI fugitive source
d. SOCMI secondary source
Synthetic rubber; tire manufacture, production of SBR
Textile dryers

Table 3. VOCs abatement technology

VOC Abatement Technology	
<ul style="list-style-type: none"> • Thermal Oxidation <ul style="list-style-type: none"> - Recuperative Thermal Oxidation - Regenerative Thermal Oxidation (RTO) • Catalytic Oxidation <ul style="list-style-type: none"> - Regenerative Catalytic Oxidation • Adsorption <ul style="list-style-type: none"> - Adsorptive removal - Recovery or Concentration - Concentration and Thermal Oxidation 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption • Condensation <ul style="list-style-type: none"> - Recovery • Plasma, Corona Destruction • Membrane Separation <ul style="list-style-type: none"> - Recovery

2. Cyclonic combustion system

Fig. 2에 cyclonic combustion의 특성을 나타내었다. Cyclonic combustion은 매우 빠른 속도의 가스 유입속도에 의해 만들어지는 강한 swirl(일반 선회식 소각로의 선회강도 1~3에

비해 ~20까지 가능)에 의해 Fig. 2에서 보는바와 같이 3중 선회흐름이 만들어지면서 연소의 기본조건인 3T(time, temperature, turbulence)를 증가시키는 효과를 갖는다. 이러한 증가에 의해 동일 입열량에서 온도 증가폭이 커지고 따라서 열회수율이 증가하는 효과를 갖게되어 기존의 RTO system을 대체할 수 있는 system이다.

Thermal Oxidation

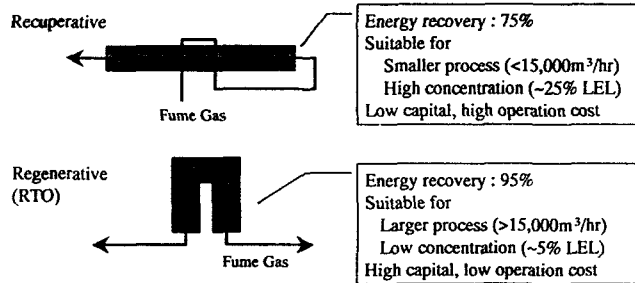


Fig. 1. Comparison of recuperative and regenerative thermal oxidation system.

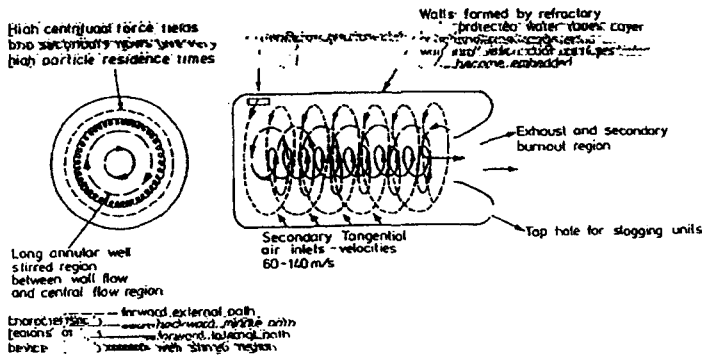


Fig. 2. Characteristics of cyclonic combustion system.

3. VOCs 연소시스템의 설계기준

휘발성 유기물질은 국제소방법에 의해 모든 화학공정에서 LEL(Lower Explosion Limit)의 25% 이하로 회석하여 배출하도록 규정되어 있다. 따라서 휘발성 유기물질 배출공정에서의 농도는 근본적으로 저농도이다. 저농도이기 때문에 처리공정은 에너지 소비 공정이 될 수밖에 없으며 따라서 고효율화 시스템의 개발이 필요하다. 휘발성 유기물질의 연소처리에서 기본적으로 고려하여야 하는 design base를 Table 4에 나타내었다.

VOCs가 갖고 있는 에너지는 LEL(Lower Explosion Limit)로 표현되며 연소온도 760℃에서 0.5초의 체류시간을 기준으로 한다. Recuperative thermal oxidation은 LEL 25%의 처리를 기준으로 보조연료 없이 연소하는 것을 목적으로 만들어진 시스템이다. 이를 위해서는 에너지 회수가 필수적이며 에너지 회수장치의 효율은 50%를 기준으로 한다. Cyclonic 연소

시스템의 적용에 의해 현장에서 적용되는 LEL%가 낮아지는 것을 목적으로 하는 것이다.

Table 4. Design rules for VOCs combustion system

Design Rules

- Retention time ; 0.5 sec. Oxidation temperature; 760 C
 - Chlorinated hydrocarbon ; need longer residence time
- LEL
 - Heat content of exhaust gas
 - % LEL x HHV = constant
 - Kick temperature by LEL of hydrocarbon
 - 100%, 1370 C; 40%, 550 C; 25%, 350 C; 10%, 140 C
- General condition
 - Fume gas temperature 100 C,
 - Heat exchanger efficiency $(t_2 - t_1)/(T - t_1)$: 50%, T=760 C, $t_1=100$ C, $\therefore t_2=430$ C
 - 25% LEL kick temperature : 350 C
 - Combustion temperature : $430 + 350 = 780 \approx 760$ C (no fuel used)

4. 상용 시스템의 적용 및 설계

Cyclonic 연소시스템의 VOCs 적용을 위해 폐활성탄 재생공정에서 발생하는 VOCs의 연소 및 열회수 시스템을 설계하였다. 배출량 3,000m³/hr, VOCs 농도 0.7~1.2%의 시스템을 대상으로 설계된 연소시스템의 개괄적인 설계도를 Fig. 3에 나타내었다.

내부용적은 동일한 배출기준에 대한 기존시스템에 비해 약 2/3로 감소하였으며 버너, pressure drop, particle 제거, 배출가스의 열량을 이용한 스팀생산까지 고려하여 설계하였다. 현재 이 시스템은 성공적으로 가동중에 있다.

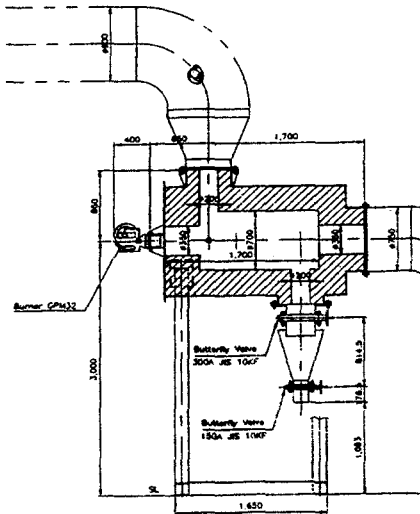


Fig. 3. Commercialized cyclonic combustion system for VOCs destruction.

5. 참고문헌

1. 이시훈, 손용권, "휘발성 유기물질의 처리기술", 화학공업과 기술, 12(2), 22(1994)
2. Morretti, E.C. and Makhopadhyay, N., Chem. Eng. Progress, 89(7), 20(1993)
3. Ruddy, E.N. and Carroll, L.A., Chem. Eng. Progress, 89(7), 28(1993)
4. 한화진, 이영수, 윤정임, "VOCs 방지기술 현황 및 적용사례", 한국환경정책평가연구원 보고서, 1997