

저농도의 THC 처리용 맞춤형 하이브리드 시스템 개발

박태선[†] · 박노춘* · 차규석**

(주)이앤켐텍

*순천제일대학교 산업안전관리과

**광주대학교 소방행정학과

Development of the Customize Hybrid System for the Removal of Low Concentration THC

Tae-Seon Park[†] · No-Chun Park* · Gyu-Suk Cha**

E&Chem TEC Co., Ltd.

**Department of Industrial Safety Management, Suncheon First College*

***Department of Fire Safety, Gwangju University*

Abstract

Hybrid treatment technology is for cleaning hazardous gas containing THC (Total Hydrocarbons) originated from automobile painting process so as to satisfy the regulation standard of atmospheric pollutant. In the hybrid system, the low concentration exhaust gas is condensed more than 10 times through RC (Rotor Concentrator) and finally treated with thermal craking with RTO (Regenerative Thermal Oxidizer). Input gas basis with the design factor of 50 m³/min was obtained by installation of pilot plant for hybrid system in actual location and commissioning test. The adsorption efficiency of RC (Rotor Concentrator) was earned by 98% which is over design basis(90%). It was confirmed by the fact that the Revolution number of rotor was 6 RPH (Revolutions Per Hours) when passage velocity was hold at 1 m/s, optimizing contacting time with micro pore. DRE (Destruction Removal Efficiency) of THC, critical evaluation item for RTO, was greater than 98%. And there are factors; treatment capacity of 5 m³/min, sufficient thermal cracking of THC gas from RC or an operation temperature set at 800℃ and over.

Keywords : THC, Hybrid System, RC, RPH, RTO, DRE

1. 서론

중국 ‘11차 5개년계획(2006-2010)’ 국가 환경보호과학기술발전계획에 따르면 지역 대

기오염물질 총량통제를 기반으로 중점지역 · 도시의 대기오염 발생 원인을 밝히고 중점지역 · 도시의 대기오염 통제기술 및 대책을 제시한다. 대기 중 미세먼자 및 ‘3致’ (암, 기

[†]Corresponding author E-mail: tspark0422@hanmail.net

형, 돌연변이 초래물질) 오염원을 분석하고 대기오염물질 배출 통제기술을 연구·개발하여 지역 대기환경질 종합개선방법을 강구하며 중점지역·도시의 대기환경질을 개선하는 것으로 계획되어 있어 중국 환경(대기) 시장 진출에 최대한의 적기라 생각된다.

국내의 도장공정(Painting Process)은 제품의 품질과 미관을 결정하는 중요한 요소로서 자동차를 비롯한 가구 및 모든 산업에 필수적인 공정으로 자리 잡고 있으며 공정 중에 발생하는 THC의 양이 국내 전체발생량의 40%에 이르는 것으로 나타나고 있다. 도장공정의 THC처리 공정을 살펴보면 도장부스에서 작업 중 발생한 THC는 와류실 및 eliminator를 거치고 습식세정 공정을 거치게 되며 배출되는 배기가스는 활성탄 탑을 거쳐 흡착이 이루어진 후 대기로 방출된다. 도장시설의 배출가스를 포집하여 분석한 결과 발생하는 주 THC물질은 toluene, xylene, ethyl benzene, methyl acetate, ethyl acetate, methyl isobutyl ketone, acetone, 2-butane 등의 다양한 유기화합물이 발생하고 그 중 toluene, xylene 등 위주로 발생하며 다량의 HAPs가 포함되어 있다. 도장공정에서 배출되는 THC 및 HAPs는 국내 배출량에서 차지하는 비중이 높은 만큼 적절하게 처리하는 것이 필요하며 또한 환경적인 측면에서 실제적으로 인체에 미치는 영향을 고려할 때 그 중요성이 커지고 있다.

미국 등 선진국에서는 이미 1990년대 초반부터 발생특성 평가, 배출계수 개발, 우수방지기술(MACT) 개발 등에 많은 투자와 규제를 하고 있고 국내에서도 배출에 대한 엄격한 법 적용이 예상되므로 도장공정에 대한 배출량을 저감하기 위한 최적의 처리기술개발이 필요하다고 하겠다.

그동안의 보편화된 자동차 도장시설에 적용하는 처리기술은 일반적인 특성인 공정에서 발생하는 저농도의 THC를 Ceramic bed가 내장된 Bed Type의 RTO System을 이용

하는 기술로 그동안 저농도 처리시에 문제가 되는 다량의 보조연료(경유 또는 LNG 등) 사용 등 에너지 효율화 기술의 개발이 절실히 요구되었다. 그러나 국내 유사기술로서 Ceramic 축열재 충전시설의 형태가 Bed Type으로 Valve의 Switching시 발생하는 압력 변동이 크고 설치면적이 크에 따른 초기 투자비가 증대 되는 등 제반 경제적, 기술적 문제도 가지고 있다.

본 연구에서는 중국 현지에 있는 자동차 공장을 지정하여 고효율의 농축 Roter를 이용한 에너지 효율화와 Moving part가 적고 One vessel 형태로 compact하여 초기 투자비를 개선한 저농도 THC용 하이브리드 시스템을 제작 및 운전을 통하여 검증된 최적의 시스템 설계인자를 확보하여 현지 사업화 기반을 구축하고자 한다.

2. 조사 및 방법

2.1. THC 처리기술 조사

THC를 처리하기 위하여 현재까지 상용화되었거나 개발 중인 제어기술을 조사하였으며 주안점으로는 각각의 기술적, 경제적 측면에서의 장·단점을 위주로 하였다(Table 1).

2.2. Pilot 농축장치(RC : Rotor concentrator) 제작

농축장치의 기체는 내열온도 800℃ 이상의 세라믹 페이퍼를 사용했고 흡착재로는 불연성의 500℃에서 소성된 소수성 지올라이트이며 정화효율이 90%이상으로 농축배율이 3~15배의 처리가 가능한 농축기를 제작하였다(Fig. 1~Fig. 2).

2.3. Pilot 열산화장치(RTO : Regenerative thermal oxidizer) 제작

THC의 hydrogen-carbon bonds를 CO₂와

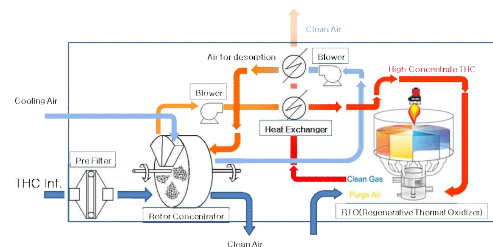
Table 1. Control technology of THC

제거기술	제거효율	회수효율 (열, 용제)	2차오염물질	장 점	단 점
직접소각법	99%	열회수(60%)	NOx, CO ₂	간단한 설비구성, 넓은 적용온도	높은 운전비, 높은 유지비
축열식 소각	99%	열회수(95%)	NOx, CO ₂	넓은 적용농도, 열회수율이 높아 낮은 보조연료량	높은 초기 투자비 축배소각법
축배소각법	95~99%	열회수(60%)	폐촉매, NOx, CO ₂	열소각보다 저온에서 운전가능	촉매독, 온도제한, 높은 투자비
흡착법	80~95%	재생으로 회수가능	폐활성탄, 재생제	폭넓은 VOC에 적용가능	활성탄 교체 및 재생 필요, 화재위험
생물막법	80~95%	-	폐수, 폐기물	저농도시 효율적, 낮은 운전비	부지소요과다, 낮은 제거효율
흡수법	40~90%	Decanter 및 증류로 회수가능	폐용액, 재생제	단순한 공정	저농도시 저효율, 낮은 제거효율
응축법	50~95%	Decanter 및 증류로 회수가능	폐수발생 2차 배가스 처리필요	단순한 공정, 고농도에 효과적	낮은 제거효율, 적용한계

H₂O로 전환시키는 것으로 이를 위해 처리 온도는 800~850℃에서 연소시킨다. 열교환 매체로서 Ceramic media(축열제)를 사용하고 폐열을 이용하여 THC 가스가 화실에 다다르기 전에 산화온도까지 예열하므로 에너지 사용을 상대적으로 적게 하며, THC 처리효율이 98% 이상이다. Rotary type으로 1개의 커다란 통속에 12개의 분리된 공간이 있고, 이 공간에 Ceramic media가 채워져 있으며, 상단부에 1개의 버너가 장착된 연소실로 구성되고, 하단부에 Rotary valve가 장착되어 폐가스와 공기의 흐름을 순차적으로 바꾸어 줄 수 있는 구조로 제작하였다(Fig. 1~Fig. 2).

2.4. 공정 및 운전

현장에 설치한 하이브리드 시스템에 대한 운전은 자동차 생산공장의 도장공정에서 이루어졌으며 설비의 설치위치는 정상적인 공정 가동상태에서 기존의 배출구에서 임시 배관으로 Tie-in하여 설치하였고 시스템에 대한 결과를 얻기 위해 운전 중 약 4회 정도의 시

**Fig. 1.** Hybrid system(RC+RTO).**Fig. 2.** Schematic diagram of Hybrid system.

료를 테트라백에 포집하여 현지 위탁기관의 실험실에서 분석을 실시하였다. 참고로 Hybrid System에 대한 간단한 P&ID 및 시료 채취시의 운전조건은 Fig 3과 Table 2~Table 3에 나타났다.

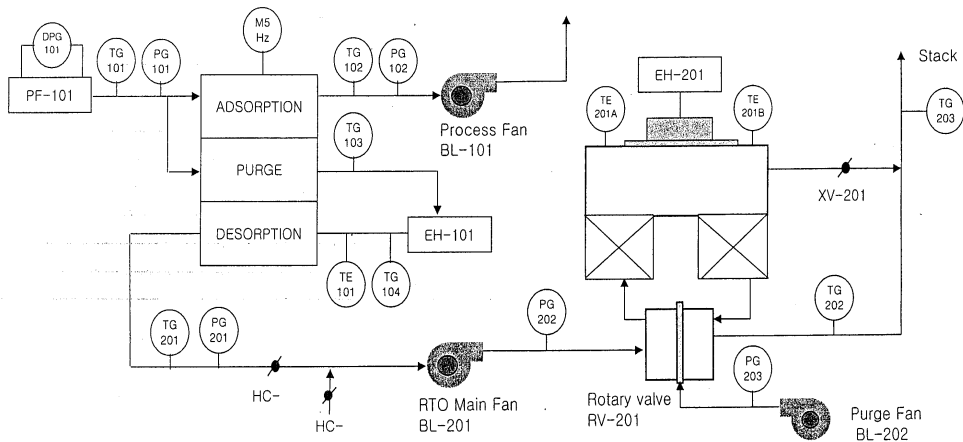


Fig. 3. Schematic diagram of Hybrid system.

Table 2. Operation condition of Hybrid system(RC)

NO	ROTOR CONCENTRATOR								
	TG101	TG102	TG103	TG104	DPG101	PG101	PG102	TE101	M5
	℃	℃	℃	℃	mmAq	mmAq	mmAq	℃	Hz
1st	10	10	50	165	0	-20	-70	171	30
2nd	10	10	65	180	0	-20	-70	167	40
3rd	10	10	50	186	0	-20	-70	171	25
4th	10	10	50	182	0	10	68	168	25

Table 3. Operation condition of Hybrid system(RTO)

NO	REGENERATIVE THERMAL OXIDIZER								
	TG201	TE201A	TE201B	TG202	TG203	PG201	PG202	PG203	TIC201
	℃	℃	℃	℃	℃	mmAq	mmAq	mmAq	℃
1st	24	804	814	47	47	-155	120	150	808
2nd	20	810	810	50	50	-155	121	150	810
3rd	27	818	804	52	52	-155	120	160	812
4th	28	826	829	50	50	-155	115	155	828

3. 결과 및 고찰

3.1. 하이브리드 시스템의 특성 고찰

Fig. 4~Fig. 7은 Hybrid System의 RC(농축기)의 회전수에 따른 THC에 대한 흡·탈착에 대한 결과 및 RTO의 최종배출농도 및 처리효율을 나타내었다. 시스템에서 RC(농축기)의 회전수는 중요한 운전인자로 일반적으로 설계시에는 4 rph(1시간에 4회전)전후가 많으나 본 실험에서는 2~8 rph의 회전수 조건으로 4회에 걸쳐 실험한 결과로 볼 때 6 rph에서 RC의 흡착율이 98%수준으로 설계치인 90%이상으로 높는데 이는 로터의 기본 설계인자인 흡착재로 사용된 제올라이트 세공크기, 로터의 처리각도, 로터의 통과풍속 등이 최적의 조건이었던 것으로 판단된다. 또한 이에 대한 영향으로 RTO의 처리효율(DRE)에서도 설계치인 98%이상을 충분히 달성한 것으로 나타났다.

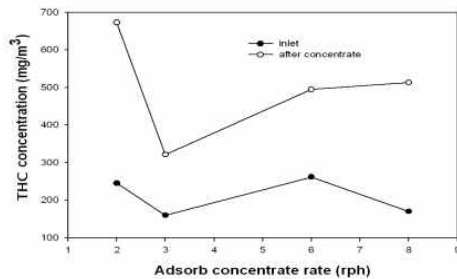


Fig. 4. THC Concentration of after Adsorption as a function of RC rph.

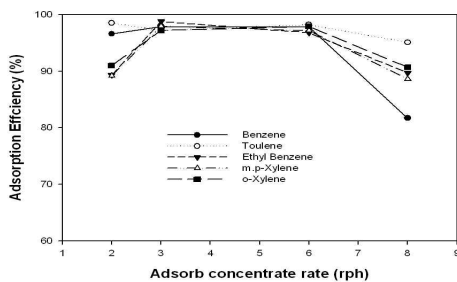


Fig. 5. Adsorption Efficiency as a function of RC rph

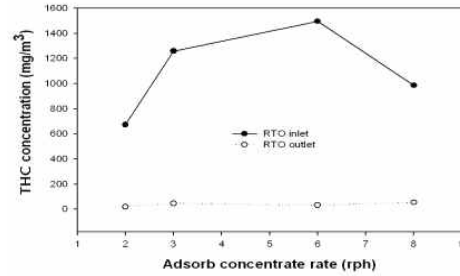


Fig. 6. THC Concentration as a function of RC rph.

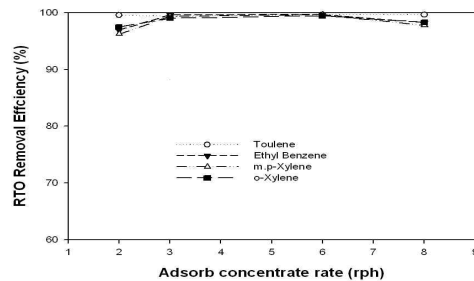


Fig. 7. Removal Efficiency of RTO as a function of RC rph.

3.2. 하이브리드 시스템의 주요 설계인자 확보

현장의 자동차 도장공장에 설치 한 Hybrid System의 설계조건을 살펴보면 1단계로 RC의 풍량은 설계기준으로 하여 처리 Zone의 통과풍속(면속)을 1.5~2.5 m/s로 Rotor크기를 결정하였으며 농축배출(원가스풍량÷재생풍량)은 폭발하한치의 25%이내를 기준으로 10배를 설계인자로 확보하였다. 또한 농축배출 선정에 따른 재생, 퍼지 Zone의 통과풍속은 1.0m/s 이상으로 하여 정화효율이 90%이상 유지되도록 하였다. 그 외 중요한 설계인자인 Rotor의 회전수는 2~8 rph 까지 적용이 가능하나 본 장치의 운전에서는 6 rph일 때가 최적조건으로 확인되었다.

2단계로는 RTO의 설계조건을 보면 Moving part를 Rotary valve 1개소로 하고 Rotary

Table 4. Main Design specification of Hybrid system

EQUIPMENT	ROTOR CONCENTRATOR	RTO
Q'TY	1	1
TYPE	TURBO FAN	ROTARY
CAPACITY(MAX.)	50 Nm ³ /min	5 Nm ³ /min
FLUID	PROCESS GAS	PROCESS GAS
RPH	6	-
CONCENTRATION RATE	10	-
OPERATING PRESS.(mmAq)	159	159
DESIGN PRESS.(mmAq)	200	200
OPERATING TEMP.(℃)	25	800
DESIGN TEMP.(℃)	300	1,000
DIMENSION(mm)	1,780L×1,240W×1,270H	Ø1,400×3,800H
MATERIAL	SS400	SS400
REMARKS	-	-

valve의 회전속도를 0.3 rpm으로 하여 고장 요인이 없고 유지관리가 용이하도록 하였고 One vessel 형태로 하여 3 Bed type RTO 에 비해 compact하여 투자비를 70~80% 수준으로 유지가능하다는 것을 확인하였다. 또한 1일 400회전인 저속회전으로 하여 THC 처리효율의 변화가 최소화되도록 하였으며 RTO의 최대장점인 THC의 DRE(Destruction Removal Efficiency)는 98%이상, Thermal efficiency도 95% 이상이 됨을 확인하였으며 확보된 설비의 설계사양은 Table 4와 같다.

4. 결 론

- 1) 자동차 도장공정에서 발생하는 저농도 THC처리에 적합한 맞춤형 Hybrid System의 Pilot plant 를 현지에 설치하고 운전을 통하여 유입가스기준 50 m³/min의 설계인자(RC의 Concentration rate, RC의 RPH, RTO 연소온도)를 확보할 수 있었다.

- 2) RC(농축기)의 흡착율이 98% 수준으로 설계치인 90%를 상회하였으며 이는 주요 인자인 Rotor의 회전수가 통과풍속이 1 m/s로 유지된 상태에서 제올라이트 세공과의 접촉시간이 최적조건인 6 rph 일 때였다.
- 3) RTO(열산화장치)의 중요한 평가항목인 THC 처리효율(DRE)은 설계목표인 98% 이상이며 처리용량 : 5 m³/min(농축배율 10배 기준), 운전온도 : 800℃ 이상으로 농축기에서 유입된 THC 가스가 충분히 열분해 처리 된 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국환경산업기술원 국제공동연구사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Chadra, N. and Parmels, C.S.(1993), Chemical Engineering Progress, 37.
2. Ruddy, E.N. and Carroll, L.A.(1993), Select the best VOC control strategy, Chemical Engineering Progress, 89, pp. 28-35.
3. 이시훈, 손응권(1994), 휘발성유기물질의 처리기술, 화학공업과 기술, 12(2), 22 p.
4. 한화진(1997), 휘발성유기화합물 방지기술 현황 및 적용사례, 한국환경정책평가연구원 정책보고서.
5. 박상언(2003), 휘발성유기염소화합물의 저온처리 기술개발에 관한 연구; 산업자원부 보고서.
6. P. Roy, P. S. Schmidt(1995), Dielectric Loss Factors of Industrial Adsorbent Loaded with Volatile Organic Compounds, Proceeding, 30th International Microwave Symposium, Denver, Jury.

