

## 계사용 온풍기를 이용한 유해가스처리 복합촉매시스템 개발

장현태<sup>1</sup>, 차왕석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한서대학교 화학공학과, <sup>2</sup>군산대학교 토목·환경공학부

### Development of composite catalyst for hazardous gas treatment using the heat of aviary heating equipment

Hyun-Tae Jang<sup>1</sup> and Wang Seog Cha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Hanseo University

<sup>1</sup>School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University

**요약** 육류 중에 닭은 가장 저렴한 생산비용으로 단백질을 섭취할 수 있는 장점으로 인하여 많은 양이 사육되며 우리나라 식생활의 육류 소비를 늘리는 중요한 가축이다. 생육조건에 악영향을 미치는 여러 요인 중에 축산업에서 가장 대표적인 것은 악취이다. 악취물질은 축분에서 발생하는 암모니아, 아민류, 황화수소 및 머캅탄을 들 수 있으며 악취는 없으나 악영향을 미치는 물질로는 메탄, 질소산화물 등이 있다. 이러한 악취물질에 의하여 가축은 생육에 저해를 받으며, 심한 경우 폐사까지 이르게 된다. 계사의 경우 겨울철에는 난방을 하고 있는 실정임에도 불구하고 나머지 계절과 같이 환기를 통하여 악취를 제어하고 있다. 겨울철의 경우 대부분의 계사가 등유를 사용하는 온풍기를 이용하여 난방을 하고 있으나 계사내의 유해한 암모니아의 농도가 높아지므로 인하여 환기를 시키고 있는 실정이다. 따라서 본 연구과제에서는 기존에 사용되고 있는 온풍기에 복합촉매시스템을 접합하여 계사 및 축사의 암모니아 등의 유해가스를 제어할 수 있는 시스템에 사용될 촉매를 개발하였으며, Mn과 Pt-Rh을 최적의 조성으로 도출하였다.

**Abstract** Among the livestock, chickens are raised because of the merit ingested protein in low-priced cost of production and are primary livestock increased the consumption of meat. The factors of influencing condition, odor is the most important factor. Odor substances are ammonia, amines, hydrogen sulfide and mercaptan which come from night soil. Livestock are prevented from rearing by means of these odor substances. Though the henhouse is heated using hot air type heater in the winter season, it is ventilated for the control of odor because of the increase of odor concentration. In the present work, composite catalytic system combined the existing facilities(hot air type heater) with catalytic system was developed, it could controled odor and hazardous gas using the oxidation/reduction reaction without extra operating cost. Moreover, the purpose of this work is to develop the catalysts which are cost competitive and can maximize energy efficiency. The catalysts are noble metal(Pt-Rh) and composite transition metal(Mn) type.

**Key Words** : Catalyst, Ammonia, Methane, Aviary Heating Equipment, Oxidation/Reduction

### 1. 서론

최근 육류의 소비량 증가와 채산성 문제에 의하여 가축사육규모가 커지고 있으며 기업화되고 있다. 또한 대표적인 육류인 소, 돼지 닭중에서 가장 저렴하고 생산비용이 적은 육류에 대한 사육 증대가 요구되고 있다. 닭은 가장 저렴한 생산비용으로 단백질을 섭취할 수 있는 장

점으로 인하여 많은 양이 사육되고 있으며 우리나라 식생활의 육류 소비를 늘리는 중요한 가축이다[1]. 이러한 양계에 있어서 사계절의 생산단가는 현저히 다르게 나타나고 있다. 여름의 경우 기온의 상승에 의한 어려움이 존재하며, 겨울의 경우 온도의 하강으로 인한 생육조건 악화가 생산단가에 바로 영향을 미치게 된다. 이러한 생육조건에 악영향을 미치는 여러 요인 중에 축산업에서

\*교신저자 : 차왕석(wscha@kunsan.ac.kr)

접수일 09년 07월 13일

수정일 (1차 09년 09월 23일, 2차 09년 10월 04일)

게재확정일 09년 10월 14일

가장 대표적인 것은 악취이다. 악취물질은 가축분뇨에서 발생하는 암모니아, 아민류, 황화수소 및 머캅탄을 들 수 있으며 악취는 없으나 악영향을 미치는 메탄, 질소산화물, 이산화탄소 등[2]이 있다. 이러한 악취물질에 의하여 가축은 생육에 피해를 받으며, 심한 경우 폐사 까지 이르게 된다. 따라서 악취의 제어에 대한 생물학적, 화학적 나아가 물리화학적인 연구가 진행되고 있다.

계사의 경우 겨울철에는 난방을 하고 있는 실정임에도 나머지 계절과 같이 환기를 통하여 악취를 제어하고 있다. 겨울철의 경우 대부분의 계사가 등유를 사용하는 온풍기를 이용하여 난방을 하고 있으나, 계사내의 유해한 암모니아의 농도가 높아지므로 인하여 환기를 시키고 있는 실정이다. 또한 난방기의 경우 실내등유를 이용하고 예혼합 연소방식이므로 대부분 완전연소가 일어나고 황산화물도 연소가스 기준으로 10 ppm이하로 낮게 발생한다. 그러나 계분에 의하여 발생된 암모니아, 아민류 등으로 인하여 더워진 공기를 환기시킬 수 밖에 없다. 따라서 본 연구과제에서는 기존에 사용되고 있는 온풍기에 복합촉매시스템을 접합하여 계사 및 축사의 암모니아 등의 유해가스를 제어할 수 있는 시스템에 사용될 촉매를 개발하였다. 현재 축사의 악취물질의 제어에 관한 연구는 몇 가지 시행되었으며, 귀금속 촉매나 광촉매를 이용하여 탈취시스템과 결합되어 있는 시스템이다. 두 시스템의 경우 별도의 시스템을 채택하고 있으며, 광촉매의 경우 황화합물가스 즉 황화수소, 머캅탄 등에 의하여 쉽게 피독이 되므로 촉매를 자주 교환하여야 하고 설치 및 운전비용의 과다와 운전자의 교육도 필요로 한다. 또한 귀금속촉매의 경우에도 일부는 황화합물에 의하여 피독이 되며 운전온도가 약 200℃~400℃ 정도이므로 인하여 별도의 에너지비용이 들어가게 된다[3,4]. 현재 계사와 유사한 종류의 가스를 발생시키는 음식물 발효처리기의 악취제거용 귀금속촉매[5]의 경우를 예로 들면 수명이 약 6개월 정도이고 전체 사용전력의 30% 이상이 촉매시스템에서 촉매를 활성화시키는 목적으로 사용되고 있다. 따라서 현재 사용되거나 일부 개발되어진 시스템이 아닌 새로운 형태의 악취처리시스템에 적용될 수 있는 촉매시스템을 개발하였다. 즉, 별도의 촉매시스템 장치를 설치하지 않고 겨울철에 사용하는 온풍기 및 열풍기에 촉매시스템을 복합 구성하여 별도의 운전비용이 없이 산화/환원반응에 의한 악취 및 유해가스를 처리할 수 있는 시스템에 적용될 수 있는 촉매를 개발하였다. 개발된 촉매는 귀금속의 사용을 줄인 형태와 복합전이금속 촉매시스템으로 가격 경쟁력 및 에너지효율을 극대화할 수 있는 복합촉매를 개발하고자 연구를 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 촉매 제조

#### 2.1.1 모노리스 코팅용 촉매 제조

본 연구에서는 두가지 촉매를 대상으로 연구를 수행하였다. 촉매에 의한 열풍기의 가격 상승을 최소화할 수 있는 전이금속계열과 피독이 일어나지 않고 처리가 우수한 귀금속 촉매를 대상으로 연구를 수행하였으며, 전이금속 계열에서는 장 등[6-9]의 연구 결과 NOx의 발생이 적은 Mn을 대상으로 연구를 수행하였다. 상용화된 담지체  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 과잉용액함침법(excess wet impregnation method)으로 분산하였다[6, 7]. 진공회전증발기에서 대부분의 수분을 제거한 후 105℃에서 24시간 건조 후 각 금속의 전구체 중에 포함된 금속이외의 물질을 제거할 수 있도록 공기분위기에서 적합한 온도로 소성하여 제조를 완료하였다. 귀금속을 사용한 경우에는 다음과 같은 방법을 사용하였다[10]. 활성금속은 과잉용액함침법으로 지지체에 분산하였다. 먼저 활성알루미나를 0.5M의 염산으로 세정한 후 500℃ 공기분위기에서 소성하여 불순물 제거 및 활성화 전처리를 한다. 세륨의 함량이 촉매 무게의 일정함량이 되도록 Ce염을 활성알루미나의 70 Vol.%의 증류수에 용해한다. 준비된 용액에 활성알루미나를 투입한 다음 상온에서 30분간 교반 후 60℃ 진공회전 증발기에서 1시간 건조 후 105℃ 건조기에서 24시간 건조한다. 제조된 Ce/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 500℃ 공기분위기에서 10시간 소성하여 산화물로 전환한 다음 백금과 팔라듐을 위와 동일한 방법으로 건조 및 소성한다. 이 때 귀금속의 용매는 0.1M 염산을 사용하며 용액의 부피는 담체의 70vol% 내외로 한다. 로듐의 함침과정은 Pt, Pd 공침 및 후처리 방법과 동일하다. 바나듐은 Pt-Pd/Ce/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 분산제조하며 이의 담지법은 세륨과 동일하다. 사용한 담체 및 금속의 전구체는 표 1과 같다.

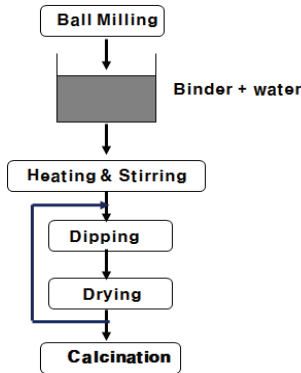
[표 1] 사용한 담지체 및 전구체

성분	시정식	제조사
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aldrich Chem. Co.
Ce	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Aldrich Chem. Co.
Mn	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Aldrich Chem. Co.
Mn	Mn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	Aldrich Chem. Co.
Pd	PdCl <sub>2</sub>	Aldrich Chem. Co.
Pt	H <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Inuisho precious metals Co., LTD.
Rh	RhCl <sub>3</sub> ·xH <sub>2</sub> O	Aldrich Chem. Co.
Ru	RUCl <sub>3</sub> ·xH <sub>2</sub> O	Aldrich Chem. Co.

여기서 사용한 담체인 알루미늄은 사용처의 특성에 따라서 입자상 또는 모노리스 코팅용으로 미세입자를 사용하여 제조하였다.

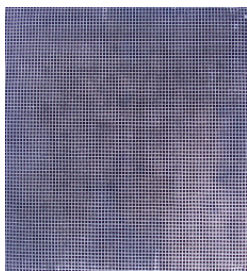
### 2.1.2 모노리스 촉매 제조

하니콤촉매의 제조과정은 그림 1에 나타내었으며, 다음과 같다. 먼저 완성된 촉매를 jaw crusher와 roll mill을 이용하여 파쇄한 후 cutter mill과 jet mill에서 30분 동안 분쇄하여 분말상태로 얻었다.

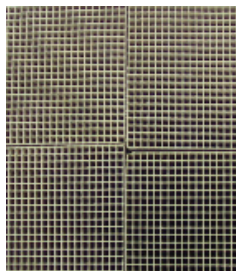


[그림 1] 하니콤촉매의 제조과정

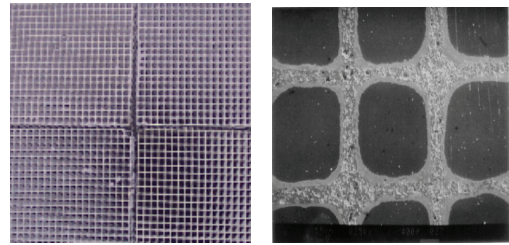
분쇄된 시료의 경우 파쇄과정에서 입자크기에 따라 성분이 다를 수 있으므로 시료의 균일성을 유지하기 위해 분말상태의 시료를 V-mixer를 이용하여 혼합하였으며 dry-oven에서 24시간 이상 건조시켰다. 이러한 분말을 증류수에 넣어 상온에서 수 시간동안 교반하여 일정한 농도를 가지는 slurry 상태로 만든 후 하니콤 담체를 이 slurry에 dipping 하였다. 하니콤 담체는 cordierite (Corning Co.)를 사용하였으며 예비실험에 사용한 것은 직경 10mm, 높이 10mm를 사용하였으며, 현장실험에는 150mm×150mm×50mm, 150mm×150mm×100mm, 150mm×150mm×150mm를 제작하였다. 제조된 촉매의 형상을 그림 2에 나타내었다.



가. Pt-Pd-Ce/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



나. Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



다. Mn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

라. 절단면 SEM.

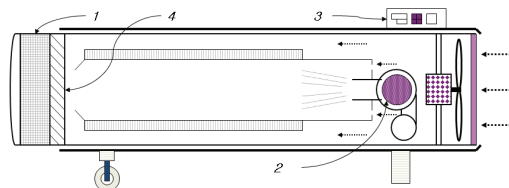
[그림 2] 순차적으로 코팅된 모노리스 촉매의 코팅상태(절단면)

하니콤 dipping 시 슬러리의 침강을 방지하고 하니콤 채널내에 슬러리의 흐름을 유지하기 위해 충분히 교반하였다. Slurry농도, dipping 시간 및 코팅 횟수를 각각 변화시켜 wash coating하였으며 이들 변수가 하니콤 표면에 코팅되는 두께 및 코팅상태에 미치는 영향을 고려하여 도출된 최적조건에서 코팅하였다. 최적 조건은 코팅시간은 2 hr, slurry농도는 30 wt.% 및 washcoating 횟수는 5회로 하여 제조하였다.

하니콤 dipping이 끝난 후에는 각 하니콤 channel에 과잉으로 존재하는 slurry는 air blower로 제거하고 상온에서 건조 후 110℃에서 5시간 건조하였다. 마지막 단계로 400℃ 공기분위기에서 12시간 소성하였다. 그림 2는 Mn(5.0)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt(1.0)Pd(1.0)Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt(1.5)Rh(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 절단면을 나타내고 있으며, SEM에서도 균일하게 코팅이 이루어졌음을 알 수 있었다.

### 2.2 실험장치

촉매를 사용할 수 있는 악취제거용 열풍기의 구성도는 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타난 바와 같이 현재 사용되는 열풍기 형태의 몸체에 본 연구에서 설계변수의 조절과정을 거쳐 그림 3에 나타난 열풍기를 최종적으로 제작하였다. 열풍기의 후면인 유입부는 30m<sup>3</sup>/min의 송풍기를 설치하고 송풍량을 인버터와 Butterfly valve를 이용하여 조절하였다. 또한 앞부분의 촉매 장착부는 150×150×150 mm의 상용모노리스를 장착할 수 있도록 제작하였다. 장치 제작비의 저감을 위하여 간단한 구조로 이루어져 있다.



① 촉매층 ② 버너 ③ 조절기 ④ 혼합기

[그림 3] 열풍기의 내부구성도

## 2.3 실험방법

운전방법은 다음과 같다. 초기점화를 이루기 위하여 버너의 예열을 시작하며, 예열과 동시에 브로아를 이용하여 공기를 공급한다. 예열이 이루어진 시점에서 공기공급팬을 작동하여 공기를 공급하며 모터의 회전속도가 정상상태에 이르면 버너에 연료 분사와 동시에 점화봉을 이용하여 점화한다. 점화 후 연소로는 연소가스에 의하여 온도가 상승하며 연소로 외벽을 가열하고 토출구로 배출된다. 공기공급용 팬에 의하여 공급된 공기의 일부는 연소로에 설치된 공기공급구를 통하여 연소로로 공급되어 가열되고 연소로를 통과하지 않은 대부분의 공기는 연소로 외벽을 통과하여 흐르면서 가열된다. 이때 연소로 외벽에 설치된 열교환용 핀에 의하여 열전달 효율이 상승하게 된다. 또한 팬에 의하여 공급된 공기의 일부는 열풍기 외벽과 내벽사이를 통과하여 흡입되므로 약간 온도의 상승과 더불어 열풍기 외벽온도를 낮추게 되므로 열풍기 외벽의 온도상승에 따른 안전사고 예방과 촉매층의 온도를 높이므로써 악취가스의 산화/환원반응의 효율 증대를 가져온다. 연소실에서 발생된 화염이 직접 촉매의 표면에 도달할 경우 촉매의 열화현상이 생길 수 있으므로 촉매 전단에 설치된 혼합기에 의하여 이와 같은 문제를 방지할 수 있게 설계하였다. 혼합 기능 이외에 혼합기는 연소로를 통과한 공기와 외벽을 통하여 예열된 공기를 혼합하여 반경방향으로 농도구배 없이 균일한 혼합과 흐름 형태를 유지하여 촉매베드로 공급하는 역할도 아울러 하게 된다. 이와 같이 연소로 외벽과 연소로를 통과한 공기는 혼합기에서 혼합되어 촉매 베드로 유입되어 산화/환원 반응에 의하여 암모니아, 아민류는 대부분 질소로 환원되고 극미량은 NO<sub>x</sub> 형태로 배출되며, 본 발명에서 사용하는 촉매베드는 환원능을 지니고 있으므로 배출된 NO<sub>x</sub>의 일부는 NH<sub>3</sub>와 반응하여 N<sub>2</sub>로 환원된다[8, 9]. 이때 촉매의 표면은 250~450 °C 범위가 되도록 버너의 연료의 공급량 및 공기의 공급량을 조절하였다. 또한 이때 공급되는 공기의 유속을 측정하여 처리량을 계산하였다. 버너에서 발생되는 CO, 미연탄화수소 및 흡입공기 중에 포함되어있는 산화가능한 가스상 오염물질도 함께 산화/환원시켜 제거한다. 설치된 촉매는 350 °C 이하에서 산화/환원특성이 우수한 촉매로 선정된 Pt-Pd-Ce 및 Pt-Rh을 활성알루미나 담체에 하였으며, 저가 촉매로써 망간을 사용하였다. 암모니아, 일산화탄소, H-C, 이산화탄소, 질소산화물의 측정은PID(photo-ionization-detector), FID(Flame-ionization-detector), TCD(Thermal-conductivity-detector), Gas-Tech을 동시에 사용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 모사가스 실험 결과

본 실험에는 150×150×50mm의 200cell의 모노리스 형태의 촉매를 열풍기에 장착하여 실증실험을 실시하였으며 악취대상 물질로는 암모니아를 사용하였다. 버너에 사용한 공급한 연료는 등유이며, 150×150×50mm의 200cell의 모노리스 형태의 촉매를 1장에서 3장까지 변화시키며 공간속도와 온도에 의한 암모니아의 질소, 질소산화물로의 전환비율을 측정하므로써 악취제거 효율과 부생성물로 생성될 수 있는 질소산화물의 생성을 측정하였다. 또한 버너에서 발생되는 미연탄화수소 및 일산화탄소의 촉매에 의한 제거효율을 측정하였다. 실험은 공간속도 100,000~300,000hr<sup>-1</sup>, 반응온도 250~400 °C, 산소농도 19~21 Vol.%로 일반적인 촉매층 반응장치의 공간속도에 20배에 가까운 대량 처리를 하였으며, 암모니아의 산화/환원반응에 우수한 Mn(5.0)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt(1.5)-Rh(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Pt(1.0)-Pd(1.0)-Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하였다[11-16]. 각각의 사용량과 처리량은 각각 표 2에 나타내었다. 이전 연구[6,7]에서 도출된 촉매조성의 우수성을 비교하기 위하여 우수성이 입증된 삼원촉매 Pt(1.0)-Pd(1.0)-Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 비교하여 본 실험에서 사용된 Pt(1.5)-Rh(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매의 우수성을 검증하였다. 모사가스 실험시 실증 계사내에 존재하는 아민의 경우 다양한 형태로 존재하고 암모니아의 산화/환원시 아민도 동일한 특성을 나타내므로 모사가스는 암모니아만을 대상으로 실험을 수행하였다. 표 2에 나타난 결과에서 모사 실험에 사용한 각각의 촉매에 대한 전환율과 암모니아의 산화/환원특성의 결과는 온도에 따른 활성능의 결과와 동일한 경향으로 나타나고 있으며, 일반적인 활성능 실험의 30배 유량에서도 높은 활성을 나타내고 있다.

표 2의 Mn(5.0)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 고찰하면 타 귀금속 촉매에 비하여 전환율은 낮게 나타나고 있으나 질소산화물의 생성량은 귀금속 촉매보다 우수하게 나타나고 있다. 또한 열풍기에서 발생하는 일부 미연 탄화수소와 일산화탄소에 대하여 거의 완벽한 전환율을 나타내고 있으며, 이는 열풍기의 배출구에서 암모니아를 주입하지 않은 경우 취기로서 판별할 수 있을 정도로 처리되고 있음을 알 수 있다. 특히 망간 촉매의 우수성은 질소산화물의 경우 NO<sub>2</sub>의 발생이 없다는 것이다. 일부 발생되는 질소산화물도 NO의 형태로 발생되며 이는 활성능의 결과에서 나타난 바와 같이 고온에서 일부 발생을 의미하며, 암모니아의 처리에 가장 우수한 촉매임을 실증기기의 실험에서도 입증하고 있다. 따라서 본 연구과제에서 도출된 망간촉매

는 암모니아의 처리에 가장 적합한 촉매이며, 본 촉매의 수명은 황화합물에 대한 피독특성이 큰 문제를 일으킬 수 있으며, 황화수소에 의한 피독실험 결과Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 250시간 후 25%의 감소를 나타내었으나, Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 피독이 되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 계사의 적용시는 황화합물이 거의 검지되지 않으므로 열풍기의 수명보다 촉매의 수명이 길 것으로 피독실험결과 판명이 되었다[6].

Pt(1.5)-Rh(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt(1.0)-Pd(1.0)-Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매의 경우도 활성능 실험과 동일하게 두 촉매 모두 산화능이 우수하나, Pt(1.0)-Pd(1.0)-Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매의 경우 Ce에 의하여 격자 산소전달이 활발하고, Pd에 의하여 산화력이 높아져 질소산화물의 생성율이 높게 나타난다. 그러므로 Pt(1.0)-Pd(1.0)-Ce(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매의 경우는 저온에서의 사용만이 가능할 것으로 판단된다. 또한 최적의 조상으로 도출된 Pt(1.5)-Rh(0.3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 활성능 실험에서 높은 질소산화물의 선택도[17]를 나타내고 있으나, 공간속도의 증가에 따라 질소산화물의 생성이 감소되는 것을 표 2의 결과에서 알 수 있다.

이와 같은 특성을 나타내는 세 촉매는 산업 및 농업 현장에서 사용되는 열풍기의 특성 및 사용처의 운전조건에 따라 선택될 수 있다.

### 3.2 현장 실증 실험 결과

촉사나 작업장내에 존재하는 공기를 열풍기 내부로 순환시켜 촉매의 표면과 접촉하도록 시스템을 구성하여 암모니아, 아민류, 휘발성유기화합물질과 같은 악취물질을 동시에 제거할 수 있는 탈취의 기능을 갖는 장점을 입증하기 위하여 실제 계사를 대상으로 실증실험을 실시하였다. 실험동은 200평의 계사로서 본 열풍기 1기를 설치하여 실험을 수행하였으며, 표 2에 나타난 바와 같이 NOx에 대한 발생율이 작고 가격면에서 가장 저렴한 촉매를 대상으로 현장 실험을 수행하였다.

[표 2] 암모니아 처리능

사용촉매	공간 속도 (hr <sup>-1</sup> )	온도 (°C)	유입 NH <sub>3</sub> (ppm)	배출 NH <sub>3</sub> (ppm)	처리율 (%)	NOx 배출 (ppm)		CO H-C 전환율 (%)
						NO	NO <sub>2</sub>	
Mn(5)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300,000	380	380	110	71	10	0	95
Mn(5)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200,000	390	600	80	87	10	0	95
			1,200	130	89			
			2,400	250	90			
		3,600	570	84				
Mn(5)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120,000	420	800	200	75	2.5	0	95
Pt(1.5)Rh(0.3)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300,000	400	900	50	94	70	2.5	95

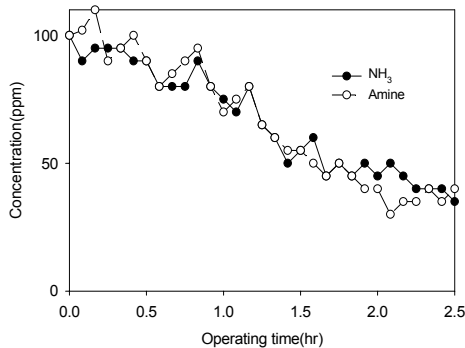
Pt(1.5)Rh(0.3)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200,000	300	400	40	90	130	20	95
		250	400	110	73	130	10	
		210	400	150	63	10	2.5	
		280	400	40	90	100	10	
		350	1,600	110	93	130	50	
		350	5,200	560	89	350	150	
		350	4,000	560	86	400	100	
		350	800	136	83	170	30	
		350	100	17	83	5	2.5	
Pt(1.5)Rh(0.3)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120,000	350	500	50	90	70	100	95
		300	500	70	86	20	70	
		400	500	35	93	100	150	
Pt(1)Pd(1)Ce(0.3)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200,000	340	200	20	90		0	95
		350	400	37	91		10	
		370	800	25	97		105	
		370	3,200	22	99		210	
		390	5,200	76	99		300	
		360	200	10	95		30	
		400	200	8	96		50	
		400	5,200	80	98		600	
		400	3,200	40	99		500	
		400	1,600	30	98		270	
		400	800	20	98		140	
		400	100	6	94		30	

실증실험기에 장착된 촉매는 Mn(5)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하였고, 담지체는 인코넬사의 모노리스 200cell, 150×150×150mm를 사용하였다. 실험결과에는 그림 4에 나타내었다. 실험은 계사내의 환기구를 모두 폐쇄한 상태와 폐쇄하지 않은 상태에서 각각 수행하였으며, 암모니아와 아민의 농도는 가스택을 사용하여 측정하였다. 측정은 매 5분 간격으로 수행하였으며 악취처리열풍기의 설치지점으로부터 반경방향으로 각각 세 지점에서 측정하였으며 세 지점의 측정값의 평균치를 사용하여 계사내의 암모니아와 아민 농도의 대표값으로 취하였다. 실증실험시 세 지점에서 암모니아의 농도를 측정하는 것은 열풍기의 위치에서 반경방향으로 거리에 따라 농도의 증가가 나타나며, 계사내의 암모니아 농도는 암모니아의 질량이 공기보다 상대적으로 가벼우므로, 축방향으로 편차를 나타낸다. 따라서 계사의 축방향 높이가 중앙이 되는 지점을 측정위치로 하였다.

측정된 결과에서 본 탈취형 열풍기를 가동한 결과 암모니아의 농도가 작동 후 초기는 암모니아와 아민의 농도의 감소가 작게 나타나고 있으나, 조업 후 시간의 증대에 따라 점차 촉매층의 활성화와 열풍기의 가동에 의하여 계사내의 공기의 흐름이 정상화됨에 따라 처리량의 증가율이 증가됨을 암모니아와 아민의 농도가 감소함을 알 수 있다. 본 열풍기는 20m<sup>3</sup>/min의 송풍량을 가지고 있으며, 이는 본 실증실험을 수행한 계사의 turn over 시간

이 100분으로 나타난다. 따라서 1시간 이후에 점차적으로 감소의 경향이 확연히 나타나게 된다. 또한 환기장을 개방한 상태에서는 환기장을 닫은 상태보다 turn over time이 길어짐에 따라 계사 내부 농도의 감소율이 작게 나타난다. 이와 같은 결과로써 촉매시스템을 장착한 악취 제거용 열풍기의 거동에 의한 악취 제어의 효율성을 확인할 수 있었다.

따라서 본 시스템이 적용된 열풍기를 사용할 경우 탈취기능이 작동하므로써 환기량을 줄일 수 있으므로 열효율이 높아져 에너지 사용량을 줄이고 축사환경을 개선할 수 있다. 또한 휘발성 유기물질이 발생하는 작업장에서 사용할 경우 휘발성 유기물질을 산화/환원 처리하므로 작업자의 건강과 쾌적한 환경을 이룰 수 있으므로 상용성에 있어서 폭 넓은 적용이 가능함을 알 수 있었다.



[그림 4] 계사 실증실험시 계사내의 운전시간에 따른 암모니아 및 아민농도.

#### 4. 결론

촉매의 장착에 의하여 열풍기는 미연탄화수소, 일산화탄소 및 NOx의 발생이 적으며 동시에 축사 및 산업현장에서 발생하는 악취물질을 동시에 제거할 수 있으므로 밀폐된 축사나 작업장의 악취에 의한 환기의 최소화때 따른 열효율의 향상으로 인한 연료소모량의 절감, 축사의 생육환경 개선, 작업장의 작업환경 개선 및 조업의 간편성을 달성하므로써 축사 및 산업현장에 적용할 수 있는 우수한 다기능성 열풍기를 구성할 수 있었다.

#### 참고문헌

[1] 산업정보DB, 산업자원부, 2008.

[2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol).

[3] Hong, S. C., "A Study on Simulation of Desulfurization in a Continuous Fluidization Bed Using Natural Manganese Ore," Korean Chem. Eng. Res., 43(2), 278-285, 2005.

[4] Bosch, H. and Janssen, F., "Control Technologies," Catalysis Today, 2(4), 381-401, 1988.

[5] Zanoelo, E. F. and Meleiro, L. A. C., "A Dynamic Optimization Procedure for Non-catalytic Nitric Oxide Reduction in Waste Incineration Plants," Chem. Eng. Sci., 62(23), 6851-6864, 2007.

[6] Jang, H. T., Park, Y., Ko, Y. S., et al., "Selective Catalytic Oxidation of Ammonia in the Presence of Manganese Catalysts", Korean Chemical Engineering Research, 46 (3), pp.498-505, 2008.

[7] Jang, H. T., Park, Y., Ko, Y. S., "Ammonia Conversion in the Presence of Precious Metal Catalysts", Korean Chemical Engineering Research, 46 (4), pp.806-812, 2008.

[8] Chmielarz, L., Kutrowski, P., Dziembaj, R., Cool P. and Vansant, E. F., "Selective Catalytic Reduction of NO with Ammonia over Porous Clay Heterostructures Modified with Copper and Iron Species," Catalysis Today, 119(1-4), 181-186, 2007.

[9] Kim, S. S. and Hong, S. C., "The Emission of NO2 and NH3 in Selective Catalytic Reduction over Manganese Oxide with NH3 at Low Temperature," J. Kor. Ind. Eng. Chem., 18, 255, 2007.

[10] 김진걸, "Pt를 담지한 촉매의 수소 이동 속도에 미치는 온도의 영향", 한국산화기술학회논문지, Vol.5(2), 114-117, 2004.

[11] Yamashita, T. and Vannice, A., "Temperature-Programmed Desorption of NO Adsorbed on Mn2O3 and Mn3O4," App. Cat. B: Environ., 13(2), 141-155, 1997.

[12] 김병우, "Soot 저감을 위한 촉매 분사 최적화 방안 연구", 한국산화기술학회논문지, Vol. 7(3) 278-284, 2006.

[13] Singoredjo, L., Korver, R., Kapreijn, F., and Moulijn, J. A., "Alumina Supported Manganese Oxides for the Low-Temperature Selective Catalytic Reduction of Nitric Oxide with Ammonia," App. Cat. B: Environ., 1(4), 297-316, 1992.

[14] Vajo, J. J., Tsai, W. and Weinberg, W. H., "Mechanistic Details of the Heterogeneous Decomposition of Ammonia on Platinum," J. Phys. Chem., 89(15), 3243-3251, 1985.

[15] Vavere1, A. and Hansen, R. S., "Decomposition of Ammonia on Rhodium Crystals", J. Cat., 69(1),

158-171, 1981.

- [16] Hannevold, L., Nilsen, O., Kjekshus, A. and Helmer Fjellvg, H., "Reconstruction of Platinum-rhodium Catalysts During Oxidation of Ammonia," App. Cat. A., 284(1-2), 163-176, 2005.
- [17] Papapolymerou, G. and Bontozoglou, V., "Decomposition of NH<sub>3</sub> on Pd and Ir Comparison with Pt and Rh," J. Mol. Cat. A., 120(1-3), 165-171, 1997.

---

**장 현 태(Hyun-Tae Jang)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 화학공학  
학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 고려대학교 화학공학  
학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 고려대학교 화학공학  
학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학  
교 화학공학과 교수

<관심분야>

흡착, 유동층반응

---

**차 왕 석(Wang-Seog Cha)**

[정회원]



- 1981년 8월 : 고려대학교  
화학공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 고려대학교  
화학공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 고려대학교  
화학공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 군산대학  
교 토목환경공학부 교수

<관심분야>

폐기물 가스화 및 열분해