

## 음식물류 폐수 소각처리에 따른 질소산화물 저감 및 소각설비의 안정성 평가에 관한 연구

### A Study on Reduction of Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>) and Stability of Incineration Facility by the Food Wastewater Incineration

황승민<sup>†</sup> · 정진도\* · 송장현\*\*

Seung-Min Hwang<sup>†</sup> · Jin-Do Chung\* · Jang-Heon Song\*\*

호서대학교 벤처전문대학원 보건환경학과 · \*호서대학교 환경공학과 · \*\*호서대학교 대학원 환경공학과

Department of Health Environment, Graduate School of Venture, Hoseo University

\*Department of Environmental Engineering, Hoseo University

\*\*A Graduate student at Department of Environmental Engineering, Hoseo University

(2009년 7월 21일 접수, 2009년 9월 11일 채택)

**ABSTRACT** : We examine the processing method of the food wastewater to direct spray at living waste incinerator. The demo-scale stoker system is used as a incineration facility. The results show that it brings effect on the reduction of nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) concentration as well as the ammonia (NH<sub>3</sub>) amount in SNCR (selective non-catalytic reduction) by the incineration of food wastewater which is containing a plentiful ammoniac nitrogen (NH<sub>3</sub>-N). Furthermore, the stability of incineration facility and the extension of operation period is actualized as a improvement of clogging phenomenon on outer wall of water pipe as the 870~950°C maintain of exit temperature in a second combustor by spray of the food wastewater. The 26 items of air pollution matter of nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>), sulfur oxide (SO<sub>x</sub>) and dioxin etc. are measured. The results show that it is under the value of allowable exhaust standard.

**Key words** : Food Wastewater, Incineration, Nitrogen Oxide(NO<sub>x</sub>), Dioxin Ammoniac Nitrogen(NH<sub>3</sub>-N)

**요약** : 음식물류 폐수를 생활 폐기물 소각로에 직접 분사하여 소각처리 하는 방안에 대하여 검토하였다. 소각설비는 연속 스토카식 실증플랜트를 이용하였다. 그 결과 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)가 다량 함유된 음식물류 폐수를 분사·소각함으로써 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 농도저감과 동시에 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 저감을 위해 선택적 비촉매 환원장치(selective non-catalytic reduction ; SNCR)에서 사용되는 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 사용량을 절감하는 효과를 가져왔다. 또한, 음식물류 폐수를 분사하여 2차 연소실 출구온도를 적정온도인 870~950°C로 유지하여 소각량을 최대화하는 한편 폐열회수 보일러의 수관외벽 막힘현상 개선을 통한 로의 안정성 확보 및 연속운영기간의 연장을 실현하였다. 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 등 대기오염물질 26개 항목에 대하여 측정을 실시한 결과 모두 배출허용 기준치 이하의 값을 나타내었다.

**주제어** : 음식물류 폐수, 소각, 질소산화물, 다이옥신, 암모니아성 질소

## 1. 서론

음식물류 폐수의 해양배출은 2004년부터 시작되었고 2005년 1월 정부의 음식물류 폐기물에 대한 육상매립 금지조치 이후 그 양은 2년 사이 두 배 이상으로 크게 증가(2004년 70만 m<sup>3</sup>, 2006년 166만 m<sup>3</sup>)하였으며, 총 폐기물 해양배출량(993만 m<sup>3</sup>)의 약 16.7%를 차지하고 있다.<sup>1~4)</sup> 이에 해양수산부에서는 런던협약<sup>5,6)</sup>에 따른 해양오염 방지에 관한 국제적 규제압박에 적절히 대응하고, 해양생태계의 보호 등을 이유로 음식물류 폐수에 대한 해양투기를 제한하였다.<sup>7,8)</sup> 해양수산부의 규제에

따르면 2012년 전면적으로 해양투기가 금지되는 시기까지 잠정적으로 해양배출을 허용하되 2007년 10월 이후부터 수분함량 92% 이상의 폐수에 대해서만 허용할 것을 명시하고 있다.

음식물류 폐수와 같은 고농도 유기성 폐수는 일반적인 중·저 농도형 처리시설을 이용하여 자체 처리할 경우 폐수처리 시 소요되는 과중한 비용부담으로 인한 음식물류 폐수 자원화 시설의 운영에 경제성과 처리효율 저하라는 문제점이 있다.<sup>9)</sup> 따라서 기본적으로 음식물류 폐수를 효율적으로 처리하기 위해서는 자원화 시설 내에 폐수처리 시설을 갖추고 적정부하 이하로 처리하여 하수종말 처리장 등으로 연계 처리하는 것이

<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail : hwangsm@hoseo.edu Tel : 02-523-3015 Fax : 02-2055-1405

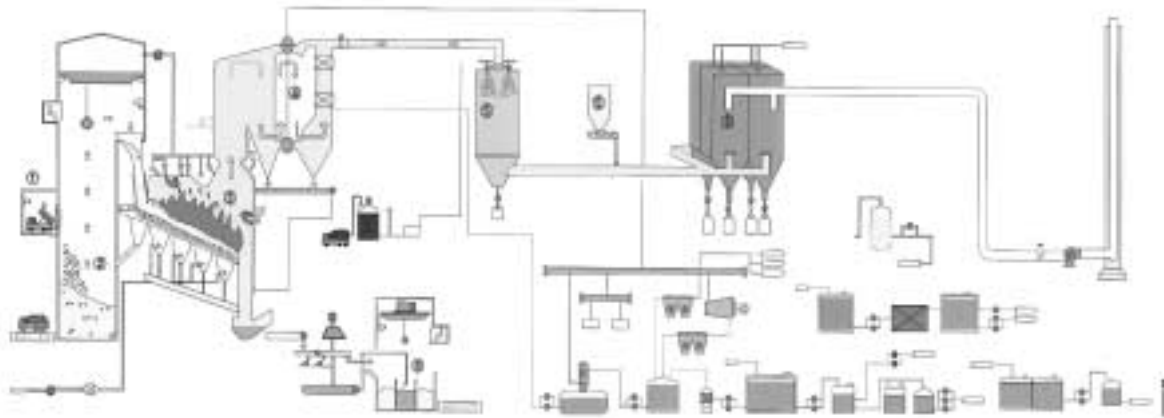


Fig. 1. Schematic diagram of incineration facility of living waste and food wastewater.

① waste input, ② waste bunker, ③ incinerator, ④ waste heat boiler, ⑤ exhaust gas facility, ⑥ ash bunker

바람직하다.<sup>10)</sup> 그러나 현 상황에서는 음식물류 폐수를 일정부 하 이하로 처리할 수 있는 고농도 폐수처리 기술이 미흡한 실 정이다. 또한 산업현장에서 발생하는 폐수와는 달리 음식물류 폐수는 생물학적 분해에 적용하기에는 용이하나, 음식물류 폐 기물 내에 함유 되어 있는 염분과 유지류의 농도가 다르기 때 문에 생물학적 공정의 운영에 있어서 많은 어려움이 있다.

일반적으로 사용되는 음식물류 폐수의 처리방법으로는 해양 투기와 하수처리, 매립 및 소각 등이 있으며, 우리나라의 경우 해양투기와 하수처리에 많은 처리 비중을 두고 있다.<sup>11,12)</sup> 해양 투기와 같은 경우는 앞서 기술한 바와 같이 2012년 해양투기 가 금지되는 시점까지 점진적으로 규제 강화를 통하여 줄여나 간다는 해양수산부의 방침이 이미 시행되었으며, 하수처리의 경우 처리기간이 길다는 점과 높은 처리비용, 악취 및 하수처 리 후 발생하는 슬러지를 재처리해야 하는 등의 많은 문제점을 갖고 있다. 또한 매립의 경우에는 감량처리라는 전처리 과정이 필요하며 매립 시 악취 및 토양오염을 유발한다. 이러한 처리 방법들에 비해 소각의 경우 음식물류에서 나온 폐수를 소각로 에 직접 분사하여 처리함으로써 기존의 처리 방식에 비해 처리 비용이 적게 들고 처리과정에서 소요되는 기간을 줄일 수 있으 며 후처리 측면에서도 처리가 간편하다는 장점이 있다.

그러나 음식물류 폐수를 소각처리 함으로써 발생되어지는 질소산화물( $\text{NO}_x$ ), 황산화물( $\text{SO}_x$ ), 다이옥신, 비산재, 페놀, 벤젠 등의 유해가스로 인한 민원이 빈번히 제기되고 있다. 따 라서 음식물류 폐수 소각처리 시 발생되어지는 유해가스를 제 어하기 위해 실증 소각 플랜트를 이용한 음식물류 폐수의 소 각처리 기술개발이 시급하며 음식물류 폐수 소각처리 시 발생 되어지는 유해가스를 제어하고 소각장 주변 주민의 쾌적한 생 활환경과 악취발생 등에 의한 민원 제기를 줄이기 위한 음식 물류 폐수의 소각처리 기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 음식물 자원화 시설에서 나온 음식물류 폐수 를 생활 폐기물 소각시설에서 소각 처리하는 방안을 검토하 고, 음식물류 폐수 소각처리 시 발생하는 질소산화물( $\text{NO}_x$ ), 황산화물( $\text{SO}_x$ ), 다이옥신, 비산재, 페놀, 벤젠 등의 유해가스 제어기술을 개발하여 소각설비의 안전성을 확보하는 한편, 음식물류 폐수의 소각처리 기술개발로 육상처리에 어려움을 겪 고 있는 음식물류 폐수의 항구적인 처리를 유도하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 설비는 저비용으로 음식물류 폐수를 생 활 폐기물 소각로에서 발생한 열로 소각처리 할 수 있으며, 음식물류 폐수 중 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ )를 함유한 폐수를 분사·소각 처리함으로써 배기가스 중의 질소산화물( $\text{NO}_x$ ) 제거를 위해 선택적 비촉매 환원장치(selective non-catalytic reduction ; SNCR)에서 사용되는 암모니아( $\text{NH}_3$ )의 사용량을 줄여 소각로의 경제성을 높일 수 있는 생활 폐기 물 겸용 음식물류 폐수 소각설비이다.

본 설비는 크게 반입·공급 설비, 소각 설비, 연소가스 냉 각설비 및 연소가스 처리설비로 구성되며, Fig. 1에 본 연구 에 이용한 플랜트의 전체 공정도를 나타내었다. 폐기물 수거 차에 의해 수거된 폐기물은 그 양을 계량하고 시설 내로 반입 하여 폐기물 병커 내 저장·혼합한 후 소각을 위해 일정량씩 소각로로 공급된다. 크레인에 의하여 소각 설비로 투입된 폐 기물은 화격자로 이송되어 건조, 착화, 연소 및 후연소 과정 을 거쳐 재가 되어 재축출기로 낙하되며 연소가스는 폐열 보 일러로 배출된다. 연소가스 냉각설비에서는 폐기물 연소에 의해 발생된 고온의 연소가스 온도를 연소가스 처리공정에 적

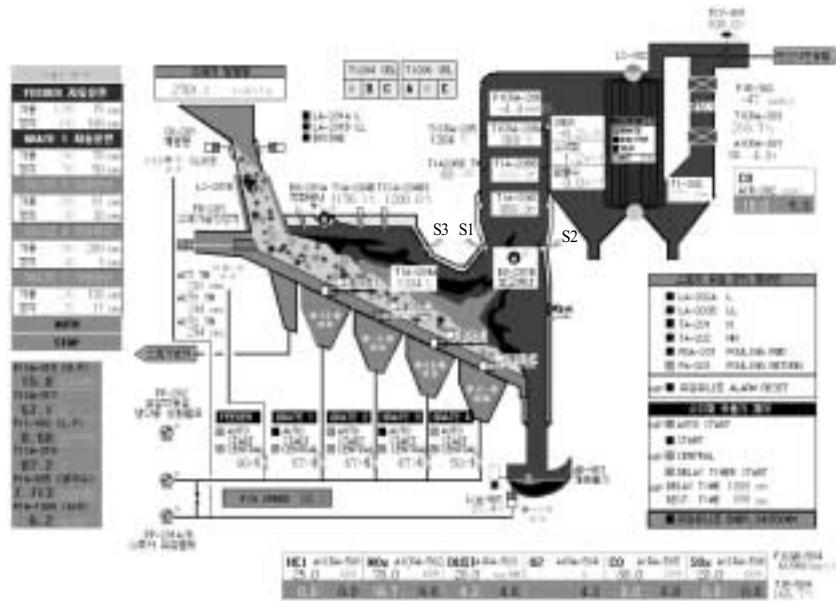


Fig. 2. Detail of incineration incinerator and system.  
 (Spray position of food wastewater : S1, S2 and S3)

합한 온도인 200℃ 이하로 냉각시키며 이 과정에서 회수된 폐열로 포화증기를 발생시켜 소각설비 내의 열 이용처에 이용되어진다. 연소가스 냉각설비에서 200℃ 이하로 냉각된 연소가스는 분진 및 여러 형태의 유해물질을 포함하고 있으므로 환경보전을 위해 배출 허용기준 이하로 유해물질을 감소시켜 대기로 배출하여야 한다. 연소가스 처리설비는 2개의 계통 즉, 분진, 염화수소(HCl), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 제거설비와 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거설비로 구분된다. 분진, 염화수소(HCl), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 제거설비로는 반건식 반응탑, 여과 집진기를 이용하였고 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거설비로는 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)를 이용하였으며, 소각 시설에서의 운전 실적 등에 대한 자료를 비교·검토하여 최적의 연소가스 처리설비를 선정하였다. 또한 배기가스 성분분석을 위하여 굴뚝지점에 연소가스의 분석을 위한 채취구를 설치하였으며, 유량, 온도 및 배기가스의 농도는 굴뚝 자동측정 시스템(tele-monitoring system ; TMS)을 통해 중앙제어실에서 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

본 연구에 이용한 생활 폐기물 겸용 음식물류 폐수 소각설비의 소각로 및 시스템의 상세한 구조를 Fig. 2에 나타내었다. 본 설비는 하루 200톤(생활 폐기물 : 180톤, 음식물류 폐수 : 80톤)의 생활 폐기물을 소각할 수 있는 소각로로서 소각방식은 스토키(stoker)식(연속 연소식)이다. 본 설비의 특징은 폐기물 성상변화에 따라 분산제어 시스템(distributed control system ; DCS)에서 자동운전을 실시하여 스토키 설비(폐기물 급진장치 및 화격자)의 자동속도 조절이 가능하며, 1·2차 연소가스 공

급시스템의 자동화로 연소조건 변화에 따라 1·2차 공기공급 비율이 40~60% 범위 이내로 각 위치별 1·2차 연소가스 유량의 자동조절 공급이 가능하다. 또한 1차 연소온도를 1,200~1,300℃로 유지하여 고온소각과 4.5초간의 체류시간으로 완전연소에 가까운 연소가 가능하여 배기가스 중 산소(O<sub>2</sub>) 및 일산화탄소(CO)의 농도가 5~8% 및 5 ppm 이하로 낮게 유지된다. 또한, 음식물류 폐수 및 공정폐수를 분사·소각하여 2차 연소실온도를 870~950℃로 조절함으로써 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)의 반응효율을 높이고 보일러의 수관막힘 현상을 방지할 수 있으며 굴뚝 자동측정 시스템(TMS)에 의한 배기가스 처리와 관련된 모든 약품의 자동운전이 가능하다.

생활 폐기물은 각기 다른 배출원에서 수거해 오기 때문에 성상이나 특성이 각기 다를 수밖에 없다. 따라서 폐기물을 소각로에 투입하기 전에 폐기물이 병커에서 충분한 혼합이 이루어지도록 하여 효율적이고 안정적인 연소를 유지하도록 하였다. 또한 크레인을 이용하여 투입호퍼로 정격부하에 맞춰 소각처리하여야 할 양을 일정한 간격으로 투입하였다. 연소에 필요한 공기는 1차 공기와 2차 공기로 분할되어 공급된다. 1차 공기는 소각로의 모든 화격자 하부를 통해 폐기물 층으로 공급되어지며 각 화격자별 공기량은 운전자에 의해 수동설정 또는 자동연소제어를 통해 자동설정되어 공급된다. 화격자로 공급되는 1차 공기 분배율은 중앙제어실 분산제어 시스템(DCS)에서 폐기물 조성에 의해 설정된다. 2차 공기는 연소가스 중에 포함된 미연가스의 완전연소를 도모하고 연소실 내의 연소가스 온도 또는 2차 연소실 입구(보일러) 온도를 냉각시키기 위해 화염의 온도

가 가장 높은 폐기물층 위로 공급된다. 총 2차 공기량은 연소실 온도와 자동연소제어로부터의 산소농도에 의해 제어된다. 또한 각 노즐로의 2차 공기의 분배비율은 중앙제어실 분산제어 시스템(DCS)에서 설정부하와 폐기물의 조성에 의해 설정된다.

음식물류 폐수 분사용 노즐은 총 3개로 선택적 비축매 환원장치(SNCR)의 노즐 아랫부분에 2개, 2차 공기가 공급되는 소각로 윗부분에 1개를 설치하였으며, 2개의 노즐은 2차 연소온도 제어용으로 1개의 노즐은 1차 연소온도 제어용으로 설정하였다. 노즐은 상수에 비해 탁도가 높은 음식물류 폐수를 유사한 양(3.2 ton/hr)으로 분사할 수 있어야 하므로 기존의 벌집형 노즐(직경 3 mm, 8홀)을 일자형 노즐(직경 8 mm, 1홀)로 변경하여 부유물질(suspended solid; SS) 농도가 높고 이물질이 섞인 음식물류 폐수도 차질 없이 분사되도록 하였다. 또한 노즐을 폐수공급 설비에 연결하여 음식물류 폐수를 분사함으로써 2차 연소 출구의 온도를 870~950℃로 유지하여 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 대한 비산재의 흡착성질을 떨어뜨려 연속운전 기간을 늘리고 소각 효율을 증대하도록 하였다. 소각로의 2차 출구온도가 약 950℃를 넘으면 배기가스에 섞인 비산재가 흡착성을 띄게 되며 이대로 비산재가 배출되면 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 부착되어 배기가스의 흐름을 방해하고 소각 장치의 연속운전 기간을 단축시키며 열교환 효율도 저하된다. 또한 다이옥신 생성억제를 위하여 소각로의 2차 연소 출구 온도가 법적 기준온도 850℃ 이상을 유지해야만 한다. 따라서 이러한 점을 고려하여 2차 연소 출구의 온도는 비산재가 완전 연소되고 흡착능도 상실되는 870~950℃로 유지하는 것을 기준으로 하여 음식물류 폐수의 분사량을 자동 설정하였다.

부유물질(SS) 농도가 높아 음식물류 폐수의 이송 및 분무의 어려움을 해결하기 위하여 음식물류 폐수 저장조와 처리수 저장조 사이에 스크류식 회전형 고액분리기(4~5 ton/hr)를 설치하였다. 또한 가압에 의해 마모가 심해 지속적인 이송이 불가능

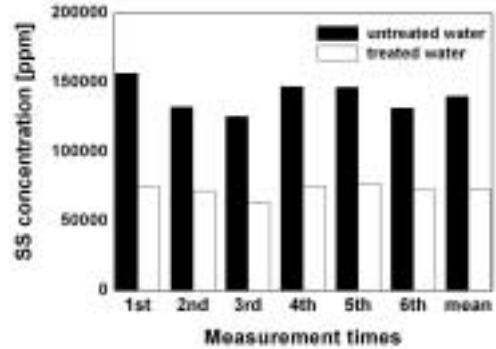


Fig. 3. Comparison of SS (suspended solids) concentration in untreated and treated food wastewater.

한 스크류식 펌프를 횡형 다단 원심식으로 변경하였으며 분사에 필요한 노즐 내부압이 3~4 kg/cm<sup>2</sup>인 점을 고려하여 펌프 출구 압력을 7~10 kg/cm<sup>2</sup> 이상 유지하도록 폐수저장조의 위치를 지하 1층에서 지상 3층으로 변경하여 고농도와 이물질로 인하여 운전효율이 급격히 떨어지는 문제점을 해결하였다.

선택적 비축매 환원장치(SNCR)는 선택적 촉매 환원장치(selective catalytic reduction; SCR)와는 달리 촉매를 사용하지 않고 암모니아(NH<sub>3</sub>)로 탈질반응을 일으켜 질소산화물(NO<sub>x</sub>)을 제거하는 장치로서 선택적 촉매 환원장치(SCR)에 비해 초기 시설비와 유지 관리비가 저렴한 것이 장점이며 이 장치에서 분사되는 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 배기가스 중의 질소산화물(NO<sub>x</sub>)에 반응하여 무해한 질소(N<sub>2</sub>)와 물(H<sub>2</sub>O)로 환원된다. 따라서 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 생성될 수 있는 유기성 음식물류 폐수를 소각로에 분사하여 배기가스 중의 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거에 기여케 함으로써 선택적 비축매 환원장치(SNCR)를 통한 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 사용량을 줄여 경제성을 높이고 음식물류 폐수의 폐기수탁 비용을 절감하여 생활폐기물 소각로의 경제성을 더욱 높일 수 있도록 하였다.

Table 1. Component analysis in untreated and treated food wastewater

(a) Untreated food wastewater

Generation day	PH	COD	SS	VSS	T-N	T-P	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
3 days	4.48	45,000	156,500	125,200	3,552	832	417	0.60	4.80
6 days	4.61	42,300	167,800	133,568	3,705	809	522	0.76	5.30
10 days	4.57	39,800	170,200	133,436	3,755	886	956	0.82	6.00
13 days	4.63	40,500	169,800	128,878	3,890	920	978	0.78	5.80

(b) Treated food wastewater

Generation day	PH	COD	SS	VSS	T-N	T-P	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
3 days	4.37	37,000	73,000	56,900	2,676	492	475	0.20	3.70
6 days	4.41	35,600	75,900	60,700	2,436	468	498	0.44	3.70
10 days	4.39	36,200	76,400	59,500	3,432	658	835	0.43	5.00
13 days	4.50	38,600	77,100	62,451	2,988	588	510	0.22	3.60

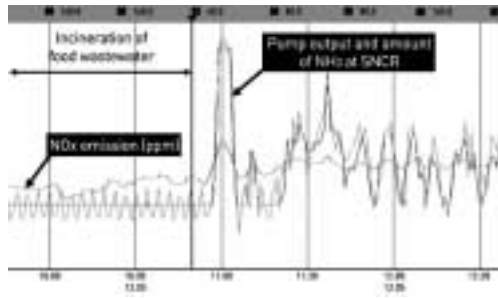


Fig. 4. Operating result of nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emission, and pump output and amount of ammonia (NH<sub>3</sub>) at SNCR for the incineration of leachate and food wastewater.

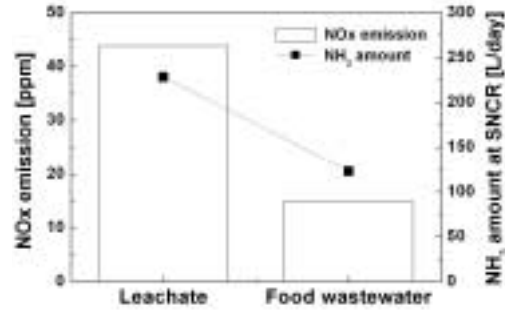


Fig. 5. Nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emission and ammonia (NH<sub>3</sub>) amount as spray the leachate and the food wastewater.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 음식물류 폐수의 성분분석

음식물류 폐수를 생활 폐기물 소각로에 직접 분사·소각 처리하는데 있어 음식물류 폐수 내에 함유되어 있는 염분에 의한 다이옥신 증가 및 부식과 수관 외벽 막힘 현상 외에도 부유물질(SS)의 농도가 높아 지속적인 고압형성 및 연속 분사가 불가능하며 끈적끈적한 점액질 상태로 분무노즐의 막히는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 먼저 음식물류 폐수의 부유물질(SS) 농도에 대하여 검토하였다. 원수 및 처리수의 부유물질(SS) 농도를 비교한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 원수는 아무런 처리도 하지 않은 음식물류 폐수를 말하며 처리수는 음식물류 폐수 저장조 후단에 설치한 고액분리기에 의해 처리된 음식물류 폐수를 말한다. 총 6번 측정하여 평균값을 나타낸 결과, 원수의 부유물질(SS) 농도는 140,000 ppm 이었으나 고액 분리기에 의해 처리된 처리수의 부유물질(SS) 농도는 72,000 ppm 으로 약 절반가량 부유물질(SS) 농도가 저감되는 것을 알 수 있다.

Table 1에는 원수 및 처리수의 발생일 경과에 따른 성분분석 결과를 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 처리수의 부유물질(SS) 농도는 원수의 절반가량의 농도치를 나타내고 있다. 여기서 발생일 경과에 따른 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N) 성분의 분석 결과에 주목하면 발생일 경과에 따라 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N) 농도값이 증가하며 발생 10일 경과 후 가장 높은 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N) 농도값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 폐수 중의 총질소는 유기물(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>N), 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N), 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N) 및 질산성 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)로 질산화 과정<sup>13,14</sup>을 거치게 된다. 여기서 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)란 물속에 암모늄(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)을 형성할 수 있는 질소로서 소각로에 분사·소각 시 음식물류 폐수 중의 이 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)가 질소산화물(NO<sub>x</sub>)을 안정화 시키고 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 제거 효율을 향상시키는 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 음식물

류 폐수 자체에 암모니아 성분을 다량 함유하고 있는 발생일로부터 10일 경과된 음식물류 폐수를 분사·소각함으로써 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 제거효율을 향상시키는 한편 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)에서 사용되는 암모니아의 사용량을 줄여 암모니아 사용에 따른 약품비 절약을 꾀하고자 하였다.

#### 3.2. 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 저감

Fig. 4에 음식물류 폐수 소각에 따른 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량과 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)에서의 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 펌프출력 및 유량 결과를 나타내었다. Fig. 4에서 횡선을 기준으로 왼쪽이 음식물류 폐수를 분사하였을 때의 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 펌프출력 및 유량을 나타내고 있으며 오른쪽은 음식물류 폐수를 분사하지 않았을 때의 결과를 나타내고 있다. 음식물류 폐수를 분사하였을 경우 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 펌프출력 및 유량은 낮고 일정한 분포를 보이고 있으나 음식물류 폐수의 분사를 중지하였을 경우 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 배출량이 증가하면서 이와 동시에 질소산화물(NO<sub>x</sub>)을 제거하기 위한 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 공급량이 급격히 증가하면서 불규칙한 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에는 일반 침출수와 음식물류 폐수를 분사했을 경우의 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 발생량과 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 사용량의 결과를 비교하여 나타내었다. 먼저 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량 결과를 보면 침출수를 분사하였을 경우 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량이 43.8 ppm이었으나 음식물류 폐수를 분사하였을 경우 14.8 ppm으로 29 ppm의 감소치를 보였다. 또한 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 사용량은 침출수를 분사하였을 경우 228 L/day였으나 음식물류 폐수의 경우 123 L/day로 암모니아(NH<sub>3</sub>) 사용량이 절반가량 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

이러한 결과를 좀 더 상세히 알아보기 위해 침출수 및 음식

물류 폐수 내 암모니아(NH<sub>3</sub>) 함유량을 분석하여 Table 2에 나타내었다. 그 결과 음식물 폐수의 경우 530 ppm으로 침출수의 8.7 ppm 보다 약 60배나 많은 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 함유하고 있음을 알 수 있다. 본 설비에서 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 저감을 위하여 설치한 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)는 소각로 내 2차 연소실 후단에 노즐을 설치하여 환원제로 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 분사함으로써 아래와 같이 반응<sup>15,16)</sup>하여 N<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 분리 배출된다.



그러나 생활 폐기물 질의 변화로 발열량이 높아짐에 따라 2차 연소실 온도가 상승함으로써 소각로 후단설비에 악영향을 미쳐 2차 연소실 온도를 적정온도인 870~950℃로 유지하기 위하여 기존에는 소각설비 공정에서 발생하는 폐수를 2차 연소실에 분사하였다. 본 연구에서는 기존에 사용하던 폐수 대신 암모니아(NH<sub>3</sub>) 성분을 다량 함유하고 있는 음식물류 폐수를 분사·소각함으로써 음식물류 폐수 중의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 성분이 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)의 환원제 역할을 하여 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 발생량이 현저히 감소하였다고 생각된다.

따라서 음식물류 폐수 중의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 성분이 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 반응하여 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 농도 저감에 영향을 주었다고 할 수 있으며, 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)가 다량으로 함유된 음식물류 폐수를 이용함으로써 선택적 비촉매 환원

장치(SNCR)에서 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거를 위해 사용되어지는 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 사용량을 현격하게 줄여 암모니아(NH<sub>3</sub>) 사용에 따른 약품비 절약을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 다이옥신 및 대기오염물질 측정

음식물류 폐수는 폐수 내 염분을 다량 함유하고 있기 때문에 소각 처리 시 다이옥신 발생이 가장 큰 문제가 되며 또한 배기가스의 불안정 등으로 인한 소각설비 운전의 어려움이 예상되어진다. 따라서 음식물류 폐수 소각 처리 시 발생되어지는 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 등 대기오염 물질 26개 항목에 대하여 측정을 실시하였다. 측정지점은 굴뚝지점의 채취구이며 대기오염 공정시험법에 의하여 측정·분석하였다. 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 측정된 대기오염 물질 26개 전 항목은 배출허용 기준치 이하의 값들을 나타내고 있으며 음식물류 폐수 내에 함유되어 있는 염분에 의한 다이옥신은 0.00~0.01 ng-TEG/Sm<sup>3</sup>으로 거의 검출되지 않음을 알 수 있다.

일반적으로 다이옥신은 750℃ 이상에서 열분해가 시작되므로 1차 연소온도를 1,200~1,300℃, 2차 연소온도를 870~950℃로 고온으로 유지함으로써 다이옥신이 충분히 파괴되었다고 판단되어진다. 또한 대기오염 방지시설 중 최초 집진시설인 여과 집진기에 유입되는 가스 온도를 200℃ 이하(실제 운전온도 150℃)로 유지하면서 여과 집진기 입구 덕트 내로 활성탄을 배출가스량에 따라 자동으로 균일하게 분사하여 온도저하로 입자화된 다이옥신이나 다이옥신 재합성에 촉매역할을 하는 중금속을 흡착에 의해 제거해 줌으로써 다이옥신이 검출되지 않은 것으로 생각되어진다.

### 3.4. 로의 안정성 평가

음식물류 폐수 소각 시 문제점이 되는 것 중에 또 다른 하나

Table 2. Comparison of ammonia (NH<sub>3</sub>) content in the leachate and the food wastewater

	NH <sub>3</sub> content	NH <sub>3</sub> amount at SNCR
Leachate	8.7 ppm	228 L/day
Food wastewater	530 ppm	123 L/day

Table 3. Measurement result of air pollution matters

	Dust (mg/Sm <sup>3</sup> )	SO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	HCl (ppm)	Cl <sub>2</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	HCN (ppm)	F <sup>-</sup> (ppm)	Zn (ppm)	N.D : Not detect	
Leachate	3.8	1.30	49.3	N.D	1.36	0.38	0.10	0.011	0.489	N.D		
Food wastewater	4.1	0.94	15.4	2.9	0.93	0.14	0.07	0.008	0.505	N.D		
	Ash (mg/Sm <sup>3</sup> )	Phenol (ppm)	NH <sub>3</sub> (ppm)	Ni (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	HCHO (ppm)	Br <sub>2</sub> (ppm)		
Leachate	0.15	N.D	0.88	N.D	N.D	0.004	N.D	N.D	0.007	0.009		
Food wastewater	0.14	N.D	0.43	N.D	N.D	0.006	N.D	N.D	0.004	0.020		
	CS <sub>2</sub> (ppm)	Smoke	Benzen (ppm)	Hg (ppm)	As (ppm)	Dioxin (ng-TEQ/Sm <sup>3</sup> )						
Leachate	N.D	0	N.D	N.D	N.D	0.00~0.00						
Food wastewater	N.D	0	N.D	N.D	N.D	0.00~0.01						



(a) Case of leachate incineration.

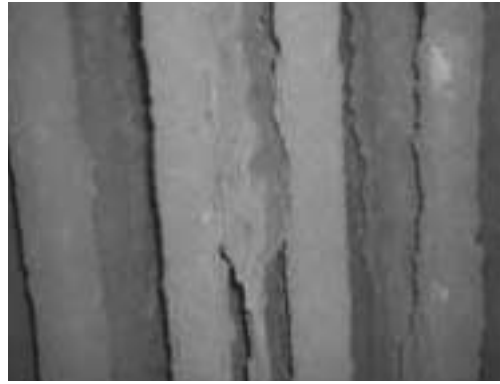


(b) Case of food wastewater incineration.

Fig. 6. Clinker phenomenon on surface of refractory in furnace.

는 음식물 분리수거에 따른 쓰레기 질의 변화에 의해 1차 연소 온도를 1,200~1,300℃로 운전 시 2차 연소실 온도가 1,000~1,100℃로 높게 유지됨에 따라 로 내화물 벽면에 클링커(clinker) 현상 및 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 비산재가 부착되어 연속 운전기간이 단축되는 문제점이다. 따라서 고온에 의한 로 내벽의 클링커(clinker) 형성 및 수관외벽 막힘 현상 등에 대한 로의 안전성 평가를 실시하였다. Fig. 6에 음식물류 폐수 소각에 따른 로 내화물 벽면의 클링커(clinker) 현상에 대한 결과를 나타내었다. 1차 연소 온도를 1,200~1,300℃로 높게 유지함에도 불구하고 용점이 다른 성분의 연소에 따라 로 벽면에 Fig. 6a 같이 클링커(clinker)가 형성되었으나 음식물 폐수를 분사·소각하면서 동일 온도를 유지함에 따라 Fig. 6b 같이 로 내화물 벽면의 코팅효과로 로벽이 깨끗한 상태로 유지됨을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7에 음식물류 폐수 내 함유된 염분에 의한 비산재 발생에 따른 수관외벽 막힘 현상에 대한 결과를 나타내었다. 소각로의 2차 연소 출구 온도가 950℃를 넘으면 배기가스에 섞인 비산재가 흡착성을 띄게 된다. 이대로 비산재가 배출되면



(a) Case of leachate incineration.



(b) Case of food wastewater incineration.

Fig. 7. Clogging phenomenon on outer wall of water pipe.

폐열회수 보일러의 수관 외벽에 부착되어 배기가스의 흐름을 방해하고 소각 장치의 연속 운전기간을 단축시키며 열교환 효율도 저하된다. 이 점을 고려하여 음식물류 폐수를 분사하여 2차 연소 출구의 온도를 870~950℃로 유지함으로써 비산재가 완전 연소되고 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 달라붙지 않아 수관 외벽의 상태가 양호해짐을 확인 할 수 있었다.

#### 4. 결론

음식물 자원화 시설에서 나온 음식물류 폐수를 생활 폐기물 소각로에 직접 분사하여 처리하는 기술 및 음식물류 폐수 소각 처리 시 발생하는 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 등의 유해가스 제어 기술을 개발하여 소각설비의 안전성을 확보하는 한편, 음식물류 폐수의 소각처리 기술개발로 육상처리에 어려움을 겪고 있는 음식물 폐수의 항구적인 처리를 유도하고자 생활 폐기물 소각시설에서 음식물류 폐수를 소각 처리하는 방안에 대하여 검토하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

1. 음식물류 폐수의 이송 및 분무의 어려움을 개선하기 위하여 음식물류 폐수 저장조와 음식물 처리수 저장조 사이에 스크류 회전식의 고액 분리기를 설치하여 부유물질(SS)의 농도를 저감시켰다. 또한 높은 부유물질(SS) 점액질 상태로 분무노즐의 막히는 현상을 개선하기 위하여 분무노즐 팁을 기존의 벌집형에서 일자형으로 변경하여 음식물류 폐수에 대해서도 분사가 용이하게 하였다.
2. 암모니아(NH<sub>3</sub>) 성분을 다량 함유하고 있는 음식물류 폐수를 분사·소각함으로써 음식물류 폐수 중의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 성분이 선택적 비촉매 환원장치(SNCR)의 환원제 역할을 하여 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 발생량을 저감하였으며, 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거를 위해 사용되어지는 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 사용량을 현격하게 줄여 암모니아(NH<sub>3</sub>) 사용에 따른 약품을 절감하는 효과를 가져왔다.
3. 음식물류 폐수 소각처리 시 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 및 다이옥신 등 대기오염물질 26개 항목에 대하여 측정을 실시한 결과 모두 배출허용 기준치 이하의 값을 나타내었다. 또한, 1차 연소온도를 1,200~1,300℃, 2차 연소온도를 870~950℃로 고온으로 유지함으로써 다이옥신이 충분히 파괴되어 검출되지 않았다.
4. 1차 연소온도를 1,200~1,300℃로 운전 시 2차 연소실 온도가 높게 유지됨에 따라 로 내화물 벽면에 클링커(clinker) 현상 및 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 막힘 현상이 발생되었으나, 음식물류 폐수를 분사하여 2차 연소실 출구 온도를 적정온도인 870~950℃로 유지함으로써 폐열회수 보일러의 수열범위를 조절하여 수관외벽 막힘 현상 개선을 통한 로의 안전성 확보 및 연속운영 기간의 연장을 실현하였다.

KSEE

## 감사의 글

본 연구는 충남환경기술개발센터의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 황승민, "스토카식 실증플랜트를 이용한 음식물 폐수 소각처리 기술개발", 충남환경기술개발센터 최종보고서, (2009).
2. 환경부, "2005년 음식물 쓰레기 직매입 금지에 대한 안내", 환경부 정책자료, (2003).
3. 해양경찰청, "05년 폐기물 해양투기 현황 및 06년 폐기물 해양투기 억제대책", (2005).
4. 백귀찬, 권창오, "고강도 금속 중공사막을 이용한 음식물 쓰레기 폐수처리", 환경관리학회지, **13**(4), 201~208(2007).
5. 해양수산부 국제기구과, "IMO 동향 : 제74차 법률위원회 결과 /1972 런던협약 의정서 채택/제5차 기국협약준수 소위원회 회의결과", 월간해양한국, **3**, 46~52(1977).
6. 김광수, "해양오염방지를 위한 각종 국제협약의 국내수용 현황", 해양환경 안전학회, **12**(4), 293~300(2006).
7. 해양수산부, "육상폐기물 해양투기 저감대책 추진현황", (2008).
8. 관계기관 대책회의, "음식물류 폐기물 발생 폐수 육상처리 전환을 위한 추진 계획(안)", 환경부, (2007)
9. 이정근, 정승훈, 송호성, 김남현, 구석분, 이동현, 권재현, "음식물 쓰레기 탈리액의 효율적인 처리방안 연구", 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 추계학술발표회 논문집, pp. 27~37(2006).
10. 이재기, 최홍복, 신흥배, 박주형, 최은주, 김정래, 박영숙, "다단 수직형 호기성반응기(ER-1)를 이용한 음식물 폐수의 생물학적 처리 기술", 유기물자원화, **14**(4), 113~120(2006).
11. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering 4th Edition : Treatment and Reuse", Mcgraw-Hill, (2004).
12. 환경부, "전국 폐기물 발생 및 처리현황( '96)", (1997).
13. Anderson, P. R., "Characteristics and environmental significance of colloids in landfill leachate", *Environ. Sci. Tech.*, **27**(7), 1381~1387(1993).
14. 환경관리공단, "수도권 매립지 침출수처리장 운영현황 및 적정처리방안 연구서", (1997).
15. Miller, J. A., and Bowman, C. T., "Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion", *Progr. Energy and Combustion Sci.*, **15**, 287~338(1989).
16. Dean, A. M., Hard, J. E., and Lyon, R. K., "Kinetics and Mechanism of NH<sub>3</sub> Oxidation", *Nineteenth Symposium(Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA*, pp. 97~105(1982).