

고온 고압 조건에서의 난분해성 액상폐기물 분해 특성

이강우¹, 손병현^{2*}

Decomposition Characteristics of Non-Degradable Liquid Waste under High Temperature and High Pressure Conditions

Gang-Woo Lee¹ and Byung-Hyun Shon^{2*}

요약 지정폐기물은 폐산, 폐알칼리, 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지, 먼지, 슬러지, 감염성폐기물 등이며, 이 중에서 많은 부분이 폐산, 폐알칼리, 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지 등 액상지정폐기물이다. 이와 같은 액상지정폐기물을 적절히 분해하기 위해 먼저 액상지정폐기물에 대하여 밀도, 삼성분, 원소분석, 발열량 등 물리화학적 특성을 분석하고 0.3톤/일급의 고온고압시스템을 설계하였으며, 반응온도는 1,200°C 이상, 압력은 최대 4 kg/cm²(g) 조건에서 실험을 수행하였다. 폐유의 평균 밀도값은 0.93 g/mL, 폐유기용제는 0.93 g/mL, 폐합성수지는 0.91 g/mL이었으며, 삼성분과 원소분석 결과 폐유기용제는 수분 54.34%, 회분 3.35%, 가연분 42.31%이었고, 탄소 29.73%, 수소 3.82%, 산소 5.94%, 질소 2.31%, 황 0.51%이었다. 폐유의 평균 저위발열량은 8,294 kcal/kg, 폐유기용제의 경우 7,462 kcal/kg, 그리고 폐합성수지는 5,809 kcal/kg으로 나타났다. 액상폐기물 중 유해물질의 분해 특성을 보기 위해 대상 폐기물에 혼합한 톨루엔, TCE 그리고 톨루엔이 고온에서 분해될 때 발생하는 벤젠 3가지 물질에 대해 고온 고압 처리 전후의 양으로 각 물질의 DRE를 비교한 결과, 상압조건에서 벤젠 99.73%, 톨루엔 99.73%, TCE가 99.95% 이었으며 가압조건에서 벤젠 99.97%, 톨루엔 99.82%, TCE가 99.99%으로 나타나 가압조건이 상압조건보다 유해물질의 분해율이 향상된 결과를 보였다. 본 실험결과 TCE/톨루엔 혼합물의 DRE는 99.73% 이상으로 매우 높게 나타나 유해물질이 적절히 분해됨을 확인할 수 있었다.

Abstract The specified wastes consist of waste acid, waste alkali, waste oil, waste organic solvent, waste resin, dust, sludge, infectious waste, and others. Among these specified wastes, a great portion is liquid phase wastes. The purpose of this study is to develop the high temperature and high pressure (HTHP) treatment system for decomposition of the liquid phase specified waste (LPSW). For this, we analyzed the physical and chemical properties of the LPSW such as density, proximate analysis, ultimate analysis, heating values, and designed 0.3 ton/day HTHP treatment system. The LPSW tested in this experiment were prepared by adding TCE(trichloroethylene) and toluene to liquid phase waste which was brought into the commercial waste treatment company. The average density of waste oil (25 samples), waste resin (5 samples), and waste solvent (12 samples) was 0.99 g/mL, 0.91 g/mL, and 0.93 g/mL, respectively. And the average lower heating value of waste oil, waste resin, and waste solvent was 8,294 kcal/kg, 5,809 kcal/kg, and 7,462 kcal/kg, respectively. The DRE (Destruction & Removal Efficiency) of TCE and toluene were 99.95% and 99.73% at atmospheric pressure conditions and that were 99.99% and 99.82% at pressurized conditions, respectively. These results showed that TCE/toluene mixtures were properly decomposed over about 99.73% of DRE by the HTHP treatment system and pressurized conditions were more effective to destroy those pollutants than atmospheric pressure conditions. Also these systems could be directly applied to industries which try to treat the liquid phase specified waste within the regulation limit.

Key Words : Specified wastes, TCE, Toluene, Benzene, High Temperature and Pressure

본 연구는 차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)으로 환경부 및 환경기술진흥원의 연구비 지원으로 연구되었음.

¹(주) 유성 중앙연구소

²한서대학교 환경공학과

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

1. 서론

한국 환경부의 2005년 “전국 지정폐기물 발생 및 처리 현황”에 따르면(표 1), 산업 활동 증가 및 이에 따른 경제

표 1. 한국의 지정폐기물 발생현황(단위 : 톤/년).

종류	2000	2001	2002	2003	2004		2005		
	발생량	발생량	발생량	발생량	발생량	구성비 (%)	발생량	구성비 (%)	전년도 대비 증감률(%)
합계	2,779,334	2,958,146	2,914,404	2,913,245	2,975,548	100	3,151,653	100.0	5.9
폐산	821,527	747,026	751,735	765,704	814,348	27.4	750,172	23.8	-7.9
폐알칼리	159,590	221,207	155,493	113,244	75,826	2.6	69,071	2.2	-8.9
폐유	543,370	578,964	563,473	602,657	610,649	20.5	694,119	22.0	13.7
폐유기용제	502,299	549,431	572,683	508,249	510,936	17.2	563,688	17.9	10.3
폐합성 고분자화합물	53,709	50,221	55,231	54,145	52,949	1.8	53,329	1.7	0.7
분진	362,489	367,434	396,093	384,839	388,166	13	414,556	13.2	6.8
오니류	170,192	203,498	189,840	222,179	211,389	7.1	240,744	7.6	13.9
감염성폐기물	22,350	27,777	33,981	37,327	43,127	1.4	59,056	1.9	36.9
기타	143,808	212,588	195,875	224,901	268,158	9	306,918	9.7	14.5

구조 확대에 따라 지정폐기물 발생량이 매년 증가하는 경향을 보이고 있으며 지정폐기물 중 폐산, 폐알칼리, 폐유, 폐유기용제 등과 같은 액상폐기물이 높은 비중을 차지하고 있다¹⁾. 2005년 전체 지정폐기물 발생량은 총 3,151,653톤으로 전년도의 2,975,548톤보다 176,105톤 증가하였으며, 통상 액상지정폐기물로 통칭되는 본 연구의 대상 물질은 정부의 여러 가지 노력에도 불구하고 그 발생량이 줄어들지 않고 산업의 고도화에 따라 더욱 악화되고 있는 실정이다²⁾. 게다가 국·내외적으로 이들 물질에 대한 규제가 강화될 뿐만 아니라 아직 난분해성 액상폐기물에 최적화된 처리설비 또는 기술이 부족하여 부적절 혹은 미처리되고 있어 액상폐기물을 바람직하게 처리하기 위한 기술개발이 절실히 필요하다. 2005년 국내의 지정폐기물 방법별 처리현황을 살펴보면(그림 1) 재활용 61.1%, 매립 17.8%, 소각 17.0%, 기타 4.1%로 재활용 방법을 이용한 처리비율은 계속 증가하고 있는 추세를 보였다. 지정폐기물 종류별 처리 현황을 살펴보면 재활용 비율이 높은 지정폐기물은 폐산(91.4%), 폐유기용제(74.5%), 폐유(67.5%) 등이며, 분진과 오니류의 매립비율은 각각 61.0%, 69.0%를 보였고 감염성폐기물의 주된 처리방법은 소각으로서 그 비율은 84.0%를 보였다¹⁾. 현재 국내의 지정폐기물 처리 방법 중 재활용을 제외하면 매립 다음으로 많은 비중을 차지하고 있는 소각은 좁은 국토 여건에 따라 급증하는 폐기물의 부피 감량화를 위한 불가피한 선택으로서 우리와 국토여건이 비슷한 유럽 각국과 일본 등에서는 폐기물 처리량의 50% 이상을 소각처리 하고 있는 실정이다²⁾. 또한 2002년부터 해양배출이 금지되었으며 이에 따라 소각처리 되는 양은 증가하고있어 소각 처리 시 발생할 환경문제를 해결하기 위한 연구는 필연적이라 할 수 있다. 지금까지의 소각 처리방법을 살펴보면, 연소에 근저한 방식으로 폐기물을 소각처리 해왔으며, 고농도의 할로겐화합물, PCB, 방향족 물질이 많이 포함된 폐유, 폐농약과 같은 난분해성 액상폐기물을 소각처리 할 때에 이

들을 완전히 분해시키지 못하는 경우 다양한 종류의 유해성분이 대기 중으로 방출된다. 또한 방향족물질과 할로겐원소의 경우 공정상의 온도에 따라 환경호르몬의 일종인 다이옥신류를 생성하는 과정에 관여하기도 한다. 이러한 유독 성분들이 환경측면에서 안정적으로 처리될 수 있도록 하기 위해서는 국내 액상폐기물의 물리/화학적 특성 및 성분을 면밀히 분석하는 것이 필요하다³⁾.

따라서 본 연구에서는 실제 산업폐기물 소각로에 반입되는 액상폐기물의 기초물성, 성상 및 발열량 조사를 통해 난분해성 액상폐기물용 고온 고압 처리장치의 설계와 개발 및 효율적인 폐기물 관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다. 이를 위해 0.3톤/일급 처리장치를 제작 설치하고 1,200℃ 이상의 고온과 최대 4 kg/cm²(g)의 고압 조건에서 액상폐기물의 분해 특성을 살펴보았다. 대상폐기물은 실제 산업폐기물 처리 설비에 반입되는 액상폐기물에 톨루엔과 TCE(Trichloroethylene)를 고농도로 첨가하여 제조하였으며 처리 전후의 농도를 비교함으로써 장치의 처리 성능을 판단하였고 장래 상용화급 난분해성 액상폐기물 고온 고압 처리 시스템 개발에 활용하고자 하였다.

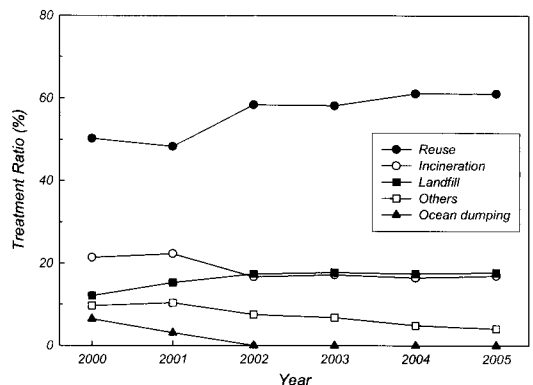


그림 1. 지정폐기물의 처리방법별 비율.

2. 실험 및 방법

2.1 시료의 기초 물성 분석

산업폐기물 소각처리 설비에 반입되는 폐기물 중 액상 및 반고상의 폐유, 폐유기용제 및 폐합성수지에 대하여 17개사 총 62개 시료의 기초물성(밀도, 인화점), 폐기물 성상(삼성분, 원소분석) 및 발열량을 분석하였다. 인화점은 두가지 방법으로 분석하였는데, COC 방법은 클리브랜드 오픈 컵 시험기(KSM2010)를 이용하였고 신속평형법은 래피드 test 인화점 시험기를 사용하였다. 원소분석의 경우 Elemental Analysen System 사의 Vario EL 모델을 이용하였고 발열량은 Leco사의 AC500을 사용하여 분석하였다.

2.2 액상폐기물 처리 시스템의 구성 및 실험 방법

본 연구에서 대상 액상폐기물의 분해 특성을 살펴보기 위해 0.3톤/일급 고온 고압 처리 시스템을 그림 2와 같이 구성하였다. 주요 설비는 액상폐기물 공급장치, utility 공급설비, 고온 고압 반응기, 배출가스 냉각장치, 자동압력 조절밸브, 후처리장치 그리고 계측 및 제어설비로 구성되어 있다. 액상폐기물은 고온·고압 반응장치에 공급되고, 반응에 의해 발생된 배출가스는 후속 설비의 보호를 위해 급속냉각탑에서 냉각되고 후처리 설비에서 제거된다. 전체 처리 시스템 중에서 처리 성능을 평가하기 위해 액상폐기물 처리 실험 시 발생하는 가스 또는 급속냉각기 배출수를 그림 2에 나타난 것과 같이 두 지점에서 샘플링 하였다. 샘플링 시간은 상압에서 폐기물 주입, 가압 후 온도 분포가 안정화되는 시점으로 하였다.

실험에 사용한 액상폐기물은 일반적으로 폐기물 처리 설비에 반입되는 액상폐기물 중에서 소각시 다량의 유해

가스를 발생시키는 것으로 알려진 폐유기용제 액상폐기물(수분 제외)을 사용하였으며 회분이 0.23%로 거의 없었고 대부분이 휘발분 상태로 존재하였으며 원소분석은 C와 H가 각각 82.58%, 8.38%를 차지하였고 발열량(HHV)은 9,483 kcal/kg 이었다. 또한 실험대상 액상폐기물에 비할로겐족 유기용제의 대표시료로서 사용량이 많고 독성이 강한 톨루엔을 그리고 할로겐족 유기용제의 대표시료로서는 염화정도가 높아 적정처리가 안되었을 경우 다이옥신, PCBs 등의 발생이 우려되는 TCE를 각각 1.5wt%씩 첨가하여 이들 물질의 분해특성을 알아보았다. 대상폐기물의 분석결과 및 운전조건을 표 2에 자세히 제시하였다.

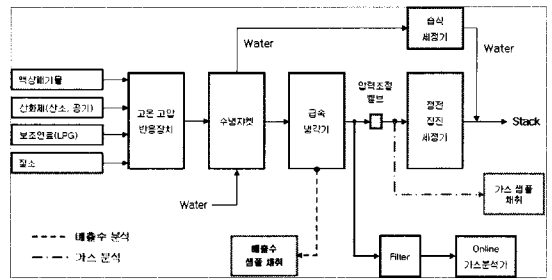


그림 2. 고온고압 반응기 시스템.

실험 시 가스화기의 예열은 LPG를 이용하여 48시간 이상 실시하였으며, 예열 시 가스화기 반응역영의 온도가 약 1,200℃를 유지하도록 하였다. 대상시료는 가스화기에 설치된 액상폐기물 공급용 버너를 통해 가스화기 내부로 분무시켜 주입하였다²⁾. 산화제의 공급은 질량유량계(MFC)를 이용하여 정량적으로 공급하였으며 반응기 내의 체류시간은 3~4초를 유지하였다. 고온고압 처리장치에서 배출되는 고온의 배가스는 1차 급속냉각기에서 물을 분사하여 냉각되고 후처리장치(정전식 집진장치 등)

표 2. 실험대상폐기물의 물리적 특성 및 운전 변수들.

실험 액상폐기물의 물리적 특성			운전 조건		
HHV		9,483 kcal/kg	조업 압력	<4 kg/cm ²	
삼성분 분석 (As received)	수분	-	조업 온도	1400-1600 ℃	
	회분	0.23 %			
	휘발분	99.77 %	액상폐기물 주입량	13 kg/hr	
원소 분석 (Moisture free)	C	82.58 %	체류시간	3-4 sec	
	H	8.38 %			
	N	0.04 %	산화제	O2	< 410 L/min
	S	0.07 %		Air	< 200 L/min
	Cl	0.0668 %	냉각수	Water	28.84 kg/hr
TCE	1.5 wt%	Temperature		< 100 ℃	
첨가물	Toluene	1.5 wt%			

를 통해 처리된다. 고온·고압 처리장치 내 반응 조건은 시료의 투입량 변화와 산화제/연료비 변화 등 주요 운전 변수에 따라 액상폐기물 및 산화제의 양을 조절하면서 투입하였다. 가스화장치의 운전은 온도를 1400~1500°C, 압력은 상압에서 4 kg/cm²(g)까지 유지하는 조건으로 진행되었다. 실험 후 반응기에서 배출되는 오염물질의 농도를 분석하기 위해 급속냉각기에서 배출되는 액상시료와 압력 조절밸브 후단에서 tedlar bag에 포집한 가스상오염물질은 한국화학시험연구원에 의뢰하여 GC-MS를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대상 시료의 밀도와 인화점

본 연구의 대상폐기물에 대한 밀도와 인화점 측정결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 실제 폐기물 처리업체에 반입되는 시료중 25개의 폐유에 대한 평균 밀도값은 0.93 g/mL(최소값 0.61, 최대값 1.27)이었고, 12개의 폐유기용제에 대한 평균 밀도값은 0.93 g/mL(최소값 0.80, 최대값 1.21)이었으며, 5개의 폐합성수지에 대한 평균 밀도값은 0.91 g/mL(최소값 0.82, 최대값 0.96)로서 폐기물의 종류에 따라 다양한 값을 나타내었다. 인화점(flash point)에 대한 미국의 RCRA(Resources Conservation and Recovery Act) CFR(Code of Federal Regulations) part 261에 따르면 알코올을 24% 이하로 함유하고 인화점이 60°C 이하인 물질을 유해폐기물로 분류하고 있고 또한 국제연합에서는 위험물의 수송에 관한 권고(Recommendations on the Transport of Dangerous Goods)에서 인화점이 60.5°C 이하인 액체에 대하여 수송 시 주의할 것을 권유하고 있다.⁴⁾ 그림 4에서 볼 수 있듯이, 몇 가지 폐유와 폐유기용제의 인화점 분석 결과 폐유의 인화점은 130~190°C이었고 일부 폐유기용제의 경우 50°C 이하의 값을 나타냈다. 따라서 액상폐기물을 고온 고압 반응기에 안정적으로 처리하기 위해서는 보관 설비 및 폐기물 공급설비의 폭발 또는 역화를 방지하기

위한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

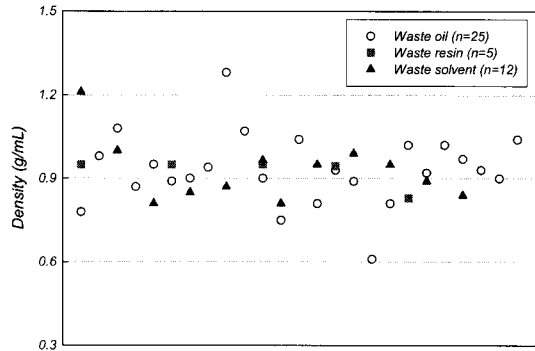


그림 3. 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지의 밀도 분석 결과.

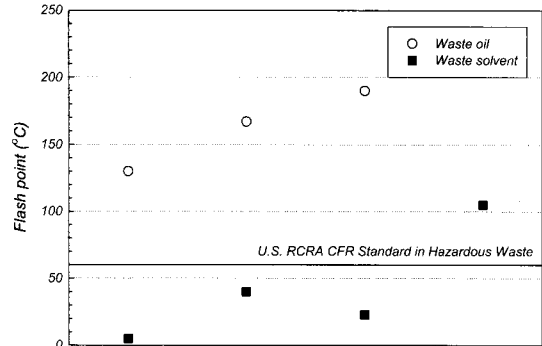


그림 4. 폐유와 폐유기용제의 인화점 분석 결과.

3.2 폐기물 성상 및 발열량

어떤 폐기물을 소각처리하기 위해서는 폐기물의 성분 분석과 발열량 분석이 우선되어야 한다. 이에 본 연구에서는 폐기물 소각로에 반입되는 폐기물 중 본 연구의 대상폐기물인 몇가지 액상폐기물에 대해 삼성분 분석, 원소 분석 및 발열량 분석을 수행하였다. 표 3에서 볼 수 있듯이, 삼성분 분석의 평균값을 보면 폐유는 수분 23.56%, 회분 2.06%, 가연분 74.38%, 폐유기용제는 수분 54.34%, 회분 3.35%, 가연분 42.31%, 그리고 폐합성수지는 수분

표 3. 폐유, 폐유기용제 및 폐합성수지의 삼성분 분석과 원소 분석 결과.

	삼성분(최소~최대)			원소조성(최소~최대)					비고
	수분	회분	가연분	C	H	O	N	S	
폐유 (n=8)	23.56 (0.21~99.68)	2.06 (0.02~7.26)	74.38 (0.19~99.26)	53.15 (0.15~79.14)	9.35 (0.01~17.73)	9.59 (0.02~33.40)	0.55 (0.0~2.11)	1.74 (0.0~11.46)	습기준
폐유기용제 (n=6)	54.34 (21.93~99.95)	3.35 (0.0~19.6)	42.31 (0.0~78.05)	29.73 (0.0~58.47)	3.82 (0.0~7.77)	5.94 (0.0~20.0)	2.31 (0.0~12.48)	0.51 (0.0~3.09)	
폐합성수지 (n=3)	11.46 (0.28~27.81)	43.25 (11.72~93.25)	45.29 (0.45~74.95)	27.06 (0.33~42.91)	3.76 (0.07~8.25)	12.83 (0.05~28.65)	0.35 (0.0~0.94)	1.29 (0.0~3.87)	

11.46%, 회분 43.25%, 가연분 45.29%로 나타났다. 폐기물 중의 원소분석의 평균값을 보면 폐유는 탄소 53.15%, 수소 9.35%, 산소 9.59%, 질소 0.55%, 황 1.74%, 폐유기용제는 탄소 29.73%, 수소 3.82%, 산소 5.94%, 질소 2.31%, 황 0.51%, 폐합성수지는 탄소 27.06%, 수소 3.76%, 산소 12.83%, 질소 0.35%, 황 1.29%로 나타났다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 액상폐기물의 발열량 분석 결과 폐유, 폐유기용제 및 폐합성수지의 평균 저위발열량은 각각 8,294 kcal/kg, 7,462 kcal/kg, 5,809 kcal/kg으로 나타났다. 분석 결과에서 알 수 있듯이 실제 폐기물 처리 설비로 반입되는 액상폐기물의 성상과 발열량은 매우 다양한 값을 가지고 있었고 종류에 따른 변화도 매우 다양함을 알 수 있다. 이에 본 실험에서는 대표적인 값을 취하여 실험을 수행하였다.

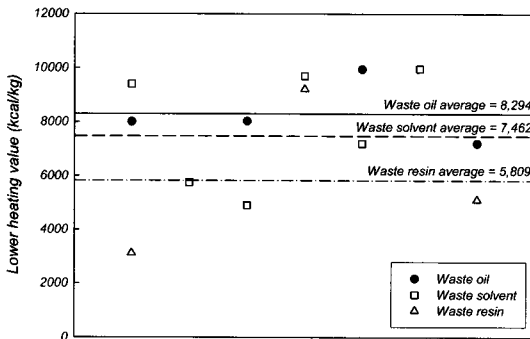
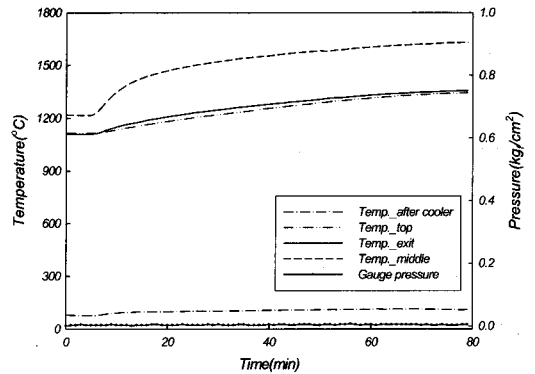


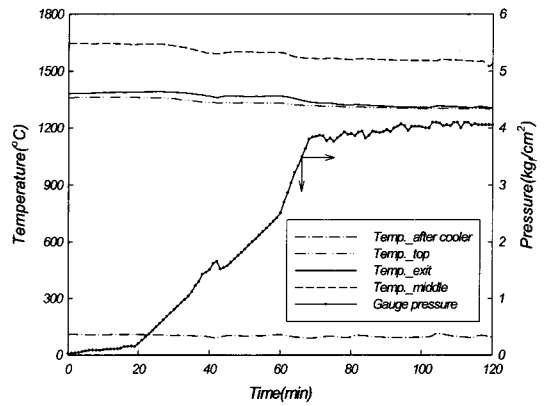
그림 5. 폐유, 폐유기용제 및 폐합성수지의 저위발열량 분석 결과.

3.3 운전조건에 따른 액상폐기물의 분해성능

액상폐기물의 분해 성능을 파악하기 위해 반응기에 액상폐기물을 13 kg/hr로 투입하면서 운전조건(온도와 압력)을 확인하였으며, 온도와 압력 profile을 그림 6에 나타내었다. 반응기의 온도는 순수 산소와 공기의 사용량을 조절하여 제어하였는데 가스화기 온도는 반응기 중간 부위에서 최고 1550~1650℃, 출구에서 1250℃ 정도로 안정되게 유지되는 것을 확인할 수 있었으며, 상압조건과 가압조건에서의 온도 변화는 약간의 차이가 있었다. 반응기 압력은 반응가스의 출구부에 장착한 밸브의 개폐를 통해 배출되는 가스량을 조절하여 제어하였는데 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이 조업 압력은 최대 4 kg/cm²(g)로 비교적 안정하게 운전됨을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 6. 조업조건에 따른 온도와 압력의 변화 곡선. (a)상압조건(0 kg/cm²(g)), (b)가압조건(4 kg/cm²(g))

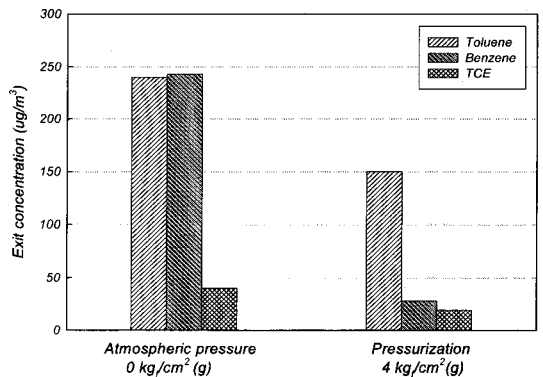


그림 7. 조업조건에 따른 유기용제의 배출 농도.

그림 7은 액상폐기물 중 유해물질의 분해 특성을 보기 위해 대상 폐기물에 혼합한 톨루엔, TCE, 그리고 톨루엔이 고온에서 분해될 때 발생하는 벤젠 등 3가지 물질에 대해 반응 후 배출되는 오염물질 농도를 분석한 것으로서 액상 시료와 가스상 시료 중에 존재하는 오염물질의

농도를 합한 값이다. 톨루엔이나 벤젠과 같은 방향족 탄화수소의 경우 지방족 탄화수소에 비해 상대적으로 매우 안정하기 때문에 연소로 내에서도 높은 농도로 존재하게 되므로^{5,6)} 많은 연구자들이 연료 및 화학공정에서 널리 사용되며 인체에 유해한 톨루엔, 벤젠과 같은 방향족 탄화수소의 연소 현상을 설명하기 위해 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다^{7,8)}. 그림 7에서 볼 수 있듯이 가스상과 액상으로 배출되는 오염물질의 중에 톨루엔, TCE 및 벤젠의 함량이 매우 낮게 나왔으며, 상압조건보다 가압조건에서 조업을 하였을 때 오염물질의 농도가 감소함을 확인할 수 있었다. 가압조건에서 실험할 경우 상압조건보다 톨루엔의 경우 37.5%, 벤젠의 경우 88.5%, 그리고 TCE의 경우 52.5%의 오염물질 배출저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 톨루엔, TCE 그리고 톨루엔이 고온에서 분해될 때 발생하는 벤젠 3가지 물질에 대해 고온 고압 처리 전후의 양으로 각 물질의 DRE(Destruction & Removal Efficiency)를 비교한 결과 상압조건에서 벤젠, 톨루엔, TCE가 각각 99.73%, 99.73%, 99.95%이었으며 가압조건에서 벤젠, 톨루엔, TCE가 각각 99.97%, 99.82%, 99.99%로 매우 높게 나타나 3가지 유해물질이 적절히 분해됨을 확인할 수 있었다.

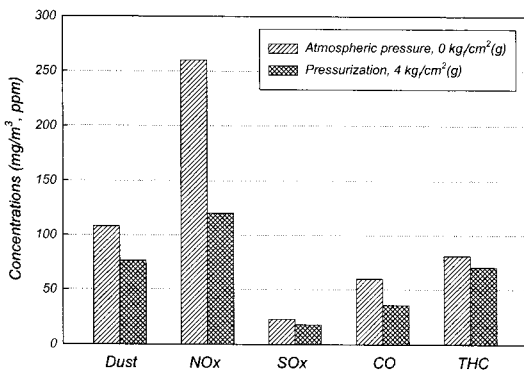


그림 8. 조업조건에 따른 주요한 대기오염물질의 배출 농도.

고온 고압 반응장치에서 배출되는 유해대기오염물질의 농도를 그림 8과 표 4에 나타내었다. SOx와 기타 가스상 및 입자상 물질의 경우 배출농도는 2 ton/hr 이상인 소각로에 적용되는 배출허용기준보다 낮은 값으로 나타나

오염물질 배출 측면에서도 장치의 성능이 뛰어남을 알 수 있었다. 다만 입자상물질, 질소산화물, 및 일산화탄소의 경우 배출허용기준을 초과하는 경우가 있었으나 이는 반응기에서 배출되는 가스를 대상으로 측정한 값이므로 배출가스 처리 설비를 구축하였을 경우 대기 중으로 배출되는 오염물질의 농도는 법적 기준치 이하로 제어 가능할 것으로 판단된다. 그림 8의 운전조건에 따른 주요한 대기오염물질의 배출농도에서 볼 수 있듯이, 상압조건보다 가압조건에서 조업을 하였을 때 오염물질의 농도가 현저히 감소함을 확인할 수 있었으며, 먼지 29.3%, NOx 53.8%, SOx 21.7%, CO 40%, THC 13%의 저감효과를 보였다. 또한 표 4의 운전조건에 따른 기타 대기오염물질의 배출농도에서도 확인할 수 있듯이, 대부분의 오염물질의 농도가 매우 낮게 나타나 효과적으로 난분해성 액상폐기물을 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구의 대상 액상폐기물(폐유, 폐유기용제, 폐합성수지)에 대하여 밀도, 삼성분, 원소분석, 발열량을 분석하였다. 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지의 평균 밀도는 각각 0.93 g/mL, 0.93 g/mL, 0.91 g/mL이었다. 삼성분 분석 결과 폐유기용제는 수분 54.34%, 회분 3.35%, 가연분 42.31%이었으며, 탄소 29.73%, 수소 3.82%, 산소 5.94%, 질소 2.31%, 황 0.51%이었다. 폐유, 폐유기용제, 폐합성수지의 평균 저위발열량은 각각 8,294 kcal/kg, 7,462 kcal/kg, 5,809 kcal/kg으로 나타났다.

현재 운영 중인 산업폐기물 처리 시설로 반입되는 액상폐기물에 할로겐 및 비할로겐 유기용제의 대표 물질인 TCE와 톨루엔을 고농도로 첨가한 후 유해물질의 분해 정도를 비교하였다. 반응기의 조업온도 1,400~1,500℃, 최대압력 4kg/cm²(g)에서 반응기로 투입되는 폐기물과 배출 가스 중의 벤젠, 톨루엔, TCE의 함량을 분석하였다. 배출가스 중 유해물질 농도는 매우 낮은 수치였고 벤젠, 톨루엔, TCE의 분해율이 99.73% 이상이었으며 오염물질 배출농도 또한 낮은 수치로 분석되어 난분해성 액상폐기물에 대한 적절한 처리가 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

표 4. 조업조건에 따른 미량 대기오염물질의 배출 농도.

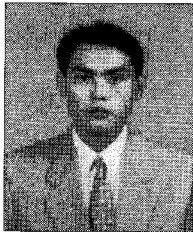
조건	오염물질 (ppm)											
	NH ₄	HF	HCl	HCHO	Cl ₂	Pb	Cu	HCN	Br	C ₆ H ₅ OH	CS ₂	H ₂ S
상압	1.411	0.277	5.819	0.289	0.03	0.034	0.052	1.45	0.71	0.37	0.004	0.093
가압	0.711	N.D	2.766	0.197	0.002	N.D	0.009	N.D	1.12	0.36	0.014	0.109

참고문헌

- [1] 환경부, 전국 지정폐기물 발생 및 처리현황, 2006.
- [2] 고등기술연구원, “가연성폐기물 처리용 가스화용융 공정기술 개발에 관한 연구”, 최종보고서, 2005
- [3] 한국코트렐, 액상주입식 소각 시스템 개발 - 2단계 1년차보고서, 1997
- [4] 세화, “폐기물 핸드북”, 1998
- [5] S. J. Klippenstein, L. B. Harding and Y. Georgievskii, "On the formation and decomposition of C_7H_8 ", Proceedings of the combustion institute, 31, 221-229, 2007
- [6] A. S. Ostertag, M. B. Unkoff, C. Wahl and L. Krebs, "The oxidation of benzene under conditions encountered in waste incinerators", Combustion and flame, 140, 359-370, 2005
- [7] B. Dellinger, J. L. Torres, W. A. Rubey, D. L. Hall, and J. L. Gram, "Determination of the thermal decomposition properties of 20 selected hazardous organic compounds", USEPA Project summary, 1984
- [8] W. Tsang, "Mechanism for the formation and destruction of chlorinated organic products of incomplete combustion", Combustion Science and Technology. 74, 99-116, 1990

이강우(Gang-Woo Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 소장

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계, 유해가스처리

손병현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수, 대기화학