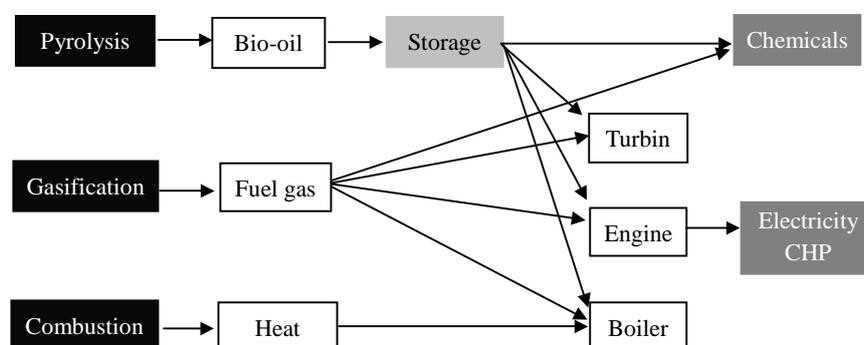


## The 4<sup>th</sup> International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control

본 학술회의는 대기 환경에 큰 영향을 미치는 연소, 소각/열분해, 오염물 배출제어에 관련된 학회로 2년마다 열린다. 1, 2 차 대회는 한국에서, 3 차는 중국 항주에서, 본 4 차 대회는 일본 교토에서 개최되었다. 아래와 같은 주제하에 발표가 진행되었으며, Plenary lecture 4 편, 구두, 포스터 발표 합쳐 총 170 편이 발표되었다. 아래 그림에서 보듯이 여러 가지 열화학적 전환 기술이 있으며 본 학회는 이러한 기술들 뿐만 아니라 처리 공정 후 배출되는 다이옥신, 수은 등 여러 오염물질 처리 방법도 함께 다룬다.



Products from various thermo-chemical technologies

### 1. 주요 발표 논문

#### 1.1. Plenary Lectures

제목: The CO<sub>2</sub> Issue-A New Challenge for the European Energy World

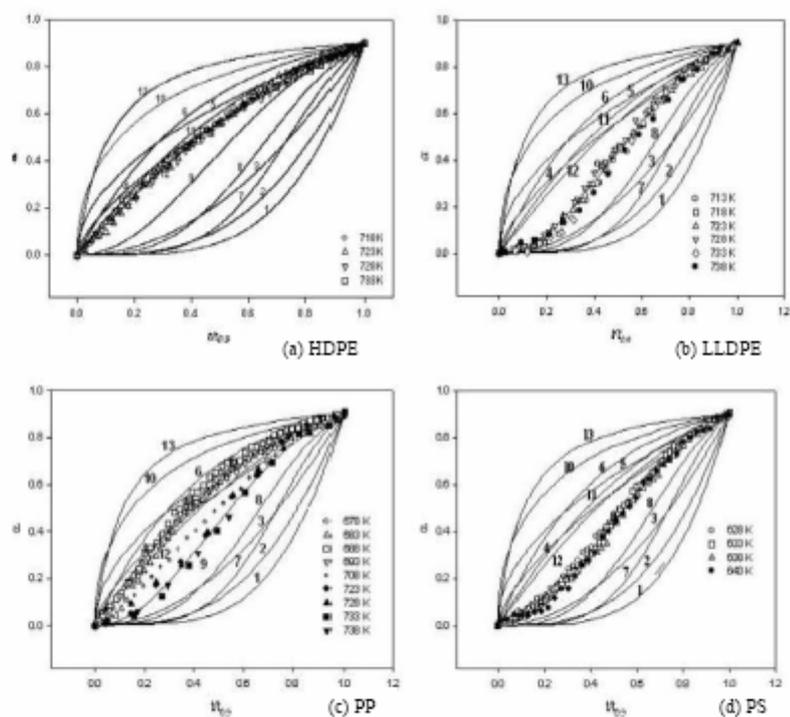
연구자: K.R.G. Hein

본 강연은 열과 전력 생산 분야의 이산화탄소 대책에 관해 다루었다. 또한 유럽 사회의 변화하는 요구와 지역적, 국제적인 환경보호에 대한 증가하는 관심으로 기인하는 새로운 요구 사항에 대하여도 다루었다. 이를 위해 필요한 기술적, 전략적 사항도 추가로 발표되었다.

제목: Pyrolysis reaction model of thermoplastics

연구자 : S.D. Kim et al.

본 논문은 n 차 모델이 열가소성 플라스틱의 열분해 반응모델에 필요한 것인가를 알아보기 위한 것이다. HDPE, LLDPE, PP, PS 같은 열가소성 플라스틱을 대상으로 여러 가지 다른 반응 모델을 테스트 하였다. 특히 본 연구자가 개발한 Kinetic Triplet 을 이용하여 활성화에너지, 전지수 인자, 반응모델을 계산하였고 등은 동력학 데이터를 사용한 reduced-time-plot 을 이들의 반응 모델에 적용하였다. 그 결과 기포 핵이 주요한 기화 공정으로 여겨졌다. 다만 HDPE 는 isotropic shrinkage 모델로 설명이 가능하였다. 열, 질량, 모멘텀 전달이 열가소성 플라스틱의 열적 분해 패턴을 특성화하는데 중요한 역할을 하였다.



**Figure 1.** Comparison of theoretical Reduced-Time-Plots (RTPs) of HDPE, LLDPE, PP, and PS for reaction models described in Table 1 with RTPs experimentally determined.

제목: Outline of waste management policy in Japan

연구자 : K. Takahashi

지정학적과 기후적 특성 때문에, 일본에서 소각은 매우 중요한 폐기물 처리 공정이다. 소각 공정을 더 안정하고 환경 친화적으로 만들기 위해서, 에너지 회수, 다이옥신 저감, 슬래그 합성이라는 세가지 주요한 활동을 촉진하였다. 또한 일본의 과거, 현재, 미래의 폐기물 정책이 간략히 소개되었다.

제목: Mercury control technology – a review

연구자 : R.E. Hall et al.

본 논문은 수은 처리에 관한 기술을 개괄하여 발표한 것이다. 주로 석탄 연소 보일러에서의 수은 거동과 PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>를 조절함으로써 수은도 함께 조절할 수 있음을 설명하였다. 또한 흡착제를 투입하여 수은을 제거하는 방법도 소개하였다.

## 1.2. 구두발표

SESSION: Policy & Management

제목: EU waste management strategy and importance of biogenic waste

발표자: J. Vehlow

EU에서 폐기물 관리는 거의 전적으로 특정 국가의 규제를 지원하는 EU Directive에 의해 제어된다. 지속가능성의 관점에서 주요한 목표는 반응성 폐기물을 매립으로 직접 폐기하는 것을 방지하는 것이다. 이러한 원칙에 맞는 도구는 재활용과 물질 회수, 에너지 회수인 소각이다. 원칙의 개정이 현재 EU에서 진행 중이다. 많은 나라가 이미 각각의 국가 규제치를 실행하고 있고, 그 결과 재활용과 소각은 경쟁관계가 아니라 모두 통합적인 폐기물 관리 시스템의 필요한 부분이 되었다. 다른 선진국들처럼 EU에서 에너지 회수를 위해 이용 가능한 잔사 폐기물의 양은 전체 에너지 수요량의 약 1% 정도이다. MSW의 에너지 inventory 중 50%가 biogenic 기원을 갖고 있다. 또한 MSW는 어느 정도 재생 연료로 간주된다. 따라서 폐기물 소각에서 배출된 이산화탄소는 기후 중립으로 간주되어 MSW에서 에너지를 얻는다면 이산화탄소 감축에도 기여하게 된다.

제목: Waste management system with less environmental load in Kyoto

발표자: A. Mukai

교토 시정부는 2001년 4월부터 700톤/일의 연소 용량을 갖는 동북 청정 센터를 운용하기 시작하였다. 환경영향평가를 수행한 결과, 환경보존에 대한 목표가 완벽히 달성되었다. 소각로를 설계하면서, 환경영향평가와 사회적 요구를 고려하였고 배기 가스 배출 규정을 엄격히 설정하였다. 그 결과, 동북 청정 센터는 세계에서 가장 우수한 설비 중 하나가 되었다.

SESSION: Incineration

제목: Efficient incineration of low calorific municipal solid waste

연구자: C. Pasel et al.

발전소 공정과 비교해서, 폐기물 소각 공장은 상당히 에너지 효율이 낮다. 따라서 얻어지는 전기량도 적다. 폐기물 소각은 주로 폐기물 처리를 위해 설계되어진다. 따라서 공정이 배출을 최소화하기 위해 최적화되어있고 에너지 회수는 우선 순위가 2 번째가 된다. 한편 에너지 성능을 향상시키기 위한 기술적 한계가 존재한다. 즉 hot boiler 벽에 용융된 비산재와 고온 부식은 400°C 이상으로 수증기 온도를 유지하기 어렵게 한다. Synergetic한 소각은 에너지 효율을 증가시킨다. 즉 수증기 생산을 2 개의 단계로 나눌 수 있다. 제 1 단계에서, 저온에서 폐기물 소각에서 얻어지는 열에 의해 보일러내의 물을 증발시킨다. 2 단계에서 화석연료를 소비하여 얻어진 에너지는 수증기를 과가열(superheating)하는데 사용된다. 폐기물 균일화를 위한 cascade mill 공정과 폐기물의 발열량을 증가시키기 위한 유동층 건조기 등을 포함한 적절한 기술 공정이 제안되어졌다. 건조 단계에서 나오는 증기는 보일러 공급수를 예열하는데 사용되고 수증기 생산의 효율을 증가시킨다. 제안된 결합 공정의 총 효율은 각각 독립된 공정에 비해 15% 효율이 높았다.

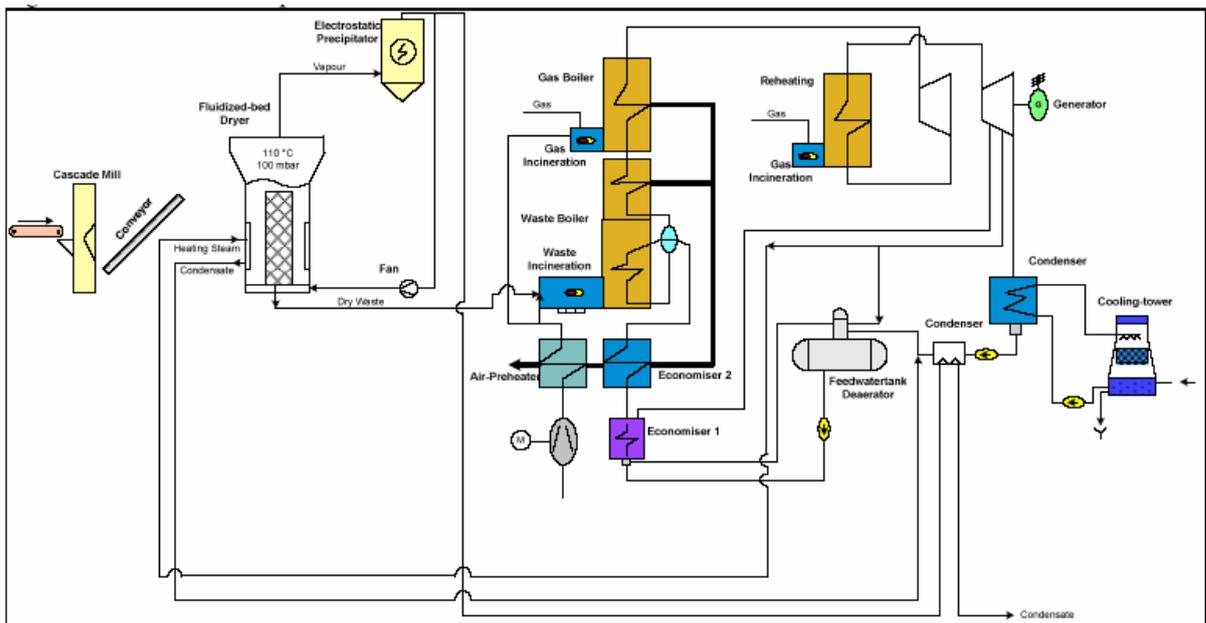


Figure 3: Full plant scheme.

제목: Operation status of MSW incinerator and development trend of new incineration technology

연구자: Y. Sato et al.

EBARA 사는 도시 고형 폐기물 관리 분야에서 40 년의 역사를 가지고 있다. 당사는 다양한 사회적 요구를 충족시키는 스토커 형태와 유동층 형태의 소각로 기술들을 개발하였다. 시험된 방법들은 많은 특징을 가지고 있고 각국의 필요에 맞게 공급하였다. 본 논문에서는 에바라사의 소각로의 기술적 개요와 특징에 대해서 설명하였다.

SESSION: Pyrolysis and gasification

제목: Comparative evaluation of gasification/melting processes for municipal solid waste treatment

연구자: S. Choi et al.

공해가 적게 배출되는 폐기물 처리 공정에 대한 사회적 요구가 증가하고 있기 때문에, 가스화/용융 공정이 기존의 도시 고형 폐기물의 대량 소각에 대한 대안으로 관심을 끌고 있다. 몇몇 엔지니어링 해결책이 제안되어지고 있고 첫번째 세대의 상업적 플랜트가 상업적 운전 에 돌입되기 시작하였다. 비록 제안되어진 플랜트가 폐기물 처리라는 같은 목적을 가지고 있지만, 이 공정은 공정과 운전 원칙이 기존의 것과 매우 다르다. 따라서 엔지니어링 설계의 적절성과 건축과 운영의 비용 평가 면에서 하나의 설계를 다른 설계와 비교하기는 어렵다. 본 연구에서는 상업적으로 제안된 플랜트의 설계 데이터를 요약하고 비교 평가를 시도하였다. 폐기물 입량과 각각의 로의 용량을 비교하여 가스화 용융로의 크기를 평가하였다. 용량-크기 관계를 나타내는 비교 값을 스토커 형태 소각로, 유동층 형태 소각로, blast furnace 에 대하여 체크하였다. 또한 가스화 용융로의 설계 기준도 제시하였다.

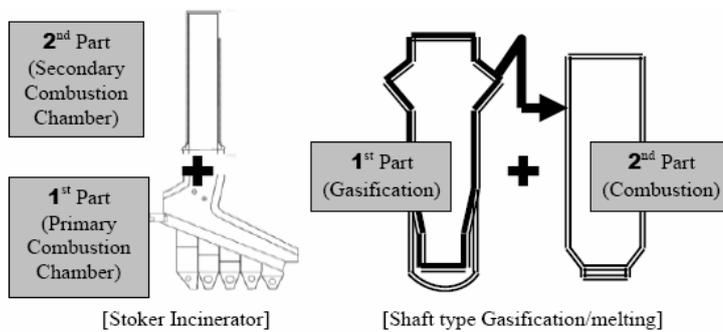


Figure 2. Concept of comparison: Stoker incinerator and Shaft furnace type gasification/melting

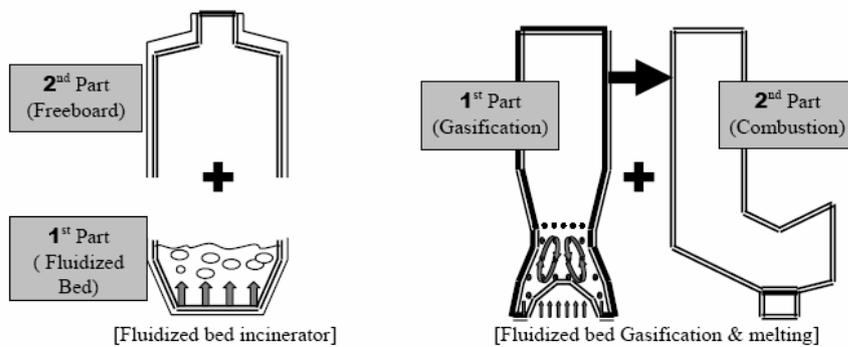


Figure 3. Concept of comparison: Fluidized bed incinerator vs. Fluidized Bed Gasification&Melting

제목: Operation data of MSW gasification and melting plant

연구자: T. Ito et al.

도시 고형 폐기물 소각 처리에서 가스화 용융 공정의 공정에 있어 일본에서 80 개 이상의 플랜트를 건축한 경험을 통하여, 엔지니어링, 운전 기술이 개발되었다. 현재 공정은 일본 시장에서 상당한 부분을 차지하고 있다. Kobelco Eco-Solution 사는 6 개의 가스화 용융 플랜트를 건설하였고 2 개의 새로운 프로젝트가 진행중이다. 본 논문에서는 ISHINOMAKI 플랜트의 운전 데이터를 보여주었다. 이 플랜트는 전형적인 유동층 가스화 용융 플랜트이다. 상업적 운전을 통하여 당사는 안정성, 안전한 운전, 낮은 운영비, 다이옥신 배출의 최소화, 재활용이라는 5 가지 성능을 만족하였다.

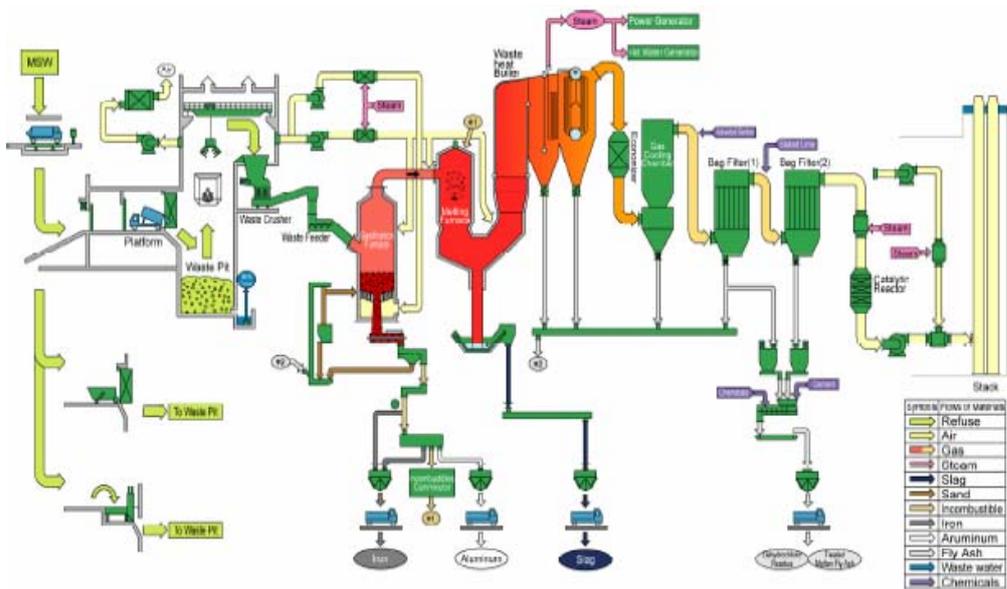


Figure1 Flow Diagram of ISHINOMAKI Plant

SESSION: Refuse Derived Fuel (RDF)

제목: The properties of carbonized RDF

연구자: Y.S. Choi et al.

2 가지 종류의 펠릿 RDF를 이용하여 탄화 효과가 염소 농도에 미치는 영향을 조사하였다. RDF-1 샘플은 100% 폐 플라스틱으로 이루어져있고 RDF-2 는 60% 폐 종이와 40% 폐 플라스틱으로 이루어져 있다. 스크류 형태의 탄화 반응기가 사용되었고 RDF 유입 속도는 3kg/hr 였다. 탄화 반응온도는 300, 350, 400, 450°C 였고 반응시간은 각각 5, 10, 15 분이였다. 반응시간과 온도가 증가할수록 염소 감소 속도가 증가하였으나 촉 수율은 감소하였다. 400°C, 반응시간 10 분에서 염소 감소 속도와 촉 수율 속도가 RDF-1 의 경우 각각 60%, 80% 였고, RDF-2 의 경우는 각각 80%, 75% 였다. RDF-2 에서 생산된 촉에 대하여 뜨거운 수증기를 공급하여 활성화 실험을 추가로 하였다. 활성화 시간이 증가함에 따라 요오드 수가 증가하였다. 활성화

화 시간이 20 분일 때, 요오드 수는 552mg/g 이었고 활성탄소의 수율은 16%였다.

제목: Pyrolysis characteristics RDF in pyrolysis chamber of a30kg/hr scale pyrolysis melting incinerator

연구자: D. Shin et al.

본 연구는 처리용량 30kg/hr 인 열분해 용융 소각로의 열분해 chamber 내에서 RDF 의 열분해 특성을 조사한 것이다. chamber 내부 벽온도와 유입 속도가 운전 인자로 선정되었다. 열분해 chamber 의 출구에서 배출되는 열분해된 RDF 의 무게가 측정되었다. 열분해된 RDF 의 성분은 proximate 분석과 ultimate 분석에 의해 측정되었다. 열분해 chamber 내부 벽에 위치한 화의 표면은 SEM 으로 관찰하였다. 열분해 가스의 농도는 GC 로 분석하였다. 열분해 chamber 의 내부 온도를 증가시킴으로써, 열분해된 것과 휘발성 성분의 무게가 각각 40.2%, 31.2%로 감소하였다. 또한 열분해된 RDF 의 발열량은 처음 원료 RDF 에 비해 83%까지 감소하였다. 내부 벽 온도에 따른 유입 속도를 변화시킴으로써, 열분해된 성분과 휘발성은 각각 47%, 26.3% 감소하였다. 또한 열분해된 RDF 의 발열량은 처음 원료 RDF 에 비해 최대 88% 까지 감소하였다. 열분해 chamber 의 내부온도와 유입속도를 높일수록 열분해 가스에서 탄화수소의 양과 종류는 증가하였다.

SESSION: Biomass and coal combustion

제목: Gasification process of Tsukishima Kikai Applied to CHP system of woody biomass to create new energy

연구자: H. Nagase et al.

Tsukishima Kikai 의 가스화 시스템, 즉 열과 전력을 함께 생산하는 시스템(CHP)이 소규모 플랜트용으로 제안되어졌다..

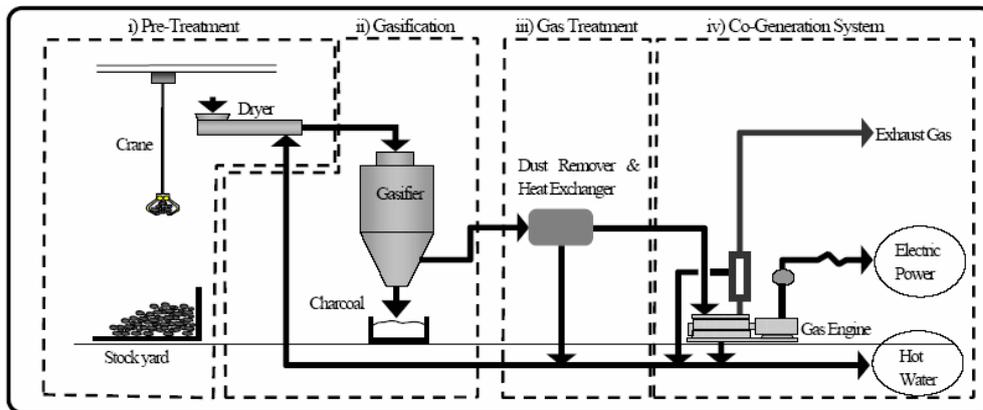


Fig. 2 Flowchart of the gasification system

이때 미사용된 임산 잔유물이 목재 바이오매스로 사용되었다. Tsukishima Kikai 사는 Kuzumaki

시에서 운전 안전성과 시스템의 재현성을 위한 실증 테스트를 하였다 또한 목재 칩의 습기량의 변화량과 타르가 안전한 전력 생산에 미치는 영향을 주로 조사하였다. 테스트 결과 안전한 전력 생산이 검증되었고 시스템도 매우 안정하다는 것이 밝혀졌다.

제목: A high temperature reformer technologie; its application to gasification of carbonaceous wastes

연구자: H.Y. Kim

연소와 소각 반응기에 대한 대안으로 1200°C 이상에서 운전되는 개질기가 제안되었다. 이 개질기는 건조와 소각 후에 남는 타르 형태의 하수 슬러지 같은 물질을 가스화 하는데 적합하다. 회재로 남는 이런 잔유물은 처음 슬러지의 약 3wt%에 달하고 가스화 한 후에는 5wt% 미만으로 줄일 수 있다.

개질 반응은  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ,  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$  의 두 가지 반응이다. 첫번째 반응은 수증기 개질반응이고 두번째는 건조 개질반응이다. 이 반응은 흡열반응이고 고온에서 일어나고, 특히 1200°C 이상에서 일어난다는 것이 알려졌다.

이 온도에서 모든 형태의 탄소성 물질이 효과적으로 일산화탄소와 수소로 변환한다. 또한 회재는 거의 없었고 오직 소량의 금속만 남았다. 본 개질기는 이처럼 매우 환경친화적이므로, 하수 슬러지외에도, 독성 유기 폐기물, 병원 폐기물 등의 처리에도 매우 적합하다.

SESSION: Emission Control

제목: The field test of hot gas filter system at MSW incineration plant

연구자: T. Aso et al.

본 연구팀은 오사카시에 있는 MSW 소각로에 고온 가스 필터 실증장치를 설치하였다. 소각로에서 나오는 배가스의 일부를 실증장치로 흐르게 하여 현장 테스트를 하였다. 장치의 용량은 800°C에서 1000m<sup>3</sup>/h 였다. 고온 가스 필터에 사용된 필터 요소는 sintered cordierite로 만들어졌다. 현장 테스트는 총 3000 시간동안 행해졌다. 필터 입구에서 먼지의 농도는 1.2g/m<sup>3</sup> 이고 필터 출구에서 농도는 0.01 g/m<sup>3</sup> 미만이었다.

제목: New dry-type gas treatment system using sodium-based agent for MSW incinerator

연구자: M. Miyagawa et al.

현재 일본에서 MSW 소각로에서 나오는 배가스의 산성 가스를 처리하는 방법은 fabric filter 이전에 slaked lime agent 를 배가스안에 투입하는 것이다. 대부분의 경우, 이들 fabric filter 에 의해 회수된 비산재는 킬레이팅과 같은 중금속 안정화 처리를 한 후에 매립되어진다. 결과적으로 매립 부지의 부족은 일본에서는 주요한 사회적 관심사가 되고 있다. 매립 물질에서의 배출을 0 으로 하기 위해 본 연구팀은 나트륨 기반의 “Saltycle”이라는 매개제를 사

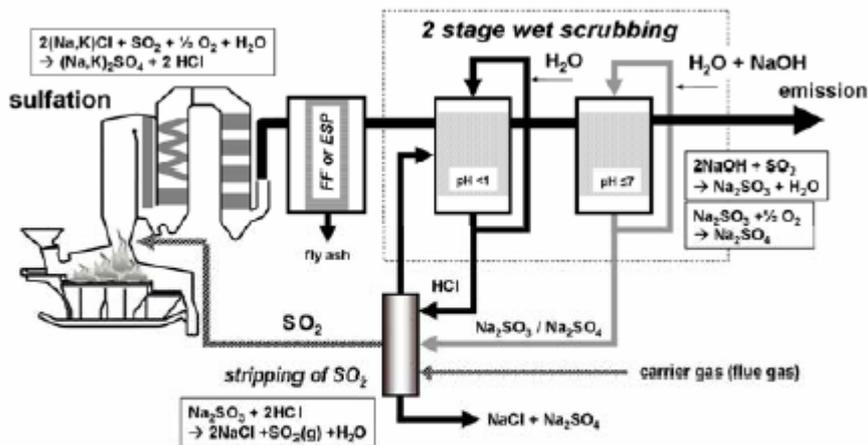
용하여 새로운 dry-type 배가스 처리법을 개발하였다. Saltycle 의 탈 염소 효율은 파일럿 테스트 결과 매우 높고 안정한 시스템으로 판명되었다.

SESSION: Dioxin Issue

제목: A new process to reduce PCDD/F formation in MSWI

연구자: H. Hunsinger et al.

MSWI에서 PCDD/F의 형성은 주로 보일러 내부의 탄소와 염소를 함유한 회재 침적물에서 de-novo 합성을 통하여 발생한다. 높은 SO<sub>2</sub> 농도는 침적된 회재에 sulfation을 야기하고 염소 농도를 줄이게 된다. 따라서 PCDD/F의 생성 속도는 매우 낮게 된다. 높은 SO<sub>2</sub> 농도는 process-integrated SO<sub>2</sub> cycle에 의해 공정내에 존재하는 SO<sub>2</sub>만 사용하여 경제적인 방법으로 확립될 수 있다. S-recycle 공정은 CaO 입자를 배가스에 전달하는 속도를 늦춤으로써 지원될 수 있다. 이때 고온 탈황 반응을 피하기 위하여 낮은 공기 비율을 사용한다. 추가적인 황의 주입은 필요하지 않다. 수은 같은 다른 오염물의 분리 같은 부정적인 효과도 없었다. 파일럿 테스트 결과, PCDD/F의 배출 수준은 규제치보다 매우 낮음을 알 수 있었다.



Schematic presentation of the S-recycle process (alkali sulfite option)

제목: Dioxin and furans emissions from hospital waste and chlorinated sludge incineration

연구자: G. Minini et al.

PCDD 와 PCDF 의 형성에 영향을 미치는 인자들이 실험규모의 병원 폐기물 소각로와 실험규모의 염소계 하수 슬러지 소각로에서 연구되었다. 연구 결과, 병원 폐기물은 잠재적인 PCDD/F 와 PAHs 배출원으로 판명되었다. 염소계 하수 슬러지의 소각은 유동층과 로타리 킬

른형 두가지로 실시되었다. 그 결과, 유동층의 경우가 PCDD/F의 농도가 더 높았다. 특히 높은 염소 농도와 구리의 존재가 PCDD/F의 생성을 촉진하였다.

#### SESSION: Ash

제목: Study on heavy metals and dioxins in fly ash from typical MSW incinerator in China

연구자: L. Xiaodong et al.

본 논문에서는 도시 고형 폐기물 소각로의 stoke grate 에서 두개의 비산재 샘플(FA1, FA2)을, 유동층에서 2 개의 비산재 샘플(FA3, FA4)을 각각 채취하여 중금속과 다이옥신의 배출을 분석하였다. 4 개의 비산재에서 중금속의 배출거동은 매우 달랐다. 두 개의 stoke grate 샘플에서 Pb 값은 유동층 샘플보다 더 높았다. MSW 원료 물질의 복잡한 특성으로 인하여 이들 차이에 대한 정확한 이유를 설명하지는 못하였다. 그러나 이 결과로 미루어, 유동층이 다이옥신 조절에 유리함을 알 수 있다. 또한 소각로의 형태에 따라 PCDD/F homologue 의 패턴도 달랐다. Stoke grate 에서 PCDD 와 PCDF 의 생산은 비슷했으나 유동층 소각로에서는 PCDD 가 PCDF 보다 낮게 생성되었다. Stoke grate 에서 주요한 congener 는 PeCDD/Fs, HxCDD/Fs, HpCDD/Fs 이고 유동층에서는 TeCDF, PeCDF, HxCDF 가 주요한 congener 였다.

제목: Study on melting condition of fly ash and bottom ash for efficient recovery of Pb and Zn from melting furnace fly ash

연구자: T. Okada et al.

MSW 회재-용융 공정에서 생성된 비산재, 즉 용융로 비산재(MFA)는 납과 아연을 상당량 포함하고 있기 때문에 가치 있는 자원이다. 그러나 여기에는 원하지 않는 물질인 Al, Ca, Cu, Fe, Si도 함께 존재하고 있다. MFA에서 납과 아연을 효율적으로 회수하기 위하여 납과 아연의 전달 속도를 최대화하기 위한 용융로의 운전 조건을 찾는 것이 바람직하다. 본 연구는 실험실 규모 반응기를 사용하여 이 같은 반응조건을 찾고자 하였다. 결과적으로 질소분위기 하의 1400°C에서 80-100%의 납과 아연이 MFA로 전달되었고 나머지 금속들 100%는 슬래그로 남았다.

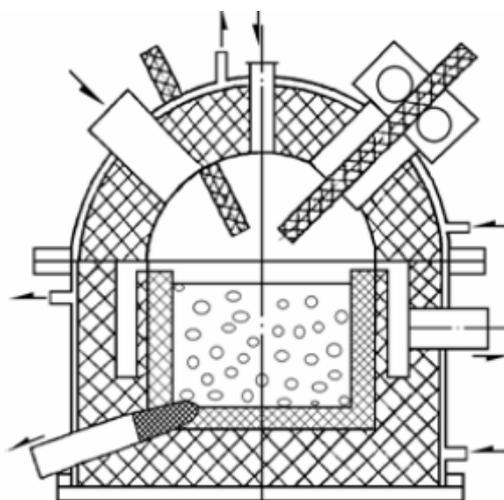
#### SESSION: Hazardous Waste & Melting Process, Shredder Residue

제목: Plasma pyrolysis of hazardous waste from chemical plant

연구자: H. Sheng et al.

수소를 플라즈마 가스로 사용한 150 kW AC 플라즈마 아크 반응기를 이용해 두 가지 종류의 유해폐기물의 파괴와 제거 효율을 조사하였다. 플라즈마 아크에 의해 가열된 반응 면적

의 평균 온도는 1600°C 이상이였다. 따라서 유해 유기 폐기물이 급격히 간단한 분자로 열분해되었다. 또한 SiO<sub>2</sub>와 CaO 같은 첨가제는 용융 상태까지 가열된 후 급격히 냉각되어 무정형의 유리 구조를 형성하였다. 첫번째 종류의 폐기물의 경우, off-gas를 검사한 결과, PCDDs, PCDFs, PCBs는 검출되지 않았다. 고체 잔사유는 PCBs를 1.28mg/kg - 12.9mg/kg 범위에서 포함하였다. 이 수치는 유해 폐기물의 국가 배출 한계보다 한참 낮은 수치이다. 이 결과는 플라즈마 열분해 기술이 엄격한 유해 폐기물의 기준치를 완벽하게 충족시킬 수 있음을 보여준다. 그러나 본 연구에서 얻어진 유리화한 슬래그 일부는 치밀하지 않고 엉클어져 있다. 즉 이것은 첨가제의 비율이 적절치 않아서 유리화 과정이 실패했음을 보여준다. 유리화 슬래그의 메커니즘 연구를 위한 30kW DC 플라즈마 아크 반응기를 이용하여 추가 연구가 진행될 것이다.



Sketch of AC Plasma Reactor

제목: Catalyzed dechlorination of PCBs by SDMA(sodium bis(2-methoxyethoxy)aluminum hydride) and catalysts

연구자: S.S Seo et al.

Co(II)와 Ni(II) 2,4-pentanedionates 를 촉매로, SDMA 를 수소 공급체로 하여 PCB 의 탈염소화를 연구하였다. 제거하기 위한 목적 화합물은 Aroclor 1242 와 1254 이다. PCBs 의 분해는 초기에 급격히 일어났다. PCBs 의 분해효율면에서 촉매보다는 SDMA 가 더 효과적이었다. PCBs 분해는 촉매와 광유에 따라 다양한 결과를 나타내었다. 또한 PCBs 분해는 homologue 분포 특성에 크게 영향받았다. 광유를 사용했을 경우, Aroclor 1242 는 광유가 없을 때보다 분해 효율이 낮았으나, 1254 의 경우는 차이가 없었다. 촉매는 Aroclor 1242 에 크게 영향을 미쳤다.