

# 국·내외 소각 신기술 동향

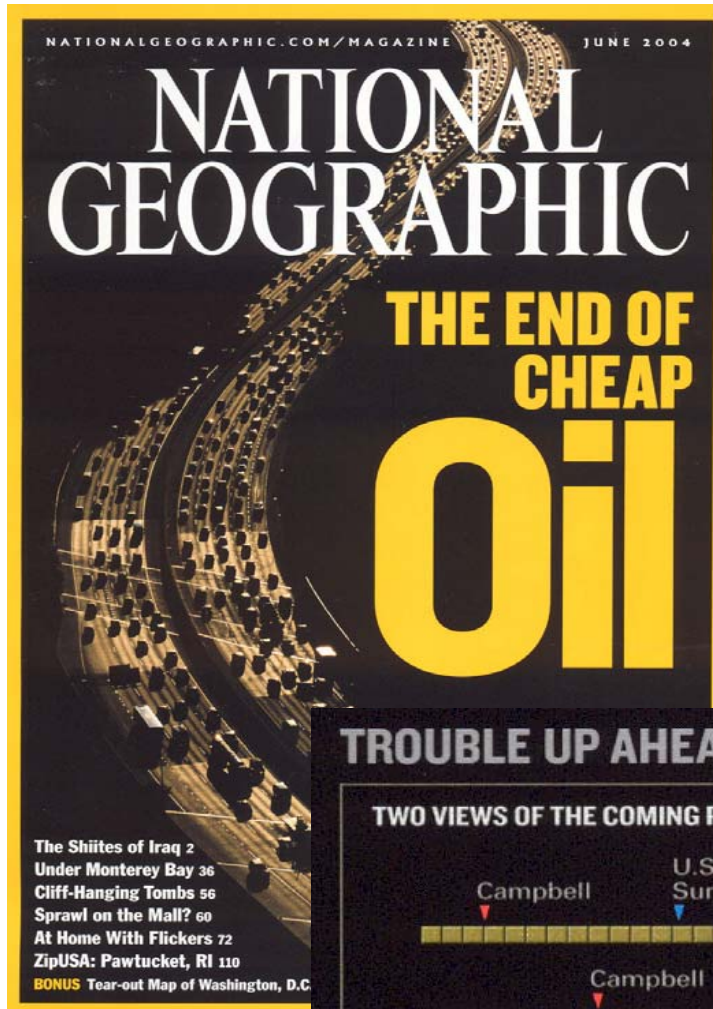
2004. 11. 5.

윤 용 승, 이 승 무\*

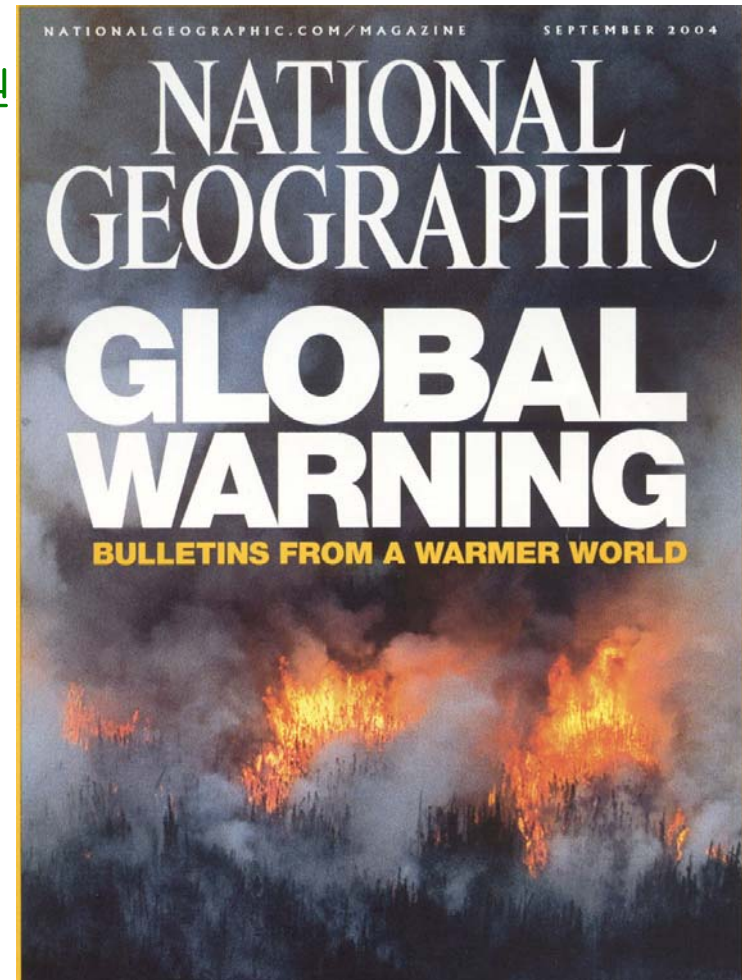
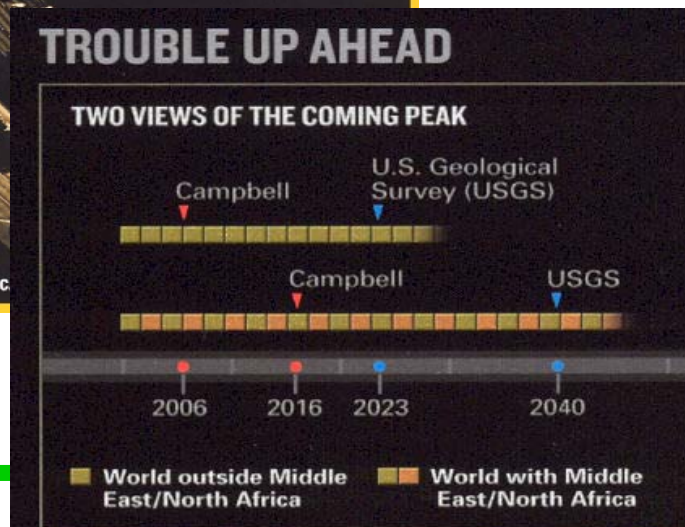
고등기술연구원 플랜트 엔지니어링센터

\*(사)한국소각기술협의회 회장

# 신소각기술의 화두 : 에너지원으로 활용, 지구환경 보호



□ 폐기물에너지원  
활용 :  
단순 스팀 활용  
→ 합성가스로  
고효율 추구



□ 지구환경 보호 : 고효율 소각,  
공해물질 저감

# 소각로의 형식 분류

처리 방식	형 식	비 고
직접 소각	화격자식 (Stoker Type) 유동상식 (Fluidized-Bed Type) 고정층식 (Fixed-Bed Type) 회전로식 (Rotary-Kiln Type) 혼합방식 (Mixed Type)	-국내에 가장 많이 설치, 운영중 -국내에 소수설치, 운전조건이 까다로움 -소형 소각로에 적용되고 있음 -소형소각로에 적용되고 있음
열분해/ 연소•가스화	유동상식 (Fluidized-Bed Type) 고정층식 (Fixed-Bed Type) 회전로식 (Rotary-Kiln Type) 진공식 (Vacuum Type) 간접가열식 (Indirect Heating Type)	-국내에 도입 초기단계임 -선진국에서 개발단계 및 상용화 단계에 있음

# 소각재 용융방식의 분류

용융 매체	용융 방식	비 고
연료용융	표면 용융 (Surface Melting) 내부 용융 (Internal Melting) 선회류 용융 (Swirl Melting) 코크스베드용융 (Cokes-Bed Melting)	-소각재의 상부표면에서 가열 -소각재 내부에서 미연소분말의 연소 -소각재를 선회류로 투입하여 용융 -소각재에 코크스를 혼합하여 용융
전기용융	아크 용융 (Arc Melting) 플라즈마 용융 (Plasma Melting) 전기저항용융(Electric Resistance Melting) 유도가열 용융(Induction Heat Melting)	-아크 방전을 이용 -플라즈마 방전을 이용 -전기저항열을 이용 -코일의 유도 전기열을 이용

# 소각 신기술의 방식 구분

## 1) 기존방식의 직접소각 + 소각재용융 방식

- 직접소각 방식 : 스토커, 유동상, 로타리킬른 등
- 소각재 용융방식 : 보조버너, 크크스베드, 산소부화, 전기아크, 플라즈마 등

## 2) 폐기물을 직접 용융 방식

- 고정층, 코크스 베드, 플라즈마 등

## 3) 폐기물을 열분해 + 용융 방식

- 열분해 가스화 등

# 국내 소각신기술 도입 현황 및 개발사례

기술개발 및 도입대상	시스템 개요	개발 및 도입내용	비 고
<u>상업용 소형소각로 개발</u> 고려소각로공업(주)	중형규모 소각로 (200-2,000 kg/시간)	건류 소각시스템 개발 폐열 회수시스템 개발	신기술 인증
<u>유동상식 슬러지 소각</u> (주)한솔제지	Pilot 5 톤/시간 규모	유동층 슬러지소각로 개발	산업자원부 99-01 지원
<u>Plasma 용융</u> 삼성중앙연구소	Pilot 규모	Plasma 용융기술 도입	기술도입 러시아
<u>Thermoselect 열분해용융</u> (주)대우건설	유럽, 일본 상용급	열분해가스화용융 방식 기술도입	기술도입 Thermoselect사
<u>R-21 열분해용융</u> 이테크이엔시	유럽, 일본 상용급	열분해용융 소각로 기술도입	기술도입 미쯔이조선
<u>코크스베드 용융</u> 포스코건설	일본 상용급	크크스베드 용융 방식 기술도입	기술도입 신일본제철
<u>스토커 방식</u> 대우조선공업(주) / (주)대우건설	50톤/일급 규모	대우형 역진식 구동 화격자 및 연소실 현상 설계기술	자체개발 환경신기술 인증
<u>Plasma 용융</u> 삼성중공업	중형규모	소각재 용융기술 도입	기술도입
<u>선화가열식 슬러지용융</u> 고등기술연구원	Pilot 5톤/일급 규모	슬러지용융기술	자체개발 환경신기술 '03 지정
<u>킬른+버너/전기가열식</u> 재용융 에틴시스템(주)	Pilot 규모	소각재 용융	자체개발 환경신기술 '04 지정

# 유럽에서의 열분해-연소/가스화 용융기술의 현황

열분해가스로	업 체	기술 방식	건설 실적	비 고
Pusher형	Thermoselect (스위스)	열분해가스화용융 + 가스화 개질방식 (Thermoselect 방식)	100톤/일x1기, 이태리 1994 240톤/일x3기, 독일 칼스루헤 1999 240톤/일x1기, 독일 안스바하, 2000 240톤/일x2기, 스위스 데치노, 2000 150톤/일x2기, 일본 지바시, 1999	日本 가와사키 제철과 기술제휴
스토커로형	Von Roll (스위스)	Duotherm 방식	144톤/일x1기, 독일, 1997	日本 히다치조선과 기술제휴
회전로형	PKA (독일) PKA-Japan	열분해가스화용융 + 가스화 개질방식	15톤/일x1기, 독일(산업폐기물 대상) 60톤/일x1기, 독일 60톤/일x1기, 독일(산업폐기물 대상)	日本 도시바와 기술제휴
	Noell사 (독일)	Noell 방식	12톤/일x1기, 독일 실증플랜트 120톤/일x1기, 독일(산업폐기물), 1999 750톤/일x1기, 독일, 130MWh 발전	日本 가이시사와 기술제휴
	Ziemems (독일)	열분해 + char 분리 선회용융방식	6톤/일x1기, 독일 실증플랜트 480톤/일x1기, 독일 헬루스시	日本 미쓰이조선, 다쿠마와 기술제휴



# 일본의 열분해 가스화용융 설비 현황 (2000년 1월 기준)

열분해-가스화 방식의 구분	업 체 (프랜트메이커)	열분해-가스화 용융방식	개 발 실 적	가동년월
유동상형 가스화용융방식	에바라 제작용소	선회유동상 + 선회용융로	20t/일, 실증플랜트, 당사공장 내	1997.07
유동상형 가스화용융방식	에바라 제작용소	선회유동상 + 선회용융로	225t/일×2기, 17800kW 발전	2000.03
유동상형 가스화용융방식	에바라 제작용소	선회유동상 + 선회용융로	98t/일×2기, 山形현	2000.03
유동상형 가스화용융방식	에바라 제작용소	선회유동상 + 선회용융로	140t/일×3기, 川口市	2002.11
유동상형 가스화용융방식	가와자기 중공업	유동상 + 선회용융로	30t/일, 지바시	1998.03
유동상형 가스화용융방식	고베 제강소	"	30t/일, 青森市, 실증플랜트	1998.08
유동상형 가스화용융방식	고베 제강소	"	60t/일, 上北청소센터	2000.11
유동상형 가스화용융방식	히다찌 조선	"	33t/일	1998.03
유동상형 가스화용융방식	일본 가이시	"	25t/일	1998.08
유동상형 가스화용융방식	미쯔비시 중공업	유동상 가스화로 + 연소로 + 선회용융로	20t/일, 4t/일	1998.12
유동상형 가스화용융방식	바프록 히다찌	유동상 + 선회용융로	10t/일, 廣島竹原市	1998.04
유동상형 가스화용융방식	栗本鐵工, 三機工業, 東レエンジニアリング, 유니티카	"	10t/일, 공동개발, 시즈오카현	1998.04
유동상형 가스화용융방식	住友重機械工業	순환유동층(Krupp Uhde) + 회전로	20t/일, 자사 내	1998.11
유동상형 가스화용융방식	쯔기시마기계	유동층 + 선회용융로	20t/일, 도찌기현	1999.11
킬른형 간접 가스화용융방식	미쯔이 조선	킬른식 가스화로 + 선회용융로	110t/일×2기, 八女西部	2000.04
킬른형 간접 가스화용융방식	미쯔이 조선	킬른식 가스화로 + 선회용융로	200t/일×2기, 도요바시시	2002.04
킬른형 간접 가스화용융방식	다쿠마	"	90t/일, 산업폐기물 대상, 실증플랜트	1998.06
킬른형 간접 가스화용융방식	다쿠마	"	20t/일, 福岡市, 쓰레기 대상	1998.06
킬른형 간접 가스화용융방식	IHI 구보타	킬른식 가스화로 + 회전식 표면용융로	20t/일, 공동개발, 자사 내	1998.07
킬른형 직접 가스화용융방식	도시바	킬른식 가스화로 + 용융로 + 가스크래킹(PKA)	4.6t/일, 요코하마시	1998
킬른형 직접 가스화용융방식	일본 가이시	킬른식 가스화로 + 용융로 + 가스크래킹(Noell식)	-	유럽에 있는 것
킬른형 직접 가스화용융방식	히다찌 제작용소 바프록 히다찌	킬른식 가스화로 + 용융로 (Thide/프랑스)	20t/일 공동개발	1999.02
Pusher형 가스화용융방식	가와사키 제철	Pusher식 가스화 + 용융로 + 가스크래킹(Thermoselect/스위스)	150t/일×2기 = 1기는 산업폐기물 대상 = 1기는 쓰레기 대상	2000.04 1999.09
스토커형 가스화용융방식	히다찌 조선	스토커형 가스화로 + 용융로 (VonRoll/스위스)	독일 실증플랜트 이용	1997.07



# 일본의 대표적 소각신기술별 업체

소각신기술 형태	업체명
유동상식 + 용융로	에바라, 수미모토, KHI, MHI, 히다치조센, 고베스틸
열분해 킬른 + 용융로	미쓰이, 다쿠마, 도사바, 히다치조센, IHI
샤프트로 (updraft 가스화기)	니폰스틸, JFE(NKK)
고온가스화	에바라, JFE(가와사키), 미쓰비시 Materials

# 소각신기술의 전세계적 최근 동향

- 소각신기술의 원천기술은 주로 유럽에서 개발, 실증설비 및 상용화 단계까지 개발
- 이를 일본이 도입, 자국의 실정에 맞게 세부적인 기술 문제점들을 보완하여 상용플랜트로서 완성하는 단계

## □ 현재 상황

유럽

Stalled – lots of interest, but no action

미국

None (except for a very few States/companies)

캐나다

Interest is picking up

오스트레일리아

Interest is dying down

일본

Very active

- 국토가 좁아 매립이 어렵고 소각이 폐기물처리의 기본축인 일본의 경우에 기존의 소각기술을 대체하는 대안으로서, 소각신기술에 대한 활동이 매우 활발함 (국내와 상황 유사)

# 각국의 소각신기술 방식 정착에 걸림돌이 되는 인자

일 본

State of the economy (경제성)

미 국

Cheap disposal (in most States), delays to RCRA (Resource Conservation and Recovery Act)

유 럽

Process risk

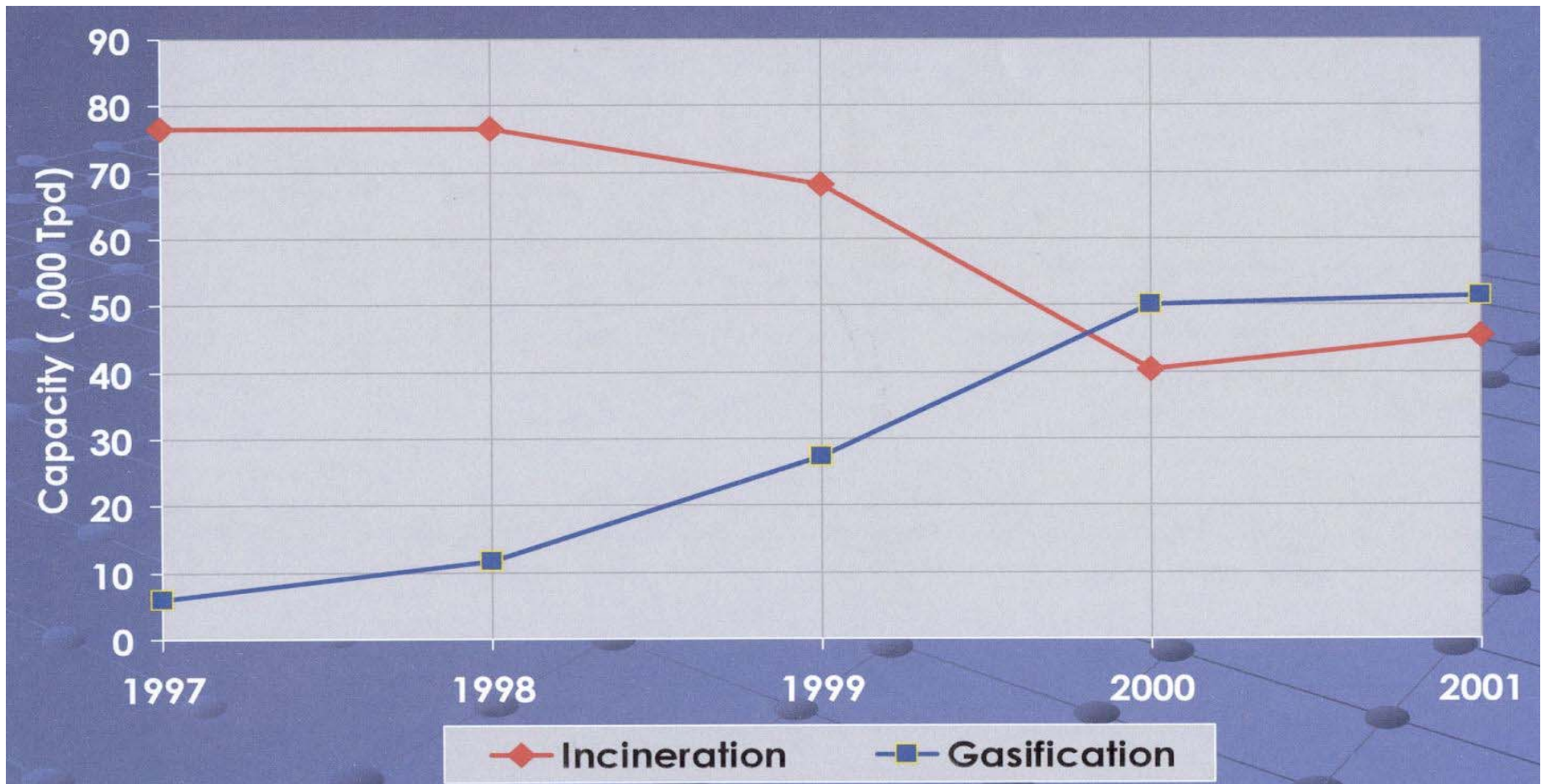
카나다

Increased costs

오스트레일리아

Cheap disposal, disillusionment with suppliers

# 일본의 소각설비 기술별 발주추이 ('97-'01)



□ 일본의 경우 **2000년을 기점**으로 지자체 소각설비 발주 용량이 **기존 스토커연소 방식**보다 **열분해/가스화 신기술 방식**이 더 많아짐.

□ 소각관련 국토 상황이 일본과 유사한 국내의 상황에 시사하는 바가 큼.

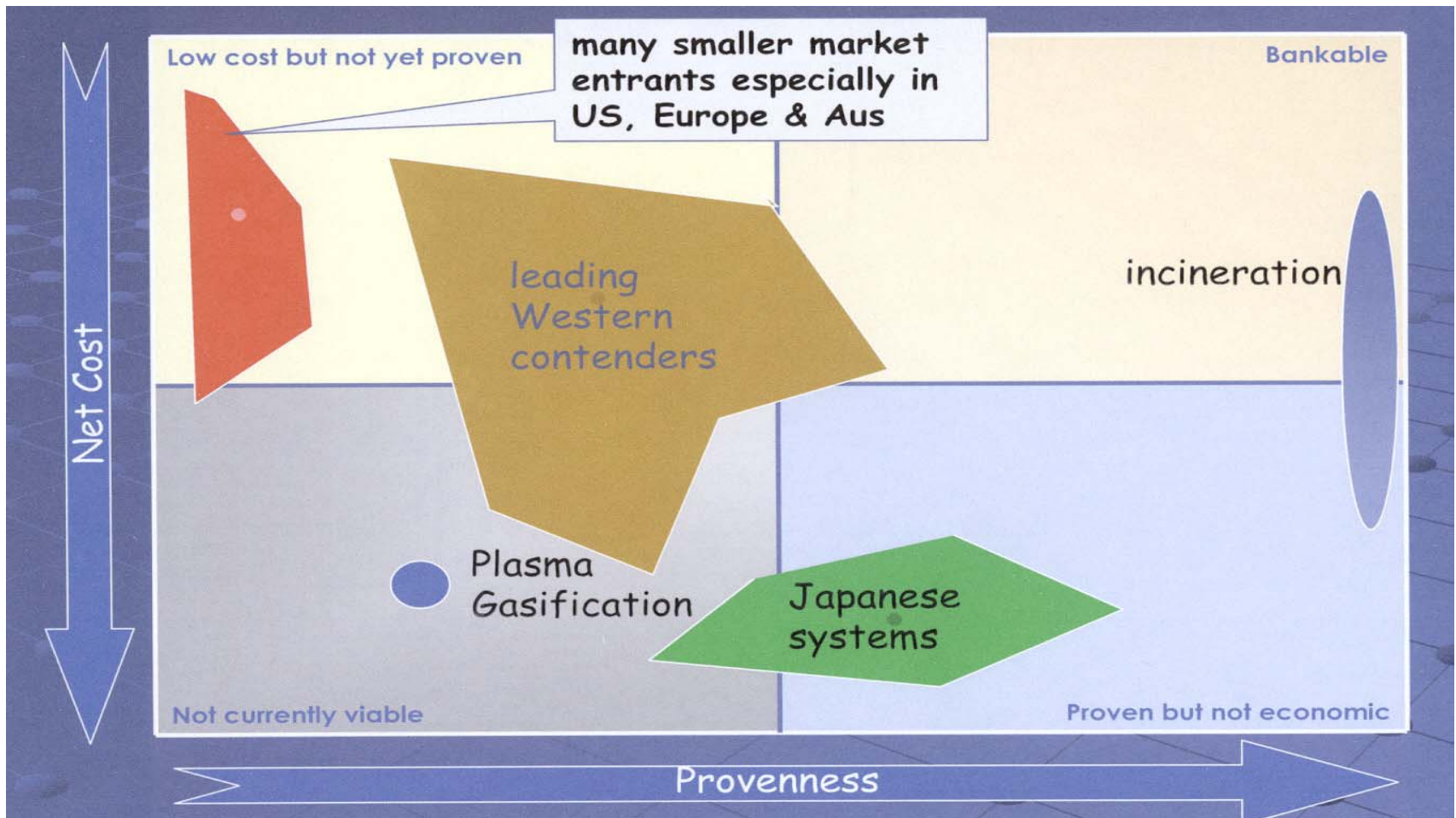
KACIT

# 세계 대표적 10개의 폐기물 열분해가스화 용융 플랜트

위 치	용량 (톤/년)	공 정	운전시작	공정 형태
SVZ, 독일	250,000	Envirotherm BGL	2001년	가스화 + 용융
Karlsruhe, 독일	225,000	Thermoselect	2001년	가스화 + 용융
Ibaraki, 일본	135,000	Nippon Steel	1980년	가스화 + 용융
Aomiro, 일본	135,000	Ebara	2001년	유동층 가스화 + 연소 + 용융
Kawaguchi, 일본	125,000	Ebara	2002년	유동층 가스화 + 연소 + 용융
Toyohashi, 일본	120,000	Mitsui	2002년	열분해 + 연소 + 용융
Akita, 일본	120,000	Nippon Steel	2002년	가스화 + 용융
Oita, 일본	115,000	Nippon Steel	2003년	가스화 + 용융
Chiba, 일본	100,000	Thermoselect	2002년	가스화 + 용융
Hamm, 독일	100,000	Techtrade	2002년	열분해 + 연소

□ 최근 대부분 설비는 일본에 위치함.

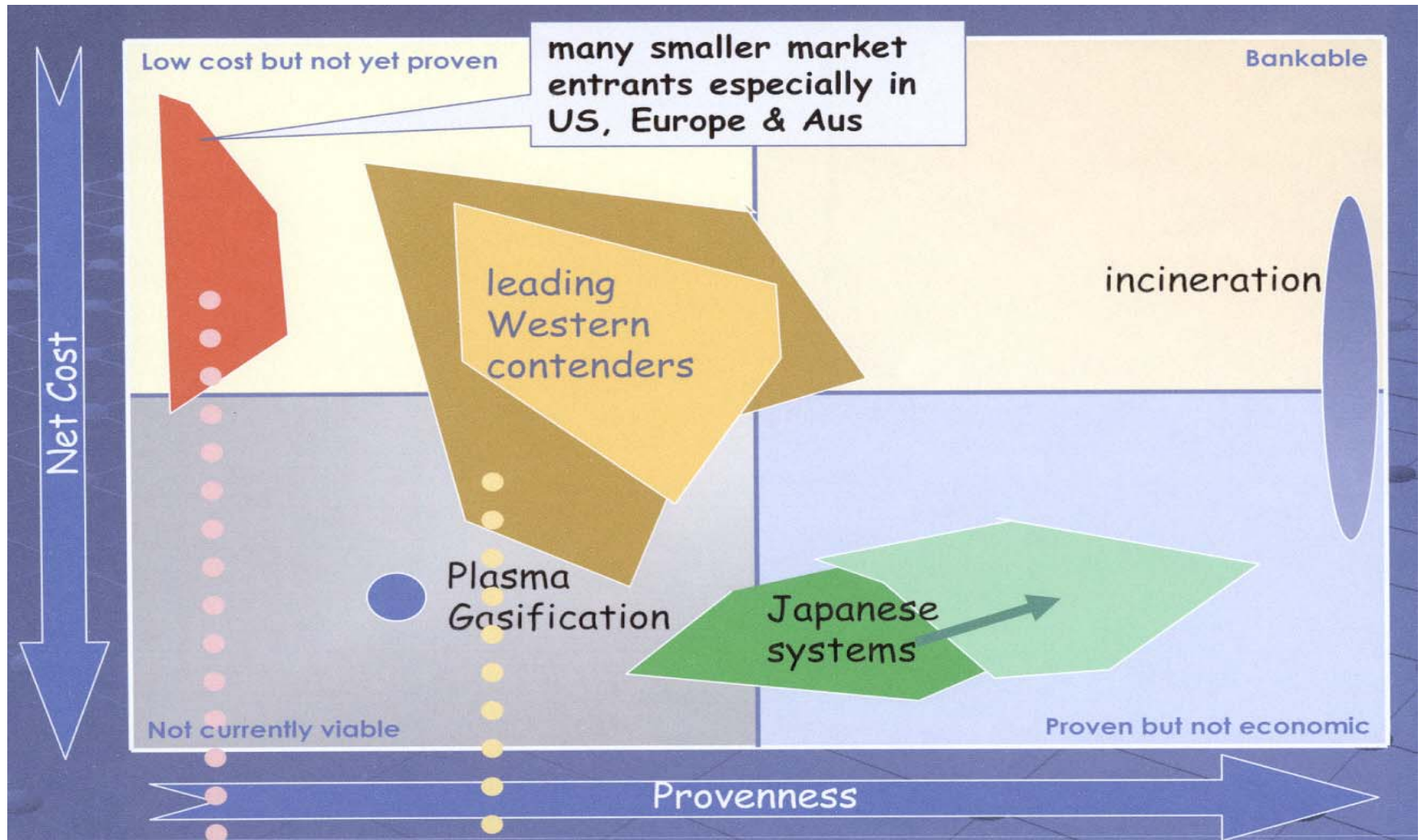
# 전세계 소각신기술의 경제성과 기술신뢰도 측면 현황 분석



- 비용과 기술 신뢰도 측면에서 기존 소각기술에 비해 뒤진 상태임.
- 일본에서 기존 유럽시스템을 비용은 더 지불하나, 기술신뢰도는 크게 향상시킴.
- 에너지 이용과 환경적 우수성은 월등함.



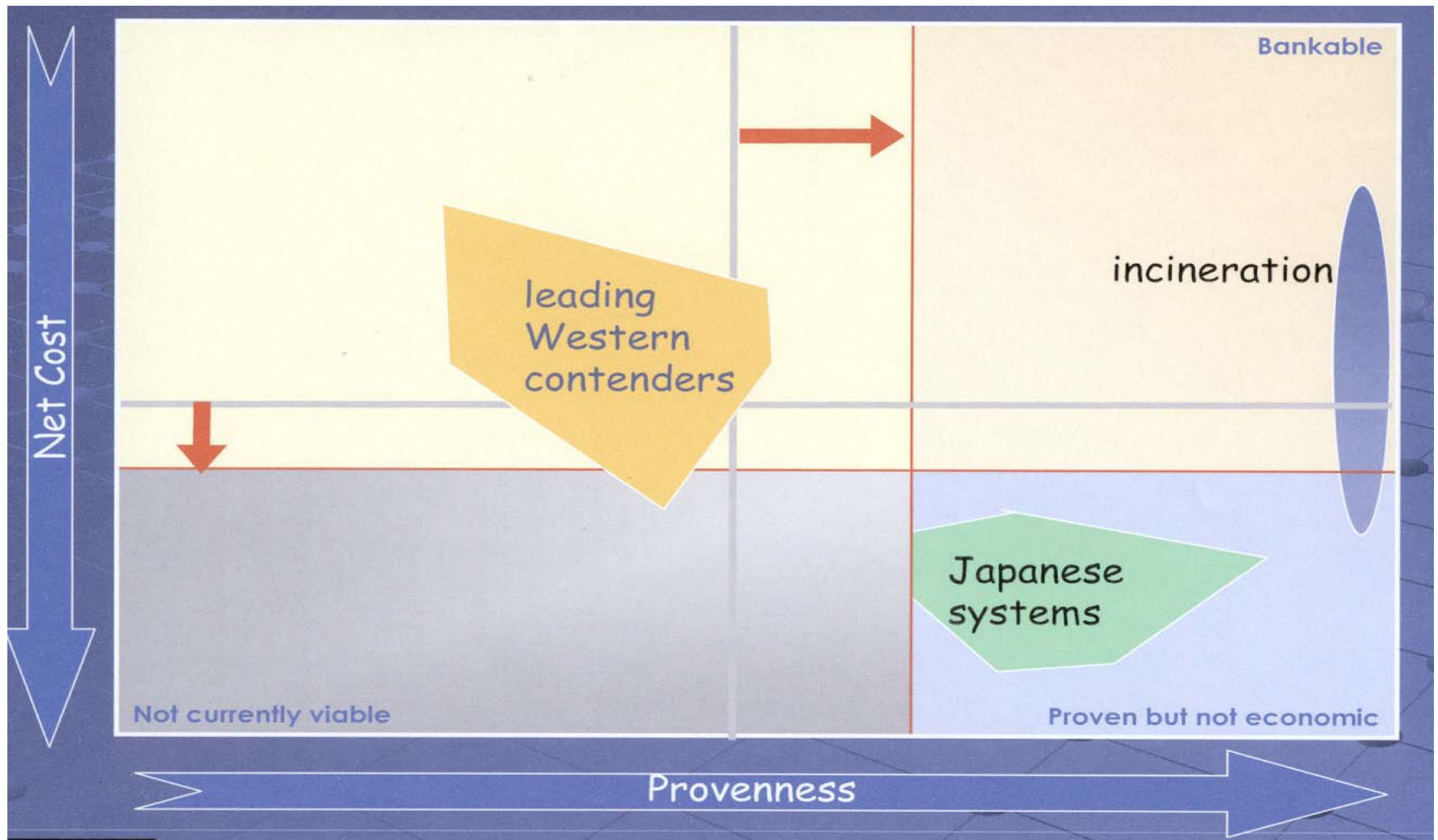
# 최근의 소각신기술 건설비와 기술신뢰도 동향



□ 최근 일본에서 설비의 신뢰도가 크게 향상 중이고, 건설비도 일부 저감 진행 중



# 시장에서의 요구사항



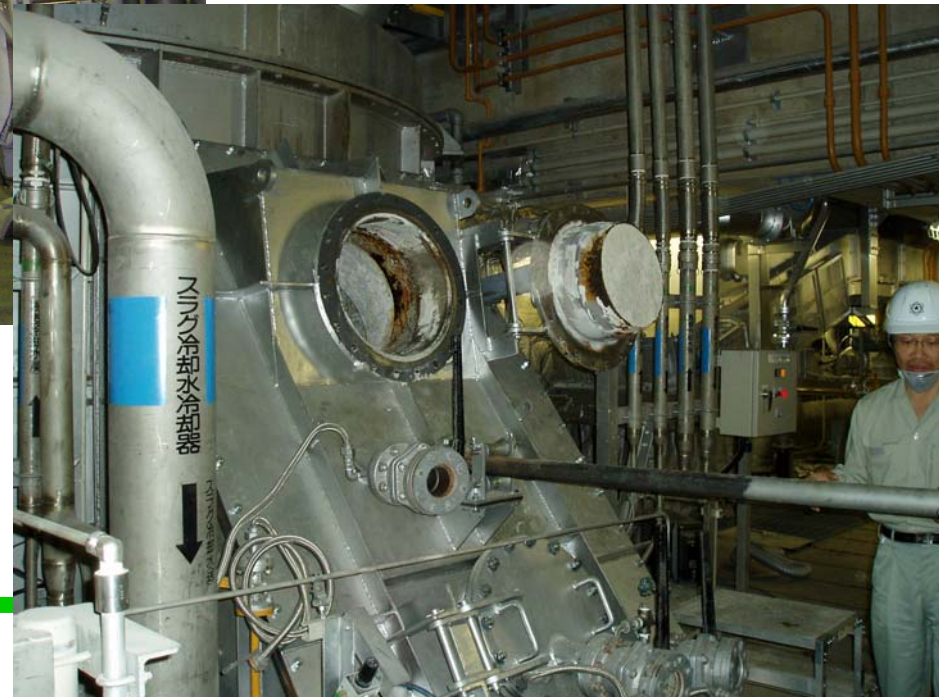
- ❑ 투자비는 일부 비싸더라도, 기술의 고신뢰도를 요구함.

# 일본 홋카이도 Shiroishi 소각공장 플라스마 재용융 설비

(플라스마용융 재처리 70톤/일급)



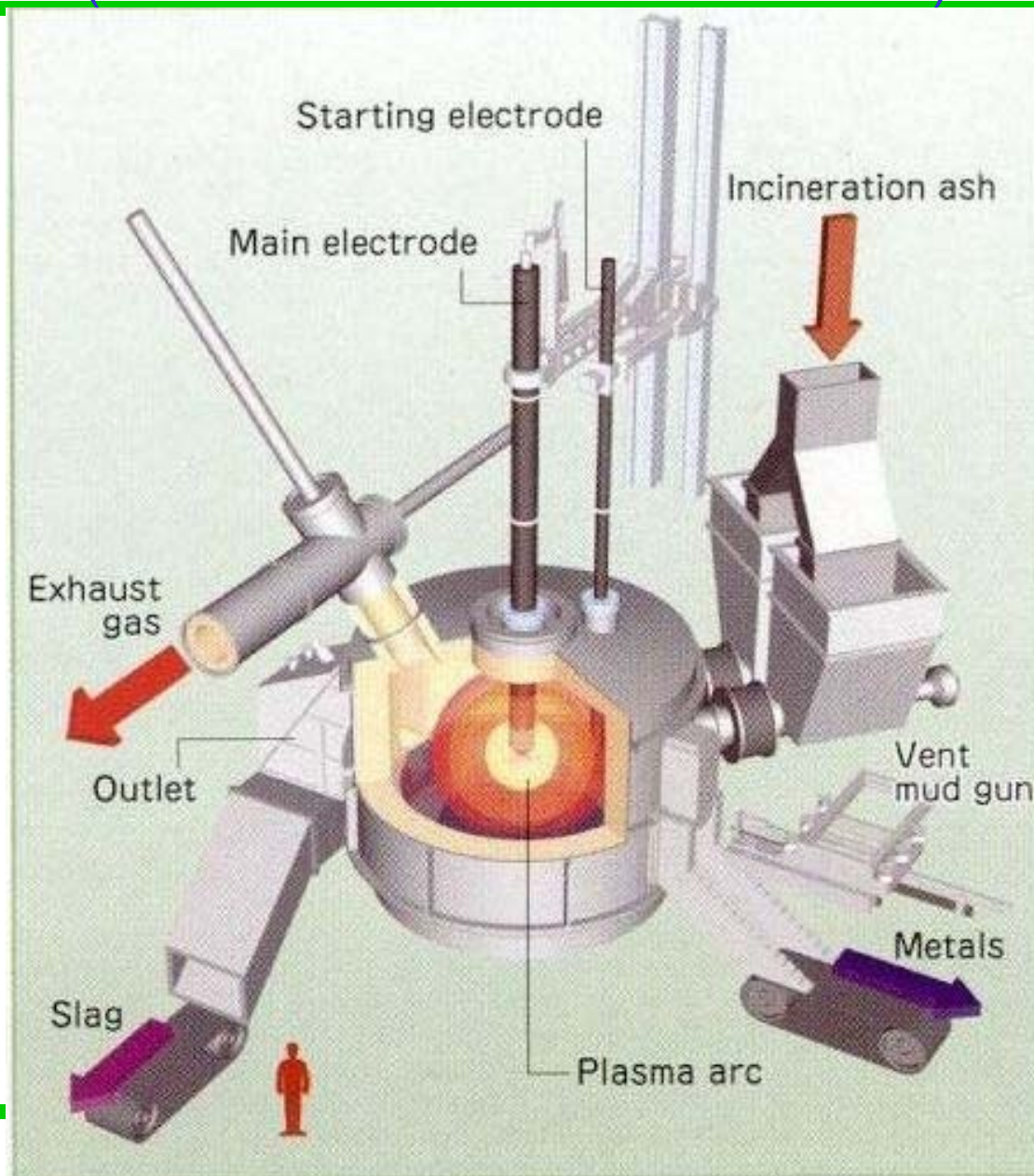
□ 70톤/일급 2기 건설비: 108억엔  
(톤당 약 7.87억원)





# 일본 Shiroishi 소각공장 플라스마 재용융 설비

(플라스마용융 재처리 70톤/일급)



# 독일의 신소각기술 동향

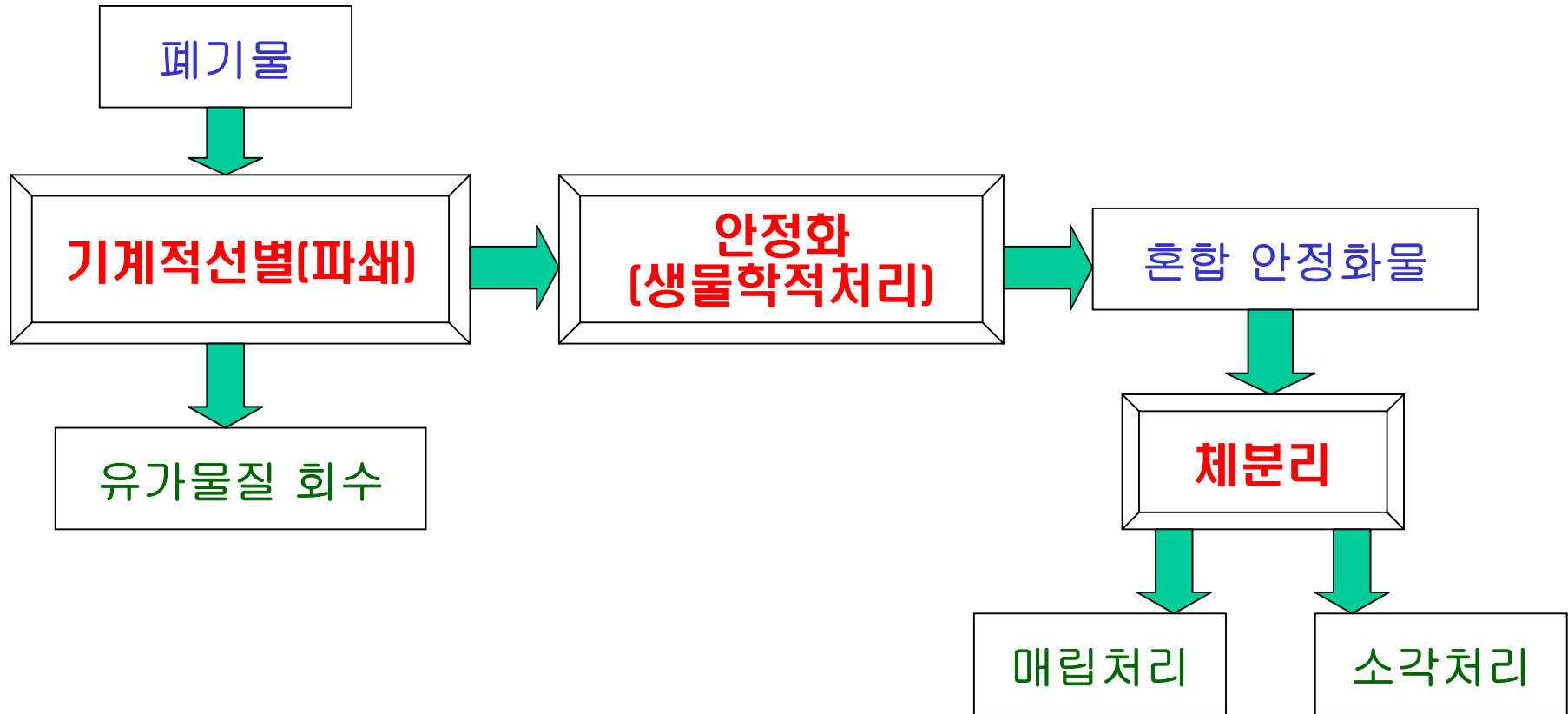
- 1993.06.01 TASi(도시쓰레기처리를 위한 기술규칙)  
(Technische Anleitung Siedlung Sabfall)

“2005년부터 최종 처분하기에 앞서 모든 폐기물은 열처리를 거쳐 감용화.무해화

- 기존소각시설 → Thermal Recycling System (고온소각방식으로)
- 신설소각시설 → Thermal Recycling System (고온소각방식으로)
- “ → Chemical Recycling System  
(열분해가스화용융방식)

- 2005년까지 소각능력 부족 430 - 800톤/일(예상)
- 혼소방식 유도, 배출기준 강화

# 기계적·생물학적 전처리시스템 방식 (MBP: Mechanical Biological Pretreatment)

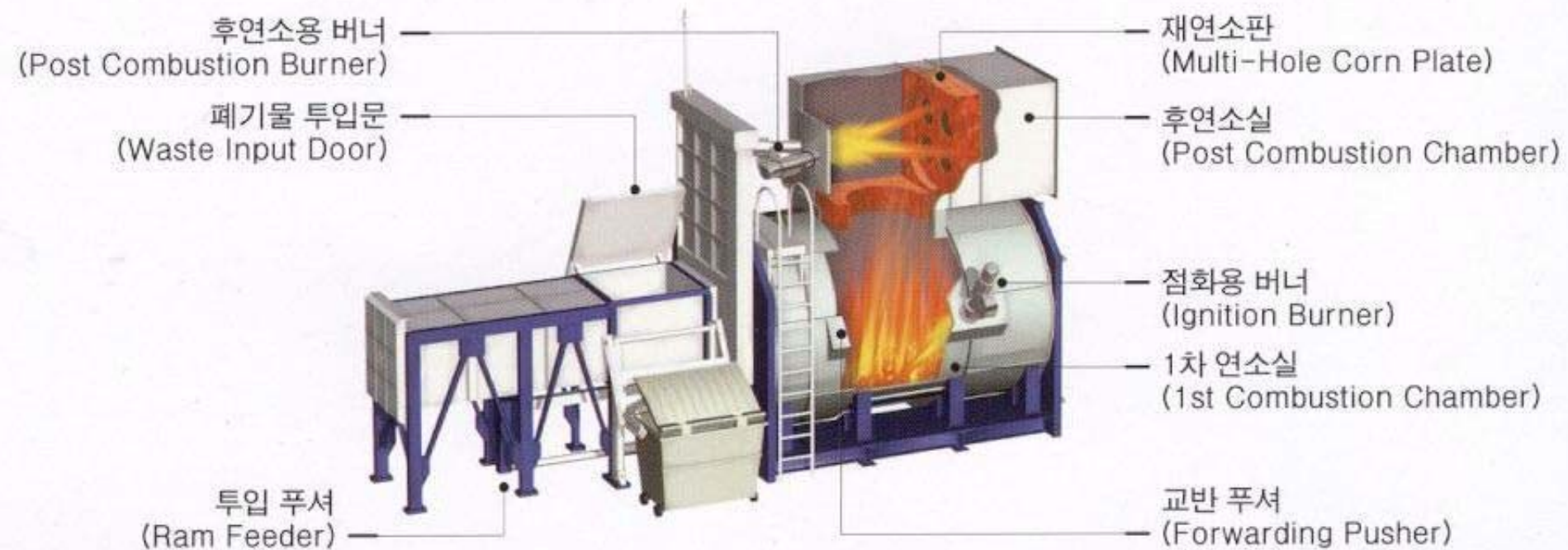


- ❑ 폐기물을 소각 처리나 최종처분에 앞서서 재활용 가치가 있는 것은 최대한 회수하여 최종처분에 따르는 매립지나 소각량 등의 환경부하를 감소시킨다는 개념
- ❑ 10여년 전부터 독일을 중심으로 유럽에서 확립되어지고 있는 시스템

# 일본의 신소각기술 동향

- 1996년 사이다마현 所澤市 다이옥신 사건  
105개소 소각시설 운전점검 → 다이옥신특별조치법  
광역화계획 추진계획  
소각재의 용융처리 추진계획
- 1996년 5대 메이커  
“차세대형 Mass Burn 소각시스템”개발 착수  
(저공기비 고온소각용 스토커)  
→ 고온소각 Thermal Recycling System 개발
- 1997년 폐기물연구재단과 19社の Matching Fund 조성  
“차세대형 쓰레기 소각처리시설의 개발연구”  
→ Chemical Recycling System 개발

# 국내업체에서 개발된 중소형 소각로 형태 (후연소실과 재연소관 구비)





## 향후 국내 소각신기술 플랜트 모습의 예



❑ 폐기물 발생지역 인근에 환경 적합한 처리 및 에너지회수 활용 설비로 건설, 운영

( 일본 Kawaguchi, Ebara기술, 2002년도 건설, 125,000톤/년 규모 )

KACIT

# 결론

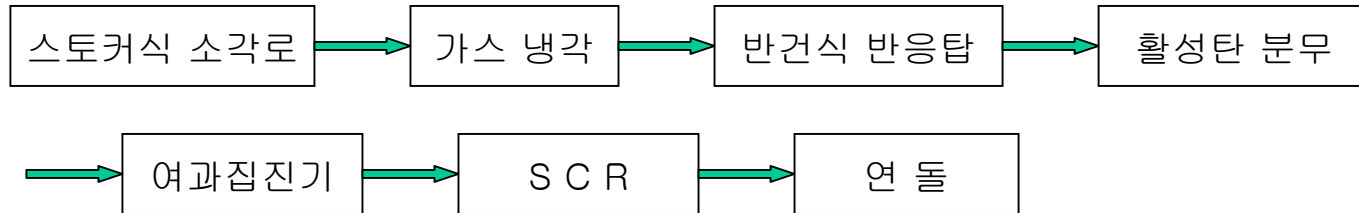
- ❑ 유럽의 경우에는 생활폐기물에 포함된 유기물은 가능한 모두 회수 활용하는 쪽으로 기존의 소각기술을 대체하고자 기술을 개발하고 있고, 이를 통해 자원을 최대한 회수하면서 꼭 필요한 부분만 소각시켜 매립되는 양을 최소화하는 MBP에 대한 노력을 기울이고 있음. 반면, 열분해/가스화용융 소각신기술은 정체 상태임.
- ❑ 국내에서도 2004년초 경남 양산을 시작으로 상용급 신기술 소각시설이 건설되기 시작하였고, 최근 수년간 일본에서 발주되는 추세로 볼 때 국내도 장기적으로는 소각 신기술 쪽으로 활용기술의 축이 전환될 것으로 예상됨.
- ❑ 일본과 상황이 비슷한 국내 경우에는 일본내의 열분해/가스화용융 소각신기술 건설비용 저감 속도와 기술신뢰도 향상 추세가 시장 형성에 큰 영향을 미칠 것임. 건설비용 저감을 위한 설비 국산화율 증대가 관건으로 예측됨.
- ❑ 고발열량화 되고 있는 국내 생활폐기물을 에너지자원으로서 환경적합하게 이용할 기술개발을 위한 국내 업체들의 노력이 중요한 시점임.
- ❑ Zero-emission 보다는 국내현실에 부합한 Near-zero-emission에 맞는 경제적이고 신뢰도 있는 공정기술의 구성과 검증이 필요함.

---

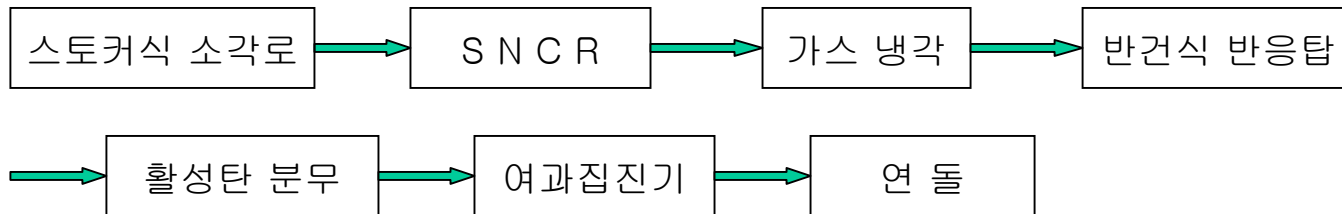
## 추 가 자 료

# 국내 대형소각장의 연소가스 처리설비 유형

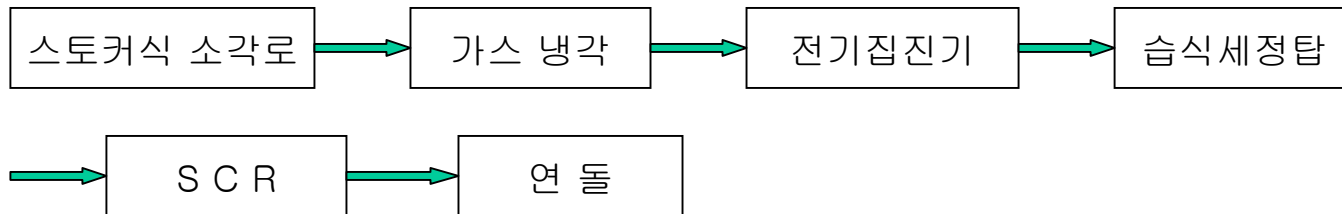
## Group 1 (서울/양천, 과천, 용인, 서울/일원, 광주/상무대)



## Group 2 (안양/평촌, 광명, 창원, 고양/일산)



## Group 3 (서울/노원, 성남, 부산/다대, 부산/해운대, 부천/중동)



# 다이옥신류 발생 억제 대책

- 염소계 화합물의 사용억제조치(EU, 일본 등)  
PVC, PPC 등 사용금지, 사용량 표시제
- 분리수거 소각배제
- 폐기물의 정량 공급
- 소각온도  $850 \sim 950^{\circ}\text{C}$ , 체류시간 2초이상
- 폐가스의 급냉
- Grate상 쓰레기층 두께 :  $50 \sim 100\text{cm}$ 유지
- 폐가스의 급냉  $\rightarrow$  보일러출구온도  $\rightarrow$  백필터입구온도  
(  $< 220^{\circ}\text{C}$  ) (  $< 180^{\circ}\text{C}$  )
- SNCR, SCR (de-dioxination 촉매 사용)
- 석회혼합연소 (연구중)
- 소각온도의 상향조정 (고온소각)

# 냉가스효율 (Cold Gas Efficiency)

## □ 정 의

$$\checkmark \text{ 냉가스효율} = \frac{\text{생성가스 유량 (m}^3\text{/h)} \times \text{생성가스 발열량 (kcal/m}^3\text{)}}{\text{가스화용 투입시료량 (kg/h)} \times \text{시료발열량 (kcal/kg)}}$$

## □ 국내 생활폐기물을 고등기술연구원 가스화설비에서 운전한 결과

### ✓ 경남 Y시 생활폐기물 (고위발열량 기준)

- Input energy:  $(113 \text{ kg/h} \times 2,167 \text{ kcal/kg}) + (15 \text{ Nm}^3\text{/h} \times 23,684 \text{ kcal/m}^3)$
- Output energy:  $210 \text{ Nm}^3\text{/h} \times (3021 \times 0.25 + 3050 \times 0.25)$
- 냉가스효율 53.1%

### ✓ 경기 S시 생활폐기물 (고위발열량 기준)

- CO 32%, 수소 30% 발생
- 냉가스효율 65.8%

# 경남 Y시 생활폐기물 가스화후 슬랙의 Leaching Test 결과

Item	Unit	Result	Korean Environmental Standards
Total Hg	mg/l	n.d.	0.005
Cd	mg/l	n.d.	0.3
Pb	mg/l	0.03	3.0
Cr <sup>+6</sup>	mg/l	n.d.	1.5
As	mg/l	n.d.	1.5
Se	mg/l	n.d.	-
Total CN	mg/l	n.d.	-
Organo-phosphrous	mg/l	n.d.	-
Alkyl-mercury	mg/l	n.d.	-
PCB	mg/l	n.d.	-
Trichloroethylene	mg/l	n.d.	-

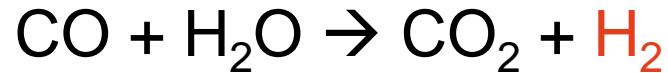
Item	Unit	Result	Korean Environmental Standards
Cyclomethane	mg/l	n.d.	-
Carbontetrachloride	mg/l	n.d.	-
1,2-Cycloethylene	mg/l	n.d.	-
1.1.1-Trichloroethane	mg/l	n.d.	-
Benzene	mg/l	n.d.	-
Zn	mg/l	0.01	-
Ni	mg/l	0.02	-
Total Cr	mg/l	0.03	-
Nitrite Nitrogen	mg/l	n.d.	-
Be	mg/l	n.d.	-
V	mg/l	n.d.	-
Cu	mg/l	0.02	3.0



# 시료내 함유수분의 소각, 가스화에 대한 영향

- 소 각 : 수분은 에너지 소모 대상

- 가스화 : 수분은 가스화반응 원료



- 일반적인 상용 가스화 공정에서의 공급 수분량

석탄 : 5-10% steam/feed (wt/wt)

중질잔사유 : 30-50% steam/feed (wt/wt)

(cf. 국내 생활폐기물 : 15-50%)