



폐기물 소각 에너지 회수기술 및 사례

2021. 01. 20. (수)

(주)유성 중앙연구소장 이재정 박사

목 차

1. 개요
2. 소각 및 에너지 회수기술
3. 실증 사례

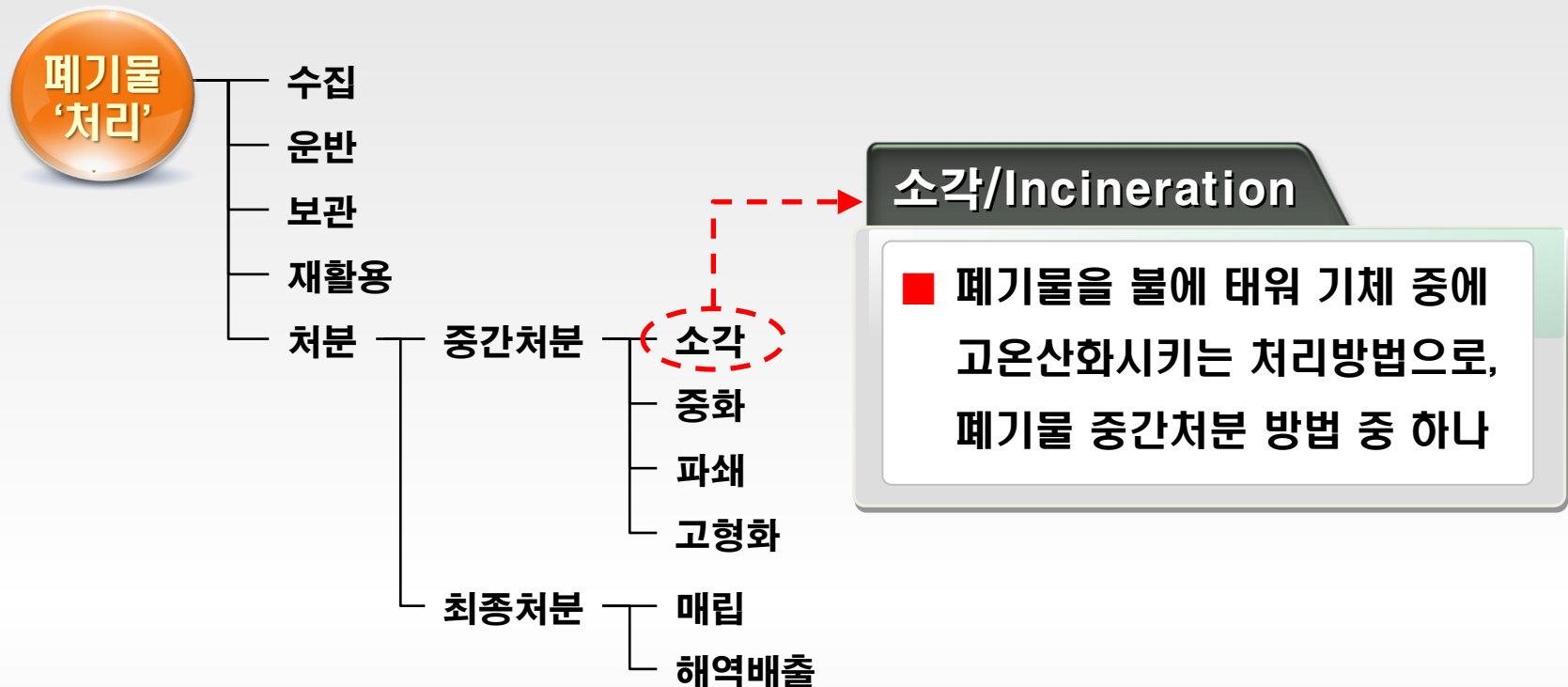


1. 개요



폐기물/Waste

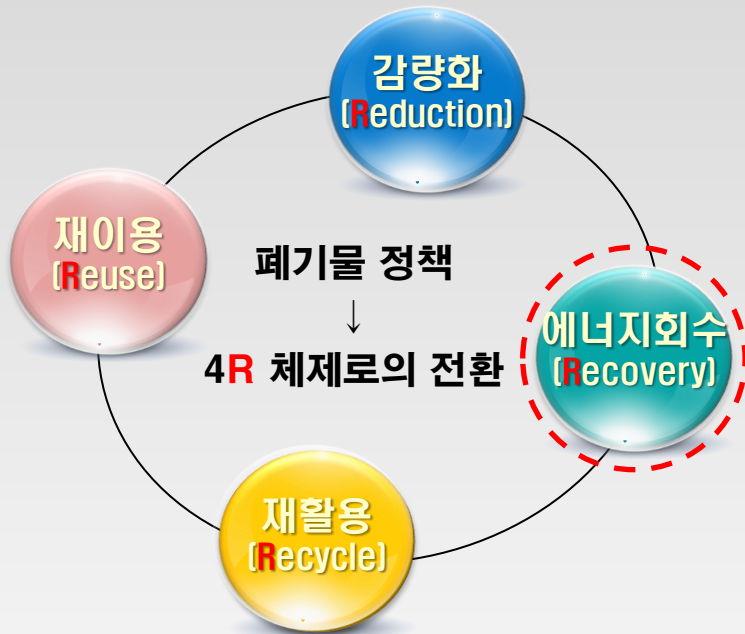
- 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리, 동물의 사체 등으로 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질 (폐기물관리법 제2조)



소각열 회수 이용

- 폐기물 소각으로 발생하는 고온의 소각열을 활용하여 지역 난방이나 산업체의 열원으로 이용 또는 터빈(발전기)을 통해 전력을 생산하여 이용
- 버려지던 소각열을 에너지원으로 활용하여 온실가스 감축, 산업경쟁력 강화에 기여





폐기물 관리 정책의 변화!

- 적정 처리
- 3R : 발생억제 / 재이용 / 재활용
- 4R : 발생억제 / 재이용 / 재활용 / **에너지회수**

- 화석연료 사용에 따른 지구 온난화 가속화 문제로 **대체에너지원 개발** 필요
- 에너지원 대부분을 수입하는 우리나라의 경우 **수입 의존도 완화에 따른 비용 절감**, 장기적 **에너지 순환 정책 확립**을 위해서 대체에너지원 개발은 필수임
- **폐기물**은 단순한 처리 대상을 넘어 **주요 재생에너지원**으로서 비중을 차지하고 있음
→ 2018년 국내 신·재생에너지 생산량 총 17,838천toe 중
폐기물 에너지 생산량은 9,084천toe로 전체의 50.9%를 차지

1. 개 요

폐기물 소각 에너지 이용 현황(지자체)

■ 지자체 폐기물 소각시설 에너지 이용 현황

시도별	시설수 (개소)	시설용량 (톤/일)	에너지 이용실태(Gcal)										
			발생량	57% 외부공급					43% 자체사용				
				소 계	열공급		전력공급		소 계	열사용		전력사용	
					공급량	비율	공급량	비율		사용량	비율	사용량	비율
합 계	178	17,124	9,379,828	5,259,830	4,853,512	92.28%	406,318	7.72%	3,987,151	3,061,787	76.79%	925,364	23.21%
서울	5	2,898	1,589,205	1,239,330	1,223,629	98.73%	15,701	1.27%	349,875	328,208	93.81%	21,667	6.19%
부산	2	510	350,998	252,026	252,026	100.00%	0	0.00%	95,972	86,736	90.38%	9,236	9.62%
대구	1	480	194,512	133,833	131,554	98.30%	2,279	1.70%	60,679	30,402	50.10%	30,277	49.90%
인천	9	998	575,446	340,289	322,711	94.83%	17,578	5.17%	235,157	222,585	94.65%	12,572	5.35%
대전	1	320	228,518	166,346	166,346	100.00%	0	0.00%	62,172	62,172	100.00%	0	0.00%
울산	1	650	375,495	182,429	182,429	100.00%	0	0.00%	195,066	186,515	95.62%	8,551	4.38%
세종	1	45	23,604	0	0	0.00%	0	0.00%	23,604	23,604	100.00%	0	0.00%
경기	26	5,084	2,898,305	1,656,171	1,607,230	97.04%	48,941	2.96%	1,365,294	1,077,655	78.93%	287,639	21.07%
강원	15	577	178,709	118,205	0	0.00%	118,205	100.00%	81,318	17,032	20.94%	64,286	79.06%
충북	11	709	459,793	185,454	180,303	97.22%	5,151	2.78%	253,956	219,699	86.51%	34,257	13.49%
충남	10	1,081	509,998	292,118	292,118	100.00%	0	0.00%	198,579	198,579	100.00%	0	0.00%
전북	3	612	424,274	131,526	131,526	100.00%	0	0.00%	137,922	137,922	100.00%	0	0.00%
전남	53	500	119,583	41,003	41,003	100.00%	0	0.00%	69,537	69,274	99.62%	263	0.38%
경북	18	830	438,675	125,979	20,107	15.96%	105,872	84.04%	300,006	111,752	37.25%	188,254	62.75%
경남	17	1,554	889,707	394,333	301,754	76.52%	92,579	23.48%	445,254	263,269	59.13%	181,985	40.87%
제주	5	276	123,006	788	776	98.48%	12	1.52%	112,760	26,383	23.40%	86,377	76.60%

※ 환경부 통계자료, 2018년 기준

● 2018년 총 에너지 생산량 : 9,380천Gcal ➡ ≡ 유연탄 188만톤 (약 1,350억원)

- 외부공급 : 5,260천Gcal (57%)

- 자체사용 : 3,987천Gcal (43%)

- 발전용 중열량탄 5,000kcal/kg 기준

- 유연탄 가격 65.54USD/톤(20년 4분기, 한국자원정보서비스)

- 1USD = 1,099원 기준

폐기물 소각 에너지 회수기술 및 사례

■ 민간 폐기물 소각시설 에너지 이용 현황

구 분	08년	09년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년	증감 (08년대비)
조사업체 (개사)	34	33	33	39	42	41	41	41	41	42	48	51	▲17
소각처리량 (만톤/년)	145	145	147	161	171	197	185	186	193	214	232	247	▲102 (70%증가)
에너지생산량 (천Gcal/년)	2,432	2,827	3,011	3,255	3,714	3,865	3,940	4,242	4,626	5,069	5,353	5,819	▲3,387 (139%증가)
에너지이용량 (천Gcal/년)	1,897	2,197	2,427	2,483	2,900	3,120	3,217	3,653	4,042	4,031	4,476	5,077	▲2,879 (168%증가)
에너지판매량 (천Gcal/년)	1,337	1,716	1,920	2,027	2,388	2,576	2,757	3,028	3,374	3,449	3,570	3,716	▲2,379 (178%증가)
에너지이용률 (%)	78	78	81	76	78	81	82	86	87	80	84	87	▲9

※ 민간 소각시설 소각열에너지 생산 이용 실태 조사보고서(2020.07.)(한국자원순환에너지공제조합)

- 한국자원순환에너지공제조합 조합원사(49개사 중 45개사) 및 비조합원사(22개사 중 6개사) 대상 조사 결과

● 2019년 총 에너지 이용량 : 5,077천Gcal ➡ ≡ 유연탄 101만톤 (약 732억원)

- 외부판매 : 3,716천Gcal (73%)

- 자체사용 : 1,361천Gcal (27%)

- 발전용 중열량탄 5,000kcal/kg 기준

- 유연탄 가격 65.54USD/톤(20년 4분기, 한국자원정보서비스)

- 1USD = 1,099원 기준

연도별 소각열에너지 판매량 및 자체이용량 현황

구 분	08년	09년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년
판매량 (천Gcal/년)	1,320	1,734	1,976	1,769	2,388	2,576	2,756	3,029	3,374	3,449	3,570	3,716
자체이용량 (천Gcal/년)	577	463	451	714	512	544	461	624	668	582	1,130	1,297

※ 민간 소각시설 소각열에너지 생산 이용 실태 조사보고서(2020.07.)(한국자원순환에너지공제조합)

소각열에너지 이용방법 및 세부 현황(2019년)

구 분	자 체 이 용						외 부 판 매				
	소계	온수 난방	폐수 처리	오니 건조	발전	기타*	소계	지역 난방	열병합 발전소	인근 업체	발전
사용방법 (개소)	33	13	11	7	6	13	43	7	5	32	7
이용량 (천Gcal/년)	1,296	101	258	301	314	322	3,716	415	509	2,607	185
이용률 (%)	100	8	20	23	24	25	100	11	14	70	5

* 기타 : 시설보온, 백연설비 등에 이용

※ 민간 소각시설 소각열에너지 생산 이용 실태 조사보고서(2020.07.)(한국자원순환에너지공제조합)

연도별 소각 및 소각열에너지 매출 현황

구 분	08년	09년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년
소각 매출 (억원/년)	2,594	2,274	2,144	2,309	2,403	2,524	2,723	3,009	3,189	3,563	4,151	4,865
에너지매출 (억원/년)	275	375	485	647	810	991	1,199	1,518	1,372	1,559	1,302	1,422

※ 민간 소각시설 소각열에너지 생산 이용 실태 조사보고서(2020.07.)(한국자원순환에너지공제조합)

연도별 소각 및 소각열에너지 평균단가 현황

구 분	08년	09년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년
소각처리 평균단가 (천원/톤)	169	150	133	145	140	130	147	160	165	166	178	197
에너지 평균단가 (천원/Gcal)	14	14	17	21	23	26	29	33	27	38	36	38
원유단가 (십원/L)	62.9	49.0	56.8	73.8	77.3	72.4	63.8	35.9	30.1	37.8	48.2	45.1

※ 민간 소각시설 소각열에너지 생산 이용 실태 조사보고서(2020.07.)(한국자원순환에너지공제조합)

과 거

소각열에너지 = 여열
저단가 장기계약



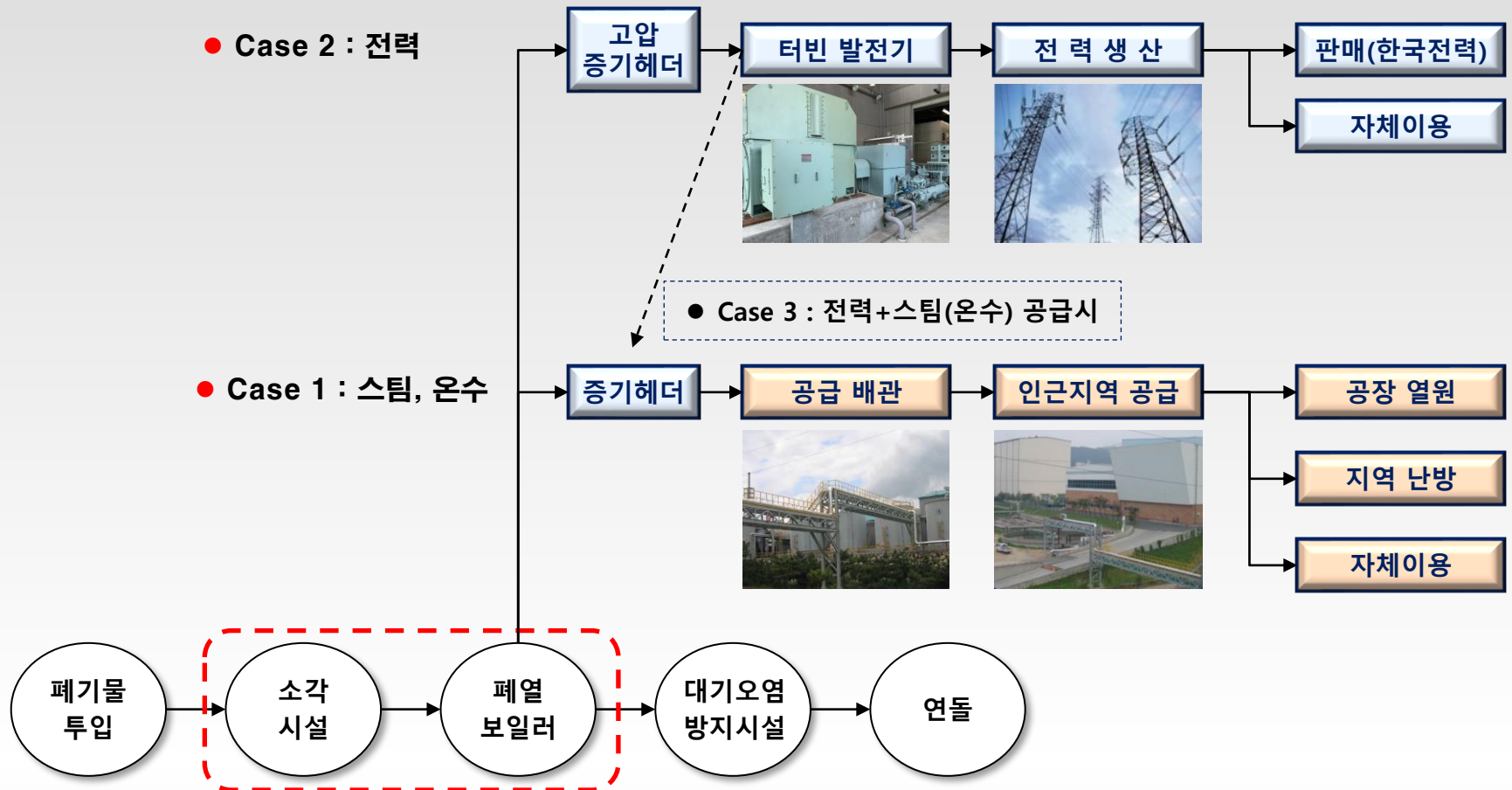
현 재

소각열에너지 = 주요 대체에너지원
계약 및 단가 현실화(유가 연동형 전환)

2. 소각 및 에너지 회수기술




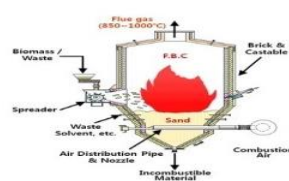
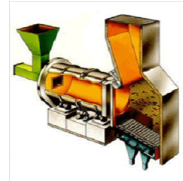
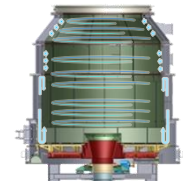
폐기물 소각+에너지 회수 공정 계통도



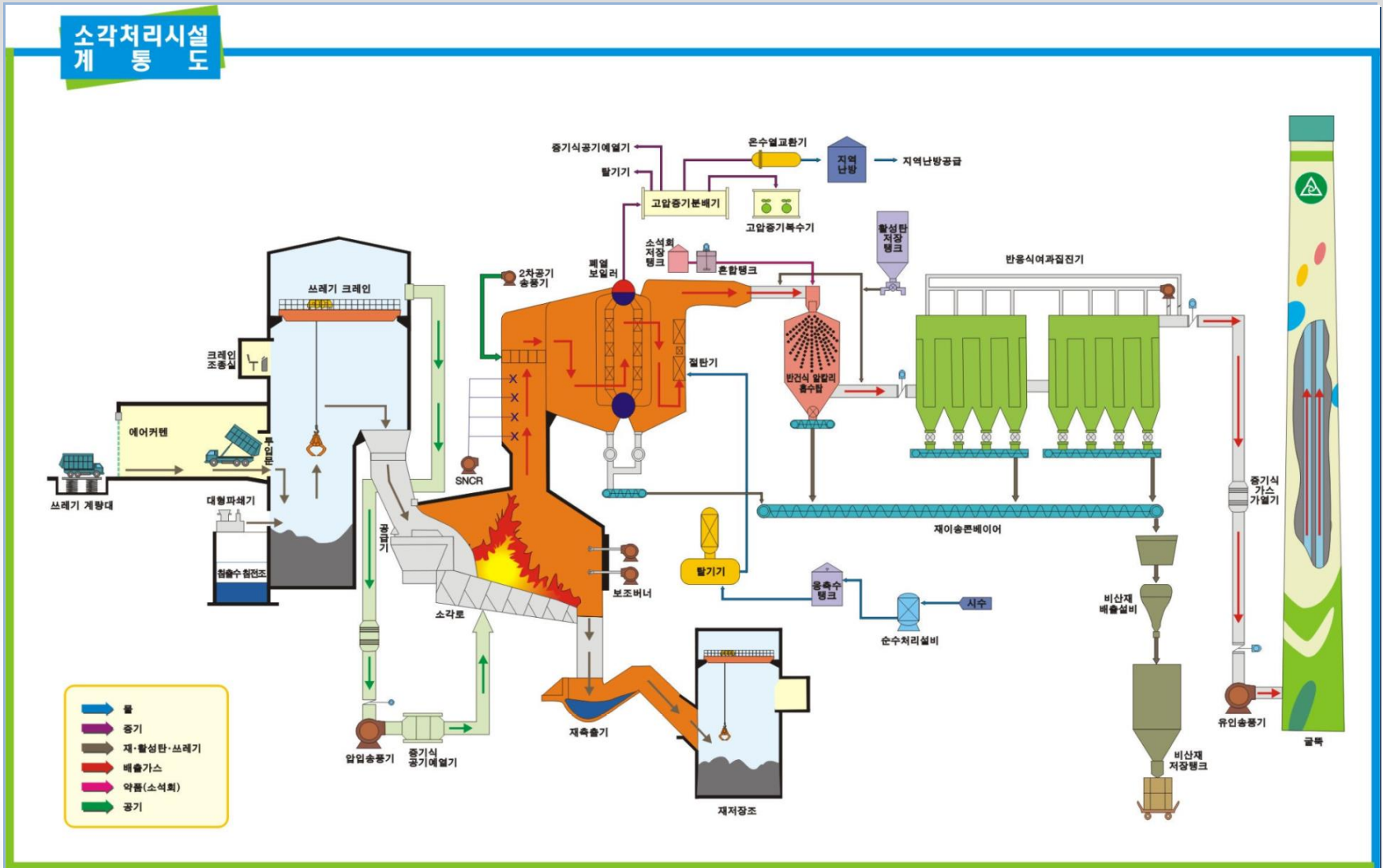
■ 소각열 이용 방식에 따른 장·단점 비교

항 목		장 점	단 점
발전	배압식	<ul style="list-style-type: none"> 정전시에도 소 내 동력 공급 소각장 계획시 별도 추진 가능 터빈 후단의 증기 배출열 이용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 폐열 이용률이 낮음 (증기 보유 열량의 15% 정도 사용) 복수기 냉각으로 열손실이 있음
	복수식	<ul style="list-style-type: none"> 정전시에도 소 내 동력 공급 소각장 계획시 별도 추진 가능 발전량이 배압식 대비 많음 	<ul style="list-style-type: none"> 터빈 후단의 온도가 낮아 열이용이 어려움 복수기 냉각으로 열손실이 있음 시설비는 배압식 대비 높음
스팀공급		<ul style="list-style-type: none"> 여열의 회수효율이 좋음 응축수 재회수 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 수요처가 근접 위치 필요 (열손실, 공급배관 공사비 과다)
지역난방		<ul style="list-style-type: none"> 여열의 회수효율이 좋음 	<ul style="list-style-type: none"> 지역난방시설이 소각장과 근접 위치 필요 (열손실, 공급배관 공사비 과다) 하절기에는 지역난방 열부하 감소 지역난방 보수시 증기를 별도 처리해야 함
발전+지역난방		<ul style="list-style-type: none"> 소 내에 전력 공급 폐열의 회수효율이 좋음 경제적인 수익률이 매우 좋음 	<ul style="list-style-type: none"> 지역난방시설이 소각장과 근접 위치 필요 (열손실, 공급배관 공사비 과다)

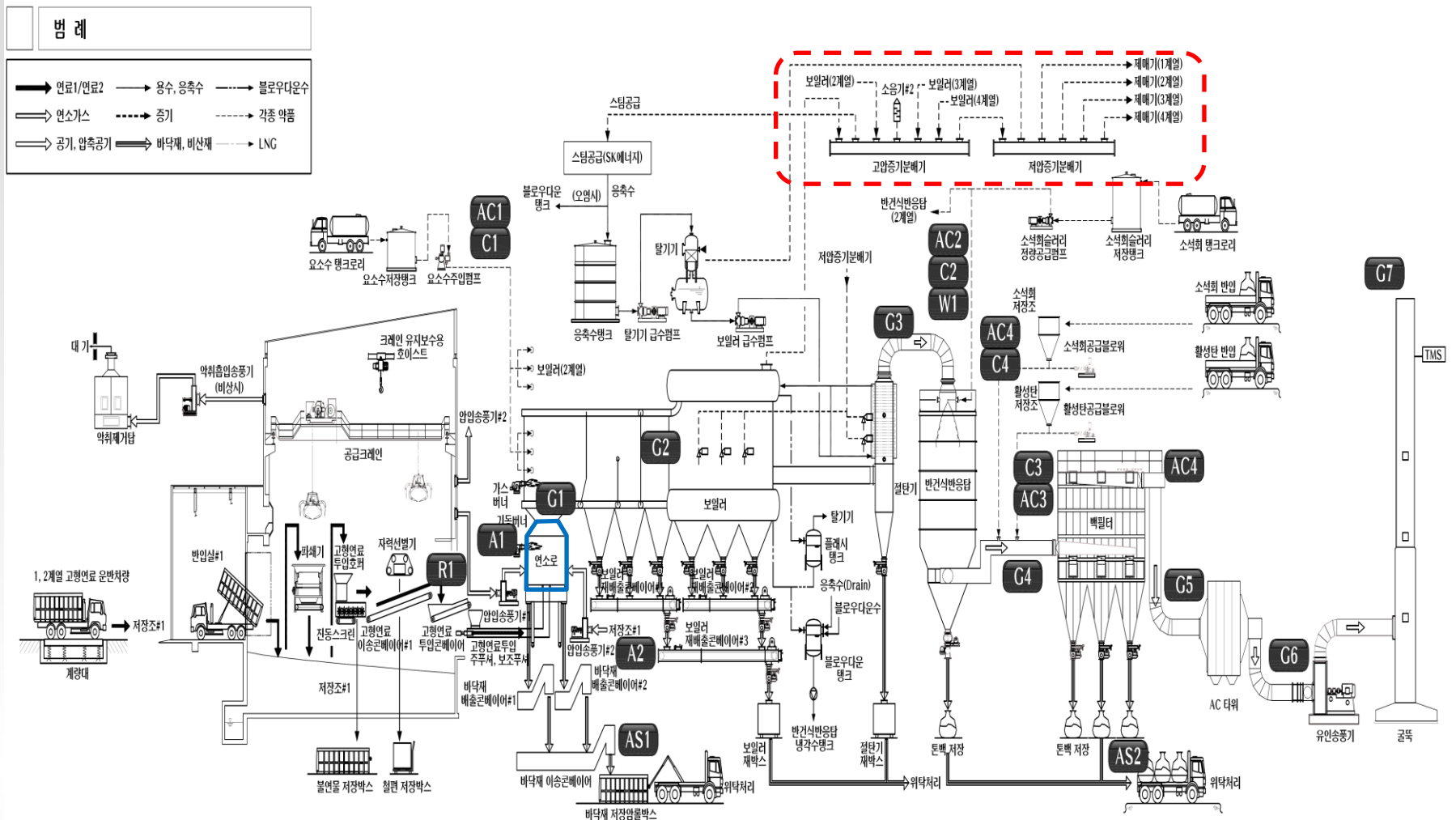
■ 폐기물 소각기술 비교

항 목	기존 소각기술			고효율 에너지회수 기술
	스토커	유동상	로터리킬른	공랭식 회전화격자
형 태				
원 리	<ul style="list-style-type: none"> 고정 또는 가동화격자 위에 폐기물을 투입하여 소각 화격자에 의해 교반, 이송 운동을 통해 건조, 연소, 후 연소 과정을 거침 	<ul style="list-style-type: none"> 로에 유동매체(모래)를 투입, 유동화시켜 열 매체인 건조와 폐기물이 혼합되어 건조에서 후연소까지 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 원통형 로체를 2~3도 구배로 설치하고 하부에 롤러를 설치하여 회전시키면서 상부에 투입된 폐기물을 교반하면서 연소 	<ul style="list-style-type: none"> 연소공기가 로 외벽의 2중 유로를 따라 로 내로 유입되어 선회류를 형성하면서 폐기물을 완전연소
처리능력	100~800톤/일 대규모	50~150톤/일 중규모	50~300톤/일 중규모	25~100톤/일 중규모
강열감량	10% 이하	10% 이하	10% 이하	3% 이하(1~2% 수준)
장 점	<ul style="list-style-type: none"> 다수 실적 보유 부피가 큰 폐기물 외엔 전처리 불필요 대용량 처리 가능 전세계 보급률 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 기계적 가동부 없어 트러블 적음 유동매체의 축열량이 커 짧은 시간 시동, 정지 용이 (간헐운전에 유리) 과잉 공기량이 적어 배가스량 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 교반이 좋아 대형 클링커 형성 방지 폐기물의 물성, 크기 변화에 대해 안정적 로 내 폐기물의 충분한 혼합으로 연소조건 양호 	<ul style="list-style-type: none"> 연소효율 높고 다양한 연료 (폐기물, SRF, ASR, E-scrap) 적용 실적 보유 에너지 회수효율 75% 이상 설비 정지-재가동에 시간 소모 적음(2~3시간) 설치면적이 적고 유지관리 용이
단 점	<ul style="list-style-type: none"> 구동부가 많아 보수가 까다롭고 수리비도 큼 배가스량이 많고 배가스 처리비용이 큼 60% 이상 고수분 함량, 저발열량 폐기물 소각 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 전처리설비가 반드시 필요하며, 특수 집진설비 필요 로 내 압력손실이 크므로 연소공기 정압이 커야함 소각잔사 속 금속류가 많으면 배출장치에서 수시 배출 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 방열손실이 비교적 크고 배기온도가 낮아 소각여열 이용에 부적합 구동부분과 비구동부분 간 밀폐가 까다로움 로의 직경 및 길이에 제한→ 소각능력 증가가 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 대형화 실적 없음 국내 가동실적 적음 (2010년부터 적용됨) 숙련된 운전기술 필요

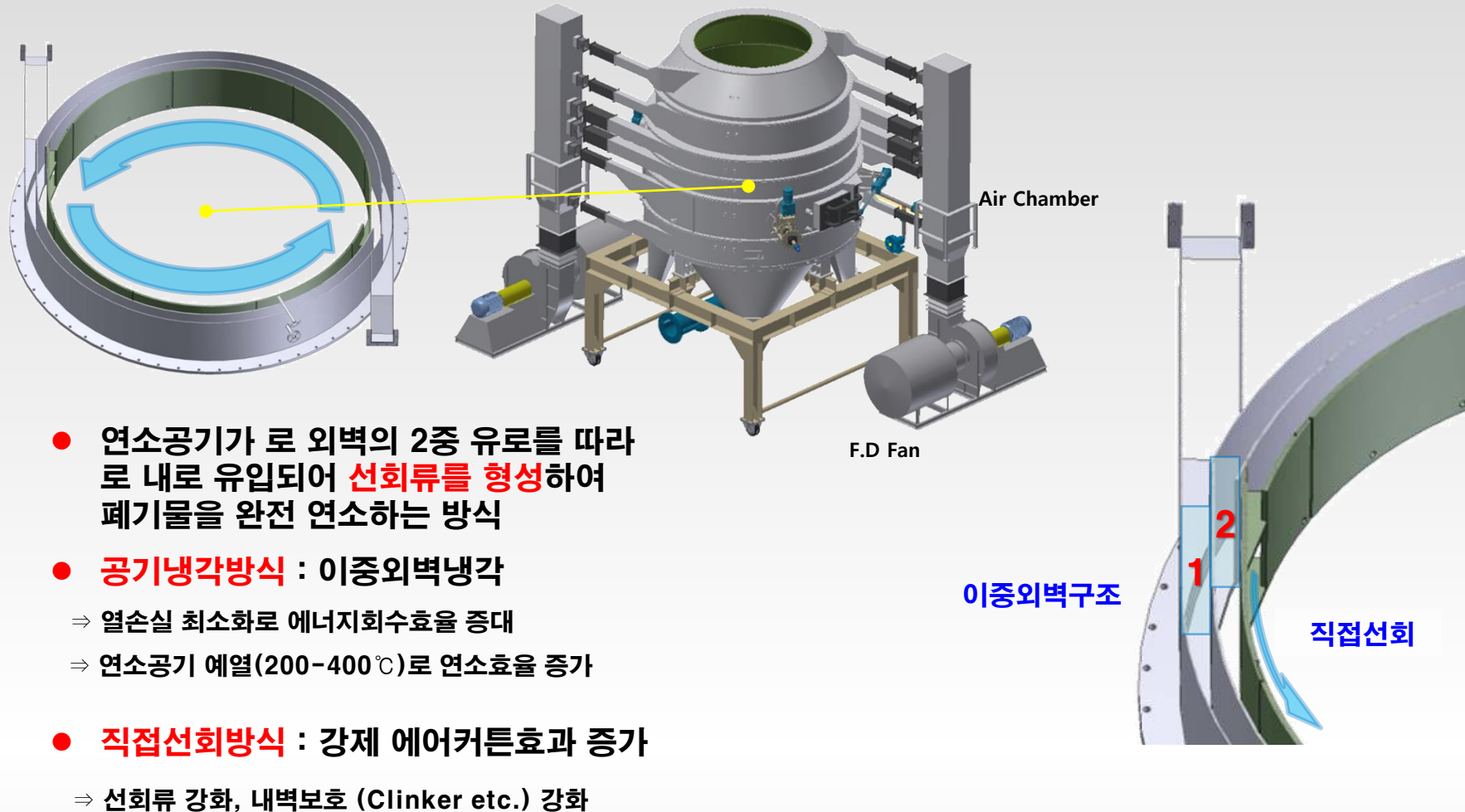
■ 폐기물 소각 에너지 회수 공정도 - 스토커식 소각로



■ 폐기물 소각 에너지 회수 공정도 - 공랭식 회전화격자식 소각로



■ 공랭식 회전화격자식 소각로

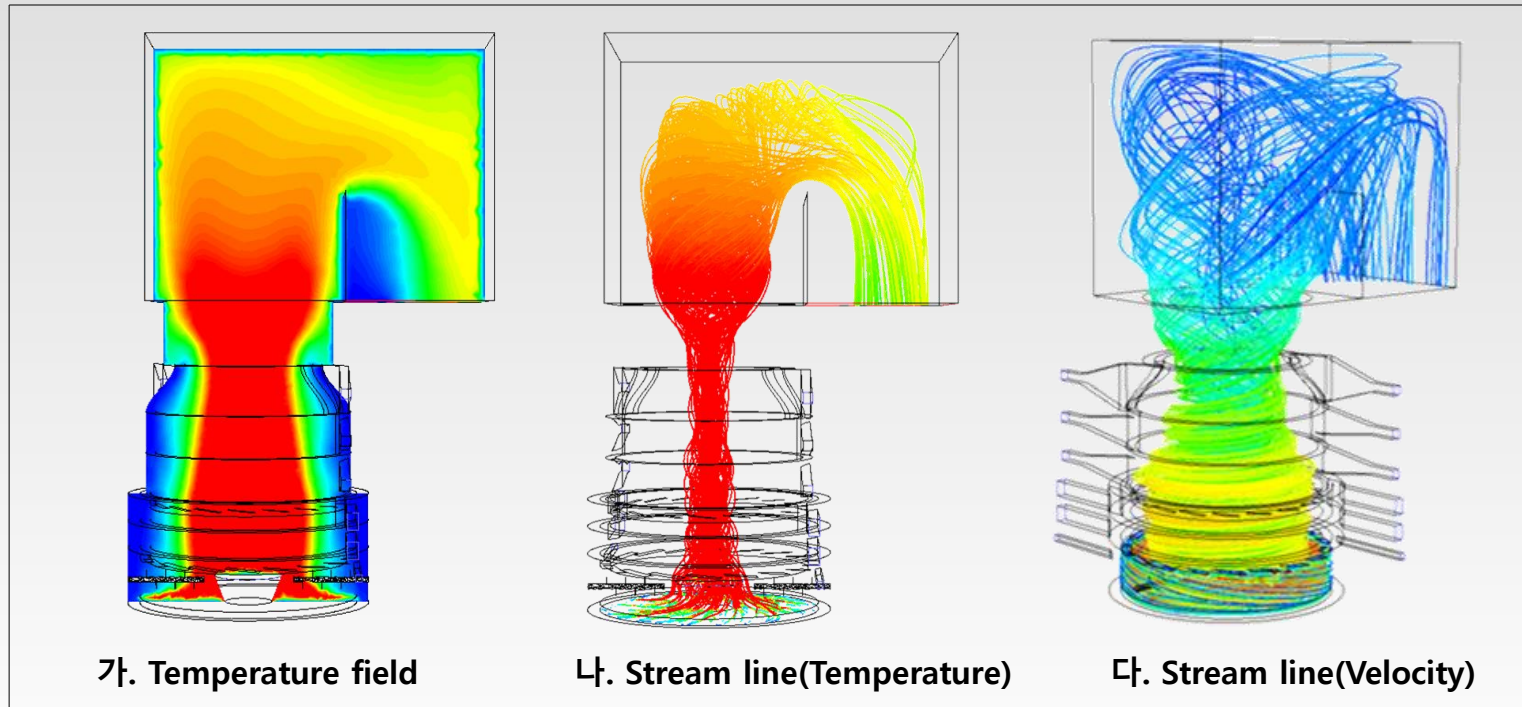


■ 공랭식 회전화격자식 소각로



특 징	장 점
고효율 연소	<ul style="list-style-type: none"> - 열손실 최소화(미축열, 에너지 75%이상 회수) - 강력한 선회류로 완전연소 (강열감량 3%이내)
연료 선택성 강화	<ul style="list-style-type: none"> - 성형·비성형 (SRF, ASR, Etc.) 적용 가능 - 산업공정 중간처리시설(소성로 등)로 응용 가능 - 산업폐기물 소각시설로서 활용 가능
저비용	<ul style="list-style-type: none"> - 축열재 미축조/소규모 대용량 실현 (설치비용 절감-기존 소각로 대비 70~80% 수준) - 주기적인 축열재 교체비용 불필요
소형화	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 설비 대비 약 1/3 부지 소요
안정성	<ul style="list-style-type: none"> - 전 공정 자동화로 설비부하에 따른 운전 용이
녹색기술	<ul style="list-style-type: none"> - 녹색기술인증(제 GT-11-00124호) : 국가검증 - 폐기물 에너지화로 온실가스 감축 기여
편리성	<ul style="list-style-type: none"> - 기동/정지시간 최소화 (기존 소각로 대비 1/20) - Overhaul 용이(조립식 구성)

■ 공랭식 회전화격자식 소각로 – CFD(Computational Fluid Dynamics) 분석



- 선회류의 형성에 따른 **중심부분 고온영역** 형성
- 외벽 유입기류에 따른 기류장 형성

3. 소각 에너지 공급 사례

(공랭식 회전화격자식 소각로 실증사례)



■ 소각 에너지 공급 실증 사례(1)

폐자동차파쇄잔재물(ASR) 에너지화 시설	
위 치	온산국가산업단지(울산광역시 울주군)
대 상 물 질	ASR (Automobile Shredder Residue)
연 소 능 력	1.5 ton/hr
스 팀 용 량	10 ton/hr (스팀압력 : 15 kg _f /cm ² G)
설 비 구 성	연소로, 보일러, 대기오염방지시설(SNCR, DR, SDR+B/F) 기타설비(유틸리티 시설 등)
준 공	2010년 05월



사업장폐기물 에너지화 시설	
위 치	온산국가산업단지(울산광역시 울주군)
대 상 물 질	사업장폐기물(폐합성수지류 외)
소 각 능 력	3.95 ton/hr
스 팀 용 량	22 ton/hr (스팀압력 : 15 kg _f /cm ² G)
설 비 구 성	소각로, 보일러, 대기오염방지시설(SNCR, SDR, B/F, W/S) 기타설비(유틸리티 시설 등)
준 공	2014년 07월 (소각로 개선공사 기준)



■ 소각 에너지 공급 실증 사례(1)

ASR 에너지화 시설

- 형태 : 외벽냉각(강제연소식)
- 연료 : **ASR(폐자동차파쇄잔재물)**
- 용량 : 1.5 ton/hr (36 ton/day)
- 운전온도
 - 반응기 (1,300~1,500°C)
 - 출구온도 (850°C 이상)



폐열회수 보일러

- 형태 : 수관식 3드럼 1P+캐비티 2P
- 스팀생산량 : **10 ton/hr**
- 운전압력 : 15 kgf/cm²
(설계 : 18 kgf/cm²)
- 온도:입구(850°C) 출구(230±20°C)
- 전열면적 : 975m²



폐기물 소각으로 발생하는 열원
→ **인근 제지업체에 공급!**

스팀 공급라인



스팀 공급 (인근 제지업체)

사업장폐기물 에너지화 시설

- 형태 : 외벽냉각(강제연소식)
- 연료 : **사업장폐기물**
- 용량 : 3.95 ton/hr (95 ton/day)
- 운전온도
 - 반응기 (1,300~1,500°C)
 - 출구온도 (850°C 이상)



폐열회수 보일러

- 형태 : 수관식 3드럼 1P+캐비티 1P
- 스팀생산량 : **22 ton/hr**
- 운전압력 : 15 kgf/cm²
(설계 : 18 kgf/cm²)
- 온도:입구(850°C) 출구(230±20°C)
- 전열면적 : 975m²



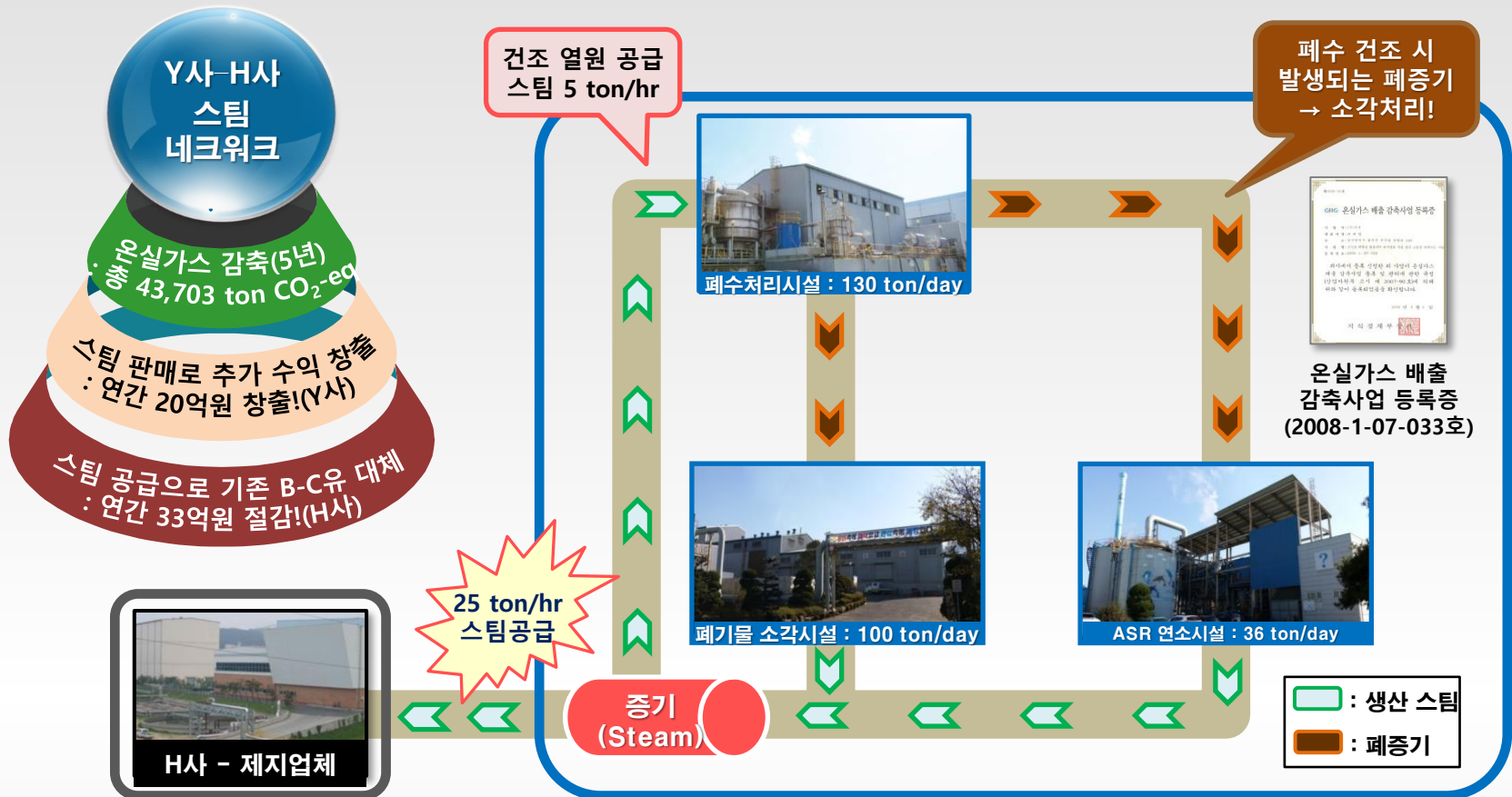
3. 소각 에너지 공급 사례

실증 사례(1)

■ 소각 에너지 공급 실증 사례(1) – 스팀 공급 네트워크 구축

스팀 공급네트워크

- Y사(공급처) : 소각로 폐열 활용 극대화, 온실가스 감축 기여, 추가 수익 창출
- H사(수요처) : 기존 B-C유 스팀보일러 대체, 제품 생산성 향상

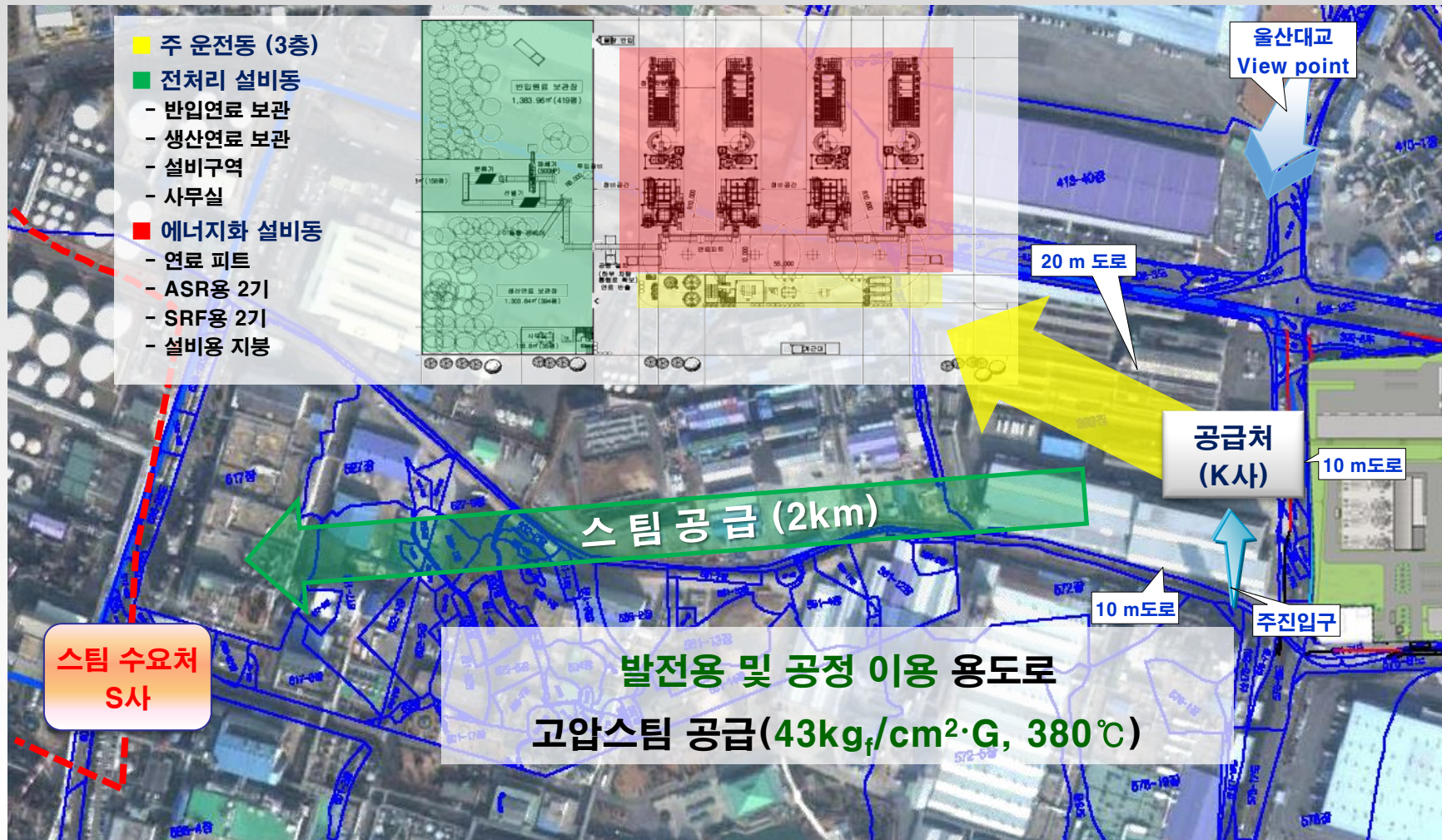


■ 소각 에너지 공급 실증 사례(2)

증기에너지 공급시설(ASR, SRF)	
위 치	미포국가산업단지(울산광역시 남구)
대 상 물 질	SRF, ASR (Automobile Shredder Residue)
연 소 설 비	1.95 ton/hr × 4기
스 팀 용 량	60 ton/hr (15 ton/hr × 4기 : 43 kg _f /cm ² G. 380°C)
설 비 구 성	연소로, 보일러 및 기타설비
준 공	2016년 12월



■ 소각 에너지 공급 실증 사례(2)



▶ **에너지회수효율 : 83.1%** (한국산업기술시험원 에너지회수효율 측정검사 성적서, 2017.10.20.)

■ 소각 에너지 공급 실증 사례(3)

E-Scrap 소성시설	
위 치	온산국가산업단지(울산광역시 울주군)
대 상 물 질	E-Scrap (폐전자기판 스크랩)
소 성 설 비	2.7 ton/hr × 2기
스 팀 용 량	20 ton/hr (10 ton/hr × 2기, 15 kg _f /cm ² G)
설 비 구 성	소성로, 보일러, 대기오염방지시설(SNCR, SDR+B/F, W/S) 및 기타설비
준 공	2015년 08월



■ 소각 에너지 공급 실증 사례(3)

E-scrap 소성시설

- 형태 : 외벽냉각(강제연소식)
- 연료 : **E-scrap**
- 용량 : $2.7 \text{ ton/hr} \times 271$
 $= 65 \text{ ton/day} \times 271$
- 운전온도
 - 반응기 ($1,300 \sim 1,500^{\circ}\text{C}$)
 - 출구온도 (850°C 이상)



폐열회수 보일러

- 형태 : 수관식 2드럼-3P
- 스팀생산량 : **20 ton/hr**
($10 \text{ ton/hr} \times 271$)
- 운전압력 : 15 kgf/cm^2
(설계 : 18 kgf/cm^2)
- 온도 : 입구(850°C), 출구($230 \pm 20^{\circ}\text{C}$)
- 전열면적 : 660m^2



E-scrap의 고효율 소성으로 금속물질 회수효율 증가



E-scrap 연료



E-scrap 소성품
(강열감량 2% 이하)

E-Scrap 소성으로 발생하는 열원
→ 자체 공정 열원으로 활용!

감 사 합 니 다



(주)유성 중앙연구소장 이재정

주소 : 울산광역시 남구 처용로 562 (연구소)

Mail : ljcd@ysrndc.com

TEL : +82-52-240-7350

FAX : +82-52-240-7389

<http://www.zu-yoosung.co.kr>