



한솔제지 전주공장 4호 소각로 건설공사

No. 4 F.B.C Plant Construction Works in Jeon-Ju Paper Mills



朴 春 植*
Park, Chun Sik

* 폐기물처리기술사, 한솔제지(주)
환경팀 과장.

건설사례에 대한 글을 시작하며

우리 나라에서 발생하는 폐기물은 갈수록 증가하고 있으며(〈표 1〉 참조) 그 종류도 생활계, 사업장(공장계), 하수 슬러지, 공단(농공 포함) 폐수슬러지 등으로 다양화 되고있다.

최근 들어 주로 제지(製紙) 슬러지 처리를 위한 유동상 소각로 형식으로 하수 슬러지 처리를 목적으로 한 2개 플랜트가 가동 중이며 이의 확대를 도모코져 각 지자체에서는 기본 및 실시 설계를 진행 중이며 또, 일부 지자체에서는 BOT(Build-Own-Transfer)방식으로 1개의 플랜트가 건설되어 시운전 중이다.(〈표 2〉 참조)

한편, 서울시에서는 슬러지 처리를 위한 타당성 조사에 관한 용역이 실시 중이며 4개 지역 중(가양, 중랑, 탄천, 난지) 한 곳을 먼저 선정하여 '99년부터 공사를 시작할 예정이다. 〈표 1〉에서 예시하듯이 국내 하수 슬러지 발생량은 점점 증가하는 추세에 있다고 보는데 이는 국내 하수도 보급률이 현재의 수준(97년 기준 56.6%)에서 향후 점점 개선되는 비율에 맞추어 높아질 전망이다.(〈표 3〉 참조)

지금도 각계에서는 하수 슬러지의 성장(〈표 4〉 참조)으로 볼 때, 과연 소각방식이 최고의 방법인가에 대한 논란이 일고있다. 하지만 본인이 이 방식을 차선책으로 제시하는 이유는

첫째, 폐기물을 최소화하기 위한 폐기물 관리의 우선 순위, 즉 폐기물의 감량(Reduction) > 재이용(Reuse) > 재활용(Recycling) > 소각(Incineration) > 매립(Landfill)의 우선 순위를 견지할 수 있는「국가 통합 폐기물 관리 시스템(IWMS, Integrated Waste Management System)」을 구축하기가 유리하며 이 근거로 하수 슬러지 처리 현황을 참고해 보면 알 수 있다.(〈표 5〉 참조) 여기에다가, 우리나라는 산림 66.2%, 농경지 21.4%, 대지 2.0%, 도로용지 1.9%, 기타 용지 8.5%의 토지이용을 보이고 있는데 폐기물 매립지로 사용된 면적은 21km²(대지면적의 10%, 즉, 전체 우리나라 대지 면적의 0.2%가 매립공간인 실정임)로써 매립장 부족과 신규시설 확보는 후대에겐 큰 짐을 물려준다는 게 私見이다.

둘째, 국내에서 유기성 폐자원이 발생하는 종류를 살펴보면 소각재, 하수 슬러지, 음식물 쓰레기, 축산분뇨 및 볏짚, 보릿짚 등 농산 폐자원에



서 엄청난 양이 나오는데 (<표 6> 참조) 이의 적정처리를 위한 연구개발, Lab Test, Pilot Test 수준까지는 퇴비화 방법이 제시되었으나 발생량을 감안한 효율적이면서 검증된 대형 플랜트가 국내에 구축되지 않았다는 점이다. 이론 및 실험적 성공이 곧 상업생산(Commercial Plant)이 가능한 환경기초시설로 발전될 수 있다고 믿는 것은 과거 제7공구에서 약간의 가스가 분출된 것으로써 마치 우리 나라가 곧 산유국으로 발돋움 할 수 있다고 믿는 것과 다를 바 없다. 일례로 음식물 쓰레기의 퇴비화/사료화 정책을 믿고서 지난 4년 여 동안 지자체, 산업계, 학계에서 투입한 비용만 해도 5,000억이 넘는데도 아직까지 이 분야를 평정할 수 있는 기술이 없다는 점이 이를 입증한다 하겠다.

셋째, 환경부에서 이미 입법 예고한 바와 같이 2001년부터는 하수 슬러지의 직매립이 금지되어 있다. 과감한 조치라 생각되는데 문제는 목표만 설정되어 있고 실천력이 Back-up을 해주지 못한다는 데 있다. 쉽게 풀어 설명하자면 국내 도시 쓰레기의 소각율과 가동 실적을 보면(<표 7> 참조) 최초의 의정부 소각장부터 시작하여 최근까지 약 3,000톤/일의 처리능력을 구축하는데 약 15년의 기간이 소요되었다. 단순 산술 계산으로는 1년에 200톤/일 처리능력의 소각장만을 구축할 수 있을 정도로 건설기간이 과다하며 넘비현상, 해외 기술 의존도, 환경예산의 과감한 집행미비가 발목을 붙잡고 있다. 서울시의 경우만 보더라도 하루에 1,400톤 이상의 하수 슬러지가 발생하는데 이 방식을 따른다면 최소 7년 이상이 소요된다고 볼 수 있는데 환경부의 법률안은 목전에서 유명무실해 지고 만다. 슬러지 처리 사업을 추진한다고 가정하면 환경영향 평가에 1년, 기본설계, 상세설계 그리고 심의기간에 6개월, 토목착수부터 기자재 제작에서 설치와 시운전 기간이 최소 1년 6개월

이 소요되며 상업운전을 위한 정상운전 달성기간을 6개월 정도로 계산한다면 이 절차에 의한 총 건설공기는 2년 6개월 이상이 필요하다. '99년 정초부터 시작한다해도 2001년 7월부터 대량처리가 가능한데 서울시에서는 지금 타당성 용역중이며 이 결과 후에 상기절차를 밟는다면 2001년 말이나 2002년 초부터 환경부의 법률을 준수하게 되고 약 1년 이상은 자의반 타의반에 의해 해양 투기를 할 수 밖에 없는 절박한 상황에 몰리게 된다. 바로 이점이, 현재 세계적으로 실증 플랜트(<표 8> 참조)가 가장 많은 소각 방식으로 우선 먼저 시작하고 점진적으로 문제점을 보완하면서 퇴비화 및 자원화에도 상용 플랜트가 가능한 기술을 빨리 개발 완료해야 한다고 본다. 현재 단순 건조 후 퇴비화 하는 방법이나 지렁이 사육으로 퇴비화 하는 방법 또한 음식물 쓰레기를 축산분뇨와 함께 섞어서 퇴비화 하는 방법들이 학계와 민간연구소 및 일부 하수처리장에서 지속적으로 제시되고 있는데 이 분야의 기술이 하루빨리 실용화 수준까지 올라갈 수 있도록 예산집행과 환경분야 기술진의 분발, 그리고 행정·기술관료진들의 관심이 필요하다고 하겠다.

본 건설사례를 읽어보시면 알겠지만, 총괄적 현황을 보여주고 있으며 소각 방법 중에서 최근에 관심이 고조되고 있는 유동상 소각로(FBC)를 건설하면서 겪은 경험을 중심으로 작성하였다.

참고) 미국

미국에서 하수슬러지 처리용 소각로는 현재 약 170개 정도가 가동되고 있으며, 주로 사용되고 있는 소각형식은 다음과 같다.

- 다단로(Multiple Hearth Furnace:MHF)
 - 유동층(Fluidized Bed Combustor:FBC)
 - 적외선(Electric Infrared Furnace:EIF)
- 이중 약 80%(136기)는 다단소각로(MHF),

〈표 1〉 폐기물 발생량 (톤/일)

구 분	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
계	158,376	144,535	141,383	147,049	148,041	180,573	195,275
생활폐기물	92,246	75,096	62,940	58,118	47,774	49,925	47,895
사업장폐기물	66,130	69,439	78,443	88,931	100,267	130,648	147,380

〈표 2〉 지자체별 하수/폐수 슬러지 소각처리현황(By FBC Type)

수행사	위 치	용량(톤/일)	슬러지종류	가동년도	기술제휴	비 고	사업방식
삼성	성남	100	하수	실시설계중	자체수행	계조중지(1991.11.11주)	턴키
현대	구미	100	하수+폐수	97	TSK(일)		턴키
임광	대구	50	하수+폐수	97	JSW(일)		턴키
코오롱	여천	50	폐수	97	SANKI(일)		고온열공정
한솔	구리	80	하수	시운전중	자체수행		BOT
한솔	안산	150	하수+폐수	실시설계중	자체수행	실시설계중	BOT
한솔	대전	670	폐수	96	자체수행	기술제휴	턴키
한솔	전주	720	폐수	93	AE&E(외)		턴키

〈표 3〉 하수도 도급현황

구 분	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
총인구(천인)	43,268	44,569	45,077	45,512	45,974	46,426	46,878
처리인구(천인)	15,434	17,279	18,620	19,081	20,908	24,420	26,541
처리장(개)	22	26	43	57	71	79	93
보급율(%)	35.7	38.8	41.3	41.9	45.4	52.6	56.6
시설용량(천톤일)	5,258	5,815	6,370	9,391	9,653	11,452	15,038

〈표 4〉 하수 슬러지 성분

구 분		단 위	기 준
삼 성 분	수 분	wt%	77.17
	회 분	wt%	7.07
	가 연 분	wt%	15.76
	소 계	wt%	100.00
화 학 적 분	C	wt%	36.92
	H	wt%	5.74
	O	wt%	17.82
	N	wt%	5.8
	S	wt%	1.15
	Cl	wt%	0.15
	Ash	wt%	32.42
	소 계	wt%	100.00
고위발열량(습윤기준)		kcal/kg	839
저위발열량(습윤기준)		kcal/kg	305

〈표 5〉 하수 슬러지 처리현황('96자료)①

	육상매립	해양투기	재이용	소 각	기 타	계
처리량(천톤)	967.8	258.8	44.9	0.3	4	1,275.8
처리율(%)	75.9	20.2	3.5	0.03	0.37	100

〈표 5〉 하수 슬러지 처리현황('96자료)②

	재 이 용 방 법				
	퇴비활동	조 경	지렁이사육	기 타	계
처리장수(개)	13	4	5	2	18
재이용량(톤)	29,748	3,453	10,111	1,084	44,896

〈표 6〉 유기성 폐기물 발생량 (톤/일)

구 분	'94	'95	'96	'97
음식물/채소류	18,055	15,075	14,532	13,063
하수 슬러지			1,275	1,478
인분뇨	42,579			46,872
가축분뇨	112,750			197,000
농산부산물(벼짚, 양겨 등)	265,753	263,561	264,383	264,657

〈표 7〉 국내 도시쓰레기 소각장 가동 건설현황

발주처	소각용량(톤/일)	설 치 완료일	공사금액(억원)	시공업체	기술제휴사
고양 일산	300	95.11	174	삼성중공업	미쯔비중공업(일)
대구 성서	200	92.11	182	대우	히다치(일)
목동 1	150	88.12	53	대우	히다치(일)
목동 2	400(200×2기)	96.12	329	선경건설	SEGHERS(벨)
부산 다대	200	95.08	121	현대중공업	VOLUND(덴)
서울 상계	800(400×2기)	97.01	498	현대중공업 현대산업개발	D.B.A(독)
경기 성남	100(50×2기)	93.05	160	쌍용건설	mitsui zozen(일)
안양 평촌	200	93.12	122	동부건설	STEIN MUELLER(독)
의정부	50(25×2기)	85.04	17	롯데기공	KUBOTA(일)
부천 중동	200	95.05	289	대우	히다치(일)
창원	200	95.02	111	현대중공업	VOLUND(덴)
대전	50	92.		력키개발	한국에너지자원연구소
부산 해운대	400(200×2기)	97.04	441	삼성중공업 삼성건설	스타인인더스트리(프) MORIS(미)
성남 분당	600(300×2기)	97.	3.3	현대중공업	D.B.A(독)
대구 성서*	400(200×2기)	98.		대우	히다치(일)
강남 일원	1800(450×4기)	98.		선경건설	SEGHERS(벨)
수원 영통	600(300×2기)	98.	5.9	삼성중공업	미쯔비중공업(일)
과천	80	98.		현대정공	W+E(스)
광명	300(150×2기)	98.	3.8	동부건설	STEIN MUELLER(독)
광주	400(200×2기)	98.		선경건설	SEGHERS(벨)
대전34공단	200	98.	2	LG건설	KAWASAKI(중공업·일)
부산 명지	400(200×2기)	98.		현대중공업	D.B.A(독)
울산	800(200×2기, 400×1기)	99.		현대중공업	VOLUND(덴)
창원	200	99.		현대중공업	VOLUND(덴)
용인	100	98.		코오롱 Eng'g	SANKI(일)

*를 기준으로 상부는 가동중이며 이하는 건설중인 시설임.



〈표 8〉 일본의 하수슬러지 소각방식 및 연도별 설치기수

기종	연도								
	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93
다단소각로	98	98	98	99	106	100	96	95	93
유동상 소각로	51	56	59	68	74	86	92	111	120
로타리킬른 소각로	30	30	30	29	31	32	33	31	31
건류로	2	2	2	1	1	1	1	1	2
회전로 소각로	3	1	1	1	1	1	1	1	1
용융로	2	2	2	3	3	3	4	4	5
습식산화장치	2	3	3	1	1	1	1	1	1
건조기 및 기타	21	20	19	27	27	29	31	44	45
계	209	212	214	229	244	253	259	288	298

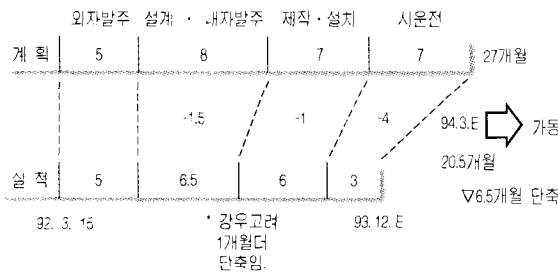
15%(26기)는 유동상소각로, 3%(5기)는 적외선 소각로(EIF)이며 나머지 2%(3기)는 도시쓰레기와 혼소 처리하고 있다.

그 외 싸이크론(Single hearth cyclone), 로터리 킬른, 습식 산화장치는 거의 사용되고 있지 않다. 대부분의 슬러지 소각로는 미국 동부에 설치되었으며, 그중 뉴욕의 경우 가장 많은 33기의 소각로가 가동되고 있으며, 그 다음으로 펜실바니아(Pennsylvania) 21기, 미시간(Micigan) 19기 순이다.

건설사례

I. 사업 개요

1. 사업명 : 전주공장 #4 소각로 증설공사
2. 사업기간 : '92. 3.15 ~ 93.12. E (20.5개월)



3. 사업비

- 계획 : 140 억원
 - 실적 : 110 억원
4. 소각용량 220 BDT/DAY(720WET.TON/DAY)
(기존 2,3호 소각용량 : 225 BDT/DAY)
 5. 스팀발생량 : 30 TON/HOUR (11 KG/cm)
 6. 배출가스 성능보장치

- 먼지 : 최대 30mg/Nm³
- NOx : 최대 120ppm
- SOx : 최대 180ppm
- Hcl : 최대 36 ppm
- Co : 최대 300ppm

II. 유동상(流動床)소각로 소개

1. F.B.C Type Incinerator
(Fluidized Bed Combustion)
2. 원리

공기를 노내로 주입하면 노내의 유동상(流動砂)가 마치 팔죽 끓는 것처럼 유동상이 形成되며 이 유동상의 온도를 700~800℃로 유지하여 피소각물질(제지슬러지, 나무껍질, 생활계 폐기물 등)이 유동상과 접촉하면서 연속적으로 타게 됨.

3. 장점

- 유동상의 열용량이 매우 커서 액상물질,

고수분 폐기물 등 혼합연소가 가능하며 소각시간이 짧아져 로체 크기가 작다.

- 연소효율이 높고 미연소 성분이 아주 적어서 잔사의 2차공해가 없다.
- 소량의 과잉공기비로도 충분하며 보조연료비가 절감된다. 운전 및 유지, 보수가 유리하며 정지 후 재가동이 쉽다.

4. 단점

- 입자가 큰 물질은 소각이 곤란하며 전처리 장치를 구비해야 한다. 따라서 우리나라 도시 쓰레기 소각용으로는 부적합하다.
- 배출먼지가 많이 발생되어 B.Filter 등의 집진처리가 필요하다.

III. 잘한 점 Case Study

1. 사업조직의 정비

- ① 한솔 내에서 첫 Project Management 기법 적용
 - 외·내자 발주, 원가관리, 공종별 사업기관 관리, 공사관리, 시운전 지휘 등 총괄 조직 완비 (기존 1,2,3호 건설시는 삼성과 分離前으로써 SECL/SHI 에서 일괄수행하였고 한솔에서는 외자 발주 및 공사 감독, 시운전 및 상업 생산에만 참여함).

- ② 당시의 전통인 소수정예주의에 입각한 최소인력 (8명)으로 사업추진

2. 건설공기 준수를 위한 다양한 제작 및 공사기법 적용

- ☞ '93년도에는 비가 많이 내려서 50mm 이상의 강우 일수가 공사기간 중 30일 이상이었기 때문에 설치기간은 1개월이 덜 소요되었음

- ① 외국 기술사내 설계인력의 헌신적인 노력 유도

- 통상 설계 : 6개월 → 4개월로 단축

- ② 외국 공급자와의 定期 Meeting 開催

- 매 2개월마다 1회씩
- 외국 Supervisor 조기현장 상주로 설계 및 제작, 설치에 감리역 活用

- ③ 국내 제작사 기자재의 경우에는 SHOP內 조립완료 후 납품유도로 현장설치 용이화(이는 공사 품질향상에도 기여)

- 사유: 현장여건 협소와 他공종(토건/철골공사와)과의 중복 작업을 피하기 위함.
- 소각로 본체의 제작·조립 완료 확인 후 현장 반입, 설치
- Gas Air Heater 內 Tube의 조립 완료 후 설치
- B.Filter 및 Stack의 가조립 완료 확인 후 설치
 - ※ 1,2,3호 소각로 공사시는 상기 작업을 설치 현장에서 실시하여 공기 손실은 물론 공사 및 제작 품질에도 악영향이 있었음.

- ④ 기존 유경험 운전 반장의 현장內 감독자 선임으로 설계, 제작, 설치의 Histroy 파악 및 Commissioning에 대한 준비 철저로 온갖 공사 오류 발생 최소화

- ⑤ 현장감독 철저로 시운전 및 사후 상업생산시 공장 가동 중단의 최소화

- Boiler Tube에 대해 용접Point(1,500P)의 비파괴 검사 실시로 에너지 관리공단 수압시험시 단 1회에 合格

- Anchor 설치, 철골 Column 설치, 기계 설치시에 Check Sheet에 의한 검사 완료 후 다음 공정을 시행

- ⑥ 강우, 태풍에 대비한 가설 천막 설치로 필요한 용접 작업시행

3. 안전관리 활동 강화로 중대재해 "0" 실현

- ① 연 동원 인원 : 2,000명

- ② 재 해 건 수 : 3 건

- 용접불뚱이 눈 속으로 들어감 : 치료 1주일

- Crane의 Wire 결속미숙으로 손에 찰과



상 : 치료 1주일

· 철골에서 미끄러짐 : 치료 1주일

- ③ 총 기자재 물량 : 4,000천톤
 - ④ 철골 및 기계물량 : 3,000천톤
 - ⑤ 높이 : GL + 45m
 - ⑥ 매일/매주 안전교육 실시 및 보호구 미착용자는 현장에서 퇴출
 - ⑦ 현장소장 및 업체의 안전관리자에 대해서 현장이 탈 금지
4. Commissioning 준비철저로 3개월後 상
업운전 개시
- ☞ 과거 1,2,3호 시절에는 이기간이 12개월, 10개월, 8개월이었음. 이는 '85년도 소각로 도입시 국내 기술이 전무하였고 설계부터 운전에 이르기까지 유경험자가 없었기 때문임.

- ① 공기단축 효과(4개월 단축) : 2,795백만원
 - 폐기물 처리비 절감액 : 2,772백만원
 - 스팀 발생량 환산액 : 23백만원
 - ② 조업 준비반 기동(원,부재료 준비 등 관여)
 - ③ Check Sheet에 의한 Flushing, 단독, 연동, 종합 시운전 실시
 - ④ 국내외 설계 및 공급자의 협조유도 및 현장 상주
 - ⑤ 당사 소각로의 경우 공장 내 위치하였기 때문에 주민 반발도 없었고 관청의 협조적 분위기도 한몫을 하였음.(특히 인허가 및 검사)
5. 사업비 절감(약 30억원)
- ① 설계, 제작, 발주, 설비, 시운전 등 상가에서 열거한 모든 부문의 유기적 조화
 - ② '92, 93년도 반짝 불황에 따른 우수 국내 기자재 협력업체의 사업참여로 비용절감 및 품질확보
 - ③ 한솔 내 자재팀의 원가절감 노하우가 작용

IV. 반성할 점 Case Study

- 1. 소각로 내부 내화물 붕괴 사고 발생(2회)

① 계약미숙으로 외국에서 기본 Data만 공급받기로 되어 있었고 기본, 상세, 제작, 시공을 당사가 담당하였음. 설계오류로 판명되어 추후 재시공하였음.

2. Muffle Burner 내화물 붕괴(1회)

· 外國社 공급 기자재로써 설계 오류로 판명

3. 당사의 고열 기자재에 대한 설계자 부재로 Heat Expansion 미고려 및 외국 공급도면의 미숙지로 Air Duct에서 일부 변형 발생

4. 짧은 공기 및 좁은 현장여건으로 현장 청소 상태 불량

· '93년 8,9월에는 모든 공중이 간섭되어 청소를 할 수 있는 시간과 업체간 유기적 통제가 불가능 했음.

V. 맺는 말

1. F.B.C 소각 분야에서 국산화율 향상

① 지자체, 산업 및 도시폐기물 처리 관련자 등 견학코스
② 건설 및 운전 경력, 15년 이상자 다수 보유로 사업 및 국가 경쟁력 향상

2. 철강 건설기술자에서 환경전문가로 성장(본인)

① 소각로 건설이후 익산 M.D.F 프로젝트의 P.M 수행
· 목재소각로, 보일러, 집진기, 폐수처리, 154 KV 등 수배전 설비, Air, Water, Steam 등, Utility 설비 등

② Wet Scrubber 및 B.Filter/폐수처리 설비의 P.M 수행

③ 음식물 잔반처리 퇴비화 설비의 사업총괄 P.M

④ 소각재를 이용한 고형화, 인공경량골재 플랜트의 사업준비 P.M

⑤ 서울시 하수슬러지 처리를 위한 타당성 조사 용역 업무 수행중

(원고접수일 1999. 5. 14)