

NeoFBC 기술 및 성남시 유동층소각로 설계 및 시운전

삼성엔지니어링(주)
기술연구소 이근 후

1. 서론

1.1 국내 슬러지 발생현황

국내에서는 전체 슬러지의 80% 가량이 하·폐수 처리장에서 발생하고 있으며, <표 1>에서 살펴본 바와 같이 1996년에는 125만톤 가량이 발생하였고 한강을 중심으로 한 서울, 경기지방에 50% 가량이 몰려 있다. 현재 하수처리율은 52.6%이며, 2,001년에는 하수처리율이 80% 이상을 목표로 하고 있기 때문에 슬러지의 발생량도 증가하여 연간 200만톤 이상이 발생할 것으로 예상된다. 슬러지는 2001년부터 직매립 및 해양투기가 금지될 예정이나 높은 함수율과 낮은 발열량 때문에 직접소각이나 감량화가 어려운 실정이다. 또한 전국에 산재한 공단의 폐수처리장에서도 하수슬러지 발생량에 비해 적지만 무시할 수 있는 수준 이상의 슬러지가 <표 2>와 같이 발생하고 있으며 발생원에 따라 다양한 발열량과 성상을 가지고 있으므로 폐수처리장 슬러지 처리를 위한 대책마련이 필요하다.

그밖의 주요 슬러지 발생시설로는 정수처리장을 들 수 있다. 정수처리장은 1996년 기준으로 649개소가 운영 중으로 22,910,000톤/일 규모로 상수도를 공급하고 있으며 무기성 슬러지가 연간 70만톤 가량 발생하고 있다.

1.2 국내 하수슬러지 처리현황

국내에서 발생한 슬러지 중에서 하수처리장에서 발생한 슬러지의 처리 현황은 <표 3>과 같이 79%를 매립, 19%를 해양투기로 처리하고 있으며 2%만을 소각 및 재이용으로 처리하고있는 실정이다. 슬러지 평균처리비용은 1996년 톤당

19,000원 가량이었으나, 현재는 25,000원 가량으로 상승 추세이며 1996년 발효된 런던협약에 따라 2001년부터 직매립 및 해양투기가 금지될 예정이므로 이 경우 슬러지처리비용은 상당히 상승할 것으로 예상된다. <표 3>에서 슬러지의 해양투기량은 분뇨를 슬러지의 범주에 포함시킬 경우 하루 9,000톤 가량으로 총 슬러지 발생량의 50% 수준이기 때문에 효율적인 슬러지 처리방법의 개발은 매우 시급한 실정이다. 슬러지처리방법의 변화로 향후 슬러지처리비용은 급격하게 증가할 것으로 예상되며, 실제로 1997년 서울·경기 지역의 슬러지 처리비용은 1996년에 비해 100% 이상, 대구지역의 경우에는 50% 가량 증가를 보이고 있으며, 금년에도 슬러지 처리비용은 급격하게 증가할 것으로 예상된다.

<표 1> 1996년 하수종말처리시설 현황 및 하수슬러지 발생량

구분	계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
개소	79	4	4	4	2	1	1	24	2	8	4	3	7	5	7	3
시설용량 (천톤/일)	11,452	4,050	1,021	1,070	430	300	300	1,932	175	273	149	403	98	451	716	85
슬러지 발생량 (천톤/년)	1,254	443	118	117	47	33	33	212	19	30	16	44	11	49	78	9

<표 2> 폐수처리장 현황 및 슬러지 발생량

구 분	개소	시설용량 (m ³ /일)	슬러지 발생량* (천톤/년)
공단폐수 종말처리시설	30	644,660	69.4
농공단지 폐수처리장	88	56,480	7.3
축산폐수처리시설	57	10,060	1.3
분뇨처리시설	184	24,038	-
계	354	636,698	78.0

* 하수처리장 시설용량 대비 슬러지발생량을 기준으로 추산한 값임

<표 3> 하수슬러지 처리방법별 처리현황 (단위 : 톤/년)

년도	계	농업이용	퇴비	매립	소각	해양투기	기타
1991	600,192	-	16,324	583,868	-	-	-
1992	612,233	6,560	24,390	579,443	-	-	1,840
1993	769,986	19,181	156	664,815	-	85,834	-
1994	961,586	17,747	8,350	766,064	-	169,425	-
1995	1,171,205	30,216	7,340	931,689	-	205,974	-
1996	1,277,164	8,971	-	1,008,566	5,351	243,046	11,230
비율(%)	100	0.7	-	79.0	0.4	19.0	0.9
톤당 처리비용 (원)	18,810	3,600	-	19,800	36,700	18,200	-

* '96하수종말처리시설 운영결과검토(환경부 상하수도국), 환경통계 연감(1997)

1.3 국내 유동층소각로 현황

국내 슬러지 소각로는 현재 제지공장의 제지슬러지 처리와 공단폐수처리장의 폐수슬러지 처리를 위해 설치되어 운영 중이며 소각로 방식은 유동층소각로가 주류를 이루며 사이클론 소각로와 로타리킬른 소각로도 일부 사용되고 있다. 한솔제지 및 온양펄프 청주공장의 제지공장에서 발생하는 제지슬러지를 소각처리하기 위한 유동층소각로로써 삼성엔지니어링에서 시공하였다. 공단폐수슬러지 소각처리를 위해서 달서, 구미 및 여천에 유동층소각로가 설치되어 직접소각으로 슬러지를 처리하고 있으나 슬러지처리비용이 당초 계획당시에 비해 연료비의 증가로 슬러지처리에 많은 어려움을 겪고 있다.

유동층 반응기는 기-고 및 액-고간 접촉 효율, 층내 체류물의 균일성 그리고 열 및 물질전달 효과가 우수할 뿐만 아니라 연속 조작과 처리능력이 월등하여, 각종 촉매 반응기, 건조기, 입상조립기 및 소각장치에 이르기까지 여러 분야에서 매우 다양하게 응용되고 있다. 유동층연소로는 유럽에서 석탄보일러로 개발되어 슬러지 등 함수율이 높은 폐기물 소각에 응용되어 사용되고 있으며 일본에서 도시쓰레기 소각로로 개발하여 중소형 소각로에 적용하고 있다. 유동층 연소 및 소각기술은 대체에너지원으로 석탄 및 wood waste, sewage sludge, waste tires and plastics 등과 같은 여러 다양한 저급원료에 광범위하게 적용될 수 있으며, 유동층소각로는 공해방지 및 운전 조절능력의 우수성으로 인해 다양한 폐기물소

각에의 응용이 활발하게 진행되고 있다.

슬러지를 가장 효과적으로 처리하는 기술로는 소각처리가 슬러지의 높은 수분함량 때문에 슬러지를 건조하거나 충분히 탈수한 후 소각하여야 보조연료 투입없이 자체 발열량에 의해 소각처리 할 수 있다. 슬러지 소각 기술로는 유동층을 이용한 방식이 기술적인 면과 경제성 측면에서 비교적 우수한 것으로 알려져 있고, 초기에 사용되던 기술인 입형 다단로 기술을 대체하는 추세에 있다. 유동층 소각로의 장점은 용이한 유지관리, 간헐적 운전에 대한 순응성 및 열효율이 우수하며 그 밖에 구조 및 특징에 대하여는 많이 발표되어 있는 기술이다. 또한 슬러지와 같은 고수분의 폐기물을 처리하기 위해 사이클론 연소로가 있다. 효율적으로 연소시키기가 어려운 연료 즉, 습기가 많은 농업 부산물, 고회분 석탄, 무연탄 그리고 고유황 오일 등과 같은 연료의 연소와 각종 폐기물의 소각처리에 비교적 적합한 기술로 1940년대에 미국의 Babcock & Wilcox사에 의해 처음으로 개발되었으며 2차 세계대전후 약 20년 동안 석탄연소용으로 많이 사용되었고 최근까지 슬러지 연소용으로도 사용되었으며 1970년대 중반 오일쇼크 이후 다단계 연소에 의한 NOx 제거와 백운석(dolomite)을 연소기에 첨가시켜 유황분을 제거하는 사이클론 연소기의 출현하는 등 여러 가지 기술이 개발되었으나 분진발생 및 운전의 어려움 등으로 사용빈도가 감소하고 있다.

슬러지 소각을 위해 국내에 설치된 유동층소각로는 대부분 슬러지 건조 등 전처리없이 직접 소각하는 방식을 택하고 있으나 최근 건설되는 구리시 및 성남시 하수슬러지 소각시설은 건조기를 설치하여 슬러지를 건조한 후 소각하여 배가스의 폐열을 활용하고 보조연료 사용량을 줄이는 공정을 채택하였다. 건조기를 사용하고 도시쓰레기소각로의 보일러에서 폐열을 공급받아 슬러지소각을 보조연료 없이 수행하는 공정이 성공적으로 운전되면 국내 하수슬러지 소각설비의 표준모델이 될 수 있으리라 본다.

2. NeoFBC 기술

2.1 NeoFBC 기술개발

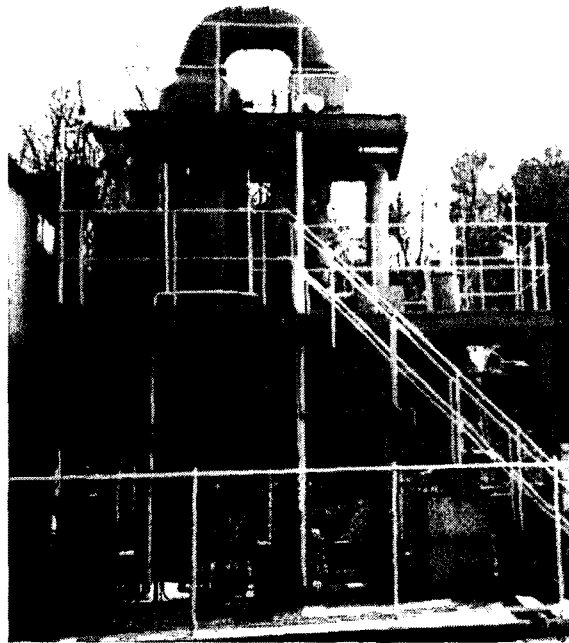
삼성엔지니어링이 독자 개발한 NeoFBC System은 제지슬러지 및 하수슬러지 등 소각처리를 주목적으로 개발된 유동층소각로 시스템이다. 유동층소각로 설계에서 핵심기술인 유동화 공기 분산판 및 노즐을 독자개발 하였으며, 유동층소각로 및 슬러지 공급시스템 등 핵심기술과 반응기 설계, 시스템 설계 등 공정기술을 개발하였으며, <그림 3>과 같이 Pilot Plant를 건설하여 설계기술에 대한 검증을 완료하였다. 이 Pilot Plant는 1.5톤/일 규모로 제지슬러지 및 하수슬러지에 대한 연소실험을 완료하였고 우수한 연소성능 및 80~90리터/톤 정도의 보조연료소모로 경제적으로 처리가 가능하다. 유동층 반응기 하단 및 공기 분산판은 불연물 및 소각재 배출이 용이하도록 설계되었으며 건조기와 결합하여 더욱 경제적 소각 시스템을 설계할 수 있도록 개발하였다.

하수슬러지 소각을 위한 유동층소각로 설계기술은 유동층소각로 자체에 대한 설계기술 뿐만 아니라 슬러지 건조기, 슬러지 공급장치, 폐열회수 및 배가스처리기술 등 다양한 기술이 필요하다. 하수슬러지는 유동층소각로에 투입되면 고온의 유동사에 의해 수분과 휘발분이 증발하여 유동층 상부의 Freeboard에서 연소가 진행되므로 가연분의 완전연소를 위해 유동층 설계에 있어 Freeboard 설계가 매우 중요하다. 연소가스가 6초 이상 Freeboard에 체류할 수 있도록 설계하고 유동층의 온도를 650℃ 이상으로 유지할 수 있도록 슬러지 투입량조절 및 보조연료 투입량을 조절하는 공정제어 시스템을 적용하여 안정적으로 슬러지를 소각처리할 수 있다.

2.2 분산판 및 노즐기술

하수슬러지는 발열량이 부족하므로 소각공정에서 에너지회수 및 절약공정이 곧바로 보조연료 사용량과 관계가 있으며, 그중 유동층소각로 온도조절 및 보조연료 사용량에 직접 영향을 주는 요인은 연소공기 온도, 유동층 보온설비 및 유동층 기밀확보 등이 있다. 이 중 특히 외부에서 유동층으로 공급되는 연소공기를 연소 배가스와 열교환하여 연소공기 온도를 500℃ 이상으로 상승시켜 유동층 분산판으로 공급하여 배가스의 폐열을 1차로 회수하여 사용함으로써, 유동층 온도조절 및

보조연료 사용량을 감소시키는 중요한 설계방법이다. 기체-기체 열교환기를 이용하여 500℃ 이상으로 연소공기를 승온시키는 열교환기 제작은 열교환기 전문업체를 활용하여 해결할 수 있으나 유동층소각로의 핵심기술인 분산판 및 노즐을 이러한 고온환경에서 연속적으로 사용하기 위해서는 노즐재질에 대한 개발이 중요하다. 삼성엔지니어링은 고온환경에서 유동사와 마찰에 충분히 견디는 내식성, 내산성 재질을 개발하여 Pilot Plant 실험에 적용하여 테스트를 마쳤다.



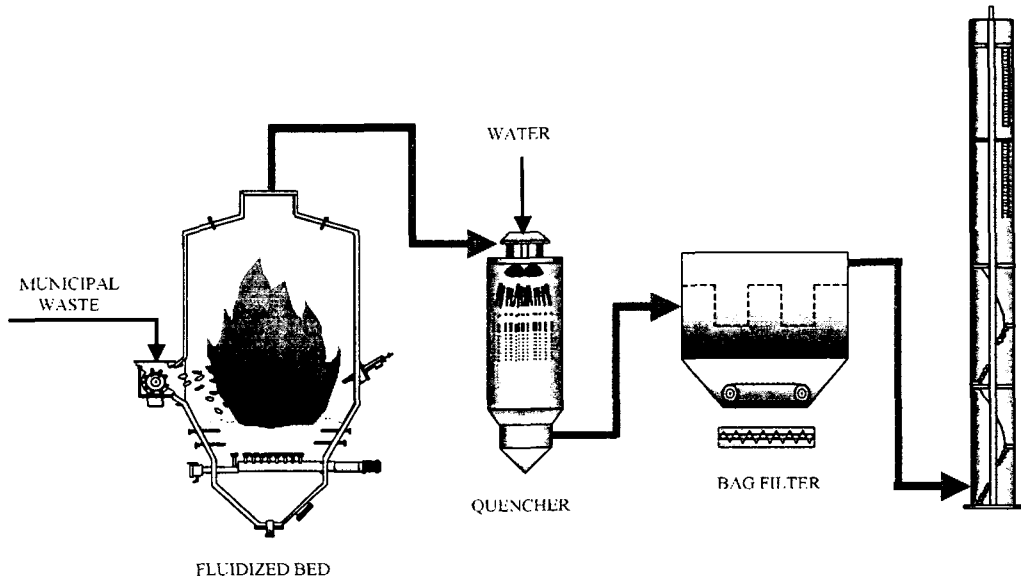
< 그림 1> 유동층 소각로 Pilot Plant(1.5톤/일)

3. 성남시 유동층소각로 설계 및 시운전

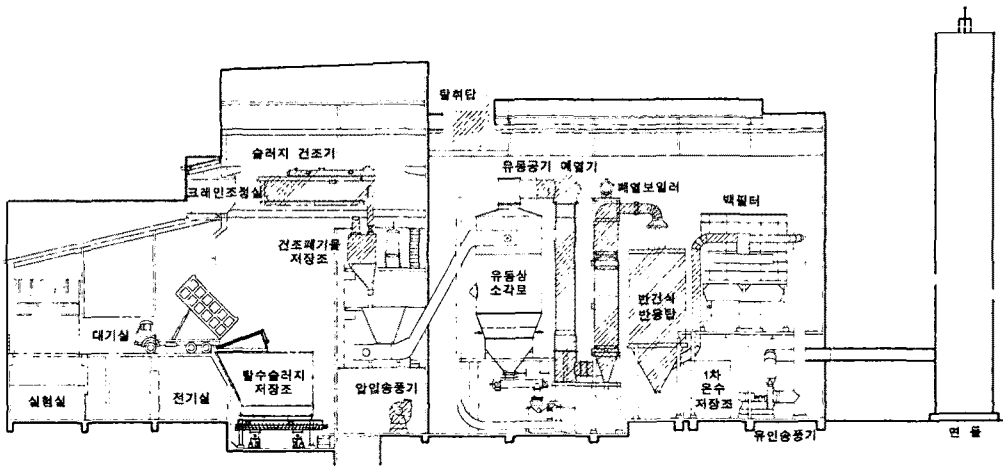
당사에서 개발한 유동층소각로 설계기술인 NeoFBC기술과 대형 체지슬러지 소각로 시공기술을 활용하여 도시쓰레기 소각로로 건설되었던 성남유동층소각로를 하수슬러지 소각로로 개조하고 배가스 중 다이옥신 발생을 저감하는 공사를 수행하고 있다. 성남유동소각로는 그림 3과 같이 원래 도시쓰레기 소각로로 50톤/일 규모의 유동층소각로 2기 및 배가스 처리시설로 구성되어 있으나 국내 도시쓰레기 특징을 정확히 파악하지 못하고 설계되어 정상적으로 운영되지 못하다가 2001년 하수슬러지 직매립 금지조치에 대비하여 하수슬러지 소각용으로 개조하게 되었다. 도시쓰레기 소각용으로 설계된 유동층소각로는 유동화공기를 고온으로 예열할 필요가 없기 때문에 열교환기가 없고 폐열을 활용하는 시설이 없으며 소각재 및 불연물이 많이 발생하므로 유동사 순환시설 및 불연물 제거설비가 설치되어 있었다. 이 소각로를 하수슬러지 소각용으로 개조하기 위해 슬러지 반입시설, 슬러지 건조기, 연소공기 예열기 및 다이옥신 저감을 위한 반건식 반응탑 및 활성화탄 투입시설 신설 등 기존시설을 대폭 개조하게 되는 사업으로 유동층소각로 신규 건설공사보다 복잡한 난공사라 하겠다. 특히 기존 유동화공기 유입설비 및 분산판은 100℃이하의 공기를 사용하는 설비로 하수슬러지를 소각하기 위해서는 분산판 및 노즐을 고온용으로 모두 교체하여야 한다. 주요 설비개조공사 내역은 다음표와 같으며 도시쓰레기 소각로로부터 공급받는 스팀이 부족한 경우 폐목재를 보조연료로 사용할 수 있도록 폐목재 저장조를 설치하고, 건조하지 않은 일반 슬러지와 건조기에서 건조한 슬러지를 적절한 비율로 혼합하여 연소함으로써 슬러지를 보조연료없이 완전연소할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

- | | |
|-------------------|--|
| ● 슬러지 반입 건조설비 신설 | : 하수슬러지 저장조 2기, 폐목재 저장조 1기
슬러지 건조기 수분증발량 2톤/시간 × 2기 |
| ● 소각시설 보완 | : 50톤/일 × 2기 소각로 본체 완전연소를 위한 개조 |
| ● 연소가스 냉각 설비 신설 | : 유동공기 예열기, 폐열보일러 |
| ● 대기오염 방지시설보완, 신설 | : 반건식 반응탑 신설, 활성화탄 투입설비 보완 |
| ● 폐수처리, 소각재설비 신설 | : 슬러지 건조 응축폐수처리, 소각재 저장조 |
| ● 기존 전기설비 보완 | : DCS 신설, 비상 발전기 신설 |

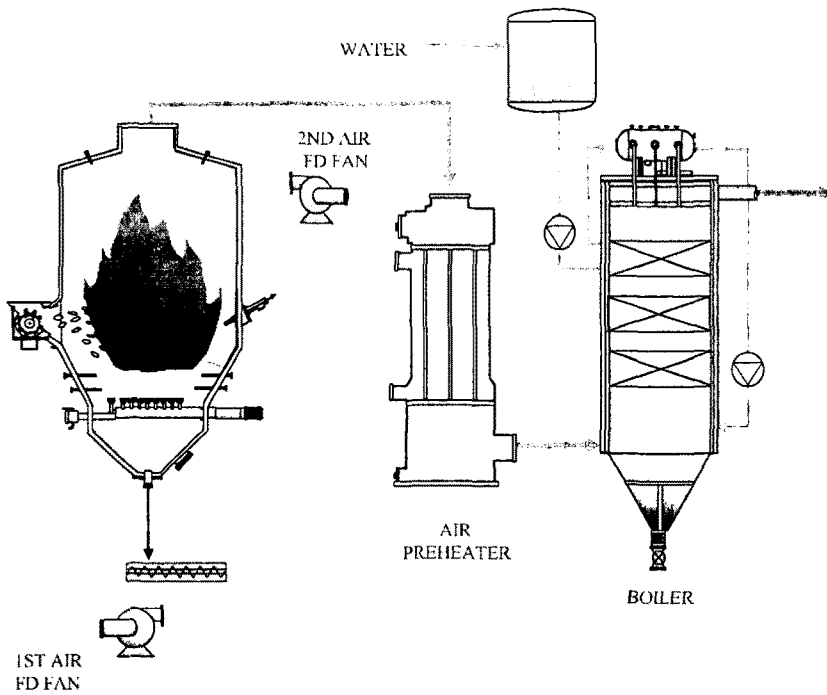
성남유동층 소각로 다음과 같은 공정흐름을 가지고 있으며 성남시 하수처리장에서 트럭으로 이송되는 하수슬러지는 슬러지 저장조에 투입되고 1차로 슬러지 건조기에서 수분함량 20~30% 가량으로 건조되어 수분함량 80%가량의 슬러지 저장소에서 직접 이송되는 슬러지와 혼합되어 유동층 소각로에 투입된다. 슬러지 건조기에서 사용되는 스팀은 유동층 소각로 폐열 보일러에서 일부 공급되고 나머지는 인근의 도시쓰레기 소각로의 폐열보일러에서 공급받는다. 정상적인 상태에서는 보조연료 사용없이 폐열보일러 및 도시쓰레기 소각로에서 공급되는 스팀만으로 하수슬러지를 소각처리하게 된다. 슬러지가 유동층 소각로에서 연소되면 유동층 상부의 배가스는 약 850℃정도로 배출되며 연소공기 예열기에서 650℃로 냉각되고 폐열보일러에서 스팀을 생산하게 된다. 최근 소각로 배가스에서 다이옥신 저감을 위한 배가스처리방법으로 보편적으로 사용되는 반건식 반응기에서 소석회슬러리와 활성탄을 혼합하여 분무함으로써 배가스 중 포함된 산성가스(염산가스, 아황산가스) 및 다이옥신을 제거하게 된다.



<그림 2> 성남시 유동층소각로 개조전 공정



<그림 3> 성남유동층소각로 공정도



<그림 4> 성남유동층소각로 연소로 및 보일러