

이동식소각로 개발, 환경보호 앞장

이병기 / 삼성건설(주) 건축엔지니어링팀 과장



● 개발취지

삼성건설은 93년초 시간당 100KG의 고정식 소각로를 일원동 삼성의료원 현장에 적용한 바 있다. 고정식 소각로가 적용됐던 삼성의료원 현장은 그 규모가 방대하여 분리수거장 및 소각로 설치 장소를 별도로 마련할 수 있었으나 서울지역을 비롯하여 대도시 도심에 위치한 현장들은 공사를 수행하기 위해 자재들의 적재장소 마련에도 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 공사 수행을 위해 필연적으로 발생하는 쓰레기의 현장자체처리를 위한 소각로의 설치는 더욱 더 어려운 문제일 수 밖에 없었다. 이에 가까운 현장 2~3개를 순회하며 가연성 쓰레기를 처리할 수 있는 이동식 소각로를 개발하게 된 것이다.

삼성건설에서는 93년 12월 삼성동에 위치한 그라스타위험장에서 시범 행사를 실시하고 경

삼성건설 소각로 배출가스 측정치 (대기환경 보전법과의 비교)

| 구 분 | 측 정 기 |
|--------------------------|--------------------------------|
| AMMONIA, (NH3) | 100 PPM |
| CARBON MONOXIDE, (CO) | 600 PPM@ 12% O2 |
| HYDROCHLORIC ACID, (HCL) | 50 PPM |
| CHLORINE, (CL2) | 60 PPM |
| SULFUR DIOXIDE, (SO2) | 300 PPM @ 12% O2 |
| NITROGE DIOXIDE, (NO2) | 200 PPM |
| CARBON DISULFIDE, (CS2) | 30 PPM |
| TOTAL ALDEHUDES, (RHCO) | 20 PPM |
| HYDROGEN SULFIDE, (H2S) | 15 PPM |
| FLUORINE, (F) | 3 PPM |
| HYDROGEN CYANIDE, (H2CH) | 10 PPM |
| BROMINE, (F) | 5 PPM |
| BENZENE, (C6H6) | 50 PPM |
| PHENHOL, (C6H6OH) | 10 PPM |
| MERCURY, (Hg) | 5 MG/Nm ³ |
| ARSENIC, (AS) | 3 PPM |
| CADMIUM, (Cd) | 1.0 KG/m ³ |
| CHROMIUM, (Cr) | 1.0 KG/m ³ |
| COPPER, (CU) | 10 MG/m ³ |
| NICKEL, (NI) | 20 MG/m ³ |
| ZINC, (Zn) | 30 MG/m ³ |
| 분진 | 100 MG/m ³ |
| MIST | 100 MG/m ³ @ 12% O2 |
| OPACITY | 2 RINGLE MAN |

기도 성남의 분당 서현역사 현장에서 1개월간의 운영을 한 후 축적되는 KNOW-HOW로 전 현장에 확대 적용할 예정이다.

이 이동식 소각로는 건설현장의 가장 취약점인 공사수행중 발생하는 가연성 쓰레기를 완전 처리 하므로써 환경 보호에 일익을 담당하게 될 것이라 생각한다.

● 소각로 PART 개요

1. 쓰레기 성상 및 당사 소각로 배출가스 측정기

- 건설현장에서 배출되는 일반적인 쓰레기 성상

- 1) 목재류 : 21%
- 2) 종이 : 20%
- 3) 플라스틱 : 7%
- 4) 철근, 콘크리트 : 23%
- 5) 암면류 : 8%
- 6) 기타 : 21%

에 근거하여 소각로는 아래와 같이 대기오염방지법의 규제치에 저촉되지 않는다.

2. 소각로 사양

1) 소각로의 개요

FUNNEL, SLUICE, PUSHER로된 DOUBLE FEED SYSTEM에 의하여 쓰레기는 자동 또는 수동으로 소각로내에 투입된다.

2) 소각로 S400의 기술적 자료

- ①소각량 : 가연성 쓰레기 100KG/HR
- ②배기가스와 공기 혼합의 총량 : 약 9,600m³/HR
- ③연소실 온도 : 최대 1,200℃
- ④배기가스와 공기 혼합후 온도 : 350℃
- ⑤로내 음압 : 200PA
- ⑥표면온도 : 주위온도 + 20℃
- ⑦연소용 공기필요량 : 1,500m³/HR
- ⑧냉각용 공기필요량 : 3,000m³/HR
- ⑨배기가스내 먼지농도 : 50MG/Nm³(02 17% 기준)
- ⑩배기가스 농도 : BACHARACH NO.1
- ⑪소각로의 규격 : 3,000L×1,550W×2,200H
- ⑫소각로 무게 : 0.9 TON

3) 소각로의 특징

- ①배기가스를 연소실내에서 오래 머물러 있도록 해서 배기가스에 NO, CO다이옥신의 농도가 낮고, 배기가스 농도를 투명의 BACH-RACE NO.1이 되도록 한다.
- ②소각로는 다음과 같은 종류의 쓰레기를 처리한다.
 - 가연성 고형 쓰레기
 - 불연성 쓰레기
 - 플라스틱류
 - 음식 쓰레기 (GALLEY WASTE)
- ③2-CHAMBER형의 소각로이다.
 - 1차 CHAMBER : 연소공정용이고-
 - 2차 CHAMBER : 연소후의 공정(배기가스의 열세척)용이다.
- ④로 CASHING은 용접된 완전 밀폐형이다.
- ⑤연소와 관리되는 모든 자재는 불연성으로, 최고급으로 만들어진다.
- ⑥이중벽을 갖춘 소각로로 FULL부하시 로의 외부표면온도는 주위 온도보다 약 20℃정도 높이며, 추가의 냉각용 공기는 불필요하다.

⑦불연소된 물질과 부피가 큰 경우에는 INCINERATOR DOOR를 열고 제거할 수 있으며 작은 경우는 회입구를 사용하여 제거할 수 있다.

⑧2개의 DIESEL OIL BURNER가 있으며 용량은 개당 15ℓ/HR이다.

⑨완전연소가 되기위해서 연소용 신선외기가 화격자 위에서 약 60% 화격자 밑에서40%가 공급된다.

4) 유압작동 쓰레기 투입장치

-2중의 투입 GATE이기 때문에, 로내 온도가 약 750℃가 되었을 때만 로내로의 쓰레기투입이 가능하다. 이 장치는 흑연 (BLACK SMOKE)이 발생되지 않는 효율적인 소각이 이루어진다. 이중 투입 GATE장치는 유압에 의해 작동된다.

5)잠금장치가 있는 배기농도 검출장치

-이 장치는 배기가스의 연속적인 농도 측정용이다. 이 검출기는 소각로 후단의 배기가스 PIPE에 설치되어 있다.

배기가스의 농도에 이상이 생기면, 잠금장치에 의해 자동적으로 쓰레기 투입장치가 닫혀진다.

6) 배기가스 FAN

- ①배출용량 : 약 96,000m³/HR
- ②소요동력 : 약 3/12KW
- ③배기가스 온도 : 350℃
- ④MOTOR 사양
 - 등급 : IP 54
 - 공급전원 : 220V, 60Hz
- ⑤배기가스 FAN의 규격 : 1,200L×800W×984H

7) 전기 제어 판넬

- 모든 필요한 FUSES와 운전용 및 지시용 계장품들은 판넬 내부에 장착된다.
- 판넬의 규격 : 500L×1,200W×1,200H

3. 소각로 운전 & 안전장치

1) 운전순서

①BELT CONVEYOR를 가동시켜서, FEED-FUNNEL에 쓰레기를 채운다.

②HALL-LAMP가 “녹색”이 되면 PUSH-BOTTON을 누른다. 그러면 FEED-FUNNEL내 쓰레기는 자동적으로 소각로 내로 투입된다. HALL-LAMP가 녹색이 되는것은 소각로가 예열온도 (약 750℃)까지 가열되어 쓰레기 투입가능함을 표시한다.

③자동투입 절차는 다음과 같다.

- FEED-FUNNEL밑에 있는 1차 문이 유압으로 열린다.

- FEED-FUNNEL내에 있는 쓰레기는 SLUICE 안으로 떨어진다.

- 자동으로 1차문이 닫힌다.

- 자동으로 유압에 의해 2차문 (수직)이 열린다.

- PUSHER가 앞쪽으로 이동함에 따라 유압에 의거 자동으로 연소실로 쓰레기를 밀어 넣는다.

- 자동으로 PUSHER는 원위치 되고

- 2차문이 자동으로 닫힌다.

④다시 ①~③이 반복된다.

2) 안전장치

다음과 같은 상황이 발생되면 BURNER가 꺼지고, FEED GATE가 잠기고, HALL-LAMP가 빨간색이 되면서 경보가 울린다.

①연소실 온도가 너무 높을때

②배기가스 온도가 너무 높을때

③연소실 온도가 100℃이상인 경우 검사구가 열릴때

④연소실 내부압력이 너무 낮은 부압 (NEGATIVE)일때

⑤1차, 2차 및 PUSHER의 운전시간이 너무 긴 경우, 문제점이 완전히 해결되고 RESET BOTTON을 누른 경우에 한하여 운전재개가 가능하다.

4. 소각로 장점

1) SEEBECK 소각로의 일반적 특성

①용량 : 교체용량 100KG/HR

②소각물질

- 일반 생활 및 건설현장에서 발생하는 쓰레기 일체

- 소각물질의 발열량 설계기준 : 평균 3,440 KCAL/KG

- PLASTIC류의 소각물질 : 발열량이 18,000 KCAL/KG 27,000KCAL/KG으로 높으므로 전체소각물질의 무게비 10%이내로 섞어서 소각한다. 이경우 별도의 후처리 설비가 필요 없다. PLASTIC이라함은 PVC, PE, PP, PTFE 종류이다.

③조연버너 : DIESEL BURNER를 사용하여 소각물질의 FLASH POINT보다 60℃이상에서 소각토록 함

④특기사항 : BURNER의 ON-OFF가 자동으로 이루어질 때까지는 운전시작 후 계속해서 운전자가 상주 해야 함

2) 소각물의 투입에서의 특성

①투입구는 로내부 온도가 100℃이하로 될 경우만 열수 있게 되어 있다.

②MAIN SWITCH가 “ON”이고 CONTROL 전원이 “ON”인 경우에 한하여 SOLENOID 잠금장치가 열려서 투입구를 열 수 있다.

③투입구가 열려 있으며 투입구 힌지 (HINGE)에 LIMIT SWITCH가 있어서 BURNER가 가동되지 않는다.

④쌓인 재를 제거한 후, 소각물질을 PLASTIC BAG에 넣어서 묶거나 풀어 놓은채로 속으로 집어 넣어서 BURNER에 의해서 잘 연되도록 한다.

⑤소각로 밑부분에 간격을 충분히 두어서 연소공기의 공급이 원활히 되도록 하여야 한다.

3) 정상운전을 위한 조정작업

①CONTROL PANEL의 최고온도 S/W의 조정장치를 다음과 같이 SETTING한다

- 하부온도 : 600℃

- 상부온도 : 800℃

이것은 800℃에서 BURNER가 꺼지고 600℃에서 재작동 함을 의미한다.

②다음에 2온도를 SETTING한다

- 900℃ : 소각로 온도 900℃이상 과열 경보

- 100℃ : 점검구의 잠금장치 해체

상기 내용은 고장에서 이미 SETTING되었으며 수정될 수 없다.

- ③ 배출가스 온도는 330℃로 공장 SETTING되었다. 더 높은 온도로 조정되지 않는다.
- ④ 소각물질 위로 연소공기가 잘 공급되고 BURNER LANCE를 COOLING하기 위해서, THROTTLE CAP은 50% OPEN한다. 이 CAP은 연소실 하부에 9EA가 있다. 연소중 연소상태, 연소물질에 따라 재조정 한다. 이때 연소실내 압력이 진공 1-2mbar가 반드시 되도록 해야 하며 그렇지 않으면 지압 SENSOR에 의해 전체 소각로가 꺼진다.
- 4) 점검구 (INSPECTION GLASS)
2개의 유리 점검구가 있다.
한개는 투입구에 또한개는 벽에 있다. 이들은 DIESEL OIL/공기 비율을 조정하여 최상의 연소가 되도록 하는데 주 목적이 있다.
- 5) 보조 BURNER
보조 BURNER는 자체에 붙어있는 BLOWER에 의해서 연소가스가 공급된다. 이 BURNER를 위한 THROTTLE FLAP의 조정은 기술자에 한하여 조정해야 한다.
- 6) 소각의 시작
BURNER까지의 OIL LINE이 다 열렸는지 확인후 START BOTTON을 누른다. 이는 OIL PUMP의 손상을 방지하기 위함이다.
- 7) 소각의 진행
 - ① 연소실이 BURNERFH 가열되어 충분히 높은 온도로 도달되면 소각물의 상부층에 점화된다. 소각물은 위에서 밑으로 한겹씩 연소된다.
 - ② 연소가스의 연소실을 떠나기전 BURNER FLAME CONE을 지나야만 한다. 그리고 연소가스내에 아직 존재하는 모든 입자들이 연소될 수 있는 온도까지 가열된다.
 - ③ 상한온도값 (800℃)에 도달하면 BURNER는 자동으로 꺼진다. 만일 온도가 이 값보다 낮으면 BURNER는 재점화 된다. 만일 온도가 900℃이상이 되면 경보가 울리고 이때 운전자는 연소가 줄어들도록 9EA의 AIR CAP을 달아서 AIR 공급을 줄여야 한다.
 - ④ 2차 연소실에서 연소가스의 흐름은 내부의 CYCLONE구조에 의하여 난류로 변하고 밀

도차에 의한 이동으로 연소 가능한 모든 미립자는 재연소된다. 따라서 연소가스는 완전 연소에 따라 WHITE SMOKE가 된다.

8) 연소중단

- ① 연소실 온도가 한시간 이상 800℃를 넘으면 유기물이건 무기물이건 더이상 소각물질이 연소실내에 없는 것으로 간주된다. 따라서 보조 BURNER에 의한 지원은 더이상 필요 없으므로 (STOP BURNING WASTE)의 BUTTON을 눌러서 BURNER를 끈다.
- ② ID FAN은 잔류 연소가스를 제거하고 소각로를 식히기 위하여 3.5시간이 계속해서 운전된다. CONTROL PANEL에서 ID FAN의 MAIN S/W가 자동으로 꺼진후에야 비로서 FAN S/W를 끌 수 있다.

9) 소각로 본체

소각로 본체는 가스 밀봉의 6MM 철판으로 만들고 T형강의 지지대로 고정되어 있다. 이 본체는 불충물의 지지대로 사용된다.

10) 소각로의 내화벽돌과 보온

- ① 철구조물 본체를 다음과 같이 내화 및 보온한다.

밀면 : 65mm 내화벽돌 - 보온

150mm 최대 1,300℃용 내화 CONCRETE

측정 및 천장 : 400mm보온 (1,000℃)

25mm보온 (1,000℃)

159mm 최대 1,300℃용 내화 CONCRETE

점검문 (ACCESS DOOR)

-4×40mm보온 (1,300℃용)

-1,500mm 최대 1,300℃용 내화 CONCRETE

천장 배기가스 출구: 고내열강의 침 (NEEDLE)로 보강된 1,300℃용 내화 CONCRETE

- ② 측벽과 천정사이의 신축이음 (EXPANSION JOINTS)사이에서 1,100℃용에서 견디는 탄성체를 넣어서 이음체 사이로 끼지 않도록 한다.

③ 특기사항

일반적으로 케스타블의 LINING방법은 일

체형으로 되어진다. 이러한 일체형 케스타블 LINING방법은 폐기물의 소각중 발생하는 연소가스의 누출을 방지한다. 그러나 이러한 일체형 LINING방법은 고온소각시 온도의 급격한 변화를 수반하는 열팽창과 수축의 반복현상에 적응되지 못하여 케스타블 내부의 CRACK을 발생시켜 수명을 급격히 단축시킨다. SEEBECK사의 소각로 케스타블 LINING은 오랜연구와 경험을 토대로 열팽창, 수축열에 따른 CRACK의 방지를 위해 적절한 SIZE로 분리 LINING되어 있다.

분리 LINING으로 조성되면 케스타블의 팽창으로 연소가스의 누출을 방지 시키면서 케스타블의 수명을 장기화 한다.

11) 외부냉각 장치

① 소각로 본체와 외부철판 사이의 중간 공간은 냉공기 장치로서 COOLING AIR를 제공한다. 이공기는 연소가스와 섞여서 온도를 300℃까지 내린다. COOLING AIR는 밑에서 들어와서 COVER상부 혼합 DUCT로 올라간다.

② 소각로는 4개 지지대로 고정되어 있어서 밑면도 주위공기의 순환에 의해 COOLING된다. 소각로 밑면과 바닥면 사이 간격이 가깝지 말아야 한다.

③ 특기사항

- SEEBECK사의 소각로 운전중 운전자는 어떠한 보호구를 착용하지 않아도 안전하다. 폐기물 투입구는 2중 구조로 역화가 발생할 우려가 없으며 소각로 외부온도는 독일 VDI (독일기술자협회)의 소각 시설의 기준 및 DIN규정에 의거하기 때문에 운전자는 어떠한 화기라도 보호되도록 되어 있다. 내부화인을 위한 점검공조차 2중 구조로 운전자의 안전에 만전을 기하고 있다.

12) 공기혼합장치

① 소각로 천장의 한 귀퉁이로 연소가스는 배출되면서 곧바로 COOLING AIR와 혼합된다. 공기입구의 THROTTLE FLAPS를 조정해서 배출가스 온도가 300℃이하가 되도록 조절한다.

② 연소가스와 COOLING AIR는 주로 ID. FAN 전에 180℃회전하여 DUCT부에서 혼합된다. 공기 혼합 DUCT는 밑부분에 여러개 구멍을 뚫어서 AIR가 흡입되도록 한다.

③ 분사장치의 예열장치용 HEATING COIL은 혼합 DUCT에 설치한다. HEATING COIL은 압력 7 BAR 온도 300℃에 견디게 설계한다.

13) 화격자 구조 및 재질

① 일반적으로 상연소방식 소각로의 경우 하부로부터 연소공기에 의해 연소된다. 국내 대부분의 소각로에는 화격자의 재질은 케스타블로 제작하거나 직접 소각로 바닥에 소각물을 적재하여 소각한다. 그러나 이러한 방법들은 연소실에 많은 DEAD SPACE를 발생시키므로 연소실을 크게 만들어야 하며 열가소성 PLASTIC과 같이 용융하는 소각물 등을 소각할 경우 소각된 재 (ASH)의 CLINKER현상이 발생되어 화격에 부착하여 연소를 저해한다. 특히 CLINKER화된 물질을 인력으로 제거할때 케스타블에 치명적인 손상을 입혀 소각로 수명을 단축시키게 한다.

② SEEBECK사의 소각로는 화격자 연소방식에서 발생할 수 있는 DEAD SPACE를 최대한으로 줄이기 위해 화격자를 주위로한 상부 케스타블의 설계에 특별히 고안된 경사각도를 유지하고 있다. 설계된 경사에 의해 화격자로 연소될 소각물이 단계적으로 DEAD SPACE없이 적재, 연소될 것이다.

화격자의 재질은 특수한 합금으로 제작되어 하부로부터 흡입되는 연소 공기의 통풍을 용이하게 하여 소각물에 충분한 표면적을 제공한다.

이 특수한 합금은 ASH 반출에 용이할 것이며 케스타블 화격자와 같이 장기사용이나 금속등과 같이 화격자에 충격이 가해지는 소각물이 투입될 경우 소각로에 발생하는 치명적인 손상을 방지해 줄 것이다.

14) 운전자의 부주의로 인한 불안전연소에 대한 방안

SEEBECK사의 소각로는 운전중 배기가스의

이동식 소각로 개발, 환경보호 앞장

밀도와 온도에 의해 폐기물 투입구가 자동으로 LOCKING 또는 OPEN된다. 운전에 적합하지 않은 온도 및 배기가스의 밀도에서는 자동으로 투입구가 LOCKING되므로 운전자 부주의로 인한 불완전 연소현상등이 발생될 수 없다. 또 이런 자동 CONTROL 기능은 만일 폐기물중 많은 발열량을 가진 특수한 물질이 투입 되었을 경우 더 이상의 LOADING을 방지하여 수명을 보호하고 위험을 예방하여 줄 것이다.

또한 이러한 기능은 운전조건의 상태를 소각로가 자동으로 제공하므로 누구나 손쉽게 안심하고 운전할 수 있다.

15) 전원공급 중단 또는 FAN의 운전정지시
전원공급 중단시 FAN의 운전 정지등 EME-

RGENCY상황이 발생되면 이러한 상황은 PANEL의 EMERGENCY에 감지되어 조연 BURNER가 정지되고 폐기물 투입 장치의 LOCKING등 모든 SYSTEM이 일시에 정지되어 SYSTEM정지후 4~5분 경과후 소각중이던 폐기물은 연소가 중단된다.

● 적용시 파급효과

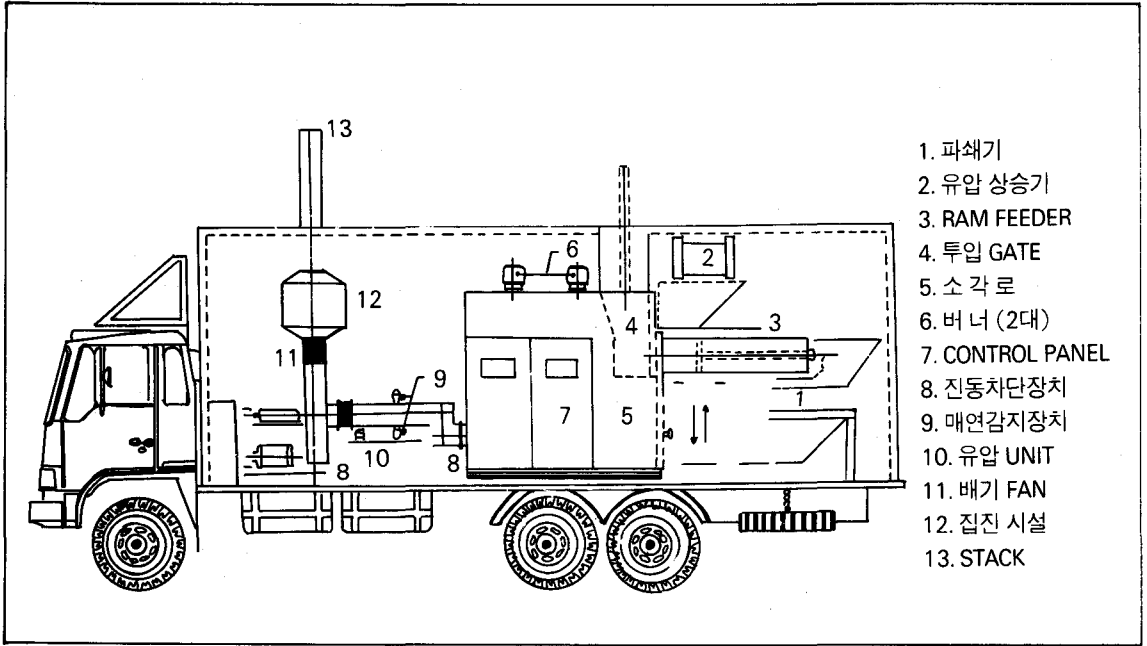
- 현장 지속적 운영으로 KNOW-HOW 및 DATA 축적
- 소각로 본체 국산화가 원가 절감
- 전 현장에 확대 보급
- 건설 현장이 아닌 HOTEL, OFFICE, APT등에 확대 적용

● 경제성평가

| 구 | 분 | 내 | 용 |
|----|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. | 투자비 | ₩165,000,000원 | |
| 2. | 운영비 | ₩ 6,207,200원 | |
| | | 가. 경유사용 : ₩570,000원/월 (1일 6시간) $\left[\begin{array}{l} 19 \ell / \text{HR} \times 6 \text{HR} / \text{DAY} = 114 \ell \\ 114 \ell \times \text{₩}200 \text{원} \times 25 \text{일} = \text{₩}570,000 \text{원} \end{array} \right.$ | |
| | | 나. 전기사용 : ₩187,200원/월 (1일 6시간) $\left[\begin{array}{l} 16 \text{KW} / \text{HR} \times 6 \text{HR} / \text{DAY} = 96 \text{KWH} \\ 96 \text{KWH} \times 78 \text{원} \times 25 \text{일} = \text{₩}187,200 \text{원} \end{array} \right.$ | |
| | | 다. 인건비 : ₩ 2,250,000원/월 - 운전기사 1인 (₩ 1,500,000원/월) - OPERATOR 1인 (₩ 750,000원/월) | |
| | | 라. 장비손료 : ₩ 2,600,000원/월 - 소각로 : ₩ 2,000,000원/월 - 차 량 : ₩ 600,000원/월 | |
| | | 마. 차량유지비 : ₩600,000원/월 | |
| 3. | 쓰레기 처리용량 | - 이동식 소각로 쓰레기 처리용량 : 350m ³ /월 - 현재 김포 매립지로 위탁처리시 비용 : ₩ 28,250원/m ³ - 소각처리량 × m ³ 당 처리비용 = 350m ³ × ₩28,250원 = ₩9,887,500원(처리비용) | |
| 4. | 절감비용 | * 절감비용 = (처리비용) - (운영비용) = ₩9,887,500 - ₩6,207,200 = 3,680,300 | |
| 5. | 투자회수 기간 | - 회수기간 : 투자비 / 절감비 = ₩ 165,000,000 / ₩3,680,000 = 3.7년 | |

- 이동식 소각로 운영비는 소각로 용량을 근거로 산출

소각로 구성도



소각로 폐기물처리 흐름도

