

# 신동에너지(주) 유화연료(에멀전) 연소시험 소개



신동에너지(주)  
발전·환경팀  
팀장 최승철  
Tel : (055)759-6000

## 1. 회사개요

### 가. 회사개요

정부의 에너지합리화 정책의 일환으로 진주상평산  
업단지내 업체들의 에너지 수급안정과 에너지를 합리  
적이고 효율적인 이용으로 에너지를 절감하는 한편,  
에너지 생성과정에서 발생하는 환경오염을 대폭 개선  
하여 쾌적한 도시 환경을 조성하는데 기여

### 나. 회사연혁

- 1995년 3월 : 법인설립
- 1995년 12월 : 집단에너지공급사업 허가 취득
- 1997년 5월 : 공사착공(발전설비 : 롯데건설, 탈황  
설비 : LG산전)
- 1999년 2월 : 열공급설비 준공
- 1999년 4월 : 상업운전 개시
- 2001년 6월 : 신무림제지, 신호제지 등 16개업체에  
스팀 공급, 전력은 한전에 전량 역수송

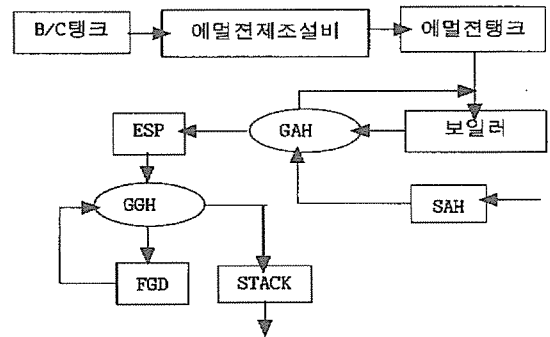
### 다. 시설현황

| 설비명    | 용량                        | 수량 | 제작사   |
|--------|---------------------------|----|-------|
| 발전용보일러 | 160T/H                    | 2기 | KHI   |
| 보조보일러  | 170T/H                    | 1기 | 동양보일러 |
| 터빈/발전기 | 42,6MW                    | 1기 | KHI   |
| 전기집진기  | 157,600Nm <sup>3</sup> /h | 3기 | LG산전  |
| 탈황설비   | 240,000Nm <sup>3</sup> /h | 2기 | FKK   |

### 라. 환경기준

| 항목                      | 단위                     | 환경기준  | 실적    |
|-------------------------|------------------------|-------|-------|
| 분진(Dust)                | mg/Sm <sup>3</sup> (4) | 100이하 | 15이하  |
| 황산화물(SO <sub>3</sub> )  | ppm(4)                 | 270이하 | 80이하  |
| 질소산화물(NO <sub>x</sub> ) | ppm(4)                 | 250이하 | 230이하 |

### 마. 시설 계통도



## 2. 에멀전 연소시험 개요

### 가. 시험목적

에멀전 연료의 대용량 보일러 적용 가능성과 이에  
따른 효율 및 연소가스 대기오염물질 저감 상태를 파악  
하여 열병합발전용 연료로서의 경제성과 신뢰성 확인

### 나. 시험기간

2001. 5. 25~2001. 12. 10

### 다. 시험주관

신동에너지(주)와 LG정유 기술연구소

### 라. 시험방법

사용연료인 황분 4.0% B-C에 LG정유에서 제공하  
는 유화제와 에멀전 제조설비를 통해 물 10%가 혼합  
된 에멀전을 현장에서 제조하여 신동에너지(주)의 보  
일러1호기 및 2호기에서 연소시킨 후, 보일러의 효율  
과 배출가스를 측정함.

마. 기대효과

- 연소효율의 증가
- 배출가스 개선(NOx, SO3, 분진)
- 과잉산소의 삭감
- 보일러 내 Deposit 감소

3. 연소시험 결과

가. 연소가스 분석 Data (9월말 현재)

| 항 목             | 단 위                    | 측정 결과 |      | 측정장소  | 측정장비            |
|-----------------|------------------------|-------|------|-------|-----------------|
|                 |                        | B-C   | 에멀전  |       |                 |
| 분진              | mg/Sm <sup>3</sup> (4) | 101   | 68   | ESP전단 | Stack Sampler   |
| NOx             | ppm(4)                 | 236   | 220  | GAH전단 | TESTO           |
| SO <sub>3</sub> | ppm                    | 6.8   | 3.6  | GAH전단 | Dew Point Meter |
| CO              | ppm                    | 4     | 15   | GAH전단 | TESTO           |
| O <sub>2</sub>  | %                      | 3.00  | 1.95 | GAH전단 | TESTO           |

나. 운전부하 및 연료 사용량

|         | 단 위 | B-C 연소         | 에멀전 연소        | 비 고   |
|---------|-----|----------------|---------------|-------|
| 주증기 생산량 | T/H | 105.1<br>(66%) | 91.3<br>(57%) | (부하율) |
| B-C 사용량 | L/T | 76.04          | 75.46         | 0.58  |

4. 에멀전의 연소특성

가. 에멀전의 연소원리

B-C유와 같은 연료를 보일러에서 연소시키기 위해서는 버너에서 기름을 작은 입자상태로 만들어 주어야 한다. 이와 같이 버너에서 기계적인 방법을 사용하여 기름을 무화(Spray) 상태로 만드는 것을 1차분무효과(Primary Atomization)라고 부른다. 스프레이를 생성하는 방법에 따라 차이는 있지만 유적(油滴)의 크기가 100 $\mu$ m 정도인 것으로 알려져 있다.

이와 같이 만들어진 유적은 보일러의 연소실에 착화되어 바깥에서부터 연소된다. 이때 유적의 크기가 너무 크게 되면 연소실내에서 다 타지 못하고 연소실 벽에 도달하여 퇴적되거나 검댕이 되어 연소실 밖으로 배출된다.

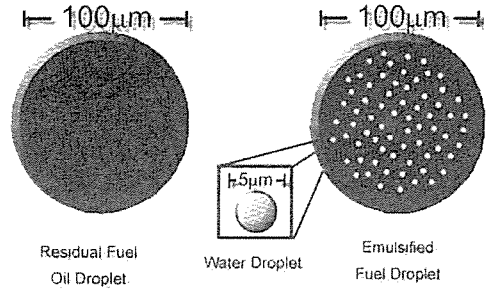


그림1. B-C유와 에멀전의 입자 비교

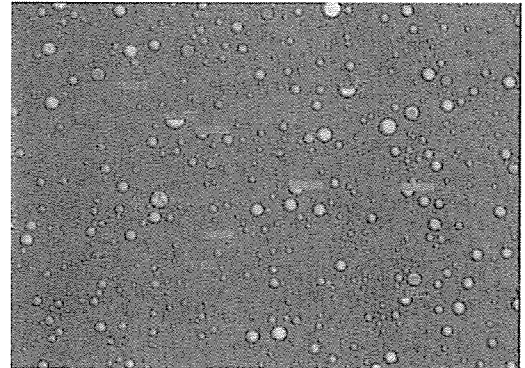


그림2. 에멀전의 현미경 사진

산업용 보일러에 사용되는 에멀전 연료는 B-C유에 10~20%의 물과 유화제(Emulsifier)를 섞어 기름방울 속에 5~20 $\mu$ m 크기의 물입자를 균일한 분포되도록 만든 W/O형 에멀전이다.

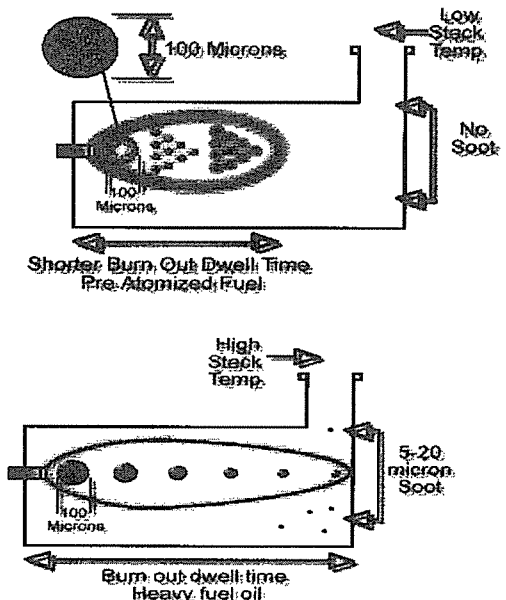


그림 3. 에멀전 연소(상)와 B-C유 연소(하)

버너에서 분무된 기름입자가 연소되며 온도가 상승하면 내부에 있는 물입자들이 기화되며 폭발적으로

팽창하면서 기름입자를 파열하여 다시 한 번 미세화 하는데 이를 2차분무효과(Secondary Atomization)이라 부른다.

2차분무효과는 기름입자를 단시간에 미립화 시켜 공기와 접촉하는 면적을 넓혀 연소효율을 높여주어 과잉공기의 공급량을 줄여줄 여지를 제공하며, 연소 시간을 단축시키고 화염의 온도를 낮추어 Thermal NOx의 생성을 줄여준다. 또한 화염의 길이를 짧게 만들어 미연소물이 연소실 벽이나 튜브에 부착되는 것을 막아 연소실이나 튜브에 퇴적물이나 스케일이 형성되는 것을 지지하여 Fouling 현상도 완화 시켜주며 분진의 배출량도 줄여준다.

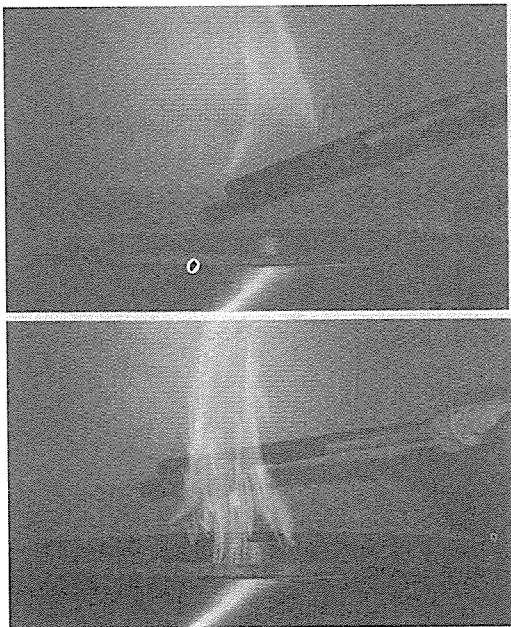


그림4. 2차분무효과(상 : B-C, 하 : 에멀전)

#### 나. 에멀전 제조 시스템

에멀전은 기본적으로 기름과 물과 유화제를 섞어 주는 교반기에서 만들어진다. 에멀전의 연소개선 효과는 2차분무효과에 의존하기 때문에 기존의 보일러 시스템의 1차분무능력(버너의 성능) 및 기존 시설의 종류 및 상태, 배출가스(O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, 분진) 등에 대한 면밀한 사전 분석이 필요하다. 그리고 그 결과에 따라 시스템에 맞는 최적의 물 함량과 물 입자크기를 결정하여야 하며 교반기는 이에 따른 정확한 물 주입과 유화제의 주입비율을 유지하고 최적의 물 입자 분포를 만들어낼 수 있도록 제작되어야 한다. 물 함량이 적으면 수분의 증발잠열에 의한 손실은 적어지나 전체적인 2차분무효과가 떨어진다. 물 입자 사이즈가

크면 폭발력이 커지지만 너무 크게 되면 물 입자 사이의 응집력 커져서 안정성이 떨어지게 되고 분리되기 쉬워진다. 또한 최대의 폭발력으로 기름입자를 파열 시켜야 하므로 기름입자 내에서 물 입자는 완전한 구형이 유지 되도록 만들어져야 한다. 또한 열병합 발전소와 같이 대량으로 연료를 소비하는 경우, 배치식 생산으로 안정적인 공급이 불가능하므로 연속적으로 에멀전을 생산할 수 있는 장치가 필수적이며, 고도의 안정성이 요구되는 만큼 자동화 장치와 충분한 안전장치를 구비하고 있어야 한다.

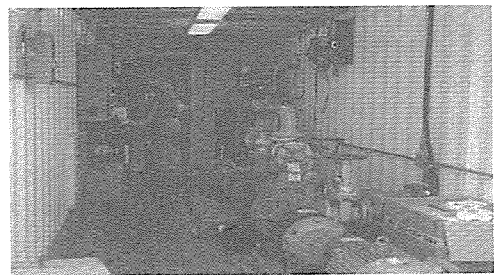
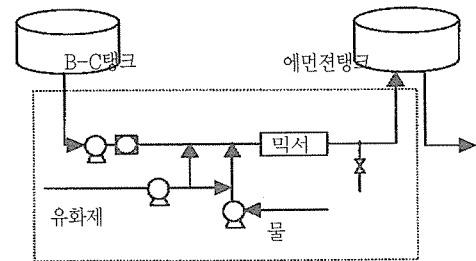


그림5. 에멀전 생산 시스템

이외에도 현장에서 생산되는 에멀전의 품질(물 입자 분포, 물 함량)을 수시로 확인할 수 있는 품질관리 장치도 함께 현장에 갖추어져야 있어야 한다.

#### 다. 유화제(Emulsifier)

유화제는 물과 기름이 교반장치에 잘 섞이도록 도와주고 생산된 에멀전이 연소될 때까지 최초 생산된 상태를 유지해 주는 역할을 한다. 가온 되어 사용되는 중질유의 특성에 따라 유화제는 고온에서의 안정성도 확보되어야 한다. 유화제의 성상은 다음과 같다.

| 성상            | 규격치        | 시험방법        |
|---------------|------------|-------------|
| 비중@24℃        | 0.940±0.01 | ASTM D-891  |
| 인화점,℃         | 86이상       | ASTM D-92   |
| Total Solid,% | 45 ~ 60    | ASTM D 3716 |
| 외관            | 호박색 액체     | 육안          |

라. B-C

LG정유에서 공급되는 일반 황분 4.0% B-C로 아래와 같은 평균적인 성상을 가지고 있다.

| 성 상          | 규 격 치 | 평 균 값  |
|--------------|-------|--------|
| 회분, w%       | -     | 0.022  |
| 밀도, kg/L     | -     | 0.9768 |
| API비중        | -     | 13.3   |
| 잔류탄소분, w%    | -     | 9.76   |
| 동점도, cSt     | 540이하 | 386    |
| 황분, w%       | 4.0이하 | 3.243  |
| 인화점, ℃       | 70이상  | 125    |
| 유동점, ℃       | -     | 5      |
| S&W          | 1.0이하 | 0.05   |
| 총발열량, Kcal/l | -     | 10,270 |
| 탄소(C), %     | -     | 85.75  |
| 수소(H), %     | -     | 10.89  |
| 질소(N), %     | -     | 0.17   |
| 바나듐(V), ppm  | -     | 103    |
| 니켈(N), ppm   | -     | 41     |
| 나트륨(Na), ppm | -     | 23     |

마. 에멀전의 기대효과 및 측정

1) 연소효율

효율계산은 미국기계학회에서 Excel Spread Sheet 로 만든 ASME (American Society of Mechanical Engineers) Short Form (첨부 참조)을 사용하여 Heat Loss법과 Input/Output법으로 계산되고 있다. Heat Loss법은 입력된 열량(연료, 보일러 용수, 흡공기)으로부터 Flue Gas로 배출되는 각종 Heat Loss를 감하는 방법으로 계산되며, Input/Output법은 입력된 에너지와 생산되는 스팀 사이의 Heat Balance를 가지고 계산된다. 따라서 이 두 계산방법은 상호 보완적인 측면을 가지고 있기 때문에 이 둘의 평균값을 기준으로 하면 객관적인 효율의 평가가 가능하다. 효율의 평가를 위해서 Flue Gas의 측정자료(Flue Gas 온도와 스팀 압력, 온도 등)와 공급 공기의 온도, 용수의 양과 온도, 연료의 조성자료(발열량, CH조성)와 온도 등의 자료가 필요하다.

앞에서 언급한 바와 같이 에멀전의 효과는 물을 에너지로 변환시키는 것이 아니라 연소조건을 개선하는

것이기 때문에 기존 보일러의 상태에 따라 효과에서 큰 차이를 나타낸다. Primary Atomization 능력이 뛰어난 최신 고성능버너가 장착된 시스템일수록 효율개선의 여지는 적어진다. 아울러 물 10%로 제조된 에멀전을 사용하는 경우, 증발잠열에 의해 약 0.9%의 효율 감소요인을 가지고 있기 때문에 최소한 이를 극복하는 정도의 연소조건 개선이 이루어져야만 효율의 개선을 기대할 수 있다.

2) Stack Gas 분석

a. 과잉산소(Excess O2)

에멀전 연소에 있어 과잉산소의 관리는 대단히 중요하다. 연소조건에 따라 공급되는 과잉산소의 양을 삭감(O2 Trim)해줌으로써 Flue Gas의 온도를 낮출 수 있어 연소효율 향상과 질소산화물, 삼산화황의 감소 등에 기여한다. 사용연료를 B-C에서 에멀전으로 바꾼 후, Flue Gas의 일산화탄소(CO)와 스모크, 연소실의 화염상태를 고려하여 Trial and Error 방식으로 에멀전에 맞는 새로운 O2-Load Curve를 만들어 보일러에 설정해 주어야 한다. 현재 산소농도는 보일러와 GAH(Gas Air Heater) 사이에서 TESTO 장비를 사용하여 측정되고 있으며, 기존 B-C 사용 시에 비해 1%정도 낮은 상태로 운전되고 있다.

b. 질소산화물 (NOx)

에멀전에 의한 질소산화물의 저감은 Thermal NOx의 생성조건을 완화 시킴으로써 이루어진다. Thermal NOx의 생성에 영향을 미치는 요소는 연소실의 온도 T(Peak Flame의 온도), 연소시간 t, 산소농도 등이며, 그 생성반응은 아래와 같이 요약된다.

$$[NOx] = k1e^{-k2/T} [N2][O2]^{1/2} t$$

여기서 k1, k2는 상수이며, N2는 연료 중의 질소함량이므로 Thermal NOx의 발생량은 연소실 온도가 낮을수록, 연소시간이 짧을수록 적어진다. 현재 신동에너지에서는 보일러와 GAH 사이에서 TESTO장비를 사용하여 측정하고 있다.

c. 삼산화황 (SO3)

현재 아황산가스의 규제는 SO2를 기준으로 하고 있다. 하지만 에멀전의 연소를 통하여 SO2의 저감효과는 거의 없는 것으로 알려져 있다. 이는 SO2의 발생이 전적으로 연료의 황분에 비례하기 때문이며,

NOx와 같이 보일러 연소조건과는 크게 관련이 없기 때문이다. SO3의 경우, 현재 환경규제항목은 아니나 일부 배연탈황시설을 갖추고 고유황연료를 사용하는 열병합발전소의 경우 대단히 중요한 요소이다. SO3는 Flue Gas가 보일러에서 배출되어 배기가스저감 장치를 거쳐 굴뚝을 통해 배출되는 동안, 배출가스의 온도가 점차 낮아져 노점(Dew Point) 이하가 되면 수증기와 결합하여 Mist 황산을 생성하여 장치의 심각한 부식을 일으키기 때문이다. 보일러에서 황분은 거의 SO2 상태로 연소되지만, 온도가 약 1700°C에 이르면 일부가 SO3로 전환된다. 이 과정에서 녹이나 바나듐 산화물의 존재하면 전환은 더욱 촉진된다. 황산의 노점은 배출가스 중의 SO3농도와 비례하기 때문에 배출가스 중의 SO3 농도가 높을 경우, 저온부식방지를 위해 Flue Gas 온도를 높여주어야만 하고 이는 곧 열손실과 직결된다. 에멀전은 연소온도를 낮추고 과잉 산소를 줄여 SO2가 SO3의 전환되는 것을 억제하고 촉매역할을 하는 바나듐 산화물이 튜브와 보일러 벽에 고착되는 것을 방지하여 SO3 발생량을 줄여준다. 현재 현장에서 SO3를 측정하는 것은 시험방법이 확립되어 있지 않아 어려움이 있으나 Acid Dew Point를 측정하여 이를 SO3 양으로 환산하는 원리를 적용한 LAND사의 Conserver IV Model 220 Dew Point Meter를 사용하여 보일러와 GAH 사이에서 측정하고 있다.

d. 분진(Particulate)

분진은 실제로 에멀전 사용으로 가장 효과가 분명히 나타나는 분야에 하나이다. 이는 2차분무효과에 의해 미연소물의 발생량을 줄여주기 때문이며, 이는 에멀전 연소 후 생성되는 분진의 외관과 분진의 Unburned Carbon분석에서 확인 할 수 있다. 신동에너지에서는 GAH와 EP사이에서 TM9096 Stack Sampler를 사용하여 분진을 포집한 후, 여지(필터)의 무게를 달아 분진의 발생량을 측정하고 Unburned Carbon, pH를 측정하여 분진의 상태를 확인한다.

e. 연소실 퇴적물(Deposit)

앞의 에멀전의 연소원리에서도 언급한 바와 같이 에멀전을 사용함으로써 연소실 분위기 온도가 낮아지고, 연소시간 및 화염의 길이가 짧아져 연소실과 Super Heater Tube에 고착되는 슬래크의 양이 줄고, 고착된 슬래크도 제거하기 쉬운 형태로 변하며,

슬래크 중의 바나듐이나 나트륨이 줄어들어 에멀전

이 고온부식과 저온부식 모두에 유효한 수단임을 확인할 수 있다.

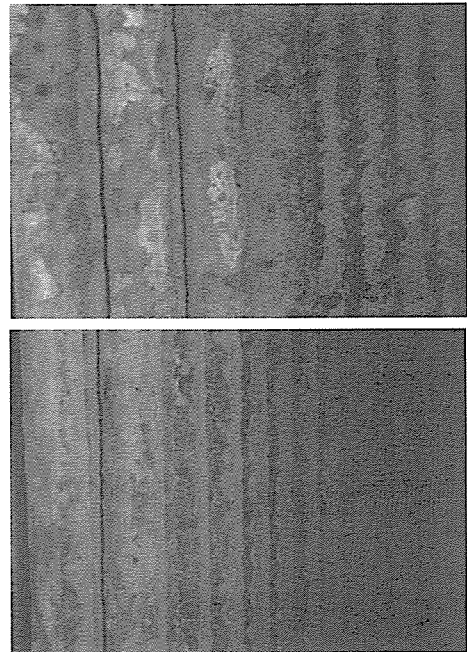


그림6. Super Heater Tube(상 : B-C, 하 : 에멀전)

## 5. 맺음말

위에서 간략하게 살펴본 바와 같이 에멀전 기술은 일부 공간에 잘못 알려진 것과는 달리 물 자체를 에너지로 전환시키는 기술이 아니라, 연소상태를 개선하여 연소효율을 높이고 배출가스를 저감하는 기술이다. 그리고 분명한 장점과 더불어 한계도 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 에멀전은 별다른 시설개조 없이 저렴한 비용으로 시행할 수 있으며, 다른 환경 관련 기술과는 달리 효율이나 질소산화물 등 다른 성능의 희생 없이 보일러의 전반적인 성능향상을 꾀할 수 있다는 점은 커다란 매력이라 할 수 있다. 이제까지 국내에서 소규모 보일러에서 제한적으로 적용하고 있는 에멀전 기술을 고도의 안정성이 요구되는 열병합 발전용 보일러에 성공적으로 적용하여 성과를 얻기 위해서는 막대한 기대감만을 가지고 접근하는 것은 바람직하지 않으며 기존의 시스템에 대한 철저한 분석과 안정성 있는 에멀전 제조시스템, 도입 후 에멀전의 연소에 맞추어 시스템을 최적화 할 수 있는 엔지니어링 능력을 갖추고 접근할 경우, 상당한 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.