• 技術解說 •

# CWM, COM, 燃料의 技術開發

## Technical Development of CWM and COM Fuel

金 東 燦

韓國動力資源研究所
先任研究員

## 1. 概要

세계적으로 埋藏量이 풍부한 石炭에너지의 유효한 利用을 위해서 石炭의 가스化, 液化등의 기술개발이 이루어지고 있으나 大量供給을 위해서는 요원한 상태에 있으며 빠른 시기에는 實用化 가능성이 있는 기술로서 석탄슬러리(COM, CWM) 燃料에 대한 技術開發이 진전을 보이고 있다.

COM (Coal-oil Mixture)이란 微粉碎한 석탄과重油를 重量比로서 거의 同量씩 혼합하여 均質化 및 安定化한 연료이며, CWM (Coal-Water Mixture)은 중유 대신 물 약 30%에 석탄 70%를 혼합하여 均質化 및 安定化한 燃料이다.

石炭은 고체이므로 운반, 저장, 연소가 불편한데 반하여 석탄슬러리는 液体狀으로 취급이 간편하고 在來式 石炭燃燒 方法에 비하여 석탄의 휘발분 수분 着火性등의 품질 및 규격에 대한 제한성이 적은 利點을 갖고 있으며 既存의 석유보일러 및 工業窯爐를 일부 개조하여 사용 할 수 있다. 석탄슬러리 연료에 있어서 微粉碎된 석탄과 중유 또는 물을 단순히 혼합하면 시간이 경과함에 따라 석탄분이 沈降分離되어 수송, 연소시에 문제가 되므로 장시간 저장시에도 分離되지 않고 均一한 分散狀態를 유지하는 것이 선결과제이며, 燃燒性 向上과 灰分에 의한 장애점 해결을 위한 기술개발이 중요한 과제이다(표-1).

이용대상 석탄은 수입유연탄 및 갈탄이 되며 국내무연탄의 수요감소시 활로증대도 기할 수 있다.

〈표-1〉 COM, CWM의 주요 문제점 및 開發內容

| 문 제 점 | 개 발 내 용 |
|---|---|
| 1) 석탄분의 침적 문제 | ○안정제 개발 및 안정화 방법<br>○석탄의 회분 제거 |
| 2) 고점도 유체의 수송 | ○유동조건 개선 및 유동화재 개발 |
| 3) 회분에 의한 마모성(펌프, 버어너팁, 전열관) | ○운전 조건 개선 및 재질선정<br>○회분제거 |
| 4) 버어너분무성 및 연소성 | ○적정 노즐 및 분무 조건개선<br>○버어너 개조 |
| 5) 보일러 개조 문제 | ○통풍계통 개조, 집진설비개조<br>○soot blowing |

### 가. 外國의 開發動向

75年경부터 COM연구가 시작된 이래 일부에서는 商業化 단계에 있으며, 석탄중의 灰分에 의한 장애를 줄이기 위하여 低灰分(law ash)COM이 강조 되고 있다.

한편 CWM은 石炭 全燒가 가능하고 經濟性이 큰 이점 때문에 81年경 부터 대두되기 시작하여 COM보다 실용화 가능성이 더 큰 것으로 내다 보고 CWM기술개발에 상당한 진전을 보이고 있는 추세이다.

○ **美國**

COM개발은 74년부터 DOE 및 民間企業의 共同參與로 추진되어 특수한 부문을 제외하고는 전반적인 연구단계는 끝난 상태이다.

실용화는 低灰分의 미분쇄 COM, 그리고 제조경비를 감소하기 위해 Chemical를 사용하지 않고 安定化하는 방향으로 나가며, 商業化 會社로서 COMCO, Coal Liquid, COM Energy등의 회사가 설립되어 생산 공급하고 있다. COMCO에서는 Florida Power Plant에 5年 계약하에, 82年 6십만bbl 을 공급하여 운전중에 있다.

CWM은 81년 전국적인 워크샵이 DOE지원하에 개최되어 장래 연구개발 방향이 토의 되었고 동년중에 bench scale실험 및 Pilot test를 거치게 되었으며 장기 실험을 함으로써 좀 더 기술적인 확인 시험을 하고 있는 상태이다.

○ **日本**

發電所 적용을 위한 COM기술개발이 76년 부터 電源開發(株)의 주관하에 重工業메이커 5개사 添加劑 메이커 5個社 등이 참여하여 250MW 발전용 보일러의 실증시험을 끝내고, 84년부터 350MW 重油전소 보일러에서의 실증시험을 계획하고 있다.

COM관련회사로는 81년 4월에 Japan COMCO가 설립 되어 1기 공사로서 82年부터 84年 11月까지 年産COM 90만톤, 2기공사로서 84年부터 88年까지 年産 500만톤 생산규모의 제조시설을 계획하고 있다.

CWM은 82年에 bench Scale연구가 시작되어 83年에 Wakamatsu Power station에 제조용량 1Ton/hr규모의 Pliot Plant를 갖추는 것으로 되어 있다.

### 나. 經濟性

CWM, COM의 經濟性 評價를 위해서는 제조 및 공급 시스템에 대한 조건이 설정되어 評價되어야 하나 일반적인 판단 기준을 보면,

(1) 열량당의 重油價格이 석탄가격의 2배이상이면 경제성이 있음(現 國內가격은 약 3배)

(2) CWM, COM가격이 중유가격보다 10%가 낮으면 經濟性이 있음(日本 電源開發(株)의 COM 가격 산출 결과를 국내 가격으로 환산하면 14.6% 낮음)

CWM, COM가격에 대한 미국 Combustion Engineering의 분석 결과는, 백만BTU當 重油가격은 5 $인데 비하여 CWM은 3~3.5$, COM은 4~4.5$로서 CWM은 중유가격의 60~70%가 된다.

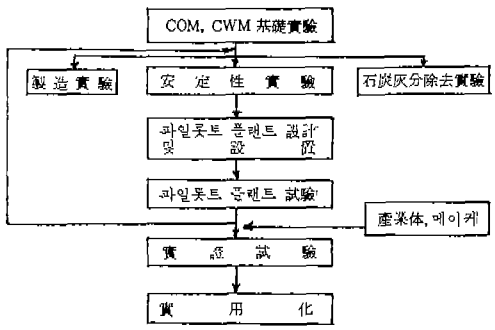
CWM의 投資回收기간(Payback Period)을 보면, Atlantic Research Corp. 에서는 44MW Oil boiler에 적용시 1.3~2.1년, Burns and Roe Inc에서는 200MW발전용 보일러에 적용시 1.7년으로 나타났다.

이와같은 자료들을 근거로 하여 국내 20T/H石油보일러에 적용시의 경제성 산출결과는 COM의 投資回收 期間 1.4~2.4년, 投資回收率(ROI) 28.5~60% 그리고 CWM의 投資回收 期間은 0.9~1.6년으로 나타나고 있다.

## 2. 實驗內容 및 結果

본연구소에서는 그림1에 표시된 바와 같이 基礎實驗→Pilot Plant Test→實證試驗의 단계를 거쳐 實用化를 추진하고 있으며 현단계는 파일롯트 플랜트 설치 및 시험 단계이다.

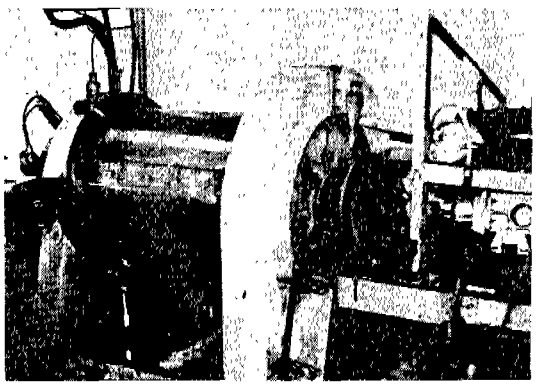
〈그림-1〉 석탄 슬러리 연료 개발 Flow



현재까지의 실험 내용은 COM, CWM의 제조, 저장, 수송 및 연소상의 문제점 해결을 위한 기초 실험이 수행 되었다. 즉 COM, CWM의 제조방법, 안정제 개발, 유동화제 개발 석탄의 灰分除去 기술 개발과 輸入有煙炭 COM 및 灰分除去한 국내 무연탄 COM의 연소 실험이 수행되었으며 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

### 가. 石炭의 微粉碎

○ COM, CWM의 제조를 위한 석탄의 微粉碎는 밀내에서 粗粒石炭과 重油 또는 물을 동시에 혼합하면서 粉碎하는 濕式方法이 乾式方法에 비하여 공정을 단순화 할 수 있고 炭粉에 의한 폭발위험성을 줄일 수가 있었다(**그림 2**).



〈그림－2〉 석탄 슬러리 제조장치(습식밀)

### 나. COM, CWM의 安定性

○ COM, CWM의 安定性은 석탄의 종류, 濃度, 粒度, 슬러리의 온도, 水分含量 그리고 제조시의 攪伴상태에 따라 영향이 크며 안정제를 첨가하지 않은 슬러리는 수일내에 석탄분의 沈降現狀이 크게 나타나 均一한 분산상태의 안정성을 유지할 수 없었다.

○ 安定劑를 첨가할 슬러리상에서는 수일간의 장시간에도 안정성 유지가 가능했으며, COM 안정제는 HLB價가 높을수록 우수한 안정성을 보였지만 안정제의 分子를 이루고 있는 親水, 親油性基의 特性에 따라 안정도의 차이가 많았고 효과가 좋은 안정제는 COM량의 0.1% 정도 첨가로도 충분한 안정성을 유지할 수 있었다.

○ CWM의 석탄—물 分散系에 있어서 석탄은 疎水性 물질이므로 쉽게 침전되며, 이때 界面活性劑를 이용하여 표면을 親水性으로 바꾸어 줌으로써 分散系는 안정하게 된다. CWM의 안정제로는 非이온성의 NP# 1060과 이온성의 Na-DBS, Na-CMC 등이 효과적이었으며, 장기간 저장시에 형성된 低面沈澱층은 재분산이 용이했다.

○ CWM 1002와 NaOH를 함께 사용하면 안정성이 비교적 우수하나 장기간 저장시 형성된 저면침전층은 재분산이 극히 어려웠다.

### 다. 流動性

○COM연료의 粘度는 COM중 石炭濃度가 42%정도에서 급상승을 나타냈으며 석탄농도가 증가할 수록 또 같은 석탄 농도에서는 水分의 含量이 증가할수록 粘度는 증가하고 non-Newtonian성향이 증가하였다.

또한 COM슬러리狀은 Pseudoplasic모델에 잘 맞는 流体임을 알 수 있었다.

○COM燃料의 粘度의 섭씨온도와의 관계는 지수적으로 변하여 $u=AtB$의 식으로 표시되었다.

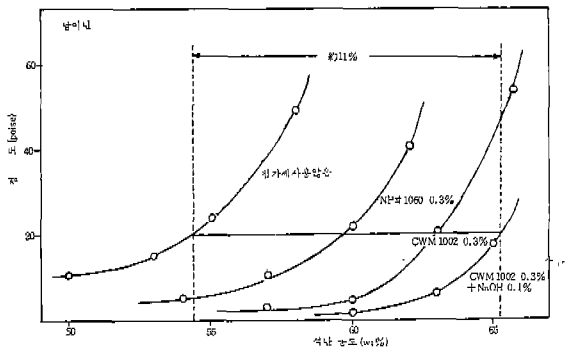
○CWM은 石炭의 濃度가 높으면서 낮은 粘度를 유지하여 유동성을 갖도록 해야 하는 것으로서 일정한 석탄에서 高濃度化에 영향을 주는 인자는 석탄의 粒徑分布가 중요하다.

○석탄은 微細하게 粉碎될수록 또한 粒子들의 크기에 따른 분포편차가 작을수록 한계농도가 낮아지기 때문에 필요 이상으로 粉碎하지 않고 또한 粒子들의 크기가 넓은 영역에 분포할 수 있도록 함이 유동성을 위해서 좋다.

○석탄의 종류에 따라 슬러리化 할 수 있는 한계농도가 크게 다르며 대체로 炭化가 많이 된 것일수록 높은 濃度의 슬러리를 만들 수 있다.

○石炭量을 高濃度로 높이기 위한 流動化劑로는 CWM 1002와 NaOH를 함께 사용하였을때 가장 우수하였으며 流動化劑를 사용하지 않았을 경우에 비해 10%이상 석탄농도를 증가시킬 수 있었다 (**그림 3**).

○국내무연탄을 灰分除去하여 COM을 제조할 경우 석탄농도를 45%이상 높일 수가 있었고, 유연탄에 비하여 高濃度 유지가 가능했으며 안정제로는




〈그림－3〉 CWM유동성 증대 효과

Na-DBS가 가장 우수한 안정성을 보였다.

### 라. 石炭灰分 除去

○석탄슬러리 燃料의 製造를 목적으로 Spherical Oil Agglomeration법에 의한 연속식 회분제거 장치(**그림4**)에서의 실험결과 灰分除去率 및 回收率은 비커 테스트의 경우와 같은 결과를 가져왔으며 試料 석탄중 單体分離상태가 양호한 長省炭과 恩城炭은 灰分除去 회수율이 높고 단체분리가 불량한 忠南炭, 화일炭은 낮았다(**표－2**).

○유연탄은 Bridging Oil을 重質油로 사용했을경우 灰分除去率 또는 회수율이 높은 반면 무연탄은 輕質油에서 높게 나타났다.

1. Coal Slurry Tank
2. Flocculation Tank
3. Tumbling Tank
4. Oil Tank
5. Ash Settling Tank
6. Vibrating Screen
7. Circulation Pump
8. Control Panel

〈그림－4〉 連續式 灰分除去 裝置

〈표－2〉 석탄의 灰分除去 실험조건 및 결과

| | 최적조건 | | | | | 灰分(%) | | 연소성물질회수율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 오일名 | 오일濃度(%) | 교반속도 | 교반시간 | slurry온도 | 原料炭 | 精製炭 | (%) |
| 恩城炭 | 輕油 | 15 | 1700rpm | 9.2분 | 常温 | 31.73 | 6.74 | 86.2 |
| | 重油 | 15 | 3000rpm | 30 〃 | 60℃ | | 9.77 | 87.1 |
| 삼정탄 | 輕油 | 15 | 1750 〃 | 9.5 〃 | 常温 | 42.70 | 12.16 | 89.2 |
| 長省炭 | 輕油 | 15 | 1800 〃 | 10 〃 | 〃 | 37.87 | 9.71 | 89.0 |
| | 重油 | 15 | 3000 〃 | 30 〃 | 60℃ | | 11.92 | 91.9 |
| 咸太炭 | 輕油 | 15 | 1600 〃 | 9.3 〃 | 常温 | 27.16 | 10.93 | 89.0 |
| | 重油 | 15 | 3000 〃 | 30 〃 | 60℃ | | 12.23 | 93.1 |
| 忠南炭 | 輕油 | 12.5 | 1780 〃 | 9.2 〃 | 常温 | 63.30 | 20.26 | 68.1 |
| | 重油 | 12.5 | 3000 〃 | 30 〃 | 60℃ | | 23.32 | 42.4 |
| 和一炭 | 輕油 | 10 | 2000 〃 | 10 〃 | 常温 | 69.66 | 20.67 | 98.7 |
| | 重油 | 10 | 3000 〃 | 30 〃 | 60℃ | | 24.34 | 74.3 |
| 南阿炭 | 輕油 | 30 | 1750 〃 | 9.0 〃 | 常温 | 33.29 | 17.68 | 74.0 |
| 大同炭 | 輕油 | 35 | 1800 〃 | 9.2 〃 | 〃 | 11.05 | 6.79 | 90.6 |
| | 重油 | 35 | 3000 〃 | 30 〃 | 60℃ | | 8.41 | 96.4 |
| 濠州炭 | 重油 | 40 | 3000 〃 | 〃 | 〃 | 1.16 | 0.60 | 99.3 |

※ 1灰分(%)은 dry base임

○일정한 石炭에서 灰分除去에 영향을 미치는 인자는 사용한 오일의 종류 및 濃度, 攪伴속도, Tumbling속도 및 시간에 따라 영향이 크게 나타났으며 석탄종류에 따라 최적조건의 차이가 있다.

○ 灰分除去時 부수적인 효과로 脫水 및 脫黃效果가 크게 나타났다. 脫水효과는 浮選法에 있어서 精製炭 건조시에 비하여 2/5정도의 熱量을 절약할 수 있었으며 脫黃效果는 석탄중 Sulfate는 거의 제거가 가능했고 Pyrite는 약 50% 정도까지 제거 되었다.

○炭分除時 Oil-석탄 응집과정에 에틸렌옥사이드 및 프로필옥사이드 부가물을 중심으로한 Chemical을 500ppm정도 첨가한 결과 攪伴時間을 1/3정도단축할 수 있었고 비교적 낮은 온도에서도 응집을 형성할 수 있었다.

### 마. COM연소시험

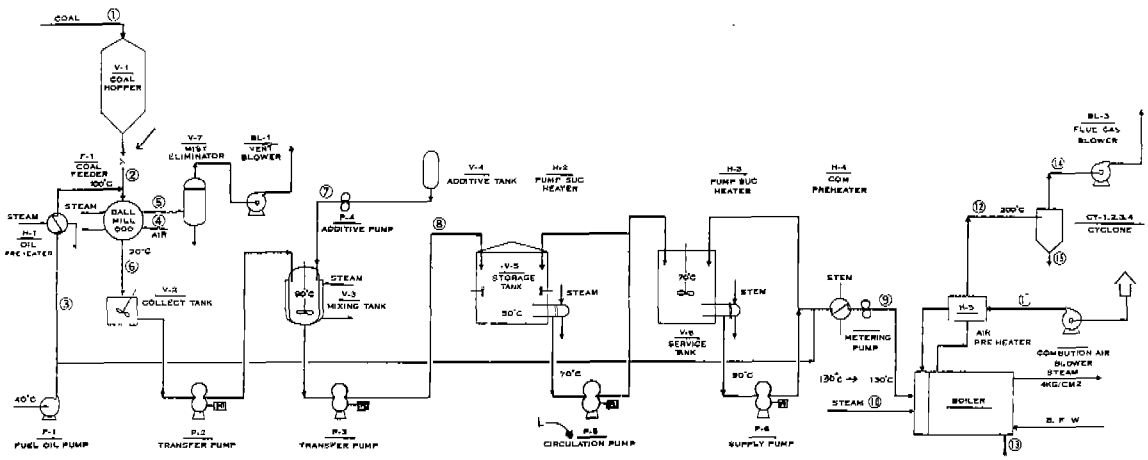
○重質油의 스팀 젯 버어너에서 수입 유연탄으로 제조한 COM이나 국내무연탄으로 제조한 COM 의 분무 및 연소는 가능함을 알 수 있었으며, 이때 연소 상태는 重油燃燒와 비슷한 양상을 이루었다.

○COM연소시 空氣化는 重油 연소시와 대등하게 유지할 수가 있었고, 연소조절을 하면 噴霧粒度爐內溫度 分布에 큰 변화는 없을 것으로 추측되었으며 석탄연소후의 灰分은 대부분 fly ash로 배출되고 爐內 bottom ash의 累積은 미량 이었다.

○COM을 豫熱하여 Pumping하는 경우에 水分의 증발에 의한 펌프에서의 Cavitation에 현상이 크게 나타났다. 또한 이때 COM의 加熱장치로는 전기가열장치는 적당치 않으며 저압증기를 사용하여 간접 가열함이 좋다.

## 3. 研究結果의 活用 및 成果

현재까지의 bench scale실험험결과와 燃燒試驗爐에서의 COM연소시험결과는 Pilot Plant 및 시험자료로서 활용성이 크며 국내 重油燃燒 보일러 및 工業窯爐에서 석탄슬러리 연소가 가능함을 실증할 수 있었다.

따라서 다음 단계로 **그림3**과 같은 Pilot Plant를 83年에 설치하여 석탄슬러리 연료의 제조, 저장 수송 및 연소시험이 수행된다. 産業体에서 석유연료 대신 석탄을 사용함은 제품생산 원가 감소에 큰 몫을 차지 할 것이나 석탄 보일러 설치상의 문제점으로 인하여 석유보일러에서 석탄보일러로의 대체는 의외로 지연 또는 불가한 경우가 많다. 따라서 석탄 슬러리 연료의 기술개발은 産業体 에서의 사용연료를 석유에서 석탄으로 대체하는데 큰 몫을 감당할 것으로 기대된다.

〈그림-5〉 COM, CWM Pilot Plant