

# MLM<sup>®</sup>으로 RTO 성능개선

(2003년 6월1일 발행 Pollution Engineering 잡지 기사)

By Dennis Meuiet, Paul Guerra, James Eldrige 와 James Russel.

매사추세트주의 Fitchburg시는 폐기물의 부피를 줄이기 위하여 도시의 스러지(오니)를 태우는 다상형 소각로를 가동하고 있습니다. 미국의 지자체들에 의해 보편적으로 사용되지는 않지만, 소각은 스러지(오니)의 처리를 위하여 널리 수락되고, 사용되는 방법입니다. 소각의 주된 장점은 축소되는 매립장의 공간 필요입니다. 매립장으로 통상 보내지는 재료들의 85~95퍼센트의 부피 축소가 소각의 전형적인 결과입니다.[1]

소각은 제한적인 가용의 공간을 가진 나라들에서 광범위하게 사용됩니다. 일본은 도시의 고형물 쓰레기의 약75%를 소각합니다.[2] 유럽에서는, 핀란드는 반대로, 이런 쓰레기의 90%가 매립장으로 보내지는 것으로 보고 되었고, 작은 덴마크에서는 이런 쓰레기의 75%가 소각됩니다.[3] 고형물 쓰레기의 마지막 처리는 전 세계적으로 통상 지자체들의 난제로 남습니다. 텍사스주 하나만에서 1998년 하루에 인당 6.5파운드의 고형물 쓰레기가 발생했습니다.[4]

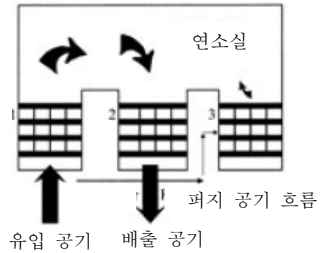


그림1 하나의 가열/냉각 사이클을 보여주는 3 Canister형 RTO의 공정도. 화살표로 관련 공기흐름을 표시. 이 예에서의 3개의 Canister의 기능은 (1) 연소실로 들어가는 공기의 예열(또는 세라믹 매체로부터 열을 취함), (2) 연소실에서 나가는 공기의 냉각(또는 세라믹 매체의 가열) 그리고, (3) 퍼지 Canister에서 전번의 밸브 전환시 미처리되고 남은 작은 양의 공기를 잡아서 가열. 다음 밸브 전환시 Canister1이 퍼지 Canister가 되고, Canister2는 예열로 전환 될 것이며, Canister3은 냉각 Canister가 될 것입니다. 또 한번의 밸브 전환시에는 그 Canister들은 각 Canister가 위와 같이 반복하는 3가지 형태 방식에서 가열, 냉각과 퍼지로 한번은 작동하는 것으로 보이도록, 기능을 바꿉니다. 추후 밸브 전환들에 따라 위와 같은 사이클 운전이 반복됩니다.

## Fitchburg시의 시영 소각로

고형물 쓰레기를 태우는 것은 굴뚝에서 대기로 배출되기 전에 처리되어야만 하는 유해한 기체들을 발생시킵니다.[5] 매사추세트의 Fitchburg는 그 시가 소유하고, 가동하는 여러곳의 폐수 처리장에 의하여 생산되는 하수의 고형물 스러지(오니)를 태웁니다. 추가로, 그 시는 미 북동부의 다른 지자체들의 오니들도 받습니다.



그림 2 현대적인 3 Canister형 RTO

Fitchburg에서 이 오니를 처리하는데, 평균 \$250/건조ton 이 지불됩니다. 그 소각로에서 생산된 배기는 굴뚝을 떠나 대기에 퍼지는 것이 허용되기 전에 처리 됩니다. 소각로 다음에 한대의 tray식 반응탑, 한대의 벤추리식 폐기 세정기와 습식 전기 집진기가 있습니다. 이 공기 오염 방지 단계들은 그 다상형 소각로에서 배출되기 전에, 기체로부터 미립자들과 중금속들을 제거합니다.

공기 오염 방지에서 마지막 단계는 열 재생식 소각로(RTO) 입니다. 이러한 공정은 RTO가 종종 공기 오염 방지 처리에서 제일 마지막 단계이므로, "버너들 후 공정 (after burners)"

이라고 불려지기도 합니다. 이 공정은, 처리하지 않으면 굴뚝에서 나갈 휘발성 유기 화합물들(VOCs)과 악취나는 기체들을 파괴하기 위하여 사용됩니다. VOC들은 "스모그(smog)"를 지원하는 것으로 알려져 있습니다.[6] Fitchburg 소각로에서 배출되는 기체 중에 존재하는 가장 공통적인 VOC는 아세톤 $[(CH_3)_2CO]$ 입니다. 1,500°F(816°C)로 관측되는 온도가 이러한 화합물들을  $CO_2$ 와  $H_2O$ 로 완전 산화시키기 위하여 RTO의 연소실내에서 유지됩니다.

Fitchburg RTO 설계는 늘하는대로, 처리되는 기체는 연소실로 또는 연소실 내에서 지나가면서, 예열되고, 냉각됩니다. 일련의 밸브들이 그 공기 흐름의 방향을 바꾸기 위해 90초마다 열리든지 또는 닫힙니다. 그 공기 흐름이 변경되면서, 연소실에서 나오는 기체는 최종 배출 전에 냉각되는 동안, 연소실로 들어가는 기체는 예열됩니다. 이 공정 흐름의 목적은 그 RTO 내에 있는 열을 잡아서, 재활용하는 것입니다. 필요한 연소실의 고온을 유지하기 위해, 필요한 천연 가스의 연소는 최소화되고, 연료비는 제어됩니다.

이 열의 취득과 배출은 RTO의 연소실과 연결되어 있는 Canisters(or "Cans")안에 열 회수 매체가 존재하는 것에 의하여 성취됩니다. 간단한 공정도가 그림1에 표시되어있고, 그림2에 전형적인 3 Canister형 RTO가 표시되어 있습니다.

세라믹제 Saddle들이 RTO안의 열 회수 매체의 전통적인 선택이여 왔습니다. Saddle들은 큰 압손을 가지며 가동되어서, 연료비는 관리되더라도 Saddle들을 사용한 RTO들이 전통적으로 전력의 주된 소비자가 되어왔던 주 요인이었습니다. 최근에 전력비가 인상되면서, Saddle들을 내장한 RTO의 운전 비용도 인상되었습니다. 그 Fitchburg RTO의 Saddle을 내장하고 운전된 상태들이 아래에 요약됩니다.

공기유량: 14,000 cfm

그곳의 Saddle 충전단들 통과 후 압손: 수두 25 인치

이 압손에서, 전력비 \$0.10/Kwh 기준, 산출한 그 공기 유량을 이송하는데 필요한

기동 마력:  $BHP=(cfm \times \text{압손})/5390=(14,000 \times 25)/5,390=65$

주어진 전력비에서 1 BHP가 연간 \$816 소모. 그러므로, 그 Fitchburg RTO의

연간 소모 전력비는 \$53,000(816 x 65) 이었습니다.[7]

Saddle들은 또한 그 충전단이 시간이 지나면 함몰하면서, "둥지"를 만들거나 서로 엉겨붙는 경향이 있습니다. 이것은 압손을 증가시킬 뿐 아니라(그리하여, 전력비를 인상시킴.), Saddle 충전단에서 타고난 막히고, 오염되는 문제들을 심하게 합니다. 실제로는, Saddle 충전단의 막힘이, 충전단이 완전히 함몰되는 기회를 가지기 훨씬 전에, 압손을 제고시킬 지도 모릅니다. Fitchburg에서의 그 문제점은 매우 심각해서, Saddle들 많은 부분이 서로를 마모시켜서 가는 모래가 되어 가라앉았습니다. 그림3에 나타나 있는 그 RTO로부터 제거된 Saddle들의 상태에 유의하십시오. 모래 량이 꽤 많은 것에 추가하여 면밀히 검사하니, 온전한 본래 제 모양의 Saddle들이 별로 없었습니다.

그 Saddle 충전단은 압축력을 받아서, Saddle들의 분명한 흔적이 절연재 벽에 남았습니다. 중국에는 Saddle 충전단의 압축력이 Saddle들이 Canister의 내벽에 설치되어 있는 절연재를

파고 들어가 박힐 만큼 심해졌습니다. 이러한 현상을 그림4에서 보십시오.

높은 전력비에 추가하여, Saddle을 충전한 RTO는 충전단에 축적된 불순물들을 제거하기 위하여 자주 청소되어야하기 때문에, 높은 정비 비용도 발생시킵니다. Fitchburg RTO의 가동 인력에 의하면, 충전단을 꺼내 청소하는 것이 매월 필요했습니다.

RTO들 내에 Saddle 충전단들을 꺼내서 청소해야하는 필요는 그전에 설치된 현장들에서도 알려졌었습니다. 잦은 정비를 위한 가동 정지의 필요에 추가하여, 압손은 정비 후, 정비 전의 상태로 절대 되돌아가지 않는 경향이었습니다.[8]

이 압손은 조금씩의 증가가 종국에는 그 충전단을 새 Saddle들로 교체해야 할 필요가 있게 하였습니다.

### Multi-Layer Media®

1996년에 RTO내에 사용하기위하여 대체 열 회수 매체로서 처음 소개된 Multi-Layer Media® (MLM®)는 그 시에 Saddle의 경우와 비교하여 열 효율의 손실 없이(그러므로, 연료비 증가 없이) 전력 소모에서 큰 감소가 있을 수 있다고 제안되었습니다. 그 MLM®의 자유롭게 들 수 있는 판상 설계는 매우 낮은 압손을 만듭니다. 또한, MLM®은 Saddle 보다 더 넓은 표면적과 더 많은 질량을 가지고 있어서, MLM®의 RTO내에서의 열 회수 성능은 Saddle들 보다 탁월합니다.



그림 3. MLM 설치전 Fitchburg RTO 에서 제거된 Saddle

그리고, MLM®의 평행 판상 설계는 Saddle들의 가용 수명이 매우 짧은 곳에 적용한 현장들에서 불순물 축적에 따른 막힘에 대단히 저항력이 있는 것으로 입증되었습니다.

MLM®은 설치를 용이하게 하기위하여, 각 판들을 한데 동여 매기 위한 얇은 무기질 접착제 층을 사용합니다. 가동 온도에서는 이 접착제는 그 매체의 자체 지지 능력을 손상시키지 않으며, 빨리 사라집니다. 이 자체 지지 구조는 다음 층의 매체를 90° 돌려 쌓음으로써 성취됩니다.

Fitchburg시는 2002년 6월에, 그들의 RTO내의 Saddle들을 MLM-180®으로 교체하기로 결정했습니다. 기술자들은 RTO를 시동하자마자 즉시, 압손의 극적인 감소를 관측했습니다. Saddle의 경우 수두 25인치의 압손인 반면, 두 곳의 MLM의 충전단을 통과 후 압손은 수두 4.5인치 뿐 이었습니다.

측정된 압손의 극적인 감소에 추가하여, Fitchburg의 RTO에 장착되어 있는 송풍기의 변속원동기는 이제 용량의 50% 수준에서 가동됩니다. 그전에는 그 원동기의 부하율이 85% 이었습니다. 그 보다 큰 중요한 점은 그 시가 스렛지(오니) 일당 처리량의 새로운 기록들을 일상적으로 달성하고 있다는 것입니다.

### 연간\$40,000이상 전력비 절감

소요 가동마력의 전술한 계산을 반복 산출합니다.

$$BHP=(14,000 \times 4.5)/5390=12$$

그 시의 1 BHP의 연간 전력비는 \$816이므로, Fitchburg 처리장의 연간 전력비는 이제, 연간 MLM<sup>®</sup>을 사용하여  $816 \times 12 = \$9,800$  인 반면, Saddle 사용시에는 \$53,000 이었습니다.

그러므로, 그 시는 연간 \$40,000 이상의 전력비 절약이 예상됩니다. 또한, 그 시가 MLM<sup>®</sup>의 설치로 기존 RTO의 처리 용량도 증가시킬 수 있도록 했으며, 그리고서도, Saddle 사용 시 전력 공급 회사에 지불하던 비용과 비교해 보면, 전력비 절약을 인지하고 있습니다.

그 증가된 처리 유량 24,000 cfm에서:

공기 유량: 24,000 cfm

두곳의 MLM<sup>®</sup> 층진단들 통과 후 압손: 수두 7인치

용량 증가 후 연간 예상 전력비:  $BHP=(24,000 \times 7)/5390=31$

$$816 \times 31 = \$25,500(\text{용량 증가 후})$$

그러므로, 42%의 처리 용량 증가 후, 그 시는 Saddle 사용 시 전력비보다 50% 이상 적은 전력비를 지불할 것입니다.



그림 4.

### 연간 일백십만불 매출액 증가

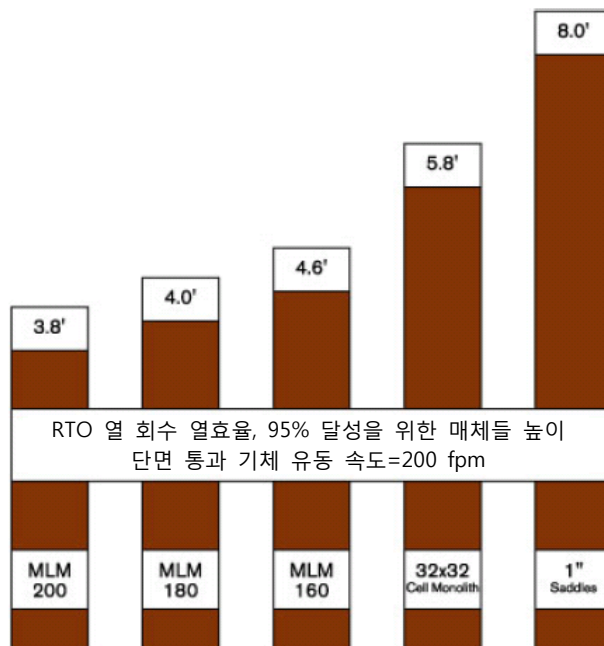


그림 5. 95% 열 효율 달성에 필요한 열 회수 매체들의 충진단 높이.

예상치 않았던 주요한 개체 프로젝트의 이점을 그 시는 빨리 인지했습니다.

MLM<sup>®</sup> 교체하고, 그 RTO를 시동 후, 태워진 스렛지(오니)의 양이 일당 평균 30% 증가하였습니다. 전술한 바와 같이, 그 시는 주변의 여러 지자체들로부터 받는 건조 기준 매 톤당 평균 \$250의 보상을 받습니다.

30% 처리 용량 증가의 대부분은 다른 지자체들로부터 받는 처리 중량이 증가하는 것으로 반영되었다고 그 운전자는 보고 합니다.

그 소각로는 시간당 평균 1.9 건조 기준 톤을 소각하고 있습니다. (그 소각로의 정격 용량은 시간당 2.0 톤입니다) 이 수치의 30% 와 연간 8,000시간 가동을 가정하면, Fichburg는 그 시의 소각로 운전에서 \$1,140,000 만큼의 증가된 매출액을 실현했습니다.

### **환경상의 장점들**

비용 절감 이외에 전력 소모 감소는 온실 가스 배출을 또한, 감소시킵니다. 1 마력은 0.746 Kwh 와 동일 합니다. 1 Kwh 발전은 CO<sub>2</sub> 가스 1.341 파운드를 대기에 배출하는 원인이 되는 것으로 산출됩니다.[10]

그러므로, 53마력의 제거는 전술한 바와 같이, 연간 336,076 Kwh(연간 340일 가동 기준)의 제거와 동일 시됩니다. 만일 이 전력이 발전되지 않는다면, 이 프로젝트의 결과에 따른 잠재적 감소는 연간 배출가스 CO<sub>2</sub>, 450,000 파운드입니다.



그림 6. Multi-Layer Media<sup>®</sup> Lantec 사가 공급한 MLM<sup>®</sup>

### **참고자료들**

[1] "Decision Maker's Guide to Municipal Solid Waste Incineration", 1999, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 1818 H Street, N. W., Washington, D. C., 20433, USA.

[2] "The Present Level of Municipal Solid Waste Treatment Technologies", Professor Takashi Gunjima, Sanwa Research Institute, [www.apevc.or.jp/072298/072298b.htm](http://www.apevc.or.jp/072298/072298b.htm)

[3] "Municipal Waste Management", Torben Wallach, Chairman, HELCOM LAND, [www.helcom.or.fi/manandsea/municipalities.html](http://www.helcom.or.fi/manandsea/municipalities.html)

[4] "Texas Environmental Profiles No. 2, Municipal Solid Waste in Texas", [www.texasep.org/html/wst/wst\\_2mtx.html](http://www.texasep.org/html/wst/wst_2mtx.html)

[5] "Municipal Incineration Plant Wastewater Treatment"

[6] "Global Issue: Biogenic Volatile Organic Compounds", Rainer Steinbrecher, [www.gnest.org/Global\\_Issues/Biogenic.htm](http://www.gnest.org/Global_Issues/Biogenic.htm)

[7] Electric Power Institute, EPRI, 3412 Hillview Avenue, Palo Alto, CA 94304 USA, calculations assume 80 percent efficient motors, 10 percent annual down time

[8] "Bioslids Incinerator Operator Retrofits RTO to Improve Air Flow", Ann Hasbach, Pollution Engineering, November 1999, pp 55-56, [www.lantecp.com/mlm/MLMPollEng.htm](http://www.lantecp.com/mlm/MLMPollEng.htm)

[9] Central Iowa Power Cooperative, [www.cipco.org/cost.asp](http://www.cipco.org/cost.asp)

[10] US Department of Energy and the U.S. Environmental Protection Agency, "Carbon Dioxide Emissions from the Generation of Electric Power in the United States", July 2000