
重油及残渣油用添加剂(POWER-Z)的 燃烧特性研究

2003年 1月

首任研究院：추수태 工学博士

TEL : 031-219-2679

FAX : 031-216-9125

高等技术研究院工厂工程中心

1. 开发技术概要

1-1. 前言

通观近来国内外的环保及能源供求调节的稳定性等问题，当今作为主要能源的石油如果不能解决公害及燃料效率的提高等技术问题，未来社会只能使用其它形式的能源。世界各国都认识到“替代能源开发”及“洁净燃料的使用”是解决环保问题的一种途径，在政府的主导下多年来进行了持续的研究开发，但在现时的经济、社会、技术条件下，预计今后石油仍然占据相当部分的使用领域。

国内大多数火力发电厂在使用重油，与使用天然气、煤炭、原子能的发电相比，其每 KWh 生产费用处于劣势。部分重油火力发电用于季节性辅助发电，或者为了设备的运转处于亏损运行，因而必须降低后处理设备的固定管理费，或者使用更加廉价的燃料，否则现存火力发电厂运行将面临极大的困难。作为解决方法是以价格低廉的残渣油 (Asphalt) 或重油和残渣油的混合燃料替代现有的重油，这将降低现存火力发电厂的相当一部分的费用。

残渣油的状态随温度的不同而有差异，与重油相比储存、运输及使用等都较难，因此要想重油那样在现场直接使用，就存在问题，所以有必要改善残渣油的状态和性质，也就是要进行使用前的预处理，使其与重油相近。因燃烧喷嘴结构改造效果有限，需要用添加剂 (fuel additive) 混合使用，以此达到与使用重油时相近的喷嘴操作。本研究的委托单位 TECHMOBIO (株) 具有多年在燃料优化领域进行汽油、轻油、重油等燃料优化剂开发并商业化的经验，在此次研究中想通过使用残渣油及重油添加剂的燃烧试验测定添加剂得特性。燃烧试验用设备为高等技术研究院工程中心的焚烧炉设备，测定有无添加剂的燃烧反应中 dust、NO_x、CO 的浓度，并进行比较分析。

1-2. 国内外相关技术现状

几十年来一直在进行着燃料添加剂的研究开发及商业化，直到现在国内外此领域的技术开发仍在进行中 (Cooper (1984)、Lynam 等(1990)、Matter 等(1997)、Duncan 等(1997)、Okada 等(1997)、Li 等(2002)) 添加剂的使用范围为从汽油、轻油、重油等液态燃料到有烟炭等固态燃料，其范围比较广，虽然对各种燃料的多种功能的添加剂不断地出现，但这些添加剂的功能和对其明确的解析成了企业的商业机密，至今未见成熟的学术研究报告 (백민수等(1995)、조은성等(1997)、양관모等(2000))、而且由于众多类似企业的出现，未经严格的验证试验随意进行产品销售，造成对添加剂的技术上的不信任的状况。

一些重油添加剂的研究报告 (Kim 等(2002)) 中看出，用有机和无机物化合物作为添加剂 (combustion improver agent) 的组成成分，金属环烷酸盐 (metal(Fe, Mg, Ca)-

naphthenate)、硬脂酸盐(stearate)及有机溶剂(solvents)等作为有机化合物,而碳酸盐(carbonate)和硝酸盐(nitrate)作为有机化合物,其用量为 1~5wt%以下。Witzel 等(1995)利用煤胞发生装置(cenosphere generator)把重油粒子转变成煤胞状态后进行与空气反应程度检测试验,此反应程度按照添加剂(含铁有机化合物)作了比较。使用添加剂时能够很好地形成煤胞,在锅炉试验中观察到粒子减少 60%以上。国内现有十余家相关中小企业,近年来一些高新技术企业开发及生产重油等低级燃油添加剂。

本研究项目委托单位 **TECHNOBIO** 以石油类燃料的高效使用及环保型转换为目的,倾注了 8 年多的不懈努力,开发了“Power-Z”系列产品,达到了汽油、轻油及重油的节油和降低环境污染的目标,广泛应用于汽车及各种工业锅炉,如韩国造纸(株)、HANSOL 造纸(株)、P&G(株)、(株)现代建设、(株)韩进重工业等 80 多个企业在使用该产品,在重油锅炉中获得了 5~15%的节油效果。该企业由政府认定为优秀企业。

1-3. 期望效果

期望通过该项研究开发出添加剂,改善低级油的特性解决燃烧运行中的问题,减低废气中的污染物浓度。如果各种工业锅炉及发电厂使用性能改善了的残渣油,价格上和固定维修费等方面将带来相当的优势。现在残渣油的价格为重油价格的一半左右,由此可预见其经济效果,在环保方面,将开发的添加剂用于混合燃料时预计能够获得很好的降低污染效果。

如,由于大部分重油及残渣油等低级油含有钒或钠等金属和硫磺等成分,因此可使锅炉的高温部位腐蚀加剧,添加剂中含有有机化合物,可产生高熔点化,防止由燃料中的金属化合物引起的高温腐蚀。另外,引起腐蚀的灰分的白色化使炉膛吸热减缓,造成废气温度上升,而添加剂具有降低 Sox 的功能,有望降低腐蚀。添加剂可使燃烧所需空气量减少,既减少大气污染。

开发的添加剂将广泛应用于现有重油工业锅炉,现正在使用添加剂的场所也将可使用本研究项目开发出的添加剂和混合燃料,添加剂的价格将保持在现有添加剂的价格水平,此时使用价格低廉的特性改善的重油或残渣油作燃料将大幅降低费用。另一应用将是发电厂,2002 年国内使用重油发电规模约 30,000 百万 KWh,如果使用本研究开发的添加剂和重残油将减低固定费用,并且将现有后处理设备的环境污染因素的负担降低到最小。

2. 试验

2-1. 燃料

本研究中使用的燃料为 TECHNOBIO (株) 提供的重油和国产常压残渣油, 这些燃料的特性分析结果如下表:

Table 1. Characteristics of fuels employed in present study

	工业分析 ¹⁾				元素分析 ²⁾						发热量 ⁴⁾ (kcal/kg)
	MW(%)	VM(%)	Ash(%)	F-C(%)	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)	O(%) ³⁾	Ash(%)	
重油 1	0.00	92.11	0.06	7.83	85.61	11.57	0.23	2.53	0.00	0.06	10195
重油 2	0.00	92.20	0.05	7.75	85.53	11.59	0.27	2.56	0.00	0.05	10221
残渣油	0.00	89.69	0.03	10.28	85.64	10.10	0.21	4.02	0.00	0.03	10210

注: 1): As-received

2): Moisture free basis

3): By-diff.

4): 重油 1: 含有添加剂(power-z)的油

重油 2: 未加添加剂(power-z)的油

残渣油: 未加添加剂的常压残渣油

重油中含有约 2.5% 的硫, 未加添加剂的试料和加添加剂的试料比较, 工业分析和元素分析的值基本相近, 发热量的值几乎不受添加剂的影响。残渣油中含有约 4% 的硫, 灰分 (Ash) 的含量约为重油的一半, 发热量与重油几乎相当。

为了观察添加剂的作用, 研究中按添加剂和燃料的体积比为 1:1000 的比例进行混合使用的, 残渣油也以相同的方法混合添加剂。每天加热到 80℃ 以上的温度下搅拌 8 小时, 持续一星期以上。其间用肉眼可观察到添加剂使重油和残渣油的常温(10℃)下流动性, 特别是残渣油的流动性的大为提高。

2-2. 试验装置

为了研究使用添加剂时的燃料燃烧特性, 使用了焚烧熔化炉设备, 该设备为灰尘的稳定化、无害化、减量化处理设备, 分为“前处理工序”、“焚烧熔化工序”、“热回收工序”及“废气处理工序”等 4 个部分, 该设备的整体结构见图 2 总控制(main control)流程图



Figure 2. Main control graphic display for melting furnace system.

研究中使用的燃料喷嘴是由 GREEN ENERTECH(株)提供的重油喷嘴 (GET101-T1), 每小时可注入 0~29kg 燃料, 与鼓风机、油泵一体化的结构, 可用调节阀调节空气量, 经由喷嘴内部直到喷口的燃料温度可调节 (最高 300℃), 因此常温下黏度大的燃料也可适用。此前使用的重油喷嘴的供油量为每小时 8~12kg, 固定调节阀, 以恒定的量鼓入空气。燃料和空气的注入量的变化在重油和残渣油相同的燃料下各自无差别。

每小时注入的燃料计量秤上部装有加热釜 (20 升), 使加热釜中的燃料温度在 100℃ 以上状态下注入, 使预备燃料在相同条件下加热, 以免油路堵塞。燃料的注入位置为重油喷嘴注油口正上方 50cm 处。

重油喷嘴安装在焚烧熔化炉盖(直径: 1200mm; 高: 200mm)中心的法兰上, 处在焚烧炉最上部的炉盖上设有观察窗, 可用肉眼观察重油或残渣油燃烧时的火焰状态及特性。炉盖下部有顶部 (直径: 500mm; 高: 600mm) 及中部 (直径: 500mm; 高: 700mm), 其中装有传热带供分析燃烧时的温度梯度, 另外在上部中心装有压力表以便观察压力。焚烧炉内部平均压力维持在-10mmAq 左右, 这一压力是靠装于废气处理工序最末端的 ID fan 的调节来保持的, 调节阀自动进行调节使压力保持在设定值, 并把燃烧废气排放。

为了比较分析燃烧时产生的灰分 (dust) 量, 在二次燃烧室 (内部直径: 320mm, 热回收工) 的适当的位置使用 STACK SAMPLER (郑 ENGINEERING 株), CE-221SM) 对每一燃料试验进行了 3 次以上的分析。另外使用原有的气体分析仪测定了重油和残渣油燃烧时 CO、CO₂、SO₂、NO_x(x=1, 2) 及 O₂ 的浓度, 在现场在线检测, 检测的数据与温度、炉内压力等一起作为分析灰分时的参照因子(reference control variables)。在废气处理工序的旋风除尘器与湿式除尘器之间使用 V-cone 仪检测废气流速。

2-3. 试验方法

注入重油及残渣油之前用液化石油气预热, 使焚烧炉内部达到正常运行状态, 根据需要除了预热喷嘴以外还使用了辅助喷嘴, 同样使用了液化石油气, 焚烧炉温度达到 700℃ 以上时进行试验。

预热完毕后没有马上注入重油或残渣油, 而是用轻油作为辅助燃料, 使试验燃料的注入更加顺畅。开始只使用轻油, 之后逐渐地增加重油的注入量转变为混合注入状态, 同时逐渐地减少轻油的注入量, 直至只注入重油或残渣油。在试验前经校验确定燃料及空气的注入量并固定的状态下进行试验。

在研究中为了进行使用添加剂前后重油及残渣油的特性比较, 将重点检测废气成分及灰分 (dust) 的量等, 在前面已提到, 这些量的检测必须是在焚烧炉系统的各种运行参数保持稳定的区间进行。这一区间是连续 1 小时以上保持 i) 焚烧炉内部温度分布一定的区间; ii) 各气体成分一定的区间; iii) 废气流量一定的区间。在这一时间区间内进行灰分 (dust) 分析。

3. 试验结果及讨论

3-1. 重油燃烧运行

加添加剂的重油和未加添加剂的重油均以 8.1kg/h 速度注入, 两种燃料以喷嘴内部的温度维持在 200℃, 稳定地注入并维持 1 小时以上。图 3 和图 4 分别为未加添加剂的重油和加添加剂的重油燃烧时的火焰图片, 两种火焰形成状态和长度相似, 但颜色有明显差异, 图 3 中的未加添加剂重油的火焰颜色为橘红色, 而加了添加剂的火焰颜色较淡且亮的黄色, 可以肯定这是就像此前文献中表明的那样燃烧条件改善的结果。



Figure 3. Flame image of heavy oil without the additive.



Figure 4. Flame image of heavy oil with the additive.

加添加剂后燃烧条件的改善在焚烧炉内部温度变化中也能观察到，未加添加剂时焚烧炉内部温度保持 750~780℃ 1 个小时以上，使用加了添加剂的重油后炉内温度为 750~780℃，上升了 30~40℃。这是因为添加剂改善重油的特性，使重油有效地与氧气反应的缘故。图 5 和图 6 是使用添加剂前后重油燃烧后废气成分，图中可见氧气、二氧化碳及 NO 的差异不大，但 CO 浓度却在加了添加剂后降低 50~60ppm。

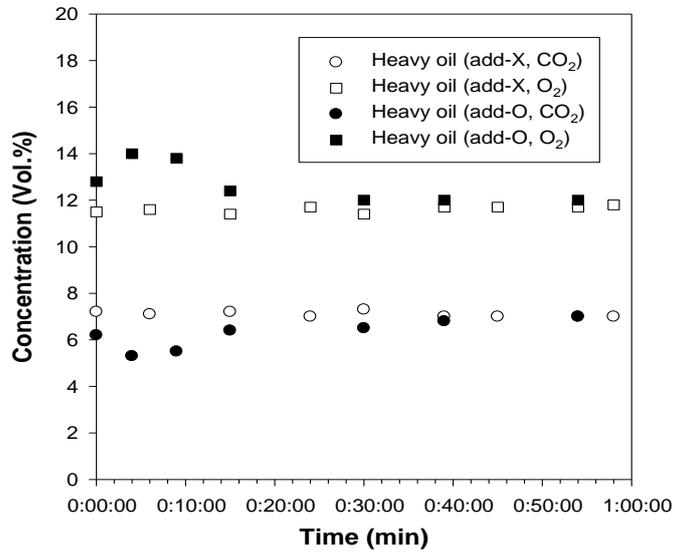


Figure 5. Concentration profiles of heavy oil with respect to of the additive for O₂ and CO₂.

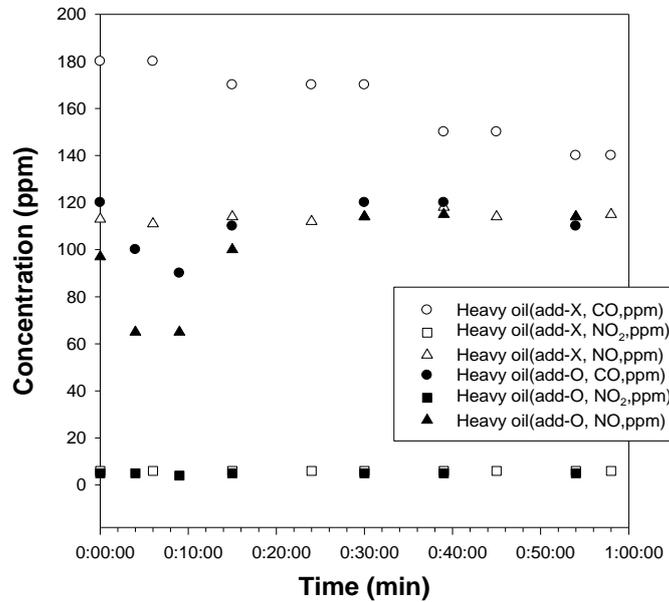


Figure 6. Concentration profiles of heavy oil with respect to of the additive for CO, NO₂, and NO.

加和未加添加剂的重油试验中产生的灰分（dust）各为 $16.5\text{mg}/\text{Sm}^3$ （加添加剂）和 $169.1\text{mg}/\text{Sm}^3$ （未加添加剂）。两种试料在相同的运行条件下检测的结果，可以肯定添加剂使重油燃烧条件大为改善。

3-2. 重质残渣油的燃烧试验

加油添加剂的重质残渣油的火焰如图 7，是淡黄色，稳定的火焰持续 1 小时以上。通常使用喷射型(gun type)重油喷嘴即使在喷嘴内部加热到 $250\text{--}300^\circ\text{C}$ 也因燃料的状态（粒度等）原因很难正常运行，但在此次试验中加添加剂的重质残渣油使残渣油的重油喷嘴运行成为可能。图 7 是在过盈空气气氛中注入每小时 13.2kg 的重质残渣油时的火焰。之所以喷嘴燃烧运行成为可能，是因为添加剂使重质残渣油的粒子分解为细小粒子，提高燃烧效率的缘故。这一问题需要进一步进行重质残渣油的粒度分析来证明。



Figure 7.
Flame image of heavy oil
residue with the additive.

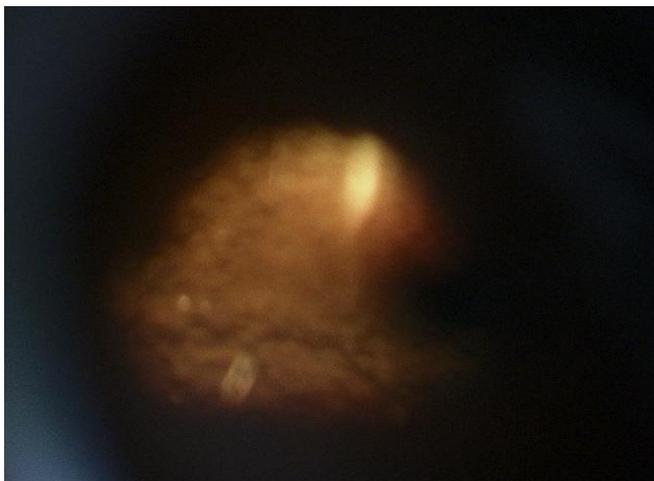


Figure 8.
Flame image of heavy oil
residue without the
additive.

如图 8 未加添加剂的重质残渣油燃烧试验中燃料注入和燃烧运行均较难，首先在相同动力下油泵的燃料注入量为 6.4kg/h，仅为加了添加剂的重质残渣油时的一半，此时的重油喷嘴内部油路温度约为 300℃，加添加剂的重质残渣油燃烧试验中约为 120℃。因此不能在相同的条件下的废气成分及炉内温度变化与加添加剂时做比较，但添加剂作用下的运行差异是确定无疑的。图 8 中的火焰长度比图 7 相比很短且接近赤黄色，注入等量空气的条件下未加添加剂的重质残渣油不能维持一定的火焰。

加添加剂和未加添加剂的燃料燃烧试验中检测到产生的灰分分别为 800mg/Sm³(加添加剂)和 950mg/Sm³(未加添加剂)，两种试料难于在相同运行条件下比较，但可以证明加添加剂后对重质残渣油的喷嘴运行相当有效。图 9 和图 10 是在检测灰分位置检测到的燃烧中产生的废气各成分浓度。加添加剂的重质残渣油的 NO_x 的浓度为未加添加剂时的一半，这说明焚烧炉内燃烧条件的改善，灰分含量的检测结果也说明这一点。

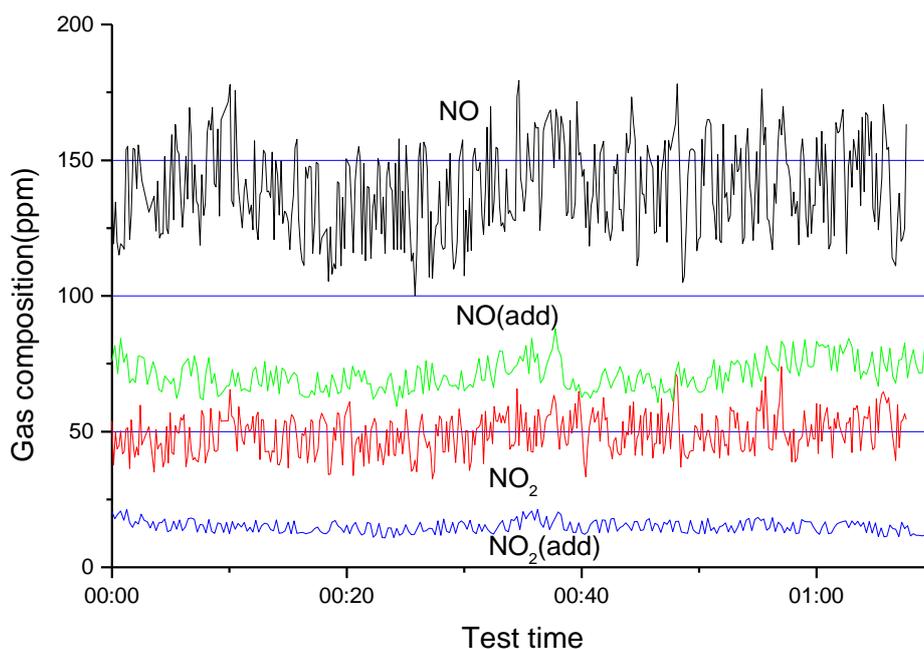


Figure 9. Concentration profiles of nitric oxides of heavy oil residue by addition of the additive; 'add' in a parenthesis means an addition of the additive in the oil.

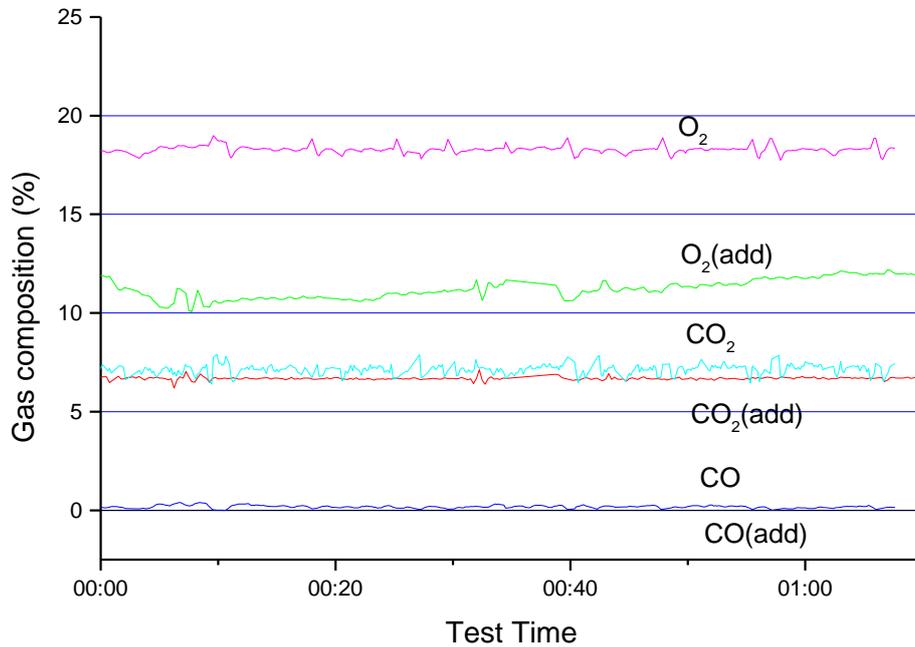


Figure 10. Concentration profiles of gases produced from heavy oil residue by addition of the additive; 'add' in a parenthesis means an addition of the additive in the oil.

4. 结论

为了研究加添加剂的重油及重质残渣油的燃烧特性和废气成分，使用重油喷嘴进行了燃烧试验。加添加剂的重油燃烧时炉内温度上升 30~40℃，火焰的颜色为淡黄色，燃烧特性比未加添加剂时明显提高，加添加剂后重油燃烧时产生的 CO, dust 降低了。总之，加添加剂后燃料的形态转变为有利于与空气反映的形态。

加添加剂的重质残渣油在常温下的动黏度得到了改善，使用重油喷嘴的燃烧运行中显现出明显的差异。喷嘴内部温度保持在 300℃ 条件下注入重质残渣油，但其注入量只为 120℃ 温度下加添加剂的重质残渣油注入量的一半。未加添加剂的重质残渣油燃烧时炉内温度维持在 650℃ 左右的低温，产生大量的 NO、CO、soot，燃烧条件非常脆弱。TECHNOBIO（株）提供的添加剂改变重油及重质残渣油的形态，改善了喷嘴的运行，尤其是大为降低了重油燃烧生成的灰分（dust）浓度。

5. 参考文献

关于使用两流体喷射喷嘴的燃烧特性的实验研究 大韩机械学会论文集, 19(2) 548(1995).

燃烧学基础研究与应用 11(4), 13(1989).

SPUD 型气体喷嘴燃烧特性的实验研究 大韩机械学会 秋季学术论文 B, 668(2000).

爆炸现象与燃烧 汽车学会誌 15(5), 42(1993).

关于重油燃烧所需空气量与生成气体量的计算的研究学会誌, 6(1), 34(1982).

关于多段燃烧油喷嘴 NO_x 控制的研究 大韩机械学会誌 秋季学术论文 B, 43(1997).

重油的性质与性象 The J. of Tappik, 1, 69(1975).

Cooper, W.C., The health implications of increased manganese in the environment resulting from the combustion of fuel additives: a review of the literature, J. Toxi. Env. Health, 14(1), 23(1984).

Duncan, M.P., Environmentally friendly production of polybutene amines for use as deposit control fuel additives, U.S.5583186 (1997).

Kim, Y. et al, Fuel additive composition for heavy oils; Wang, J., Composite heavy oil combustion improvers and their preparation, Fuel and Energy Abstracts, Jan. 2002, 19(2002).

Li, Y. et al, Manufacture of high efficiency multifunctional fuel oil additive, Fuel and Energy Abstracts, Jan. 2002, 24(2002).

Lynam, D.R., Pfeifer, G.D., Fort, B.F., and Gelbcke, A.A., Environmental assessment of MMT fuel additive, The Science of the Total Environment, 93, 107(1990).

Matter, U. and Siegmann, The influence of particle filter and fuel additives on turbo diesel engine exhaust, J. Aerosol Sci., 28(1), S51(1997).

Moszkowicz, P. and Witzel, L., Modelling of very fast pyrolysis of heavy fuel oil droplets, *Chem. Eng. Sci.*, 51(17), 4075(1996).

Okada, M., Matsudaira, J., and Naruse, H., Effects of diesel fuel additives on engine performance and reliability, *JSAE Review: Abstracts*, 18, 185(1997).

Witzel, L., Moszkowicz, P., and Claust, G., Mechanism of particulate reduction in heavy fuel oil combustion, *Fuel*, 74(12), 1881(1995).