

<技術論文>

왕겨가스에 의한 農用石油機關의 驅動에 관한 研究

趙明濟*·李英在*

(1983년 1월 13일 접수)

An Experimental Study on the Farm Engine Driven by Rice Chaff Gas

Myong Jae Cho and Young Jae Lee

Abstract

Gasification of rice chaff has traditionally been used to produce a clean fuel suitable for lighting, heating and engine application. Since oil crisis, a series of experimental study has been performed to drive a farm engine by agricultural wastes.

We produced a combustible gas from rice chaff with a fixed bed up-draught gasifier system, and applied it to a conventional farm kerosene engine. This experiment was quite successful one. We could drive the farm engine with maximum horse power of 9 PS by rice chaff gas which was fairly competitive to the continuous horse power of 10 PS obtained when kerosene was used. Problems of tar existence in gas have been discussed, but we are confident that these can be solved in near future.

Development and application of the gasification process will help our farm economy, not only by conserving petroleum oil but by utilizing agricultural wastes.

1. 序 論

植物資源은 人類가 生存하는 한 계속 얻을 수 있는 에너지源으로서 氣體·液體·固體 등 여러 形態로 利用할 수 있는 有用한 에너지源이며 더우기 우리와 같이 化石燃料가 부족한 나라에서도 國內自給에 의하여 無限定으로 再生利用할 수 있는 資源이기 때문에 이를 效果的으로 利用할 수 있는 方法을 摸索한다는 것은 매우 重要한 일이다.

國內의 植物資源으로서는 왕겨·벼집 등 農業副産物과 林産資源이 있으며 왕겨의 경우만 하더라도 年間生産量이 約 100萬톤정도인 상당한 양이다. 이러한 왕겨의 利用方法으로서 지금까지 飼料로서의 處理方法, 燃料로서의 製造方法 기타 炭化왕겨에 의한 觸媒擔體

로서 的 利用方法 등이 이루어진 바 있으나 그의 活用度는 아주 微微한 편이라 할 수 있어, 이들 왕겨의 大部分은 廢棄되고 있다.

왕겨를 利用하는 方法중 가장 有效하다고 생각되는 것중의 하나는 燃料로써 活用하는 것이며, 直接 燃燒시켜 그 熱을 利用하는 方法과 熱化學的 反應을 통하여 可燃性 가스를 發生시켜 그 가스를 利用하는 方法 등이 있다.

한편 後者인 熱化學的 工程을 통하여 生成된 가스는 버너 및 內燃機關 등의 燃料로 使用할 수 있으며, 특히 往復動機關의 燃料로서 使用하는 方法은 現在 이들 機關의 燃料가 全部 石油系 燃料에 依存하고 있다는 特殊性에 비추어 볼 때 脫石油化라는 觀點에서 커다란 魅力을 가지고 있다. 이미 제 2차 세계대전 당시에 이러한 가스화를 利用하여 內燃機關을 驅動한 바 있으며, 프랑스에서는 이 分野에 대한 技術開發이 正立되어 1978년 中美에 첫번째 Power generataion plant를

* 正會員, 韓國動力資源研究所 에너지分所

輸出設置한 바 있다. Duvant(佛)社의 Dual fuel engine 은 壓縮着火方式의 機關으로서 150~1000 馬力程度의 出力이며, 왕겨뿐 아니라 廢木, 코코넛 열매 등 農林 產廢棄物에서 生成된 가스를 主燃料로 使用하고 一部 石油系 燃料를 補助燃料로 使用하고 있다. 또한 日本의 農業機械化研究所에서는 '81년부터 3個年 計劃으로 왕겨가스化裝置의 開發 및 가스利用方法(버어너, 乾燥施設, 內燃機關에의 利用方法)에 대하여 研究中이며 이 중 가스化裝置分野는 거의 實驗完了段階인 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

本 研究는 왕겨 등 農林產廢棄物의 利用方法을 摸索하기 위하여, 왕겨가스化裝置를 製作하고 여기에서 生成된 可燃性가스를 農用石油機關에 適用하여 그의 驅動 可能性 및 機關性能을 實驗研究한 것이다. 本 研究를 통하여 장차 脫穀機·揚水機·農藥噴霧機 등의 農用 原動機 및 精米所 原動機 등의 動力源으로 活用하며, 나아가서 農村·山間 等地에서의 農林產廢棄物에 의한 小規模發電設備의 動力源으로 活用할 수 있는 實用化利用技術開發에 기틀이 되었으면 한다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1. 實驗裝置

Photo 1은 實驗裝置의 全景이고 Fig. 1은 實驗裝置의 配置圖이다.

(1) 實驗機關

實驗에 使用한 機關은 大同工業(株) 製作의 農用石

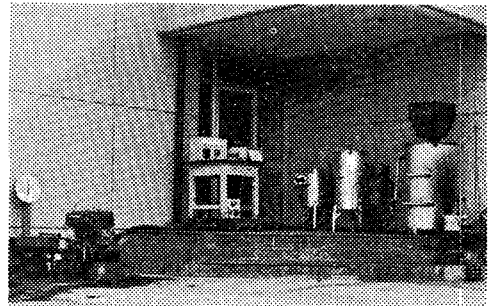


Photo 1 Photograph of the experimental apparatus.

油機關(Model NK 100)으로 4 사이클 電氣點火機關이며 主要諸元은 Table 1과 같다.

(2) 燃料 및 空氣供給裝置

實驗에 使用한 機關은 液體燃料인 石油를 使用하도록 設計·製作된 것이기 때문에 왕겨가스를 燃料로서 使料하기 爲해서는 燃料供給系統을 바꾸어 줄 必要가 있었다. 따라서 實驗機關의 既存氣化器를 除去한 후 Fig. 2와 같은 燃料·空氣供給裝置를 製作하여 機關의 吸氣쪽에 設置하였다. 機關의 出力調整은 이 裝置의 外筒을 回轉하여 空氣吸入口의 開度, 즉 吸入空氣量을 變化시킴으로써 制御하였다.

(3) 出力測定裝置

왕겨가스使用時의 機關出力을 求하기 위해 當 研究 팀製作 프론리動力計, Chatillon社製 밸런스 및 Asahi社製 回轉速度計를 使用하였다.

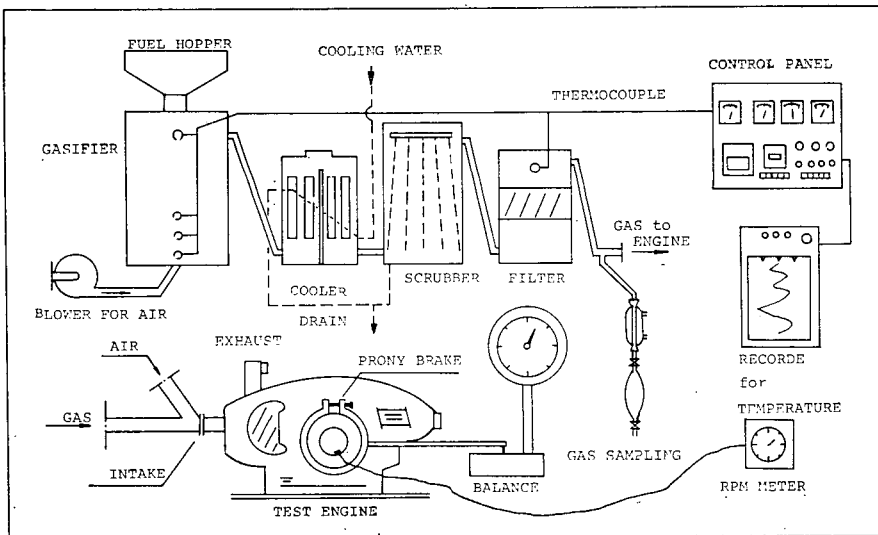


Fig. 1 Schematic diagram of test apparatus.

Table 1 Specifications of test engine.

Item	Specification
Type	Single cylinder 4 cycle over head valve type
Bore×Stroke	100×105 mm
Displacement volume	824 cm ³
Compression ratio	4.5
Ignition type	Flywheel magneto ignition
Continuous rating power	10 PS/2000rpm
Maximum power	13 PS/2200 rpm
Maximum torque	4.8 kg-m/1700 rpm
Ignition timing	5°ATDC at start/30°BTDC above 1000 rpm

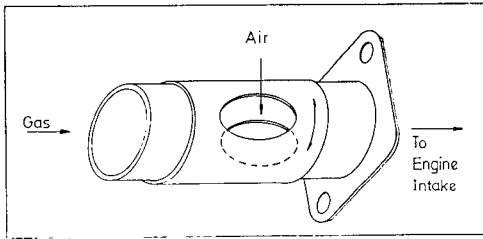


Fig. 2 Rice chaff gas & air induction system.

(4) 가스화裝置

本 研究에 使用한 가스화裝置는 1회에 30 kg 정도 의 왕겨를 裝入할 수 있는 Batch type 의 가스發生爐, 水冷가스冷却器, 스크리버(scrubber), 가스濾過器 및 送風機로 構成되어 있으며 가스發生爐에서 生成된 가스는 冷却器, 스크리버 및 여과기를 거쳐 冷却·精製된 후 엔진으로 供給된다.

Fig. 3은 本 研究에 使用한 固定層 上向式의 가스화 裝置에서 일어나는 熱化學的 工程을 나타낸 것으로 가스화反應은 그림에서와 같이 酸化過程, 熱分解過程 및 乾燥過程으로 分類할 수 있다⁴⁾.

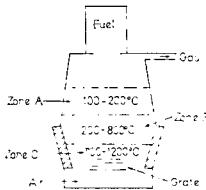


Fig. 3 Temperature distribution in Fixed bed up draught gasifier.

즉, (A 領域)

100~200°C에서 乾燥

生왕겨+熱→乾燥왕겨+水蒸氣

(B 領域)

200~500°C에서 熱分解

乾燥왕겨+熱 → Char+CO+CO₂+H₂O+CH₄+C₂H₄+熱分解酸+Tar

(C 領域)

1100~1500°C에서 Char의 酸化

Char+O₂+H₂O(왕겨가 含有한 또는 外部에서 供給된 水蒸氣)→CO+H₂+CO₂+熱

의 反應이 일어나며 이 때의 熱化學的反應式을 要約하면 Table 2와 같다.

Table 2 Thermochemical reactions in rice chaff gas producer.

Reaction	Thermochemistry at 500°C, H°/kJ/mole
1) C+O ₂ ⇌CO ₂	-394 Exothermic
2) 2C+O ₂ ⇌2CO Boudouard reaction	+172 Endothermic
3) H ₂ O+CO⇌CO ₂ +H ₂ Water gas shift	+2.85 Endothermic
4) H ₂ O+C⇌CO+H ₂	+175 Endothermic
5) C+2H ₂ ⇌CH ₄ *	-75 Exothermic

Remark : *This reaction is not favored at high temperature of low pressure.

Table 3는 가스發生爐에 왕겨를 裝入·着火한 후 20分 間隔으로 採取·分析한 生成가스의 成分이며, Table 4는 이를 基礎로 하여 理論적으로 求한 왕겨가스의 物性이다.

2.2. 實驗方法

왕겨가스使用時의 最適點火時期를 찾기 위해 實驗機關의 既存壓縮比 4.5에서 點火時期를, 石油使用時의 正常點火時期인 30°BTDC(上死點前 30度), 35°BTDC, 40°BTDC 및 45°BTDC로 變更하여 實驗 하였다. 또한 機關의 效率를 높여 出力을 增加시키기 위하여 실린더 헤드面을 6.0 mm 切削하여 壓縮比를 4.5에서 6.0으로 1.5 높인 후 이때에도 上記와 같이 點火時期를 變更하여 實驗 하였다.

위의 各 機關條件下에서 왕겨가스에 의해 機關을 始動한 후 機關回轉數를 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 rpm으로 段階적으로 變化시키면서 各 回轉數에서 토오르가 最大가 되도록 空氣燃料比를 調整하여 (2.1.의 (2)항 참조) 이때의 機關出力을 求하였다.

實驗에 使用한 왕겨가스는 가스發生爐에서 冷却器,

Table 3 Compositions of rice chaff gas produced by gas producer.

Gas sampling No.	Composition (volume %)						Total combustible gas (volume %)
	H ₂	CH ₄	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	
Sample 1	4.57	1.36	9.35	11.16	62.55	11.01	15.28
Sample 2	9.02	3.04	19.62	1.37	49.54	17.41	31.68
Sample 3	7.92	2.71	16.05	1.44	56.10	15.78	26.68
Sample 4	5.77	2.00	14.47	4.83	58.21	14.72	22.24
Sample 5	6.20	1.85	13.45	5.11	60.33	13.06	21.50
Sample 6	4.36	0.90	10.81	5.62	65.86	12.45	16.07
Sample 7	3.30	0.50	9.33	5.75	68.20	12.92	13.13
Sample 8	2.77	0.51	8.67	4.94	68.97	14.14	11.95

Remarks : 1. Sample gas was sampled at every 20 minutes.

2. Sample gas was analyzed by 3700 series dual common gas chromatographs of Varian Co.

Table 4 Properties of rice chaff gas produced by gasifier.

Gas sampling No.	Lower heating value (kcal/m ³)	Stoichiometric air-fuel ratio	Specific weight for air
Sample 1	516	-0.07	1.03
Sample 2	1,084	0.91	1.00
Sample 3	920	0.76	1.01
Sample 4	756	0.44	1.03
Sample 5	724	0.40	1.02
Sample 6	515	0.18	1.03
Sample 7	409	0.07	1.05
Sample 8	377	0.07	1.06

Remark : Gas sampling No. is the same as that of Table 3.

스크러버 및 여과기를 거쳐 精製된 것으로서 可燃性가스의 含量이 最大인 것으로 豫想되는(可燃性가스含量 20~30% 부근) 가스發生條件下에서 實驗 하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 機關出力

(1) 機關壓縮比 4.5의 境遇

Fig. 4는 機關壓縮比 4.5에서 點火時期를 30°BTDC, 35°BTDC 및 40°BTDC로 變化시킨 각각의 경우에 대하여 왕겨가스로 運轉했을 때의 機關出力과 石油使用時의 機關出力을 比較한 것이다(45°BTDC의 경우에는 着火가 일어나지 않아 實驗할 수 없었음).

여기에서 石油使用時의 機關出力이라 함은 壓縮比 4.5, 正常點火時期 30°BTDC에서의 連續定格出力을

말하며 이 때의 最大出力은 노크(knock)가 심해 機關의 運轉狀態가 不安定하기 때문에 實際의 경우 連續的으로 使用할 수 없는 出力이므로, 連續定格出力을 使用하여 比較하는 것이 合理的이라 할 수 있어 메이커 측에서 提示한 連續定格出力과 왕겨가스사용시의 機關出力을 比較하기로 하였다.

이 그림에서와 같이 왕겨가스 사용시의 機關出力은 石油使用時에 비해 상당히 낮아 30°BTDC의 경우 約 45%, 35°BTDC와 40°BTDC의 경우 約 30% 정도 出力이 低下한다.

그러나 왕겨가스의 發熱量이 石油의 發熱量 10,500 kcal/kg 보다 훨씬 낮은 1,100 kcal/m³(約 1,100kcal/kg) 이하임에도 불구하고 왕겨가스사용시의 機關出力의 低下는 별로 크지 않음을 알 수 있으며 이는 石油의 理論空氣燃料比가 15:1임에 比較하여 왕겨가스의 理論空氣燃料比는 Table 4에서와 같이 (~0.9):1 정도 이므로 單位실린더體積內的 燃料空氣混合氣가 가지고 있는 에너지含量은 그다지 낮지 않기 때문인 것으로 생각된다.

한편 Table 3에서와 같이 가스發生爐에서 生成된 可燃性가스의 含量이 一定하지 않기 때문에 機關出力의 變動이 클 것으로 豫想하였으나 實際의 경우 그다지 크지 않았으며 이러한 이유 역시 Table 4에서와 같이 可燃性가스의 含量이 낮아질 수록 要求되는 理論空氣量이 작아 지므로 相對的으로 單位실린더體積內에 流入되는 燃料가스量이 많아지게 되어 同一실린더體積當 燃料空氣混合氣가 가지고 있는 에너지含量은 별로 變하지 않기 때문인 것으로 생각된다.

點火時期調整에 따른 機關出力의 變化는 그림에서와 같이 石油使用時의 正常點火時期인 30°BTDC에서 가

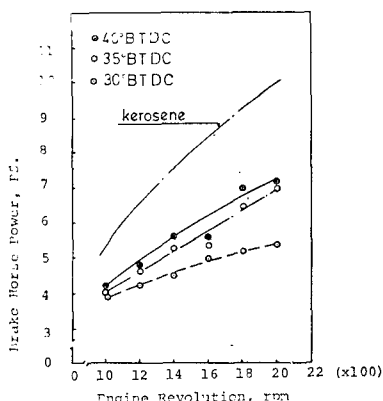


Fig. 4 Engine performance curve by rice chaff gas (C.R.4.5).

장 출력이 낮고, 點火時期를 이보다 10度 앞당긴 40° BTDC 부근에서 最大出力이 얻어 짐을 알 수 있었다. 따라서 왕겨가스를 本 實驗機關의 燃料로서 사용할 때에는 機關의 最大出力을 얻기 위해 石油使用時보다 다소 點火時期를 앞당겨 줄 必要가 있음을 알 수 있었으며 이는 可燃性가스의 主成分인 一酸化炭素의 火焰傳播速度가 石油·空氣混合氣의 火焰傳播速度보다 늦기 때문인 것으로 생각된다.

(2) 機關壓縮比 6.0의 境遇

本 實驗에 使用한 機關의 壓縮比가 4.5임은 前述한 바와 같다. 發生爐가스는 그의 特性상 노크를 일으키기 어려운 燃料이므로 機關의 壓縮比를 높여 出力과 效率를 向上시킬 수 있는 것으로 알려져 있으며 電氣點火機關의 경우에 壓縮比를 8.0에서 15.0으로 높은 高壓縮比의 條件下에서도 노크의 發生없이 運轉할 수 있다고 한다¹⁴⁾. 따라서 機關의 壓縮比를 높여 出力과 效率를 向上시킬으로써 前述한 왕겨가스使用時의 出力低下를 多少 줄이기 위하여 實驗機關의 壓縮比를 6.0으로 높여 實驗하였다.

Fig. 5는 壓縮比 6.0에서 點火時期를 30° BTDC, 35° BTDC, 40° BTDC로 變化시킨 각각의 경우에 대하여 왕겨가스로 機關을 運轉했을 때의 機關出力과 石油使用時의 機關出力을 比較한 것이다(45° BTDC에서는 壓縮比 4.5에서와 마찬가지로 着火가 일어 나지 않아 實驗할 수 없었음).

壓縮比 4.5의 경우에 있어서 왕겨가스使用時의 機關出力이 石油使用時에 比하여 크게 低下하였음에 대하여 Fig. 5에서와 같이 壓縮比 6.0에서 왕겨가스로 機關을 運轉했을 경우에는 石油使用時의 連續定格出力인 10 PS에 거의 가까운 最高 9.0 PS의 出力을 얻을

수 있었다.

한편 왕겨가스로 機關을 運轉할 경우 壓縮比 4.5에서는 40° BTDC에서 最大出力이 얻어 짐에 대하여 壓縮比 6.0에서는 이보다 약간 낮은 35° BTDC에서 最大出力이 얻어지며 이와 같이 最大出力이 약간 낮은 位置에서 얻어지는 理由는 壓縮比의 增加에 따른 火焰傳播速度의 增加에 起因한 것으로 생각된다^{15), 16)}.

따라서 왕겨가스를 石油機關(電氣點火機關)의 燃料로서 使用할 때에는 最大出力을 얻기 위해 點火時期를 石油使用時보다 多少 앞당겨 줄 必要가 있음을 알 수 있었으며, 本 實驗機關의 경우 壓縮比 4.5에서는 10度, 6.0에서는 5度정도 앞당겨 줄 必要가 있음을 알 수 있었다.

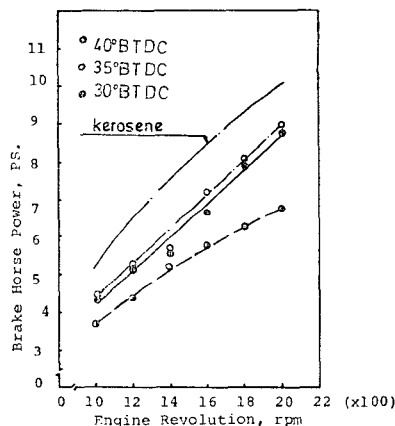


Fig. 5 Engine performance curve by rice chaff gas (C.R.6.0).

한편 壓縮比 4.5와 6.0에서 機關을 運轉할 때 어떠한 機關運轉條件下에서도 노크음은 전혀 認知할 수 없었으며 따라서 6.0보다 더 높은 壓縮比를 採擇한다면 石油使用時의 機關出力과 거의 비슷하거나 또는 더욱 높은 連續定格出力을 얻을 수도 있으리라 생각된다. 本 實驗機關의 경우에 있어서는 실린더 헤드面의 切削에 의한 方法만으로는 機關의 安全性때문에 6.0 이상으로 壓縮比를 높일 수 없었으나 왕겨가스를 本 實驗機關의 燃料로서 實用化할 경우 高壓縮比의 機關으로 改造한다면 더 높은 出力과 效率를 얻을 수 있으리라고 생각된다.

3.2. 始動性 및 運轉性

本 實驗機關은 農用石油機關으로서 石油를 主燃料로 使用하고 있으나 始動을 容易하게 하기 위하여 始動時

에는 가솔린을 補助燃料로 使用하고 있기 때문에 燃料 變換코크를 使用해야 하는 不便한 점이 따랐다.

그러나 왕겨가스에 의해 機關을 運轉해 본 結果 點火時期가 너무 빨라 運轉이 不可能했던 45° BTDC의 경우를 除外하고는 始動플러를 1~3회 정도 回轉시키면 始動이 될 만큼 始動性이 좋았다. 따라서 왕겨가스를 農用石油機關의 燃料로써 使用할 경우에는 別途의 始動用補助燃料없이 왕겨가스에만 의해서도 始動과 運轉을 할 수 있는 有利한 점이 따랐다.

또한 왕겨가스에 의해 機關을 運轉했을 때 前述한 바와 같이 機關의 壓縮比를 높였음에도 불구하고 노크 現象은 전혀 認知할 수 없었으며 가스化裝置의 構造特性상으로 인한 가스成分의 變動에 의하여 一定負荷를 長時間동안 持續적으로 維持할 수 없었던 점을 除外하고는 왕겨가스 自體의 特性으로 인한 機關運轉性의 不調는 認知할 수 없었다.

3.3. 炭素堆積物

왕겨가스에 의해 機關을 運轉할 때 가장 큰 問題點으로 나타난 것은 이 가스중에 多量의 타아르가 含有되어 있다는 것이다. 왕겨가스로 實驗機關을 約 40분 가량 驅動했을 때 2g 정도의 炭素堆積物이 固體狀態로 燃燒室, 피스톤, 피스톤 링 및 吸氣밸브에 殘留하였고 吸氣쪽의 밸브 스템과 밸브 가이드에는 液體狀態의 타아르가 附着되어 있음을 볼 수 있었다. 또한 點火플러 그에도 微量의 炭素堆積物이 附着되어 있음을 볼 수 있었다.

이러한 타아르의 存在는 실린더 內壁과 피스톤 링, 또한 吸氣밸브 스템과 밸브 가이드 사이의 油膜을 破壞하여 피스톤 링이나 吸氣밸브를 固着시킬 우려가 많기 때문에 機關의 耐久性에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되며 點火플러그를 汚損시켜 點火能力에도 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 가스機關을 實用化시키기 위해서는 왕겨가스중에 包含된 타아르의 含量을 最少限으로 줄이거나 除去시킬 수 있는 方法을 고려해야 할 필요가 있으며, 이러한 問題點은 가스發生方式의 變更(下向式의 가스發生爐에서는 生成된 가스가 高溫의 燃燒層을 지나게 되므로 가스중의 타아르가 熱分解되어 그의 含量이 크게 低下하는 것으로 알려져 있음²²⁾), 또는 適切한 여과제의 採用 등에 의하여 充分히 解決할 수 있으리라 생각된다.

3.4. 燃料消費率

測定裝置의 未備로 인하여 單位時間馬力當의 왕겨

및 왕겨가스 消費量을 正確히 測定할 수 없었으나 30 kg의 왕겨에서 生成된 가스에 의해 9 PS의 機關出力으로 1시간가량 實驗機關을 驅動할 수 있었다. 日本에서의 가스化裝置 實驗結果에 의하면 30 kg의 왕겨에서 약 30 m³의 가연성가스(발열량 1000 kcal/m³ 정도)가 生成되는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 石油使用時의 機關의 燃料消費率이 0.3 kg/PS·h 부근이므로 發熱量比로 換算하면 3,000 kcal/PS·h 정도이며, 30 m³의 왕겨가스가 갖고 있는 熱量은 30,000 kcal 정도이므로 實驗結果와 거의 비슷함을 推定할 수 있었다.

4. 結 論

以上과 같은 實驗을 통하여 왕겨가스에 의한 農用石油機關의 驅動可能性은 充分히 確認하였으며 다음의 結論을 얻었다.

(1) 왕겨가스의 낮은 發熱量(單位重量當 石油의 1/10 이하)에도 불구하고 機關壓縮比 4.5에서 7 PS의 出力을 얻을 수 있었으며, 壓縮比를 6.0으로 높인 경우에는 石油使用時의 連續定格出力 10 PS에 거의 가까운 9 PS의 機關出力을 얻을 수 있었다. 이것은 왕겨가스의 理論空氣燃料比가 (~0.9):1 정도로 아주 작아, 單位실린더體積當 燃料空氣混合氣가 가진 熱量은 石油의 경우에 비해 그다지 낮지 않기 때문이라고 생각된다.

(2) 왕겨가스使用時의 機關의 點火時期는 石油의 경우에 비해 多少(5~10度) 앞당겨 줄 必要가 있으며 이는 可燃性가스의 主成分인 一酸化炭素의 火焰傳播速度가 石油의 그것보다 낮기 때문인 것으로 생각된다.

(3) 왕겨가스의 앤티 노크性이 石油의 경우보다 크기 때문에 機關의 壓縮比를 높인 條件下에서도 노크音은 認知할 수 없었다. 따라서 出力과 效率를 向上시키기 위해 壓縮比를 더 높일 수도 있을 것으로 생각된다.

(4) 왕겨가스使用時에 機關運轉性의 不調나 始動상의 어려운 점은 認知할 수 없었다.

(5) 實驗에 使用한 가스化裝置는 實用化를 爲해서는 타아르問題의 解決, 生成가스의 安定化 및 裝置의 콤팩트化·自動化 등이 요구된다.

(6) 왕겨가스를 農用石油機關에 適用시키기 위해서는 가스燃料에 適合한 燃料供給裝置의 製作 및 高壓縮比의 機關으로의 設計變更 등이 要求된다.

參 考 文 獻

1. J.R. Goss, et al, "Downdraught Gas Producer Systems to Utilize Crop and Residues", Congress Proceedings Abstract III-1-20, pp. 1-17, 1979.
2. "Investigation of Downdraught Gasification Characteristics of Agricultural and Forest Residues", State of California Energy Resources Conservation and Development Interim Report, pp. 1-50
3. A.D. Fernie, "Gasification System-A Case History", For. Prod. Res. Soc., Madison, Wis., pp. 120-125, 1979.
4. Ralph Overend, "Gasification-An Overview", For. Prod. Res. Soc., Madison, Wis., pp. 107-119, 1979.
5. Sakuzo Takeda, "Research on Gas Engine (I)", 三重大學農學部學術報告, 第 58 號, pp. 137-141, 1979.
6. Sakuzo Takeda, "Research on Gas Engine (II)" 三重大學農學部トラクタ綜合試驗室研究報告, 第 3 號, pp. 19-36, 1979.
7. Sakuzo Takeda, Jun Sakai, "Research on Gas Engine Driven by Agricultural Wastes", 三重大學農學部學術報告, 第 53 號 pp. 187-203, 1976.
8. 竹田策三, "農用機關における代替燃料の開発", 內燃機關, 第 18 卷 11 號, pp. 9-14, 1979.
9. 竹田策三, "農産廢棄物利用によるガス機關の開発", 日本農業機械學會關西支部報, Vol. 40, pp. 10-11, 1976.
10. "廢棄物の燃焼技術及び燃焼熱利用技術に関する研究", 農業機械化研究所, pp. 1-31, 1981.
11. "施設農業への新エネルギー利用 '熱・バイオマス・産業廢熱編'", (株)フジ・テクノシステム, pp. 488-540, 1980
12. "왕겨로부터 가연성가스 제조에 관한 실험 연구", 한국동력자원연구소 연구보고서, 1980.
13. C.F. Taylor, The Internal Combustion Engine, International Text Book Company, 1948.
14. V.L. Maleev, Internal Combustion Engine, McGraw-Hill Book Company, 1945.
15. 金熙喆, 兪炳澈, 內燃機關, 文運堂
16. 許永根, 南平祐, 內燃機關, 東明社