

農用 內燃機關 廢熱의 熱에너지 回收(II)⁺

— 시스템 Simulation과 安定性 實驗 —

Thermal Energy Recovery from Waste Heat of an I. C. Engine for Agriculture(II)⁺

— System Simulation and Stability Test —

徐 相 龍*, 劉 壽 男*

S. R. Suh*, S. N. Yoo*

Summary

A mathematical model for the waste heat recovery system for an engine was developed. The model based on the experimental data reported before was validated and was used to predict the waste heat recovery and recoverable heat of the engine at various operating conditions of the engine and the system. The model was also used to determine flow rates of the circulating water in the system for a certain temperature increment of the water at various operating conditions of the engine to give basic data to design the system.

Stability of the system performance was tested on subjects of vapor lock problem, thermal characteristics of the thermostatic valve, and temperature variation of the circulating water in the engine and fuel consumption of the engine during each mode of the system operation and its change into the other. The test showed that the system operation was stable enough. Temperature profile in the thermal energy storage (TES) was observed during storing thermal energy, and thermal stratification in the TES was well formed acceptable to be used in the system. Finally a scheme to automatize the system was suggested.

1. 緒 論

본지를 통하여 이미 보고한 바(徐相龍 등, 1986 : 報告 - I)와 같이 본 연구의 목적은 주로 정치형 농용 내연기관에 부착하여 사용할 수 있는 단순 구조의 기관 폐열회수 시스템 개발과 그 성능 파악에 있다. 대부분의 시스템 개발에 있어서와 같이, 개발된 시스템의 성능을 다양한 운전조건에 대하여 파

악하고 그의 운전상 安定성을 확보하기 위한 방법을 제시하는데 본 연구의 2차적인 목적이 있다.

임의 시스템의 성능을 파악하는 방법으로는 原型實驗 (prototype test)에 의한 것이 가장 확실한 방법임은 주지하는 바이나 시스템의 변수가 많은 多變數 시스템의 경우는 시간적 그리고 경제적으로 제한되기 마련이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 模型에 의한 模擬實驗 (simulation) 방법

*本 研究는 科學財團의 研究費 支援으로 遂行된 것임.

*全南大學校 農科大學 農工學科

이 종종 사용되어 왔다. 본 연구에서는 原型實驗과 模擬實驗을 조한 방법으로 報告-I에서 소개한 실험결과들을 기초로 한 컴퓨터이용 模擬實驗을 통하여 임의의 운전조건에 대한 본 시스템의 성능을 파악코자 하였으며 또한 이로부터 본 시스템 설계의 기초자료를 제공코자 하였다.

임의 시스템의 운전상 安定性(stability)은 그 시스템의 성능을 좌우할 뿐만 아니라 經濟性과 직접 관계된다. 개발된 본 폐열회수 시스템은 기관의 시동과 정상운전 그리고 蓄熱槽내 축열상태를 고려하여 순환수의 회로 변경이 되도록 하였기 때문에 非定常과정(unsteady state process)이 포함되어 그 운전상 安定性의 확보가 절실히 요구된다. 본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 報告-I에서 설명한 3가지 운전회로가 교체되는 순간을 중심으로 그 安定性을 조사코자 하였다.

본 연구에서 사용된 蓄熱槽는 그 내부 순환수가 熱的 層을 형성하도록 구성한 것이었다. 본 연구에서는 이러한 蓄熱槽의 熱的 成層현상을 본 시스템의 운전조건과 관련하여 실험적인 방법으로 관찰하였으며, 마지막으로 본 시스템의 완전 自動化 방법을 모색하였다.

2. 材料 및 方法

가. 數式模型開發

기관과 본 폐열회수 시스템의 다양한 운전조건하에서 본 폐열회수 시스템의 성능을 파악할 수 있도록 관련 數式模型을 개발하였다. 模型은 다음과 같은 관계 數式과 실험결과를 기초로 한 것이다.

報告-I에서 정의한 폐열회수비(e_R)는 다음과 같다(수식의 略號는 報告-I과 같음).

$$e_R = \dot{Q}_R / \dot{Q}_I \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $\dot{Q}_R = mC_p \Delta \theta \dots\dots\dots (2)$

$$\dot{Q}_I = (bsfc) \times (PO) \times (HV) \dots\dots\dots (3)$$

報告-I에서 설명한 실험결과로서 본 數式模型과 관련된 내용은 다음과 같다.

$$bsfc = f(T, n) : \text{報告-I의 그림 5} \dots\dots\dots (4)$$

$$(e_R)_{\Delta \theta = \text{const}} = g(T, n) : \text{報告-I의 그림 6, 7} \dots\dots\dots (5)$$

$$(e_R)_{PO = \text{const}} = h(\dot{m}) : \text{報告-I의 그림 8, 9} \dots\dots\dots (6)$$

이상의 실험결과중 식 4와 5의 내용은 비교적 복잡한 3차원 그림으로 표현되는 것으로서 이를 數

式化하는 것보다는 그림 자체의 이용이 보다 작은 오차를 나타내는 것으로 판명되어 본 연구에서는 후자를 택하였다. 그리고 식 6의 내용은 대체로 線型 관계를 나타내는 것으로서 그 내용은 最小自乘法에 의해 線型方程式을 구하여 사용하였다.

模型의 구성은, 變數로서 기관의 운전조건인 출력토크와 회전속도 그리고 본 시스템의 운전조건인 순환수 유동율을 입력자료로 하여 다음과 같은 순차적인 계산과정으로 하였다. 기관의 출력토크와 회전속도로부터 식 4의 내용에 의해 기관의 연료소비율(bsfc)을 구한 후 식 3으로부터 기관 투입에너지(Q_I)를 결정한다. 그리고 기관의 운전조건으로부터 식 5의 내용에 의해 폐열회수비를 구하며, 이와 위에서 구한 기관 투입에너지로부터 식 1에 의해 폐열 회수열량(\dot{Q}_R)을 구한다. 여기서 구한 폐열 회수비와 폐열 회수열량은 실험시의 실험조건이었던 순환수 상승온도 65°C에 대한 값으로서 이들은 위에서 입력한 순환수 유동율에 대한 값이 아니며 이에 대한 값들을 구하기 위해서는 그림 1에 나타난 방법과 같은 계산이 요구된다. 즉, 식 6의 내용은 일정한 기관 출력시 순환수 유동율과 폐열회수비의 관계로서 그림 1의 직선 A, B, C와 같다

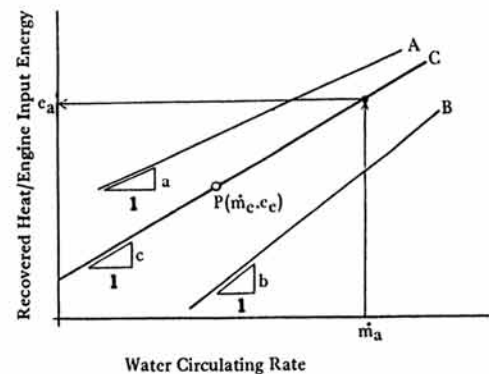


Fig. 1. Estimation of the waste heat recovery (recovered heat/engine input energy) at a circulating water flow rate(\dot{m}_a) and an engine power output (C) using the experimental data.

(그림의 직선 A와 B는 각각 일정한 기관 출력시 報告-I에서 설명한 실험결과이고, 직선 C는 模型의 입력자료인 기관 출력에 대한 미지의 직선임).

따라서 模型의 입력자료로부터 기관 출력을 구하여 그에 대한 직선의 기울기(그림의 C)를 그림 1과 같이 내삽법 또는 외삽법에 의해 구한다. 그리고 식 2를 사용하여 위에서 구한 폐열 회수열량(\dot{Q}_R)으로부터 실험조건인 순환수 상승온도 65°C에 대한 순환수 유동율(m_a)을 구한다. 그에 따라 위에서 구한 폐열회수비(e_e)와 함께 직선 C상의 한점(그림의 P)이 결정되고 따라서 직선 C의 관계식이 결정되며, 이로부터 입력자료인 순환수 유동율(그림의 m_a)에 대한 폐열회수비(그림의 e_e)를 구할 수 있다.

이상의 模型 개발시 적용된 순환수의 熱力學的 性質은 온도에 따라 약간씩 차이가 있으므로 그에 관한 자료를 컴퓨터 프로그램내에 삽입하여 각 온도에 해당하는 값을 찾아서 적용하도록 하였다.

模型의 출력항목으로는 기관 排氣가스에 의한 순환수 온도상승량과 排氣가스 폐열회수비 및 회수열량, 기관 冷却熱에 의한 순환수 온도상승량과 冷却熱 회수비 및 회수열량, 그리고 기관의 열효율 등이었다. 본 模型개발과 시스템 시뮬레이션에 사용한 컴퓨터는 국내에서 생산되고 있는 8 비트 퍼스날 컴퓨터였다.

나. 시스템 安定性 실험

3 가지 회로를 갖는 본 시스템에 대하여 각 회로의 安定性和 회로 변경시 문제점 등을 관찰하기 위하여 실험하였다. 이 실험은 또한 일정한 기관 운전조건에 대하여 순환수 유동율을 변화하여 관찰하므로써 순환수 유동율이 본 시스템의 安定性에 미치는 영향을 관찰코자 하였다. 실험은 기관 출력 3.0kW(출력토크=14N·m, rpm=2,045) 상태에서 수행하였으며, 순환수의 유동율은 0.78, 0.93, 1.05kg/min 3 가지로 변화하였다.

蓄熱槽내에 열에너지가 축적될 경우 蓄熱槽내 순환수 각 층의 온도변화를 관찰하기 위하여 각 층의 온도를 측정하였으며, 이 실험은 위의 시스템 安定性 실험 수행시 동시에 수행하였다.

이상의 실험에 사용된 실험장치 및 실험기기는 報告-I에서 설명한 바와 같다.

3. 結果 및 考察

가. 시스템 시뮬레이션

1) 수식모형 검증

본 수식모형의 정확성을 판단하기 위하여 報告-I의 실험자료 중 12개를 선정하여 그 실험조건을 입력자료로 하고 앞에서 설명한 출력항목을 본 모형에 의해 출력토록 하였다. 본 검증에 사용된 12개의 실험자료는 기관과 폐열회수 시스템의 운전조건이 비교적 다양하도록 선정된 것이었다. 수식모형에 의한 출력자료 중 排氣가스에 의한 온도상승량, 기관 冷却熱에 의한 온도상승량, 그리고 이들의 폐열회수비를 실제의 실험결과와 비교하였다. 비교방법은 이상의 3가지 항목에 대하여 각 실험의 實驗値와 豫測値의 差를 구한 후 이를 實驗値로 나누어 豫測値 誤差의 크기를 구하여 관찰하는 방법이었다. 그 결과 誤差의 크기는 모든 실험에 있어 0~8.9% 범위 내에 분포하였고, 각 실험에 있어 그 평균치는 2.4%로서 본 모형에 의해 폐열회수 시스템의 변수 예측은 비교적 정확하게 이뤄졌다고 인정되었다. 따라서 본 모형은 본 폐열회수 시스템의 시뮬레이션에 사용될 수 있는 것으로 판단되었다.

2) 시뮬레이션 결과

蓄熱槽내 물에 저장되는 열에너지의 최고 온도수준은 大氣壓하에서 100°C이므로 본 시스템의 열에너지 저장 최고 온도는 100°C를 초과할 수 없다. 蓄熱槽내 열에너지의 온도수준은 熱負荷의 조건에 따라 결정되나 가능한 높은 수준이 바람직한 것으로 사료되었다. 그 이유는 열에너지의 온도수준은 높은 상태에서 낮은 상태로 용이하게 이뤄지나 낮은 수준의 것을 높은 수준으로 전환시키기 위해서는 또 다른 에너지의 추가가 요구되기 때문이다. 그리고 蓄熱槽의 열에너지 저장 容量은 열에너지 저장 매체가 물일 경우 물의 比熱은 대체로 일정하므로 蓄熱槽내 물의 온도변화량과 質量만의 함수이며 따라서 일정한 크기를 갖는 蓄熱槽의 열에너지 저장 容量은 온도변화량에 비례하여 열에너지 저장 온도수준이 높을수록 저장가능 에너지량이 증가한다. 이에 따라 본 연구에서는 蓄熱槽내에 저장되는 열에너지의 온도수준을 大氣壓하 물의 沸騰點인 100°C보다 약간 낮은 95°C 정도로 설정하였다.

개발된 수식모형을 사용하여 초기온도 15°C 순환수의 최종온도(蓄熱槽의 열에너지 저장 온도)가 95°C가 되는 경우 기관 폐열의 全回收比(排氣가스 폐열 회수비+기관 冷却熱 회수비)를 구하였으며 그 결과는 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 全回收比

는 기관의 出力 2.3~3kW 부근(出力 토크=13 N·m, rpm=2050 부근)에서 가장 높으며 그 크기는 기관 투입에너지의 약 51%였다. 비교적 사용 빈도가 높을 것으로 예상되는 기관 出力比 1~3 범위의 全回收比는 48~51%이고 定格出力시 30% (排氣가스 폐열 회수비=28%)이었다. 定格出力시 기관 투입열량 중 排氣가스를 통한 폐열분을 30% 정도(Liljedhal 등, 1979; Pichai 등, 1982)로 가정할 경우 排氣가스 폐열의 회수율은 72% 정도로서 田中等(1982)의 실험결과와 비교할 때 본 열교환기의 회수율은 상당히 높은 값이었고, Stahl(1983)의 실험결과 보다는 약간 높은 값이었다. 기관 冷却熱의 회수율은 Stahl(1983)의 연구결과와 대체로 일치하였다. 기관 폐열의 全回收比는 본 폐열 회수 시스템의 熱效率로서 30% 내외로 예상되는 기관의 出

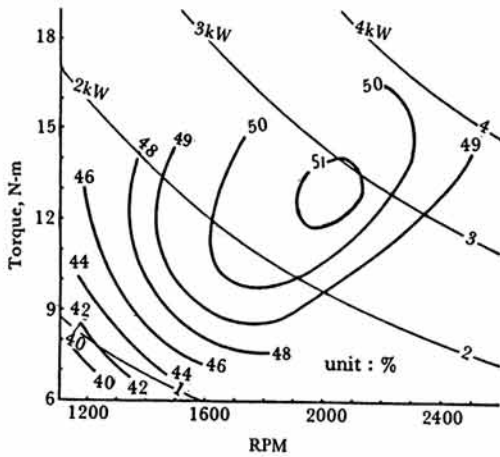


Fig. 2. Engine waste heat recovery (recovered heat/engine input energy) at various engine operating conditions to increase circulating water temperature from 15°C to 95°C.

力 熱效率를 가산하면 기관과 본 폐열 회수 시스템 조합의 全熱效率는 定格出力시 80% 내외의 상당히 높은 熱效率를 갖는 것으로 판단되었다.

이상의 폐열 全回收比와 기관 투입 에너지로부터 폐열 회수 熱量을 구하였으며 그 결과는 그림 3과 같다. 그림에서와 같이 회수 熱量은 대체로 기관의 出力에 비례하며 기관 出力당 약 1.7kW/kW의 熱量이 회수되었다. 그리고 동일 出力의 경우 기관의 회전속도가 높을수록 회수 熱量은 증가하는 추세였다.

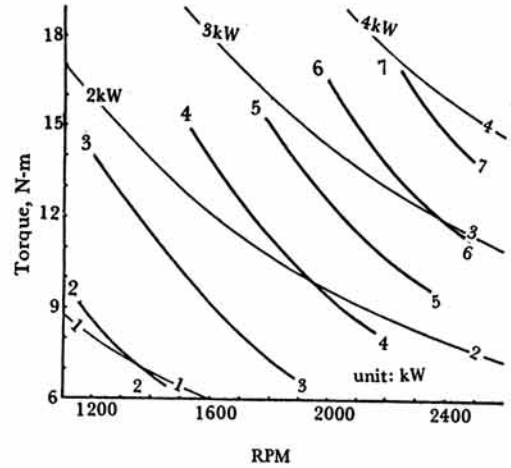


Fig. 3. Recoverable waste heat from an engine rated 3.7kW at various engine operating conditions and circulating water temperature increment from 15° to 95°C.

개발된 수식모형을 이용하여 기관의 운전조건에 따른 본 폐열 회수 시스템의 주요 변수인 순환수의 流動率을 구하였다(초기온도 15°C의 순환수가 95°C의 최종온도가 되기 위한 순환수의 流動率을 구하였다). 이상의 순환수 流動率은 위에서 구한 회수 熱量으로부터 구할 수 있으나 熱交換器의 성능은 熱交換器내의 質量 流動率의 함수이므로 정확한 값을 구할 수 없다.

이상의 순환수 流動率을 구하기 위해서는 개발된 수식모형의 약간의 수정이 요구되었다. 수정된 모형은, 임의의 순환수 流動率을 적용하여 원래 수식모형의 연산 순서에 따라 순환수의 최종 온도를 예측하고, 예측된 최종온도가 95°C ± 0.1°C 범위의 값이 아닌 경우 예측된 회수 熱量으로부터 예상되는 순환수 流動率을 구하여 이를 적용 다시 순환수의 최종 온도를 예측하는 반복계산법으로 구성되었다.

수정한 수식모형을 사용하여 다양한 기관 운전조건에 대해 예측한 순환수 流動率은 그림 4와 같다. 그림에서와 같이 주어진 온도차를 얻기 위한 순환수의 流動率은 대체로 기관의 出力 증가에 따라서 증가하며, 동일한 기관 出力의 경우는 기관의 회전 속도 증가에 따라 순환수 流動率도 증가하였다. 기관 出力 2, 3, 4kW의 경우 주어진 순환수의 온도차를 얻기 위해 요구되는 대체적인 순환수 流動率은 각각 0.70, 0.95, 1.35kg/min이며, 이러한 순환

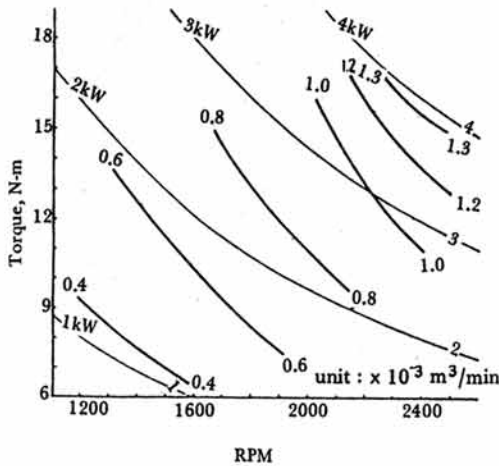


Fig. 4. Required water flow rates for an engine rated 3.7kW at various engine operating conditions to increase circulating water temperature from 15° to 95°C.

수 流動率은 본 시스템 설계의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

나. 시스템의 安定性

1) 蒸氣閉塞현상

본 연구에서 개발된 시스템은 數次的 設計變更을 거쳐서 결정된 것으로, 본 시스템이 결정되기 전에 시도된 대부분 시스템의 문제점은 순환수 회로에서 가열과정 중 발생한 氣泡가 순환용 펌프에 집적되어 펌프의 양수기능이 마비되는 점이었다. 이러한 蒸氣閉塞 (vapor lock) 현상을 제거하기 위하여 여러가지 방법이 고안되었으나 가장 확실한 방법은 펌프에 유입되는 순환수의 온도를 40°C 이하로 유지하는 방법이었다. 그에 따라 본 연구의 최종 시스템은 報告-I에서 설명한 바와 같이 蓄熱槽 하단의 찬물이 일차 펌프를 통과하도록 하였으며, 그 결과 위에서 지적인 증기폐색현상은 제거되었다. 蓄熱槽내 순환수의 온도가 열에너지의 저장으로 상승될 경우 증기폐색의 문제점은 다시 나타날 것으로 예상되었다. 그러나 사용된 蓄熱槽는 熱的 成層 蓄熱槽로서 이러한 熱的 成層이 확실히 유지되고 蓄熱槽 내부가 열에너지로 충전되지 않는다면은 이러한 문제점은 나타나지 않을 것으로 판단되었다.

2) 定溫器의 영향

본 시스템은 報告-I에서 설명한 바와 같이 작동목적에 따라서 3가지 회로를 갖도록 설계되었다. 기관이 시동될 경우 순환수의 회로는 기관예열회로로 작동되고 기관예열회로로부터 축열회로로의 전환은 사용한 定溫器 (thermostat)에 의해 자동으로 이뤄지므로 그 전환이 이뤄질 경우 순환수의 기관 유출온도는 사용한 定溫器의 特性에 따른다. 시판되고 있는 定溫器는 작동온도에 따라 82°C 형과 87°C 형으로 구분되며, 실험결과 定溫器의 보통단힘 밸브의 열림 시작온도는 각각 82°C, 87°C였고, 보통단힘 밸브가 충분히 열리고 보통열림 밸브가 닫히는 온도는 위의 보통단힘 밸브의 열림온도보다 5°~8°C 높은 수준이었다. 따라서 蓄熱槽내 저장 열에너지의 온도수준을 95°C로 할 경우 적당한 定溫器의 규격은 87°C형임을 알 수 있다.

3) 회로변경과 각 회로의 온도특성

기관과 순환수의 가열에 따라 기관예열회로로부터 축열회로로의 전환은 定溫器의 역할에 의해 별

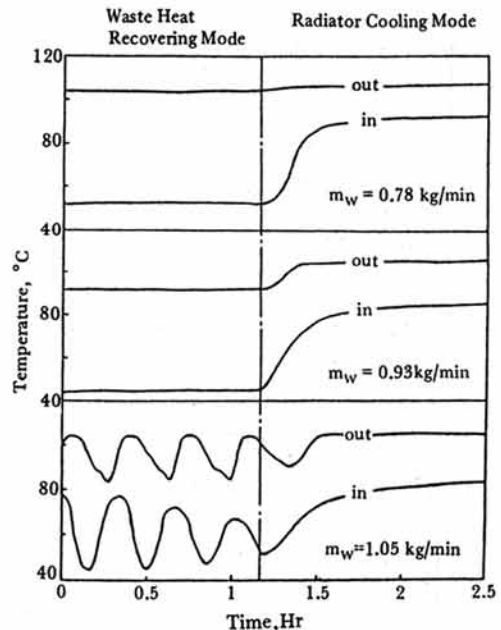


Fig. 5. Inlet and outlet temperature variation of circulated water of an engine during the waste heat recovering mode and the radiator cooling mode operations at three kinds of water flow rate (m_w).

다른 문제점없이 이루어졌다. 축열회로에 의한 축열 기간중 순환수의 기관 입구온도와 출구온도의 시간에 따른 변화과정은 그림 5의 중앙선 왼편 곡선과 같다. 실험은 3가지 순환수 유동율에 대하여 수행되었는데, 3가지 유동율 중 중간 크기의 유동율은 앞의 시스템 시뮬레이션으로부터 구한 유동율(설계 기준 유동율)이었다. 순환수 유동율이 설계기준 유동율보다 낮은 0.78kg/min인 경우 순환수의 기관 입구와 출구온도는 설계기준 유동율의 경우보다 높으며 이는 당연한 결과였다. 순환수 유동율이 설계 기준 유동율보다 높은 1.05kg/min의 경우 기관 입구와 출구의 온도는 그림에서와 같이 큰폭으로 주기적으로 변화하였다. 이러한 순환수의 온도변화는 시스템에 설치한 定溫器의 영향으로서 순환수의 유동율이 설계기준 유동율보다 높음에 따라 定溫器의 밸브가 交互적으로 여닫으므로써 축열회로와 기관 예열회로가 수회 교번한 결과이다. 이 경우 순환수의 기관 입구온도는 그 변화폭이 44~87°C이고, 기관 출구온도는 83~105°C로서 비교적 큰 폭의 온도변화가 있었다. 이러한 기관 순환수의 온도변화가 기관의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 측정된 연료소비율로부터 출력당 연료소비율을 구한 결과 순환수 유동율 0.78, 0.93, 1.05kg/min의 경우 각각 302, 299, 298g/kW·hr로서 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 고려하면, 순환수의 기관 입구 및 출구온도가 실험결과와 같이 비교적 큰 폭으로 변화해도 기관의 성능은 별로 영향받지 않은 것으로 판단되었다.

축열회로부터 냉각기 냉각회로로 전환된 직후부터 일정시간 동안 순환수의 기관 입구 및 출구온도 변화는 그림5의 중앙선 오른쪽 그림과 같다. 그림에서 중앙선은 축열회로부터 냉각기 냉각회로의 전환점을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 회로가 전환된 후 순환수의 온도는 완만한 폭을 유지하면서 일정 온도에 수렴하며 별다른 문제점은 지적되지 않았다. 냉각기 냉각회로에 의해 수렴되는 온도는 순환수 유동율에 따라 약간 차이가 있으며, 입구와 출구온도로부터 구한 평균온도는 순환수 유동율 0.78, 0.93, 1.05kg/min의 경우 각각 99°, 95°, 94°C로서 보통 내연기관 냉각수온인 70°C 내외보다 상당히 높은 값이었다. 이러한 기관 순환수의 유동율에 의해 결정되는 기관 순환수의 온도가 기관의

성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 연료소비율을 비교한 결과 순환수 유동율 0.78, 0.93, 1.05kg/min의 경우 각각 303, 293, 299g/kW·hr로서 약간의 차이는 있으나 그 최고치와 최저치의 차가 전체 평균의 3% 이내로서 그 차는 명확히 인정될 수 없는 값이었다.

실제 농용 내연기관 운전의 경우 기관의 운전조건은 항상 일정하지 않으며, 본 폐열회수 시스템의 운전을 위하여 기관의 운전조건을 찾아 그에 적합한 순환수의 流動率을 조절한다는 것은 실제로 불가능하다. 따라서 본 시스템이 사용될 경우 순환수의 流動率은 적정한 설계기준 流動率보다 많거나 혹은 적은 두 경우가 되기 마련이다. 지금까지 논의한 축열회로와 냉각기 냉각회로의 실험결과를 종합하면, 본 시스템 순환수의 流動率이 설계기준 流動率보다 적은 경우는 사용 내연기관은 過熱의 가능성이 높아짐을 알 수 있다. 반면 순환수 流動率이 설계기준 유동율보다 클 경우는 기관 입구와 출구의 순환수 온도가 주기적으로 변화하는 현상이 있었으나 그러한 문제에 의해 기관의 성능은 영향받지 않으므로 이는 용납될 수 있는 문제점으로 판단되었다. 따라서 본 폐열회수 시스템을 설계할 경우 순환수의 流動率은 통상 사용되는 기관의 운전조건에 대한 설계기준 유동율보다 큰 값으로 설정하고, 통상 사용되는 기관의 운전조건보다 낮은 出力을 내는 기관의 운전조건에 대해서도 동일한 순환수 流

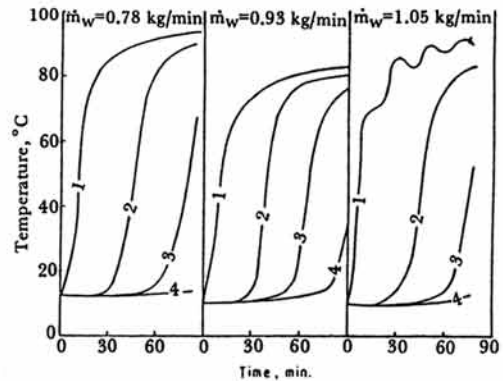


Fig. 6. Temperature profile of water in the thermal energy storage during storing recovered thermal energy at three kinds of water flow rate (\dot{m}_w).

動率에 의해 운전되도록 하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

4) 蓄熱槽의 蓄熱現象

축열회로에 의한 축열과정 중 蓄熱槽내 순환수의 온도변화를 관찰한 결과는 그림 6과 같다. 그림에서 곡선 1, 2, 3, 4는 蓄熱槽 높이를 4등분 한 蓄熱槽 내부 순환수 각 층의 중심 온도의 변화를 나타낸 곡선으로서 상층에 해당하는 것이 곡선 1이고 맨 하층이 곡선 4이며 곡선 2와 3은 그 중간 위치의 것을 나타낸 것이다.

蓄熱槽내 열에너지 저장현상을 순환수의 流動率에 따라 비교하면, 蓄熱의 최고온도는 설계기준 유동율인 0.93kg/min의 경우 가장 낮고 반면 설계기준 유동율보다 높거나 낮은 경우는 거의 95°C에 달하는 값이었다. 순환수 流動率이 설계기준 유동율보다 높은 경우에 있어서도 蓄熱의 최고온도가 높은 이유는 그림에서와 같이 순환수의 유동이 定溫器의 영향을 받아 그 온도가 주기 현상을 보이며 이뤄지므로써 앞에서 설명한 定溫器의 온도 특성에 따라 그 온도가 결정되므로써 높았던 것으로 판단되었다. 이러한 현상은 蓄熱의 최고 온도가 순환수 流動率이 설계기준 유동율보다 많은 경우 순환수 유동율에는 관계없이 오직 定溫器의 작동특성에 의해 결정됨을 의미하며, 따라서 위에서 제시했던 본 시스템의 순환수 流動率 결정방법이 타당함을 증명한 결과이다.

그림으로부터 각 실험에서 蓄熱과정 중 蓄熱槽내 熱的 成層은 순환수 流動率에 관계없이 매우 확실하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 蓄熱槽에 저장된 열에너지의 이용면이나 본 폐열회수 시스템 운전의 安定性면에도 매우 바람직한 것으로서 열에너지 저장이 요구되는 다른 시스템에 있어서도 이와 같은 蓄熱방법이 권장된다.

다. 시스템의 自動化 검토

본 기관 폐열회수 시스템은 기관의 부속장치로서의 운전을 위해 운전자의 계속적인 조작이 요구되도록 하는 것은 바람직하지 못하며, 따라서 이러한 폐열회수 시스템은 가능한 自動化 되어야 할 것이다. 본 시스템에 있어 自動化가 요구되는 부분은 순환수 流動率의 제어와 회로결정 밸브의 제어 두 부분이다. 순환수 流動率의 제어 문제는 위의 시스

템 安定性에 관한 논의에서 기관 운전조건에 관계없이 적용할 수 있는 그 流動率 결정방법을 제시하므로써 사실상 그의 제어는 필요하지 않다.

회로결정 밸브의 제어는 축열회로에서 냉각기 냉각회로로 전환될 때 또는 그 역으로 전환될 때 요구된다. 회로결정 밸브는 하나의 3-way 밸브로 대체될 수 있으며 이는 3-way 전자밸브(solenoid valve)를 사용하므로써 그 自動化가 용이하게 이뤄질 수 있다. 회로결정 밸브는 蓄熱槽의 열에너지 충만 정도에 따라 그 제어의 필요성이 결정되므로 일반 온도제어 장치에 사용되는 流體擴張式(fluid expansion type) 온도조절기 혹은 바이메탈(bi-metal)과 같은 온도감지부를 갖는 온도조절 스위치를 蓄熱槽 하단에 설치하여 그 스위치가 蓄熱槽 하단의 순환수 온도에 따라 전자밸브를 제어하므로써 그 自動化는 가능할 것이다.

4. 結 論

가. 기관 出力이 定格出力의 80~90% 범위일 때 순환수 온도를 15°C에서 95°C까지 상승시킬 경우 본 시스템의 기관 폐열회수율은 기관 투입에너지의 48~51%이며, 그 회수熱량은 대체로 기관의 단위출력당 약 1.7kW/kW의 크기이다.

나. 본 시스템의 운전은 대단히 安定的이며 별다른 문제점없이 기관예열, 기관 폐열회수 및 저장, 그리고 축열없는 냉각기에 의한 냉각의 3가지 과정을 수행한다.

다. 定溫器를 사용한 본 시스템의 순환수 流動量은 회수가능 熱량과 기대하는 순환수 온도상승량으로부터 구한 計算値보다 큰 값으로 설정하는 것이 바람직하다.

라. 蓄熱槽내 열에너지 저장시 실험에 사용한 蓄熱槽의 熱的 成層 蓄熱은 확실하게 유지된다. 따라서 열에너지 저장이 요구되는 다른 시스템에 있어서도 이와 같은 방법의 蓄熱槽 사용이 권장된다.

마. 본 시스템의 완전 自動化는 1개의 3-way 전자밸브와 1개의 온도조절 스위치로 가능하다.

參 考 文 獻

1. 김효경, 이태식, 노승탁. 1978. Total Energy

- System에 의한 열에너지의 효율적 이용. 대한 기계학회지 18(3): 173-185.
2. 徐相龍, F. D. Harris. 1985. 內燃機關 排氣가스를 이용한 穀物加熱機 開發. 한국농업기계학회지 10(2): 1-11.
 3. 徐相龍, 劉壽男. 1986. 農用 內燃機關 廢熱의 熱에너지 回收(I). 한국농업기계학회지 11(2): 23-30.
 4. 田中 孝, 山崎 稔, 谷 信幸. 1982. 農用엔진의排氣熱에너지回收. 日本 農業機械學會 關西支部報.
 5. Ahern, J.E. 1980. The Exergy Method of Energy Systems Analysis. John Wiley and Sons.
 6. Beckman, G. and P.V. Gilli. 1984. Thermal Energy Storage. Springer-Verlag.
 7. Echhoff, S.R. and M.R. Okos. 1979. Thermal Storage Comparison. ASAE Paper No. 78-4051.
 8. Fehr, R.L., L.R. Walton and B.F. Parker. 1981. Design of Single Passage Heat Ex-changers. ASAE Paper No. 81-4517.
 9. Hill, J.E., G.E. Kelly and B.A. Peavy, 1977. A Method of Testing for Rating Thermal Storage Devices Based on Thermal Performance. Solar Energy 19: 721-732.
 10. Holman, J.P. 1976. Heat Transfer, 4th ed. McGraw-Hill Book Co.
 11. Liljedhal, J.B. et al. 1979. Tractors and Their Power Units, 3rd ed. John Wiley and Sons.
 12. Pichai, S. and D.R. Hunt. 1982. Combine Engine Waste Heat for Grain Conditioning. Trans. of the ASAE 25(1): 58-61.
 13. Stahl, T. 1983. Farm Scale Biogas-Fueled Engine/Induction Generator System. ASAE Paper No. 82-3543.
- (原稿接受 1987年 1月 30日,
質問期限 1987年 4月 30日)

廣 告

◎ 韓國農業機械學會誌 合本

學會創立 10周年 紀念事業으로 學會誌를 合本制作하여 販賣하고 있습니다.

- 冊 數: 2 (總 1571페이지)
- 價 格: 帙當 (2冊) 15,000원 (送料 包含)
- 購入方法: 別添 郵便代替 納入通知書를 利用하여 送金하시면 即時 郵送하여 드립니다.