

마이크로컴퓨터를 이용한 엔진 성능시험의 자동화에 관한 연구(II)* A Microcomputer-Based Data Acquisition/Control System for Engine Performance Test(II)

—模擬 負荷試驗 시스템의 構成 및 評價—

—Construction and Evaluation of a Load Simulation System—

柳 寬 熙,** 裴 英 煥*** 尹 基 稷****
K. H. Ryu, Y. H. Bae, K. J. Yoon

Summary

This study was carried out to develop a system and methodology to simulate the engine load variation occurring during agricultural field operations for a laboratory engine test. The system consisted of an electric dynamometer, an Apple II microcomputer, and a data acquisition and control system. Several pieces of instruments were utilized to measure various engine performance data. Both engine torque and engine speed were fully controlled by a computer program.

The dynamic characteristics of the system were analyzed through a series of tests and the limitations on the load simulation test were presented.

The results of the study are summarized as follows:

1. Engine speed and torque were controlled by a computer program. The use of a stepping motor and reduction gears enabled engine speed to be controlled within 1 rpm.
2. The natural frequency of the dynamometer-engine system was found to be around 5 Hz, at which the load simulation would be impossible because of resonance.
3. For the harmonic inputs with the frequencies above the natural frequency, the signal attenuated too much and therefore the load simulation was impossible.
4. The step response of the system showed an overshoot of 24.5 percent and the settling time for 5 percent criterion was around 3 seconds.
5. When actual field test data are utilized for load simulation, a low-pass filter should be included to attenuate the frequency components around and above the natural frequency.

1. 緒 論

農作業時 農業機械의 動力源인 엔진에 걸리는 負荷는 作業의 種類 및 作業方法에 따라 그 變動이 심한 것을 하나의 特徵으로 들 수 있다. 이러한 負荷의 變動이 엔진의 性能에 미치는 影響을 실제의

圃場作業을 통하여 究明하는데는 여러가지 制約이 따르기 마련이다.

이러한 制約을 해소시키기 위해서는 포장작업시에 나타나는 負荷의 變動을 엔진 실험실에서 再現하여 엔진 시험을 실시함으로써 각종 作業機 및 作業方法에 따라 負荷의 變動이 엔진의 性能에 미치

* 본 研究는 1985年度 韓國科學財團의 研究費 支援에 의하여 遂行되었음.

** 서울대학교 농과대학 농공학과

*** 순천대학 농학부 농업기계공학과

**** 서울대학교 대학원 농공학과 석사과정 수료(군북무중)

는 영향을 조사하여 분석할 필요가 있다.

따라서 本研究는 포장작업시에 수집한 부하 데이터를 바탕으로 엔진에 대한 모의 부하시험을 수행할 수 있는 시스템을 구성하고 그 시험방법을 개발하기 위하여 실시되었으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 모의 부하시험을 수행할 수 있는 장치를 구성하고,
- 2) 시험방법 및 필요한 컴퓨터 프로그램을 개발하며,
- 3) 구성된 시스템의 특성을 분석하여 모의 부하시험의 가능 범위를 제시한다.

2. 材料 및 方法

가. 試驗裝置의 構成

본 연구에 사용된 엔진시험 장치는 서울대학교 농공학과에 설치된 容量 50kw의 전기동력계(영국 Pint & Partners社 제작)를 중심으로 하며, Apple II 마이크로컴퓨터를 바탕으로 자체제작한 데이터 수집장치와 부하 토크 및 엔진 회전속도 제어장치

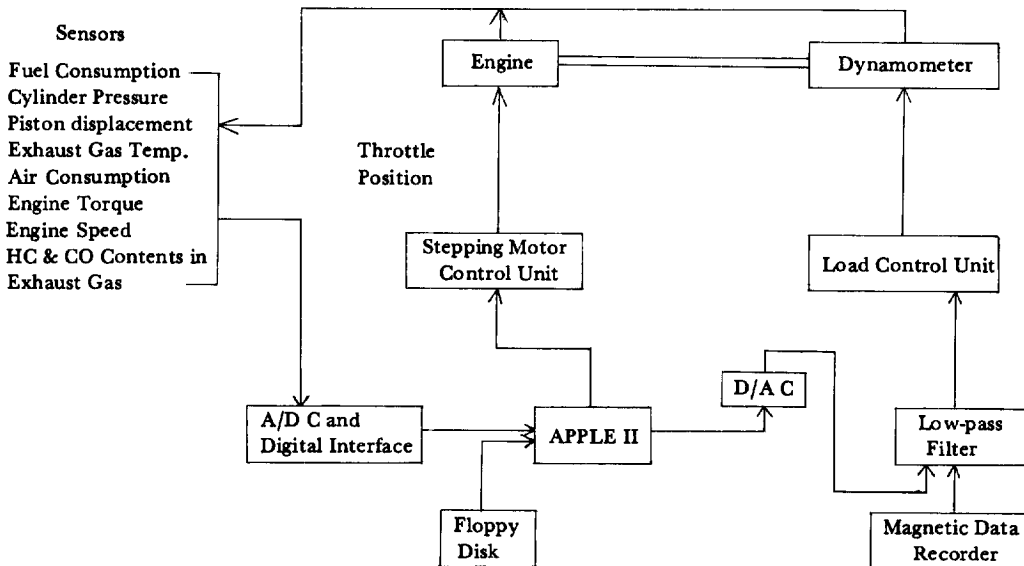
로 구성되어 있다. 시험장치의 개략적인 구성은 그림 1에서 보는 바와 같다.

데이터 수집을 위한 측정항목 및 사용된 센서에 관한 사항은 이미 발표된 논문¹⁾에 상세히 기술되어 있으며, 여기서는 부하 시뮬레이션 시험에 관련된 사항에 관해서만 간략히 기술하였다.

1) 資料蒐集裝置

자료수집장치는 Apple II 마이크로컴퓨터를 바탕으로 아날로그 및 디지털 형태의 신호를 받아들일 수 있도록 자체 제작하였다. 각종 센서로 부터 직류전압신호로 변환된 엔진 토크, 실린더 內壓, 배기가스 온도, 배기가스 성분(HC, CO) 등은 적절한 증폭회로를 통과한 후 8 bit A/D 변환기의 일종인 ADC0817을 통하여 마이크로컴퓨터에 연결하였다.

출력이 필스의 형태로 발생하는 엔진 회전속도와 연료소모량 신호는 74143 BCD(Binary-Coded-decimal) Counter와 6821 PIA를 이용하여 마이크로컴퓨터에 연결하였다. 연료소모량은 12bit로서 BCD로는 3 digit을 차지하였으며, 엔진 회전속도는 20 bit로서 BCD로는 5 digit을 차지하였다. 데이터 샘플링 간격의 설정 등을 위한 타이머로는 6840 PT-



Engine torque and speed data from field test

Fig. 1. Simplified schematic diagram of the system developed for engine load simulation test.

M(Programmable timer module)을 사용하였다. 계수기의 제작, 타이머 회로 등에 대해서는 尹³⁾의 논문에 상세히 기술되어 있다.

2) 엔진 회전속도 制御

엔진 회전속도는 드로틀 조작레버의 위치를 조절함으로써 제어하였다. 매 펄스당의 스텝각이 1.8°인 소형 스텝모터를 감속기어를 이용하여 400:1로 감속시킨 후 엔진에 부착되어 있는 드로틀 조작레버와 四節 링크를 구성하여 연결하였다. 매 펄스당의 엔진 회전속도는 1rpm 이내로 미세조정이 가능하였으며, 감속기어 종단에서의 토크는 약 56 N·m로서 드로틀레버의 조작에 충분하였다.

스텝모터 구동회로는 전용 IC인 UCN4202A를 사용하였으며, 펄스신호는 Apple II에 내장된 게임 I/O 포트의 어ନ시에이터 출력을 이용하여 모터의 회전방향과 스텝수를 조정하였다.

3) 電氣動力計의 負荷 制御

엔진에 가해지는 부하 토크는 전기동력계의 제어장치로 연결되어 있는 Shackleton System Drive의 부하 조절용 손잡이에 의해 조절되도록 구성되어 있으나 본 연구에서는 試驗의 자동화를 위하여 外部人力을 통하여 부하 토크가 조절되도록 회로를 구성하였다.

외부입력은 직류전압신호로서 필요에 따라 마이크로컴퓨터를 통해 8bit D/A 변환기인 DAC 0800을 이용하거나, magnetic data recorder의 출력을 이용하거나, 또는 단일주파수를 갖는 단순한 형태의 신호의 경우 함수발생기(function generator)를 이용할 수 있도록 하였다.

이러한 외부입력에 의해 엔진 부하가 조절되는 경우 입력신호와 실제로 나타나는 부하 토크와의 관계를 보다 정확히 파악하기 위하여 별도의 8bit A/D 변환기를 이용하여 입력신호를 부하 토크와 동시에 샘플링하였다.

나. 시스템의 動的特性 試驗

부하 시뮬레이션 試驗의 人力으로 사용할 수 있는 신호는 전기동력계-엔진 시스템의 動的特性에 의해 그 주파수 및 진폭에 제한을 받게된다. 따라

서 전기동력계-엔진 시스템의 動的特性을 파악하기 위한 시험을 실시하였으며 여기서는 시험용 엔진으로서 D社 제품인 定格出力 5 PS의 空冷式 석유엔진을 사용하였다.

1) 自由振動 試驗

전기동력계-엔진 시스템의 固有振動數와 減衰比를 測定하기 위하여 시스템이 약 1,000rpm으로 회전하고 있는 상태에서 전기동력계의 토크측정용 광에 갑자기 충격을 가한 후 정상상태로 회복될 때까지의 토크변환기에 의해 나타난 토크의 변화를 기록하였다. 이때 토크는 A/D 변환기를 통해 100Hz의 샘플링 주파수로 측정하였다.

2) 비틀림 剛性 試驗

시스템의 비틀림 剛性率(torsional stiffness)을 測定하기 위하여 정지상태에서 전기동력계의 토크측정용 광에 하중을 가한 후 이에따른 角變位를 조사하였다. 하중은 10kg의 표준하중을 이용하여 50kg 까지 다섯 단계로 하였으며, 하중의 부가에 따르는 토크측정용 광의 높이의 변화를 측정할 후 이를 각변위로 환산하였다.

3) 階段應答 試驗

시스템의 階段應答(step response)을 조사하기 위하여 함수발생기를 이용하여 전기동력계에 矩形波(square wave) 형태의 부하 토크를 가하였다. 波의 크기를 조절함으로써 엔진에 부과되는 負荷를 부분부하에서 과부하 상태까지 조절 하였으며 부하의 지속시간을 20초로 하여 엔진이 충분히 정상상태에 도달하도록 하였다. 무부하 상태에서의 엔진 회전속도는 1,400rpm부터 2,000rpm까지 200rpm 간격으로 설정하였으며, 함수발생기로 부터의 階段波의 크기는 각각의 회전속도에 대하여 다섯 수준(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.3V)을 택하였다. 부하 입력과 실제 엔진토크는 두개의 A/D 변환기를 이용하여 각각 100Hz의 샘플링 주파수로 측정하였다. 階段應答 試驗 결과로부터 시스템의 고유진동수, 퍼센트 오버슈트(% overshoot), 定靜時間(settling time) 등을 조사하였다.

4) 周波數應答 試驗

시스템의 周波數特性을 파악하기 위하여 함수발생기를 이용하여 正弦波(sine wave) 형태의 토크를 입력시켰다. 엔진의 무부하 회전속도를 1,600rpm에 고정시켰으며 波의 크기는 1.2~1.8V로서 엔진 토크로 환산하면 12~18 N·m에 해당되었다. 함수발생기의 진폭을 위와같이 고정시킨 다음 주파수를 0.05Hz에서 10Hz까지 10수준을 선택하여 각각에 대하여 입력신호와 실제토크 및 엔진 회전속도를 측정하였다.

3. 結果 및 考察

가. 시스템의 動的特性

1) 振動特性

그림 2는 전기동력계의 고유진동수와 減衰比를 측정하기 위하여 전기동력계를 自由振動시켰을 때 얻은 波形을 나타낸 것이다. 이 파형은 그림 3과

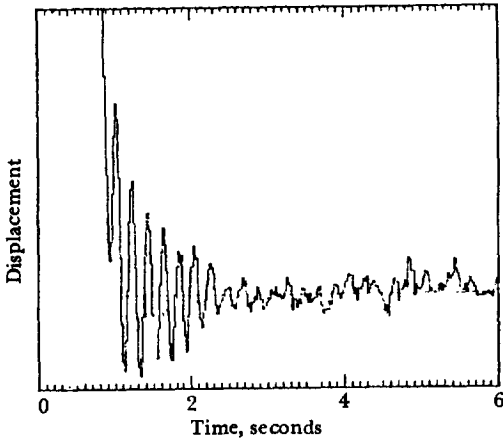


Fig. 2. Free vibration of the dynamometer.

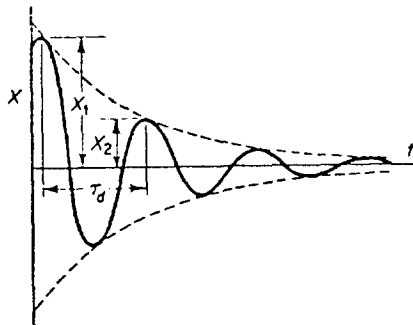


Fig. 3. Rate of decay of oscillation measured by the logarithmic decrement.

같은 對數的 減衰現狀으로서 감쇠비(ζ)와 고유진동수(ω_n)는 아래의 관계식으로부터 산출하였다.

$$\zeta = I_n \frac{X_1}{X_2} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 頂點의 對數比 δ 는 연속되는 두 정점들로부터 비율을 구하여 그 평균치인 0.437을 사용하였으며, 감쇠 고유진동수는 ω_d 는 그림 2로부터 29.5 rad/sec (4.7Hz)의 값을 얻었다. 이들로부터 구한 고유진동수와 감쇠비는 각각 30.2 rad/sec (4.8Hz) 및 0.0683이었다.

한편 시스템을 2次的 비틀림系로 간주하면 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$J\theta + c\dot{\theta} + k\theta = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\omega_n^2 = \frac{K}{J} \dots\dots\dots(4)$$

$$2\zeta\omega_n = \frac{c}{J} \dots\dots\dots(5)$$

위의 관계식들로부터 구한 回轉 慣性質量 모멘트 J는 0.80 N·m·sec²이며, 비틀림 減衰係數 c는 3.312 N·m·sec/rad이다.

2) 階段應答

시스템의 過波特性(transient characteristics)을 파악하기 위하여 階段波를 부하입력으로 가하였으며 그림 4에 그 대표적인 결과가 제시되어 있다. 그림 4는 무부하 속도 1,800rpm에 2.0V의 계단파를 전기동력계에 가하였을 때의 시간에 따른 입력과 엔진토크의 변화를 나타낸 것이며 정상상태에서의 부하는 19.4 N·m이다.

반복 측정된 데이터로부터 과도반응을 나타내는 구간에서의 주파수와 진폭을 분석한 결과, 두가지의 주파수 성분이 나타나는 것으로 파악되었다. 이를 분석하여 다음과 같이 각각의 주파수와 감쇠비 및 퍼센트 오버슈트를 산출하였다.

고주파 성분 :

$$\omega_n = 34.6 \text{ rad/sec (5.5Hz)}$$

% overshoot = 24.5

$\zeta = 0.40$

저주파 성분 :

$\omega_n = 4.0 \text{ rad/sec (0.6 Hz)}$

% overshoot = 12.3

$\zeta = 0.56$

시스템의 整定時間은 定常狀態에서의 값의 $\pm 5\%$ 범위에 도달하여 안정되는 데에 약 3 초가 소요되었다.

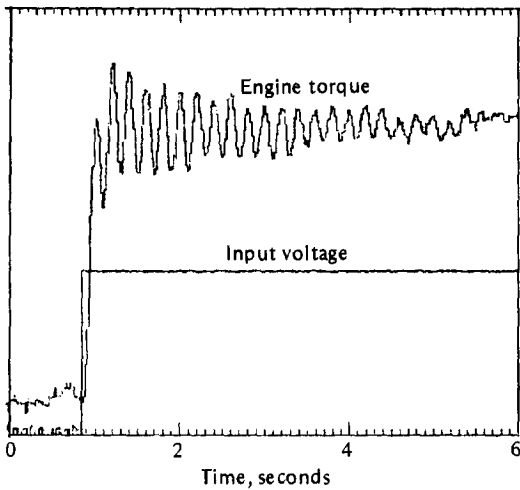


Fig. 4. Transient response of the dynamometer subjected to a step input.

3) 周波數應答

시스템의 周波數特性을 파악하기 위하여 함수발생기를 이용하여 10수준의 주파수를 갖는 正弦波를 부하입력으로 가하였다. 이 중 1, 5, 10Hz 입력에 대한 토크의 변화를 각각 그림 5, 6, 7에 제시하였다. 또한 각 주파수 입력에 대한 출력 토크의 진폭과 위상차를 조사하여 그림 8과 같은 Bode 線圖를 작성하였다. 진폭에 대한 계인을 계산하기 위하여 1.2V와 1.8V 직류전압을 입력으로 가했을 때의 출력 토크의 차를 기준으로 하였다.

그림 8의 Bode 線圖로부터 약 5 Hz (31.4 rad/sec) 부근에서 하나의 뚜렷한 頂點을 찾을 수 있으며, 이는 시스템의 진동특성에서 구한 고유진동수인 4.8Hz (30.2 rad/sec)와 계단응답에서 구한 고주파 성분의 고유진동수인 5.5Hz (34.6 rad/sec)와 거

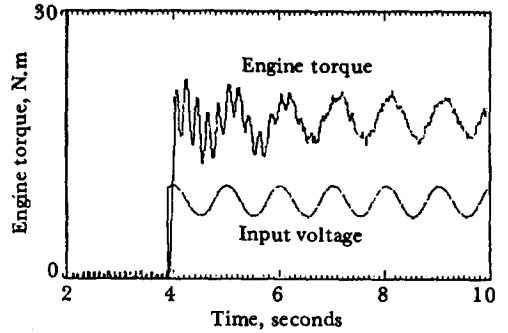


Fig. 5. Frequency response of the dynamometer subjected to a sinusoidal input of 1.0 Hz.

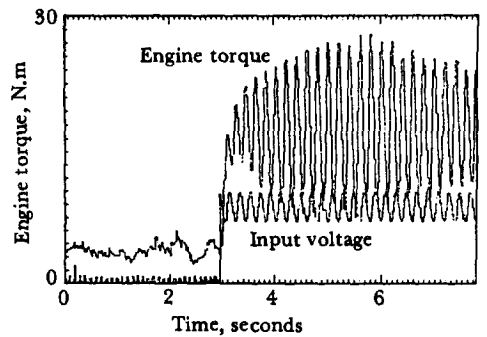


Fig. 6. Frequency response of the dynamometer subjected to a sinusoidal input of 5.0 Hz.

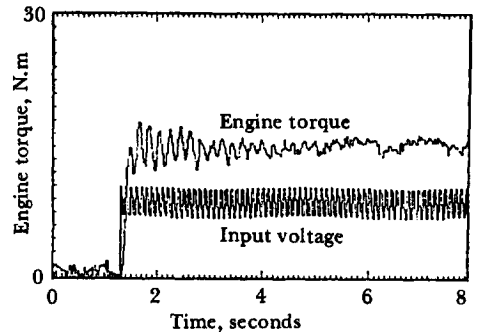


Fig. 7. Frequency response of the dynamometer subjected to a sinusoidal input of 10.0 Hz.

의 일치하였다. 5 Hz 부근에서 나타나는 頂點은 시스템의 共振에 의한 것으로서 그림 6을 통하여 관찰할 수 있으며 이러한 공진은 減衰되지 않고 지속되었다.

따라서 본 연구에 이용된 전기동력계-엔진 시스템은 그 動的特性을 고려할 때 4~6Hz에서는 공진에 의해 진폭이 증폭될 우려가 있으며, 6 Hz 이상에서는 신호의 잡음이 급격히 증가하기 때문에 4

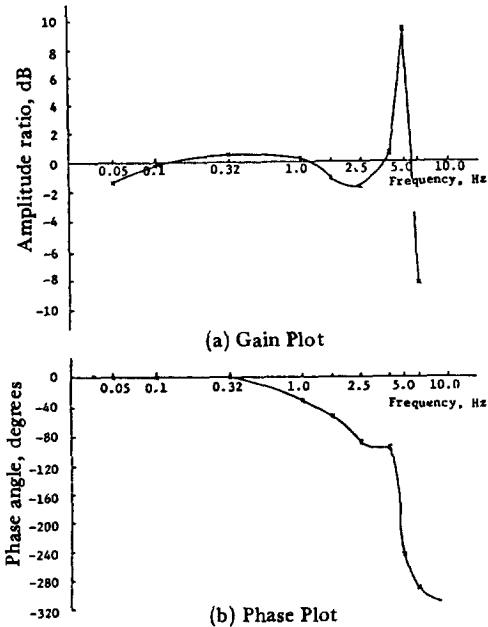


Fig. 8. Bode plot showing the frequency response of the dynamometer.

Hz 이상의 주파수 성분에 대해서는 모의 부하시험이 곤란한 것으로 판단된다.

나. 模擬 負荷試驗方法的 開發

모의 부하를 이용한 엔진 성능시험은 실제 農作業時에 발생하는 엔진의 부하 데이터를 수집한 후 이를 바탕으로 실내에서 부하를 재현하여 시험하는 방법이다.

부하 데이터의 수집을 위해서는 두가지 방법을 채택할 수 있다. 첫째는 아날로그 방식으로서 magnetic data recorder를 이용해 實作業時 엔진에 부과되는 토크와 회전속도 등을 기록하는 방법이며, 이는 장시간 동안의 데이터를 연속적으로 수집할 수 있는 장점이 있다. 다른 방법은 스트레인 게이지 타입의 토크변환기로부터 검출된 엔진토크를 A/D 변환기와 타이머회로를 이용해 일정한 시간간격으로 샘플링한 후 이를 플로피 디스크(floppy disk)에 수록하는 것이다. 이 두번째 방법은 샘플링 주기를 작게 할 경우 컴퓨터 메모리의 제한으로 인하여 총 데이터 수집시간이 매우 짧아지게 된다.

수집된 데이터를 이용해 전기동력계에 부하를 가하는 경우 magnetic data recorder에 수록된 데이터는 필요에 따라 증폭회로 또는 감쇄회로를 통과

시킨 후 직접 전기동력계에 연결할 수 있을 것이며, 플로피 디스크에 수록된 데이터는 샘플링 주기와 같은 주기로 D/A 변환기를 통해 직류전압으로 변환시킨 후 적절한 증폭 또는 감쇄회로를 거쳐 전기동력계에 연결할 수 있을 것이다.

여기서 한가지 고려해야할 사항은 전기동력계의 동적특성에 의한 주파수의 제한이다. 수집된 토크 데이터를 그대로 부하입력으로 이용할 경우 4~6 Hz의 성분에 대해서는 共振이 발생하며, 6 Hz 이상의 성분은 감쇄되어 토크에 영향을 미치지 못할 것이다. 또한 부하가 급격히 변화하는 경우에는 과도특성에 의한 오버슈트가 발생하여 정확한 부하의 재현이 어려울 것이다.

따라서 모의 부하시험을 성공적으로 수행하기 위해서는 수집된 實作業 데이터를 處理할 필요가 있으며 이를 위해서는 다음의 방법을 사용할 수 있을 것이다.

- magnetic data recorder나 floppy disk에 수록된 데이터를 이용할 경우에는 low-pass filter를 연결하여 4 Hz 이상의 주파수를 제거하며 또한 D/A 변환기에 의한 zero-order hold의 영향을 없앤다.
- 토크波形이 단일 주파수를 갖는 단순한 형태일 경우(예: 正弦波 三角波 등)에는 함수발생기를 이용하여 부하토크를 가한다.

4. 要約 및 結論

本 研究는 實作業 데이터를 이용하여 실험실에서 엔진에 대한 모의 부하시험을 수행할 수 있도록 실험장치를 구성하고 그 방법을 개발하기 위하여 수행되었다. 전기동력계와 마이크로컴퓨터를 중심으로 엔진 부하토크와 회전속도를 제어할 수 있는 시스템을 구성하였으며, 구성된 시스템의 특성을 분석하여 모의 부하시험의 가능범위를 제시하였다.

研究 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 컴퓨터 프로그램을 통하여 엔진 회전속도와 토크를 제어하였으며 회전속도는 1 rpm 이내로 미세조정이 가능하였다.
- 2) 구성된 전기동력계-엔진 시스템의 고유진동

수는 약 5 Hz로서 이러한 주파수의 입력을 가할 경우에는共振에 의하여 부하의 제어가 불가능하였다.

3) 고유진동수 이상의 주파수에서는 신호의 감쇄가 급격하여 부하의 조절이 불가능하였다.

4) 階段波 入力에 대한 엔진 토크의 변화는 24.5%의 오버슈트를 나타냈으며 定常狀態의 $\pm 5\%$ 의 범위에 도달하는데 소요되는 整定時間은 약 3 초였다.

5) 實作業 데이터를 이용하여 엔진 토크를 조절하는 경우에는 low-pass filter를 사용하여 고유진동수 및 그이상의 주파수 성분을 여과시키는 것이 바람직하다.

參 考 文 獻

1. 柳寬熙, 鄭昌柱, 朴普淳. 1987. 마이크로컴퓨터를 이용한 엔진性能試驗의 自動化에 관한 研究 (I) -엔진性能試驗과 데이터蒐集의 自動化-. 韓國農業機械學會誌, 12(3): 7-16.
2. 任鶉宰, 柳寬熙, 朴普淳. 1986. 엔진性能試驗用 데이터蒐集 시스템에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌, 11(1): 8-16.
3. 尹基稷. 1988. 마이크로컴퓨터를 이용한 엔진性能試驗의 自動化에 關한 研究. -負荷 시뮬레이션 시스템의 開發-. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.



學 位 取 得



姓 名: 金 榮 福
 生 年 月 日: 1953年 10月 2日
 勤 務 處: 慶尚大學校 農科大學 農業機械工學科
 取得學位名: 農學博士
 學位授與大學: 忠北大學校
 學位取得年月日: 1989年 2月 25日
 學位論文: 熱 에너지 貯藏을 爲한 潛熱蓄熱材
 (CaCl₂·6H₂O)의 熱特性 研究