

마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진回轉速度 制御에 관한 研究

A Study on Engine Speed Control Using Microcomputer

閔 永 鳳*, 李 基 明**

Y. B. Min, K. M. Lee

Abstract

Speed control of kerosene engine by the combination of a manual throttle and centrifugal weight type governor is not adequate for evaluating energy requirements in laboratory and field performance tests.

This paper describes an engine speed control system. This system consists of Apple-II micro-computer, step motor set to the throttle shaft directly, step motor driving and interfacing circuit, engine performance data acquisition system for measuring load, speed and time and potentiometer as speed adjustor.

The performance of this system was successful in maintaining engine speed within ± 37 rpm of reference speed indicated by computer and potentiometer.

I. 緒 論

從來의 內燃機關에 장치된 遠心重錘式 調速機는 조속레버를 고정시킬 경우 부하를 가함에 따라 그 回轉數가 떨어지게 되어있기 때문에 조속레버를 급히 加減할 수 없는 斷續 負荷作業에서는 엔진 回轉變動이 크게 發生하게 된다. 따라서 엔진의 性能試驗, 農用作業機의 圃場試驗 등에서 試驗 所要時間동안 一定 回轉數를 유지시키기가 곤란하여 시험데이터의 信賴性이 떨어지게 된다. 또한 탈곡기, 콤팩트 등의 作業에 있어서 순간적인 피탈곡물 과다 유입시에도 엔진이 정지되는 수가 있다. 이는 遠心重錘式 調速機의 構造上 負荷에 상당하는 만큼의 여분의 에너지 공급이 充分히 이루어지지 않기 때문으로 생각되며 燃料공급을 直接式으로 改良시키므로써 이런문제를 해결할 수 있다고 사료된다.

최근 이 方向의 試圖로서 Smith⁶⁾는 디젤엔진에서 電子裝置를 利用하여 분사노즐의 니들을 여닫아 엔진 회전속도를 ± 10 rpm 오차로 제어하였다.

本 研究에서는 석유엔진의 드로틀밸브軸에 스텝모

터를 直結시키고 포텐쇼미터로 부터 목표회전수를 설정하여 마이크로컴퓨터에 의하여 스텝모터를 구동, 드로틀밸브 여닫음을 제어하는 방식을 이용하여 負荷變動에 대한 調速 感應도가 높고 항상 一定回轉數를 維持할 수 있는 장치를 개발하여 實驗的으로 그 性能을 究明하였다.

II. 實驗裝置 및 方法

그림 1은 엔진 回轉速度制御 및 制御 性能試驗을 위한 全體 構成圖이다. 制御할 目標回轉數 설정은 마이크로컴퓨터에 직접 入力하여 설정시키는 方法과 포텐쇼미터에 의한 回轉調整器로 부터의 出力 電壓을 A-D 변환기를 통해 간접적으로 設定시키는 方法을 이용하였다. 또 實際의 엔진 回轉數는 既開發된 엔진性能試驗裝置²⁾에 의하여 測定하였다.

目標回轉數와 엔진回轉數를 마이크로컴퓨터가 比較하여 相應하는 出力데이터를 스텝모터 구동회로로 보내어 스텝모터를 正送回轉 시킴으로써 드로틀밸브를 여닫아 엔진회전을 增減하게 되며, 엔진

* 慶尙大學校 農科大學 農業機械工學科

** 慶北大學校 農科大學 農工學科

회전수가 目標回轉數에 도달되도록 하는 制御方式을 사용하였다. 使用된 컴퓨터는 Apple II이며 인터페이스 및 프로그램 방법은 김¹⁾, 민²⁾ 등의 研究論文을 참조하였고 供試엔진은 5마력 4 사이클 (대동 NA50B) 공냉식유엔진이다.

스텝모우터는 흡입공기의 저항, 최대펄스율 (500 PPS)에 따른 회전부 관성토크를 計算 및 測定하여 充分한 容量의 소형 영가의 것을 구입하여 사용하였고 그 규격은 표 1 과 같다.

그림 2는 스텝모우터 구동 및 컴퓨터 인터페이스 회로 (a)와 目標回轉數 設定을 위한 回轉速度調整器 (b)를 나타낸 것이다.

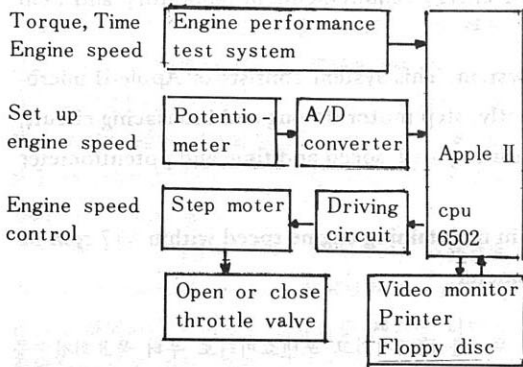


Fig. 1. Block diagram of the engine speed control and test system.

Item	Specification
Model	KP6M2-001, Japan Servo Co.
Step angle, °/step	1.8
* Voltage, V	6
Current, A/phase	1.2
Holding torque, Kg-cm	5
Detent torque, g-cm	180
Phase	4
Rotor inertia, g-cm	110
Driving torque, Kg-cm	4 (pulse rate $f \leq 500$ pps)

驅動回路는 스텝모우터 제작회사에서 제공된 것을 應用하여 트랜지스터 스위칭方式을 利用하였고, 인터페이스회로는 일종의 마이크로컴퓨터 출력 포트로서 74LS273의 D형 Flip Flop을 利用하므로써 처음 구동펄스와 다음 구동펄스의 중간기간 동안에는 계속해서 電流를 공급하게 하여 처음 펄스에 의하여 勵磁된 角度를 그대로 維持시켜 엔진 진동이나

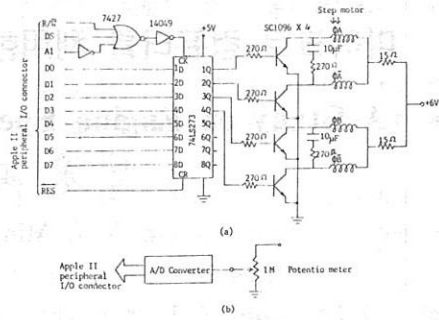


Fig. 2. Step motor driving circuit (a) and engine speed adjuster (b)

외부저항에 의하여 드로틀벨브가 移動하지 못하게 하였다. 스텝모우터의 驅動은 驅動토크가 안정되고 오차발생이 적은 2相 勵磁方式을 채택 하였으며 표 2는 2상여자의 펄스列과 스텝모우터 各相의 여자信號와의 관계 및 그때의 컴퓨터 데이터-버스의 出力 데이터를 나타내었다. 펄스列이 오른쪽으로 進行할때 스텝모우터는 正의 方向, 드로틀은 열림방향으로 한 스텝씩, 왼쪽으로 進行할 때는 負의 方向으로 한 스텝씩 稼動되게 펄스列을 定하였다.

그림 3은 엔진 드로틀軸에 스텝모우터를 직결시킨 것을 나타낸 것이며 엔진진동에 의한 影響을 줄이기 위해 연결棒은 直徑 3.2mm, 길이 40cm의 鋼線을 사용하여 핀 볼트로써 체결하였다.

그림 4는 既存의 調速方式에 의한 調速性能을 試驗하기 위해 既開發된 DAS시스템²⁾의 컴퓨터 프로그램 흐름도이다.

그림 5는 목표회전수 (Reference Speed)를 컴퓨터에 입력시켜 고정된 값으로 하여 各 回轉數別, 負荷別로 目標回轉數와 엔진回轉數의 差異에 따른 드로틀 여단음을 制御하는 프로그램 흐름도이다. 그림

Table 2. Two phase exciting pulse sequence of 4-phase step motor

pulse seq.	Phase								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9 →
A (D0)	1	1	0	0	1	1	0	0	1 →
\bar{A} (D1)	0	0	1	1	0	0	1	1	0 →
B (D2)	0	1	1	0	0	1	1	0	0 →
\bar{B} (D3)	1	0	0	1	1	0	0	1	1 →
Outpht	Dec.	9	5	6	10	9	5	6	10 →
data on data bus	Hex.	09	05	06	0A	09	05	06	0A →

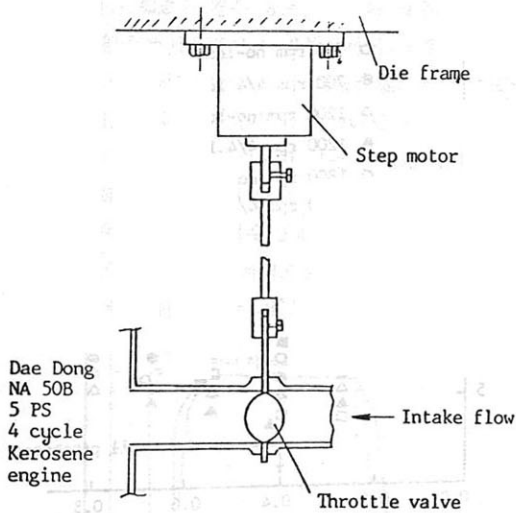


Fig. 3. Step motor setting up for computer throttle control.

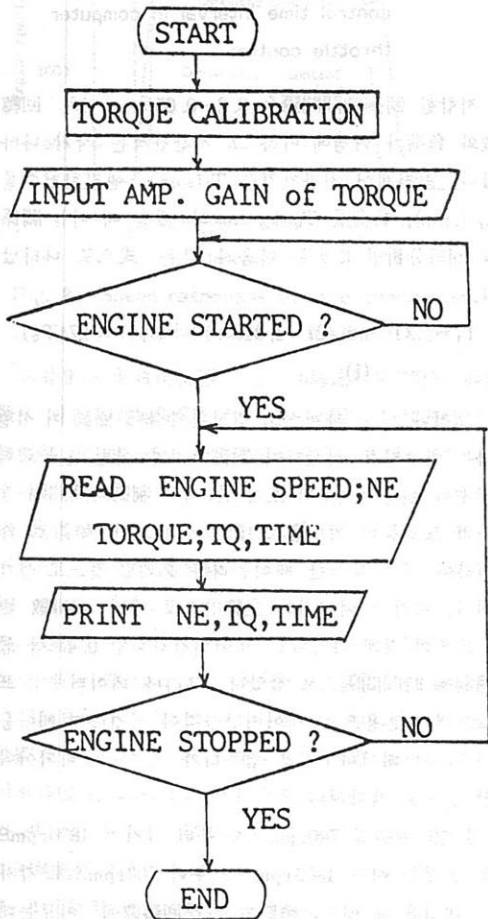


Fig. 4. Flow chart for data acquisition with conventional throttle control.

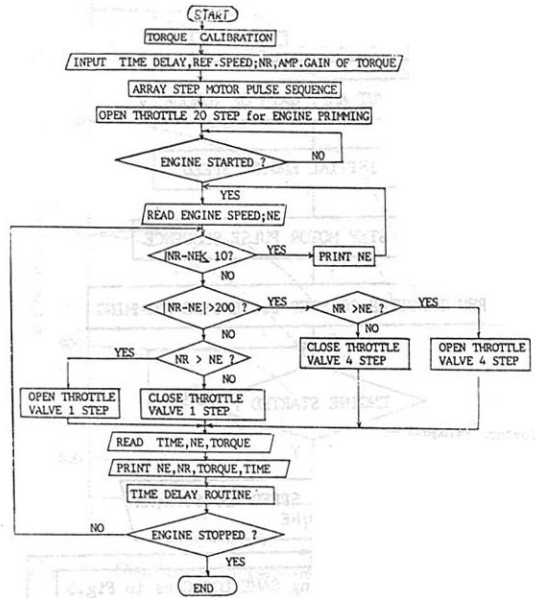


Fig. 5. Flow chart for engine speed control test with computer throttle control in fixed reference speed.

에서도 알 수 있듯이 制御로직은 엔진회轉數와 目標回轉數의 差가 1 LSB 이하로 될 때까지 드로틀을 여닫음을 계속하도록 하였고, 두 회轉數 차가 200 rpm보다 클 때는 드로틀을 한번에 4스텝씩, 200보다 작을 때는 1스텝씩 閉開하여 엔진회轉數가 보다 빨리 目標回轉數에 도달되도록 하면서 엔진회轉變動幅이 最小化되게 프로그램을 構成하였다. 또한 이들 制御變數 값들은 수십차례의 反復시험 結果, 얻어진 값들을 적용시켰다. 드로틀밸브의 최대열림 스텝수는 38스텝으로하고, 엔진의 始動은 20스텝의 열림 상태에서 시동하도록 하였다.

그림 6은 포텐쇼미터에 의한 目標回轉數 設定方式을 채택한 回轉速度制御 및 調速性能을 조사하기 위한 프로그램 흐름도이며 回轉速度 制御方式은 그림 5와 같은 방식을 利用하였다.

調速性能을 分析하기 위하여 既存方式과 컴퓨터 제어방식에 대하여 目標回轉數, 엔진회轉數, 負荷토크, 時間을 測定記錄하여 기록된 資料를 分析 考察하였는데 모두 5反復이상의 데이터를 수집 처리하였고, 모든 制御프로그램은 BASIC 언어로 試圖하였다.

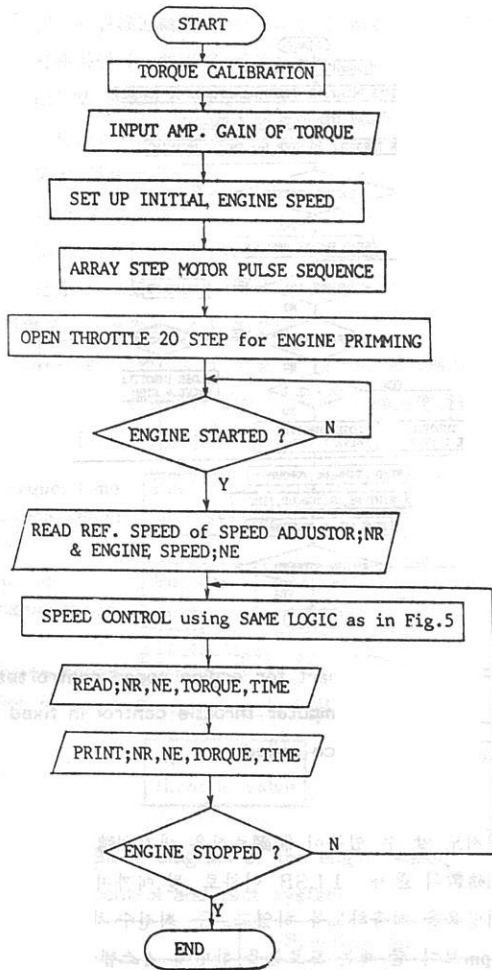


Fig. 6. Flow chart for engine speed control test with computer throttle control in varying reference speed of the speed adjustor.

III. 結果 및 考察

엔진의 드로틀밸브 여닫음 제어시간 간격은 最少 限 엔진 1行程時間 이상이어야 하며, 엔진의 加速度가 거의 0인 상태가 유지되었을 때 목표회전수와 制御된 엔진회전수가 比較되어 다음 단계의 제어로 들어가야 할 것으로 생각된다. 그러나 制御時間間隔은 엔진회전數, 負荷, 回轉部의 慣性모우멘트 등의 복잡한 函數關係로 이루어 질 것으로 意料되므로, 本研究에서는 實驗的으로 最適制御時間間隔을 求하기 위해 그림 5의 로직을 이용하였다. 回轉數와 負荷別로 制御時間間隔에 따른 回轉變動誤차를 調査한 結果는 그림 7과 같다.

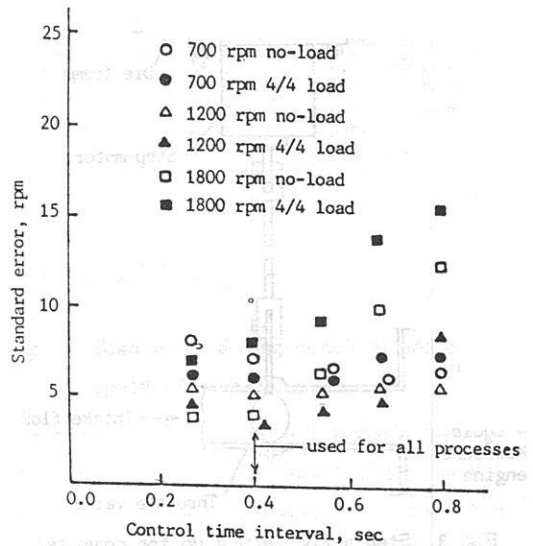


Fig. 7. Standard error of engine speed vs. control time interval in computer throttle control.

적합한 制御時間間隔은 0.2~0.65초 사이로 回轉數와 負荷가 커짐에 따라 그 시간간격은 작게 나타났다. 최적제어 시간간격을 T_1 (sec), 엔진회전수를 N_E (rpm), 負荷를 T_q (kg-m)라 했을 때 이들 關係를 回歸分析한 結果는 다음과 같은 式으로 나타났다.

$$T_1 = \text{EXP}(-0.427 - 1.817 \times 10^{-13} N_E^4 - 0.274 T_q) \dots\dots\dots (1)$$

그러나 이들 관계식도 엔진의 回轉數變動이 심할 때는 컴퓨터로 계산하여 制御하기가 어렵고, 목표회전수와 엔진회전수의 差가 클 때는 制御時間間隔 동안의 드로틀의 여닫음 스텝의 크기 또한 變數로 作用하여 매우 복잡한 제어논리가 必要할 것으로 생각된다. 따라서 여기서는 全體적으로 가장 回轉數變動誤차가 작게 나타나는 제어시간간격인 0.4초를 最適制御時間間隔으로 잡았다. 그러나 데이터수집 프로그램의 혼용으로 제어시간간격이 커진다면 제어용 컴퓨터와 데이터수집용 컴퓨터가 따로 구비되어야 할 것으로 생각된다.

目標回轉數를 700rpm으로 부터 갑자기 1800rpm으로 올렸을 때와 1800rpm으로부터 700rpm으로 갑자기 내렸을 때 엔진회전數가 目標回轉數에 이르는 데 걸리는 時間과 엔진회轉數 變化關係를 나타낸 것은 그림 8과 같다. 엔진회轉數가 目標回轉數에 도달하

는 時間은 加速의 경우 8초, 감속의 경우 12초 가 량으로 既存 제어방법이나 컴퓨터제어 모두 거의 같 은 값으로 나타났다. 그러나 過渡狀態에서의 속도상 승·하강율은 既存方式이 크게 나타났는데 이는 既存 方式의 경우 드로틀밸브가 완전히 열린 상태에서 엔진이 加速되고, 거의 닫힌 상태에서 減速되는 데 반해 컴퓨터 制御의 경우 0.4초의 제어시간간격을가 지고 드로틀밸브가 단계적으로 열리기 때문에 연료 의 공급에 차이가 있는 것에 기인된 것으로 보인다.

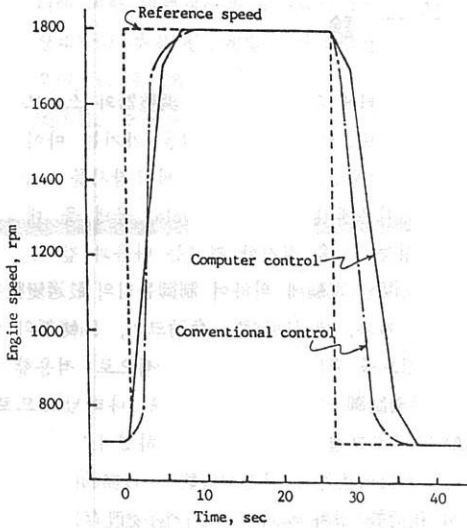


Fig. 8. Speed responses to step changes in reference speed at no load.

그림 9는 無負荷狀態의 엔진회전속도를 目標回轉數로 하였을 때 負荷를 增加함에 따른 엔진회轉數의 變化를 나타낸 것이다. 컴퓨터 制御方式의 경우 정 격의 7/8 負荷까지는 부하를 增加시켜도 엔진회轉數가 低下하지 않지만, 既存方式의 경우 負荷를 增加시키면 바로 엔진회轉數가 2차 곡선형으로 減少되는 것으로 나타났다.

그림 10도 마찬가지로 결과를 나타내고 있으며, 목표 회轉수를 1800rpm으로 하였을 때 負荷를 增加시켜서 3/4 負荷까지 도달했을 때 컴퓨터 제어방식은 회轉數가 低下하지 않지만 既存方式은 約 150rpm 정도 低下하였다. 그러므로 既存方式으로는 엔진의 부하가 변동될 때마다 인위적으로 드로틀을 조작하여 엔진회轉數를 目標回轉數에 맞춰야 하므로 제어가 거의 不可能할 것으로 생각된다.

無負荷時의 엔진회轉數를 目標回轉數로 보았을 때 두 方式으로 制御된 회轉數로 부터 5% 有意性水準

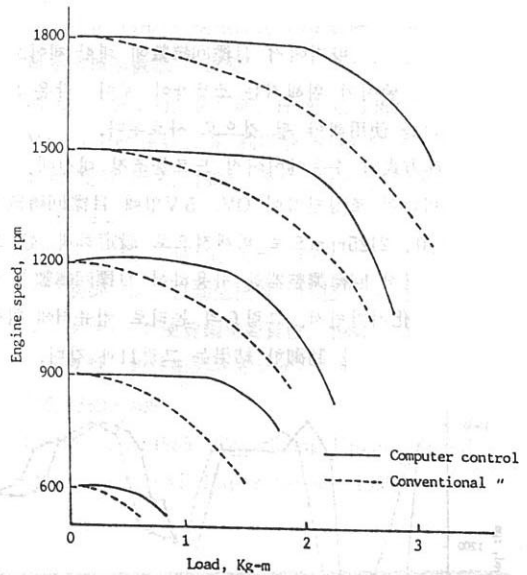


Fig. 9. Relationship between engine speed and load in fixed reference speeds.

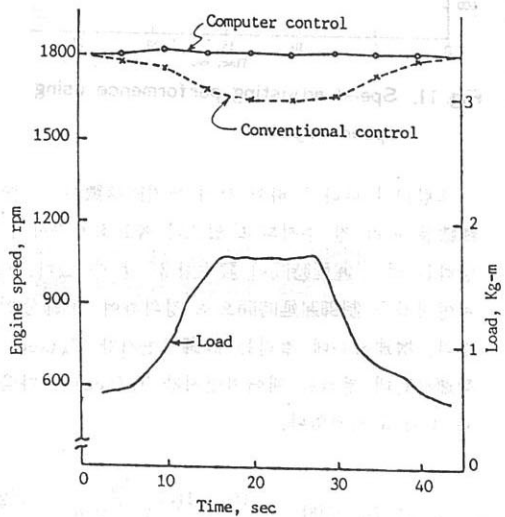


Fig. 10. Speed responses to a varying load.

에서의 信賴限界를 구한 結果, 4/4 負荷時 컴퓨터 制御方式의 회轉數 變動誤差는 $\pm 10 \sim 19 \text{rpm}$ 으로 平均 $\pm 14 \text{rpm}$ 이었으나, 既存方式은 $\pm 14 \sim 54 \text{rpm}$ 으로 平均 $\pm 38 \text{rpm}$ 으로 나타났다. 또 目標回轉數를 基準으로 한 회轉數 變動誤差는 컴퓨터 제어에서는 최소 $\pm 12 \text{rpm}$ (무부하, 900rpm) ~ 최대 $\pm 55 \text{rpm}$ (4/4 부하, 1800rpm)로써 平均 $\pm 37 \text{rpm}$ 으로 나타났으나 既存方式에서는 최소 $\pm 21 \text{rpm}$ ~ 최대 $\pm 291 \text{rpm}$ 으로 나타나, 4/4 부하시에는 엔진회轉數가 目標回轉數보다 63 ~ 241rpm까지 低下되므로 制御性能이 컴퓨터 제어

보다 크게 떨어지는 것으로 나타났다.

컴퓨터 제어방식에서 目標回轉數에 대한 제어오차를 더욱 줄이기 위해서는 스텝각이 보다 작은 스텝모우터를 使用해야 될 것으로 사료된다.

既存方式의 수동와이어식 드로틀조정 대신에, 포텐쇼미터의 조정전압이 0V, 5V일때 目標回轉數를 각각 0, 2125rpm으로 비례적으로 設定하게 한 포텐쇼미터식 回轉調整器를 사용하여 目標回轉數를 임의로 變化시키면서, 그림 6의 논리로 컴퓨터에 의한 엔진回轉速度를 制御한 結果는 그림 11과 같다.

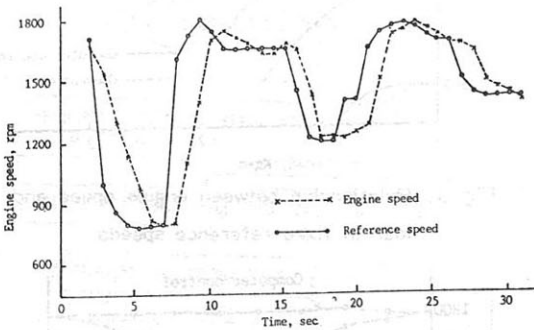


Fig. 11. Speed adjusting performance using the speed adjustor.

그림 11에 나타난 바와 같이 엔진回轉數는 目標回轉數를 따라 잘 추적되고 있으나 목표회전수까지 도달하는 데는 遲延時間이 發生함을 알 수 있다. 이 지연시간을 制御遲延時間으로 정의하여 回歸分析한 결과, 增速하는데 걸리는 制御지연시간 T_A (sec) 및 減速하는데 걸리는 제어지연시간 T_B (sec)는 다음식과 같이 표현되었다.

$$T_A = \text{INT} \left(\frac{N_D - 200}{208} \right) + \frac{(N_D - \text{INT} \left(\frac{N_D - 200}{208} \right) \times 210)}{52} \dots \dots (2)$$

$$T_B = \text{INT} \left(\frac{N_D - 200}{150} \right) + \frac{(N_D - \text{INT} \left(\frac{N_D - 200}{150} \right) \times 150)}{38} \dots \dots (3)$$

여기서, INT=정수값, N_D = 목표회전수-엔진회전수이다. 이와같은 제어지연시간은 갑작스런 부하에 의하여 N_D 의 값이 크게 될 때 엔진이 정지되는 요

인이 될 것으로 생각되기 때문에, 엔진의 용도에 따라서 제어프로그램 논리를 바꾸어서 제어지연시간을 조절할 필요가 있다고 본다.

포텐쇼미터에 의한 目標回轉數 設定方式을 가진 컴퓨터 제어方式은 負荷에 관계없이 고정된 위치에서 一定 回轉數를 유지하기 때문에 負荷變動에 따라 속도조정레버의 위치를 바꾸어야 하는 既存의 와이어 인장식 속도조정기보다 크게 편리할 것으로 생각된다.

IV. 結 論

포텐쇼미터에 의한 엔진回轉 調整器와 스텝모우터에 의한 드로틀밸브 여닫음방식을 가지는 마이크로 컴퓨터를 이용한 엔진회전속도 제어장치를 개발하여 소형 석유엔진 (5 Hp, 4 Cycle, 공냉)을 대상으로 그 성능실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 反復된 實驗에 의하여 制御논리의 最適變數값을 求한 결과, 엔진回轉數, 負荷크기, 回轉部의 慣性모우멘트를 考慮하지 않고 一률적으로 적용할 수 있는 最適制御 時間間隔은 0.4초로 나타났으므로 BASIC 프로그램으로 制御가 可能하였다.

2. 無負荷狀態의 엔진回轉數를 目標回轉數로 定하여 負荷를 점차 증가시켰을 경우 既存方式은 엔진回轉數가 급속하게 떨어지는데 비해 컴퓨터 制御方式은 7/8負荷까지는 엔진回轉數가 低下되지 않았다.

3. 5% 有意水準에서 엔진回轉速度를 基準한 速度變動 誤差는 既存方式에서 $\pm 14 \sim \pm 54$ rpm, 컴퓨터 制御方式에서 $\pm 10 \sim \pm 19$ rpm으로 나타났고 目標回轉數를 基準한 속도변동 오차는 기존방식에서 $\pm 21 \sim \pm 291$ rpm, 컴퓨터 制御方式에서 $\pm 12 \sim \pm 55$ rpm (平均 ± 37 rpm)으로 나타나 컴퓨터 制御方式이 보다 安定되게 나타났다.

4. 포텐쇼미터에 의한 엔진 回轉調整器로부터 임의의 目標回轉數를 設定하여도 엔진回轉을 增減할 경우 回轉調整에 異常이 없는 것으로 나타나 컴퓨터 制御方式의 경우 그 活用도가 클 것으로 생각된다.

5. 엔진回轉速度 制御性能을 보다 向上시키기 위하여는 분해능이 큰 A-D 변환기와 스텝각이 작은 스텝모우터를 사용하면 될 것으로 생각되나, 本裝置로도 调速理論에 입각한 제어논리를 좀더 개선한다

면 엔진性能試驗, 농용작업기의 圃場試驗에 그 活用도가 클 것으로 보이며 이 制御시스템을 바탕으로 원 칩 마이컴이나 마이크로프로세서를 利用한다면 우수한 性能의 엔진을 製品化 할 수 있을 것으로 思料된다.

V. 參考文獻

1. 김용환, 이기명, 민영봉. 1985. 마이크로 컴퓨터에 의한 제측제어용 인터페이스회로 연구, 경상대학교 부설 전산개발 연구소발행 전산연구 제 2 권, p. 19-28.
2. 閔泳鳳, 金容煥, 李基明, 許承道. 1986. 마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진性能 測定裝置 (1), 韓國 農業機械學會誌 투고중.
3. 河永元, 金定局, 金在洪, 孫暢洙. 1982. Micro-Processor를 利用한 Step Motor의 制御에 관한 研究, 1982. 울산공업전문대 논문집, p. 1~13.
4. 海老原 大樹, 百巨鬼 英雄. 1981. 스텝모터의 制御方法, 自動化技術 13(12):25-29.
5. 인터페이스便覽編集委員會. 1984. 인터페이스便覽, 新技術開發センター, 東京 p. 107-109, 389-408.
6. Smith, L. A. 1985. Controlling Engine Speed Precisely. ASAE Paper No. 85-1595.

學 會 廣 告

◎ 第11回 定期總會 및 創立 10周年 記念 심포지움

本 學會 第11回 定期 總會 및 심포지움 開催日程이 아래와 같이 決定되었습니다. 이번 總會에서는 會則에 따라 會長團 選舉가 있습니다. 會員 여러분의 빠짐없는 參席을 바랍니다.

＝ 아 래 ＝

- 가. 日時: 1986. 7. 12(土)~1986. 7. 13(日)
- 나. 場所: 慶北大 工大 5號館(電子計算所)
- 다. 內容: 1) 심포지움 "農業機械化의 現在와 未來"
2) 總會
3) 見學