

엔진 토크의 間接的인 測定 方法에 관한 研究

Evaluation of Indirect Methods of Engine Torque Measurement

柳 寬 熙*, 姜 聲 奉*

K. H. Ryu, S. B. Kang

Summary

This study was carried out to evaluate indirect methods of engine torque measurement.

Three indirect methods based on throttle valve opening, exhaust gas temperature and inlet air pressure were compared. The indirect method based on throttle valve opening appeared to be the most satisfactory in terms of accuracy and response time.

The discrepancies between the direct method and the indirect method based on throttle valve opening in measuring engine torque were 2% on the average.

I. 緒 論

농작업은 負荷 變動이 심할 뿐만 아니라 작업자의 機械操作未熟 등으로 인하여 機械에 무리를 주게 되거나 비효율적인 운전이 되기 쉽다. 현재 세계 여러나라에서는 農業機械의 각종 性能을 수집, 평가하여 最適의 운전 조건을 유지하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 예를 들면 트랙터의 각종 性能指標를 수집, 평가하여 효율적인 운전 상태를 운전자에게 제시함으로써 운전자가 엔진 속도를 조절하거나 기어 變速을 하여 機械 壽命을 연장하고 연료를 절감할 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.^{5,6,7} 이러한 性能指標 중에서 엔진에 걸리는 負荷의 測定은 驅動軸과 PTO軸에 스트레인게이지를 부착하고 이 신호를 슬립링을 통하여 마이크로 컴퓨터 및 計測裝置에 연결하는 방식이 주로 이용되고 있다. 그러나 이 測定 方法은 裝置가 복잡할 뿐만 아니라 비용이 많이 들고 실제적인 응용에

많은 문제점이 있다.

일반적으로 가솔린 기관에서는 負荷가 증가함에 따라 엔진속도가 떨어져 調速機의 작용으로 스로틀 밸브가 열리면서 吸氣管의 壓力과 挑氣가스의 온도가 증가한다. 또한 農業 機械에 주로 사용되는 디젤 기관에서는 負荷 變動에 대하여 스로틀 밸브 대신에 연료 분사 펌프의 연료 조절 레크 위치가 변화한다.

본 연구의 목적은 負荷와 관련있는 이러한 要因들에 의하여 엔진 토크의 간접 측정 방법을 평가하는데 그 목적이 있으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 엔진 토크와 간접 측정 要因인 스로틀 밸브 열림각, 挑氣가스의 온도 및 吸氣管의 負壓을 測定하기 위한 裝置를 구성하고,
2. 수집된 測定 데이터를 분석하여 각 要因과 實際 토크와의 관계를 究明하여,
3. 이를 토대로 엔진 토크의 간접 測定 方法을 평가한다.

* 서울대학교 農科大學 農工學科

II. 寬驗裝置 및 方法

1. 실험 裝置

본 연구는 Fig.1과 같이 엔진에 일정한 負荷를 가하고 엔진 토크를 實例하기 위한 엔진 動力計

와 엔진토크의 간접 측정을 위한 각종 要因들을 측정하여 마이크로 컴퓨터에 인터페이스하는 부분으로 구성된다. Table 1은 본 실험에 사용된 엔진과 動力計 및 컴퓨터의 明細를 나타낸 것이다.

Table 1. Specifications of experimental equipment

Equipment	Manufacturer	Specification	Remarks
Dynamometer	PLINT	50kW/6000rpm	Model TE 16/R4
Engine	DAEDONG	Kerosene Water cooled Rated 10PS/2000rpm Max 12PS/2100rpm	Model K10A
Microcomputer	Apple II	8bit 48kB RAM	Clock : 1.023MHz

2. 데이터 수집 및 속도 조절 시스템

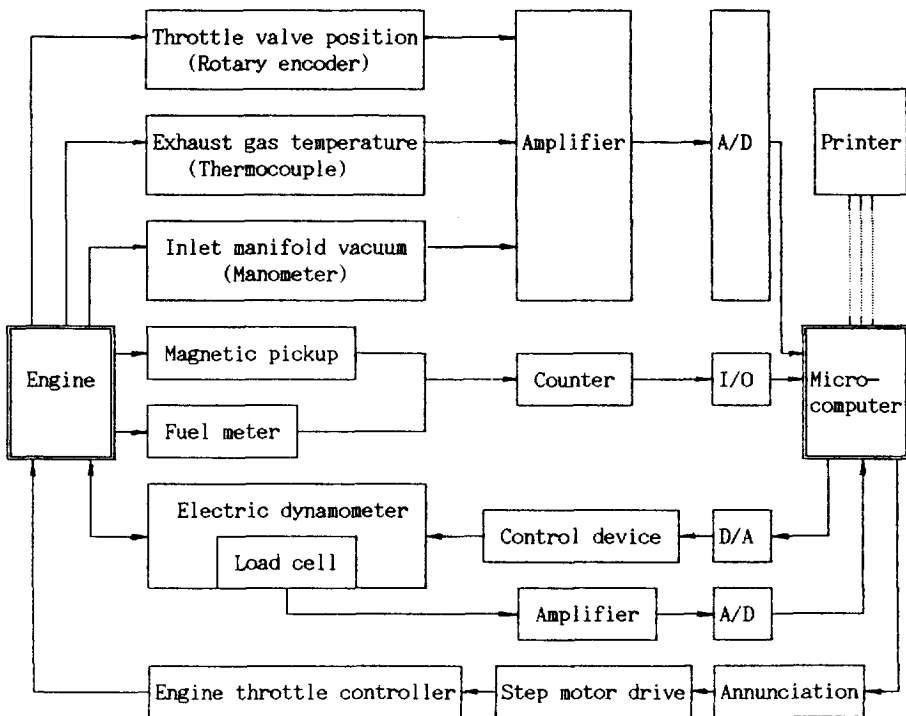


Fig. 1. Block diagram of data acquisition and engine control system

가. 測定 및 속도 조절 裝置

(1) 엔진 토크

엔진 動力計(dynamometer)에 부착된 荷重 變換器(load cell)의 출력 신호를 이용하였으며, A/D 變換器와 접속하기 위하여 실험 최대 토크 (50N·m)에서 5볼트가 나오도록 증폭 회로를 제작하였다.

(2) 스톱클 밸브의 열림각

스톱클 밸브의 열림각을 測定하기 위하여 Fig. 2와 같이 밸브軸을 연장하여 포텐쇼미터를 연결하였으며, 포텐쇼미터의 지지는 외부 지지대를 제작하여 사용하였다. 처음 제작된 시스템은 엔진 진동이 調速性能에 영향을 주었다. 따라서 스톱클 밸브와 포텐쇼미터의 軸이음은 포텐쇼미터에 ‘-’자 홈을 만들고 밸브軸에 ‘-’자 돌출부를 만들어 상하의 진동에 적응할 수 있도록 하였다 그리고 포텐쇼미터는 柔軟한 합석판으로 지지시켜 댐퍼의 역할을 하도록 하였다.

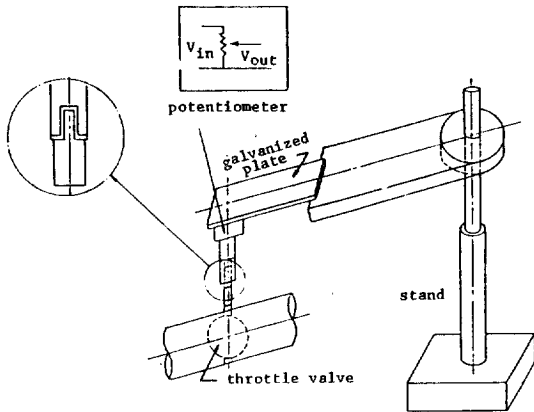


Fig. 2. Schematic diagram of potentiometer connected to throttle valve shaft.

(3) 엔진속도

엔진 회전속도는 마그네틱 픽업에서 발생하는 펄스의 1회전당의 週期를 測定하는 방식으로 구하였다.

(4) 挑氣가스 온도

挑氣가스의 온도 변화가 100~800°C정도이므로 비교적 응답속도가 빠르고 고온(1000°C) 測定이 가능한 熱電雙(K type)을 사용하였다. 熱

電雙은 기준 접점의 온도 보상이 이루어져야 되고 신호 증폭이 되어야 하는데, 정확성을 위하여 제품화된 熱電雙用 信號處理器(Model DMC-TCS0215A)를 사용하였고, 출력이 0볼트에서 5 볼트가 나오도록 조정하였다.

(5) 燃料消耗率

유체가 지나가면 펄스가 발생되는 방식의 流量計(Envirossystem, model S8021)를 사용하였다. 펄스의 수를 計數하기 위한 計數器를 제작하였으며 計數된 값을 PIA(Periperal Interface Adapter)를 통하여 실험 컴퓨터에 인터페이스 하였다. 流量計의 分解能이 0.6cc/pulse이기 때문에 1 펄스당 0.6cc를 곱하여 전체 유량을 계산 하였다.

(6) 흡기압

엔진의 흡기관과 고무 호스로 연결된 공기 상자에 마노미터를 설치하여 흡기관의 負壓을 mmH₂O 단위로 測定하였다.

(7) 엔진 회전 속도 조절 시스템

본 실험에서 사용된 석유엔진은 調速機 조절 레버로써 회전속도의 조절이 가능하다. 본 연구에서는 마이크로컴퓨터와 간단한 인터페이스로 구동이 가능한 스테핑 모터를 사용하여 링크가 구에 의해 調速機 조절레버를 작동하였다.

스테핑 모터의 구동에 필요한 入力은 Apple II Plus 마이크로컴퓨터의 게임 입출력 포트를 이용하였으며 스테핑 모터의 구동 회로는 μ CN4202A를 사용하여 單極 2狀 勵磁 方式(unipolar two-phase drive)으로 구성하였다.

(8) 엔진 負荷 設定 시스템

원하는 엔진 負荷의 조절은 엔진動力計用 制御시스템의 토크값을 보면서 負荷조절 손잡이를 사용하여 조정하였다. 그리고 스톱클밸브의 열림각 및 挑氣가스 온도의 負荷 變動에 대한 응답속도를 計測하기 위하여 負荷 조절용 손잡이의 電位差計 입력선을 외부로 끌어내어 합수 발생기와 오실로스코프를 사용하여 階段波와 正弦波 負荷를 가할 수 있도록 하였다.

(9) 타이머

스로틀 밸브의 위치 및 挑氣가스의 응답속도, 연료소모율, 데이터의 샘플링 週期 設定 등에는 각각 실험의 특성에 맞게 시간의 조절이 가능한 6840PTM(Programable Timer Module)을 이용하였다. 본 실험에서는 스톱 밸브의 열림각과 토크의 測定은 0.02초의 샘플링 週期를 갖도록 下降 計數器의 값을 조절하였고 컴퓨터의 기억 용량의 한계로 인하여 비교적 신호변화가 느린 挑氣가스 온도 등의 데이터는 0.5초의 週期를 갖도록 하였다.

3. 데이터 수집 및 분석 프로그램

각종 데이터를 수집하는 프로그램은 Apple-soft Basic Language를 사용하여 작성하였으며 機械語(Machine Language)로 작성된 副프로그램에서 타이머의 값을 조정하고, 각종 센서로부터 A/D 變換器를 통하여 얻은 測定값을 컴퓨터의 主 記憶裝置에 기억하였다. 主 記憶裝置에 기억된 값과 測定 設定值를 가지고 토크, 스톱 밸브의 열림각, 挑氣가스의 온도, 엔진 회전 속도 등을 계산하여 모니터에 표시할 수 있도록 하였으며, 이 때 디지털 量을 floppy disk에 저장할 수 있도록 하였다.

4. 실험 방법

데이터가 수집되는 샘플링 週期는 가능한 한 똑같은 것이 바람직하나, 사용한 마이크로컴퓨터의 主 記憶裝置의 한계로 인하여 시간에 대한 변화가 심한 측정량(토크, 스톱 밸브의 열림각)은 0.02초로 하고, 비교적 변화가 작은 신호(挑氣가스의 온도, 燃料消耗率 등)는 0.5초의 週期를 갖도록 하였다.

스로틀 밸브의 열림각과 배기 가스의 온도가 負荷變動에 대하여 어느 정도의 응답 속도를 나타내는가를 보기 위한 실험에서, 負荷조절 손잡이로는 곤란하기 때문에 함수발생기로써 階段波 入力와 正弦波(sine wave) 入力を 엔진 動力計의 조절 시스템에 가하고 데이터를 수집하였다. 이 때 사용된 階段波 入力の 크기는 실제 사용

되는 負荷 범위인 최대 토크의 80% 수준을 사용하였으며, 正弦波 入力は 최대 토크의 30%에서 80%까지 1 Hz, 0.5 Hz, 0.1 Hz, 0.05 Hz, 0.025 Hz를 사용하였다. 溫度 計測의 특성상 挑氣가스의 온도는 다른 신호에 비해 신호 변화에 대한 응답속도가 느리기 때문에 挑氣가스의 응답속도를 높이기 위하여 挑氣 밸브로부터 測定이 가능한 위치인 1m 거리에 센서를 고정하였다.

예비실험을 토대로 엔진의 토크를 간접 측정하기 위한 실험에서는 엔진속도 수준을 定格 回轉速度 근처인 1400rpm에서 2000rpm까지 200 rpm 간격으로 하였으며, 엔진의 負荷 수준은 최대 토크의 30% (15N·m)에서 80% (35N·m)까지 5N·m간격으로 하였다.

III. 結果 및 考察

가. 負荷變動에 대한 간접 測定要因의 반응

함수발생기에서 90초 週期の 2V 階段波 入력을 엔진에 加하였을 때의 토크 변화와 스톱 밸브의 열림각을 Fig.3에 나타내었다. 그림에서와 같이 15.8N·m에서 32.1N·m의 토크의 변화에 대하여 스톱 밸브의 열림각이 5.3%에서 17.0%까지 변화하였다. 그림에서 토크의 변화는 두 가지 波形이 섞여 있다. 이 중 周波數가 큰 波形은 실제 토크 測定用 荷重 變換器의 固有 振動을 나타내는 것이다.

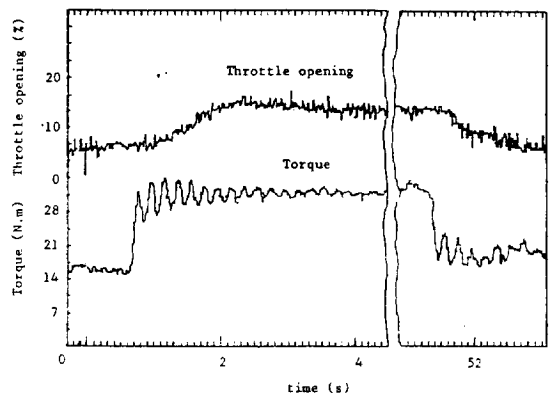


Fig. 3. Response of throttle opening to step load

스로틀 밸브의 열림각의 반응속도는 負荷變動에 대한 출력의 크기가 전체 변화의 50%에 도달할때까지의 시간을 遲延時間(delay time)으로 할때, 遲延時間은 0.5초 내외로 測定되었다. 整定時間(setting time)은 엔진 진동의 영향으로 스로틀 밸브가 진동하기 때문에 測定值가 目標值의 5%오차 이내로 될 때까지의 시간을 잡았으며 1초 내외에서 整定되었다. 遲延時間과 整定時間은 엔진 자체의 특성과 调速機의 특성에 따라 다르고 토크의 변화가 엄밀한 의미의 階段波 함수가 아니기 때문에 다소간의 오차가 있으리라 판단된다.

스로틀 밸브의 위치는 급격한 負荷變動에 대하여 5% 내외의 오버슈트(overshoot)가 발생하였다.

階段波 入力에서 얻은 결과를 토대로 토크가 $13.8N \cdot m$ 에서 $32.0N \cdot m$ 까지 변화하는 0.5Hz의 正弦波 入力を 加한 결과는 Fig.4에 나타내었다. 그림에서 보는 같이 토크의 변화에 대하여 스로틀 밸브의 열림각은 잘 追從하였으며 0.5초 내외의 位相差를 보였다.

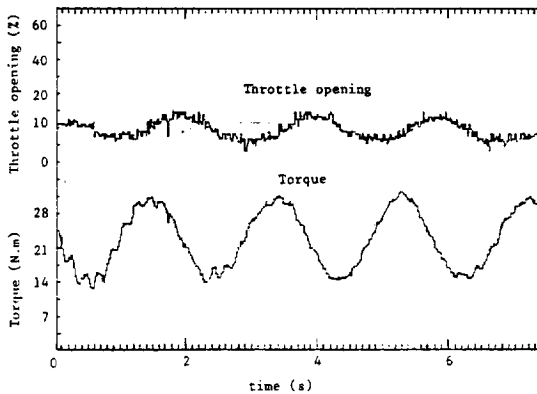


Fig. 4. Response of throttle opening to sine load

이상으로 미루어 엔진에 걸리는 토크를 測定하기 위한 스로틀밸브의 위치의 반응 속도는 실제적인 응용에 충분하다고 판단된다.

負荷變動에 대한 挑氣가스 온도의 응답속도를

보기 위하여 Fig.5와 같이 토크가 $13.8N \cdot m$ 에서 $32.0N \cdot m$ 까지 변화하는 階段波 入力を 加하였다. 그림에서 보는 바와 같이 挑氣가스 온도는 $175^{\circ}C$ 에서부터 $209^{\circ}C$ 까지 변화하였으며 센서의 응답속도가 느림으로 인하여 遲延時間은 2초 이내, 整定時間은 30초 내외로 나타났다.

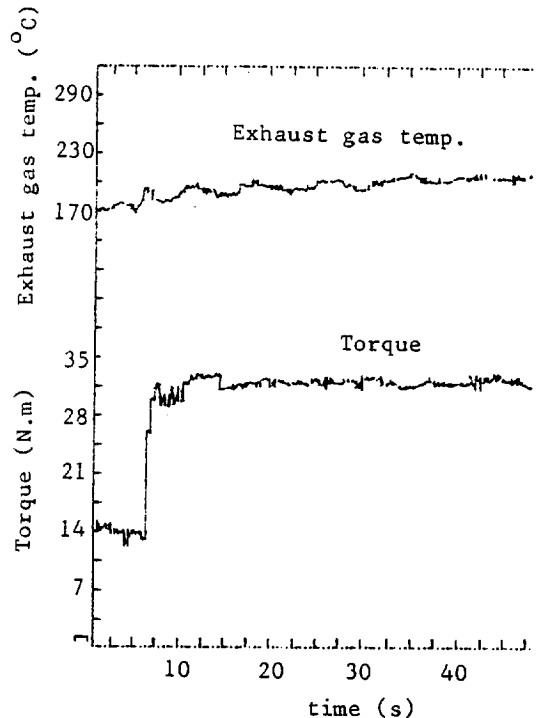


Fig. 5. Response of the exhaust gas temperature to step input load.

Fig.6에서 보는 바와 같이 正弦波 負荷를 加할 경우 週期가 20초인 負荷變動에 대해서도 挑氣가스 온도는 追從을 못하였다. 따라서 挑氣가스 온도는 負荷變動에 대한 응답속도가 충분치 못하므로 응답속도가 빠른 다른 방식의 센서가 요구된다.

또, 흡기 온도가 挑氣가스의 온도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 여러가지 흡기온도 범위 ($7 \sim 25^{\circ}C$)에 대하여 엔진을 일정한 속도와 負荷로 設定하고 挑氣가스 온도가 整定될 때까지 운전한 다음 測定值를 비교하였는데, 같은 負荷에 대하여 1%이내의 오차를 나타내었다.

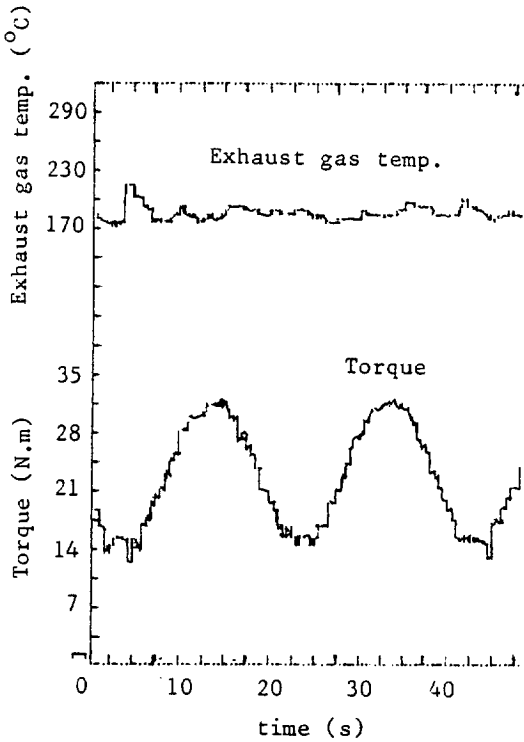


Fig. 6. Response of the exhaust gas temperature to sine input load.

나. 엔진 토크와 간접 測定 要因과의 관계

원하는 엔진 속도와 토크를 조정한 다음 측정 데이터를 수집하고 10초 동안의 평균값을 취하여 결과를 분석하였다.

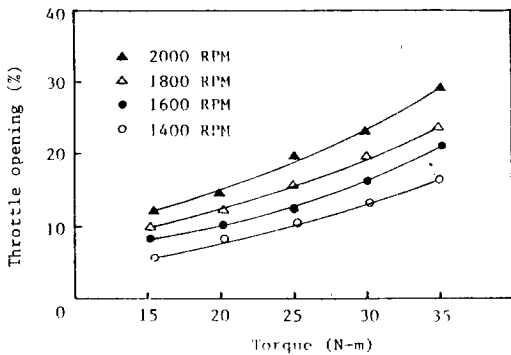


Fig. 7. Relationship between throttle opening and torque at various engine speeds.

Fig.7은 실험용 엔진의 엔진 속도별 스로틀 밸브의 열림각과의 관계를 나타내고 있으며, 엔진 속도의 증가와 토크의 증가에 따라 스로틀 밸브의 열림각이 일정한 경향을 가지고 증가되었다.

Fig.8은 엔진 속도별 排氣가스 온도와의 관계를 나타내고 있으며 엔진 속도의 증가에 따라 排氣가스의 온도도 일정한 증가 경향을 보였으며, 엔진의 최고 속도에 가까울수록 높은 증가율을 보였다.

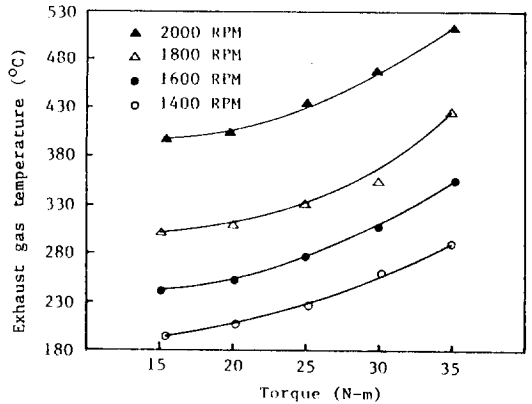


Fig. 8. Relationship between exhaust gas temperature and torque at various speeds.

Fig.9는 엔진 속도별 토크와 흡기관의 負壓과의 관계이며, 엔진속도와 토크의 증가에 따라 負

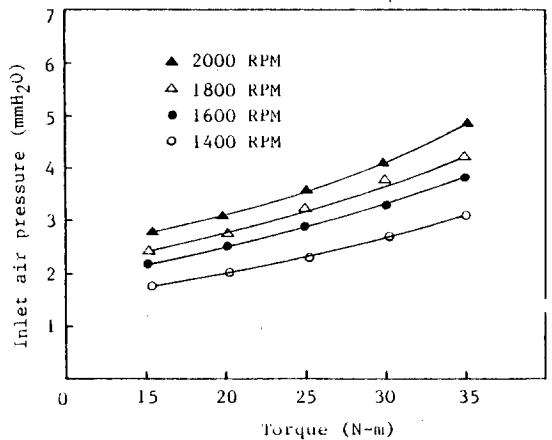


Fig. 9. Relationship between inlet air pressure and torque at various engine speeds.

壓이 일정한 경향으로 증가하였다. 여기서 곡선이 매끄럽지 못한 것은 마노미터의 값을 目測으로 읽었기 때문에 발생한 오차에 기인하는 것으로 판단된다.

실제 엔진 토크와 간접 測定 要因과의 2차 回歸方程式을 구하였으며, 이 2차 回歸方程式의 決定係數(coefficient of determination, R^2)는 스로틀 밸브의 열림각이 0.998, 挑氣가스 온도가 0.996, 흡기압이 0.992로 나타났다. 挑氣가스 온도는 센서의 응답속도의 영향으로, 흡기압은 目測으로 計測한 이유 등에 의해 다소 決定係數가 저하되었다고 판단한다.

따라서, 응답속도와 정확성의 관점에서 엔진 토크의 간접 測定 要因으로 가장 적당한 것은 스로틀 밸브의 열림각인 것으로 판명되었다.

스로틀 밸브의 열림각에 의하여 推定한 엔진 토크값과 實際 測定값을 비교하기 위하여 엔진 속도를 설정한 후 負荷를 변화시켜 실험하였다. 그 중에서 無負荷時 엔진 속도를 1600rpm에 設定하고 負荷를 $35\text{N}\cdot\text{m}$ 까지 변화시켜 실험한 결과는 Fig.10에 나타난 바와 같다. 負荷가 最大値에 달했을때 엔진 속도는 1518rpm까지 변하였다. 엔진 토크의 추정값은 실험에서 얻은 1400, 1600, 1800rpm의 2차 回歸方程式을 이용하여 보삽법으로 구하였다.

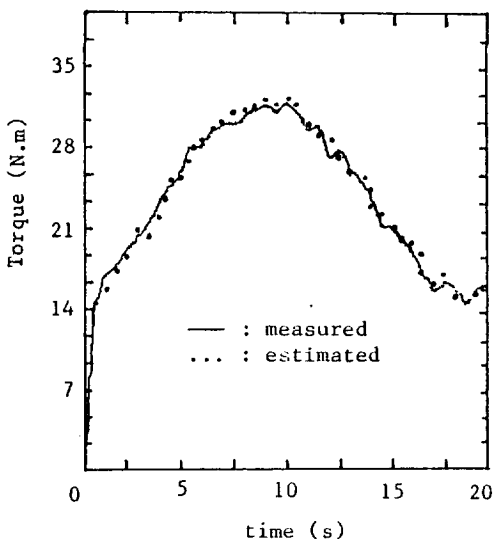


Fig.10. Comparison of measured and estimated torque.

그림에서 보는 바와 같이, 엔진 토크의 實測値와 스로틀 밸브의 열림각에 의한 추정값은 잘 일치하였으며, 그 오차는 95% 신뢰구간에서 2%, 최대 오차는 7% 이내로 나타났다. 엔진 속도를 더 세분하여 回歸方程式을 구할 경우 더 정확한 엔진 토크의 推定이 가능하리라 판단된다.

IV. 要約 및 結論

본 연구는 負荷 變動이 많은 농업기계용 엔진에서 엔진 토크와 관련이 있는 要因과 실제 토크와의 관계를 밝혀 엔진 토크의 간접 測定方法을 제시하기 위하여 遂行되었다. 실험은 엔진 動力計를 이용하여 엔진에 負荷를 加하고 엔진 속도를 制御하여 실제 엔진 토크와, 엔진 토크의 간접 測定 要因인 스로틀 밸브의 열림각, 挑氣가스 온도, 吸氣壓을 測定 分析하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 스로틀 밸브軸에 연결한 포텐쇼미터에서 검출한 값은 負荷 變動에 대하여 잘 追從하였으며, 階段波 入力에 대해 遲延 時間은 0.5초, 整定 時間은 1초 이내로 나타났다.
- 나. 실험 엔진의 흡기관으로부터 약 1m 거리에서 熱電雙을 이용한 挑氣가스의 溫度測定은 고온에서도 가능하였으며, 遲延 時間은 2초 이내이나 整定 時間은 30초 내외로 문제가 있었다. 이를 해결하기 위해서는 온도 변화에 민감한 새로운 센서가 요구된다.
- 다. 흡기관의 負壓은 엔진의 負荷에 따라 일정하게 증가하는 경향을 나타내었으나, 負壓을 효과적으로 測定할 수 있는 計測方法의 개발이 요구된다.
- 라. 엔진 토크의 간접 測定 要因으로서 정확도가 가장 높고 負荷 變動에 대한 응답성이 가장 좋은 것은 스로틀 밸브의 열림각으로 나타났으며, 엔진 토크의 실제 測定値와 推定値를 비교 분석한 결과, 그 오차는 95% 신뢰구간에서 2%, 최대 오차는 7%로 나타났다. 단, 엔진 속도를 더 세분하고 센서의 분해능을 높이는 방법을 채택한다면 오차는 더욱 낮아질 수 있으리라 판단된다.

다. 스로틀밸브 열림각에 의한 엔진 토크의 간접 측정 방법은 엔진 負荷 상태를 간단한 방법으로 제시하는 효과적 방안이 될 수 있으리라 판단된다. 또한 農業 機械의 엔진 속도와 走行速度를 自動制御하는데 필요한 엔진 負荷에 대한 입력원으로 활용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. 姜聲奉, 1989. 마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진 負荷의 簡易 豫測方法에 關한 研究, 서울大學校 碩士學位 論文
2. 柳寬熙, 柳永善, 姜銀, 朴普淳, 張世權, 1985. 트랙터 圃裝 性能 評價를 위한 資料 蒐集 시스템의 開發. 韓國農業機械學會誌 10(2) : 19-26.
3. 柳寬熙, 鄭昌柱, 朴普淳, 1987. 마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진 性能 試驗의 自動화에 關한 研究 (I). 韓國農業機械學會誌 12(3) : 7-26
4. Wolber, W.G. 1980. Engin Control Sensor for the '80s : A Preview. SAE Paper 8001 21
5. Green, M.K. 1983. Instrumentation Package Monitoring Tractor performance. ASAE Paper No.83-1562
6. Chancellor, W.J. and N.C. Thai 1984. Automatic Control of Tractor Transmission Ratio and Engin Speed. Trans, of ASAE 27 (3) : 642-646
7. Grogan, J.et.al. 1984. Microcomputer-Based Information Feedback System for Improving Tractor Efficiency. ASAE Paper No. 84-1594.
8. Pangm, S.N.et.al. 1985. Tractor Monitor Based on Indirect Fuel Measurement . Trans. of ASAE 28(4) : 994-998
9. Chancellor, W.J. and N.E. Smith. 1987. Tractor Engine Torque Tranducer Using Governor Setting and RPM. Trans. of ASAE 30(5) : 1210-1213