

# 디젤기관의 속도제어를 위한 최적회전수 측정에 관한 연구

유 영 호\*

## A Study on the Optimum Speed Measurement for the Speed Control of a Diesel Engine

Y. H. Yu\*

**Key words** : digital diesel engine speed measurement(디지털 디젤기관의 속도측정), moving average(이동평균), vibrative rotation(진동회전), FFT analysis of diesel engine revolution(디젤기관 회전속도의 FFT분석)

### Abstract

A diesel Engine rotates vibratively because of alternative explosion strokes. Traditional measurement of a diesel engine speed is carried out by measuring output voltage of FV convertor from input signals of MPU(magnetic pickup unit) or of DC tachometer. Because these measurement include also vibrative rotation of a diesel engine, an analog filter is often used to eliminate high frequency noises due to periodic explosion stroke. But by this method these high frequency noises do not eliminated effectively because noise frequencies are changed according to diesel engine speed. In this paper, author proposes a new measurement method of a diesel engine revolution which read digital signal directly from MPU and prove the utility of proposed method through the real experiment.

### 1. 서 론

1970년대의 오일쇼크로 인하여 주로 선박의 주 기관으로 사용되는 디젤기관의 경제성이 대두되면서 저연비 디젤기관의 개발이 시작되었다. 프로

펠러의 추진효율을 향상시키고 기관의 출력증대를 위하여 최대연속 회전수를 저하시키고, 실린더와 행정을 크게하여 냉각손실을 감소시키고 연소를 개선하였으며, 최고압력을 높혀 이론 열효율이 증대되었다. 따라서 선박 주기관용 디젤기관은 대

\* 한국 해양대학교 자동화정보공학부 조교수 (원고접수일 : 97년 10월)

구경 장행정화 되었으며 기통당 출력이 증대되므로 기통수도 줄게 되었다. 저속 장행정 소수기통의 선박주기관은 저속에서 실린더 폭발의 시간간격과 토크변동이 커짐에 따라 회전수 변화가 극심하여 실화의 우려가 있으며 연료조정랙의 지글링, 회전수의 헌팅등으로 디젤기관의 속도조정이 어렵고 최저회전수가 높게 되어 선박의 조종성능이 저하된다. 이러한 연유로 인하여 오랜동안 사용되어져 오던 기계유압식 조속기로서는 원활한 속도제어가 어려워 디지털 가바나가 개발되어 사용되었다. 디지털 가바나는 MPU(Magnetic Pickup Unit), CPU, 액츄에이터구동장치와 액츄에이터로 구성되어 있어 생산성이 높고 초기 시설비가 현저히 작으며, 소프트웨어에 의해 제어알고리즘을 용이하게 변경할 수 있을 뿐만아니라 적합한 제어알고리즘을 용이하게 구현할 수 있어 제어 성능이 우수하므로 최근에는 선박주기관용 뿐만아니라 모든 디젤기관의 조속기로 확산되고 있는 추세이다.

그러나 디젤기관은 폭발행정의 경우에만 토크를 발생하고 그외의 행정에서는 오히려 타 기통에서 발생한 토크를 사용한다. 따라서 디젤기관이 일회전하는 동안에도 회전속도가 심하게 변하여 제어기가 액츄에이터를 불필요하게 움직임으로 인하여 회전수의 헌팅과 액츄에이터의 지글링을 야기하게 된다. 본 논문에서는 이러한 디젤기관의 회전특성을 살펴보고 원활한 제어를 위하여 최적의 회전수를 측정하는 방법을 제안하고 디젤기관의 속도제어를 위하여 제안된 방법이 유용함을 입증하고자 한다.

## 2. 디젤기관의 회전특성

### 2.1 디젤기관의 토크발생 특성

Fig. 1은 B&W 6L80MC 디젤기관이 88rpm(MCR, 19,747 KW)일 때 2번실린더와 6번실린더의 토크변동을 일회전하는 동안 측정한 것이다.

Fig. 1에서와 같이 토크는 상사점 27도 부근에서 최대가 되며 135도 부근에서 부터는 부토크로되어 다른 실린더에서 발생한 토크를 소모하게된다.

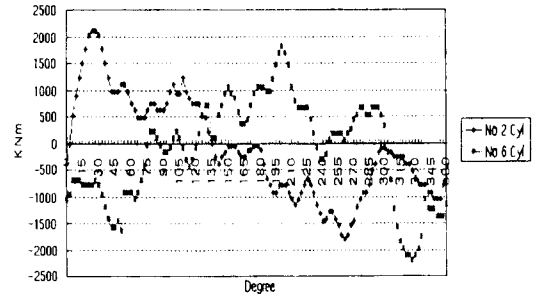


Fig. 1 Torque generation of diesel engine

따라서 4기통 2행정 디젤기관의 경우 폭발행정 때에 토크를 발생하고 압축행정에서는 다른 실린더에 의해 발생한 토크를 소모하여 토크는 일회전하는 동안 Fig. 2와 같이 변한다.

그러므로 일회전하는 동안 토크변동 주파수는 폭발실린더 수와 같으므로

$$\frac{N \times rpm}{60 \times Fs} \tag{1}$$

여기서  $N$  ; 실린더 수,  $rpm$  ; 분당회전수,

$Fs$  ; 행정계수(2행정은 1, 4행정은 2)

가 된다.

예를 들어 6기통 4행정 정격회전수가 1800rpm 인 중속디젤기관의 경우 토크의 변동주파수는 90Hz 이며 실린더폭발간격 즉, 주기는 0.011[sec] 가 된다.

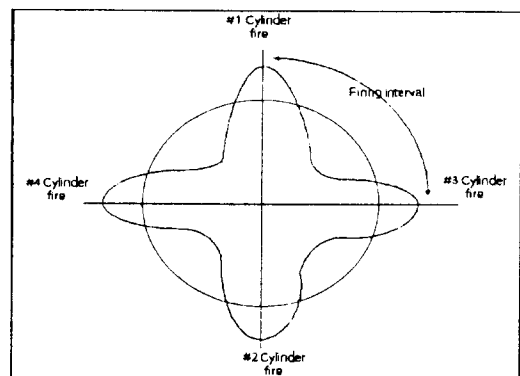


Fig. 2 Torque variation of Diesel Engine during revolution.

2.2 디젤기관 회전수의 주파수특성

Fig. 3은 예의 발전기가 정격회전수로 회전할 때 MPU로부터 발생하는 전압을 AD변환기로 20[sec]의 샘플링타임으로 기록한 것으로 Fig. 2에서 설명한바와 같이 회전수의 변동이 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 위와 같은 속도를 FFT분석한 것으로 1800rpm에 해당하는 4[KHz]에서 20[dB], 8[KHz]에서 0[dB], 50[Hz]에서 -10[dB]의 주파수성분이 검출되었다. Fig. 5는 이것에 대한 파워스펙트럼분석한 것이다.

Fig. 6과 7은 600rpm때의 FFT분석과 파워스펙트럼분석으로 600rpm에 해당하는 1340[Hz]의 폭넓은 주파수대와 4[KHz], 6.5[KHz], 9[KHz]등의 주파수가 검출되는 것으로 보아 회전수의 변동이 심해짐을 알 수 있다.

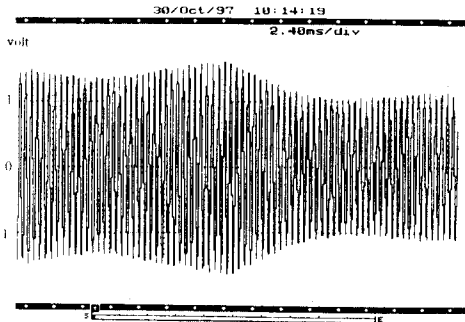


Fig. 3 Measurement of diesel engine speed with 20[sec] sampling time

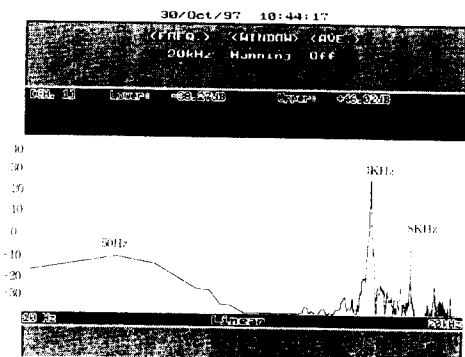


Fig. 4 FFT analysis of diesel engine speed (1800rpm)

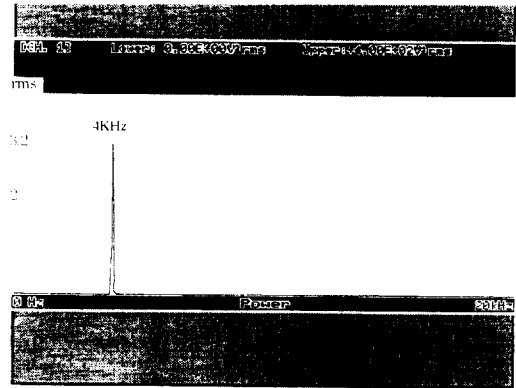


Fig. 5 Power Spectrum analysis of diesel engine speed(1800rpm)

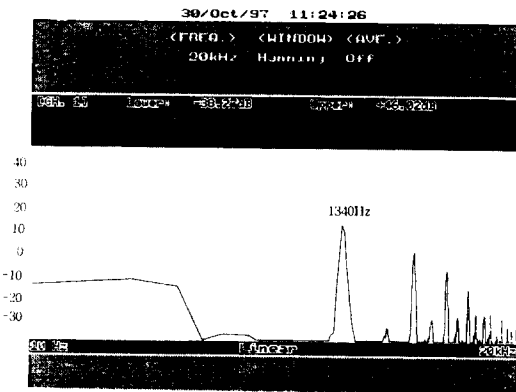


Fig. 6 FFT analysis of diesel engine speed(600rpm)

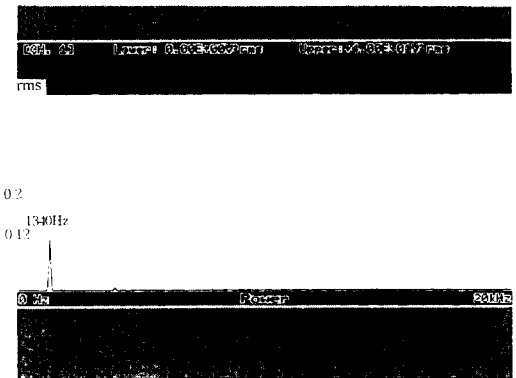


Fig. 7 Power Spectrum analysis of diesel engine speed(600rpm)

### 3. Moving Average를 이용한 디지털식 디젤기관 회전수 측정

기존의 디젤기관 회전수 측정은 프라이휠의 치차 근방에 근접스위치 또는 MPU를 설치하여 기관회전에 따라 근접스위치 또는 MPU의 펄스를 FV(Frequency to Voltage) 컨버터를 이용하여 전압으로 바꾼 후 AD컨버터를 이용하여 전압을 읽는 방법을 주로 많이 사용한다. 이 경우 앞에서 논한 바와 같이 주파수성분을 가지고 변하는 전압, 즉 폭발행정에 의한 순간회전수를 읽게 되어 액튜에이터의 지글링을 발생시키게 되므로 주로 아날로그필터를 이용하여 주파수성분의 전압을 필터링하는 경우가 대부분이다. 그러나 회전수가 변하면 주파수도 변하므로 주파수성분을 완전히 차단하지 못하거나 또는 실제 회전수의 변동을 감지하지 못하여 신속하게 속도제어를 할 수 없어 발전기와 같은 경우 빠른 부하변동을 추종하지 못하여 제어성능을 저하시키는 경우가 있다. 따라서 본고에서는 근접스위치 또는 MPU의 펄스를 전압으로 변경하지 않고 일정시간동안 펄스를 카운팅하여 디지털화하므로써 아날로그필터를 사용하였을 때의 단점을 보완하고자 한다. Fig. 8은 인텔 80196을 이용한 디지털식 디젤기관 회전수 측정장치의 구성도이다. 80196의 HSI<sub>0</sub> Interrupt를 통하여 MPU의 펄스를 계수하게 하며, 동시에 HSO를 이용하여 S/W Timer Interrupt를 10[msec]마다 걸리게 하므로써 10[msec] 동안의 MPU 펄스를 계수한다.

디젤기관의 실제회전수는 앞서 설명한 바와 같이 폭발행정에 의한 부분적인 진동회전의 평균으로 보는 것이 합당하므로 최적회전수  $\hat{y}$ 는

$$\hat{y}(k) = \frac{1}{n} [y(k-n+1) + y(k-n+2) + \dots + y(k)] \quad (2)$$

단, n은 창의 크기

와 같이 이동평균(moving average)으로 부터 구할 수 있다.

### 4. 제안된 회전수 측정법에 의한 회전수 측정 실험 및 검토

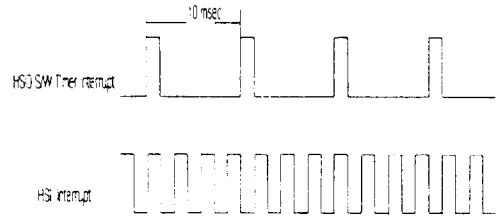


Fig. 8 proposed rpm measuring method using Intel 80196

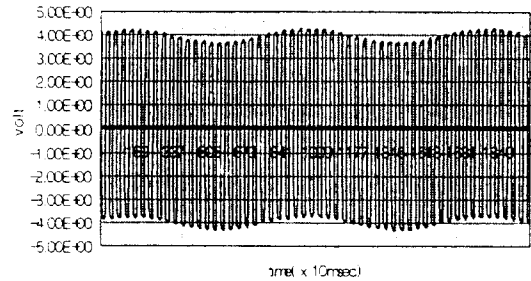


Fig. 9 Speed signal from MPU at 600 rpm

Fig. 9는 회전수가 600rpm 일 때 40 [msec] 동안 MPU의 출력을 기록한 것이다.

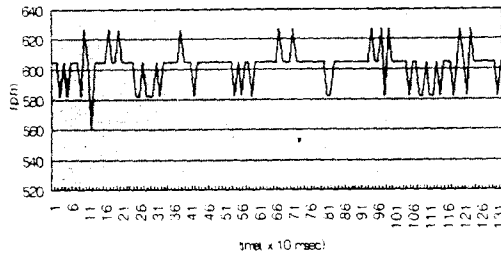
회전속도의 변화에 따라 MPU에서 유기되는 전압의 크기가 변동됨을 알수 있고 MPU에서 발생되는 주파수도 변한다. Fig. 9에서 전압변동은 10 [msec] 동안에 높고 낮은 부분이 포함되어 10[msec] 동안의 MPU신호의 상승엣지와 하강엣지의 수를 세면 Table 1과 같이 자동적으로 이 기간동안의 평균값을 취한 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이 경우 회전수는 10[msec] 가 지연되어 측정되지만 식(1)과 Fig. 2에서와 같이 실린더내에서 연료의 폭발은 앞전에 조정된 연료에 의해 일어나므로 폭발간격 시간 동안에는 연료레크가 조정되어도 토크는 조정되지 않는 즉, 데드타임(dead time)이므로 10[msec] 지연되어 측정된다 하더라도 속도제어에 심각한 문제를 야기하지 않는다.

Table 1을 연속해서 그려보면 Fig. 10과 같다.

이와 같은 속도신호를 식(2)에 의해 창의 크기를 3과 5로 하면 Fig. 11과 12와 같다. Fig. 10과 11을 비교해보면 Fig. 10에서와 같이 10[msec] 동안 MPU의 펄스를 세는 경우에는 폭발에 의한 진동

**Table 1 Numbers of Up and Down signal of MPU at 600 rpm**

Time [msec]	Up & Down	Time [msec]	Up & Down	Time [msec]	Up & Down
0 - 10	27	40-50	27	80-90	28
10-20	26	50-60	27	90-100	27
20-30	27	60-70	27	100-110	25
30-40	26	70-80	26	110-120	27

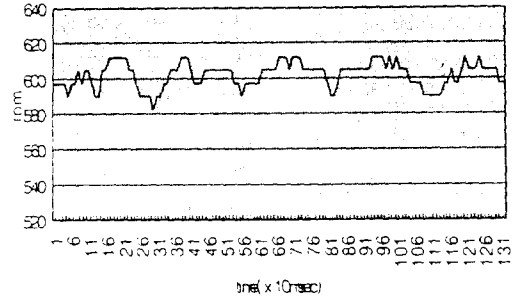


**Fig. 10 Speed signal by proposed measurement method**

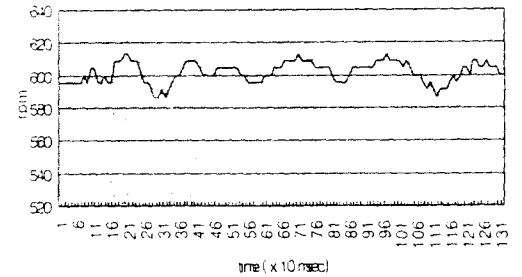
회전을 평균한다 하더라도 580 - 630 rpm 으로 회전수가 계속되고 폭발행정에 의한 진동회전이 그대로 계속되어 연료래크의 지글링의 원인이 될 수 있다. 그러나 Fig. 11과 같이 창의 크기를 3으로 하여 이동평균을 취하면 590 - 610 rpm 으로 되면서 회전수의 급격한 변동을 감소시켜 주므로서 연료래크의 지글링을 감소시킬 수 있다. Fig. 12와 같이 창의 크기를 5로 크게한 경우에는 침투치로 변하는 부분을 더욱 미밋하게 할 수 있으나 부하변동등에 의한 실제 회전수의 변동을 감지할 수 없게 되는 경우가 있을 수 있다. 따라서 창 크기는 실험에 의해 디젤기관이나 부하의 특성에 따라 조정해야 할 필요가 있다.

**5. 결 론**

본고에서는 디젤기관의 폭발에 의한 진동적 회전특성을 해석하여 종래의 아나로그필터 사용에 의한 단점을 보완하는 새로운 디젤기관의 회전수



**Fig. 11 Measured speed of diesel engine by proposed method when size of window is 3**



**Fig. 12 Measured speed of diesel engine by proposed method when size of window is 5**

측정법을 제안하고 실제 디젤기관의 MPU로부터의 신호를 제안된 방법으로 측정 처리하여 유효한 회전수 측정방법이 될 수 있음을 보였다. 제안된 회전수 측정법은 실제 디젤기관에 부착하여 실험 중이며 추후 보고할 예정이다.

**참고문헌**

1. Thermal Arraycorder WR9000 User,s manual, 1996, GRAPHTEC
2. 16 Bit Embedded Controllers databook, 1996, Intel
3. P.P.Kanjilal, Adaptive prediction and predictive control, 1995, Peter Perigrinus Ltd.
4. 이재욱, 디지털 신호처리-기초와 응용 -, 1994, 청문각