

# 측정된 평균 토크를 이용한 파워트레인의 주요 가진 성분 예측

## Prediction of Powertrain Main Firing Order Torque Using Measured Mean Value

신인섭† · 임종태\* · 선정욱\* · 박광서\* · 김영호\*  
 Inseob shin, Jongtae Lim, Jungwoog Sun, Kwangseo Park and Yungho Kim

### 1. 서론

이 논문은 측정된 평균 토크를 이용하여 파워트레인 주요 가진력을 구하는 것이다. 파워트레인의 주요 가진력을 정확히 구하는 것이 초기 차량개발 단계에서 소음 및 진동 예측에 필수적이다. 그러나 초기 시뮬레이션 단계에서는 시험을 통한 가진력을 구하기 힘들고 시험차가 존재해도 모든 파워트레인에 대해 시험을 하는 것은 많은 비용과 노력이 소모된다. 이 논문에서는 4 기통 엔진에서 측정된 평균 토크에서 2 차 오더가 차지하는 비율을 제안하고자 한다. 이를 위해 실린더에서 실측한 압력으로 주요 가진력의 연소 토크를 구한 후 EMS 를 통해 측정된 평균 토크와의 비를 이용하여 가중치  $\alpha$  를 찾아내었다. 이를 측정된 평균토크에 적용하여 제안한 방법과 측정된 토크의 2 차 오더 성분을 비교하였다.

### 2. 파워트레인 가진력

파워트레인 가진 성분은 토크변동과 수직력으로 크게 구분할 수 있다. 토크변동은 연소와 관성에 의해 수직력은 오직 관성에 의해 발생한다. 이러한 힘들들이 실린더 블록을 가진하게 되는데 본 논문에서는 토크 변동에 따른 4 기통 엔진 2 차 오더 성분을 분석하였다.

#### 2.1 P/θ 커브 에 의한 연소 토크 (Gas Torque)

4 기통 엔진 1 번 실린더에서 연소 압력을 측정하였다. 나머지 실린더의 연소압력이 1 번과 같다고 가정하고 4 기통엔진의 주요 가진 성분인 2 차 오더 성분을 계산하였다. 연소압력은 스로틀 벨브 완전개방상태에서 그림 1 과 같이 1500 ~ 6000 rpm 까지 측정하였다 (WOT). 이를 이용하여 구한 2 차 오더 연소 토크 성분은 그림 2 과 같다.

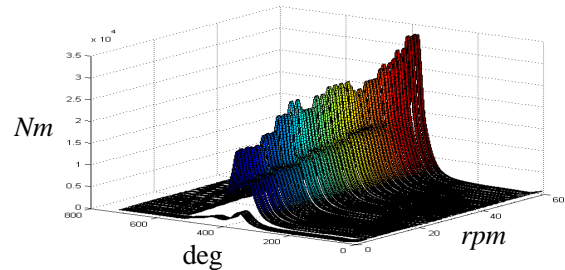


그림 1. P/θ Curve

#### 2.2 관성 토크 계산

관성에 의한 토크는 식 (1) 과 같이 계산할 수 있다. 이 수식을 이용하여 구한 2 차 오더 관성 성분을 그림 2 에 나타냈다.

$$T_{inertia} \cong \frac{1}{2} m_{rec} r^2 \omega^2 \left( \frac{r}{2l} \sin \omega t - \sin 2\omega t - \frac{3r}{2l} \sin 3\omega t \right) \quad (1)$$

$m_{rec}$  : reciprocating mass  
 $r$  : Half stroke  
 $l$  : connecting rod length

#### 2.3 엔진 총 토크

엔진의 총 토크는 P/θ 커브에서 계산된 연소 토크와 관성 토크의 합으로 식 (2) 과 같이 구해진다.

$$T = T_{inertia} + T_{gas} \quad (2)$$

연소에 한 토크와 관성에 의한 토크는 역위상 관계이다. 이를 FFT 변환하면 그림 2. 과 같다.

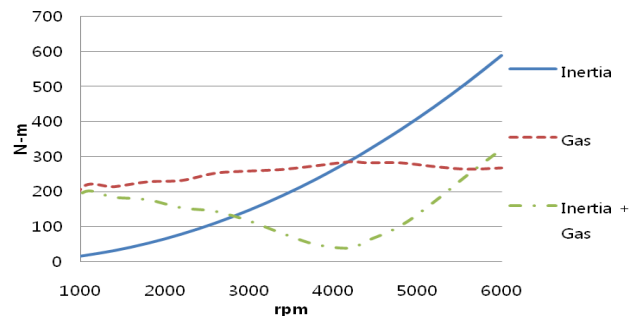


그림 2. 엔진 토크의 2 차 오더 성분

† GM 대우 Auto & Technology  
 E-mail : inseob.shin@gmdat.com  
 Tel : (032) 590-6431, Fax : (032) 590-6002  
 \* GM 대우 Auto & Technology

### 3. 가진 주요 성분 예측

#### 3.1 토크 측정

EMS 신호를 사용해 스로틀 벨브 완전개방 상태에서(WOT) 토크를 측정한다. 여기서 측정한 토크는 주요 가진 성분 예측을 위해 사용한다. 그림 3는 측정된 토크와 계산된 토크를 보여준다. 여기서 측정된 토크는 EMS에서 측정된 값이며 계산된 토크는 앞서 구한 P/θ 값과 관성 수식을 이용하여 계산된 것이다. 결과적으로, EMS 토크 신호가 측정된 P/θ 값을 통해 계산된 토크 값과 거의 일치 하였다.

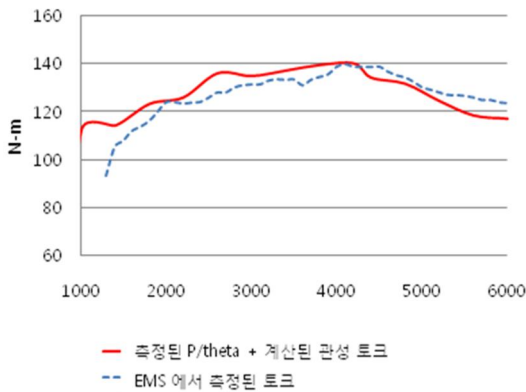


그림 3. WOT 토크 실측 / 계산

#### 3.2 연소에 의한 주요 성분

측정된 평균 토크에서 연소에 의한 주요성분을 구하기 위해 식 (3)과 같이 가중치 α를 사용한다.

$$T_{gas\ at\ 2nd\ order} \cong (T_{EMS} + T_f) \times \alpha \quad (3)$$

여기서,  $T_{EMS}$ : EMS에서 측정된 평균 엔진 토크  
 $T_f$ : Friction 토크 시험 값  
 $\alpha$ : 가중치

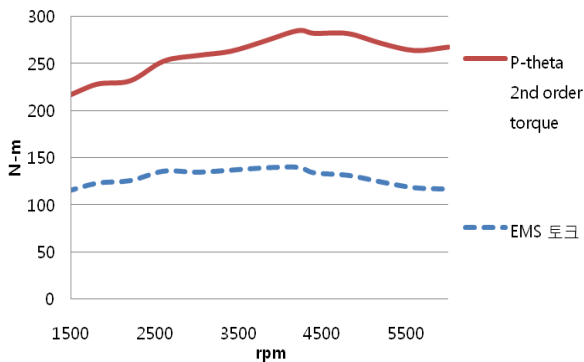


그림 4. 연소 토크와 2차 오더

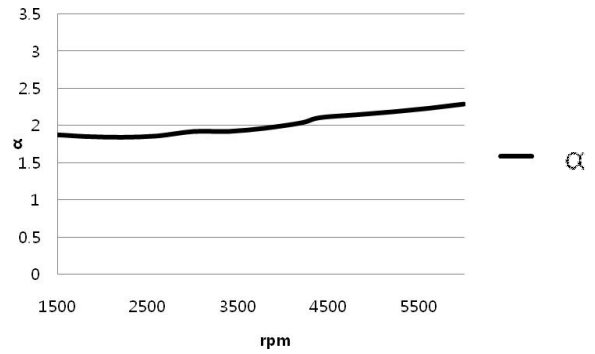


그림 5. 가중치 α

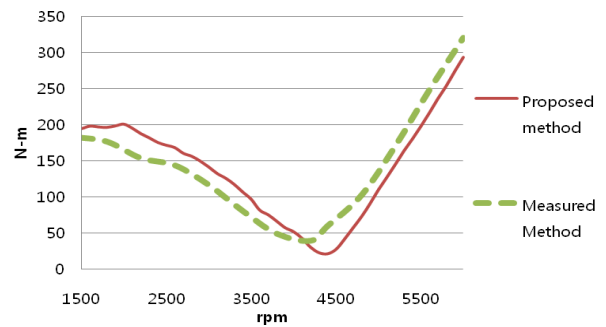


그림 6. 제안된 토크 변화량

그림 4에서는 연소에 발생하는 토크와 그 성분의 2차 오더 성분을 표시하였다. 그림 5에서는 제안한 α 값을 표시하였다. 스로틀 벨브 완전개방 상태(WOT)에서 계산된 α 값은 전 rpm 구간에서 평균 값인 1.932를 취하였다.

#### 3.3 토크 예측

엔진 총 토크는 연소와 관성 위상 차를 고려하여 식 (4)과 같이 표현된다.

$$Total\ Torque \cong \sqrt{(T_g)^2 + (T_i)^2 + 2 \cos \theta \cdot (T_g) \cdot (T_i)} \quad (4)$$

$T_i$ : Inertia Torque,  $T_g$ : Gas Torque  $\theta$ : 178 deg

그림 6은 측정된 2차 오더 성분과 제안된 방법으로 계산된 토크 변화이다. 측정된 평균토크를 이용해 예측한 2차 오더 가진력이 실측한 가진력과 잘 일치 하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 측정된 평균 토크를 이용하여 엔진의 주요 가진력을 찾아내는 방법에 대해 제안하였다. 주행 조건에 따라 P/θ 커브에는 주요 가진 성분이 일정하게 포함되어 있음을 확인하였고 제안된 방법을 이용해 효과적으로 주요 가진 성분을 예측할 수 있었다.