

# 일쉬변환을 이용한 IC엔진의 다중실화검출

김종부\*, 이태표\*\*, 이정수\*\*, 임국현\*\*\*

- \* 인덕대학
- \*\* 현대자동차 중앙연구소
- \*\*\* 태산정밀 연구소

## The detection of IC engine's Mutiple misfire using Walsh transform

Jong-Boo Kim\*, Tae-Pyo Lee\*\*, Jung-Su Eo\*\*, Kook-Hyun Yim\*\*\*

- \* Induk Institute of Technology
- \*\* Hyundai Motors Central Research Center
- \*\*\* Taesan Precision Co.

### ABSTRACT

This paper presents the detection of internal combustion engine's multiple misfire. The primary cause of air pollution by vehicles is imperfect combustion of fuel. The CARB(California Air Resources Board) have imposed regulations for the detection of misfiring in automotive engines. The OBD-II regulations require that misfire should be monitored by the diagnostic system, and that the goal of OBD-II is to alert the driver to the presence of a malfunction of the emission control system.

Present invention based upon measurements of engine roughness as derived from crankshaft angular velocity measurements with special signal processing method. Crankshaft angular velocity signals are processed by walsh-fourier transform.

Experimental work confirms that it's possible to apply walsh-fourier transform for the detection of multiple misfires in no-load idle and road testing.

### I. 서론

자동차산업을 비롯한 기계산업의 발달로 인간의 건

강과 생활환경을 침해하는 공해는 그 종류가 점차 늘어나고 있으며 원인 또한 복잡해지고 있다. 그 중에서도 소음과 더불어 자동차의 배기가스에 의한 대기오염은 점차 사회문제화 되고 있어 그 대책이 시급해지고 있다. 자동차의 배기가스에 의한 대기오염은 광화학 스모그의 발생으로 사람들에게 기침, 두통등의 건강장애를 일으키는 문제가 발생하여 이것을 계기로 1950년 이후 미국에서부터 법으로 규제받게 되었다.[5,7]

최근에는 배기가스의 상태를 ECU가 스스로 식별하여 규제치를 넘게되면 운전자에게 경고하도록 의무화하였다. 따라서, 각 자동차업체들은 이러한 OBD-II 규정을 준수하고자, 배기가스의 주된원인인 실화발생을 감지하고 실화가 발생하는 기통판별까지 감지하는 기술을 개발하는데 많은 투자를 하고 있다.[4][7]

종래에는 실화 발생 여부를 감지하기 위하여 엔진의 출력측인 크랭크 각도마다 감지되는 엔진회전수 또는 엔진 회전주기 신호의 변동률을 이용하였으나, 이 방법은 고속의 엔진 회전시 변동률의 분석이 어려워지는 문제가 있었다.[6] 이러한 문제를 해결하기 위해서 주기신호를 주파수 성분의 크기와 위상각으로 해석하는 DFS 방식이 검토되어 왔지만, 이 방법은 미리계산된 사인, 코사인 함수 테이블을 엔진제어장치내의 메모리에 설정하여 저장하여야 하며, 주파수 성분 분석을 위

하여 감지되는 엔진회전수 계산을 위한 처리루틴이 필요하게 되어 메모리의 소모와 루틴 처리시간이 길어지는 단점이 있다.[1][7]

따라서, 본 논문에서는 상기 문제들을 기저함수를 Walsh함수로 변환시킨 Walsh-fourier transform를 이용하여 단순한 가감산 계산만으로 실화발생여부를 판정할수 있고, 고속의 엔진회전수에서도 실화판별을 가능하게 하였다.[3] 또한, Walsh함수의 Moving window 방식을 이용하여 다기통 실화에 대한 기통판별까지 가능하게 하였다. 그리고, Walsh-fourier transform를 Idle 상태와 부분부하상태에서 시험하여 실제 시스템에서의 실화발생 감지여부를 판별하고, 실화발생 기통판별까지 가능함을 확인하였다.

## II. Walsh-fourier transform의 이론

어떠한 신호의 근사값(approximation)을 구하기 위한 기저함수(basis function)는 다음과 같이 유한한 구간에서 기저함수간의 상호 직교성(orthogonality)을 만족해야 한다.[3]

$$\int_{t_1}^{t_2} \phi_n(t)\phi_m(t) dt = \begin{cases} \lambda_n & n=m \\ 0 & n \neq m \end{cases} \quad (1)$$

본 논문에서는 엔진회전 주기신호의 주파수 분석 방식으로서 기저함수를 Walsh 함수로 대체한 Walsh-fourier transform를 사용한결과 DFT함수와 거의 동일한 결과를 나타내고, Memory사용면이나 처리속도면에서는 유리하였다. 또한 Moving window방식을 적용하므로써 다기통 실화 검출 및 기통판별 문제점을 완벽히 해결할 수 있었다.

## III. 엔진 실화 분석

### 1. Walsh-fourier transform에 의한 엔진신호 표현

엔진 1 cycle당 회전주기 신호를 입력으로 하여 매 TDC(Top dead center) 단위로 중복 계산한다. 정상적인 엔진주기신호는 그림 1과 같이 엔진 1회전당 4회의(4기통일 경우) 폭발행정을 맞이하므로 4회의 주기 정점(peak)지점이 나타나게 된다. 하지만, 기통간의 기계적특성이 다르기때문에 4회의 정점(peak) 파형이 동일하게 나타나지는 않고 약간 비대칭적으로 나타난다.

만약, 실화가 발생된다면 그림 2와 같이 4회의 정점 파형은 엔진 토크 저하로 주기의 변형이 일어나게 되고, 실화를 유발한 실린더에 따라 변형의 위치가 이동된다.

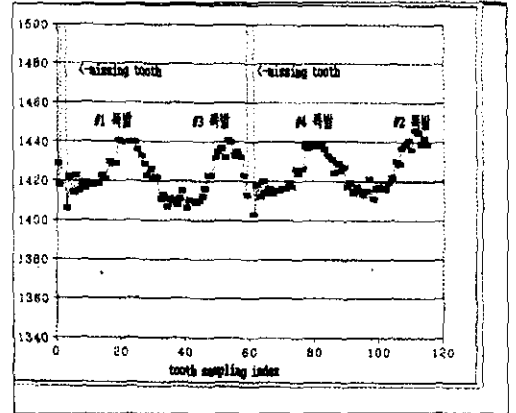


그림 1. 정상적인 엔진주기 신호

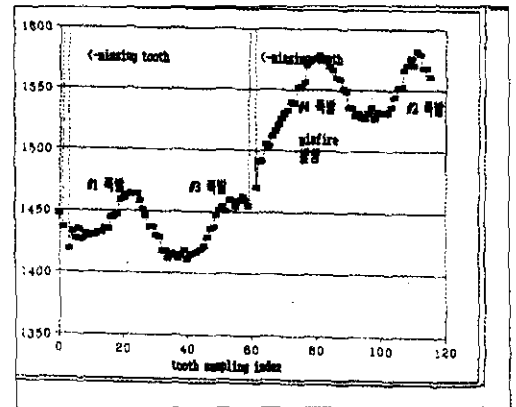


그림 2. 실화발생시 엔진주기 신호

엔진 1회전을 주파수 측면에서 보면 4회의 정점은 주파수 4에 인접하고 한번의 실화 발생은 주파수 1에 인접하게 된다. 즉, 실화성분이 정확히 주파수 1을 나타내지는 않지만, 주파수 Spectrum 분석시 주파수 1에 가장 지배적인(dominant) 성분이다.

그러므로, Walsh 함수를 이용한 Walsh-fourier transform에 의한 전체 스펙트럼 분석중 주파수 1에 대한 Amplitude 스펙트럼만을 따로 분리하여 실화판정에 사용한다.

### 2. 실화판별법

New- $\alpha$  ENG.(Accent 탑재)인 경우 CPS(Crankshaft Position Sensor)는 크랭크축(crankshaft) 1회전당 58개의 tooth 주기(missing tooth 1개 포함)를 출력으로 내보낸다. Walsh-fourier transform 계산을 위한 tooth 데이터의 합산은 moving window적용을 위하여 매 29개의 단위로 합산후, 합산 결과를 출력하고 덧셈기(adder)를 Reset시킨다. 이 과정에서 합산된 결과에 보정을 수행한후 결과값을 16 Byte buffer에 순차적으로 저장한 후 실화(misfire) 한계값(Threshold)과 비교한다. Walsh-fourier transform<sub>i</sub>의 한계값 초과 횟수가 연속적으로 나타낼 때 실화 발생을 판정하게 된다. 초과횟수가 연속 3회이면 단기통 실화 기통판별 과정이 수행되며, 초과횟수가 연속 4, 5, 6회이면 다기통 실화 기통판별 과정이 수행된다.

RLL<sub>i</sub> 와 IMM<sub>i</sub> 계산은 실화(Misfire)에 의한 Tooth 주기 변동성분이 Walsh-fourier transform 구간경계안에 완전히 포함되지 않아서 발생하는 경계선 조건 문제를 해결하기 위해 1 TDC(tooth data N/4개)단위로 중복하는 Moving window방식을 적용하여 모든 변동성분을 포함하여 계산한다. 이러한 이동 방식은 기통판별 문제를 해결해주며 특히, 다기통 실화 검출 및 기통판별까지도 새로운 logic의 구성없이 가능하게 해준다는 장점이 있다.

경계선 조건 문제에 의해서 한번은 소멸되므로, 단기통 실화가 발생하게 되면 Moving window에 의해서 큰값이 연속 3회 발생하는 지점이 생기고, 연속 3회미만인 경우는 잠음으로 판단한다. Moving window에 의한 실화를 유발한 실린더는 표1과 같다.

표 1. Moving window에 의한 기통판별 방법

	큰값 발생 빈도	MISFIRE CYLINDER 위치	EXAMPLE
SINGLE MISFIRE	연속 3 회	마지막 큰값	1
MULTIPLE MISFIRE	연속 4 회	마지막 큰값, 바르뒤	1, 3
	연속 5 회	마지막 큰값, 두번째 뒤	1, 4
	연속 6 회	마지막 큰값, 세번째 뒤	1, 2

### 3. Walsh-fourier transform Scale 보정

C.P.S의 Tooth 주기 데이터는 엔진회전수(rpm)과 공기량(Load)의 함수이므로, 엔진회전수와 공기량의 변화에 따라 Tooth 주기 데이터의 크기가 변화된다. 또한 Walsh-fourier transform 계산에서도 Amplitude 결과값은 원래 신호가 가지고 있는 자체 진동폭

(ripple)에 전적으로 의존된다. 그러므로 한계값(threshold)에 의한 실화 검출을 위해서는 엔진회전수(rpm), 진동폭 비례상수(Ripple factor), 공기량 비례상수(Load factor) 등 3가지 측면에 대해 Scale 보정이 이루어져야 한다.

## IV. 실험결과

### 1. 시스템 구성

시스템의 구성은 엔진회전주기 신호(C.P.S)의 입력과 실화발생 기능을 외부장치(misfire controller)로 분리시키고 ECU는 Walsh-fourier transform를 수행하며, 그래프 처리는 PC가 수행하도록 구성하였다.

시험항목은 2기통이상 misfire에 대한 multiple misfire 발생에 대한 감지로 하고, 발생 조건은 Idle 상태, 부분 부하상태(Part load)로 하고 실화발생 비율은 크랭크축(Cankshaft) 10회전당 1번의 실화 발생으로 고정 즉, TDC(Top dad cnter) 20회당 1번으로 고정하였다.

### 2. Idle 상태

Walsh-fourier transform 방식은 TDC 간격의 Moving window 방식을 적용하므로 Multiple misfire 발생시 변동성분은 발생기통에 따라 4, 5, 6회 검출된다.

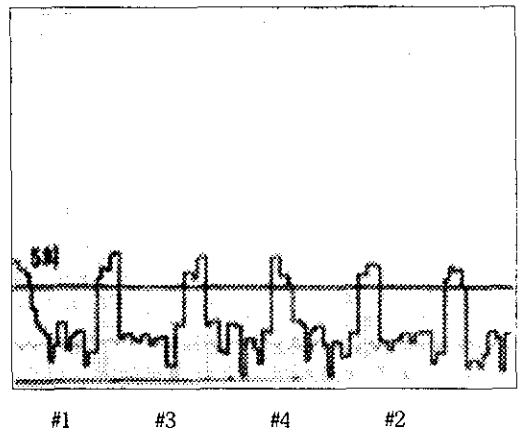


그림3. Idle 상태 RPM. #1,4 CYL. MULTIPLE MISFIRE(RATE=1/5)

그림 3은 #1 & #4 cyl. multiple misfire이고 엔진 5회전당 1회의 Misfire를 발생시킨 경우이다. TDC 간격의

moving window에 의해서 misfire에 의한 변동성분은 Moving time index 20회당 5회의 한계값 초과 형태로 나타난다.

3. 부분부하 상태

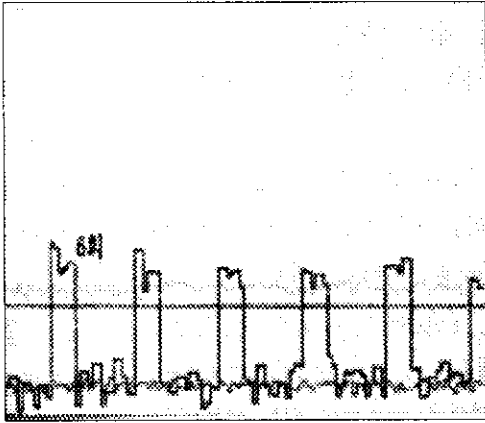


그림 4. 부분부하상태, 2000 RPM, #1, #2 CYL. MULTIPLE MISFIRE(RATE=1/5)

그림4는 #1 & #2 cyl. multiple misfire이며 rpm, ripple, load 대한 walsh-fourier transform Scale 보정이 수행되었다. TDC 간격의 Moving window에 의해서 misfire에 의한 변동성분은 Moving time index 20 회당 6회(표 1참조)의 한계값 초과 형태로 나타난다.

이상의 그림에서 보면 Walsh-fourier transform에 의한 방법으로 실화 판별을 하였을 때 실화발생을 정확히 감지하는 것을 알 수 있었으며, 실화발생 기통까지도 판별이 가능함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 엔진 Roughness 데이터를 시간영역(time domain) 대신 단순화한 주파수영역(frequency domain)에서 해석하므로써 실화검출에 많은 잇점이 있음을 확인 할 수 있었다. 실화는 여러가지 원인에 의해서 발생하므로 나타나는 영향도 여러가지 형태로 나눌 수 있지만 어떤 원인의 실화일지라도 반드시 엔진 출력축에 영향을 미치게 되므로 엔진 Roughness 측정 방식은 가장 효과적인 실화 검출방법이라고 할 수 있다.

또한 Walsh-fourier transform에 의한 방법으로 실화 판별 시험을 하였을 때 Discrete-fourier transform과

마찬가지로 실화발생을 정확히 감지하는 것을 알 수 있었으며, Walsh moving window법을 이용하면 실화 발생 기통까지도 판별이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 무부하 Idle상태나 부분 부하(drive) 상태에서의 시험을 통해서도 공히 같은 결과를 도출 할 수 있었다. 또한, 본 논문에서 제안한 Walsh-fourier transform에 의한 계산은 DFT에 의한 계산보다 훨씬 단순한 형태지만 동일한 결과를 나타내어 점차 강화되는 복미 법규인 엔진회전수 전영역에서의 실화검출에 대한 대응이 가능할 것으로 생각된다. 향후 본 논문에서 제안한 Walsh-fourier transform에 의한 실화검출은 Bumpy road등과 같은 실제에서의 검증이 더 필요할 것으로 생각되며, 실제검증시에도 본논문에서와 같은 결과를 얻을 수 있다면 OBD-II문제를 해결하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

VI. 참고문헌

[1] B. Widrow and S.D. Sterns, "Adaptive Signal Processing", Englewood Cliffs, NJ: Prectice-Hall, 1985  
 [2] Stavouladis, P., and S.Tzafestas, "Walsh series Approach to Observer and Filter Design in Optimal Control Systems," Int.J. Control 26, pp.721-736, 1977  
 [3] K.G. Beuchamp, "Applications Walsh and Related Functions," Academic Press, 1984  
 [4] G. Rizzoni, "Diagnosis of Individual Cylinder Misfires by Signature Analysis of Crankshaft Speed Fluctuations", Univ. of Michigan, SAE 890884  
 [5] W. B. Ribbens and G. Rizzoni, "Applications of Precise Crankshaft Position Measurement for Engine Testing, Control and Diagnosis", Univ. of Michigan, SAE 890885  
 [6] W. B. Ribbens and G. Rizzoni, "Method and System for Detecting the Misfire of an Internal Combustion Engin Utilizing Angular Velocity Fluctuations", Univ. of Michigan, U. S. PATENT 5200899  
 [7] Anders Unger and Kent Smith, " The OBD II System in Volvo 850 Turbo", R.BOSCH, SAE932665