

마그네틱 픽업 방식의 CPS 신호 해석 회로에 관한 연구

A Study of the Circuit for CPS Signal Using Magnetic Pickup

주 용 완, 조 봉 수, 백 광 렬*
(Yong-Wan Ju¹, Bong-Su Cho², and Kwang-Ryul Baek²)

¹Seoil Collage

²Pusan National University

Abstract: The basic signals for electronic engine control are velocity and degree of the engine cam shaft. The CPS sensor used for this signal and magnetic pick-up type CPS sensor is more popular. It is very important thing analyze this signal correctly. If there are some mistakes at the analysis, like a noise, The engine do not working at the best status, it will generate some noise, emit exhaust fumes and waste more gases. In general way to analysis this signal, you use zero-level detector circuit and in order to reduce the error you must use another sensor like a TDC sensor. In this paper, We proposed the analysis method using electronics circuits for magnetic pick-up type CPS sensor. We designed Comparison level detector circuit, Differential circuit and Full-rectifier circuit for detected the Long tooth and Short tooth level correctly without another sensor. We expected it is useful for more reliable engine control.

Keywords: ECU (Engine Control Unit), CPS (Crank Position Sensor), CAS (Crank Angle Sensor), long tooth, short tooth, TDC (Top Dead Center)

I. 서론

엔진 전자제어의 핵심은 연료의 분사시기와 점화시기를 결정하는 것이다. 연료의 분사시기와 점화 시기는 엔진의 현재 회전속도와 각 위치를 이용하여 계산한다. 그리고 TPS (Throttle Position Sensor, 스로틀 포지션 센서), 산소센서, 온도센서 등의 여러 센서에 의해 보정한다. 엔진의 회전속도와 각 위치를 측정하기 위해 CPS, CAS, TDC 센서 등을 사용한다[1-3].

이렇듯 엔진의 전자제어를 위하여 여러 가지 신호가 사용되고 있으며 그중에서 가장 중요한 신호는 연료분사와 점화시기의 기본이 되는 CAS 또는 CPS, TDC 이다.

CAS와 CPS는 캠축에 설치되며 크랭크 축의 위치를 감지하여 신호를 발생시킨다. CAS는 광전식 방식으로 동작을 하며 디지털 형태의 출력을 가진다. CPS는 마그네틱 방식으로 동작을 하며 아날로그 형태의 출력을 가지며 가격이 저렴하고 고장이 적은 CPS가 많이 사용된다. TDC 센서 역시 캠축에 설치되며 상사점을 검출하여 CPS 신호와 연동하여 사용된다[4,5].

CPS 신호는 제조사마다 차이가 있다. 일반적으로 차량용은 1회전에 6도 간격을 가지는 57개의 신호와 18도의 간격을 가지는 1개의 신호로 구성된다. 이들 신호를 이용하여 현재 엔진의 회전각도 및 기준점을 측정하여 연료 분사 및 점화 제어를 한다.

CPS 신호를 제대로 해석하지 못한다면, 잘못된 위치에서

연료 분사와 점화가 이루어져 엔진이 이상한 동작을 하게 된다[4]. 따라서 CPS 출력인 아날로그 신호를 측정하는 것은 아주 중요한 일이다.

일반적으로 CPS 신호는 시간간격을 측정하여 측정 시간이 길면 18도로 판단하고 짧은 경우 6도로 판단하여 회전 각도 및 기준점을 판단한다[1]. 그러나 이와 같이 시간차이를 가지고 기준점을 판단할 경우 초기 시동시 불안정한 엔진신호가 나오는 경우나 혹은 노이즈의 영향 등으로 18도의 간격을 찾기 어렵게 되는 경우가 발생한다. 기존의 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위해 CPS 신호뿐만 아니라 TDC 센서 등의 신호를 부가적으로 사용하여 문제가 발생하지 않도록 하고 있다[5,6].

본 논문에서는 노이즈나 기타 여러 가지 요인에 의해 불안정할 수 있는 마그네틱형 CPS 신호를 올바르게 해석할 수 있는 회로를 제시하고 성능을 평가하여 TDC 센서 등 부가적인 센서를 사용하지 않고도 보다 안정적인 엔진제어를 할 수 있도록 하였다.

II. CPS 신호의 이해

마그네틱형 CPS는 엔진이 회전할 때 일정한 각도가 지나갈 때마다 신호가 발생되도록 고안한 장치로서 기어가 달린 휠과 센서로 이루어져 있다. 기어가 달린 휠은 엔진의 크랭크 회전축 상에 회전하도록 장착되며 이 휠에는 6도씩 60등분한 위치에 2개를 제외한 58개의 기어로 구성된다. 그림 1은 마그네틱 픽업방식의 CPS이다[5,6].

자석과 코일로 이루어진 마그네틱 픽업 센서는 엔진의 특정위치에 부착하여 엔진이 회전할 때 기어가 지나가는 것을 검출하도록 한 장치이다. 엔진이 회전함에 따라 58개의 기어에 의해 6도 간격으로 신호가 출력되어 엔진의 현

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 22., 수정: 2010. 11. 9., 채택확정: 2010. 11. 16.

주용완: 서울대학교 컴퓨터전자과(ju0507@chol.com)

조봉수, 백광렬: 부산대학교 전자전기공학부

(mscho97@pusan.ac.kr/krbaek@pusan.ac.kr)

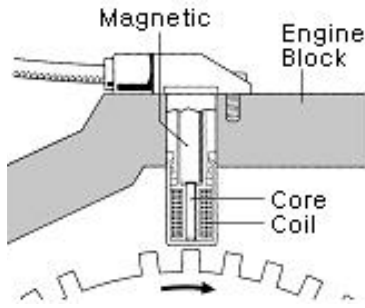


그림 1. 마그네틱 픽업방식의 CPS.
Fig. 1. Magnetic pickup type CPS.

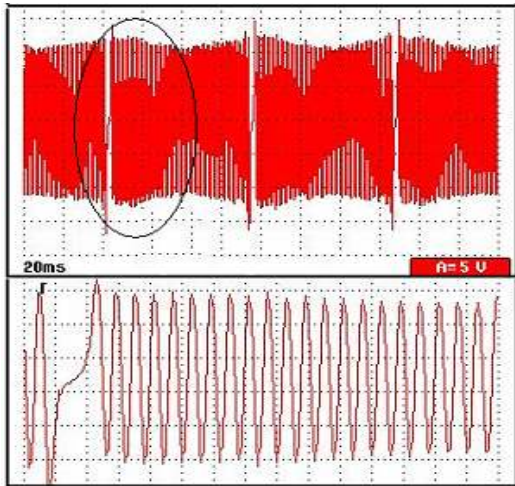


그림 2. 마그네틱 픽업방식의 CPS 출력 파형.
Fig. 2. Waveform of magnetic pickup type CPS.

재 회전 각도를 알 수 있다. 2개를 생략한 부분은 18도의 간격을 가지도록 구성되어 시작점을 검출 할 수 있다. 6도의 짧은 간격은 Short tooth 라고 하고 18도의 긴 간격은 Long tooth 라고 한다. 즉, 엔진의 1회전에는 Long tooth가 1번, Short tooth가 57번 출력이 된다. 그림 2는 CPS 출력 파형이다.

CPS의 출력 신호는 회전속도에 따라 크기가 변하는데 속도가 빠를수록 크기가 커진다. 출력 파형의 Peak to Peak가 10V 이상일 경우만 유효한 출력파형으로 인식하고 그 이하의 출력 파형은 느리다고 판단하여 무효로 처리한다.

엔진이 회전하면 tooth 의 개수에 맞게 모두 58개의 파형이 출력된다. 이때 Short tooth가 57개, Long tooth가 한 개 출력된다. CPS 신호 해석이란 Short tooth와 Long tooth 출력을 감지하는 것을 뜻한다. Long tooth를 측정하여 TDC를 알 수 있고, 이를 이용하여 속도계산을 한다. Short tooth는 측정하여 회전각도를 알 수 있으므로 정확한 연료 분사시

표 1. RPM 에 따른 Pulse 개수.

Table 1. Pulse according to RPM.

rpm	600	6000	10000
회전/초	10	100	166.7
pulse/초	580	5800	9668.7

기와 점화시기를 판단할 수 있다. 표 1은 RPM 에 따른 pulse 개수이다.

CPS 신호의 일반적인 해석방법은 CPS의 아날로그 출력 파형을 받아서 ADC를 사용하거나 level detection을 거쳐서 디지털로 변환하는 방법을 사용하는 것이다. 이 방법으로는 Short tooth 만을 검출하게 되며 TDC 를 검출하기 위해 별도의 휠센서나 TDC 센서 등을 사용해야 한다[7-9]. Short tooth 의 검출에도 검출레벨이 고정되어 있으므로 노이즈에 의한 레벨변화로 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 보완할 수 있는 회로를 제안하였으며 부가적인 센서를 사용하지 않고도 정확한 신호를 검출할 수 있도록 하였다.

III. CPS 신호 해석 회로

1. Short tooth 판정

Short tooth 판정회로는 간단히 레벨 detector 로 해결할 수 있다. 그러나 속도가 증가함에 따라 CPS 출력신호가 커지게 되고 그에 따라 노이즈 레벨도 커지게 된다. 노이즈 레벨이 비교기의 기준레벨 보다 커지면 노이즈에 의한 출력파형이 나타나는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제로 Short tooth를 잘못 판단하는 경우를 해결하기 위해 CUT Off Frequency가 10KHz인 LPF와 DAC를 이용하여 RPM에 따라 기준레벨을 조정하는 회로를 고안하였다. 그림 3은 Short tooth 판정회로 블록도이고 그림 4는 기준 레벨을 5V로 하였을 때의 Short tooth 판정 결과 파형이다.

비교기에서는 입력되는 CPS 파형을 기준 값과 비교해서 기준값보다 작으면 0을, 크면 1을 출력한다. CPS의 출력이 +/- 의 AC 성분이므로 0V와 비교하면 된다. 하지만 실제로는 0V에서 +/-의 편차가 심하고 노이즈의 영향을 쉽게 받을 수 있으므로 0V를 비교레벨로 설정할 수는 없다. 따라서 Diode를 사용하여 반파정류를 한 신호를 비교기 입력으로 사용하고 비교레벨은 보통 1V 정도로 한다. 그러나 이 경우 노이즈 레벨이 1V를 넘어서게 되면 오류가 발생하게 된다.

가장 좋은 비교 레벨은 최댓값보다 조금 적은 값을 비교 레벨 값으로 사용하는 것이다. 최댓값을 검출하기 위해서는 최댓값 검출 회로를 사용해야한다. 그러나 최댓값 검출 회로를 사용하게 되면 회로를 추가되어야 함으로 추가 비용이 발생하고 시작시의 기준 값을 설정해야 하는 문제가 발생한다.

본 연구에서는 최댓값을 검출하는 것을 회로를 사용하지 않고 RPM에 따른 최댓값을 Lookup Table을 작성하여 이 값을 이용하여 비교레벨을 설정하였다. CPU에서는 RPM을

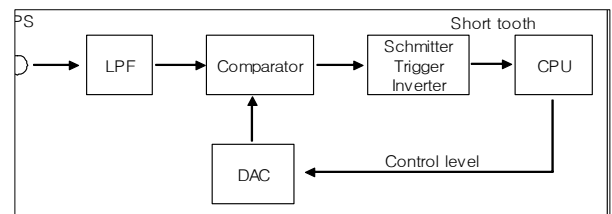


그림 3. Short tooth 판정회로 블록도.
Fig. 3. Block diagram for Short tooth.

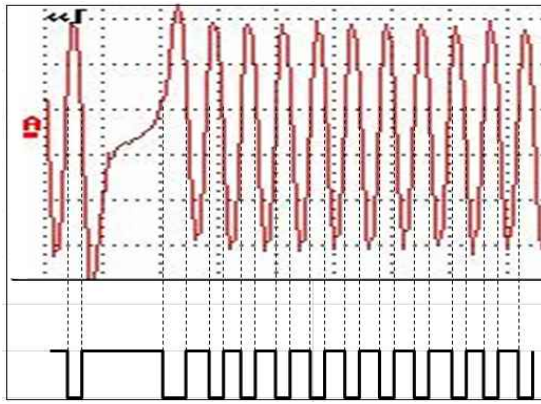


그림 4. Short tooth 판정결과 파형.
Fig. 4. Waveform of Short tooth detection.

측정하여 이에 해당하는 비교레벨 값을 출력한다. DA Converter를 사용하여 Analog 신호로 변환하고 그 값을 비교 값으로 사용하도록 하였다. 이 때 비교 레벨의 최솟값은 1.0V로 하였다. 그리고 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 LPF를 입력에 추가하였고 출력단에는 슈미트트리거 인버터를 추가하였다.

2. Long tooth 판정하기

일반적인 Long tooth 판별은 zero level detector을 사용하는 것이다. 그러나 이것을 사용하면 Long tooth 구간뿐만 아니라 Short tooth 구간에도 검출이 되며 노이즈에 의한 Zero level도 검출이 되는 등 문제가 많이 발생한다. 그림 5는 Zero level detector 출력파형이다.

Zero level detector는 회로가 간단하여 널리 사용되고 있으며 위의 문제를 해결하기 위해 TDC 센서 등을 사용하거나 SW적으로 시간차이를 이용하여 Long tooth를 판단하고 있다[1]. 그러나 이러한 시간차이를 이용한 판별방식은 SW적인 부담이 커질 뿐만 아니라 TDC 등의 다른 센서를 부가적으로 사용하지 않으면 잘못된 판단을 할 경우가 종종 발생한다.

본 연구에서는 정확한 Long tooth를 검출하기 위해서 미분회로와 정류회로를 이용한 두 가지 회로를 다음과 같이 제안한다.

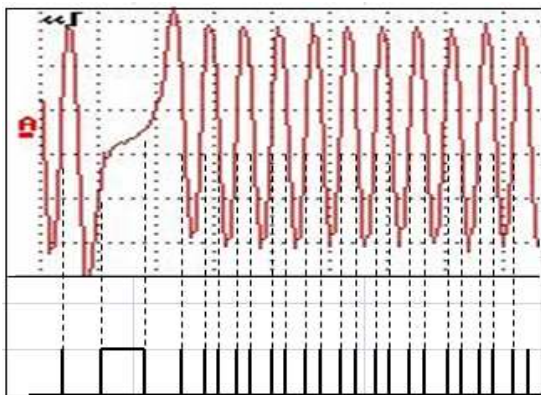


그림 5. zero level detector 출력 파형.
Fig. 5. Waveform of zero-level detector.

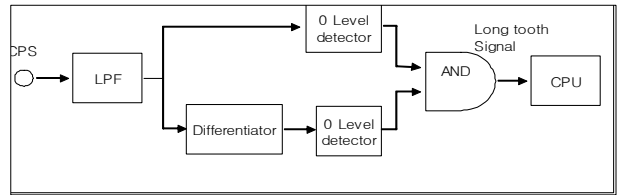


그림 6. 미분기를 이용한 회로 블록도.
Fig. 6. Block diagram of differential circuit.

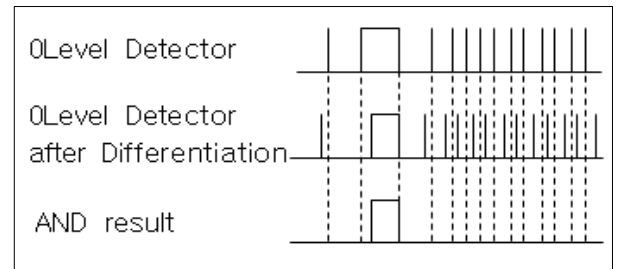


그림 7. 미분기를 이용한 회로의 파형.
Fig. 7. Waveform of differential circuit.

2.1 미분회로를 이용한 판정회로

CPS 출력 신호가 미분기를 통과하면 90도의 위상차이가 발생하여 Short tooth의 Zero level이 90도만큼 위상이동되어 나타난다. 이때 Long tooth의 Zero level은 위상차이가 없으므로 그대로 존재하게 된다. 따라서 CPS 출력신호를 직접 Zero level detector한 신호와 미분기를 통과한 후 Zero level detector 한 신호를 AND 연산을 수행하면 Short tooth 구간의 Zero level은 사라지고 Long tooth 구간의 Zero level만 남게 된다. 그림 6은 미분기를 이용한 Long tooth 판정회로의 블록도이고 그림 7은 출력 파형이다.

2.2 전파정류회로를 이용한 판정회로

CPS 신호를 전파정류를 하고 충전회로를 거치면 Long tooth 구간만 Zero volt가 존재하며 나머지 구간은 Zero volt 이상을 유지하게 된다. 이 신호를 Zero level detector을 사용하여 Long tooth 구간을 검출한다.

이때, 다이오드 브릿지 회로를 전파정류기로 사용하게 되면 다이오드의 전압강하가 문제가 될 수 있으며 또한 별도로 동작하는 Short tooth 회로를 연결 할 수 없게 되기 때문에 브릿지 회로는 사용할 수가 없다. 따라서 OPAMP를 이용한 전파정류 회로를 사용한다. Zero level detector는 Zero level을 검출하는 것은 아니고 0.3V level을 검출하도록 설계하였다[10,11].

그림 8은 전파정류기를 사용한 Long tooth 회로의 블록도이고 그림 9는 Long tooth 회로의 출력 파형이다.

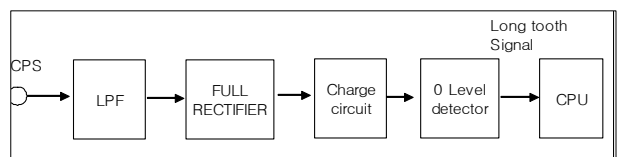


그림 8. 전파정류기를 이용한 회로 블록도.
Fig. 8. Block diagram of full-rectifier circuit.

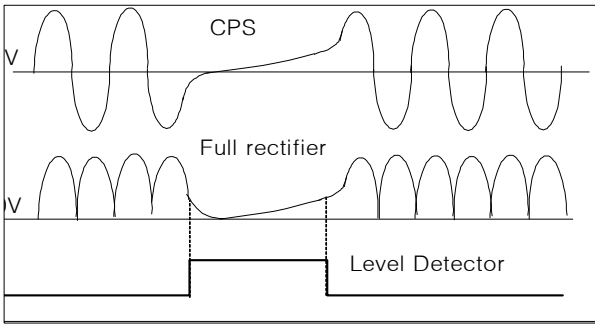


그림 9. 전파정류기를 이용한 회로 파형.
Fig. 9. Waveform of full-rectifier circuit.

IV. 실험 및 성능평가

본 논문에서 제안한 CPS 해석 방법을 시뮬레이션을 통해서 검증한 후 실제 보드를 제작하여 실제 엔진에 장착하여 실험하였다.

1. Short tooth 검출 회로

신호레벨의 2/3 이하의 노이즈는 영향을 받지 않도록 비교레벨을 최댓값의 2/3 수준으로 정하였다. 실험에 사용한 DAC는 0~20V의 출력이며 정밀도를 크게 요구하지 않으므로 일반적으로 쉽게 구매할 수 있는 제품으로 사용하였다.

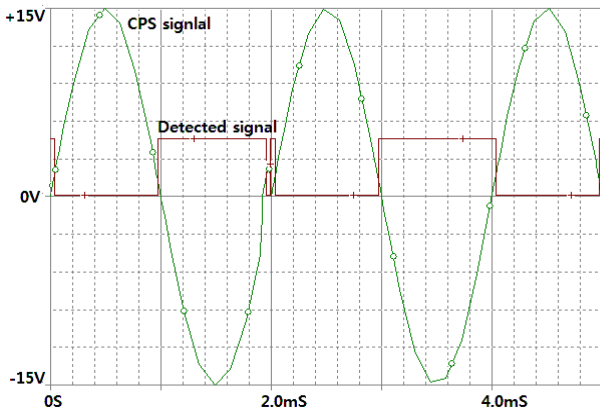


그림 10. Zero level detector의 결과 파형.
Fig. 10. Waveform of Zero level detector.

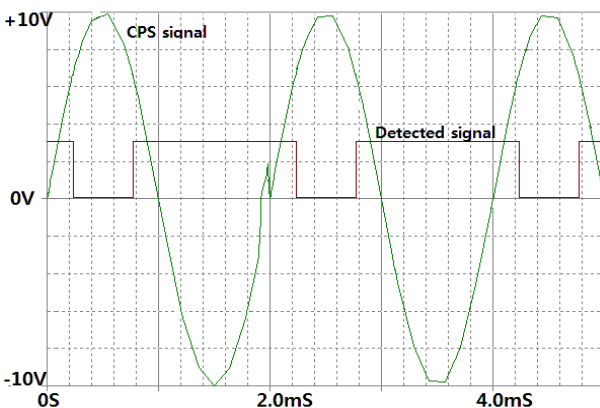


그림 11. Short tooth 검출회로의 결과 파형.
Fig. 11. Waveform of short tooth detection circuit.

실제 엔진에서 테스트 한 결과 DAC 없이 고정 레벨로 할 경우, 고속에서 점화시의 노이즈에 의해 잘못된 결과가 자주 발생하였다. 그러나 본 연구에서 제안한 DAC를 사용하여 비교레벨을 조절하는 방법은 RPM을 조절하여도 노이즈에 의한 문제없이 안정적으로 동작하였다.

그림 10은 기존의 Zero level detector의 결과 파형이며 Zero volt 근처에서 발생한 노이즈에 의해 Short tooth 검출이 실패한 경우를 보여주고 있다.

그림 11은 본 연구에서 사용한 Short tooth 검출 회로의 결과 파형이며 검출 레벨에 의해 Zero volt 근처의 노이즈의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

2. 미분기를 이용한 Long tooth 검출

미분기를 이용한 Long tooth 검출회로를 실제로 제작하여 엔진에서 테스트하였으며 저속에서 미분기가 잘 동작하여 문제가 없었으나 고속에서는 노이즈의 영향에 따라 입력 파형이 흔들리면 출력도 영향을 받아서 전체적으로 조금씩 흔들리는 불안정한 모습을 보였으며 노이즈에 의해 잘못 검출하는 경우도 가끔씩 발생하였다.

그림 12는 미분기를 이용한 Long tooth 검출기의 파형을 나타내었다.

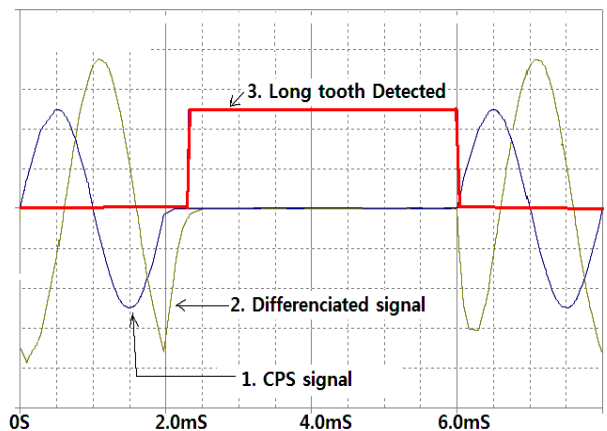


그림 12. 미분기를 이용한 회로의 파형.
Fig. 12. Waveform of differential circuit.

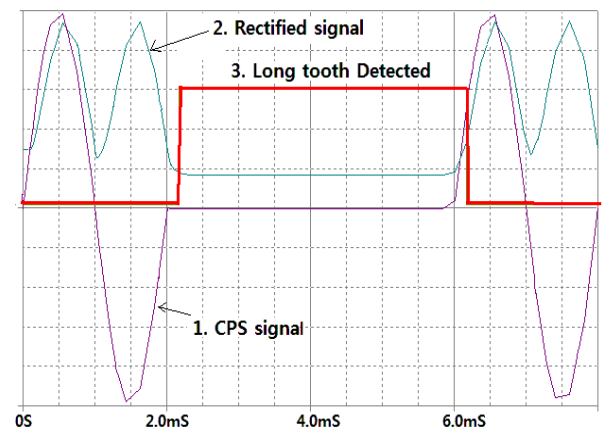


그림 13. 전파 정류기를 이용한 회로의 파형.
Fig. 13. Waveform of full-rectifier circuit.

3. 전파 정류기를 이용한 Long tooth 검출

전파 정류기를 이용한 Long tooth 검출회로를 실제로 제작하여 엔진에서 테스트를 하였다.

미분기를 사용한 회로에서는 노이즈나 속도에 의해 전체 파형이 흔들리며 잘못 판단하는 경우가 발생하였으나 전파 정류기를 사용한 회로에서는 그런 동작은 보이지 않았으며 안정적으로 동작하였다.

그림 13은 전파정류기를 이용한 Long tooth 검출기의 파형을 나타내었다.

V. 결론

엔진의 전자제어에서 가장 중요한 제어가 점화시기와 분사시기이다. 그리고 점화 시기와 분사기기를 정확하게 하기 위해서는 엔진의 속도와 현재 위치(각)을 알아야 하며 이를 알기 위해서 여러 가지 센서를 사용한다.

그 중에서 CPS 센서는 저렴하며 고장이 거의 없기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 CPS 신호는 아날로그 신호로써 Long tooth와 Short tooth를 제대로 검출하지 못하면 엔진 제어를 하지 못하게 되며 이를 방지하기 위하여 TDC 등의 센서를 추가로 사용하고 있다.

본 연구에서는 CPS의 신호를 받아서 Long tooth와 Short tooth를 검출하는 회로를 제안하였으며 실험을 통해서 결과를 정리하였다. 먼저 Short tooth의 검출회로는 비교레벨을 조절할 수 있게 함으로써 완벽하게 Short tooth를 검출하였다. Long tooth 검출회로는 두 가지를 연구하였으며 두 가지 모두 기존의 단순한 시간비교방식에 비해서는 안정된 검출을 하였다.

그 중 미분기를 사용한 회로는 노이즈의 영향이 없을 경우는 잘 동작하였으나 노이즈가 있는 환경에서는 노이즈도 미분이 되어서 가끔씩 잘못된 검출을 하였다. 이에 반해 전파정류기를 이용한 Long tooth 검출기는 노이즈가 있는 환경에서도 안정적인 검출을 하였다.

엔진은 특성상 다양한 노이즈가 존재하며 이로 인한 제어에 문제가 발생할 수 있다. 최근에 ECU의 결함이 자주 언급되고 있으며 이로 인해 ECU의 보다 안정된 동작이 요구되고 있는 실정이다.

ECU 결함의 여러 가지 가능성 중에서 입력의 판정오류에 대하여 안정적인 입력판정을 하면 ECU의 판단오류도 줄어들 것으로 생각하며 본 연구에서 제안한 회로를 이용하여 기존의 단순한 레벨 검출을 하는 것보다 보다 안정적으로 엔진제어를 할 수 있게 되기를 기대한다.

참고문헌

[1] T. Jung and J. Chae, "A study on the ECU for controlling one cylinder motorcycle engine," *Transaction of the KSAE*, vol. 13, no. 6, pp. 13-20, 2005.

[2] T. H. Kim and J. H. Cho, "A study on the development of an electronic control unit for a gasoline engine using microcomputer," *Transaction of the KSAE*, vol. 3, no. 6, pp. 224-237, 1995.

[3] S. H. Jin, S. W. Lee, G. O. Kim, S.-H. Hwang, H. S. Kim, and J. W. Jeon, "Electronic control unit development platform," *International Conference IPC-13* pp. 504-507, 2005.

[4] H. M. Kim, J. D. Ryu, Y. J. Choi, K. Y. Lee, and S. Y. Jeon, "A study on the characteristics of spray and combustion in HCCI engine according to the variable spray angle," *Conference Proceedings of KSAE*, pp. 210-216, 2005.

[5] 박재립, 자동차 전자제어기관, 미전사이언스, 2003.

[6] 김민복, 전자제어엔진, 골든벨, 2005.

[7] H. Cha, "A Study on the development of a data acquisition system for automotive engines," *Master's Thesis, Hanyang University*, 2000.

[8] D.-Y. Kim, "A methodology on engine control through analysis of automotive speed based on embedded system," *Master's Thesis, Hankuk Aviation University*, 2007

[9] J. S. Lee, J. Y. Kim, J. S. Lee, S. S. Chong, and J. Y. Ha, "A study on the electronic control of signal processing in the si engine," *Conference Proceedings of KSAE*, pp. 145-151, 1998.

[10] W. G. Jung, *IC Op-Amp Cookbook*, 3rd Ed., Prentice-Hall, 1986.

[11] A. J. Peyton and V. Walsh, *Analog Electronics with Op.Amps*, Cambridge University Press, 1993.



주 용 완

1995년 부산대학교 전자공학과 졸업.
1997년 부산대학교 전자공학과 석사.
2009년~2010년 서일대학교 겸임교수.
관심분야는 마이크로프로세서응용, 임베디드시스템, 운영체제.

조 봉 수

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제13권 제1호 참조.

백 광 렬

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제5권 제1호 참조.