(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0022179
(43) 공개일자 2013년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B60K 5/12 (2006.01) *B60K 5/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0084989
(22) 출원일자 2011년08월25일
심사청구일자 2011년08월25일

(71) 출원인
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동)
(72) 발명자
이재천
대구광역시 달서구 선원로 137, 105동 707호 (이곡동, 성서푸른마을)
최재용
부산광역시 부산진구 백양관문로 115, 동일스위트아파트 103동 201호 (당감동)
(74) 대리인
김일환

전체 청구항 수 : 총 6 항

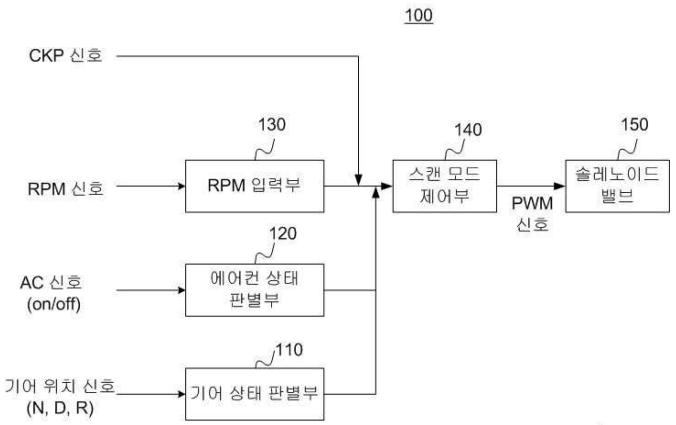
(54) 발명의 명칭 **공압식 능동형 엔진 마운트 시스템 및 그 제어방법**

(57) 요 약

본 발명은 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템 및 그 제어방법에 관한 것이다.

이를 위해, 본 발명은, 엔진과 차체 사이에 설치되는 엔진 마운트와; 상기 엔진 마운트가 필요로 하는 부압을 저장하는 진공 탱크와; 상기 진공 탱크의 유로를 개폐하여 상기 엔진 마운트에 부압을 전달하는 솔레노이드 밸브와; 상기 차체의 에어컨 구동전압을 입력받아 에어컨의 온/오프 여부를 판별하는 에어컨 상태 판별부와, 입력된 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따라 기어의 N, D, R 상태를 판별하는 기어 상태 판별부와, 상기 엔진의 분당 회전수인 RPM을 입력받아 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 미만 여부를 판단하는 RPM 입력부와, 외부 인터럽트(external interrrupt)신호인 CKP 신호, 상기 기어 상태 판별부에 따른 기어 상태 신호 및 상기 에어컨 상태 판별부에 따른 에어컨 상태 신호를 입력받아, 상기 기준 아이들 RPM 미만의 경우에는, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여, PWM 신호를 생성하는 스캔모드 제어부를 포함하고, 상기 생성된 PWM 신호를 상기 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가하는 제어기;를 포함하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템을 제공한다.

대 표 도 - 도19



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	0702DB-2010
부처명	지식경제부
연구사업명	부품.소재기술개발사업
연구과제명	공압식 능동 엔진마운트의 제어알고리즘 개발
주관기관	대흥 알앤티
연구기간	2010.06.01 ~ 2011.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

엔진과 차체 사이에 설치되는 엔진 마운트와;

상기 엔진 마운트가 필요로 하는 부압을 저장하는 진공 탱크와;

상기 진공 탱크의 유로를 개폐하여 상기 엔진 마운트에 부압을 전달하는 솔레노이드 밸브와;

상기 차체의 에어컨 구동전압을 입력받아 에어컨의 온/오프 여부를 판별하는 에어컨 상태 판별부와, 입력된 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따라 기어의 N, D, R 상태를 판별하는 기어 상태 판별부와, 상기 엔진의 분당 회전수인 RPM을 입력받아 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 미만 여부를 판단하는 RPM 입력부와, 외부 인터럽트(external interrrupt)신호인 CKP 신호, 상기 기어 상태 판별부에 따른 기어 상태 신호 및 상기 에어컨 상태 판별부에 따른 에어컨 상태 신호를 입력받아, 상기 기준 아이들 RPM 미만의 경우에는, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여, PWM 신호를 생성하는 스캔모드 제어부를 포함하고, 상기 생성된 PWM 신호를 상기 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가하는 제어기;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기준 아이들 RPM은 770~800 RPM으로, 초기 기준 아이들 RPM은 790 RPM으로 산정하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기준 아이들 RPM을 보상하는 아이들 RPM 보상부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템.

청구항 4

엔진 마운트 시스템의 제어방법에 있어서,

자동차의 에어컨 구동전압에 따른 에어컨 신호, 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따른 기어 위치 신호, 엔진 RPM 및 외부 인터럽트 신호인 CKP 신호를 입력받는 단계와,

상기 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 보다 작은지 여부를 판단하는 단계와,

상기 입력된 RPM이 상기 기준 아이들 RPM 보다 작으면, 상기 CKP 신호와, 상기 기어 위치 신호 및 상기 에어컨 신호를 입력받아, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드를 결정하는 단계와,

상기 스캔모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하고, 생성된 PWM 신호가 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템의 제어 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 기준 아이들 RPM은 770~800 RPM으로, 초기 기준 아이들 RPM은 790 RPM 으로 산정하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템의 제어방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

차량 주행거리를 기준으로 "변경 기준 아이들 RPM = 초기 아이들 RPM ±보상 RPM" 이 되게 조정하는 기준 아이들 RPM 보상 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템의 제어방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 엔진 마운트에 관한 것으로, 보다 상세하게는 차량 운전 조건에 따른 최적제어 매개변수를 설정하여, 이에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 진동을 효과적으로 저감할 수 있는 엔진마운트 시스템 및 그 제어방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자동차에 있어 가장 중요한 부품인 엔진은, 구조적으로 피스톤과 커넥팅 로드의 상하 운동에 의한 중심위치의 주기적인 변화, 실린더의 축방향으로 생기는 왕복 운동부분의 관성력, 커넥팅 로드가 크랭크 축의 좌우로 흔들리는 것에 의한 관성력, 크랭크 축에 가해지는 회전력의 주기적인 변화 등으로 인하여 항상 진동을 발생시키고 있다. 이처럼 엔진으로부터 주기적으로 발생되는 진동이 차체를 통해 차 실내로 전달되면, 탑승자에게 승차감을 떨어뜨리고 불쾌감을 줄 수 있다. 따라서, 엔진과 차체 사이에는 동력 발생 과정에서 발생되는 엔진의 진동이 차체에 전달되는 것을 차단하거나 상쇄시켜주는 엔진 마운트가 설치되는 것이 필수적이며, 이러한 엔진마운트에 대한 연구는 단순 고무 엔진 마운트에서 최근 능동적인 제어가 가능한 능동형 엔진 마운트 개발로 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 도 1은 일반적인 맵 방식 오픈루프 제어기의 공압식 능동형 엔진 마운트(PAEM: Pneumatic Active Engine Mount)의 구조를 나타낸 도면이다.

[0004] 도 1을 참조하면, PAEM은 주고무, 상부액실, 진동실, 분리기, 유로(orifice), 공기실, 하부액실 등으로 구성된다. 주고무는 엔진의 정적하중을 지지하고 기본적인 가성을 담당하는 부분이고, 상부액실과 진동실, 하부액실은 유로에 의해 상호 연결되어 있고 진동실과 공기실은 분리기에 의해 나누어진다. 분리기는 작은 변위를 가지는 판(plate)으로서, 진동실과 공기실의 압력차에 의해 변형되며 작은 진폭의 유동을 흡수할 수 있다. 유로는 마운트 내부의 유체 및 유압을 진동실과 하부액실로 전달하고, 하부액실은 탄성을 이용하여 유체를 저장하는 역할을 한다.

[0005] 공기실은 출구에 설치된 도 2의 공압식 솔레노이드 밸브(slenoid 밸브)에 의해 대기압 또는 진공압과 교차 연결됨으로써 마운트의 동강성을 저감시켜 엔진 진동을 감쇠시킨다. 도 2를 참조하면, 솔레노이드 밸브는 엔진마운트와 진공탱크의 유로를 개폐하는 역할을 수행하며, 차량 제어회로(ECU)의 펄스폭 변조(PWM: Pulse Width Modulation) 신호에 의해 온/오프(on/off) 구동된다. 일정크기의 전압이 인가되면 주파수대역을 on/off하여 펄스폭을 제어하는 PWM 방식을 취한다. 또한, 대기압 연결포트는 항시 외부와 연결이 되어 있으며, 상부의 3개의 포트 중 1개의 포트는 도 3의 진공탱크와 연결되어 필요한 진공을 연결하여준다. 기타의 포트들은 자동차 내의 타 부품들과 연결하기 위한 활용목적의 포트이다.

[0006] 도 3을 참조하면, 진공탱크는 일정한 진공량을 유지하는 역할을 하는 탱크로서 솔레노이드 밸브와 연결되어 엔진 마운트가 필요로 하는 부압(vacuum pressure)을 저장한다. 상부의 1개 포트는 진공탱크와 연결되어 진공을 전달하며, 나머지 1개의 포트는 체크밸브가 장착되어 있어 유량이 한쪽 방향으로만 흐를 수 있도록 유지한다.

[0007] 도 4는 도 1의 공압식 능동형 엔진 마운트를 이용한 PAEM 시스템을 나타낸 도면이다.

[0008] 도 4를 참조하면, 공압식 능동형 엔진 마운트(PAEM) 시스템은 엔진이 아이들 진동상태에 있는 경우에만 활성화되며, 엔진 구동과 관련된 차량 운전 상태에 대한 신호를 차량 제어회로(ECU)에서 받아 제어기에 입력이 된다. 제어기는 엔진 진동에 의해 발생되는 아이들 진동을 저감하도록 공압 솔레노이드 밸브를 개폐시킨다. 공압기기에는 부압모터로부터 발생된 부압을 공압탱크에서 일정하게 유지시키고 밸브의 개폐에 따라 엔진 마운트 내부에 부압을 형성, 멤브레인을 구동시켜 내부의 액실 압력을 변화시킨다. 따라서, 마운트의 동강성을 낮추어 엔진의 진동을 감쇠시킨다.

[0009] 그러나, 이러한 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템은 차량 운전조건에 따라 능동적으로 제어될 필요가 있고, 이에 따라, 제어기가 최적 제어인자를 변경하여 상황에 따라 엔진의 진동을 능동적으로 절감시키는 시스템의 개발에 대한 요구가 커지고 있는 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 차량 운전 조건에 따른 최적제어 매개변수를 설정하여, 이에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하고, 생성된 PWM 신호가 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가되어 진동을 효과적으로 저감할 수 있는 엔진마운트 시스템 및 그 제어방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 이를 위해 본 발명은, 엔진과 차체 사이에 설치되는 엔진 마운트와; 상기 엔진 마운트가 필요로 하는 부압을 저장하는 진공 탱크와; 상기 진공 탱크의 유로를 개폐하여 상기 엔진 마운트에 부압을 전달하는 솔레노이드 밸브와; 상기 차체의 에어컨 구동전압을 입력받아 에어컨의 온/오프 여부를 판별하는 에어컨 상태 판별부와, 입력된 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따라 기어의 N, D, R 상태를 판별하는 기어 상태 판별부와, 상기 엔진의 분당 회전수인 RPM을 입력받아 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 미만 여부를 판단하는 RPM 입력부와, 외부 인터럽트(external interrrupt)신호인 CKP 신호, 상기 기어 상태 판별부에 따른 기어 상태 신호 및 상기 에어컨 상태 판별부에 따른 에어컨 상태 신호를 입력받아, 상기 기준 아이들 RPM 미만의 경우에는, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여, PWM 신호를 생성하는 스캔모드 제어부를 포함하고, 상기 생성된 PWM 신호를 상기 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가하는 제어기;를 포함하는 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템을 제공한다.

[0012] 또한, 상기 기준 아이들 RPM은 770~800 RPM으로, 초기 기준 아이들 RPM은 790 RPM으로 산정하는 것을 특징으로 하는 한다.

[0013] 또한, 상기 기준 아이들 RPM을 보상하는 아이들 RPM 보상부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 본 발명의 다른 실시예 따르면, 엔진 마운트 시스템의 제어방법에 있어서, 자동차의 에어컨 구동전압에 따른 에어컨 신호, 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따른 기어 위치 신호, 엔진 RPM 및 외부 인터럽트 신호인 CKP 신호를 입력받는 단계와, 상기 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 보다 작은지 여부를 판단하는 단계와, 상기 입력된 RPM이 상기 기준 아이들 RPM 보다 작으면, 상기 CKP 신호와, 상기 기어 위치 신호 및 상기 에어컨 신호를 입력받아, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드를 결정하는 단계와, 상기 스캔모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하고, 생성된 PWM 신호가 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기 기준 아이들 RPM은 770~800 RPM으로, 초기 기준 아이들 RPM은 798 RPM 으로 산정하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 차량 주행거리를 기준으로 "변경 기준 아이들 RPM = 초기 아이들 RPM ±보상 RPM" 이 되게 조정하는 기준 아이들 RPM 보상 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따르면, 최적제어 매개변수에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하고, 생성된 PWM 신호가 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가되어 진동을 효과적으로 저감할 수 있게 한다.

[0018] 이와 같이, 본 발명에 따른 엔진 마운트 시스템에서는 6가지의 차량 운전조건에 따라 능동적으로 제어될 수 있으며, 제어기가 최적 제어인자를 변경하여 상황에 따른 엔진의 진동을 능동적으로 절연할 수 있게 한다. 이를 통해 차량의 연비 및 에너지 사용을 절감을 도모할 수 있고, 엔진 진동 저감을 통한 승차감 및 안정성을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 일반적인 맵방식 오픈루프 제어기의 공압식 능동형 엔진 마운트의 구조의 구조를 나타낸 도면,

도 2는 솔레노이드 밸브의 구조를 나타낸 도면,

도 3은 진공탱크의 구조를 나타낸 도면,

도 4는 일반적인 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템을 나타낸 도면,

도 5는 본 발명에 따른 에어컨 온/오프와 변속기어의 중립(N), 전진(D), 후진(R)에 따른 6가지의 운전조건을 나타낸 도면,

도 6은 본 발명에 따른 솔레노이드 밸브의 제어 및 기준(reference) 신호를 나타낸 그래프,

도 7은 본 발명에 따른 DR 및 dT의 정의를 나타낸 그래프,

도 8은 본 발명에 따른 광역 스캔 알고리즘을 나타낸 순서도,

도 9 및 도 10은 본 발명에 따른, 기어 D단, 에어컨 오프 상태에서 광역스캔 알고리즘의 70가지 제어매개변수(전원인가시점과 듀티율) 모드별 프런트 시트레일 및 조향핸들의 가속도센서 출력의 PSD 실효값을 각각 나타낸 그래프,

도 11 및 도 12는 본 발명에 따른, 기어 D단, 에어컨 온 상태에서 프런트 시트레일과 조향핸들의 가속도센서 출력의 PSD의 실효값을 각각 나타낸 그래프,

도 13은 본 발명에 따른 PAEM 신경망회로 모델을 나타낸 도면,

도 14는 본 발명에 따른 4-90-2 신경망회로의 학습횟수에 따른 MSE를 나타낸 그래프,

도 15는 본 발명에 따른 기어 N, 에어컨 오프 상태에서의 프런트 시트레일에서의 시험 데이터를 등고선(Contour)으로 나타낸 그래프,

도 16은 도 15의 본 발명에 따른 전원인가시점과 듀티율을 정밀스캔의 경우보다 4배 세분화하여 기학습된 신경망회로에 입력하여 구한 시뮬레이션 결과 그래프,

도 17은 본 발명에 따른 기어 N, 에어컨 오프 상태에서의 조향핸들의 시험데이터 바탕의 그래프,

도 18은 도 17의 본 발명에 따른 기어 N, 에어컨 오프 상태에서의 조향핸들의 세분화한 입력데이터에 의한 PAEM 신경망회로 모델의 시뮬레이션 결과 그래프,

도 19는 본 발명에 따른 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템(PAEM)의 제어기를 나타낸 기능 블럭도,

도 20은 본 발명에 따른 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템의 제어과정을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명은 공압식 능동형 엔진 마운트의 모델과 이론적 해석을 거쳐 찾은 최적 제어인자를 가지고 실차시험에 적용될 스캔 알고리즘을 구성하며, 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 상세히 설명한다.

[0021] 본 발명에서는, 디젤 VGT(Variable Geometry Turbocharger) 차량의 서브프레임과 엔진 사이에 PAEM을 장착하여 공회전(idle) 상태에서 시험하였다. 가속도 센서들은 프런트 시트레일(front seat rail)과 조향핸들(steering wheel)에 각각 장착하였다. 변속기 기어의 위치와 에어컨 on/off의 여러 조건에서, 솔레노이드 밸브의 구동신호인 PWM 신호의 전원인가시점(turn-on timing of a period, %)과 듀티율(duty ratio, %)을 변화시키며, 가속도 센서를 LMS 테스트 랩으로 계측하였다.

[0022] 운전조건은 에어컨 on/off와 변속기어의 중립(N), 전진(D), 후진(R)에 따른 6가지(도 5 참조)로서, 에어컨 구동 전압과 변속 시프트 위치센서의 출력값이 ECU에서 입력된다. 운전 조건별 최적의 제어매개변수, 즉 PWM 펄스신호의 전원인가시점과 듀티율을 추정하기 위해 전원인가시점과 듀티율을 변화시키면서 진동 가속도를 측정하는 스캔 알고리즘(scan algorithm)을 구성하여 ECU 마이크로컨트롤러에 내장하였다. ECU의 PWM 출력신호는 크랭크축 위치(CKP: Crank Shaft Position)센서의 임펄스 신호를 ECU에서 외부 인터럽트(interrupt)로 받아들여 펄스신호를 실시간으로 생성한다(도 6 참조). CKP 임펄스 신호는 크랭크 축마다 발생하여 크랭크축 1회전당, 차량의 연료분사 타이밍과 관련되어 빠진 2개 신호(missing tooth)를 제외하고, 총 58개 발생한다. PWM 신호에 의해 솔레노이드밸브가 온/오프 작동하면 엔진 마운트의 공기실은 대기압 또는 진공압과 교차 연결되어 마운트의 동강성을 낮춤으로써 엔진에서의 전달력을 감쇠시키는 작용을 한다.

[0023] 실차 시험에서 가속도 센서를 이용하여 획득한 시간계 데이터들을 매트랩(Matlab)을 이용하여 주파수계 파워스펙트럼 밀도(PSD: Power Spectral Density)로 변환하였으며, 수식은 수학식 1과 같다. 파워 스펙트럼 밀도는 정상 랜덤 신호(stationary random signal)에서 자기 스펙트럼 밀도(auto spectral density)와 같은 의미로 사용되며, 주파수에 대한 스펙트럼의 변화율을 나타낸다. 따라서, 전주파수 대역에서의 적분은 시간 영역신호의 평균 제곱값에 해당한다.

수학식 1

$$S_{xx}(f) = \lim_{T \to \infty} \frac{E \mid X_T(f) \mid^2}{T}$$

[0024]

[0025] 여기에서, $S_{xx}(f)$는 자기 스펙트럼 밀도 함수, E는 평균값, T는 시간, $X_T(f)$는 시간영역 신호를 각각 의미한다. 그리고, 각 실험조건에서의 결과를 상대 비교하기 위해 PSD 데이터의 실효값(RMS: Root Means Square)을 계산하였다.

[0026] 도 5의 각 운전조건에서 최적 제어매개변수를 찾기 위해 광역스캔 알고리즘으로 시험하였다. 도 7에 정의된 광역스캔 알고리즘은, 시뮬레이션에서의 가진 신호인 변위 신호 주파수는 일반적인 엔진 공회전 속도인 20~50 Hz를 기준으로 하며, 전원인가시점(dT= Time on)을 진동 한주기의 0%~90%(0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%)의 10가지로 나누고, 듀티율(DR)을 20%~80%(20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%)의 7가지 종류로 나누어 총 70가지 경우(모드)의 PWM 신호를 발생시키는 알고리즘이다(도 8 참조)

[0027] 도 8을 참조하여, 광역 스캔 알고리즘의 순서도를 정리하면 다음과 같다.

[0028] 먼저, 에어컨(On, Off)신호, CKP 신호, 기어 위치 신호를 제어기에서 수신하여 모드를 결정한다.

[0029] 이후, 광역 스캔 알고리즘의 실험 1번의 전원인가 시점과 듀티율을 적용하여 265주기의 PWM 신호를 생성한다.

[0030] 이후, PWM 신호에 따라 솔레노이드 밸브가 작동한다.

[0031] 이후, 실험 번호를 1씩 증가시키면서 전술한 PWM 신호 생성과 생성된 PWM 신호에 따른 솔레노이드 밸브의 작동을 반복한다.

[0032] 이후, 실험번호 70번까지 시행하면 실험을 중단한다.

[0033] 도 9 및 도 10은 시험결과의 사례로서, 기어 D단, 에어컨 오프 상태에서 광역스캔 알고리즘의 70가지 제어매개변수(전원인가시점과 듀티율) 모드별 프런트 시트레일과 조향핸들의 가속도센서 출력의 PSD 실효값을 각각 나타낸 것이다.

[0034] 광역스캔 알고리즘 적용 시험결과를 바탕으로 진동 저감율이 좋은 11개 제어매개변수 모드를 선정하였다. 그리고 각 모드별 전원인가시점과 듀티율을 CKP 임펄스 주기(크랭크축 각도) 단위로 세분화하여 99개의 제어매개변수 모드의 정밀스캔 알고리즘을 구성하여 시험하였다. 시험을 통하여 각 공회전 모드에서의 진동 저감율이 가장 좋은 최적 제어매개변수를 찾을 수 있었다. 도 11 및 도 12는 기어 D단, 에어컨 온 상태에서 프런트 시트레일과 조향핸들의 가속도센서 출력의 PSD의 실효값을 각각 도시한 것이다. 도 11 및 도 12의 그래프에서 가장 오른쪽의 체크무늬 막대는 솔레노이드 밸브를 작동시키지 않은 상태에서의 시험결과이다. 도 11은 프런트 시트레일의 경우 시험모드 17번에서 솔레노이드 밸브를 작동하지 않았을 때보다 약 25% 정도 진동저감 효과가 있었으며, 도 12의 조향핸들의 경우 시험모드 67번에서 솔레노이드 밸브를 작동하지 않았을 때 보다 약 60% 이상의 진동저감효과가 있음을 보여준다.

[0035] 표 1 및 표2는 이상의 시험을 통해 6가지 운전조건에서 PAEM의 진동저감 효과가 가장 우수한 최적의 매개변수를 각각 요약한 결과이다. 각각, 표 1은 스캔 테스트에서 얻은 프런트 시트레일의 최적 제어매개변수를 나타낸 것이고, 표 2는 스캔 테스트에서 얻은 조향핸들의 최적 제어매개변수를 나타낸 것이다.

표 1

[0036]

AC (On, Off)	기어	듀티율(%)	전원인가 시점(%)	PSD 실효값	PSD 실효값 (Sol-valve off)
AC/On	D	70	66.7	17.5	23.9
	N	76.7	60	7.4	12.7
	R	80	60	12.6	18.8
AC/Off	D	70	53.3	12.2	21.3
	N	66.7	53.3	5.8	9.2
	R	63.3	53.3	9.9	16.8

표 2

[0037]

AC (On, Off)	기어	듀티율(%)	전원인가 시점(%)	PSD 실효값	PSD 실효값 (Sol-valve off)
AC/On	D	66.7	53.3	3424	9335
	N	70	66.7	980	3368
	R	66.7	53.3	2711	4168
AC/Off	D	70	66.7	1526	6846
	N	76.7	73.3	1089	1986
	R	70	66.7	1030	3498

[0038] 신경망 회로를 이용한 시스템 식별은 1980년대 이후 비선형 시스템의 모형화 및 재현에 만족할만한 성과를 거두었다. 본 발명에서는 PAEM 시스템 식별을 위해 다층 신경망회로의 지도학습법을 사용하였다. 학습 알고리즘으로는 배치(batch) 학습으로서 수렴속도가 빠르고 안정성이 높은 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 적용하였다.

[0039] PAEM 신경망회로 모델의 입력 데이터는 전술한 실차시험에서 설명한 변속기어 위치, 에어컨 온/오프, 솔레노이드 밸브의 PWM 신호의 전원인가시점과 듀티율의 4가지이다. 지도학습을 위한 목표값은 각 시험모드별 획득한 조향핸들과 프런트시트레일의 가속도센서 출력의 PSD의 실효값이다.

[0040] PAEM 신경망회로 모델은 도 13에서 보듯이, 4개의 입력을 가진 하나의 입력층과 다수(N개)의 노드를 가진 하나의 은닉층 그리고 2개의 출력을 가진 출력층으로 구성되는 4-N-2 네트워크 구조이며, 수학식2 내지 수학식5와 같이 표현된다.

수학식 2

[0041]

$$s_1 = W_1 \cdot u - b1$$

수학식 3

[0042]

$$y1 = f1(s1) = f1(W1 \cdot u - b1)$$

수학식 4

[0043]

$$s2 = W2 \cdot y1 - b2$$

수학식 5

[0044] $$y2 = f2(s2) = f2(W \cdot f1(W1 \cdot u - b1) + b2)$$

[0045] 여기서, u는 입력벡터이며, W1, W2는 각각 입력층과 은닉층의 가중치 벡터이다. 그리고, y1은 은닉층의 출력벡터, y2는 조향핸들과 프런트 시트레일에서 측정된 센서 데이터의 PSD 실효값을 포함하는 출력벡터를 나타낸다. b1, b2는 각각 입력층과 은닉층의 바이어스벡터이다. 은닉층의 활성화함수는 수학식 6의 하이퍼볼릭 탄젠트 시그모이드(hyperbolic tangent sigmoid) 함수를, 출력층의 활성화함수는 수학식 7의 선형함수를 사용하였다.

수학식 6

[0046] $$f(x) = \frac{\exp^{x} - \exp^{-x}}{\exp^{x} + \exp^{-x}}$$

수학식 7

[0047] $$f(x) = x$$

[0048] 은닉층 뉴런의 수는 평균제곱오차(MSE: Mean Squared Error)와 소요시간을 고려하여 다음과 같이 선택하였다.

[0049] 평균제곱오차는 모델 적합도를 보여주기 위한 것으로 수학식 8과 같이 정의된다.

수학식 8

[0050] $$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\exp_i - pre_i)^2}{n}$$

[0051] 여기서, n은 데이터의 수이며, exp i는 실험 데이터, pre i는 예측 데이터이다. MSE는 0에 가까울수록 모델의 적합도는 증가한다.

[0052] 표 3은 은닉층의 뉴런의 수를 10개부터 100개까지 10개씩 증가시키며 신경망 모델을 구성하여 시뮬레이션하였을 때 조향핸들의 신경망 출력데이터의 성능지표 분석을 나타낸 것이다.

표 3

[0053]

지표	MSE	CPU 시간(s)	최대학습횟수
4-10-2	0.0244	26	500
4-20-2	0.0151	47	500
4-30-2	0.0136	76	500
4-40-2	0.0113	125	500
4-50-2	0.0103	142	500
4-60-2	0.00999	75	203
4-70-2	0.00998	34	81
4-80-2	0.00999	31	47
4-90-2	0.00996	22	28
4-100-2	0.00998	23	24

[0054] 최대학습횟수(epoch)는 500, 목표오차는 0.01이었다. 표 3에서 은닉층의 뉴런의 수가 60개까지 증가할수록 MSE가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고, 은닉층의 뉴런의 수가 60개 이상에서는 학습소요시간(CPU time)이 감소하였다. 이는 최대학습횟수 이전에 MSE의 목표오차에 도달하였기 때문이다. 그리고, 은닉층의 뉴런의 수가 100개일 경우의 학습소요시간이 뉴런수가 90개일 경우보다 늘어난 것은 학습횟수는 감소하였으나 회당 학습시간이 증가하였기 때문이다. 본 발명에서는 4-90-2 신경망 네트워크를 사용하였다. 도 14는 4-90-2 신경망회로의 학습횟수에 따른 MSE를 보여준다. 도 14를 참조하면, Levenberg-Marquardt 알고리즘의 신경망회로 학습을 통해 PAEM 시스템 모델링이 신속히 이루어짐을 알 수 있다.

[0055] 상기한 바와 같이, 크랭크축 각도 단위의 CKP 임펄스 주기를 기반으로 한 실험 데이터를 바탕으로 PAEM 시스템의 성능을 신경망회로로 학습하였다. 도 15는 기어 N, 에어컨 오프 상태에서의 프런트 시트레일에서의 시험 데이터를 등고선(Contour) 그래프로 나타낸 것으로서, PWM 전원인가시점과 듀티율 대비 PSD 실효값을 표시한 것이다. 도 15에서 최적점은 표 1에 나타낸 바와 같이, 전원인가시점 53.3%, 듀티율 66.7%에 위치한다. 그리고, 도 16은 전원인가시점과 듀티율을 정밀스캔의 경우보다 4배 세분화하여, 기학습된 신경망회로에 입력하여 구한 시뮬레이션 결과 그래프이다. 도 16에서 최적점은 전원인가시점 52.5%, 듀티율 65.9%에 위치하였다.

[0056] 기어 N, 에어컨 오프 상태에서의 조향핸들의 경우 프런트 시트레일의 경우와 유사하게 도 17 및 도 18의 결과를 얻을 수 있다. 도 17은 시험데이터 바탕의 그래프이며, 도 18은 세분화한 입력데이터에 의한 PAEM 신경망회로 모델의 시뮬레이션 결과 그래프이다. 스캔시험 데이터에 의한 도 17의 최적점은 전원인가시점 73.3%, 듀티율 76.7%이며, 신경망 회로에 의한 도 18의 최적점은 74.21%, 듀티율 75.8% 이었다.

[0057] 표 4 및 표 5는 6가지 운전조건에서 프런트 시트레일과 조향핸들에 대해 각각 학습된 PAEM 신경망회로 시뮬레이션으로 구한 최적 제어매개 변수값을 정리한 표이다.

표 4

[0058]

AC (On, Off)	기어	듀티율(%)	전원인가 시점(%)	PSD 실효값
AC/On	D	70.8	65.8	16.9
	N	75.8	60.8	7.0
	R	80.8	58.2	12.1
AC/Off	D	71.7	54.2	11.7
	N	65.9	52.5	5.3
	R	64.1	54.1	8.7

표 5

[0059]

AC (On, Off)	기어	듀티율(%)	전원인가 시점(%)	PSD 실효값
AC/On	D	65.8	52.5	3024
	N	69.2	66.7	939
	R	68.4	54.1	2680
AC/Off	D	71.7	66.7	1501
	N	75.8	74.2	1029
	R	70.8	67.5	987

[0060] 프런트 시트레일의 경우인 표1 및 표4, 그리고 조향핸들의 경우 표2 및 표5를 서로 비교해 보면, 표1 및 표2의 스캔시험 결과에 비해 표4 및 표5의 신경망회로의 PSD 실효값이 6.7~9.9% 감소한 것을 알 수 있다.

[0061] 본 발명에서 제시한 신경망회로를 이용한 실험적 시스템식별 기법에 의해 PAEM의 진동저감 효과를 극대화할 수 있는 최적의 매개변수를 구할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0062] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명은 엔진의 6가지 운전 조건에 대한 공압식 엔진 마운트의 절연 성능을 모두 시험해 보고, 이론적 해석과 비교분석과정을 거친 후, PAEM 시스템의 오픈루프 제어매개변수인 공압솔레노이드 밸브 PWM 신호의 듀티율과 전원인가시점의 최적값을 살펴보았으며, 이에 따른 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 PAEM 시스템의 제어기를 설계한다.

[0063] 도 19는 본 발명에 따른 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템(PAEM)의 제어기를 나타낸 기능 블럭도이다.

[0064] 도 19를 참조하면, 본 발명에 따른 PAEM 제어기(100)는 제어 대상인 자동차의 에어컨 구동전압을 입력받아 에어컨의 온/오프 여부를 판별하는 에어컨 상태 판별부와(110), 입력된 변속 시프트 위치센서의 출력값에 따라 기어의 N, D, R 상태를 판별하는 기어 상태 판별부(120)와, 엔진의 분당 회전수인 RPM을 입력받는 RPM 입력부(130)를 구비한다. 여기서, RPM 입력부(130)는 입력된 RPM이 미리 설정된 기준 아이들(idle) RPM 미만 여부를 판단하여 기준 아이들 RPM 미만일 경우에만 후술하는 스캔모드 제어부가 작동하게 한다. 이때, 초기 기준 아이들 RPM은 770~800 RPM으로 산정한다. 특히, 표 1 및 표 2의 광역스캔 알고리즘의 시험결과 6가지 운전조건과, 표 4 및 표 5의 PAEM 신경망회로 시뮬레이션 결과 6가지 운전조건은 790 RPM 이하(아이들)를 초기 기준 아이들 RPM으로 하여 시험한 결과이다.

[0065] 또한, 엔진 노후화에 따른 공회전 모드인 기준 아이들 RPM이 변화할 수 있으므로 이를 보상하는 아이들 RPM 보상부(미도시)을 구비하여 RPM 입력부(130)에 피드백되게 구비한다. 상기 아이들 RPM 보상부에서 기준 아이들 RPM의 보상 기준으로는 차량의 주행거리를 기준으로 하는 것이 바람직하다. 가령, 보상적용 주행거리가 10,000km라 할 때, 30000km까지는 큰 변화가 없으므로 이를 기준으로 40,000km, 50,000km,.....100,000 등, 10,000km 배수의 주행거리에 따른 보상 RPM을 가감하여, "변경 기준 아이들 RPM = 초기 아이들 RPM ±보상 RPM"이 되게 된다. 이를 통해, 차량 노후화되더라도 기준 아이들 RPM을 보상하여 엔진마운트 제어 성능의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

[0066] 또한, 외부 인터럽트(external interrrupt)신호인 CKP 신호, 상기 기어 상태 판별부(120)에 따른 기어 상태 신호 및 상기 에어컨 상태 판별부(110)에 따른 에어컨 상태 신호를 입력받아, 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여, PWM 신호를 생성하는 스캔모드 제어부(140)를 구비한다.

[0067] 여기서, 스캔 모드 제어부(140)는 전술한 표 1 및 표 2의 광역스캔 알고리즘의 시험결과 6가지 운전조건과, 표 4 및 표 5의 PAEM 신경망회로 시뮬레이션 결과 6가지 운전조건, 각각에서 PAEM의 진동저감 효과가 가장 우수한 최적의 제어매개변수를 각각 요약한 결과를 반영한 것이다. 가령, 어떤 미지의 시스템에 대하여 이미 알고 있는 입력을 적용하고 이에 대한 시스템의 응답, 즉 출력을 측정한 뒤 이 입력과 출력을 이용하여 역해석 방법으로 그 미지 시스템에서 우리가 필요로 하는 특성을 찾아내는 것이다. 이에 따라, 상기 표 1, 표 2, 표4 및 표 5를 통해 시험된 결과를 적용하여, 6가지 운전조건의 각 스캔 모드에 따른 전원인가시점과 듀티율을 적용한 PWM 신호를 생성하고, 이를 솔레노이드 밸브(150)의 구동을 위한 제어신호로 인가하여 진동을 효과적으로 저감할 수 있다.

[0068] 여기서, 표 1 및 표 2의 스캔시험 결과에 비해 표 4 및 표5의 신경망회로의 PSD 실효값이 적으므로, 신경망회로의 최적제어 매개변수를 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한, 프런트 시트레일을 기준으로 한 신경망 모델의 결과 데이터가 조향핸들을 기준으로 한 신경망 모델의 결과 데이터보다 오차가 작다. 이는 조향핸들의 실험데이터의 편차가 커서 데이터가 너무 낮거나 너무 높은 변동이 있는 실험 데이터 구간에서는 잘못된 모델링 데이터를 도출할 우려가 있으므로, 프런트 시트레일을 기준으로 한 최적제어 매개변수를 활용하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 본 발명에 따른 PAEM 제어기의 스캔 모드 제어부(140)는 표 4에 따른 프런트 시트레일을 기준으로 한 신경망 모델의 최적제어 매개변수를 활용한다.

[0069] 또한, 표 4에서는 듀티율과 전원인가시점의 최적값만 예시하고 있으므로, 통상적으로 결과의 신뢰도를 해치지 않는 범위라 할 수 있는, 최대 5% 범위 이내(±2.5%)로 최적제어 매개변수의 값을 산정하는 것이 바람직하다. 이에 따라 5% 오차 범위 내로 산정한 최적제어 매개변수 범위를 나타내는 표 6은 다음과 같다.

표 6

[0070]

AC (On, Off)	기어	듀티율(%)	전원인가 시점(%)
AC/On	D	68.3~73.3	63.3~68.3
	N	73.3~78.3	58.3~63.3
	R	78.3~83.3	55.7~60.7
AC/Off	D	69.2~74.2	51.7~56.7
	N	63.4~68.4	50~55
	R	61.6~66.6	51.6~56.6

[0071] 따라서, 제어기(100)는 신호가 입력되면 각각 에어컨 상태 판별부(120) 및 기어 상태 판별부(110)에서 에어컨의 온/오프 및 기어 상태를 판별하여, 표 6의 6가지 운전조건 중 어디에 해당되는지 스캔 모드를 결정하게 되고, 스캔 모드가 결정되면 CKP 신호를 기준으로 한주기 동안의 최적제어 매개변수 범위의 전원인가시점 및 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하고, 생성된 PWM 신호를 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가하여 공압식 엔진 마운트의 진동을 저감할 수 있게 한다. 또한, 상기 표 6의 최적제어 매개변수 범위는 6가지 운전조건과 솔레노이드 제어인자인 전원인가시점과 듀티율로 구성이 되며, 엔진 마운트의 공압을 제어할 제어기에 저장이 된다.

[0072] 가령, 스캔 모드가 에어컨 온, 기어 D단 일 경우에는, 듀티율 68.3%~73.3%, 전원인가시점 63.3%~68.3%의 최적제어 매개변수 범위의 PWM 신호를 인가하여 솔레노이드 밸브를 제어한다. 이처럼, 공압식 엔진 마운트의 공기실 부압은 솔레노이드 밸브에 의해 상기 최적제어 매개변수 범위의 듀티율(duty ratio)과 전원인가시점으로 제어된다.

[0073] 여기서, 에어컨 온/오프는 에어컨 구동전압 신호 입력에 의해, 기어(중립(N), 전진(D), 후진(R))는 위치센서의 출력값을 수신하여 6가지 공회전 모드를 제어기가 분별한다. 이때, 자동차의 진동에 영향을 미치는 기어(N, D, R), 에어컨 온/오프, 신호가 입력되면, 입력 데이터는 제어기에 내장된 12 비트(bit) 아날로그 디지털 변환기(ADC: Analog to digital Converter)로 이산화하여 전송된다.

[0074] 도 20은 본 발명에 따른 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템의 제어과정을 나타낸 순서도이다.

[0075] 도 20을 참조하면, 본 발명에 따른 제어기는, 자동차의 에어컨 구동전압에 따른 에어컨 신호, 변속 시프트 위치 센서의 출력값에 따른 기어 위치 신호, 엔진 RPM, CKP 신호를 입력받는다(S110).

[0076] 이후, 입력된 RPM이 미리 설정된 기준 아이들(idle) RPM 보다 작은지 여부를 판단한다. 이 때, 기준 아이들 RPM으로 차량의 비주행시 공회전 모드인 770~800 RPM으로, 초기 기준 아이들 RPM은 790 RPM 으로 산정한다. 이에 따라, 입력된 RPM이 기준 아이들 RPM 미만일 경우에만 후술하는 스캔 모드 제어 과정이 수행될 수 있다. 또한, 엔진 노후화에 따른 공회전 모드인 기준 아이들 RPM이 변화할 수 있으므로 아이들 RPM 보상부를 통해 "변경 기준 아이들 RPM = 초기 아이들 RPM ±보상 RPM" 이 되게 조정될 수 있으며, 이는 엔진 마운트 제어 성능의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

[0077] 이후, 외부 인터럽트(external interrrupt)신호인 CKP 신호와, 기어 상태 신호 및 에어컨 상태 신호를 입력받아 상기 기어 및 에어컨 상태에 맞는 스캔 모드를 결정하고(S130), 결정된 스캔모드에 따라 산정된 전원인가시점과 듀티율을 적용하여 PWM 신호를 생성하여(S140), 생성된 PWM 신호가 솔레노이드 밸브의 구동을 위한 제어신호로 인가되어 진동을 효과적으로 저감할 수 있게 한다.

부호의 설명

[0078] 100: 제어기

110: 기어 상태 판별부

120: 에어컨 상태 판별부

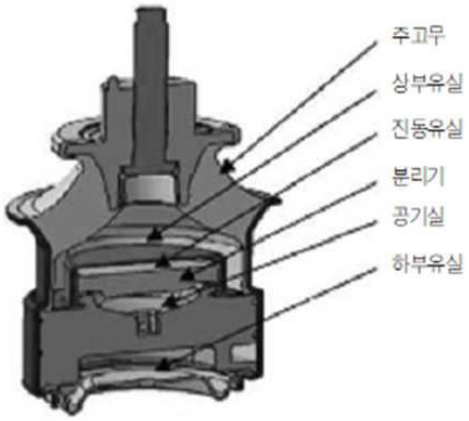
130: RPM 입력부

140: 스캔 모드 제어부

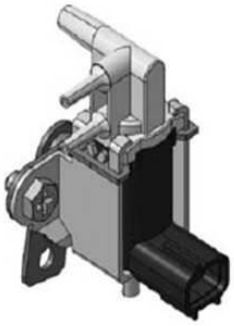
150: 솔레노이드 밸브

도면

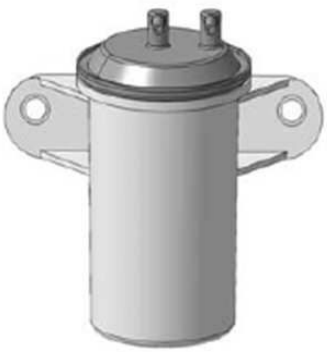
도면1



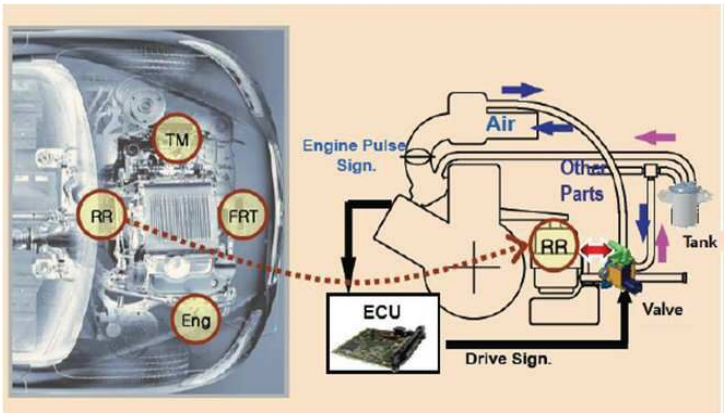
도면2



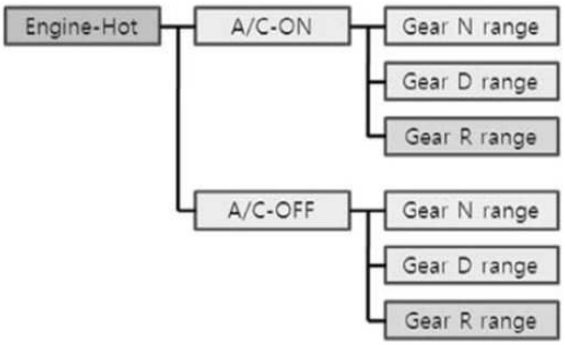
도면3



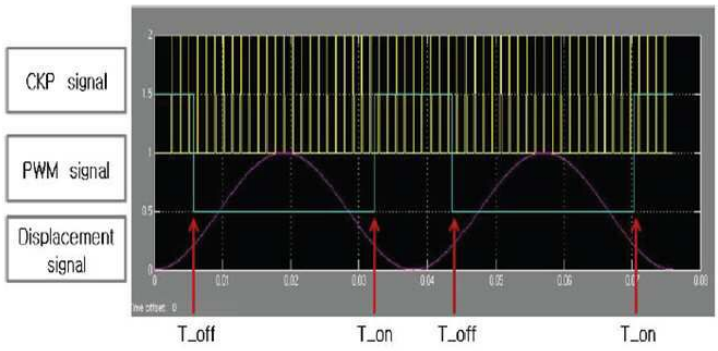
도면4


TM
RR
FRT
Eng
Engine Pulse Sign.
Air
Other Parts
RR
Tank
ECU
Valve
Drive Sign.

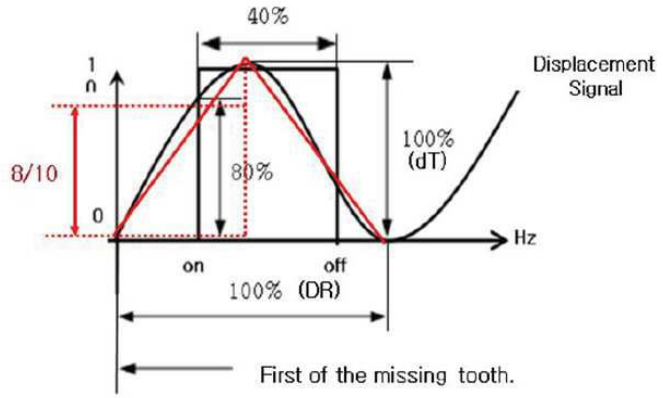
도면5


Engine-Hot
A/C-ON
Gear N range
Gear D range
Gear R range
A/C-OFF
Gear N range
Gear D range
Gear R range

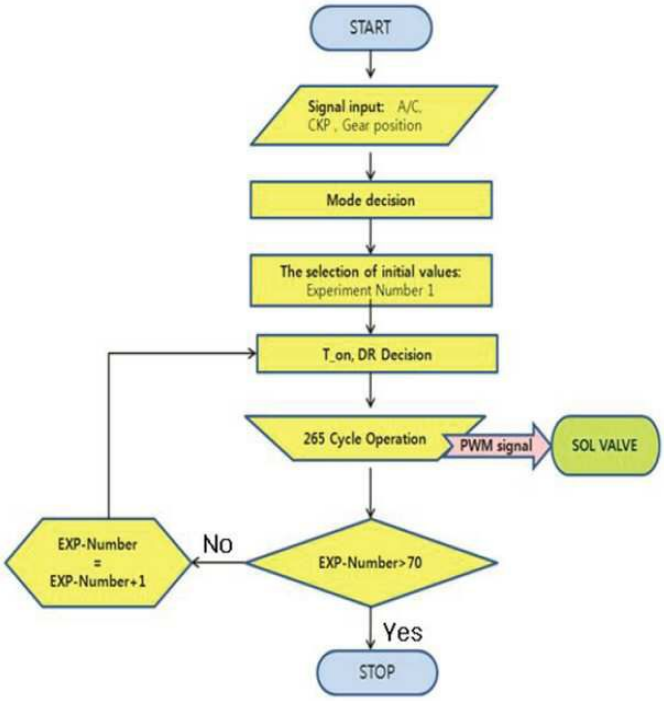
도면6


CKP signal
PWM signal
Displacement signal
T_off
T_on
T_off
T_on

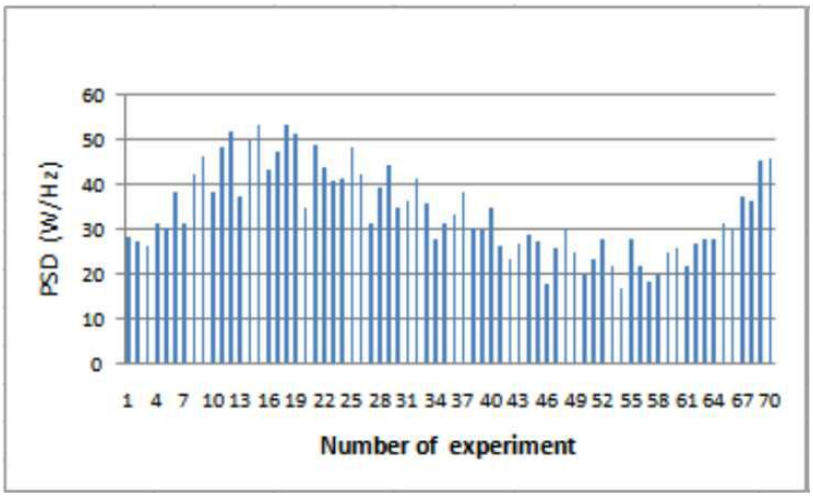
도면7


40%
1
0
Displacement
Signal
100%
(dT)
8/10
80%
0
Hz
on
off
100% (DR)
First of the missing tooth.

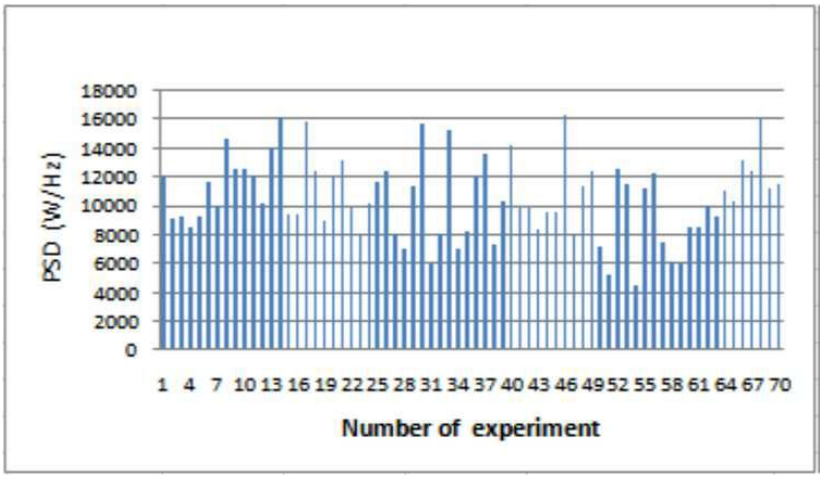
도면8


START
Signal input: A/C.
CKP , Gear position
Mode decision
The selection of initial values:
Experiment Number 1
T_on, DR Decision
265 Cycle Operation
PWM signal
SOL VALVE
EXP-Number
=
EXP-Number+1
No
EXP-Number>70
Yes
STOP

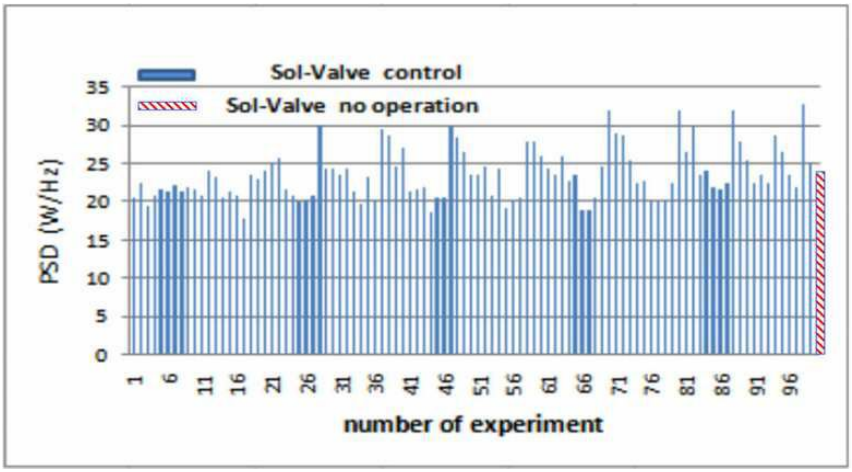
도면9



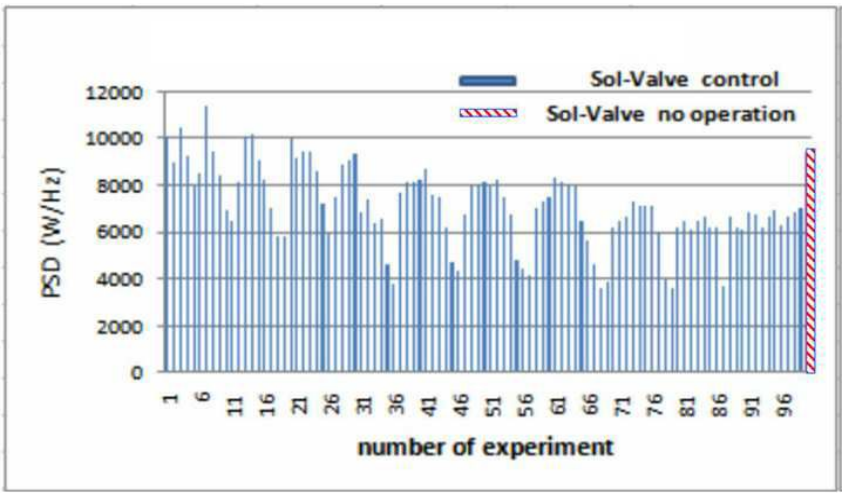
도면10



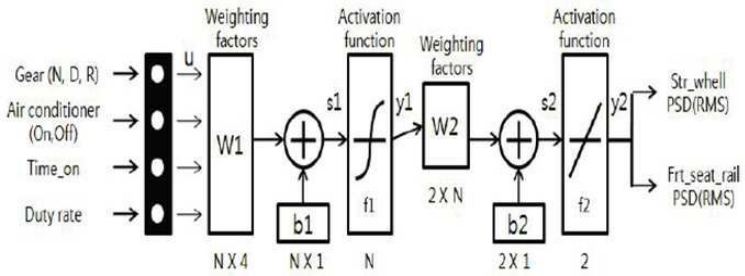
도면11



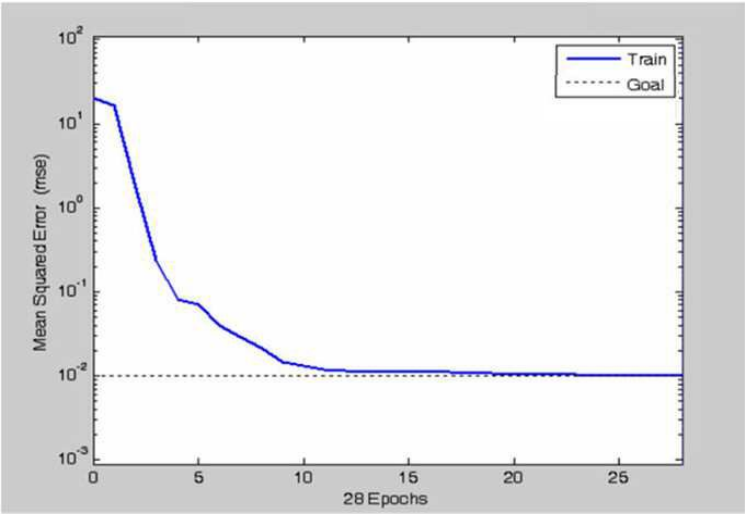
도면12



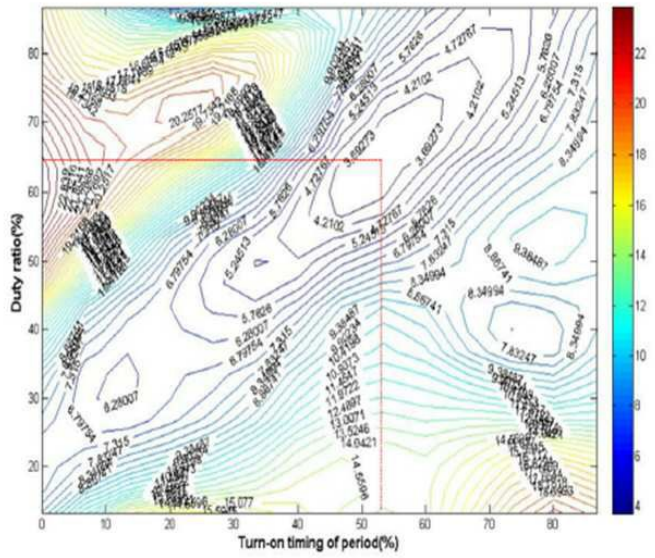
도면13



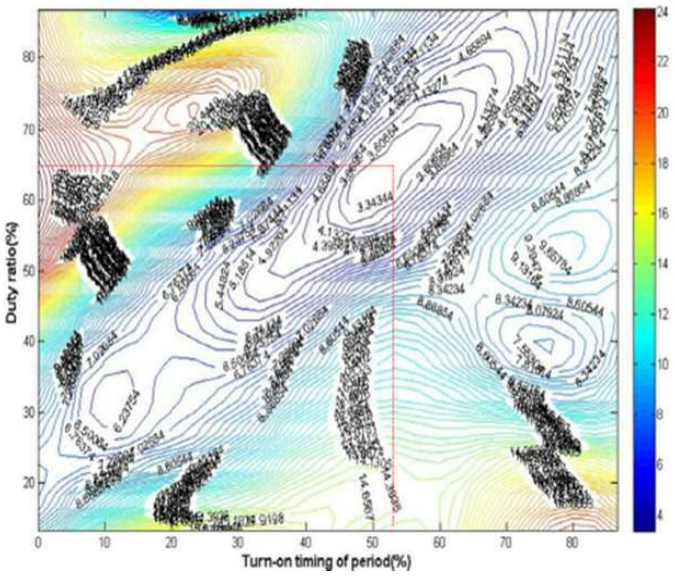
도면14



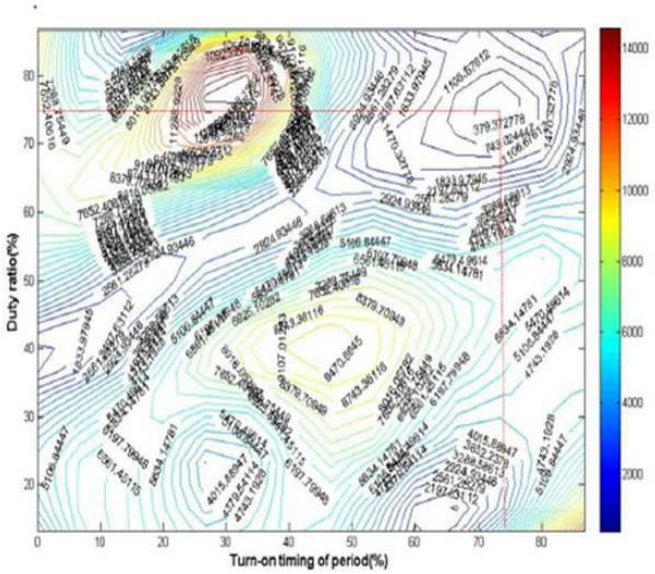
도면15


Duty ratio(%)
Turn-on timing of period(%)

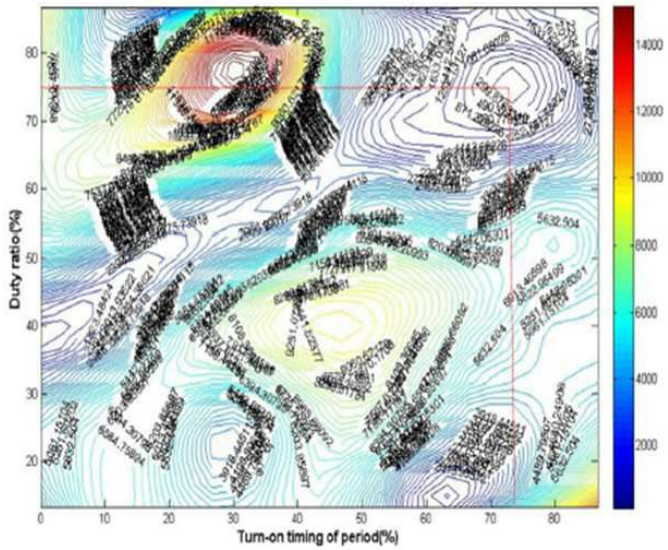
도면16


Duty ratio(%)
Turn-on timing of period(%)

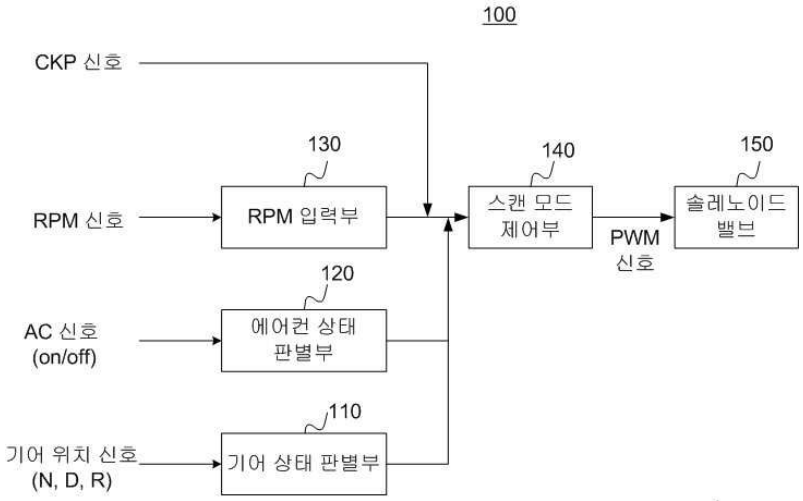
도면17


Duty ratio(%)
Turn-on timing of period(%)
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000

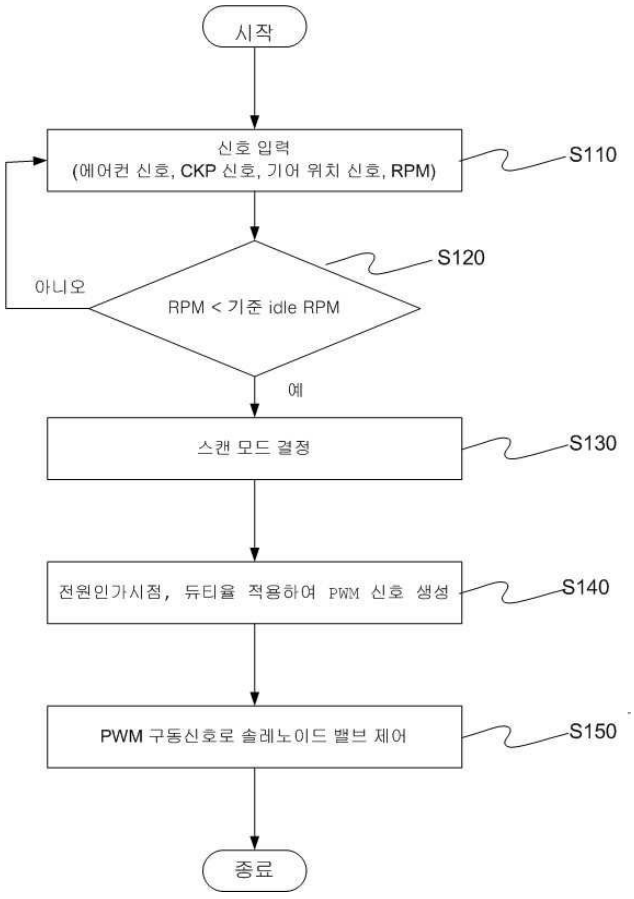
도면18


Duty ratio (%)
Turn-on timing of period(%)
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000

도면19


100
CKP 신호
130
RPM 신호
RPM 입력부
140
스캔 모드
제어부
150
솔레노이드
밸브
PWM
신호
120
AC 신호
(on/off)
에어컨 상태
판별부
110
기어 위치 신호
(N, D, R)
기어 상태 판별부

도면20


시작
신호 입력
(에어컨 신호, CKP 신호, 기어 위치 신호, RPM)
S110
S120
아니오
RPM < 기준 idle RPM
예
스캔 모드 결정
S130
전원인가시점, 듀티율 적용하여 PWM 신호 생성
S140
PWM 구동신호로 솔레노이드 밸브 제어
S150
종료