

## 공회전속도 조절용 스텝모터가 AT차량의 급발진 현상에 미치는 영향

김종일\* · 차정연\*\* · 손정배\*\*

### Some Effects on AT Vehicle's Sudden Acceleration due to Stepping Motor for Compensation of Idle Speed

Kim Jong-il, Cha Jeong-yeun, Son Jeong-bae

**Key Words:** Stpping Motor(스텝모터), Sudden Acceleration(급발진), ISC(Idle Speed Controller), AT Vehicle(자동변속 차량), SI engine(불꽃점화엔진).

#### Abstract

This study is carried out to make clear the reason of occurrence of sudden acceleration incident of AT vehicle. The stepping motor is used to control the engine speed at idle by compensating the volume of air. By the way it's valve is contaminated by blow-by gas, deposit and back fire etc. This contamination could occur the load of motor at low temperature. This plays an important role in damaging the motor's coil with the motor's performance interfered. If it's coil is damaged, the ISC could malfunction. If these phenomena occur, the speed of engine may increase or the engine may stall with hunting.

#### 1. 서 론

자동차 수요의 증가와 함께 연비는 수동변속기에 비해 우수하지는 않지만 운전의 편의성을 도모해 주는 자동변속기를 장착한 차량의 비율은 점점 높아져 가고 있는 실정이다. 그런데 운전을 더 편안하게 해 주어야 할 자동변속기 차량이 운전자의 의지와는 상관없이 튀어 나가 사고를 일으키게 하는 이른바 급발진현상으로 인해 자동변속기를 운전하는 사람들은 물론 자동차 근처를 지나가는 사람들의 공포의 대상이 되어 가고 있다.

이미 일본에서는 자동변속기 차량이 널리 보급되었는데 1987년부터 급발진, 급가속 사고가 원 인불명 상태로 증가하여 커다란 사회문제로 대두

되어 사고사례가 급증하였다. 이에 일본 운수성에서는 일본 자동차 제조회사와 일본자동차 공업회에 원인 규명을 위한 조사와 대책 마련을 위해 1987년 6월 이후의 1167건의 자동변속기 차량의 사고원인 규명을 위해 2년 반에 걸쳐 연구를 한 바 있다.

미국 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)에서는 자동변속기 차량의 급발진 사고 사례를 "변속레버를 P위치에서 R나 D로 이동시키는 순간 급발진하며 브레이크 작동도 안되어 충돌을 일으킴"으로 규정하고 1987년 10월 TSC(Transportation Systems Center)에 사회의 화제거리로 등장한 AT차량의 사고를 조사하도록 요청하였다<sup>1)</sup>.

급발진을 일으키게 할 수 있는 원인으로는 엔진제어 시스템, 정속주행장치, 자동변속기, 브레이크 시스템 등의 오동작으로 말할 수 있다. 또한 제조업체가 주장하는 사용자의 운전 미숙의 결과라고 볼 수도 있다.

\* 조선대학교

\*\* 조선대학교 대학원

최근에 설계된 정속주행장치는 Digital Type Cruise Control 부품 중 2개 또는 그 이상이 동시에 고장난 경우 쓰로틀 밸브를 열 수 있다. 그런데 정속주행장치는 한 개 또는 그 이상의 Fail-Safety 기능을 가지고 있어서 언제든지 브레이크 페달을 밟기만 하면 그 기능을 해제해 버리도록 되어 있으며 쓰로틀을 작동시키는 액츄에이터가 쓰로틀밸브를 완전히 열기 위해서는 차종에 따라 차이는 있지만 수초가 소요되고 또 디자인에 따라서는 WOT가 되지 않는 사양도 있다. 하지만 우리 나라에서 현재 판매되고 있는 차종 중에는 정속주행장치를 장착한 차량은 거의 없는 것으로 나타났다.

자동변속기의 고장은 기계적인 고장과 전기, 전자적인 고장으로 구분할 수 있다.

기계적 고장의 대부분은 마모에 의한 고장으로 급격한 조작에 의한 기계적 마모나 장시간 작동으로 인해 수명이 다한 마모, 오일의 수명이 다해서 오는 윤활성능 저하에 의한 마모, 열화에 의한 마모 등이 있는데 이 모든 것들은 고장에 의하여 동력을 전달하지 못하고 변속을 하지 못하게 된다.

전기·전자적 고장은 기어포지션 인디케이터인 인히비트 스위치의 고장, 변속조절 솔레노이드 밸브와 압력조절 솔레노이드 밸브 그리고 댐퍼 클러치 컨트롤 솔레노이드의 고장이 있고 입출력 축의 슬립율과 변속기 회전수를 감지하는 펄스제너레이터의 고장이 있다.

이러한 전자적 고장은 TCU에서 고장을 감지할 수 있으며 고장이 발생한 경우 Fail Safety 기능에 의해 컨트롤러의 프로그램에 따라 특정한 변속단에 고정시키며 고장 메시지 경고등에 의해 운전자에게 인지시도록 설계되어 있다. 즉 정상적인 변속이나 축동력을 전달하지 못하지만 임시로 운행할 수 있다.

자동변속기는 운전자의 조작에 의하여 작동되는 기계제어기구의 하위에 전기, 전자적 요소와 기계요소인면서 전기제어에 종속되어 있다. 변속 레버에 의해 변속기의 전기적 포지셔너인 인히비트 스위치와 유압회로의 최상위에 있는 매뉴얼 밸브를 기계적으로 작동시키며 Parking은 기계적으로 디퍼렌셜의 작동을 잠궤

서 바퀴의 구동을 방지한다. 작동유압은 기어식 유압 펌프에 의해 발생시키며 유압회로의 최상위에 변속레버에 의해 작동되는 매뉴얼 밸브가 변속기 유압회로의 지배적인 작용을 하며 인히비트 스위치에 의해 지시된 기어포지션은 TCU에 전기신호로 입력되어 솔레노이드 밸브를 구동하여 급작스런 동작에 의한 충격완화, 정지상태의 슬립, 주행중 변속패턴의 변환, 쓰로틀 포지셔너 또는 엔진 회전수변화에 의한 변속기 유압회로의 제어를 TCU에 의해 수행하며 이는 매뉴얼 밸브의 작동에 우선할 수 없도록 설계되었다.

따라서 본 연구에서는 운전자의 어떤 조작없이 회전수를 급격하게 상승시키는데 영향을 미칠 수 있는 아이들 회전수 보정장치에 대한 연구 즉 회전수 보정에 직접적인 영향을 미치는 스텝모터<sup>2)</sup>의 고장 상태에 따른 연구를 수행하여 급격하게 회전수가 높아지는 현상과 반대로 나타날 수 있는 엔진 정지 현상에 대한 규명을 해야한다고 사료된다. 실제에 있어서 스텝모터 고장으로 인한 엔진 정지 현상은 보편화된 고장 중의 하나임을 간과해서는 안 될 것으로 판단된다.

## 2. 냉간 시동의 원리와 공회전 보상

### 2.1 냉간 시동시의 연료분사와 공기량 조절

냉간시에는 실린더 내에 압축압력이 충분히 생성되지 못하여(열팽창이 되기 이전이어서 압축력과 실린더벽 사이에 압축공기 누설이 생기며 기동회전수가 빠르지 못하여 급격한 압력 상승에 의한 압축공기의 온도 상승이 미약하여 액적 상태 연료의 기화율이 좋지 않음) 흡기다기관과 실린더벽온이 낮아 연료의 기화량이 적기 때문에 수온센서와 공기온도센서와 흡입공기량 등에 의해 엔진의 온도와 공기온도를 검출하고 컨트롤러에서 연산 후 난기서 분사량 보다 최소 6배 이상의 연료가 분사되어 초기 점화 후 엔진을 고회전으로 유지하여야 실린더 내벽의 온도를 단시간 내에 상승시킬 수 있으므로 공기량보상을 쓰로틀밸브 이외의 공기량 조절밸브를 사용한다.

시동이 걸린 후 엔진 전자제어 시스템은 개방루프모

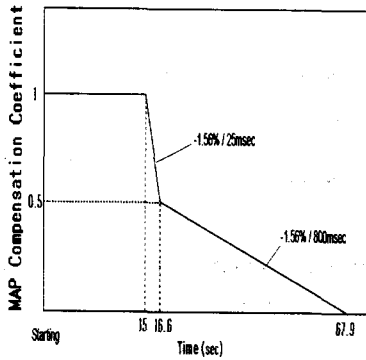


Fig. 1-a Incremental rate of injection with time after starting(standard)

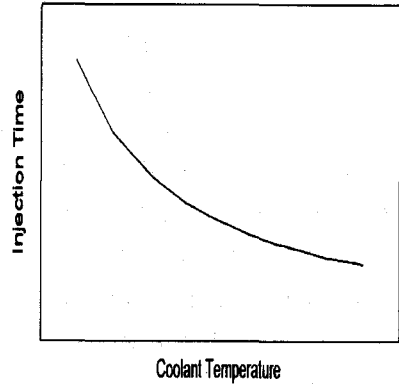


Fig. 1-b Injection Time with Coolant Temperature at Starting

드(open loop mode)로 작동한다.

냉각수의 온도가 올라가고 산소센서의 신호가 반전될 때까지 시스템은 개방루프모드로 동작한다. 이때 연료제어 시스템에 분사되는 인젝터 구동시간 TB(ms)의 계산은 다음과 같다.

$$TB_{\max} = \frac{a \times \gamma_a}{\gamma_f \times (A/F)} \times 10^3 \times \frac{1}{G_i} \quad (1)$$

여기서  $a$ 는 1 stroke 당 흡입공기량 ( $l / \text{str} ; Q_a / (Ne/30)$ )  $Q_a$ 는 단위시간당 흡입공기량 ( $l / \text{sec}$ )  $Ne$ 는: 회전수 (rpm)이다.  $A/F$ 는 공연비(14.7),  $\gamma_a$ 는 공기밀도 ( $1.18g/l$  at  $50^\circ C$ ),  $\gamma_f$ 는 가솔린 밀도 ( $0.74g/cc$ ),  $G_i$ 는 인젝터 gain(mcc/msec)이다.

시동직후 MAP보정계수  $K_{AS}$ 를 이용하여 MAP의 데이터를 설정하는 것으로 시동 후  $K_{AS}$ 는 1부터 0까지 점차로 감소되지만 2단으로 변환한다. 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

시동시 분사시간은 냉각수 온도에 대응해서 결정하고 기준설정 펄스폭은 1흡기당에 필요한 펄스폭으로 한다.

시동시간이 긴 경우 즉 시동시 경과 시간 보정을 하

게 하는데 시동 스위치가 연속해서 15초 이상 작동하여 지속될 경우 보정계수를 0.5로 한다.

## 2.2 냉간시 공회전수 보상

냉간 시동 직후 엔진회전수는 흡기관과 실린더내의 과농한 연료가 급격히 기화하여 공기량 보상장치의 작동으로 요구 회전수 보다 훨씬 높은 회전수를 가지게 되며 회전수 제어와 연료량제어의 피드백 제어에 필수 조건인 산소센서의 출력반전과 수온상승이 되지 않은 상태이므로 순차제어 상태로 임의적으로 공회전속도를 제어하는 상태이다.

## 3. 실험장치와 실험방법

시동직후 높은 엔진회전수를 얻기 위해 첫째, 최초의 폭발행정과 초폭 직후 1초 또는 2초까지와 둘째, 초폭 이후 2초 이후에서 난기운전 종료까지로 구분하여 해석하였다.

첫 번째 단계는 운전자의 엑셀레이터 조작 없이 시동스위치의 조작만으로 크랭킹후 첫 폭발이 일어난 후 기관의 비정상유무와 관계없이 1200에서 1500 RPM 이상의 회전수를 갖는데 냉간 시동 시에는 낮은 압축압력과 분사된 연료의 액막형성과 기화의 부진을 고려하여 연소실내 조건이 연소행정이 일어날 수 있도록 크

랭킹시 과농한 연료 분사를 하는데 이때에 공기량조절 밸브인 아이들 에어 바이패스(Idle Air By-pass)용 스텝모터 밸브가 컨트롤러의 신호에 의해 닫힘작용을 정상적으로 수행하지 못하여 과농한 연료를 충분히 연소시킬 수 있는 공기가 흡입될 때 공 회전수는 3000에서 5000 RPM까지 급격하게 상승하게 된다.

둘째, 급격하게 상승한 엔진회전수는 공기흡입량, 공기온도, 수온센서의 저온감지, RPM신호등이 컨트롤러에 입력신호로 작용하여 연료 분사량의 증량, 점화시기의 제어를 시퀀스제어 할 수 있게 하여 초폭 후 1~2초 이후에도 높은 엔진회전수를 유지 할 수 있도록 제어된다.

위의 두 가지 단계에서 필수적으로 따르는 비정상적인 요소는 공기량 보정을 위한 밸브가 제어해야할 방향을 완벽하게 수행을 하지 못하는 것이다.

공회전 시 흡입 공기량은 스로틀밸브를 우회하는 공기통로에 있는 에어 바이패스 밸브의 작동에 의해 조절된다. 또한 대부분의 자동차에 장착되고 있는 에어 바이패스 밸브는 속도 조절 서보에 있는 스텝 모터(steping motor)의 회전방향에 따라 작동된다.

따라서 본 연구에서는 스텝 모터의 여러 가지 고장을 유형별로 장착하여 각각의 스텝모터에서 나오는 전류, 전압, 저항 등을 측정하였다. 또한 이때에 발생하는 현상을 관찰하여 오실로스코프로 받은 데이터와 비교 분석하였다. 실험장치의 제략도는 Fig. 2와 같고 실험에 사용된 스로틀바디는 Fig. 3과 같다.

엔진은 엔진 다이내모미터, 엔진 다이내모 컨트롤러로 연결되어 있으며 오실로스코프와 분석용 컴퓨터로 데이터를 수집 비교 분석하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 급발진현상 재현을 위한 조건

급발진 재현을 위해서는 엔진온도가 난기 되지 않아야 하며 시동직후에 기어포지션을 R이나 D 포지션으로 변환 시켜야하며 이때의 ISC 모터는 전개상

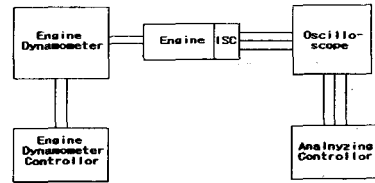


Fig.2 Scheme of experimental apparatus

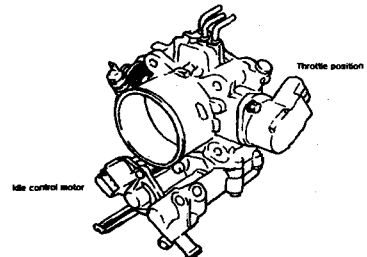


Fig.3-a Configuration of throttle body

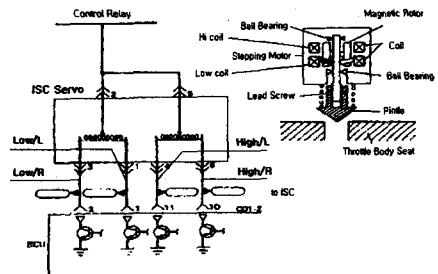


Fig.3-b Circuit and scheme of stepping motor<sup>3)</sup>

Table 1 Type of damaged stepping motor

Step motor type	Coil, Low High, Left Right	Probe position
A	Normal	Hi/R
E	Hi/R	LOW/L
H	Hi/L, R	Low/R

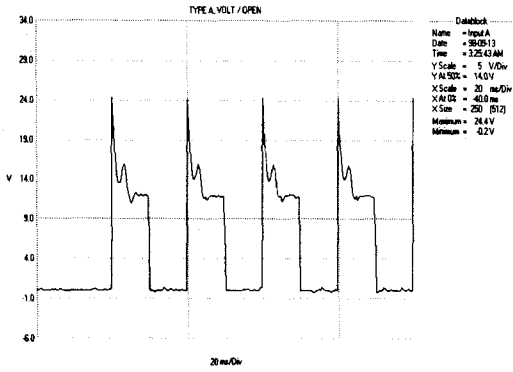


Fig. 4-a Volt wave form of Type A at open

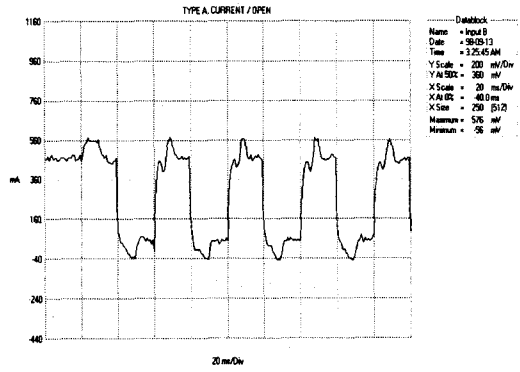


Fig. 4-b Current wave form of Type A at open

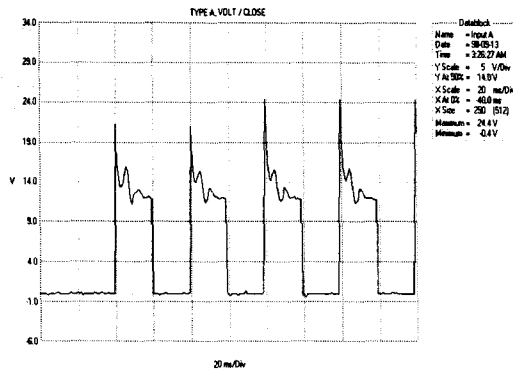


Fig. 4-c Volt wave form of Type A at close

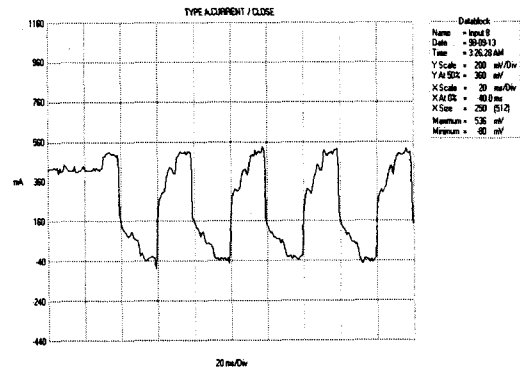


Fig. 4-d Current wave form of Type A at close

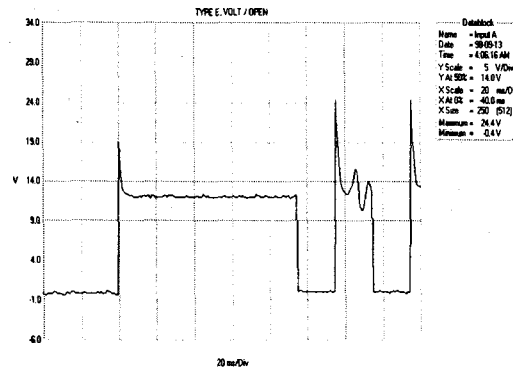


Fig.5-a Volt wave form of Type E at open

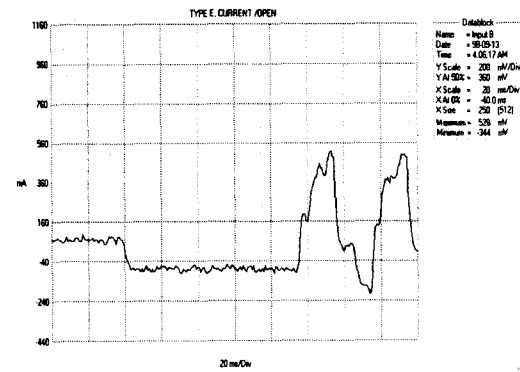


Fig.5-b Current wave form of Type E at open

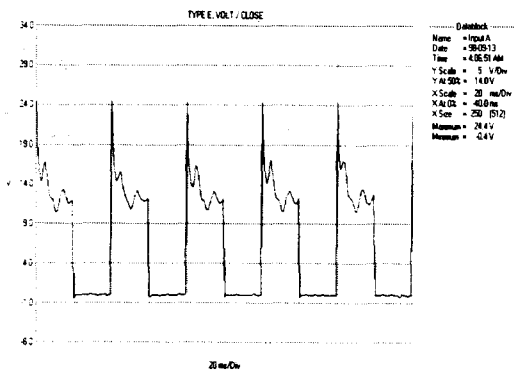


Fig.5-c Volt wave form of Type E at close

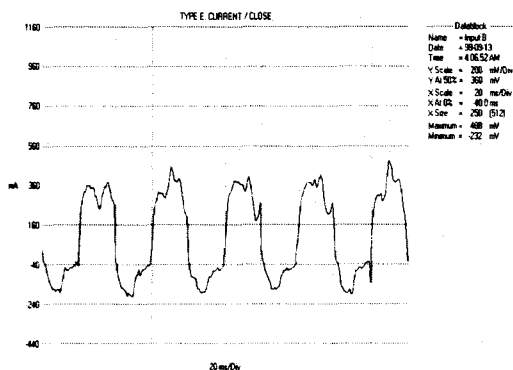


Fig.5-d Current wave form of Type E at close

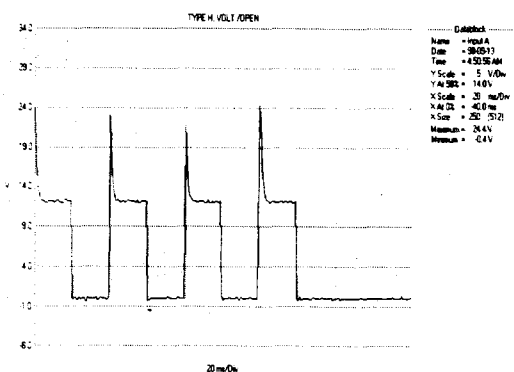


Fig.6-a Volt wave form of Type H at open

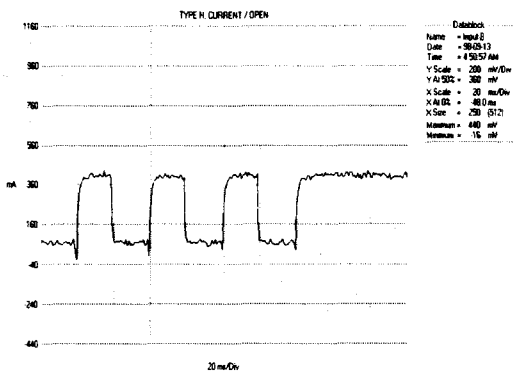


Fig.6-b Current wave form of Type H at open

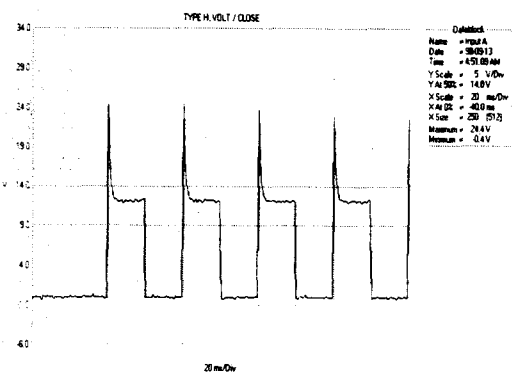


Fig.6-c Volt wave form of Type H at close

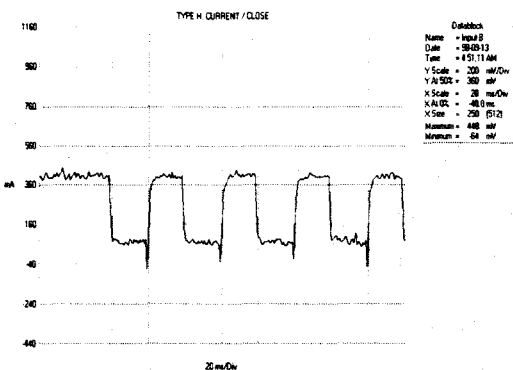


Fig.6-d Current wave form of Type H at close

태에서 초기 폭발직후 로직에 정해진 위치로 닫혀야 되나 모터 코일의 손상이나 블로우바이가스(blow-by gas)와 퇴적물(deposit), 역화(back fire)의 영향에 의하여 카본(carbon)등의 밸브가 오염되고 이러한 이물질이 저온상태에서 모터에 많은 부하로 작동되어 motor의 작동을 방해하는 것이 필수적인 요소가 되고 이러한 것들은 모터의 코일을 손상시키는 중요한 역할을 하게된다.

#### 4.2 스텝 모터의 고장유형별 분석

스텝 모터 코일의 고장부위별 상태를 분석하기 위하여 전기적 파형을 Table 1과 같이 분류하여 분석하였다.

Fig.4는 A형으로써 정상적(코일저항:30.5 $\Omega$ )으로 작동되고 있을 경우의 전류와 전압파형이다. 한 스텝 작동시 전압이 0까지 떨어진 후 OFF작동 직후 코일의 역기전력으로 써지가 발생한 후 회전축의 축방향 진동에 의해 약간의 진동이 생김을 볼 수 있다. 전류파형은 코일의 자기장 형성 후 영구자석에서 형성되는 자기장과의 평형상태를 깨는 시간까지의 약간의 진동 후 한 스텝 회전을 수행한 후 강하하는 모습을 보여준다. 열림시의 파형은 모터의 작동이 정상적이거나 기계적 부하가 작동불능 직전에 이르고 있다.

Fig.5는 E형의 경우로 상부 우측 코일(Hi/R)저항이 7.48 $\Omega$ (하부 우측 코일(Low/R)에서 측정)인 경우로 열리는 쪽은 작동이 되지 않는 스텝과 작동이 되는 스텝이 불규칙적으로 반복되고 있으며 닫히는 작동의 전압파형은 써지 이후의 전압강하가 매우 크며 전류는 상부 코일의 자기장 형성불능 때문에 하부 코일만으로 모터를 작동시켜야 되는 과부하로 인하여 상승이 급격히 이루어 졌으며 잔류자기에 의하여 전류파형의 역전류 형성이 이루어졌다. 이로 인하여 닫히는 동작은 수행하지 못하였다.

Fig.6은 H형으로써 상부 좌우측 코일(Hi/L,R) 모두 저항이  $\infty$ (측정위치는 하부우측 코일(Low/R))인 경우로 열림이나 닫힘이 전혀 되지 않고 있어 전압파형의 진동도 없고 전류의 흐름이 급격히 상승 후 지속되다

수직강하하는 모습을 보여준다. 모터의 회전이 어느 방향으로든 전혀 생기지 않다 보니 회전체의 영구자석과 철편코일 간에서 생기는 전자기적 변화, 즉 전압강하, 자기유도와 기계적 부하에 의해서 생기는 전압파형의 진동과 전류파형의 무효작동 시간영역과 유효작동 시간 영역이 전혀 생기지 않고 있다. 이는 기계적인 움직임이 전혀 없다는 것을 나타내 주는 것이다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 급발진을 일으킬 수 있는 조건을 줄 수 있는 공회전 속도 조절 서보역할을 해주는 스텝모터의 코일고장으로 인해 발생할 수 있는 여러 가지 현상을 전압과 전류파형으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. blow-by gas와 deposit, back fire의 영향에 의하여 carbon등으로 valve가 오염되고 이러한 이물질이 저온상태에서 모터에 많은 부하로 작용되어 모터작동을 방해하는 필수적인 요소가 되고 이러한 것들은 모터의 코일을 손상시키는 역할을 한다.
2. 코일이 손상되면 ISC는 오동작을 행하게 되어 공회전속도가 3500rpm이상까지 증가하거나 반대로 엔진부조를 일으키면서 엔진이 정지될 수도 있다.

### 후 기

본 연구는 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) 김택성, 배구병: "AT차량 급발진 사고에 대하여," 자동차기보, pp158-164, 1993.
- (2) Takashi Kenjo: "Stepping motors and microprocessor control," Clarendon press: Oxford, 1984
- (3) 현대자동차, "엘란트라 정비 지침서(엔진편)," 금탑출판사, 1993.