

# 자동차용 도어 모터 제어기의 전자파 장해 전도 방사 노이즈 개선

김범진, 홍성율, 한기영, 조현우  
피에이치에이 H/W 설계팀

## Improvement of Electromagnetic Interference Radiated Noise from Automotive Door Motor Controller

Bum-Jin Kim, Sung-Ryul Hong, Gi-Young Han, Hyun-Woo Cho  
ECU(H/W) Design Team, PHA

### 요약

자동차용 도어 모터 제어기 설계에 있어 EMC(Electromagnetic Compatibility)는 필수적으로 고려해야 할 핵심 요소로 작용한다. EMC Test Fail은 프로젝트 진행에 큰 장애물이 될 뿐만 아니라, EMC 개선에는 상당한 비용과 시간이 소요된다.

이에 본 논문은 자동차용 도어 모터 제어기에서 발생하는 Conducted Emission(전도 방사)를 사전에 분석하여 제어기 설계에 적용 가능한 실험을 수행하였다. 주파수 별 노이즈원 분석 및 개선점 적용 결과, 자동차 전장품 EMC 기술 규격인 CISPR25 기준 시험 주파수 LF, LW, MW대역에서는 LC 필터의 적용으로, CB, VHF, TV Band, FM 대역에서는 Switching Noise 개선을 통해 노이즈 레벨이 감쇠함을 확인하였다.

이를 통해 자동차용 도어 모터 제어기의 EMC 성능 향상에 대한 중요한 기초를 제공하고자 한다.

## 1. 서론

최근 몇 년간, 탄소 중립 사회의 실현을 위한 노력은 급속한 속도로 확대되고 있다. 이러한 노력의 한 부분으로, 전기차의 보급이 빠르게 확산되고 있으며 이는 기후 변화와 관련된 문제에 대한 대응책으로서 중요한 역할을 하고 있다. 전기차의 보급은 환경 친화적인 교통 수단으로의 전환이며, 동시에 사용자 편의성을 향상시키는 측면에서도 중요한 변화를 가져오고 있다.

최근에는 자동차의 여러 기능이 모터를 이용하여 전자동으로 동작하는 경향이 있으며, 이는 사용자 경험을 개선하고 편의성을 증대시키는데 기여하고 있다.

사용자 편의성 증대를 위한 핵심 기술 중 하나는 모터 제어이다. 그러나 모터 제어 시 발생할 수 있는 전자기적 호환성(EMC) 문제는 이를 해결해야 할 필수적인 과제 중 하나이다. EMC 문제는 자동차의 안전성과 신뢰성에 직접적인 영향을 미치며, 이를 해결하지 않으면 신차의 개발 및 사용에 제약이 발생 할 수 있다.

이러한 배경에서, 본 논문은 EMC 시험 항목 중 차량에 적용

또는 탑재되는 전자 시스템으로부터 발생하는 전자파가 차량에 탑재되는 수신기 또는 주변 부품 및 외부 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험인 Conducted Emission에 대해 실험 및 분석한다.

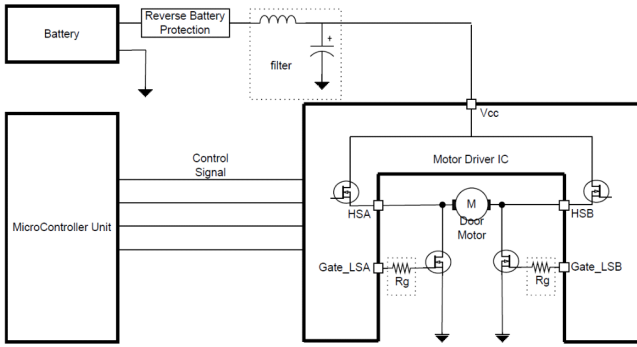
시험 주파수 내 노이즈원을 파악하고 개선 내용을 탐구할 것이다. 이를 통해 EMC 문제를 사전 검증하고 개선한 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

자동차 도어 모터 제어기는 사용자의 스위치 입력에 따라 H-Bridge Motor Driver를 활용하여 양방향 모터를 구동하여 슬라이드 도어를 개폐하는 시스템이다. 모터 제어 주파수는 20kHz로 도어 개폐 속도를 조절하기 위해 PWM(Pulse Width Modulation) 제어로 동작된다.

그림 1의 블록도의 내용과 같이 모터 출력의 소스인 배터리 라인을 PWM 제어하기 때문에 전원 라인 노이즈를 관리하는 것이 필수적이다. 일반적으로 전원 라인 노이즈는 저주파 대역에서 발생한다. 이에 대한 대책으로 주로 Low Pass Filter(LPF)가 주로 사용되며 LPF 중에서도 LC 필터가 널리 사용되고 있다.

또한, PWM를 제어하는 External Low Side MOSFET의 Switching 또한 노이즈의 원인이 될 수 있다. 이 경우 Switching Edges에 노이즈가 실려 있을 수 있으며, 이러한 경우 Gate Resistor(Rg)와 같은 파라미터를 조절 할 수 있다. EMC 노이즈를 개선하기 위해서는 회로 설계와 PCB 설계가 모두 중요한 요소이나, 본 논문에서는 회로 설계 관점에서 접근하였다. 특히, 전원 라인 방사 노이즈를 측정하는 Conducted Emission 개선에 초점을 맞추었다.



[그림 1] 모터 제어 회로 블록도

### 2.1 LC 필터

전자 회로에서 사용되는 필터의 한 유형으로, 파라미터인 인덕터(L)와 캐패시터(C)를 사용하여 특정 주파수 이상의 신호를 차단하고 원하는 주파수의 신호만을 통과시키는 역할을 한다.

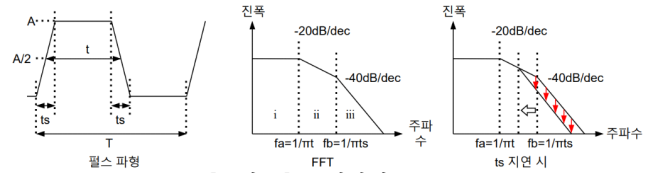
특히 전원 라인 사이에서 발생하는 전류와 동일한 방향으로 흐르는 노이즈, 즉 차동모드 노이즈 개선하는데 효과적이다.[2]

그림 1의 모터 전원 입력단의 필터에 해당된다.

### 2.2 Switching Noise

모터의 속도 PWM 제어에 의해 결정된다. PWM은 일련의 구형파의 형태로 전달되며, 이 때 엣지(뾰족한 변화)가 필연적으로 존재한다. EMC 관점에서 이러한 엣지는 노이즈의 주요 원인으로 작용한다.

이에 FFT(Fast Fourier Transform) 통해 구형파의 주파수 성분을 분석하면, 주파수에 따른 그래프 모양이 그림 2와 같이 나타난다.



[그림 2] 구형파의 FFT

주파수 영역 i은 고조파 레벨이 일정하며, 영역 ii은 중간 주파수의 고조파를 이루어져 있으며, iii은 고차의 고주파로 이루어져 있다. 영역을 구분하는 주파수는 fa와 fb이며, 여기서 fa는  $1/\pi t$ 의 관계식에 의해 Duty=50%로 가정하면 t(펄스 폭)은 주기의 반시간(T/2)임으로 실제 기본주파수  $f=1/T=1/(2t)$ 식에 의해  $fa=1/(3.14*t)$ 보다 작은 주파수 값을 가짐으로 무시할 수 있고, 따라서 영역 ii와 iii만 고려된다. 고주파 성분에 의한 노이즈를 줄이기 위해 fb 주파수를 낮추려면 ts 시간을 크게 하면 된다.[2]

PWM 제어시 Motor Driver 단의 External Low Side MOSFET의 Gate Resistor(Rg)(그림 1)이 스위칭 턴온, 턴오프 시간 지연에 영향을 준다. 지연 시간은 위 내용에서 ts 시간에 해당된다.

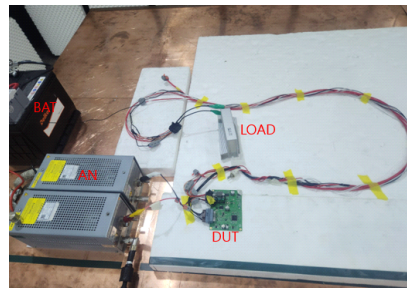
## 3. 실험 조건 및 방법

본 실험은 당사가 개발한 자동차용 도어 모터 제어기 개발용 보드를 시료로 사용하였다. 스위칭 노이즈 방출 조건을 위해 Duty 50%, 모터 제어 주파수 20kHz 출력이 될 수 있도록 테스트용 펌웨어를 준비하였다.

사용한 부하는 모터 동작 중 방사 노이즈를 제외하고, 제어기의 방사 특성만 고려하기 위해 200W 메탈레이드 저항을 사용하였고, 실제 부하 전류를 고려하여 저항 값은 1.2Ω으로 선정하였다.

그림 3과 같이 자동차 전장품 EMC 기술 규격인 CISPR25 기준으로 실험 셋업을 진행하였다. 시료와 케이블 셋업 후, 기준값 획득을 위해 1회 SCAN 진행하였다.

실험 셋업에 따라 노이즈 세기 및 주파수 대역대가 달라질 있으므로 케이블은 고정하였고, 튜닝 파라미터(LC필터, Rg)를 변경하며 노이즈 감쇠 경향을 확인하였다.



[그림 3] CE 실험 셋업

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 LC필터 튜닝

#### 4.1.1 실험 결과

그림 4의 내용과 같이 모터 전원 입력단에 필터 적용 시 LF(0.1~0.15MHz), LW(0.15~0.3MHz), MW(0.53~1.8MHz) 주파수 대역에서 노이즈 레벨이 유의미한 감소를 보였다. LF 대역에서는 규제치를 초과하였으나, 실제 모터 부하를 연결하고 실험을 진행한 결과 해당 구간에서 노이즈가 규제치 이하로 감소하는 것을 확인 하였다.

#### 4.1.2 결과 분석

LF, LW, MW 시험 주파수 대역에서의 노이즈가 20kHz의 채배주파수로 피크를 보이는 것을 확인 하였다. 이는 모터의 제어 주파수가 20kHz임을 고려하여 노이즈의 원인을 추론 할 수 있다.

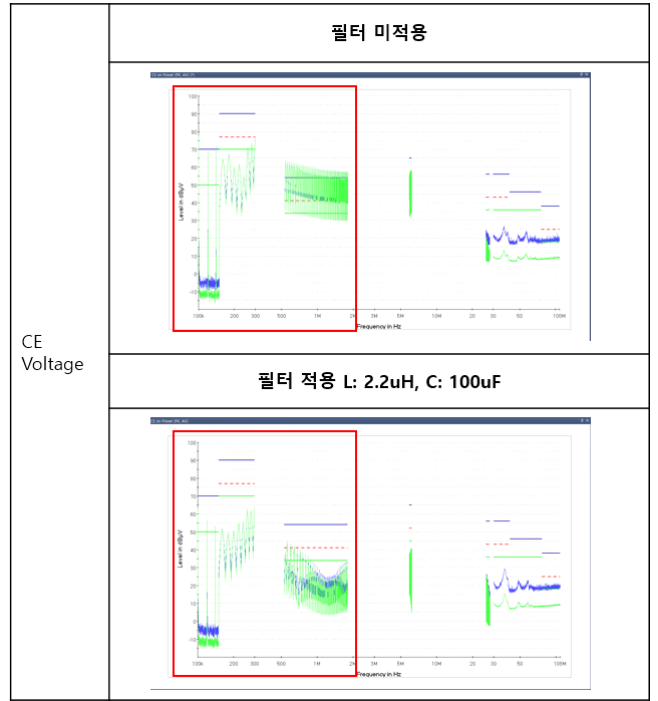
위 실험 결과를 통해 LC 필터가 저역대에서의 모터의 전원 노이즈 개선에 효과적임을 확인 했다.

LC필터 튜닝 시 인덕터의 사양과 크기는 부하의 소비전류와 정격에 따라 정해지기 때문에 해당 실험에서는 고정 변수(2.2uH/10\*10mm)로 고려하였다. 따라서 캐패시터의 용량이 경향을 확인하는데 중요한 역할을 하였다. 캐패시터의 용량이 클수록 감소 경향이 향상되었고, 특히 ESR이 작을수록 감소가 더 좋음을 확인하였다.

캐패시터 또한 용량이 클수록 비용 및 크기가 증가하기 때문에 노이즈 레벨을 미리 분석하여 필터 구성하는 것이 효과적이다.

이에 설계 시 이론 계산식을 활용하는 방법 또한 의미있는 작업으로 계산식과 실험 결과를 비교하였을 때 유사성을 확인하였다.

그림 5과 같이 이론적인 계산식에 따라 필터의 감소값은 -19.19dB으로 나타났다. 반면에, 실제 실험에서는 타겟 주파수 100kHz일때 약 -16dB 정도의 감소가 관측되었다. 이러한 결과를 통해 실험 결과와 이론적 계산값 사이에 유의미한 유사성이 확인되었다.



[그림 4] 전자파 평가 결과 비교(LC필터)

$$Att_{dB} = 20 \cdot \log \sqrt{\frac{1}{1 + w^2 \cdot L \cdot C \cdot \frac{w^2 \cdot L \cdot C - 2}{1 + w^2 \cdot ESR^2 \cdot C^2}}}$$

	Parameter	Value	Unit
필터 입력값 Equation 33	L	2.2	uH
	C	100	uF
	f	100	kHz
	ESR	0.15	ohm
계산값		-19.19	Att(db)

[그림 5] LC필터 이론적인 계산식

### 4.2 Rg 저항값 튜닝

#### 4.2.1 실험 결과

그림 6의 내용과 같이 Rg 저항값 증대 시 CB(26~28MHz), VHF(30~41MHz), TV Band(41~76MHz), FM(70~108MHz) 대역에서 노이즈 레벨이 규제치 이하로 감소됨을 확인 하였다. 비교 자료는 CE Current 실험으로 진행하였지만 CE Voltage 실험에서도 동일한 유효성이 있음을 확인하였다.

#### 4.2.2 결과 분석

노이즈원 분석을 위해 Rg 저항별 External Low Side MOSFET의 파형을 관찰하였다. 그림 7와 같이 Rg=0Ω 일 때, 스위칭 시 엣지에 ~수 MHz의 링잉 성분이 존재한다. Rg=1kΩ 변경 시 턴온, 턴오프 시간 지연으로 해당 성분이 감

소됨을 알 수 있다.

이로써 Rg 저항값의 변화가 노이즈에 미치는 영향을 확인할 수 있다.

Rg 증가 시 영향성은 다음과 같다.

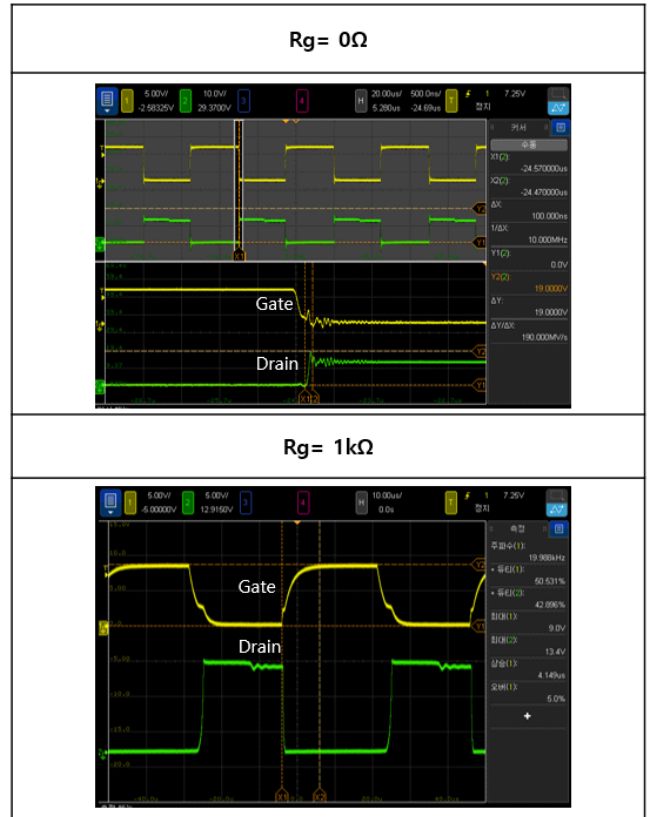
- Turn-on, Turn-Off Time 증가
- 스위칭 손실 증가
- Turn-on, Turn-off peak Current 감소
- Slew rate dv/dt, di/dt 감소

▶ Switching Noise 감소[1]

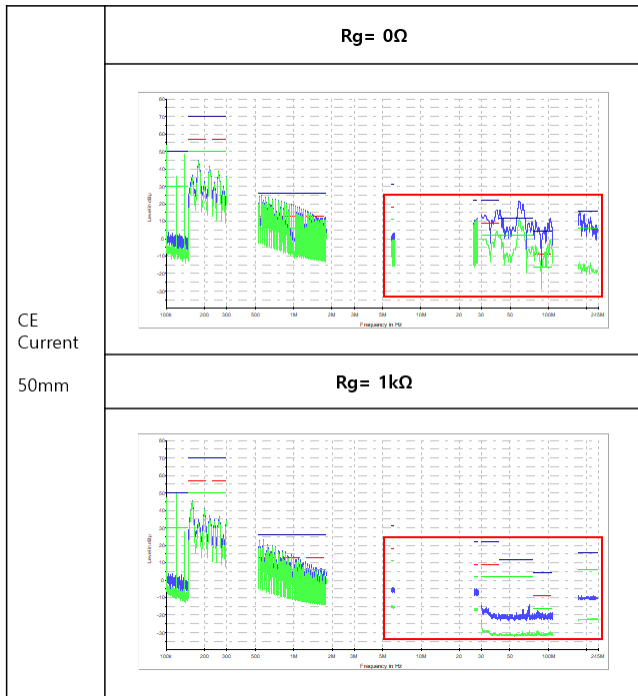
Rg 값은 턴온, 턴오프 시간과 스위칭 손실에서 Trade off 관계를 가지므로 특정 부하나 회로에 맞게 튜닝이 필요하다.

본 제어기에서는 Motor Driver IC의 VDS 모니터링 블랭킹 시간 내 MOSFET 턴온 되는 기준으로 저항값 상한치를 규정하였다. (Driver IC PWM 신호 인가 후 모터 출력 800ns 이내로 저항값 세팅)

즉, Rg 가 일정 수준을 초과하면 MOSFET이 턴온 되지 않는데, 이러한 상황을 방지하기 위해 실험에서는 범위를 넘지 않는 값을 선정하였다.



[그림 7] Rg 값에 따른 MOSFET의 Gate, Drain 파형



[그림 6] 전자파 평가 결과 비교(Rg)

### 5. 결론

자동차 도어 모터 제어기의 모터 전원부에서 발생하는 노이즈 분석하고 개선한 결과, 자동차 전장품 EMC 기술 규격인 CISPR25에 따라 LF, LW, MW대역에서는 LC필터의 적용을 통해, CB, VHF, TV Band, FM 대역에서는 Rg 저항값 튜닝을 통해 Switching Noise 개선하여 노이즈 레벨 감소를 확인하였다.

이로써 Conducted Emission 시험에 대응할 수 있는 기초 자료를 확보했고, 도어 모터 제어기 H/W 설계 시 필요한 설계 가이드 자료로서의 활용 가능성을 확인하였다.

더불어, 앞으로도 이러한 EMC 관련 사전 검증 활동을 통해 설계 노하우를 축적하여 설계 시 발생할 수 있는 시행착오를 줄이고 한다.

#### 참고문헌

- [1] ST, “VIPower VNHD7xxAY H-Bridges driver”, AN5265, July 2022
- [2] 한국공학기술연구원, “EMI/EMC 대책 기본”