

SAE J2954 기반 전기자동차 무선충전 기술

한국전자기술연구원(KETI)
박용주 팀장

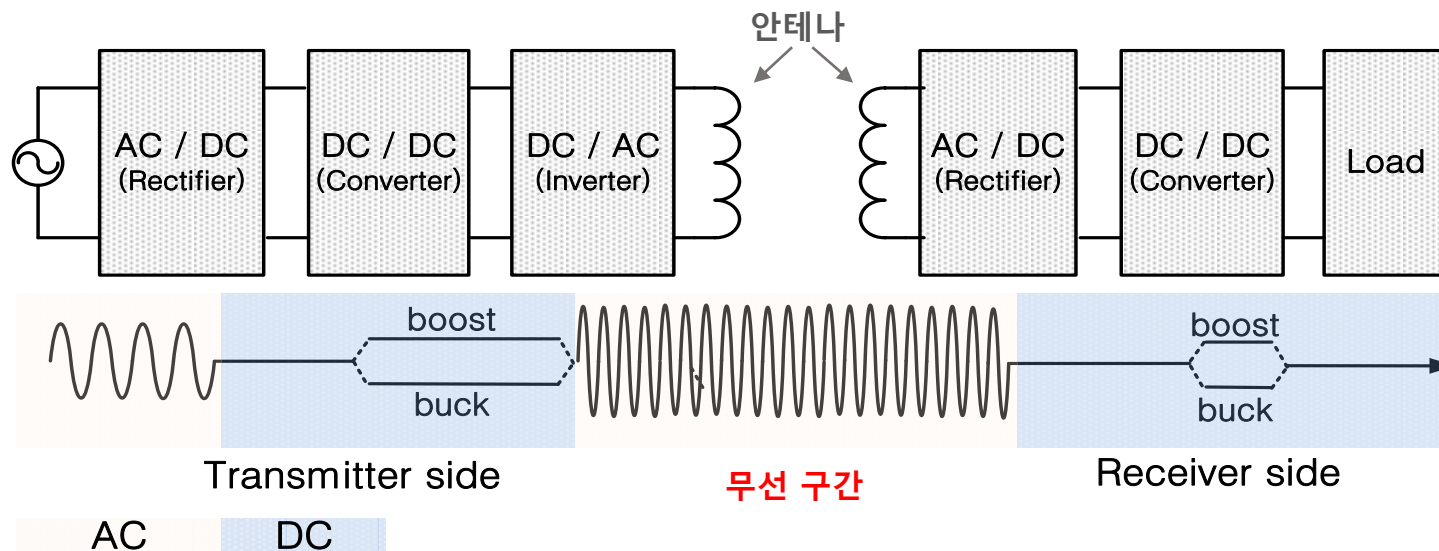


I Introduction

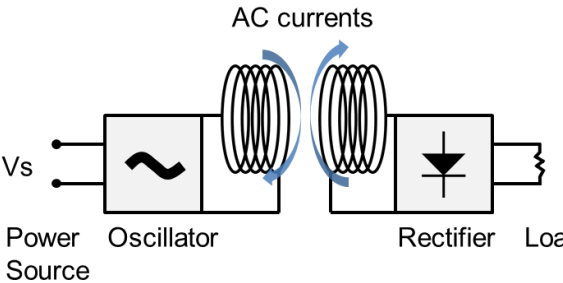
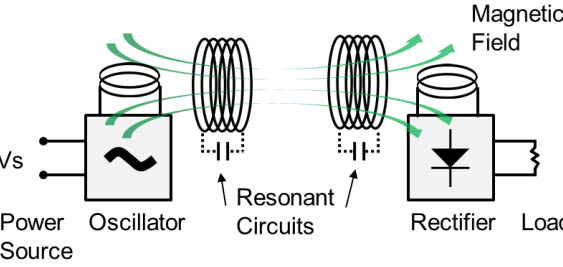
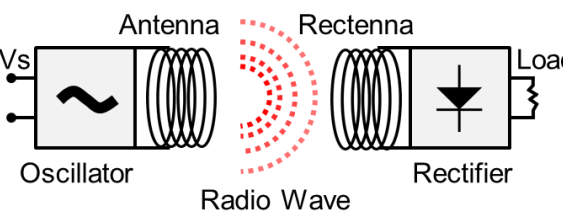
- 전자파 전송의 원리를 이용 하여 전선 없이 에너지를 공간을 통해 전송할 수 있는 기술
- 무선 통신과 에너지 전송 기술이 융합되어 각종 전력선과 커넥터로부터의 자유로움(Cable-free) 제공
- 모바일/웨어러블 기기, 자동차, 사무·가전, 의료, 인프라 서비스 등 다양한 산업 분야에 적용 가능



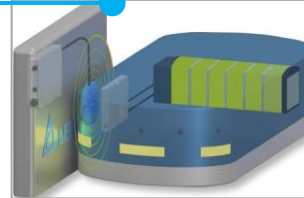
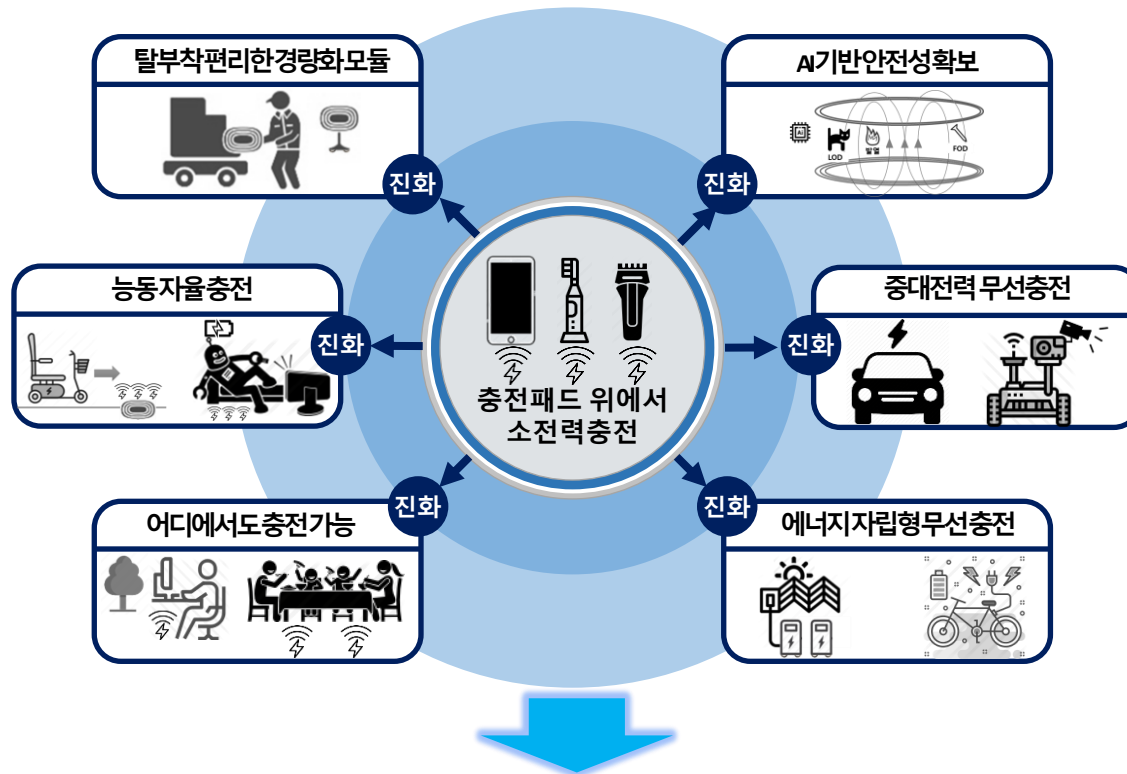
- (정의) 전통적 무선전력전송은 **전기에너지를 전파의 형태로 공간상에 전달**하여 전송하는 기술
 - 전자기장의 유도 원리를 이용하여 송신기(충전기)에서 수신기(단말기)로 전력에너지를 전달하며, 일명 '무선충전 기술'로도 불림
 - 유선충전(약 95%)에 비해 무선충전(70~90%) 효율이 떨어지는 단점이 있으나, 충전이 매우 편리
- (구조) DC→AC로 변환하는 송신기(TX, Transmitter), AC → DC로 변환하는 수신기(RX, Receiver)으로 구성



- 전파를 이용하여 전력을 무선으로 전송하는 기술의 대표적 방식으로 **비방사형(Non-Radiative)**의 자기유도 [WPC(110~205kHz)], 자기공진 방식[AirFuel(6.78MHz)]와 **방사형(Radiative)**의 전자기파 (RF) 방식으로 구분

기술 유형 분류	동작 원리	주요 특징 및 장점
비방사형	<p>자기유도방식 (초근접형)</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • 코일간 전자기유도/공진 현상 • (Defacto) WPC Qi, Ki 표준 • 모바일 디바이스, 생활 가전등 • Tight alignment • (現) WPC 방식의 시장을 주도 • 전송 효율 80 ~ 90%, 초근접
	<p>자기공진방식 (근접형)</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • 코일간 공진(resonance)현상 • (Defacto) SAE, AirFuel 표준 • Loose alignment 전기자동차, 정보가전 등 • 효율 60 ~ 80%, ~30cm 충전 가능
방사형	<p>전자기파 (원거리, RF)</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • 수 GHz 대역(마이크로파) • 특정 위치로 지향성 있게 전송하는 전력 빔포밍 • self-alignment(높은 자유도) • 넓은 이격 거리(충전 거리) • IEC TC100에서 표준화 진행 중

- 스마트폰 외 가전, 로봇, 전기차(모빌리티), 충전 인프라 등 응용분야 다양화
- 근거리 소출력 모바일 → 전기자동차/ kW급 모바일 급속충전 / 로봇 충전 등의 발전 양상
- 특히, 자율주행 전기차·로봇의 시대 → 충전도 자율·무인 충전화



I. Introduction

- 대형 이동체 혹은 상대적으로 높은 출력인 경우에는 소형 전자기기 무선충전과 달리, 송수신 안테나가 밀접 접촉되어 있지 않고 높은 출력의 부하 변조가 불가능하기 때문에 WPC에서 제안하는 인-밴드(In-Band) 통신만으로는 제어할 수 없음

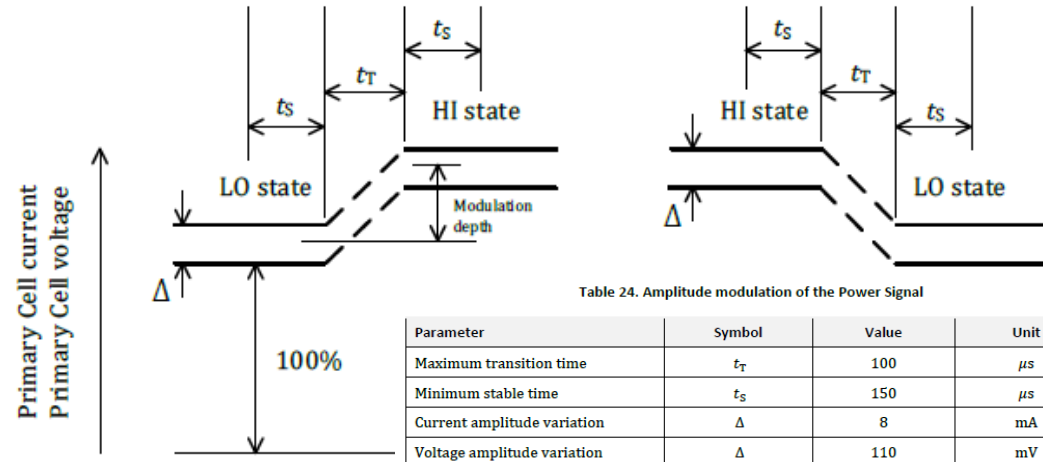


[대출력 무선충전 예시]

[전력 : 30 kHz, 85 kHz ...]

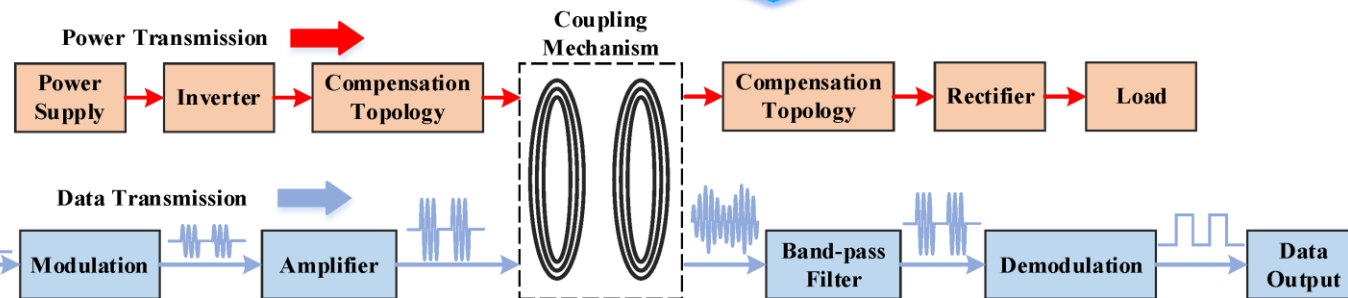
[통신 : 13.56 MHz, 2.4 GHz ...]

Figure 35. Amplitude modulation of the Power Signal



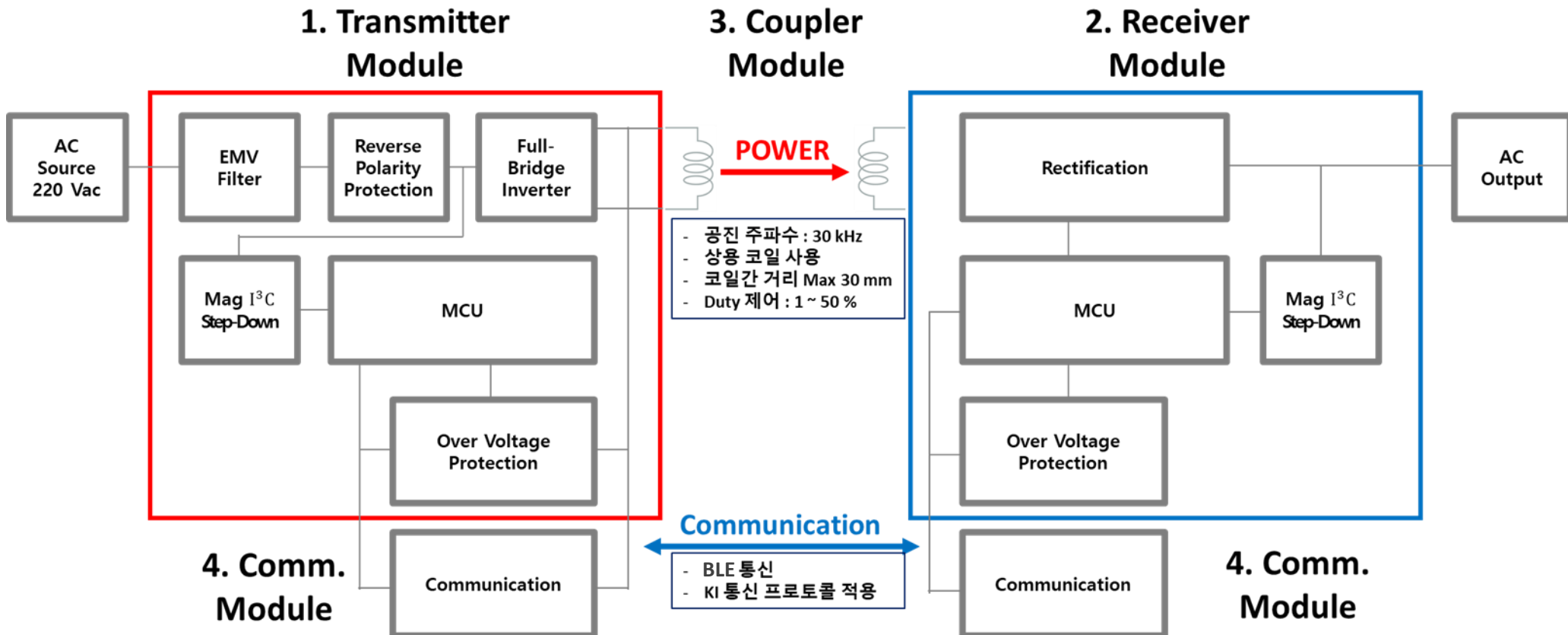
[기존 WPC의 In-Band 통신 방식]

- 기존 WPC의 In-Band 통신 방식은 Load Modulation (일종의 Back Scatter (후방 산란) 통신 방식)을 이용하여 송신 전력 크기를 변화시키는 방식으로 수신단에서 송신단으로 데이터를 보냄

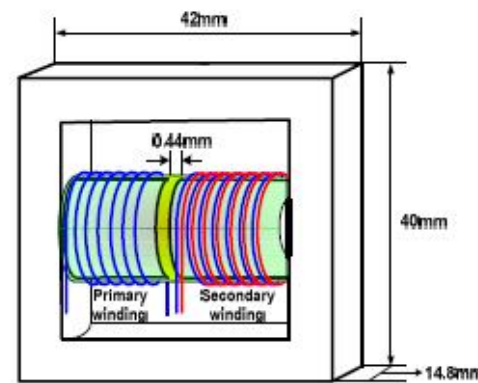
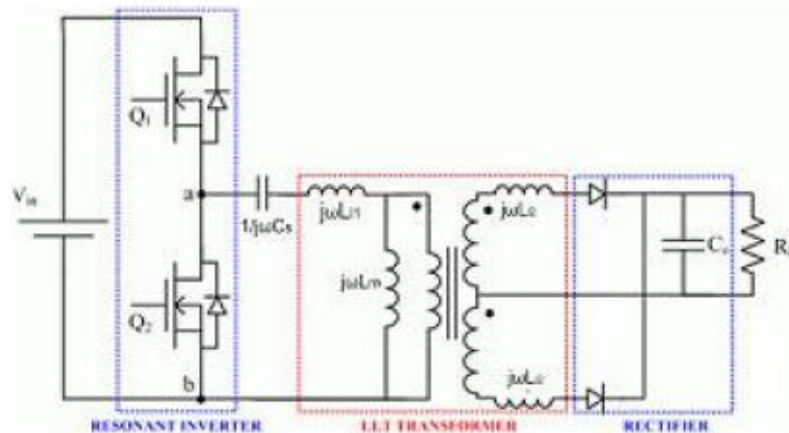


[Out of Band 통신 방식 설명]

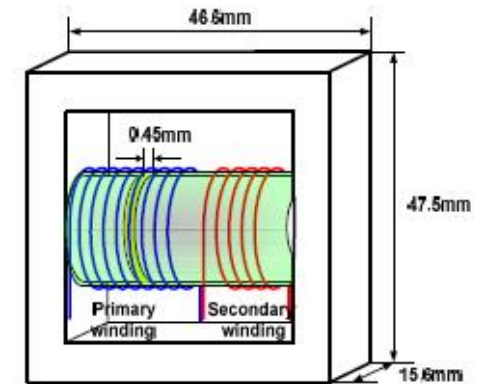
- 아래 그림은 인 밴드 (WPC KI 표준의 무선전력전송, 30 kHz) 및 아웃 밴드 (BLE 통신, 2.4 GHz) 통신을 포함한 무선전력전송 시스템을 제시함
- 자기공진 방식을 사용하여 상대적으로 거리 및 위치 자유도를 확보하였으며, 무선전력전송과 무선통신의 주파수를 분리함



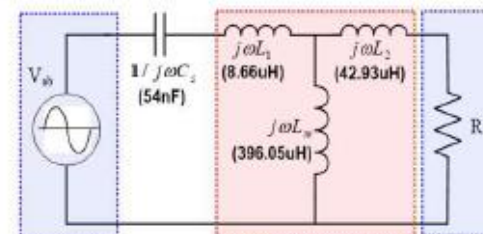
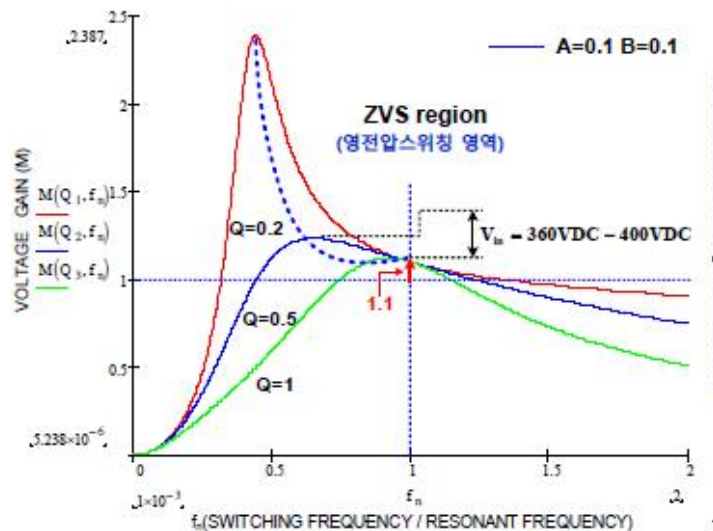
■ 고주파변압기 코아형상, 권선방법에 따른 파라미터 및 이득 특성



L_{11} : 24.24 μ H, L_{12} : 30.55 μ H,
 L_m : 270.8 μ H, L_{eq} : 61.02 μ H

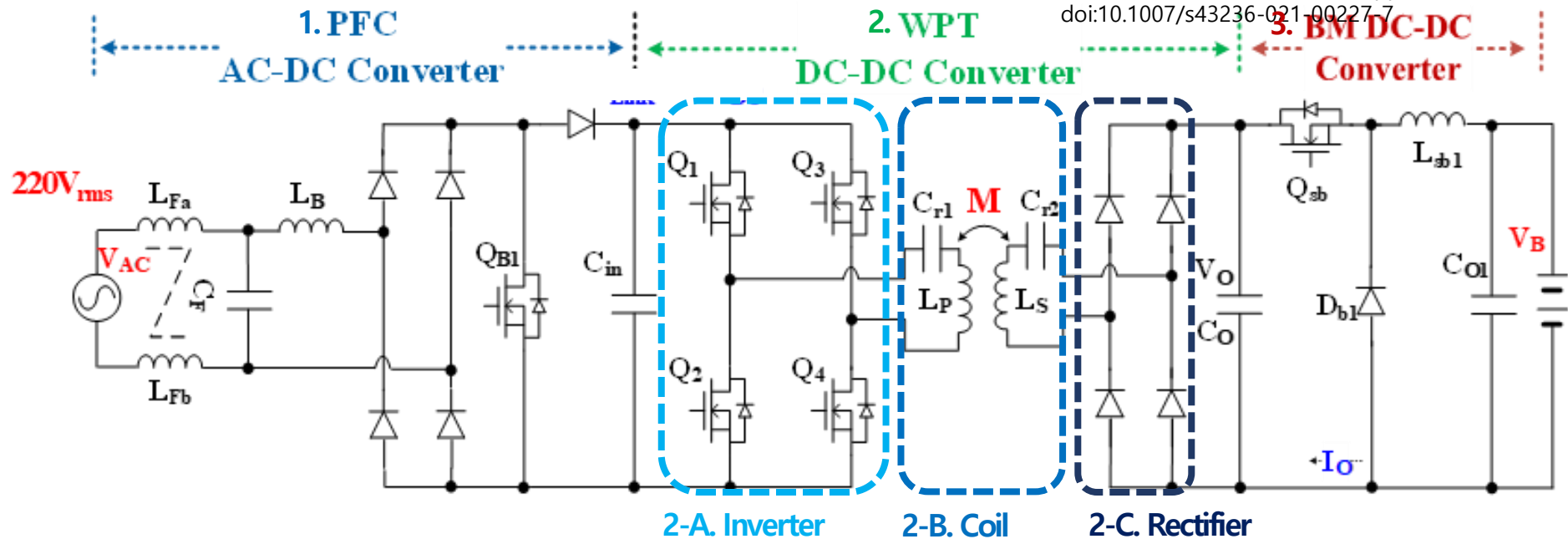


L_{11} : 8.66 μ H, L_{12} : 42.93 μ H,
 L_m : 396.05 μ H, L_{eq} : 61.36 μ H



- 아래 그림은 3-Stage로 구성된 무선전력전송 Converter의 구조를 나타냄

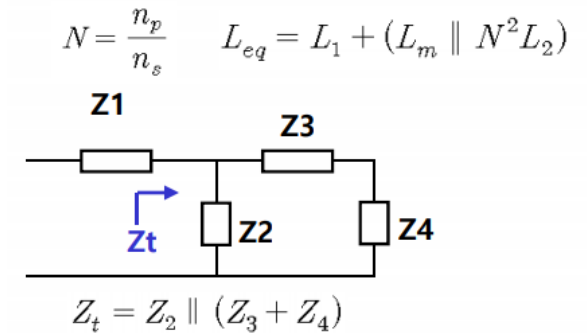
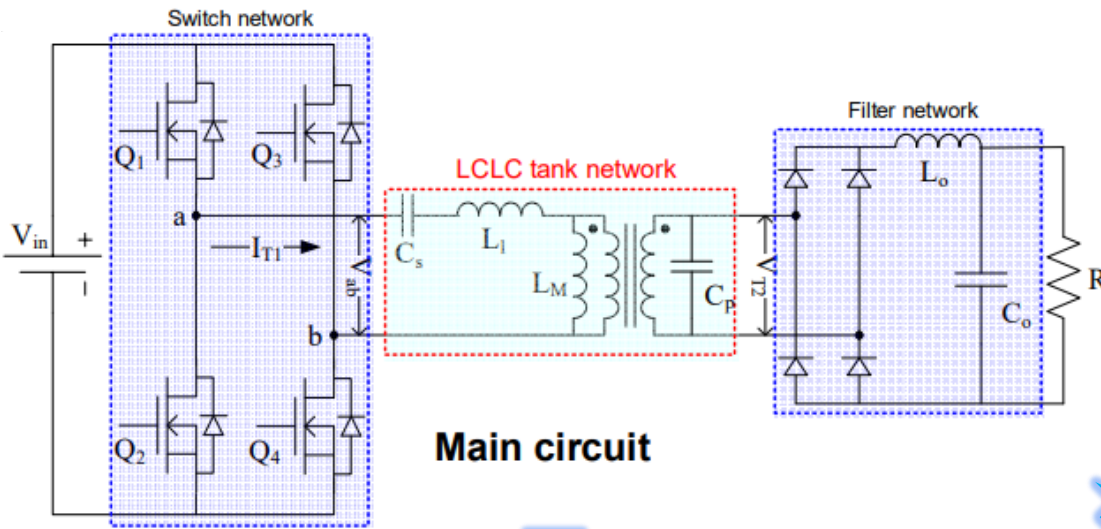
Ref: Min-Ji Kim, Jeong-Won Woo and Eun-Soo Kim. 2021, "Single stage AC-DC converter for wireless power transfer operating within wide voltage control range", Journal of Power Electronics, vol.21, no.5 pp.768-781. Available from: doi:10.1007/s43236-021-00227-7



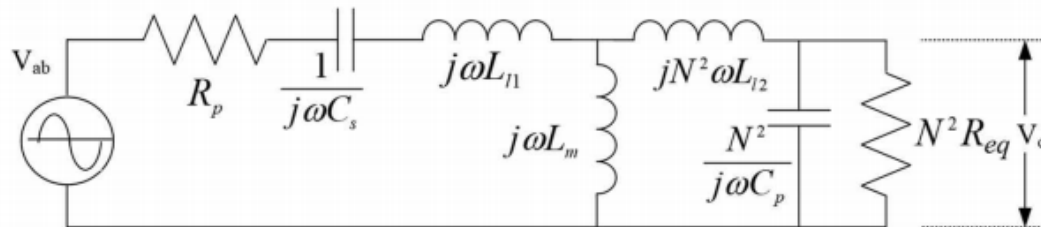
- 1. PFC AC-DC Converter : 220V 60Hz의 AC 전력을 220V 이상의 DC 전압으로 변환시켜주는 모듈, 가변 주파수 스위칭으로 DC 출력 전압을 제어 가능함
- 2. WPT DC-DC Converter : 전력 송신단의 DC 입력을 AC로 전환시켜 전력 수신단에 전달하여 DC 전압을 생성함
 - 2-A. Inverter : WPT 컨버터의 공진 주파수 이상의 주파수로 Full Bridge 혹은 Half Bridge 인버터를 구동시켜 PFC AC-DC Converter의 DC 전압을 이용하여 AC 신호를 생성함
 - 2-B. Coil : 전력 송수신단의 안테나 쌍으로, Coil 길이에 따라서 공진 모듈의 Inductance의 대부분 값을 구성함
 - 2-C. Rectifier : 전력 송신단에서 전달한 AC 전력을 DC 전력으로 정류시켜줌
- 3. DC-DC Converter : 정류된 DC 전력의 안정성을 높이며, 원하는 출력 DC 전압으로 변환

I. Introduction

- 3-Stage 무선전력전송 Converter는 1st Order Simplified Approximation 기법을 이용하여 아래와 같은 등가 회로를 도출 가능함
- 또한, Equivalent Circuit 의 Impedance 모델은 공진 회로의 전압 이득 계산을 위한 모델링이 가능해짐



[전압 이득 계산을 위한 Modeling]



Equivalent circuit

$$M = \frac{j\omega L_m N^2 R_{ac}}{(j\omega L_{l1} + \frac{1}{j\omega C_s})(j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac}) + j\omega L_m (j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac})}$$

[Converter 모델의 Gain 도출]

- 3-Stage 무선전력전송 시스템에서 도출한 등가 회로를 기반으로 인버터 스위칭 주파수 제어로 공진 회로의 전압 이득 계산이 가능해짐

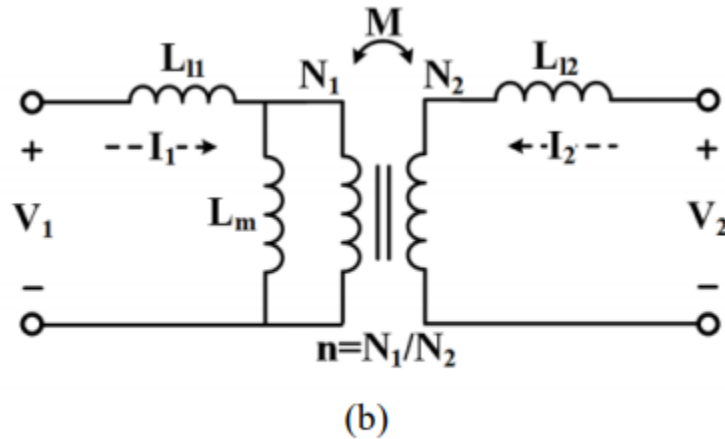


Fig. 9. Equivalent models of loosely coupled transformer (T) in WPT system: (a) M and (b) T model.

$$\begin{cases} V_1 = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 \\ V_2 = j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} V_1 = j\omega(L_{l1} + L_m)I_1 + j\omega L_m(I_2/n) \\ V_2 = j\omega(L_{l2} + L_m/n^2)I_2 + j\omega(L_m/n^2)(nI_1) \end{cases} \quad (7)$$

$$V_1 = j\omega(L_{l1} + L_m)I_1 + j\omega L_m(I_2/n)$$

$$L_1 = L_m + L_{l1} \quad M = L_m/n$$

$$V_1 = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2$$

$$V_2 = j\omega(L_{l2} + L_m/n^2)I_2 + j\omega(L_m/n^2)(nI_1)$$

$$= j\omega L_{l2} I_2 + j\omega \frac{L_m}{n^2} I_2 + j\omega \frac{L_m}{n^2} n I_1$$

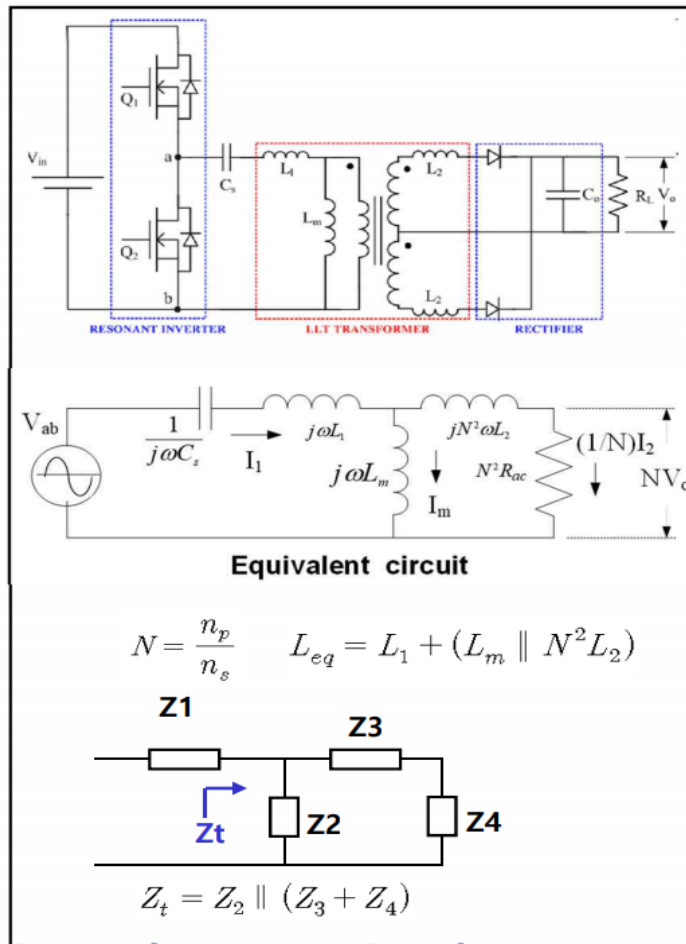
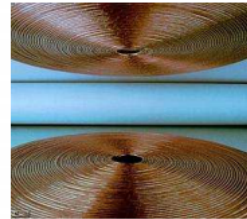
$$= j\omega L_{l2} I_2 + j\omega M \frac{I_2}{n} + j\omega M I_1$$

$$= j\omega L_{l2} I_2 + j\omega M I_1 + j\omega M I_2$$

$$= j\omega(L_{l2} + M)I_2 + j\omega M I_1$$



LLC 공진컨버터 전압이득



$$Z_{in} = Z_1 + Z_t = Z_1 + \frac{Z_2(Z_3 + Z_4)}{Z_3 + Z_4 + Z_2}$$

$$I_1 = I_m + \frac{I_2}{N} = \frac{Z_3 + Z_4}{Z_2} \frac{I_2}{N} + \frac{I_2}{N} = \frac{I_2}{N} \left(\frac{Z_3 + Z_4 + Z_2}{Z_2} \right)$$

$$M = \frac{NV_o}{V_{in}} = \frac{Z_4 \cdot \frac{I_2}{N}}{Z_{in} \cdot I_1} = \frac{Z_4 \cdot \frac{I_2}{N}}{(Z_1 + Z_t) \cdot \left(\frac{Z_3 + Z_4 + Z_2}{Z_2} \right) \frac{I_2}{N}}$$

$$= \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1(Z_2 + Z_3 + Z_4) + Z_2(Z_3 + Z_4)}$$

$$M = \left| \frac{-w^2 L_m C_s N^2 R_{ac}}{N^2 R_{ac} [1 - w^2 (L_1 + L_m) C_s] + jw (L_m + N^2 L_2) (1 - w^2 C_s L_{eq})} \right|$$

$$A = \frac{L_1}{L_m} \quad B = \frac{N^2 L_2}{L_m} \quad L_{eq} = L_1 + (L_m \parallel N^2 L_2) = L_m \left(A + \frac{B}{1+B} \right)$$

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} C_s}} \quad Q = \frac{w_r L_{eq}}{N^2 R_{ac}} \quad w_n = \frac{w}{w_r}$$

$$M = \left| \frac{1}{1 + A - \left(\frac{1}{w_n} \right)^2 \left(A + \frac{B}{1+B} \right) + jQ(1+B) \left(w_n - \frac{1}{w_n} \right)} \right|$$

I. Introduction

$$M = \frac{NV_o}{V_{in}} = \frac{Z_4 \cdot \frac{I_2}{N}}{Z_{in} \cdot I_1} = \frac{Z_4 \cdot \frac{I_2}{N}}{(Z_1 + Z_t) \cdot \left(\frac{Z_3 + Z_4 + Z_2}{Z_2}\right) \frac{I_2}{N}}$$

$$= \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1(Z_2 + Z_3 + Z_4) + Z_2(Z_3 + Z_4)}$$

$$z_1 = j\omega L_{l1} + \frac{1}{j\omega C_s} \quad / \quad z_2 = j\omega L_m \quad / \quad z_3 = j\omega N^2 L_{l2}$$

$$M = \frac{j\omega L_m N^2 R_{ac}}{\left(j\omega L_{l1} + \frac{1}{j\omega C_s}\right)(j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac}) + j\omega L_m (j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac})}$$

$$= \frac{j\omega L_m N^2 R_{ac}}{\left(j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac}\right) + [(-\omega^2 C_s L_{l1})(j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac})] + [(-\omega^2 C_s L_m)(j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac})]}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac} - j\omega^3 C_s L_{l1} L_m + j\omega^3 C_s L_{l1} N^2 L_{l2} - \omega^2 C_s L_{l1} N^2 R_{ac} - j\omega^3 N^2 L_{l2} L_m C_s - \omega^2 L_m C_s N^2 R_{ac}}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} + N^2 R_{ac} - j\omega^3 C_s L_{l1} L_m + j\omega^3 C_s L_{l1} N^2 L_{l2} - \omega^2 C_s L_{l1} N^2 R_{ac} - j\omega^3 N^2 L_{l2} L_m C_s - \omega^2 L_m C_s N^2 R_{ac}}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{N^2 R_{ac}[1 - \omega^2 C_s L_{l1} - \omega^2 L_m C_s] + j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} - j\omega^3 C_s [L_{l1}(L_m + N^2 L_{l2}) + L_{l2} N^2 L_m]}$$

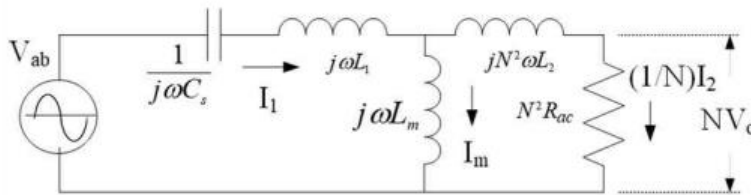
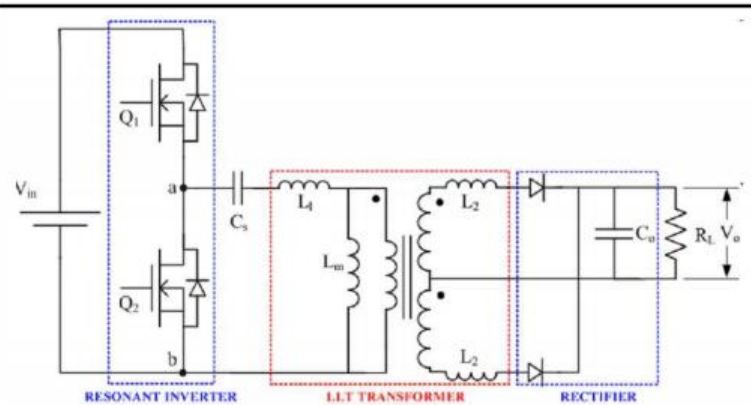
$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{N^2 R_{ac}[1 - \omega^2 C_s L_{l1} - \omega^2 L_m C_s] + j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} - j\omega^3 C_s [L_{l1}(L_m + N^2 L_{l2}) + L_{l2} N^2 L_m]}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{N^2 R_{ac}[1 - \omega^2 (L_{l1} - L_m) C_s] + j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} - j\omega^3 C_s [(L_{l1} + \frac{N m N^2 L_{l2}}{L_m + N^2 L_{l2}})(L_m + N^2 L_{l2})]}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{N^2 R_{ac}[1 - \omega^2 (L_{l1} - L_m) C_s] + j\omega L_m + j\omega N^2 L_{l2} - j\omega^3 C_s [L_{l1}(L_m + N^2 L_{l2}) + L_{l2} N^2 L_m]}$$

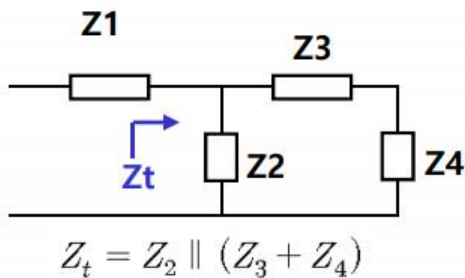
$$\rightarrow L_e = L_1 + (L_m \parallel N^2 L_2) = L_1 + \frac{L_m N^2 L_2}{L_m + N^2 L_2}$$

$$= \frac{-\omega^2 L_m N^2 R_{ac} C_s}{N^2 R_{ac}[1 - \omega^2 (L_{l1} - L_m) C_s] + j\omega (L_m + N^2 L_{l2}) (1 - \omega^2 C_s L_{eq})}$$



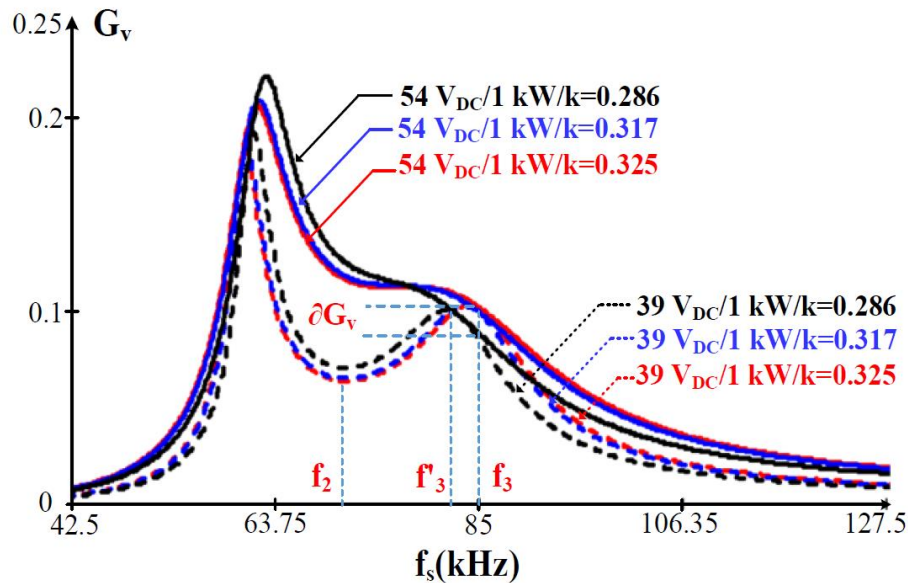
Equivalent circuit

$$N = \frac{n_p}{n_s} \quad L_{eq} = L_1 + (L_m \parallel N^2 L_2)$$



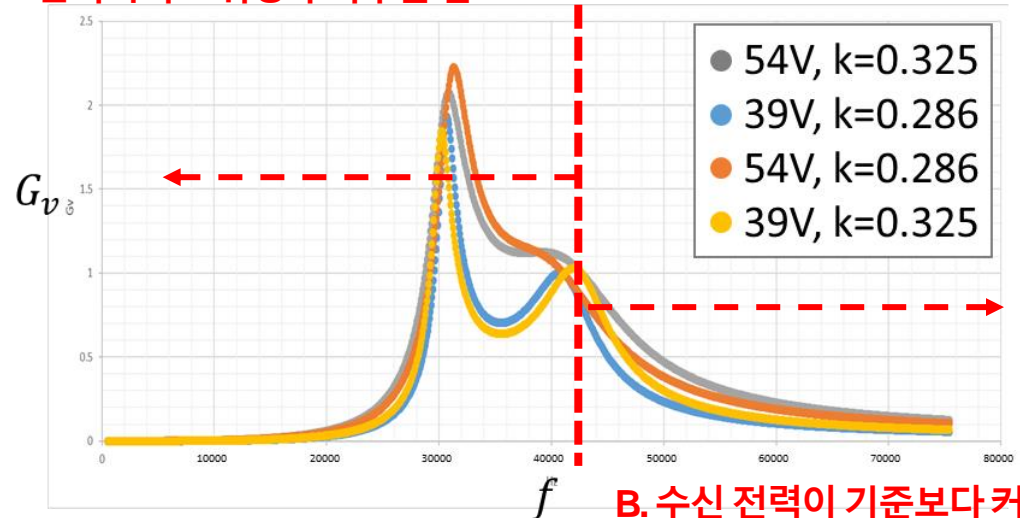
- 시뮬레이션 및 모델링을 이용하여 Converter 모듈의 공진 주파수를 획득하여 인버터 모듈의 가용 동작 스위칭 주파수를 획득함
- 이 때, 수신단에 원하는 전력 수신을 위하여 **인버터의 주파수(Switching Frequency)** 혹은 **파형 주기(Duty)**를 변화시키는 방법으로 적정 전력을 유지함

동작 주파수



< 부하가 변화할 때, Gain-Frequency 그래프 변화 >

A. 수신 전력이 기준보다 작아지면,
인버터의 스위칭 주파수를 감소



B. 수신 전력이 기준보다 커지면,
인버터의 스위칭 주파수를 증가



II무선전력전송 표준 개요

- 무선전력전송은 전력의 크기에 따라 크게 3가지 표준 존재 (그 외에도 다양한 표준 존재)
 - 현재 무선전력전송은 저전력 표준 WPC Qi가 있으며 휴대폰 충전은 상용화
 - 아이폰 맥세이프의 경우, 자석 기능을 통한 alignment 구현하며 표준 개정작업시 추가 예정
 - 주방가전 무선전력전송을 위한 중전력 표준 WPC Ki
 - 무선전력전송 범위는 ~2.4kW
 - 전기차 무선전력전송을 위한 대전력 표준 SAE J2954



<휴대폰 무선 충전 표준 WPC Qi>



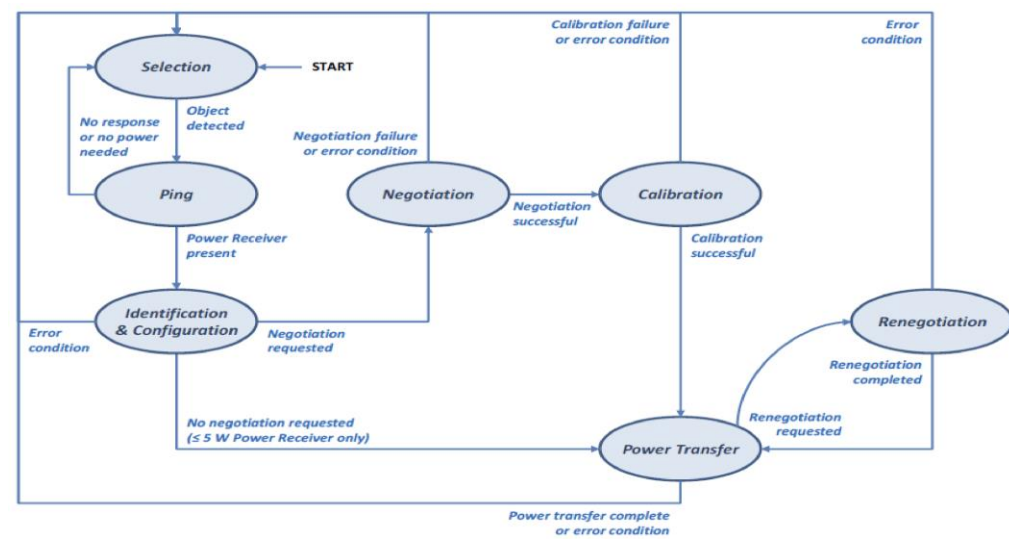
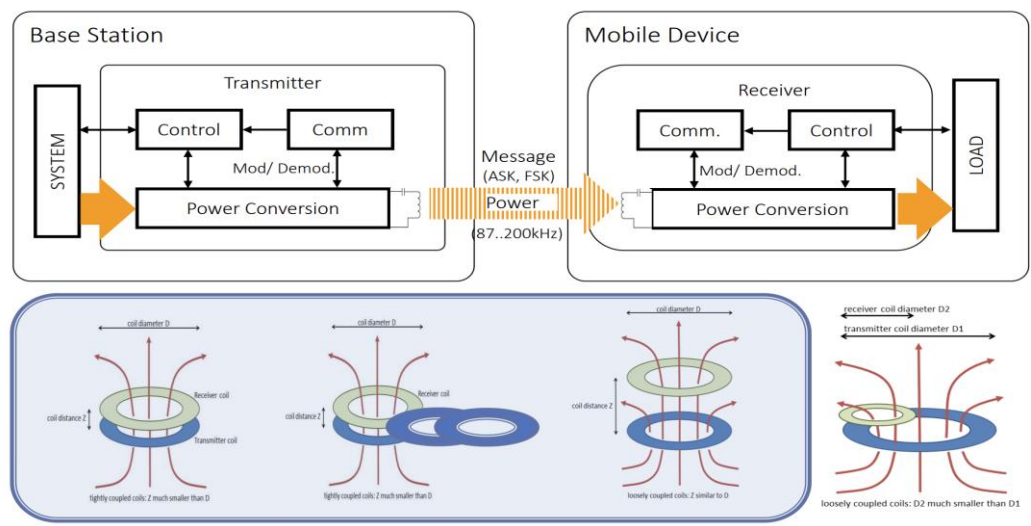
<주방가전 무선 충전 표준 WPC Ki>



<차량 무선 충전 표준 SAE J2954>

- WPC Qi 표준(모바일)
- WPC Qi는 자기 유도 방식만의 무선 충전 규격

→ 자기 유도 방식이란, 두 개의 코일이 인접해 있을 때 하나의 코일에 전류를 흘리면 자기장이 발생하고 인접한 다른 코일에는 유도 자기장 및 유도 전력이 발생하는 원리

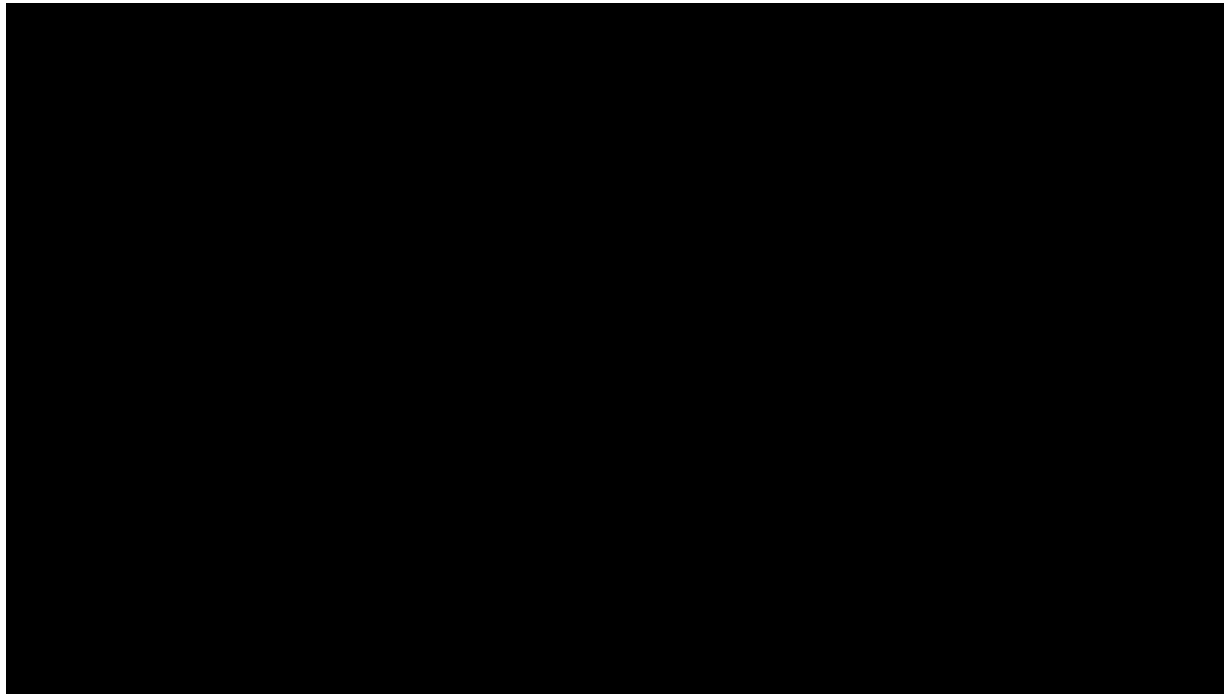


< (좌)system architecture / (우) Power transfer phase >

- 충전은 selection단계부터 시작하여 power transfer 과정을 통해 충전
- 순서 : ping → Identification & Configuration → Negotiation → Calibration → Power Transfer → (Renegotiation)

□ WPC Ki 표준(스마트 키친)

- WPC KI concept: 주방 또는 식탁에 설치된 무선전력 송전 패드에 커피포트, 전기 밥솥 등을 올려놓으면 자동 무선충전 또는 유도 가열을 활성화 → 최종적으로 인덕션과의 결합을 목표
- WPC Ki 표준은 자기공진 방식이 융합된 형태의 자기유도 방식을 사용
- Kitchen Work Group(KWG)은 주방기기관련 Kitchen 무선충전 사양을 2020년 2월에 ver 0.8가 발표하였으며, 2021년 3월에 ver 0.9가 발표



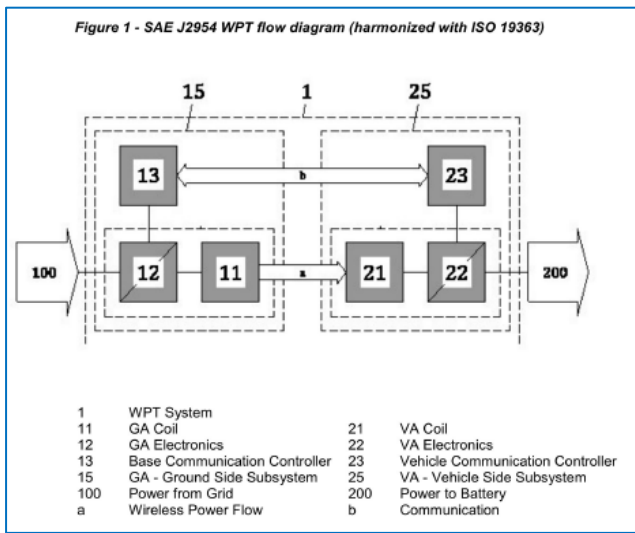
< WPC KI 주방가전 무선충전 컨셉 >

□ 전기차 무선충전 SAE J2954

- SAE(미국자동차기술회, Society of Automotive Engineers)에서는 비접촉 급전 표준화 J2954를 제정
- 1kW 넘는 대전력 무선전력전송은 EV응용에 관한 논의가 이루어지며 무선충전이 가정 및 EV 충전소에 이루어질 것이라 가정
- SAE J2954에서 다루는 통신/인터페이스 외에도 다양한 표준이 존재

→ SAE J2954는 유도 코일, 전자기 한계, 기술의 테스트 및 시연 단계에 대한 상호 운용성에 대한 지침(85kHz 대역)

→ SAE J1772 및 J2847/6은 유도충전 커플러 및 통신에 대한 지침



2.1.1 SAE Publications

Available from SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, Tel: 877-606-7323 (inside USA and Canada) or +1 724-776-4970 (outside USA), www.sae.org.

SAE J1211	Handbook for Robustness Validation of Automotive Electrical/Electronic Modules
SAE J1772	SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler
SAE J2836/6	Use Cases for Wireless Charging Communication for Plug-in Electric Vehicles
SAE J2847/6	Communication between Wireless Charged Vehicles and Wireless EV Chargers

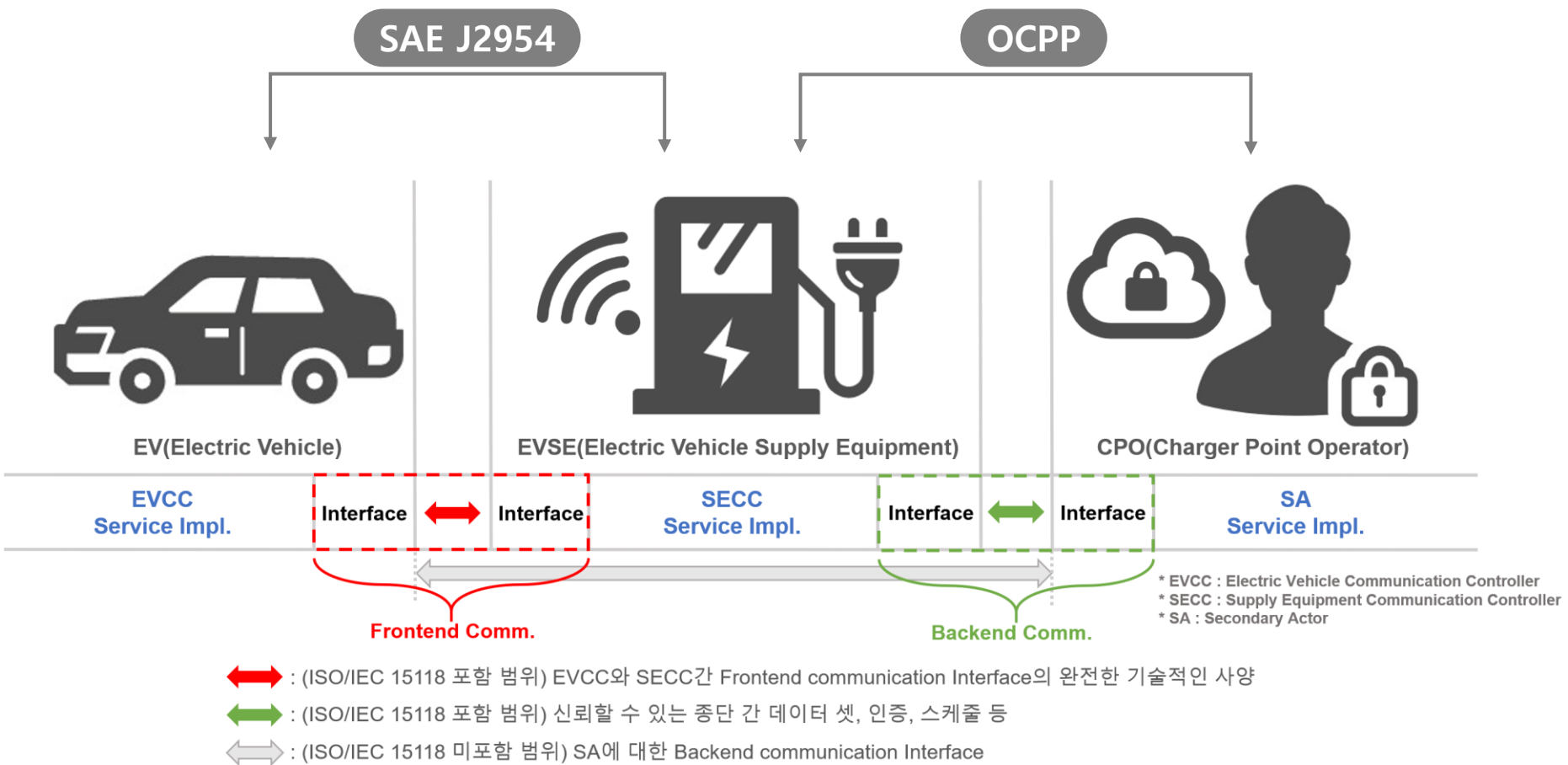
< 차량용 무선충전 시스템 개요 >

< SAE J2954와 연관된 J1772 및 J2847 표준 >



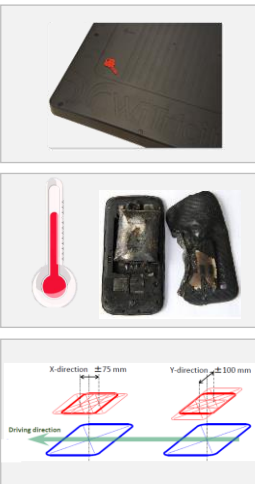
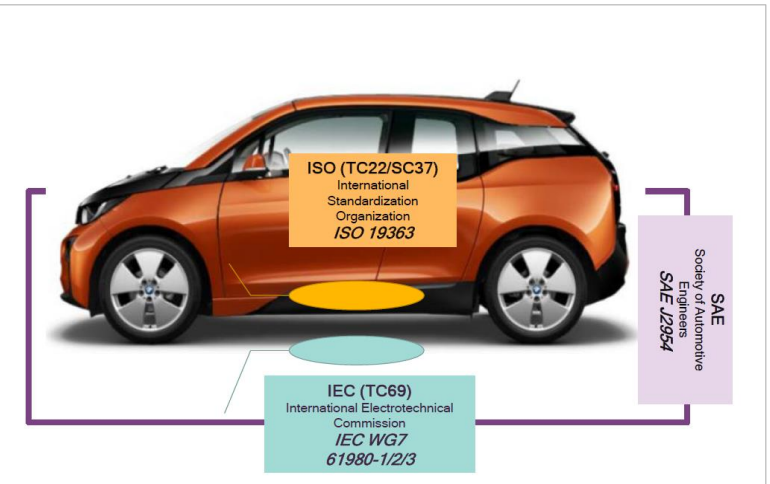
III SAE J2954

- 전기차(EV)와 무선충전기(EVSE)간의 통신 및 규격 SAE J2954에서 명시
- 무선충전기(EVSE)와 충전소 사업자(CPO, Charging Point Operate)간의 통신관련 프로토콜은 OCPP에서 명시



Ⅲ. 무선전력전송표준 – SAE J2954

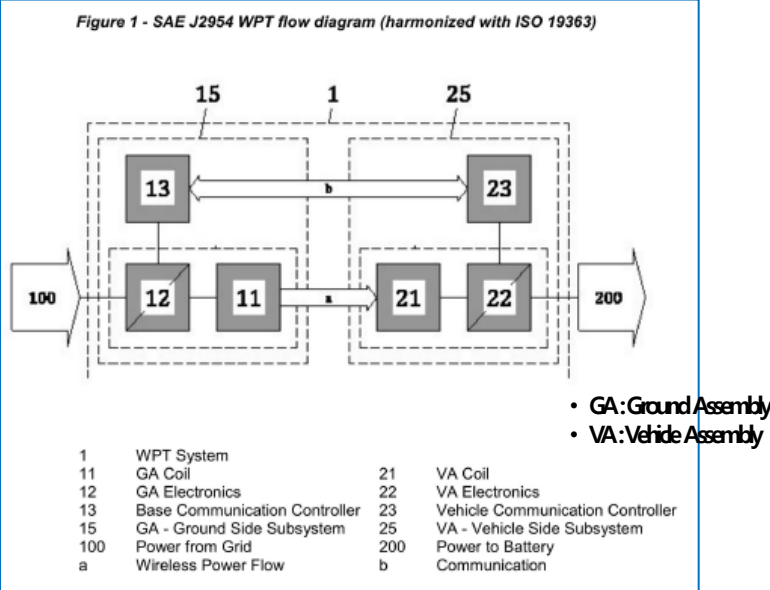
- 2035년, 주요 16개국 시장 무선충전 수신부 탑재 차량 수는 약 500만대로 예측 (2025년부터 중국, 미국 시장의 급 확대 전망)
- 미래 자율주행차 시대를 대비하여 자동 충전/ 과열 감지/ FOD/LOP 기능을 탑재한 안전한 급속 무선충전 기술 개발이 필요



송신단 (IEC TC69, IEC 61980-1/2/3)
전기자동차 무선전력전송을 위한 송신단 출력 요구조건, 통신 등
의 시스템을 다루고 있음

수신단 (ISO TC22/SC37, ISO 19363)
과전류, 과열 등에 의한 인체 안전성 문제 및 수신단 간의 상호 호
환성 문제를 다루고 있음

통신/인터페이스 (SAE J2954, 미국자동차 기술자협회의)
85 kHz 대역(79 – 90 kHz) 전기자동차 무선충전을 위해 필요한
차량 유도, 정렬, FOD/LOD 등의 내용들을 제시하고 있음



- SAE J2954는 유도 코일, 전자기 한계, 기술의 테스트 및 시연 단계에 대한 상호 운용성에 대한 지침(85kHz 대역)에 정의
- 그 외의 관련 표준으로 SAE J1772 커플러 규격, SAE J2847은 통신에 대해 정의

2.1.1 SAE Publications

Available from SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, Tel: 877-606-7323 (inside USA and Canada) or +1 724-776-4970 (outside USA), www.sae.org.

SAE J1211	Handbook for Robustness Validation of Automotive Electrical/Electronic Modules
SAE J1772	SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler
SAE J2836/6	Use Cases for Wireless Charging Communication for Plug-in Electric Vehicles
SAE J2847/6	Communication between Wireless Charged Vehicles and Wireless EV Chargers
SAE J2894-1	Power Quality Requirements for Plug-in Electric Vehicle Chargers
SAE J2931/6	Signaling Communication for Wirelessly Charged Electric Vehicles
SAE J2953/1	Plug-in Electric Vehicle (PEV) Interoperability with Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)
SAE J3016	Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles

- SAE J2954에서는 전체적인 무선전력전송 플로우 차트 제시
- 차량이 충전지점 6m이내에 진입 시 'Guidance' , 1.5m 이내 진입시 'Fine Alingment'
- 무선전력전송이 시작하기 마지막 전 단계로 'Alignment Check'가 이루어짐

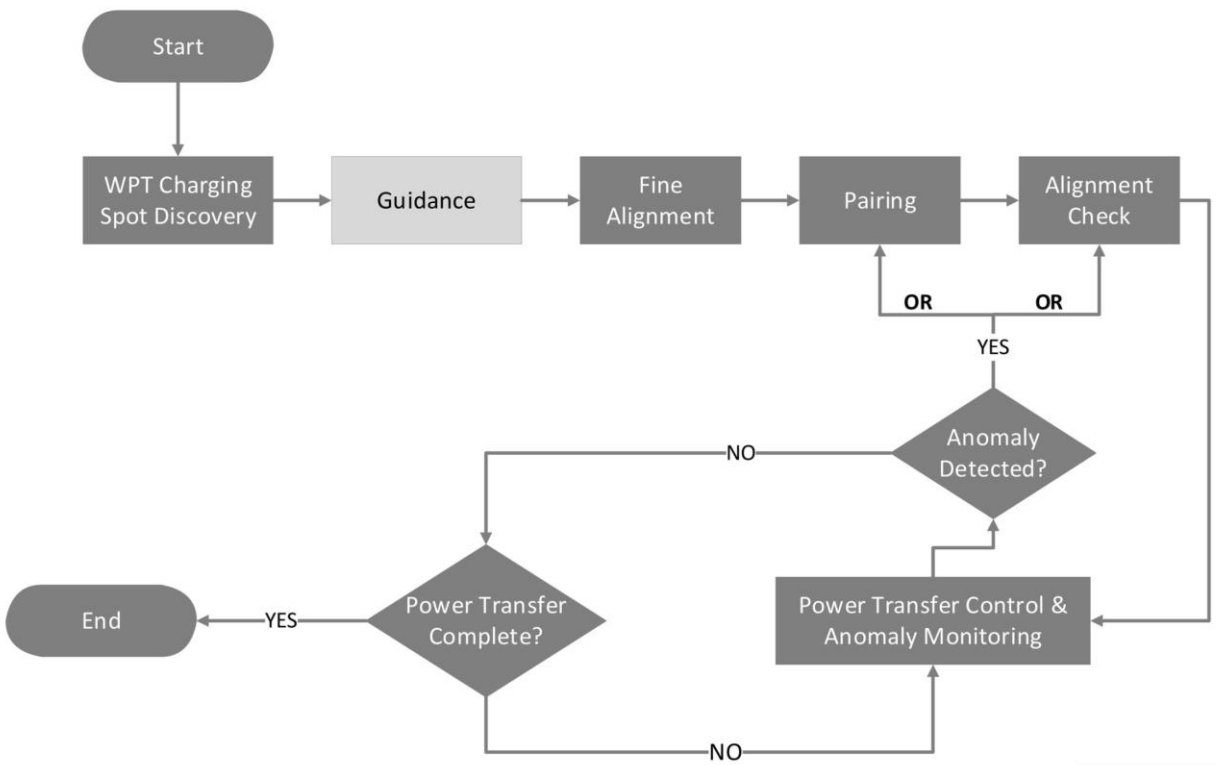


Figure 20 - Wireless charging process flow diagram

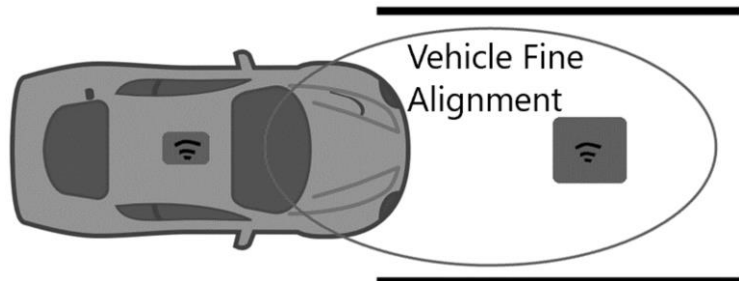


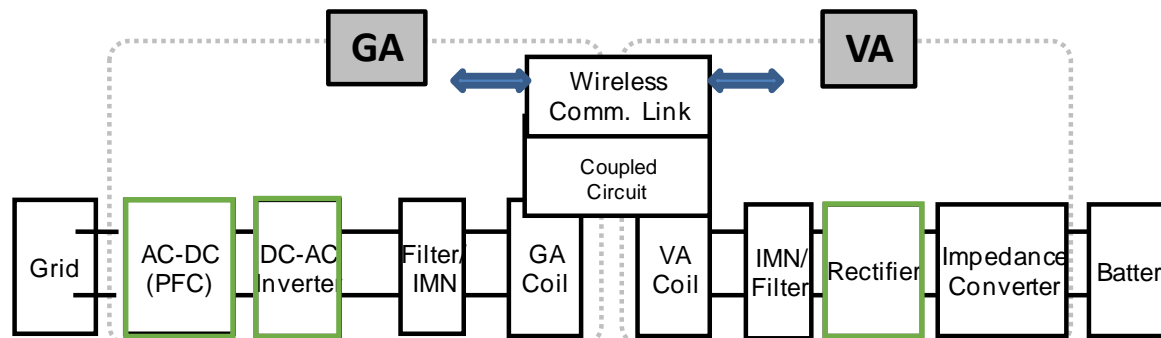
Figure 21 - SAE J2954 vehicle alignment concept

Legend

Function

Optional Function

- WPT 시스템은 GA(Ground Assembly)와 VA(Vehide Assembly)로 구성
- GA : 무선전력전송시스템 전원으로 사용되기 위한 그리드 및 각 장치 간 배선, 필터링 회로 등의 assembly
- VA : 차량의 코일, 배터리 및 각 변환 장치 등으로 구성된 배선 assembly
- GA는 크게 PFC 컨버터, DC-AC 인버터, 필터 및 GA코일에 연결된 IMN(Impedance matching network)으로 구성
- VA는 크게 IMN 및 필터, rectifier, impedance converter로 구성
- GA는 VA의 상태를 알고, VA는 GA로부터 메시지를 수신하고 응답할 수 있도록 통신 시스템을 공유



PFC를 통해 DC전압 정류 / Inverter를 통해 85kHz로 스위칭

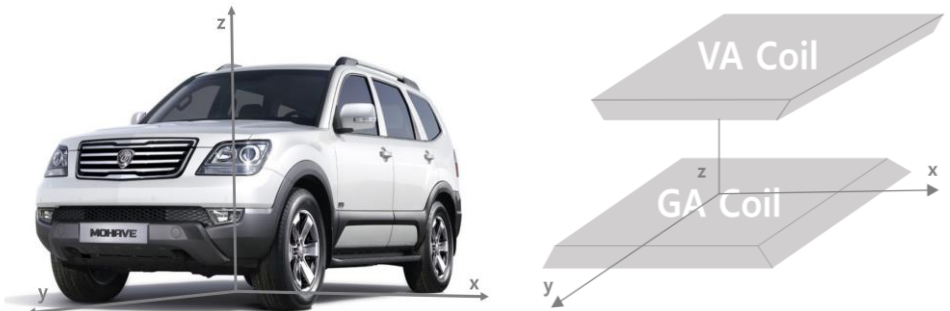
Rectifier를 통해 직류로 변환해 배터리 충전

- WPT 전력 시스템은 4단계 클래스로 구성(WPT4는 SAE J2954에서 다루지 않음)
- WPT1(3.7kW), WPT2(7.7kW), WPT3(11.1kW), WPT4(22kW)
 - 전기자동차 무선충전소 설치 시 사업자의 수요를 고려해 적절한 용량 선택 및 설치
- 시스템 효율은 기본적으로 송수신 코일이 정렬된 경우와 완벽히 정렬되지 않은 경우로 구분

WPT Class of Test VA	At Centered Position	In Alignment Tolerance Area
WPT1	80%	75%
WPT2	82%	77%
WPT3	85%	80%

< 무선전력전송 시스템 전력 및 효율 분류>

- 시스템은 center position에서부터 x와 y 방향으로 misalignment 판단

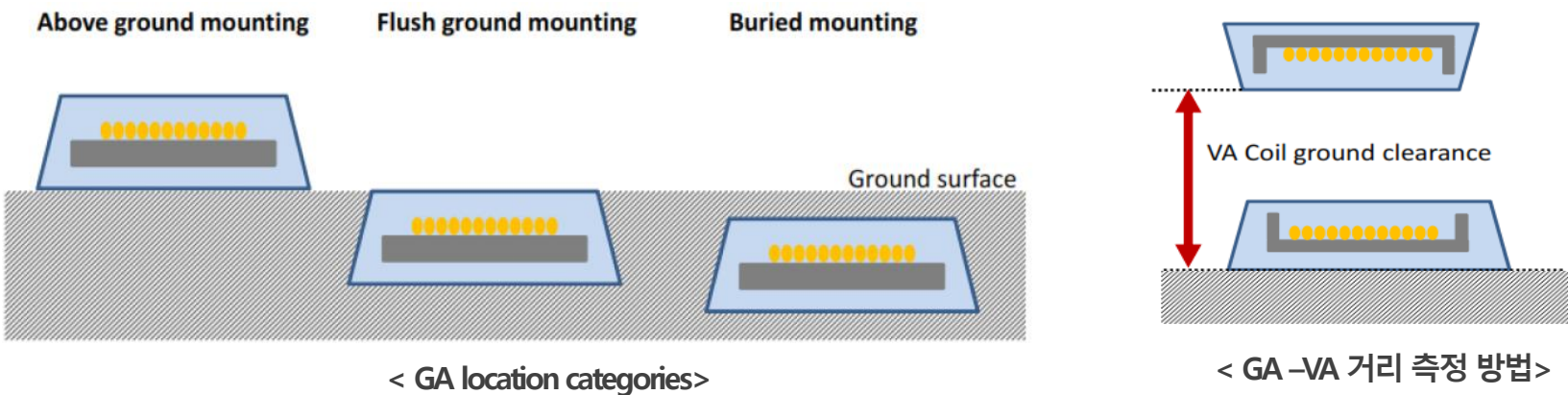


< VA-GA에 따른 차량 방향>

Offset Direction	Value (mm)
ΔX	± 75
ΔY	± 100
ΔZ	$Z_{nom} - \Delta_{low} \rightarrow Z_{nom} + \Delta_{high}$

< X, Y, Z 축의 오차 범위>

- GA의 경우 3가지 타입이 제시
- 타입에 상관없이 바닥에서부터 VA의 윗부분까지를 VA와 GA간 거리로 정의

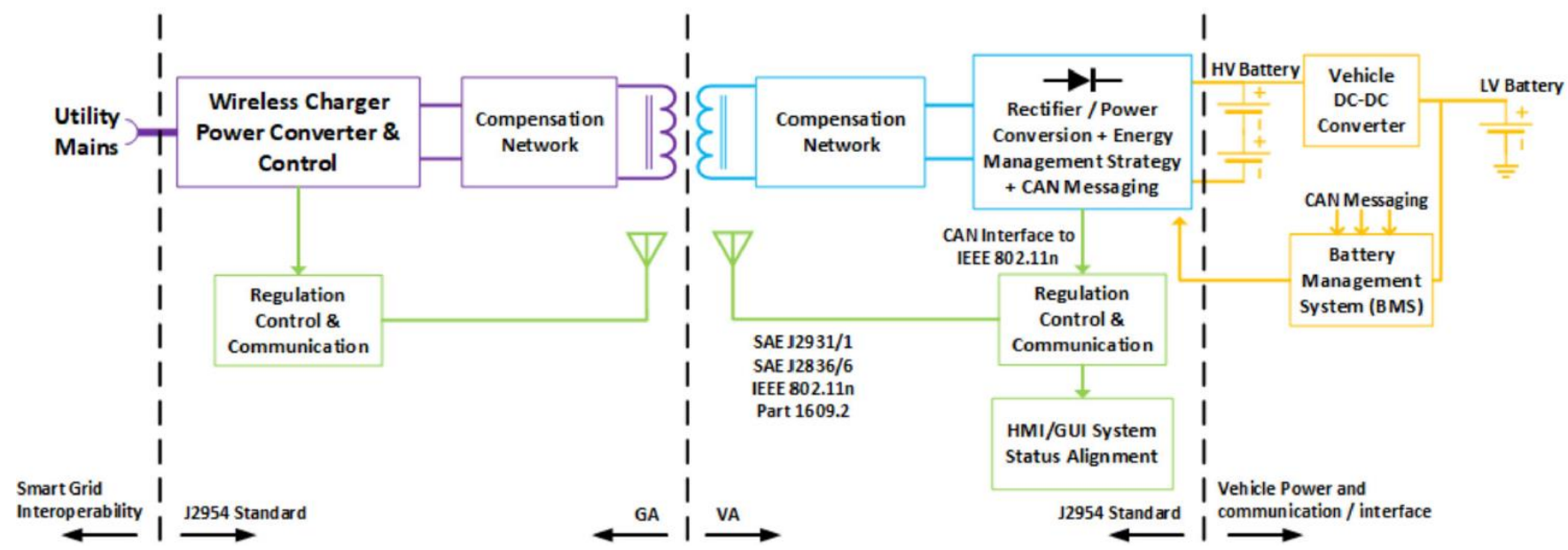


- 전력이 전달되어야하는 수직거리는 WPT 시스템 사양에 중요한 매개변수로 3개의 Z클래스를 정의
- VA는 차량의 높이, 타이어 공기압, 장착 위치에 따라 달라지기 때문에 Z클래스에 포함되지 않음

Z-Class	VA Coil Ground Clearance Range (mm)
Z1	100 to 150
Z2	140 to 210
Z3	170 to 250

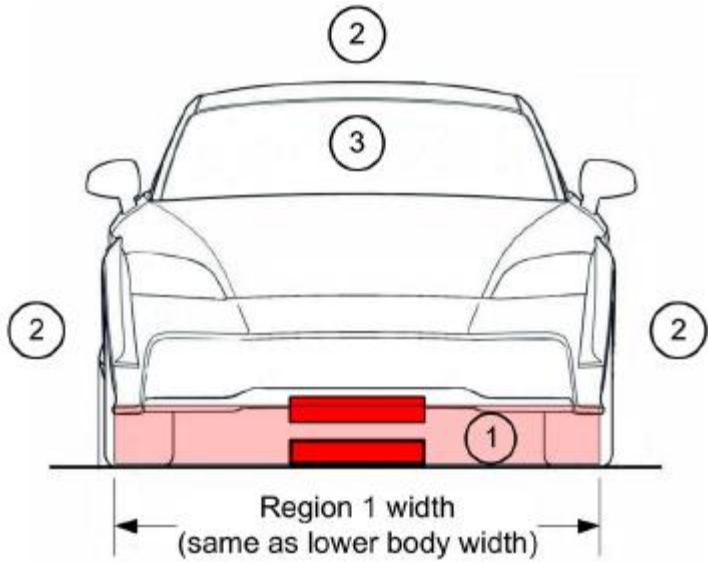
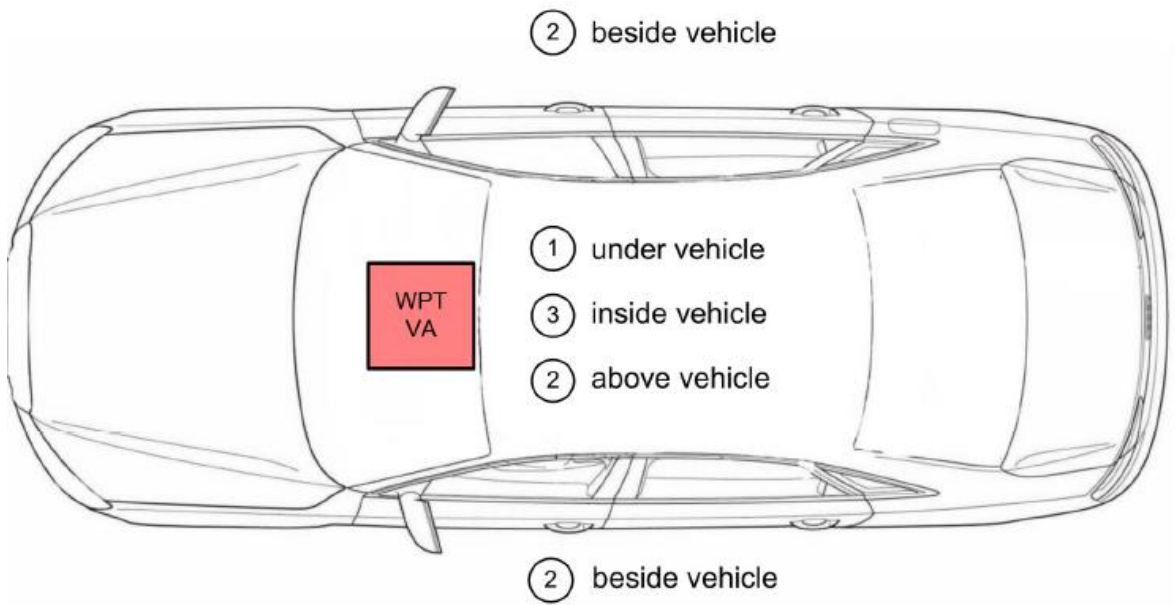
< Z클래스에 따른 VA-GA간의 거리 >

- WCS(Wireless Charging System)는 utility interface, high frequency power inverter, filter, compensation network, power transfer coil, compensation network, rectifier, optional regulator 및 무선충전시스템과 power inverter에 연결된 유틸리티 간의 통신으로 구성



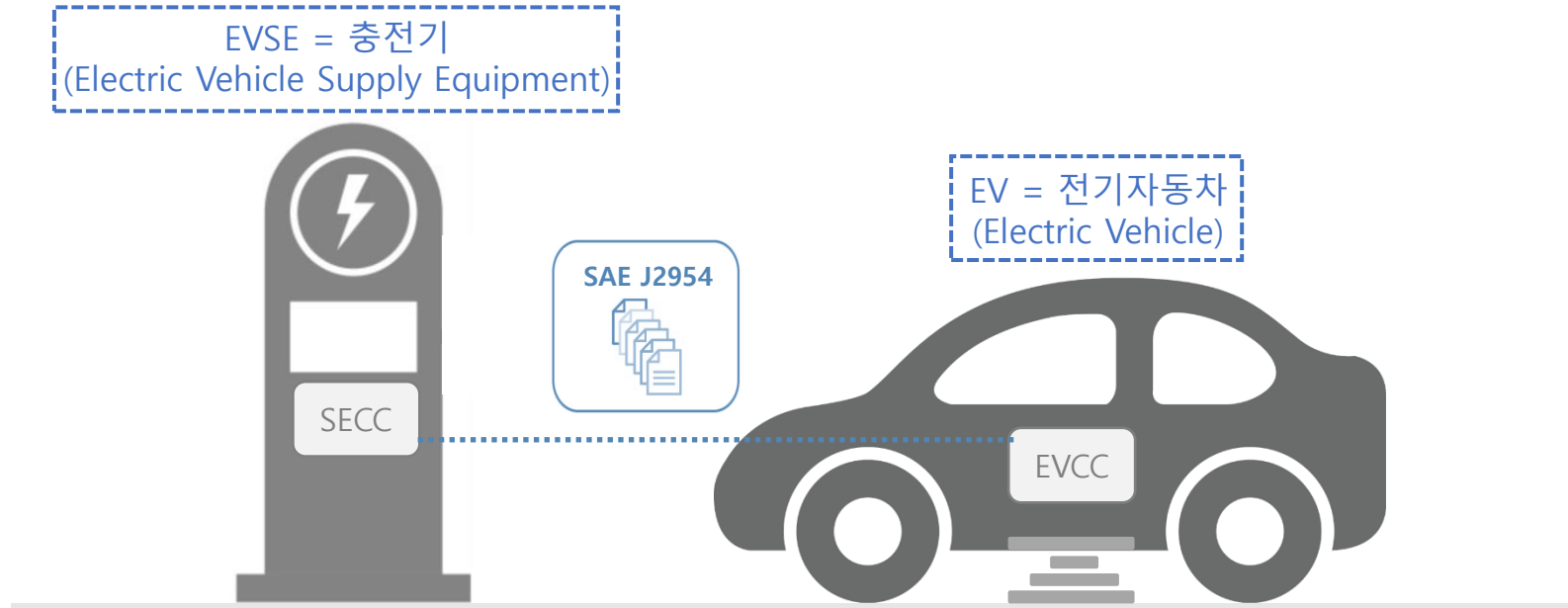
< WCS 구성도 >

- EMF(전자파 강도)로부터 안전하기 위한 3가지 물리적 영역을 분리 → EMF가 다르기 때문에 구역 단위로 나누어 제어
- Region 1은 차량 아래에 해당하며 무선전력전송이 이루어지는 부분
- Region 2는 차량 위, Region 3은 차량 안에 해당





IV Protocol 및 MSG



SECC(Supply Equipment Communication Controller) :
전기차용 충전 컨트롤러로 전기차 무선 충전의 송신단 역할(충전소)

EVCC(Electric Vehicle Communication Controller) :
공급 기기용 충전 컨트롤러로 전기차 무선 충전의 수신단 역할(전기차)

- EV와 EVSE를 연결하면 네트워크 연결이 설정
- 다음으로 V2G 통신 세션의 초기화를 수행해 EVSE에서 제공하는 모든 서비스를 받은 후 배터리 충전 시작되며 충전 프로세스가 끝나면 전원이 꺼짐
- flow를 제어하는 데 사용되는 메시지 순서가 존재하며 아래와 같음

Initialization of V2G Communication Session: 프로토콜 호환성 확인, V2G 통신 세션 설정, client/server ID 교환

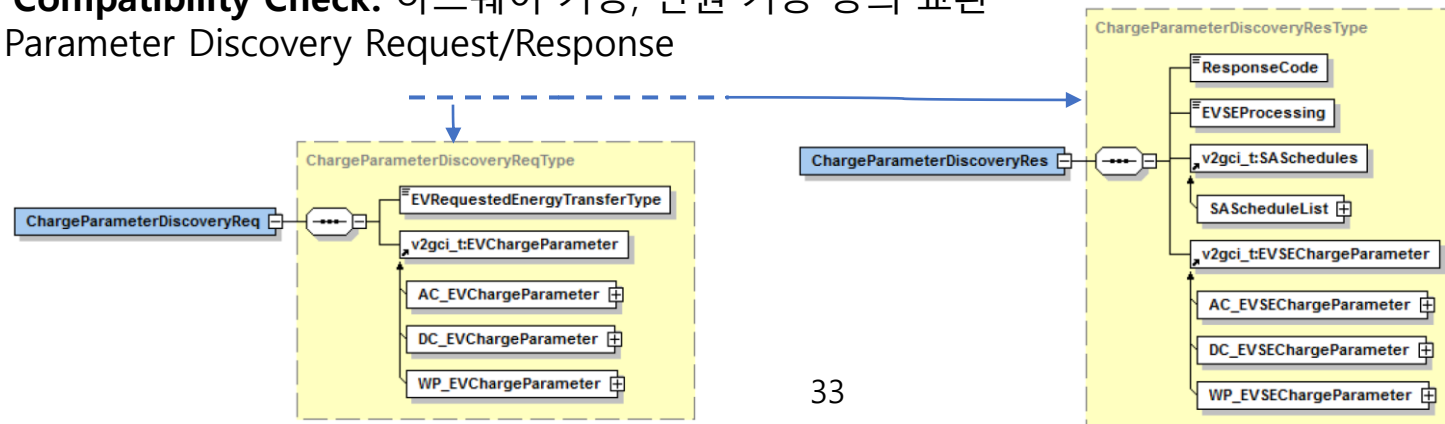
- supportedAppProtocolRequest/Response
- Session Setup Request/Response

Service Discovery: EVSE에서 제공하는 서비스(청구서)

- Service Discovery Request/Response
- Service and Payment Selection Request/Response
- Contract Authentication Request/Response

Hardware Compatibility Check: 하드웨어 기능, 전원 기능 등의 교환

- Charge Parameter Discovery Request/Response



Alignment and Pairing: 비콘을 시작하고 기본 장치 ID를 결정 및 페어링

- StartAlignment Request/Response
- EndAlignment Request/Response
- Pairing Request/Response
- Start Alignment Check Request/Response
- End Alignment Check Request/Response

Charge vehicle: EV충전은 EVSE에서 제공하는 서비스 중 하나로 3단계의 충전 프로세스를 가짐

Set up charging process: 충전 매개변수에 대한 agreement, 충전 프로세스 시작

- WP Pre-Charge Request/Response
- Power Delivery Request/Response

Charging process: 에너지 transfer

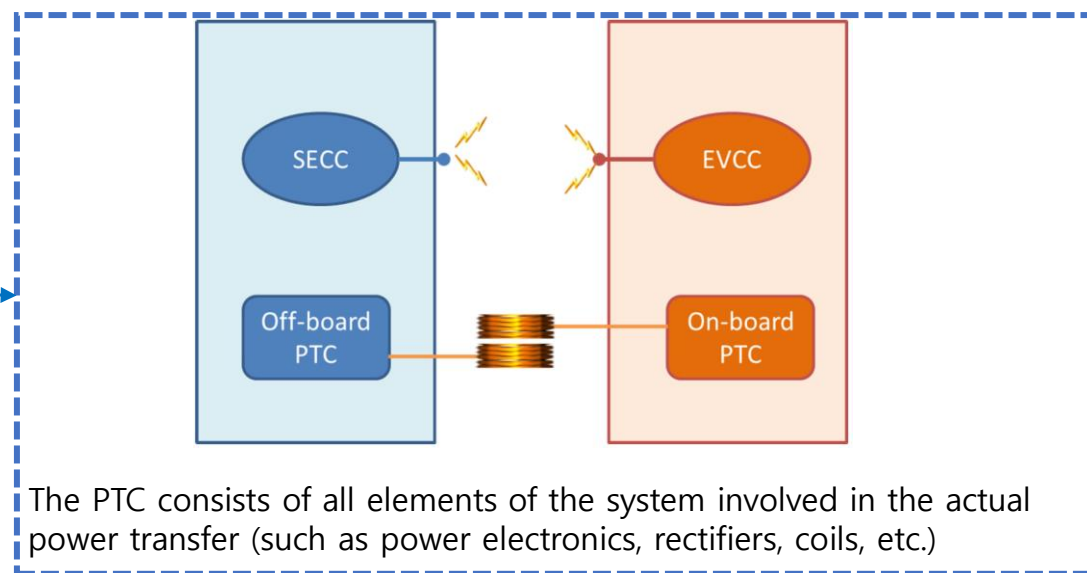
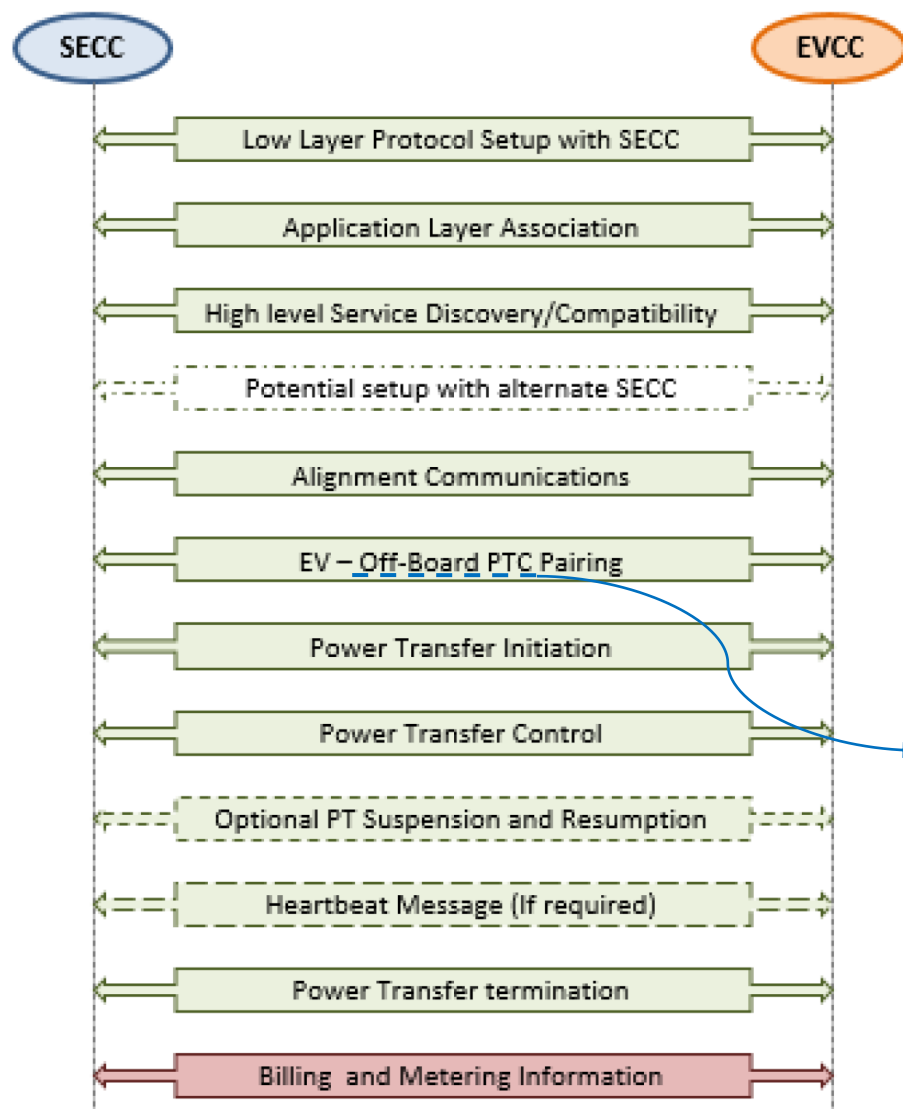
- Power Demand Request/Response

Finalize charging process: 전력전송 중지, 충전 프로세스 중지

- Power Delivery Request/Response
- Stop Session Request/Response

충전 프로세스가 완료되면 EV는 충전 패드에서 자유롭게 이동

IV. Overall High Level Message Flows

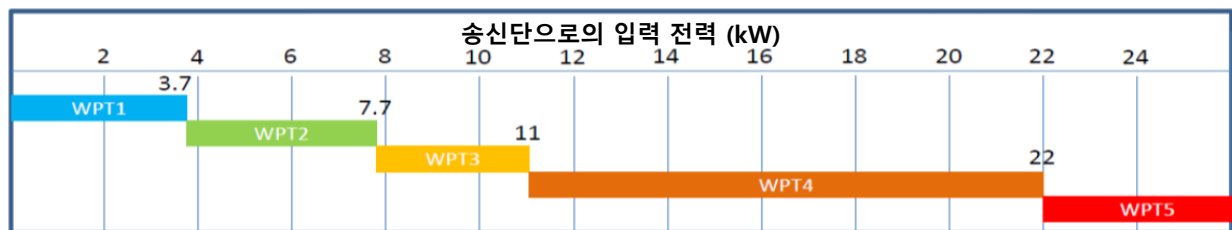


- 시스템 주파수

79 – 90 kHz (통칭 85 kHz 대역) 주파수가 승용차 및 경차를 위해 할당됨 (ITU, 국제 전기 통신 연합)

- 무선충전 전력 구분

무선충전 **입력 전력**을 기준으로 구분함, EV의 전력 회로는 구분하지 않음



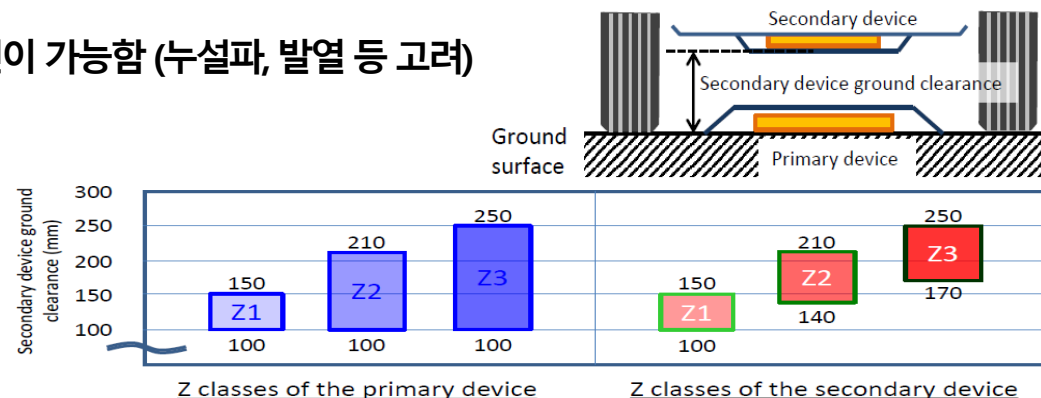
- 시스템 효율

WPT 1/2/3의 경우, 80% 이상의 충전 효율일 때에만 무선충전이 가능함 (누설파, 발열 등 고려)

- 공차 구분 (Ground clearance, 송수신단 사이 거리)

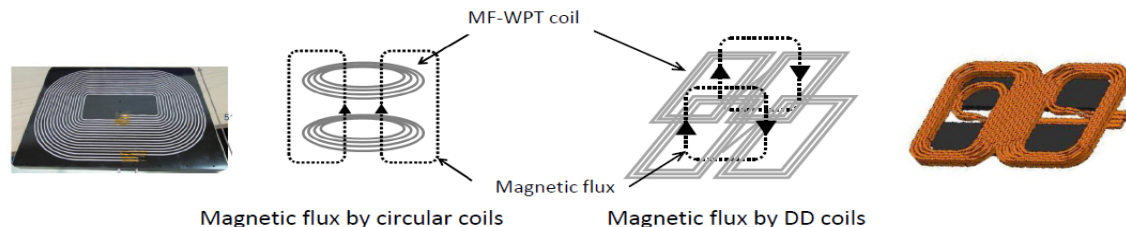
Ex) Z3 송신단: 10 ~ 25 cm의 수신단 충전이 보장되어야 함

Ex) Z3 수신단: 17 ~ 25 cm에서 반드시 충전이 가능해야 함



- 안테나 호환성

송신단은 반드시 원형 코일 (Circular)이어야 함



전기적 안전성 / 신뢰도

무선전력전송 시스템

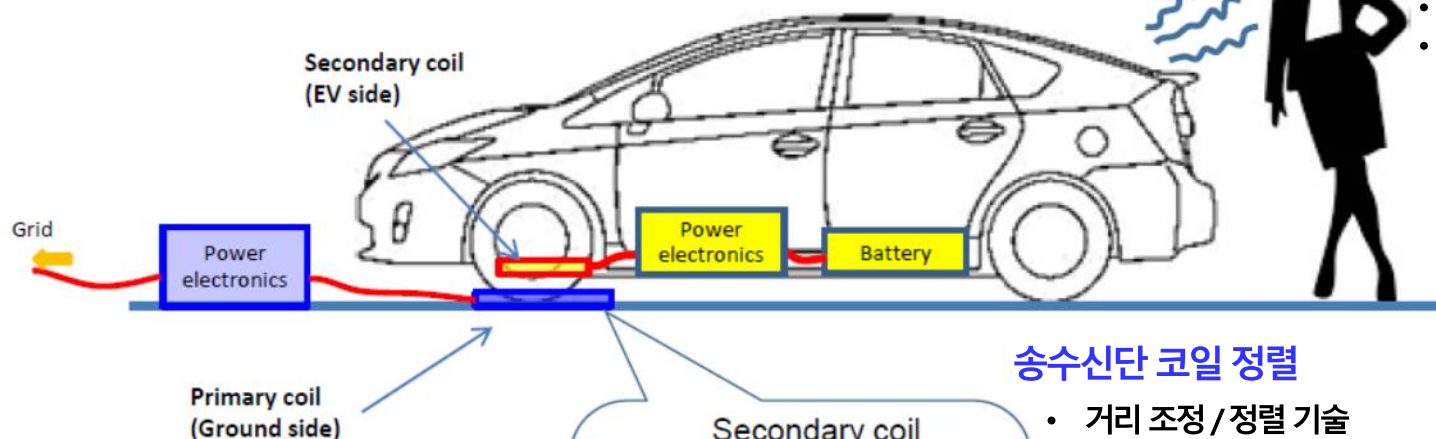
- 송수신단 제조사간 상호 호환성
- 높은 전송 효율 / 빠른 충전 시간
- 전기적 견고성 (충전 정렬 / 공차 변동에 따른 효율 유지 등)
- 합리적 가격

전자기파 적합성 (EMC)

- 다른 전파 장치에의 간섭

수신단 디자인

- 크기와 무게 감소
- 지하 설치물의 견고성 (녹, 동결, 모래 등)
- 금속 차체 영향 완화

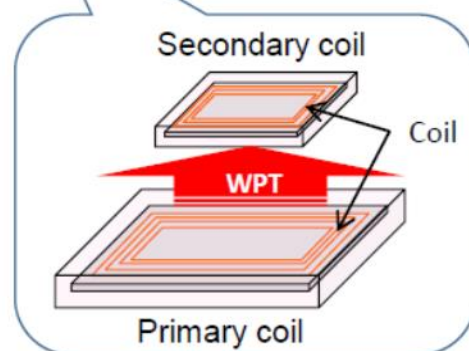


생명체 보호 (LOP, Living Object Protection)

- 검출 기술
- 검출 거리
- 검출 성능
- 검출 오류 감소

송수신단 코일 정렬

- 거리 조정 / 정렬 기술
- 정확성



금속 물질 탐지 (FOD, Foreign Object Detection)

- 검출 기술
- 검출 거리
- 검출 성능
- 검출 오류 감소



송신단 코일 / 전력 회로 디자인

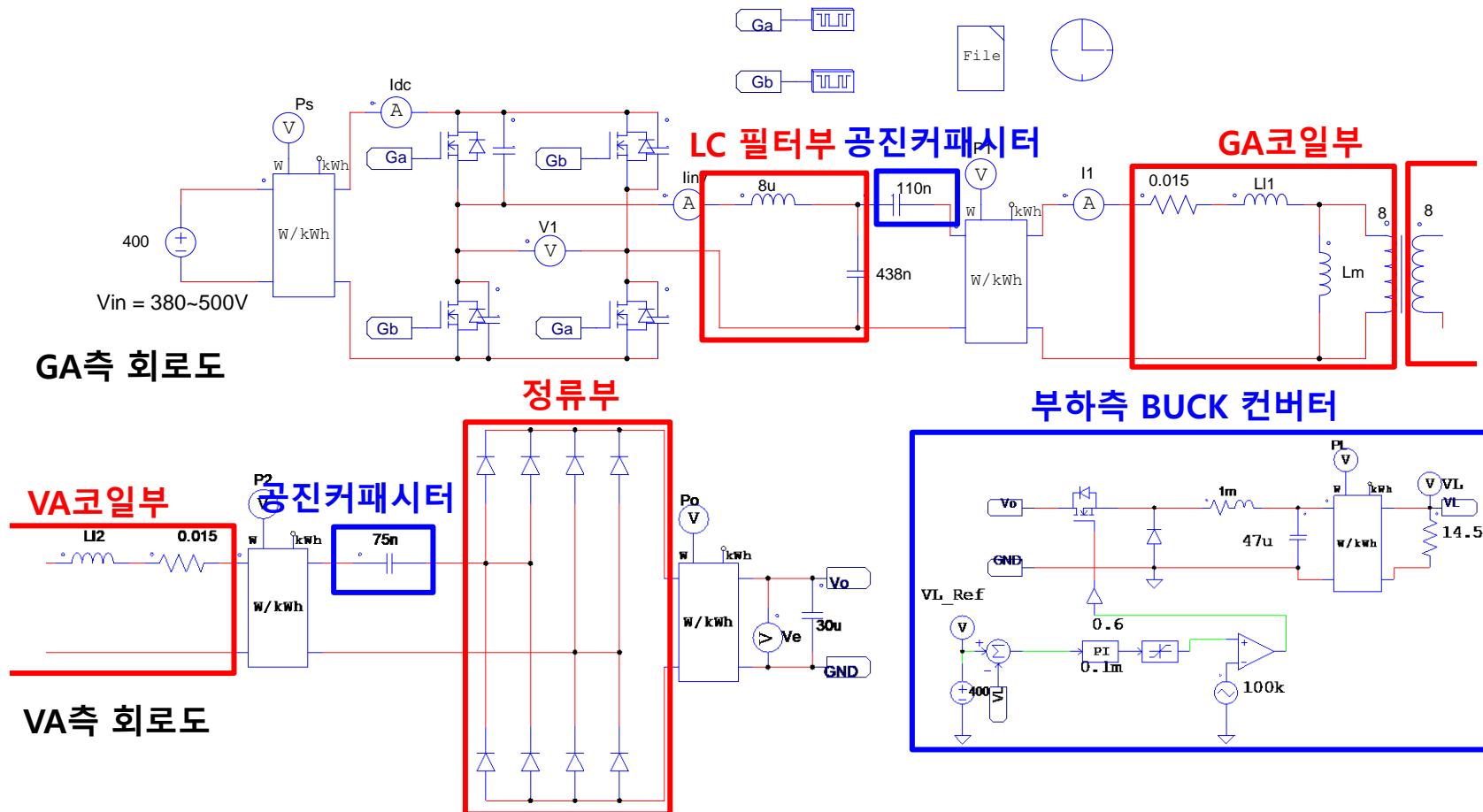
- 열 내성
- 구조적 강인함



V 구현

□ PSIM 회로도 모델링 - CR WPT 규격 시뮬레이션 회로도

가변 파라미터: L_m , $L1$, $L1_2$

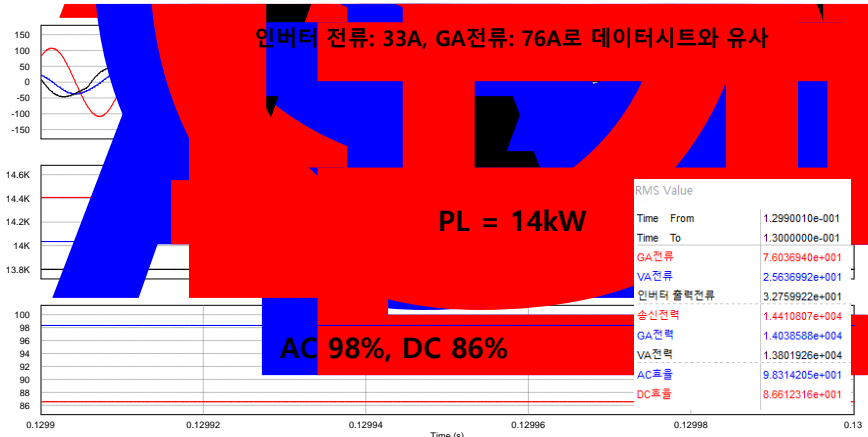


□ PSIM 회로도 결과 분석 - CR WPT PSIM 시뮬 결과 ($L_{GA} = 35\mu H$, $C_{VA} = 1000nF$)

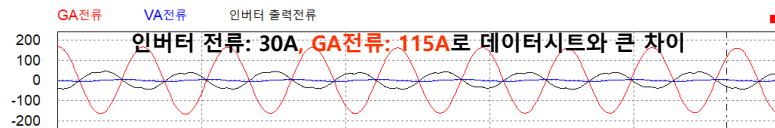
Maximum PFC Output Current	29 ADC
Maximum GA Inverter Output Current	40 A rms
Maximum GA Coil Current	75 A rms

Table 8 - Class I minimum system efficiency requirements

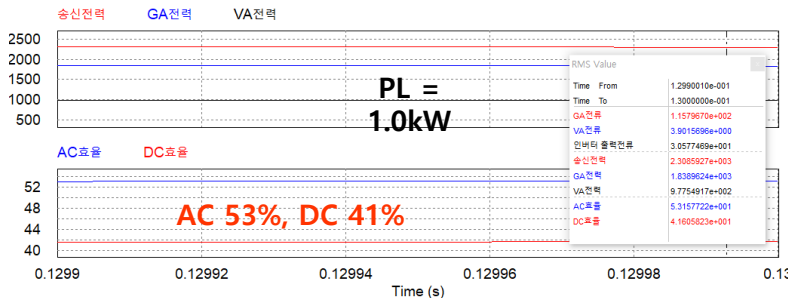
WPT Class of Test VA	At Centered Position	In Alignment Tolerance Area
WPT1	80%	75%
WPT2	82%	77%
WPT3	85%	80%



dz = 100mm (k=0.335) case

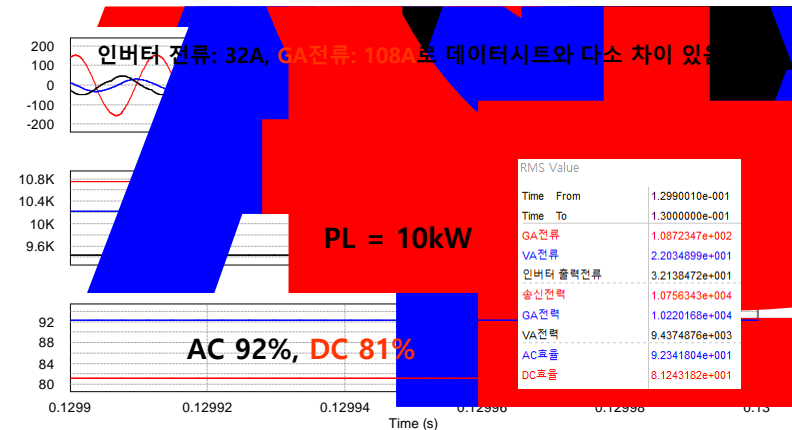


dz = 170mm (k=0.188) case

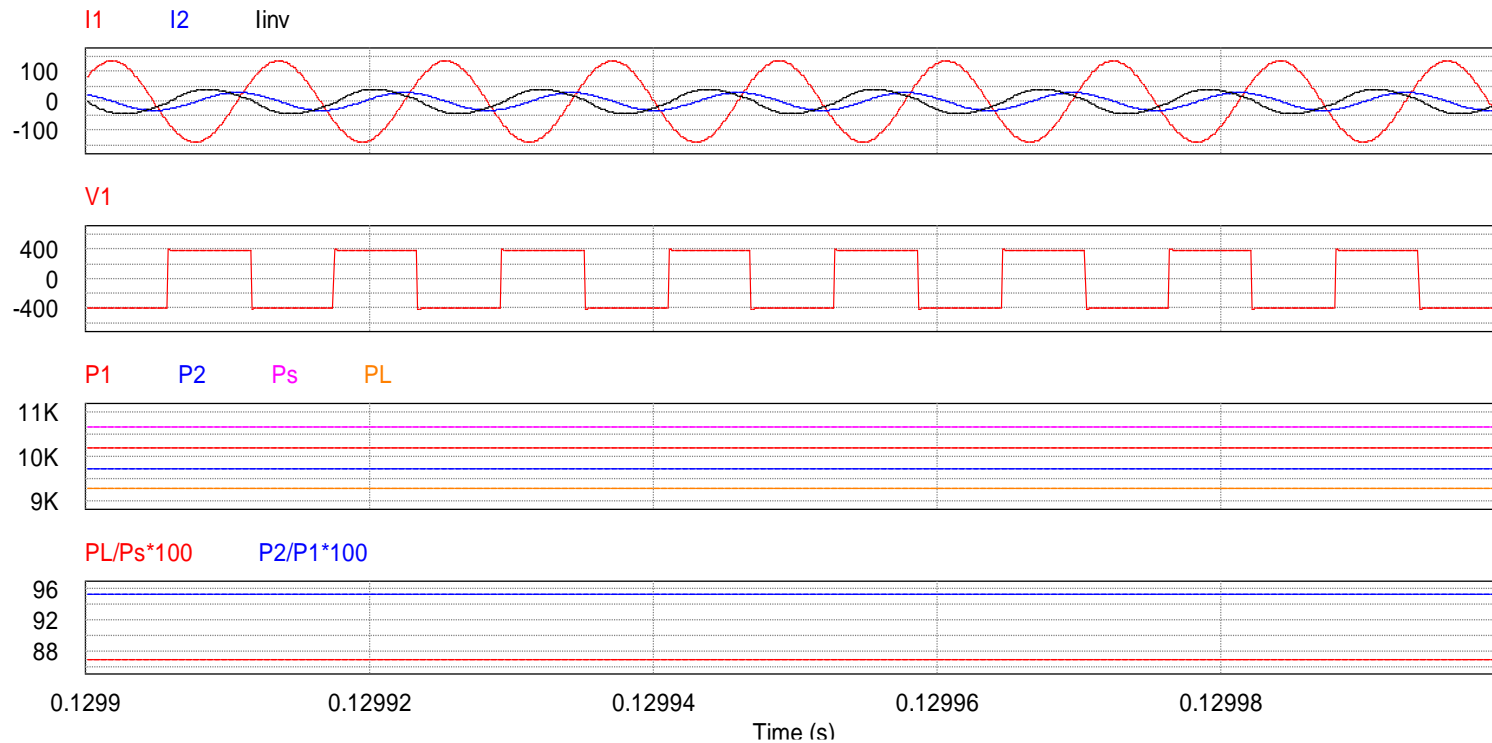


dz = 240mm (k=0.108) case

가변 파라미터 고정 $V_{in} = 500V$, $V_o = 300V$
VA측 150nF 사용시 전력 및 효율이 급격히 낮아짐 (여기에서는 사용 안함)



□ 시뮬레이션 모델링 및 1차 해석 - 전류, 위상차, 손실, 효율 확인



□ 규격 코일 선정 - WPT3 Class 코일구조 (Circular type Universal GA)

규격에 맞는 코일 구조 모델링
(Ansys Maxwell)

↓ FEM 환경에서 Magnetic loss tangent 값 삽입

FEM으로부터 L, R, k 값 추출

↓ FEM에서 추출한 저항값 삽입 (Stranded vs Solid)

PSIM 회로 모델링

↓ 전류, 효율, 손실 등은 rms 값

PSIM으로부터 송수신부 전류,
위상차, 손실, 효율 등 확인

↓ Power Loss model의 cm, a, b 값 삽입

PSIM으로 도출된 전류와 위상차를
FEM에 재삽입

To calculate the inductance in terms of the physical dimensions of the inductor model in Figure 1a, the complex inductance L_e can be expressed by the complex permeability as follows:

$$L_e I_e = N_e \Phi_e \rightarrow L_e = \frac{N_e^2 A_e \mu_0 \mu_r}{l_e} \quad (2a)$$

$$\therefore \Phi_e = B_e A_e, \quad (2b)$$

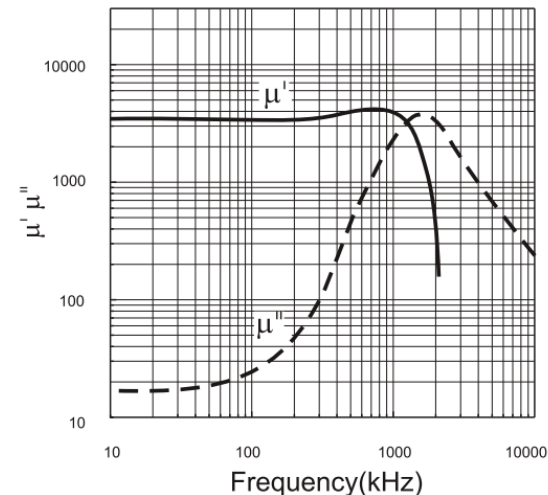
where A_e and l_e are effective magnetic area and effective magnetic path length, respectively.

From (1) and (2), the real and imaginary permeability can be found as follows:

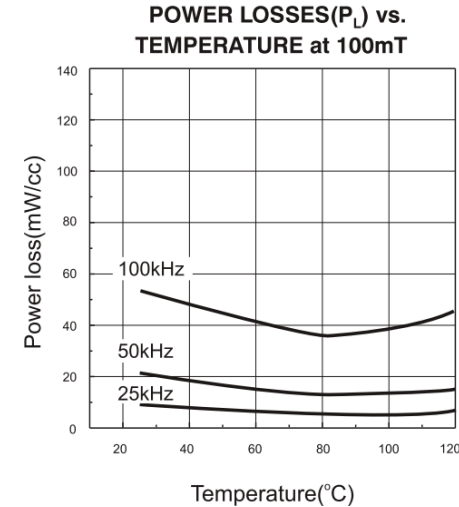
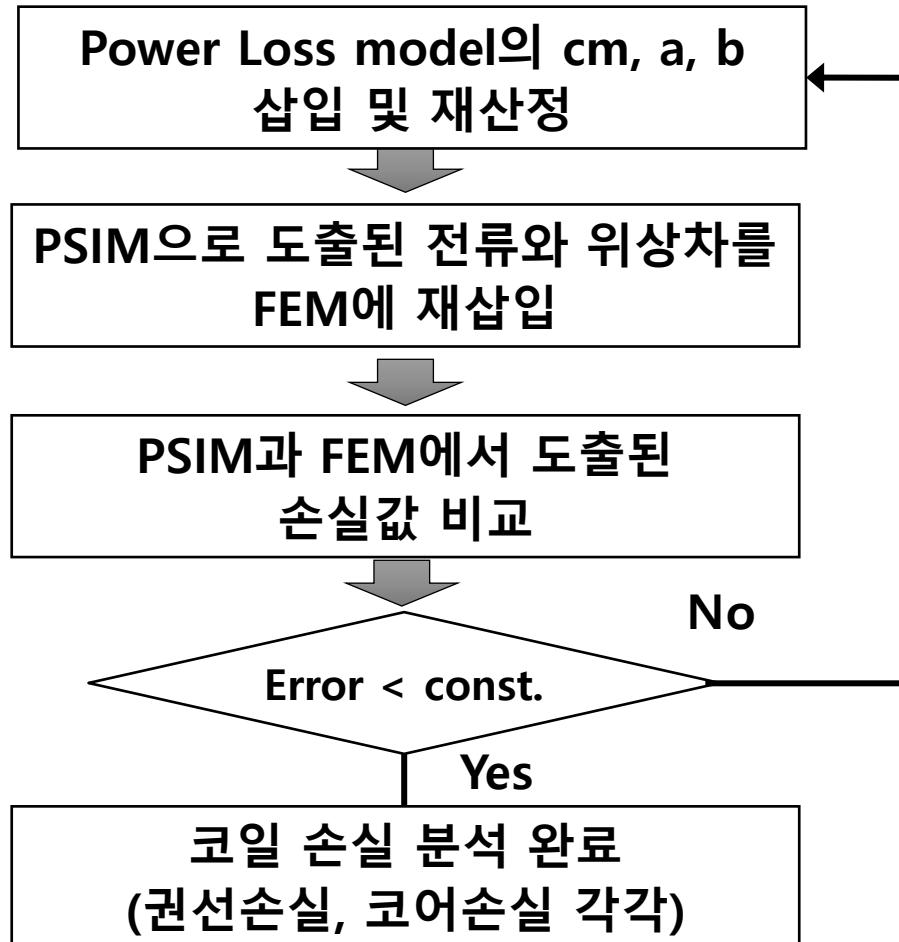
$$\mu_r = \frac{l_e}{N_e^2 A_e \mu_0} L_e = \frac{l_e}{N_e^2 A_e \mu_0} \left(L_e - j \frac{r_{co}}{\omega_s} \right) \equiv \mu'_r - j \mu''_r \quad (3a)$$

$$\mu'_r \equiv \frac{l_e}{N_e^2 A_e \mu_0} L_e, \quad \mu''_r \equiv \frac{l_e}{N_e^2 A_e \mu_0 \omega_s} r_{co} \quad (3b)$$

PERMEABILITY() vs. FREQUENCY



- 규격 코일 선정 - WPT3 Class 코일구조 (Circular type Universal GA)



THE CALCULATION of core losses in inductive components is difficult and has not yet been entirely solved. Particularly, the influence of a dc bias on the losses is not entirely clarified. The most used equation that characterizes core losses is the power equation [1]¹

$$P_v = k f^\alpha \hat{B}^\beta \quad (1)$$

```

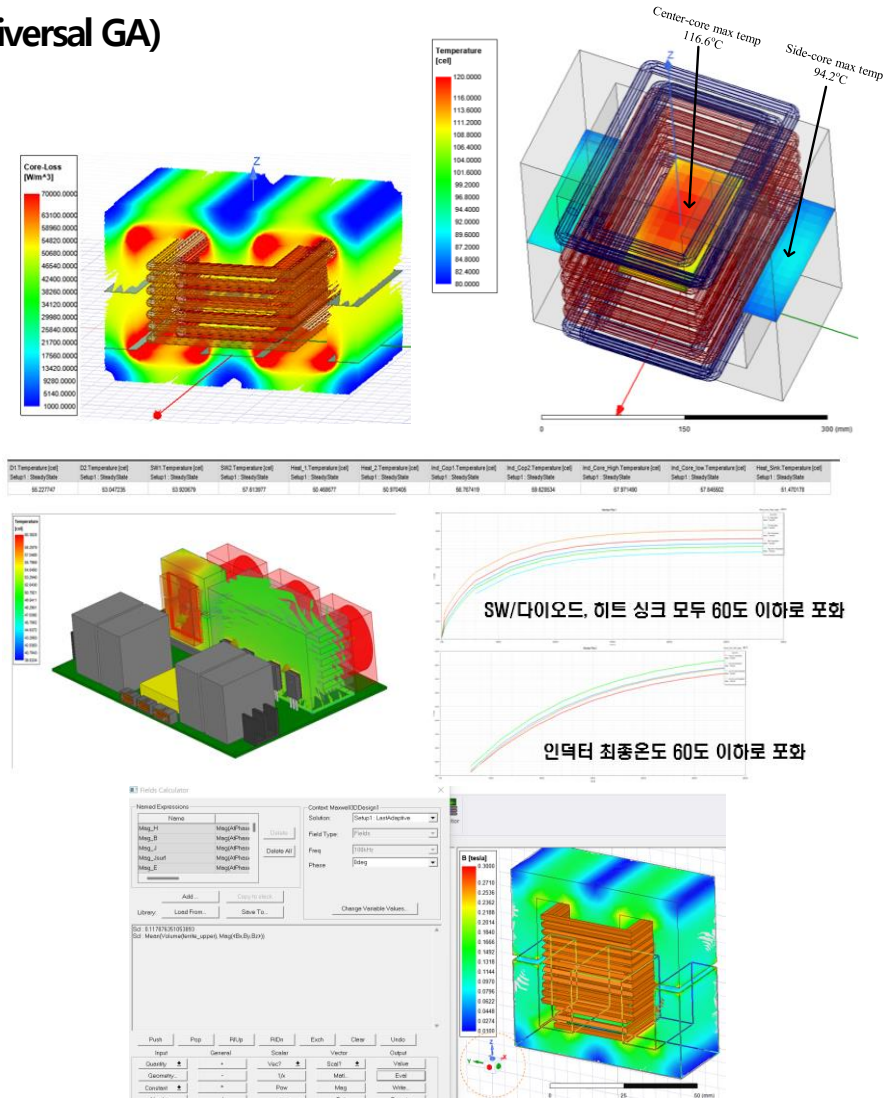
Scl : 0.0568196242828208
Scl : Integrate(Volume(Tx_Coil), Ohmic-Loss)
Scl : 0.071863581928213
Scl : Integrate(Volume(Rx_coil), Ohmic-Loss)
Scl : 0.00876424981009233
Scl : Integrate(Volume(Tx_Core), CoreLoss)
Scl : 1.73563677810944
Scl : Integrate(Volume(Rx_core), CoreLoss)
    
```

FEM 시뮬레이션 결과

```

graph TD
    A[코일 손실 분석 완료  
(권선손실, 코어손실 각각)] --> B[송수신 코어  
 $B_{avg} < B_{max} = 0.2T$  확인]
    B --> C[각 손실값을 ICEPAK에 대입  
외기풍 및 온도, 기타 조건 설정]
    C --> D[각 위치별 온도특성 분석]
    D --> E[멀티피직스 해석 완료]

```



□ 규격 코일 분석 - WPT3 Class 코일구조 (Circular type Universal GA)

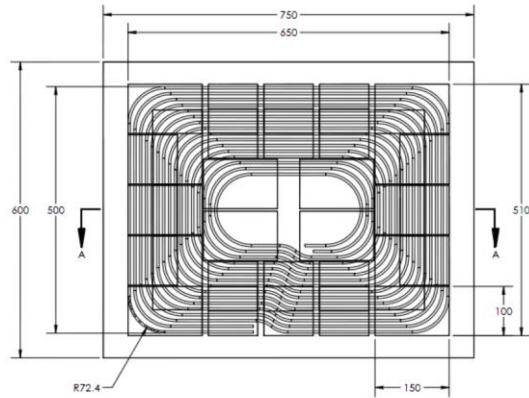


Figure B1 - Mechanical dimensions of the Test Station Universal GA

Maximum PFC Output Current	29 ADC
Maximum GA Inverter Output Current	40 A rms
Maximum GA Coil Current	75 A rms

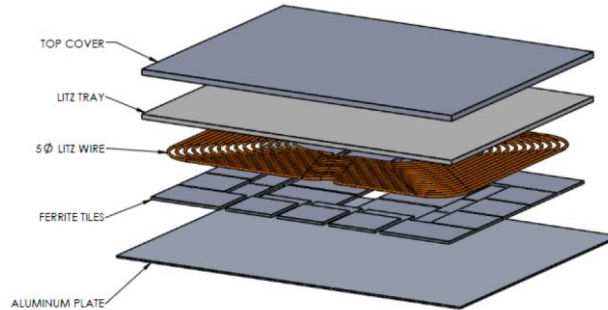
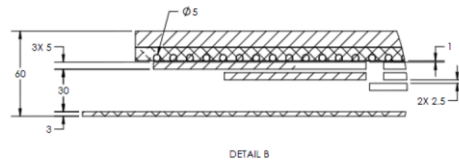
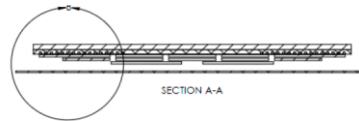


Figure B3 - Exploded view of the Test Station Universal GA



DETAIL B

C1a, C1b [nF]	320
C2 [nF]	270
$jX_{GA}/2$ [ohms]	4 to 16

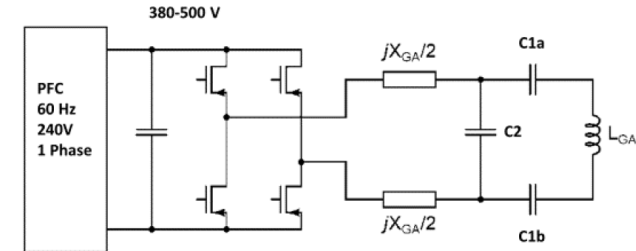


Table B3 - Primary coil inductance L_{GA} depending on the Z-class

Z-Class	VA	L_{GA_Min} [μH]	L_{GA_Max} [μH]
WPT2/Z1	Appendix A.4	29.6	35.8
WPT2/Z2	Appendix A.5	35.1	38.1
WPT2/Z3	Appendix A.6	37.4	38.7
WPT3/Z1	Appendix A.7	30.0	36.2
WPT3/Z2	Appendix A.8	35.1	38.1
WPT3/Z3	Appendix A.9	37.4	38.7

Z-Class	VA	k_Min	k_Max
WPT2/Z1	Appendix A.4	0.109	0.238
WPT2/Z2	Appendix A.5	0.090	0.221
WPT2/Z3	Appendix A.6	0.087	0.229
WPT3/Z1	Appendix A.7	0.119	0.246
WPT3/Z2	Appendix A.8	0.090	0.221
WPT3/Z3	Appendix A.9	0.087	0.229

Figures B1 and B2 show the mechanical dimensions of the Test Station Universal GA. Figure B3 shows an exploded view of the mechanical construction of the GA with the aluminum plate towards the ground. The ferrite layers in the GA are constructed of ferrite tiles of dimensions 100 x 150 x 5 mm and 100 x 100 x 5 mm. Typical properties of the ferrite material used in the GA are shown in Table B1.

GA측 알루미늄 플레이트: 600mm x 750mm x 3mm

GA측 Litz Tray: 리프와이어 고정용 지그

GA측 페라이트 코어: 100mm x 100mm x 5mm 24EA, 150mm x 100mm x 5mm 8EA

GA측 리프와이어: 5파이 8턴 (2병렬)

□ 규격 코일 분석 - WPT3 Class 코일구조 (Circular type VA)

C1a, C1b [nF]	325
C2 [nF]	150
$jX_{VA}/2$ [ohms]	-15 to 0
L1a, L1b [uH]	54
L2a, L2b [uH]	54

L_Min [uH]	39.3
L_Max [uH]	40.0

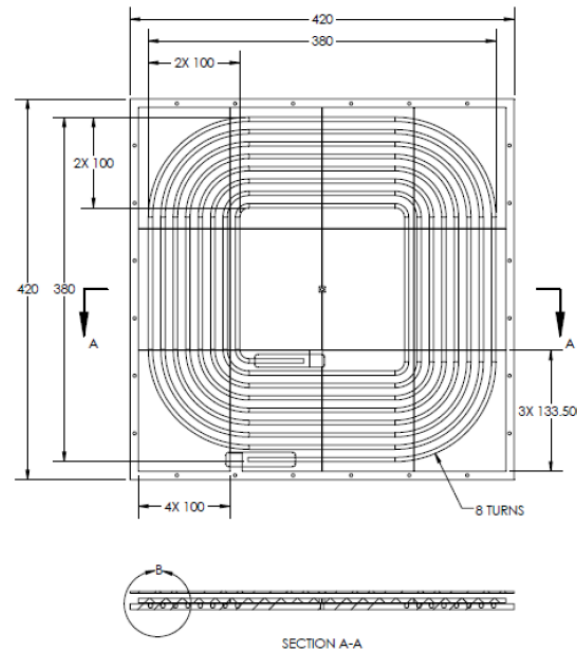


Figure A31 - Mechanical dimensions of the Test Station VA WPT3/Z3

Table A17 - Mechanical dimensions of the Test Station VA WPT3/Z3

	Coil + Ferrite Only	Housing	Vehicle Shield Size
L x W x H [mm]	401.5 x 401.5 x 12.6	420x 420 x 20	800 x 800 x 1

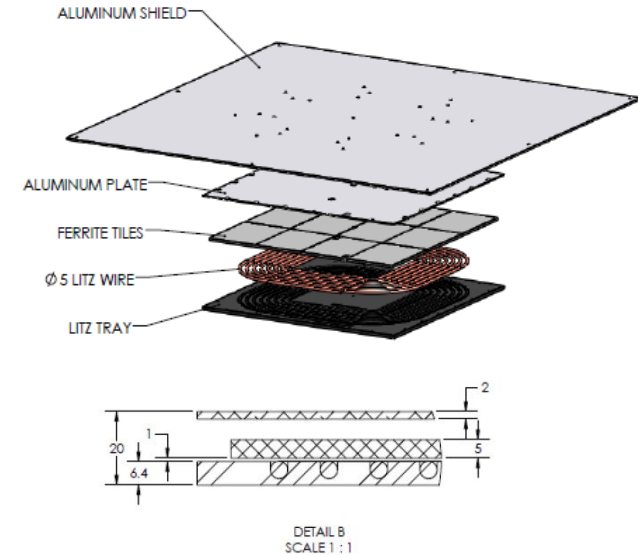
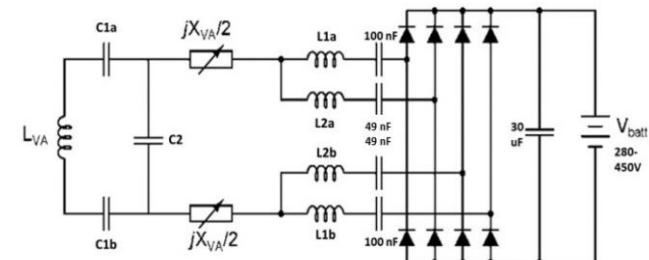
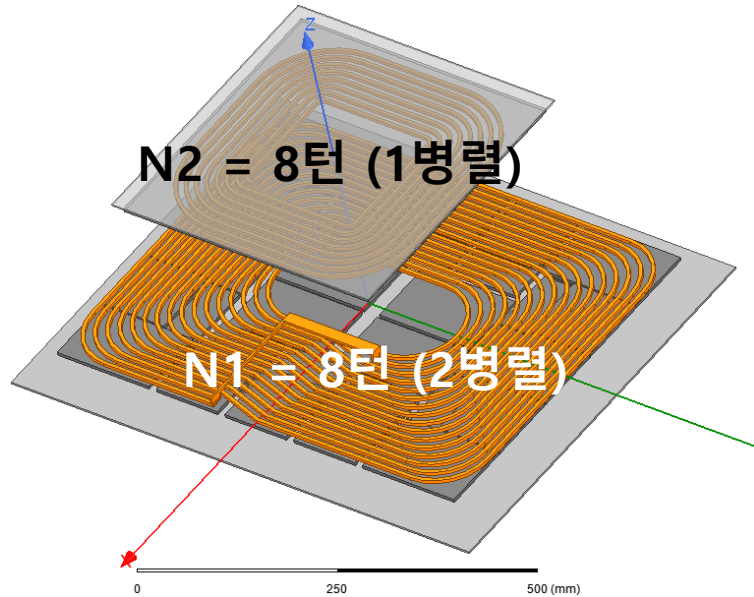


Figure A32 - Exploded view of the Test Station VA WPT3/Z3

VA측 알루미늄 실드: 800mm x 800 mm x 0.7mm
 VA측 알루미늄 플레이트: 420mm x 420 mm x 2mm
 VA측 페라이트 코어: 133.5mm x 100mm x 5mm (3행 4열 = 12개)
 VA측 리프와이어: 5파이 8턴



□ 시뮬레이션 모델링 및 1차 해석 - CRWPT 시뮬레이션 모델링 및 결과



송신: CR Tx, 수신: CR Rx

dy (mm)	dz (mm)	L1 (uH)	L2 (uH)	R1 (mohm)	R2 (mohm)	k	M (uH)	Lm (uH)	LI1 (uH)	LI2 (uH)	C1 (nF)	C2 (nF)
0	100	38.6	41	14	16	0.335	13.326938	10.47116582	28.128834	24.03844214	65.62253	61.78121
0	170	38.5	40.3	11.8	15	0.188	7.4052673	5.818424276	32.681576	30.8751144	65.79298	62.85433
0	240	38.5	40	11.2	14.6	0.108	4.238226	3.330034749	35.169965	34.60589413	65.79298	63.32574

FEM 시뮬레이션 결과

GA측

Table B3 - Primary coil inductance L_{GA} depending on the Z-class

Z-Class	VA	L_{GA_Min} [uH]	L_{GA_Max} [uH]
WPT2/Z1	Appendix A.4	29.6	35.8
WPT2/Z2	Appendix A.5	35.1	38.1
WPT2/Z3	Appendix A.6	37.4	38.7
WPT3/Z1	Appendix A.7	30.0	36.2
WPT3/Z2	Appendix A.8	35.1	38.1
WPT3/Z3	Appendix A.9	37.4	38.7

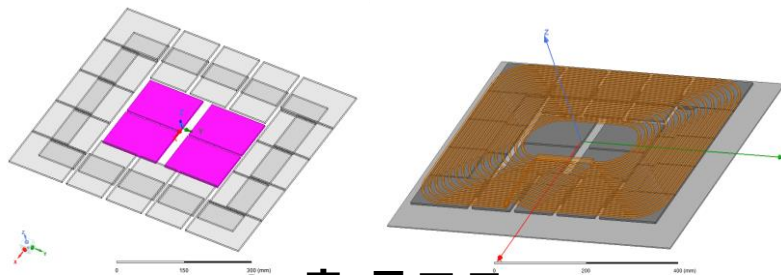
VA측

L_Min [uH]	39.3
L_Max [uH]	40.0

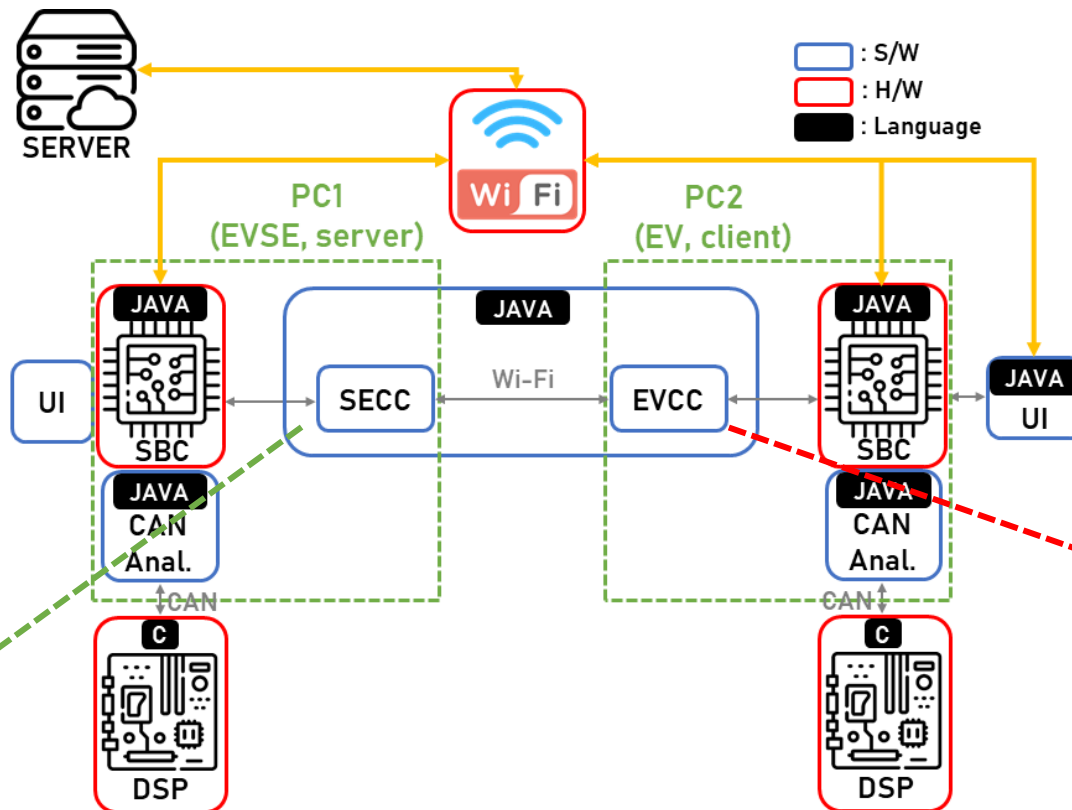
Z-Class	VA	k_Min	k_Max
WPT2/Z1	Appendix A.4	0.109	0.238
WPT2/Z2	Appendix A.5	0.090	0.221
WPT2/Z3	Appendix A.6	0.087	0.229
WPT3/Z1	Appendix A.7	0.119	0.246
WPT3/Z2	Appendix A.8	0.090	0.221
WPT3/Z3	Appendix A.9	0.087	0.229

J2954 데이터시트 정보

- 인덕턴스는 시뮬레이션과 매우 유사
- 데이터시트상 내부저항 정보는 없음
- K의 경우 범위내에 시뮬레이션값 존재



GA측 구조도



EVSE측 DSP 보드
(실제 공급하는
전류량, 과금량
애몰레이터)



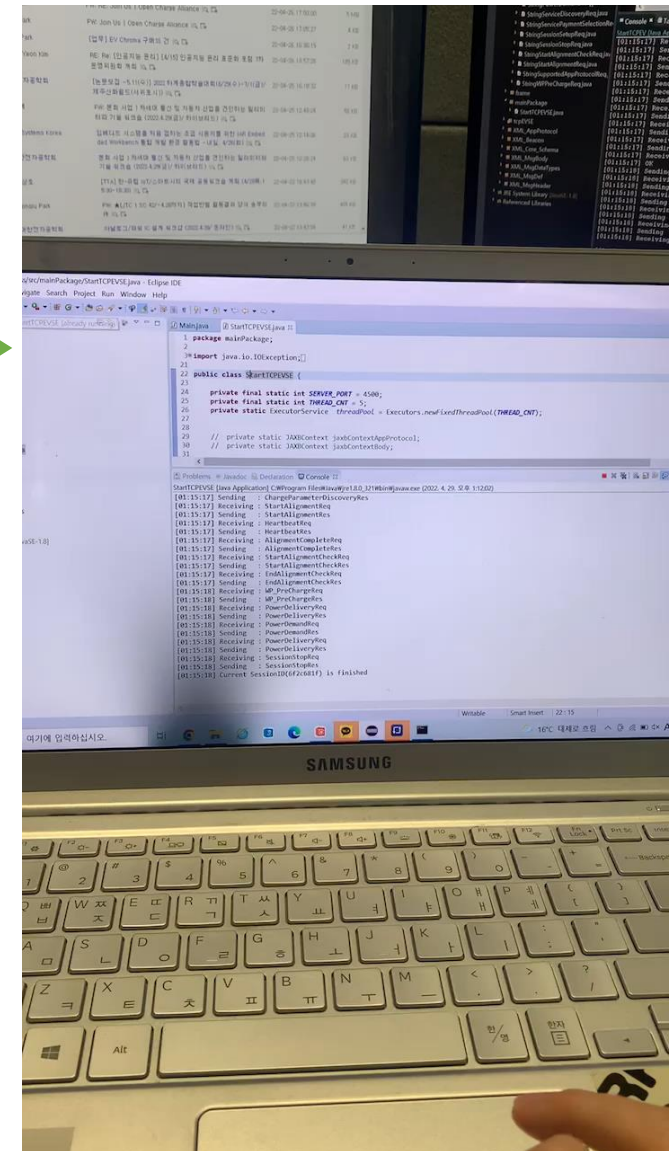
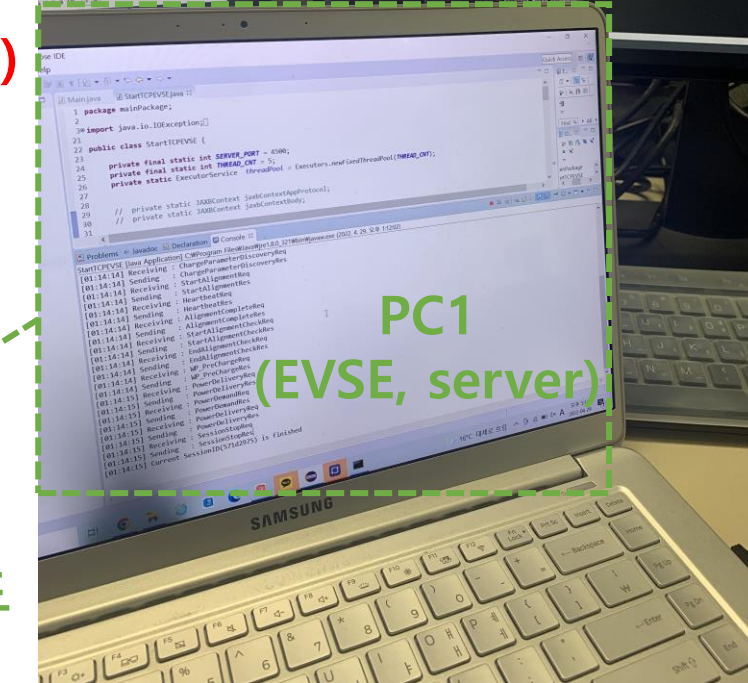
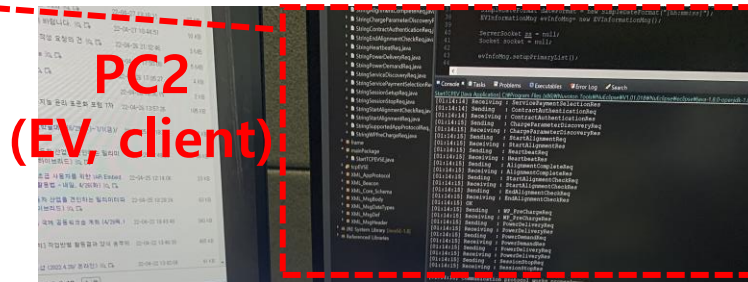
EV측 DSP 보드
(실제 유입되는
전류량 애몰레이터)

DSP는 제어기의 역할로, **SECC** 및 **EVCC**와 통신하여
충전 정보 및 **SBC**의 전력 변환 정보 등 전달

V. 구현 – SAE J2954 통신 (동영상)



**EV측 DSP 보드
(실제 유입되는
전류량 애플레이터)**

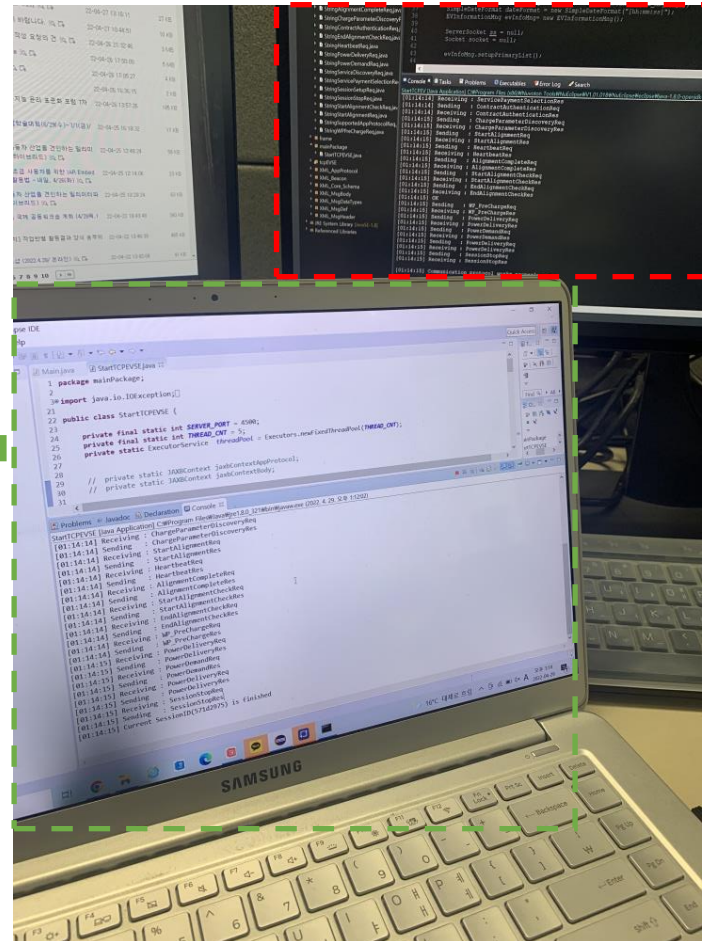


**EVSE측 DSP 보드
(실제 공급하는
전류량, 과금량
애플레이터)**

```
[07:00:40] R: Connecting ip = 169.254.175.57
macAddr : 88-36-6C-FC-DF-74
[07:00:40] Server Open!!

[07:06:13] Server : Ready to receive data
[07:06:13] Receiving : SessionSetupReq
[07:06:13] Sending : SessionSetupRes
[07:06:13] SessionID is 317673a
[07:06:13] EVCCID is 4b414953545f436172
[07:06:13] Receiving : ServiceDiscoveryReq
[07:06:13] Sending : ServiceDiscoveryRes
[07:06:13] Receiving : ServicePaymentSelectionReq
[07:06:13] Sending : ServicePaymentSelectionRes
[07:06:13] Receiving : ContractAuthenticationReq
[07:06:13] Sending : ContractAuthenticationRes
[07:06:13] Receiving : ChargeParameterDiscoveryReq
[07:06:13] Sending : ChargeParameterDiscoveryRes
[07:06:13] Receiving : StartAlignmentReq
[07:06:13] Sending : StartAlignmentRes
[07:06:13] Receiving : HeartbeatReq
[07:06:13] Sending : HeartbeatRes
[07:06:13] Receiving : AlignmentCompleteReq
[07:06:13] Sending : AlignmentCompleteRes
[07:06:13] Receiving : StartAlignmentCheckReq
[07:06:13] Sending : StartAlignmentCheckRes
[07:06:13] Receiving : EndAlignmentCheckReq
[07:06:13] Sending : EndAlignmentCheckRes
[07:06:13] Receiving : WP_PreChargeReq
[07:06:13] Sending : WP_PreChargeRes
[07:06:13] Receiving : PowerDeliveryReq
[07:06:13] Sending : PowerDeliveryRes
[07:06:13] Receiving : PowerDemandReq
[07:06:13] Sending : PowerDemandRes
[07:06:13] Receiving : PowerDeliveryReq
[07:06:13] Sending : PowerDeliveryRes
[07:06:13] Receiving : SessionStopReq
[07:06:13] Sending : SessionStopRes
[07:06:13] Current SessionID(317673a) is finished
```

PC1 (EVSE, Server)



PC2 (EV, Client)

```
[07:11:44] Sending : SupportedAppProtocolReq
[07:11:44] Receiving : SupportedAppProtocolRes
[07:11:44] Sending : SessionSetupReq
[07:11:44] Receiving : SessionSetupRes
[07:11:44] SessionSetupTime is 1646388704097
[07:11:44] EVSEID is eeeeeeeeeee
[07:11:44] Sending : ServiceDiscoveryReq
[07:11:44] Receiving : ServiceDiscoveryRes
[07:11:44] Sending : ServicePaymentSelectionReq
[07:11:44] Receiving : ServicePaymentSelectionRes
[07:11:44] Sending : ContractAuthenticationReq
[07:11:44] Receiving : ContractAuthenticationRes
[07:11:44] Sending : ChargeParameterDiscoveryReq
[07:11:44] Receiving : ChargeParameterDiscoveryRes
[07:11:44] Sending : StartAlignmentReq
[07:11:44] Receiving : StartAlignmentRes
[07:11:44] Sending : HeartbeatReq
[07:11:44] Receiving : HeartbeatRes
[07:11:44] Sending : AlignmentCompleteReq
[07:11:44] Receiving : AlignmentCompleteRes
[07:11:44] Sending : StartAlignmentCheckReq
[07:11:44] Receiving : StartAlignmentCheckRes
[07:11:44] Sending : EndAlignmentCheckReq
[07:11:44] Receiving : EndAlignmentCheckRes
[07:11:44] OK
[07:11:44] Sending : WP_PreChargeReq
[07:11:44] Receiving : WP_PreChargeRes
[07:11:44] Sending : WP_PreChargeReq
[07:11:44] Receiving : WP_PreChargeRes
[07:11:44] Sending : PowerDeliveryReq
[07:11:44] Receiving : PowerDeliveryRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDeliveryReq
[07:11:44] Receiving : PowerDeliveryRes
[07:11:44] Sending : SessionStopReq
[07:11:44] Receiving : SessionStopRes
```

[07:11:44] Communication protocol works properly

[07:11:44] CommunicationSession is terminated

①

```
[07:00:40] R: Connecting ip = 169.254.175.57
[07:00:40] macAddr : 88-36-6C-FC-DF-74
[07:00:40] Server Open!!

[07:06:13] Server : Ready to receive data
[07:06:13] Receiving : SessionSetupReq
[07:06:13] Sending : SessionSetupRes
[07:06:13] SessionID is 317673a
[07:06:13] EVCCID is 4b414953545f436172
[07:06:13] Receiving : ServiceDiscoveryReq
[07:06:13] Sending : ServiceDiscoveryRes
[07:06:13] Receiving : ServicePaymentSelectionReq
[07:06:13] Sending : ServicePaymentSelectionRes
[07:06:13] Receiving : ContractAuthenticationReq
[07:06:13] Sending : ContractAuthenticationRes
[07:06:13] Receiving : ChargeParameterDiscoveryReq
[07:06:13] Sending : ChargeParameterDiscoveryRes
[07:06:13] Receiving : StartAlignmentReq
[07:06:13] Sending : StartAlignmentRes
[07:06:13] Receiving : HeartbeatReq
[07:06:13] Sending : HeartbeatRes
[07:06:13] Receiving : AlignmentCompleteReq
[07:06:13] Sending : AlignmentCompleteRes
[07:06:13] Receiving : StartAlignmentCheckReq
[07:06:13] Sending : StartAlignmentCheckRes
[07:06:13] Receiving : EndAlignmentCheckReq
[07:06:13] Sending : EndAlignmentCheckRes
[07:06:13] Receiving : WP_PreChargeReq
[07:06:13] Sending : WP_PreChargeRes
[07:06:13] Receiving : PowerDeliveryReq
[07:06:13] Sending : PowerDeliveryRes
[07:06:13] Receiving : PowerDemandReq
[07:06:13] Sending : PowerDemandRes
[07:06:13] Receiving : PowerDeliveryReq
[07:06:13] Sending : PowerDeliveryRes
[07:06:13] Receiving : SessionStopReq
[07:06:13] Sending : SessionStopRes
[07:06:13] Current SessionID(317673a) is finished
```

②

```
[07:11:44] Sending : SupportedAppProtocolReq
[07:11:44] Receiving : SupportedAppProtocolRes
[07:11:44] Sending : SessionSetupReq
[07:11:44] Receiving : SessionSetupRes
[07:11:44] SessionSetupTime is 1646388704097
[07:11:44] EVSEID is eeeeeeeeeee
[07:11:44] Sending : ServiceDiscoveryReq
[07:11:44] Receiving : ServiceDiscoveryRes
[07:11:44] Sending : ServicePaymentSelectionReq
[07:11:44] Receiving : ServicePaymentSelectionRes
[07:11:44] Sending : ContractAuthenticationReq
[07:11:44] Receiving : ContractAuthenticationRes
[07:11:44] Sending : ChargeParameterDiscoveryReq
[07:11:44] Receiving : ChargeParameterDiscoveryRes
[07:11:44] Sending : StartAlignmentReq
[07:11:44] Receiving : StartAlignmentRes
[07:11:44] Sending : HeartbeatReq
[07:11:44] Receiving : HeartbeatRes
[07:11:44] Sending : AlignmentCompleteReq
[07:11:44] Receiving : AlignmentCompleteRes
[07:11:44] Sending : StartAlignmentCheckReq
[07:11:44] Receiving : StartAlignmentCheckRes
[07:11:44] Sending : EndAlignmentCheckReq
[07:11:44] Receiving : EndAlignmentCheckRes
[07:11:44] OK
[07:11:44] Sending : WP_PreChargeReq
[07:11:44] Receiving : WP_PreChargeRes
[07:11:44] Sending : WP_PreChargeReq
[07:11:44] Receiving : WP_PreChargeRes
[07:11:44] Sending : PowerDeliveryReq
[07:11:44] Receiving : PowerDeliveryRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDemandReq
[07:11:44] Receiving : PowerDemandRes
[07:11:44] Sending : PowerDeliveryReq
[07:11:44] Receiving : PowerDeliveryRes
[07:11:44] Sending : SessionStopReq
[07:11:44] Receiving : SessionStopRes
```

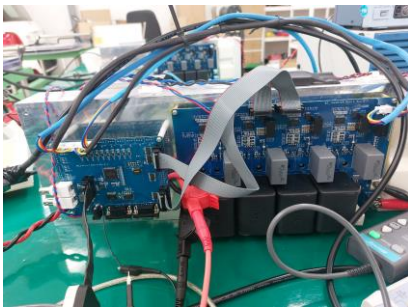
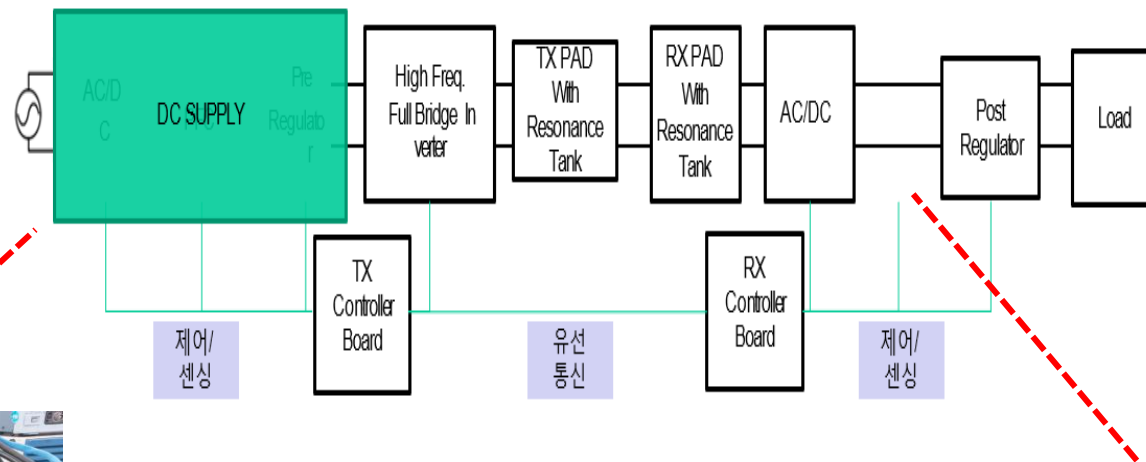
EV측 initiation Msg

→ 점선 박스를 제외하고는 EV-EVSE가 충전되는 부분으로 Msg 동일

[07:11:44] Communication protocol works properly

[07:11:44] CommunicationSession is terminated

- Firmware(Open Loop)



무선전력전송 송신단



무선전력전송 수신단



오실로스코프

파워 아날라이저

송수신부 코일

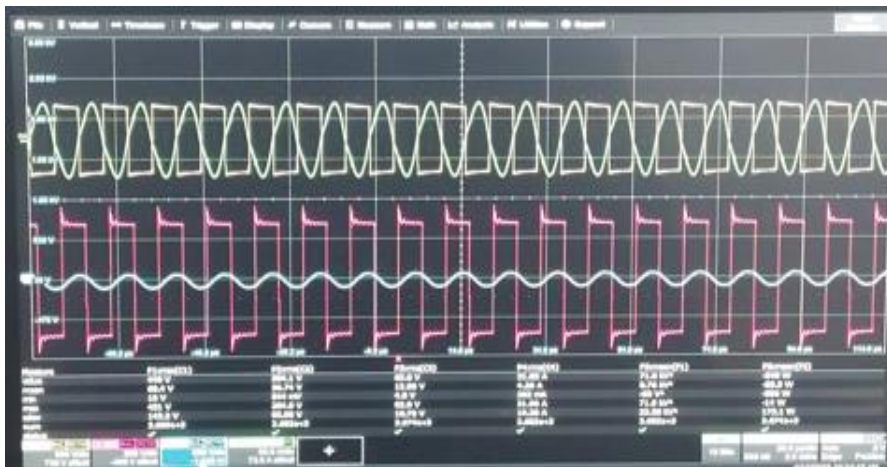
무선충전 시스템

AC DC 모듈 커맨드 입력 Laptop

커맨드 입력 Laptop

조건 - 입력 : 280V, 동작주파수 : 89.5kHz

오실로스코프



측정값	Rx Vin	Tx Vout	Tx Iout	Rx Iin
Value	449V	284.1V	62.6A	31.85A
Mean	68.4V	36.74V	12.86A	4.26A
Min	10V	544mV	4.8A	202mA
Max	451V	284.9V	62.8A	31.96A
num	3.680e+3	3.682e+3	3.674e+3	3.682e+3

C1 Rx Vin **C2** Tx Vout **C3** Tx Iout **C4** Rx Iin

파워 아날라이저



입력전력 - 12.025kW
출력전력 - 11.376kW
결과 - 효율 94.603%

전력 수신 안테나

전력 송신 안테나

**전기자동차 무선충전
85 kHz 출력**

**전기자동차 무선충전 국제표준
SAE J2954 규격 22 kW 송수신단**

감사합니다

Yongseok LIM
Yongseong KIM
Taigil KWON
Dongyeob SHIN
Jinuk PARK
Donghee SHIN
Haeyong JUNG
Dongwook KIM
Woojin JUNG
Hyejung KIM
Minsu YANG
Suhwan LIM
Jangkeun BAE
Taesik BANG
Changil KIM
Junyoung OH
Hyunsu SONG
Jaeyong LEE
Yujung YANG
Youngchan LIM
Youngjun JOH

Team Leader
Yongju PARK
(suede8247@keti.re.kr)