

# 무선전력전송 기반 대출력 전기자동차의 주파수 분배 동향

전양배 한국과학기술원 책임연구원, CISPR/B/WG7 공동의장

## 1. 머리말

최근 무선전력전송 기술 연구가 가속화되면서 이와 관련한 국제적인 주파수 분배 관련 논의도 활발하게 진행되고 있다. 특히 ITU-R<sup>1</sup>의 Study Group 1에서 2013년부터 현재까지 오랜 시간에 걸쳐 협의하고 있다.

아울러, ITU-R뿐만 아니라 다른 표준화 기구들도 무선전력전송 기술에 대한 주파수 분배와 관련하여 많이 다루고 있으므로 이와 관련한 내용들도 함께 살펴보기로 한다.

## 2. 국내외 주파수 분배 현황

### 2.1 20kHz 주파수 국내 현황

우리나라는 2011년 5월 방송통신위원회 고시로 「전파응용설비<sup>2</sup>」 용도로 무선전력전송 기

반 대출력 전기자동차 주파수 분배를 하였으며, 19~21kHz, 59~61kHz의 주파수 범위를 두게 되었다. 이는 세계 최초의 무선전력전송 기반 기술에 대한 주파수 분배였다. 20/60kHz는 현재 무선전력전송 기반 대출력 전기자동차에만 사용하고 있다.

한국과학기술원(KAIST)은 2008년 무선전력전송 기술을 개발하여 시범 차량을 선보였으며, 이를 기반으로 2009년 대략 250억 원의 교과부 연구과제를 통하여 20/60kHz 기반 무선전력전송 전기버스를 개발 완료하였다. 이를 바탕으로 서울대공원의 코끼리 순환 열차로 시범 운행하였으나 현재는 사업 허가 기간 종료로 운행하지 않는다.

2011년 10월 (주)동원시스템즈, 자일대우버스 등의 기업들과 한국과학기술원이 참여하여 (주)동원올레브라는 기업을 설립하였으며 2012년

1 ITU-R(International Radiocommunication Sector)은 국제 전기 통신 연합(ITU)을 구성하는 3가지 중의 하나로서, 라디오 주파수 대역의 통신규약이다.

2 『무선전력전송』 기술에 대한 법적 표현 용어. 전파법 제47조 및 전파법 시행령 58조의 근거 참조

20kHz 기반의 무선 충전 전기버스 차량에 대한 공인 인증(국도교통부의 자동차안전연구원의 승인)을 획득, 2013년부터 현재까지 경북 구미시에서 상용 운행하고 있다. 현재 초기 기부한 2대의 차량은 더 이상 운용하지 않으며, 추가로 상용 구매한 차량으로만 운행 중이다. 2012년 10월부터는 2대의 20kHz 기반의 무선 충전 전기버스를 한국과학기술원 내 순환 버스로 현재까지 운행하고 있다.

2017년 5월 사업 확대 실패로 (주)동원올레브는 사업권을 (주)그린파워에 매각하고 사업에서 철수했다. 이후 2017년 6월 한국과학기술원의 특허를 기반으로 KAIST 교원창업기업인 (주)와 이파워원이 설립되었으며, 2019년 아랍에미리트 두바이에서 시범사업을 완료했다.

2021년 대전시와 무선충전 전기버스를 시내버스로 운영하는 100억 원의 사업 계약을 체결하였다.

2015년부터 한국철도기술연구원과 한국과학기술원, (주)그린파워 등이 참여하여 경전철 차량에 대출력 무선전력전송 기술을 적용하는 연구가 5년간 진행되었으며, 2020년 최종 연구 완료하였다.

## 2.2 85kHz 주파수 국내 현황

2013년 (주)그린파워에서 산자부(당시 지경부) 과제로 기아자동차의 서울 EV 모델에 일본 토요타와 닛산의 85kHz 무선충전 기술을 적용한 사례가 있다.

현대자동차는 2012년 미국 디트로이트에 있는 현대자동차 연구소에서 미국 연방정부의 지원과 다양한 미국 기업들이 참여한 연구를 통해 2015년 85kHz를 사용한 무선전력전송 기반 전기자동차를 연구하였다. 국내에서는 2022년 또는 2023년 초 전기차 GV60 모델에 옵션으로 85KHz 기반 전기차 무선충전 기능을 제공할 예정이다.

## 2.3 20kHz 주파수 국제 현황

독일은 20kHz를 기반으로 2012년 시범사업으로 전기버스를 개발(개발명: PROMOTIVE)하였으며, 실제 독일의 봄바디어(본사는 캐나다 소재)는 대출력 무선전력전송 기술을 이용하여 유럽의 트램 상부가선을 대체하는 기술을 적극 개발 중이다.

영국도 2018년 20kHz를 기반으로 전기버스를 개발한 사실을 CISPR<sup>3</sup>에서 공개하였다. 스웨

<표 1> ITU-R Report SM.2451-0 문서의 표2

Frequency band (kHz)	Center Frequency (kHz)	Emission mask	Frequency stability (Hz)	Power level (kW)	Emission level of the fundamental at 10m (dBuA/m)	Emission level of the third harmonic at 10m (dBuA/m)	Unwanted emission levels	Usage
19-21/ 55-57 <sup>1</sup> 63-65	19-21 (Note 1)	Annex 3	Note 1	22-120	Annex 2	Annex 2	Annex 2	Heavy duty
79-90	79-90 (Note 1)	Annex 3	Note 1	1-22	Annex 2	Annex 2	W3C PR	Light duty

3 CISPR(Comite International Special des Perturbations Radioelectriques)라는 프랑스어의 약자, 영어로 International Special Committee on Radio Interference이며, 국제무선장애특별위원회, IEC 내 CISPR은 전파장애에 관한 국제적인 합의를 촉진하고 그에 따라 국제무역을 신장하는 것을 목적으로 설립. IEC와 공동보조를 취함. 주로 '시스템'라 읽음.

텐 볼보도 20kHz 기반으로 전기버스 개발을 공개하였으나 아직 상용 보급은 이루어지지 않고 있다. 중국도 무선충전 전기버스를 개발하여 지방에 27대를 시범적으로 공급하였다.

#### 2.4 85kHz 주파수 국제 현황

일본(토요타)와 미국(WitriCiti)가 공동으로 주도하여 85kHz 무선충전 기술을 개발하고 있다. 승용차 제작사들은 대부분 85kHz를 수용하고 있으나 아직 적극적으로 85kHz를 기반으로 한 무선충전 전기 승용차를 출시하거나 보급하지는 않고 있다. 다만, 무선 충전 기술은 완성되었으나 유선충전 기반 전기 승용차의 보급 확대를 더 우선하고 있다.

※ 20kHz와 85kHz의 기술적 차이 : 20kHz와 85kHz 주파수 분배의 차이를 묻는 경우가 많이 있다. 보통 100kW급 이상의 매우 높은 출력을 요구하는 대형 차량(버스, 트럭, 경전철 등)에는 20kHz를 주로 적용하며, 출력이 상대적으로 낮은(22kW급 미만) 전기 승용차에는 85kHz 주파수를 적용한다. 이것은 임의로 정한 것이 아니라, ITU-R Study Group 10이 2019년 기술보고서 ITU-R Report SM.2451-0 문서로 규정하여 적용하고 있다.

### 3. 다른 표준화 기구의 주파수 분배 현황

#### 3.1 AWG<sup>4</sup>의 무선충전 전기자동차 주파수 분배 현황

2019년 10월 최종적으로 WRC-19 agenda item 9.1, Issue 9.1.6에서 ITU-R 권고주파수를 승인하고 더 이상의 RR(Radio Regulation) 개정은 하지 않는 것으로 마무리되었다. 그러나

일본은 2019년 7월 3일 AWG 25차 회의에서 TEMP-07 문서를 통해 79~90kHz (85kHz 대역)만 무선전력전송 기반 전기자동차의 분배 주파수로 기고하였다.

처음에 일본은 20kHz는 인정하지만, 60kHz는 20kHz의 3 고조파이므로 인정할 수 없다고 AWG 26차 회의에서 주장하며 우리나라 말고 다른 국가에서 쓰는 사례를 제시하면 수용하겠다고 주장했다. 이에 2021년 3월 AWG 27차 회의에서 우리나라는 중국, 독일, 영국에서 사용하는 사례를 제시했다. 일본은 독일과 영국은 아시안 국가가 아니므로 사용 사례로 인정할 수 없으며, 중국도 시범 운용이므로 사용 사례가 아니라 주장했다. 그러면서 다른 국가에서 사용하는 사례를 제대로 제시하지 못했으므로 20kHz조차도 인정할 수 없다는, 지난 회의의 입장조차 거부하는 억지 논리를 부렸다.

또한, AWG 27차 회의에서 일본은 갑자기 「WPT Workshop」을 신설하여, Non-beam WPT<sup>5</sup> 뿐만 아니라 Beam WPT도 자세히 다루어 정보 교류의 장을 확대하자는 주장을 펼치기도 했다. 이미 오랫동안 CJK(China, Japan and Korea)와 ITU에서 많은 간섭영향연구(Impact Study)를 수행하였고 개발 사례에 대한 정보 교류가 지금까지도 지속되고 있는데 왜 AWG에서 또 「WPT Workshop」을 하느냐는 우리나라의 주장에, 국가 간 정보 교류가 충분하지 않으므로 Workshop을 통해 정보 교류를 확대하자는 기존 주장만을 반복하였다.

우리나라는 국제적으로 이미 합의해 완료된 주파수 분배를 변경하려는 시도에 대해 적극적

4 APT(Asia-Pacific Telecommunity, 아시아태평양 전기통신 공동체) 산하 Wireless Group을 줄여 AWG라 부름

5 WPT는 무선전력전송을 이르는 영문 약자임. Wireless Power Transfer의 약자. Non-beam은 Inductive 및 Resonant 방식을 의미하고, Beam WPT는 RF 방식을 의미함

<표 2> CISPR/B/687 초기 문서의 표B

Frequency range (kHz)	Limits for a measuring distance of 10 m	
	class B(≤ 1 kW) <sup>a</sup>	class B(> 1 kW to ≤ 11,1 kW) <sup>a</sup>
	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]
9 - 22	27 - 23,2	27 - 23,2
22 - 25	57	72
25 - 79	22,6 - 17,1	22,6 - 17,7
79 - 90	52,8	67,8 <sup>b</sup>
90 - 150	17,2 - 15	17,2 - 15

At the transition frequency, the more stringent limit shall apply. Where the limit varies with the frequency, it decreases linearly with the logarithm of the increasing frequency.

Depending on the country or the region, the sensitive radio services shown in Table E.2 exist, so it may be necessary to suppress emissions within specific frequency bands.

<sup>a</sup> Selection of the appropriate set of limits shall be based on the rated a.c. mains power stated by the manufacturer.

<sup>b</sup> For Class B WPT equipment with a rated a.c. mains power in excess of 3.6 kW and operating in the frequency range 79 kHz to 90 kHz, the limit in this frequency range may be relaxed by 15 dB, to 82.8 dB(μA/m) at 10 m measurement distance. In case this limit relaxation is used, the documentation for the user and the instructions for use accompanying the equipment shall contain the following caution note:

**Caution:** This equipment is not intended for use in environments where sensitive devices and/or radio-communication devices like short range devices (SRD) used e.g., in railway signaling applications are allocated and operated in a distance of less than 10 m from the equipment. In such circumstances, it may not provide adequate protection to radio reception.

으로 합의하였다. 지속적이고 합리적인 우리나라 반대의 영향으로 올해 개최되는 AWG 30차 회의에서 일본은 주파수 분배 주장을 철회하고, 새로운 주파수 분배(요청) 없이 기존의 ITU-R 권고주파수를 따르기로 합의하였다.

### 3.2 CISPR/B/WG1 AHG-4의 무선충전 전기자동차 주파수 분배 현황

CISPR는 앞서 각주 3에서 설명했듯이, 전파 장애에 대한 국제 협의를 도출하는 조직으로 주파수 분배와는 큰 이해관계가 있지 않다. 그리고 ITU에서 주파수 분배 권고를 받으면 대개는 그 권고를 충실히 따르는 것을 관례로 하고 있다. 그러나 이번에도 일본은 CISPR에서 사전에 어떠한 협의조차 없이 22-25kHz로 일방적으로 바꾸거나 60kHz는 아예 삭제해 버리고 주파수별

전파장애 기준(Limits)을 제시하였다.

그러나, 우리나라는 국제적으로 이미 합의해 완료된 주파수 분배를 왜 주파수와 연관이 없는 국제 표준화 기구에서 사전 협의 없이 언급하는 것에 대해 강력하게 반대하였고, 독일을 포함한 유럽국가도 이치에 맞지 않는 제안이라고 반대하며 CISPR/B/687 문서의 승인을 수용하지 않았다.

이러한 이유로, 2015년 12월 처음 DC(Draft Committee) 문서를 개발한 이래 2번의 문서 승인을 위한 투표가 모두 거부(Rejected) 되었다. 더구나 CISPR/B/AHG-4(TF-WPT)의 프로젝트 종료일이 2021년 6월 2일인지라, 그때까지 승인된 문서가 나오지 않으면 AHG-4(TF-WPT) 프로젝트는 자동 취소되고 다시 NP 승인부터 진행해야 하는 최악의 상황에 놓이게 되

<표 3> CISPR/B/687 협의 문서의 표X

CISPR/B/678/CD

Table X - Electromagnetic radiation disturbance limits for class A WPT equipment for EVs measured on a test site

Frequency range (kHz)	Limits for a measuring distance of 10 m					
	class A (≤ 22 kW) <sup>b</sup>			class A (> 22 kW) <sup>a, b</sup>		
	D = 30 m	D = 10 m	D = 3 m	D = 30 m	D = 10 m	D = 3 m
	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]	Magnetic Field Quasi-Peak [dB(μA/m)]
9 - 19	18 - 14,8	42 - 38,8	66,5 - 63,3	18 - 14,8	42 - 38,8	66,5 - 63,3
<b>19 - 25</b>	<b>73</b>	<b>97</b>	<b>121,5</b>	<b>83</b>	<b>107</b>	<b>131,5</b>
25 - 36	13,6 - 12	37,6 - 36	62,1 - 60,5	13,6 - 12	37,6 - 36	62,1 - 60,5
36 - 40	<b>72,2</b>	<b>96,2</b>	<b>120,7</b>	<b>82,2</b>	<b>106,2</b>	<b>130,7</b>
40 - 55	11,6 - 10,3	35,6 - 34,3	60,1 - 58,8	11,6 - 10,3	35,6 - 34,3	60,1 - 58,8
<b>55 - 65</b>	<b>70,4</b>	<b>94,4</b>	<b>118,9</b>	<b>80,4</b>	<b>104,4</b>	<b>128,9</b>
65 - 79	9,5 - 8,7	33,5 - 32,7	58,1 - 57,2	9,5 - 8,7	33,5 - 32,7	58,1 - 57,2
<b>79 - 90</b>	<b>68,8</b>	<b>92,8</b>	<b>117,3</b>	<b>78,8</b>	<b>102,8</b>	<b>127,3</b>
90 - 130	8,2 - 6,6	32,2 - 30,6	56,7 - 55,1	8,2 - 6,6	32,2 - 30,6	56,7 - 55,1
<b>130 - 135</b>	<b>66</b>	<b>90</b>	<b>115</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>125</b>
135 - 150	6,5 - 6	30,5 - 30	55 - 54,5	6,5 - 6	30,5 - 30	55 - 54,5

On a test site, class A equipment can be measured at a nominal distance of 4 m, 10 m or 30 m. A measuring distance less than 10 m is allowed only for equipment which complies with the definition given in 3. 17.

Where the limit varies with the frequency, it decreased linearly with the logarithm of the increasing frequency.

National authorities may request additional suppression of emissions within specific frequency bands used by sensitive radio services at designated installations. for example by imposing the limits in Table E.2.

<sup>a</sup> These limits apply to WPT equipment with a rated power > 22 kW and intended to be connected to a dedicated power transformer of generator, and which is not connected to low voltage (LV) overhead power lines. For WPT equipment not intended to be connected to a user specific power transformer the limits for ≤ 22 kW apply. The manufacturer and/or supplier shall provide information on installation measures that can be used to reduce emissions from the installed equipment. In particular it shall be indicated that this equipment is intended to be connected to a dedicated power transformer or generator and not to LV overhead power lines.

<sup>b</sup> Selection of the appropriate set of limits shall be based on the rated a.c. power stated by the manufacturer.

었다.

이를 해결하기 위해, 국가별 최대 쟁점은 주파수별 장애 기준(Limits) 부분이므로 이 부분을 포함하여 여러 개의 단편(fragment)으로 나누어 합의된 단편(fragment)부터 먼저 문서 승인 투표(CDV)를 진행하여 AHG-4(TF-WPT) 프로젝트를 살려 두기로 하였다.

아울러 일본의 주파수 문제 제기로 인해 프로젝트가 위기에 빠지게 되었으므로 주파수 문제에 대해서도 일본은 한발 뒤로 물러나 ITU-R의 권고주파수를 따르기로 합의하였다.

단편으로 나누기를 통해 일부가 FDIS<sup>6</sup> 단계를 통과하였기에, CISPR/B/AHG-4(TF-WPT)의 프로젝트는 2024년 12월까지 연장될 수 있었

6 국제표준화의 제정 절차 중 하나로 '승인 단계'를 의미하며, Final Draft International Standard의 약자. 최종 국제표준어이다.

으며 우리나라의 주장대로 CISPR에서도 기존 대로 주파수를 유지할 수 있게 되었다.

#### 4. 맺음말


우리나라는 무선전력전송 기반 대출력 전기자동차의 주파수에 있어서 세계에서 가장 빨리 분배를 수행했을 뿐만 아니라 이를 기반으로 국제 표준화 기구에서 가장 앞선 무선전력전송 기술을 소개하고 표준화 필요성을 제안하였다. 또 다른 국가의 주파수 제안에 대해서도 실용화 관점으로 매우 공개적인 수용 태도를 유지하고 있다.

신기술인 무선전력전송에 대해 일본은 매우 공격적으로 우리나라를 견제하고 있지만, 실제 보유 기술의 격차 축소는 견제한다고 되는 것이 아니라 더 많은 연구 결과 확보를 통해서만 이뤄

진다는 것을 우리나라는 입증하고 있다.

일본은 최근 들어 기존 자체적인 85kHz 기술을 미국의 WitriCiti의 특허와 공동으로 묶어 뒤쳐진 기술 격차를 극복하려고 했으나 오히려 WitriCiti의 기술 공유 범위 제한으로 미국 기술에 전적으로 따라가야 하는 상황이 되었다.

이러한 무선전력전송 기반 대출력 전기자동차의 주파수 분배 현황을 보면서 세계적으로 무선전력전송 기술에 대해 강력하게 경쟁하고 서로 치열하게 표준화를 주도하려고 하지만, 가장 중요한 기반 기술 개발 노력을 게을리 하지 않아야만 이러한 표준화 경쟁도 가능함을 볼 수 있다.

앞으로도 이러한 주파수 분배를 둘러싼 국제적 경쟁은 지속될 것으로 보인다. 또한, 우리나라가 그 경쟁에서 주도적인 역할을 해야 하는 것도 명백해 보인다. 

---

#### 참고문헌

- [1] Fumito KUBOTA & members of CISPR/B/WG1/AHG/4, "AHG4\_WPT20-05\_CC\_CIS\_B\_737\_CDV+SE+EBU+IARU-Sorted+2020-05-25", pp. 113-115, 2020-05-25.
- [2] Qiongyu YE, Yangbae Chun & members of CISPR/B/WG7, "CISB\_748e\_DC", pp. 20-33, 2020-09-11.
- [3] 전양배, 한국전자파학회, 전자파기술 25(4), "대출력 무선전력전송 시스템의 구성 원리와 적용 사례", 2014.07, pp. 126 - 130 (5 pages)
- [4] 전양배, 한국전자파학회, 전자파기술 32(1), "무선전력전송 EMI/EMC 관련 국제표준 현황 (CISPR/B 현황을 중심으로)", 2021.01, pp. 11 - 16 (6 pages)