무선전력전송용 급전장치의 구성에 관한 기초 연구

김 병기*, 이 문석*, 최 승규*, 노 대석*
*한국기술교육대학교
e-mail:bkwin@kut.ac.kr

A study on the Power Supply Device for Wireless Power Transmission

Byung-Ki Kim*, Moon-Seok Lee*, Dae-Seok Rho*
*Korea University of Technology and Education

요 약

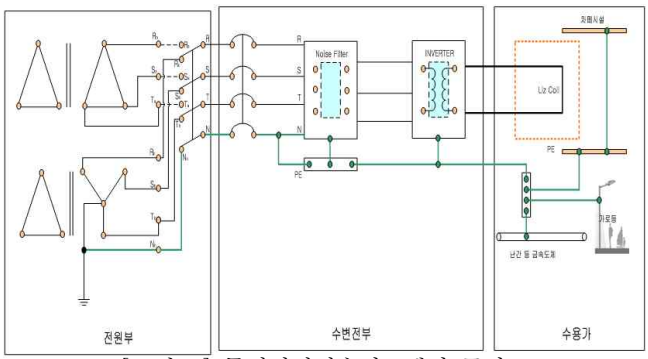
화석연료 고갈로 인해 전기자동차의 발전이 이루어지면서 현재 무선충전용 급집전 시스템 개발을 통하여 이 시스템의 확산 및 보급에 필요한 기반시설 및 구축의 경제성확보가 중요한 실정이다. 이에 무선전력전달의 운용방식의 발전에 따라 차량의 급전부 및 전기설비 구축이 중요한 요소로 대두되고 있다. 하지만 수변전부에서 급전부까지의 전력공급 및 전기설비에 대한 협조체계가 없어, 이에 본 논문에서는 급전부에 전력전달시 발생되는 전압강하를 분석하고 무선 전력전달방식에서 고압측에서 발생되는 각종 지락사고 및 단락사고를 해석하여 문제점분석을 통해 안정적인 전력전달방식을 구축하고자 한다.

1. 서론

현재 무선충전방식의 시장은 신기술 패러다임으로 이미 수용되고 있고 이 신기술의 상용화 및 산업화를 이루기 위해 국제시장의 판도는 급격히 변화고 있으며 이에 따라 우리나라에서는 신기술 시장에 진입하려는 역할 수행이 이루어지고 있다. 하지만 전기적 안전성 및 성능이 확보된 도로에 매설된 급전시스템은 전기자동차에 실용화에 있어 중요한 부분을 차지하고 있다 이에 따라 본 논문에서는 무선충전식 전기자동차의 급전부에 설치된 인버터는 정적 모델 부하로써 이를 기준으로 각각의 지점에 따른 전압강하를 PSCAD/EMTDC로 분석하여 보다 더 안정적인 전력공급을 할 수 있도록 방안을 제시하고자한다. 또한 고압에서에서 저압으로 변전되는 지점에서 발생될 수 있는 각종 사고전류 분석으로 안정적인 전력전달 방식을 구축하고자 한다.

2. 무선전력전송시스템의 구성

전기차 중에서 버스의 경우에는 대용량의 에너지가 필요하며 전력저장 장치인 배터리의 용량문제가 대두 되고 있다. 이에 따라 비접촉 전력전달 방식에 의한 전기동력화 추진이 필요한 실정이며 배터리용량의 한계 때문에 도로를 전력원으로 활용방안이 제시되고 있는 실정이다. 도로를 전력원으로 사용하기 위해서는 급전시스템의 상용화 기술개발이 필요한 실정이다 하지만 버스정류장에 급전시설을 설치를 할 경우에는 설비당 전력을 공급할 수 있는 거리는 전압강하에 의해서 제한되어진다. 또한 그림 1에서의 도면을 통해 전기 안전 에 대한 기술개발이 필요하며 이에 수배전반에서 사고문제에 따른 설비 해석이 필요한 실정이다.



[그림 1] 무선전력전송시스템의 구성도

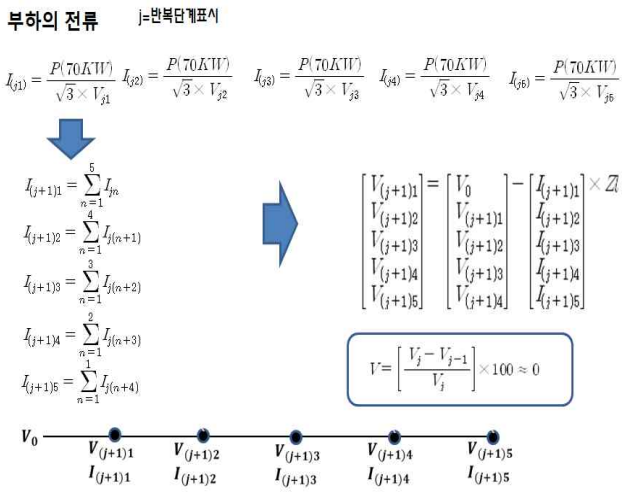
3. 전압강하를 고려한 급전장치의 구성

무선전력전송 시스템에서 급전위치에 따른 전압강하 해석을 하기 위해 급전부의 부하를 고려해주어야 한다. 본 논문에서는 정적 모델부하중 정전력 모델과 인버터의 특성에 따른 정전류 모델을 기준으로 전압강하를 해석 하였다.

3.1 정전력 모델을 이용한 전압강하해석

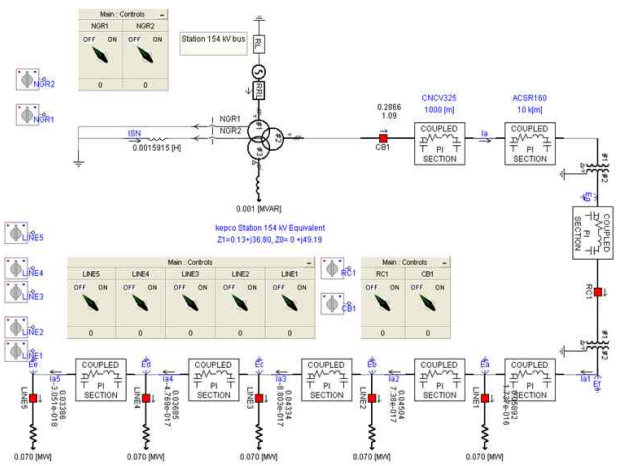
정전력 모델을 이용한 전압강하 해석은 그림2에

따라서 가우스 자이델 방법을 사용하여 전압강하 해석을 실시 하였다. 먼저 인버터의 용량을 70kw로 가정하고 총 5개소의 급전지점을 설정한 후에 부하의 전류를 구한다. 다음으로 각 구간의 전류와 이를 이용하여 구간전압을 계산하여 일정값에 수렴할때까지 반복한다.



[그림 2] 정전력 모델 계산 방법

그림 3은 급전지점이 5개소로 가정하고 전압강하를 해석하기 위해 PSCAD/EMTDC 모델링한 것이다. 개소별 거리는 1km, 인버터 용량 70kw, 선로임피던스는 0.0988+j0.103 Ω/km 로 가정하였다. 전압강하 분석방법은 5개소의 급전지점이 모두 동작할 경우의 최악의 경우와 5개소의 급전지점중 1개소씩 동작할경우의 두가지 조건으로 실시하였다.



[그림 3] PSCAD를 이용한 전압강하 모델링

(1) 급전장치가 5개소 모두 동작시

먼저 최악의 조건인 5개소가 모두 동작할경우의 전압을 구하면 표 1과 같이 나타나며 PSCAD의 수치와 거의 일치함을 확인 할 수있다. 하지만 1지점을 제외한 나머지 지점에서 전압범위인 ±10%를 벗어나게 되어 전력전달의 문제점이 발생할 수 있음을 확인하였다.

[표 1] 지점별 전압강하 표

	1지점	2지점	3지점	4지점	5지점
전압(2회)	411V	364V	328.07V	303V	290V
전류(2회)	98.33A	111A	123A	128A	133A
전압(3회)	410.68V	361.774V	323.835V	298.048V	284.90V
전류(3회)	98.40A	111.95A	124.79A	135A	142A
전압(4회)	410.00V	359.24V	319.622V	292.294V	278.264V
전류(4회)	98.57A	112.5A	126.44A	138.26A	145A
전압(5회)	409.33V	357.73V	317.25V	289.26V	274.933V
전류(5회)	98.73A	112.97A	127.39A	139.71A	146.99A
전압(6회)	409.08V	357V	316.41V	288.08V	273.55V
전류(6회)	98.79A	113.20A	127.72A	140.28A	147.7A
전압(7회)	408.99V	356.73V	315.65V	287.19V	272.59V
PSCAD	407.03V	351.60V	313V	289V	277V

(2) 급전장치가 1개소씩 동작시

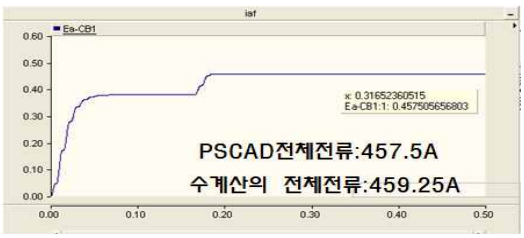
급전부가 1개소씩 동작할경우의 전압을 구하면 표 2와 같이 나타나며 PSCAD의 수치와 거의 일치함을 확인 할 수있다. 전력전달시 1,2,3,4지점을 제외한 5 지점에서 전압범위인 ±10%를 벗어나게 되어 문제점이 발생할 수 있음을 확인하였다

[표 2] 지점별 전압강하 표

	1지점	2지점	3지점	4지점	5지점
전압(2회)	435.46V	426.38V	417.30V	408.30V	399.16V
전류(2회)	92.80A	94.78A	96.84A	98.96A	101.24A
전압(3회)		425.95V	416.08V	405.77V	394.98V
전류(3회)		94.88A	97.13A	99.59A	102.32A
전압(4회)	435.41V	425.80V	416V	405.55V	394.50V
PSCAD	431.28V	419.06V	409.1V	397.67V	389.71V

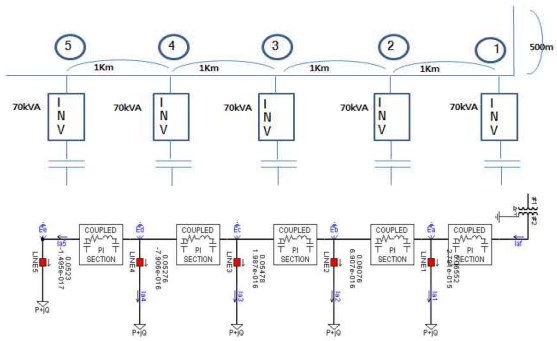
3.2 정전류 모델을 이용한 전압강하해석

정전류 모델을 이용한 전압강하 해석은 부하에 전류는 고정되고 이에 따라 전압이 변동하여 전력에 영향을 미치는 것이다. 이에 따라 인버터는 정전류 부하 모델이기 때문에 그림 4와 같이 전류를 고정시켜 전압강하를 계산하였다.



[그림 4] PSCAD를 이용한 전체 전류데이터

그림 5는 급전지점이 5개소로 가정하고 전압강하를 해석하기 위해 PSCAD/EMTDC 모델링한 것이다. 개소별 거리는 1km, 인버터 용량 70kw, 선로임피던스는 0.0988+j0.103 Ω/km 로 가정하였다. 전압강하 분석방법은 5개소의 급전지점이 모두 동작할 경우의 최악의 경우와 5개소의 급전지점중 1개소씩 동작할경우의 두가지 조건으로 실시하였다.



[그림 5] PSCAD를 이용한 전압강하 모델링

(1) 급전장치가 5개소 모두 동작시

먼저 최악의 조건인 5개소가 모두 동작할경우의 전압을 구하면 표 3과 같이 나타나며 PSCAD의 수치와 거의 일치함을 확인 할 수있다. 하지만 1지점을 제외한 나머지 지점에서 전압범위인 ±10%를 벗어나게 되어 전력전달의 문제점이 발생할 수 있음을 확인하였다.

[표 3] 지점별 전압강하 표

	1지점	2지점	3지점	4지점	5지점
수계산전압	417.31V	381.02V	353.79V	335.64V	326.57V
PSCAD	415.34V	379.19V	351.60V	333.94	324.74

(2) 급전장치가 1개소씩 동작시

급전부가 1개소씩 동작할경우의 전압을 구하면 표 4 와 같이 나타나며 PSCAD의 수치와 거의 일치함을 확인 할 수있다. 전력전달시 모든지점이 전압범위인 ±10% 범위안에 있고, 급전부가 5km내에서는 문제가 없음을 확인하였다.

[표 4] 지점별 전압강하 표

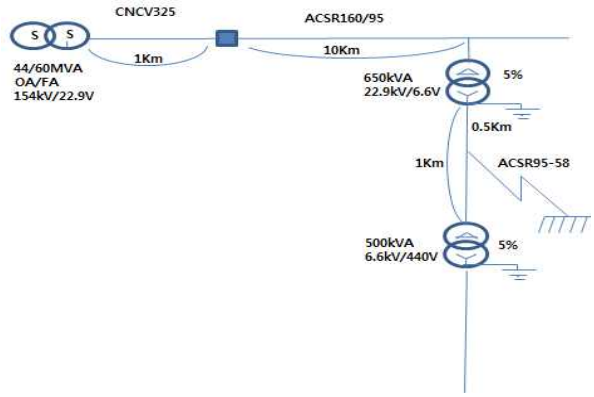
	1지점	2지점	3지점	4지점	5지점
수계산전압	435.46	426.38	417.31	408.24	399.15
PSCAD	433.01	423.31	412.64	400.76	389.01

4. 사고해석을 고려한 급전장치 구성

무선 전력전송 장치의 급전부에 전력을 전달하기 위해서는 전력을 고압에서 저압으로 변환하여 전력을 전달해야한다. 변압기 결선은 22900/6600V와 6600/440V에서는 Δ-Y_{ground}결선을 사용하였다.

4.1 고압측의 지락사고 해석

고압측의 지락사고를 해석하기 위해서 먼저 영상분 임피던스의 경우에는 변압기 결선 방식에 따라 지락사고시 영상회로가 구성되어 Y결선상을 순환한다. 여기서 그림 6과 같이 사고지점을 기준으로 변압기 전단에는 영상분이 기여하지 않아 자체 영상통로만 제공하여 임피던스는 변압기와 당해 선로분에 대해서만 영상분을 계산한다. 정상분 임피던스는 변전소를 기준으로 모선임피던스, 변압기 임피던스와 선로임피던스를 사고지점까지 정상분을 계산하여 준다.

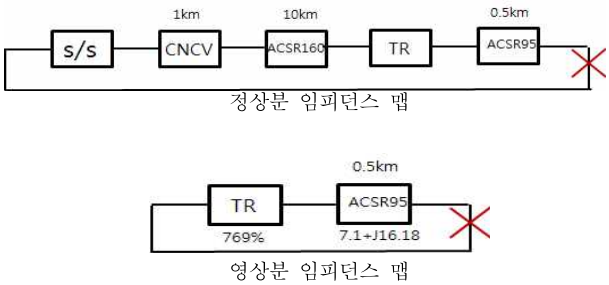


[그림 6] 선로 구성도(지락사고시)

상기 그림의 사고지점을 토대로 지락사고시의 정상분과 영상분 임피던스 맵을 그리면 표 5의 임피던스(%/km)를 기준으로 그림 7과 같다

[표 5] 임피던스 구성표

임피던스 종류	정상분 %임피던스	영상분%임피던스
모선임피던스	0.13+j36.8 [%]	j49.19 [%]
CNCV-325	1.1791+j2.845 [%]	5.322+j1.735[%]
ACSR160/95	3.47+j7.46[%]	11.99+j29.26[%]
ACSR95/58	5.8+j8.41[%]	14.2+j32.36

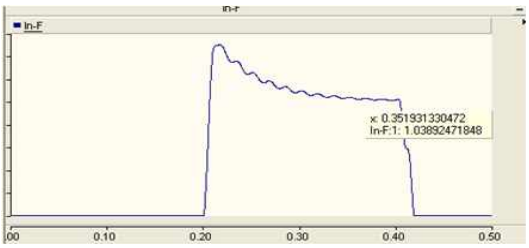


[그림 7] 정상분·영상분 임피던스 맵

지락사고시 상기의 임피던스 맵을 기준으로 수계

산을 실시하면 태양광 인버터의 기여전류분을 포함하여 식(1)과 같이 1100A로 계산되고 PSCAD는 그림 8와 같이 1036A로 계산되어진다.

$$Z_1 = 769 + 1.1791 + j2.845 + 34.7 + j74.6 = 807.78 + j81.695$$
$$Z_0 = 769 + 7.1 + j16.18 = 776.1 + j16.18 \quad (1)$$
$$Ig(0) = \frac{3\times100}{2\times(807.78+j81.695)+776.1+j16.18} \times \frac{100,000}{\sqrt{3}\times6.6} = 1091 + 9.1A = 1100.1A$$



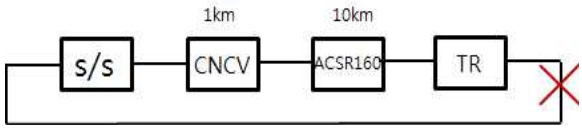
[그림 8] 지락사고시 전류그래프

4.1 고압측 및 저압측의 단락사고 해석

단락사고는 22900/6600V 변압기와 6600/380V 변압기를 기준으로 정상분을 고려하여 단락사고 계산을 실시하였다.

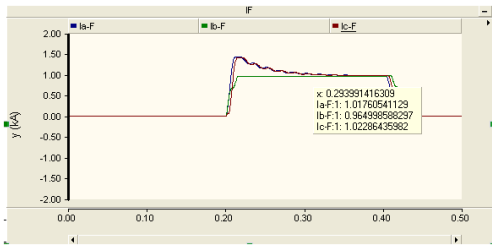
(1) 고압측의 단락사고 해석

22900/6600V 변압기 2차측 지점의 사고전류는 태양광 인버터의 기여분을 포함해 임피던스 맵을 기준으로 식(2)와 같이 1085A로 수계산 되어졌고, PSCAD의 수치는 그림 10과 같이 1022A로 계산되었다.



[그림 9] 22900/6600V변압기 지점의 정상분 임피던스 맵

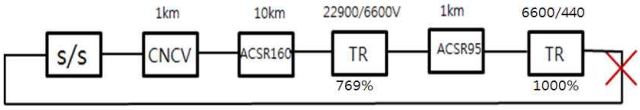
$$Z_1 = 769 + 1.1791 + j2.485 + 34.7 + j74.6 = 804.87 + 77.445 \quad (2)$$
$$I_S = \frac{100}{804.87 + j77.445} \times \frac{100,000}{\sqrt{3}\times6.6} = 1076 + 9.1 = 1085A$$



[그림 10] 단락사고시 전류그래프

(2) 저압측의 단락사고 해석

6600/4400V 변압기 2차측 지점의 사고전류는 태양광 인버터의 기여분을 포함해 임피던스 맵을 기준으로 식(3)과 같이 6765A로 수계산 되었다.



[그림 11] 6600V/440V변압기 지점의 정상분 임피던스 맵

$$Z1 = 1000 + 769 + 5.8 + j8.41 + 1.1791 + j2.845 + 34.7 + j74.6 = 1810.67 + j85.855 \quad (3)$$
$$IS = \frac{100}{1810.67 + j85.855} \times \frac{100,000}{\sqrt{3}\times0.48} = 6628A + 137A = 6765A$$

5. 결론

본 논문에서는 정적 모델부하중 정전력 모델 과 인버터의 특성에 따른 정전류 모델을 기준으로 전압강하를 해석과 사고전류를 분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) 전압강하에대한 분석시 (인버터 용량:70kw) 최악의 조건인 모든 지점 동작시 첫 번째 지점을 제외한 나머지 지점에서는 기준전압 미달로 전력공급이 불가능함을 확인하였다. 또한 모든개소중 한 개의 지점에서만 급전설비가 동작할 경우 최대 5km까지 전력공급이 가능함을 확인하였다.

(2) 고압 및 저압에서 지락사고 발생시 Δ-Y_{ground}를 사용하여 지락검출이 가능함을 통해 보호협조가 이루어질수 있음을 확인하였다. 이에 따라 단락사고 및 지락사고에 대한 계전기의 전류 정정치를 조절해야 하며 사고발생시 인버터에서 기여분이 포함되어 전류의 크기가 증가함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 노대석 외 4인, “저압 배전계통에 있어서 태양광 연계시의 전력품질특성에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회논문집

[2] 노 대석 외 3인, “저압 배전선로에 연계된 태양광발전의 정상상태 특성연구”, 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2010.5