

# 알루미늄 스크랩을 이용하여 제작한 접지 전극의 전압-전류 특성

논문  
9-8-5

## I-V Characteristics of Ground Electrode Fabricated using an Aluminium Scrap

이우선\*, 정용호\*, 박진성\*\*

( Woo-Sun Lee, Yong-Ho Chung, Jin-Sung Park )

### Abstract

I-V characteristics of ground electrode fabricated using an aluminium scrap are presented. We fabricated several shapes of aluminium scraps and aluminium electrodes. The results show that the current of aluminium electrode increased linearly by the voltage increase. AC breakdown voltage of copper plate electrode was higher than that of aluminium electrode. AC breakdown current of aluminium electrode was higher than that of copper plate electrode. As applied voltage increased, grounding resistance of aluminium electrode decreased linearly.

**Key words(중요용어)** : Ground(접지), Electrode(전극), Aluminium(알루미늄), Scrap(스크랩)

### 1. 서 론

변압기는 고압 부분과 저압부분이 절연물과 절연유로 이격되어 있는데 내부고장으로 인하여 절연이 파괴되면 고압권선과 저압권선이 접촉하게 된다. 고압배선이 단선되어 저압배선에 접촉하는 고·저압 혼축사고가 발생하면 매우 위험성이 높기 때문에 이러한 위험을 방지하기 위하여 접지가 필요하다.<sup>1,2)</sup> 접지는 대지에 전기적 단자를 시설하는 것인데 이 단자 역할을 하는 것이 접지전극이며 전류가 이 전극을 통과하여 대지로 유입되는 경우, 이 통과된 난이성 정도가 접지저항이고 이 저항이 낮을수록 전류는 흐르기 쉽게 된다. 접지는 피접지체를 대지와 전기적으로 연결하여 대지와 등전위가 되도록 하는 것이므로 아무리 양호한 접지를 하더라도 접지저항을 영으로 할 수 없고 전류가 흐르면 전압강하 때문에 접지선의 전위는 대지전위보다 높아진다. 따라서 모든 접지공사의 기본은 접지저항치를 가능한

한 낮추어서 대지전위의 상승을 억제하여야 하며, 접지되는 설비에는 전력설비, 통신설비, 피뢰설비 및 전기방식 설비등이 있다. 접지하는 목적은 인체의 안전을 위하고 계통의 잡음을 적게 하고 대지를 회로의 일부로서 이용하기 위하여 접지를 한다. 계통접지는 저압 측의 기기나 설비의 보호를 위해서는 반드시 실시하여야 하고 인체가 지고압 측에 직접 접촉되는 사고가 발생할 경우에는 폐회로가 구성되므로 감전의 위험이 매우 커지게 된다.<sup>3,4)</sup> 각종 전기사고에 의한 전기기계,기구 전기설비 및 건축물 등의 안전성을 높이고 인체에 대한 위험방지를 위해 시설하는 접지는 1752년 미국의 플랭칼린이 피뢰침을 설치하여 뇌전류를 대지로 방류시킨 것을 시작으로 오늘에 이르는 것으로 근래에는 전기설비의 다양화,복잡화,대형화와 전기기계,기구의 첨단화 등으로 거의 모든 전기기계,기구 및 설비에 접지시설을 의무화하고 있다. 일반적으로 접지저항을 저감시키는 방법은 접지전극의 재료나 크기, 매설깊이 등을 변화시키는 방법과 저감제를 사용하여 토양의 대지저항률을 낮게 하는 방법 및 접지전극을 여러개 병렬로 연결하거나 서로 다른 접지전극을 병용 접속 시킴으로써 가능하다.<sup>7,8)</sup>

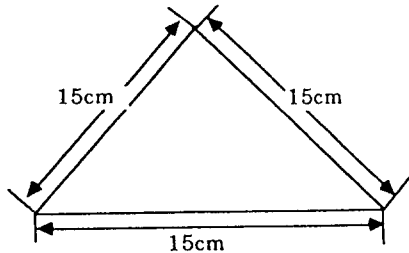
\* : 조선대학교 공대 전기공학과  
\*\* : 조선대학교 공대 재료공학과  
접수일자 : 1996년 2월 15일  
심사완료 : 1996년 9월 8일

따라서 본 논문에서는 첫째로, 알루미늄괴를 이용하여 알루미늄박과 스크랩을 제작 하고자 하고 둘째로, 알루미늄 스크랩을 이용하여 접지전극을 설계하고 제작 하고자 하며 셋째로, 제작된 알루미늄 스크랩 접지전극의 전기적인 특성을 측정 하고자 한다.

## 2. 실험

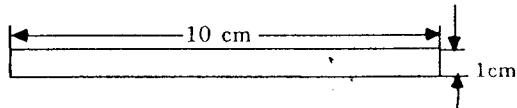
### 2-1. 알루미늄 스크랩의 제작

알루미늄 스크랩의 제작 과정은 30cmx10cmx2cm인 순도 99%인 고상의 알루미늄괴를 구입 하고 알루미늄박 자동 제작기에 투입 하여 15cm x 15cm x 0.5mm 와 10cm x 10cm x 0.5mm 의 알루미늄박을 먼저 제작 하여 통둘레 감았다. 제작된 알루미늄박을 이용 하여 알루미늄 스크랩을 재단 하여 스크랩을 제작 하였는데 사용한 알루미늄 스크랩은 그림1의 15cm x 15cm x 15cm x 0.5mm (두께) 와 10cm x 10cm x 10cm x 0.5mm 인 삼각형 알루미늄 스크랩(그림1의 위쪽)을 커팅 머신

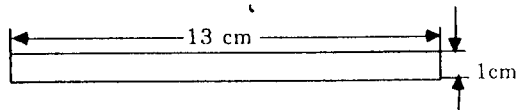


Al Scrap 1: 15cm x 15cm x 0.5mm

Al Scrap 2: 10cm x 10cm x 0.5mm



Al Scrap3: 10cmx1cmx0.5mm



Al Scrap4: 13cmx1cmx0.5mm

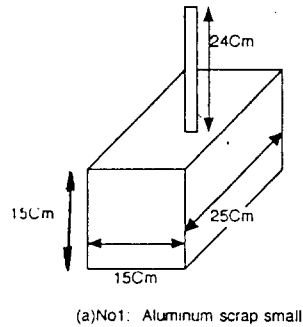
그림 1. 알루미늄 스크랩의 영상  
Fig. 1. Design of aluminium scrap

기에 의하여 재단하여 제작 하였다. 또한 스크랩은 13cm(가로) x 1cm(세로) x 0.5mm(두께) 와 10cm x 1cm x 0.5mm 의 직사각형 모양 알루미늄 스크랩(그림1의 아래쪽)을 이용 하였다. 재단한 알루미늄 스크랩은 아세톤과 알콜을 사용하여 여러번 반복하여 깨끗이 세척 하여서 오염으로 인한 전기 저항을 최소화 하고자 하였다.

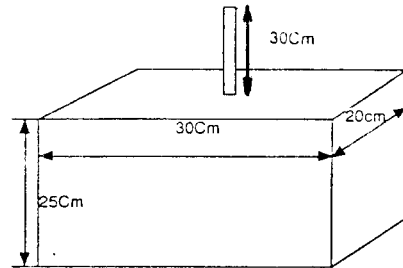
### 2-2. 알루미늄 접지전극 제작

알루미늄 스크랩 접지전극의 설계는 24cm x 25cm x 15cm, 30cm x 20cm x 25cm 로 설계 하였다. 접지전극의 제작은 재단한 스크랩을 모아서 100kg 압력의 유압기를 이용하여 프레스 압착 방법에 의해서 알루미늄 스크랩 접지전극을 제작 하였다.

알루미늄 스크랩 접지전극은 그림 2(a)와 (b)형 상으로 유압식 강력압착기에 의해서 15cm x 25cm x 15cm 크기 알루미늄(소)접지전극 NO1,과 25cm x 20cm x 30cm 크기의 알루미늄(대) 접지전극을 제작 하였다. 제작된 알루미늄(대)NO2, 접지전극의 전기적인 특성을 비교하기 위해서 그림3(a)의 30cm x 30cm x 2mm(NO3)와 (b)의 30cm x

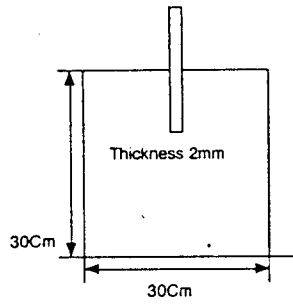


(a)No1: Aluminum scrap small

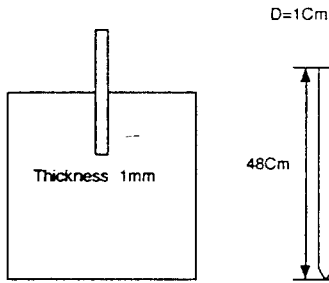


(b)No2: Aluminum scrap large

그림 2. (a)알루미늄 전극(소) (b)알루미늄 전극(대)  
Fig. 2. Fabricated ground electrode  
(a)aluminium electrode(small),  
(b)aluminium electrode(large)



(a) No3: Cu Plate(2mm)



(b) No4: Cu Plate(1mm)

(c) No5: Cu Pole

그림 3. (a)동판 전극(2mm) (b)동판 전극(1mm)  
(c)동봉 전극

Fig. 3. Ground electrode

- (a)copper electrode(2mm),
- (b)copper electrode(1mm)
- (c)copper electrode

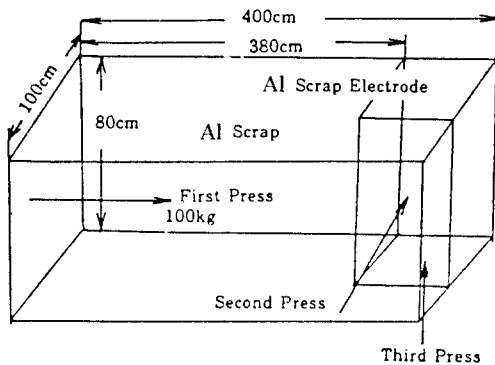


그림 4. 유압기 내부 구조

Fig. 4. Chamber structure of oil pressure machine

30cm x 1mm(NO4) 크기의 동판전극과 (c)의 48cm x 1cm의 동봉전극 (NO5)을 제작 하여서 알루미늄 집지전극의 전기적인 우월성 특성 비교를

하였다.

그림 4는 알루미늄 스크랩을 제작하기 위해서 제작한 유압기의 유압실 내부구조도 이다. 100kg의 유압이 1차로 압력을 가하여 스크랩을 압축하고 차례대로 2차압력과 3차압력이 설계도면의 화살표 방향으로 인가되는 프레스 압착기법에 의해서 알루미늄 스크랩 집지전극을 제작 하였다. 집지전극의 제작을 위해서 제작한 유압기에 사용 된 모터는 3상 200V 15마력을 사용했고 유압이 콤푸레샤에서 압축 된후 분배 호스를 따라서 필요한 부분에 유압이 인가 된다.

### 2-3. 제작된 집지전극의 실험장치 셋업(setup)

집지전극의 전기적인 특성평가를 위한 실험장치 구성도는 그림 5와 같다.

인가전압은 교류 0~20KV, 직류 0~10KV, 이고 전압과 전류를 측정할 수 있도록 전압계와 전류계를 연결하였다. 제작된 집지전극이 도양에 묻히는 깊이는 20cm이고 도양의 중심에 위치하도록 제작된 집지 전극을 배열하였다. 실험을 하기 위해서 제작된 집지전극과 도양 가장자리를 둘러싼 원형 동판 케이스는 집지전극의 가장자리에서 동판 케이스 까지 10cm 간격으로 배열하였으며 동판케이스는 1m x 2m x 0.5mm 크기로 하였다. 전압인가는 100V/sec를 유지하였으며 계속해서 전압계와 전류계를 주시하여 브레이크다운(Breakdown) 전압 - 전류를 확인하면서 진행하였다.

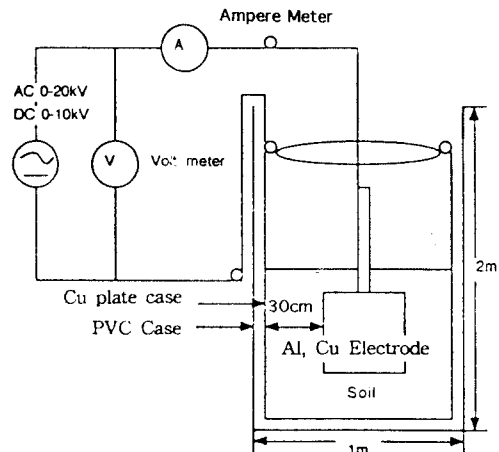


그림 5. 전기적 특성 실험 회로 및 장치

Fig. 5. Experimental circuit for electrical property characterization

### 3. 실험 결과

직류 전압을 0V에서 6,000V 까지 증가 하였을 때(일본 무사시 전기제작소DU-50 절연내력 시험장치, AC 0~60,000V) 직류전류의 변화 특성을 simple curve fit 하여서 그림 6에 나타내었다. 전압이 증가함에 따라서 전류는 선형적으로 증가 하였으며 5,500V에서 전류는 알루미늄(소) 접지극 70mA, 동봉(48cm) 120mA, 알루미늄(대) 접지극 200mA, 두께 1mm 동판190mA, 두께2mm 동판 330mA 로 알루미늄(소) 접지극이 두께 2mm 동판보다도 260mA 적고 시판동판보다는 50mA가 낮기는 하나 알루미늄(소) 접지극은 동봉과 비슷한 전류값을 나타냄을 보였다. 그 이유는 동의 도전율이 알루미늄 보다 높지만 알루미늄 접지 전극의 크기가 동 전극 보다 큼으로 인해서 알루미늄 전극 내의 이동 할 수 있는 전자가 동전극과 비슷 하게 되기 때문 이라고 본다.

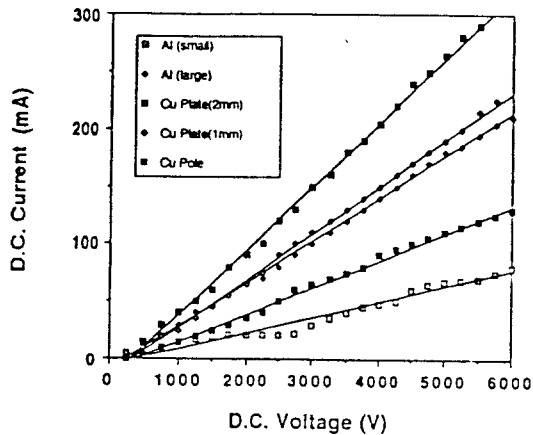


그림 6. 직류 전압 증가에 따른 직류 전류 증가  
Fig. 6. DC current variation by DC voltage increase

설계한 각 접지극의 직류 브레이크다운 전압의 변화 모양을 그림 7에 나타낸다. 설계 제작한 각 접지전극에 따른 브레이크다운 전압과 전류의 범위는 5400V에서 6600V 사이 이었고 전류는 20mA에서 300mA 까지 변화 되었으나 브레이크다운 전압은 알루미늄(소) 접지극(NO1)이 가장 높으며 2mm 동판(NO3)이 가장 낮음을 보였다. 전류가 많이 흐르면 전압이 낮아지기 때문에 브레이크다운 전류는 반대로 알루미늄(소) 전극이 낮았고 2mm 동판이 높게 됨을 보였다. 설계한 각 접지전극에 따른

직류 브레이크다운 전압과 전류를 비교하여 보면 알루미늄(소) 접지 전극은 브레이크다운 전압이 6300V 전류가 88mA로서 각 접지전극 중 전압이 가장 높고 전류가 가장 낮음을 보였다 이와 같이 설계된 알루미늄 스크랩이 동판 전극과 비교할 때 전압은 더 높고 전류는 더 낮음을 보이나 그 차이는 적었다.

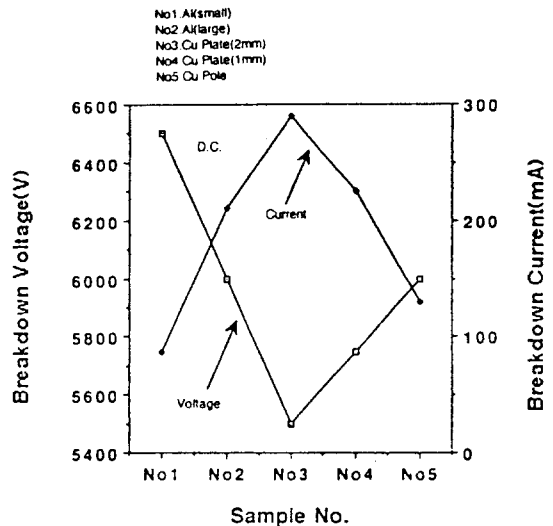


그림 7. 직류 브레이크다운 전압과 전류의 비교  
Fig. 7. Comparison between DC breakdown voltage and current

알루미늄(소) 전극을 기준으로 하여 설계된 각전극의 직류전압과 전류값의 변화를 그림 8에 나타낸다. 설계된 각 전극마다 전압과 전류의 변화 추이는 서로 비슷한 모양의 변화를 보였으며 전압과 전류는 알루미늄(소)과 동봉 사이가 가장 낮았고 알루미늄(소) 전극과 동판 전극 사이가 가장 높은 것으로 보아서 알루미늄(소) 전극이 동봉 보다는 그 차이는 미비하지만 전극의 면적이 같을 경우는 접지 동판전극이 알루미늄 전극 보다 전압과 전류 특성이 더 우수 하다는 것을 알 수 있다. 알루미늄(소) 전극을 기준으로 하였을 때 알루미늄(소) 전극과 동판전극사이(NO1-3)는 1000V, 220mA 전압과 전류가 가장 높음을 나타 내었다. 그 이유는 접지동판에서의 전류가 집중적으로 넓은 면적을 통하여 흐르고 동의 전기 전도도가 높기 때문인 것으로 생각된다.

그림 9는 설계된 각 전극의 직류전압의 증가에 따른 대지저항의 변화를 나타낸다. 대지저항은 전압이 증가할수록 지수함수 적으로

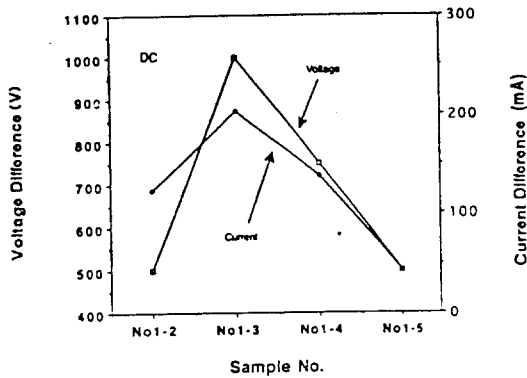


그림 8. 알루미늄 전극을 기준으로 한 직류 전압 전류 비교

Fig. 8. DC voltage and current variation compared with Al electrode

감소함을 보였다. 대지 저항은 알루미늄(소) 전극에서 가장 높았는데 전압 500V 일 때 10,000Ω 이었고 전압 5500V 에서 8,200Ω 으로 1800Ω 감소를 보였다 동판의 경우가 제작된 접지전극중 대지 저항은 가장 낮았으며 전압에 따른 대지 저항은 500V 에서 3200Ω 을 나타내었고 5500V에서 2900Ω 으로 되어서 전압이 증가됨에 따라서 접지저항은 감소 됨을 보였다.

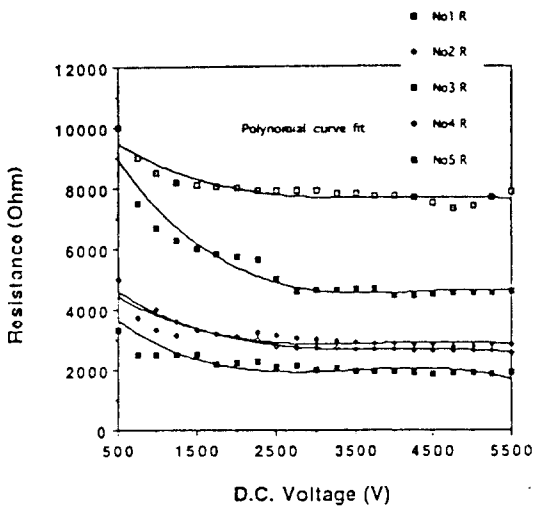


그림 9. 직류 전압 증가에 따른 접지 저항의 변화

Fig. 9. Resistance variation by DC voltage increase

그림 10은 교류전압이 0V 에서 1500V 까지

증가됨에 따른 교류 전류의 변화를 나타 내는데 교류 전압의 증가에 따라서 교류 전류는 지수함수 적인 증가를 나타 내었다. 직류 전압의 증가에 따른 전류의 증가는 선형적인 증가를 나타내는 것과는 반대로 교류전류는 알루미늄(대) 전극(NO2)이 53mA로 가장 높았고 동판(NO5)에서 18mA 로 가장 낮았 으며 교류 전압은 동판(NO3)의 경우 1200V 로 가장 높았고 알루미늄(소) 전극(NO1)이 300V로 가장 낮았다. 브레이크다운 전압은 알루미늄대 접지전극보다 동판접지전극이 더 높게 되었다. 이를 분석 해보면 알루미늄 접지 전극의 크기가 더 큼으로 인해서 알루미늄 접지 전극은 상대적으로 전류를 많이 흘릴 수 있고 전압보다는 전류 면에서의 특성이 더 우수함을 알 수 있다.

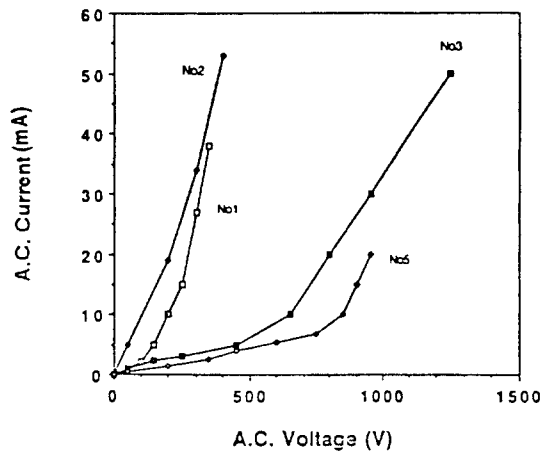


그림 10. 교류 전압 증가에 따른 교류 전류의 변화

Fig. 10. AC current variation by AC voltage increase

그림 11은 브레이크다운 전압과 전류를 나타내는데 알루미늄(소) 전극(NO1)의 경우 전압이 가장 낮고 동판 전극(NO3)의 경우 전압이 가장 높았으며 동판의 경우 전류가 가장 낮고 알루미늄(대)의 경우 전류가 가장 높음을 알 수 있다. 이와 같이 제작된 알루미늄(대)전극의 전류가 높은 것은 알루미늄 스크랩의 원자가 서로 잘 결합이 되어서 스크랩간의 결합이 적고 결합력이 강하게 결합되어 있기 때문 이라고 생각 된다. 브레이크다운 전압은 1300 V 인 동판(NO3)에서 가장 높게 나타남을 알 수 있고 브레이크다운 전류는 53mA인 알루미늄

늄(대) 전극(NO2)에서 전극내 원자 결합의 감소가 되어 가장 높게 나타남을 알 수 있다

알루미늄(소) 접지극을 기준으로 하여 제작한 접지극들의 교류전압과 전류의 시로간의 편차가 가장 큰 것은 알루미늄(소)전극과 동판사이의 전압편차(NO1-3)로서 전압편차가 900 V 이었으며 교류전류편차가 가장 큰 것은 알루미늄(소)전극과 동봉의 전류편차(NO1-3)로 10mA를 나타 내었다.

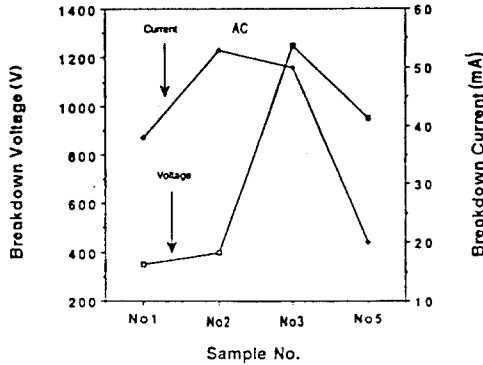


그림 11. 교류 블레이크다운 전압 전류 변화  
Fig. 11. Variation between AC breakdown voltage and current

본 연구에서 설계 하여 제작한 접지전극 NO.1,2,3,5 에 AC,DC전압을 인가 하였을때 전압, 전류특성을 비교하여 표 1에 나타낸다.여기에서 알 수 있듯이 알루미늄 전극과(대)와 2mm동판을 비교하여 보면 알루미늄(대)가 직류 브레이크다운 전압과 교류전류, 교류브레이크다운 전압이 더 높고 2mm동판전극이 직류

전류, 직류브레이크다운 전압, 교류브레이크다운 전압이 더 높게 되었다. 전극의 크기는 알루미늄 접지 전극이 더 크고 알루미늄 접지 전극과 동판 전극과의 무게는 비슷한 조건에서 알루미늄 전극(대)와 2mm동판 전극의 전기적인 특성이 서로 비슷하게 되어서 제작된 알루미늄(대) 접지전극 이 동판 전극과 전압-전류 특성이 비슷 함을 보였다.

4.결 론

본 연구에서는 알루미늄 스크랩 접지전극을 제작하였으며 이 전극을 사용하여 전기적인 특성을 측정 하였으며 알루미늄 스크랩을 이용하여 유압프레스 압착기법으로 알루미늄 스크랩을 이용한 접지전극을 성공적으로 제작 하였다. 알루미늄 접지전극에 직류전압을 인가한 결과 직류전류는 선형적인 증가를 보였으며 제작된 알루미늄 전극(대)는 크기가 더 함으로 인한 전극내 원자수의 증가로 인하여 동판보다는 허용전류가 적었으나 동봉보다는 허용전류가 높게 되었다. 설계 제작한 각 전극의 브레이크다운 전압은 동판전극이 가장 높고, 전류는 알루미늄(소)전극이 가장 높게 되었다. 각 전극에 전압을 증가 시켰을 때 접지 저항은 비선형적으로 감소함을 보였는데 접지 저항은 도전율이 동봉보다 적음으로 인해서 알루미늄(소) 전극이 가장 높았고 동판전극이 가장 낮음을 보였다. 교류전압의 증가에 따른 교류전류는 비선형적으로 증가되었으며 사용전압의 범위는 도전율의 증가로 인해서 동판전극이 가장 높았고 동봉전극이 가장 낮음을 보였

표 1. 알루미늄 접지 전극과 동판 접지 전극의 전압-전류 특성 비교

Table 1. Electrical characteristic comparison of fabricated electrode

Item	DC			AC			비 고
	current(mA)	Break-down voltage	Break down	current	Break-down	Break down	
Electrode	6000V(DC)	voltage(V)	current(mA)	400V(AC)	voltage(V)	current(mA)	
Al small No1	70	6500	100	38	370	38	
Al large No2	200	6000	220	53	400	52	
Cu 2mm No3	220	5450	290	5	1250	50	
Cu pole No5	120	6000	150	3	900	42	

으며, 교류 브레이크다운 전압은 알루미늄(대) 전극이 가장 높았고, 전류는 동판이 가장 높게 되었다. 알루미늄(소)전극을 기준으로 한 교류 전압 전류의 편차는 동판 전극의 경우 교류 전압은 가장 높았고 전류는 가장 낮음을 보였다. 접지 동판 전극과 비교 하면 알루미늄 스크랩 접지 전극이 직류 브레이크다운 전압이 높고 접지동판은 직류 브레이크다운 전류가 더 높아서 서로의 무게가 비슷 할 때 동판 전극과 알루미늄 접지 전극의 전압 전류 특성이 비슷하게 되었다.

이 논문은 한국 과학재단 지정 지역 협력 연구센터인 조선대학교 수송기계 부품 공장 자동화 연구센터의 1995년도 연구비 지원에 의해서 연구 되었음

### References

1. R. T. Macano, J. J. Burke and A. Myers, "The effect of distribution system on MOV selection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.8, No.1, pp.139-145, 1993
2. J. Ma, F. P. Dawalibi and W. K. Daily, "Analysis of grounding system in soils with hemispherical layering", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.8, No.4, pp.1773-1781, 1993
3. J. L. Alamo, "A comparison among eight technique to achive an optimum estimation of electrical grounding parameter in two layer earth", IEEE Trans. on Power Delievery, Vol.8, No.4, pp.1890-1899, 1993
4. L. Huang and X. Chen, "Study of un-equally spaced grounding grid", IEEE Trans. on Power Delievery, Vol.10, No.2, pp.716-722, 1995
5. R. J. Freeman and N. A. Lawson, "The development a magnetic hydrocyclone for processing finely ground magnetite", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.30, No.6, pp.4665-4667, 1994
6. B. Thapar, V. Gerex and D.A. Blank, "Substation grounding grid intertied with buried conductors", IEEE Trans. on Power Delievery, Vol.7, No.3, pp.1207-1212, 1992
7. T. Takahashi and T. Kawase, "Calculation of earth resistance for a deep driven rod in a multilayer earth structure", IEEE Trans. on Power Delievery, Vol.6, No.2, pp.608-614, 1991
8. B. Thapar, V. Gerex and V. Singh, "Effective ground resistance of the human effect in high voltage switchyard", IEEE Trans. on Power Delievery, Vol.8, No.1, pp.7-12, 1993

### 저자소개



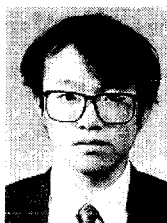
**이우선**

1952년 1월 23일생. 1994년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학교 대학원 전기공학과(공학). 1982년-83년 Univ. of Massachusetts 문교부 과학교수. 1989년-90년 Purdue Univ. 과학재단 파견 포스트 닥터. 1992년 7월-8월 일본 동경공업대학 객원교수. 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수. 당 학회 산업협동 이사. 본 학회 산학협동이사.



**박진성**

1962년 3월 2일생. 1985년 2월 연세대학교 졸업. 1990년 2월 한국과학기술원 재료공학 석사, 박사. 1990년 1월 삼성전자 반도체 선임연구원. 현재 조선대학교 공대 재료공학과 조교수.



**정용호**

1967년 6월 30일생. 1991년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1991년-현재 조선대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 서광전문대 전임강사.