

카본파이버 매트 전극접지 기술

최문구*, 엄주홍**, 김광순*

(주)케이디파워, 기초전력연구원**

Abstract : Recently, due to the onset of the information age, various high-priced, large-size machines have been invented such as intelligent building and high-tech computer operated facilities. Consequently, all kinds of electrical, electronic, and communication equipments and facilities have been found to be vulnerable even to small amounts of electrical shock. Interference between equipments and equipment malfunction occur because of various electromagnetic interferences. Galvanic action by direct current (D.C.) causes gas valve corrosion and other electrical problems such as static electricity and electromagnetic interference (EMI) occur as well. Most of the problems stated above occur because of problems in grounding.

Key-words : 카본파이버, 접지, 임피던스, 서지

1. 서 론

최근 고도 정보화 시대에 맞춰 각종 인텔리전트 빌딩과 첨단 컴퓨터 관련 시설, 고가 대형 기자재 등이 등장하였다. 그에 따라, 각종 전기, 전자, 통신장비 및 설비가 작은 전기적 충격에도 취약성을 드러낸다거나 각종 유도작용(electromagnetic interference)으로 인해 설비 간의 간섭이나 오작동이 발생한다거나 직류 전류의 전식작용으로 인한 가스관 등의 부식 발생이나 정전기 및 전자파 장애와 같은 문제들이 발생하고 있다. 상기한 것들의 대부분은 접지의 문제점으로부터 발생한다.

그러므로 각종 건축물과 설비의 안전성을 위해서는 올바른 접지 기술을 적용해야 한다. 그리고 단순히 접지 동봉 몇 개를 박아 접지선을 연결하기만 하면 된다는 종래의 접지 개념을 불식시켜야 한다. 접지는 대지에 일종의 전기적 터미널을 설치하는 작업으로, 설비 기기에서 대지까지의 전기적 회로를 구성하기 위한 접지선과 접지전극으로 이루어진다. 상기 접지선은 전류의 용량, 접지선과 접지전극의 접속 신뢰성, 내부식성, 주울열 등과 밀접한 관계가 있다. 또한 접지 형태로는 공통 접지(common grounding)와 단독 접지(isolation grounding)가 대표적이다.

한편, 송전 첩탑이나 통신설비인 송수신 기지국은 산악지형이나 대지 저항률이 큰 지역에 위치하는 경우가 많다. 따라서, 그들의 접지 시공에 있어서 원하는 접지저항 값을 얻기 위해서는 많은 비용과 노력이 요구된다.

접지저항 값의 저감을 위해 적용하는 방법들로

는, 접지전극의 규모를 크게 하거나 접지전극의 길이를 증가시키는 방법, 접지 저감제 등 화학 물질을 첨가하는 방법, 보링 공법을 이용하여 심매설 전극을 시공하는 방법 등이 있다.

지반이 암반이며 얇은 표토층을 가지는 지형이 많은 국내의 산악 지형에서는 대형 메쉬 전극(mesh electrode)이나 대규모 철근 콘크리트 기초를 이용한 구조체 접지공법을 적용하고 있다. 그러나 구조체 접지공법은 설비 재료 운반의 어려움이 있으며, 굴곡이 많은 산지의 특성상 설비 시공에 많은 제한이 따른다. 따라서 매설지선을 방사상으로 시공하거나 대지 저항률이 낮은 지역까지 매설지선을 연장하여 접지를 시공하게 된다. 매설지선을 길게 시공하는 접지 공법을 이용하면, 접지저항 값은 낮아진다. 하지만 직격뢰나 유도뢰 등의 낙뢰 또는 그 낙뢰로부터 기인한 서지(surge)에 대해 보호동작을 수행하는 척도인 서지 임피던스 특성은 현저하게 떨어지게 된다. 그리고 높은 서지 전압 상승이 접지에 나타나 설비 기기나 인명의 보호에 효과적이지 못하다.

본 논문에서는 카본파이버의 대지 방전 현상에 따른 과도 임피던스 영향을 검증하기 위해 Bc Wire 와 비교분석 하였다.

첫째, 카본파이버의 인가전류 변화에 따른 시료전극 변화시험, 온도 상승 및 산화시험, AC 인가 시 변화시험, 수중 AC 인가시험, 임펄스(전압 전류) 인가 후 방전 특성 시험, 비접촉 임펄스 실험을 통한 대지사이에 방전 현상 시험을 통해 접지의 물성 특성 및 접지극의 사용 가능 한지를 분석하였다.

둘째, 현장 실험을 통해 카본파이버 전극과 Bc Wire 전극에 가변 주파수에 따른 접지임피던스 크기, 위상변동, 대지방전 전후의 과도 접지 임피던스, 저항 성분과 리액턴스 성분의 특성을 파악하여, 각각의 주파수에 대한 비교, 임펄스 발생기를 이용한 Surge Impedance 측정 통해 서지 응답 특성을 비교 분석하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 임펄스 테스트

임펄스 시험을 하기 위해 Fig. 1. 과 같이 시료 전극을 30 mm × 300 mm, 60 mm × 300 mm, 90mm × 300 mm 으로 나누어 제작한 후 임펄스 전류 발생장치에 연결하였다. 일정 크기의 전압을 인가하여 전류(8/20 μ s)를 시료전극에 흘려 시료 전극의 변화를 관찰하였다.



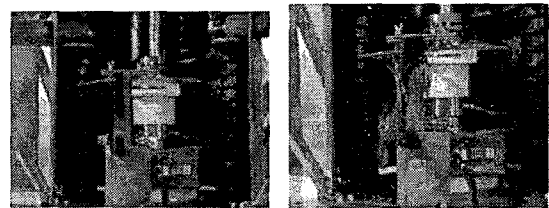
Fig. 1. 시료의 전극 형상과 크기

2.1.1. 시료 1 : 30 mm × 300 mm

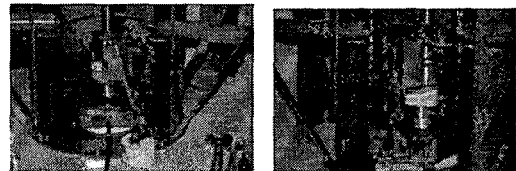
표 1-1 는 30 mm × 300 mm 의 시료전극을 사용하여 임펄스 실험한 결과를 나타낸 것이다. 6.5 kA 의 임펄스 전류 인가 시까지는 시료의 저항이 2.9 Ω 으로 일정하였으나 7.4 kA 의 임펄스 전류 인가 후에 3.4 Ω 으로 증가되어 측정되었다. 이후 15.4 kA 에서도 동일하게 3.4 Ω 으로 측정되었다. 이러한 결과는 7.4kA 의 임펄스 전류 인가 시 충격에 의해 시료의 가장자리가 크게 변형되어 전체적으로 전류가 흐를 수 있는 단면적이 감소하는 효과를 주었기 때문이다. 즉, 임펄스 전류의 크기가 커짐에 따라 시료의 폭이 30mm 로 매우 좁기 때문에 직물이 풀어지듯이 전극의 탄소섬유들이 풀어져서 저항의 증가요인으로 작용한 것이다. 인가전류가 증가할수록 시료전극의 저항값은 약간 증가하였으며, 풀어진 카본섬유들이 영킴에 따라 전류가 불균등하게 흐르게 되어 국부적인 저항증가도 다소 나타나는 것으로 분석되었다.

표 1-1. Carbon fiber. 크기 30 mm × 300 mm 전극에서 8/20 μ s 임펄스 전류 내량 실험 (인가 전 저항 : 3 Ω)

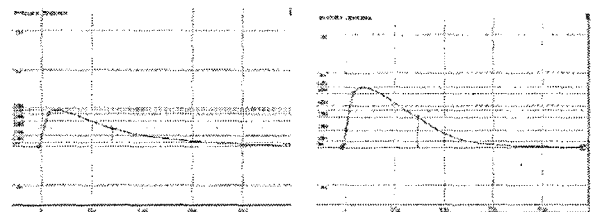
| 인가전압(kV) | 최대전류(kA) | 인가 후 저항(Ω) |
|----------|----------|---------------------|
| 13 | 3.8 | 2.9 |
| 20 | 6.5 | 2.9 |
| 25 | 7.4 | 3.4 |
| 30 | 15.4 | 3.4 |



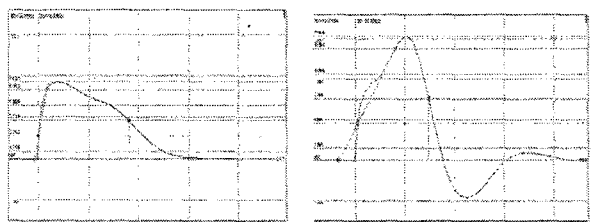
(a) 임펄스전류 인가 전 (b) 임펄스전류 인가 후
Fig. 1-1. 임펄스전류 인가 전 후의 전극 Carbon fiber 변화 (20 kV 인가)



(a) 임펄스전류 인가 전 (b) 임펄스전류 인가 후
Fig. 1-2. 임펄스전류 인가 전 후의 전극 Carbon fiber 변화 (25 kV 인가)



(a) 13 kV (b) 20 kV



(c) 25 kV (d) 30 kV

Fig. 1-3. 방전전류 파형

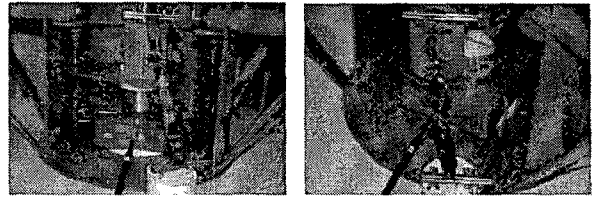
Fig. 1-3. 는 인가전압의 크기에 따른 전류파형 모습이다. 최대 15.4 kA 까지 전류가 인가되어 그에 따른 시료의 형태변화가 크게 나타났으며, 시료의 저항도 형태변화에 따라 다소 변동하고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 전류가 흐르는 동안 시료 전반에 걸친 급격한 온도상승과 풀어져 영킨 섬유들에서 국부적으로 나타나는 저항 변동, 스파크 등이 전체적인 저항에 영향을 주어 25 kV 이상 인가하는 경우에 전류파형이 왜곡되는 원인으로 작용하였다. 따라서 Fig. 1-3. (a), (b)에서처럼 낮은 전압을 인가한 경우에는 8/20 μ s의 파형으로 전류가 측정되었지만 Fig. 1-3. (c), (d)와 같이 높은 전압에서는 전류파형이 왜곡되어 측정되는 것을 확인 할 수가 있다.

2.1.2 전극 Carbon fiber 크기 : 60 mm × 300 mm

60 mm × 300 mm 의 시료 전극을 사용하여 1.1 실험과 동일한 방법으로 실험하였다. 표 1-2 에는 임펄스전류 인가 후의 저항을 나타내었고, Fig. 1-4에는 인가 전-후의 시료전극 변화를 나타내었으며, Fig. 1-5. 에는 그 때의 전류파형을 나타내었다. 시료의 폭이 증가하여 저항은 1.3 Ω 으로 작아졌으며 그에 따라 전극을 통해 흐르는 전류의 크기가 증가하였음을 알 수 있다. 인가전압을 증가시키면서 전극 가장자리에서 발생하는 카본섬유의 풀어짐을 방지하기 위해 시료의 5 cm 정도마다 클립을 사용하여 수평방향으로 고정하였다. 섬유의 풀어짐이 없어짐에 따라 최대 방전전류 약 22.7 kA 까지 저항 증가 없이 전류를 흘려주었으며 Fig. 1-5. 과 같이 전류파형에서의 왜곡현상도 발생하지 않았다.

표 1-2. Carbon fiber 전극 크기 60 mm × 300 mm에서 8/20 μ s 임펄스 전류 내량 실험 (인가 전 저항 : 1.3 Ω)

| 인가전압(kV) | 최대전류(kA) | 인가 후 저항(Ω) |
|----------|----------|---------------------|
| 40 | 22.7 | 1.3 |



(a) 임펄스전류 인가 전 (b) 임펄스전류 인가 후
Fig.1- 4. 임펄스전류 인가 전 후의 전극 Carbon fiber 변화 (40 kV 인가)

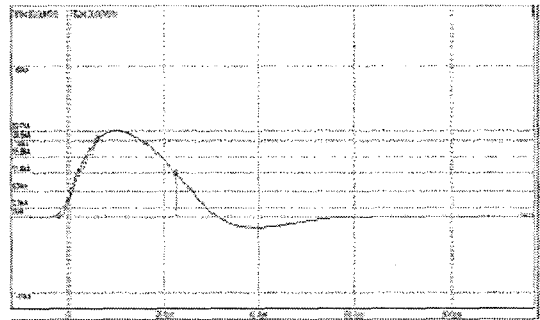


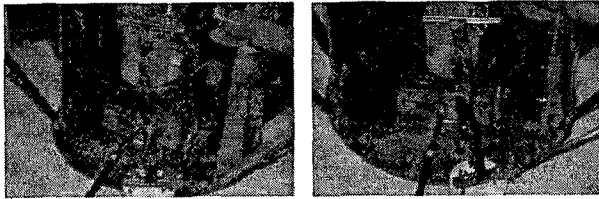
Fig.1- 5. 40 kV 인가 시 방전전류 파형

1.3 전극 Carbon fiber 크기 : 90 mm × 300 mm

시료전극을 90 mm × 300 mm로 제작하여 2.4.1 과 동일한 실험 방법으로 실험한 후 그에 따른 특성을 분석하였다. 시료전극의 변형을 최소화하기 위해 시료전극을 접어서 핀으로 고정하였다. 시료전극의 폭이 증가하여 처음 저항은 낮아졌지만 인가전류가 증가함에 따라 시료전극의 저항 변화는 거의 없어 기존의 특성을 유지하고 있음을 나타낸다. 하지만 임펄스 전류 인가 시 충격에 의해 고정했던 핀이 풀리면서 전극의 형태가 변화하였다. 이러한 현상은 충격과 대전류가 흘러감에 따라 큰 전자기력이 작용하게 되고 순간적인 도체의 진동이 발생되어 일어나는 현상으로 대지에 접지전극으로 시공하였을 경우에는 토양의 압력에 의해 고정되어 큰 영향을 주지는 않는다. Fig. 6. 은 그 때의 임펄스 전류파형을 나타낸다.

표 1-3. Carbon fiber 전극 크기 90 mm × 300 mm 에서 8/20 μ s 임펄스 전류 내량 실험 (인가 전 저항 : 1.1 Ω)

| 인가전압(kV) | 최대전류(kA) | 인가 후 저항(Ω) |
|----------|----------|---------------------|
| 20 | 9.46 | 1.1 |
| 25 | 14.9 | 1.1 |
| 30 | 18.4 | 1.1 |
| 40 | 26.9 | 1.1 |



(a) 임펄스전류 인가 전 (b) 임펄스전류 인가 후
Fig. 5. 임펄스전류 인가 전 후의 전극 Carbon fiber 변화 (20 kV 인가)

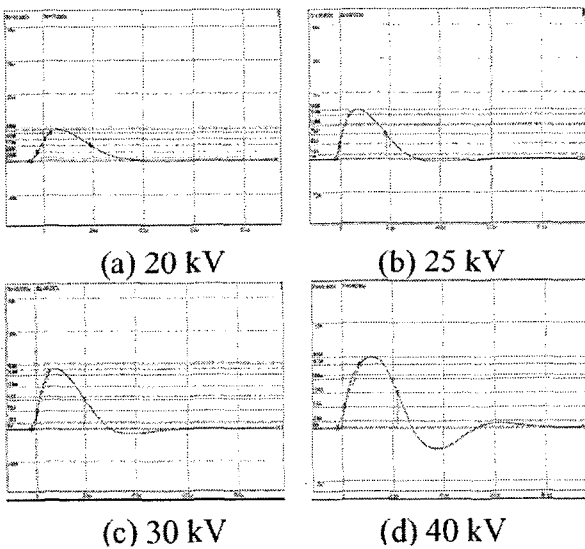


Fig. 6. 방전전류 파형

Fig. 7. 는 90 mm × 300 mm 인 전극 Carbon fiber 에 임펄스전류를 인가 할 때 변화를 비디오 카메라로 찍은 화면을 캡처한 사진이다. 한 화면을 캡처하고 0.2 초 지연 시킨 후에 또 한 장면을 캡처하는 방법으로 총 6 장면을 연속적으로 캡처하였다. 임펄스 전류가 Carbon fiber 전극을 통과하는 동안 온도가 상승하여 밝게 빛나는 현상이 발생되었고, 한동안 지속되다가 임펄스 전류가 거의 빠져나간 뒤에 주위온도로 냉각되어 밝은 부분이 사라지는 특성을 보였다.

시료전극을 전극고정 및 접지도선 인출용 접지 단자를 나타내었다. 1/4 폭으로 2 단접기한 카본

파이버 전극을 매 10 m 또는 20 m 간격으로 접지 단자를 이용하여 단단히 고정시키며, 단자로부터 접지도선을 인출하는 구조로 제작하는 방법이다. 카본파이버의 폭은 250 mm 이며, 접지 단자는 폭 20mm, 두께 8 mm, 길이 300 mm 로 제작하여 카본파이버와 동대를 접속함에 있어서 휘어지거나 고정부가 들뜨지 않도록 충분한 강도를 가지도록 제작하였다.

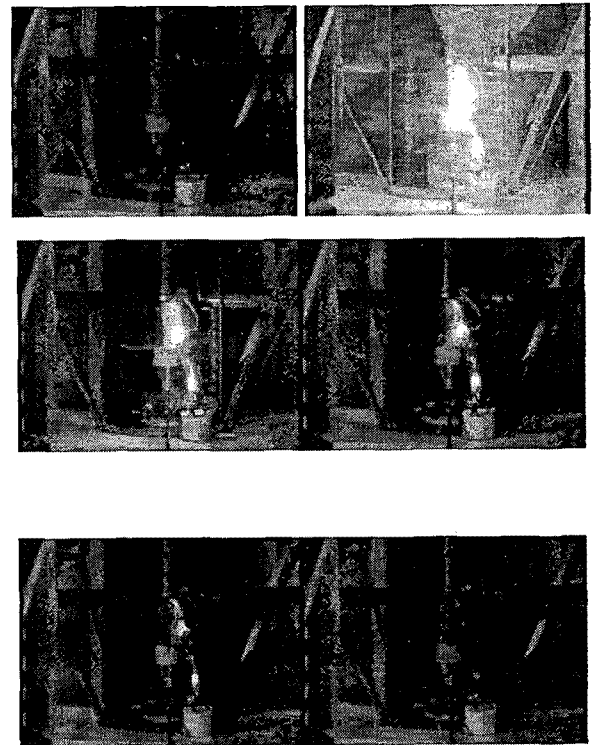


Fig. 7. 임펄스전류 인가 시 연속사진

2.2 비접촉 임펄스 시험

Carbon fiber 전극 가장자리 부분과 대지 사이에 방전이 일어날 때 전극 형상의 변화 상태를 확인하기 위해서 전극간격을 2 cm 로 유지한 상태로 임펄스 인가 시험을 하였다. 비접촉 임펄스 시험은 전압과 전류의 크기에 따라 다른 양상을 보일 수 있어서 임펄스 전압발생기(IVG)를 이용한 전압 시험과 임펄스 전류발생기(ICG)를 이용한 전류 시험을 병행하여 수행하였다.

2.2.1 임펄스 전압시험

800kV 까지 인가할 수 있는 임펄스 전압발생기 (IVG)를 이용하여 전압에 따른 Carbon fiber 의 전극 변화 특성 실험계를 Fig. 2.1.에 나타내

었다.

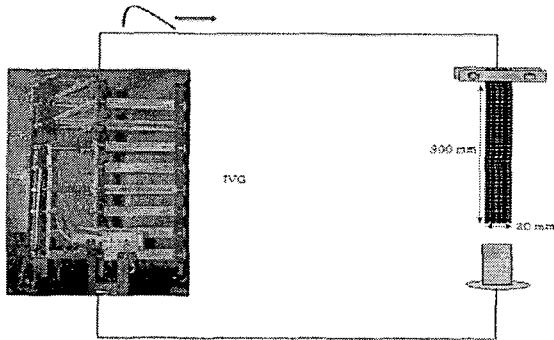


Fig. 2 . IVG 를 이용한 실험계

인가전압은 뇌서지 표준파형으로 1.2/50 μ s이며, 충전전압을 조절하여 200 kV, 400 kV, 600 kV 의 전압으로 Carbon fiber 전극에 인가하였다. 인가전압이 200 kV 일 때 Carbon fiber 전극과 접지전극 사이에 불꽃 방전이 관찰되었으며 방전 후 시료전극의 외형에는 큰 변화가 없었다. 방전전류가 1.3 kA 로 상대적으로 적은 전류가 흘렀으며, 측정된 양단의 전압은 99 kV 이었다. 400 kV 인가 시에도 Carbon fiber 전극의 외형에는 큰 변화가 없었으며, 600 kV 를 인가하였을 때 시료전극의 끝부분이 방전전류에 의해 미세 섬유소들이 약간 풀리는 현상이 나타났을 뿐 방전에 의한 소손이나 파괴 등의 전극 변화는 나타나지 않았다. Fig. 2-1. 은 전압 임펄스 인가 시험시의 Carbon fiber 전극 사진과 전압 인가 후의 전극 사진이다. Fig. 2-2.는 전압이 인가되었을 때 측정된 전압파형과 그 때 흐른 방전전류 파형이다.

2.2.2 임펄스 전류시험

임펄스 전류발생기(ICG)를 이용하여 전류의 크기 별로 Carbon fiber 전극에 인가하는 시험을 하였다. 인가된 임펄스 전류(8/20 μ s)는 7 kA, 15 kA, 28 kA 이며 각각의 전류에 대해서 Carbon fiber 전극의 형상변화를 관찰하였다. Fig. 2-3 은 ICG 를 이용한 전류시험의 실험계와 전극 사진을 나타내고 있다. 2.1 의 전압시험보다 인가되는 전압이 작기 때문에 전극간 간격을 더 줄여서 실험을 하였다.



(a) 인가 전 (b) 인가 후

Fig. 2-1. 임펄스 전압시험에서의 'Carbon fiber' 전극

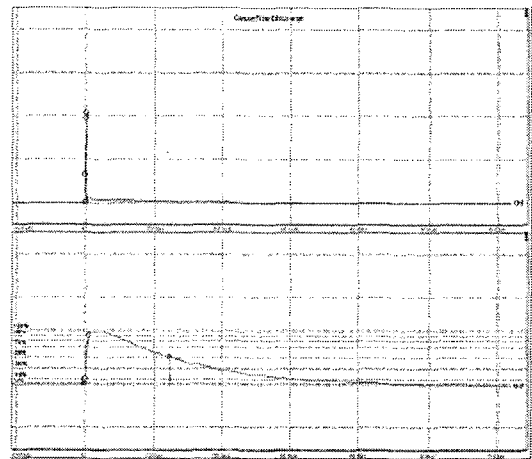
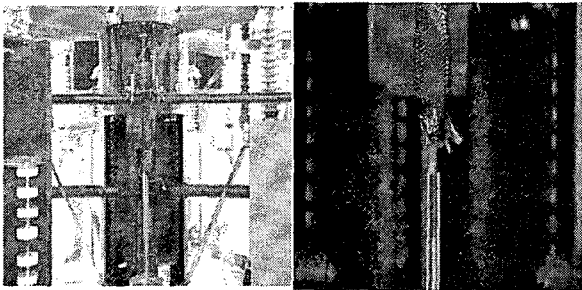


Fig. 2-2. 인가전압과 방전전류 파형(400 kV)

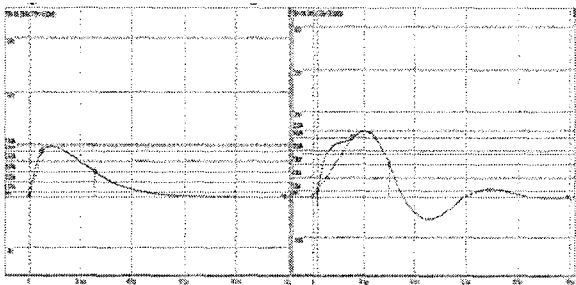
시험 결과 인가전압이 증가하여 시료전극과 접지 전극간의 방전전류가 증가함에 따라 Carbon fiber 전극의 외형이 크게 변형됨을 확인하였다. 인가 전에 큰 변형이 없었던 시료전극이 작은 전류에서는 시료 가장자리에만 조금 풀리더니 약 28 kA 의 전류가 흘렀을 때에는 충격에 의해 시료전극의 섬유가 상당부분 풀려 형태가 변형되는 모습을 Fig. 2-4에서 확인할 수 있다. Fig. 2-5 는 각각의 방전전류 파형을 보여주고 있다.

Carbon fiber 전극은 임펄스 전압이 인가되었을 때 외형의 큰 변화가 없었지만 임펄스 전류가 인가 되었을 때 전극의 형상이 보다 크게 변화되었다. 따라서 전류에 의한 외형변화를 고려하여 접지전극으로 포설할 경우 Carbon fiber 는 가장자리를 접어서 포설하는 방법으로 전류에 의한 전극의 외형변화를 최소화하는 방법을 선택해야 한다. 하지만 이러한 변형은 큰 충격과 전류에 의해 전극이 진동하거나 크게 움직이면서 발생하는 것이며, 방전에 의해 말단부가 연소되거나 소손되지는 않았다. 따라서 접지전극으로 활용할 경

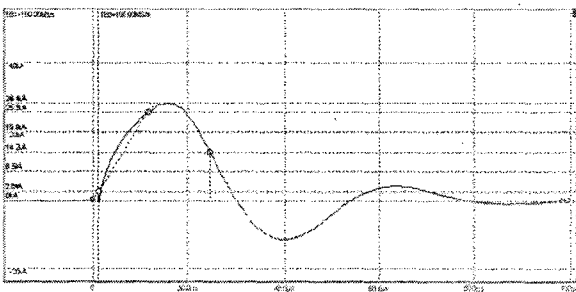
우 지중방전이 발생하더라도 전극에서 편칭이나 소손의 우려는 거의 없으며, 충격에 의한 진동은 전극이 토양의 압력에 의해 고정되어 있으므로 형태변형이 크게 발생하지는 않는다.



실험계 (a) 7 kA (b) 15 kA (c) 28 kA
Fig. 2-3. ICG 실험계 Fig. 2-4. ICG 를 이용한 전류 시험



(a) 7 kA (b) 15 kA



(c) 28 kA

Fig. 2-5. 방전전류 파형

2.3 카본파이버 전극의 현장시험

2.3.1 전극 제작과 포설

펄스 전류 시험을 통하여 Carbon fiber 전극은 방전전류가 커짐에 따라 충격에 의해 전극의 말단부부의 외형이 어느 정도 변형된다는 것이 확인되었다. 이를 방지하기 위하여 Carbon fiber 전극을 접지극으로 포설할 경우 일반 다른 접지 전

극과는 달리 Carbon fiber 전극만의 제작방법이 필요하다. Carbon fiber 전극은 인하도선이나 다른 전극에 연결 할 경우 부스바를 사용하여 인하도선에서 Carbon fiber 전극으로 효과적으로 뇌격 전류가 흐르도록 접지단자가 필요하다. 또한 전극을 2-3 단으로 접어서 흡과 접촉하는 부분에 Carbon fiber 전극의 재단부 말단이 노출되지 않도록 하여 큰 전류에 의한 말단의 외형변화 또는 울퉁퉁 현상을 최소화하고자 하였다. Fig. 3-1 은 Carbon fiber 전극을 토중에 시공하는 경우 1/4 폭으로 2 단을 접는 공법을 사용하게 되면 재단부 말단이 토중에 노출되지 않아 큰 임펄스 접지전류가 흐르더라도 안정적으로 외형을 유지할 것으로 예상된다.

2.3.2 접지 전극의 접지 임피던스 및 서지 임피던스 비교 실험

2.3.2.1 실험계의 구성

Fig. 3.에는 카본파이버 전극에 접지단자를 접속하고 접지저항 보강용 동대를 하단부에 접속한 시공방법의 예를, 그림 6 에는 전극고정 및 접지도선 인출용 접지단자를 나타내었다. 1/4 폭으로 2 단 접지한 카본파이버 전극을 매 10 m 또는 20 m 간격으로 접지단자를 이용하여 단단히 고정시키며, 단자로부터 접지도선을 인출하는 구조로 제작하는 방법이다. 카본파이버의 폭은 250 mm 이며, 접지 단자는 폭 20 mm, 두께 8 mm, 길이 300 mm 로 제작하여 카본파이버와 동대를 접속함에 있어서 휘어지거나 고정부가 들뜨지 않도록 충분한 강도를 가지도록 제작하였다.

대상 실험 전극을 그림 7 과 같이 시공하고 전위강하법을 이용한 접지 임피던스 측정회로를 그림 8 에 나타내었다. 측정전류는 수 kHz 에서 수 백 kHz 까지 주파수를 가변시키면서 접지 임피던스 분석시스템을 사용하였다. 동일조건인 접지 전극을 시공한 뒤 측정된 결과 카본파이버 접지 전극은 3.65 Ω , 나동연선을 사용한 매설지선은 4.95Ω 의 접지 저항이 나타났다. 주파수에 따른 접지 임피던스 측정에는 300 kHz 까지의 구형파를 발생시키는 가변주파수 인버터를 이용하였으며, 측정프로그램 은 주파수가 변화하는 동안 연속적으로 전압과 전류를 측정한다. 동시에 FFT 와 디지털필터를 이용한 전압 및 전류 파형, 그

리고 임피던스 값과 저항성분, 리액턴스성분을 동시에 모니터에 출력 해주도록 구성하였다. 측정프로그램은 Visual Studio 를 이용하여 프로그래밍 한 전용 분석 프로그램을 사용하였다. 임펄스 전류를 위한 임펄스 발생기는 KeyTek 의 장비를 사용하였으며, 차동프로브와 로고스키코일로 전압과 전류를 측정하였다. 측정보드는 NI 사의 10 MS/s, 14Bit 의 PCI 6115 보드를 사용하였으며, 측정 및 분석 프로그램은 LabVIEW 를 이용하여 제작하였다. 고주파 노이즈를 줄이기 위해서 디지털 필터를 사용하였으며, 측정된 전압과 전류를 이용하여 계산된 서지 임피던스를 출력하도록 하였다.

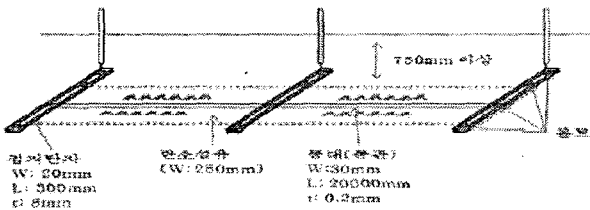
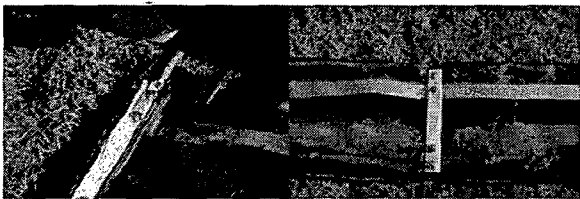


Fig. 3 . 카본파이버 시공방법



(a) 가장자리 (b) 중간부분

Fig. 3-1. 카본파이버 전극과 부스바 연결

주파수에 따른 접지임피던스 측정에는 300 kHz 까지의 구형파를 발생시키는 가변주파수 인버터를 이용하였으며, 측정프로그램은 주파수가 변화하는 동안 연속적으로 전압과 전류를 측정한다. 동시에 FFT 와 디지털필터를 이용한 전압 및 전류 파형, 그리고 임피던스 값과 저항성분, 리액턴스 성분을 동시에 모니터에 출력해주도록 구성하였다. 측정프로그램은 Visual Studio 를 이용하여 프로그래밍한 전용 분석 프로그램을 사용하였다. 임펄스 전류를 위한 임펄스발생기는 KeyTek 의 장비를 사용하였으며, 차동프로브와 로고스키 코일로 전압과 전류를 측정하였다. 측정보드는 NI 사의 10 MS/s, 14Bit 의 PCI 6115

보드를 사용하였으며, 측정 및 분석 프로그램은 Lab-VIEW 를 이용하여 제작하였다. 고주파 노이즈를 줄이기 위해서 디지털 필터를 사용하였으며, 측정된 전압과 전류를 이용하여 계산된 서지 임피던스를 출력하도록 하였다.

2.3.2.2 매설지선 전극과 카본파이버 전극의 주파수에 대한 접지 임피던스 비교

표 1 에 시험전류의 주파수 변화에 따른 카본파이버 접지전극과 나동연선 접지전극의 임피던스의 변화를 비교하여 나타내었다. 두 전극의 접지저항을 비교하면 카본파이버 접지 전극이 3.65 Ω 으로 나동연선 접지전극의 4.95 Ω 보다 73.7 % 수준으로 낮게 나타났다. 높은 주파수 영역에서 접지 임피던스를 비교해 보면 200 kHz 에서 전류인가 위치에 따라 전극의 중간지점일 때 4.36 Ω , 한 쪽 끝지점 일 때 7.42 Ω 으로 나동연선 접지전극의 6.28 Ω , 12.04 Ω 보다 각각 69.4 % , 61.6 % 수준으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

리액턴스 성분이 200 kHz 에서는 나동연선 접지 저항보다 66.9 % , 64.2 % 수준으로 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

표 3. 접지 전극의 과도특성 비교

| 항목 | 접지저항 [Ω] | 전류인가 | Frequency [kHz] | Z [Ω] | θ [°] | R [Ω] | X [Ω] |
|---------------|----------|--------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 카본파이버 접지전극 | 3.65 | center | 10 | 3.34 | 1.56 | 3.34 | 0.09 |
| | | | 30 | 3.33 | 6.49 | 3.31 | 0.37 |
| | | | 50 | 3.31 | 12.12 | 3.24 | 0.69 |
| | | | 100 | 3.57 | 26.27 | 3.21 | 1.58 |
| | | | 200 | 4.36 | 43.84 | 3.15 | 3.01 |
| | | side | 10 | 3.57 | 8.29 | 3.53 | 0.51 |
| | | | 30 | 4.16 | 23.18 | 3.82 | 1.63 |
| | | | 50 | 4.86 | 27.22 | 4.32 | 2.22 |
| | | | 100 | 6.37 | 31.07 | 5.46 | 3.29 |
| | | | 200 | 7.42 | 37.21 | 5.91 | 4.49 |
| 나동연선 접지전극 | 4.95 | center | 10 | 4.83 | 0.63 | 4.83 | 0.05 |
| | | | 30 | 4.74 | 5.22 | 4.72 | 0.43 |
| | | | 50 | 4.66 | 10.75 | 4.58 | 0.87 |
| | | | 100 | 5.02 | 26.02 | 4.52 | 2.20 |
| | | | 200 | 6.28 | 48.34 | 4.38 | 4.50 |
| | | side | 10 | 4.92 | 6.00 | 4.89 | 0.51 |
| | | | 30 | 5.45 | 21.74 | 5.06 | 2.02 |
| | | | 50 | 6.38 | 30.68 | 5.49 | 3.26 |
| | | | 100 | 9.33 | 35.79 | 7.57 | 5.45 |
| | | | 200 | 12.04 | 35.51 | 9.80 | 6.99 |

2.3.2.3 매설지선 접지 전극과 카본파이버 접지전극의 서지 임피던스 비교

표 3-2 에 카본파이버 접지전극과 나동연선 접

지전극의 서지임피던스를 나타내었다. 카본 파이버 접지전극일 때 전압 최대값과 전류 최대값의 비로 정의된 Z1의 평균은 약 4.68 Ω 으로 나타났다. 전압 최대값과 이 때의 전류값의 비인 Z2의 평균은 약 6.39 Ω , 전류 최대값일 때의 전압값과 전류 값의 비인 Z3의 평균은 약 3.8 Ω 으로 나타났다.

임펄스 신호에 따른 서지 임피던스를 앞서 측정한 가변주파수 전류에 의한 접지 임피던스와 비교 분석하기 위하여 IEC 62305-4 에서 뇌격전류 파형에 의해 발생하는 자장파형의 등가주파수 적용사례를 인용하여 접근하였다. 서로 다른 두 방법으로 구한 접지 임피던스는 임펄스 전류의 주파수성분을 찾아서 가변주파수법을 이용하여 측정한 접지 임피던스와 비교를 할 수 있다. 예를 들어 측정된 임펄스 전류의 상승시간이 8 μs 이면 한 주기는 32 [μs]라고 가정할 수 있다. 이때 주파수는 주기의 역수 값을 통해 얻을 수 있으며 그 값은 약 30 [kHz]이다. 이 주파수를 등가주파수로 가정하고 가변주파수를 이용하여 측정한 접지임피던스로 부터 주파수가 30 kHz 일 때의 임피던스 값을 찾아 임펄스 전류에 의하여 구해진 접지 임피던스 값과 비교하였다.

표 3-1. 접지전극에 따른 서지 임피던스의 비교

| | R | Z* | Z1 | Z2 | Z3 |
|---------------|------|------|------|------|------|
| 카본파이버 접지전극 | 3.65 | 4.16 | 4.69 | 6.13 | 3.87 |
| | | | 4.72 | 7.04 | 3.79 |
| | | | 4.65 | 6.82 | 3.79 |
| | | | 4.66 | 6.03 | 3.94 |
| | | | 4.63 | 6.08 | 3.81 |
| | | | 4.76 | 6.25 | 3.62 |
| 나동연선접 지전극 | 4.95 | 5.45 | 6.43 | 9.45 | 5.57 |
| | | | 6.43 | 9.07 | 5.52 |
| | | | 6.43 | 9.21 | 5.47 |
| | | | 6.51 | 9.16 | 5.42 |
| | | | 6.39 | 9.00 | 5.59 |
| | | | 6.38 | 8.21 | 5.42 |

※ Z* : 가변주파수 전류에 의한 접지 임피던스

3. 결론

대지저항률이 매우 큰 산악지역 또는 지하암반과 소량의 지표토가 산재하는 지형에서 피뢰용접지전극으로 기존의 매설지선에서 나타나는 서지 임피던스 특성을 향상시키면서 시공의 편의성을 극대화시킨 카본파이버 매트접지전극 시공기

술을 개발을 위한 실증시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

기존의 동도체 위주의 접지전극에 대하여 카본 파이버 소재의 접지전극 대응을 위해 전기적 특성시험을 한 결과 상용주파 전류에 대하여 접지전극으로 사용할 수 있을 정도로 충분한 전류용량 특성을 얻었으며, 임펄스 응답특성에 있어서도 길이 30 cm, 폭 3 cm 규모의 전극이 6.5 kA 에서 안정적으로 방전전류를 통과시키는 것을 확인 하였으며, 폭을 증가시킴에 따라 전류용량이 증가하며, 적절한 전극형상 성형을 통해 접지전극으로서의 특성을 충분히 발휘할 수 있음을 실험을 통하여 입증하였다.

실규모 접지전극을 대지에 시공하여 가변 주파수에 의한 접지 임피던스, 임펄스 전류파형에 의한 서지 임피던스 특성을 측정하고 분석하였으며, 대상전극으로 100 mm² 의 매설지선과 그 특성을 비교하였다. 실험결과 카본파이버 접지전극의 경우 접지저항과 접지임 피던스, 서지 임피던스 모두 에서 매설지선에 비하여 향상된 특성을 나타내었으며, 특히, 서지 임피던스의 저감에 있어서 상당히 효과가 있는 것으로 분석되었다.

카본파이버 매트전극의 주목할 점은 부직포 형태로 대지와 접촉이 매우 좋고 유연성이 뛰어나 산악지형, 암반지형 등 접지시공에 있어서 매우 열악한 환경에서 큰 효과를 발휘할 것으로 기대되며, 카본파이버 소재의 저항율을 보다 낮게 제조할 경우 매우 뛰어난 접지전극재료로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, 1989.
- [2] 이복희, 이승철, 정보통신설비의 뇌(雷)보호, 인하대학교 출판부, 2004.
- [3] UL 1449, Transient Voltage Surge Suppressor, 2002.
- [4] IEC61643-1, Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Performance requirements and testing methods, 2002.

- [5] IEEE Std. C62.41.2, IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage(1000V and Less) AC Power Circuits, 2002.
- [6] IEC 61643-21, Low voltage surge protective devices, Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks- Performance requirements and testing methods, 2000.
- [7] 高橋健彦, 接地等電位ボンディング設計の實務知識, Ohmsha, 2003.
- [8] N. Fujimoto, E. P. Dick, S. A. Boggs and G. L. Ford, "Transient Ground Potential Rise in Gas-Insulated Substations-Experimental Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-101, No.10, pp.3603~3609.
- [9] S. Karaki, *et al*, "Transient Impedance of GIS Grounding Grid", IEEE Trans., Vol.PD-10, No.2, pp.723~738, 1995.
- [10] T. Takahashi, "A Part of Grounding for Lightning Protection Technique", J. of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, Vol.9, pp.671~676, 1989.9.
- [11] J. H. Bogensperger, J. Frei and S. Pack, "Resistance of Grounding Systems Stationary and Transient Behavior", Proc. 9th International Symposium on High Voltage Engineering, pp.6715-1~4, 1995.9.
- [12] R. Kosztaluk, M. Loboda, D. Mukhedkar, "Experimental Study of Transient Ground Impedances", IEEE Trans. PAS, Vol.100, No.11, pp.4653~4660, 1981.
- [13] C. Mazzetti, G. M. Veca, "Impulse Behavior of Ground Electrodes", IEEE Trans. PAS, Vol.102, No.9, pp.3148~3156, 1983.
- [14] E. E. Oettle, "A New General Estimation Curve for Predicting the Impulse Impedance of Concentrated Earth Electrodes", IEEE Trans. PD, Vol.3, No.4, pp.2020~2029, 1988.