

## 전차 선로용 DC 피뢰기 설계 기술

한 세원, 조한구  
한국전기연구원 신소재응용연구그룹

### The Design Technology of DC Arrestor for Track Line

Han, Se Won, Cho, Han Goo  
Advanced Electrical Materials Group, KERI

**Abstract** - 전차 선로용으로 적용되는 직류 피뢰기의 설계 기술을 소개하였다. 현재 국내에 사용되는 전차 선로 서지 보호용 직류 피뢰기는 전량 수입에 의존하고 있다. 안전한 피뢰기를 설계하기 위해서 적용 구간의 임펄스 서지 환경을 파악하고 이에 맞는 적절한 내량의 피뢰기를 설계하는 것이 요구된다. 특히 직류 구간의 경우 과도 서지 발생의 형태가 기존 계통 환경과 다르기 때문에 피뢰기 보호범위와 정격의 설정에 주의가 요구된다.

## 1. 서 론

피뢰기를 설계하기 위해서는 적절한 정격 설정과 에너지 내량을 확보하는 것이 요구된다. 현재 전차 선로용 직류 피뢰기는 안정성과 내열화성을 갖도록 몇 가지 설계적 요인을 포함하고 있다. 기존 교류용 피뢰기보다 열화 에너지가 크기 때문에 이에 견딜 수 있는 ZnO 바리스터 소자의 제작이 필요하고 상시 과전에 의한 열화를 줄이는 방안으로 직렬 공극(GAP)을 갖도록 설계되어 있다. 따라서 제한전압 특성이나 서지 에너지 흡수 특성에서 공극을 고려한 설계기술이 필요하다. 본 연구에서는 전차 선로의 서지 환경을 검토하고 적절한 제한전압 특성 및 서지 내량을 설계하였다. 한편 공극의 역할과 ZnO 소자와의 서지 흡수 특성을 설계하는 방법 등을 고찰하였다.

## 2. 본 론

### 2-1. 서지 환경

현재 국내에 사용되는 전차 선로 서지 보호용 직류 피뢰기는 전량 수입에 의존하고 있다. 정격의 설정이나 서지 환경에 관해서는 주로 우리와 비슷한 일본의 전차 선로 환경 조건에 준하여 결정되어 있다. 현재 전차 선로 보호용 직류 피뢰기의 일반적인 서지 전압 특성은 표 1과 같다.

표 1. 직류 피뢰기의 일반적인 서지 특성

피뢰기 특성		내량(%)
정격 전압 (제품 단자 전압)	1.3kV 1.5kV 기준	
임파스 반전 계수 관계	5.5kV 이하 1.5kV 이하 14.5kV 이하 35.5kV 이하 70.5kV 이하 기준	
저주 번역 서지 전압	5.5kV 이하 1.5kV 이하 14.5kV 이하 35.5kV 이하 70.5kV 이하 기준	
제한 전압	1.0kV~1.2kV 1.5kV~1.8kV 2.0kV~2.2kV 2.5kV~2.8kV 3.0kV~3.2kV 3.5kV~3.8kV 4.0kV~4.2kV 4.5kV~4.8kV 5.0kV~5.2kV 5.5kV~5.8kV 6.0kV~6.2kV 6.5kV~6.8kV 7.0kV~7.2kV 7.5kV~7.8kV 8.0kV~8.2kV 8.5kV~8.8kV 9.0kV~9.2kV 9.5kV~9.8kV 10.0kV~10.2kV 10.5kV~10.8kV 11.0kV~11.2kV 11.5kV~11.8kV 12.0kV~12.2kV 12.5kV~12.8kV 13.0kV~13.2kV 13.5kV~13.8kV 14.0kV~14.2kV 14.5kV~14.8kV 15.0kV~15.2kV 15.5kV~15.8kV 16.0kV~16.2kV 16.5kV~16.8kV 17.0kV~17.2kV 17.5kV~17.8kV 18.0kV~18.2kV 18.5kV~18.8kV 19.0kV~19.2kV 19.5kV~19.8kV 20.0kV~20.2kV 20.5kV~20.8kV 21.0kV~21.2kV 21.5kV~21.8kV 22.0kV~22.2kV 22.5kV~22.8kV 23.0kV~23.2kV 23.5kV~23.8kV 24.0kV~24.2kV 24.5kV~24.8kV 25.0kV~25.2kV 25.5kV~25.8kV 26.0kV~26.2kV 26.5kV~26.8kV 27.0kV~27.2kV 27.5kV~27.8kV 28.0kV~28.2kV 28.5kV~28.8kV 29.0kV~29.2kV 29.5kV~29.8kV 30.0kV~30.2kV 30.5kV~30.8kV 31.0kV~31.2kV 31.5kV~31.8kV 32.0kV~32.2kV 32.5kV~32.8kV 33.0kV~33.2kV 33.5kV~33.8kV 34.0kV~34.2kV 34.5kV~34.8kV 35.0kV~35.2kV 35.5kV~35.8kV 36.0kV~36.2kV 36.5kV~36.8kV 37.0kV~37.2kV 37.5kV~37.8kV 38.0kV~38.2kV 38.5kV~38.8kV 39.0kV~39.2kV 39.5kV~39.8kV 40.0kV~40.2kV 40.5kV~40.8kV 41.0kV~41.2kV 41.5kV~41.8kV 42.0kV~42.2kV 42.5kV~42.8kV 43.0kV~43.2kV 43.5kV~43.8kV 44.0kV~44.2kV 44.5kV~44.8kV 45.0kV~45.2kV 45.5kV~45.8kV 46.0kV~46.2kV 46.5kV~46.8kV 47.0kV~47.2kV 47.5kV~47.8kV 48.0kV~48.2kV 48.5kV~48.8kV 49.0kV~49.2kV 49.5kV~49.8kV 50.0kV~50.2kV 50.5kV~50.8kV 51.0kV~51.2kV 51.5kV~51.8kV 52.0kV~52.2kV 52.5kV~52.8kV 53.0kV~53.2kV 53.5kV~53.8kV 54.0kV~54.2kV 54.5kV~54.8kV 55.0kV~55.2kV 55.5kV~55.8kV 56.0kV~56.2kV 56.5kV~56.8kV 57.0kV~57.2kV 57.5kV~57.8kV 58.0kV~58.2kV 58.5kV~58.8kV 59.0kV~59.2kV 59.5kV~59.8kV 60.0kV~60.2kV 60.5kV~60.8kV 61.0kV~61.2kV 61.5kV~61.8kV 62.0kV~62.2kV 62.5kV~62.8kV 63.0kV~63.2kV 63.5kV~63.8kV 64.0kV~64.2kV 64.5kV~64.8kV 65.0kV~65.2kV 65.5kV~65.8kV 66.0kV~66.2kV 66.5kV~66.8kV 67.0kV~67.2kV 67.5kV~67.8kV 68.0kV~68.2kV 68.5kV~68.8kV 69.0kV~69.2kV 69.5kV~69.8kV 70.0kV~70.2kV 70.5kV~70.8kV 71.0kV~71.2kV 71.5kV~71.8kV 72.0kV~72.2kV 72.5kV~72.8kV 73.0kV~73.2kV 73.5kV~73.8kV 74.0kV~74.2kV 74.5kV~74.8kV 75.0kV~75.2kV 75.5kV~75.8kV 76.0kV~76.2kV 76.5kV~76.8kV 77.0kV~77.2kV 77.5kV~77.8kV 78.0kV~78.2kV 78.5kV~78.8kV 79.0kV~79.2kV 79.5kV~79.8kV 80.0kV~80.2kV 80.5kV~80.8kV 81.0kV~81.2kV 81.5kV~81.8kV 82.0kV~82.2kV 82.5kV~82.8kV 83.0kV~83.2kV 83.5kV~83.8kV 84.0kV~84.2kV 84.5kV~84.8kV 85.0kV~85.2kV 85.5kV~85.8kV 86.0kV~86.2kV 86.5kV~86.8kV 87.0kV~87.2kV 87.5kV~87.8kV 88.0kV~88.2kV 88.5kV~88.8kV 89.0kV~89.2kV 89.5kV~89.8kV 90.0kV~90.2kV 90.5kV~90.8kV 91.0kV~91.2kV 91.5kV~91.8kV 92.0kV~92.2kV 92.5kV~92.8kV 93.0kV~93.2kV 93.5kV~93.8kV 94.0kV~94.2kV 94.5kV~94.8kV 95.0kV~95.2kV 95.5kV~95.8kV 96.0kV~96.2kV 96.5kV~96.8kV 97.0kV~97.2kV 97.5kV~97.8kV 98.0kV~98.2kV 98.5kV~98.8kV 99.0kV~99.2kV 99.5kV~99.8kV 100.0kV~100.2kV 100.5kV~100.8kV 101.0kV~101.2kV 101.5kV~101.8kV 102.0kV~102.2kV 102.5kV~102.8kV 103.0kV~103.2kV 103.5kV~103.8kV 104.0kV~104.2kV 104.5kV~104.8kV 105.0kV~105.2kV 105.5kV~105.8kV 106.0kV~106.2kV 106.5kV~106.8kV 107.0kV~107.2kV 107.5kV~107.8kV 108.0kV~108.2kV 108.5kV~108.8kV 109.0kV~109.2kV 109.5kV~109.8kV 110.0kV~110.2kV 110.5kV~110.8kV 111.0kV~111.2kV 111.5kV~111.8kV 112.0kV~112.2kV 112.5kV~112.8kV 113.0kV~113.2kV 113.5kV~113.8kV 114.0kV~114.2kV 114.5kV~114.8kV 115.0kV~115.2kV 115.5kV~115.8kV 116.0kV~116.2kV 116.5kV~116.8kV 117.0kV~117.2kV 117.5kV~117.8kV 118.0kV~118.2kV 118.5kV~118.8kV 119.0kV~119.2kV 119.5kV~119.8kV 120.0kV~120.2kV 120.5kV~120.8kV 121.0kV~121.2kV 121.5kV~121.8kV 122.0kV~122.2kV 122.5kV~122.8kV 123.0kV~123.2kV 123.5kV~123.8kV 124.0kV~124.2kV 124.5kV~124.8kV 125.0kV~125.2kV 125.5kV~125.8kV 126.0kV~126.2kV 126.5kV~126.8kV 127.0kV~127.2kV 127.5kV~127.8kV 128.0kV~128.2kV 128.5kV~128.8kV 129.0kV~129.2kV 129.5kV~129.8kV 130.0kV~130.2kV 130.5kV~130.8kV 131.0kV~131.2kV 131.5kV~131.8kV 132.0kV~132.2kV 132.5kV~132.8kV 133.0kV~133.2kV 133.5kV~133.8kV 134.0kV~134.2kV 134.5kV~134.8kV 135.0kV~135.2kV 135.5kV~135.8kV 136.0kV~136.2kV 136.5kV~136.8kV 137.0kV~137.2kV 137.5kV~137.8kV 138.0kV~138.2kV 138.5kV~138.8kV 139.0kV~139.2kV 139.5kV~139.8kV 140.0kV~140.2kV 140.5kV~140.8kV 141.0kV~141.2kV 141.5kV~141.8kV 142.0kV~142.2kV 142.5kV~142.8kV 143.0kV~143.2kV 143.5kV~143.8kV 144.0kV~144.2kV 144.5kV~144.8kV 145.0kV~145.2kV 145.5kV~145.8kV 146.0kV~146.2kV 146.5kV~146.8kV 147.0kV~147.2kV 147.5kV~147.8kV 148.0kV~148.2kV 148.5kV~148.8kV 149.0kV~149.2kV 149.5kV~149.8kV 150.0kV~150.2kV 150.5kV~150.8kV 151.0kV~151.2kV 151.5kV~151.8kV 152.0kV~152.2kV 152.5kV~152.8kV 153.0kV~153.2kV 153.5kV~153.8kV 154.0kV~154.2kV 154.5kV~154.8kV 155.0kV~155.2kV 155.5kV~155.8kV 156.0kV~156.2kV 156.5kV~156.8kV 157.0kV~157.2kV 157.5kV~157.8kV 158.0kV~158.2kV 158.5kV~158.8kV 159.0kV~159.2kV 159.5kV~159.8kV 160.0kV~160.2kV 160.5kV~160.8kV 161.0kV~161.2kV 161.5kV~161.8kV 162.0kV~162.2kV 162.5kV~162.8kV 163.0kV~163.2kV 163.5kV~163.8kV 164.0kV~164.2kV 164.5kV~164.8kV 165.0kV~165.2kV 165.5kV~165.8kV 166.0kV~166.2kV 166.5kV~166.8kV 167.0kV~167.2kV 167.5kV~167.8kV 168.0kV~168.2kV 168.5kV~168.8kV 169.0kV~169.2kV 169.5kV~169.8kV 170.0kV~170.2kV 170.5kV~170.8kV 171.0kV~171.2kV 171.5kV~171.8kV 172.0kV~172.2kV 172.5kV~172.8kV 173.0kV~173.2kV 173.5kV~173.8kV 174.0kV~174.2kV 174.5kV~174.8kV 175.0kV~175.2kV 175.5kV~175.8kV 176.0kV~176.2kV 176.5kV~176.8kV 177.0kV~177.2kV 177.5kV~177.8kV 178.0kV~178.2kV 178.5kV~178.8kV 179.0kV~179.2kV 179.5kV~179.8kV 180.0kV~180.2kV 180.5kV~180.8kV 181.0kV~181.2kV 181.5kV~181.8kV 182.0kV~182.2kV 182.5kV~182.8kV 183.0kV~183.2kV 183.5kV~183.8kV 184.0kV~184.2kV 184.5kV~184.8kV 185.0kV~185.2kV 185.5kV~185.8kV 186.0kV~186.2kV 186.5kV~186.8kV 187.0kV~187.2kV 187.5kV~187.8kV 188.0kV~188.2kV 188.5kV~188.8kV 189.0kV~189.2kV 189.5kV~189.8kV 190.0kV~190.2kV 190.5kV~190.8kV 191.0kV~191.2kV 191.5kV~191.8kV 192.0kV~192.2kV 192.5kV~192.8kV 193.0kV~193.2kV 193.5kV~193.8kV 194.0kV~194.2kV 194.5kV~194.8kV 195.0kV~195.2kV 195.5kV~195.8kV 196.0kV~196.2kV 196.5kV~196.8kV 197.0kV~197.2kV 197.5kV~197.8kV 198.0kV~198.2kV 198.5kV~198.8kV 199.0kV~199.2kV 199.5kV~199.8kV 200.0kV~200.2kV 200.5kV~200.8kV 201.0kV~201.2kV 201.5kV~201.8kV 202.0kV~202.2kV 202.5kV~202.8kV 203.0kV~203.2kV 203.5kV~203.8kV 204.0kV~204.2kV 204.5kV~204.8kV 205.0kV~205.2kV 205.5kV~205.8kV 206.0kV~206.2kV 206.5kV~206.8kV 207.0kV~207.2kV 207.5kV~207.8kV 208.0kV~208.2kV 208.5kV~208.8kV 209.0kV~209.2kV 209.5kV~209.8kV 210.0kV~210.2kV 210.5kV~210.8kV 211.0kV~211.2kV 211.5kV~211.8kV 212.0kV~212.2kV 212.5kV~212.8kV 213.0kV~213.2kV 213.5kV~213.8kV 214.0kV~214.2kV 214.5kV~214.8kV 215.0kV~215.2kV 215.5kV~215.8kV 216.0kV~216.2kV 216.5kV~216.8kV 217.0kV~217.2kV 217.5kV~217.8kV 218.0kV~218.2kV 218.5kV~218.8kV 219.0kV~219.2kV 219.5kV~219.8kV 220.0kV~220.2kV 220.5kV~220.8kV 221.0kV~221.2kV 221.5kV~221.8kV 222.0kV~222.2kV 222.5kV~222.8kV 223.0kV~223.2kV 223.5kV~223.8kV 224.0kV~224.2kV 224.5kV~224.8kV 225.0kV~225.2kV 225.5kV~225.8kV 226.0kV~226.2kV 226.5kV~226.8kV 227.0kV~227.2kV 227.5kV~227.8kV 228.0kV~228.2kV 228.5kV~228.8kV 229.0kV~229.2kV 229.5kV~229.8kV 230.0kV~230.2kV 230.5kV~230.8kV 231.0kV~231.2kV 231.5kV~231.8kV 232.0kV~232.2kV 232.5kV~232.8kV 233.0kV~233.2kV 233.5kV~233.8kV 234.0kV~234.2kV 234.5kV~234.8kV 235.0kV~235.2kV 235.5kV~235.8kV 236.0kV~236.2kV 236.5kV~236.8kV 237.0kV~237.2kV 237.5kV~237.8kV 238.0kV~238.2kV 238.5kV~238.8kV 239.0kV~239.2kV 239.5kV~239.8kV 240.0kV~240.2kV 240.5kV~240.8kV 241.0kV~241.2kV 241.5kV~241.8kV 242.0kV~242.2kV 242.5kV~242.8kV 243.0kV~243.2kV 243.5kV~243.8kV 244.0kV~244.2kV 244.5kV~244.8kV 245.0kV~245.2kV 245.5kV~245.8kV 246.0kV~246.2kV 246.5kV~246.8kV 247.0kV~247.2kV 247.5kV~247.8kV 248.0kV~248.2kV 248.5kV~248.8kV 249.0kV~249.2kV 249.5kV~249.8kV 250.0kV~250.2kV 250.5kV~250.8kV 251.0kV~251.2kV 251.5kV~251.8kV 252.0kV~252.2kV 252.5kV~252.8kV 253.0kV~253.2kV 253.5kV~253.8kV 254.0kV~254.2kV 254.5kV~254.8kV 255.0kV~255.2kV 255.5kV~255.8kV 256.0kV~256.2kV 256.5kV~256.8kV 257.0kV~257.2kV 257.5kV~257.8kV 258.0kV~258.2kV 258.5kV~258.8kV 259.0kV~259.2kV 259.5kV~259.8kV 260.0kV~260.2kV 260.5kV~260.8kV 261.0kV~261.2kV 261.5kV~261.8kV 262.0kV~262.2kV 262.5kV~262.8kV 263.0kV~263.2kV 263.5kV~263.8kV 264.0kV~264.2kV 264.5kV~264.8kV 265.0kV~265.2kV 265.5kV~265.8kV 266.0kV~266.2kV 266.5kV~266.8kV 267.0kV~267.2kV 267.5kV~267.8kV 268.0kV~268.2kV 268.5kV~268.8kV 269.0kV~269.2kV 269.5kV~269.8kV 270.0kV~270.2kV 270.5kV~270.8kV 271.0kV~271.2kV 271.5kV~271.8kV 272.0kV~272.2kV 272.5kV~272.8kV 273.0kV~273.2kV 273.5kV~273.8kV 274.0kV~274.2kV 274.5kV~274.8kV 275.0kV~275.2kV 275.5kV~275.8kV 276.0kV~276.2kV 276.5kV~276.8kV 277.0kV~277.2kV 277.5kV~277.8kV 278.0kV~278.2kV 278.5kV~278.8kV 279.0kV~279.2kV 279.5kV~279.8kV 280.0kV~280.2kV 280.5kV~280.8kV 281.0kV~281.2kV 281.5kV~281.8kV 282.0kV~282.2kV 282.5kV~282.8kV 283.0kV~283.2kV 283.5kV~283.8kV 284.0kV~284.2kV 284.5kV~284.8kV 285.0kV~285.2kV 285.5kV~285.8kV 286.0kV~286.2kV 286.5kV~286.8kV 287.0kV~287.2kV 287.5kV~287.8kV 288.0kV~288.2kV 288.5kV~288.8kV 289.0kV~289.2kV 289.5kV~289.8kV 290.0kV~290.2kV 290.5kV~290.8kV 291.0kV~291.2kV 291.5kV~291.8kV 292.0kV~292.2kV 292.5kV~292.8kV 293.0kV~293.2kV 293.5kV~293.8kV 294.0kV~294.2kV 294.5kV~294.8kV 295.0kV~295.2kV 295.5kV~295.8kV 296.0kV~296.2kV 296.5kV~296.8kV 297.0kV~297.2kV 297.5kV~297.8kV 298.0kV~298.2kV 298.5kV~298.8kV 299.0kV~299.2kV 299.5kV~299.8kV 300.0kV~300.2kV 300.5kV~300.8kV 301.0kV~301.2kV 301.5kV~301.8kV 302.0kV~302.2kV 302.5kV~302.8kV 303.0kV~303.2kV 303.5kV~303.8kV 304.0kV~304.2kV 304.5kV~304.8kV 305.0kV~305.2kV 305.5kV~305.8kV 306.0kV~306.2kV 306.5kV~306.8kV 307.0kV~307.2kV 307.5kV~307.8kV 308.0kV~308.2kV 308.5kV~308.8kV 309.0kV~309.2kV 309.5kV~309.8kV 310.0kV~310.2kV 310.5kV~310.8kV 311.0kV~311.2kV 311.5kV~311.8kV 312.0kV~312.2kV 312.5kV~312.8kV 313.0kV~313.2kV 313.5kV~313.8kV 314.0kV~314.2kV 314.5kV~314.8kV 315.0kV~315.2kV 315.5kV~315.8kV 316.0kV~316.2kV 316.5kV~316.8kV 317.0kV~317.2kV 317.5kV~317.8kV 318.0kV~318.2kV 318.5kV~318.8kV 319.0kV~319.2kV 319.5kV~319.8kV 320.0kV~320.2kV 320.5kV~320.8kV 321.0kV~321.2kV 321.5kV~321.8kV 322.0kV~322.2kV 322.5kV~322.8kV 323.0kV~323.2kV 323.5kV~323.8kV 324.0kV~324.2kV 324.5kV~324.8kV 325.0kV~325.2kV 325.5kV~325.8kV 326.0kV~326.2kV 326.5kV~326.8kV 327.0kV~327.2kV 327.5kV~327.8kV 328.0kV~328.2kV 328.5kV~328.8kV 329.0kV~329.2kV 329.5kV~329.8kV 330.0kV~330.2kV 330.5kV~330.8kV 331.0kV~331.2kV 331.5kV~331.8	

로의 차단 특성과는 또 다른 특징임을 알 수 있다.

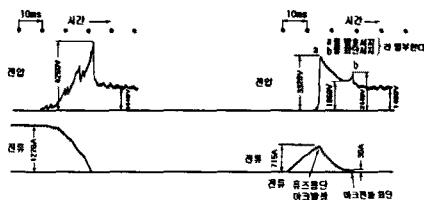


그림 2. 직류 회로에 발생하는 과전압 특성

## 2-2. 보호 범위

전차 선로 보호용 피뢰기는 보호 대상물이 주로 애자되어 있어 방전 내량이 크고 제한 전압도 일반적으로 크다. 피뢰기의 설치 간격은 보호 범위의 보통 2배 정도를 취한다. 그럼 3와 같이 보호 범위는 피뢰기의 방전 개시 전압(제한 전압과 접지 전위 상승분의 합이 방전 개시 전압보다도 낮아야 한다)을 고려하여 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$L \leq (v/2S)(V_f - V_s) \dots \dots (1)$$

여기서  $L$ 은 보호 범위(m),  $v$ 은 가선 상 뇌서지 전달 속도( $\sim 300m/\mu s$ ),  $V_f$ 는 애자의 섬락 전압(kV),  $V_s$ 는 피뢰기 방전 개시 전압(kV) 그리고  $S$ 는 뇌서지 급준도( $kV/\mu s$ )를 나타낸다.

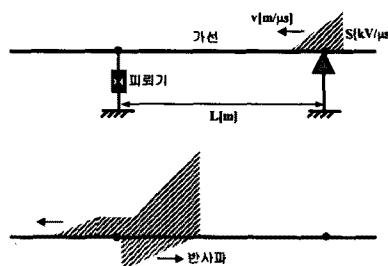


그림 3. 피뢰기 보호 범위 설정 모델

따라서 보호 범위를 결정하는 주된 파라미터는 애자 섬락 전압과 뇌서지 급준도이다. 애자 섬락 전압은 사용하는 애자의 종류에 의해 결정되므로 뇌서지의 급준도가 어느 정도까지 작용하는가 하는 문제가 중요하게 된다.

그림 4는 전형적인 피뢰기 보호 범위를 계산한 예이다. 설치 간격을 500m 이하로 하기 위해서는 서지 급준도가 매우 낮은 경우에 해당된다. 일반적으로 급준도 100~200 kV/ $\mu s$ 의 경우를 고려하여 피뢰기 보호 범위는 대략 250~500m 범위로 설계하는 것이 보통이다.

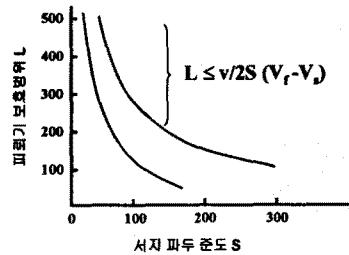


그림 4. 피뢰기의 보호 범위 계산 예

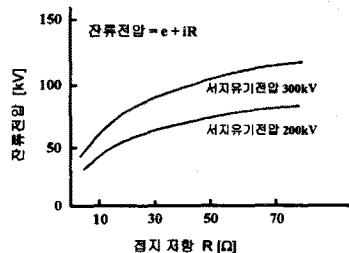


그림 5. 접지 저항과 잔류 전압 특성

선로용 피뢰기의 제한 전압과 가선에 유기되는 전압이 있다면 피뢰기가 동작할 경우 가선에 잔류하는 전압  $e$ (제한 전압 + 접지 전위 상승값)는 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$e = 4,300i^{0.22} \dots \dots (2)$$

$$E - (Z/2)i = e_a + iR \dots \dots (3)$$

여기서  $E$ 는 가선에 유기되는 전압(kV),  $Z$ 는 가선 유입 서지 임피던스( $\sim 200\Omega$ ),  $e_a$ 는 피뢰기 방전 전류  $i$ 에 대응하는 제한 전압(kV),  $i$ 는 피뢰기 방전 전류(kA),  $R$ 는 피뢰기 접지 저항( $\Omega$ )이다. 이때 유기 전압을 200 kV와 300kV로 가정하면 접지 저항에 따른 선로 잔류 전압 특성을 그림 5와 같다. 이러한 제한 전압과 잔류 전압 특성으로부터 방전 개시 전압을 구하면 다음 그림 6과 같다.

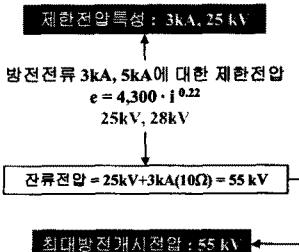
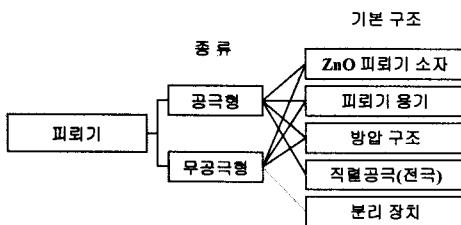


그림 6. 방전 전류에 따른 방전 개시 전압 특성

## 2-3. 동작 원리

피뢰기는 기존 SiC 소자를 사용하는 경우 직렬 공극(gap)을 갖는 구조로 제작되었다. 비선형 특성이 우수한 ZnO 소자가 장착된 피뢰기의 경우 적용 개소의 특성에 따라 직렬 공극이 있는 경우와 없는 경우 두 가지가 모두 사용된다. 그림 7에서는 이러한 공극형과 무공극의 종류에 따른 기본 구조의 차이점을 간단히 설명한



것이다.

그림 7. 기본 구조 비교

직류 전차 선로 보호용으로 공극형 ZnO 피뢰기 사용되는 이유는 다음과 같다.

- ▶ 일반 전력용 피뢰기보다 엄격한 사양 요구.
- ▶ 1선 접지계로 과전율과 상시 인가 전압 에너지가 크다.
- ▶ 개폐 서지 발생 빈도가 높아 사고 위험이 크다.
- ▶ 교류 선로의 경우 전압-전류 인가 과정이 자연적 0점 확보가 되어 속류차단이 수월하지만 직류 선로의 경우 자연적 0점 확보가 불가능하여 강제 0점 방식이 채용되어 이에 대한 안전을 고려한다.

공극형 피뢰기의 기본 동작 특성은 그림 9와 같다. 직류 공극의 방전 개시 전압은 피뢰기 소자의 제한 전압보다 높게 설계된다. 피뢰기의 제한 전압 이상으로 뇌서지가 침입하는 경우 직류 공극에서 방전이 이루어지고 이후 ZnO 소자의 제한 전압 특성에 따라 뇌서지는 흡수 된다. 하지만 이러한 과정은 공극과 피뢰기의 적절한 절연 협조(coordination)가 이루어 지게 설계되는 것이 중요하다.

직류 공극형 피뢰기를 설계하기 위해서는 피뢰기 소자의 제한 전압 특성 외에 공극의 길이를 적절히 설계하는 것이 중요하다. 일반적으로 피뢰기의 경우 속류 차단 능력, 상용 주파 내전압, 개폐 서지 내전압 그리고 뇌서지, 절연 협조 기능 등이 만족되도록 설계된다. 이때 이를 특성은 공극의 길이를 설정하는 기준으로 영향을 미친다. 그림 8은 이러한 공극 길이를 설정하기 위한 기본 알고리즘과 설계치를 나타낸 것이다.

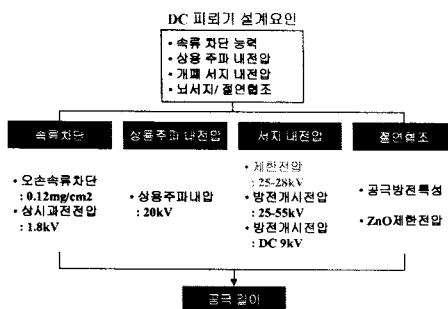


그림 8. 직렬 공극 길이 설정 요소

#### 2-4. 피뢰기 시험 및 정격

일반적인 전력용 피뢰기의 경우 대표적인 적용 기준으로 IEC, ANSI, JEC 등이 적용되면 국내의 경우 이러한 국제 규격을 참고로 한 KS, EB 등 규격이 만들어져 적용되고 있지만 아직 철도 차량용 직류 피뢰기로 제한된 시험 및 적용 기준은 없다. JIS E 5003에서는 구

체적으로 철도 차량용 직류 피뢰기의 시험 방법을 규정하고 있다. 일반 전력용 피뢰기 및 장치와 전기적 특성 시험 방법이나 구성은 거의 유사하지만 직류 철도 차량을 염두에 둔 진동 시험 등의 안정성 평가 항목이 추가되어 있다. 표 2는 JIS E 5003에 규정된 시험 항목을 간추린 목록이다. 여기서 특히 진동 시험의 경우 JIS E 4031(철도 차량 부품의 진동 시험 방법)에 따로 취급하도록 되어 있으며 국내의 경우 이 부분은 KS B 8144-1992에서 잘 규정하여 운용되고 있다.

이러한 규격과 시험 요소를 검토한 결과 직류 피뢰기의 경우 기본적인 정격 설계나 에너지 내량 설정의 방법은 기존 전력용과 유사한 형태로 이루어진다. 하지만 앞 절에서 언급한 바와 같이 직류 회로 조건이 갖는 서지 환경을 고려한 방전 등급 및 제한 전압 특성의 설계 그리고 장기 내구성을 확보할 수 있는 기준이 중요하다. 표 5는 현재 국내에 사용되고 있는 직류 피뢰기의 성능 비교 표를 나타낸 것이다.

표 2. 직류용 피뢰기의 성능 비교 표

특성	형태	Gap type	Gapless type
공칭전압	DC 1.500V	DC 1.500V	
정격전압	DC 1.800V	DC 2.000V	
공칭방전전류	5kA(8/20μs)	5kA(8/20μs)	
방전 특성	임펄스 100%	5.500V이하	-
	0.5μs	6.300V이하	-
	DC	4.300V이하	-
동작개시전압 (하한치)	-	V <sub>inst,DC</sub> : 2.6kV	
제한전압	2kA	4.500V이하	4.500V이하
	5kA	5.500V이하	5.000V이하
	10kA	6.500V이하	5.500V이하
표준	10회	20회	
개폐서지동 작책무	인가 전압	DC 1.800V	DC 2.000V

#### (참 고 문 현)

- [1] A. J. Erikson, C. L. Penman, and D. V. Meal, Review of five years lightning research on an 11kV test line. IEE Lightning and Power System Conference Paper, 1984.
- [2] F. De la Rosa and S. Lundquist, Lightning-induced Voltages in Distribution Power Lines, IEE Lightning and Power System Conference Paper, 1984.
- [3] A. Mayer, Overvoltage Protection for AC Traction Power Supplies and Vehicles. ABB Review, (3), 23-29, 1994
- [4] Wei-Han Wu and Fan-Liu Zhang, Numerical Calculation on Overvoltages of Power System. Science Press, Beijing, China, 1989.
- [5] Users Manual of Line Frequency Parameters Program of Multiple-Conductors System. China: Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, 1985.
- [6] H. W. Domme and I. I. Domme, Transients Program Users Manual, Canada: Department of Electrical Engineering, the University of British Columbia, 1978.

Email : swhan@keri.re.kr & hgcho@keri.re.kr