

## 철근콘크리트 구조물 내의 철근을 활용한 피뢰설비 인하도선의 설치방법에 관한 연구

(A Study on the Installation Method of Down Conductors of the Lightning Protection System, using Rebar in Reinforced Concrete Structures)

이영철\* · 이주철

(Young-Chul Lee · Ju-Cheol Lee)

### Abstract

IEC Standards on lightning protection system specify the use of natural components as down conductors. This paper provides an analysis of problems revealed from our field investigation and survey conducted for the relevant experts in the construction site where natural components are used as down conductors. It also considers a suitable condition for installing natural components as down conductors in accordance with the latest version of the standard. As a result, when rebars of reinforced concrete are used as down conductors, vertical bars consisting of rebars of which thickness is not less than D13(127 mm<sup>2</sup>) should be connected by welding, clamps or bound joints, using appropriate connection components conforming to IEC Standards. The lashed joints, however, shall not be applied for down conductors.

Key Words : Lightning Protection System, Down-Conductor System, Methods of Joining Reinforcing Rods

### 1. 서 론

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 피뢰설비는 국제표준과 부합화된 KS C IEC 62305시리즈 표준 등 피뢰설비와 관련된 한국산업표준에 적합하게 설치하도록 정하고 있다. 이 표준에서 외부피뢰시스템의 일

부를 구성하고 있는 인하도선은 수뢰부에 포착된 뇌전류를 접지전극으로 흘려보내기 위한 것으로, IEC 표준에서는 건축물의 철골, 철근 등의 자연적 구성부재가 인하도선에 상응하는 크기, 전기적 연속성, 시공 방법 등이 조건에 부합되면 이를 인하도선으로 사용할 수 있다. 2012년에 개정 고시된 피뢰설비에 관한 한국산업표준에서는 자연적 구성부재를 전용의 인하도선으로 사용하기 위한, 도체의 크기, 전기적 접속능률 강화를 위한 구체적 접속방법 등을 제시하고 있다. 이 조건에 적합하지 않는 자연적 구성 부재를 전용의 인하도선으로 사용하게 되면, 직격뢰에 따른 뇌전류를 접지전극으로 흘려보내는 과정에서 콘크리트의 파손

\* 주(교신)저자 : 대한전기협회 연구위원  
\* Main(Corresponding) author : Korea Electric Association Technical Regulation D. General Manager  
Tel : 02-3393-7665, Fax : 02-3393-7689  
E-mail : ljc@electricity.or.kr  
접수일자 : 2013년 5월 26일  
1차심사 : 2013년 5월 29일  
심사완료 : 2013년 6월 4일

등 여러 가지 문제가 발생할 우려가 있다.

본 연구에서는 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 건축물의 피뢰설비에 관한 국제표준인 IEC 62305를 도입한지 10년이 지난 현재 인하도선으로 자연적 구성부재를 사용하는 현장의 실태조사와 관련 전문가에 대한 설문조사결과를 토대로 문제점을 분석하고 2012년에 개정 고시된 KS C IEC 62305 표준에 따라 자연적 구성 부재를 인하도선으로 사용할 때의 적합한 설치 조건을 고찰하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 설문 및 현장조사 분석

인하도선의 사용에 대한 현장실태 조사를 위해 아파트 건축현장 3개소, 오피스 빌딩 건축현장 2개소 등 5개소에 대하여 방문면접조사를 실시하였다. 그 결과 전용의 인하도선으로 구리도체를 사용하고 이와 병행하여 철근을 사용하는 곳 3개소, 건축용 철근을 전용의 인하도선으로 사용하는 곳 2개소로 나타났다.

인하도선 사용에 대한 설문조사는 국내 전기관련 산업 중에 설계·감리·유지·관리 등의 분야에 종사하는 전기기술자 51명을 대상으로 2013.3월~2013.4월에 걸쳐 실시하였다. 설문은 방문, 전화, E-mail 등에 의하였으며, 80개소 중 51개의 응답이 있었다.

인하도선 재료의 종류를 묻는 질문에 대해 그림 1에 서처럼 인하도선과 병행하여 철근을 사용한다는 응답이 27명, 건축용 철근을 전용의 인하도선으로 사용한다는 응답이 14명을 차지하였다. 구리도체 이외의 추가설치 인하도선(아연도금 강대 등)과 병행하여 철근을 사용한다는 응답도 7명이었다. 이는 대부분 별도의 인하도선과 철근을 병용하여 사용하고 있지만 철근만을 전용의 인하도선으로 사용하고 있는 건축물도 27%를 차지하고 있음을 나타내고 있다.

인하도선 상호간의 접속방법에 대한 질문에 대해서는 그림 2와 같이 대부분 썸쇠 접속이나 용접접속을 하고 있었으며, 건축(동여매기)접속 상태의 철근을 전용의 인하도선으로 사용하는 경우는 9건으로 약 18%를 차지하고 있다.



그림 1. 인하도선의 자연적 구성부재 사용실태  
Fig. 1. Usage status of natural components for down-conductor



그림 2. 자연적 구성부재 상호간의 접속방법  
Fig. 2. Joints method between the natural components

### 2.2 인하도선 시스템

피뢰시스템에 흐르는 뇌전류에 의한 손상확률을 감소시키기 위해서 뇌격점과 대지 사이의 인하도선은 여러 개의 병렬회로를 형성하고, 전류통로의 길이는 최소로 하며, 구조물의 도전성 부분에 등전위본딩을 실시한다. 가능한 여러 개의 인하도선을 환상도체를 이용하여 등간격으로 서로 접속하는 시공은 위험한 불꽃방전의 발생확률을 감소시키며, 내부설비의 보호에 유효하다. 서로 접속된 철골구조물과 철근콘크리트 구조물은 이 조건을 충족한다[1].

#### 2.2.1 인하도선 설치 및 인하도선 수의 결정

분리되지 않은 피뢰시스템에서 인하도선은 시공의 제한이 없으면 보호대상 구조물의 둘레에 균등한 간격으로 인하하도록 배치하며, 대표적인 인하도선 사이의 거리는 표 1과 같다. 보호대상 건축물에 시설하는

인하도선 수는 2조 이상으로 하며, 인하도선은 보호대상물의 바깥 둘레를 따라 일정한 간격으로 대칭구조로 배치하고 가능하면 건축물의 노출된 모퉁이마다 설치한다. 높이가 20m를 초과하는 보호대상물의 인하도선은 지표면 근처 및 수직방향 최대 20m 간격으로 인하도선 상호간을 수평환상도체 등으로 접속하여 등전위화 한다. 다만 자연적 구성부재를 인하도선으로 이용하는 경우에는 관계없다[1].

표 1. 피뢰시스템의 등급별 대표적인 인하도선 사이의 최적 간격

Table 1. Typical preferred values of the distance between down-conductors according to the class of LPS

피뢰시스템의 등급	간격(m)	
	IEC	일본
I	10	10
II	10	15
III	15	20
IV	20	25

인하도선은 선택한 보호레벨에서 규정하는 최적간격에 따라 보호대상물에 시설하여야 한다. 이 때 보호대상물의 바깥둘레 길이를 산정하고 그에 알맞은 인하도선 수를 결정한다. 예를 들어 가로 50m, 세로 40m의 직사각형 평면지붕일 때 보호레벨이 IV인 경우 바깥둘레 길이는 180m이고 보호레벨의 최적간격으로 나누어 인하도선 수는 9개가 되지만, 인하도선은 최적간격 이하로 균등하게 시설하여야 한다는 규정에 따라 이 보호대상물에는 10개의 인하도선의 시설이 필요하다. 일본의 규정[2]을 적용할 경우 인하도선 수는 8개로 줄어든다. 따라서 국내 실정에 적합한 인하도선 최적 간격의 설정이 필요하다.

### 2.2.2 인하도선을 설치하는 벽의 조건

분리되지 않은 피뢰시스템에서 인하도선은 벽이 불연성 재료일 때 벽의 표면 또는 벽의 내부에 설치할 수 있고, 벽이 가연성 재료인 경우에 뇌전류의 통과에 의한 온도상승이 벽 재료에 위협이 미치지 않는다면 인하도선을 벽의 표면에 설치할 수 있다. 인하도선의

온도상승이 위협이 미칠 때는 인하도선은 보호대상물과의 거리가 항상 0.1m를 초과하도록 설치하며, 지지부품은 벽에 접촉시킬 수 있다.

표 2. 도체 재료별 온도상승 ΔT(K)  
Table 2. Temperature rise ΔT in K of different conductor materials

단면적 mm <sup>2</sup>	보호레벨								
	III,IV	II	I	III,IV	II	I	III,IV	II	I
	최대뇌격전류 kA								
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
	재료별 비에너지 W/R MJ/Ω								
구리			철			스테인레스강			
2.5	5.6	10	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	169	542	-	-	-	-	-	-	-
16	56	143	309	1120	-	-	-	-	-
25	22	51	98	211	913	-	940	-	-
50	5	12	22	37	96	211	190	460	940
100	1	3	5	9	20	37	45	100	190

인하도선과 가연성 재료 사이의 거리를 충분히 확보할 수 없을 때의 인하도선의 단면적은 100mm<sup>2</sup> 이상이어야 한다[1]. 뇌전류가 인하도선을 통과할 때의 위험여부를 판단하기 위한 도체 재료별 온도상승은 표 2와 같다[3-4].

### 2.2.3 자연적 구성부재의 인하도선 사용 조건

벽 또는 콘크리트 기둥의 보강봉, 강철골조 등 자연적 구성부재 중, 표 3에 규정된 값 이상의 크기를 갖고 전기적 연속성이 있는 금속제 설비, 전기적 연속성을 가지는 건축물의 철근콘크리트 구조체의 금속, 건축물의 상호 접속된 강재 구조체 및 크기가 인하도선 요건에 부합하고, 두께가 0.5mm 이상인 금속판 또는 금속관의 정면 부재, 측면 레일 및 금속제 정면 벽의 보조구조재는 인하도선으로 사용할 수 있다. 이때 자연적 구성부재 상호간의 접속부의 수는 최소로 하고, 땀질, 용접, 압착, 봉합, 나사조임이나 볼트조임 등의 방법으로 확실하게 접속해야 하며, 특히 철근콘크리트 구조

물 내부의 철골조의 수직 바는 용접, 휼쇠이음 또는 최소 지름 20배를 겹쳐 보조접속선을 이용한 이음으로 확실하게 접속하여야 한다[1, 5].

표 3. 수뢰도체, 인하도록 등의 재료, 형상과 최소 단면적

Table 3. Material configuration and minimum cross-sectional area of air-termination conductors and down-conductors

재료	형상	최소단면적 mm <sup>2</sup>	권장치수mm
구리, 주석도금한 구리	테이프형 단선	50	두께 2mm
	원형 단선	50	직경 8mm
	연선	50	소선직경 1.7mm
알루미늄	테이프형 단선	70	두께 3mm
	원형 단선	50	직경 8mm
	연선	50	소선직경 1.63mm
용융아연 도금강	테이프형 단선	50	두께 2.5mm
	원형 단선	50	직경 8mm
	연선	50	소선직경 1.7mm
구리피복강	테이프형 단선	50	두께 2.5mm
	원형 단선	50	직경 8mm
스테인리스강	테이프형 단선	50	두께 2mm
	원형 단선	50	직경 8mm
	연선	70	소선직경 1.7mm

또한 철근콘크리트조의 구조물에서 수직 바의 전기적 연속성은 측정전류 10A, 측정전압 4~24V인 측정 장비로 측정한 최상부와 대지면 사이의 전기저항이 0.2Ω이하인 조건을 충족하여야 한다[6].

2.2.4 철근콘크리트내 철근의 접속방법

수평 바와 수직 바의 상호접속의 주요 부분이 용접 또는 다른 방법으로 확실하게 접속되면 철근콘크리트 구조물 내부에 있는 철근 등은 전기적으로 연속적인 것으로 볼 수 있다[1]. 개정된 IEC표준에서는 다음과 같이 좀 더 구체적인 방법을 제시하고 있다.

2.2.4.1 용접 접속

콘크리트 내부에서의 보강봉 사이의 용접은 그림 3

과 같이 최소 50mm 이상의 길이로 하며, 교차하는 봉은 용접하기 이전에 최소 70mm 이상 평행하게 놓은 후 휘어야 한다. 이 접속방법은 뇌전류 통전과 EMC목적에 적합하다.

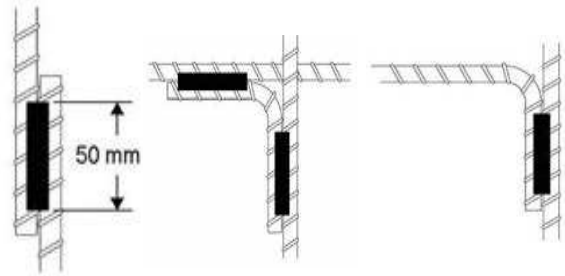


그림 3. 용접 접속  
Fig. 3. Welded joints

2.2.4.2 휼쇠 접속

철근 등 보강봉에 용접하는 것이 허용되지 않는 경우, 휼쇠 또는 추가 보강도체를 사용하도록 한다. 추가 보강도체로는 강철, 연철, 아연도금강 또는 구리를 사용할 수 있다. 콘크리트 내의 보강봉과 본딩도체 사이를 그림 4와 같이 휼쇠를 이용하여 접속하는 경우, 콘크리트를 타설한 후에는 점점이 불가능하므로 안전상 항상 2개의 본딩도체(또는 다른 보강재 바에 2개의 휼쇠로 접속된 1개의 본딩도체)를 사용한다. 이 접속방법은 뇌전류 통전과 EMC목적에 적합하다.

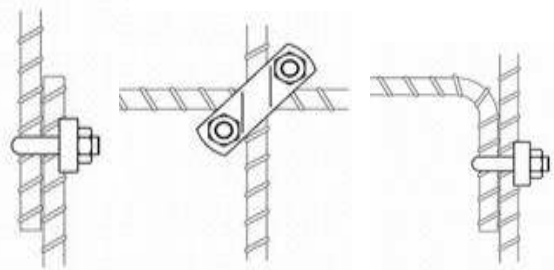


그림 4. 휼쇠 접속  
Fig. 4. Clamp joints

2.2.4.3 묶음 접속

철근콘크리트내의 철근의 묶음 접속은 그림 5와 같이 철근의 직경 20배 이상을 접속면적으로 확보해야

하며, 접속 면을 따라 묶음용 도선을 수십 회 감아줘야 한다. 이 접속방법도 뇌전류 통전과 EMC목적에 적합하다.

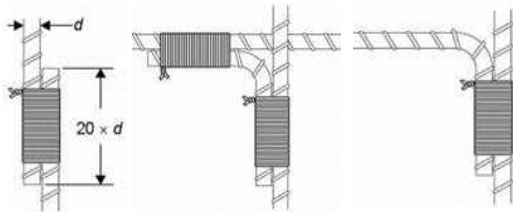


그림 5. 묶음 접속  
Fig. 5. Bound joints

2.2.4.4 동여매기 접속

그림 6은 동여매기 접속에 의한 철근콘크리트 구조물내의 철근접속 방법이다. 이는 등전위화와 EMC를 목적으로 하는 추가도체의 접속에만 적합하다.

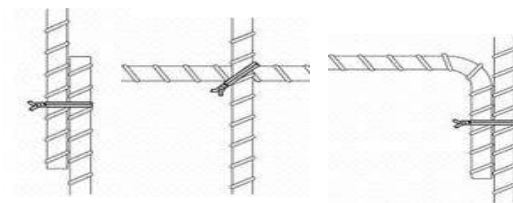


그림 6. 동여매기 접속  
Fig. 6. Lashed joints

2.2.5 접속부의 접촉저항 측정방법

표 4. 뇌임펄스 전류(limp)의 매개변수  
Table 4. Lightning impulse current(limp) parameters

분류	$I_{imp}$ $kA \pm 10\%$	W/R $KJ/\Omega \pm 35\%$
H	100	2,500
N	50	625

H : 고하중에 대한 등급  
N : 보통하중에 대한 등급

피뢰설비의 구성요소 중 자연적 구성부재 등의 전기적 시험은 표 4에 따른 시험 전류로 시험편에 3차례

스트레스를 주고, 시험편의 배치가 대략 주위 온도로 생각할 수 있을 만큼의 시간 간격으로 가했을 때 가능하면 접속 개소와 가장 가까운 곳에서 10A 이상의 전류원으로 측정된 접속 저항이  $1m\Omega$  이하가 되어야 한다. 접속 부품이나 도체가 스테인리스강인 경우에는  $2.5m\Omega$ 의 값이 허용된다[7].

2.2.6 철근의 굽기별 접촉저항 측정시험

침식접속에 대한 철근의 굽기별 접촉저항을 확인하기 위해 IEC 표준에 따른 전기적 연속성 측정장비를 이용하여 접촉저항 측정시험을 실시하였다. 용접접속은 접속능률이 탁월하고, 묶음접속은 시공성이 낮아 현장에서 사용하지 않는 편이므로 채택하지 않았다.

2.2.6.1 접촉저항 측정장비 제원 및 측정방법

측정장비는 IEC 표준에 따른 측정 장비로써 그 외형은 그림 7과 같고 제원은 다음과 같다.



그림 7. 전기적 연속성 측정 장비  
Fig. 7. Electrical continuity measurement equipment

- 입력 : 108~132V, 60Hz
- 저항 렌지 :  $199.9\mu\Omega \sim 1.99\Omega$
- 측정 전류 : 1~100A(1, 5, 10, 20, 50, 100 탭)
- 전압 : 8V
- 무게 : 18kg

그림 8은 철근의 전기적연속성 측정 장면이며 외측의 큰 크립은 전류 공급 단자이고, 내측 작은 크립은 전압측정 단자이다. 시험편은 건축현장에서 주로 사용하고 있는 철근으로 D10(71mm), D13(127mm), D16(199mm) 3종류의 굽기이고, 길이는 30cm, 접속면

의 길이는 12cm로 하였다. 시중에서 구입한 쥘쇠는 전기적, 기계적으로 충분하도록 그림 9와 같이 2개씩을 사용했다.

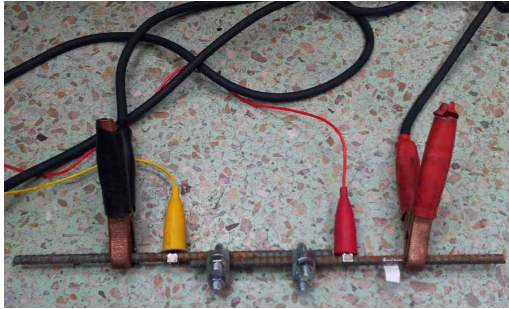


그림 8. 접촉저항 측정 모습  
Fig. 8. Figure of the contact resistance measurements



그림 9. 쥘쇠 접속한 철근  
Fig. 9. Test samples of clamp joints rebar

### 2.2.6.2 접촉저항 측정시험 결과

시험편에 측정시험 결과는 표 5와 같으며, 단면적은 작으나 표면상태가 깨끗한 D13이 단면적은 크나 산화 피막이 형성된 D16에 비하여, 접촉저항이 2배정도 높아 시료의 표면상태가 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다. 따라서 시공시에 접속부의 상태에 주의할 필요가 있다.

D10의 접촉저항은 규정 값  $1m\Omega$ 을 초과하여 접촉저항 기준에 부적합한 것으로 나타났다. 접촉저항 시험결과와 인하도선과 가연성 재료 사이의 거리를 충분히 확보할 수 없을 때의 인하도선의 단면적은  $100mm^2$  이상이어야 한다는 규정 및 NEC에서 콘크리트 매입

접지극으로 사용하는 철근의 직경을 12.7mm[8]로 정하고 있는 것을 감안할 때 인하도선으로 사용할 수 있는 철근의 최소 굵기는 D13( $127mm^2$ ) 이상이다.

### 표 5. 측정시험 결과

Table 5. Measurement results of the experiment

접속 방법	시험 전류 (A)	철근의 굵기 별 측정저항( $m\Omega$ )		
		D10 ( $71mm^2$ )	D13 ( $127mm^2$ )	D16 ( $199mm^2$ )
쥘쇠 접속	5	1.51	0.56	1.02
	10	1.28	0.58	1.01
	20	1.3	0.58	1.01
	50	1.3	0.6	1.01
	100	1.3	0.6	1.01
	평균	1.34	0.58	1.01

2.2.7 철근을 활용한 인하도선 설치방법 고찰  
철근콘크리트내의 철근을 인하도선으로 사용할 경우에는 수평환도체를 별도로 설치할 필요가 없어 경제성이 좋다. 철근의 접속방법은 전기적 연속성과 콘크리트의 내구성 확보측면에서 매우 중요한데 이는 철근콘크리트 건축물에 뇌격시 모든 철근에 뇌전류가 분류되어 흐를 수 있으며, 이때 접속이 불완전한 경우에는 콘크리트가 파손될 수 있다는 국내외의 실험적 연구들이 다수 선행되었으며[9-11], IEC 표준에서도 동여매기접속방법은 등전위화와 EMC 목적에만 적합한 것으로 명시하고 있어 인하도선의 접속방법에 적용할 수 없다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 건축물의 피뢰설비에 관한 국제표준인 IEC 62305를 도입한지 10년이 지난 현재 인하도선으로 자연적 구성부재를 사용하는 현장의 실태조사와 관련 전문가에 대한 설문조사결과를 토대로 문제점을 분석하고, 2012년에 개정 고시된 KS C IEC 표준에 따라 자연적 구성부재를 인하도선으로 사용할 때의 적합한 설치 조건을 고찰하였다. 그 결과 철근콘크리트내의 철근을 인



하도선으로 사용하고자 할 때는 피뢰시스템의 등급의 최적 간격에 따른 인하도선 수를 결정하고, 굵기가 D13(127mm) 이상인 철근으로 구성된 수직 바와 수평 바를 IEC 표준에 적합한 접속부품을 사용하여 용접접속, 첩쇠접속 또는 묶음 접속하고, 수직 바의 전기적 연속성은 측정전류 10A, 측정전압 4~24V인 측정 장비로 측정된 최상부와 대지면 사이의 전기저항이 0.2Ω 이하인 조건을 충족하여야 한다.

향후 국내 실정에 적합한 인하도선 수의 결정기준의 설정에 관한 연구가 필요하며, 철근콘크리트내의 철근을 인하도선으로 사용할 때의 접속방법과 철근의 굵기를 관련 기준 등에 명문화할 필요가 있다.

본 연구는 국토해양부 R&D정책인프라 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

[1] KS C IEC 62305-3, Protection against lightning-Part 3 : Physical damage to structures and life hazard, 2012.  
 [2] JLPA, Standards Design of the lightning protection system, 2009.  
 [3] IET, Lightning protection, 2010.  
 [4] DEHN + SOHNE, Lightning Protection Guide, 2012.  
 [5] IEC 62561-2, Lightning protection system components (LPSC) -Part 2: Requirements for conductors and earth electrodes, 2012.

[6] KS C IEC 61557-4, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding, 2013.  
 [7] IEC 62561-1, Lightning protection system components (LPSC) -Part 1: Requirements for connection components, 2012.  
 [8] NAPA, National Electrical Code, 2011.  
 [9] A. Lammert, J. Meppelink, Effect of a direct stroke into the reinforced concrete, 27th ICLP, Avignon-France, 2004.  
 [10] D. Kokkinos, N.Kokkinos, Effect of direct lightning strike in the down conductors embedded into the reinforcement, 28th ICLP, Ganazawa-Japan, p.1304-1309, 2006.  
 [11] Kihong Lee, Experimental Verification on the Use of Steelwork as a Down-Conductor in Lightning Protection System, Journal of KIIE, Vol.25, No.9, p94~99, 2011.

### ◆ 저자소개 ◆



**이영철 (李永哲)**

1952년 6월 11일생. 1972년 조선이공대. 1993년 광주대 졸업. 1996년 전남대학교원 전기공학과 졸업(석사). 1979~2011년 한국전기안전공사 전기안전교육원장 근무. 건축전기설비기술사. 전기안전기술사. 2011년 10월~현재 대한전기협회 연구위원.



**이주철 (李柱喆)**

1960년 6월 4일생. 1993년 서울과학기술대 졸업. 2012년 서울시립대 전자전기공학과 졸업(석사). 1988~2001년 한국전기안전공사 근무. 2001년~현재 대한전기협회 실장.