

인하도선으로 활용하기 위한 철근콘크리트구조물의 전기 및 기계적 소요 특성에 대한 실험적 검증

(Experimental Verification on the Use of Steelwork as a Down-Conductor in Lightning Protection System)

이기홍*

(Kihong Lee)

Abstract

This paper verified the characteristics of electrical continuity and mechanical strength of steelwork required to use it as a down-conductor in lightning protection system. It was proven that the steelwork in reinforced concrete apartment has an excellent electrical continuity with low resistance(less than $0.2[\Omega]$). But it was confirmed that a poor connection between two reinforcement bars can easily cause serious damages of the concrete even with the impulsive current of $50[\text{kA}]$, $10/350[\mu\text{s}]$. These results of experiments mean that the additional measures are necessary in using the steelwork as the down-conductor of the lightning protection system.

Key Words : Steelwork, Reinforced Concrete, Lightning Protection System, Down-Conductor System

1. 서 론

건축물에서 낙뢰피해를 방지하기 위해 설치되는 피뢰시스템(LPS : Lightning Protection System)에서 인하도선은 복수개의 전류경로와 함께 최소의 길이를 갖도록 설계 및 시공되어야 한다[1,9].

또한 복수개의 인하도선들을 서로 연결하는 수평 환도체를 건축물 지면으로부터 10~20[m] 간격마다 설치하여 각각의 인하도선에 낙뢰전류가 골고루 분

포되어 흐르도록 하여야 한다. 인하도선은 수평환도체의 설치 뿐 만아니라 건물 내의 중요 전자설비들과 서로 이격거리를 확보하도록 피뢰설비 관련 국제 표준 및 한국산업규격(KS)에서 규정하고 있다. 그러나 국내의 건축문화는 유럽의 건축문화와는 다르게 인하도선을 건물외벽에 노출시키지 않고 벽체에 배관을 매입하여 그 배관 속에 인하도선을 설치하고 있다. 이러한 매입 배관 기술은 건축미관을 제고하고 인하도선을 최대한 직선으로 포설할 수 있다는 특징이 있지만 인하도선에 수평도체를 설치하는 작업이 곤란하게 된다.

건축물의 철근구조체를 인하도선으로 대용할 경우, 철근구조체는 차폐효과와 함께 낙뢰전류를 흐르게 하는 인하도선으로서의 역할도 가능하다. 또한 철근구

* 주저자 : 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원
Tel : 042-866-8449, Fax : 042-866-8472
E-mail : lkh21@lh.or.kr
접수일자 : 2011년 8월 18일
1차심사 : 2011년 8월 20일
심사완료 : 2011년 8월 31일

조체를 인하도록으로 대응할 경우 인하도록에 수평화 도체를 설치할 필요가 없게 되어 시공성이 제고되고 공사비도 저감할 수 있게 된다.

철근구조체를 인하도록으로 대응하기 위해서는 철근구조체의 전기적 연속성이 확보되어야 하고 철근들의 접속이 낙뢰전류에 충분히 견딜 수 있는 전자기계적 내구성을 가져야 한다.

철근구조체에서 철근들을 접속하는 방법은 용접, 커플링 및 금속선(철사)을 이용한 결속방법 등이 이용된다. 공동주택 철근구조체의 경우에는 대부분 금속선을 이용한 결속방법이 적용된다. 금속선을 이용한 결속방식은 용접이나 커플링방식에 비해 기계적 접촉강도가 약해 전기적 연속성을 현저하게 저하시킬 수 있어 인하도록으로 사용하기 위해서는 전기적 연속성에 대한 검증이 필요하다. 피뢰시스템에 관한 국제표준의 하나인 IEC 62305-3(2010)에서는 철근구조체의 전기적 연속성을 판단하는 기준으로서 철근구조체의 상단부와 하단부 사이의 전기저항을 적정한 방법으로 측정하였을 때 그 값이 $0.2[\Omega]$ 이하일 경우 철근구조체가 전기적 연속성을 갖고 있는 것으로 평가하고 있다.

이에 근거하여 본 논문에서는 건설 중인 공동주택의 철근구조체를 대상으로 철근구조체의 전기저항을 측정하여 철근구조체의 전기적 연속성을 평가하였다.

또한 금속결속선을 이용한 철근들의 접속방법은 낙뢰전류와 같은 대전류가 흐를 때 전자기계력에 의해 콘크리트가 파손될 수도 있는 것으로 보고되고 있다 [4].

따라서 본 논문에서는 철근접속부의 전자기계적 내구성을 평가하기 위해 접속된 두개의 철근사이에 다양한 크기의 공극이 발생된 경우를 가정하여 다수의 철근콘크리트 시료를 제작하였다. 제작된 시료에 낙뢰전류를 모의한 다양한 크기의 임펄스전류를 부가하여 철근콘크리트 시료의 전자기계적 강도를 평가하였다.

2. 철근구조체의 전기적 연속성 평가

2.1 철근구조체의 전기저항 측정 대상

건축물 공사가 완료되면 건축구조체로부터 철근을

인출하기가 어렵기 때문에 공사 중인 철근콘크리트구조 형식의 공동주택을 대상으로 철근구조체 상단부와 하단부 사이의 전기저항을 측정하였다. 철근콘크리트(RC)구조 형식은 크게 기둥이 구조물을 떠받치고 있는 역할을 담당하는 골조(라멘)구조 형식과 별도의 기둥 없이 벽체 자체가 기둥 역할까지 대신하는 벽식구조 형식으로 분류된다[7].

국내의 경우 공동주택은 대부분 벽식구조 형식을 채택하고 있으므로 본 연구에서는 벽식구조 형식을 갖는 철근콘크리트 공동주택 건물들을 측정 대상으로 하였다.

전기저항을 측정하기 위해서 건축물 초기 시공단계에서부터 건물 바닥의 철근구조체와 연결한 측정단자와 철근구조체의 상단부분에서 인출한 단자를 준비하였다.

2.2 철근구조체의 전기저항 측정 방법

철근구조체의 상단부와 하단부 사이의 전기저항은 수많은 철근들이 병렬로 접속되어 있으므로 낮은 저항값을 갖을 것으로 예상되므로 정밀하게 전기저항을 측정할 수 있는 방법이 요구된다[1]. 특히 건물의 높이에 따라 길어지는 측정리드선으로부터 발생하는 오차를 제거할 수 있는 방법이 적용되어야 한다.

본 논문에서는 건축물의 철근구조체에 대한 전기저항을 측정하기 위한 방법으로 그림 1과 같이 4단자 전기저항 측정법을 사용하였다. 4단자 전기저항 측정법은 측정대상의 단자에 연결된 측정리드선에 측정전류를 부과하고 상단과 하단의 측정단자에서 발생하는 전압을 측정하는 방식이다. 이 방법은 측정리드선으로 인해 발생될 수 있는 저항오차를 제거할 수 있다는 장점이 있으므로 낮은 저항값을 측정하는데 매우 유효한 방법이다. 측정전류의 크기는 IEC 62305-3(2010)에서 $10[A]$ 를 권장하고 있지만 본 연구에서는 $5A$ 를 사용하였다. 그 이유는 측정에 사용된 전기저항측정기기(마이크로 옴미터, Model 5895, Tinsley사, 0.1 정확도/ $100[\mu\Omega]$ 해상도)의 특성에 의한 것으로 이 기기는 측정전류가 $1\sim 5[A]$ 범위의 측정값 영역에서 가장 정확한 측정값을 제공하고 있기 때문이다.

인하도선으로 활용하기 위한 철근콘크리트구조물의 전기 및 기계적 소요 특성에 대한 실험적 검증

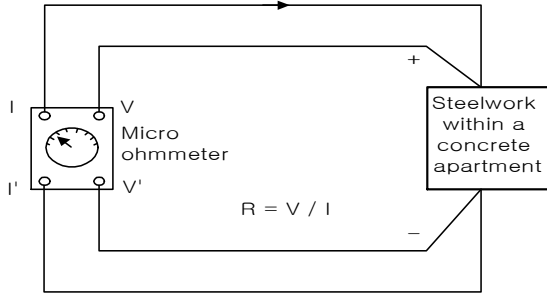


그림 1. 철근구조체 전기저항 측정법의 개념
Fig. 1. Resistance measurement of Steelwork



그림 2. 측정대상 철근콘크리트 아파트 일례
Fig. 2. Apartment for Resistance Measurement



그림 3. 측정에 사용된 정밀저항측정기
Fig. 3. Micro Ohm-meter used to measure the resistance of the steelwork.

2.3 측정 결과 및 평가

철근콘크리트구조형식의 공동주택 철근구조체에 대한 전기저항을 측정한 결과는 표 1과 같다.

측정값들은 대체적으로 층수가 높아짐에 따라 전기저항이 선형적으로 증가되고 있으므로 측정값이 타당성을 갖고 있다고 판단할 수 있다.

측정결과에서와 같이 철근구조체들은 전기저항 값

들이 0.2[Ω] 이하로 측정됨으로서 IEC 62305-3(2010)에 의하여 전기적 연속성을 갖고 있는 것으로 평가할 수 있다. 그러나 건축물 구조체는 다양한 형태와 크기를 갖고 있어 본 측정결과가 모든 철근구조체 건축물의 전기적 연속성에 대한 특성을 대표한다고 단정 짓기는 어렵다고 판단된다. 전기저항은 선형특성이 있으므로 10층 건물의 철근구조체 평균 전기저항값을 0.04[Ω]으로 가정할 경우 50층까지의 철근구조체 저항은 0.2[Ω]으로 계산된다.

따라서 50층을 초과하는 건물에서는 철근구조체를 인하도선으로 사용할 경우 전기저항이 0.2[Ω]을 초과하게 되므로 낙뢰전류의 원활한 흐름을 확보할 수 있는 보완적인 대책이 필요한 것으로 분석된다.

표 1. 공동주택 철근구조체의 전기저항 측정값
Table 1. Steelwork resistance of reinforced concrete apartments

	층수	건물 크기[m]			전기저항 [Ω]
		폭	길이	높이	
건물 1	6	49	12	19	0.01
건물 2	7	25	12	21	0.02
건물 3	7	26	12	21	0.02
건물 4	10	25	13	29	0.02
건물 5	11	26	12	31	0.02
건물 6	11	46	12	31	0.03
건물 7	13	47	12	37	0.03
건물 8	13	47	12	37	0.03
건물 9	14	47	12	40	0.05
건물 10	19	34	12	32	0.04

3. 철근구조체의 임펄스 내구성 평가

3.1 철근구조체의 내구성 평가의 개요

외부피뢰설비가 설치되지 않았을 경우 건축구조물에 직격뢰가 발생되어 콘크리트 구조체가 파손되는 사례가 많이 보고되고 있다[2-4].

국제표준에서 건축물의 철근구조체를 인하도선으로 사용하도록 할 경우, 낙뢰전류가 흐르는 철근들의 접속에서는 낙뢰전류의 원활한 흐름을 보장할 수 있는

전용 접속자재의 사용을 권장하고 있다[10]. 그것은 철근구조체에 직격뢰가 발생되면 모든 철근들에서 낙뢰전류가 흐를 수 있으며 이때 철근들이 불완전하게 접속된 경우에는 콘크리트가 파손될 수 있기 때문이다.

이러한 현상을 확인하기 위하여 철근들이 불완전하게 접속된 상태의 콘크리트구조체 내구성에 대한 실험적 연구들이 외국에서 다수 선행되었다[2-4]. 그러나 이러한 연구결과들이 건축에서 사용되는 시공기술, 재료, 환경 및 문화가 다른 국내의 건축환경에도 동일하게 적용될 수 있다고 단정하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 국내의 건축물 특성을 기반으로 철근구조체에 낙뢰전류가 흐를 때 철근접속이 내장된 콘크리트의 내구성을 실험적으로 평가하였다.

3.2 철근구조체의 시료 제작

공동주택의 철근구조체에서는 일반적으로 직경이 10[mm] 또는 13[mm]인 철근들이 사용되고 있다[그림 4]. 이러한 철근들은 굵기가 비교적 작은 철근들로서 용접 접속하면 철근들의 강도저하가 우려되므로 용접 접속을 배제하고 있다. 따라서 국내에서는 굵기가 작은 철근들은 금속결속선을 사용하여 철근들을 접속하고 있다. 철근들을 접속할 경우에는 약 40[cm] 이내로 철근들을 중첩시키고 이들을 그림 4와 같이 금속으로된 결속선으로 결합시킨다. 그러나 이 접속방식은 전기적 및 기계적으로 불완전하게 철근들이 접속될 가능성이 높다



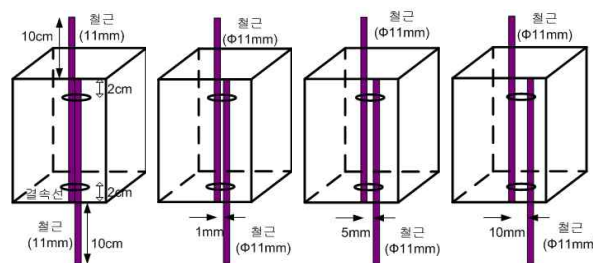
(a) 철근구조체 (b) 철근접속 사례

그림 4. 철근구조체와 철근접속 사례
Fig. 4. Steelwork and Connection of steel bars

철근들이 전기적으로 불완전하게 접속된 상태에서 큰 낙뢰전류가 흐르면 전자기계력에 의해 콘크리트가 파손될 수 있다. 이러한 현상을 검증하기 위하여 [그림 5]와 같이 서로 공극이 다르게 철근들을 불완전하게 접속하고 콘크리트를 타설하고 양생하여 다양한 시료를 만들었다. 이러한 시료의 양단 철근에 임펄스전류를 부가하여 철근콘크리트의 낙뢰전류에 대한 내구성을 평가하였다.

각 시료들은 [그림 5]와 같이 철근들끼리의 공극이 각각 0[mm], 1[mm], 5[mm], 10[mm]인 상태가 되도록 금속결속선으로 고정하고, 이들을 제작된 나무상자에 넣고 콘크리트를 부어 양생시켰다[그림 6]. 철근 콘크리트 시료의 크기는 동일하게 20×20×20[cm]로 제작하였으며 사용된 철근들의 지름은 모두 11[mm] 이다.

일반적으로 국내의 공동주택 외벽의 두께에 대한 설계기준은 중저층(20층 이하)인 경우는 20[cm], 고층(20층 초과)인 경우에는 30[cm]이기 때문에 이에 근거하여 시료의 크기를 20[cm]의 정방형으로 결정하였다.



a) 0 (mm) (b) 1(mm) (c) 5(mm) (d) 10(mm)

그림 5. 제작된 시료의 개요
Fig. 5. Test Specimens

각 시료들은 제작 후 20일 동안 콘크리트를 양생시켰으며 강도는 28[N/mm²]로 측정되었다. 이는 국내 건축콘크리트강도 기준치인 24[N/mm²]를 초과하는 강도이므로 시료로서 적합하다고 할 수 있다. 각 시료들의 철근 양단에는 임펄스전류발생기를 이용하여 다양한 크기의 임펄스를 부과하여 기계적 강도를 관찰하였다[그림 7]. 실험에 사용된 임펄스전류발생기는 HIGH VOLT사(독일)의 제품으로서 충전전압(Charging voltage)은 100[kV](축적에너지(stroed

인하도선으로 활용하기 위한 철근콘크리트구조물의 전기 및 기계적 소요 특성에 대한 실험적 검증

energy) : 250[kJ])이며 2[mΩ] 부하에서 10/350[μs] 파형을 발생시킬 수 있는 성능을 갖는다.



그림 6. 시료의 제작 과정
Fig. 6. Production of Test Specimens



(a) 제작 완료된 시료 (b) 임펄스전류발생기

그림 7. 시료들과 임펄스발생기
Fig. 7. Specimens and Impulse Generator

3.3 실험 결과 및 평가

각각의 시료에 다양한 크기의 임펄스전류를 부가하였을 때 표 2 및 그림 8과 같이 불완전한 철근 접속을 갖는 철근콘크리트 시료는 임펄스전류에 의해 파손되었다.

금속 결속선으로 접속되었더라도 공극이 없이 접속된 경우에는 임펄스전류가 가해지더라도 콘크리트의 파손이 발생되지 않는 것으로 나타났다. 즉 철근구조체를 인하도선으로 활용하기 위해서는 철근들의 접속이 완전하게 이루어지도록 접속하여야 한다는 것이 실험결과에서 보여주고 있다.

이러한 실험결과에 따라 철근구조체를 인하도선으로 사용하기 위해서는 보완적인 조치가 필요하다. 철근구조체 중에서도 건물외벽에 시공되는 철근들은 창문 등이 설치되지 않으므로 연속성이 양호하고 기계적으로도 강한 내구성을 갖고 있다. 따라서 외벽의 수직철근과 수뢰부를 접속하여 외벽의 철근에 대부분의 낙뢰전류가 흐르도록 유도하는 것이 바람직하다. 이때 피뢰시스템의 수뢰부와 연결되는 지점과 낙뢰전류

표 2. 시료들에 대한 임펄스 실험 결과
Table 2. Summary of Impulse Test

전류	50[kA]	75[kA]	100[kA]
공극			
(a) 0[mm]	이상없음	이상없음	이상없음
(b) 1[mm]	부분파손	전체파손	전체파손
(c) 5[mm]	이상없음	전체파손	전체파손
(d) 10[mm]	이상없음	전체파손	전체파손

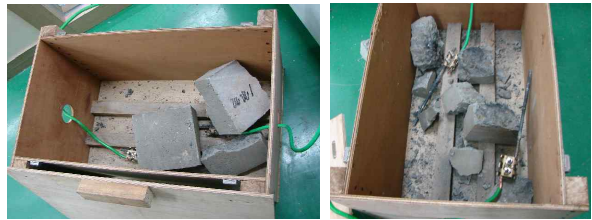


그림 8. 임펄스 실험 결과
Fig. 8. Results after Impulse for Specimens

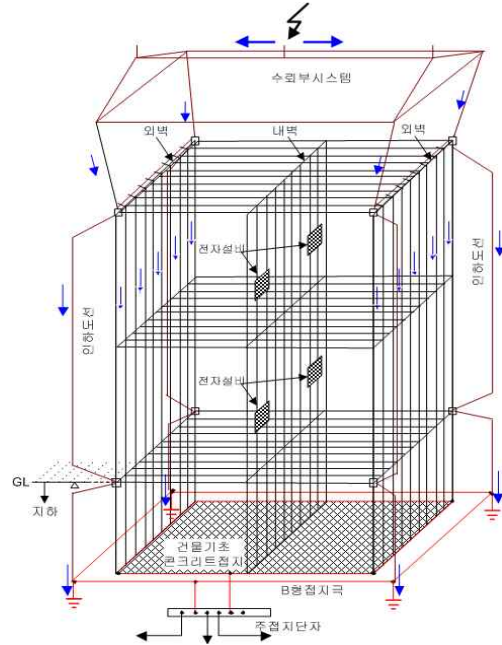


그림 9. 제안된 철골구조체 이용 인하도선 시스템
Fig. 9. Proposed Down-conductor system using steelwork in reinforced concrete apartments

가 주로 흐르게 되는 수직 철근들에 대해서는 전용의 접속자재를 사용하여 충분한 전자기계적 강도를 확보할 필요성이 있다.

그러나 철근들의 접속점마다 전용의 접속자재를 사용

하는 방법은 시공성이 저하되고 공사비의 상승을 초래하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 그림 9와 같이 철근구조체에 다수의 전용 인하도록선을 외벽에 설치하여 철근구조체와 병행하게 설치하여 시공성을 높이고 확실한 낙뢰전류의 경로를 확보하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이때 철근구조체는 인하도록선으로서의 역할 뿐만 아니라 건물전체에 대하여 자연적으로 등전위와 차폐효과를 제공하기 때문에 낙뢰로부터 전자기기의 피해나 인축의 손상을 최소화 할 수 있게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 공동주택의 철근구조체를 대상으로 전기적 연속성과 임펄스전류에 대한 철근콘크리트의 내구성을 실험적으로 평가하였다.

공동주택의 철근구조체는 낮은 저항값으로 전기적 연속성을 갖는 것으로 확인되었지만, 철근들이 전기적으로 불완전하게 접속되면 철근콘크리트들이 임펄스전류에 의해 파손된다는 사실을 확인하였다.

따라서 공동주택의 철근구조체를 인하도록선으로 활용하기 위해서는 전기적으로 연속성으로 갖더라도 낙뢰전류가 주로 흐르게 되는 철근들의 접속을 강화하여 기계적 내구성을 높여야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 특히 수뢰부와 접속되는 부분에서의 철근구조체는 다른 부분에 비해 강한 기계적 강도를 가져야 한다.

또한 철근구조체의 전기적 연속성을 측정하는 것은 공간적 문제에 의해 오차가 발생할 수 있고 현장 여건 상 곤란한 경우가 많이 있다. 따라서 철근구조체의 전기저항을 간단하고 정확하게 측정할 수 있는 추가적인 연구가 요구된다.

본 연구에서는 단시간 뇌격임펄스만을 가지고 철근콘크리트의 내구성 실험을 하였다. 이는 낙뢰의 장시간 뇌격특성을 반영하지 못하고 있으므로 장시간 뇌격에 대한 철근콘크리트 구조체의 기계적 내구성을 평가하기 위한 추가적인 연구도 추진되어야 할 것이다.

본 연구는 지식경제부 에너지기술평가원의 지원을 받아 토지주택연구원에서 수행하였습니다.
(과제번호. 2010 1020 300 230)

References

- [1] IEC 62305-3, Protection against lightning-Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- [2] Sueta, Helió Eiji, Burani, Geraldo Francisco, Experimental verifications on the use of natural components of structures as part of a LPS, 28th ICLP, Ganazawa-Japan, pp. 634-639, 2006.
- [3] A. Lammert, J. Meppelink, Effect of a direct stroke into the reinforced concrete, 27th ICLP, Avignon-France, 2004.
- [4] D. Kokkinos, N.Kokkinos, Effect of direct lightning strike in the down conductors embedded into the reinforcement, 28th ICLP, Ganazawa-Japan, pp.1304-1309, 2006.
- [5] Leite D.M, Kameyama F.H. Use of the concrete reinforcing steel as natural coponents of external Lightning Protection System: Laboratory Investigations. 20th ICLP, Interlaken-Switzerland. 1992.
- [6] K.-H. Lee, J.-B.Lee, S.-H. Chang, Evaluation of steelwork continuity and review of utilizing steelwork as a down-conductor in reinforced concrete apartment structures, 28th ICLP, Ganazawa-Japan, pp. 640-643, 2006.
- [7] Ki-hong Lee, Taik-sueb Lee, Oun-seok Kim, Evaluation of steelwork continuity within reinforced concrete apartment structures, 3rd International Workshop on Electrical Installations, Japan, pp. 399-401, 2005.
- [8] R. Markowska, S. W. sowa, L. Augustyniak, Current Distribution Investigation on the Building Lightning Protection Systems. 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, pp. 203-206, 2008.
- [9] EN 62305-3, Protection against lightning-Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- [10] EN 50164-1, Lightning protection components(LPC)-Part 1: Requirements for connection components.

◇ 저자소개 ◇



이기홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988년 충남대 공대 전기공학교육과 졸업. 1990년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원. 한국조명전기설비학회 편수이사. IEC TC 81 MT 8 국제전문위원(Member). IEC TC 37/SC 37A WG 3.4.5 국제전문위원(Member). IEC TC 37 국내 전문위원회 위원장. IEC TC 64 & 81 국내 전문위원. APL(아시아태평양 낙뢰 컨퍼런스) 한국위원장. APEI(아시아태평양 전기설비 컨퍼런스) 한국위원장.

E-mail : lkh21@lh.or.kr