

철제구조 교량의 전식영향 연구

°하태현, 이현구, 배정호, 김대경,
한국전기연구원

A Case Study on the AC Corrosion Effects for Bridges of Metallic Structure

°Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Jeong-Hyo Bae, Dae-Kyeong Kim
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract - In general, when power lines, D/L and T/L are running parallel with bridge of metallic structure or crossing each other, AC corrosion is occur due to AC interference. This paper presents the results of AC interference mechanism, decision criteria of AC interference, and AC corrosion effects by analysis of AC induction voltage on pier and abut of bridge.

1. 서 론

일반적으로 철제구조로 제작된 교량이 송·배전선로와 경과지를 공유하거나, 또는 근접 병행하는 경우에 교류 간섭에 의한 전식의 발생 가능성이 있다.

국내에서는 직류간섭에 비해 교류간섭이 미미하다는 이유로 교류간섭에 대한 연구와 대책마련에 대해 관심이 적었다. 그러나 외국의 경우, 1970년대 말부터 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있으며, 현재 각각의 시설물에 대하여 상호 간섭을 고려한 설계와 시공이 이루어지고 있을 정도로 많은 연구와 기술의 현장적용이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 교류 간섭의 발생 매커니즘을 검토하고, 철제구조의 교량이 송·배전선로와 근접하여 있는 경우 교류전식의 판정기준 및 교류유도전압해석에 의한 전식의 영향을 검토한 결과를 기술하고자 한다.

2. 교류간섭

2.1 교류간섭의 종류

교류 간섭이란 송·배전선로 등에 흐르는 교류에 의해 형성된 전계 또는 자계의 영향으로 인근 금속구조물에 전압 또는 전류가 유도되어 인체의 안전 및 시스템의 안정성에 위해를 끼치는 현상을 말한다. 교류 간섭은 발생 매커니즘에 따라 용량성 유도 간섭, 유도성 유도 간섭 및 저항성 유도 간섭의 3가지가 있다.

2.1.1 용량성 유도 간섭

용량성 유도 간섭(Electrostatic Induction Interference)은 전력선 등의 교류 전압에 의해 형성된 전계(Electric Field)의 영향으로 인근 도체에 전위(Potential)를 발생시키는 현상을 말한다.

2.1.2 유도성 유도 간섭

유도성 유도 간섭(Electromagnetic Induction Interference)은 전력선으로부터의 고장전류 또는 상시 운전전류에 의해 전력선 주위에 형성된 자계(Magnetic Field)의 영향으로 인근 도체에 전위가 발생하는 현상을 말한다.

2.1.3 저항성 유도 간섭

저항성 유도 간섭(Resistive Induction Interference)은 전기적인 접촉이나 아크 또는 고장전류 혹은 토양 내부의

표유전류에 의해 형성된 지역적인 전위 경도에 의해 인근 도체에 전위가 발생하는 현상을 말한다.

2.2 교류간섭의 영향

송·배전선로와 경과지를 공유하거나, 또는 근접 병행하는 교량에 대해 교류 간섭에 의한 전식 관점에서 영향을 검토하면,

- ① 용량성 유도 간섭에 의한 영향은 교량이 접지된 교각이나 교대에 연결되어 있으므로 무시할 수 있으며,
- ② 저항성 유도 간섭은 송·배전선로의 지락전류에 의한 순간적인 대지전위 상승에 의한 영향을 들 수 있으나 장기적인 교량의 전식 관점에서는 영향이 적으므로 무시할 수 있으며,
- ③ 유도성 유도 간섭은 송·배전선로의 상시 전류에 의해 교량에 유도된 전압에 의해 교량과 연결된 교각 및 교대 중 지중에 매설된 콘크리트 내 철근의 전식을 일으킬 가능성이 있다.

따라서 본 논문에서는 유도성 유도 간섭을 중심으로 시스템의 안정성 측면에서 교류 유도 전압 해석 및 고찰을 하고자 한다.

2.3 금속구조물의 교류전식 판정기준

교류 전식의 판정 기준은 현재까지 표준화 된 것은 없으나 대략 Heim과 Prinz가 제시한 표 1과 같은 실험치를 인용하는 것이 일반적이다.[1,2]

따라서 본 용역의 경우에는 교량에 유도된 전압에 의해 교각 및 교대를 통해 흐르는 교류전류밀도가 $20(A/m^2)$ 를 초과하면 교각 및 교대의 전식 발생 가능성이 있다고 판단할 수 있다.

3. 교류유도전압 해석

3.1 해석 프로그램

송·배전선로를 통해 흐르는 전류에 의해 인접한 금속구조물에 유도되는 전압을 해석하는 방법에는 유한요소법(FEM: Finite Element Method)과 경계요소법(BEM: Boundary Element Method) 등과 같은 수치해석법을 이용하는 방법과 절점망 해석법(Nodal Network Analysis)이 있다.

수치해석법의 경우 송·배전선로와 금속구조물 사이의 병행거리가 길어질 경우 컴퓨터 성능, 시간에 많은 제약이 따르며 정확한 해석이 어렵다. 이에 반해 π 형 집중 등가회로 임피던스 행렬을 이용하는 절점망 해석법은 적은 시간으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 송·배전선로에 의해 금속구조물에 유도되는 전압을 계산하는데 많이 활용되고 있다. 따라서, 본 용역에서는 절점망 해석법을 이용하여 전력계통에 의한 교류간섭을 해석하는 프로그램인 CONIND™와 접지해석 프로그램인 KWIKGRID®라는 상용 프로그램을 이용하여 유도전압을 해석하였다.

CONIND™는 금속구조물의 간섭 해석용 프로그램으로써 가공 송·배전선로와 병행하는 교량의 금속구조물에

유도되는 전압을 계산하는데 사용되며, KWIKGRID[®]은 접지해석 프로그램으로써 교각의 접지저항을 계산하는데 사용된다.(3, 4)

[4] CONIND[™] Reference Manual, Ground-it.com Consulting Ltd., April 10, 2000

3.2 해석 상점조건

CONIND[™]와 KWIKGRID[®]를 사용하여 아래와 같은 조건으로 유도전압을 해석하였다.

- ① 그림 1에서 교량과 병행하는 345kV 송전선로와 22.9kV 배전선로에 흐르는 전류는 사용전선(ACSR 480(mm²), AL OC 160(mm²))의 허용전류 값인 917[A], 455[A]를 각각 사용하여 해석하였다.
- ② 토양비저항 값은 Wenner Method로 실측한 값을 이용하여 2-Layer로 환산한 223($\Omega \cdot m$)를 사용하였다.
- ③ 교각과 교대의 접지저항은 KWIKGRID[®] 프로그램을 활용하여 해석한 결과를 사용하였다. 근사적으로 532개의 철근을 연결한 교각 기초를 모델링하여 계산한 접지저항은 7.9802(Ω)이었다.
- ④ 교량을 해석하기 위해 사용된 파라미터를 표 2에 요약하였다.
- ⑤ 교류유도전압에 의한 전식의 발생은 주로 지중에 매설된 금속표면에서 발생한다. 따라서 지하에 매설된 교각 및 교대의 콘크리트 내 철근이 전식의 대상이 되며, 전식 대상인 철근의 표면적 계산은 다음과 같이 하였다.
교각의 철근 표면적은 Footing(6.5×6.5(m))의 철근 표면적 187.642(m²)과 단위길이당 Column의 철근표면적 24.542(m²)×매설깊이(m)의 합으로 계산하였다.
교대의 철근 표면적은 교대 대부분(약 90%)이 토양에 매설되므로 교대의 총 철근 표면적 546.506×0.9=491(m²)을 사용하였다.
- ⑥ 송·배전선로와 교차하는 방향으로 위치한 TJ 2교, RAMP-B교 및 RAMP-F교는 유도전압이 발생하지 않기 때문에 해석대상에서 제외하였다.

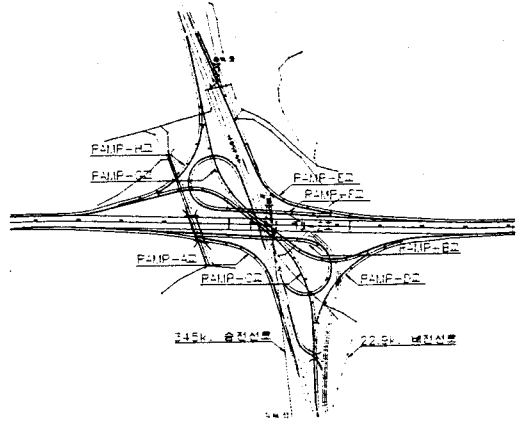


그림 1. 교량과 송·배전선로의 경과도

표 1. 교류 전류 밀도에 따른 전식 가능성

교류 전류 밀도	전식 가능성
20[A/m ²] 미만	영향 무시
20[A/m ²] ~ 100[A/m ²]	전식 가능성 존재
100[A/m ²] 이상	전식 발생

표 2. 교량 해석에 사용된 파라미터

파라미터	기 호	입력값
교량철관두께		12(mm)
모 의 직 경		2,500(mm)
금속 투자율	mu	300
금속 비저항	ρ	0.17($\mu\Omega \cdot m$)
코팅 저항	Rcoat	1,000($k\Omega \cdot ft^2$)
코팅 투자율	coat_perm	2.3

3.3 해석 결과

한국전력공사 송·배전선로와 병행하는 교차로의 각각의 교량에 유도되는 전압과 교량의 전식 대상 표면적을 이용하여 교각/교대에 흐르는 교류전류밀도의 해석결과를 표 3에 나타내었다. 해석결과, 교류전류밀도의 최대치는 RAMP-E교의 교대 REA2에서 1.8×10^3 [A/m²]로 나타났다.

4. 결 론

송·배전선로와 근접 병행하는 철제구조의 교량에 대해 교류간섭 해석 프로그램인 CONIND[™]와 접지 해석 프로그램인 KWIKGRID[®]를 사용하여 해석한 결과, 표 4에서와 같이 교류유도전압에 의한 교류전류밀도의 최대치가 1.8×10^3 [A/m²]로서 제한치인 20[A/m²]보다 상당히 낮게 계산되었다. 따라서 현재에는 시스템의 안정성 측면에서 별도의 대책을 세우지 않아도 될 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. Heim, Th. Heim, H. Heinzen and W. Schwenk, "Investigations of Corrosion of Cathodically Protected Steel Subjected to Alternating Currents", 3R International 32, Issue 5, pp. 246-249(in German), 1993
- [2] W. Prinz, "AC Induced Corrosion on Cathodically Protected Pipelines", UK Corrosion '92, Vol. 1, 1992
- [3] KWIKGRID[®] Reference Manual, Ground-it.com Consulting Ltd., March 11, 2001

표 3. 교량의 교류유도전압 및 교류전류밀도 계산결과

교량명	교각/교대 번호	교류유도전압 (V)	교류전류 [A]	교류전류밀도 [A/m ²]
RAMP-A교	RAA1	0.174	0.022	4.5×10^{-5}
	RAP1	0.117	0.015	5.4×10^{-5}
	RAP2	0.020	0.003	1.1×10^{-5}
	RAA2	0.272	0.034	2.2×10^{-4}

표 3. 교량의 교류유도전압 및 교류전류밀도 계산결과
(계속)

교량명	교각/교대 번호	교류유도전압 [V]	교류전류 [A]	교류전류밀도
				[A/m ²]
RAMP-C교	RCA1	0.842	0.106	2.2×10^{-4}
	RCP1	0.688	0.086	3.3×10^{-4}
	RCP2	0.471	0.059	2.3×10^{-4}
	RCP3	0.228	0.029	9.7×10^{-5}
	RCP4	0.153	0.019	6.6×10^{-5}
	RCP5	0.923	0.116	3.5×10^{-4}
	RCP6	0.443	0.056	1.7×10^{-4}
	RCP7	0.213	0.027	7.6×10^{-5}
	RCP8	0.139	0.017	5.1×10^{-5}
	RCP9	0.139	0.017	4.6×10^{-5}
RAMP-D교	RCA2	0.138	0.017	3.5×10^{-5}
	RDA1	0.285	0.036	7.3×10^{-5}
	RDP1	0.134	0.017	6.5×10^{-5}
	RDP2	0.007	0.001	3.8×10^{-6}
	RDP3	0.071	0.009	3.4×10^{-5}
	RDP4	0.118	0.015	3.9×10^{-5}
RAMP-E교	RDP5	0.118	0.015	5.7×10^{-5}
	RDA2	0.118	0.015	3.1×10^{-5}
	REA1	0.205	0.026	5.3×10^{-5}
	REP1	0.205	0.026	7.7×10^{-5}
	REP2	0.166	0.021	7.0×10^{-5}
	REP3	0.160	0.020	6.2×10^{-5}
	REP4	0.383	0.048	1.6×10^{-4}
	REP5	0.495	0.062	2.0×10^{-4}
RAMP-G교	REP6	0.313	0.039	1.5×10^{-4}
	REP7	0.185	0.023	8.8×10^{-5}
	REP8	0.532	0.067	2.5×10^{-4}
	REA2	0.892	0.112	1.8×10^{-3}
	RGA1	0.743	0.093	1.9×10^{-4}
	RGP1	0.592	0.074	2.5×10^{-4}
	RGP2	0.395	0.049	1.8×10^{-4}
	RGP3	0.213	0.027	8.4×10^{-5}
	RGP4	0.021	0.003	9.1×10^{-6}
	RGP5	0.314	0.039	1.2×10^{-4}
RAMP-H교	RGP6	0.734	0.092	2.8×10^{-4}
	RGP7	0.248	0.031	1.0×10^{-4}
	RGP8	0.171	0.021	5.7×10^{-5}
	RGP9	0.171	0.021	5.5×10^{-5}
	RGA2	0.171	0.021	4.3×10^{-5}
	RHA1	0.237	0.030	6.1×10^{-5}
RAMP-H교	RHP1	0.099	0.012	4.0×10^{-5}
	RHP2	0.011	0.001	3.8×10^{-6}
	RHP3	0.081	0.010	3.8×10^{-5}
	RHP4	0.081	0.010	3.4×10^{-5}
	RHP5	0.081	0.010	3.1×10^{-5}
RHA2	0.081	0.010	2.0×10^{-5}	

표 4. 교량의 전식 영향 평가 결과

교량명	교류전류밀도 [A/m ²]		전식 영향
	제한치	계산치	
TJ 2교	20	-	없음
RAMP-A교	20	2.2×10^{-4}	없음
RAMP-B교	20	-	없음
RAMP-C교	20	3.5×10^{-4}	없음
RAMP-D교	20	7.3×10^{-5}	없음
RAMP-E교	20	1.8×10^{-3}	없음
RAMP-F교	20	-	없음
RAMP-G교	20	2.8×10^{-4}	없음
RAMP-H교	20	6.1×10^{-5}	없음

※ TJ 2교, RAMP-B교 및 RAMP-F교는 송·배전선로와 교차하는 방향으로 위치하여 유도전압이 발생하지 않기 때문에 해석대상에서 제외