

### 전력케이블과 가스배관의 병행구간에 대한 교류부식 영향 검토 연구

°배정호\*, 김대경\*, 하태현\*, 이현구\*, 곽방명\*\*, 임재중\*\*  
한국전기연구소\*, 한국전력공사\*\*

## The Study on the AC Interference of High Power Cable on Underground Gas Pipeline

°J.H. Bae\*, D.K. Kim\*, T.H. Ha\*, H.G. Lee\*, B.M. Kwak\*\*, C.J. Lim\*\*  
KERI\*, KEPCO\*\*

**Abstract** - Because of the continuous growth of energy consumption, and also the tendency to site power lines and pipelines along the same routes, the close proximity of high voltage structures and metallic pipelines has become more and more frequent. Moreover, normal steady state and fault currents become higher as electric networks increase in size and power. Therefore, there has been and still is a growing concern(safety of people marking contact with pipeline, risk of damage to the pipeline coating, the metal and equipment connected to pipeline, especially cathodic protection system) about possible hazards resulting from the influence of high voltage power system on metallic structures(gas pipeline, oil pipeline and water pipeline etc.).

Therefore, we analyze the interference problems when the gas pipeline is buried with power cable in the same submarine tunnel. This paper present the results of the study about interference mechanism, AC corrosion, limitation of safety voltage and analysis of induction voltage.

Key Word : AC Interference, Induction, Conduction

### 1. 서론

도심지역에 필요한 에너지의 대부분은 주로 전기, 가스 및 온수의 3 가지 형태로 공급되고 있다. 이러한 에너지를 제한된 공간 내에서 공급할 때 필수적으로 수반되는 문제가 각 시설물 사이의 간섭 문제이다.

간섭은 크게 직류간섭과 교류간섭의 2가지로 분류할 수 있다. 즉, 주로 지중으로 건설되는 가스 배관과 열 배관 또는 기타 배관 사이의 방식전류에 의한 직류간섭도 문제이지만, 가공 전력선 또는 지중 전력선과 기타 지중 배관 사이의 교류간섭이 배관 및 배관 작업자의 안전성 측면뿐만 아니라 최근에 문제가 되고 있는 교류부식의 관점에서 큰 문제로 부각되고 있다.

시설물 사이에 어느 정도의 상호 이격거리가 확보 가능했던 과거에는 이 이격거리를 충분하게 정하여 엄격히 준수하는 것이 일반적이었으나, 최근에는 사용 가능한 공간이 점점 줄어들어 따라 여쩔 수 없이 최소한의 이격거리를 규정하고 있으며, 이마저도 양 당사자간의 합의에 따라 적절한 보호 조치와 함께 이격거리를 더욱 줄이고 있는 실정이다.

이 글에서는 교류간섭의 종류, 우리 나라 및 외국에서

적용하고 있는 교류간섭의 제한 범위를 알아보고, 아울러 국내의 해저터널의 전력케이블과 가스배관이 병행할 경우, 교류부식에 대한 영향·검토한 결과를 제시하고자 한다.

### 2. 교류 간섭 종류

교류간섭은 간섭의 지속시간을 기준으로 나누거나, 또는 간섭의 메카니즘 별로 나눌 수 있다. 즉, 간섭의 지속시간을 기준으로 나누면, 주로 지속시간이 0.5초 이내인 단기 간섭(Short-Term Interference)과 지속시간이 0.5초 이상인 장기 간섭(Long-Term Interference)으로 나눌 수 있으며, 간섭의 메카니즘 별로 구분하면 다음과 같다.

- 용량성 간섭(Electrostatic Interference)
- 저항성 간섭(Resistive Interference)
- 유도성 간섭(Electromagnetic Interference)

### 3. 교류부식

#### 3.1 교류부식 개요

1980년대 중반까지도 교류가 강(鋼)의 부식의 원인이 될 수는 있지만 부식률은 직류에 비해서 아주 적을 뿐만 아니라, 전기방식설비를 갖추면 완벽하게 부식을 방지할 수 있다고 알려졌다.

그러나 Kulman은 염화나트륨, 황산나트륨, 50[Hz], 100[A/m<sup>2</sup>] 조건의 실험에서 강의 AC부식률은 0.4[mm/a](16[mpy])로 나타났으며, 1000[Ω-cm]의 토양, AC 10[V], 코팅 배관의 2.5[cm] 직경의 코팅결함부가 발생할 때에 부식이 발생하였다고 보고하고 있다.

Bruckner는 60[Hz], steel, 4종류의 토양, 75~750[A/m<sup>2</sup>]의 조건에서 실험을 통해 부식률은 전류밀도의 증가에 따라 2~6배까지 증가한다고 했다.

독일에서는 16-2/3[Hz]의 15kV AC전원 레일시스템과 병행하는 1980년에 준공된 폴리에틸렌 코팅이 된 배관의 두 곳에 부식에 의해 구멍이 발생했다. Prinz는 부식원인을 단상 전철시스템(single phase traction system)으로부터 유입된 교류전류라고 보고했다. 그러나 그곳의 instand-off 전위는 -1.0V(sce) 였으며, 부식 생성물의 pH는 10이었다. 즉, 6년 동안 독일 DIN 30676 표준 음극방식기준인 -0.850(V/CSE)을 만족시키도 불구하고 0.8[mm/a]의 부식률로 부식이 진행되었다는 것이다.

1987년 스위스에도 16·2/3[Hz]의 전철선과 병행하는 폴리에틸렌 코팅된 천연가스 배관이 교류에 의해 부식이 발생하였다.

1993년 프랑스, Ragault에서도 400[kV], 50[Hz]

의 원전선과 3[km] 동안 병행하는 6[km]의 폴리에틸렌 코팅된 100[mm] 직경 배관의 31군데에서 AC부식을 발견했다고 보고했다.

북미, 캐나다에서도 Wakelin에 의해 매설한지 4년밖에 되지 않은 배관이 교류부식에 의해 평균 부식률이 1.4[mm/a]였다고 보고되었다.

따라서 상기와 같이 교류부식은 초창기에는 직류에 비해 부식률이 매우 낮다고 무시되었으나, 최근 그 중요성이 부각이 되고 있어 이에 대한 연구가 활발해지고 있는 추세라고 할 수 있다.

### 3.2 교류 전류밀도에 따른 부식률

Helm와 Pinz는 실험결과 교류 전류밀도에 따른 부식 가능성을 아래와 같이 정리하였다.

- 20[A/m<sup>2</sup>] 미만 : Probably no risk
- 20~100[A/m<sup>2</sup>] : Difficult to predict, but likely to be happen
- 100[A/m<sup>2</sup>] 이상 : Corrosion

Gustav Peez도 20~100[A/m<sup>2</sup>]에서의 부식률이 1.3[mm/a]라고 보고하였으며, Hartmann은 현장조사 보고서에서 모래층의 토양비저항이 20,000[Ω·cm], 코팅손상부 면적이 74~165[A/m<sup>2</sup>]조건에서 6개월에서 2년된 배관의 부식률이 0.4[mm/a]라고 보고함으로써 Helm와 Pinz의 주장을 증명하였다.

### 3.3 코팅결합부의 영향

AC부식률은 AC전류밀도와 직접적으로 관계가 있는 것으로 나타나기 때문에 AC부식에서 코팅결합부의 크기와 토양비저항은 아주 중요한 요소가 된다.

Peez와 Prinz는 코팅결합부의 면적에 따른 부식성을 아래와 같이 정리하였다.

- 1[cm<sup>2</sup>] 이하: No corrosion probably because of high resistance
- 1~3[cm<sup>2</sup>] : Corrosion
- 3[cm<sup>2</sup>] 이상: No corrosion probably because of low current density

### 3.4 교류부식 측면에서의 해석조건

상기의 내용을 종합해보면, 토양비저항이 낮고, 유도 전압이 높으며, 코팅결합부의 크기가 1~3[cm<sup>2</sup>]인 경우에 부식이 발생하였다. 즉, 유도 전압이 높고 토양비저항이 낮다는 것은 유출하는 전류의 밀도가 높다는 것을 의미하며, 이 유출 전류의 밀도가 20[A/m<sup>2</sup>] 이상이면 부식이 발생할 수 있어 부식 가능성은 매우 높다고 판단하는 것이 일반적이다.

따라서, 우리 나라의 경우 일반적인 토양에서 20[A/m<sup>2</sup>]의 전류가 흐를 수 있는 조건은 아래와 같다.

$$V \geq (\rho \cdot \pi \cdot d \cdot J) / 8 \text{ ----- (식 1)}$$

여기서, ρ : 토양의 저항률 100[Ω·m]

π : 3.14

d : 코팅 결합부의 직경 0.01[m]

J : 전류밀도 20[A/m<sup>2</sup>]

따라서 V ≥ 7.85[V]

즉, 우리 나라의 일반적인 환경(토양비저항 100[Ω·m])에서는 교류유도전압이 7.85[V] 이상이면 부식을 일으킬 가능성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

## 4. 유도전압 제한치

일반적으로 교류전압 혹은 전류에 의한 간섭은 인·축의 안전적인 측면과 시스템의 보안적인 측면이 고려되어야 한다. 이때 유도되는 시설물(가스배관)의 유도전압이 각각의 제한치를 넘지 않아야 된다.

### 4.1 인축의 안전

#### 4.1.1 정상상태

인축의 안전측면에서 지하배관에 정상상태에서 상시로 유도되는 교류전압에 대한 규정으로써 NACE International(National Association of Corrosion Engineers International)에서 발행한 RP0177-83 "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems"이 널리 사용되고 있다. 이 규정에서는 지하배관에 유도되는 교류전압의 크기를 15[V] 이내로 제한하고 있다.

#### 4.1.2 과도상태

인축의 안전측면에서 지하배관에 고장전류 등의 과도 상태에서 순간적으로 유도되는 교류전압에 대한 규정은 보통 허용전압이 587[V], 접촉 허용전압이 422[V]로 되어 있다.

## 4.2 시스템의 보안

### 4.2.1 정상상태

정상상태에서 상시로 유도되는 교류전압에 대한 시스템의 보안문제는 교류부식의 관점에서 해석되어야 하며, 교류부식은 직류부식에 의한 것 보다 심각하지 않다고 보고하고 있지만, 앞장의 교류부식에서 검토한 바와 같이 토양비저항이 100[Ω·m], 코팅결합부 직경이 0.01[m], 전류밀도가 20[A/m<sup>2</sup>]인 조건에서 유도전압이 7.85[V] 이상이 되면 부식이 일어 날 수 있는 것으로 검토되었다.

### 4.2.2 과도상태

정상상태에서 순간적으로 유도되는 교류전압은 코팅을 파괴시킬 수 있으므로 이에 대한 규정을 살펴보면, NACE에서 인용한 미국 전력연구소(EPRI : Electric Power Research Institute) 보고서에서 3~5[kV]로 규정하고 있으며 용융 결합 에폭시(Fusion Bonded Epoxy)인 경우에는 이 값보다 상당히 높다고 보고되고 있다.

상기 내용을 종합하면 <표 1>과 같이 정리할 수 있다.

<표 1> 유도전압 제한치

구분	대 상	유도 지속시간	규 정 치	비 고
간섭	Human Safety	Steady State	15[V]	NACE
		Transient State	587[V] 422[V]	IEEE Std 80, Step Voltage IEEE Std 80, Touch Voltage
	System Integrity	Steady State	7.85~39.25[V]	토양비저항: 100[Ω·m] 전 류: 20[A/m <sup>2</sup> ] 코팅손상크기: 1[cm <sup>2</sup> ]
		Transient State	3~5[kV]	EPRI

## 5. 해석 Tool

### 5.1 개요

전력케이블을 통해 흐르는 전류에 의해 지하에 매설된 배관에 유도되는 전압을 해석하는 방법에는 유한요소법(Finite Element Method)과 경계요소법(Boundary Element Method) 등과 같은 수치해석법을 이용하는 방법과 절점망 해석법(Nodal Network Analysis)이 있다.

수치해석법의 경우 전력케이블과 배관 사이의 병행거리가 길어질 경우 컴퓨터 성능, 시간에 많은 제약이 따르며 정확한 해석이 어렵다. 이에 반해 π형 집중 등가 회로 임피던스 행렬을 이용하는 절점망 해석법은 적은 시간으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 송·배전 선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 계산하는데

많이 활용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 절점망 해석법을 이용하여 전력계통에 의한 교류간섭을 해석하는 프로그램인 TACLINK®, CONIND™라는 상용 프로그램을 이용하여 유도전압을 해석하였다.

## 5.2 TACLINK®, CONIND™

TACLINK®는 절점망 해석용 프로그램으로써 해저터널 내부에서 송·배전선로에 의해 가스배관에 유도되는 전압을 계산하는데 사용되며, CONIND™는 배관의 간섭 해석용 프로그램으로써 가공 송·배전선로에 의해 지하에 매설된 가스배관에 유도되는 전압을 계산하는데 사용된다.

교류간섭 해석용 프로그램은 1979년 EPRI/AGA에서 수행한 "Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines"란 연구결과를 토대로 제작되었다. EPRI 연구의 기본방정식에서 얻어진 알고리즘을 사용한 해석프로그램이 꾸준히 출시되고 있으며, 위 프로그램은 토양비저항의 변화 및 고장전류가 흐를 경우 변전소 접지에 의한 토양전위 변화 등이 고려된 장점을 가진 최신 버전이다.

유도전압 해석에 사용된 프로그램 TACLINK®와 CONIND™의 개요는 <표 2>와 같다.

<표 2> 유도전압 해석에 사용된 프로그램의 개요

프로그램	TACLINK®, CONIND™
사용언어	C++
제조사	Ground-it.com Consulting Ltd.
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력선에 의한 지중 가스배관의 유도전압 해석</li> <li>- 유도성 결합(Inductive Coupling)</li> <li>- 도전성 결합(Conductive Coupling)</li> <li>- 토양비저항을 고려한 유도전압 해석</li> <li>- 다양한 상(相)배치에 따른 유도전압 해석</li> <li>- 전력선 고장 시 유도전압 해석</li> </ul>

## 6. 해석 상정조건

TACLINK®와 CONIND™를 사용하여 아래와 같은 조건으로 유도전압을 해석하였다.

### 6.1 시설물

- 가스배관 : 직경 30인치
- 전력케이블 : 154 kV 송전선로 2회선  
22.9kV 배전선로 3회선

### 6.2 병행거리

- 200m

### 6.3 파라메타 조건

- 해저터널 구간을 병행하는 154[kV] 송전선로 2회선의 상배열을 달리하여 가스배관에 유도되는 전압이 가장 작은 상배치를 결정하였으며, 유도전압이 최소인 상배치에 대하여 해저터널 병행구간의 송·배전선로 접지 유무에 따른 정상상태 및 고장상태를 해석하였다.
- 고장상태는 해저터널 양말단과 중앙에서 1선지락을 모의하여 고장전류가 흐를 때를 해석하였다.
- 또한 해저터널 구간 양단에서 가스배관을 절연했을 경우와 절연하지 않았을 경우를 비교하였다.

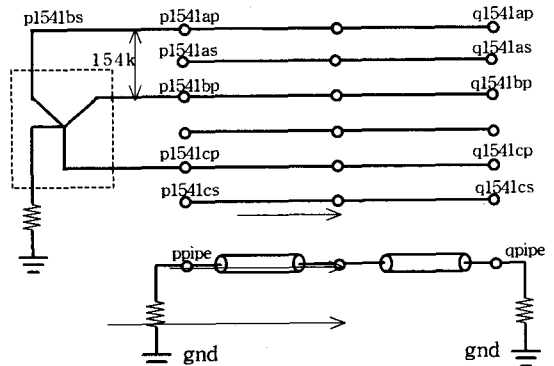
가스배관 등가회로 계산에 사용된 파라메타를 <표 3>에 요약하였다. 여기서, 토양비저항 값은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 100[Ω·m]를 입력하였으며, 가스배관 강의 상대투자율과 비저항은 각각 300과 0.17[μΩ·m]로 하였다. 그리고 코팅저항은 배관의 사용기간에 따라 1부터 1,000까지의 값을 가지며, 본 용역에서는 100[kΩ·ft²]로 하였다. 기타 GMR(Geometric Mean Radius)과 Rac 등의 전력케이블 도체 파라메타들은 EPRI에서 발간한 "Transmission

Line Reference Book"의 데이터를 사용하였다.

<표 3> 가스배관 등가회로 계산에 사용된 파라메타

파라메타	기호	입력값	비고
도양비저항		100 [Ω·m]	
가스배관 금속 투자율	mu	300	
가스배관 비저항		0.17 [μΩ·m]	
코팅 저항	R <sub>coat</sub>	100 [kΩ·ft²]	
코팅 투자율	coat_perm	2.4	

(그림 1)은 해저터널 구간 해석에 대한 개념도이다. 병행하는 154kV 월림-수출 지중T/L 2회선(6개 도체, 6개 Sheath), 22.9kV 지중D/L 4회선(12개 도체, 12개 Sheath)과 가스배관 등 총 37개 도체에 대하여 각각의 절점에서 임피던스를 계산하였다. 154[kV] 지중 T/L의 케이블 임피던스는 200[MW] 용량에 역률 0.9일 경우에, 22.9[kV] 지중 D/L의 케이블 임피던스는 10[MW] 용량에 역률 0.9일 경우에 계산한 값을 사용하였다. 고장전류는 50[kA]로 상정하여 해석하였다.



(그림 1) 병행 구간 해석에 대한 개념도

TACLINK®와 CONIND™를 이용하여 전력케이블에 의해 지하에 매설된 가스배관에 유도되는 전압을 해석한 결과는 <표 4>와 같다. 정상상태에서의 해석결과로서 해저터널에서 유도전압 크기는 P 지점에서 0.997[V]로 나타났다. 해석조건에서 ○, ×는 해저터널 양단에서 T/L, D/L 그리고 배관(ppipe, rpipe)과 접지와 연결 유무를 나타낸 것이며, 유도전압이 가장 작은 상배치로 해석하였다. 지중케이블 Sheath와 접지를 Open시킬 경우 Floating Error가 발생하므로 154kV T/L의 경우 100,000[Ω], 22.9kV D/L의 경우 250,000[Ω]을 입력하여 해석하였다.

해저터널 구간에서 1선지락이 발생하여 고장전류가 흐를 때 가스배관에 유도되는 전압의 해석 결과는 <표 5>부터 <표 7>과 같다. 해저터널 말단의 1선지락은 p154lbp와 p154lbs 그리고 r154lbp와 r154lbs 각각에 대하여 양단에 0.001[Ω]의 저항을 연결하여 해석하였으며, 해저터널 중앙의 1선지락은 q154lbp와 q154lbs 양단에 0.001[Ω]의 저항을 연결하였다. 해석조건에서 T/L, D/L 그리고 배관(ppipe, rpipe)의 ○, × 표시는 T/L, D/L 그리고 배관의 해저터널 양단과 접지와 연결 유무를 나타낸 것이다. 예를 들어 p(T/L, D/L)의 ○표시는 p154las, p154lbs, ..., p2294bs, p2244cs가 접지와 연결되었음을 의미하고, ppipe와 rpipe의 ○표시는 가스배관에 CI가 설치되었음을 의미한다. 1선지락이 발생할 경우 고장전류에 의한 유도전압 최대치는 약 386[V] 정도로 계산되었다.

송·배전선로에 접지를 하지 않은 것을 해석하기 위해 Sheath와 접지간에 T/L은 100,000[Ω], D/L은 250,000[Ω]의 저항값을 입력할 경우 변전소 접지로 대부분의 전류가 흘러 나가기 때문에 배관에 유도되는 전압은 작다.

〈표 4〉 정상상태 해석결과

단위 : [V]

해석조건				ppipe	qpipe	rpipe	비고
p(TL, DL)	ppipe	rpipe	r(TL, DL)				
○	○	○	○	0.850919	0.618298	0.403189	
○	○	○	x	0.890907	0.689696	0.532572	
○	○	x	○	0.938648	0.713076	0.509039	
○	○	x	x	0.908852	0.713022	0.563985	
○	x	○	○	0.972708	0.747161	0.541001	
○	x	○	x	0.943665	0.747014	0.592223	
○	x	x	○	0.996385	0.774296	0.574166	
○	x	x	x	0.964667	0.774280	0.628453	
x	○	○	○	0.827142	0.618237	0.453646	
x	○	○	x	0.890903	0.689696	0.532578	
x	○	x	○	0.908852	0.713022	0.563985	
x	○	x	x	0.908849	0.713022	0.563992	
x	x	○	○	0.943665	0.747014	0.592223	
x	x	○	x	0.943662	0.747014	0.592229	
x	x	x	○	0.964667	0.774280	0.628453	
x	x	x	x	0.964663	0.774280	0.628460	

〈표 5〉 해저터널 말단(p1541bp-p1541bs) 1선지락 발생 시 해석결과

해석조건				ppipe	qpipe	rpipe	비고
p(TL, DL)	ppipe	rpipe	r(TL, DL)				
○	○	○	○	281.453451	12.857713	303.176604	
○	○	○	x	18.361877	0.893521	20.110513	
○	○	x	○	264.579792	35.427765	322.480134	
○	○	x	x	17.210587	2.118558	21.296721	
○	x	○	○	297.762343	5.132235	288.006020	
○	x	○	x	19.449254	0.901548	19.082449	
○	x	x	○	280.855489	16.218876	305.662914	
○	x	x	x	18.267523	0.999976	20.249850	
x	○	○	○	335.488918	17.316541	363.774321	
x	○	○	x	0.822525	0.619004	0.441752	
x	○	x	○	315.726727	42.408883	385.238330	
x	○	x	x	0.909035	0.715087	0.550530	
x	x	○	○	355.361667	5.977057	344.087902	
x	x	○	x	0.941014	0.746788	0.578865	
x	x	x	○	335.120366	19.468324	365.143988	
x	x	x	x	0.964861	0.775268	0.614278	

〈표 6〉 해저터널 말단(r1541bp-r1541bs) 1선지락 발생 시 해석결과

해석조건				ppipe	qpipe	rpipe	비고
p(TL, DL)	ppipe	rpipe	r(TL, DL)				
○	○	○	○	281.234740	12.845897	302.933025	
○	○	○	x	19.460552	0.901777	19.092781	
○	○	x	○	264.372660	35.397763	322.222949	
○	○	x	x	17.220652	2.119478	21.308321	
○	x	○	○	297.529041	5.136346	287.776120	
○	x	○	x	19.460552	0.901777	19.092781	
○	x	x	○	280.635643	16.203997	305.418915	
○	x	x	x	18.278206	1.000076	20.260814	
x	○	○	○	335.429983	17.312341	363.707865	
x	○	○	x	0.822538	0.619004	0.441741	
x	○	x	○	315.671381	42.400098	385.168146	
x	○	x	x	0.909047	0.715085	0.550519	
x	x	○	○	355.299235	5.977274	344.024910	
x	x	○	x	0.941028	0.746788	0.578856	
x	x	x	○	335.061614	19.463607	365.077135	
x	x	x	x	0.964873	0.775267	0.614268	

〈표 7〉 해저터널 중앙(q1541bp-q1541bs) 1선지락 발생 시 해석결과

해석조건				ppipe	qpipe	rpipe	비고
p(TL, DL)	ppipe	rpipe	r(TL, DL)				
○	○	○	○	281.345255	12.851812	303.055984	
○	○	○	x	18.367209	0.893565	20.115988	
○	○	x	○	264.476361	35.412783	322.351722	
○	○	x	x	17.215619	2.119017	21.302520	
○	x	○	○	297.645860	5.131294	287.891231	
○	x	○	x	19.454903	0.901662	19.087614	
○	x	x	○	280.745725	16.211445	305.541085	
○	x	x	x	18.259930	1.001299	20.244955	
x	○	○	○	335.459558	17.314447	363.741209	
x	○	○	x	0.822532	0.619004	0.441747	
x	○	x	○	315.699155	42.404305	385.203461	
x	○	x	x	0.909041	0.715086	0.550525	
x	x	○	○	355.330665	5.977167	344.056516	
x	x	○	x	0.941021	0.746788	0.578860	
x	x	x	○	335.091097	19.465972	365.110678	
x	x	x	x	0.964867	0.775268	0.614273	

## 7. 결론

본 연구에서 유도전압의 크기를 TACLINK<sup>®</sup>와 CONIND<sup>™</sup> 프로그램을 사용하여 해석한 결과 〈표 8〉과 같이 유도전압 최소 제한치 보다 낮게 계산되었다. 따라서 별도의 전식 대책을 세우지 않아도 되는 것으로 해석되었다.

〈표 8〉 유도 전압 제한치와 해석 결과치의 비교표

구분	대 상	유도 지속시간	규정치	계산치	대 책
간섭	Human Safety	Steady State	15[V]	0.996[V]	필요 없음
		Transient State	422[V]	385[V]	필요 없음
	System Integrity	Steady State	7.85[V]	0.996[V]	필요 없음
		Transient State	3[kV]	385[V]	필요 없음

## 〔참 고 문 헌〕

- (1) 한국전기연구소 "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가스공사 연구개발원, 1995.
- (2) DIN 30676: Planung und Anwendung des Kathodischen Korrosionsschutzes für den Auenschutz, Ausg. Okt. 1985.
- (3) Stalder, F., "Pipeline Failures, Materials Science Forum", Vol. 247 (1997) pp. 139-146.
- (4) Ragault, I., "AC Corrosion Induced by VHV Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines", NACE International, Corrosion '98, Paper No. 557, 1998.