

B-01

수소를 냉각매체로 하는 발전기 안전대책에 관한 연구 - 500MW 표준석탄화력발전소를 중심으로 -

육현대, 이춘하*

한국동서발전[주], 호서대학교*

A Study on the Safety Measures for the Protection of Hydrogen Cooling System of Generator

Hyun-Dai Yuk, Chun-Ha Lee*

Korea East-West Power Co., LTD., Hoseo University*

I. 서 론

산업의 발달로 인하여 최근 사회에서는 다양한 산업구조를 창출해냈으며, 이에 따라 사회 일상에 각종 인화성 액체 또는 가연성 가스의 사용이 많아지고, 폭발위험물질의 취급이 점차 대규모화, 다양화, 복잡화되고 있다. 만일 이러한 위험물이 인화폭발을 일으켰을 경우, 그 피해는 단순히 생산시설, 기계설비 등의 파손에 따르는 경제적 손실뿐 아니라 수많은 인명피해를 수반하게 되어 중대한 사회문제로 대두될 우려가 있다. 특히 산업동맥인 전력을 생산하는 발전소의 제반시설들이 폭발 등의 재해로부터 피해를 받지 않고 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 안전대책을 강구하는 일이야말로 전력의 생산, 공급에 못잖은 중요한 일이라 하겠다. 본 논문에서는 500MW 표준석탄화력발전소를 중심으로 발전기 냉각시스템에서 사용되어지는 수소가스의 연소폭발재해방지와 관련된 설비의 문제점을 도출하고 그 문제점을 바탕으로 수소가스로 인한 재해를 미연에 방지할 수 있는 대책 및 기준을 연구하여 안전관리의 표준 모델을 제시하고자 한다.

II. 폭발위험장소의 방폭전기설비

1. 위험장소 구분

안전관리 체계상 전기설비의 구조 및 사용에 있어서 특별히 고려할 필요가 있는 만큼의 폭발성 가스 분위기가 존재한다든지 또는 존재할 위험이 있는 장소를 구분하여 그에 따른 방폭 및 재해 예방대책을 강구해야 한다. 위험장소란 폭발성가스에 의해 위험분위기가 조성될 가능성이 있는 장소를 말하며 위험분위기가 존재하는 시간과 빈도에 따라 몇

가지로 분류된다. 위험장소는 폭발성 분위기가 생성되는 빈도 및 시간에 따라 한국, 일본, 유럽지역에서는 0종, 1종, 2종장소의 3등급으로 분류^{[1],[2]}하고 NEC(National Electrical Code)는 위험물질의 종류(Class I, Class II, Class III)에 따라 Division 1, Division 2로 분류^[3]한다. 이러한 분류는 위험장소의 위험의 정도에 따라 방폭전기기기 및 방폭전기배선(방폭전기기기 및 방폭전기배선을 합쳐서 방폭전기설비라 함)을 적절하게 선정함으로써, 전체적으로 균형을 위한 방폭의 기술적 배치를 강구하기 위한 것이다.

Table 1. Classification of hazardous areas typical foreign countries

Environment Countries	Constant hazardous environment	Intermittent hazardous environment under the normal conditions	Hazardous environment under the abnormal conditions
IEC or Europe	Zone 0	Zone 1	Zone 2
Germany	Zone 0	Zone 1	Zone 2
United Kingdom	Division 0	Division 1	Division 2
Korea/Japan	Zone 0	Zone 1	Zone 2
France/Italy	Zone E		Zone F
Netherlands	Increased Hazard		Limited Hazard
North America	Division 1		Division 2

2. 방폭전기기기 선정

가연성물질이나 가스에 의해 발생할 수 있는 재해에는 연소, 폭발 및 화재가 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해서는 가연성 물질과 조연성 물질이 혼합되지 못하도록 하여 위험분위기가 조성되는 것을 방지하거나 전기설비를 방폭화하여 점화원이 되지 않도록 하는 것^[4]이다. 위험장소의 구분에 따라 방폭전기기기를 선정·적용하므로써 근본적인 발전소 안전대책을 수립 할 수 있다. IEC에서는 위험장소의 구분에 따라 적용할 수 있는 방폭전기기기의 구조가 Table 2와 같이 구분된다. 위험장소에 따라 각 설비의 방폭구조를 적용하기로 한다.

Table 2. Recommendation of explosion-proof electrical apparatus used in hazardous areas

Hazard- ous area	Explosion-proof electrical apparatus
Zone 0	Intrinsic safety explosion-proof structure
Zone 1	Intrinsic safety explosion-proof structure Flame proof explosion-proof structure Pressurized explosion-proof structure Oil Immersion explosion-proof structure
Zone 2	Feasible explosion-proof structures at Zone 1 Increased safety explosion-proof structure Suitable explosion-proof structures at Zone 2

III. 발전소 수소가스설비의 문제점

발전기 운전 중 회전자 권선 및 고정자 철심에서 발생하는 열을 효과적으로 냉각하기 위해 수소가스를 냉각 매체로 사용한다. 수소가스 및 치환매개체인 CO₂ 가스는 옥외저장조의 저장용기로부터 배관을 통해 발전기까지 이송된다. 하지만 수소가스는 Table 3에 나타내는 것^[5]과 같이 다른 가스보다 폭발한계가 광범위하며, 최소점화전류와 최소점화에너지가 현저히 낮은 등 폭발사고에 대한 위험성^[6]이 매우 높으므로 이에 대한 적절한 안전대책을 수립하여야 한다.

Table 3. Explosion limits and concentration of the minimum ignition limits, the minimum ignition energy for various gases

Items Gases	Explosion Limits (vol. %)	Concentration of Min. Ignition limits (vol. %)	Min. Ignition Currents (mA)	Min. Ignition Energy (mJ)
Methane	5.0~15	8.3	165	0.28
Propane	2.1~9.5	5.25	148	0.25
Ethylene	2.7~36	7.8	115	0.083
Hydrogen	4.0~75	22	82	0.019

본 논문에서는 500MW 표준석탄화력발전소에서 수소가스를 매체로 하는 발전기 냉각계통에서 안전상의 문제점을 제시하고자 한다.

1. 위험장소 구분의 미흡

안전관리 체계상 전기설비의 구조 및 사용에 있어서 특별히 고려할 필요가 있는 만큼의 폭발성 위험분위기가 존재한다든지 또는 존재할 위험이 있는 장소를 구분하여 그에 따른 적절한 운영을 유지해야 한다. 그러나 화력발전소의 안전관리 실태는 월1회의 소방설비 간이점검 및 형식적인 안전점검 등의 방식으로 발전소 설비의 안전관리를 유지하고 있는 실정이다. 대부분의 화력발전소에서는 위험장소 구분에 있어서 형식적이고 일률적일 뿐만 아니라 설비별 위험장소에 대한 구분이 전반적으로 미흡한 실정이다.

2. 방폭전기설비의 미비

전기설비가 원인이 되어 화재나 폭발이 일어나기 위해서는 위험분위기와 점화원이 동시에 존재하여야 하는데 이 두 가지 요소가 동시에 공존하지 못하도록 함으로써 폭발사고가 일어나지 않게 하는 것이며 전기방폭은 위험분위기 내에서 전기설비가 점화원으로 작용하지 못하도록 전기기기를 신뢰성 있게 방폭화하는 등의 제반조치를 취해야 한다^{[7],[8]}. 이 원리의 실제 적용에 있어서는 먼저 위험 분위기의 조성방지가 우선된 후 전기설비의 방폭화를 고려하게 되는데 현재 발전소에서는 방폭설비의 설치에 기존의 선례에만 의존하여 석탄운반설비 및 미분탄 처리설비등의 분진폭발 위험지역의 설비에 획일적이며 형

식적으로 적용시킨 상태이며 방폭설비가 전반적으로 미비된 실정이다.

3. 기타 미비사항

발전소 수소계통의 폭발을 미연에 방지하기 위해서는 수소가스의 누설을 신속·정확하게 검지해야 한다. 그를 위해서는 누설의 가능성이 존재하는 설비나 장치의 주위에 수소가스누설검지 경보설비의 검출부를 설치하는 것이 유효한 방법이다. 또한 폭발하한(LEL) 값의 25% 이상의 폭발성 가스의 농도가 축적되지 않도록 하여 폭발을 방지할 수 있는 충분한 환기(자연적 혹은 인공적)⁹⁾가 이루어져야 한다. 그 방법으로는 자연적인 환기와 강제적인 환기로 대별된다. 하지만, 현재 발전소 Power Block내에 수소가스누설이나 수소가스의 체류가 용이한 장소, 즉 수소가스 저장소 및 수소가스 제어 Cabinet 내부, Gen. Floor 하부의 밀폐구역 등에 수소가스 폭발 및 화재 등의 재해를 대비하기 위해 설치한 수소가스누설검지 경보설비 및 적절한 환기설비가 설치되어 있지 않은 실정이다.

IV. 수소가스 공급계통의 안전대책

1. 위험장소 구분

기연급한 위험장소 구분에 대한 내용을 기초로 하여 수소가스 공급계통에 대한 설비별 위험장소 구분을 하였으며, 다음은 수소가스저장소, 수소가스이송용 파이프라인, 발전기실에 대한 위험장소구분의 실제이다.

가. 수소가스 저장소

발전소의 수소가스 저장소에는 1호기당 40개의 수소용기(압력: 130kg/cm²·g, 체적: 46.7 ℓ)가 보관되어 있고 발전기 냉각계통으로의 수소가스 충전용 설비가 설치되어 있다. 특히 충전설비는 접속부의 잦은 조작과 이동으로 누설에 노출되어 있는 상황이기 때문에 수소 가스누출의 확률이 상당히 높은 장소이므로 통상상태에서 가끔 또는 주기적으로 방출이 예상된다. 그러므로 방출원은 1차 등급이며 미미하지만 자연환기방식으로 환기가 되므로 1종장소가 된다.

나. 수소가스 이송용 Pipe Line

수소이송용 Pipe Line의 위험장소를 구분하자면 크게 3구역으로 분할한 뒤 실시해야 한다. Fig. 6과 같은 설비개략도상에서 발전소 터빈건물 외벽에서부터 수소가스 Control Cabinet 사이의 터빈건물 1층의 구역, 수소가스 Control Cabinet 내부, 터빈건물 2층의 Turbine-Gen. Floor 하부인 발전기 直下面의 밀폐구역으로 구분하여 위험장소를 구분해야 한다.

a. 터빈건물 1층(외벽으로부터 Control Cabinet 사이의 구역)

이음매 없는 용접 Type의 수소가스배관이며 통상상태에서 방출이 예상되지 않거나 가

끔 짧은 시간동안 방출이 될 수 있는 방출원이므로 방출원은 2차 등급이므로 2종 장소가 된다.

b. Control Cabinet 내부

밸브, 배관의 연결부가 다수 존재하며 연속적이거나 장시간의 방출 혹은 짧은 시간동안 자주 방출이 예상되므로 방출원은 연속등급이므로 0종장소로 구분된다.

c. 터빈건물 2층(Turbine-Gen. Fl. 하부/발전기 直下面 밀폐구역)

발전기로 인입되는 수소가스 Pipe Line의 최종연결부가 존재하며 통상상태에서 가끔 또는 주기적으로 방출이 예상되는 방출원이므로 1차 등급의 방출원이므로 1종장소이다.

다. 발전기실(Generator House)

수소가스 밀봉유가 누설을 방지하므로 통상 발전상태에서 방출이 예상되지 않거나 가끔 짧은 시간동안 방출이 될 수 있는 방출원이기 때문에 방출원의 등급은 2차등급이므로 2종장소가 된다.

2. 방폭전기기기 선정

상기에서와 같이 각 구역 및 설비별로 위험장소가 구분된대로 방폭전기기기의 구조를 접목시키면 다음과 같다.

가. 수소가스 저장소

: 내압방폭구조, 압력방폭구조

나. 수소가스송용 Pipe Line

a. 터빈건물 1층(외벽으로부터 Control Cabinet 사이의 구역)

: 내압방폭구조, 안전증가방폭구조

b. Control Cabinet 내부

: 본질안전방폭구조

c. 터빈건물 2층(Turbine-Gen. Fl. 하부/발전기 직하면 밀폐구역)

: 내압방폭구조, 압력방폭구조

다. 발전기실(Generator House)

: 내압방폭구조, 안전증가방폭구조

3. 기타 대책

다음은 재해방지를 위해 상기 내용외에 강구되어야 할 안전대책에 관한 내용을 제시하였다.

가. 수소누설 경보설비 설치

발전소 수소계통의 폭발을 미연에 방지하기 위한 수소가스의 누설을 신속·정확하게 검지하기 위해서는 누설의 가능성이 존재하는 설비나 장치의 주위에 수소가스누설검지 경보설비의 검출부를 설치하는 것이 유효한 방법이다. 국내 고압가스 안전관리법시행규칙의 관계고시에는 누설된 가스가 체류하기 용이한 장소에 가스누설 검지장치의 검출부를 설치하는 것¹¹⁰⁾으로 되어 있다. 가스누설의 발생부분 뿐만 아니라 체류하기 용이한 장소에 검출부를 설치하는 것은 매우 효율적인 방법이다. 다음의 장소에는 수소가스누설 경보장치의 검출부를 설치하고 중앙제어실에 수신부를 설치해야 한다.

- a. 수소가스 저장소의 천장
- b. Control Cabinet 내부 천장
- c. 터빈건물 2층(Turbine-Gen. Floor 하부/발전기 직하면 밀폐구역)천장
- d. 발전기실(Generator House) 천장

나. 환기설비 설치

일반적으로 폭발하한(LEL)값의 25% 이상의 폭발성 가스농도가 축적되지 않도록 하는 충분한 환기(자연적 혹은 인공적)를 적정한 환기라 하는데 환기를 위한 공기원은 비위험 장소로부터 출발된다. 다음의 장소에는 적절한 환기설비를 설치해야 한다.

- a. 수소가스 저장소
- b. Control Cabinet
- c. 터빈건물 2층(Turbine-Gen. Floor 하부/발전기 직하면 밀폐구역)
- d. 발전기실(Generator House)

다. 가스저장소 충전설비 보강

현재 발전기 냉각계통으로의 수소가스 충전시에 사용되고 있는 연결관은 재질이 구리인 비탄성 동관을 사용하는데 그 강도가 현저히 약하므로 변형이나 충격시에는 수소가스 누설의 위험성이 크다. 그러므로 연결동관을 철망보강형 耐壓플렉시블 호스로 교체함이 바람직하다. 수소가스용기의 脫着시에는 이 연결동관이 불가피하게 변형 및 외력을 받기 때문에 수회의 탈착이 이루어진 후에는 비틀림이나 굽힘등에 의해 수소가스 누설로 인한 폭발재해가 발생할 수 있기 때문이다.

4. 종합 대책

이상의 수소가스 공급시스템의 안전대책에 관한 내용을 바탕으로 다음의 Table 4와 같은 종합결과표를 작성하여 제시한다.

Table 4. Summary

Items	Location				
	Hydrogen storage house	Hydrogen supply pipe line			Generator house
		1'st Fl.	Control cabinet	2'nd Fl.	
Classification of hazardous areas	Zone 1	Zone 2	Zone 0	Zone 1	Zone 2
Application of explosionproof electrical apparatus (structure)	Flameproof or Pressurized explosion proof structure	Flameproof or Pressurized explosion proof structure	Intrinsic safety explosion proof structure	Flameproof or Pressurized explosion proof structure	Flameproof or Pressurized explosion proof structure
Equipments	-Incandescent LTG(Switch)	-Incandescent & M/H LTG (Switch) -HV(6.6kV) motors	-Incandescent LTG(Switch) -Annunciator contacts -Spaceheater	-Incandescent & M/H LTG (Switch) -Motors	-Incandescent LTG(Switch)
Problems	No classification of hazardous area and application explosion-proof electrical apparatus, not install hydrogen leakage alarm device and ventilation device				
Counter-measures	Classification of hazardous areas and application of explosion-proof electrical apparatus				
Remarks	<ul style="list-style-type: none"> - Install hydrogen leakage alarm device - Install ventilation device - Improve gas charging device in hydrogen storage house (Replacement of copper tube from hydrogen gas vessels to gas system by flexible hose of internal pressure) 				

이상의 결론을 바탕으로 발전소 발전기 냉각계통 설비의 안정성을 제고하여 안정적인 전력을 공급할 수 있도록 안전관리 체계를 수립 및 정립하는 것이 앞으로의 과제이다.

참고문헌

- [1] 사업장 방폭구조 전기기계, 기구, 배선 등의 선정, 설치 및 보수에 관한 기준, 산업 안전관리공단, 고시 제93-19호, 1993
- [2] IEC 79-10 : Electrical apparatus for explosive gas atmospheres Part 10 : Classification of hazardous areas, 1995
- [3] National Electrical Code 1996 edition, NFPA, 1996
- [4] 가스설비공학, 김동우 외, 대광서림, 1888
- [5] 本質安全 防爆 電氣回路의 點火限界에 關한 研究, 이춘하, 영남대학교 대학원 박사 학위 논문, 1995
- [6] Safety Guide for Hydrogen, National Research Council of Canada, 1987
- [7] 電氣安全, 한국산업안전공단, 1989
- [8] 電氣設備의 防爆 安全基準 制定을 爲한 調査研究, 박찬성, 한양대학교 대학원 석사 학위 논문, 1991
- [9] 防爆試驗評價 方案에 關한 研究(II), 과학기술처, UCN234-1481-D, 1991
- [10] 최신 가스관계법규해설, 박희서 외, 청운문화사, 1995