

발전기 내 CO₂ 소화설비 성능개선 적용 사례

양 준 옥

(주)안국 이앤씨 엔지니어링1 사업본부 차장
(jo.yang@ankugenc.com)

1. 서 론

소화설비 중 가장 신뢰성이 뛰어난 소화설비는 수계소화설비이다. 그렇지만 수순에 대한 피해 문제가 우려되는 지역과 시공상의 문제, 장비·장치 등의 화재 및 폭발로부터의 보호를 위하여 가스계소화설비를 적용하는 사례가 있다. 가스계소화설비는 모든 소화설비의 목적인 인명안전과 재산보호를 위하여 소방관련법규에 근거하여 적용되고 있지만, 특히 이너젠과 이산화탄소 등의 소화약제는 일부 장비나 장치등에 화재, 폭발로부터 보호하기 위한 퍼진나 안전설비로 소방 관계법규에 의하여 제한받지 아니하고 적용되고 있다. 본 설계 사례는 발전기 내 CO₂소화설비 성능개선 적용 사례를 통하여 장비나 장치등에 설치되는 소화 안전설비의 소방설계 적용 사례를 소개하고자 한다.

2. 설계 개요

2.1 대상을 현황

2.1.1 발전기 사양

(1) 발전원 : 수력

(2) 정격용량 : 31.1 MW (최대 33.2 MW)

(3) 정격수차출력 : 31.8 MW (최대 34.0 MW)

(4) 크기

스테이터 직경 : 8.6 m

수차 직경 : 4 m

(5) 수차 형식 : 카풀란 수차

(6) 수량 : 2기 (동일 사양)

2.1.2 용역 목적

기존 수차 노후화로 인한 성능개선사업(개조 및 교체)에 따라 CO₂ 소화설비도 교체하는데 있어 기술적 성능의 안전성을 확보하는데 있다.

2.1.3 용역의 범위

- (1) 설계기준서
- (2) CO₂ 소화설비 설계 및 계산서
- (3) 자재 납품
- (4) 현장 기술 지원 및 성능검사
- (5) 운영메뉴얼

3. 설계 수행 계획

3.1 설계 절차

3.1.1 설계 착수 회의

대상물 현황, 설계 담당자 및 설계기준, 용역의 범위, 설계 스케줄을 정립하여 전체적인 업무 진행 방향을 회의

3.1.2 설계 기준 정립

기존 설계 사례, 설계 도서류 등을 참조하며, 적용하여야 할 법규나 코드를 발췌하여 기준을 작성한다.

본 설계는 기존 1970년대에 작성된 운영메뉴얼을 참조하여 국내 소방관계법에 제한되지 아니하고 NFPA 12, GE GAP Guidelines 등의 코드를 설계 기

양 준 옥

준으로 하며, CO₂ 소화설비를 초기 소화용 CO₂ 소화설비와 20분 농도 유지용 CO₂ 소화설비를 구성하여 CO₂ 약제량과 공급배관, 노즐 등 관련 장치 등을 설계 한다.

3.1.3 현장 조사

1970년대에 작성된 기존 운영메뉴얼을 참조하여 기존 수력발전기에 설치된 CO₂ 소화설비의 설치 현황 및 수력발전기 내 구조 등을 조사하며 관계자와의 협의를 통하여 설계업무의 주의점, 반영요청 사항 등을 수렴한다.

(1) 기존 설치 현황

- (a) 소화용 CO₂ 약제 저장용기
- (b) 농도 유지용 CO₂ 약제 저장용기
- (c) CO₂ 약제 무게검지용 저울장치
- (d) 예비용 CO₂ 약제 저장용기
- (e) CO₂ 소화설비용 제어반
- (f) CO₂ 소화설비 기동용 열감지 센서
- (g) 발전기 출입구 개방 감시용 리미트 스위치
- (h) CO₂ 소화설비 노즐

(2) 발주처 요청 사항

- (a) 소방 관계법에 제한되지 아니하고 별전기의 안전 및 유지관리특성에 맞게 소화설비를 구축할 것
- (b) CO₂ 소화설비의 감지기에 의한 자동 기동은 기존과 같이 별전기의 비상신호 입력 상태에서만 동작하도록 할 것
- (c) 별전기 관련 이상신호나 통합제어반의 수동기동 등의 별개의 신호를 받아 동작할 수 있도록 CO₂ 제어반을 구성
- (d) CO₂ 소화설비의 제어반의 신호는 DCS(Distributed Control System) 중앙제어실에서 제어 및 확인할 수 있도록 하며, 관련 신호는 DCS(Distributed Control System) 시스템 구성업체에게 자료를 제공
- (e) 무게검지장치의 무게 감시는 DCS 중앙제어실의 운영자가 모니터링을 할 수 있도록 구성
- (f) 시공은 소방전문업체가 시공하지 아니함으로 시공자가 도면만 보고 시공을 진행할 수 있도록 도면을 작성할 것

(3) 기존 CO₂ 소화설비의 문제점

(a) 농도 유지용 CO₂ 저장용기는 소화용 CO₂ 저장용기가 개방되어 방사된 후 집합관 내 압력이 일정 압력으로 저하되어 압력차가 발생되면 농도 유지용 CO₂가 개방되나,

(b) 소화용 CO₂ 저장용기와 농도 유지용 CO₂ 저장용기가 동일 배관과 노즐을 이용함으로 농도유지 시간(Retention Time) 동안 연장 방출이 불가

3.1.4 설계기준서 및 승인도서류 작성

현장 방문 내용 및 설계기준등을 취합하여 설계기준서와 승인용 도면과 계산서를 아래와 같이 작성하여 납품

- (1) DRAWING LIST, SYMBOL & LEGEND
- (2) PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM
- (3) CO₂ PIPING PLAN
- (4) CO₂ CYLINDER STORAGE ROOM PLAN
- (4) CO₂ PIPING - SECTION VIEW
- (5) CO₂ PIPING ISOMETRIC DRAWING
- (6) CONTROL LOGIC DIAGRAM
- (7) FIRE DETECTION WIRING PLAN
- (8) FIRE DETECTION - SECTION VIEW
- (9) HYDRAULIC CALCULATIONS

3.1.5 현장 재조사

승인용 도서류를 가지고 현장을 재확인 하여 시공 적합성과 승인용 도서 작성 시에 현장 미 확인으로 인한 미반영사항, 추가 반영하여야 할 사항 등을 반영 할 수 있도록 재조사

3.1.6 공사용 도서류 작성

현장 재조사 내용과 설치 상세도 등을 승인용 도서류에 반영하여 공사용 도서류를 작성한다.

공사용 도서류는 승인도서류에 아래의 항목을 추가하여 제출한다.

- (1) WIRING DIAGRAM
- (2) CABLE SCHEDULE

3.1.7 자재 구매 및 납품

승인된 공사용 도면을 가지고 물량을 산출하여

발전기 내 CO₂ 소화설비 성능개선 적용 사례

CO₂ 소화설비 시공관련 모든 자재를 발주하여 구매

- (1) 품질검사계획(QUALITY PLAN) 작성

(1) 품질검사계획서의 공장 검수 항목은 발주처와 공장 검수를 수행

- (2) 자재승인관련하여 제반 서류 작성

- (3) 자재 납품 및 승인

3.1.8 현장 방문 기술 지원

전문 소방기술자가 CO₂ 소화설비를 시공하는 것이 아님으로 CO₂ 소화설비의 특성 및 구성을 이해하지 못하여 시공상의 결함이 발생되지 아니하도록 현장 방문 기술 지원 및 감독 업무 수행

3.1.9 성능검사 수행

CO₂ 소화설비의 시공이 완료 후에 발전기의 비정상 신호 입력과의 CO₂ 소화설비의 자동 연동, DCS(Distributed Control System)에서의 신호 확인 및 제어, 수동조작, 발전기 점검용 출입구의 개방 시의 CO₂ 설비의 기동 불가, CO₂ 소화약제의 방출시의 경보 등의 모든 시스템 동작 관련하여 동작 시험을 수행

3.1.10 운영 메뉴얼

CO₂ 소화설비의 특성 및 구성, 동작 관련 연동 등의 전반적인 사항을 작성하여 운영자가 CO₂ 소화설비를 쉽게 이해하고 원활하게 운영할 수 있도록 작성하여 제출

3.1.11 최종 도서류 제출

CO₂ 소화설비의 도서류를 현장 시공 상태와 일치되도록 수정하여 유지 관리를 할 수 있도록 최종 보관본 제출

3.2 설계 주안점

3.2.1 CO₂ 소화설비의 농도 유지

- (1) CO₂ 소화설비의 농도 유지용 약제량 산정

(2) CO₂ 소화설비의 연장 방출을 농도유지시간인 20분 동안 수행하기 위하여 별도의 농도 유지용 배관 및 노즐을 설치

- (3) 농도 유지용 CO₂ 소화설비를 초기 CO₂ 소화설비의 설계농도 도달 이후 방사 되도록 적합한 시간 간격을 구성

설비의 설계농도 도달 이후 방사 되도록 적합한 시간 간격을 구성

3.2.2 CO₂ 저장용기의 무게검지장치

- (1) 무게검지장치의 구성 확인

- (2) 전원 공급 장치관련

(3) DCS(Distributed Control System)와의 통신 연결 방안

3.2.3 CO₂ 소화설비의 연동

- (1) 발전기 비정상 신호시에만 자동기동

- (2) 발전기 점검구의 출입구개방 시에 기동 불가

(3) DCS(Distributed Control System)와 제어 및 확인

- (4) CO₂ 제어반의 구성

4. CO₂ 소화설비의 설계

4.1 CO₂ 소화설비의 약제량 산정

4.1.1 초기 소화용 CO₂ 소화설비 약제량

- (1) 화재 유형 : 심부화재

- (2) 위험 용도 : 전기 화재

- (3) 방호구역 체적 : 170 m³

- (4) 설계 농도 : 50%

- (5) 유량 계수 : 1.33 kg/m³

- (6) 소요약제량 : 226.1 kg/m³

- (7) 적용 CO₂ 저장용기 : 6B/T(270 kg)

Table 1. Flooding Factors for Specific Hazards Design

Concentration (%)	Volume Factors (kg/m ³)	Specific Hazards
50	1.60	Dry Electrical hazards in general (Spaces 0~56.6m ³)
50	1.33	(Spaces greater than 56.6 m ³)
65	2.00	Record Storage, ducts, covered trenches
76	2.66	Fur storage vaults, dust collectors

양 준 옥

4.1.2 농도 유지용 CO₂ 소화설비 약제량

강제 환기설비가 없는 방호구역으로부터의 누설량은 주로 방호구역 내부 분위기와 방호구역 주변 공기사이의 밀도차이에 의하여 좌우되며, 방호구역 상단부에 자유로운 공기 유입이 허용되어 충분한 누설이 있다고 가정했을 때 다음식을 이용하여 CO₂ 누설량을 산정할 수 있다.

$$R = 60C\rho A \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho_2)h}{\rho_1}}$$

여기서, R : CO₂의 누설량 (kg/min)

C : CO₂의 설계농도

ρ : CO₂의 증기밀도 (kg/m³)

A : 개구부 면적 (m²)

g : 중력상수 (9.81 m/s²)

ρ_1 : 대기밀도 (kg/m³)

ρ_2 : 주변공기밀도 (kg/m³)

h : 개구부와 방호구역 상부간의 정압수두 (m)

Figure 1은 NFPA 12(2005) Figure E.1(b)로 방호구역내의 21°C 온도와 외부의 21°C를 근거로 계산된 CO₂ 손실량으로 연장방출설비에 대한 방출량을 평가하는 가이드로 이용될 수 있다.

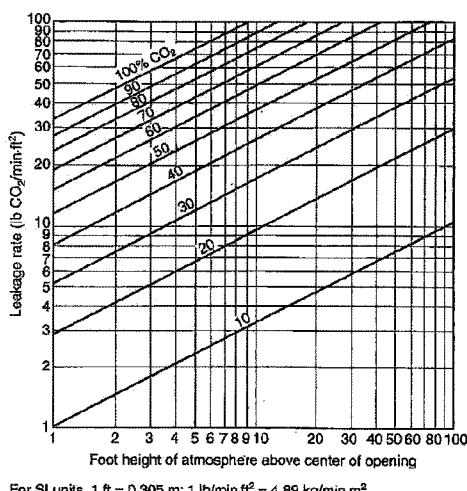


Figure 1. Calculated CO₂ Loss Rate Based on an Assumed 70°F (21°C) Temperature Within the Enclosure and 70°F (21°C) Ambient Outside.

발전기는 스테이터라는 자체 Enclosure를 가지고 있어 개구부의 위치를 파악할 수 없는 밀폐된 재순환형 전기기기이므로 누설량 산정식과 Figure 1을 이용하여 농도 유지용 CO₂ 약제량을 산정할 수 없어 NFPA 12(2005) A.5.5.3에 의거 A.5.5.3.(b) 표를 이용하여 약제량을 산정한다.

(1) 농도유지시간 : 20분

(2) 방호구역 제적 : 170 m³ (172.6 m³ 적용)

(3) 농도 유지 소요 약제량 : 249.7 kg/m³

(4) 농도유지용 CO₂ 저장용기 : 6B/T (270 kg)

초기 소화용 CO₂ 저장용기와 농도유지용 CO₂ 저장용기는 Figure 2와 같이 전면에는 초기 소화용 후면에는 농도유지용의 저장용기를 배치하였다.

Table 2. Extended Discharge Protection for Enclosed Recirculating Rotating Electrical Equipment (Cubic Meters Protected for Deceleration Time)

kg CO ₂	Time		
	15	20	30
227	172.6	141.5	110.4
249.7	209.4	172.6	138.7
272.4	243.4	203.8	169.8

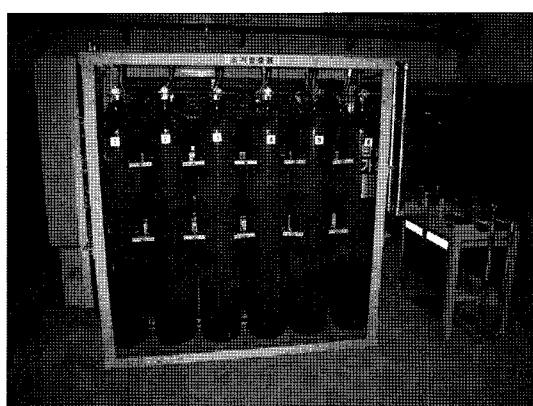


Figure 2. CO₂ Storage Facility.

4.2 CO₂ 소화설비의 구성

CO₂ 소화설비의 구성은 Figure 3과 같이 초기 소화용, 농도유지용, 예비용 CO₂, 제어반, 기동용감지기, 무게검지장치, 리미트 스위치, 부속장치등과 같이 구성 동작하게 된다.

발전기 내 CO₂ 소화설비 성능개선 적용 사례

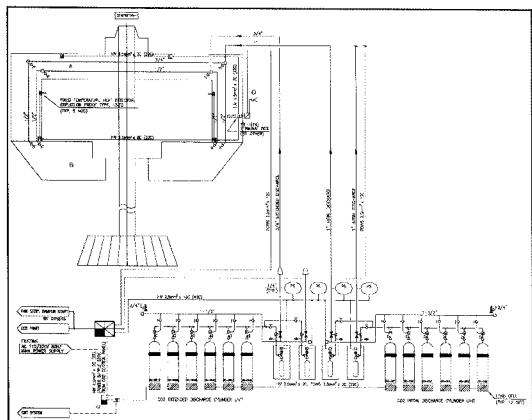


Figure 3. Piping and Instrument Diagram.

4.2.1 초기 소화용 CO₂ 소화설비

- (1) 저장용기 수량 : 6병 (68 L/45 kg)
- (2) 선택변 : 1-1/2" (40 A)
 - 선택변의 최소 상용품 규격 적용
- (3) 기동용기세트 : 기동용기(1 kg/0.6 L), 프레셔스 위치, 솔레노이드밸브 일체
- (4) 주 공급배관 : SCH. 40, 1" (25A)
- (5) 방출 노즐 : 1/2" (15 A) 10개

4.2.2 농도 유지용 CO₂ 소화설비

- (1) 저장용기 수량 : 6병 (68 L/45 kg)
- (2) 선택변 : 1-1/2" (40 A)
 - 선택변의 최소 상용품 규격 적용

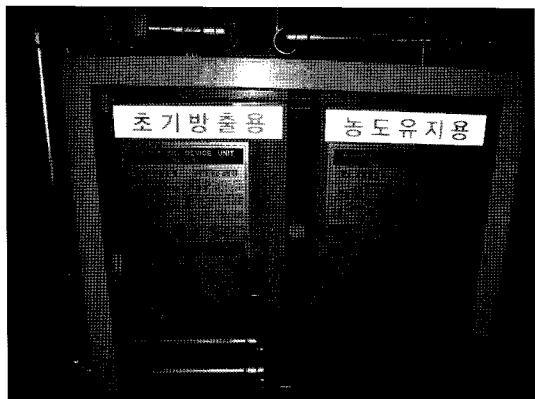


Figure 4. CO₂ Pilot Cylinder Set.

- (3) 기동용기세트 : 기동용기(1 L/0.6 kg), 프레셔스 위치, 솔레노이드밸브 일체

- (4) 주 공급배관 : SCH. 40, 1/2" (15 A)

- (5) 방출 노즐 : 1/2" (15 A) 10개

4.2.3 예비용 CO₂ 저장용기

CO₂ 소화설비가 동작하여 방출 후에 빈 저장용기를 교체하기 위한 저자용기로 보통 24시간 이내에 교체가 어려울 경우 저장용기실에 예비용 CO₂ 저장용기를 Figure 5와 같이 비치하여 교체될 수 있도록 하기 위함이다.



Figure 5. CO₂ Reserve.

- (1) 저장용기 수량 : 12병 (68 L/45 kg)

4.2.4 CO₂ 소화설비 제어반

발전기 내 설치된 CO₂ 소화설비 동작을 제어하기 위해서는 기존의 복합형 P형 수신기나, 가스계 전용 제어반으로는 기능이 부족하는 문제가 발생되어 추가적으로 프로그램 수정이나 릴레이를 사용하여 부가적인 기능을 부여하였다.

Figure 6은 제어반 내부 사진으로서 아래의 기능을 추가하였다.

- (1) 발전기 이상신호 86-1의 입력 후 자동 기동 연동

- (2) 발전기 상부 점검구 리미트스위치 동작(개방) 시 자동 또는 수동 기동 불가

- (3) DCS(Distributed Control System) 패널과 UCP(Utility Control Panel)의 제어 및 감시 연동

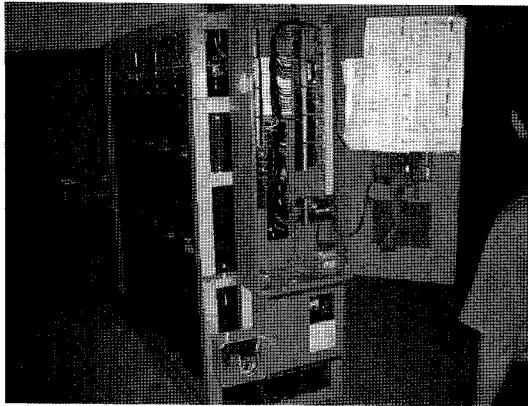


Figure 6. The inside of CO₂ Control Panel.

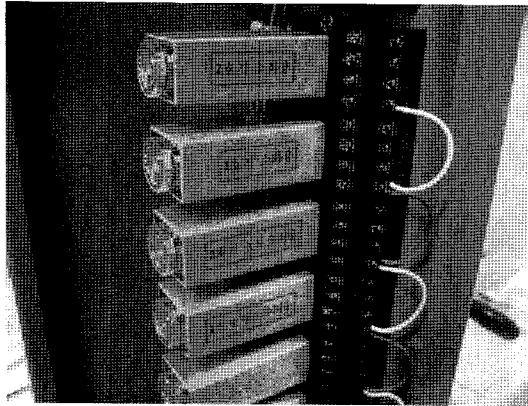


Figure 7. Time Delay.

(4) 초기소화용 CO₂ 소화설비 방출 완료 후 농도 유지용 동작을 위하여 Figure 7과 같이 타임딜레이를 설치하여 연동 구성

4.2.5 CO₂ 소화설비 기동용 감지기

CO₂ 소화설비의 기동용 감지기는 기존에는 열감지 센서를 적용 하였으나 금화는 정온식 방폭형 열감지기로 선정하였다.

초기에는 기존 센서와 같이 동작온도 80°C를 선정하였으나 발전기 제조사의 요청에 의하여 130°C로 변경하여 Figure 8과 같이 발전기 측면에 8개소 설치하였다.

4.2.6 CO₂ 저장용기 무게검지 장치

CO₂ 저장용기의 무게검지 장치는 Figure 9 무게검

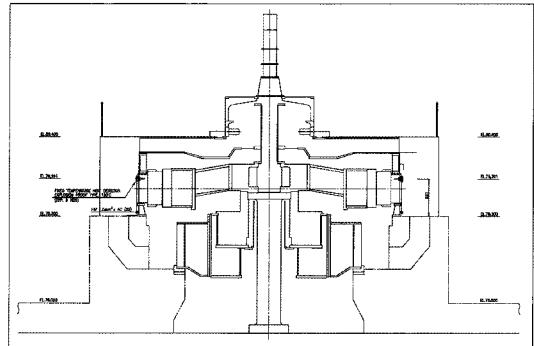


Figure 8. Installation Section View for CO₂ Detector.

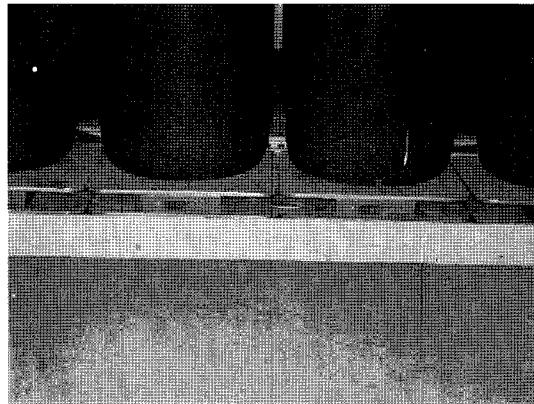


Figure 9. Load Cell.

저장치와 같이 각각의 저장용기 하부에 설치 되어져 각 저장용기의 중량을 표시하며 이를 원거리에 있는 DCS(Distributed Control System) 중앙제어실의 모니터링 시스템에 전송하여 상시 감시 상태를 유지하도록 구성하였다.

4.2.7 리미트 스위치

발전기 점검구 개방상태에 신호를 송출할 수 B점 점 리미트 스위치를 설치하여 발전기 내 사람이 유지 보수를 위하여 점유하고 있는 경우 CO₂ 소화설비가 자동 및 수동으로 기동되지 아니하도록 구성하기 위하여 리미트스위치를 Figure 10과 같이 설치한다.

4.2.8 부속 장치등

CO₂ 소화설비 동작 및 동작 시 통보를 위하여 솔레노이드밸브, 프레셔스위치, 방출표시등, 전자싸이

발전기 내 CO₂ 소화설비 성능개선 적용 사례

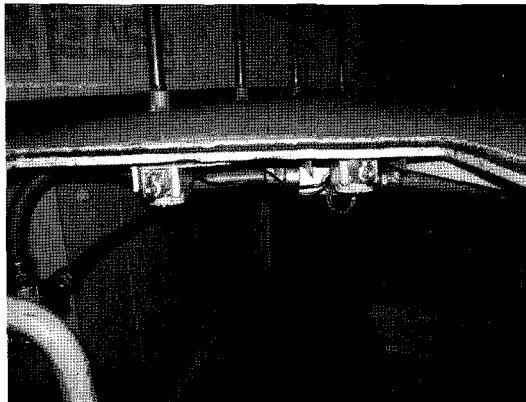


Figure 10. Limit Switch.

렌, 수동조작함, 방출지연스위치), 각종 부품 등이 반영되어져야 한다.

4.2.9 Wiring Diagram의 작성

CO₂ 소화설비 모든 기기에 대한 Wiring Diagram을 작성하여 작업자가 소방기기의 결선을 도면과 같이 수행하면 시스템이 동작할 수 있도록 결선도를 작성하였다.

4.3 CO₂ 소화설비의 연동

CO₂ 소화설비는 발전기 이상신호와의 연동과 발전기 점검구의 리미트 스위치와의 연동, DCS(Distributed Control System)와의 연동, 기동 및 동작 확인을 위한 모든 연동을 반영한 Control LOGIC DIAGRAM을 작성하여 작업자가 시스템 연동을 이해하여 시공할 수 있도록 한다.

4.3.1 발전기 이상신호와의 연동

발전기 내부는 항상 여러 종류의 장치나 센서 등으로 이상 상태를 감시하고 있으며 화재는 이상 상태에 서만 발생 된다는 전제를 바탕으로 CO₂ 소화설비는 발전기의 이상(미 정상 운도 상승, 고장 등)신호가 입력되었을 때만 자동 기동될 수 있도록 하여 CO₂ 소화설비의 오동작에 대한 다중 방지 시스템을 구축한다.

4.3.2 리미트 스위치의 연동

발전기 상부의 점검구에 리미트 스위치를 설치하

여 점검자가 유지 보수 작업 시 CO₂설비가 자동이나 수동조작에 의하여 동작되지 아니하도록 하여 점검자의 안전을 확보한다.

4.3.3 DCS(Distributed Control System)와의 연동

상시 운전자가 상주하고 있는 DCS(Distributed Control System) 중앙제어실의 DCS에 CO₂ 소화설비 제어반의 감시, 제어 기능과 무게 검지장치의 감시 기능을 연결하여 발전기의 CO₂ 소화설비의 전반적인 기능을 제어하도록 구성한다.

5. CO₂ 소화설비 동작 시험

CO₂ 소화설비의 동작 시험은 설비의 동작 확인을 위한 부분 방출시험과 동작 및 성능확인을 위한 완전방출시험이 있으나 본 현장은 CO₂ 방사를 통한 시험을 진행하지 아니하고 기동용기의 솔레노이드 밸브를 해체하여 설비의 연동과 동작을 아래의 항목에 대하여 확인한다.

5.1 CO₂ 소화설비의 자동 기동

- (1) 발전기 이상신호(86-1) 입력, 리미트스위치 정상
 - (a) 미 입력 시 자동기동 미 동작
 - (b) 입력 시 자동 기동 동작
- (2) 발전기 이상신호(86-1) 입력, 리미트스위치 동작
 - (a) 자동기동 미 동작

5.2 CO₂ 소화설비의 수동 기동

- (1) 리미트 스위치 동작
 - (a) 동작 시 모든 수동기동이나 자동기동 미 작동
- (2) 리미트 스위치 정상
 - (a) 정상 시 모든 수동기동이나 자동기동 동작

5.3 CO₂ 소화설비의 동작 감시 및 통보 등

- (1) 감지기, 방출확인 등 동작확인 표시판의 제어반과 DCS(Distributed Control System) 패널의 표시
- (2) 전자싸이렌 및 방출표시등의 동작
- (3) 제어반의 표시 내용의 DCS(Distributed Control

양 준 옥

System) 판넬 표시

(4) 무게감지장치의 동작 및 DCS(Distributed Control System) 판넬 표시

(5) DCS(Distributed Control System) 판넬에서의 제어 및 감시

(6) 초기 소화용 CO₂ 솔레노이드 밸브와 농도유지용 CO₂ 솔레노이드 밸브의 타임딜레이 동작 확인 등

6. CO₂ 소화설비 운영 메뉴얼

CO₂ 소화설비의 운영메뉴얼은 운영자가 CO₂ 소화설비의 전반적인 구성과 유지 관리를 이해하여 수행할 수 있도록 아래의 항목으로 구성하여 작성한다.

(1) CO₂ 소화설비의 개요 (소화원리, 특징)

(2) CO₂ 소화설비의 구성

(3) CO₂ 소화설비의 조작

(4) CO₂ 소화설비의 유지 보수

(5) CO₂ 소화설비의 참고 도면

술지원과 감독, 성능시험의 수행을 통하여 CO₂ 소화설비의 전반적인 시스템 구축과정을 경험할 수 있으며 공장, 발전소등 장비·장치의 소화 안전설비는 소방 설계사의 기술적 지원을 통한 설계영역의 확대와 소방관계법규의 사양위주 설계를 벗어나 성능기반의 설계를 통한 성능확보를 이를 수 있는 영역으로 많은 관심과 기술 축적이 필요할 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 이산화탄소소화설비의 화재안전기준 (NFSC 106).
2. NFPA 12 Carbon Dioxide Extinguishing System, 2005 Edition.
3. GE GAP Guidelines IM.13.3.1 Carbon Dioxide Systems (2005).
4. 박승민, “성능기반을 위한 가스계 소화설비의 설계 및 시공”, 소방기술사 CPD, 5차, pp.29-33(2007).
5. 정기신, “가스계소화설비에 대한 고찰”, 소방기 술사 CPD, 5차, pp.11-13(2007).

7. 결 론

본 프로젝트는 설계, 자재 구매 · 납품 및 현장기