

## 방화설비계통 설계용 전산소프트웨어 개발에 관한 연구

김경근\* · 이정혜\*\* · 이정열\*\* · 이세창\*\*\* · 김종현\*\*\* · 오병주\*\*\*\*

### A Study on the Development of Computer Software for the Design of Fire Protection System

K. K. Kim · J. H. Lee · J. Y. Lee · S. C. Lee · J. H. Kim · B. J. Oh

**Key words** : National fire protection code(국가방화코드), Carbon dioxide extinguishing system(CO<sub>2</sub> 방화설비), High pressure storage facility (고압저장설비), Distribution piping system(분배관시스템), Discharge nozzle(분사노즐)

#### Abstract

Standard on the carbon dioxide extinguishing system was prepared by the committee of the national fire protection association(NFPA) in USA on 1980. And this code is also applied to the design of a marine fire extinguishing system. The most important problem in design is the uniform discharge of CO<sub>2</sub> through each nozzle from the high pressure CO<sub>2</sub> storage facility.

The purpose of this paper is to develop the computer software to design the marine fire protection piping system. By solving the continuity equation, energy equation and Bernoulli's equation simultaneously, the flowrate in branch pipelines and discharge nozzles can be calculated.

#### 1. 서 론

선박내의 청수계통, 해수계통, 공기조화 및 소화계통과 같은 배관계통에는 펌프, 열교환기, 분기관, 밸브, 오리피스 등이 포함된다. 그러므로 마찰손실 뿐만 아니라 제반 손실을 정확히 산정한 배관

계통의 설계를 통하여 정해진 라인에 소정의 유량을 보내거나, 일정 압력을 유지하기 위하여 펌프의 용량을 적절하게 결정하는 것 등은 결코 용이하지 않다. 지금까지 이러한 배관계통의 설계는 주로 숙련된 설계자가 참고문헌(1), (2)와 같은 배관 핸드북을 이용하여 설계하는 것이 보통이었다.

\* 한국해양대학교 (원고접수일 : 97년 8월)  
 \*\* 한국해양대학 대학원  
 \*\*\* 한국선급  
 \*\*\*\* 목포해양대학교

그러나 이와 같은 수설계에 의하여 실설계를 하였을 경우에는, 시운전시 유량의 부적절한 분배가 야기됨으로써, 오리피스를 시행 착오적으로 삽입하거나 밸브를 설치하는 등 많은 시간적·경제적 낭비를 초래하고 있다. 그러므로 일반적으로 배관계통의 실설계 단계에서 펌프의 성능곡선, 열교환기 압력손실, 밸브 등의 압력손실, 이경관의 연결에 의한 압력손실 및 위치헤드 등을 계산할 수 있는 컴퓨터 프로그램은 매우 유익한 배관계통의 설계수법이 된다고 사료된다.<sup>(3)</sup>

본 논문은 선박의 여러 배관계통의 설계중에서 특히 선박에 적용되는 국제협약인 SOLAS의 중요사항에 해당되는 고정식 CO<sub>2</sub> 소화설비계통의 전산지원설계를 위한 소프트웨어를 개발한 결과에 관하여 연구한 것이다. 방화설비계통의 설계에서 가장 중요한 점은 화재시 고압의 CO<sub>2</sub> 저장설비로부터 각 지관을 통하여 분사노즐로부터 CO<sub>2</sub>가 균일하게 정해진 시간 이내에 분사되도록 설계되어야 한다는 점이다.

## 2. 기본방정식 및 수치계산

고정식 CO<sub>2</sub> 소화설비계통에서는 Fig. 1(I.H.조선소에서 건조한 IH96-71)에서 보는 바와 같이 온도 21℃, 압력 850 psi (58.6×10<sup>5</sup> Pa)의 CO<sub>2</sub> 압력용기가 통상 10~50개 저장되어 있어, 화재시 수동으로 근원 실린더(Main cylinder)를 작동시키면 콘트롤 밸브를 통하여 전체의 CO<sub>2</sub> 실린더가 연동하여 열림으로써 짧은 시간내에 기관실 또는 화물창에 분출된다.<sup>(4)</sup> Fig. 2는 전형적인 화물창내의 CO<sub>2</sub> 라인 설계도의 한 예를 나타낸다.

CO<sub>2</sub> 압력용기는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 내경 267.4 mm, 높이 1,525 mm의 용기안에 45 kg의 CO<sub>2</sub>가 액체상태로 담겨있다가, Main cylinder로부터 작동압이 상층 경계면에 작용하면 용기내의 도관을 통하여 CO<sub>2</sub>가 액체상태로 유출되기 시작한다. 압력용기로부터 유출된 CO<sub>2</sub>는 Main line과 Branch line을 거쳐 말단에 설치되어 있는 각각의 Discharge nozzle을 통하여 화재 현장에 분

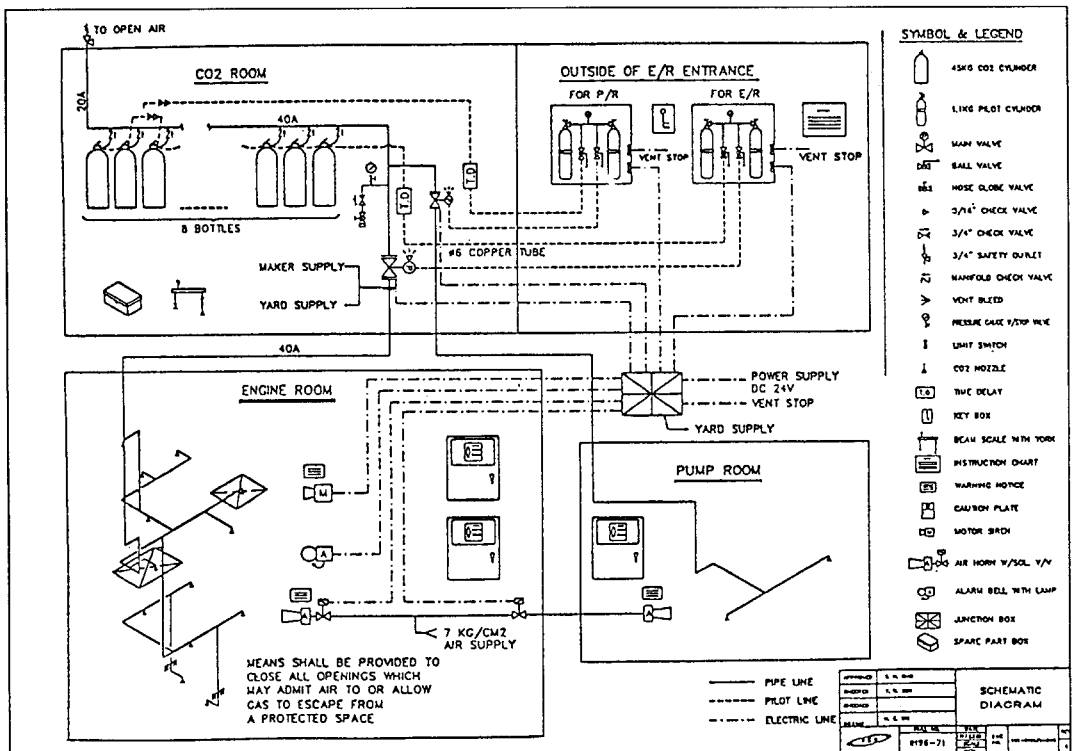


Fig. 1 Typical high pressure CO<sub>2</sub> storage facility



전수두를  $H_1, H_2$ 라 하면, 에너지 손실이 없는 경우에는  $H_1=H_2$ 가 되지만, 실제로는 유동에 있어 점성에 의한 에너지 손실이 발생하므로, 식(2)에서 보는 바와 같이, 하류로 갈수록 압력손실  $\Delta P$ , 즉 손실수두  $\Delta h$ 는 증가하게 된다.  $\Delta h$ 는 일반적으로 다음식과 같이 표현된다.<sup>(5)</sup>

$$\Delta h = f \frac{\Delta L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

위 식에서  $V$ 는 유체의 평균속도를,  $d$ 는 관의 직경을,  $\Delta L$ 은 관의 두지점간의 거리를,  $f$ 는 관마찰계수를 각각 나타낸다. 관마찰계수  $f$ 에 관하여는, 먼저 층류일 때  $f=64/Re$ , 난류의 경우에는 아래식을 채용하였다.<sup>(6)</sup>

$$\frac{1}{f^{\frac{1}{2}}} = -2 \text{Log} \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{\text{Re} f^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (4)$$

여기서,  $\epsilon$ 은 파이프의 조도를 나타낸다.

또한 관의 입구와 출구에서는 유로 단면적의 급변화로 인한 에너지 손실과, 관의 중간에서 단면적의 변화로 인한 운동량변화에 의한 에너지 손실, 밸브와 오리피스에서의 압력손실 및 곡관 등에 의한 손실을 모두 합쳐서 일반적으로 Minor loss라고 하는데, 일반적으로 다음식과 같이 표현할 수 있다.<sup>(6)</sup>

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

위 식에서  $K$ 를 Minor Loss Factor라고 하는데, 참고문헌(3)을 주로 참조하였다. 먼저 탱크와 입구관 또는 출구관의 연결에 관하여는 직각으로 연결한 경우는  $K=0.45$ 를, 라운딩하여 연결한 경우는  $0.05$ 를 채택하였다. 그리고 이경관의 연결에 관하여는 확관부의 확관각에 따라서  $K$ 값을 정하였으며, 상용밸브, 티 및 엘보에 관하여는 공칭구경, 개도 및 연결각에 따라서 그 값을 사전 입력한 데이터베이스를 통하여 계산할 수 있도록 하였다.<sup>(7),(8)</sup>

이하에서는  $\text{CO}_2$  배관망 해석을 위한 구체적 수치방법에 관하여 기술하기로 한다. 본 연구에서와 같은 비압축성 유체의 경우 체적유량  $Q$ 가 일정하

므로 관의 일정 구간에서 구하고자 하는 미지수는 입구 및 출구압력과 체적유량의 3개가 되며, 압축성일 경우에는 압력의 변화에 따라서 비체적이 변화하므로 미지수는 입구와 출구압력 그리고 입구와 출구에서의 체적유량의 4개가 된다. 또한 비압축의 경우라도 관내유동에 열의 출입이 있는 경우에는 비체적이 변하므로 압축성 유체의 경우와 마찬가지로 미지수가 4개가 된다.

Fig. 4와 같이 Pipe "1" 비압축성 유체가 유입하여 "2" 및 "3"으로 분기되는 경우에 대하여 생각한다.

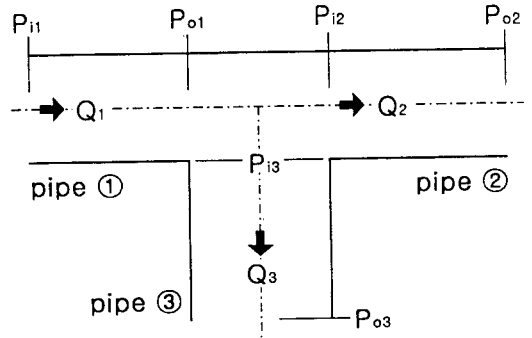


Fig. 4 Standard calculation model of piping system

먼저 각 파이프에서의 체적유량은 연속의 법칙에 의하여,

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

각 파이프에서의 입구 및 출구의 압력은,

$$\begin{aligned} P_{11} &= \text{const. (given)} \\ P_{02} &= \text{const. (given)} \\ P_{03} &= \text{const. (given)} \end{aligned} \quad (7)$$

다음으로, 식(2)와 같이, 각 파이프에서 마찰손실을 고려한 Bernoulli 방정식은,

$$\begin{aligned} P_{11} + \frac{Q_{11}^2}{2g A_{11}^2} \gamma_{11} + Z_{11} \gamma_{11} &= P_{01} + \frac{Q_{01}^2}{2g A_{01}^2} \gamma_{01} + Z_{01} \gamma_{01} + \Delta P_1 \\ P_{12} + \frac{Q_{12}^2}{2g A_{12}^2} \gamma_{12} + Z_{11} \gamma_{12} &= P_{02} + \frac{Q_{02}^2}{2g A_{02}^2} \gamma_{02} + Z_{02} \gamma_{02} + \Delta P_2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$P_{i3} + \frac{Q_{i3}^2}{2g A_{i3}^2} \gamma_{i3} + Z_{i3} \gamma_{i3} = P_{o3} + \frac{Q_{o3}^2}{2g A_{o3}^2} \gamma_{o3} + Z_{o3} \gamma_{o3} + \Delta P_3$$

그리고 분기점에서의 에너지 손실에 관하여는,

$$1 \rightarrow 2 \text{ Line} : P_{o1} + \frac{Q_{o1}^2}{2g A_{o1}^2} \gamma = P_{o2} + \frac{Q_{o2}^2}{2g A_{o2}^2} \gamma + \Delta P_{11} \quad (9)$$

$$1 \rightarrow 3 \text{ Line} : P_{o1} + \frac{Q_{o1}^2}{2g A_{o1}^2} \gamma = P_{o3} + \frac{Q_{o3}^2}{2g A_{o3}^2} \gamma + \Delta P_{12}$$

위 식들에서 첨자 i는 각 파이프의 입구를, 첨자 o는 출구를 의미한다.

Newton-Raphson법을 이용하기 위하여 식(6)~식(9)에서 각 항을 전부 우변에 이항시켜 그 잉여치를  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_9$ 으로 두면,

$$\begin{aligned} F_1 &= Q_1 - Q_2 - Q_3 \\ F_2 &= P_{11} - C \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (10)$$

$$F_9 = P_{o1} + \frac{Q_{o1}^2}{2g A_{o1}^2} \gamma - P_{o3} - \frac{Q_{o3}^2}{2g A_{o3}^2} \gamma - \Delta P_{12}$$

그러므로 구하고자 하는 미지수  $P_{11} \sim P_{13}, P_{o1} \sim P_{o3}, Q_1 \sim Q_3$ 를 Matrix로 나타내면 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{bmatrix} Q_1^1 \\ Q_2^1 \\ Q_3^1 \\ P_{11}^1 \\ P_{12}^1 \\ P_{13}^1 \\ P_{o1}^1 \\ P_{o2}^1 \\ P_{o3}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1^0 \\ Q_2^0 \\ Q_3^0 \\ P_{11}^0 \\ P_{12}^0 \\ P_{13}^0 \\ P_{o1}^0 \\ P_{o2}^0 \\ P_{o3}^0 \end{bmatrix} - J^{-1} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \\ F_9 \end{bmatrix} \quad (11)$$

위 식에서,

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial P_{o2}} & \frac{\partial F_1}{\partial P_{o3}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_9}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_9}{\partial Q_2} & \dots & \frac{\partial F_9}{\partial P_{o2}} & \frac{\partial F_9}{\partial P_{o3}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

실제의 배관망해석에서는 계산을 수행하여야 할 파이프의 수가 매우 많고, 이와 같이 라인의 수가 늘어날수록 미지수와 방정식의 수는 급증한다. 그러므로 계산시간을 단축하기 위하여 본 연구에서는 방정식들의 대각선 방향의 값만 남기고 다른 값은 0이 되게 하는 소위 Gauss-Jordan 소거법<sup>13)</sup>에 의한 표준화를 도모하여 실설계 대상 배관망에 관하여 순차적으로 그 해를 구할 수 있도록 하였다.

본 Program의 Flow Chart는 Fig. 5와 같이 각 파이프의 직경과 길이, 밸브를 포함한 배관도와 각 파이프의 입구와 말단부의 압력이 주어지면, 먼저 마찰손실, Tee나 Junction, 밸브 등에서의 Minor Loss를 구하고서 식(11)에 의한 역행렬을 구함으로써, 최종적으로는 각 말단 파이프에서의 압력이나 관심 대상 탱크로의 유량이 소정치로 유지되는 것을 확인하거나 계산할 수 있도록 되어있다.

이상과 같이 방화설비계통의 배관망해석을 위하여는 대상유체인 CO<sub>2</sub>의 필요한 물성치를 전산수식화하여야 하는데, 본 연구에서는 참고문헌(8)을 참조하여 Table 2와 같이 최소사승법처리를 하였다.

Table 1은 Table 2의 식들에 의한 구체적 계산치를 나타낸다.

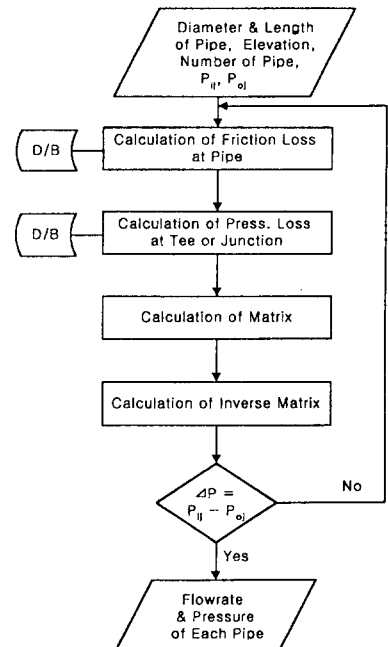


Fig. 5 Flow chart for piping analysis

**Table 1 Thermodynamic Properties of CO<sub>2</sub>**

Temp. T(K)	Sat.Press. Ps(10 <sup>5</sup> Pa)	Latent Heat γ(kJ/kg)	Specific Heat		Density	
			C <sub>p1</sub> (kJ/kg℃)	C <sub>p<sub>g</sub></sub> (kJ/kg℃)	ρ <sub>l</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	ρ <sub>g</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
240	12.830	308.7	1.975	1.132	1089.4	33.372
245	15.190	299.3	2.032	1.188	1068.5	39.573
250	17.856	289.3	2.092	1.253	1046.6	46.721
255	20.849	278.6	2.156	1.333	1023.6	54.962
260	24.194	267.0	2.230	1.430	999.44	64.476
265	27.913	254.7	2.318	1.553	973.80	75.504
270	32.034	241.2	2.430	1.713	946.38	88.368
272	33.801	235.4	2.484	1.791	934.82	94.123
274	35.638	229.4	2.545	1.880	922.87	100.28
276	37.549	223.2	2.614	1.982	910.48	106.88
278	39.533	216.6	2.694	2.100	897.61	113.97
280	41.595	209.8	2.787	2.237	884.19	121.63
282	43.737	202.6	2.896	2.400	870.15	129.92
284	45.960	195.1	3.026	2.597	855.39	138.93
286	48.269	187.0	3.185	2.837	839.80	148.79
288	50.665	178.5	3.381	3.138	823.21	159.66
290	53.152	169.3	3.630	3.525	805.42	171.74
292	55.734	159.3	3.959	4.042	786.15	185.32
294	58.425	148.3	4.413	4.763	764.95	200.82
296	61.198	136.0	5.084	5.836	741.19	218.90
298	64.090	121.8	6.179	7.596	713.72	240.67
300	67.095	104.8	8.303	10.987	680.31	268.35

**Table 2 Equations for the thermal properties of CO<sub>2</sub>**

Property	Range	Equation
Saturation Temperature, T <sub>s</sub> (K)	Ps = 12.83 ~ 67.095 × 10 <sup>5</sup> Pa	T <sub>s</sub> = 210.2867561383 + 2.7421209009 Ps - 0.0331796570 Ps <sup>2</sup> + 0.0001834675 Ps <sup>3</sup>
Latent Heat, γ (kJ/kg)	T <sub>s</sub> = 240 ~ 300 K	γ = 231.7123676826 - 3.0427474680 T <sub>s</sub> - 0.0233057710 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> - 0.0002201246 T <sub>s</sub> <sup>3</sup>
Specific Heat of Liquid, C <sub>p1</sub> (kJ/kg℃)	T <sub>s</sub> = -33.5 ~ 12.85 ℃	C <sub>p1</sub> = 2.5175327012 + 0.033537913 T <sub>s</sub> + 0.0010486641 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> + 0.0000162470 T <sub>s</sub> <sup>3</sup>
	T <sub>s</sub> = 12.85 ~ 26.85 ℃	C <sub>p1</sub> = -9.0736458199 + 2.1742566401 T <sub>s</sub> - 0.1300530391 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> + 0.0027166538 T <sub>s</sub> <sup>3</sup>
Specific Heat of Gas, C <sub>p<sub>g</sub></sub> (kJ/kg℃)	T <sub>s</sub> = -33.5 ~ 12.85 ℃	C <sub>p<sub>g</sub></sub> = 1.8363126727 + 0.0458247956 T <sub>s</sub> + 0.0016831436 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> + 0.0000476763 T <sub>s</sub> <sup>3</sup> + 0.0000005830 T <sub>s</sub> <sup>4</sup>
	T <sub>s</sub> = 12.85 ~ 26.85 ℃	C <sub>p<sub>g</sub></sub> = -14.8252390712 + 3.1582899275 T <sub>s</sub> - 0.0010486641 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> + 0.0040505434 T <sub>s</sub> <sup>3</sup>
Density of Liquid, ρ <sub>l</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>s</sub> = 240 ~ 300 K	ρ <sub>l</sub> = 930.4912016324 - 5.8028391337 T <sub>s</sub> - 0.0787320525 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> - 0.0015994087 T <sub>s</sub> <sup>3</sup>
Density of Gas, ρ <sub>g</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>s</sub> = 240 ~ 300 K	ρ <sub>g</sub> = 97.7116644832 + 3.1241305175 T <sub>s</sub> + 0.0502015045 T <sub>s</sub> <sup>2</sup> + 0.0005513837 T <sub>s</sub> <sup>3</sup> + 0.0000239937 T <sub>s</sub> <sup>4</sup> + 0.0000013185 T <sub>s</sub> <sup>5</sup> + 0.0000000210 T <sub>s</sub> <sup>6</sup>

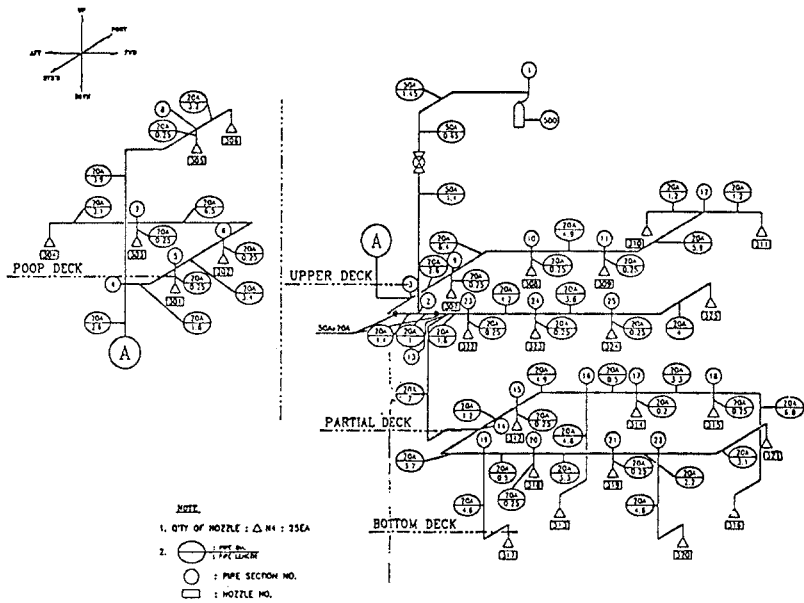


Fig. 6 Designed CO<sub>2</sub> piping system in E/R (4,500 DWT)

### 3. 계산결과

Fig. 6은 I.H.조선소의 4,500 DWT급 화학제품 운반선에 설치된 기관실내 Bottom deck, Partial deck, Upper deck 및 Poop deck의 실제 CO<sub>2</sub> 소화설비계통도를 나타낸다. 이 그림에서 타원형 기호내 상부는 파이프의 호칭내경을, 하부는 파이프의 길이를 미터 단위로 나타내며, 삼각형 기호는 말단노즐의 번호를 각각 나타낸다.

이 그림을 토대로 본 연구를 통하여 개발한 방화설비 해석용 전산소프트웨어에 의한 해석을 위한 모델링도를 Fig. 7에 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 해석 대상 CO<sub>2</sub> 저장설비는 용량 45 kg의 CO<sub>2</sub>가 12개 준비되어 있어, 화재시 기관실에 분출되도록 되어 있다. CO<sub>2</sub> 저장설비와 연결된 P-23 파이프는 직경 50 mm이고, 이와 분출노즐을 연결하는 각 지관인 P-31, P-32, P-36, P-38, P-44는 모두 직경 20 mm로 설계되어 있다. 전술한 Fig. 4에서 기술한 바와 같이 분기관 또는 밸브, Tee 등이 설치된 곳까지를 하나의 계산구간으로 하여 순차적으로 유동해석을 하면 되는데, 그림중의 파이프 번호는 계산을 위하여 순차적으로 설정한 pipe 번호를 의미한다.

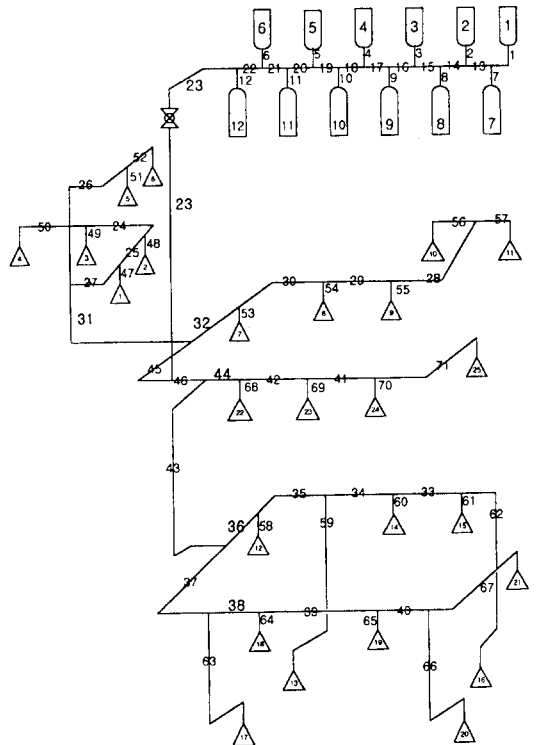


Fig. 7 Modeling of piping system for calculation

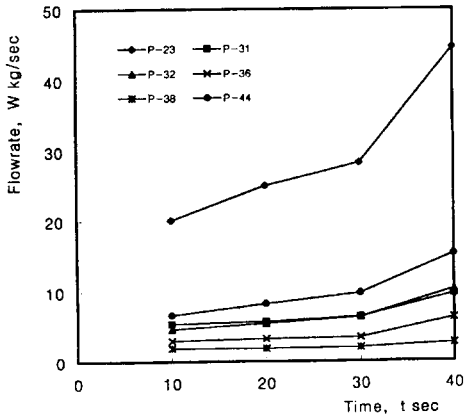


Fig. 8 Variation of flowrate in main and branch lines

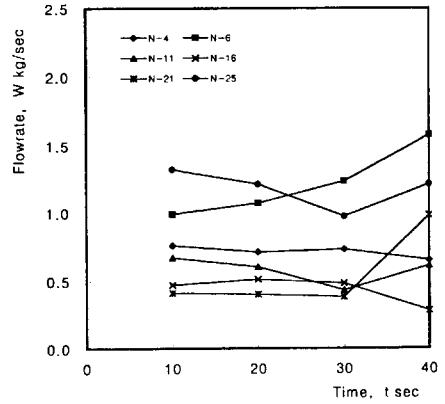


Fig. 10 Variation of discharge rate in the end nozzles of each line

먼저 Fig. 8에서 저장설비에 연결된 P-23 파이프와 각 지관인 P-31, P-32, P-36, P-38, P-44 파이프에서 시간의 경과에 따른 체적유량의 계산결과를 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 분출노즐에서는 되도록 균일하게 CO<sub>2</sub>가 유출하여야 하므로 노즐수에 비례하도록 각 지관을 흐르는 체적유량이 되어야 하나, 실제로는 CO<sub>2</sub> 저장설비에 가까운 지관을 흐르는 체적유량이 과다함을 알 수 있다.

Fig. 9는 P-32 지관에 설치된 5개 노즐의 유량변동을 계산한 결과를 나타낸다. 이 그림에서도 가장 상류측에 설치된 N-7 노즐에서 가장 분출량이 많으며, 말단에 설치된 N-11 노즐의 분출량이 가장 적음을 확인할 수 있다.

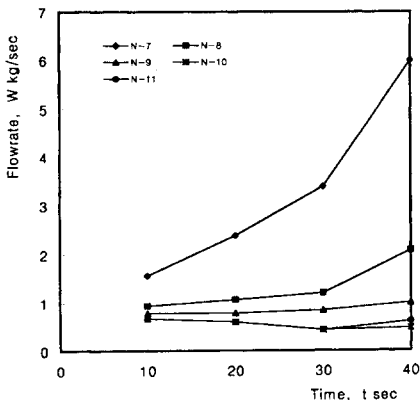


Fig. 9 Variation of discharge rate in nozzles at P-32 line

Fig. 10은 각 지관의 말단에 설치된 노즐만을 대상으로 시간의 경과에 따른 분출량을 정리하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 각 지관의 말단에 설치된 노즐들도 분출량의 차이가 매우 큼을 알 수 있다.

기관실에 화재가 발생하면 정해진 시간내에 CO<sub>2</sub>가 분출되어야 함은 물론 공간적으로 균일하게 분출됨으로써 기관실내를 균일한 CO<sub>2</sub> 농도가 이루어지도록 하여야 화재의 진압이 용이할 것이다. 본 논문에서는 연구개발된 프로그램을 이용하여 위의 경우에 대하여 되도록 간략한 개선방법을 모색하여 보았다.

Fig. 11은 그 결과로서, Main pipe인 P-23의 내경을 100 mm로 변경시켰을 때 각 지관의 체적

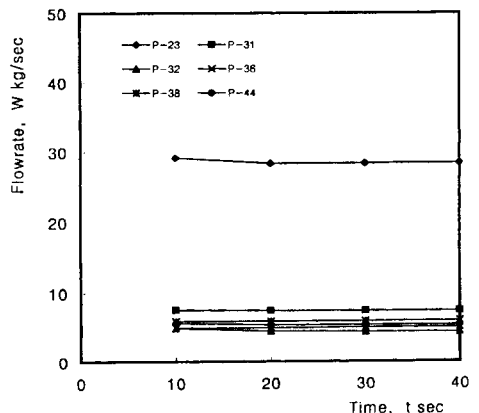


Fig. 11 Improved flowrates in main and branch lines



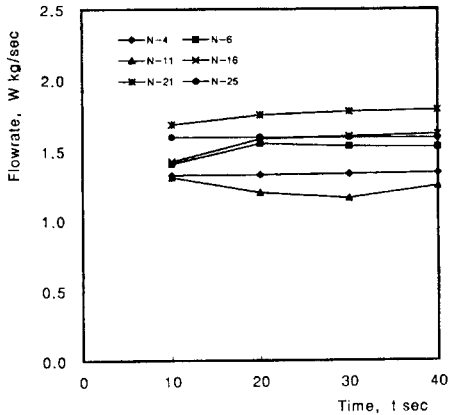


Fig. 12 Improved discharge flowrates in the end nozzles

유량변화의 계산결과를 나타낸다. 내경이 50 mm 인 Fig. 8의 경우와 비교하여 각 지관의 유량이 거의 균일하게 유지됨을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 이 경우 Fig. 10과 같이 각 지관의 말단에 설치된 노즐에서의 체적유량변화를 계산한 결과를 나타내는데, 그림에서 보는 바와 같이, Main pipe의 직경만을 확대함으로써 화재시 CO<sub>2</sub>를 기관실 전체에 균일하게 분출시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 대형 화재나 선박 화재에 대비하여, CO<sub>2</sub> 방화설비계통의 실제 설계를 위한 전산소프트웨어를 개발하여, 4,500 DWT급 화학제품 운반선에 기 설치된 기관실내 방화설비계통을 검토하므로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 파이프내 마찰손실, Minor loss 및 마찰손실을 고려한 비압축성 유체의 유동에 대한 Bernoulli방정식에 의하여 소화설비계통의 유동 해석이 가능하였다.

(2) 현재 특히 선박용 CO<sub>2</sub> 방화설비의 설계에 있어서 화재시 화재 현장의 전 공간내에 CO<sub>2</sub>가 균일히 분사되어야 하는 점에 관하여 설계상 상당한 기술적 문제점이 있다.

(3) 이의 개선을 위하여는 본 연구에서와 같이 설계시 분출 노즐의 직경과 노즐의 분출특성은 물론 전 손실수두를 감안하여 각 파이프의 직경을 적절히 선정하여야 공간적으로 균일한 CO<sub>2</sub>의 분출과 농도 유지가 가능하다.

#### < 후 기 >

본 연구는 산학협동재단의 1996년도 Matching Fund사업에 의하여, 당 재단과 (주)화인산업의 연구비지원에 의하여 연구가 수행되었음을 밝히며, 이에 심심한 사의를 표합니다.

#### 참고문헌

- (1) Robert A. Parsons, "1989 - ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. (1989).
- (2) R.H.Warring, "Handbook of Valves, Piping & Pipelines", Gulf Pub. Co. (1982).
- (3) M. W. Kellogg, "Design of Piping System", M. W. Kellogg Co. (1956).
- (4) "National Fire Codes", National Fire Protection Association, Vol.1 (1982).
- (5) E.B. Wylie & V.H. Streeter, "Fluid Transients in System", Prentice - Hall (1993).
- (6) 金京根 外 3名, "水力學 및 流體力學 演習", 太和出版社 (1986).
- (7) E. P. Goehring, "Marine Piping Handbook for Designers" (1944).
- (8) 管路・ダットの 流體抵抗出版分科會, "管路・ダットの 流體抵抗", 日本機械學會 (1989).

## 저 자 소 개



### 김경근(金京根)

1952년 10월 17일생. 1974년 한국해양대 해사대 기관공학과 졸업. 1977년 동 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1979년 일본 동경대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1985년 일본 동경대 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 한국해양대 해사대 기관공학과 교수.



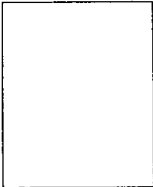
### 이정혜(李貞惠)

1975년 한국해양대 이공대 냉동공조공학과 졸업. 현재 동 대학원 냉동공조공학과 재학.



### 이정열(李政烈)

1970년 2월 5일생. 1995년 한국해양대 이공대 기계공학과 졸업. 1998년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 (주)한국열유체 연구원.



### 김종헌(金鍾憲)

1957년 11월 3일생. 1982년 한국해양대 해사대 기관공학과 졸업. 1988년 동 대학원 선박기계공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 선박기계공학과 졸업(박사). 현재 한국선급 해양오염방지설비팀장.



### 오병주(吳炳周)

1950년 5월 6일생. 1974년 한국해양대 해사대 기관공학과 졸업. 1982년 전남대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 목포해양대 기관공학부 교수.