

Piping Systems FluidFlow v.3: 배관망 유동해석/설계 소프트웨어

김진권 (Jin-Kwon KIM)*

1. 배관망 유동해석과 CFD

(1) 배관망 유동해석 개요

배관망 유동해석 (Piping Systems Fluid Flow)은 한마디로 말하자면, 배관 혹은 배관망 (pipe network)의 각 위치에서의 유량, 압력, 압력손실 및 더 나아가서 온도, 열전달량 등을 계산하는 것이다.

배관 혹은 배관망은 보통 파이프, 덕트, 곡관, 엘보우, T-연결관, Y-연결관, 밸브, 체크밸브, 컨트롤밸브, 안전밸브, 펌프, 팬/송풍기/압축기, 열교환기, 냉각탑 등의 배관요소들로 구성되고, 입출구에 탱크, 저수지, 대기로 열리거나 닫힌 파이프 등으로 이루어진다.

배관망의 입출구에서의 유량, 압력, 온도 등의 조건 및 각 배관요소에서의 온도나 열전달 조건 등이 주어졌을 때, 다른 모든 배관요소에서의 유량, 압력, 압력손실을 계산하고, 더 나아가서 온도, 열전달량 등을 계산하는 것이 배관망 유동해석의 영역이다. 이러한 계산을 하기 위해서는 온도, 압력 등의 조건에 따라서 해석하고자 하는 유체의 물성을 완벽하게 계산하는 것이 필요하다.

(2) 배관망의 예

이러한 배관망들에는 일상생활에서 가깝게는

- 각 가정의 부엌, 세면기, 욕실의 수도꼭지가 연결되어 있고, 아파트나 건물의 부스터 펌프에 의해서 작동되는 건물내부 수도 배관망, 싱크대나 화장실 등에서 사용한 물을 배출하는 하수도 배관망,
- 각 방의 에어컨 혹은 환기구와 연결되어 있는 건물의 공기조화 및 환기공기 덕트망, 이러한 공기조화

설비와 연결되어 있는 에어컨의 냉매 배관 및 공기조화 시스템의 냉각수가 냉각탑을 거쳐 흐르는 냉각수 배관망,

- 보일러의 난방수가 흐르는 난방수 배관망, 급탕수가 흐르는 급탕수 배관망 등의 작은 가정용 혹은 건물용 배관망,
- 좀 더 큰 규모로는 각 가정이나 건물에 상수도를 공급하는 지역정수장으로 부터의 상수도 공급 배관망, 더 큰 규모로는 강이나 댐 등의 취수장에서 각 지역 정수장까지 물을 공급하는 광역상수도 라인 등,
- 각 지역에는 비가 오면 홍수를 방지하기 위해서 있는 배수펌프장에서의 배수라인 등이 있다.

가정에서와 마찬가지로 산업용으로도

- 일반 사무실 건물, 공장에서 상수도망으로부터의 시수 공급라인, 보일러로 부터의 온수공급라인, 냉각탑으로 부터의 냉각수 공급라인, 산업용수 배수라인, 공기조화 라인, 냉매 라인 등,
- 화학공장에서 화학공정에 필요한 각종 화학물질을 이송하는 배관, 발전소에서의 수증기 배관, 제철소 제철공정에서의 각종 냉각노즐에 냉각수 공급 배관,
- 지역난방에서의 지역난방수 공급라인 등이 있다.

인체에 혈관을 통해서 피가 흘러서 산소와 영양분과 에너지를 각 신체기관에 공급해 주고 노폐물을 배출하듯이, 가정과 산업체, 도시 등에서 물과 공기와 에너지를 공급하고 노폐물을 배출하는 혈관과 같은 역할을 하는 것이 배관망인 것이다.

(3) 배관망 유동해석의 적용 예

배관망 유동해석은 이처럼 중요하고 광범위한 배관

* (주)터보헤드(TurboHead.com) 대표이사, 공학박사
E-mail : realdog@snu.ac.kr

망을 설계하고 설치할 때,

- 필요한 유체의 흐름이 이루어지기 위해 필요하고도 경제적인 배관 직경의 선정,
- 주어진 배관망에서 필요한 유량과 압력을 발생시키기 위한 펌프의 유량 및 양정 계산,
- 배관망과 펌프 등의 사양이 정해졌을 때, 펌프 작동점 확인 및 각 배관요소에서의 필요한 유량, 압력 공급 여부 등을 결정하는데 필수적인 역할을 한다.

또, 설치된 배관망을 운용할 때,

- 시간이나 운전상태에 따른 밸브나 펌프 조절에 의한 유량조절시, 각 배관 위치에서의 필요 유량, 압력 공급여부 확인,
- 필요 유량과 압력을 만족시키는 방법이 여러 가지 일 경우에, 각 경우의 펌프, 송풍기 등 에너지 비용 산출에 의한 합리적인 운전조건 검토,
- 수요 변동 등에 의해서 배관망 수정이 필요할 때, 필요한 유량과 압력을 공급하기 위한 방안 검토 등에서도 중요한 역할을 한다.

(4) 배관망 유동해석 이론

이러한 배관망 유동해석은 기본적으로 파이프와 배관요소에서의 압력손실 Δp_l 을 동압 $\frac{1}{2}\rho v^2$ 과 손실계수 K 의 곱인

$$\Delta p_l = K \cdot \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (1)$$

로 표현되는 압력손실 관계식에 따라서, 유속 v 와 압력손실의 관계를 구하고, 이로부터 유량과 압력의 관계를 구하는 것이다.

손실계수 K 는 파이프에 대해서는

$$K = f \frac{L}{D} \quad (2)$$

와 같이 파이프 길이 L 에 비례하고, 파이프 직경 D 에 반비례하는데, 그 계수는 마찰계수 f 라고 불리고,

$$f = f(Re, \frac{\epsilon}{D}) \quad (3)$$

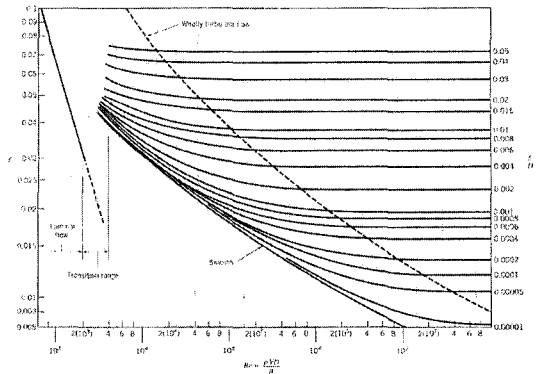


Fig. 1 Moody 선도

와 같이 레이놀즈 수 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$ 와 상대조도 $\frac{\epsilon}{D}$ 의 함수로 표시되는데, Fig. 1에 나타난 바와 같은 Moody 선도를 따른다.

곡관, 밸브, 확대/수축관, T-접속관 등 파이프 이외의 배관요소에 대한 K 값도 엄밀하게는 레이놀즈수와 배관요소 고유의 형상 파라미터의 함수로 나타나는데, 보통 배관유동 해석에서는 핸드북의 표준값이나 제조사 제출 값을 바탕으로 상수 취급을 한다.

요약하면, 식 (1)이 배관망 유동해석을 하는 가장 기본적이고 중요한 식으로, 말하자면 배관유동해석의 지배방정식이 된다. 즉, 배관망 유동해석은 1차원 유동을 가정하는 산술방정식인 압력손실 관계식을 푸는 것으로, 미분방정식을 다루어야 하는 구조해석이나 3차원 점성 유동장 해석과는 달리 간단하다.

(5) 배관망 유동해석 방법과 CFD

가장 간단한 단일 파이프의 길이와 직경, 표면조도 등의 형상이 정해져 있고, 유량이 주어졌을 때, 식 (1)에 따라 압력손실을 구하는 것은, 순차적으로 유속을 구하고, 레이놀즈수를 계산하면 Moody 선도에서 손실계수 K 값을 바로 찾을 수 있기 때문에 직접적이고 수계산으로 쉽게 구할 수 있다. 반면에 식 (1)에서 압력손실이 주어졌을 때 유량을 계산하는 것은, Moody 선도가 유량의 함수가 되기 때문에 반복계산이 필요하고, 수계산으로는 시간이 좀 걸릴 것이다.

이와 같이 가장 간단한 배관유동 해석도 바쁜 엔지니어들에게는 번거로운 계산이고, 컴퓨터 프로그램화 된 소프트웨어가 필요하다. 더구나, 배관망에서와 같이 배

관들이 복잡하게 연결되어 있다면, 배관 개수만큼 연결된 압력손실 관계식을 풀어야 하므로, 수작업으로는 현실적으로 불가능한 계산이 된다. 이 산술연립방정식을 반복계산하여 풀어주는 소프트웨어가 배관망 유동해석 소프트웨어이다.

배관망 유동해석 소프트웨어도 유동을 컴퓨터를 이용해서 수치적으로 해석하므로 이른바 넓은 의미의 전산유동해석 (Computational Fluid Dynamics, CFD)의 한 분야로 생각할 수 있다고 본다. 그러나 통상 사람들이 CFD라고 하면 3차원 점성유동 해석을 의미하는 것으로 생각한다.

이와 같은 인식 때문에 유체공학을 전공하지 않고 업무에서 배관망 유동을 접하는 많은 엔지니어들이 배관망 유동해석을 하기 위해서 좁은 의미의 CFD, 즉 3차원 점성유동 해석 소프트웨어에 관심을 가지고, 구입하거나 관련 업체에 컨설팅 프로젝트를 주는 경우를 가끔 본다.

연립 1차원 산술방정식과 경험적인 손실계수 데이터로 수 분 이내에 풀 수 있는 복잡한 배관망의 유량, 압력 손실 관계 및 밸브/펌프의 작동점을 구하기 위해서, 수 개월에 걸쳐서 전체 배관망 형상을 단순화해서 3차원 격자를 생성하고, 3차원 점성유동 해석을 하는 장면을 상상해 보라. 더구나 수개월의 시간과 막대한 비용과 노력을 들인 3차원 점성유동해석 결과가 1시간여에 결과를 구해낸 단순한 배관유동해석 결과보다 신뢰성을 갖지도 못함을 안다면 어떤 느낌을 가질까?

(6) 배관망 유동해석 소프트웨어의 위상

좁은 의미의 CFD인 3차원 점성유동해석 소프트웨어들이 복잡한 3차원 형상에 대한 복잡한 unsteady 3차원 비선형 편미분방정식의 해를 제공하기 위하여, 3차원 형상 및 격자 생성을 위한 전처리 모듈, 난류 및 스칼라 방정식을 포함하는 unsteady 3차원 비선형 편미분방정식 solver 모듈, 복잡한 유동장 해석결과를 보여주기 위한 후처리 모듈 등을 가져야 하므로, 수천만원에서 억대에 달하는 고가이다. 또한, 이를 제대로 운용하기 위해서는 전문인력이 필요하고, 문제에 따른 격자 및 경계조건, 난류모델의 적합성, 난류모델과 격자의 상관관계 등에 의해서, 해석결과 정량적인 값이 시험값과 많은 차이를 보이기도 한다.

반면에 배관망 유동해석 소프트웨어는 단순한 연립 산술방정식과 경험적으로 정립된 손실계수 데이터베이스만을 이용하고 전처리와 후처리도 단순하기 때문에,

가격이 수백만원에서 천만원대 수준이다. 또 배관에 대한 현장 지식이 있는 엔지니어면 누구나 큰 어려움 없이 사용할 수 있고, 그 결과도 사용자에게 따라서 큰 차이를 보이지는 않기 때문에 배관 관련 설계, 운영을 하는 기관에서는 가격 대 효과를 고려한다면 활용할 때 충분히 효과를 볼 수 있는 소프트웨어이다.

2. Piping Systems FluidFlow v.3 소개

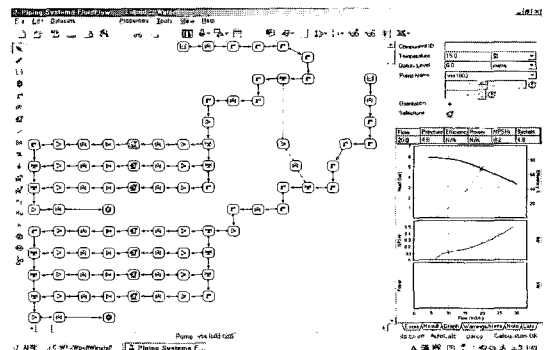
Piping Systems FluidFlow는 영국 Flite사가 개발하여 세계적으로 수많은 사용자들 사이에서 FluidFlow라는 이름으로 잘 알려진 배관망 유동해석 소프트웨어이다. FluidFlow의 특징을 간단히 설명하면 다음과 같다.

(1) FluidFlow는 아이콘식 사용방법으로, 사용이 간단하면서도 강력한 배관망 유동 및 열전달 해석/설계 SW이다.

Piping Systems FluidFlow는 앞서 언급한 바와 같이 좁은 의미의 CFD SW와 차별화되는, 배관망 유동해석 SW이고, 배관망의 설계에 유용하게 사용된다. 또한 배관망에서의 열전달 계산도 지원한다.

FluidFlow는 화면구성이 체계적이고, 사용하기 편한 아이콘식 방식을 채택해서 그림을 그리고, 오락을 하듯이 엔지니어링 문제를 풀 수 있는 소프트웨어이다.

아래 그림에서 보는 바와 같이 배관과 배관요소들의 아이콘을 선택한 후에 flowsheet 상의 위치를 클릭하거나 드래그함으로써, 해석하고자 하는 복잡한 배관망을 실제와 유사하게 배치할 수 있다. 또, 해당 배관요소를 선택하면 자동으로 해당배관요소의 필요입력 및 계산결과, 해당 그래프, 설계상의 경고/안내 등의 메시지를 한 눈에 볼 수 있다.



FluidFlow는 또한 배관요소별 default 사양 설정기능, 다양한 multi-select 기능 등 강력한 flowsheet 편집기능을 제공하여 손쉽게 복잡한 배관망을 입력하거나 수정할 수 있다.

(2) FluidFlow는 세계적으로 신뢰성이 검증된 SW이다.

Piping Systems FluidFlow는 영국 Flite사가 모든 버전을 상용으로 발표하기 전에, 문헌에 결과가 알려진 23가지의 대표적인 배관망 해석 문제들에 대해서 문헌값과 ±5% 이내의 정밀도로 검증되어진다.

그리고, 십여 년간 세계적으로 다양한 산업계의 수많은 사용자들에 의해서 수많은 실제 설계 문제에 적용되면서 피드백 받아서 검증된 신뢰성 있는 소프트웨어이다.

(3) FluidFlow는 빠른 수렴성을 보인다.

FluidFlow는 아주 빠른 수렴성을 보이며, 자동계산 설정을 해 두면, 비교적 단순한 배관망의 해석에서는 배관망이나 입력조건을 변경하면 실시간으로 계산결과를 확인할 수 있다.

아주 복잡한 배관망의 계산에서는 자동계산이 될 경우에, 배관망의 입력의 변경시 마다 자동계산 결과를 기다리느라 입력이 지체될 수 있으므로, 수동계산 설정을 해 두는 것이 좋다.

(4) FluidFlow는 다양한 분석기능 및 설계 오류 경고 기능이 있다.

FluidFlow는 설정에 따라서 flowsheet 상에서 마우스를 배관요소 위로 움직이는 것만으로, 입력 또는 계산결과들을 풍선메뉴로 확인할 수 있어서 신속하게 입력과 계산결과를 검토할 수 있는 기능을 제공한다.

또 파이프, 밸브, 펌프 등 배관요소에 따라서 다양한 결과값에 대한 테이블로 계산결과를 검토할 수 있으며, 밸브의 저항곡선, 작동점 및 펌프의 성능곡선, 시스템 저항곡선 및 그 교점으로서의 펌프의 작동점, 펌프의 효율곡선, 동력곡선 및 동력소모량, NPSH 곡선 등을 한눈에 확인할 수 있는 기능을 제공한다.

또한, 일반적인 배관 설계 기준에 어긋나는 현상이 발생하면 한눈에 알아 볼 수 있게 해당 배관요소가 빨간색으로 표시되고 설계경고 메시지가 보인다. 이러한 경고에는 배관 내 대기압 이하의 압력 경고, 경제유속 범

위 이외의 유속 경고, 캐비테이션 또는 액주분리 발생 경고, 벨브나 펌프 등의 작동범위 외의 운전 경고 등이 있다.

이러한 설계 오류 경고 기능은 경험이 적은 배관 설계자가 있고 지나치기 쉬운 배관설계상의 치명적인 오류들을 손쉽게 깨닫게 해주기 때문에, FluidFlow가 진정한 배관설계 도구 역할을 할 수 있게 해주는 기능들이다.

(5) FluidFlow는 수많은 액체 및 기체 물성 데이터를 가지고 있고, 이들 액체/기체 및 혼합물 배관망에 대한 유동 및 열전달 해석이 가능하다.

FluidFlow는 1천여 종에 달하는 액체 및 기체에 대한 물성치 데이터베이스를 내장하고 있어서, 이들 유체에 대한 배관망 유동해석 및 열전달 해석이 가능하다. FluidFlow는 이들 유체의 혼합물에 대한 물성도 계산하여 배관망 유동해석을 한다.

또, 사용자가 물성 테이블을 입력하거나 계산방법을 입력하는 방법으로 사용자만의 유체를 만들고, 배관망 해석에 사용할 수 있다.

(6) FluidFlow 기체 배관망 해석은 초킹 (choking) 조건까지 고려하며 해석한다.

FluidFlow는 기체 배관망 해석을 할 때, 압축성 및 열전달 효과를 온전히 고려하며, 초킹 조건도 고려하여 배관망 유동해석을 한다.

(7) FluidFlow는 다유체 배관망 해석까지 지원한다.

2006년에 발표된 FluidFlow v.3.0부터는 단일 배관망의 서로 다른 입출구에서 서로 다른 유체가 공급될 때, 혼합과정까지를 고려한 배관유동 해석이 정확하게 구현되고 있다.

이는 여러 배관망 유동해석 SW 중에서 FluidFlow만이 가지는 강점 중의 하나이다. 여기서 서로 다른 유체는 액체와 기체로 서로 다른 상의 유체도 포함할 수 있다.

(8) FluidFlow는 이상유동 (two-phase flow) 배관망 해석까지 지원한다.

FluidFlow v.3.1부터는 단일 배관에 액체, 기체의 다른 상의 유체가 유입되는 배관망 유동해석 뿐만 아니라,

배관망에서 상변화가 일어나는 이상유동에 대한 배관망 유동해석도 지원된다.

이것 역시 Piping Systems FluidFlow만이 가지는 장점이다.

(9) FluidFlow는 수많은 배관요소에 대한 핸드북 데이터와 수많은 제조사 성능데이터를 내장하고 있고, 사용자 데이터베이스를 지원한다.

FluidFlow는 배관, 곡관, 엘보우, 확대/수축관, T-연결관, 밸브 등에 대한 표준 핸드북 데이터베이스를 내장하고 있어서, 사용자는 손쉽게 이들 표준 배관요소를 배관망 유동해석에 사용할 수 있다.

또 밸브, 펌프, 웬/송풍기/압축기 등에 대한 수많은 제조사의 수많은 모델에 대한 성능곡선을 내장하고 있어서 사용자들은 각 장비의 성능곡선을 검토하고, 배관망 해석에 사용할 수 있다.

FluidFlow는 펌프 성능곡선이 임펠러 트림, 회전수 변경, 작동유체의 물성 변경에 따라 변화하는 것을 고려하면서 배관유동해석을 할 수 있다.

대부분의 장비 제조사 데이터가 유럽, 미국, 일본 제조사들의 데이터이므로, 국내 제조사나 새로운 모델에 대한 데이터는 사용자 데이터베이스로 만들어 사용할 수 있다.

각 장비에 대한 성능데이터는 프로그램과 함께 수시로 업그레이드가 되며, 사용자 데이터베이스는 다른 사용자와 공유가 가능하다.

(10) FluidFlow는 경제적인 파이프 직경선정, K-Kf-Kv 환산, 탱크체적 계산과 같은 도구들을 제공한다.

FluidFlow는 배관, 곡관, 엘보우, 확대/수축관, T-연결관, 밸브 등에 대한 표준 핸드북 데이터베이스를 내장하고 있어서, 사용자는 손쉽게 이들 표준 배관요소를 배관망 유동해석에 사용할 수 있다.

(11) FluidFlow는 합리적인 가격에 제공되고, 신속하고 전문적인 기술지원이 이루어진다.

Piping Systems FluidFlow는 고객들이 부담없이 사용하면서 그 투자비용을 충분히 뽑을 수 있도록 합리적인 가격정책을 유지한다.

고객은 필요에 따라 FluidFlow 기본모듈과 함께 액체

계산기능, 기체 계산기능, 이상유동 계산기능, 비뉴톤 유체 계산기능, 네트워크 라이선스, 스크립트 기능, 자동 장비선정 기능 등 중에서 골라서 구입할 수 있다.

FluidFlow는 구입시 permanent license를 가지게 되며, 1년 단위로 maintenance를 구입하여, 그 기간동안 SW 업그레이드 및 (주)터보헤드와 영국 Flite사로부터 신속하고 전문적인 기술지원을 받을 수 있다.

(12) FluidFlow는 최고의 비용 대비 효과를 거둘 수 있다.

배관망을 설계하거나 운영하는 기관에서 배관설계 오류에 의한 운전중지 손실과 시설수정 비용, 운영 오류에 의한 에너지 비용 등을 생각한다면, 미리 실질적으로 이러한 문제들을 검토해 볼 수 있는 배관망 유동해석/설계에 대한 프로그램 구입 혹은 컨설팅 비용은, 투자비용 대비 효과 면에서 엄청날 것이다.

이것은 CFD (3차원 점성유동 해석) SW 구입비 및 전담인력 운영비에도 불구하고, 많은 경우에 화려한 보고서와 발표자료는 얻을 수 있지만, 실질적으로 설계나 운전상의 뚜렷한 개선을 얻기 힘든 것과 비교하면, Piping Systems FluidFlow의 필요성과 효과를 절감할 수 있을 것이다.

3. (주)터보헤드의 기술지원 및 컨설팅

Piping Systems FluidFlow를 국내 판매/기술지원하는 (주)터보헤드는 유체공학 관련 연구, 설계, 해석, 시험, SW 개발, 시스템 제작 등 토털 솔루션을 제공하는 유체공학 전문기업이다.

상하수, 건물, 소방, 지역난방 및 제철, 화학, 발전 플랜트 등에 있어서의 배관망 유동해석/설계/운전에 관한 기술컨설팅 뿐만 아니라, 유체기계 설계, CFD, 시험 등 유체공학 분야 전반에서 합리적인 가격에 신속하고 전문적인 기술지원을 제공한다.

참고문헌

[1] Piping Systems FluidFlow manual.
[2] www.fluidflowinfo.com website.