

유압 호스의 경로 생성 및 피팅 배열각 설계

김연수*, 김재정**

Design for Hydraulic Hose Routing Pathes and Fitting Angles

Kim, Y. S.* and Kim, J. J.**

ABSTRACT

A hydraulic hose is an important part of the hydraulic system which transmits power using pressurized fluids. It allows relative motion between components at each end of the hose assembly, and it is much easier to route a hose assembly than it is to bend and install a rigid tubing assembly. Unnecessary loads, which drop the hose's pressure capability and shorten service life, depend on a hose-routing. Therefore, the Hydraulic system designers must be aware to consider unnecessary load does not affect the hose. For this consideration in an early stage of the design process, CAD system must support the hose assembly routing design function which is to generate routing path and design fitting angle properly. This paper proposes 2 methods. One is to generate curves that are similar to routing paths of the real hose assembly using the energy minimization method and the optimization method. The other is to design fitting angles that are important design elements of a hose assembly using the Parallel Transport Frame. To implement the proposed methods above, commercial CAD software, CATIA has been integrated with our program.

Key words : Hydraulic hose, Routing path, Energy minimization curve, Parallel transport frame, Fitting angle

1. 서 론

유압 시스템은 가압된 유체를 사용하여 동력을 생성, 조절 그리고 전달하는 시스템을 말하며, 주변에서 흔히 볼 수 있는 자동차의 파워 스티어링 시스템과 브레이크 시스템에서부터 우주선 발사장치까지 산업 전 분야에 폭넓게 사용되고 있다^[1]. 유압 시스템을 구성하는 부품 중 유체를 유압시스템의 각 컴포넌트로 전달하는 부품에는 금속 파이프(Steel pipe)와 금속 튜브(steel tube) 그리고 호스(flexible hose)가 있다. 이 중에서 호스는 유연한 특성을 가지고 있어 두 부품간의 상대운동이 필요한 곳에 사용된다.

호스는 금속 파이프와 금속 튜브에 비해 몇 가지 장점을 가지고 있다. 먼저 호스는 유연하기 때문에 금속 파이프나 튜브에 비해 배관이 간편하여 설치 및 유지 보수가 쉽고 배관 비용과 시간이 매우 절약된다.

금속 파이프나 금속 튜브를 사용하여 배관하는 경우에는 연결할 유압시스템의 컴포넌트들 사이의 거리가 길거나 장애물을 우회하여 배관하여야 하는 경우에 여러 개의 파이프나 튜브를 연결하여 배관하여야 한다. 하지만 연결 부위는 유체가 누출될 가능성이 크기 때문에 연결 부위의 개수가 늘어날수록 잠재적인 유체의 누출 지점은 늘어나게 된다^[2]. 그러나 호스로 배관할 때는 한 개의 호스로도 배관이 가능하므로 유체 누출을 최소화할 수 있다.

배관 설계에 따라 유압호스에는 호스의 내압력 성능 및 수명을 저하시키는 불필요한 하중이 작용한다. 앞서 설명한 호스의 장점을 최대한 활용하려면 설계자는 호스에 이런 불필요한 하중이 작용되지 않도록 배관 설계 시 유의해야 한다. 만약 이 유의점들을 지키지 못할 경우에 호스어셈블리로부터 피팅이 이탈한 다거나 수명이 심지어 10%로 줄어들 수도 있다^[2]. 그러나 유압호스의 배관설계는 유압시스템의 다른 부품에 비해 자유도를 많이 갖고 있으므로 대체로 설계에 후반부에 이루어지며 심지어 다른 부품의 설계가 끝난 후에 시제품 제작 단계에서야 이루어지기도 한다.

*학생회원, 한양대학교 기계공학부
**중신회원, 한양대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2004. 05. 21
- 심사완료일: 2004. 09. 22

때문에 설계자는 호스 배관 설계 유의사항을 유압시스템에 반영하기 어렵다.

반약 호스의 배관설계를 CAD시스템을 이용하여 초기 설계 단계에서 고려할 수 있다면 유압시스템의 다른 부품의 설계와 동시에 배관 설계가 이루어지므로, 설계자는 호스 배관 설계 유의사항을 고려한 유압시스템의 설계를 할 수 있을 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 CAD시스템에서 실제와 유사한 호스의 경로 곡선을 생성하는 방법과 호스 어셈블리의 피팅 배열각 계산방법을 개발하였다. 그리고 이 방법을 상용 CAD 소프트웨어에 적용하여 호스 배관 설계지원 툴을 개발하였다.

2. 유압호스의 구조와 배관 설계 유의사항

2.1 호스의 구조

유압 호스의 일반적인 구조는 Fig. 1과 같이 내면고무, 보강층, 외면고무로 구성되어 있다. 내면고무와 외면고무는 내유체성, 내후성, 내마모성을 가진 고무재질로 되어 있으며, 보강층은 호스내부의 유체의 압력을 지지하여 적절한 내압상도를 가질 수 있도록 금속재질의 보강 와이어로 이루어져 있다. 보강층은 호스의 성능과 가장 밀접한 관련이 있는 부분이며, 보강층이 파손될 경우 호스는 유압전달의 기능을 수행할 수 없다.

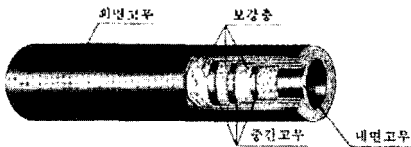


Fig. 1. 유압 호스의 구조.

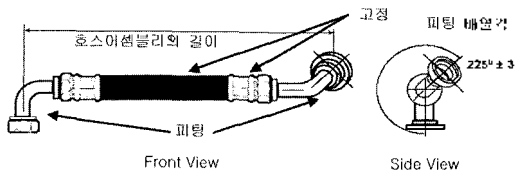


Fig. 2. 호스 어셈블리의 구조.

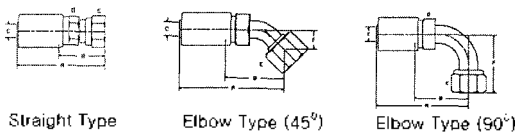


Fig. 3. 피팅의 종류.

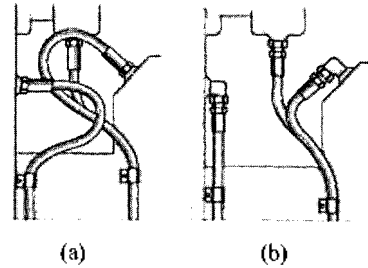


Fig. 4. 조립된 상태의 호스 어셈블리.

호스는 조립 시 Fig. 2와 같이 호스의 양끝에 연결부가 결합된 형태로 사용되며 이를 호스 어셈블리라고 부른다. 연결부를 피팅(Fitting)이라고 하며 피팅에는 Fig. 3과 같이 Straight Type과 Elbow Type 두 가지 종류가 있다. Elbow Type은 Straight Type에 비해 유압의 손실이 크다는 단점이 있다. 반면에 Straight Type은 Elbow Type에 비해 배관 시 많은 공간이 필요하다는 단점을 가지고 있다. Fig. 4는 두 가지 종류의 피팅이 결합된 호스 어셈블리가 유압시스템에 조립된 것을 보여주고 있다. (a) 그림은 Straight Type의 피팅이 결합된 호스 어셈블리의 경우이고 (b)는 Elbow Type의 피팅이 결합된 호스 어셈블리의 경우이다. (b)가 (a)에 비해 배관이 보다 간결함을 알 수 있다. 배관이 간결한 경우 그렇지 않은 경우에 비해 배관의 유지 보수 비용이 절감된다²⁾. 유압시스템에서는 이러한 이유로 유압의 손실을 감소하고 Elbow Type Fitting이 사용되고 있다.

호스 어셈블리에서 호스와 피팅은 완전히 고정되어 조립되기 때문에 회전자유도가 존재하지 않는다. 따라서 Fig. 2의 Side View와 같이 양끝 모두 Elbow Type 피팅이 결합된 호스 어셈블리는 영구적으로 양끝 피팅이 일정 사이각을 가지는데, 이 각도를 피팅 배열각이라고 한다.

2.2 호스 배관 경로 설계 유의사항

배관 설계에 따라 유압호스에는 인장력 및 비틀림 모멘트가 작용될 수 있는데, 인장력과 비틀림 모멘트는 호스의 내압력 성능 및 수명을 저하시킨다. 따라서 설계자는 호스의 배관 설계 시 유의해야 할 사항이 있다. 호스를 직선상으로 배관하는 경우, 가압 시 호스의 길이변화가 발생하므로 호스에 인장력이 작용하지 않도록 여유길이를 감안해서 전체 길이를 결정해야 한다.

또, 호스를 규정된 최소굴곡반경 이하로 과도하게 굴곡시키면 외측의 보강층은 인장력이, 내측의 보강

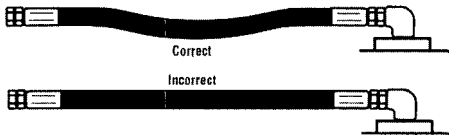


Fig. 5. 인장력이 작용할 수 있는 경우(위)와 권장되는 호스의 배관(아래).

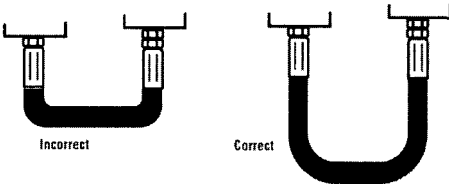


Fig. 6. 호스가 과도하게 굴곡진 경우(왼쪽)와 권장되는 호스의 배관(오른쪽).

충은 압축력이 가해져 내압력 성능이 크게 저하되어 조기파괴 및 이상파열의 원인이 되므로 호스를 과도하게 굴곡시켜 배관하면 안 된다.

그리고 호스는 비틀린 채로 배관되지 않아야 한다. 비틀림 모멘트가 호스 어셈블리에 작용될 경우, 고강 와이어에는 내부 압력에 의한 장력과 함께 비틀림 모멘트에 의한 추가 장력이 작용하게 되는데, 이로 인해 호스로부터 피팅이 이탈되고 호스의 수명이 단축될 수 있다. 각도가 5도 비틀어진 상태로 장착된 호스의 수명은 30%가 단축되고 각도가 7도 늘어졌을 경우에는 10%까지 수명이 단축되는 것으로 알려져 있다²⁾.

2.3 유압호스 어셈블리의 피팅 배열각 설계 유의사항

호스와 피팅 사이에는 회전 자유도가 없으므로 호스어셈블리에서 피팅 배열각은 비틀림 모멘트에 영향을 준다. 호스가 비틀림 없이 배관 되기 위해서는 피팅 배열각을 적절히 설계하여야 한다. 만약 설계자가 피팅 배열각을 잘못 결정하였다면 Fig. 8과 같이 피팅과 유압시스템의 연결부의 방향이 틀려 조립에 실패할 수 있으며 강제로 조립할 경우 호스에 비틀림 모멘트가 작용하여 호스 어셈블리에서 피팅이 이탈하거나 호스 파열의 원인이 된다. 피팅의 상대 위치를 피팅의 위상이라고 하는데 피팅의 위상은 동일한 호스어셈블리라 할 지라도 호스의 경로에 따라 달라질 수 있다. Fig. 9은 피팅 배열각이 70도인 호스가 다양한 곡선 경로를 가질 때 피팅의 위상이 어떻게 바뀌는지를 보여 주고 있다. 따라서 호스의 피팅 배열각을 결정하기 위해서는 호스의 배관 경로를 먼저 알고 있어야 한다.

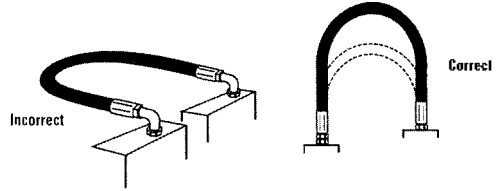


Fig. 7. 호스에 비틀림 모멘트가 작용하는 경우(왼쪽)와 권장되는 호스의 배관(오른쪽).

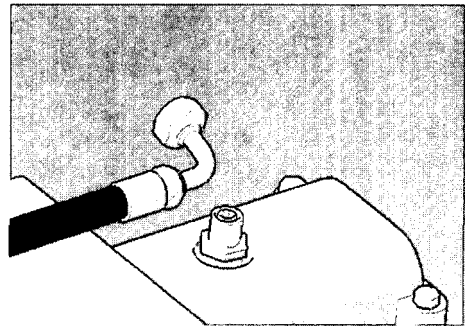


Fig. 8. 피팅 배열각이 잘못 설계된 경우.

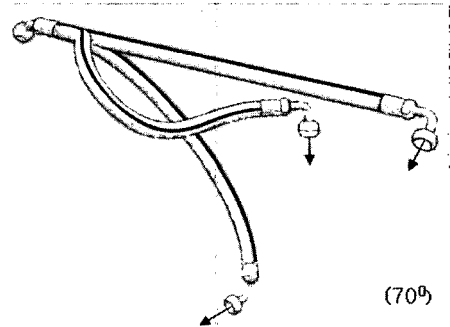


Fig. 9. 동일 호스를 다른 위치에 조립한 경우.

2.4 CAD시스템의 배관설계 지원의 필요성 및 필요 기능

일반적으로 설계과정에서 호스의 배관설계는 호스의 유연한 특성으로 자유도가 크기 때문에 유연하지 못한 다른 부품의 설계가 끝난 다음에 설계가 이루어진다. 따라서 설계자는 유압시스템 설계 시 앞 절에서 설명한 호스 배관 유의사항을 설계 초기 단계에서 고려하기 어렵다. 만약 배관 설계 유의사항을 설계 초기 단계에서 고려할 수 있다면 설계자는 호스 어셈블리의 설계를 유압시스템의 다른 부품의 설계와 동시에 수행할 수 있으므로, 호스의 배관 유의사항이 다른 부품 설계에 반영될 수 있을 것이다.

설계 초기 단계에서 호스의 배관 설계를 고려하기 위해서는 CAD시스템 내에서 호스의 배관 설계를 수

행할 수 있어야 하며 설계자가 호스 배관 설계 유의 사항을 고려할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 CAD 시스템의 호스 배관 설계 기능이 두 가지 기능을 갖추어야 한다. 첫째, 실제 호스와 유사한 경로 곡선을 생성할 수 있어야 한다. 설계자가 CAD시스템을 통해 호스의 배관경로를 알고 있다면 호스 배관 유의 사항 중 호스가 직선으로 배관되는지 규정된 최소 굽힘 반경 이하로 굽혀져 배관되는지 쉽게 판단할 수 있다. 둘째, 적절한 피팅 배열각을 설계할 수 있어야 한다. 피팅 배열각은 호스에 비틀림 모멘트가 작용하게 하는 직접적인 원인이다. 호스는 비틀림 모멘트에 의해 내압력 특성 및 수명이 크게 저하되므로 피팅 배열각을 적절히 설계하는 것은 호스 배관설계를 지원하는 CAD시스템으로서 반드시 포함되어야 하는 기능이다.

3. 호스경로곡선의 생성

설계자가 CAD시스템을 통해 호스의 배관경로를 알고 있다면 호스 배관 유의사항 중 호스가 직선으로 배관되는지 규정된 최소 굽힘 반경 이하로 굽혀져 배관되는지 쉽게 판단할 수 있다. 최소에너지법에 따라 변형된 물체는 변형에너지가 가장 최소인 형상을 가지므로, 호스의 변형에너지가 최소인 형상을 찾으면 실제 호스와 유사한 경로를 알아낼 수 있을 것이다. 변형에너지가 최소인 호스 형상을 갖는 경로 곡선을 생성하기 위해 최적화 방법¹⁾을 이용하였다.

3.1 호스의 경로곡선을 위한 곡선의 방정식

호스 경로를 곡선을 생성시키기에 앞서 경로 곡선을 표현하기 위한 곡선의 방정식이 필요하다. 다양한 문헌에 Bending Energy를 최소화하는 곡선은 자연 3차 스플라인(Natural Cubic Spline)이라고 알려져 있다¹⁴⁾. 따라서 호스 경로 곡선을 자연 3차 스플라인을 통해 표현하면 변형 에너지가 최소인 호스의 경로를 생성할 수 있을 것이다. 하지만 Fig. 10과 같이 현장에서 몇 가지 종류의 호스를 표준으로 정하여 사용하기 때문에 곡선의 시작점의 위치, 시작점에서의 방향, 곡선의 끝점의 위치, 끝점에서의 방향에 추가로 곡선의 길이 구속 조건이 주어지므로 3차 스플라인(Cubic Spline)으로는 경로 곡선을 표현할 수 없고 3차 이상의 차수를 가진 곡선이 필요하다.

Fig. 11에 곡선의 형상과 변곡점의 개수의 관계를 보여주고 있다. 실제로 배관되는 호스의 경로곡선은 변곡점이 3개 이상인 곡선의 형태를 가지지 않는다.

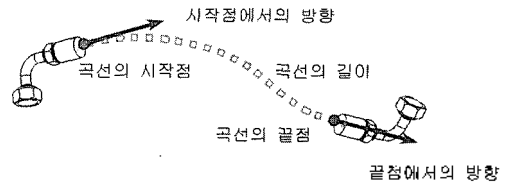


Fig. 10. 호스 어셈블리의 조립조건.

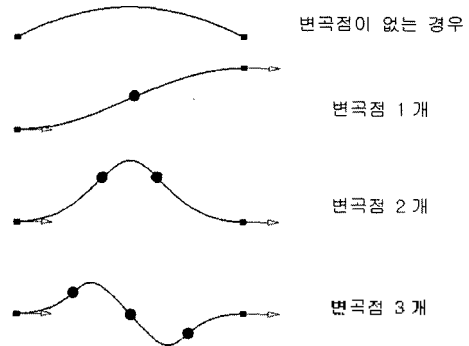


Fig. 11. 곡선의 형상과 변곡점의 개수.

변곡점은 3차 이상의 차수를 가진 곡선에서 나타나는 현상으로 곡률 중심의 방향이 바뀌는 지점을 말하며 차수가 늘어날수록 변곡점의 개수도 늘어나게 된다. 호스의 경로 곡선의 경우 3개 이상의 변곡점이 나타나지 않으므로, 5차 아크(Arc), 4차 아크 2개의 복합곡선, 3차 아크 3개의 복합곡선으로 호스 경로 곡선의 표현이 가능하다.

곡선의 미지수는 곡선의 차수가 증가할수록 미지수의 개수가 증가하며 n 차 곡선은 $n+1$ 개의 미지수를 갖는다. 호스 경로 곡선이 표현 가능한 세 개의 대상 곡선을 살펴보면, 5차 아크는 미지수가 6개, 4차 아크 2개의 복합곡선은 각 아크당 미지수가 5개이므로 총 10개의 미지수를 갖는데, 아크가 연결되는 지점에서 3차 연속이므로 미지수의 개수는 7개가 된다. 3차 아크 3개의 복합곡선은 각 아크당 미지수가 4개이므로 총 12개의 미지수를 갖는데 아크가 연결되는 지점에서 2차 연속이므로 미지수의 개수는 8개가 된다. 설계 변수의 개수가 증가할수록 최적화 방법에서 수치적으로 민감도¹⁵⁾를 구하는 단계에서 연산 횟수가 증가하므로, 본 논문에서는 호스의 경로 곡선으로 5차 Bezier 곡선을 사용하였다.

5차 Bezier 곡선¹⁶⁾의 방정식은 식 (1)과 같고 조정점과 곡선의 형상은 Fig. 12와 같다. 시작점과 끝점의 조립조건에 의해 조정점 중 P_0 과 P_5 는 결정된 상태이고 나머지 조정점 P_1, P_2, P_3, P_4 는 자유도를 가지고

있다. 처음과 끝점에서 두 번째 P_1 과 P_4 는 호스 시작점과 끝점에서의 방향이 정해져 있으므로 자유도는 1이다. 따라서 조정점 P_1 과 P_4 는 식 (2)와 같이 스칼라 값 α 와 β 로 위치를 정의할 수 있다. 그리고 나머지 두 개의 조정점 P_2, P_3 의 자유도는 3이다.

$$C(u) = \sum_{i=0}^5 \frac{5!}{i!(5-i)!} u^i (1-u)^{5-i} P_i \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (1)$$

$$\alpha = \|P_1 - P_0\| \quad \beta = \|P_5 - P_4\| \quad (2)$$

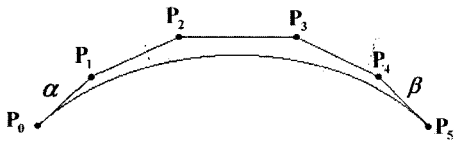


Fig. 12. 5차 Bezier 곡선과 조정점.

3.2 최적화 방법을 이용한 호스 경로 곡선의 계산

최적화 방법을 이용하여 변형에너지가 최소인 형상인 호스의 경로 곡선을 계산하였다. 본 논문에서 호스의 변형에너지는 굽힘 모멘트에 의한 변형에너지만을 고려하였는데, 이유는 굽힘 모멘트에 대한 호스의 강성은 매우 작은데 비해 비틀림 모멘트와 인장력에 대한 강성이 매우 크기 때문이다. 또 호스는 배관 길이가 길어지면 클램프에 의해 고정되어 중력에 의한 처짐이 무시할 정도로 작으므로 중력의 영향은 고려하지 않았다.

3.2.1 정식화

호스의 경로곡선의 형상을 계산하기 위한 설계변수는 5차 Bezier아크의 조정점 중 자유도를 가진 조정점의 위치이다. 따라서 설계변수는 식 (3)과 같다. 여기서 α 와 β 는 식 (2)로 정의되며 조정점 P_1 과 P_4 의 위치를 정의할 수 있는 스칼라 값이다.

$$X = \{\alpha, \beta, P_2, P_3\} \quad (3)$$

호스는 곡률이 매우 작지 않다면 단일 고무 재질로 이루어진 탄성변형체로 가정할 수 있다^[8]. 탄성 변형체에 대하여 굽힘 모멘트 M 에 의해 보 요소에 작용하는 수직응력 σ 은 식 (4)와 같다. 여기서 R 는 단면이차모멘트이고 y 는 중립축으로부터의 거리이다^[9].

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (4)$$

이를 굽힘 모멘트에 의한 변형에너지식인 식 (5)에 대입하고 굽힘 모멘트 M 와 곡률 κ 의 관계식 (6)를 대입하면 굽힘 모멘트에 대한 변형에너지 U_b 는 식 (7)과 같이 곡률의 제곱을 호스의 길이 L 에 대하여 적분한 것에 비례한다는 것을 알 수 있다. 여기서 E 는 호스 고무층의 탄성계수이고 ρ 는 곡률반지름이다.

$$U_b = \int_0^L \frac{\sigma^2}{2E} dV \quad (5)$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (6)$$

$$U_b = \frac{EI}{2} \int_0^L \kappa^2 ds \quad (7)$$

따라서 목적함수인 굽힘 모멘트에 의한 변형에너지식은 식 (8)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\text{Minimize } f(X) = \int_0^L \kappa^2 ds \quad (8)$$

길이에 대한 구속조건은 식 (9)와 같이 쓸 수 있다. 식 (9)에서 L_c 는 길이 구속조건으로 입력되는 호스의 길이이다.

$$h(X) = \int_0^L ds - L_c = 0 \quad (9)$$

3.2.2 최적화 수행 결과와 실제 호스의 형상비교

호스 어셈블리 조립조건에 따라 Table 1과 같이 4가지 조립조건으로 나눌 수 있다. 각 조립조건에 대해 앞서 설명한 정식화로 최적화 문제를 만들고 MATLAB 6.0을 이용해서 해를 구하였다. 그리고 최적화 결과를 같은 구속조건을 갖는 실제 호스의 형상을 비교하여 보았다. 비교 결과 Fig. 13~Fig. 16과 같이 굽힘 모멘트에 의한 변형에너지만을 고려하여도 최적화 수행결과와 실제 유압호스의 형상이 유사한 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. 호스 어셈블리 조립 조건의 분류

양끝점에서의 접선벡터가 한 개의 평면에 위치하는 경우 1. 접선 벡터가 평행한 경우 2. 접선 벡터가 교차하는 경우 3. 접선 벡터가 한 개의 직선 위에 놓이는 경우
양끝점에서의 접선벡터가 두 개의 평면에 위치하는 경우 4. 접선 벡터가 교인위치인 경우

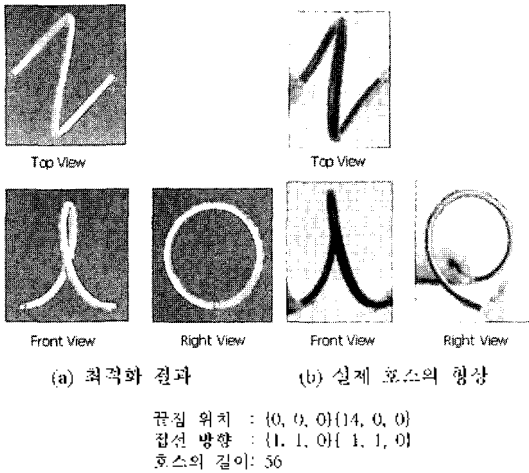


Fig. 13. 양 끝점에서의 접선벡터가 한 개의 평면에 위치하고 서로 평행한 경우.

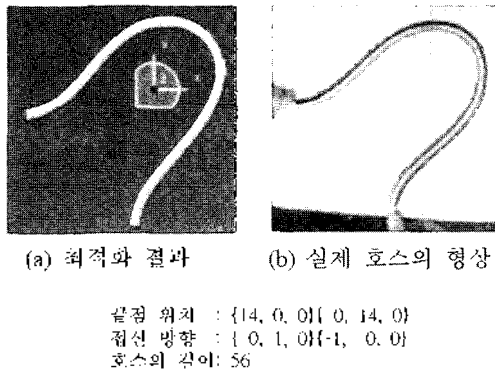


Fig. 14. 양 끝점에서의 접선벡터가 한 개의 평면에 위치하고 서로 교차하는 경우.

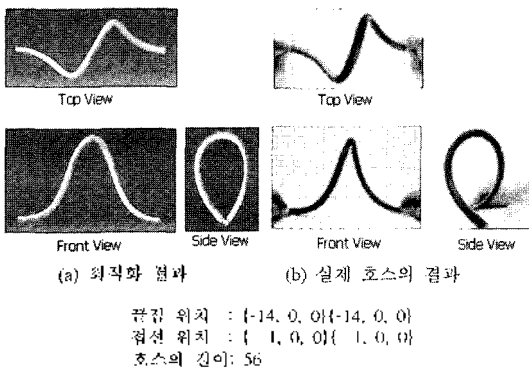


Fig. 15. 양 끝점에서의 접선벡터가 한 개의 직선 위에 놓이는 경우.

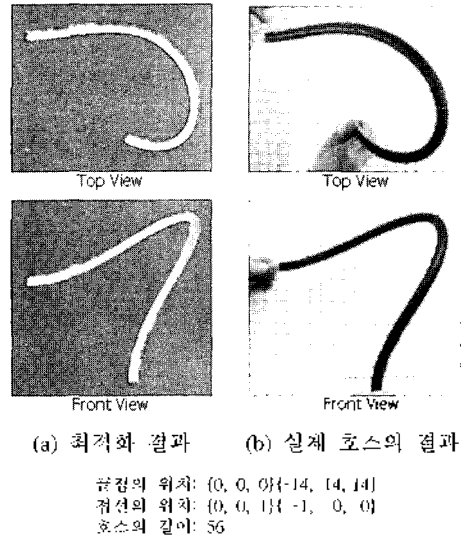


Fig. 16. 양 끝점에서의 접선벡터가 두 개의 평면에 위치하고 꼬인 위치인 경우.

4. 피팅 배열각의 설계

잘못 설계된 피팅 배열각은 호스에 비틀림 모멘트가 작용하게 하는 직접적인 요인이다. 호스는 비틀림 모멘트에 의해 내압력 특성 및 수명이 크게 저하되므로 피팅 배열각은 중요한 설계 요소이다.

4.1 비틀림에 대한 유압호스의 특성

호스의 비틀림 모멘트에 의한 강성이 매우 크므로 비틀림에 의한 변형은 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서 Fig. 17과 같이 호스의 단면은 곡률 중심에 대하여만 회전하고 곡선의 Tangent를 중심으로 단면이 회전하지 않는다고 볼 수 있다. Fig. 17에서 호스의 단면에 2차원 좌표계를 호스의 경로 곡선을 따라 생성하면 비틀림에 대한 회전이 없는 좌표계의 집합을 얻을 수 있다. 이 특성은 CAD의 형상 모델링 방법인 Lofting에서 사용되는 Parallel Transport Frame의 속성과 같다(이후에는 Parallel Transport Frame을 PT Frame이라고 하겠다).

4.2 Parallel Transport Frame

3차원 공간상의 곡선을 따라 움직이는 좌표계를 Frame이라고 한다. Frame은 리본이나 튜브 같은 형상을 모델링 하거나 3차원 공간상의 곡선을 따라 움직이는 카메라에 의한 부드러운 시점 변환에 사용된다.

Frame의 종류에는 Frenet Frame, Fixed Up Frame 그리고 PT Frame이 있다.

그 중 PT Frame은 접선벡터와, 접선벡터에 수직하고 서로 수직인 임의의 두 벡터 N_1 과 N_2 로 정의되는 Frame이다. N_1 과 N_2 벡터가 정해지면 유일한 Frame이 생성되는데, 곡선의 기하학적 속성 중 비틀림(τ)에 영향을 받지 않는 특성이 있다^[10]. CAD의 형상 모델링 기법 중 Lofting에 사용되는 Frame으로 곡선의 기하학적 속성 중 비틀림 속성이 제거된 Frame이다^[11].

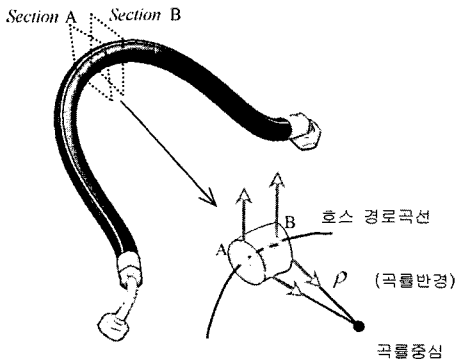


Fig. 17. 호스 단면은 곡률중심에 대하여만 회전.

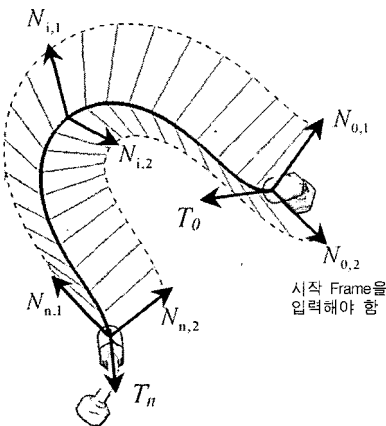


Fig. 18. 호스의 경로 곡선에 생성한 PT Frame.

PT Frame은 초기 Frame을 기준으로 마지막 Frame까지 순차적으로 계산하는 수치적인 방법을 통해 비교적 손쉽게 구할 수 있는데 이전 Frame을 기준으로 다음 Frame을 계산하기 때문에 곡선의 임의의 지점에서 Frame을 계산할 수 없고 초기 Frame을 입력해야 하는 단점이 있다. 호스의 배관 경로 곡선에 생성한 PT Frame은 Fig. 18과 같고 PT Frame 생성 알고리즘은 Fig. 19와 같다.

1. 공간곡선 위에 등매개변수 간격으로 $n+1$ 개의 점을 생성
2. 점이 위치한 지점에서 Tangent 벡터 $T_i, i=0, \dots, n$ 를 계산
3. Frenet Frame 에서 $B_i \parallel T_i \times \frac{dT_i}{du_i}$
4. 구간의 간격이 매우 조밀하다면 $\frac{dT_i}{du_i} \approx \frac{T_{i+1} - T_i}{u_{i+1} - u_i}$
(따라서 3의 식으로부터 B_i 를 구함 (아래 7번 참조))
$$B_i \parallel T_i \times (T_{i+1} - T_i) \quad B_i \approx \frac{T_i \times T_{i+1}}{\|T_i \times T_{i+1}\|}$$
5. 만약 탄젠트벡터의 변화가 없다면 즉, 곡률의 변화가 없다면 탄젠트벡터에 수직한 나머지 두 개의 축은 평행하게 유지
 $N_{i+1} \approx N_{i+1} \quad (j=1,2)$
6. 만약 탄젠트 벡터의 변화가 있다면 N_1, N_2 축은 B 축을 중심으로 탄젠트벡터의 회전각만큼 회전
 $N_{i+1} = R(B_i, \phi) \cdot N_{i+1} \quad \phi = \arccos(T_i \cdot T_{i+1})$
7. n 번째 점까지 반복해서 n 번째 점에서의 N_1, N_2 방향 계산

Fig. 19. Parallel Transport Frame 계산 알고리즘^[12].

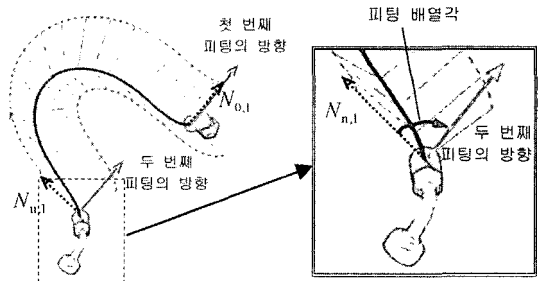


Fig. 20. PT Frame을 이용한 피팅 배열각의 계산.

4.3 PT Frame을 이용한 피팅 배열각의 계산

호스의 경로 곡선에 PT Frame을 구했다면 PT Frame의 한 축을 기준으로 피팅의 방향이 이루는 각을 측정하여 피팅 배열각을 계산할 수 있다. Fig. 20을 통해 설명하면 먼저 호스 경로 곡선의 시작 지점에서 첫 번째 피팅의 방향을 시작 Frame의 $N_{0,1}$ 벡터로 입력한다. 그 다음 호스의 경로 곡선에 PT Frame을 생성한다. 그리고 경로 곡선의 마지막 지점에서 N_n 벡터(Fig. 20에서 $N_{n,1}$)와 첫 번째 피팅의 방향의 사이각을 측정하면, 이 사이각이 호스 어셈블리에 비틀림 모멘트가 작용하지 않는 피팅 배열각이 된다.

5. 시스템 구현

본 논문에서 제안하는 방법을 통해 호스의 경로곡선을 생성하고 피팅의 배열각을 계산하는 호스 어셈블리 설계 지원 툴을 개발하였다(Fig. 21). 적용한 상용 CAD 소프트웨어는 Dassault Systems에서 개발한 CATIA V5이며, Visual C++, Visual Basic, Matlab 6.0과 CATIA Automation API를 사용하였다. Fig. 22은 CATIA V5에 적용된 호스 어셈블리 설계지원 툴을 활용하여 설계한 호스 어셈블리틀을 보여주고 있다.

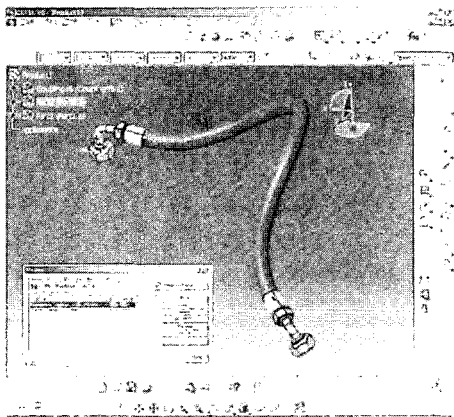
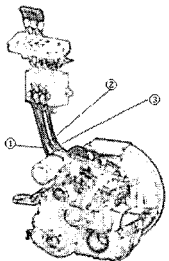


Fig. 21. CATIA V5에 적용한 설계 지원 툴.



호스 번호	호스 어셈블리 길이	비행배열각
①	600mm	71°
②	600mm	87°
③	600mm	86°

Fig. 22. 설계지원 툴을 이용한 호스 어셈블리 설계.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 CAD시스템에서 호스의 배관설계를 수행할 수 있는 방법을 제안하였다. 호스 경로 곡선 생성을 위해 최소 에너지법과 최적화 방법을 적용하였고 피팅 배열각 설계를 위해 Parallel Transport Frame을 이용하였다. 본 논문에서 제안된 방법을 상용 CAD 소프트웨어인 CATIA에 적용하여 호스 배관 설계 지원 툴을 개발하였다.

제안된 방법이 적용된 설계지원 툴을 활용할 경우,

설계자는 CAD시스템을 이용 설계 초기에 호스의 배관설계를 수행할 수 있으므로, 호스의 배관 설계를 유압 시스템의 다른 부품의 설계와 동시에 수행할 수 있다. 따라서 호스의 배관 유의사항을 고려한 유압시스템을 설계할 수 있다. 또, 시작품 제작 단계에서야 조립자가 호스어셈블리의 피팅 배열각을 추정하던 기존의 유압시스템 개발 방법을 개선할 수 있으며, 호스 어셈블리의 조립조건에 따라 비틀림 모멘트가 작용하지 않는 피팅 배열각을 계산할 수 있으므로 호스 어셈블리의 조립성 및 수명을 향상에도 기여한다.

본 논문에서는 호스 어셈블리의 경로곡선을 계산하는데 간섭 문제를 고려하지 않았다. 간섭은 호스의 경로곡선에 영향을 미치고 또 간섭에 의해 외면 고무층이 마모될 수 있으므로 호스의 수명에 영향을 미칠 수 있는 중요한 문제이다. 특히 호스는 Fig. 23과 같이 여러 다발의 호스가 함께 배관되는 경우가 많아 호스 간의 간섭이 많이 발생한다. 향후 연구 과제는 간섭을 고려한 호스 배관 경로의 생성 방법이다.

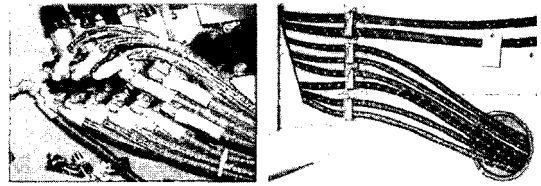


Fig. 23. 여러 다발의 호스가 함께 배관되는 경우.

참고문헌

1. Anthony Esposito, Fluid Power with Applications 2nd Edition, Prentice Hall, 1988.
2. Extending Hose Life, Fluid Power Journal 2003 System Integration Dictionary, Fluid Power Web 2002 Sep Elizbar.
3. Jasbir S. Arora, Introduction to Optimum Design, McGraw-Hill, 1989.
4. Gerald Farin, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design 3rd edition, Academic Press, pp. 189-199, 1992.
5. Raphael T. Haftka and Zafer Gürdal, Elements of Structural Optimization, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp. 255-304, 1992.
6. 김재경, CATIA로 배우는 CAD/CAM, 민도출판사, pp. 263-324, 1998.
7. Josef Hoschek and Dieter Lasser and Larry L. Schumaker, Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Press, pp. 75-117, 1993.
8. Kebabze, MSc, Theoretical Modeling of Unbonded

Flexible Pipe Cross-Sections, South Bank University, 2000.

9. Ferdinand P. Beer and E. Russell Johnston, JR. 材料力學 2nd Edition, McGraw-Hill, pp. 638-639, 1999.
10. Sarah, F. F. Gibson and Brian Mirtich, A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics,

MERL, 1997.

11. Mark A. Deloura, Game Programming Gems2, CHARLES RIVER MEDIA, INC., pp. 215-219, 2002.
12. Andrew J. Hanson and Hui Ma, Parallel Transport Approach to Curve Framing, Department of Computer Science, Indiana University, 1995.



김 연 수

2002년 한양대학교 기계공학부 학사
 2004년 한양대학교 기계설계학과 공학
 석사
 2004년~현재 삼성전자 개발혁신센터 연
 구원
 관심분야: Geometric Modeling, CAD/
 CAM응용



김 재 정

1981년 한양대학교 성명기계학과 학사
 1983년 George Washington 공학석사
 1989년 미국 MIT 공학박사
 1989년~1991년 미국 IBM T.J. Watson
 연구소 연구원
 1991년~1993년 한국 IBM 소프트웨어
 연구소 연구원
 2002년~2004년 미국 NIST 객원 연구원
 2003년 볼란서 다쏘 시스텍 객원연구원
 1993년~현재 한양대학교 기계공학부 교수
 관심분야: Geometric Modeling, CAD/
 CAM응용, PLM 응용