韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.1165~1168

로봇을 이용한 필라멘트 와인딩 셀에 관한 연구

Study of the robotic cell for the filament winding

최경현(부산대학교 기계공학부), 김성청(충북대학교 기계공학부)
Kyung-Hyun Choi(Pusan national Univ.), Sung-Chung Kim(Chungbuk national Univ.)

ABSTRACT

This paper describes the evaluation of a robot based filament winding cell consisting of an industrial robot (ASEA IRB 6/2) and an in-house fabricated mandrel drive mechanism, both being coordinated by a personal computer. As in many manufacturing processes, tradeoffs exist between accuracy and speed. The accuracy versus speed relationships of the robotic winding cell were experimentally determined for discrete, fine and medium movement modes while traversing a segmented delivery eye path for a cylindrical mandrel in three configurations (in-line, offset and angled with respect to the axis of rotation). The results show that the robot winding cell is appropriate for very accurate winding of fibre strands if the mandrel axis is concentric with the mandrel drive axis and the discrete mode (i.e. low speed) of the robot is used.

Key Words : robotic cell(로봇 셀), composite material(복합재료), CAD/AM (컴퓨터 설계/제조)

1.서론

필라멘트 와인딩은 인장을 받는 포화 수지 연속 섬유 (resin-impregnated continuous fibers)를 회전하는 mandrel의 지정된 경로위에 붙여 전체 표면을 덮어서 복합재료를 만드는 공정이다. 로봇 필라멘트 와인딩 셀은 Fig.1에서 처럼 로봇과 mandrel 드라이버 또는 고정 지지대로 구성되어 있다. 복잡한 형상을 와인딩하기 위해서는 일반적으로 6자유도 (테이퍼를 가진 경우는 7자유도)가 요구된다. 이러한 자유도 문제는 고정된 mandrel를 가진 6자유도 로봇을 사용하여 해결 할 수 있다.[1,2] 또한, mandrel 드라이버를 회전시키는 한 개의 축과 5 또는 6축 로봇도 역시 사용되어 졌다.[3,4,5]

Elliman은 필라멘트 와인딩을 mandrel위에 mandrel 위치를 돕는 4축 로봇이 있는 필라멘트 와인딩 머신과 5축 로봇을 사용했다.[6] 로봇을 이용한 필라멘트 와인딩은 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔으며, 최근에 가장 관심을 갖는 제조 공정기법중의 하나이다.

그러나, 수행된 로봇 와인딩 셀 연구중 복잡한 형상의 mandrel상에 mandrel 위치의 정밀도에 관해서는 충분히 언급되지 않았다. 안정된 mandrel 경로 결정의 정확성과 경로를 따라 mandrel 가닥의 위치 정밀도는 중요한 요소이다. 주어진 경로에서 fiber 위치의 정밀도는 로봇과 mandrel 드라이버의 정확성과 이 두 장치 사이의 조합 및 delivery eye 경로 결정의 정확성 같은 다양한 요소에 의해 결정된다.

본 논문에서는 CAD/CAM시스템에 의해 실행되는 로봇 와인딩 셀의 구조와 공정 정확도의 평가에 관하여 논의하고자 한다.

2. 로봇 필라멘트 와인딩의 공정 파라메터 결정

2.1 동작 모드

ASEA 로봇은 이산(discrete)과 연속(continuous)의 두 가지 기본적인 모드를 가지고 있다. 이산 동작 모드에서는 로봇의 모든 축은 다음 움직임 명령이 시작되기 전에 움직임 명령을 수행할 충분한 시간을 가지고 있는 반면, 연속 모드에서는 동작 명령

은 일반적으로 이전의 명령이 완료되기 전에 전달되기 때문에 로봇 엔드 에펙터는 직선으로 움직이는 경우를 제외하고는 중간 목표 지점을 지나지 않는다.

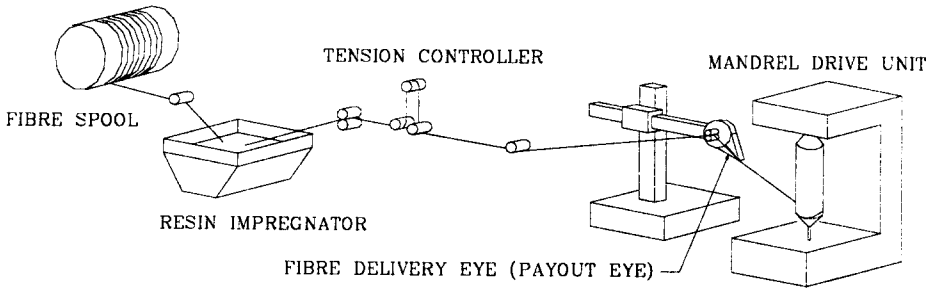

Fig.1. Components of robotic filament winding cell

ASEA 로봇 제어기는 연속 모드를 세가지 경우로 더 세분할 수 있다. (a) 로봇이 다음 지점으로 움직이기 전에 중간 목표 지점으로부터 1㎜의 반경 안에 드는 미세(fine) 모드, (b) 10㎜의 반경 안으로 움직이는 중간(medium) 모드, (c) 반경 10㎜밖으로 지나가는 거친(coarse) 동작 모드이다. 미세이나 중간 동작 모드에서는 이동 속도가 증가하면 정밀도가 줄어들며, 거친 동작 모드를 사용할 때 가장 나쁜 정밀도가 생기지만, 가장 빠르게 동작을 수행한다.

2.2 세그멘트 길이

안정된 경로를 따른 섬유가닥의 위치를 위해 필요한 delivery eye의 직각 좌표계 동작을 로봇의 조인트 동작으로 변환된다. 로봇 제어 시스템의 한계로 인해 연속적인 경로 궤적을 구현 할 수가 없다. 그래서 직각 좌표계 경로상의 여러 위치에 수치적 해법이 사용되어지며, 그 정보는 로봇의 궤도 계획에 사용되어진다.

복잡한 형상의 mandrel은 다양한 위치(position)와 자세(orientation)에서 단순한 형상들의 세그멘트들에 의해 근사되어진다. 그 근사치는 경로 세그멘테이션 오차 한계가 delivery eye 경로상에 위치의 수를 결정하는데 중요한 변수로 작용한다. 본 연구에서는 고정 위치 수가 경로의 시작과 끝점을 포함해서 51개로 정하였으며, 모든 madrel에 대해 동일하게 적용했다. 이 위치 수는 세그멘트에 의해 생기는 최악의 오차를 1mm로 줄이고, standoff 거리 내에서 변화를 1%로 제한을 고려하여 결정되어 졌다.

2.3 Delivery Eye 위치

필라멘트 와인딩에서 delivery eye는 mandrel과 충돌이 없이 섬유를 mandrel상의 원하는 경로에 정확히 위치하도록 해야 한다. 더욱이 delivery eye는 섬유 묶음(bundle)에 의해 닳은 것을 줄이고 정확한 위치를 위해서 mandrel 표면에 접하도록 위치되어져야 한다.

delivery eye의 standoff 거리가 증가함에 따라 mandrel 위치 오차는 줄어든다. 거리가 증가함에 따라 충돌 문제를 최소화시키지만, mandrel을 와인딩하기 위해 필요한 로봇의 움직임의 범위도 증가한다. 이것은 결국 작업을 느리게 진행시키고, 로봇의 작업 공간을 이탈하는 움직임이 생길 수 있다.

이상적인 경로상에 섬유의 위치는 mandrel의 회전과 delivery eye의 동작의 조합에 의해 이루어진다. 이것은 세그멘트를 위해 사용된 delivery eye 경로상의 위치와 mandrel상의 위치들이 일치하여야 하며, 이를 위해 mandrel 드라이브와 로봇 제어기가 이들 위치에 도착하도록 동기화(synchronization)가 이루어져야 한다.

2.4 충돌 회피

delivery eye 와 mandrel 사이의 충돌이 없다는 확인은 장비의 손실방지와 안전을 위해 중요하다. 안정된 fiber 경로 결정은 AUTO CAD에서 이루어지며, 충돌 방지확인은 AUTO CAD를 사용하여 mandrel에 대한 standoff거리의 3D 궤적을 그래픽을 통해 시각적으로 수행된다. 만약 어떤 잘못된 움직임이나 충돌이 발견되면 로봇이나 mandrel 제어 프로그램을 적절하게 수정한다. 이 그래픽 묘사는 delivery eye가 mandrel 표면으로 부터의 적합한 거리에 있음을 보여주기 위해 사용되어 지며, 이 정보

는 mandrel과 delivery eye 사이의 거리를 최적화하는 데도 사용되어진다.

3. 로봇 와인딩 셀 구조

필라멘트 와인딩에서 로봇 필라멘트 와인딩의 적합성이 실험적으로 평가되는 것은 필수적이다. 필라멘트 와인딩 셀은 mandrel 드라이브, 로봇 메니퓰레이터, 제어기 등의 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다.

3.1 로봇 와인딩 셀 하드웨어

본 연구에서 사용된 로봇 와인딩 셀은 fig.1에서 보는바와 같이 5축의 ASEA IRB 6/2 산업용 로봇과 mandrel 드라이브로 구성되어 있다. delivery eye 메카니즘은 로봇 손목에서 롤(roll)축에 위치하고 있으며, 섬유가닥의 이완을 막는 메카니즘이 설치되어 있다.

3.2 로봇 필라멘트 와인딩 소프트웨어

로봇 필라멘트 와인딩의 공정은 AUTO CAD에서 mandrel의 표면상에 안정된 경로를 계산하고, 디스플레이를 오프라인으로 검증한다. 이러한 과정에서 선택된 좌표점은 DXF file 형식으로 저장된다. 소프트웨어 시스템은 이 정보를 기본으로 delivery eye의 위치와 mandrel위치들이 결정되어 로봇과 mandrel motion제어기로 경로 프로그램을 다운 로드하고 상호 동작을 동기화한다.

4. 실험 결과

실험은 전체 시스템의 정밀도와 반복정도를 결정하기 위하여 수행되었다. 와인딩 셀의 정밀도는 위와 아래 방향으로 이산, 미세, 중간 동작 모드에 대하여 실험하였다. 100mm의 standoff 거리를 두었으며, 경로는 50개의 세그멘트로 나누었다. 정밀도의 영향을 평가하기 위하여 각 동작 모드에서 세가지 다른 와인딩 속도를 사용했다.

Fig.2에서 보는 바와 같이, 와인딩 셀의 실험을 위하여 세가지의 configuration이 사용되었는데, 이들 각각은 기본적인 mandrel의 자세에 의해 구분된다. 첫 번째 *In-line Cylindrical Mandrel*은 63.5mm 직경과 178mm 의 길이를 가진 원추형 mandrel을 사용했으며, mandrel은 mandrel 드라이버의 회전중심에 위치했다. 두 번째인 *offset Cylindrical Mandrel*은 mandrel의 중심선이 mandrel 드라이버의 회전중심으로부터 빗겨 나와있으며, mandrel 반경의 1,2,3배의 중심선에서 옵셋된 mandrel을 편심운동에서 움직이는 mandrel을 와인딩하는 셀의 능력을 시험하기 위하여 사용되었다. 마지막인 *Angled Cylindrical Mandrel*은 mandrel 드라이버의 회전중심에서 기울어져 있을 뿐, 동일한 mandrel이 두 번째 configure에서처럼 옵셋되어 있다.

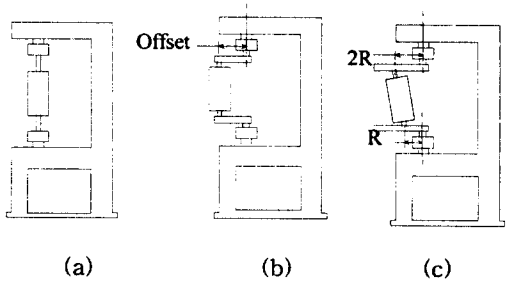

Fig.2. Mandrel Configuration
(a)In-line cylidrical (b)Offset cylidrical
(c)Angled cylidrical

경로오차에 대한 실험의 결과의 일부가 Fig. 3에 보여진다. 경로오차에 대한 세 실험의 반복정도는 측정의 정밀도와 일치하는 0.25mm 였으며, 동작모드의 선택은 경로 오차에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 특히 In-line configuration에서 최고의 정밀도와 상당히 낮은 오차를 가지는 반면, 미세 동작 모드는 이산 모드의 2.5배까지의 큰 오차를 가졌다. 예측한데로, 동작 모드가 이산에서 미세, 중간, 거침으로 바뀜에 따라 오차는 증가했다. 전형적으로 매우 작은 (0.5mm) 이산 동작 모드의 오차는 로봇 셀의 셋업에서 일어남 오차 때문으로 추정한다. 미세와 중간 동작 모드에서의 오차는 요구된 지점에 로봇이 도달하지 않았기 때문이다. 미세 모드에서 로봇은 1mm 오차 반경을 가지고, 중간 모드는 10mm 오차 반경을 가진다. 로봇과 mandrel 사이의 동기화 불일치는 오차의 원인이 되기도 한다. 오차의 다른 원인은 가속이나 감속 없는 로봇의 일정한 속도운동으로의 가정에서 기인된다.

또한, Offset이나 Angled configuration에서의 경로오차는 평균적으로 거의 같고 In-line configu-

ration에 대해서는 두배 이상이다. 위 아래의 와인딩 방향에 대해 일반적으로 In-line configuration에서는 정밀도의 어떤 변화도 없다. 이러한 오차결과의 유사성은 두 팔의 운동이 단지 직선을 따라서 delivery eye를 유도하도록 요구되어지기 때문이다. 그러나, 다른 두 configuration에 대해서는 위쪽과 아래쪽 경로에 대한 오차에서 차이가 있다. 0.75mm 이상의 경로오차에서의 차이 (위 방향 대하여 아래 방향)에 대해 대부분의 경우 아래 방향이 위 방향보다 더 큰 오차를 가진다.

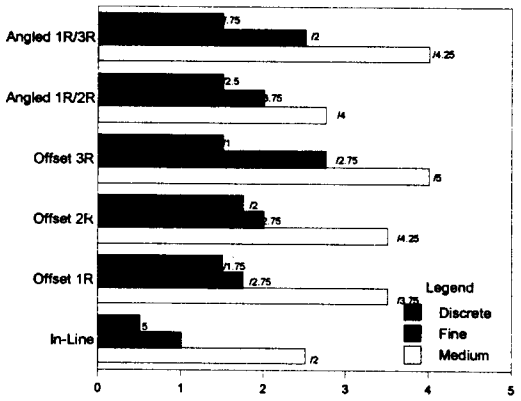

Fig.3. Path eeror as function of mondrel configuration and robot movement mode

본 연구는 overbalanced 로봇을 사용했으므로, 위쪽 방향운동이 일반적으로 로봇 모터에 작은 장력을 가지고 결과적으로 더 높은 정밀도를 가진다. 오차는 mandrel 축이 드라이버와 직선이 아닌 배열에 대해 옵셋 거리가 증가함에 따라 증가한다. 이것은 로봇이 stand off 거리를 일정하게 유지하기 위하여 mandrel의 동작을 고려해야 하기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 복합재료를 제조하기 위하여 필라멘트 와인딩 셀에서 산업용 로봇과 mandrel을 컴퓨터에 의해 제어되는 것이 편리하고 실용적이며, 경제적이라는 것을 보여주었다. 와인딩 셀의 정밀도를 알기 위해 세 개의 대표적인 configuration에 대해 실험을 수행하였다. 로봇 필라멘트 와인딩의 정밀도와 반복정도는 높았으며, 특히 로봇의 이산 동작 모드는 최고의 정밀도를 나타냈으며, 미세와 중간의 순서였다. 제한된 로봇 제어기에 의한 제어는 로봇과 mandrel 드라이버사이의 더 나은 조화를 만들지 못하지만, ASEA 산업용 로봇 같은 것은 적절한 정밀도를 가지고 다양한 mandrel의 필라멘트 와인에 사용되어질 수 있다.

참 고 문 헌

1. Smith, A., Anthony, D.: Robotic mandrel placement in the fabrication of complex thermoplastic structures. In Proceedings of 37th International SAMPE Symposium, Anaheim, CA.: 399-407, 1992.
2. Seereeram, S., Wan, J. T-Y.: An all-geodesic algorithm for filament winding of a T-shaped form. IEEE Transactions on Industrial Electronics 38: 484-490, 1991.
3. Hummler, J., Lee, S-K., Steiner, K.V.: Recent advances in thermoplastic robotic filament winding. In Proceedings of 36th International SAMPE Symposium: 2142-2156, 1991.
4. Menges, G., Meise, E.: Use of industrial robots for filament winding. In Proceedings of 40th Annual Conference, Reinforced Plastics/Composites Institute, The Society of the Plastics Industry: 19-B, 1-3, 1985.
5. Munro, M.: Review of manufacturing of mandrel composite components by filament winding. Polymer Composites 9: 352-359, 1988.
6. Elliman, D.G., Sorenti, P., Brown, L., Shearing, M., Middleton, V., Owen, M.J.: A cell for the manufacture of composite components by filament winding. Advanced Manufacturing Engineering 1: 15-20, 1988.