

초경량 복합재 의자차 차체 개발

강지호*, 김수현*, 김천곤**

Development of Ultralight Composite Wheelchair Frame

Ji-Ho Kang, Soo-Hyun Kim and Chun-Gon Kim

Key Words : Composite Wheelchair, Tubular Type Composite Frame Design

ABSTRACT

In this paper, we applied composite material of high specific stiffness and strength to the fabrication of a folding wheelchair frame for the replacement of conventional metal wheelchair frames. A one-body composite frame was designed and the finite element analysis was performed on this design. Some specimens of joint parts were manufactured and strength test was done. With the results of analysis and test, some modification was done and a prototype was produced.

용어설명

전방/후방 서포트(front/back support) - 차체에서 시트가 얹히는 걸림쇠

구동륜(main wheel) - 추진력을 받는 뒷바퀴

자재륜(caster) - 방향전환을 위한 앞바퀴

크로스브레이스(crossbrace) - 차체를 고정하기 위한 X 자형 버팀대

레그 파이프(leg pipe) - 발받이 지지 파이프

백 파이프(back pipe) - 후방 수직 파이프

시트 파이프 - 자리 시트가 연결되는 파이프

1. 서론

현재 우리나라에도 약 450 만명의 장애인이 있는 것으로 추산되고 있으며 이들 장애인들과 노약자 중 상당수가 의자차를 사용하고 있다. 의자차 사용자들 대부분은 장거리 이동을 위하여 차량 탑승시 사용자가 직접 다루기 쉬운 접이형 의자차를

사용하게 된다. 그러나 현재 국내 시판되고 있는 의자차들은 대부분 금속재료를 사용하여 장애인이 홀로 차량에 적재하기에는 상당한 무게를 가지고 있다. 또한 국내 시판 의자차들은 국내의 의자차 제조 업체는 그 규모가 영세하며 디자인이나 내구성에 있어서 국외의 제품에 비해 크게 뒤쳐지는 상황이며 국내의 의자차 설계 기준인 KS P 6113(수동 의자차)와 KS P 6114(전동 의자차) 규격은 그 내용 대부분이 70 년대에 만들어진 것으로 최근의 미려한 디자인, 고급화, 활동성 보강 등의 추세를 따라잡을 수 없다. 아직까지는 장애인의 대부분이 영세하기 때문에 저가의 국산 휠체어가 현재까지 어느 정도는 시장성을 가질 수 있었으나 장애인에 대한 시각 변화와 처우 개선에 따라 고급형의 외산 의자차들이 시장을 차지할 것으로 생각된다.

국외의 의자차는 선진국 중심으로 발전하고 있으며 시판중인 접이식 의자차들의 설계 경향은 경량화와 미려한 디자인에 중점을 두고 있다. 의자차 주요 생산국은 그 규모 순으로 미국, 독일, 일본, 영국 등으로 볼 수 있다. 미국의 경우는 주요 생산 업체만도 수십 개에 이르며 의자차의 재료도

* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공

경량화를 위하여 항공기용의 특수 금속재료를 접점 많이 사용하는 추세이다. 복합재료를 이용하는 경우도 드물게 있으나 복합재료는 주로 자전거용 차체에 많이 사용되고 의자차는 초경량을 요구하는 마라톤과 같은 스포츠용 휠체어에만 사용되고 있으며 모두 수공으로 주문 제작하여 단가가 비싸고 시장성이 낮다. 독일과 영국의 경우는 미국과 비슷한 상황이다. 일본의 경우는 재료보다는 주로 소형화와 미려한 디자인에 중점을 두고 있다. 그러나 너무 소형화와 디자인에 중점을 두어 미국이나 유럽 제품에 비해 강도와 내구성이 떨어져 자주 교체해야 하는 단점이 있다. 최근에는 경량화에도 중점을 두고 있어 금속재료를 사용하여 10 kg 이내의 초경량 제품을 선보이고 있다.

복합재 의자차 차체 개발에 관한 연구를 살펴보면, 국내에서는 일부 자전거용 복합재 차체 개발 연구[1-3]가 진행된 바는 있으나, 아직 복합재료를 이용한 의자차 차체 구조물 설계, 제작에 관한 연구는 없다. 국외에서도 의자차의 차체에 관한 논문은 매우 드물며 대부분의 연구는 경기용 의자차에 관한 연구들이다[4-6].

본 연구에서는 금속재료에 비해 높은 비강성, 비강도를 갖는 복합재료를 사용하여 경기용이 아닌 일반인용 초경량 접이형 의자차 차체를 개발함으로써 국제적 기술력 확보와 차체 개발을 통한 시장선점을 하는 것을 목표로 한다.

2. 의자차 차체 설계 및 해석

2.1 보 요소를 이용한 예비 구조 해석

의자차 차체의 전체적인 하중 분포와 변형 형상을 알아보기 위하여 보 요소를 이용하여 유한요소해석을 수행해 보았다. 보 요소로는 정확한 정보를 알기 어려우므로 개략적인 정보만을 얻기 위하여 국산 의자차 중 한 제품의 형상대로 모델링하고 재료는 알루미늄을 사용하였다. 유한요소해석 코드는 상용 코드인 ABAQUS 5.8 을 사용하였다. 하중은 75kg 또는 200kg 인 사람이 앉아 있고 하중이 전방, 후방 서포트에 균등하게 25%씩 수직하게 작용한다고 가정하였다. 사용한 경계 조건은 좌측 구동륜의 차륜 부시가 사방 고정지지 되고 우측은 차체가 좌우로만 벌어지도록 하였고, 자재륜은 좌측은 앞뒤로만 움직이도록 하고 우측은 바닥에서 떨어지지만 않도록 설정하였다(fig. 1(a)). 해석 결과 75kg 인 경우와 200kg 인 경우 모두 파손은 발생하지 않았으며 하중 집중은 전후방 서포트에서 발생하였고 크로스브레이스는 더 큰

하중에서는 좌굴의 위험이 있을 것으로 예상되었다(fig. 1(b)-(d)).

2.2 전체형상 결정 및 차체선도설계

차체선도설계는 대략 10 번의 개정을 거쳐 완성되었으며 최종적으로 결정된 설계는 크로스브레이스가 두개 있는 더블브레이크 형을 사용하고, 차체 옆면은 한 개의 단힌 고리에 레그파이프가 차체 앞부분에 붙고 그 한쪽 끝은 백파이프에 연결되는 형상이다(fig. 2). 레그파이프에서 구동륜을 감싸는 부분과 차체에서 시트 파이프 사이에는 사용자의 옷이 구동륜에 닿지 않도록 플라스틱이나 천으로 된 막이 붙는다. 또한 레그파이프의 앞쪽의 손잡이처럼 보이는 것은 사용자가 의자차에서 일어설 때 짚고 일어나는 기능을 한다.

2.3 차체 구조 해석

복합재 의자차 차체는 복합재료의 여러 성형방법 중 프리프레임을 이용한 내부가압식 성형법을 사용하여 제작하는 것으로 가정하였다. 사용하는 재료는 Graphite/Epoxy 프리프레임으로 UD 프리프레임과 직물 프리프레임의 두 종류를 사용하였으며 차체의 대부분은 직물 프리프레임으로 [0/90]_s 로 4 장을 적층하며 1 방향 프리프레임은 레그파이프와 차체가 서로 붙는 부분에 직물 프리프레임 바깥쪽에 파이프의 원주 방향으로 추가로 한장 감는 것으로 가정하였다. 사용한 재료의 물성치는 UD 프리프레임(주)한국카본의 1 방향 프리프레임인 CU1253 의 물성치를 사용하였으며, 직물 프리프레임은 기존 문헌을 참고하여 타당한 값을 사용하였고 기존 문헌에서 찾을 수 없었던 섬유방향 압축강도와 전단강도는 (주)한국카본의 CF3327EPC 의 값을 사용하였다. 사용된 물성은 table 1, table 2 와 같다. 그리고 크로스브레이스는 당시 설계가 완성되지 않은 관개로 알루미늄 2014-T6 의 물성을 사용하였다. 유한요소 모델링은 복합재 의자차 차체 파이프의 두께를 충분히 얇다고 가정하고 판 요소를 사용하였으며, 하중은 120kg 인 사람이 앉은 상태에서 계단 턱과 같은 극한 상황을 모사하기 위해 두배의 하중인 240kg 을 크로스브레이스와 시트 연결부위 4 군데에 균등하게 가하였다. 전체 경계조건과 하중조건은 fig. 3(a)와 같다. 제작된 모델을 이용하여 복합재 의자차의 중량을 계산한 결과 1.87kg 으로 바퀴 중량, 3kg 을 제외한 목표 중량인 3kg 을 넘지 않았다. 그러나 현재 모델은 각 연결부위의 금속 부시들을 고려하지 않은 모델이므로 실제 중량은 3kg 에 근사할 것으로 예상되었다. 유한요소 해석을 위해 ABAQUS 5.8 판을 이용하여 선형탄성해석을

수행하였으며 그 결과는 fig. 3(b)~(d)와 같다. Fig. 3(b)는 20 배 확대한 변형형상으로 최대변형은 시트 파이프의 가운데에서 5.85mm 이다. 실제 운용 상황인 75kg 인 사람이 가만히 앉아있는 상태의 최대변형은 약 1.8mm 이다. Fig. 3(c)는 크로스브레이스의 von-Mises 응력분포도로 응력이 가운데 집중되는 것으로 보아 굽힘을 받는 것을 알 수 있고, 그 값이 2.19MPa 로 알루미늄 2014-T6 의 소성응력 410MPa 에 비교해 보아 매우 안전함을 알 수 있다. Fig. 3(d)는 최대 Tsai-Wu index 가 나타나는 ply 에서의 Tsai-Wu index 의 분포를 그린 그림이다. Fig. 3(d)를 보면 최대 Tsai-Wu index 는 크로스브레이스가 연결되는 지점의 윗면에서 발생하며 그 값은 0.434 로 파손이 발생하지 않음을 알 수 있다.

3. 복합재 의자차 시제품 제작

3.1 연결부 예비 시험

앞서 수행된 차체 구조 해석은 차체가 단순한 파이프 형상을 가진다고 가정하고 수행한 것으로 실제 차체에는 부속품들을 붙이기 위한 여러 연결부위가 존재하게 된다. 그 중 가장 하중을 심하게 받을 것으로 예상되는 크로스브레이스와의 연결부위와 구동륜과의 연결부위를 각 연결부위를 모두 제작한 예비 시험용 시편을 제작하고 강도시험을 수행하였다. 제작된 시편의 형상은 fig. 4 와 같다. 시험은 구동륜 연결부위에 대해서는 굽힘과 전단 시험을 수행하였고, 크로스브레이스의 연결부위는 굽힘시험만을 수행하였다. fig. 5 는 각 시험 사진을 나타낸다. 시험결과는 fig. 6 과 같으며 구동륜과의 연결부위는 굽힘하중을 받았을 때 약 1.3 톤의 무게를 견뎠으며 전단하중을 받았을 때에는 약 1 톤의 무게를 견딜 수 있었다. 크로스브레이스와의 연결부위는 굽힘하중만을 가하였고 최소 400kg 의 무게를 견딜 수 있었다. 의자차에서 구동륜과의 연결부위는 2 부분이고 크로스브레이스와의 연결부위는 더블브레이스 형의 차체를 사용하므로 4 부분이 존재하게 되므로 각 연결부위에 하중이 균등하게 전해진다고 가정하면 앞서 차체 해석 수행시 가정된 240kg 의 하중을 가했을 때 연결부위당 약 40kg 의 하중을 받게 되고, 이 값은 해석 및 실험결과와 비교했을 때 매우 작은 값이므로 연결부위의 설계는 안전한 것으로 판단된다.

3.2 복합재 의자차 차체 시제품 제작

앞에서 설계된 차체는 사용자의 편의성과 몰드 제작 및 성형 방법을 고려하여 수차례의 보완 설

계를 거쳐 금형 설계를 위한 3D 로 재설계되었다 (fig. 7). 금형 제작 및 복합재료 성형은 (주)태용에 의뢰하여 완성하였고, 제작된 시편은 fig. 8(a)와 같다. 현재 크로스브레이스와 시트 파이프는 아직 제작이 완성되지 않았기 때문에, 차체의 조립 및 폴딩 테스트를 위하여 금속 재료를 사용하여 크로스브레이스와 시트 파이프를 제작하여 조립해 보았다. 최종 조립된 의자차의 형상은 fig. 8(b)와 같다. 복합재 크로스브레이스와 시트 파이프가 완성되면 의자차 차체 강도시험 및 피로시험을 수행할 계획이다.

4. 결 론

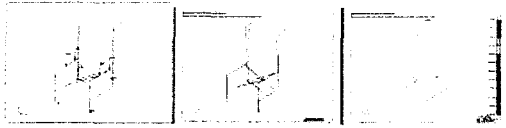
본 연구에서는 복합재료를 사용한 일체형 접이형 의자차 차체를 설계하고 강도 해석을 수행하였으며, 예비시험을 통해 연결부의 강도를 예측하고 내부가압식 성형법을 사용하여 의자차 시제품을 제작하였다.

후 기

본 연구는 보건복지부가 지원하는 보건의료기술연구개발사업 단기기초연구과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 대해 진심으로 감사드립니다..

참고문헌

- (1) 전의진, “자전거용 경량 고강도 차체설계 및 제조기술 개발에 관한 연구”, 상공부 중간보고서, 한국기계연구원, 1991.
- (2) 전의진, “자전거용 경량 고강도 차체설계 및 제조기술 개발에 관한 연구”, 상공부 최종보고서, 한국기계연구원, 1992.
- (3) 이규왕, “복합재료를 이용한 자전거 제조법 및 특성”, 한국복합재료학회 추계 학술발표대회 논문집, 1995, pp.317.
- (4) MacLeish, Michael S., "Design of a composite monocoque frame racing wheelchair", Journal of Rehabilitation Research & Development, Vol. 30, No. 2, 1993, pp. 233-249.
- (5) VanSickle, David P., "Determination of wheelchair dynamic load data for use with finite element analysis", IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, Vol. 4, No. 3, 1996, pp. 161-170.
- (6) Gottschalk, M. A., "Tough composite forms first thermoplastic wheelchair", Design news, Vol.51, No.11, 1996, pp.47-49



(a) BC&Loading (b) Deformation (c) Stress
Fig. 1 Finite beam element analysis of wheelchair.

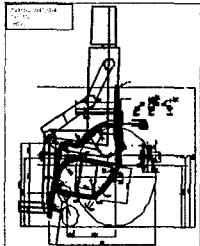
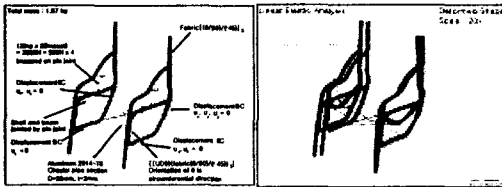
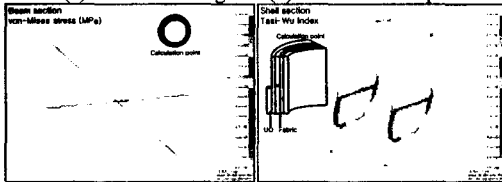


Fig. 2 Design of composite wheelchair frame.



(a) BC & Loading. (b) Deformed Shape.



(c) Stress in crossbrace. (d) Tsai-Wu index of frame.

Fig. 3 Finite element analysis of composite wheelchair.

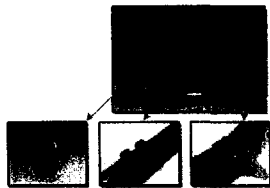
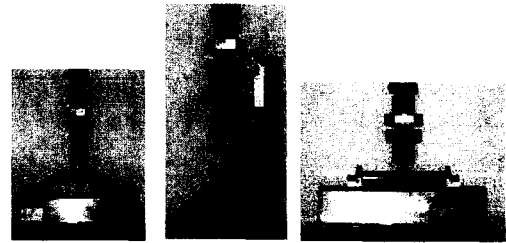


Fig. 4 Joint pretest specimen.

Table 1 Mechanical properties of UD prepreg.

E_1	E_2	ν_{12}	G_{12}	G_{23}	Thickness
130GPa	10GPa	0.31	4.85GPa	3.62GPa	0.175mm
S_{1T}	S_{1C}	S_{2T}	S_{2C}	S_{12}	Density
1933MPa	-1051MPa	51MPa	-141MPa	61MPa	1731kg/m ³



(a) Main Bush Bending (b) Main Bush Shear (c) Crossbrace Bending
Fig. 5 Joint strength test.



(a) Main Bush Bending (b) Main Bush Shear (c) Crossbrace Bending
Fig. 6 Joint test results.

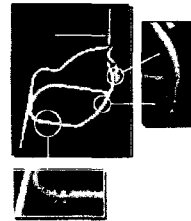


Fig. 7 3D CAD drawing of composite wheelchair



(a) prototype (b) assembled
Fig. 8 Prototype of composite wheelchair.

Table 2 Mechanical properties of fabric prepreg.

E_1	ν_{12}	G_{12}	G_{23}	Thickness
73.7GPa	0.1	5.024GPa	2.5GPa	0.2mm
S_{1T}	S_{1C}	S_{12}	Density	
653.2MPa	** -653.2MPa	** 50.24MPa	* 1765kg/m ³	

* : value of CF3327EPC. ** : assumed