

A study on the suitability of CFRP CNT and bicycle through service design process

Sung-Hee Park, Sung-Il Song[†] and Seung-Min Kang

International Graduate School of Design Convergence, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

(Received November 8, 2018)

(Revised November 26, 2018)

(Accepted December 7, 2018)

Abstract Based on the service design processes, we examined the market conditions and the criteria to be considered in selecting materials and selected CFRP CNT materials in the development of bicycle design. This material was used to develop frame design among the bicycle parts. The bicycle frame, designed with CFRP CNT material through vibration attenuation testing, tensile strength testing, and stiffness test results before prototype production, shows better results than the bicycle frame manufactured with conventional CNT materials in terms of function.

Key words Nano carbon tube, Service design, Manufacture, Design toolkit, Bicycle frame

서비스디자인방법론을 통해 분석한 CFRP CNT와 자전거의 적합성에 관한 연구

박성희, 송성일[†], 강승민

한서대학교 국제디자인융합전문대학원, 서산, 31962

(2018년 11월 8일 접수)

(2018년 11월 26일 심사완료)

(2018년 12월 7일 게재확정)

요약 서비스 디자인 방법론을 통해 시장의 상황과 사용자가 원하는 니즈를 파악하여 소재 선정에 있어 고려해야 하는 기준을 조사하였고, 이에 따라 자전거 디자인 개발에 있어 CFRP CNT 소재를 선정하였다. 이 소재를 이용하여 자전거 파트 중 프레임 디자인 개발을 진행하였고, 그 이후 시제품 제작 전 진동 감쇄 실험, 인장강도 실험, 강성 실험 결과를 통해 CFRP CNT 소재로 디자인한 자전거 프레임은 강도 및 경량성 등 기능적 측면에서 기존 CNT 소재로 제작된 자전거 프레임보다 향상된 결과를 보여줌으로써 자전거 프레임에 적합하다는 결과를 얻었다.

1. 서론

최근 경량화가 자동차 기업을 중심으로 운송 기기나 골프 같은 스포츠 시장에서도 주목을 받고 있다[1, 2]. 또한 제품에 사용되는 소재를 교체하거나 개발하는 방식으로 경량화가 이루어지고 있으며, 소재 개발 연구도 이루어지고 있다[3, 4].

자전거도 경량화를 위해서 카본 소재를 적용하기 위한 연구가 수행되고 있다. 연구들 중 알루미늄, 스틸, 마그네슘, 티타늄, 카본 복합재에 대한 자전거 프레임 내구성 시험을 한 논문이 있어 이 논문의 실험 결과를 Table 1에 첨부하였다[5].

Table 1은 프레임 내구성 시험 최종 결과를 나타내고 있다. 전체 내구성은 48.8%로 절반 이하의 수준으로 티타늄 합금과 마그네슘 합금 재질의 프레임 합격률이 각각 0.0%와 8.0%지만, 카본 복합재 프레임의 경우에는 합격률이 100%에 달해 큰 대조를 보인다. 이렇듯 최근 카본과 다른 소재의 합성을 통한 소재가 개발되어 사용

Table 1
Frame fatigue test results (% of success)

	CITY	MTB	ROAD	SUM
Al	88.9 %	63.6 %	N/A	75.0 %
Carbon	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Mg	N/A	8.3 %	0.0 %	8.0 %
Steel	100.0 %	0.0 %	27.3 %	62.5 %
Ti	N/A	0.0 %	N/A	0.0 %
Sum	95.7 %	24.4 %	43.8 %	48.8 %

[†]Corresponding author
E-mail: alabama9@naver.com

되고 있다. 카본 소재를 이용하여 디자인 개발을 진행하였고, 실험을 통해 얻은 결과를 토대로 자전거에 이용 가능성을 알아보고자 한다.

2. 서비스디자인 프로세스 적용 및 실험

서비스 디자인 프로세스는 영국 디자인 카운슬의 더블 다이아몬드에 의하면 발견-정의-개발-전달의 단계로 정의되고, 이러한 반복적인 과정을 통해 복잡한 디자인 프로세스를 구조화하기 위한 기본적인 접근 방식이라 할 수 있다(Fig. 1).

Discover 단계에서는 데스크 리서치를 통하여 국내외 자전거 시장 동향을 조사하여 자전거 시장의 성장세를 확인하였으며, 소비자 자전거 구매 기준과 구매 이유, 가격 선호도 등을 알 수 있었다. 자전거 구매 기준은 판매 가격이 19.9%로 가장 높았고, 디자인과 브랜드 인지도가 두 번째로 높은 구매 기준으로 나왔다(Fig. 2). 자전거를 구입하는 이유 중 46.2%의 응답자가 기존 자전거

보다 좋은 상급 모델로 업그레이드하기 위함이었으며 (Fig. 3), 사용 중 자전거 이용 용도 변화에 따른 종류 기변을 위한 이유가 21.1%로 나왔다. 가격 선호도에서는 중고가인 100~300만 원대가 전체 100%의 68.4%를 차지하여 가장 많은 것으로 나타났다(Fig. 4).

Define 단계로 넘어가 이해관계자 맵을 통해 공급자와 사용자 간의 이해관계를 도식화해 분석하였다. 공급자는 자전거의 시장 포화 상황에서 기술력을 활용한 수출형

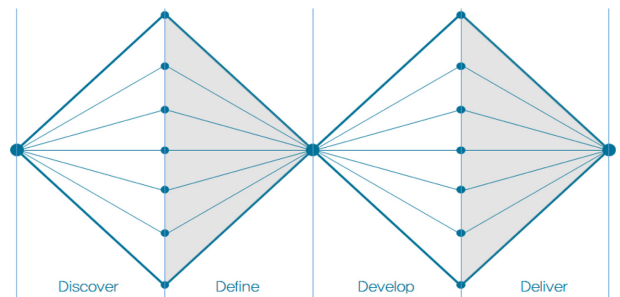


Fig. 1. double diamond of UK design council [6].

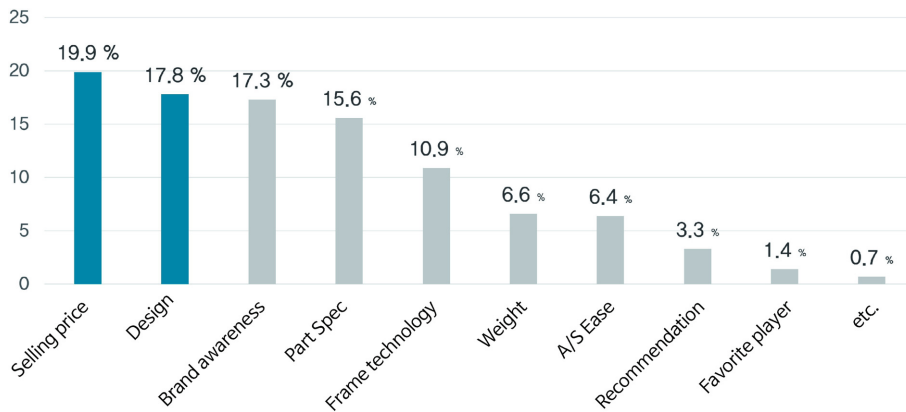


Fig. 2. Consumer bicycle purchase criteria.

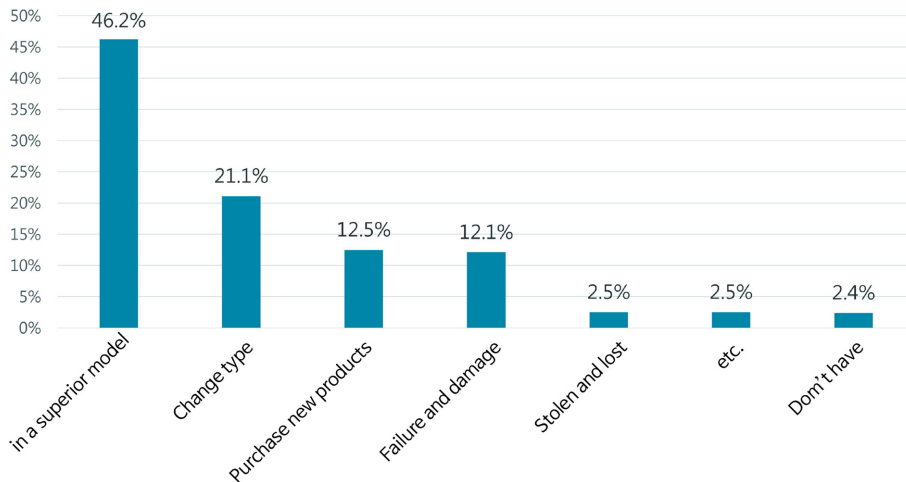


Fig. 3. Consumer bicycle purchase reasons.

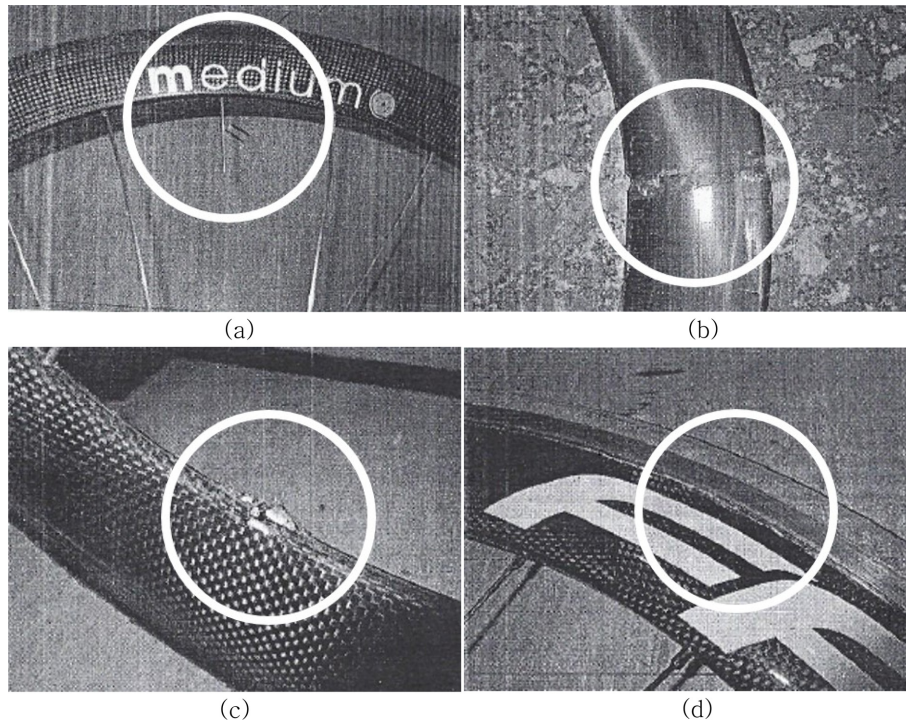


Fig. 7. Photographs of damaged carbon frame and component as circle parts (a) Damage caused by spoke imbalance, (b) RIM node damage, (c) RIM node damage and (d) Carbonization by frictional heat.



Fig. 8. Designed CFRP CNT frame.

소재인지를 판단하기 위해 실험을 진행하였다. 실험은 상온에서 진행되었으며, 장비는 자체 제작된 기계를 사용하였다. 다음은 실험에 사용된 시편 CFRP CNT 프레임이며(Fig. 8), 비교 대상으로 기존 CNT 프레임 중 4종을 무작위 선별하여 사용하였다.

진동 감쇄 실험은 CFRP CNT로 디자인한 프레임과 기존 CNT 프레임 4종 중 1개를 무작위로 선택하여 비교 실험하였으며, 상온에서 100 g의 같은 충격을 주어 실험하였다.

실제 제품 사용 시 견딜 수 있는 하중을 알기 위한 인장강도 실험은 CFRP CNT로 디자인한 프레임과 기존

CNT 프레임 4종 중 진동 감쇄 실험에 사용되었던 프레임을 제외하고 무작위로 1개를 선택하여 비교 실험하였으며, 상온에서 무게는 150 Kg씩 늘어나가는 것으로 하였다.

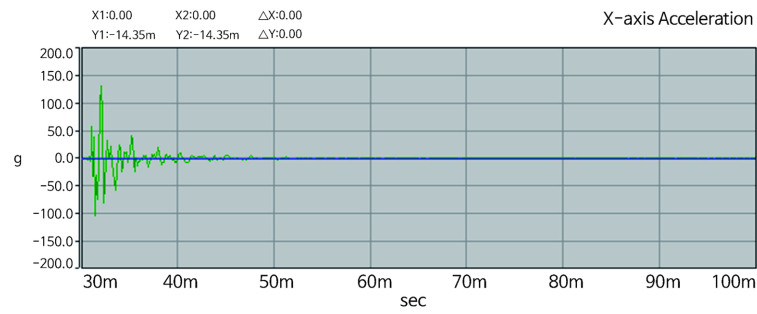
비틀림 강도 실험은 CFRP CNT로 디자인한 프레임과 기존 CNT 프레임 4종과 비교 실험하였으며, 상온에서 300 Kg씩 늘어나가며 실험하였다.

3. 결 과

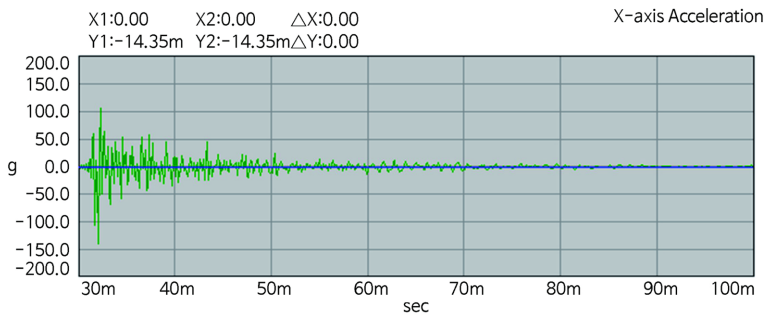
CFRP로 개발된 CNT를 이용하여 디자인한 자전거 프레임과 기존에 사용되던 CNT를 이용한 프레임으로 진동 감쇄 실험을 실시하였다. 진동 감쇄 실험에서 CFRP로 개발된 CNT 소재를 이용하여 제작된 프레임은 70 m/s 부근에서 진동수가 0이 되었고(Fig. 9(a)), 기존 CNT 프레임은 100 m/s에서도 진동이 완전히 멈추지 않았다(Fig. 9(b)). 이에 소재의 안정성이 CFRP로 개발된 CNT 소재를 이용하여 제작된 프레임이 더 좋은 것을 알 수 있었다.

기존 CNT 프레임은 741.2 Kg에서 파괴되는 반면, CFRP CNT 프레임은 1047.3 Kg에서 파괴되는 것을 보여주며 인장강도가 높게 나온 것을 확인할 수 있었다(Fig. 10).

위 실험은 CFRP CNT로 디자인한 프레임과 기존



(a)



(b)

Fig. 9. The graph of Vibration attenuation test (a) Vibration attenuation test of CFRP CNT Frame, (b) Vibration attenuation test of normal CNT frame.

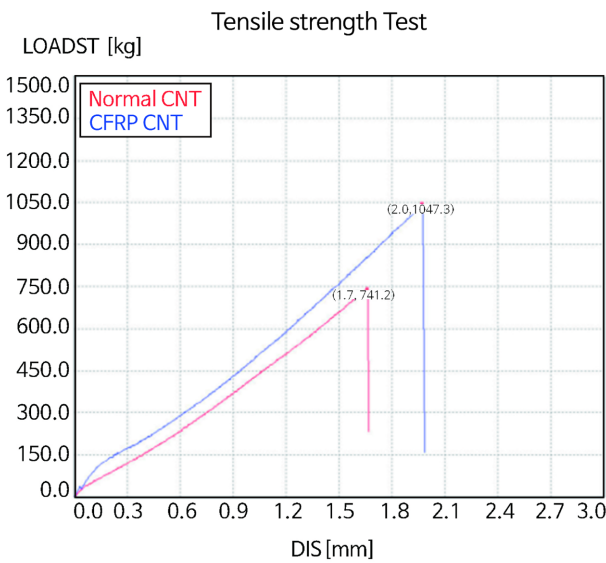


Fig. 10. The graph of frame tensile strength test results.

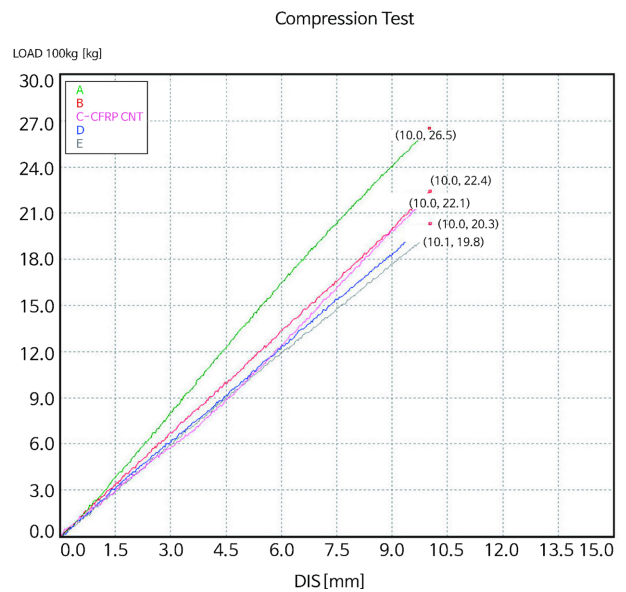


Fig. 11. The graph of frame compression test results.

CNT 프레임 4종과 비교하여 비틀림 강도 실험을 한 결과이다. 그래프상으로는 기존 CNT 프레임 중 A 프레임이 가장 잘 견디는 것으로 나왔지만, 프레임 자체의 무게가 무거워 경량화 자전거에 적합하지 않았고, CFRP CNT와 비슷한 결과값이 나온 기존 CNT 프레임 중 B 프레임 역시 CFRP CNT보다 2배 가까이 되는 무게를 가지고 있었다. 이 실험에서 CFRP CNT는 가장 적은 중량으로 가장 높은 강성을 보여주었다(Fig. 11).

Table 2
Frame compression test results

	Weight (g)	Stiffness (kgf)	Jig Move distance
A	2,119	26.5	10 mm
B	1,831	22.4	10 mm
C-CNT*	947	22.1	10 mm
D	2,142	20.3	10 mm
E	1,276	19.8	10 mm

4. 결 론

서비스 디자인 분석방법을 이용하여 기존의 CNT의 단점을 보완한 CFRP로 개발된 CNT를 적용하여 자전거 디자인을 개발하였으며, CFRP로 개발된 CNT의 특성 및 자전거용 프레임과의 적합성에 대해 조사하였다. 실험 결과를 통해 가벼운 무게로 일반 CNT 소재보다 강도 및 경량성 등 기능적 측면에서 우수한 결과를 보여줌으로써 자전거 프레임에 적합하다는 결과를 얻었으며, 이를 통해 자전거 프레임 공정 과정을 개선할 수 있음을 알게 되었다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 한서대학교 교내 연구 지원 사업에 의하여 연구되었음.

References

- [1] B.H. Min, D.H. Nam, H.M. Park, K.M. Lee and J.K. Lee, "A study on the applicability of CNT/Aluminum nanocomposites to automotive parts", *Composites Research* 28 (2015) 226.
- [2] <http://www.kidd.co.kr/news/204636>.
- [3] H.H. Kim, P.K. Park, Y.S. Kim and S.T. Hong, "Study on the weight reduction of firefighter's protective clothing by using air layer and aerogels", *kifse* 32 (2018) 81. <http://www.kidd.co.kr/news/204636>.
- [4] D.W. Kim, G. Jeong, J.H. Lim, J.W. Lim, B.M. Yu and K.S. Lee, "A lightweight design of the spar cap of wind turbine blades with carbon fiber composite and ply reduction ratio", *Journal of Aerospace System Engineering* 12 (2018) 66.
- [5] K.B. Kwon and S.K. Cheong, "Fatigue characteristics of bicycle frames depending on types and materials", *Journal of the Korean Society of Safety* 32 (2017) 8.
- [6] <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-dou-ble-diamond>.
- [7] K.T. Kim, H.S. Kim and S.M. Kang, "A study on the design for the road bike frame made by carbon fiber materials", *J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol.* 27 (2017) 178.