

'09 추계학술대회 우수 논문

샌드위치 복합재로 구성된 CT(Computed Tomography) 장비 Cradle 제작기술 및 X선 투과성능 평가

이상진^{*+}, 김종철^{**}, 김민우^{*}, 박자연^{*}

Manufacturing Technology and Evaluation for X-ray Transmission Performance of CT Cradle composed of Sandwich Composites

Sang-Jin Lee^{*+}, Jong-Chul Kim^{**}, Min-Woo Kim^{*}, and Ja-Yeon Park^{*}

ABSTRACT

This paper decided the 3D shape of sandwich composite for the cradle of CT instrument, suggested the stacking sequence with satisfaction on structural criteria using the Finite Element Analysis, and introduced the manufacturing method to meet the X-ray transmission performance uniformly. The design of Cradle was considered the space between other parts, fixing method, and assembly condition with headrest part. It is decided the stacking sequence to meet the criteria that the deflection at the end point is less than 20 mm when it is applied to 135 kg load at the specific locations. In site of manufacturing method, at first, it is used the hand lay-up for carbon UD and carbon fabric/polyester resin, but it had the ununiform X-ray transmission performance due to the void and excess resin. For solving this problem, it was replaced with the infusion method for the first layer of face material and the application of carbon UD or fabric/epoxy resin prepreg for other layers. Therefore, the property of X-ray transmission was improved.

초 록

본 연구에서는 컴퓨터 단층촬영 장비의 크레이들에 대한 샌드위치 복합재 3차원 형상을 결정하였고, 유한요소해석을 통해 구조성능 기준을 만족하는 적층 패턴을 제안하였으며, 균일한 X선 투과 성능을 만족하는 생산공법을 제안하였다. 크레이들 설계는 다른 부품과의 공간, 고정 방법, 헤드레스트 부품과의 조립조건을 고려하였다. 정해진 위치에 135 kg 하중이 가해질 때, 크레이들 끝단부 처짐이 20 mm 이하인 기준을 만족하는 적층패턴을 결정하였다. 생산공법 측면에서 우선 카본 소재/폴리에스터 수지로 핸드레이업을 하였으나, 기포 및 과잉수지로 불균일한 X선 투과성능을 보였다. 이를 해결하기 위해 첫 번째 층은 동일소재를 인퓨전 공법으로 하고 나머지 층은 카본 소재/에폭시 수지의 프리프레그 적용으로 X선 투과성능을 개선하였다.

Key Words : 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography), 샌드위치 복합재(Sandwich composite), FEA(Finite Element Analysis), X선 (X-ray), 크레이들(Cradle)

1. 서 론

과거 복합재료는 고유한 특성인 경량 및 비강성/비강도가

우수함 때문에 고가이지만, 그러한 특성이 요구되는 항공기 부품 및 방산부품에 주로 사용되었다[1]. 최근에는 그 응용분야가 확대되어 복합재 형태 중, 샌드위치 구조로 된 기차, 버

* 한국신발피혁연구소 생산지원연구팀

*+ 한국신발피혁연구소 생산지원연구팀, 교신저자(E-mail:sjlee@kiflt.re.kr)

** (주) 오코

스 등의 차량 구조물에 널리 응용되고 있다[2-7]. 한편, 2000년대 초반부터 의료기기 부품으로 복합재가 적용되었으며 현재에는 경량 특성 외의 X선 투과 성능 등의 요구사항 또한 만족하고 있다. 국내에서도 한국화이바, (주)오코에서 제작하여 Hitachi, Toshiba 등으로 수출한 실적뿐만 아니라, 국내의 메디슨, 중외메디칼 등의 의료기기 전문업체에 납품한 실적이 있었다. 의료기기용 부품에는 유리섬유, 카본섬유 등 다양한 소재가 적용되고 있으며, 필라멘트 와인딩 공법으로 제작된 bobbin, Tube 제품, 프리프레그 진공성형으로 제작된 의료장비 커버 제품 및 평판 형태의 제품은 프레스 성형 등의 다양한 공법을 적용하여 제품화 되었다. X선 투과 성능이 필요로 하는 CT(Computed Tomography, 컴퓨터 단층촬영) 장비와 진단용 X선(Diagnostic X-ray) 장비의 주요 부품은 카본 소재로 제작되며, MRI(Magnetic Resonance Imaging) 장비의 경우는 일반적인 저가형 소재인 유리섬유가 주로 사용되고 있다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 의료장비의 일종인 CT(Computed Tomography, 컴퓨터 단층촬영) 장비의 환자 지지부에 해당되는 크레이들(Cradle)의 3차원 형상 설계 및 구조해석을 통해 구조성능을 만족하는 부위별 소재 적층 패턴을 결정하였고, 표면 미려도와 X선 투과 성능이 균일하도록 샌드위치 복합재 성형 방법을 제안하고자 한다.



Fig. 1 CT medical Instrument.

2. Cradle 설계 및 적층패턴 결정

2.1 Cradle 형상 설계

Fig. 2와 같이 CT 장비와 환자 지지부인 크레이들의 3차원 형상이 나타나 있다. 크레이들은 환자 머리를 지지하는 헤드레스트(Headrest)가 삽입되는 상세 “A” 부분과 구동모터와 연결되어 이송을 위해 프레임과 고정되는 크레이들 볼팅 고정부 상세 “B” 부분으로 구성된다. 크레이들 전체 길이는 2,322 mm이고, 폭은 465 mm이다. 크레이들의 단면은 윗면이 700R, 아랫면이 450R 로 휘어진 형상이며, 가운데 가장 두꺼운 부분이 44 mm 두께, 가장자리의 가장 얇은 부분의 두께는 10.5 mm 이다. 크레이들 외형의 치수는 타 부품과의 인터페이스를

고려한 결과치 이다.

상세 “A” 부분은 환자 머리부분을 지지하는 헤드레스트(Headrest) 부품이 끼워져 고정될 수 있도록 폭 200 mm, 깊이 200 mm 의 홈이 난 형상을 가진다. 상세 “B” 부분은 크레이들이 이송장치와 체결을 위해 직경 32mm 관통 홀이 3 곳과 체결부 덮개를 고정하는 M10 탭 6곳 으로 구성된다. 샌드위치 구조인 복합재 크레이들 심재(foam) 형상은 Fig. 3과 같이 앞쪽 부분은 헤드레스트가 삽입되어지는 형상을 갖추고 있으며, 관통 홀을 통해 볼팅 고정되는 부분의 보강을 위해 심재의 해당부분에는 알루미늄 블록이 삽입 되어지는 형상으로 이루어져 있다.

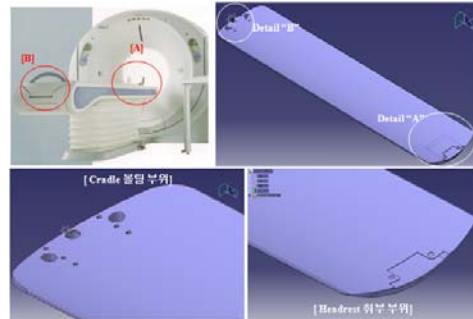


Fig. 2 Configurations of Composite Cradle.

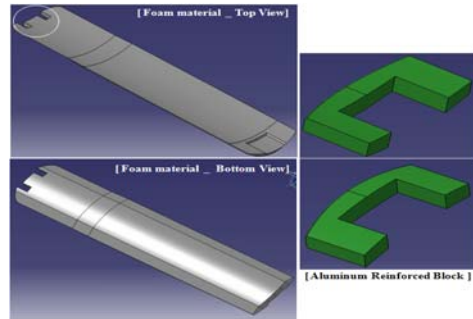


Fig. 3 Configurations of Foam material and Al. block.

2.2 적용 소재

샌드위치 구조의 크레이들은 얇은 층의 면재와 두꺼운 형상의 심재로 구성된다. 소재 선정은 제작 공법 및 X선 투과 성능을 함께 고려해야 한다. 본 연구에서는 (주)티비카본의 일반적인 카본 UD(Uni-Direction)인 CU 250NS와 기계적 성능이 우수한 MCU 250NS 2종을 고려하였고, 카본 직물 소재로는 CF 3327을 적용하였다. 심재 재질로는 Rohacell 311G 의 PMI 폼을 사용하고자 한다. 각 적용 재료의 기계적 성능은 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical Properties of applied materials

Property Material	E (GPa)	G (GPa)	Poisson's ratio	Strength (MPa)
CU 250NS	E ₁ =89.32 E ₂ =5.31	4.05	0.34 0.05	2,650 65.5
MCU 250NS	E ₁ =134 E ₂ =6.01	5.10	0.24 0.04	-
CF 3327	33.8	-	0.25	548.9
Foam material	0.036	-	0.02	1.0

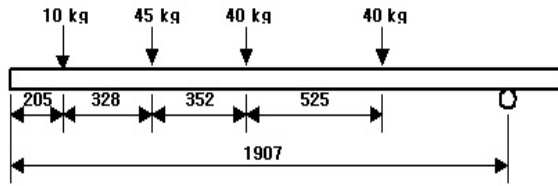
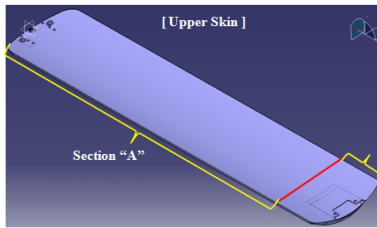
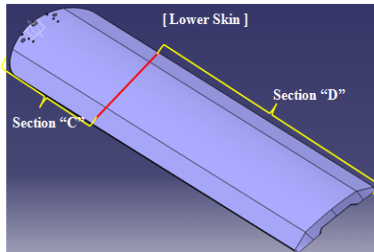


Fig. 4 Loading locations on the top surface of Cradle.



Section (A) : Carbon Fabric - 4 plies
Section (B) : Carbon Fabric - 6 plies



Section (C) : Carbon Fabric - 9 plies
Carbon UD - 23 plies
Section (D) : Carbon Fabric - 4 plies
Carbon UD - 7 plies

Fig. 5 Stacking Sequence(1) of Face Material.

2.3 유한요소해석을 통한 적층패턴 결정

크레이들의 구조성능 기준은 Fig. 4와 같이 크레이들 윗면 특정 위치에 총 135 kg의 하중이 가해질 때, 끝단부 처짐이 20 mm를 넘지 않아야 한다. 유한요소해석은 Ansys Ver.11을 사용하였다. 3차원 설계 데이터를 활용하여 심재는 Solid 요소로 면재는 Layered Shell 요소를 적용하였고, 면재 각 부위별 제안된 적층 패턴을 해당 재료의 물성, 두께 및 적층 방향을 고려하여 입력하였다.

제안된 적층 패턴은 Fig. 5와 같이 윗 면의 경우는 CF 3327 - 4 플라이를 기본으로 헤드레스트 부분은 보강을 위해 2 플라이 추가 적용되는 구조이다. 아랫 면은 section “C”, “D” 동일하게 CF 3327(4 플라이)과 CU 250NS(7 플라이) - 11 플라이를 적층하고 “C”부분은 보강하여 CF 3327(9 플라이)과 CU 250NS(23 플라이) - 총 32 플라이로 구성된다.

이러한 적층 구조의 유한요소해석 결과는 Fig. 6과 같이 끝단부의 처짐이 27.2 mm 로 요구조건을 만족하지 못 하였다. 이에 추가 보강을 위해 Fig. 5의 Section “C”와 “D” 사용된 CU 250NS 4 플라이를 MCU 250NS 4 플라이로 대체하였다. 그 결과 Fig. 7과 같이 크레이들 끝단부의 처짐은 19.02 mm 로 요구조건을 만족하였다.

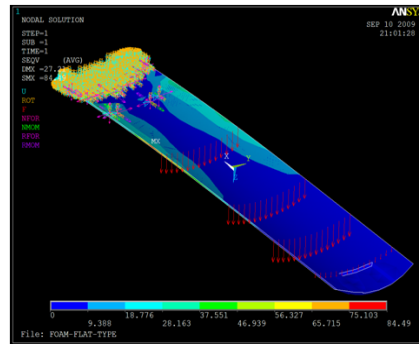


Fig. 6 Analysis Result for Stacking Sequence(1).

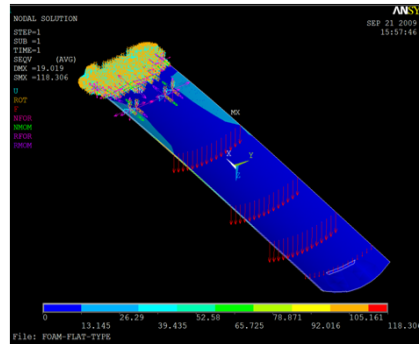


Fig. 7 Analysis Result for Final Sequence.

3. Cradle 제작 기술 및 X선 투과성능

크레이들 제작에서 가장 중요한 요소는 2가지이다. 첫째, 성형 후 표면은 마감처리가 필요없는 광택을 가진 미려도 높은 외관을 가져야 한다. 둘째, 의료기기 부품의 필수 항목인 균일한 X선 투과 성능이 있어야 하고, 순도 99.9% 알루미늄 1.5mm 두께의 X선 투과성능과 동등 이상이어야 한다. 이러한 필수 조건을 동시에 충족하도록 다음과 같이 제작 기술을 제안하였다.

3.1 복합재 Cradle 제작

샌드위치 구조의 크레이들 제작을 위해 설계 형상의 몰드를 제작하여 준비하였다. 몰드는 Fig. 8과 같이 상·하판으로 구성된다. 준비된 몰드에 이형 처리를 하고 정해진 적층 패턴에 따라 Fig. 9와 같이 적층하였다. 이때 사용된 수지는 불포화 폴리에스터 상온경화형 수지를 사용하였다. 적층이 완료되면, Fig. 10과 같이 진공을 걸어 몰드 형상에 밀착되도록 하였다. 상·하판 모두 일정시간 상온에서 반경화가 되도록 하였다.



Fig. 8 Preparation of Mold.

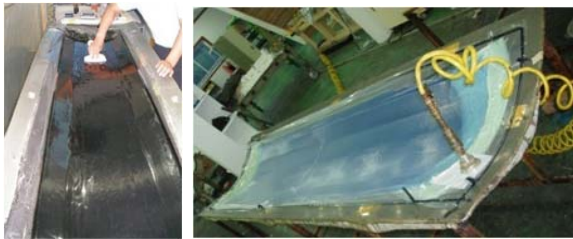


Fig. 9 Lay-up.

Fig. 10 Bagging and first cure.

설계 형상에 따라 가공된 심재를 준비하여 Fig. 11과 같이 면재 하판에 진공 필름을 제거하고 추가 수지를 적용한 후, 심재를 삽입 고정하였다. 면재 상판의 진공 필름을 제거하고 추가 수지를 적용한 후, 상·하판을 조립하였다. Fig. 12와 같이 조립된 몰드는 클램핑하여 고정하고 드라이 오븐에서 2차 경화시켰다.



Fig. 11 Assembly of Upper mold and Lower mold.



Fig. 12 Clamping and Final Cure.

성형 후, 몰드를 탈형하고 접합부분을 트리밍하여 Fig. 13과 같이 샌드위치 크레이들 제작을 완료하였다.



Fig. 13 Completed Composite Cradle.

3.2 X선 투과성능 평가

크레이들 측정 부위에 대한 X선 투과 시험 조건은 관전압 100 kV, 200 mA를 0.1초 동안 투과하였다(Fig. 14). 본 연구에서는 환자 측정 부위 전반의 X선 투과 분포 특성을 확인하며 균일한 투과 성능을 가지는 성형 방법을 제시한다.

먼저, 3.1 절의 제작 방법으로 성형된 크레이들의 X선 투과 결과는 Fig. 15와 같다. 핸드레이업 방식으로 제작하는 과정에서 하판 면재의 11 플라이 이상의 적층 사이사이 기포 및 과잉 수지가 불균일하게 분포되어 투과성능이 좋지 않음을 알 수 있다. 또한, 상온용 수지의 2차 성형에서의 크랙 및 심재 가공 상의 표면의 물결 무늬가 불량 원인인 경우도 발생하였다.



Fig. 14 X-ray Transmission Test.

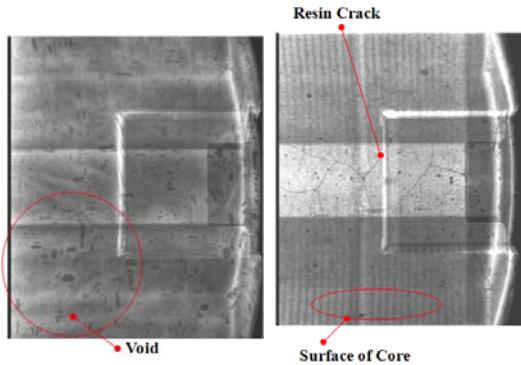


Fig. 15 Test Result for manufacturing process of 3.1 clause.

이러한 여러 문제를 해결하기 위해 핸드레이업 방식의 불균일한 성형 방법을 상·하판 첫 플라이에 대해 인퓨전 공법을 적용하고 나머지 플라이에 대해서는 프리프레그를 적용하여 면재 내의 기포 및 수지 분포가 균일한 소재를 사용으로 Fig. 16과 같이 X선 투과 성능을 개선하였다.

Table 2에는 최종 제작된 복합재 크레이들의 X선 투과성능 결과를 나타내고 있다. 샌드위치 복합재 크레이들의 투과율은 78.7 %로 99.9% 순도, 1.4 mm 두께의 알루미늄 77.8 % 투과율보다 우수한 투과성능을 확인할 수 있다.

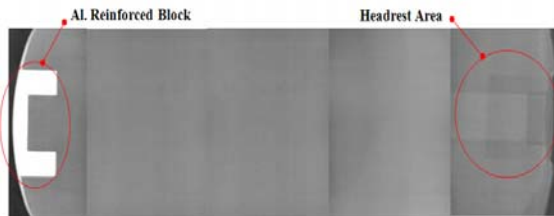


Fig. 16 Test Result for modified manufacturing process.

Table 2 X-ray Transmission Results of Composite Cradle.

Item	측정치				투과율 (I/I ₀)×100	
	1	2	3	평균		
기준 (I ₀)	111.2R	109.6R	109.1R	110.0R	-	
Composite Cradle	87.3R	86.2R	86.3R	86.6R	78.7%	
Aluminum	1.6t	80.3R	80.2R	79.6R	80.1R	72.8%
	1.4t	86.3R	85.2R	85.3R	85.6R	77.8%
	1.2t	90.2R	90.1R	89.9R	89.7R	81.8%

4. 결론

본 연구에서는 샌드위치 복합재 크레이들의 체결 및 형상 제한을 고려하여 3차원 형상을 설계하였으며 재료 적층 패턴을 결정하기 위해 유한요소해석을 통해 구조강성을 예측하였

다. 이를 통해 적층 패턴을 결정하였고, 상·하판 면재를 핸드레이업 성형공법으로 제작하고 면재와 심재를 일체형으로 본딩하여 샌드위치 복합재 크레이들을 제작하였다. 제작된 크레이들에 대해 X선 투과 성능을 평가하여 수지 크랙, 과잉수지, 기포 등의 제작상의 문제점을 확인하였으며 인퓨전 공법과 프리프레그 소재 사용으로 문제를 해결하였다. 최종 제작된 샌드위치 복합재 크레이들은 전면에 균일한 투과성능을 가지며 78.7 % 투과율로 알루미늄 1.5 mm 두께의 투과율보다 우수한 성능을 확인하였다.

후 기

본 연구는 부품소재전문기업 지원사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 김위대, 홍대진, “수지 충전 공정을 이용한 항공기 윈도우 프레임 설계,” 한국복합재료학회지, 제19권, 제6호, 2006, pp. 1-7.
- 2) 신광복, 고희영, 조세현, “하니컴 샌드위치 복합재를 적용한 저장버스의 충돌 및 전복 특성 연구,” 한국복합재료학회지, 제21권, 제1호, 2008, pp. 22-29.
- 3) 김정석, 정중철, 이상진, “하이브리드 복합재 철도차량 차체에 대한 시험적 연구,” 한국복합재료학회지, 제18권, 제6호, 2005, pp. 19-25.
- 4) S.J.Lee, J.S.Kim, J.C.Jeong, S.H.Cho, “A Study for manufacturing process of Train Bodyshell with sandwich composite using the Autoclave,” Japanese Journal of Reinforced Plastics, Vol. 52, No. 6, 2006, pp. 269-277.
- 5) J.Y.Lee, K.B.Shin, S.J.Lee, “A study on Failure Evaluation of Korean Low Floor Bus Structures Made of Hybrid Sandwich Composites,” Trans. of KSAE, Vol. 15, No. 6, 2007, pp. 50-61.
- 6) Haibin Ning, Gregg M. Janowski, Uday K. Vaidya and George Husman, “Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle,” Composite Structures, Vol. 80, Issue 1, 2007, pp. 82-91.
- 7) Haibin Ning, Uday Vaidya, Gregg M. Janowski, and George Husman, “Design, manufacturing and analysis of a thermoplastic composite frame structure for mass transit,” Composite Structures, Vol. 80, Issue 1, 2007, pp. 105-116.