

## 판스프링형 랜딩기어의 재질에 따른 응력 해석<sup>§</sup>

김경환\* · 이영신\*<sup>†</sup> · 한재도\*\*

\* 충남대학교 기계설계공학과, \*\* (주)한얼시스템

### Stress Analysis of Plate-Spring-Type Landing Gear Materials

Kyeong-Hwan Kim \*, Young-Shin Lee \*<sup>†</sup> and Jae-Do Han \*\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam Nat'l Univ.,

\*\* Corp. of HAN-URL SYSTEM

(Received December 28, 2012 ; Revised January 31, 2014 ; Accepted February 4, 2014)

**Key Words:** Landing Gear(착륙장치), Plate Spring(판스프링), Composite Material(복합재료), Margin of Safety(안전계수)

**초록:** 오늘날 비행기는 없어서는 안 되는 교통수단 중의 하나이다. 비행기는 교통 수단 뿐 만 아니라 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 예를 들어, 사람을 태우고, 짐을 실어 나르고, 군에서는 정찰 등의 임무를 수행하게 된다. 지상에서 이륙·착륙이 이루어 진다. 이륙할 때 보다는, 착륙할 시 랜딩기어에 많은 하중이 작용하게 된다. 착륙장치는 충격 에너지를 흡수하며, 사고 시에 동체가 파손되지 않도록 방지한다. 본 논문에서는 복합재와, 알루미늄을 적용한 판 스프링형 랜딩기어에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 두 가지 재료의 랜딩기어에 대한 구조적 안전성이 평가되었다.

**Abstract:** Aircraft are an indispensable mode of modern transportation. They are also used as in a wide variety of other fields. For example, aircraft are used for accommodating passengers, carrying freight, and for military reconnaissance. Aircraft ground operations include landing and taking off. During landing, a higher load is applied to the landing gear than during takeoff. The landing gear should absorb impact energy and prevent damage to the main body of the aircraft in the case of an accident. In this study, simulations were performed for two types of plate-spring-type landing gear: that made of composite materials and that constructed with aluminum. The structural safety of landing gear made of each material was also evaluated.

### 1. 서 론

항공기의 착륙장치는 지상에서의 이륙과 착륙시 발생하는 충격을 흡수하는 역할을 한다. 이때 발생하는 하중은 항공기 전체 무게의 4 ~ 5 배가 발생하게 되며, 랜딩기어는 이를 흡수하고, 동체에 에너지가 전달되어 파괴되는 것을 방지하게 되는 1 차 에너지를 흡수하는 구조물이다. 착륙장치 설계시에 여러가지 착륙의 조건이 있으며, 그들 중에 일반착륙(Normal Landing)과 추락착륙(Crash Landing)은 반드시 고려해야 될 사항중의 하나이

다.<sup>(1)</sup>

일반적으로 효율적인 착륙장치의 설계는 착륙장치의 성능 및 전기체의 구조적 안전성을 위해 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 항공기의 착륙장치는 전체 비행기 무게의 4 ~ 7% 정도를 차지하지만, 전 기체의 4 ~ 5 배 수준에 달하는 착륙하중과 여러 지상운용 하중을 지지해야 한다. 항공기의 착륙 시에는 지면과 닿는 순간 많은 하중이 기체에 전달되는데 착륙장치는 이러한 하중이 항공기 동체에 직접적으로 전달되지 않도록 지면으로 부터의 충격이나 진동을 상당량 흡수하는 역할을 하게 된다. 따라서 착륙장치는 항공기의 안전성 확보를 위해 매우 중요한 부분이다. 항공기 착륙장치는 항공기가 지상에 닿는 순간부터 다시 떠오르는 순간까지 매우 다양한 하중을 겪게 된다.<sup>(2)</sup>

§ 이 논문은 대한기계학회 2012년도 추계학술대회(2012.

11. 7.-9., CECO) 발표논문임

<sup>†</sup> Corresponding Author, leeys@cnu.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

**Table 1** Material property of aluminum 7050-T7451

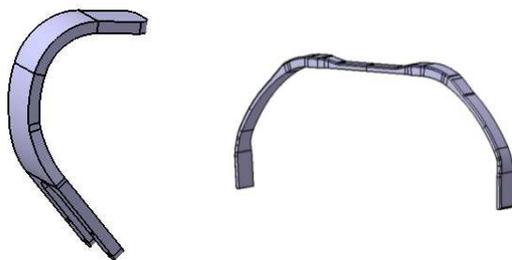
Aluminum 7050-T7451	
Young's Modulus	71.7 GPa
Possion's Ratio	0.33
Density	2830 kg/m <sup>3</sup>
Tensile Yield Strength	469 MPa
Tensile Ultimate Strength	524 MPa

**Table 2** Material property of GFRP and CFRP

Material		Property
Glass Roving	E	40 GPa
	G	4 GPa
Carbon Fabric	E	100 GPa
	G	20 GPa

**Table 3** Nose landing gear ply pattern

No.	Type	Angle (°)	Thickness (mm)
1	CFRP	45	0.2184
2	CFRP	45	0.2184
3	CFRP	0	0.2184
4	CFRP	0	0.2184
5	CFRP	45	0.2184
6	CFRP	45	0.2184
7	CFRP	0	0.2184
8	CFRP	0	0.2184
9	CFRP	45	0.2184
10	CFRP	45	0.2184
11	CFRP	0	0.2184
12	CFRP	0	0.2184
13	CFRP	45	0.2184
14	CFRP	45	0.2184
15	CFRP	0	0.2184
16	CFRP	0	0.2184
17	CFRP	45	0.2184
18	CFRP	45	0.2184
19	CFRP	0	0.2184
20	CFRP	0	0.2184
21	CFRP	45	0.2184
22	CFRP	45	0.2184
23	CFRP	0	0.2184
24	CFRP	0	0.2184
25	GFRP	0	0.2413
26	GFRP	0	0.2413
27	GFRP	45	0.2413
28	GFRP	45	0.2413
29	GFRP	0	0.2413
30	GFRP	0	0.2413
31	GFRP	45	0.2413
32	GFRP	45	0.2413
33	GFRP	0	0.2413
34	GFRP	0	0.2413
Symmetry			



(a) Nose landing gear      (b) Main landing gear

**Fig. 1** Three-dimensional model of landing gear

소형항공기 및 무인항공기의 경우, 판 스프링식 복합재료 착륙장치의 사용이 보편화 되고 있다. 이는 복합재료(Composite material)의 특성인 우수한 비강도(Specific strength) 및 비강성(Specific stiffness)을 이용하여 항공기의 착륙 시 지상 충격흡수 기능을 수행하는 방식으로, 공기 - 유압식 착륙장치에 비하여 매우 단순한 형상 설계와 제작의 용이성이 큰 장점중의 하나이다.<sup>(3)</sup>

이러한 여러가지 이유에서 섬유형 고분자 복합재료가 항공부품 시장에 가격적, 성능적, 신뢰도 측면에서 우위를 차지하고 향후 항공용 구조물에 대한 적용성을 높여 복합재료 부품의 폭넓은 상용화와 설계 및 공정 기술력을 확보하여야 한다.<sup>(4)</sup>

본 논문에서는 복합재와 알루미늄의 재료적 특성이 랜딩기어에 얼마나 영향을 미치는지 알아보기 위하여, 판스프링형 착륙장치에 복합재료와 알루미늄을 적용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 시뮬레이션 결과인 복합재료를 적용한 랜딩기어와 알루미늄을 적용한 랜딩기어에 안전계수를 이용하여 비교하였다.

## 2. 해석대상 및 물성

### 2.1 해석대상

Fig. 1 은 전방착륙장치(Nose landing gear), 후방 착륙장치(Main landing gear)의 3 차원 모델이다. 3 차원 설계프로그램인 CATIA 로 모델링 하였으며, 해석대상의 각 위치별 두께 변화 및 모델의 단순화, 해석

Table 4 Main landing gear ply pattern

No.	Type	Angle(°)	Thickness (mm)	No.	Type	Angle(°)	Thickness (mm)
1	CFRP	45	0.2184	33	CFRP	45	0.2184
2	CFRP	45	0.2184	34	CFRP	45	0.2184
3	CFRP	0	0.2184	35	CFRP	0	0.2184
4	CFRP	0	0.2184	36	CFRP	0	0.2184
5	CFRP	45	0.2184	37	CFRP	45	0.2184
6	CFRP	45	0.2184	38	CFRP	45	0.2184
7	CFRP	0	0.2184	39	CFRP	0	0.2184
8	CFRP	0	0.2184	40	CFRP	0	0.2184
9	CFRP	45	0.2184	41	CFRP	45	0.2184
10	CFRP	45	0.2184	42	CFRP	45	0.2184
11	CFRP	0	0.2184	43	CFRP	0	0.2184
12	CFRP	0	0.2184	44	CFRP	0	0.2184
13	CFRP	45	0.2184	45	CFRP	45	0.2184
14	CFRP	45	0.2184	46	CFRP	45	0.2184
15	CFRP	0	0.2184	47	CFRP	0	0.2184
16	CFRP	0	0.2184	48	CFRP	0	0.2184
17	CFRP	45	0.2184	49	CFRP	45	0.2184
18	CFRP	45	0.2184	50	CFRP	45	0.2184
19	CFRP	0	0.2184	51	CFRP	0	0.2184
20	CFRP	0	0.2184	52	CFRP	0	0.2184
21	CFRP	45	0.2184	53	CFRP	45	0.2184
22	CFRP	45	0.2184	54	CFRP	45	0.2184
23	CFRP	0	0.2184	55	GFRP	0	0.2413
24	CFRP	0	0.2184	56	GFRP	0	0.2413
25	CFRP	45	0.2184	57	GFRP	45	0.2413
26	CFRP	45	0.2184	58	GFRP	45	0.2413
27	CFRP	0	0.2184	59	GFRP	0	0.2413
28	CFRP	0	0.2184	60	GFRP	0	0.2413
29	CFRP	45	0.2184	61	GFRP	45	0.2413
30	CFRP	45	0.2184	62	GFRP	45	0.2413
31	CFRP	0	0.2184	63	GFRP	0	0.2413
32	CFRP	0	0.2184	64	GFRP	0	0.2413

Symmetry

시간단축 등의 이유로 인해 랜딩기어 모델을 Solid 모델이 아닌 Shell 모델을 사용하였다.

2.2 재료 선정 및 물성

스프링 타입의 착륙장치는 크게 두 종류로 분류되며, 코일스프링을 장착하여 스프링의 압축을 통해 하중을 흡수하는 형태의 착륙장치, 판 스프링 형태의 구조물 자체에서 하중을 흡수하는 착륙장

치가 있다. 판스프링 형태의 착륙장치는 구조적인 단순함, 정비 및 제작이 용이하며, 경비행기, 초경량항공기 및 대형 RC 모형 등에 많이 쓰이는 장점을 가지고 있다.

대부분의 판 스프링 착륙장치의 재질은 알루미늄 합금을 사용하는 경우가 많다. 알루미늄 합금은 무게가 가볍고 강도가 뛰어난 장점을 가지고 있어 비행체의 중량을 최소한으로 줄여야 하는 항

공 분야에 많이 사용된다. 또한, 복합재료로 사용되는 재질 중 가장 많이 사용되는 재질은 강성이 뛰어난 탄소섬유복합재(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic)와 연성이 뛰어난 유리섬유복합재(GFRP : Glass Fiber Reinforced Plastic)가 있으며, 본 논문에서는 착륙장치의 강성을 높이고 효율적인 하중 흡수를 위하여 CFRP 와 GFRP 를 함께 사용하였다. 착륙장치는 비행체의 안전성을 위하여 높은 강성을 요구하지만, 착륙시 발생하는 하중을 효율적으로 흡수하기 위하여 어느 정도의 연성을 함께 요구 한다. 이를 위하여 GFRP 를 CORE 로 하여 착륙장치의 연성을 높이고, CFRP 를 그 위에 적층 함으로서 강성을 높였다. 그리고 CFRP 를 이용한 착륙장치는 동급의 알루미늄 착륙장치보다 중량을 최대 15% 감소 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 알루미늄, CFRP 와 GFRP 를 함께 적층한 복합재를 전·후방 판스프링형 랜딩기어에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이때, 알루미늄과 GFRP 그리고 CFRP 의 기계적 특성은 Table 1 과 Table 2 에서 보여주고 있다.

### 3. 해석방법 및 하중조건

본 해석을 수행하기 위해 유한요소 모델은 Hypermesh 10 을 사용하였으며, 선형 해석을 수행하기 위해서는 Patran 2010, 솔버는 Nastran 2007 을 사용하여 시뮬레이션을 수행 하였다.

경량 무인항공기 착륙장치 개발을 위해 적용한 주요 요구도는 STANAG-4671 을 따랐으며 대표적인 개발 요구사항은 다음과 같다.(STANAG-4671 : Unmanned Aerial Vehicles System Airworthiness Requirements(USAR), NATO Standardization Agency)<sup>(6)</sup>

착륙장치 개발시 요구되는 사항은 지상활주 및 이·착륙시 유기되는 충격하중을 흡수, 착륙장치의 완충효율을 극대화하여 비행체에 장착된 탑재 장비의 안전성을 확보하며, 착륙장치의 중량을 절감해야 한다. 그리고 비행체 최대 착륙하중은 110 kg, 비행체 착륙접근속도는 표준대기 조건에서 120 kg/h, 최대 착륙중량에서 수직방향으로 2.44 m/s(8.0 ft/sec) 이하로 착륙 가능해야 한다. 착륙장치 하중 조건으로는 수평착륙조건(Level landing condition), 꼬리내림 착륙조건(Tail down landing condition) 등이 있다. 착륙장치 하중 계산은 다음과 같이 진행하였다. 수평착륙조건에서는 비행체는 전륜과 주륜이 동시에 지면에 닿는 것으로 가정하고, 양력은 0.5 G 를 적용하며, 최대수직하중과

조합하여 하중조건을 계산한다. 꼬리내림 착륙조건은 꼬리내림 착륙시 비행체는 전륜을 갖는 비행체의 경우, 실속자세 혹은 비행체 부분중 지상과 간격이 허용되는 최대 각 자세중 낮은 쪽으로 착륙하며, 양력은 0.5 G 를 적용하였으며, 최대 수직하중과 조합하여 하중조건을 계산한다. 외바퀴 착륙조건은 외바퀴 착륙 시, 비행체는 수평자세를 갖고 주륜의 한쪽만이 지상에 접하는 것으로 가정한다. 이런 자세에서 지상 반력은 한쪽에 작용하는 지상반력과 같다고 가정한다. STANAG 4671 을 적용하며, 양력은 0.5 G 를 적용하여 하중조건을 계산하게 된다.

위에서 언급한 착륙장치 하중조건을 MSC ADAMS 를 활용하여 동적해석을 수행 하였다. 동적해석 결과는 다음과 같다. 수평착륙조건에서는 Nose 2611 N, Main left 2626 N, Main right 2626 N, 꼬리내림 착륙조건에서는 Nose 0 N, Main left 3593 N, Main right 3593 N, 외바퀴 착륙조건에서는 Nose 0 N, Main left 3593 N, Main right 3593 N 의 최대하중이 발생하였으며, 이를 판스프링형 착륙장치에 적용하였다. 이를 토대로 CFRP 와 GFRP 복합재에 적용하였으며, 전방착륙장치에서는 68 층, 1 ~ 24 층 까지는 CFRP, 25 ~ 34 층까지는 GFRP 를 적용하였다. 34 층을 기준으로 대칭인 모델을 적용하였으며, Table 3 에서 보여주고 있다. 후방착륙장치는 128 층으로 적층 하였으며, 1 ~ 54 층 까지는 CFRP, 55 ~ 64 층까지는 GFRP 를 적용하였다. 64 층을 기준으로 대칭인 모델을 적용하였으며, Table 4 에서 보여주고 있다.

위에서 언급한 개발 요구 사항을 기본 설계도로 하여 주어지는 MTOW(Maximum Take Off Weight)와 착륙하중 조건 하에서 MSC ADAMS 와 같은 동적해석 프로그램을 활용하여 낙하모사 해석을 수행한다.

유한요소해석에서는 Shell 요소를 사용하였으며 전방착륙장치와 후방착륙장치에 장착되는 부분을 모사하여 동역학 해석에서 얻어진 하중 조건을 적용하여 유한요소 해석을 수행 하였다.

### 4. 해석결과

유한요소해석은 복합재를 적용한 판 스프링형 랜딩기어와 알루미늄을 적용한 판 스프링형 랜딩기어를 시뮬레이션 하였다. 복합재를 적용한 랜딩기어와 알루미늄을 적용한 랜딩기어의 경계 조건과 하중 조건은 동일하게 하여 진행하였다. 전방착륙장치의 최대하중은 수평착륙조건, 후방착륙장

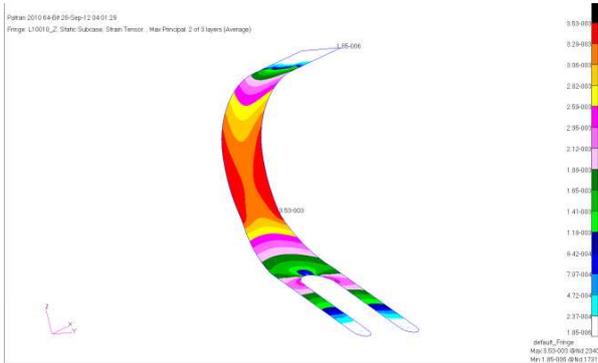


Fig. 2 Maximum principal strain contour of composite nose landing gear

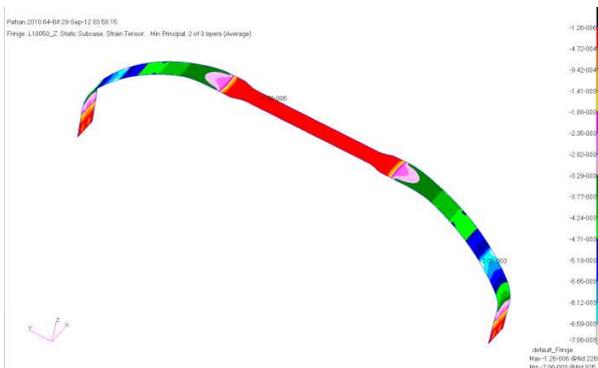


Fig. 3 Maximum principal strain contour of composite main landing gear

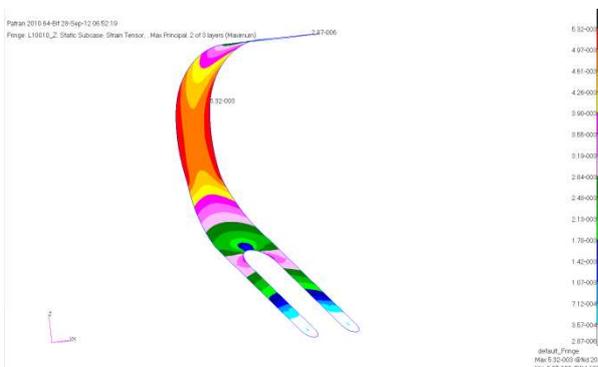


Fig. 4 Maximum Principal strain contour of aluminum nose landing gear

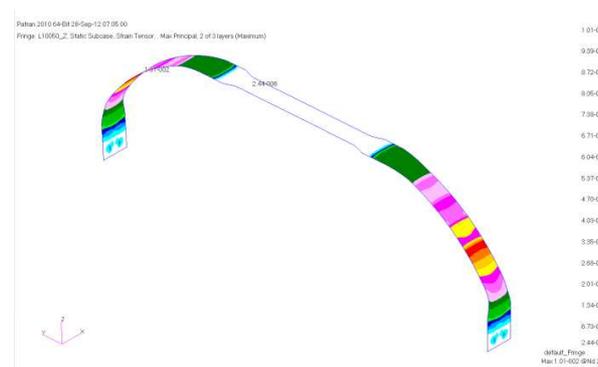


Fig. 5 Maximum Principal strain contour of Aluminum Main landing gear

치는 꼬리내림착륙조건과 외바퀴 착륙조건에서 발생하였으며, 이 결과를 비교하게 된다.

4.1 복합재 해석결과

전방착륙장치 유한요소해석에서 나타난 변형률 값과 복합재 적층판의 허용응력과의 비교를 통하여 착륙장치의 강도를 계산하였다. 이때의 인장과 압축의 허용 변형률은 8800  $\mu\epsilon$  이다. Fig. 2 는 유한요소해석 결과 최대 변형률을 나타내고 있다. 유한요소해석 결과에서 인장 변형률은 3525  $\mu\epsilon$  이며, 압축 변형률은 3443  $\mu\epsilon$  이다. 이들 값을 이용하여 안전여유를 구할 수 있으며, 안전여유(Allowable / Applied strain - 1) 정의하고, 해석 결과에 적용하면, 수평착륙조건 Fig. 2 에서의 결과를 적용하여 계산하면, 인장에서는 1.49, 압축에서는 1.55 의 값을 갖게 된다.

후방착륙장치의 인장, 압축 허용 변형률 값은 전방 착륙 장치와 같다. Fig. 3 은 후방 착륙장치의 최대 주 변형률을 보여주고 있다. 그리고 유한요소 해석 결과 인장 변형률은 6835  $\mu\epsilon$  이며, 압축 변형률은 7058  $\mu\epsilon$  이다. 해석 결과를 이용하여 안전여유를 계산하면 다음과 같다. 꼬리 내림 착륙조건에서는 인장의 안전여유는 0.29, 압축은 0.25 의 안전여유를 갖게 된다.

4.2 알루미늄 해석결과

복합재의 해석결과와 마찬가지로, 인장과 압축의 허용 변형률은 8800  $\mu\epsilon$  이며, Fig. 4 는 알루미늄을 사용한 유한요소해석 결과 중 최대 변형률을 나타내고 있다. 유한요소해석에서 인장 변형률은 5325  $\mu\epsilon$  이며, 허용 변형률은 8800  $\mu\epsilon$  이며, 이 값을 이용하면 안전여유를 구할 수 있다. 안전여유(Allowable / Applied strain - 1)를 정의하고, 해석결과를 적용하여 계산하면, Fig. 4 에서의 수평착륙조건에서의 결과를 적용하면 인장에서는 0.6, 압축에서 0 의 값을 갖게 된다.

후방착륙장치의 인장, 압축 허용 변형률 값은 전방 착륙 장치와 같으며, Fig. 5 은 후방 착륙장치의 최대 주 변형량을 보여주고 있다. 그리고 유한요소 해석 결과를 이용하여 안전여유를 계산하면 다음과 같다. 수평 착륙조건에서는 0.6, 꼬리 내림 착륙조건에서는 인장의 안전여유는 0.65, 압축은 0.99 의 안전여유를 갖게 된다.

5. 결 론

수평착륙조건과 꼬리내림 착륙조건을 시뮬레이션 수평착륙조건과 꼬리내림 착륙조건을 시뮬레이션 한 결과 알루미늄을 적용한 랜딩기어보다 복합재료를 적용한 랜딩기어에서 안전한 값을 얻을 수 있었다.

이로부터 알루미늄을 적용한 랜딩기어보다 비중량이 작고 비강도가 큰 복합재를 적용한 랜딩기어가 가볍고 더 안전하다고 판단 할 수 있다.

시뮬레이션에서 구한 값을 안전계수로 변환하였으며, 수평착륙조건에 복합재를 적용한 랜딩기어는 인장, 압축일 때 1.49 와 1.55 의 값을 가지며, 알루미늄을 적용한 랜딩기어는 0.6 과 0 의 안전여유를 가지고 있었다. 꼬리내림 착륙조건에서 복합재를 적용한 랜딩기어는 인장과 압축일 때, 0.29 와 0.25 의 값을, 알루미늄을 적용한 랜딩기어일 때는 0.65 와 0.99 의 값을 가지고 있었다.

이와 같은 해석결과에서 볼 수 있듯이 복합재와 알루미늄을 적용한 랜딩기어의 안전여유를 비교해보면 복합재를 적용한 랜딩기어가 더 안전하다고 볼 수 있다. 항공기의 가장 큰 관점인 무게를 생각해 보면, 기존의 알루미늄을 적용한 랜딩기어 보다 복합재 소재를 적용한 랜딩기어가 항공기 전체의 무게를 경량화 시키는데 큰 역할을 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 선도산업육성을 위한 첨단 기술 상용화 지원사업에 지원을 받았으며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌 (References)

- (1) Shin, J. W., Kim, T.-U., Hwang, I.-H., Jo, J. J., Lee, J.-S. and Park, C.-Y., 2010 "Design Development Test of Crashworthiness Device for Landing Gear," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 34, No. 1, pp. 111~116.
- (2) Park, I.-K., Kim, S.-J., Ahn, S.-M. and Song, J.-H., 2010 "Aircraft Landing Gear Spin-up, Spring-Back Load Analysis Using" *Proceeding of KSME Autumn Symposium*, pp. 886~891.
- (3) Kim, D.-M., Hur, M.-K. and Lee, K.-B., 1994, "Composite Leaf Spring for Landing Gear" *Proceeding of KASA Symposium*, pp. 353~357.
- (4) Lee, S. Y., Kim, J.-B., Um, M.-K., Kim, T.K. and Shin, J.W., 2008, "Applicability of Composite Torque Link at Helicopter Landing Gear System" *Proceeding of KSME Spring Symposium*, pp. 572~577.
- (5) Choi, S.-W. and Park, I.-K., 2005 "A Landing Characteristics Analysis of the Composite Landing Gear of the Firefly," *Korea Aerospace Research Institute, Aerospace Engineering and Technology, Vol.4 No. 2*, pp. 15~20.
- (6) STANG-4671(EDITION 1).
- (7) 'Patran' User's Manual version 2010.
- (8) 'Hypermesh 10' User's Manual.