

# 소형 항공기용 복합재료의 기술동향에 관한 연구

이 종원\* 김 진원\* 김 필종\* 박 일경\*

## A Study on Technical Trends of Composite Materials for Small Aircraft

Jong-Won Lee\*, Jin-Won Kim\*, Pil-Jong Kim\*, Ill-Kyung Park\*

### Abstract

The present study provides the legislative backgrounds and contents of the America's General Aviation Revitalization Act of 1994 as well as the general impacts of the Advanced General Aviation Transport Experiments Program on the composite materials and associated general aviation aircraft structures

Key Words: General Aviation, Small Aircraft, Composite Materials, Qualification, Crashworthiness.

#### 약어설명

- GA : General Aviation, 일반항공 [1]
- GARA : GA Revitalization Act [2]
- AGATE : Advanced GA Transport Experiment [3]
- GAP : GA Propulsion [4]
- SATS : Small Aircraft Transportation System [5]

### 1. 서 론

제2차 세계대전 이후부터 1970년대 말까지 10여년을 주기로 부침을 거듭하면서도 생산량에 있어서 꾸준한 증가세를 보이던 미국의 GA산업은 1980년대에 들어서면서 전례 없는 침체를 겪었다. 1978년에 무려 18,000대 가까이 육박하던 미국 내 GA항공기 연간 생산량은 1980년대에 들어서면서부터 급락하여 1990년대 초반에는 연 1,000대 이하로 감소하였다.

이 침체기 동안 제조물책임법에 따른 부담으로 인해 대부분의 미국내 GA 항공기 제작사가 파산 신고를 하거나 상대적으로 가격이 저렴한 단발 피스톤 항공기 생산설비를 폐쇄할 수 밖에 없었다. 결국 제조물책임법이 미국의 GA산업을 몰락 시킨 주범이라는 공감대가 수요자 층에게까지 널

리 형성되어 GA제작사의 제조물 책임기간을 출고 후 18년까지로 제한하는 GARA가 1994년에 제정되었다.

GARA의 제정과 더불어 미국은 거의 반세기나 시대에 뒤쳐진 자국의 GA산업 관련기술을 단기간에 21세기 수준으로 발전시키기 위해 관·산·학·연이 참여하는 컨소시움을 구성, AGATE 프로그램과 GAP 프로그램 및 SATS 프로그램을 적극적으로 진행시켰다. 복합재료를 비롯하여 소형 GA항공기용 주/부 구조물의 인증에 관련된 제반 기술기준도 AGATE를 거치면서 혁신적으로 발전하였으며, 이러한 기술기준에 따라 여러 기종의 고성능 소형항공기가 개발되어 전세계의 수요자들로부터 적극적인 호평을 얻고 있다.

### 2. 본 론

NASA와 FAA 등 미국의 정부기관과 더불어 다수의 산업체와 대학이 참여한 AGATE 프로그램에는 NASA가 지원한 6천3백만불을 포함하여, 1994년 12월부터 2001년까지 총 2억불 이상의 예산이 투입되었다. AGATE에 참여한 미국의 산업체와 정부기관(NASA와 FAA)의 협력을 바탕으로 GA용 소형항공기에 관련된 새로운 기술기준의 제정과 기존절차의 개선이 이루어졌다.

\*한국항공우주연구원

본 연구에서는 AGATE의 다양한 연구개발 분야 중의 하나인 ‘통합설계 및 제작기술’을 중점적으로 다루기로 하겠다. 이에 관련된 세부 기술분야를 Table 1로 나타내었다.

Table 1. 통합설계 및 제작기술 [6]

구분	세부 기술분야
1	Material Testing and Qualification
2	Crashworthiness Design
3	Low Cost Manufacturing
4	Acoustics for Noise Prediction
Advanced Materials Program 참여업체	
①A&P Technology, ②Cessna Aircraft, ③Cirrus Design, ④Fibercote Industries, ⑤Global Aircraft, ⑥The Lancair Company, ⑦Raytheon Aircraft, ⑧Stoddard-Hamilton, ⑨Simula Technologies, ⑩Toray Composites America	

### 2.1 Material Testing and Qualification

AGATE 이전에는 항공용 복합재료의 물성치 데이터베이스를 공유하는 제도적 뒷받침이 없었으므로 동일한 복합재료라고 할지라도 사용자가 달라지면 Fig. 1과 같이 해당 복합재료의 물성치에 대한 인증절차를 매번 다시 반복해야만 했다.

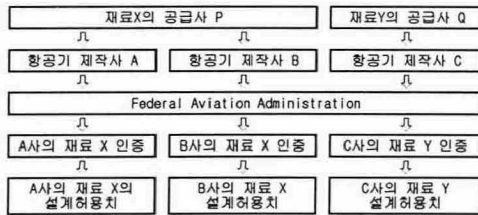


Fig. 1 AGATE 이전 [7]

AGATE를 거치면서 FAA의 승인을 받은 각각의 복합재료에 대해서는 Fig. 2와 같이 사용자들이 자신이 사용하는 복합재료가 FAA의 승인을 받은 복합재료와 동일하다는 것을 입증할 수 있는 일련의 표준적인 시편시험만 수행하면 되도록 제도적 뒷받침이 이루어졌다.

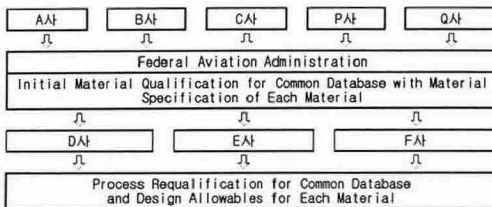


Fig. 2 AGATE 이후 [7]

MIL-HBK-17에 근거를 두고 있는 AGATE의 복합재료 관련 기술자료[7]는 복합재료 설계허용치의 확인 등 표준시편을 이용한 재료검증 시험방법과 통계처리 기법을 담고 있으며, FAA로부터

FAR Part 23 관련인증에 대한 참고문헌으로 공인 받았다. 이 방법이 적용되는 복합재료는 UD 및 Fabric으로 화씨 240°F 이상에서 Oven 경화되는 Epoxy Prepreg이며, 사용조건은 180°F Wet 이다.

AGATE를 거치면서 각각의 복합재료마다 소요되는 인증비용이 3십만불에서 3만불 수준으로, 인증기간은 24개월에서 6개월로 단축됨에 따라 복합재료 항공기의 전반적인 개발비가 크게 절감되었다.

### 2.2 Fatigue Test

GA용 소형항공기의 복합재료 항공구조물에 대한 피로시험 절차도 AGATE를 거치면서 새롭게 정립되었다. Fig. 3은 FAR23.573에 따라 수행된 Lancair Columbia 300 기종의 전기체 피로시험 장면을 보여주고 있다.

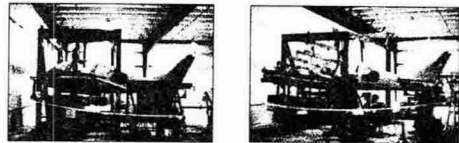


Fig. 3 복합재료 전기체 피로시험 [3]

Fig. 3의 피로시험용 전기체는 12,000시간 동안의 비행에 해당하는 연속적 반복하중을 견디어 냈다. 최대 설계하중 부과 10회를 포함하여 총 170,660회에 달했던 연속적 반복하중에는 총 7 종류의 하중조건이 포함되어 있었다. 그 후, 동일한 피로시험용 전기체는 화씨 175도 조건에서 극한하중까지 견디어 냈다.

### 2.3 Crashworthiness Design

미국 GA 산업체들은 AGATE 프로그램을 거치면서 GA용 소형항공기에 대한 Crashworthiness 설계지침을 최초로 확보하게 되었다. 이러한 설계지침은 NASA의 낙하시험 설비에서 수행된 다양한 시험결과와 데이터베이스를 근거로 해서 작성된 것이다. Fig.4에 낙하시험 설비의 모습과 Crash 시험조건을 나타내었다.

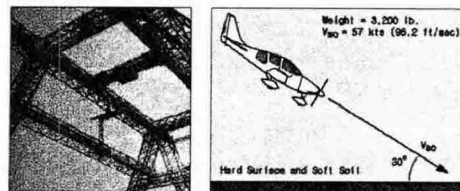


Fig. 4 Crashworthiness [8]

Fig. 4에서 보는 바와 같이 항공기의 기수를 지면 쪽으로 30도 기울인 상태에서  $V_{SO}$ 의 속도로 지면과 충돌하도록 하는 것이 AGATE를 거치면서 적용되었던 Crash 시험조건이다. 첨단 복합재료를 적용한 기체, 에너지 흡수용 객실바닥재, 특정수준의 하중에 도달하면 소성변형을 하도록 설계된 하중제한(Load-Limiting) 엔진 마운트, 그리고 좌석 및 안전벨트와 같은 탑승객 신체고정 장치 등 Crash 상황에서 탑승객의 안전에 관련된 전반적인 기술요소들이 이러한 Crash 시험을 통해 체계적으로 검증되었다.

Fig. 5는 Lancair Columbia300 기종의 전기체 시편으로 Fig. 4의 낙하시험 설비에서 Crash 시험을 수행하는 과정 중에 전기체 시편이 지면에 충돌하는 순간을 포착한 것이다.

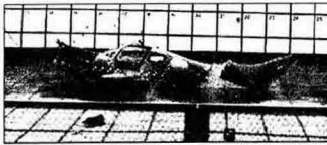


Fig 5 지면충돌 순간

이상에서 예를 든 Lancair 외에도 주/부구조물 전체에 복합재료를 적용, FAA의 인증을 획득한 4인승 단발 피스톤 항공기 제작사로는 Cirrus, Diamond 등이 있으며 21세기 초의 단발 피스톤 항공기 시장 판도를 확연하게 바꾸어 놓고 있다.

Crashworthiness에 관련하여 AGATE의 간접적인 파급효과의 하나로서 특기할만한 것이 바로 BRS사의 Parachute Recovery System이며 Cirrus사의 4인승 단발 피스톤 항공기에 Cirrus Airframe Parachute System (CAPS)라는 이름으로 장착되어 있다. Cirrus사의 4인승 단발 피스톤 기종들은 스피너회복이 거의 불가능하다는 결정적인 단점을 안고 있었기 때문에 FAA로부터 Normal Category 인증을 받기 위해 Fig. 6과 같이 CAPS를 장착할 수밖에 없었다.

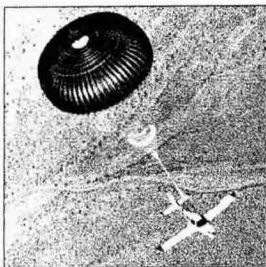


Fig 6 CAPS

그러나 Cirrus 사의 기종들은 부득이하게 장착한 CAPS덕분에 수요자들로부터 오히려 더 적극적인 호응을 얻고 있다.

#### 2.4 Seat Design and Certification by Analysis

AGATE에 의해 GA용 항공기의 좌석관련 인증기준도 과거와 크게 달라지고 있다. 과거에는 중대형항공기의 좌석 인증에 적용하는 FAR Part 25-562를 소형 GA항공기에도 그대로 적용하였다. 이 기준에 포함된 동적거동 시험은 매회 \$50,000 가량의 비용이 소요되었으며, 좌석받침 내부의 충전물을 다른 재질로 변경하는 등의 사소한 설계변경에 대해서도 매번 인증시험을 반복해야 하였다. AGATE를 거치면서 “Methodology for Seat Design & Certification by Analysis [9]”라는 제목의 보고서에 의해 Computational Modelling으로 좌석과 시스템의 동적거동을 예측하고, 그 예측을 근거로 좌석의 인증을 추진할 수 있는 대안이 제시되었다. Cessna사가 작성한 이 보고서는 GA항공기용 좌석의 설계와 인증을 위해 Transient FEM 해석방법의 사용을 허용하는 AC23.562-2의 근거가 되었다.

이 보고서 이전의 좌석 및 탑승객 신체고정 장치에 대한 사항은 아무리 사소한 설계변경이나 개조라 할지라도 반드시 실험적인 방법을 거쳐 FAA의 인증을 받아야 하였다. 이 보고서 이후, 사소한 설계 변경이나 개조사항에 대해서는 FAA의 사전승인을 얻은 해석적 방법에 한해서 실험 대신 해석을 통해 인증을 받을 수 있게 되었다. 대략 항공기 기체 인증비용의 30%가 좌석의 인증에 투입되어 왔던 실정을 감안한다면 AGATE에 의해 상당히 효율적인 비용절감 방법이 제시되었음을 알 수 있다.

Computational Modelling에 의해 개발된 좌석을 Fig. 7에 예시하였다.

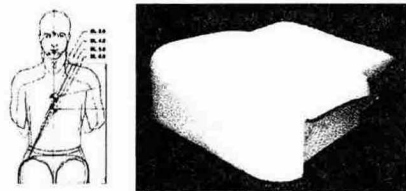


Fig. 7 Simula Seat [3]

참고로, Cessna사는 좌석위치 고정용 잠금쇠의 사소한 설계결함 때문에 제조물책임법 관련소송

에서 패소하여 4억8천만원 규모의 배상액을 선고 받았다. 2001년에 최종 결정된 이 배상액은 개인이 제조한 미국의 제조물책임법 관련소송 중에서 역사상 4번째로 큰 액수였다.

### 2.5 기타

AGATE를 거치면서 Flap이나 프로펠러 등의 제작에 Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) 방법이 광범위하게 적용되어 해당 제품의 제작비용을 절감할 수 있는 길이 열렸다.

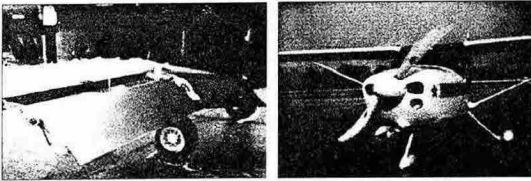


Fig. 8 VARTM의 적용[3]

### 3. 맺는 말

이상에서 살펴본 바와 같이 AGATE를 거치면서 GA용 소형항공기의 주/부 구조물에 복합재료를 광범위하고 용이하게 적용할 수 있게 되었다. 그 결과, 항공기 구조물의 경량화가 가능하게 되었고 항공기의 외형도 Fig. 9에서와 같이 공기역학적으로 훨씬 효율적인 형상으로 발전하였다.

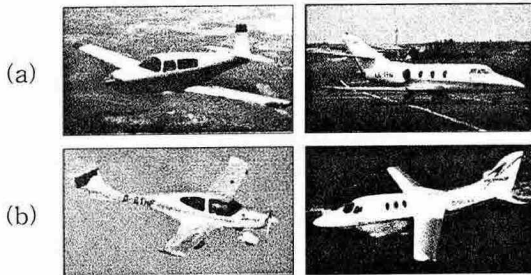


Fig. 9 AGATE 전후의 항공기 비교

- (a) 과거 (Mooney TLS Bravo, Falcon 10/100)
- (b) 현재 (Diamond, VisionAire Vantage)

우리나라의 경우, 유리섬유의 원광부터 최종제품인 항공기 기체까지 완전한 국산화가 가능하다. 특히 소형항공기의 경우, Table 2에서 보는 바와 같이 국내에 다양한 연구용 시제기 개발경험이 축적되어 있고 적용된 복합재료도 상온경화용 Fabric에서부터 고온경화용 Prepreg까지 상당히 광범위하다.

Table 2. 한국의 독자개발 기종

기종명	초도비행	개발주체	좌석	주구조물	마력(hp)
부활	1954. 4. 3	공군	2	강관/우포	PP 80
항공-91	1991. 11.	대한항공	5	AI 합금	PP 180
KTX-1	1991.12.12	ADD	2	AI 합금	TP 550/950
가치	1992.12.	KARI, 동인	2	혼합	PP 65/80
Twinbee	1997. 2.15	KARI, SSA	8	복합재료	PP 2x350
반디	2001. 9.	KARI	4	복합재료	PP 250
담비 Gyroplane	2002. 9.23	동해기계항공	2	혼합	PP 100

항공기 주/부 구조물에 복합재료를 광범위하게 적용해 본 국내의 경험을 바탕으로 국내 산·학·연의 능력을 결집한다면, 조만간 국제시장에서 충분한 경쟁력을 갖는 100% 복합재료 항공기 기체의 개발이 가능할 것이다.

### 참고문헌

- (1) GENERAL AVIATION : Status of the Industry, Related Infrastructure, and Safety Issues, United States General Accounting Office Report to Congressional Requesters, August 2001.
- (2) The General Aviation Revitalization Act of 1994 (Public Law 103-298), quoted from the Department of Transportation, U.S.A., 1994.
- (3) AGATE Alliance Commercialization Impact Report, 1995-2000, Keith Gale, July 30, 2002.
- (4) A Paradigm Shift in General Aviation (pp. 5/18 & pp. 8/18), Leo Burkardt, NASA Glenn Research Center, April 4~5, 2000.
- (5) Small Aircraft Transportation System (SATS), <http://sats.larc.nasa.gov/main.html>
- (6) AGATE Work Package Missions, pp. 11, <http://sats.larc.nasa.gov/agate.pdf>
- (7) J. Tomblin, Y. Ng, S. Raju, "Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems," DOT/FAA/AR-00/47, April 2001.
- (8) James E. Terry, Steven J. Hooper, and Mark Nicholson, "Design and Test of an Improved Crashworthiness Small Composite Airframe," NASA/CR-2002-211774, August 2002.
- (9) "Seat Certification, Analytical Techniques," AGATE-WP3.4-034015-018-Cerrtification Methods, Cessna Aircraft Company, March 1997.