

F-5E/F 15% SPAR KIT 용 폴리우레탄 캐스팅 윙 페어링 소재 및 공정개발

김국진*, 문영진*, 한중원*, 김영생**, 곽준영***, 최재성***

A Study on materials and manufacturing process of polyurethane fairing parts for F-5E/F 15% spar kit

K-J. Kim, Y-J. Mun, J-W. Han, Y-S. Kim, J-Y. Kwak, J-S. Choi

Key Words: Polyurethane, Fairing, Spar Kit

Abstract

Polyurethane casting wing fairings included in F-5E/F 15% spar kit are to be installed on aircraft wing surfaces and used for compensating the changes of the aerodynamic configuration by the leading edge extension fairings. These fairing are mandatory items in repairing wing areas and was imported from foreign supplier with long term delivery and high cost. Accordingly, local manufacturing is necessary to get rid of above disadvantages such as long term delivery and high cost. Basic properties test of specimen to be developed and part's requirements after localization was taken and its values were similar or higher when comparing with the original's even in low temp test at -55C. Casting mold process was used to manufacture the polyurethane fairings and its dimensional stability & physical condition was proper and met to the related specification and drawing's requirements

1. 서론

F-5E/F 15% spar kit용 폴리우레탄 캐스팅 윙 페어링은 Leading Edge Extension Fairing에 의하여 변형된 익형을 보상하기 위하여 Wing Station 57.0 안쪽, Wing 15% 면 후방에 위치하며, Aluminum Skin 표면에 접착되는 폴리우레탄 (Polyurethane) 재질의 제품이다. Fig.1 에 윙 페어링 (Wing fairing)의 위치와 종류를 나타내었다



* 대한항공 항공우주사업본부

** (주) 신금하

윙 페어링의 중요한 물성으로는 가수분해에 의한 변성이 없어야 하며 성중권의 온도가 약 -55℃ 이므로 이에 따른 페어링의 low temperature flexible 등의 저온특성이 요구된다. 또한 엔진력이 비행기를 앞으로 당기게 되면, 날개와 꼬리부분 및 동체는

주위의 공기흐름에 의해 그 힘에 저항하게 된다. 그결과 기체에 스트레칭효과가 생기게 되며 부착된 윙 페어링은 -55℃에서 인장력을 받게 된다. 따라서 이에 대한 접착특성이 매우 중요할 것으로 사료된다. 본 개발은 일반적인 탄성, 인성, 인장강도의 특성을 지니며, 또한 고무탄성 및 저온특성을 높이고자 폴리우레탄 수지를 사용, 주형법(Casting)을 이용한 제작 공정을 개발하고자 하였다.

2. 폴리우레탄 특성

우레탄은 1849년 독일의 Wurtz와 Hoffman이 최초로 Isocyanate와 Hydroxyl화합물의 반응을 발표하면서 부터 알려지게 되었다.^[1] 폴리우레탄은 분자중에 우레탄 결합 (-NH-CO-O-) 을 가진것으로 주로 디이소시아네이트류와 폴리히드록시 화합물 (폴리올, 분자의 말단에 -OH 기를 2개이상 가진 것) 과의 반응에 의해서 만들어진다. 고온 경화(Hot cure) Cast elastomer는 60~130℃ 사이의 온도로 주형 안에서 제조되며, 일반적으로 완벽한 경화를 위해 제

조 후 열적 처리 공정을 거쳐야 한다. 이러한 이액형 수지를 사용함으로써 발포체(폼)과는 달리 탄성, 진동흡수 특성, 내마모성, 인열강도 (Tear strength), 내유, 내용제성, 내노화성 및 저온특성이 뛰어난 고분자를 얻을수 있으며, 또한 액체 그대로 주형 (casting) 할 수 있는 장점이 있다.

본 개발에 사용된 이액형 수지는 Adiprene L-100 우레탄 수지이며 경화제로 Ethacure300 (Uniroyal Chemical Company, INC) 을 사용하였다. Adiprene L-100 과 Curene 158 경화제 (Anderson Development Co.)를 사용하여 페어링을 제작한 공정은 개발되어 있으나 Curene 158 은 현재 단종되어 생산이 되지 않으며, 그에 상응하는 Curene 442 는 MOCA (Methylene-bis -Ortho-ChloroAniline) type 의 경화제로 페어링 관련 규정에서 사용을 금지하고 있다.^[2] 또한 Curene 경화제의 경우 사용온도가 150℃로 수지 혼합 및 주입공정이 매우 복잡한 반면 개발된 공정은 ethacure300 경화제를 상온에서 사용함으로써 공정을 보다 단순하게 하였다.

2.1 폴리우레탄 수지 (Polyurethane resin)

수지는 Uniroyal Chemical Compy, Inc에서 생산된 액상형 폴리우레탄 Adiprene L-100 은 TDI (Toluene Diisocyanate) 계열의 우레탄 수지이며, 높은 인장강도와 내마모성을 나타낸다.

2.2 경화제 (Hardener)

Ethacure300 경화제는 2,4- and 2,6- isomers of dimethylthiolenediamine 이 80:20으로 혼합된 액상 방향족 디아민 화합물로 Uniroyal Chemical Compy, Inc에서 생산된 제품이다.

2.3 반응 메커니즘 (Reaction Mechanism)

폴리우레탄은 분자중에 이소시아네이트(-N=C=O)를 가지며 이것이 활성수소를 갖는 화합물과 반응하여 우레탄 결합을 형성한다. Ethacure300에 의한 경화에 있어 Adiprene L-100과의 혼합후 Pot life는 경화제의 양 보다는 혼합시 온도의 영향을 크게 받는다. 본 개발에서 L-100 수지를 약 100℃로 하여 경화제를 혼합했을시 pot life는 약 4~5분 정도로 짧아 공정 진행시 어려움이 많았으나, 적절한 pot life를 얻기위하여 혼합시 온도를 40℃로 하였으며, 그 결과 약23~25분 정도의 pot life 를 얻을수 있었다.

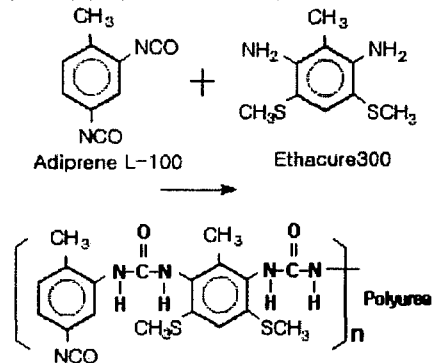
수지와 경화제를 적절한 비로 혼합함으로써 최적의 물성을 지닌 고분자화합물을 생성할수 있는데,

폴리우레탄 수지에 대한 경화제의 양은 이론적으로 계산된 양의 95%~97% 정도이다.

L-100 수지 100part 에 대하여 필요한 Ethacure 300 경화제의 양의 계산을 수식(1)에 나타내었다.

$$\text{Parts Ethacure300 per 100 parts L-100} = \%NCO \times A/B \times 0.95 (\% \text{ of theory}) \quad (1)$$

여기서 %NCO는 L-100 수지에 포함된 Isocyanate % 이며 A는 Ethacure300 경화제 당량, B는 NCO의 당량이다. 식(1)로 부터 NCO% 4.1, NCO 당량 42.02, 경화제 당량 107을 적용하면 수지 100 part 에 대한 경화제의 양은 9.9 part 가 된다. Fig. 2 에 Adiprene L-100과 Ethacure300 경화반응을 나타내었다. 수지의 우레탄기와 경화제의 아민기가 반응하여 폴리우레아를 생성하게 된다.



생성된 폴리우레아의 아민기에 있는 활성화 수소는 적절한 조건하에서 다시 여분의 isocyanate와 반응하여 알로파네이트와 뷰렛을 생성시키는 가교반응 (Cross-linking reaction) 이 진행됨으로서 최종의 고분자생성물을 얻게 된다.^[3]

3. 폴리우레탄 성형

3.1 개요

폴리우레탄 페어링을 제작하기 위한 공정은 주형법(캐스팅법)을 사용하였으며, 제품생산 및 시편 성형용 몰드를 제작하여 수지와 경화제를 혼합후 몰드에 주입하여 가열성형 하였다. 그러나 수지 혼합, 주입공정진행 중에 몇몇 문제점이 나타났다.

- 1) 수지와 경화제 혼합시 기포가 발생되었다.
 - 2) 수지와 경화제 혼합후 짧은 적용시간 (short pot life) 으로 수지 주입의 어려움과 작업시간이 촉박하였다.
 - 3) 최종 경화후 기포등이 성형후 제품의 내부와 표면 에서 발생되었다.
- 이러한 짧은 적용시간과 기포 문제를 해결하기 위

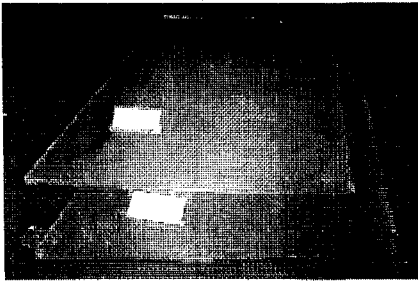


Fig. 5 Fairing products

발한 수지주입장치이다.

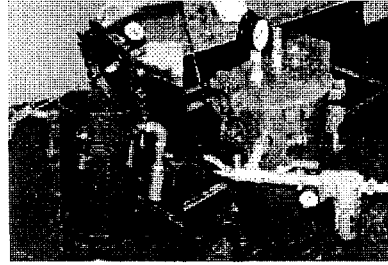


Fig. 3 Resin injector

해 수지와 경화제 혼합후 원심분리기를 이용한 탈포공정을 추가하였다. 수지주입기 (Resin injection machine) 를 제작하여 air pressure 와 vacuum 을 사용하여 몰드에 수지를 주입함으로써 최종 경화물에 존재할수 있는 기포의 발생을 제거 하였다. 수지의 적절한 가열온도를 설정함으로써 수지,경화제 혼합후 초기 점도를 낮추면서 적용시간 (pot life) 이 약 5~6분에서 23~25분정도로 길어지게 하였다. 이와같이 개선된 공정을 추가함으로써 수지주입시 공정을 보다 원활히 하였고, 매우 양호한 상태의 생산품과 시편용 판넬을 성형할 수 있었다.

3.2 성형공정

성형 작업전 시편제작용 몰드와 제품몰드를 240번 실리콘카바이드 연마지와 용제(MEK) 를 사용하여 습식 세척한후, 다시 400번 연마지와 용제로 후속 습식 세척한다. 세척후 몰드면에 Frekote 700NC 이형제를 적용한다. 이때 몰드 온도가 60℃ 이하로 되지않도록 하고, 이형제를 직접 몰드에 분지 않는다. 수지와 경화제를 Table 1에 따라 각각 준비한다.

Table 1 Mixing ratio of resin and hardener

수지 및 경화제	혼합비 (무계비)
수지 (Adiprene L-100)	100
경화제 (Ethacure 300)	9.9

이때 수지는 혼합전 45± 3℃ 정도로 가열하여 사용한다. 혼합기를 사용하여 약 1~2분정도 혼합한다. 혼합된 수지에 포함되어있는 기포를 제거하기위하여 탈포기에서 약 3~4분정도 탈포시킨다.

3.3 수지주입공정 (Resin injection process)

몰드에 수지 주입시 발생하는 기포의 제거와 수지 주입공정을 원활히 하기 위하여 수지 주입기를 사용한다. Fig.3은 몰드에 수지를 주입하기위해 개

탈포된 수지를 담은 용기를 수지 주입기에 장착한다. 몰드에 수지 주입 호스와 배출 호스를 연결하고, 수지가 새지 않도록 한다. 수지주입기의 공기압력은 약 2.5~3.5 kg/cm²으로 하고 진공압은 21mm/Hg 이상으로 한다. Fig.4는 수지주입기를 시편몰드에 장치한 모습으로 장착후 각 연결부위 및 시편몰드에서 leak 여부를 잘 조사한다.

수지가 완전히 주입되면 몰드에 연결된 수지 배출 호스를 통하여 잉여수지가 배출된다. 몰드에

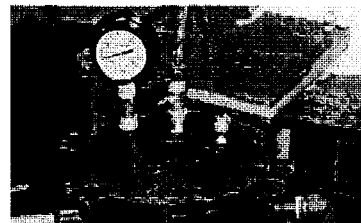


Fig. 4 Connection resin injector to the mold for specimen

연결된 수지 주입 호스와 배출 호스를 제거한다. 수지주입 작업은 12~15 분 내에서 이루어 지도록 한다.

수지주입이 완료된 몰드를 100± 6℃ 로 예열된 프레스 위에 올리고 가압한다. 이때 압력은 100~150 psi 정도 가한다. 100± 6℃ 로 가열된 프레스에서 최소 1시간동안 경화한다. 경화된 부품을 몰드에서 탈형한 후, 다시 100± 6℃ 오븐에 넣어 최소 16시간 후속 경화한다. 후속경화가 끝나면, 오븐에서 부품을 꺼내어 상온까지 냉각한 후 Trim 한다. (Fig5)

4. 시편제작 및 시험방법

4.1 개요

시험편 제작용 시편판넬은 4 inch x 12 inch, 두께 0.09 inch 0.015 inch 로 성형 하였다. 시편 접착용 접착제는 PR1422B polysulfide adhesive

(PRC-Desoto) 를 사용하고, 상온에서 48시간 경화 후 60℃ 건조오븐에서 24시간 경화하였다. 시편판넬 및 시편제작용 제품은 표면을 알루미늄 옥사이드 #120, 공기압 45psi 로 샌드블라스팅한후 접착하였다.

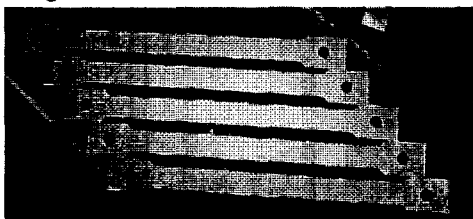
4.2 시험방법

Table 2 Test methods

ASTM D2240	Standard method of test for indentation hardness of rubber and plastic by means of a durometer
ASTM D792	Standard method of test for specific gravity and density of plastics by displacement
ASTM D624	Standard method of test for tear resistance of vulcanized rubber
ASTM D412	Standard method of test for tension testing of vulcanized rubber
ASTM C297	Standard method of test for tension test of flat sandwich constructions in flatwise plans
ASTM D903	standard method of test for peel or stripping strength of adhesive bonds

일반적인 시험방법은 ASTM을 따랐으며 저온시험의 경우 -55℃ Chamber 내에서 최소 30분이상 유지시킨후 시험하였다. 그러나 Wedge tension 강도 시험의 경우 실제 항공기 날개 구조물의 자재인 두께 4.8mm 알루미늄 7075-T6에 Urethane casting 시편을 접착하여 상온과 저온 (-55℃) 에서 시험을 수행함으로써 실제적으로 항공기에 장착한것과 유사한 환경조건으로 항공기가 성충권 온도인 저온 (-55℃) 와 날개에 받게되는 인장력 상태하에 시편을 두고 시험하였다.

Fig.6에 wedge 시편의 형상을 나타내어으며, 그림과같이 두께4.8mm 알루미늄 7075-T6 를 가공한후 알루미늄 표면을 shot peening 작업과 Sulfuric acid anodizing 처리를 하였다.



여기에 접착할 시편은 실제 생산된 part 로부터

2인치 간격으로 절단하여 제작하였다.(Fig.7)

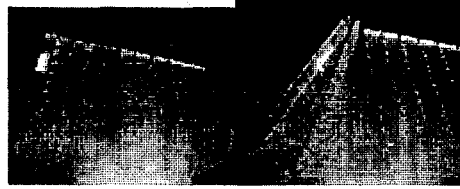


Fig. 7 Specimen cutting from fairing products

Sharing 한 Urethane casting 시편을 Fig.6의 알루미늄 시편에 접착하였다. 두면의 접착은 PR-1422B2 Adhesive Film을사용하였으며, 상온에서 48시간 경화후 60℃에서 24시간 경화를 시켰다.

인장시험기에서 Cross head speed를 0.05 in/min. 로 하고 최대 하중이 50,000 psi 가 될때까지 Load 를 가한다. 이때 가하는 Load 는 약 8,700Kgf 이며 이 하중에서 1분간 유지시킨다. 저온시험의 경우 -55℃ Chamber 내에서 최소 30분이상 유지시킨후 시험하였으며 최대하중 (50,000psi) 에서 1분간 유지하였을 때 알루미늄과 페어링시편간에 박리 (Delamination) 현상 유무를 관찰하였다.

5. 시험결과 및 고찰

쇼와 A 경도시험값은 90으로 최소요구치인 75를 상회하였으며, 비중 측정값은 1.09로 최대요구치인 1.2를 만족하였다.

Table 3과 4에 인열강도와 인장강도 측정값을 나타내었으며 요구 물성치를 만족함을 볼 수 있었다.

Table 3 Test results of Tear strength

최소요구치	시험값 (lb/in)	평균값
150	554 479 526 536 509	521

Table 4 Test results of Tensile strength

최소요구치	시험값 (psi)	평균값
1500(상온)	5371 5704 6324 5677 6436	5902
6700(-55℃)	7140 6950 7090 7350 7410	7242

Table에서 볼 수 있듯이 성형품에서 요구하고 있는 인장강도는 상온시험에서 최소 1,500psi , 저온시험에서는 최소 6,700psi 로 저온에서 보다 증가된 강도값을 요구하고 있다. 본시험에서는 상온에서 평균 5903psi, 저온에서 평균 8400psi 로 상온은 물론 저온특성 역시 잘 만족하는 것을 알수있었다. Table 5에서 볼 수 있듯이 인장시험시 측정되는 신율을

(Elongation)의 경우 상온과 저온에서 거의 동일한 특성치를 보였으며 이는 저온에서도 기계적 물성을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있었다.

Table 5 Test results of Elongation

최소요구치	시험값 (psi)	평균값
150% (상온)	537 543 529 557 543	542
15%(-55℃)	708 744 692 656 696	699

또한 면접착강도 (Flatwise tension) 시험의 경우 저온특성값이 최소 1,200psi 로 상온특성값 150psi 와 비교하여 약 700% 이상의 강도값을 요구하고 있다. 시험결과(표6) 매우 양호한 결과를 얻을수 있음으로서 저온에서의 기계적물성이 뛰어난을 알수있었다.

Table 6 Test results of Flatwise tension

최소요구치	시험값 (psi)	평균값
150 (상온)	250 268 244 267 297	265
1200(-55℃)	1596 2002 2118	1095

벗김강도 (Peel strength) 시험결과 접착면에서의 박리현상이 일어나지 않았음을 확인할 수 있었다. 또한 실제의 항공기에 장착한것과 같은 유사시험인 wedge tension 시험결과 상온은 물론 저온 (-55℃) 에서도 접착면의 박리현상은 발견되지 않았다. 이와 같은 시험결과 개발된 polyurethane casting 의 물성이 상온의 특성을 만족하며 특히 저온에서의 물성이 매우 뛰어난을 알 수 있었다.

6. 결론

폴리우레탄 페어링을 제작하기 위한 공정은 주형법 (캐스팅법)을 사용하였으며, 제품생산 및 시편성형용 몰드를 제작하여 수지와 경화제를 혼합후 몰드에 주입하여 가열성형 하였다. 수지 혼합, 주입 공정진행 중에 나타난 문제점은 공정개선과 장비를 개발하여 해결하였다.

- (1) 수지와 경화제 혼합시 생성된 기포는 혼합후 원심분리기를 이용하여 탈포 제거 하였다.
- (2) 수지와 경화제 혼합후 짧은 적용시간 (short pot life) 으로 수지 주입의 어려움과 작업시간이 촉박하여 공정진행의 어려움이 있었으나, 수지의 적절한 가열온도를 설정함으로써 수지, 경화제 혼합후 초기 점도를 낮추면서 적용시간 (application time) 이 약 4~5분에서 약 25분정도

로 길어지게 하였다.

- (3) 최종 경화후 기포등이 성형후 제품의 내부와 표면에서 발생되었으나, 수지주입기 (Resin injection machine) 를 제작하여 air pressure 와 vacuum 을 사용하여 몰드에 수지를 주입함으로써 최종 경화물에 존재할수 있는 기포의 발생을 제거 하였다.

성형된 폴리우레탄 캐스팅 판넬의 시험결과에서 볼수 있듯이 페어링이 요구하고 있는 상온에서의 물성치는 물론 저온특성역시 매우 양호한 값을 보여주고 있으며, 특히 또한 실제의 항공기에 장착한 것과 같은 유사시험인 wedge tension 시험에서도 저온에서 아무런 특성의 변화가 관찰되지 않았다. 따라서 개발된 폴리우레탄의 물성이 F-5E/F 15% Spar Wing Fairing 에서 요구하는 특성을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- (1) WURTZ, A., Ann., 71, 326(1849)
- (2) Northrop. NAI-1385: Material Specification (1974)
- (3) BAYER. O., MULLER, F., PETERSON, S., PIEPENBRINK, H. F., and WINDEMUTH, E., Angew. Chem 62, 57(1950); Rubber Chem. Technol., 23, 812 (1950)