

# 금속표면에 폴리우레탄코팅한 소재의 코팅조건 변화에 따른 굽힘강도 특성

이 강 길  
동명대 기계자동화계열

## Characteritic of Bending Strength on Coating Condition of Metal Surface Polyurethan Coating Material

KANG-KIL LEE\* AND CHANG-MYONG KIM\*\*

\*Dept. of Machine and Automation System Tong Myong College, Pusan 608-740, Korea

\*\*High-Tec Valve, Pusan 614-714, Korea

**KEY WORDS:** Metal/polyurethan coating(금속/폴리우레탄 코팅), Optimization coating condition(코팅조건 최적화), Bending strength(굽힘강도), Coating technic application(코팅기술응용)

**ABSTRACT:** The research on anticorrosive of valve for ship, waterworks, and drainage system is very important. The purpose of this paper is to develop the metal / polyurethan adhesive technique at inside of the valve to prevent corrosion in the valve. It is performed to the bending strength test by using metal / polyurethan adhesive specimen to optimize the adhesive condition with adhere polyurethan in the metals (SB41, Al6061). It is investigated to the effects of bending strength on curing temperature, preheating time and curing time, and to the fracture mechanism of metal / polyurethan adhesived specimen. As a results, we find that the bending strength is the highest at curing temperature of 110°C and the curing time is 60 minutes in metal / polyurethan adhesive specimen.

### 1. 서 론

최근 산업의 다양화에 따라 공업용제품도 다양화되어 가면서 단일 재료로 만들어지는 기계에 복합재료 및 특수고무제품을 접착하여 하이브리드 복합재료로서 기계의 성능을 향상시키기 위한 노력들이 국내외에서 Middleton(1990)과 Marrison(1984) 등에 의해 연구되어 실용화되는 사례들도 많이 있다. 그리고, 고강도와 고강성을 요구하는 구조물의 경량화 설계가 요구되는 경우 섬유강화 복합재료(FRP)를 적용하여 이 재료가 가지고 있는 특성을 적절히 활용하는 연구들이 국내에서도 정(1992)과 이등(1990)의 보고가 발표되고 있다. 이러한 하이브리드 복합재료는 Handicx(1981)에 의하면 프리프랙(prepreg)을 사용하여 제작하는 하이브리드 복합재료는 일반적으로 적층 하이브리드로 호칭되는데 이는 크게 나누어 복합재/복합재(composite to composite)와 복합재/금속재(composite to metal)형태로 구분된다. 이 중에서 복합재/복합재 하이브리드재료는 이(1991)와 김(1993) 등에 의해서 연구되고 있다. 금속/복합재 하이브리드 소재는 윤등(1997,2000)에 의해 CARALL, ARALL 하이브리드 복합재료를 제작하여 강도 및 피로수명평가를 하고 있다. 이와 같은 연구들은 항공기, 선박, 고속전철 등의 경량화재료 개발 목적으로 하이브리드화 기지재료와 강화재의 종류에 따라 접착문제 및 성형공정의 문제가 이들 재료 개발의 성공 여부의 관건으로 지적되고 있다. 따라서 이들 연구의 응용으로 해양수산개발장비 및 상

하수도용 각종 밸브가 장시간 사용시 부식등으로 인한 녹 발생의 방지 대책에 대한 관심이 집중되고 있다. 그중에서 상수관에 연결될 각종 수도용 제어밸브등의 내부 부식에 의한 녹물 방지 대책 및 스케일 부착에 의한 디스크 수밀부가 각종 이물질이나 유체의 흐름에 의한 디스크의 떨림 현상으로 밸브의 시트부가 손상을 입어 제어밸브의 주기능인 수밀기능의 저하로 밸브의 수명단축과 녹물방지 대책에 대한 시급성이 국내에서 요구되고 있다. 이와 관련된 연구로서는 밸브의 내면에 내부성 페인트 코팅기법과 소프트실 스투스밸브, 스테인레스 밸브등이 개발되어 사용되고 있으나 소프트실 밸브는 디스크를 NBR고무로 코팅되어 있으므로 내구성이 약하고, 장시간 사용시 누설의 발생 빈도가 잦아 누수 및 접착부 박리현상이 생기는 결점이 있다. 스테인레스 밸브는 디스크의 구조가 쇠기형으로 되어있기 때문에 몸통내부 포켓부에 이물질의 적체로 디스크가 완전히 닫히지 않으므로 누수현상과 수밀부의 손상이 일어나기 쉽다. 그리고 기계가공 및 재료비의 가격상승에 따른 원가 상승의 결점을 갖고 있다. 따라서 밸브의 내부몸통과 디스크에 폴리우레탄을 코팅하는 기술개발과 코팅성형시 접착조건 최적화 기술개발은 상기 문제점을 해결하는데 중요한 정보가 될 것으로 생각된다.

본 연구에서는 밸브 몸통 시트 재료인 SB41재와 Al 6061재에 폴리우레탄을 접착시 접착조건 중 성형온도와 경화시간이 굽힘강도에 미치는 영향을 고찰하고 금속/폴리우레탄 접착계면의 파면기구를 고찰하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편 및 경화조건

본 실험에 사용한 재료는 SB41강과 Al6061합금이며 접착제로서는 폴리우레탄을 사용하였다. 금속과 폴리우레탄의 접착에 사용한 접착제는 CHEMLOK218을 사용하였다. 이들 금속의 기계적성질은 Table 1과 같으며, 폴리우레탄과 접착제의 물성은 Table 2와 Table 3과 같다.

Table 1 Mechanical properties of metal materials

| Properties | $\sigma_y$ | $\sigma_u$ | $\epsilon$ | $\phi$ | $H_v$ |
|------------|------------|------------|------------|--------|-------|
| Materials  | (MPa)      | (MPa)      | (%)        | (%)    |       |
| SB41       | 359        | 528        | 30.2       | 57.2   | 149   |
| Al6061     | 285        | 310        | 20         | 65.3   | 143   |

Table 2 Properties of polyurethan

| Properties  | $\sigma_u$ | $\epsilon$ | Density              | Cold resistant |
|-------------|------------|------------|----------------------|----------------|
| Material    | (MPa)      | (%)        | (kg/m <sup>3</sup> ) | (°C)           |
| Polyurethan | 30         | 450        | 1.18                 | -50            |

Table 3 Typical properties of adhesive CHEMLOK218

| Properties  | Viscosity | Weight | Volume | Flash point | Diluents          |
|-------------|-----------|--------|--------|-------------|-------------------|
| Material    | (cps)     | (%)    |        |             |                   |
| CHEMLOK 218 | 850       | 18     | 16.5   | 2.2°C       | Toluene, solvents |

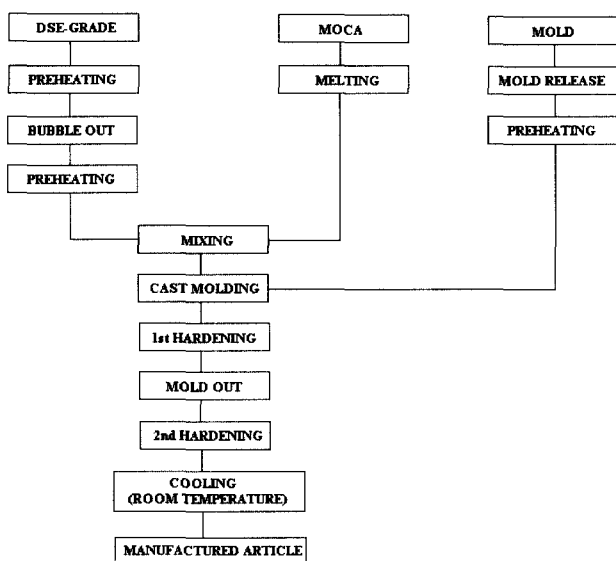


Fig. 1 Flow chart of metal/polyurethan adhesive

금속/폴리우레탄 접착공정의 흐름도는 Fig. 1과 같으며, 접착조건 변화에 대한 시험편 샘플은 Table 4와 같이 하였다.

Table 4 Conditions of metal/polyurethan adhesive

| Conditions | Preheating time of specimen (min) | Curing time (min) | Specimen number |
|------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|
| 120        | 30                                | 20                | 10              |
|            | 60                                | 40                | 10              |
|            | 120                               | 60                | 10              |
| 110        | 30                                | 20                | 10              |
|            | 60                                | 40                | 10              |
|            | 120                               | 60                | 10              |
| 100        | 30                                | 20                | 10              |
|            | 60                                | 40                | 10              |
|            | 120                               | 60                | 10              |

굽힘강도 시험에 사용한 금속/폴리우레탄 굽힘시험편은 Fig. 2와 같이 제작하였다.

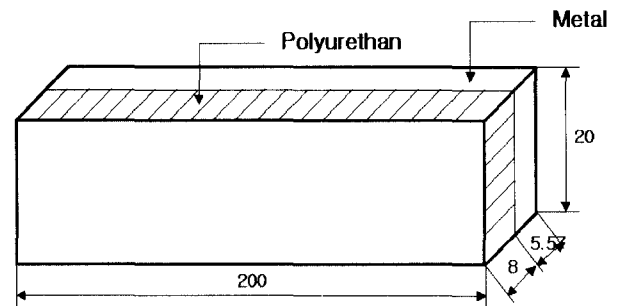


Fig. 3 Configuration of bending specimen metal/polyurethan adhesive(unit : mm)

### 2.2 실험장치 및 시험방법

굽힘강도 시험에 사용한 시험기는 유압 피로시험기 (모델 MTS-810, 10ton)을 사용하였으며, 굽힘시험 방법은 3점 굽힘시험을 실시하였다.

실험에 사용한 굽힘 강도식은 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{bmax} \cdot e}{I} \quad (1)$$

여기서 e는 중립축의 표점거리, I는 관성모멘트,  $M_b$ 는 최대 굽힘 모멘트이다. 변위는 시험기의 스트로크량으로 계산하였다.

굽힘시험시 압축크로스헤드 속도는 1.0mm/min으로 하였다.

본실험에서는 모재에 폴리우레탄을 접착한 시험편의 굽힘강도를 측정하기위해서 간편한 모델을 사용하였으며 우레탄 접착부에 굽힘하중이 작용하도록 시험하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 굽힘강도에 미치는 금속/폴리우레탄의 접착성형조건 영향

금속/폴리우레탄 접착시 각 성형조건의 변화를 달리한 시험편의 굽힘강도 실험결과는 Table 5와 같다. 여기서 얻은, 최대 강도치는 각조건의 시험편 10개의 평균치이다.

Table 5 Bending strength results of metal/polyurethan adhesives specimen

| Curing temp. (°C) | Preheating time (min) | Curing time (min) | Al/polyure            | SB41/polyurethan      |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |                       |                   | $\sigma_{Bmax}$ (MPa) | $\sigma_{Bmax}$ (MPa) |
| 100°C             | 30                    | 20                | 344                   | 590                   |
|                   | 60                    | 40                | 353                   | 620                   |
|                   | 120                   | 60                | 363                   | 640                   |
| 110°C             | 30                    | 20                | 355                   | 625                   |
|                   | 60                    | 40                | 359                   | 675                   |
|                   | 120                   | 60                | 375                   | 702                   |
| 120°C             | 30                    | 20                | 346                   | 619                   |
|                   | 60                    | 40                | 449                   | 650                   |
|                   | 120                   | 60                | 354                   | 670                   |

Fig. 3은 Al6061/polyurethan 접착시 경화온도 110°C에서 성형시간을 20분, 60분으로 할 때 굽힘하중과 변위곡선을 나타내었다. 이 결과 경화시간 60분으로 한 것이 20분 한 것 보다 최대 굽힘하중이 약간 크게 나타났다.

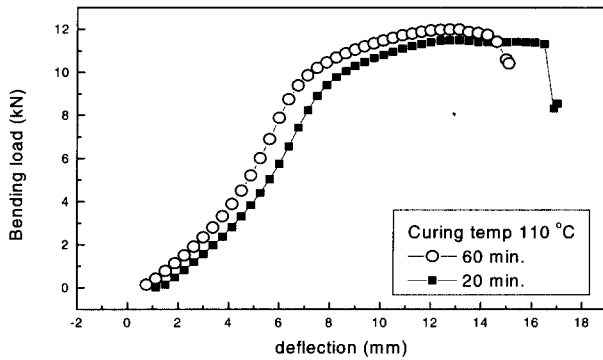


Fig. 3 Bending load-deflection curve of Al6061/polyurethan adhesive specimen

Fig. 4는 경화온도 120°C에 Al6061/polyurethan 접착시 성형시간 20, 40, 60분 변화에 따른 굽힘하중과 변위곡선을 나타내었다. 그러나 최대 하중이 지난 후에 데이터분산이 나타났으나 이것은 굽힘에 의한 영향으로 생각된다.

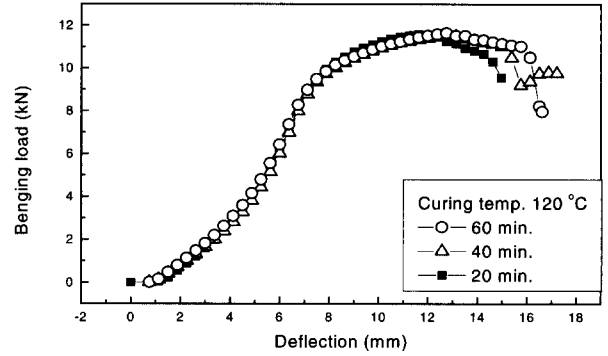


Fig. 4 Bending load-deflection curves of Al6061/polyurethan adhesive specimen

Fig. 5는 Al6061/polyurethan 접착시 경화온도 변화에 대한 경화시간과 굽힘강도의 관계를 나타내었다. 이 결과 각 경화온도에서 경화시간이 증가할수록 굽힘강도가 증가함을 보이고 있다. 본 연구에서 선택한 경화온도와 경화시간은 Lord

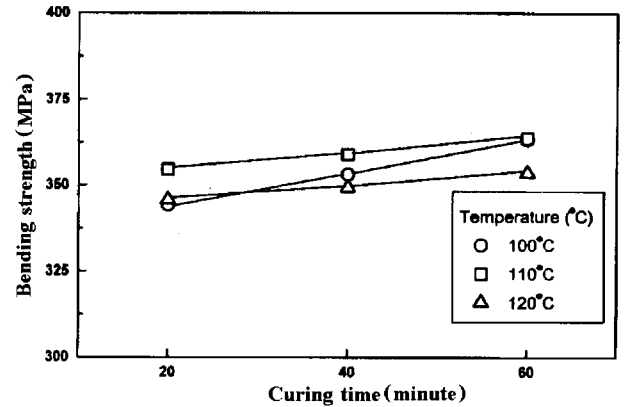


Fig. 5 Relation between bending strength and curing time of Al6061/polyurethan specimen

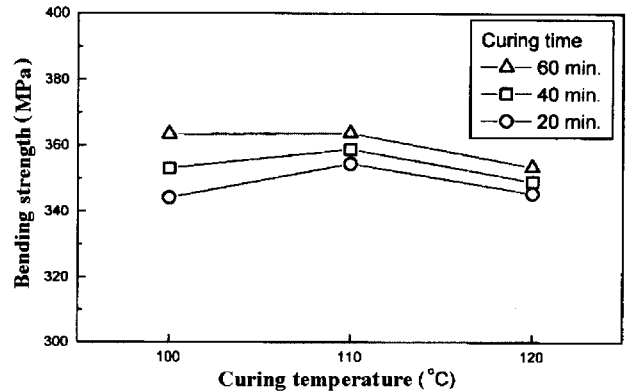


Fig. 6 Relation between bending strength and curing temperature of Al6061/polyurethan specimen

Corporation 보고서(1984)를 기준으로 한 것입니다만, 본 연구결과에 나타난 연구결과를 유추해 보면 경화시간 60분 이상에 대한 연구 검토가 필요하다는 것을 알 수 있으므로 향후 실험할 예정이다. 본 실험의 범위에서 얻은 결과는 성형경화온도 110°C에서 각 경화시간의 굽힘강도가 가장 크게 나타났다.

Fig. 6은 Al6061/ polyurethan 접착제의 경화 온도에 대한 경화시간의 영향을 고찰한 것으로 이 결과에서는 각 온도에서 경화시간 60분, 40분, 20분 순으로 굽힘강도가 높게 나타났다. 이상의 결과에서 본 실험조건에서 최적 경화온도 110°C 경화시간은 60분에서 굽힘강도가 가장크게 나타났다.

Fig. 7은 SB41/polyurethan 접착제의 굽힘하중과 변위와의 관계를 나타내었다. Fig. 4와 Fig. 5에서는 Al 6061/polyurethan 접착제의 경우에는 탄소성의 항복의 영역이 구별되지 않는 응력-변위 관계가 나타났으나, 이 재료의 경우 탄성과 항복이후의

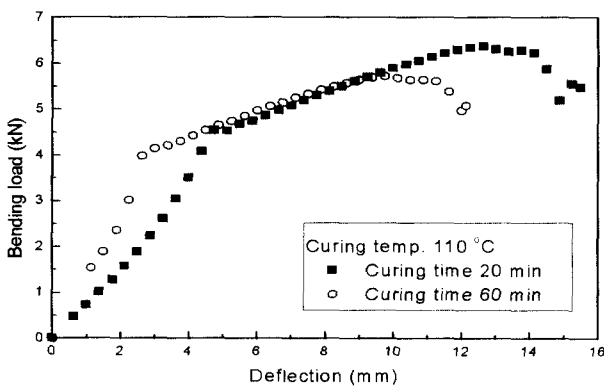


Fig. 7 Bending load-deflection curve of SB41/polyurethan specimen

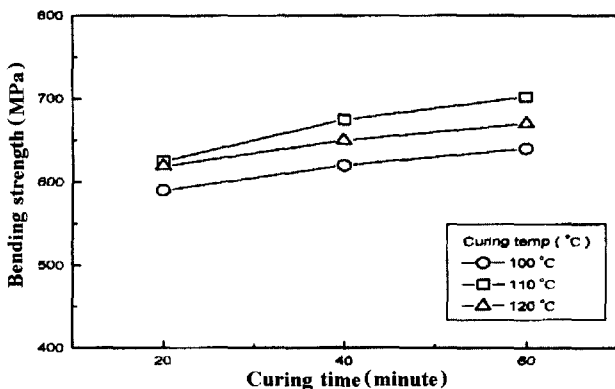


Fig. 8 Relation between bending strength and curing time of SB41/polyurethan specimen

소성영역이 명확히 나타났다. 이 결과는 모재의 탄소성의 성질에 따라 미치는 영향이 큰 것으로 생각된다.

Fig. 8은 SB41/polyurethan 접착제의 경화시간과 경화온도에 따른 굽힘응력의 변화를 표시하였다. 여기서도 각 성형온도에 따라, 경화시간의 증가에 따라 굽힘강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이 재료에서도 성형온도 110°C에서 성형시간 60분인 것이 굽힘강도가 가장 높게 나타났다.

### 3. 2 금속/ 폴리우레탄 접착제의 파괴기구

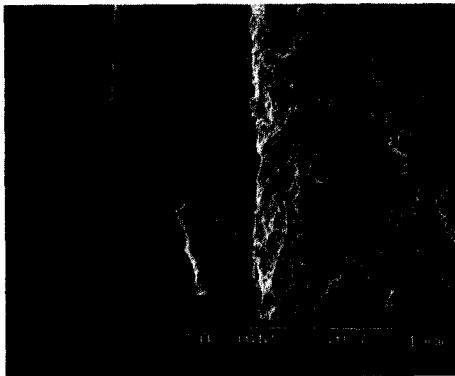
Fig. 9는 Al 6061/polyurethan 접착제의 SEM 사진이다. Fig. 9의(a)는 알루미늄과 폴리우레탄 접착부를 저배율( $\times 50$ )로 촬영한 사진을 나타내었다. 양 재료의 계면 부분을 관찰하면 균열이 시작되는 부분은 계면부분에서 취약한 비균일면이나 불순물 경계에서 응력집중에 의한 파손이 지배적임을 알 수 있으며 계면 취성파괴가 일어남을 알 수 있다.

(b), (c)는 Al6061과 폴리우레탄 부분의 파손현상을 나타낸 사진이며 (d)는 고배율( $\times 500$ )로 계면을 나타낸 사진이다. 고배율로 계면을 관찰한 결과 알루미늄과 폴리우레탄의 접착은 알루미늄과 폴리우레탄과 접착계면의 비균질적인 부분에서 파괴가 진행됨을 알 수 있다.

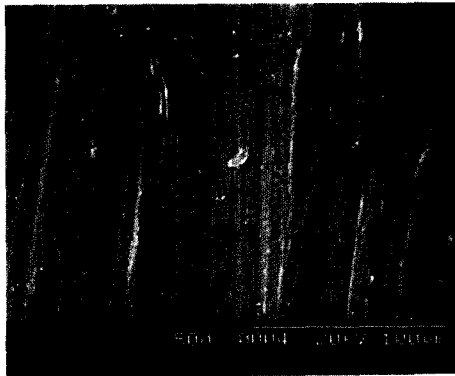
Fig. 10은 SB41/polyurethan 접착제의 SEM 사진이다.

Fig. 10의 (a)는 강과 폴리우레탄 접착부를 주사식 전자현미경(SEM)을 이용하여 저 배율( $\times 50$ )로 촬영하여 나타내었다. 사진에서 보는바와 같이 계면수에서 파손이 일어났으며 특히 열가소성 수지인 폴리우레탄 부분의 흠집이나 먼지입자 비균일적인 부분에서 응력이 집중되어 취성파괴(Brittle fracture)가 발생함을 알 수 있다. (b)는 강부분의 파손을 관찰하기 위하여 고배율 500배로 촬영한 사진이며 강의 경우는 균손상을 받지 않고 있으며, (c)는 폴리우레탄 부분을 촬영한 사진이며 사진에서 나타난바와 같이 여러 가지 결합 요인에 의해 큰 손상이 나타났으며, (d)는 강과 폴리우레탄 접착부를  $\times 500$ 배로 확대하여 나타낸 사진이다.

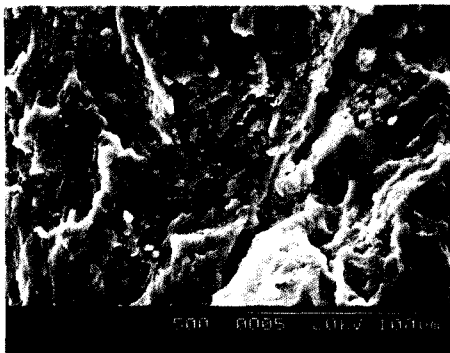
파면관찰에서 알 수 있듯이 파괴손상은 폴리우레탄 부분이 강에 비하여 굽힘에 대한 저항성이 약하고 손상의 정도가 크게 나타났다. 폴리우레탄과 같은 고분자 재료들은 강인하면서(tough) 연하므로(ductile) 하중에 대한 저항성이나 하중의 흡수성은 양호하지만 어느정도 변형률의 한계에 이르면 취성파괴의 경향을 보임을 알 수 있다. Fig. 9(b)와 Fig. 10(b)를 비교하면 Al6061의 모재 조직사진에서는 Crack현상이 관찰되지 않고 연성 파괴의 경향을 나타내고 SB41의 경우 모재조직은 수많은 Crack이 관찰되어 취성 파괴의 경향을 나타낸다. 또한 Fig. 9(c)와 Fig. 10(c)를 비교하면 Polyurethan의 경우 Al6061에서는 모재가 연신되면서 응력이 전파됨으로 dimple이 많이 관찰되어 연성 파괴의 경향을 나타내고 SB41에서는 모재가 취성 파괴를 나타내기 때문에 응력이 급격히 전파되어 dimple이 적은 취성 파괴의 경향을 나타낸다.



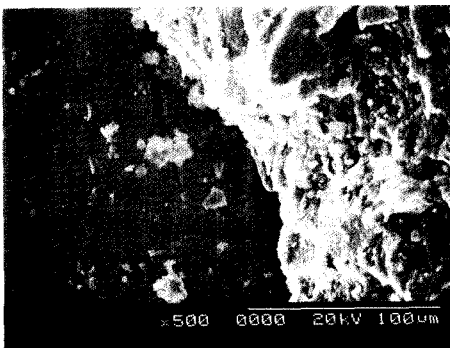
(a) Interface of Al6061 / Polyurethane



(b) Al6061



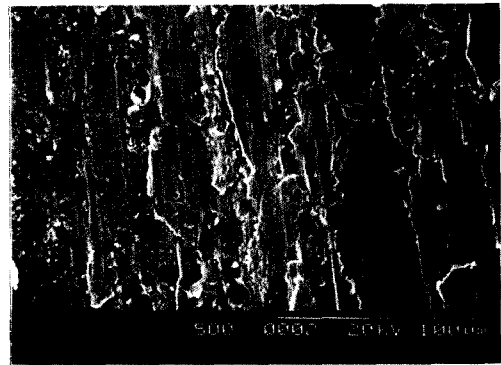
(c) Polyurethans



(d) Interface of Al6061/polyurethan



(a) Interface of SB41 / polyurethanes



(b) SB41



(c) polyurethane



(d) Interface of SB41/polyurethan

**Fig. 9** The SEM photograph of Al/polyurethan specimen at curing temperature 120°C for curing time 60minutes.

**Fig. 10** The SEM photograph of steel / polyurethan specimen at curing temperature 110°C for curing time 60 minutes

#### 4. 결론

벨브 몸통 시트 재료인 SB41재와 Al 6061재에 폴리우레탄을 접착한 시험편을 제작하여 접착시 접착조건 중 성형온도와 성형시간이 굽힘강도에 미치는 영향을 고찰하고 금속/폴리우레탄 접착계면의 파괴기구를 고찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) Al6061 / polyurethan 접착재의 굽힘강도는 경화온도 110℃, 100℃, 120℃순으로 경화시간은 60분, 40분, 20분순으로 높게 나타났다.
- (2) SB41 / polyurethan 접착재의 경우도 경화온도 110℃, 경화시간 60분에서 굽힘강도가 가장 높게 나타났다.
- (3) 금속 / polyurethan 접착재의 균열 시작 부분은 계면 부분에서 취약한 비 균일면이나 불순물의 경계에서 응력집중에 의하여 파괴가 일어나며, Al6061 / polyurethan재의 경우 계면 연성파괴 현상이 나타나며 SB41 / polyurethan재의 경우 계면취성파괴가 지배적임을 알수있다.

#### 후 기

본 연구는 1999년도 동명대학 학술연구 조성비 지원에 의해 연구되었으며 관계자 여러분들께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 김정규, 김도식(1993). "Glass/Epoxy 복합재료의 피로강도 평가 및 피로수명예측", 대한기계학회 논문집, 제17권, 제10호, pp 2475~2482.
- 이수정, 이대길(1990). "원형 이중접착기 접착조인트의 해석해에 대한 연구", 대한기계학회 논문집, 제18권, 제6호, pp. 1412~1420.
- 이창수, 황봉윤, 한경섭, 윤병일(1991). "탄소섬유강화 복합적층판의 피로특성", 대한기계학회 논문집, 제15권, 제1호, pp. 49~60.
- 정남용(1992). "접착이음의 강도평가(1)", 대한기계학회 논문집,

제17권, 제4호, pp 667~674.

- 윤한기, 김연겸, 박준수, 이경봉(1996). "Al7075/CFRP 하이브리드 복합재료의 피로수명에 대한 연구", 한국해양공학회지 Vol. 10, No. 4, pp 92~102.
- 윤한기, 김연겸, 차영준(1997). "Al6061/AFRP 하이브리드 복합재료의 강도특성에 미치는 내후성 영향", 한국해양공학회지, Vol. 11, No. 4, pp 31~39.
- Handcix, N.L(1981). "Fber Composite Hybrid Materials", Applied science publishers Ltd, London, pp 3~6.
- Huh, S. C., Yoon, H. K., Park, K. H., and Lee, S. P(2000). "Effects of Heat Treatment on Bending Strength of Aluminum Alloy Matrix Composites Reinforced Aluminum Borate Whisker", Key Engineering Materials Vols. 183~187, pp 1237~1242.
- Lee, S. P., Yoon, H. K., and Park, W. J(2000). "Impact Fracture and Shear Strength Characteristics on Interfacial Reaction Layer of Nb/MoSi2 Laminate Composites", Inte, J. of Ocean Engineering and Technology, Vol. 3, No. 1, pp 35~39.
- Load(1984). "Elastomer Products for Additional Information Lord Corporation" DS10-2026J, SIB/10/85, pp 1~3.
- Middleton, D. H(1990). "Composite Materials in Aircraft Structures-Longman Scientific & Technainal", John wiley Inc, New York. pp 273~288.
- Marrissen, R(1984). "Flight simulation Behavior Aramid Reintorced Aluminum Laminated (ARALL)", Eng. Fracture Mechanics, 19, pp 261~277.
- Yoon, H. K., Lee, S. H., and An, W. K(2000). "Optimization of Molding Cure Condition on Al 7075/CFRP Sandwich Composite by the Taguchi Method", Key Engineering Materials Vols. 183~187, pp 1087~1092.
- 
- 2000년 9월 17일 원고 접수  
2000년 12월 2일 수정본 채택