

〈論 文〉

접착이음의 강도평가에 관한 연구

(제1보, 겹치기 접착이음의 응력해석과 파괴강도)

정 남 용*

(1991년 10월 12일 접수)

A Study on Strength Evaluation of Adhesive Joints

(1st Report, Stress Analysis and Fracture Strength of Adhesive Single-Lap Joint)

N.Y. Chung

Key Words : Adhesive Joint(접착이음), Single-Lap Joint(겹치기 이음), Finite Element Method(유한요소법), Strength Evaluation(강도평가), Adhesive Layer(접착층), Static Test(정적시험), Fatigue Test(피로시험), Crack(균열)

Abstract

Recently advantages in composite and light weight material technique have led to the increased use of structural adhesives in various industries. In spite of such wide application of the adhesive joints, the evaluation method of fracture strength and design methodology of them, have not been established. In this study finite element method, theoretical and experimental analyses were investigated according to changes of lap length and adhesive for adhesive single-lap joint. As the results, the strength evaluation of adhesive joint by conventional nominal stress, was pointed out inadequate strength evaluation and design method regardless stress singularity, stress distribution and crack propagation in its adhesive layer. Also, it was examined the problems to apply fracture mechanics by means of static and fatigue test.

1. 서 론

접착은 단순한 부착기술에서 구조물의 체결 및 접착기술의 발전과 고분자 재료의 진보에 따른 비금속 신소재 및 복합재료의 개발·보급에 의해 용접이나 볼트, 리벳 등의 기계적 체결법을 대신하는 새로운 결합 기술로써 많은 잇점이 있고, 설계의 합리화 및 경량화가 도모되기 때문에 각종산업분야에 폭넓게 활용되고 있다^(1~5). 특히 항공기를 비롯하여 자동차, 철도, 선박, 건설, 우주기기, 반도체,

의료기기, 일용품 등에 이르기 까지 접착의 활용과 접착기술의 발전은 현저하고, 그 사용도 날로 증가하는 추세이다.

이와 같이 접착이음이 새로운 결합법으로써 주목되고 있지만, 접착이음의 강도에 영향을 미치는 인자가 다양하고, 이들 인자의 해석에도 많은 어려움이 있다.

접착이음의 응력분포에 대한 많은 이론적 해석^(6~7)과 수치해석^(8~10)이 있고, 이들을 이용한 강도평가법에 대한 많은 연구결과^(11~14)가 발표되고 있지만, 아직도 검토해야 할 많은 과제가 남아있고, 접착이음의 강도평가법의 확립까지는 이르지 못한 실정 이므로, 불충분한 설계의 요인이 되고, 안전

*정희원, 대우공업전문대학 기계과

상 많은 문제점을 내포하고 있다.

접착이음이 신뢰성이 높은 결합법으로써 활용되기 위해서는 접착층내의 정확한 응력 해석에 의한 응력분포의 파악으로 효과적이고 합리적인 강도 평가법의 확립이 절실히 요망된다. 따라서 본보에서는 복합재료의 접착이음에 대한 강도 평가법을 확립하기 위한 기초연구로써 접착이음의 가장기본적인 형태의 하나인 겹치기 이음(single-lap joint ; SLJ)에 대한 응력해석과 정적 및 피로 강도시험을 실시하고, 종래의 강도평가법의 문제점을 파악·검토하고 정량적이고 통일적인 접착이음의 강도평가법의 확립 및 설계 기준의 설정에 대한 새로운 방향을 모색 하고자 한다.

2. 겹치기 접착이음의 응력 및 변형해석

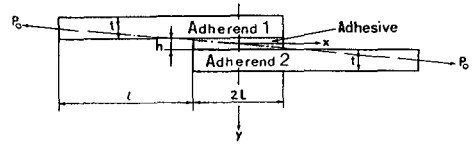
2.1 겹치기 이음의 이론 응력해석

접착제를 사용하여 피착재와 피착재를 결합하는 접착이음의 종류는 피착재의 조합과 접착부의 형상 및 이에 가해지는 하중의 형태에 따라 그 형상이 분류되고, 실제의 접착 이음의 설계에 사용되는 형상은 복잡 다양하다. 그러나 본보에서는 Fig. 1(a)와 같이 접착이음 중에서도 가장 기본이 되는 겹치기 이음에 대한 이론적인 응력해석을 고려하여본다.

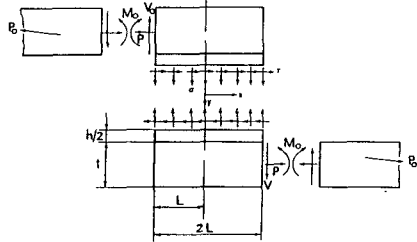
겹치기 이음의 기하학적 형태는 Fig 1(a)와 같고, 편심하중에 의해 전단응력과 굽힘모우먼트에 의한 수직하중을 동시에 받는다. 이에 대한 최초의 이론해석은 Volkersen⁽⁶⁾에 의해 행해졌고, 그 후 Goland 등⁽⁷⁾에 의한 응력해석을 비롯하여 많은 연구자들의 응력해석 결과가 발표 되었다. Volkersen은 이음의 변형률을 미분하여 응력해석을 하였지만, 하중축의 편심에 의한 전단응력을 고려하지 않았다.

또한 Goland등은 겹치기부의 미소요소에 대해서 외력에 의한 정적 평형상태로부터 판이론을 적용하여 평면 변형률 상태에서의 하중, 모우먼트, 변위관계를 구한 후 미분하여 접착층내의 수직응력과 전단응력을 계산하였다. 그러나 접착층의 두께 방향에 대한 응력분포를 일정한 것으로 가정 하였다. Goland 등의 식에 접착층의 두께 방향의 함수를 고려한 것이 Cooper-Sawyer의 식⁽⁸⁾ 이지만 아직 일반화 된 식이라 생각되지 않는다.

Fig. 1(a)에서 P_0 는 외력, t 는 피착재의 두께는



(a) Geometry of adhesive single-lap joint



(b) Internal stress in adhesive layer

Fig. 1 Geometry of adhesive single-lap joint and its internal stress in adhesive layer

접착층의 두께, 겹치기 길이는 $2L$ 이다. Fig. 1(b)는 겹치기부의 내부응력을 나타낸 것으로 P 는 하중, M 은 굽힘 모우먼트, V 는 전단력을 나타낸다. 접착층내의 수직응력과 전단응력에 대한 Goland의 해석 결과는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_0} = \left(\frac{t}{L}\right)^2 \frac{1}{D} \left[\left(\frac{R_1 \lambda^2 k}{2} + k' \lambda \sinh \lambda \sin \lambda \right) \sinh\left(\frac{\lambda x}{L}\right) \sin\left(\frac{\lambda x}{L}\right) + \left(\frac{R_2 \lambda^2 k}{2} + k' \lambda \cosh \lambda \cos \lambda \right) \cosh\left(\frac{\lambda x}{L}\right) \cos h\left(\frac{\lambda x}{L}\right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_m} = \frac{1}{4 + 3\xi} \left[(1 + 3k) \frac{\omega}{\sinh \omega} \cosh\left(\frac{\omega x}{L}\right) + 3(1 - k + \xi) \right] \quad (2)$$

여기서, $\omega^2 = \frac{8\mu_a(1-\nu^2)}{hEt} \left(1 + \frac{3\xi}{4}\right) L^2$, $\xi = \frac{h}{t}$

$$\sigma_0 = \frac{P}{t}, \quad \tau_m = \frac{P}{2L}, \quad k = \frac{2M_0}{tP}, \quad k' = \frac{LV_0}{tP}$$

$$A = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}, \quad \int_{-L}^L \tau dx = P, \quad \lambda = L \left[\frac{E_a}{2hA} \right]^{1/4}$$

$$D = \frac{1}{2} (\sin 2\lambda + \sinh 2\lambda)$$

$$R_1 = \cosh \lambda \sin \lambda + \sinh \lambda \cos \lambda$$

$$R_2 = \sinh \lambda \cos \lambda - \cosh \lambda \sin \lambda$$

윗식에서 E , ν 는 각각 피착재의 세로탄성계수와 프와송의 비이고, E_a , μ_a 는 각각 접착재의 세로탄성계수와 전단탄성 계수이다.

또한, 여기서 최대수직응력과 최대전단응력은 접착기부의 양단인 $x = \pm L$ 에서 발생하므로 식(1)과 식(2)에 의해 σ_{max} 와 τ_{max} 는 다음과 같이 된다.

$$\sigma_{max} = \sigma_0 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \frac{1}{D} \left[\left(\frac{R_1 \lambda^2 k}{2} \right) + k' \lambda \sinh \lambda \sin \lambda \right] \sinh \lambda \sin \lambda + \left(\frac{R_2 \lambda^2 k}{2} + k' \lambda \cosh \lambda \cos \lambda \right) \cosh \lambda \cos \lambda \quad (3)$$

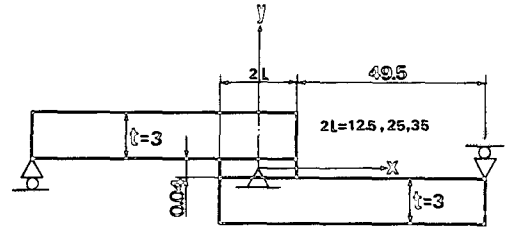
$$\tau_{max} = \tau_m \left(\frac{1}{4 + 3\xi} \right) \left[(1 + 3k) \omega \coth \omega + 3(1 - k + \xi) \right] \quad (4)$$

2.2 겹치기 이음의 유한요소해석

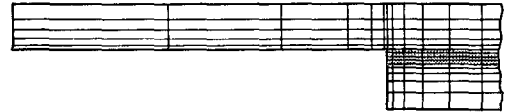
겹치기 접착이음 시험편에 대한 유한요소법 (finite element method ; FEM) 해석 모델과 요소분할 및 구속조건은 Fig. 2와 같다. 요소분할은 8절점 아이소패라미트릭 (isoparametric) 요소를 사용하고, 평면병형을 상태를 가정하여 2차원 탄성해석을 하였다. 요소분할 방법은 접착겹치기부에 대해서 접착층의 두께방향을 4분할, 접착부의 길이 방향을 10분할 하고, 피착재는 두께방향을 5분할, 길이방향을 16분할하여 전요소를 200분할 하였다.

겹치기부의 길이에 대한 접착층내의 응력분포의 변화상태를 파악하기 위하여 겹치기 길이 $2L = 12.5, 25, 35\text{mm}$ 의 3종류로 변화시켜 가면서 FEM 해석을 하였다. FEM 해석에 사용된 피착재와 접착재의 재료정수는 Table 1에 나타내었다. 겹치기길이 $2L = 25\text{mm}$ 에 대한 수직응력 및 전단응력의 FEM 해석결과를 Fig.3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Fig. 3은 접착층내의 위치에 따른 수직응력의 분포를 접착층 두께방향을 위치 $y/h = 0.1, 0.5, 0.9$ 에 대해서 도시 하였다. 또한, 수치해석과 이론해석 결과를 비교하기 위하여 Goland의 식도 비교



(a) Boundary condition of SLJ



(b) Finite element mesh of SLJ

Fig. 2 FEM analysis model of adhesive single-lap joint

도시하였다.

Fig. 4는 접착층내의 위치에 따른 전단응력의 분포에 대한 변화를 Fig.3과 같은 방법으로 도시 하였다.

2.3 이론해석과 FEM 해석결과의 비교

Fgi. 3과 4에서 Goland의 식은 접착층내의 두께 방향에 대한 수직응력 및 전단응력은 일정하다고 가정 하였지만, 실제의 FEM 해석 결과는 접착층의 두께방향을 위치에 따라 응력분포상태가 변화함을 보여주고, 특히 피착재와 접착재의 접착부인 이계경계면에서는 현저한 응력 집중현상이 발생하는것을 명백히 하고 있다.

접착층의 두께방향을 중심위치, 즉 Fig. 3과 Fig. 4에서 $x=0, y=0$ 인 위치에서는 접착부의 양단에서 멀어지는 중앙 위치로 갈수록 Goland의 식과 FEM 해석 결과는 잘 일치하지만, 접착부의 양단에서의 응력변화에는 큰 차이가 있다. 또한, 접착부

Table 1 Mechanical properties of adherend and adhesives

Mechanical properties		Young's modulus	Poisson's ratio	Tensile strength
Specimen materials		E MPa	ν	σ_b MPa
Adherend	Acryl	2941.2	0.345	61.8
	Cemadine 1500	2058.8	0.4	
Adhesives	" EP-007	1127.5	0.41	
	Hysol EA-9410	1921.6	0.45	

1MPa=0.102Kgf/mm²

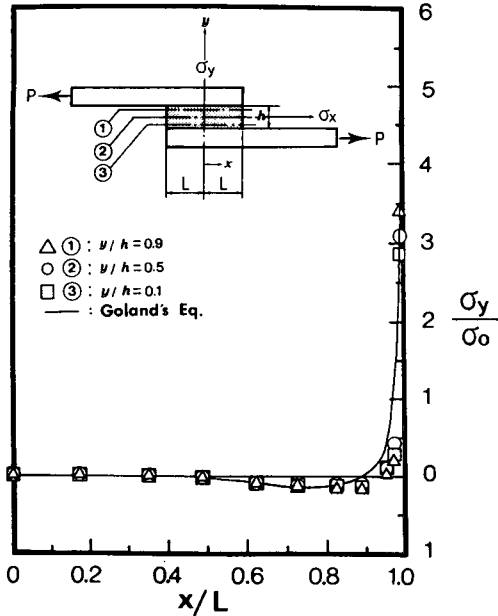


Fig. 3 Normal stress variations according to x/L in adhesive layer

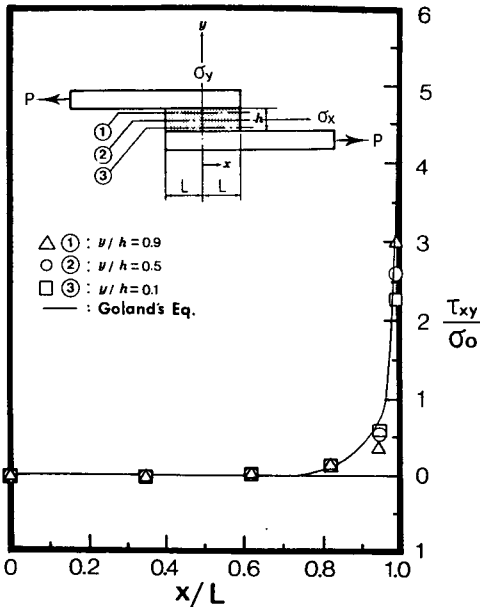


Fig. 4 Shearing stress variations according to x/L in adhesive layer

의 양단에서는 하중축의 편심에 의해 전단응력과 수직응력을 동시에 받는 것을 알 수 있다. 이와 같이 응력 특이점인 접착부의 양단의 이재경계면에서 정도높은 응력해석을 하는 것은 매우 어렵고, 이

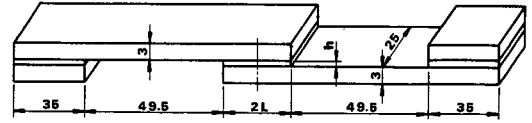


Fig. 5 Configuration and dimensions of adhesive joint specimen

응력해석결과를 이용하여 접착강도를 평가하는데는 더욱 세심한 주의와 특별한 연구가 필요 하다고 생각된다.

3. 겹치기이음 시험편의 접착강도실험

3.1 피착재와 접착제

본연구는 복합재료의 접착이음 강도의 평가법을 확립하기 위한 기초연구로써 접착이음강도의 파괴 메카니즘 구명에 초점을 두고 있다.

본 실험에서 피착재는 기포·결합의 존재유무 및 접착상태의 검사를 용이하게 하고, 실험시 균열의 발생 및 성장이 육안으로 직접 관찰 될 수 있고, 수치해석의 편의상 투명한 균질재인 아크릴수지를 사용하였다. 접착제(接着劑)는 최근 구조접착에 널리 사용되고 있는 세메다인(Cemadine) 1500과 EP-007 및 하이솔(Hysol)EA-9410의 3종류의 에폭시계 접착제를 사용하였다. 피착재와 각 접착제(接着材)의 기계적성질의 측정결과를 Table 1에 나타내었다. 접착제의 기계적 성질의 측정 실험은 시험편 제작시와 동일한 조건하에서 접착제 자체의 시험편을 제작하여 측정 하였다.

3.2 시험편의 형상 및 제작

피착재를 소정의 치수로 기계가공한 후 접착면을 #1000의 샌드페이퍼로 충분히 연마하고 아세톤으로 세정한후, 수세(水洗)하여 건조시킨후 접착 하였다.

접착제는 주제(主劑)와 경화제(硬化劑)의 혼합형으로 혼합비는 중량비로 세메다인 1500과 EP-007은 1 : 1로 하고, 하이솔 EA-9410의 경우는 주제와 경화제의 혼합비를 100 : 23으로 하였다. 접착제의 혼합시 세심한 주의로 기포가 생기지 않도록 충분히 각반 하였다. 또한, 접착용 특수지그를 고안하여 접착시 가압 및 접착층의 두께를 일정하게 유지시키려고 노력하였고, 특히 불순물이나 기포가 혼입되지 않도록 세심한 주의를 기울여 접착하였다.

접착층의 두께는 FEM 해석결과와 비교하기 위하여 $h=0.04\text{mm}$ 로 하고, 정적 및 피로 강도 실험에는 $h=0.1\text{mm}$ 로 제작하였다.

경화는 접착용 지그에 고정된 상태로 세메다인 1500과 EP-007의 접착제는 전기로내에서 60°C 온도로 2시간 경화처리후 노냉시키고, 하이솔 EA-9410의 경우는 상온에서 24시간 경화처리하고, 각 시험편을 1주일이상 경과한후, 정적강도실험 및 피로시험에 사용하였다.

3.3 실험 방법

시험기는 MTS사의 유압서보식 피로시험기로 로드셀 980N(100Kgf)을 사용하여 정적강도 실험 및 피로수명시험을 실시하였다. 정적강도실험에서는 RAMP파를 사용하여 각 접착시험편의 소정 위치에 스트레인 게이지를 부착하여 하중변화에 따른 스트레인을 X-Y 레코더에 기록한 후 측정하였다. 하중에 따른 스트레인 측정과 정적과 피로하중은 겹치기 길이의 변화, 접착제의 종류에 대해서 각각 측정하였다.

피로수명시험은 응력비 $R=0.1$ 로 하고 교반속도는 10Hz에서 실시 하였다. 피로수명시험시 이동식 현미경을 사용하여 균열의 발생 및 진전을 주의 깊게 관찰하였다.

피로시험의 경우 접착제는 세메다인 1500과 하이솔 EA-9410의 2종류에 대해서 겹치기 길이를 변화시켜가면서 피로수명을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 정적강도 실험의 경우

겹치기 길이 $2L=25\text{mm}$ 인 접착시험편의 소정 위치에 스트레인게이지를 부착하고 하중에 대한 변형률을 X-Y 레코더로 측정한 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 그림에서 접착부의 양단인 이재경계면에 가까운 위치인 3에서 가장 큰 변형률이 분포함을 보여주므로 접착부의 양단으로 갈수록 변형률이 증가함을 나타낸다.

Fig. 6의 실험결과와 FEM 해석에 의한 내·외측면에 대한 변형률분포를 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. 접착부의 양단이 이재경계면을 제외한 위치에서는 양쪽의 결과가 잘 일치하고 있지만, 이재경계면의 응력 특이점에서의 정도높은 응력과 변형률의 해석 및 측정은 매우 곤란하였다. 겹치기 길

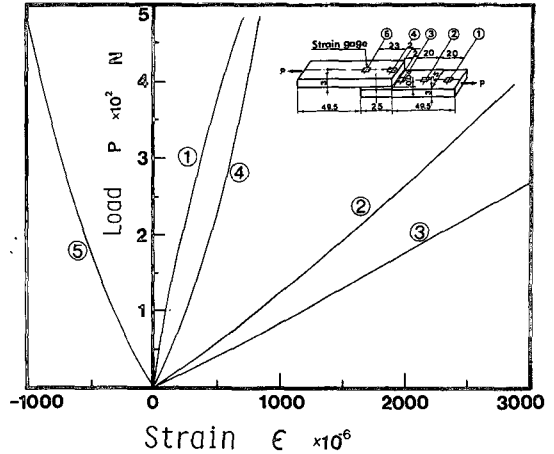


Fig. 6 Experimental diagram for load-strain of adhesive joint specimen

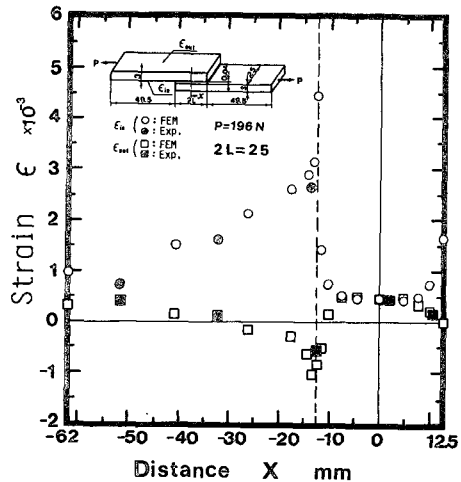


Fig. 7 Strain distributions by experiment and FEM analysis

이 및 접착제의 변화에 따른 정적 파괴강도 실험결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 겹치기 길이가 크게되고 접착면적이 증가하여 공칭 응력이 증가하더라도 전단파괴강도의 변화는 저하는 경향을 나타내고 있다.

이와 같은 현상은 편심하중에 의해 전단과 인장을 동시에 받아 접착층내의 응력집중 현상이 변화하기 때문이다. 또한, 접착부의 양단인 이재경계면의 응력특이점에서 최대 응력집중현상이 발생하므로 정적강도실험시 이곳에서 초기 균열이 발생하고 계면을 따라 성장·진전하면서 단면적이 상당히 적

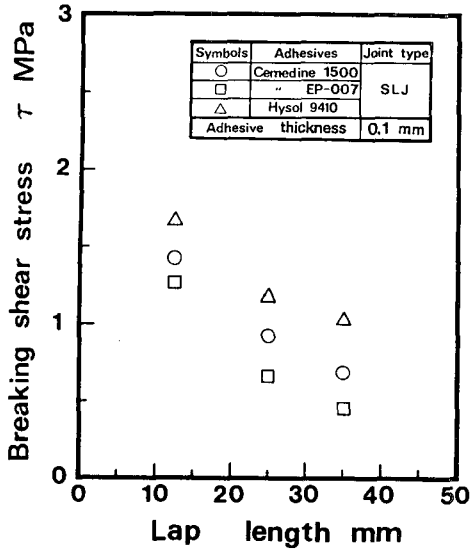


Fig. 8 Breaking shear stress versus lap length according to change of adhesive

게 되었을 때, 즉 파단 직전에서 합체하면서 최대 파괴하중에 도달하는 현상을 보여 주었다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 정적파괴는 초기 균열이 발생한 후에도 강도는 계속 증가하고 파단직전에서 최대강도를 나타내었다.

이와같이 공칭응력에 의한 접착강도의 평가는 접착층내의 응력변화를 무시하고, 응력 특이성이 설명되지 않는 정성적인 평가방법이므로 시험편의 형상 및 실험조건이 완전히 동일한 경우 접착제 자체

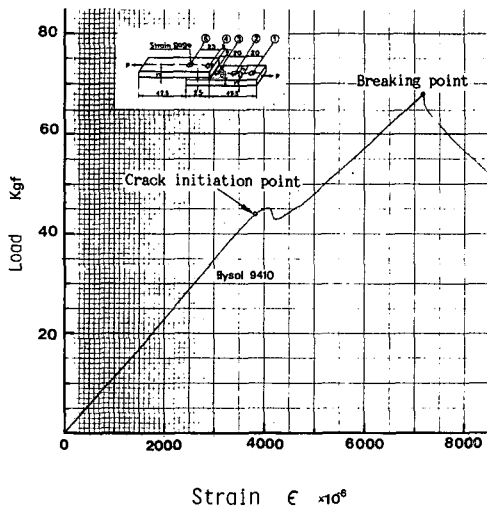


Fig. 9 Locations for crack initiation and maximum breaking load at postion

의 정적강도의 비교 및 강도개선, 피착재와 접착제의 친화성, 접착성 등을 설명하는 데는 유효하다. 그러나, 시험편의 형상 및 실험조건이 조금만 다르더라도 직접적인 평가는 곤란하므로 효과적이고 합리적인 접착강도 평가법에는 이르지 못한다고 생각된다.

4.2 피로강도 실험의 경우

정적강도실험과 동일한 형상 및 치수의 겹치기이음 시험편에 대한 피로수명 시험결과를 Fig. 10에 나타낸다. 정적강도 실험에서와 같이 겹치기 길이가 증가 하더라도 접착 층내의 응력집중현상의 변화로 인하여 피로한도는 저하하는 현상을 보여주고, 완전히 동일한 형상의 시험편과 실험조건하에서만 피로강도의 비교평가가 가능하다고 본다. Fig. 11은 피로 수명시험을 실시하면서 균열의 진전 길이를 측정한 결과이다. 접착부의 이재계면에

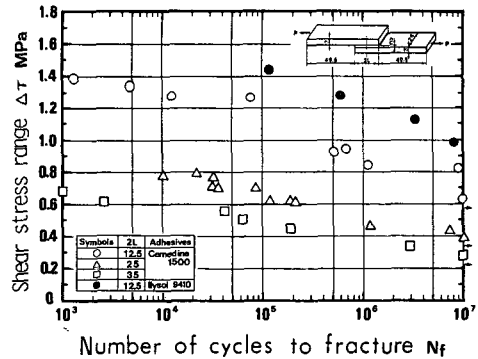


Fig. 10 S-N curve according to change of lap length and adhesive

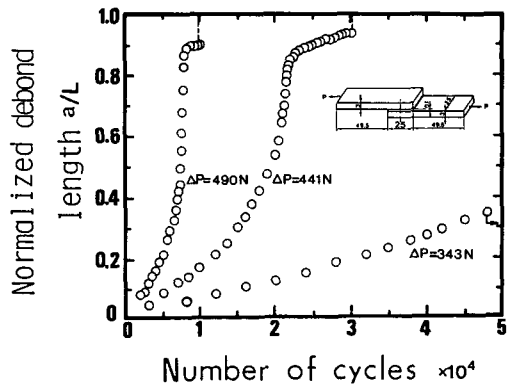


Fig. 11 Variation of crack initiation and propagation life

서 상당히 빨리 균열이 발생하고, 접착이음의 피로 수명의 대부분은 균열전파 과정에 소비되는 현상을 보여주고 있다.

따라서 피로수명 N_f 는 초기 균열 발생수명 N_i 와 균열진전수명 N_p 의 합으로 표시 할 수 있다.

$$N_f = N_i + N_p \quad (5)$$

Fig. 10에서 알 수 있듯이 식 (5)에서 N_i 는 N_p 에 비하여 상당히 작으므로 N_f 의 대부분은 N_p 이므로 N_p 의 평가에 역점을 두는 것이 중요하고, 실제 접착구조물에 있어서는 접착부의 응력완화에 의한 N_i 의 연장, 또는 지연을 위한 설제도 피로수명 연장 평가에 큰 비중을 차지한다. 또한, 균열이 전파하여 중심부에 도달하면, 응력집중 현상이 현저히 감소 하므로 파단 직전에는 균열의 진전속도가 지연되는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 정적강도의 경우 파단직전에서 최대강도에 도달하는 것과 잘 일치한다고 본다. 정적강도 실험에서와 같이 시험편의 형상 및 치수가 조금만 다르더라도 현재의 공칭응력에 의한 피로강도의 정성적인 평가는 문제점이 있다고 본다. 따라서 접착 이음에 초기균열이 발생하기 전까지의 무균열 이음에 대한 응력 특이성을 고려한 피로 강도의 평가가 필요하다고 본다. 또한 초기균열이 발생하면 공칭응력에 의한 종래의 비교평가법에서는 불분명한 피로수명의 대부분을 차지하고 있는 균열 진전 수명을 검토할 필요성이 요청되고, 시험편의 형상 및 치수에 의존하지 않는 정량적이고 통일적인 평가방법이 절실히 요망된다.

4.3 종래의 접착강도 평가법의 문제점과 파괴역학의 도입

접착이음 시험편을 사용하여 FEM해석과 정적 및 피로강도 실험을 실시하여 검토한 결과, 피착재의 두께와 접착층의 두께는 상당히 큰 차이가 있고, 그 역학적 성질 및 물성치에도 큰 차를 보이는 것도 한 특징이다. 또한 피착재와 접착재의 이계경계면에서는 응력 불연속으로 되고, 응력 특이성이 생겨 접착층내의 응력변화도 복잡하게 되어, 이 응력분포를 충분히 파악하는 것은 중요한 의미를 지닌다. 최근 계산기의 발달로 접착이음의 FEM응력해석 결과에서도 알 수 있듯이 접착이음의 응력분포를 명확히하고 있으나, 이 응력 해석 결과를 이용한 효과적인 강도평가법의 확립에는 이르지 못한 실정이다. 현재 접착이음의 강도

평가는 공칭응력에 의한 방법이 널리 이용되고 있지만, 이 평가법은 앞의 설명에서와 같이 동일조건 의 시험편에 대한 비교 평가방법이기 때문에 이음의 형상, 하중조건들이 조금만 달라도 직접적인 비교평가는 곤란하고, 접착층의 두께를 무시하고 응력 특이성이 설명되지 않으므로 불충분한 강도평가로 된다고 생각한다. 접착이음의 접착층내의 응력의 변화 및 접착부의 양단에 대한 응력 특이성의 연구와 이 응력 특이성을 이용한 정성적 강도 평가에 대한 연구도 많이 보고 되고 있지만, 무균열 접착이음의 강도에 영향을 미치는 역학적 제인자를 정량적이고 통일적으로 평가할 필요성이 절실히 요망된다. 특히, 접착이음은 접착공정중 접착층내의 기포나, 이물질, 결합이 혼입되기 쉽고, 피착재와 접착재의 이계경계면에서 현저한 응력 집중현상이 발생하여 항상 균열의 발생· 성장에 의한 파괴를 이끈다. 그러므로 무균열 접착이음에서 초기균열이 발생하면 접착강도평가 수법으로서 접착이음에 미소균열을 전제조건 파괴역학의 도입 및 적용에 의한 평가가 요망되고, 이에 대한 많은 연구가 필요하다고 본다. 따라서 제2보 부터는 파괴 역학의 도입 및 적용에 의한 접착이음의 강도평가에 대한 연구결과를 보고하고자 한다.

5. 결론

복합 재료의 접착이음에 대한 강도평가를 위한 기초적인 연구로서 균질·투명한 아크릴 수지를 피착재로 겹치기 접착이음 시험편을 제작하여 이론 및 FEM해석 실험을 통하여, 본보에서 얻은 중요한 결론은 다음과 같다.

(1) 겹치기 접착이음의 FEM해석과 실험을 통하여 Goland가 무시한 접착층 두께방향(y/h)에 대한 응력의 변화 상태를 파악하고, 접착부의 양단인 이계경계면은 응력특이성이 존재하고, 이곳에서 최대응력집중 현상이 발생하는것을 명백히 하였다.

(2) 접착이음에 대한 FEM해석은 정도(精度) 좋게 구해지고, 접착층내의 응력분포는 이론 및 FEM해석과 실험해석이 잘 일치 하고 있지만, 응력특이점의 응력을 접착강도평가법에 이용하는데는 선행되어야 할 많은 과제와 문제점을 내포하고 있다.

(3) 정적 및 피로시험에서 동일한 피착재에 대해서도 접착제가 다른 경우 이들의 친화성, 접착성에

대한 접착강도는 큰 차이가 있고, 접착길이가 길어져 접착면적이 증가하더라도 공칭응력에 의한 파괴강도 및 피로 수명은 저하하는 경향을 나타낸다.

(4) 공칭응력에 의한 접착 강도의 평가는 접착층내의 응력변화를 무시하고 응력특이성이 설명되지 않고, 동일한 시험편의 형상 및 실험조건에 의존하는 비교평가법이므로 시험편의 형상에 의존하지 않고, 응력 특이성을 고려한 패러미터에 의한 통일적이고 정량적인 평가방법이 요망된다.

(5) 접착부의 양단인 이재계면에서 조기에 균열이 발생하여 피로수명의 대부분은 균열 진전 수명이 되는 것이 실험에서 확인 되었고, 이들에 대한 설명을 분명히 하기 위해 미소 균열을 전제로하여 접착이음강도 평가수법으로 파괴역학의 도입·적용에 대한 검토가 바람직하다고 본다.

참고문헌

- (1) Schliekelmann, R.J., 1979, "Past, Presence and Fracture of Structural Adhesive Bonding in Aero-space Application," Trans. JSCM, Vol.5, No.1/2. pp. 1~13.
- (2) Reinhart, T.J., 1981, "Use of Structural Adhesives by the U.S. Air Force," Adhesive Age, Vol. 10, No. 5, pp. 20~25.
- (3) 最新接合技術總覽編集委員會, 1984, "最新接合技術總覽", pp. 591~671.
- (4) 山口章三郎, 1988, "接着に關わる諸問題と將來展望", 材料學會第12 シンポジウム, pp. 6~10.
- (5) 井出 正, 1979, "自動車用接着劑の動向", 日本接着協會誌, 第15卷 10號, pp. 476~482.
- (6) Volkersen, O., 1938, "Die Nietkraft Verteilung in Zugbeanspruchten Nietverbindungen Mit constanten Lashcnenquerschnitten," Luftfahrtforschung, vol. 15, pp. 41~47.
- (7) Goland, M. and Reissner E., 1944, "The Stresses in Cemented Joints," Trans. ASME, J. Appl. Mech., Vol.66, pp. A17~A27.
- (8) Cooper, P.A. and Sawyer, J.W., 1979, "A Critical Examination of Stress in an Elastic Single Lap Joint," NASA TP1507, pp. 1~58.
- (9) Wooley, G.R. and Carver, D.R., 1971, "Stress Concentration Factors for Bonded Lap Joints," J. Aircraft, Vol.8, No.10, pp. 817~820.
- (10) Adams, R.D. and Peppiatt, N.A., 1974, "Stress Analysis of Adhesively Bonded Lap Joints," J. Strain Analys., Vol.9, No.3, pp. 185~196.
- (11) 池上皓三, 1984, "接着繼手の應力解析と強度設計," 日本機械學會論文集(A), 50卷 475號, pp. 1557~1564.
- (12) 服部敏雄, 坂田莊司, 1989, "應力特異場パラメータを用いた接着界面強度評價", 日本機械學會論文集(A), 제5卷 495號, pp. 2151~2160.
- (13) Hart-Smith, L.J., 1974, "Analysis and Design Advanced Composite Bonded Joints," NASA CR-2218, pp. 1~56.
- (14) 鄭南龍, 1989, "接着繼手の強度の破應力學的評價法に關する研究", 東京大學博士位論文, pp. 1~232.