

나일론/금속 접합 마찰기계요소의 접합특성

장윤상*

Joint Characteristics of the Nylon/Metal Sliding Machine Elements

Yoonsang Chang*

ABSTRACT

The joint method and characteristics of MC nylon and metal are analyzed. Considering the productivity and economics, two materials are joined with the process of turning, knurling, and induction heating. The joint strength is determined by adhesion of the melted nylon, the size of knurl, and the interference from the difference of the diameters. The adhesion strength of the melted nylon is measured. The effects of the knurl size and diameter difference are analyzed with the statistical methods. Finally the joint strength is analyzed in the environments of low, room, and high temperature. Based on this study, the nylon/metal material is expected to be widely used as the sliding machine elements with good lubrication and strength properties.

Key Words : Nylon (나일론), Sliding Machine Element (마찰기계요소), Joint Strength (접합강도), Adhesion (접착), Knurling (널링), Induction Heating (유도가열)

1. 서론

고 성능화된 최신의 기계에서 사용되는 기어, 베어링, 부싱, 캠 등 마찰기계요소들은 형상의 정밀화 및 경량화, 그리고 마찰성능의 향상 및 기능성 유지가 요구되고 있다. 금속을 이용한 마찰기계 제품이 윤활 문제를 해결하기 위한 성능향상에 한계를 가짐에 따라 국내·외적으로 기계적 성질이 우수한 플라스틱으로 부품을 제조하여 사용하려는 많은 노력을 하여왔다. 플라스틱은 값이 싸고 성형이 용이하며 건조마찰계수가 작다는 등 여러 가지 장점을 갖고 있다. 그러나 강도가 금속보다 작고 응력 집중에 취약하여 하중을 많이 받을 수 없으며 열전도 계수가 커서 열의 축적에 의한 소성변형도

비교적 크게 일어난다.¹ 이러한 여러 가지 문제점으로 플라스틱 재료는 현재 일부 마찰부품, 특히 적은 응력을 받는 시계나 소형기계의 부품으로 사용되고 있다.

마찰과 강도문제를 동시에 해결하기 위하여 고강도 금속재료의 접촉부에 마찰성능이 좋은 플라스틱을 접합한 재료를 사용할 수 있다. 미국의 Fedral Mogul사에서는 1990년대 초부터 강/청동소결부/테프론의 순서로 접합시킨 3층 슬라이딩 베어링을 제작하여 전륜구동용 차량의 마찰부품에 독점공급하고 있다.² 테프론은 마찰특성은 우수하지만 강도, 경도 및 마모 등 다른 기계적 성질은 불량하여 사용가능 조건이 매우 제한적인 단점을 갖는다. 또한 도포성 재료 및 소결부에 고도의 제작 기술 및 고

2002년 1월 25일 접수
* 수원대학교 기계공학과

비용으로 인한 경제성의 문제로 기계부품으로의 적용 분야에 제한이 많다. 테프론과 비교하여 플라스틱의 경우 비교적 단순한 제작 공정과 낮은 비용으로 금속 보강재와 접합시켜 마모와 강도 문제를 동시에 해결할 수 있다. 국내의 몇몇 중소기업에서 기존 금속에 다양한 플라스틱을 직접 또는 에폭시와 같은 접착 매개 물질을 이용하여 접합시켜서 기계부품으로 사용하려는 시도가 있어 왔다. 그러나 접합부의 접합강도가 낮고, 온도에 따라 변형과 파단이 쉽게 발생하는 등 문제점들 때문에 사용에 제약을 받는다.

본 연구에서는 유효성이 기존의 금속보다 우수하고 기계적 성질이 타 플라스틱보다 우수한 MC 나일론과 강도를 보완하기 위한 금속 보강재를 접합하여 마찰기계요소를 만들기 위한 기초적인 접합 방법 및 특성을 분석하였다. MC(Monomer Casting) 나일론은 최근 기계부품 소재로 주목을 받고 있는 엔지니어링 플라스틱 중 하나이다. MC 나일론은 분자구조가 일반적인 나일론 6와 동일하나 용매의 존재없이 ϵ -caprolactam을 음이온 중합시킴으로서 얻어진다. MC 나일론은 분자량 및 결정화도가 매우 높고 인장강도, 가공성 등이 우수하여 절삭가공용 소재로 응용될 수 있는 장점이 있다.³ 접착제의 역할을 대신하는 나일론의 용융부와 강도 향상을 위한 널링(knurling) 및 쥘새 가공에 의하여 접합 강도에 영향을 미치는 인자들의 특성을 분석하여 최적 접합 방법을 유도해낼 수 있도록 하였다.

2. 나일론/금속 재료의 접합

2.1 접합 공정 및 영향 인자

마찰기계요소는 사용하는 대상에 따라서 평판형, 외부마찰 원통형, 내부마찰 원통형 등으로 나눌 수 있다. 본 연구는 기어 등으로 가장 많이 사용되고 접합이 비교적 용이한 외부마찰 원통형 기계요소를 대상으로 하였다. Fig. 1은 외부 나일론과 내부 금속으로 구성된 원통형 접합재료를 보여준다. 접착성을 향상시키기 위해서는 물리·화학적으로 여러 가지 접합 방법이 있으나 경제성 및 생산성을 고려하여 가능한 한 단순한 기계적 방법들을 선택하였다. Fig. 2는 접합공정으로써, 접합성을 향상시키기 위한 널링(knurling), 억지끼워맞춤(joining), 유도가열접합(induction heating) 등 여러 가지 가공 단계들을 포함하고 있다. 나일론/금속 접합재료는 유

도가열된 금속에 의하여 두 재료의 경계층에서 용융된 나일론을 매개체로 점착된 나일론부와 금속부의 접착관계로 볼 수 있다. 그러므로 두 재료의 접합강도에는 용융된 나일론의 접착제(adhesive)로서의 특성이 가장 큰 영향을 미친다. 그 밖에 금속 보강재의 표면 형상과 원통형 재료 사이의 직경차이로 인한 쥘새가 접합력을 높여 주기 위한 인자로 사용된다.

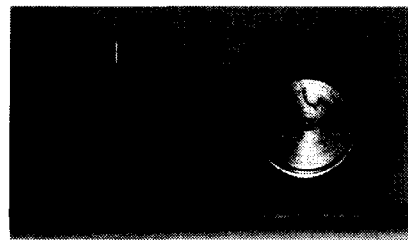


Fig. 1 Cylindrical Nylon/Metal Material

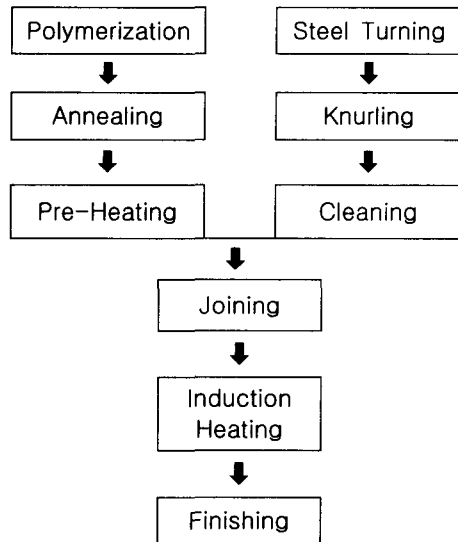


Fig. 2 Nylon/Metal Joint Process

용융 나일론의 점착성 종류가 다른 두 개의 재료를 접착하기 위해서는 일반적으로 접착제를 사용한다. 액체상태의 접착제는 접합물(adherend) 사이의 반데르발스(van der Waals) 힘에 의하여 설명되고 있다.⁴ 이 접착제와 접합물 사이의 접착력은 두 물질의 기계적 성질, 즉 물질의 표면 에너지 관계에 의하여 결정된다. 액체상태의 접착제에서의 표

면에너지는 표면장력(surface tension)을 의미한다. Young-Dupre 관계식으로부터 접촉력 W_A 은 두물체 사이의 접촉각 θ 및 접촉제의 표면 에너지 즉 표면장력 γ 에 의하여 다음과 같이 표시된다.⁴

$$W_A = \gamma (1 + \cos \theta) \quad (1)$$

그러므로 두 물질 사이의 접촉력을 높으려면 액체인 접촉제의 표면장력이 크고 접촉제와 접합물 사이의 접촉각이 작아야 한다. 접촉제의 표면장력은 열역학적인 인자로 이론적으로는 접촉제의 두께 등 다른 물리적 성질은 접촉력에 영향을 미치지 않는다.⁴ 일반적인 나일론-6는 임계습장력(critical wetting tension)이 46 dyne/cm로 비교적 큰편이며 접착이 잘된다고 볼 수 있다. 접촉각을 작게하려면 기본적으로 용매를 사용하여 접합물 표면의 산화물, 오일, 유기물 등을 완전히 제거하는 것이 중요하다. 또한 산(acid)에 의한 에칭, 플라즈마를 이용한 표면처리 등의 방법으로 특정한 미시적 표면 형상 및 조도를 갖게 함으로써 접촉각을 작게하고 접촉력을 높일 수 있다.⁵ 본 연구에서는 제품의 생산성 및 경제성을 고려하여 유기용제를 이용한 기본적인 세척단계만 접합 공정에 포함하도록 하였다.

접합면 형상 에칭 등에 의한 표면 조도 이상의 거시적인 표면 돌출 형상은 우선 점착되는 표면적을 넓혀줌으로써 접합력을 향상시킨다. 또한 전단력으로만 작용하는 외력을 압축 또는 굽힘 응력으로 일부 변환하여 두 재료 사이의 접합력을 향상시킨다. 원통형 재료는 바이트를 이용한 선삭에 의하여 돌출부의 형상 및 크기를 조절함으로써 최적의 접합성을 유도할 수 있다. 그러나 실제 생산에 있어서 바이트에 의한 선삭은 경제성이 떨어지므로 널링 가공을 이용한다. 따라서 접합 표면의 돌출 형상은 일반적으로 사용되는 널(knurl)의 형상으로 제한한다.

꺾새 기계부품의 사용 특성상 접합된 두 재료 사이에는 압축이나 인장력보다 전단력이 작용하게 된다. 직경방향의 꺾새는 수직으로 작용하는 외력에 대하여 마찰저항을 발생하도록 작용한다. 또한 용융 나일론의 점착시 가압하여 유동성을 좋게하여 공동부를 없애며 치밀한 점착부 조직을 얻는데 필요하다. 꺾새는 두 가지 방법에 의하여 주어진다. 하나는 내부 보강재의 직경을 외부 마찰재의 직경보다 크게 가공하는 것이다. 또 하나는 보강재의

널링가공에서 발생하는 직경의 팽창이다. 이론적으로 널링 후 재료의 직경은 널 날의 높이 만큼 증가하게 된다.

2.2 실험 방법 및 파괴 모드

전체적인 재료의 준비과정은 Fig. 2의 제작공정을 따른다. 실험에 사용한 MC 나일론은 (주)한국폴리텐코에서 상업용으로 제작한 $\phi 55 \times 105$ mm의 제품이다. 우선 나일론의 중합 제조과정에서 발생한 내부응력을 제거하기 위하여 140℃로 예열된 로안에서 18시간 가열한 다음 로냉으로 어닐링(annealing)을 실시하였다. 그리고 나일론을 건식으로 길이 50mm, 내경 $\phi 30$ mm으로 선삭 가공하였다. 길이 50mm의 S45C 금속 보강재는 요인 분석법(factorial design)에 따라 Table 1과 같은 3단계 실험 계획에 의하여 외경가공 후 널링 가공을 실시하였다. 널의 형상은 날의 방향에 따라 직선형, 나선형(spiral), 다이아몬드형 등 여러 가지가 있으나 상용으로 많이 사용하는 나선형 널 1쌍을 가공하여 다이아몬드 형상을 만들었다. 널의 크기는 16, 20, 24 tpi(teeth per inch)의 3종류를 사용하였으며 각 널의 이의 높이는 각각 0.7, 0.6, 0.5mm이다. 금속 보강재는 널링 후 유기용매(hexane)로 세척하여 표면의 기름 또는 금속가루 등을 제거하였다.

역지끼워 맞춤이 필요한 대부분의 시편은 나일론을 가열하여 내경을 팽창시키고 수동 유압프레스를 사용하여 가열 팽창된 나일론에 금속보강재를 삽입하였다. 나일론의 용점이 220℃인 것과 열팽창 계수를 고려하여 나일론을 로안에서 130℃로 가열하여 약 1%의 팽창을 만들었다. 결합된 시편을 고주파 유도가열에 의하여 점착시켰다. 유도가열은 금속만을 가열함으로써 나일론의 결정화를 유지시켜 본래 나일론이 갖고있는 고유의 성질을 유지시키며 접합할 수 있다. $\phi 70$ mm의 내경을 갖는 수냉 코일내에서 약 7~10초간 가열하고 공냉시켜 두께 1mm이하의 용융된 나일론부를 만들었다. 용융 후 냉각된 나일론 조직은 결정화도가 떨어지고 성질이 변하지만 전체 재료의 기계적 성질에는 영향이 미미하며 역지끼워 맞춤에 의하여 발생한 응력은 계속 존재한다. 마지막으로 고주파 가열 후 녹아서 유출된 나일론을 분리하기 위하여 선삭하고 나일론과 보강재의 실제 접촉길이를 측정하였다. 준비된 시편에 대하여 두 재료사이의 전단력에 견디는 접합강도를 측정하기 위하여 압축실험을 하였다. Fig.

3과 같이 Testmetric 만능시험기에서 중심부가 뚫린 원통형 지지대 위에 나일론 부를 올려놓고 압축 속도 10mm/min, 전하중(pre-load) 10N으로 보강재 부를 압축하였다.

외력에 의한 접착제와 접합물 사이의 파괴 모드는 두 가지가 있다.⁴ 하나는 명백한 접착의 파괴(apparent failure in adhesion)로 접착제가 한 쪽의 접합물에 붙어있어서 다른 접합물의 표면을 볼 수 있는 경우이다. 여기서 “명백한”이라는 단어를 사용한 이유는 접착의 파괴에서도 표면이 보이는 접합물에 접착제가 얇게 붙어있는 경우가 많기 때문이다. 다른 하나는 결합의 파괴(failure in cohesion)로 접착제가 분리되어 두 개의 접합물 양쪽 표면에서 접착제를 볼 수 있는 현상을 말한다. 결합의 파괴는 접착제가 정말로 접착되어 있다는 확신을 주기 때문에 더 바람직한 파괴 모드이다. 나일론/금속 접합은 두 개의 접합물이 다른 재료이므로 용융 나일론의 파괴라는 결합의 파괴 모드와 용융 나일론과 금속 보강재의 분리 및 용융 나일론과 나일론 본체의 분리라는 두 가지의 접착의 파괴 모드로 나누어 볼 수 있다.

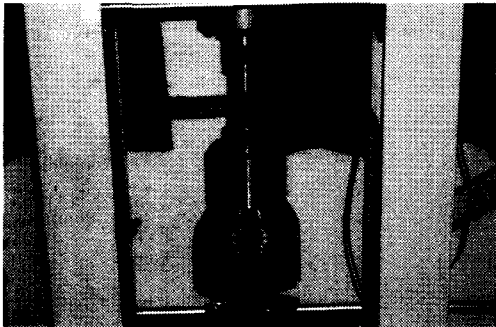


Fig. 3 Schematic of Strength Test

3. 나일론의 용융 접합력

접합재료의 제작 공정은 접합력을 결정하는 세 가지 영향 인자, 즉, 용융 점착력, 썬새, 널을 부여하는 과정이다. 세가지 요소 중 접합부의 강도에 대한 영향이 가장 크다고 예상되는 용융 점착력이 외력에 견딜수 있을 만큼 충분히 크다면 금속 보강재의 널링가공과 나일론의 예열 과정이 불필요하게 된다. 또한 금속의 세척 및 프레스에 의한 가압공정이 쉬워진다. 제작 공정의 단순화를 위하여 1단

Table 1 3-Stage Joint Strength Test Plan

Exp. Stage	Analysis	
	Factor	Level
1	Effect of Adhesion	
	Knurl (tpi)	none, 24, 20, 16
2	Effects of Diameter and Knurl	
	Metal Dia.(mm)	30, 30.2, 30.4
3	Knurl (tpi)	24, 20, 16
	Effects of Diameter and Temp.	
	Metal Dia.(mm)	30.2, 30.4, 30.6
	Temp. (°C)	0, 20, 100

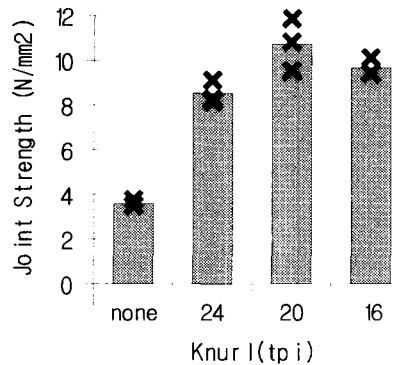
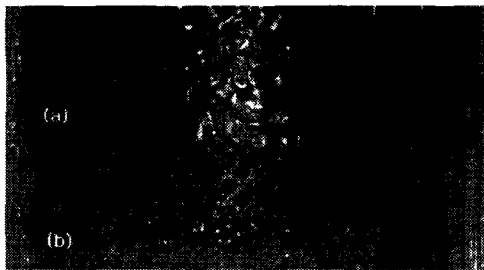


Fig. 4 Adhesion Effect of Melted Nylon

계로 용융 점착력에 의한 접합강도가 어느 정도가 되는지 알아보았다. Table 1의 1단계 실험계획에 따라 조임력이 작용하지 않도록 널링가공을 하지 않은 $\phi 30\text{mm}$ 의 금속 보강재와 널링가공한 같은 직경의 보강재의 접합력을 비교하였다. Fig. 4의 결과에서와 같이 널링가공을 하지 않은 3개의 시편은 평균 3.57N/mm^2 의 접합강도를 보인다. 이 값은 선삭시 직경차이는 없고 20 및 16 tpi의 널링가공만으로 썬새와 돌출 형상을 부여한 시편의 접합력 $10.72, 9.65\text{N/mm}^2$ 과 비교하여 결합력의 약 35%를 설명하고 있음을 보여준다. 따라서 직경차이에 의한 썬새 및 널 형상의 부여로 용융 점착력 이상의 접합강도를 얻을 수 있으며 가공공정의 최적화로 최대의 접합강도를 부여할 수 있겠다.

파단면을 조사한 결과 Fig. 5에서와 같이 용융 후 다시 응고된 나일론은 기존의 첨가 염료가 탈색되고 흰색으로 변하여 시각적으로 경계층이 구분된

다. Fig. 5(a)에서 널링이 없는 시편은 용융 나일론과 나일론 및 금속의 경계층에서 “접착의 파괴모드”로 나타난다. 용융 나일론의 일부는 나일론 본체에, 일부는 금속에 접착되어 있으며 응고시 결정화도가 떨어지고 나일론 본체와의 경계층에 결합이 발생하여 되어 용융 나일론의 결합력도 현저하게 떨어져 있음을 알 수 있다. 한편 Fig. 5(b)에서의 널링이 있는 시편은 용융 나일론의 “결합의 파괴모드”로 나타난다. 그러므로 널링에 의한 표면 형상은 결합력을 향상시키는데도 필요하지만 파괴모드를 바람직한 결합의 파괴 형태로 바꾸기 위해서도 중요하다.



(a) no knurling (b) knurling

Fig. 5 Failure Mode in Nylon Surface

4. 접합면 형상 및 점새

금속 보강재의 널 형상 및 지름의 크기를 변화시키며 접합력에 대한 접촉면 형상 및 역지끼워맞춤을 위한 점새의 영향을 분석하였다. Table 1의 2 단계 실험에서와 같이 널의 크기는 16, 20, 24 tpi로, 직경차이는 가열된 나일론에 삽입시 험겁게 또는 약간의 저항이 있도록 0, 0.2, 0.4mm로 결정하였다. 널링가공한 금속 보강재는 이론적으로 널의 높이만큼 지름이 커지게 되나 실제 지름은 가공할 때 가압하는 외력의 차이 등으로 표면의 완성도가 떨어지게 된다. 삽입을 원활히 하기 위하여 로안에서 130℃로 가열된 나일론의 내경은 약 30.5 ~ 30.6 mm로 0.5 ~ 0.6mm가 팽창하였다. 가열 팽창된 나일론에 금속보강재를 삽입할 때 금속재의 외경과 비교하여 나일론의 팽창량이 충분치 않기 때문에 삽입에 필요한 힘이 측정되었다. 측정된 값은 마찰력이 최대가 되는 50mm 길이가 거의 다 들어갔을 때 걸린 최대 힘이다. 삽입력이 필요한 시편은 표면에

균형 등 결합이 있을 수 있으나 나일론의 탄성이 좋고 용융 후 결합이 사라지기 때문에 나일론 표면 결합의 영향은 없다고 볼 수 있겠다. 같은 조건에 대하여 3회의 반복 실험을 실시하였으며 Table 2에는 1차 실험의 실제 가공 후의 지름(knurling dia.), 삽입력(Insert Force), 최대 하중 및 변형량이 나타나 있다.

Fig. 6은 Table 2의 시편 #1에 대한 압축실험 결과인 외력과 변형량의 관계 그래프로 나머지 실험에서도 유사한 힘-변형량의 변화 형태를 보였다. 최대 응력 후에도 상하로 진동하는 곡선은 경계면이 파괴(분리)된 후에도 나일론과 금속의 요철부가 저항하여 발생하는 응력으로 예상된다. 응력과 변형율의 계산에 사용된 Table 2의 힘과 변형량은 파괴(분리) 순간의 최대 값이다. Fig. 7의 접합강도 그래프는 Table 2의 데이터를 비롯한 3개의 시편에 대한 외력을 널링전 지름에 의한 접촉면적으로 나누어 계산한 평균 접합강도이고 Fig. 8의 변형율 그래프는 변형량을 접촉길이로 나눈 값들이다.

SAS를 이용하여 변량분석(analysis of variance)을 실시하였다. ANOVA procedure를 사용하여 삽입력, 접합강도, 그리고 변형율에 대한 보강재의 지름과 널의 크기라는 변인(class variable)의 영향을 분석하였다. 또한 Duncan의 다중비교(mean test)를 유의수준 0.05에 대하여 실시하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

Table 3의 ANOVA test 결과는 삽입력의 크기에 보강재의 지름의 영향이 절대적임을 보여준다. 널의 크기도 어느정도의 영향이 있는데 이는 널링에 의한 보강재 지름의 변화가 널의 크기에 따라 다르

Table 2 A Data Set from Stage-2 Experiment

Exp	Metal Dia. (mm)	Knurl Size (tpi)	Knurling Dia. (mm)	Insert Force (kgf)	Max. Load (kN)	Max. Def. (mm)
1	30.0	24	30.45	0	38.41	2.41
2	30.0	20	30.60	0	55.27	2.67
3	30.0	16	30.50	0	47.44	2.20
4	30.2	24	30.70	200	50.68	2.39
5	30.2	20	30.75	400	55.79	2.68
6	30.2	16	30.75	500	59.71	2.76
7	30.4	24	30.90	700	62.68	3.06
8	30.4	20	30.85	800	69.09	3.08
9	30.4	16	30.85	850	62.71	2.51

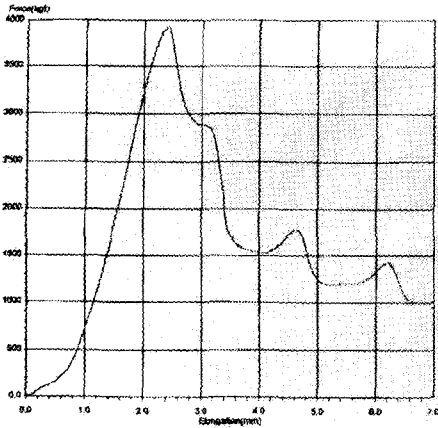


Fig. 6 Load-Elongation Graph for Sample 1

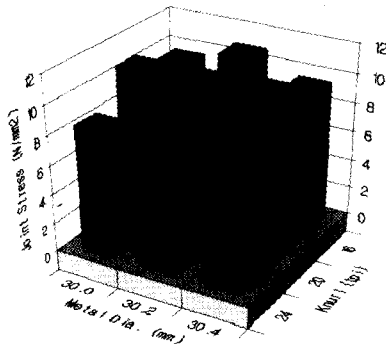


Fig. 7 Joint Strength in Exp. 2

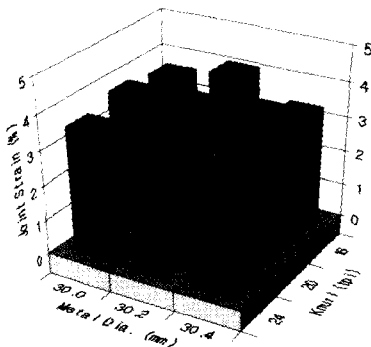


Fig. 8 Joint Strain in Exp 2

Table 3 Analysis of Variance Results

	R ²	Pr>F		Mean(alpha=0.05)	
		Dia.	Knurl	Dia.	Knurl
Insert Force	.98	.0006	.1600	different	
Strength	.13	.5059	.3875	NSD	NSD
Strain	.43	.5005	.5543	NSD	

NSD: not significantly different

기 때문이다. 널 형상의 완성도가 높아서 이론적인 널의 높이를 정확히 만들면 널의 크기의 영향도 보강재 지름의 영향만큼 클 것으로 예상된다. 그러나 삽입 및 용융접합 후 접합강도 및 변형율에 대한 보강재 지름과 널의 영향은 통계적으로 보았을 때 상당히 미미하다. Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 보강재 지름이나 널 크기의 변화에 따른 일관적인 증가 또는 감소의 경향을 보이지 않는다. 또한 같은 조건으로 중복 실험을 하였을 때의 강도 차이가 조건을 변화시켰을 때의 강도의 증감 만큼 컸다. Table 2의 널링 후 지름을 보면 30.4mm의 보강재 직경이 널링 후 30.9mm로 증가하는데 0.9mm 정도의 직경 차이에 의한 나일론의 탄성 응력은 용접 후 거의 소멸되는 것으로 보인다. 또한 16tpi의 널과 비교하여 24tpi의 널은 단위 길이당 널의 수가 많기 때문에 약 4% 정도 표면적이 크며 접촉면적의 증가는 용융 나일론의 점착력을 높이기 때문에 널 크기의 영향력을 감소시키는 것으로 예상된다. 따라서 보강재의 지름은 접합공정의 관점에서 삽입이 용이한 30mm가 적당하다고 여겨진다. Fig. 4는 30mm 보강재에 대한 각 널 크기의 접합강도를 보여준다. 30mm 직경의 보강재에 대한 24tpi의 널은 보강재의 직경이 널링 후에도 가열 팽창된 나일론의 직경보다 작기 때문에 접합강도가 상당히 작다. 따라서 20 또는 16tpi의 널이 적당하며 Fig. 4는 크기가 작은 20tpi의 널이 오히려 우수한 접합강도를 내고 있음을 보여준다.

5. 마찰기계요소의 사용환경

앞에서 언급한 바와 같이 플라스틱 재료는 온도에 의한 영향이 커서 기계적 성질의 변화가 많다. 그러므로 마찰재료의 사용 환경이 저온이거나 나일론의 마찰부 이외의 다른 기계요소에서 열이 많

이 발생한다면 응력-변형률 특성이 상온에서 분석한 결과와 크게 다를 수 있다. 저온 및 고온에서 나일론의 재료특성을 알아보기 위한 실험계획을 Table 1의 3단계와 같이 세웠다. 2단계에서 분석한 기계적인 인자와 비교하기 위하여 널의 크기는 20tpi로 고정하고 나일론/금속의 직경차이를 0.2, 0.4, 0.6mm 주었다. 실험 온도는 가열로와 얼음물을 이용하여 L(0°C), M(상온), H(100°C)의 3수준을 만들었다. 온도변화에 따른 하중-변형률 곡선은 저온에서는 Fig. 6의 상온에서와 유사하나 고온에서는 Fig. 6에서 나타나는 최대 응력 후의 상하로 진동하는 곡선이 나타나지 않았다. 이는 저온에서는 접촉면이 파괴된 후에도 탄성이 작은 나일론과 금속의 요철부가 저항하여 응력이 걸리지만 고온에서는 파괴 후 저항이 미미하기 때문인 것으로 여겨진다.

Fig. 9와 10의 그래프는 각각 나일론/금속 경계면이 파괴될 순간의 최대 접합강도 및 변형률이다. 이 데이터를 이용하여 변량분석 및 다중비교를 한 결과가 Table 4에 나타나 있다. 저온, 상온, 고온에서의 접합강도의 평균값은 각각 6.49, 4.46, 2.63 N/mm²으로 확연한 구분을 보여준다. 유의수준 0.05에서 전단력에 대한 사용온도의 영향은 절대적이며 직경차에 의한 썬새의 영향은 상대적으로 작다. 2단계 실험의 결과로 보아 널링의 영향도 직경차의 영향 만큼 미미할 것으로 예상된다. 한편 변형률은 2단계 실험에서 처럼 직경차이에 의한 영향이 미미하며 온도의 영향도 상당히 작다. 저온에서는 파괴까지 전단력은 많이 걸리지만 재료의 탄성이 낮고 고온에서는 반대의 현상이 발생하여 변형률의 명확한 변화가 보이지 않는 것으로 여겨진다.

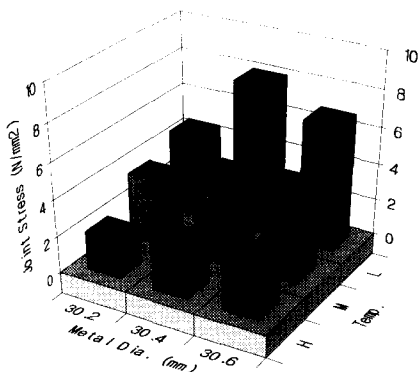


Fig. 9 Joint Strength in Exp. 3

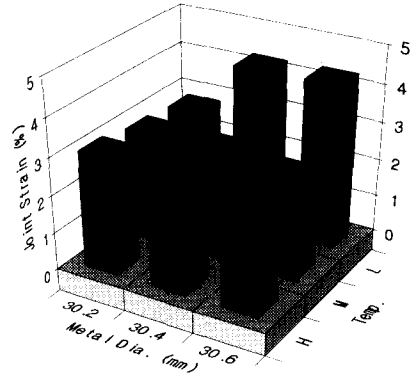


Fig. 10 Joint Strain in Exp. 3

재료의 접합강도 외의 다른 기계적 성질을 고려하여 보았을 때, 직경의 차이와 널 크기에 의해서 발생하는 썬새는 나일론에 응력을 내재시키고 사용 중 깨짐을 발생시킬 수 있다. 특히 저온에서는 접합력이 높은 반면에 나일론의 취성이 크므로 사용 온도에 비하여 효과가 적은 직경차이와 널의 크기는 최소값을 취하는 것이 바람직하다. 그러므로 2단계 실험에서와 같은 작은 보강재 지름의 적용이 강도의 큰 손실없이 가능하다고 여겨진다.

Table 4 ANOVA Test in Exp. 3

	R2	Pr>F		Mean(α=0.05)	
		Dia	Temp	Dia	Temp
Strength	.92	0.095	0.010	NSD	different
Strain	.59	0.437	0.270	NSD	NSD

NSD: not significantly different

6. 결론

본 연구에서는 윤활성이 우수한 나일론과 강도를 보강할 수 있는 금속을 접합한 마찰기계요소의 접합성을 최적화하기 위하여 접합 방법 및 특성을 분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 생산성 및 경제성을 고려하여 외경가공, 널링, 유도가열의 공정으로 나일론과 금속 보강재를 접합하였다. 유도가열은 접착제의 역할을 대신하는

나일론의 용융 점착부를 만들며 널링 및 쥘새를 만드는 직경 가공은 접합력을 향상시켜준다.

(2) 접합력은 나일론의 용융점착력, 널의 크기, 쥘새에 의하여 결정된다. 용융 점착력은 다른 인자들에 비하여 영향이 크나 결합력을 높일 수 있는 변수는 아니다. 상용 한계 내에서 널 및 쥘새의 크기 변화는 접합력 및 변형율에 큰 영향을 끼치지 않으며 ϕ 30mm의 나일론에 대하여 20tpi로 널링된 ϕ 30mm의 보강재가 최적의 접합강도를 보였다.

(3) 접합재료의 사용환경은 제조공정의 변수들을 증가하는 접합력에 대한 영향인자이다. 고온의 사용환경에서는 상온에 비하여 접합강도가 약 60%로 낮아짐을 보였다.

(4) 간단한 접합공정으로 제작된 나일론/금속 접합재료는 단일 재료로 제작된 마찰기계부품의 단점을 보완하며 사용처의 증대가 기대된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00218) 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kohan, M. I., Nylon Plastics Handbook, Hanser Publisher, New York, 1995.
2. 김정찬, "PTFE계 고체윤활제와 그 응용," 기계와 윤활, 7.8호, pp. 71-74, 1998.
3. Champetire, G. and Sekiguchi, H., "Mechanism and Kinetics of Adiabatic Anionic Polymerization of Caprolactam in the Presence of Various Activators," J. of Poly. Sci., Vol. 48, pp. 309-313, 1960.
4. Pocius, A. V., Adhesion and Adhesives Technology, Hanser/Gardner Pub., 1997.
5. Kinloch, A. J., Adhesion and Adhesives, Chapman and Hall Ltd, 1987.